กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

รายงานฉบับสมบูรณ์ เล่มที่ 9/10

โครงการจัดทำมาตรฐานการเจาะ สำรวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

ชุดคู่มือการปฏิบัติงาน ด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล

คู่มือ ทบ อ 1000-2550 ถึง 7000-2550

จัดทำโดย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ธันวาคม 2551

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

รายงานฉบับสมบูรณ์ (เล่มที่ 9/10)

โครงการจัดทำมาตรฐานการเจาะ สำรวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

ชุดคู่มือ

การปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล

คู่มือ ทบ อ 1000-2550 ถึง 7000-2550

จัดทำโดย

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ธันวาคม 2551

ข้อมูลบรรณานุกรม

เจ้าของ : กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ชื่อเรื่อง : รายงานฉบับสมบูรณ์ (เล่มที่ 9/10)
ชุดคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล
คู่มือ ทบ อ 1000-2550 ถึง 7000-2550
โครงการจัดทำมาตรฐานการเจาะ สำรวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล
พิมพ์ครั้งที่ 1 : เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2551 จำนวน 500 เล่ม
โรงพิมพ์ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา 232/199 ม. 6
ถ. ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000
ISBN 978-974-286-589-4

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2539

ชุดคู่มือ
การปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล
คู่มือ ทบ อ 1000-2550 ถึง 7000-2550

เจ้าของโครงการ

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

จัดทำโดย

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

กระทรวงศึกษาธิการ

คณะที่ปรึกษาโครงการ

นางสาวสมคิด	บัวเพ็ง	อธิบดีกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
นายอนันต์	เกตุเอม	รองอธิบดีกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
นายโชติ	ตราชู	รองอธิบดีกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

คณะกรรมการพิจารณาดำเนินการจ้างโดยวิธีตกลง

1. นายปราณีต	ร้อยบาง	ประธานกรรมการ
2. นายบรรจง	พรมจันทร์	กรรมการ
3. นายอำนาจ	เยาวสุต	กรรมการ
4. นายสุทธิพล	เอี่ยมประเสริฐกุล	กรรมการ
5. นางสาวอุไร	บางยี่ขัน	กรรมการ

คณะกรรมการตรวจสอบงาน

1. นายสุพจน์	เจิมสวัสดิ์พงษ์	ประธานกรรมการ
2. ดร.อรนุช	หล่อเพ็ญศรี	กรรมการ
3. นายสุนทร	ปัญจาสุธารส	กรรมการ
4. นายประกอบ	อยู่คง	กรรมการ
5. นางศจีรัตน์	อุ่นประเสริฐสุข	กรรมการ

คณะทำงานตรวจสอบมาตรฐานและคู่มือการปฏิบัติงานด้านการสำรวจอุทกธรณีวิทยาและแผนที่น้ำบาดาล

1. นายกมลศักดิ์	บัวอ่อน	ประธานคณะทำงาน
2. นางสาววิลาวัณย์	ไทยสงคราม	คณะทำงาน
3. นายประกอบ	อยู่คง	คณะทำงาน
4. นายวสันต์	จันทร์แสง	คณะทำงานและเลขานุการ

คณะทำงานตรวจสอบมาตรฐานและคู่มือการปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล

1. นายสัมฤทธิ์	ชุษณะทัศน์	ประธานคณะทำงาน
2. นายสุนทร	ปัญจาสุธารส	คณะทำงาน
3. นายเทิดศักดิ์	ทรัพย์ทวีวัง	คณะทำงานและเลขานุการ

คณะทำงานตรวจสอบมาตรฐานและคู่มือการปฏิบัติงานด้านการเจาะและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

1. นายสุพจน์	เจิมสวัสดิ์พงษ์	ประธานคณะทำงาน
2. นายสำเริง	สโมทัย	คณะทำงาน
3. นายพันธ์ศักดิ์	ธีรปัญญาภรณ์	คณะทำงาน
4. นายสุวัฒน์	เปี่ยมปัจจัย	คณะทำงาน
5. นายอุโรม	แก้วจันทร์	คณะทำงานและเลขานุการ

คณะทำงานตรวจสอบมาตรฐานและคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล

1. นายชัยพร	ศิริพรไพบูลย์	ประธานคณะทำงาน
2. นายอดิสัย	จารุรัตน์	คณะทำงาน
3. ดร.อรัญญา	เฟื่องสวัสดิ์	คณะทำงาน
4. นางโศภิษฐ์	ภิรมย์เลิศ	คณะทำงาน
5. ดร.อรนุช	หล่อเพ็ญศรี	คณะทำงานและเลขานุการ

คณะทำงานตรวจสอบคู่มือการปฏิบัติงานด้านระบบฐานข้อมูลและสารสนเทศน้ำบาดาล

1. นายไพศาล	ลักขณานุรักษ์	ประธานคณะทำงาน
2. นายเทิดศักดิ์	ทรัพย์ทวีวัง	คณะทำงาน
3. นายบุญเลิศ	เลิศพฤกษ์สุกิจ	คณะทำงาน
4. นายธนจักร	ริจิรวนิช	คณะทำงานและเลขานุการ

คณะทำงาน

1.	รศ.ดร.เกรียงศักดิ์	ศรีสุข	หัวหน้าโครงการและผู้เชี่ยวชาญด้านอุทกธรณีวิทยา
2.	นายสมชัย	วงศ์สวัสดิ์	รองหัวหน้าโครงการและผู้เชี่ยวชาญด้านอุทกธรณีวิทยา
3.	นายเจริญ	เชื่อมไธสง	ผู้เชี่ยวชาญด้านการเจาะและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล
4.	นายวิฑิต	ศิริโภคากิจ	ผู้เชี่ยวชาญด้านการสำรวจอุทกธรณีวิทยา
5.	นายธีรวัชร	อินทรสูต	ผู้เชี่ยวชาญด้านอุทกธรณีวิทยา
6.	นายเจตต์	จุลวงษ์	ผู้เชี่ยวชาญด้านอุทกธรณีวิทยา
7.	นายธีรศักดิ์	ตั้งสุทธินนท์	ผู้เชี่ยวชาญด้านธรณีวิทยา
8.	รศ.ดร.วิชัย	ศรีบุญลือ	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ
9.	รศ.ฉลอง	บัวผัน	ผู้เชี่ยวชาญด้านอุทกธรณีวิทยา
10.	ผศ.หล้า	อาจวิชัย	ผู้เชี่ยวชาญด้านธรณีวิทยา
11.	ผศ.ดร.ศรัญญา	พรหมโคตร์	ผู้เชี่ยวชาญด้านธรณีเคมี
12.	รศ.ดร.อลิศรา	เรืองแสง	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
13.	ดร.พิพัธน์	เรืองแสง	ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบฐานข้อมูลและสารสนเทศน้ำบาดาล
14.	นายพรศักดิ์	อรุณกิจกำจร	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมเครื่องกล
15.	ผศ.ดร.อุมา	สีบุญเรือง	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
16.	นายโพยม	สราภิรมย์	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา
17.	นางกฤษณี	คชสาร	ผู้ประสานงานโครงการ
18.	น.ส.ศิริรัตน์	อุปสิทธิ์	นักอุทกธรณีวิทยาและผู้ประสานงานโครงการ
19.	น.ส.ธิดารัตน์	โคตนนท์	นักอุทกธรณีวิทยา
20.	นายสุวันชัย	นาดี	วิศวกรเกษตร
21.	นายสหราช	ทวีพงษ์	นักอุทกธรณีวิทยา
22.	นายประยุทธ	เสนชัย	นักธรณีวิทยา
23.	น.ส.เกวรี	พลเกิ้น	วิศวกรเกษตร
24.	นางนันทนา	ศรีบุญลือ	เจ้าหน้าที่การเงิน
25.	น.ส.ปิยะมาศ	ลีทองดี	เจ้าหน้าที่ธุรการ

คำนำ

น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีพโดยเฉพาะชุมชนที่แหล่งน้ำอื่นมีไม่เพียงพอกับความต้องการ รวมทั้งเป็นแหล่งน้ำทางเลือกสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมและการเกษตร ดังนั้นหากกระบวนการปฏิบัติงานด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาล เช่น การพัฒนาน้ำบาดาล การสำรวจและประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล และการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลไม่ดำเนินการให้เป็นไปตามมาตรฐานทางวิชาการ อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรน้ำบาดาลทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพยากที่จะแก้ไขได้ ในอดีตที่ผ่านมาการปฏิบัติงานด้านทรัพยากรน้ำบาดาลยังขาดแนวทางปฏิบัติที่ได้มาตรฐานตามหลักวิชาการ ดังนั้นในปีงบประมาณ 2550 กรมทรัพยากรน้ำบาดาลซึ่งเป็นหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลของประเทศได้ว่าจ้างมหาวิทยาลัยขอนแก่น ให้เป็นผู้ดำเนินงานโครงการจัดทำมาตรฐานการเจาะ สำรวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล เพื่อจัดทำมาตรฐานและคู่มือการปฏิบัติงานครอบคลุมการปฏิบัติงานด้านต่างๆ ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล 5 ด้าน คือ (1) มาตรฐานและหรือคู่มือการปฏิบัติงานด้านการสำรวจอุทกธรณีวิทยาและแผนที่น้ำบาดาล (2) มาตรฐานและหรือคู่มือการปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล (3) มาตรฐานและหรือคู่มือการปฏิบัติงานด้านการเจาะและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล (4) มาตรฐานและหรือคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล และ (5) คู่มือการปฏิบัติงานด้านระบบฐานข้อมูลและสารสนเทศน้ำบาดาล โดยกระบวนการยกร่างโดยผู้เชี่ยวชาญด้านต่างๆ และการนำร่างมาตรฐานและคู่มือเข้าสู่กระบวนการระดมสมองเพื่อรับฟังความคิดเห็นต่อร่างมาตรฐานและคู่มือต่างๆ ก่อนปรับปรุงแก้ไขเป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ ซึ่งประกอบด้วยรายงานทั้งหมด 10 เล่ม ได้แก่ รายงานสำหรับผู้บริหาร จำนวน 1 เล่ม ชุดมาตรฐานการปฏิบัติงาน 4 เล่ม (รวม 25 มาตรฐาน) และชุดคู่มือการปฏิบัติงาน 5 เล่ม (รวม 34 เรื่อง) การตีพิมพ์ชุดมาตรฐานและคู่มือการปฏิบัติงานครั้งนี้เป็นการจัดทำขึ้นเป็นครั้งแรก หากผู้ใช้พบว่ามีเนื้อหาส่วนใดยังไม่ครบสมบูรณ์ มีข้อผิดพลาดที่ควรแก้ไขหรือประสงค์จะเสนอแนะความคิดเห็นประการใด โปรดแจ้งให้กรมทรัพยากรน้ำบาดาลทราบ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการพิจารณาแก้ไขปรับปรุงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ขอขอบคุณคณะผู้เชี่ยวชาญจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกภาคส่วน ซึ่งประกอบด้วย เจ้าหน้าที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาลจากฝ่ายต่างๆ ตัวแทนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สมาชิกสมาคมน้ำบาดาลไทย การประปาส่วนภูมิภาค การประปานครหลวง กรมทรัพยากรน้ำ สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัด สมาชิกชมรมช่างเจาะน้ำบาดาลแห่งประเทศไทย ตัวแทนบริษัทที่ปรึกษาด้านน้ำบาดาล ตัวแทนผู้ใช้น้ำบาดาลภาคเอกชน และนักวิชาการจากสถาบันการศึกษาต่างๆ ที่มีส่วนร่วมในกระบวนการจัดทำมาตรฐานและคู่มือการปฏิบัติงาน ซึ่งจัดทำขึ้นเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2550 นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้ให้ความอนุเคราะห์ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และอำนวยความสะดวกต่อการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

โครงการจัดทำมาตรฐานการเจาะ สำรวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

เล่มที่ 1/10 รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร

เล่มที่ 2/10 ชุดมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการสำรวจอุทกธรณีวิทยาและแผนที่น้ำบาดาล (มาตรฐาน ทบ ส 1000-2550 ถึง 4000-2550)

(1) มาตรฐาน ทบ ส 1000-2550 การสำรวจอุทกธรณีวิทยาบนผิวดิน

(2) มาตรฐาน ทบ ส 2001-2550 การคัดเลือกวิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์บนผิวดิน

(3) มาตรฐาน ทบ ส 2002-2550 การสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดินด้วยวิธีการตรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ

(4) มาตรฐาน ทบ ส 2003-2550 การสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดินด้วยวิธีการตรวจวัดความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห

(5) มาตรฐาน ทบ ส 2004-2550 การสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดินด้วยวิธีการตรวจวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

(6) มาตรฐาน ทบ ส 2005-2550 การสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดินด้วยวิธีการตรวจวัดแรงโน้มถ่วงจุลภาค

(7) มาตรฐาน ทบ ส 3000-2550 การสำรวจอุทกธรณีวิทยาใต้ผิวดิน

(8) มาตรฐาน ทบ ส 4000-2550 การจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยา

เล่มที่ 3/10 ชุดคู่มือการปฏิบัติงานด้านการสำรวจอุทกธรณีวิทยาและแผนที่น้ำบาดาล (คู่มือ ทบ ส 1000-2550 ถึง 4000-2550)

(1) คู่มือ ทบ ส 1000-2550 การสำรวจอุทกธรณีวิทยาบนผิวดิน

(2) คู่มือ ทบ ส 2001-2550 การคัดเลือกวิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์บนผิวดิน

(3) คู่มือ ทบ ส 2002-2550 การสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดินด้วยวิธีการตรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ

(4) คู่มือ ทบ ส 2003-2550 การสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดินด้วยวิธีการตรวจวัดความเร็วของคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห

(5) คู่มือ ทบ ส 2004-2550 การสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดินด้วยวิธีการตรวจวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

(6) คู่มือ ทบ ส 2005-2550 การสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดินด้วยวิธีการตรวจวัดแรงโน้มถ่วงจุลภาค

(7) คู่มือ ทบ ส 3000-2550 การสำรวจอุทกธรณีวิทยาใต้ผิวดิน

(8) คู่มือ ทบ ส 4000-2550 การจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยา

เล่มที่ 4/10 ชุดมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล (มาตรฐาน ทบ ป 3001-2550 ถึง 3008-2550)

(1) มาตรฐาน ทบ ป 3001-2550 การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์

(2) มาตรฐาน ทบ ป 3002-2550 การเลือกใช้แบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์

(3) มาตรฐาน ทบ ป 3003-2550 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

(4) มาตรฐาน ทบ ป 3004-2550 การจำลองการไหลของน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของมวลสาร

(5) มาตรฐาน ทบ ป 3005-2550 การประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลตามสภาพปัญหาของพื้นที่

(6) มาตรฐาน ทบ ป 3006-2550 การปรับเทียบผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

(7) มาตรฐาน ทบ ป 3007-2550 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

(8) มาตรฐาน ทบ ป 3008-2550 การจัดทำรายงานผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

เล่มที่ 5/10 ชุดคู่มือการปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล (คู่มือ ทบ ป 1000-2550 ถึง 3000-2550)

(1) คู่มือ ทบ ป 1000-2550 การประเมินแหล่งน้ำต้นทุนของแอ่งน้ำบาดาล

(2) คู่มือ ทบ ป 2000-2550 การประเมินศักยภาพน้ำบาดาลของแอ่งน้ำบาดาลและการจัดทำแผนการใช้น้ำบาดาล

(3) คู่มือ ทบ ป 3000-2550 การจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์และการประยุกต์ใช้

เล่มที่ 6/10 ชุดมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการเจาะและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล (มาตรฐาน ทบ พ 1000-2550 ถึง 7000-2550)

(1) มาตรฐาน ทบ พ 1000-2550 การเจาะเพื่อสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

โครงการจัดทำมาตรฐานการเจาะ สำรวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

เล่มที่ 6/10 ชุดมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการเจาะและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล (มาตรฐาน ทบ พ 1000-2550 ถึง 7000-2550) (ต่อ)

(2) มาตรฐาน ทบ พ 2000-2550 การใช้และการแปลค่าข้อมูลหยั่งธรณีวิทยาหลุมเจาะ
(3) มาตรฐาน ทบ พ 3000-2550 การออกแบบและก่อสร้างบ่อน้ำบาดาล
(4) มาตรฐาน ทบ พ 4000-2550 การพัฒนาบ่อน้ำบาดาล
(5) มาตรฐาน ทบ พ 5000-2550 การสูบทดสอบปริมาณน้ำบาดาล
(6) มาตรฐาน ทบ พ 6000-2550 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนและหินจากหลุมเจาะ
(7) มาตรฐาน ทบ พ 7000-2550 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล

เล่มที่ 7/10 ชุดคู่มือการปฏิบัติงานด้านการเจาะและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล (คู่มือ ทบ พ 1000-2550 ถึง 12000-2550)

(1) คู่มือ ทบ พ 1000-2550 การเจาะเพื่อสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล
(2) คู่มือ ทบ พ 2000-2550 การใช้และการแปลค่าข้อมูลหยั่งธรณีวิทยาหลุมเจาะ
(3) คู่มือ ทบ พ 3000-2550 การออกแบบและก่อสร้างบ่อน้ำบาดาล
(4) คู่มือ ทบ พ 4000-2550 การพัฒนาบ่อน้ำบาดาล
(5) คู่มือ ทบ พ 5000-2550 การสูบทดสอบปริมาณน้ำบาดาล
(6) คู่มือ ทบ พ 6000-2550 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนและหินจากหลุมเจาะ
(7) คู่มือ ทบ พ 7000-2550 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล
(8) คู่มือ ทบ พ 8000-2550 การคัดเลือกและติดตั้งเครื่องสูบน้ำ
(9) คู่มือ ทบ พ 9000-2550 การบำรุงรักษาบ่อน้ำบาดาล
(10) คู่มือ ทบ พ 10000-2550 การออกแบบก่อสร้างและบริหารจัดการระบบประปาบาดาล
(11) คู่มือ ทบ พ 11000-2550 การพิจารณาตัดสินใจสำหรับผู้ว่าจ้างเจาะบ่อน้ำบาดาล
(12) คู่มือ ทบ พ 12000-2550 การประเมินราคากลางการเจาะและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

เล่มที่ 8/10 ชุดมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล (มาตรฐาน ทบ อ 1000-2550 และ 6000-2550)

(1) มาตรฐาน ทบ อ 1000-2550 การวางเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ การติดตามระดับ และคุณภาพน้ำบาดาล
(2) มาตรฐาน ทบ อ 6000-2550 การอุดกลบบ่อน้ำบาดาล

เล่มที่ 9/10 ชุดคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล (คู่มือ ทบ อ 1000-2550 ถึง 7000-2550)

(1) คู่มือ ทบ อ 1000-2550 การวางเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ การติดตามระดับและคุณภาพน้ำบาดาล
(2) คู่มือ ทบ อ 2000-2550 การประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล
(3) คู่มือ ทบ อ 3000-2550 การประเมินผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาลเกินสมดุล
(4) คู่มือ ทบ อ 4001-2550 การเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาล
(5) คู่มือ ทบ อ 4002-2550 การสร้างระบบกักเก็บน้ำใต้ดินด้วยเขื่อนใต้ดิน
(6) คู่มือ ทบ อ 4003-2550 การควบคุมการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน
(7) คู่มือ ทบ อ 4004-2550 การฟื้นฟูเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลโดยวิธีการทางเคมีและชีวภาพ
(8) คู่มือ ทบ อ 5000-2550 การอนุรักษ์แหล่งน้ำบาดาล
(9) คู่มือ ทบ อ 6000-2550 การอุดกลบบ่อน้ำบาดาล
(10) คู่มือ ทบ อ 7000-2550 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการอนุรักษ์แหล่งน้ำบาดาล

เล่มที่ 10/10 ชุดคู่มือการปฏิบัติงานด้านระบบฐานข้อมูลและสารสนเทศน้ำบาดาล (คู่มือ ทบ ฐ 1000-2550)

(1) คู่มือ ทบ ฐ 1000-2550 การปฏิบัติงานด้านระบบฐานข้อมูลและสารสนเทศน้ำบาดาล

สารบัญ

หน้า

คู่มือ ทบ อ 1000-2550 การวางเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ การติดตามระดับและคุณภาพน้ำบาดาล **1**

1. บทนำ 1
2. ขอบเขต 1
3. เอกสารที่ใช้เกี่ยวข้อง 1
4. ศัพท์บัญญัติ 2
5. ความสำคัญและการใช้งาน 2
6. เครื่องจักรกล เครื่องมือ อุปกรณ์ และวัสดุ 2
7. ขั้นตอนในการดำเนินการ 4
   - 7.1 การศึกษาการปนเปื้อนน้ำบาดาล 4
   - 7.2 การศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาล 9
   - 7.3 รูปแบบบ่อสังเกตการณ์ 20
   - 7.4 การเจาะและติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ 20
   - 7.5 การหยั่งธรณีหลุมเจาะ 23
   - 7.6 การเลือกใช้ชนิดและขนาดวัสดุก่อสร้าง 23
   - 7.7 การติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ 24
   - 7.8 การพัฒนาบ่อ 25
   - 7.9 การวัดระดับน้ำ 25
   - 7.10 การเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล และวิเคราะห์คุณภาพน้ำในสนาม 25
   - 7.11 การเก็บและรักษาสภาพตัวอย่าง 26
   - 7.12 บ่อสังเกตการณ์ที่เลิกใช้ 26
   - 7.13 การเตรียมการและความสะอาดของอุปกรณ์ 26
   - 7.14 บันทึกข้อมูลและรายงานผล 27
8. ความปลอดภัย 27
9. บุคลากร 27
10. เอกสารอ้างอิง 27

คู่มือ ทบ อ 2000-2550 การประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล **30**

1. บทนำ 30
2. ขอบเขต 30
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง 30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4. ศัพท์บัญญัติ 31
5. ความสำคัญและหลักการใช้งาน 31
6. คำอธิบายวิธีการ 32
   - 6.1 การประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาล 32
   - 6.2 การประเมินศักยภาพมลสาร 43
   - 6.3 ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ 62
   - 6.4 การประเมินความเสี่ยง 64
7. ขั้นตอนในการดำเนินงาน 75
   - 7.1 รวบรวมข้อมูล 75
   - 7.2 ประเมินความอ่อนไหว 76
   - 7.3 ประเมินศักยภาพมลสาร 76
   - 7.4 ประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อน 76
   - 7.5 ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ 76
8. เอกสารอ้างอิง 77

คู่มือ ทบ อ 3000-2550 การประเมินผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาลเกินสมดุล 80

1. บทนำ 80
2. ขอบเขต 80
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง 80
4. ความสำคัญและการใช้งาน 82
5. การประเมินผลต่อสิ่งแวดล้อม 82
   - 5.1 ระบบนิเวศน์ที่พึ่งพาน้ำบาดาล 82
   - 5.2 ระบบนิเวศวิทยาที่มีความสัมพันธ์กับ น้ำบาดาล 82
   - 5.3 การเสื่อมโทรมของระบบนิเวศน์วิทยา 83
   - 5.4 การป้องกันระบบนิเวศน์ที่พึ่งพาน้ำบาดาล 83
   - 5.5 การประเมินมูลค่าระบบนิเวศน์ที่พึ่งพา น้ำบาดาล 85
6. การเกิดแผ่นดินทรุดจากการสูบน้ำบาดาล 88
   - 6.1 การทรุดตัวแบบยืดหยุ่น 88
   - 6.2 การทรุดตัวแบบไม่ยืดหยุ่น 89
7. การคำนวณการทรุดตัว 90
8. กลไกการเกิดแผ่นดินทรุดจากการสูบน้ำบาดาล 90

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

9. การตรวจวัดการเกิดแผ่นดินทรุด 91
   9.1 การตรวจวัดด้วยสัญญาณดาวเทียม GPS 91
   9.2 การตรวจวัดด้วยวิธี InSAR 91
10. ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินทรุด 91
11. การติดตามเฝ้าระวังการเกิดแผ่นดินทรุด 91
12. การหนุนแทรกของน้ำเค็ม 93
   12.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มตามกฎของ Ghyben-Herzberg 94
   12.2 การหนุนขึ้นของน้ำเค็ม 97
   12.3 การควบคุมการหนุนแทรกของน้ำเค็ม 98
13. เอกสารอ้างอิง 101

คู่มือ ทบ อ 4001-2550 การเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาล 103

1. บทนำ 103
2. ขอบเขต 103
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง 103
4. ศัพท์บัญญัติ 104
5. ความสำคัญและหลักการ 104
6. วิธีการเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาล 105
   6.1 การปล่อยลงสู่ผิวดินโดยตรง 105
   6.2 วิธีเพิ่มน้ำโดยตรงใต้ผิวดิน 110
   6.3 วิธีการผสมผสานระหว่างการอัดเสริมโดยตรงบนผิวดินและใต้ผิวดิน 112
   6.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกวิธีการเพิ่มเติมน้ำ 113
7. ขั้นตอนในการดำเนินงาน 116
   7.1 กิจกรรมขั้นต้น 116
   7.2 การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ 117
   7.3 การออกแบบระบบเติมน้ำ 117
   7.4 การดำเนินการและการบำรุงรักษา 125
   7.5 การปิดโครงการ 125
8. คุณภาพน้ำและกระบวนการบำบัดน้ำ 125
9. ระบบการฝากน้ำและสูบกลับ 129
   9.1 ประเภทของชั้นน้ำที่เหมาะกับระบบการฝากน้ำและสูบกลับ 129

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

9.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบการฝากน้ำและสูบกลับ 130
9.3 องค์ประกอบอื่นๆ 130
10. กรณีศึกษา 132
11. เอกสารอ้างอิง 133

คู่มือ ทบ อ 4002-2550 การสร้างระบบกักเก็บน้ำใต้ดินด้วยเขื่อนใต้ดิน 135

1. บทนำ 135
2. ขอบเขต 135
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง 135
4. ความสำคัญและการใช้งาน 135
5. หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับเขื่อนใต้ดิน 135
6. เกณฑ์การเลือกพื้นที่เพื่อพัฒนาเขื่อนใต้ดิน 136
   6.1 ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา 136
   6.2 ลักษณะทางด้านสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ 138
7. การสำรวจเพื่อคัดเลือกพื้นที่สร้างเขื่อนใต้ดิน 139
   7.1 การสำรวจภูมิปะเทศและการสำรวจธรณีวิทยา 139
   7.2 การสำรวจด้านอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา 139
   7.3 การวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ (hydraulic analysis) 140
   7.4 การตรวจสอบความเป็นไปได้ของการสร้างเขื่อนใต้ดิน 140
8. เอกสารอ้างอิง 142

คู่มือ ทบ อ 4003-2550 การควบคุมการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน 143

1. บทนำ 143
2. ขอบเขต 143
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง 143
4. ศัพท์บัญญัติ 144
5. ความสำคัญและการใช้งาน 144
6. การควบคุมโดยการกักกั้น 144
7. เทคนิคการกักกั้นทางชลศาสตร์ 145
   7.1 การสูบน้ำ 145
   7.2 ร่องกั้นน้ำและร่องระบายน้ำ 149

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

8. เทคนิคการกักกั้นทางกายภาพ 150
   8.1 กำแพงโคลนเหลว 150
   8.2 ม่านปูนอัดฉีด 150
   8.3 กำแพงเข็มพืด 150
   8.4 ชั้นปิดกลบผิวดิน 150
9. ข้อพิจารณาในการวางแผนใช้ระบบการกักกั้น 153
10. บทสรุป 153
11. เอกสารอ้างอิง 154

คู่มือ ทบ อ 4004-2550 การฟื้นฟูเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลโดยวิธีการทางเคมีและชีวภาพ 155

1. บทนำ 155
2. ขอบเขต 155
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง 155
4. ศัพท์บัญญัติ 156
5. ความสำคัญและการใช้งาน 156
6. ขั้นตอนในการดำเนินงาน 156
   6.1 การฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนมลพิษโดยวิธีการทางชีวภาพ 158
   6.2 การฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ 162
   6.3 การฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติ 169
7. เอกสารอ้างอิง 171

คู่มือ ทบ อ 5000-2550 การอนุรักษ์แหล่งน้ำบาดาล 172

1. บทนำ 172
2. ขอบเขต 172
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง 173
4. ศัพท์บัญญัติ 173
5. ความสำคัญและการใช้งาน 173
6. คำอธิบายวิธีการ 173
7. ขั้นตอนในการดำเนินงาน 174
8. การจัดการน้ำบาดาล 174
   8.1 หลักการในการจัดการแอ่งน้ำบาดาล 174
   8.2 การจัดการแอ่งน้ำบาดาลชนิดใช้น้ำร่วมกัน 175

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

9. การอนุรักษ์พื้นที่ต้นน้ำ หรือพื้นที่เพิ่มเติมน้ำบาดาล 176
   9.1 ความสำคัญและบทบาทของการอนุรักษ์พื้นที่ต้นน้ำ 176
   9.2 ชนิดของพื้นที่เพิ่มเติมน้ำ 176
10. การควบคุมปริมาณการใช้น้ำบาดาล 176
   10.1 การจัดแบ่งเขตและชั้นน้ำบาดาล 177
   10.2 การจำแนกผู้ใช้น้ำ 177
   10.3 การจดทะเบียนผู้ใช้น้ำ 177
   10.4 การรวบรวมปริมาณการใช้น้ำบาดาลและระดับน้ำบาดาล 177
   10.5 การกำหนดปริมาณการใช้น้ำบาดาล 177
11. การรวบรวมปัญหาการใช้น้ำบาดาล 177
12. การวางแผนจัดการปัญหาน้ำบาดาล 177
13. เอกสารอ้างอิง 178

คู่มือ ทบ อ 6000-2550 การอุดกลบบ่อน้ำบาดาล 179

1. บทนำ 179
2. ขอบเขต 179
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง 179
4. ศัพท์บัญญัติ 179
5. วัตถุประสงค์ 180
6. เครื่องจักรกล เครื่องมือ อุปกรณ์ และวัสดุ 180
7. ขั้นตอนในการดำเนินงาน 181
8. ความปลอดภัย 184
9. บุคลากร 184
10. เอกสารอ้างอิง 184

คู่มือ ทบ อ 7000-2550 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล เพื่อการอนุรักษ์แหล่งน้ำบาดาล 185

1. บทนำ 185
2. ขอบเขต 185
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง 186
4. ศัพท์บัญญัติ 186
5. ความสำคัญและการใช้งาน 187

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6. การปฏิบัติในการเก็บและตรวจสอบคุณภาพน้ำ 187
   - 6.1 ระเบียบวิธีการเก็บตัวอย่าง 187
   - 6.2 ความถี่ของการเก็บตัวอย่าง 188
   - 6.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล 190
   - 6.4 การสูบน้ำออกจากบ่อและการคำนวณปริมาตรการถ่ายน้ำ 192
   - 6.5 การทำความสะอาดอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง 193
   - 6.6 การบรรจุน้ำตัวอย่างในขวดเก็บตัวอย่าง 193
   - 6.7 การปิดฉลากบนขวดเก็บน้ำตัวอย่าง 194
   - 6.8 การบันทึกข้อมูล 194
   - 6.9 การส่งตัวอย่าง 194
7. การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี 196
8. การเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลและการประกันคุณภาพ 196
   - 8.1 การควบคุมคุณภาพการเก็บตัวอย่าง 196
   - 8.2 การประกันคุณภาพและการควบคุมคุณภาพในการเก็บตัวอย่างภาคสนาม 198
   - 8.3 การประกันคุณภาพและควบคุมคุณภาพในห้องปฏิบัติการ 198
9. เอกสารอ้างอิง 198

คู่มือ ทบ อ 1000-2550
การวางเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ การติดตามระดับและคุณภาพน้ำบาดาล

คู่มือ ทบ อ 1000-2550 เป็นคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล (อ) ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง "2550" หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้ใส่วงเล็บต่อท้ายและระบุ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย [(n)] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย [(ป)] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

คู่มือการวางเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์การติดตามระดับและคุณภาพน้ำนี้ได้รวบรวมขั้นตอนและวิธีการทั้งในด้านทฤษฎีและปฏิบัติเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้เป็นแนวทางซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานให้เกิดความเข้าใจและปฏิบัติงานได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

2. ขอบเขต

2.1 คู่มือนี้จัดขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางควบคู่ไปกับมาตรฐาน ทบ อ 1000-2550 การวางเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ การติดตามระดับ และคุณภาพน้ำ

2.2 แนวทางปฏิบัติที่กล่าวในคู่มือนี้ไม่ครอบคลุมความรับผิดชอบและหรือมีพันธะใดๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น ทั้งนี้ หน่วยงานใดและหรือบุคลากรใด ที่จะใช้คู่มือนี้ต้องศึกษา ทำความเข้าใจ และมีช่างผู้ชำนาญการ ในการปฏิบัติงาน

2.3 หน่วยวัดที่ใช้ในคู่มือนี้เป็นหน่วยวัดระบบเมตริก

3. เอกสารที่ใช้เกี่ยวข้อง

3.1 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

- มาตรฐานชุด ทบ ส 2000-2550 การคัดเลือกวิธีการสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดิน
- มาตรฐาน ทบ ส 3000-2550 การสำรวจอุทกธรณีวิทยาใต้ผิวดิน
- คู่มือ ทบ ส 3000-2550 การสำรวจอุทกธรณีวิทยาใต้ผิวดิน
- คู่มือ ทบ ป 3000-2550 การจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์และการประยุกต์ใช้
- มาตรฐาน ทบ พ 1000-2550 การเจาะเพื่อสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล
- มาตรฐาน ทบ พ 2000-2550 การใช้และการแปลค่าข้อมูลหยั่งธรณีวิทยาหลุมเจาะ
- มาตรฐาน ทบ พ 3000-2550 การออกแบบและก่อสร้างบ่อน้ำบาดาล
- มาตรฐาน ทบ อ 1000-2550 การวางเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ การติดตามระดับ และคุณภาพน้ำบาดาล
- คู่มือ ทบ อ 6000-2550 การอุดกลบบ่อน้ำบาดาล

3.2 American Society for Testing and Materials (ASTM) :

- D 6771 Standard Practice for Low-Flow Purging and Sampling for Wells and Devices Used for Ground-Water Quality Investigations

- D 5717 Standard Guide for Design of Ground-Water Monitoring Systems in Karst and Fractured-Rock Aquifers

- D 1586-08 Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils

- D 1587 Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Soils

3.3 U.S. Geological Survey, 1997. Guidelines and Standard Procedures for Studies of Ground-Water Quality: Selection and Installation of Well and Supporting Documentation, Water-Resource Investigations Report 96-4233.

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 เครื่องตรวจวัดค่า ATP (adenosine triphosphate) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในสนาม สำหรับหาการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ในน้ำโดยวัดค่าฟอสเฟตของกรดอะมิโนที่สิ่งมีชีวิตปล่อยออกมา

4.2 ชั้นน้ำบาดาล (aquifer) หมายถึง ชั้นหินหรือชั้นตะกอนที่มีสมบัติยอมให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างตะกอนกว้าง หรือมีโพรงหรือรอยแตกต่อเนื่องกันจึงทำให้เก็บน้ำไว้ได้เป็นปริมาณมากจนกลายเป็นน้ำใต้ดิน ตัวอย่างได้แก่ หินทราย หินปูน ชั้นตะกอนทราย ชั้นกรวด เป็นต้น (ราชบัณฑิตยสถาน, 2544)

4.3 ท่อกรองบ่อ (well screen) หมายถึง ท่อที่มีช่องว่างให้น้ำจากชั้นหินอุ้มน้ำไหลเข้าบ่อน้ำบาดาล มีทั้งแบบพันด้วยลวดและแบบเชาะร่อง

4.4 ระยะน้ำลด (drawdown) คือระยะความลึกใดความลึกหนึ่ง ที่ลดระดับลงจากระดับน้ำคงที่ เมื่อมีการสูบน้ำบาดาลด้วยอัตราสูบระดับใดระดับหนึ่ง เป็นระยะความลึกระหว่างระดับน้ำคงที่และผิวของกรวยน้ำลด (cone of depression) ซึ่งกรวยน้ำลด จะมีลักษณะเป็นรูปกรวยหงาย เกิดรอบบ่อน้ำบาดาลที่มีการสูบน้ำ

5. ความสำคัญและการใช้งาน

การวางเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในชั้นน้ำบาดาล ดังนี้

5.1 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ คุณภาพน้ำ และทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

5.2 ทิศทางการกระจายตัวและความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่สะสมอยู่ในชั้นน้ำบาดาล

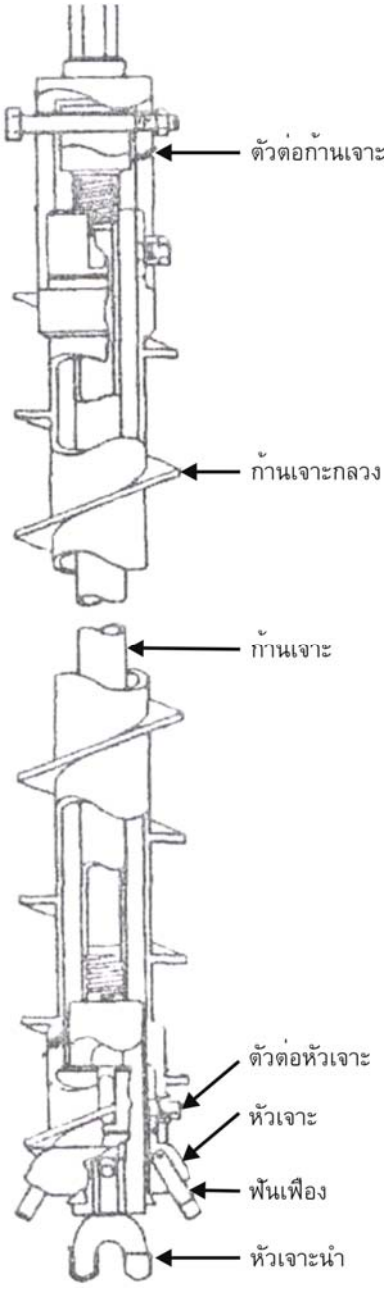
5.3 ข้อมูลที่ได้ สามารถใช้ประโยชน์สำหรับวางแผนฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ถูกปนเปื้อนกลับสู่สภาพเดิมหรือดีขึ้น และเฝ้าระวังสารต่างๆ จากแหล่งปนเปื้อน

6. เครื่องจักรกล เครื่องมือ อุปกรณ์ และวัสดุ

เครื่องจักรกลและอุปกรณ์ ใช้สำหรับงานวางเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ การติดตามระดับและคุณภาพน้ำบาดาล สามารถแบ่งได้ ดังนี้

6.1 เครื่องมือสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดินดูรายละเอียดในมาตรฐาน ทบ ส 2001-2550 การคัดเลือกวิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์บนผิวดิน

6.2 เครื่องเจาะ ติดตั้ง และพัฒนาบ่อสังเกตการณ์ เป็นชุดเดียวกับที่ใช้เจาะ (มาตรฐาน ทบ พ 1000-2550) ก่อสร้าง (มาตรฐาน ทบ พ 3000-2550) และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล (มาตรฐาน ทบ พ 4000-2550) ยกเว้นการใช้เครื่องมือแบบเจาะกลวง (hollow-stem auger) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เฉพาะ (รูปที่ 1) และเครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่างและทดสอบดิน แบบไม่รักษาสภาพทางกลศาสตร์ของชั้นดิน (disturbed sample) หรือแบบรักษาสภาพ (undisturbed sample) โดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่าง (ตามมาตรฐาน ASTM D 1586-08 และ ASTM D 1587)



รูปที่ 1 เครื่องมือแบบเจาะกลวง
(ดัดแปลงจาก U.S. EPA, 1991)

6.3 เครื่องมือหยั่งธรณีหลุมเจาะที่เกี่ยวข้อง คือ Sonic, Resistivity, Natural gamma, Gamma density, Neutron, Caliper, Down hole TV, Vertical flow, Horizontal flow

6.4 เครื่องมือและอุปกรณ์วัดระดับน้ำและเก็บตัวอย่างน้ำ

เครื่องมือวัดระดับน้ำที่นิยมใช้ คือ สายวัดระดับน้ำแบบสายไฟ (electric tape) มีขีดบอกระยะ ต่อเข้ากับเครื่องวัดกระแสหรือความต่างศักย์ทางไฟฟ้า เมื่อหัวอ่านของสายวัดระดับน้ำ สัมผัสกับผิวน้ำ จะแสดงค่าของกระแสหรือความต่างศักย์ และสามารถอ่านระยะความลึก ได้จากขีดบอกระยะบนสายไฟ ปัจจุบันได้มีการพัฒนากล่องบอกสัญญาณที่เป็นเสียงหรือแสงไฟ แทนเครื่องวัดกระแสหรือความต่างศักย์ ในกรณีที่ต้องทราบการเปลี่ยนระดับน้ำอย่างต่อเนื่องต้องใช้เครื่องวัดอัตโนมัติติดตั้งที่บ่อ (automatic water level recorder) มีทั้งแบบปากกาเขียนบนม้วนกระดาษกราฟที่ให้หมุนตามความเร็วของเวลาที่ตั้งไว้ และการบันทึกไว้ในหน่วยความจำระบบดิจิตอล

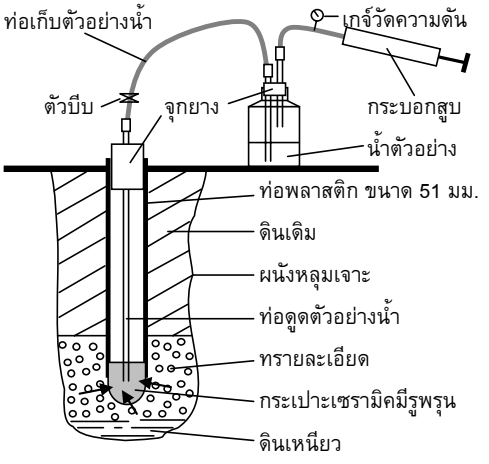
6.5 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ มีหลายรูปแบบ แต่ในที่นี้ จะกล่าวเฉพาะที่ใช้อยู่ทั่วไป ดังนี้

6.5.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

ไลซิมิเตอร์ (lysimeter) เป็นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำที่ประกอบด้วยกระบอกกลวงมีกะเปาะรูพรุนติดอยู่ปลายด้านหนึ่ง อีกด้านหนึ่งต่อท่อเข้ากับขวดเก็บตัวอย่างและเครื่องสูบลม (รูปที่ 2) โดยใช้แรงดูด (suction) น้ำจึงซึมผ่านกระเปาะรูพรุนและสะสมตัวในกระบอก

นอกจากนี้ ยังมีวัสดุอุปกรณ์ประกอบในการเก็บตัวอย่างน้ำอื่นๆ เช่น ขวดเก็บตัวอย่าง สารและเครื่องมือสำหรับฆ่าเชื้อ สารเคมีสำหรับเก็บรักษาตัวอย่าง เป็นต้น (ดูรายละเอียดในคู่มือ ทบ อ 7000-2550)



รูปที่ 2 ไลซิมิเตอร์แบบดูด

6.5.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำในชั้นน้ำบาดาล

(1) กระบอกตัก ทำด้วยเหล็กไร้สนิม หรือพลาสติก ซึ่งอาจจะมีแบบลิ้นกันกลับเดี่ยวหรือคู่ มีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางในของท่อบ่อสังเกตการณ์ โดยทั่วไปบ่อสังเกตการณ์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 51 มม.

(2) เครื่องสูบน้ำแบบสูบที่ปากบ่อ (suction lift pump) เป็นเครื่องสูบน้ำหอยโข่ง หรือลูกสูบ ทำด้วยโลหะ หรือโพลิเมอร์ หรือเป็นเครื่องสูบแบบรีด (peristaltic pump) สูบน้ำโดยมีหัวรีด รีดเส้นท่อที่ยืดหยุ่นได้ในเครื่องสูบ มักจะใช้เส้นท่อที่ทำจากเทฟลอน อัตราการสูบไม่ควรเกิน 2 ลบ.ม./ ชม. และใช้ในกรณีที่ความลึกของระดับขณะสูบในบ่อไม่เกิน 6 ม. (โดยประมาณ) จากเครื่องสูบ

(3) เครื่องสูบแบบจุ่มใต้น้ำ (submersible pump) ในกรณีเก็บตัวอย่างน้ำปนเปื้อนอัตราการสูบไม่ควรเกิน 2 ลบ.ม./ชม. ท่อสูบน้ำ โดยทั่วไป จะใช้สายอ่อน (flexible hose) ทำด้วยโพลิเมอร์

6.6 เครื่องวิเคราะห์คุณภาพน้ำในสนาม หาค่าอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) การนำไฟฟ้าจำเพาะ (conductivity) ค่าสารละลายรวม (total dissolved solids, TDS) ความกระด้างรวม (total hardness) ฯลฯ และสำหรับวิเคราะห์แบคทีเรีย หรือจุลินทรีย์ในน้ำ เช่น เครื่อง ATP เป็นต้น

6.7 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับความปลอดภัยตามที่ได้กล่าวในมาตรฐาน ทบ พ 1000-2550 การเจาะเพื่อสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาลแล้วยังต้องมีเพิ่มเติมเฉพาะในกรณีที่ สารปนเปื้อนเป็นไอระเหยมีพิษ สารประกอบที่สามารถติดไฟหรือระเบิดได้ สารประกอบทางชีวภาพที่มีเชื้อแบคทีเรียหรือไวรัส ต้องมีหน้ากากพร้อมเครื่อง กรองหายใจ เสื้อ กางเกงและหมวกคลุมที่มีคุณสมบัติไม่ซับน้ำ รองเท้าหุ้มส้นยาง ถุงมือยาง และอื่นๆที่จำเป็น หรือกรณีสารปนเปื้อนมีกัมมันตรังสี จำเป็นต้องมีเครื่องมือวัดความปลอดภัยของความเข้มรังสี

7. ขั้นตอนในการดำเนินการ

การวางเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ สามารถจำแนกเป็น 2 ลักษณะ คือ เพื่อการศึกษาการปนเปื้อนน้ำบาดาล และเพื่อการศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาล ดังนี้

7.1 การศึกษาการปนเปื้อนน้ำบาดาล

จำแนกตามขนาดพื้นที่การศึกษาออกเป็น 2 ระดับ คือ พื้นที่ขนาดเล็ก และพื้นที่ขนาดใหญ่ ดังนี้

7.1.1 พื้นที่ขนาดเล็ก ได้แก่ พื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อนหรือมีโอกาสเกิดการปนเปื้อน จากการทิ้งสารปนเปื้อน การรั่วซึมจากที่กักเก็บสารปนเปื้อน เหมืองแร่ หรือฐานปฏิบัติงานต่างๆ หรือพื้นที่สูบน้ำ

บาดาลมากเกินไปและเกิดการดันและแทรกตัวของน้ำกร่อยและน้ำเค็ม (upconing) และอื่นๆ มีขั้นตอนการดำเนินการ ตามผังแสดงในรูปที่ 3 ดังนี้

(1) การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

(1.1) สภาพภูมิศาสตร์ ประกอบด้วยสภาพภูมิอากาศในเรื่องอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน และสภาพภูมิประเทศ ในเรื่องเส้นทางคมนาคม ลุ่มน้ำ ทางน้ำ แหล่งน้ำ ฯลฯ

(1.2) ลักษณะทางธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา เช่น ชนิด ความลึก และคุณลักษณะของชั้นน้ำบาดาล

(1.3) ตำแหน่ง ความลึก ระดับน้ำคงที่ ระยะน้ำลด อัตราการสูบ และคุณภาพน้ำ ของบ่อน้ำบาดาลและบ่อน้ำตื้น ที่มีอยู่ในพื้นที่และบริเวณข้างเคียง

(1.4) ลักษณะของแหล่งปนเปื้อน ว่าเป็นลักษณะใด ซึ่ง Canter (1981) ได้จำแนกออกเป็น 3 แหล่งใหญ่ๆ ได้แก่ (1) แหล่งทิ้งหรือฝังสารปนเปื้อน (waste disposal sources) เช่น บริเวณทิ้งหรือฝังกลบขยะ กองแร่ หรือที่กักกากหางแร่ สระบำบัดน้ำเสีย สถานที่เก็บหรือทิ้งสารกัมมันตรังสี เป็นต้น (2) แหล่งปนเปื้อนที่ได้รับผลกระทบจากที่กักเก็บสารปนเปื้อนหรือฐานปฏิบัติงาน (nondisposal sources) เช่น จากบ่อน้ำบาดาลที่เลิกใช้ การใช้สารเคมีและยาฆ่าแมลงจากภาคการเกษตร ผลจากการเจาะบ่อน้ำมัน ถังกักเก็บหรือท่อส่งสารอันตรายและของเสียอันตรายที่อยู่ใต้ดิน และอุบัติเหตุระหว่างการขนส่ง (3) แหล่งปนเปื้อนน้ำกร่อยเค็มจากการสูบน้ำมากเกินไป เช่น การแทรกตัวของน้ำทะเลในทิศทางแนวราบ การดันตัวจากชั้นน้ำเค็มที่อยู่ด้านล่าง เป็นต้น

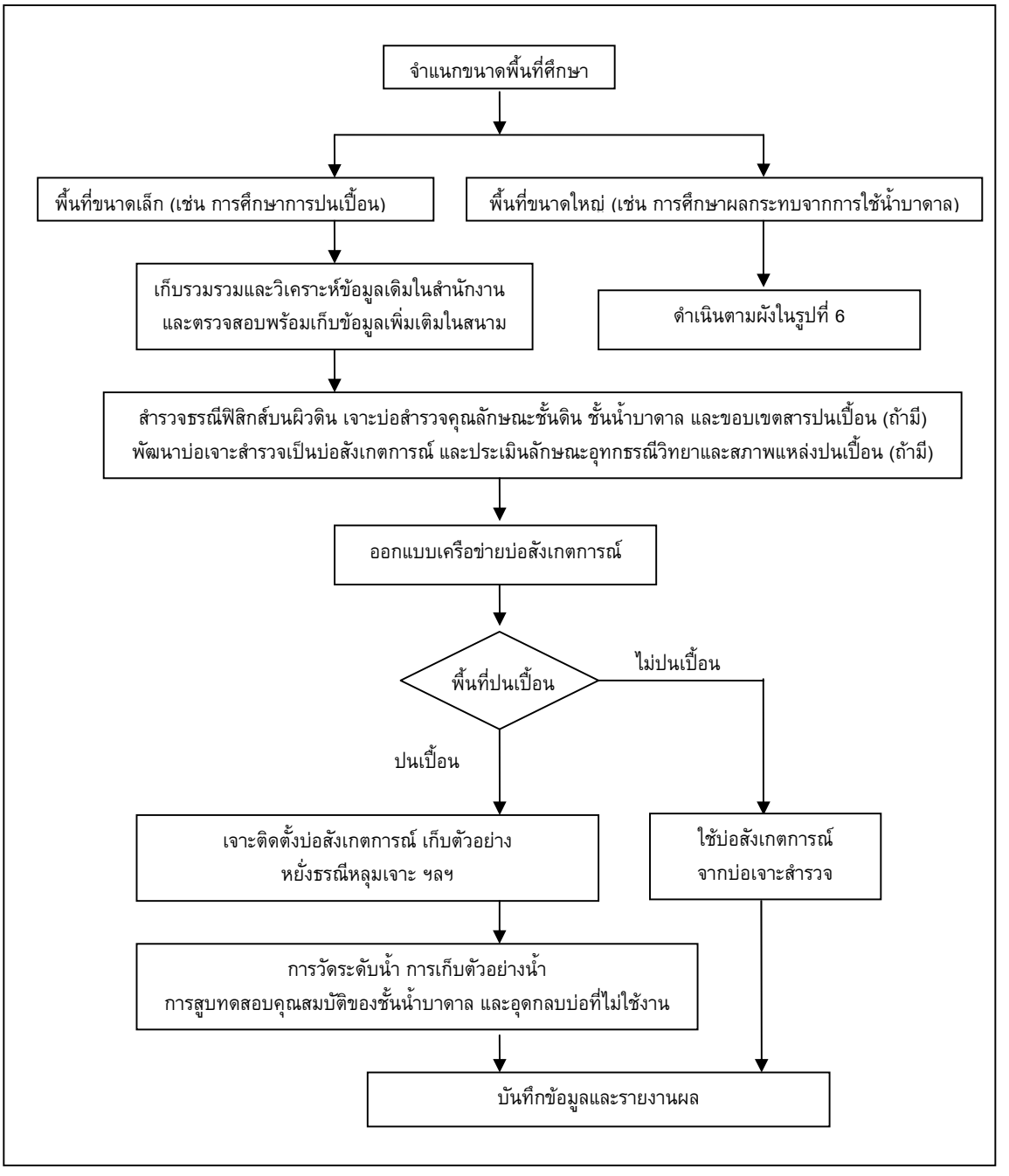
(2) ตรวจสอบ และเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในสนาม ดังนี้

(2.1) ตำแหน่งและชนิดของสาร ประกอบของสิ่งปนเปื้อน เช่น เป็นสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ หรือสารสังเคราะห์อินทรีย์เคมี ตรวจสอบถึงแหล่งปนเปื้อนว่ามาจากประเภทใด เช่น อุตสาหกรรม เทศบาล เหมืองแร่ เกษตรกรรม หรือจากธรรมชาติ (เช่น การแทรกหรือดันตัวของน้ำเค็ม เป็นต้น) และระยะเวลาที่เกิดการปนเปื้อน

(2.2) ศึกษาถึงลักษณะของชั้นดินและหิน พร้อมพิกัดตำแหน่ง และขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของชนิดหรือเนื้อดินและหิน บริเวณที่เกิดการพังถล่มของดิน และจุดที่มีการพุของน้ำในบริเวณพื้นที่ศึกษาหรือข้างเคียง กำหนดเส้นทางการทิ้งน้ำปนเปื้อนหรือมีการบำบัดที่เหมาะสม สำหรับการเจาะ พัฒนาบ่อสังเกตการณ์ และการสูบเก็บตัวอย่างน้ำ

(3) การสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดิน เพื่อประมาณความลึกและขอบเขตการกระจายตัวของการปนเปื้อน ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับออกแบบและกำหนดหลุมเจาะสำรวจ มีเทคนิคการสำรวจหลายวิธี ได้แก่

(3.1) Electromagnetic induction or terrain conductivity หลักการคือส่งคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าลงไปในชั้นดิน ทำให้เกิดคลื่นสนามแม่เหล็กใหม่ ผ่านชั้นดินกลับมายังตัวรับ ซึ่งผลของอัตราส่วนระหว่างคลื่นแม่เหล็กทั้งสอง สามารถนำมาหาค่าการนำไฟฟ้าของชั้นดิน วิธีการสำรวจนี้เหมาะสำหรับตรวจสอบร่องรอยการรั่วซึมของสารไฮโดร-คาร์บอน (hydrocarbon) บริเวณพื้นที่ในเมืองหรือบนบริเวณที่เป็นพื้นถนนหรือพื้นตัวอาคารเพราะไม่ต้องตอกหมุดสำรวจ (Saunders, 1983) การสำรวจด้วยวิธีนี้ยังเหมาะสำหรับหาร่องรอยของ acid mine drai-nage (Ludwig, 1983) หรือตรวจสอบการแทรกตัวของน้ำเค็ม บริเวณชายทะเล หรือหาขอบเขตพื้นที่ฝังของเสียที่อันตราย (Rudy and Caolic, 1984)



รูปที่ 3 ผังแสดงการดำเนินงานวางเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์เพื่อศึกษาการปนเปื้อนน้ำบาดาล

(3.2) Ground penetrating radar หลักการคือส่งคลื่นวิทยุที่มีความถี่สูง ผ่านเครื่องส่งกำลัง (transducer) ลงในชั้นดิน แล้วสะท้อนกลับมายังdigital control unit ซึ่งจะแปลงค่าออกมาเป็นค่าเปรียบเทียบของความต่างศักย์สูงสุด วิธีการนี้เหมาะสำหรับใช้หารูปลักษณะโครงสร้างที่บรรจุหรือกักเก็บสารปนเปื้อนในระดับตื้นๆ เช่น แนวท่อใต้ดิน ถังน้ำมันหรือเคมี ซึ่งวิธีนี้ใช้เวลาน้อยแต่การแปลตีความข้อมูลที่ถูกต้องกระทำได้ค่อนข้างยากและค่าใช้จ่ายสูง

(3.3) Earth resistivity หลักการคือส่งกระแสไฟฟ้าตรง (direct current) ลงไปในชั้นดิน ทำให้ผ่านชั้นดินกลับมายังตัวรับ อ่านค่าความต่างศักย์ที่ได้นำมาหาค่าคุณสมบัติของชั้นดิน นิยมใช้ตรวจสอบขอบเขตการกระจายและความลึก ของชั้นน้ำบาดาลและสารปนเปื้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสารปนเปื้อนที่มีค่าความนำไฟฟ้าที่แตกต่างจากพื้นที่โดยรอบ วิธีนี้ให้ผลค่อนข้างแม่นยำ แต่พื้นที่ที่ศึกษาต้องเป็นพื้นที่ว่างเปล่า ไม่อยู่ในตัวอาคารหรือพื้นถนนคอนกรีตและเป็นพื้นที่มีความยาวพอที่จะตอกหมุดและลากสายไฟสำรวจได้สะดวก

(3.4) Magnetometer วิธีนี้ใช้ตรวจสอบส่วนผิวบนของสารจำพวกโลหะ เหล็ก แมงกานีส โดยผ่านคลื่นแม่เหล็กลงในชั้นดิน

(3.5) Seismic ใช้ตรวจสอบความหนาของชั้นดินและความลึกของหน้าหิน และการแยกลักษณะของแต่ละชั้นหิน โดยผ่านคลื่นสั่นสะเทือนลงไปในชั้นดินหรือหิน และมีตัวรับคลื่นที่สะท้อนหรือหักเหกลับ แล้วนำค่าที่ได้มาแปลเป็นค่าความหนาแน่นของชั้นที่สำรวจ

สามารถดูรายละเอียดเรื่องการสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดินเพิ่มเติมได้ในมาตรฐานและคู่มือ ทบ ส 1000-2550 ถึง มาตรฐานและคู่มือ ทบ ส 2005 การสำรวจที่มากกว่าหนึ่งวิธีจะช่วยให้เกิดความถูกต้อง มีผลดียิ่งขึ้น (Taylor and Cherbauer, 1984) แต่ทั้งนี้ ต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายและระยะเวลาที่ต้องใช้มากขึ้นด้วย

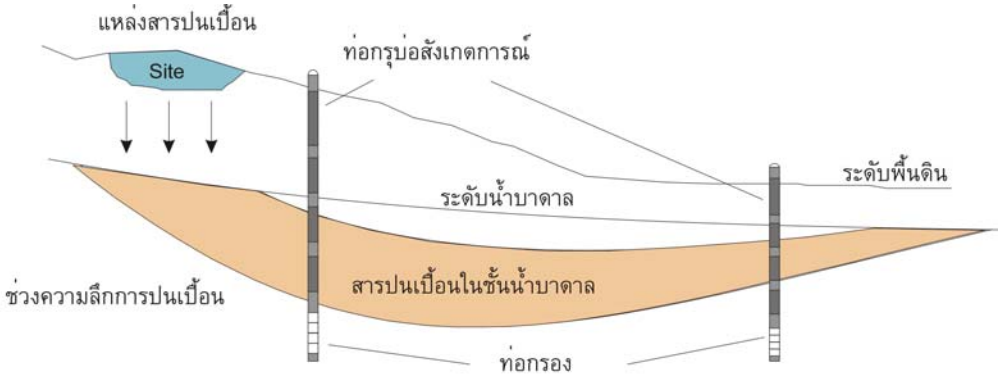
(4) การเจาะสำรวจ ศึกษาความลึก ชนิดและคุณลักษณะ ของชั้นดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำและชั้นน้ำบาดาล ตลอดจนขอบเขตของสารปนเปื้อน (ถ้ามี) ที่กระจายอยู่ในชั้นดินและชั้นน้ำบาดาล ซึ่งการเจาะสำรวจ ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

(4.1) เจาะเก็บตัวอย่างดินเพื่อศึกษาสารปนเปื้อนในชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ใช้วิธีเจาะแบบมือหมุนหรือเครื่องเจาะกลวง เก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนจากหลุมเจาะ ตรวจสอบพร้อมบรรยายลักษณะตัวอย่างดินในสนาม และวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ การเก็บตัวอย่างน้ำ ใช้อุปกรณ์ในข้อ 6.5.1

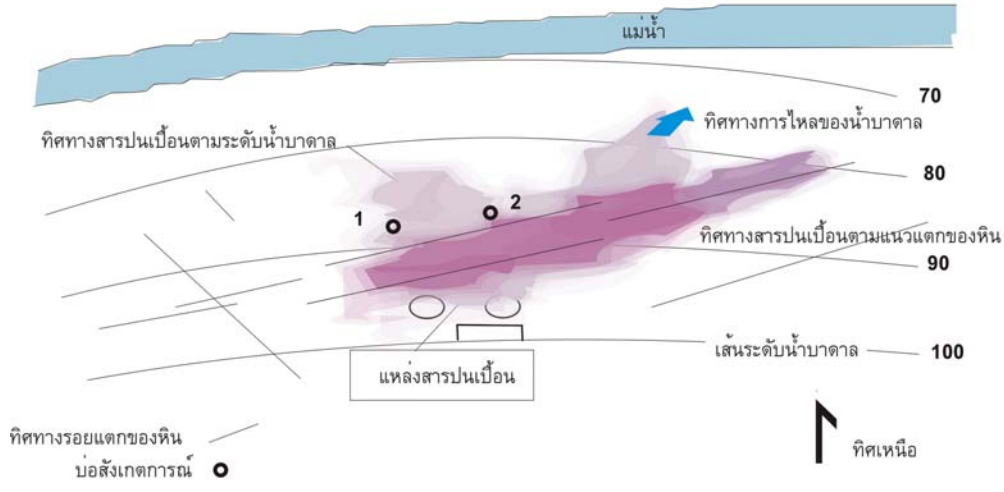
(4.2) เจาะเก็บตัวอย่างดินหินเพื่อศึกษาลักษณะชั้นน้ำบาดาลและสารปนเปื้อนในชั้นน้ำ ใช้เครื่องเจาะแบบหมุนตรง ตามคู่มือ ทบ พ 1000-2550 การเจาะเพื่อสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล การเก็บตัวอย่างน้ำ ใช้อุปกรณ์และปฏิบัติตามในข้อ 6.5.2

(4.3) หยั่งธรณีวิทยาหลุมเจาะเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของชั้นดิน ชั้นน้ำบาดาล และสารปนเปื้อน ให้ดำเนินตามคู่มือ ทบ พ 2000-2550 การใช้และการแปลค่าข้อมูลหยั่งธรณีวิทยาหลุมเจาะ และเลือกวิธีหยั่งธรณีหลุมเจาะตามคู่มือ ทบ ส 2001-2550 การคัดเลือกวิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์บนผิวดิน

การดำเนินงานจากขั้นตอนที่ (1) ถึง (4) ตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องกระทำ มิฉะนั้นแล้วตำแหน่งและความลึกของบ่อสังเกตการณ์ที่เจาะ อาจจะไม่ถูกต้อง และได้ข้อมูลที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง ทำให้ผลการศึกษาคลาดเคลื่อน เช่น ตำแหน่งบ่อเจาะไม่ถูกต้อง (รูปที่ 4) และความลึกเจาะที่ไม่ถูกต้อง (รูปที่ 5)



รูปที่ 4 บ่อสังเกตการณ์ที่ติดตั้งท่อกรองไม่ตรงกับช่วงความลึกของสารปนเปื้อน



รูปที่ 5 ตำแหน่งของบ่อสังเกตการณ์ที่ไม่ครอบคลุมถึงพื้นที่ปนเปื้อนตามแนวแตกของหิน
(Department of Environment Protection, 2001)

(5) ประเมินสภาพทางอุทกธรณีวิทยา ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลหาได้จากระดับน้ำคงที่ในหลุมเจาะสำรวจ และบ่อน้ำบาดาลที่มีอยู่ในบริเวณข้างเคียง แต่ทั้งนี้ต้องมั่นใจว่าข้อมูลที่ได้จากบ่อน้ำบาดาลนั้นๆ เป็นข้อมูลที่ถูกต้องและเป็นตัวแทนระดับน้ำในชั้นน้ำบาดาลเดียวกันกับที่ทำการศึกษา กรณีในรอยแตกหรือโพรงของชั้นหินแข็ง ทดสอบโดยใช้สารติดตาม (tracer) ประมาณความลึกและขอบเขตของสารปนเปื้อนในน้ำบาดาล (ถ้ามี) ในกรณีที่ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ไม่เพียงพอต่อการประเมินทิศทางการไหลของน้ำบาดาล ซึ่งจำเป็นต้องทำการเจาะหลุมสำรวจเบื้องต้นในชั้นน้ำบาดาลอย่างน้อย 3 จุด วางตัวเป็นรูปสามเหลี่ยม เพื่อหาทิศทางการไหลของน้ำบาดาล แต่ทั้งนี้ต้องหาสถานที่หรือทางระบายน้ำที่ได้จากการเจาะให้เหมาะสม หากจุดเจาะอยู่ในพื้นที่ถูกปนเปื้อนและมีสารปนเปื้อนขึ้นมากับน้ำที่ได้จากการเจาะ

(6) การออกแบบเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ เพื่อกำหนด ตำแหน่ง ความลึก และจำนวนของบ่อสังเกตการณ์ ตามผลที่ได้ในข้อ (5) ซึ่งจำแนกออกเป็น พื้นที่ถูกปนเปื้อน และพื้นที่ยังไม่ถูกปนเปื้อน ตามรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1

7.1.2 พื้นที่ขนาดใหญ่ ได้แก่ พื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อนหรือมีโอกาสเกิดการปนเปื้อนจากการดันและแทรกตัวของน้ำทะเลตามแนวชายฝั่งทะเลและการทรุดตัวของแผ่นดินให้ดำเนินการตามขั้นตอนในหัวข้อ 7.2

7.2 การศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาล

มีขั้นตอนการดำเนินการ ตามผังแสดงในรูปที่ 6 ดังนี้

7.2.1 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเดิมและการตรวจสอบและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในสนามให้ปฏิบัติตามที่ได้กล่าวในหัวข้อ 7.1.1 หัวข้อย่อย (1) ถึง (2)

7.2.2 จัดทำแบบจำลองสภาพน้ำบาดาลเบื้องต้นในพื้นที่ดำเนินงานเพื่อกำหนดตำแหน่งและแนวสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดิน เจาะสำรวจ บ่อสูบทดสอบและบ่อสังเกตการณ์ ตามคู่มือ ทบ ป 3000-2550 การจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์และการประยุกต์ใช้

7.2.3 การสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดินและการเจาะสำรวจ ปฏิบัติตามที่ได้กล่าวในหัวข้อ 7.1.1 หัวข้อย่อย (3) ถึง (4) ในกรณีที่มีการศึกษาถึงลักษณะ ทางกลศาสตร์ของชั้นดิน ให้ทำการเจาะเก็บตัวอย่างและทดสอบดิน โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ ตามที่ระบุไว้ในข้อ 6.6 ของมาตรฐาน ทบ อ 1000-2550 การวางเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ การติดตามระดับ และคุณภาพน้ำบาดาล

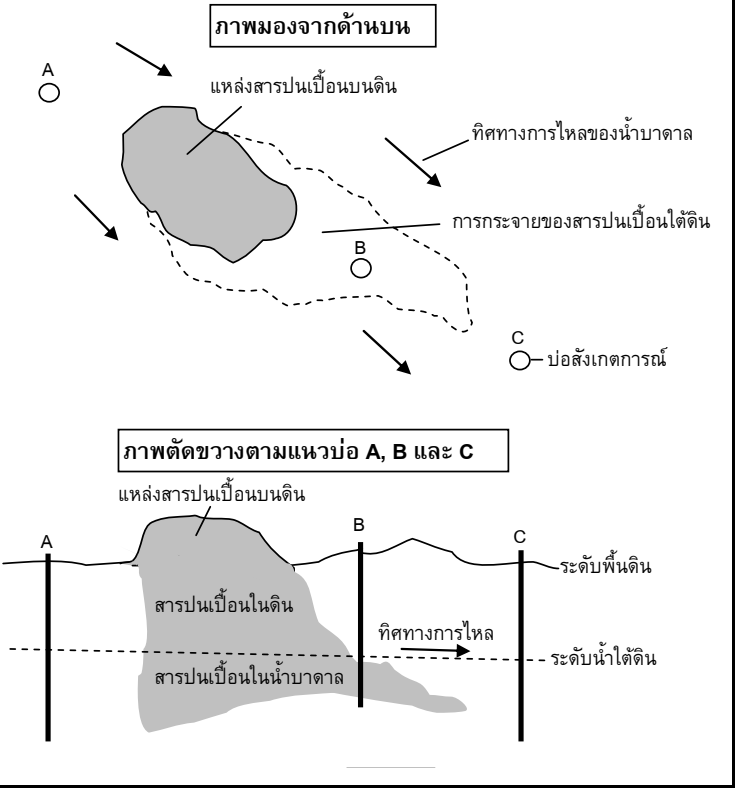
7.2.4 การสูบทดสอบปริมาณน้ำเพื่อหาคุณสมบัติและค่าชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล สำหรับแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล ตามมาตรฐาน ทบ พ 5000-2550 การสูบทดสอบปริมาณน้ำบาดาล

กรณีพื้นที่ปนเปื้อนไม่ควรทำการสูบทดสอบเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน หากมีความจำเป็นให้สูบทดสอบในพื้นที่ห่างออกไป หรือใช้วิธีการอื่นๆ

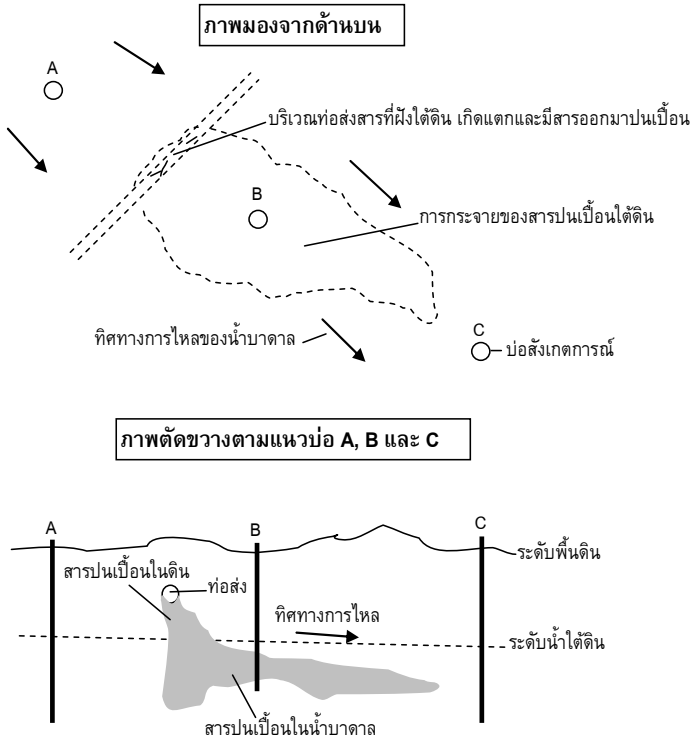
7.2.5 ปรับและสรุปแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลและสภาพการปนเปื้อนให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ในกรณีที่จำเป็นใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ให้ปฏิบัติตาม คู่มือ ทบ ป 3000-2550 การจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์และการประยุกต์ใช้

7.2.6 การออกแบบเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ เพื่อกำหนด ตำแหน่ง ความลึก และจำนวนของบ่อสังเกตการณ์ ตามผลที่ได้ในข้อ 7.2.5 ซึ่งจำแนกเป็นการศึกษาและประเมินสภาพน้ำบาดาล การปนเปื้อนน้ำบาดาลและการทรุดตัวของแผ่นดิน ตามราย ละเอียดแสดงในตารางที่ 2

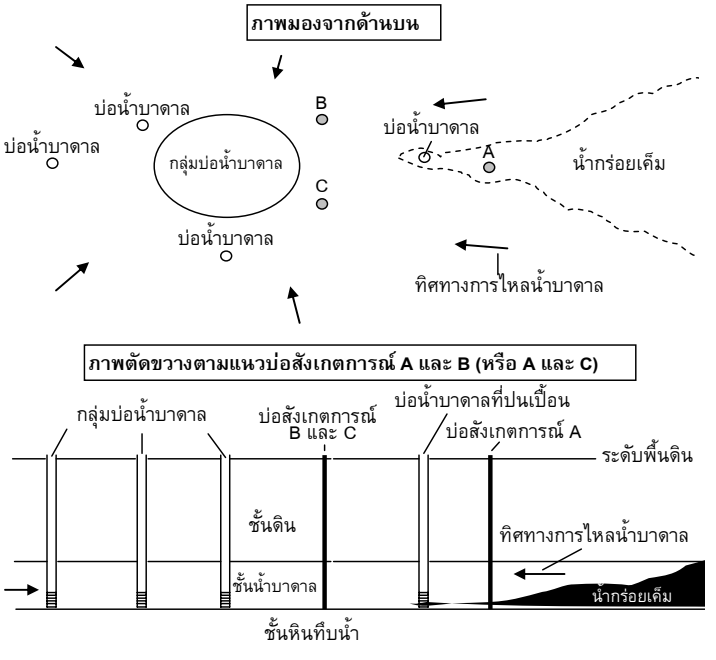
ตารางที่ 1 เครือข่ายบ่อสังเกตการณ์เพื่อศึกษาการปนเปื้อนน้ำบาดาลในพื้นที่ขนาดเล็ก

ลักษณะการปนเปื้อนหรือผลกระทบ	ตำแหน่ง จำนวน และความลึกของบ่อสังเกตการณ์
1. พื้นที่ทิ้งสารปนเปื้อน (เช่น บริเวณทิ้ง หรือฝังกลบขยะ กองแร่หรือที่กักกากหางแร่ สระบำบัดน้ำเสีย สถานที่เก็บหรือทิ้งสารกัมมันตรังสี เป็นต้น)	- อยู่เหนือน้ำของแหล่งสารปนเปื้อน จำนวน อย่างน้อย 1 บ่อ (A) - อยู่ในพื้นที่ถูกปนเปื้อน จำนวนอย่างน้อย 1 บ่อ (B) - อยู่ท้ายน้ำของแหล่งสารปนเปื้อน มาทิศทางพื้นที่ถูกปนเปื้อน (แต่อยู่นอกเขตพื้นที่ถูกปนเปื้อน) จำนวนอย่างน้อย 1 บ่อ(C) - ให้ประมาณทิศทาง ตำแหน่งบ่อทั้งสาม อยู่ในแนวเดียวกับ ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล - จำนวนบ่ออาจจะถูกกำหนดเพิ่ม เพื่อศึกษาทิศทางและขอบเขต การกระจายตัวของสารปนเปื้อน - ระดับความลึกและระยะห่าง จะต้องออกแบบให้เหมาะสม สัมพันธ์กับผลการประเมินสภาพอุทกธรณีวิทยา ลักษณะของสารปนเปื้อนและจุดประสงค์ของงาน 

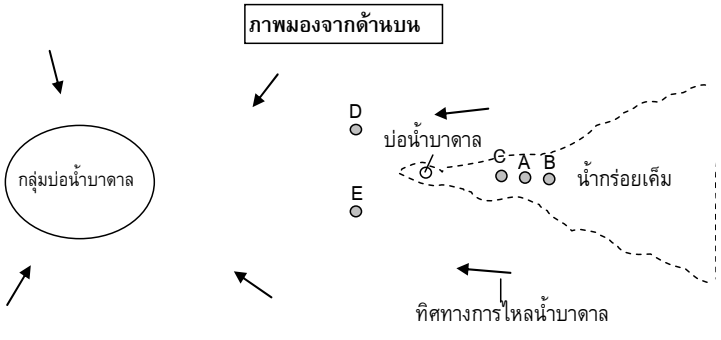
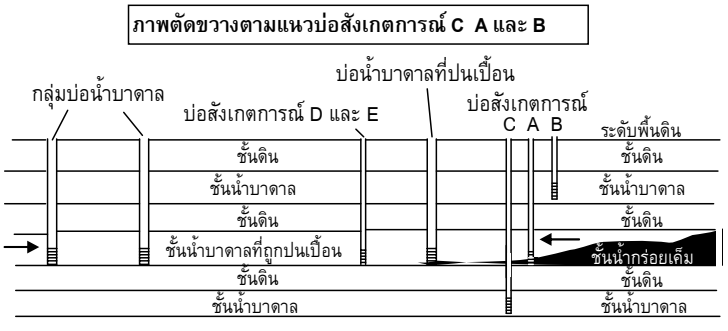
ตารางที่ 1 เครือข่ายบ่อสังเกตการณ์เพื่อศึกษาการปนเปื้อนน้ำบาดาลในพื้นที่ขนาดเล็ก (ต่อ)

ลักษณะการปนเปื้อนหรือผลกระทบ	ตำแหน่ง จำนวน และความลึกของบ่อสังเกตการณ์
2. พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากที่กักเก็บสารปนเปื้อนหรือฐานปฏิบัติงาน (เช่น จากบ่อน้ำบาดาลที่เลิกใช้ การใช้สารเคมีและยาฆ่าแมลงจากภาคการ เกษตร ผลจากการเจาะบ่อน้ำมัน ถังกักเก็บหรือท่อส่งสารอันตรายและของเสียอันตรายที่อยู่ใต้ดิน และอุบัติเหตุระหว่างการขนส่ง เป็นต้น)	- อยู่เหนือน้ำของแหล่งสารปนเปื้อน จำนวน อย่างน้อย 1 บ่อ (A) - อยู่ท้ายน้ำของแหล่งสารปนเปื้อน มาทิศทางพื้นที่ถูกปนเปื้อน (แต่อยู่ในเขตพื้นที่ถูกปนเปื้อน) จำนวนอย่างน้อย 1 บ่อ (B) - อยู่ท้ายน้ำของแหล่งสารปนเปื้อน มาทิศทางพื้นที่ถูกปนเปื้อน (แต่อยู่นอกเขตพื้นที่ถูกปนเปื้อน) จำนวนอย่างน้อย 1 บ่อ (C) - ให้ตำแหน่งบ่อทั้งสาม มีทิศทางอยู่ในแนวเดียวกับ ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล - จำนวนบ่ออาจจะถูกกำหนดเพิ่ม เพื่อศึกษาทิศทางและขอบเขต การกระจายตัวของสารปนเปื้อน - ระดับความลึกและระยะห่าง จะต้องออกแบบให้เหมาะสม สัมพันธ์กับผลการประเมินสภาพอุทกธรณีวิทยา ลักษณะของสารปนเปื้อนและจุดประสงค์ของงาน 

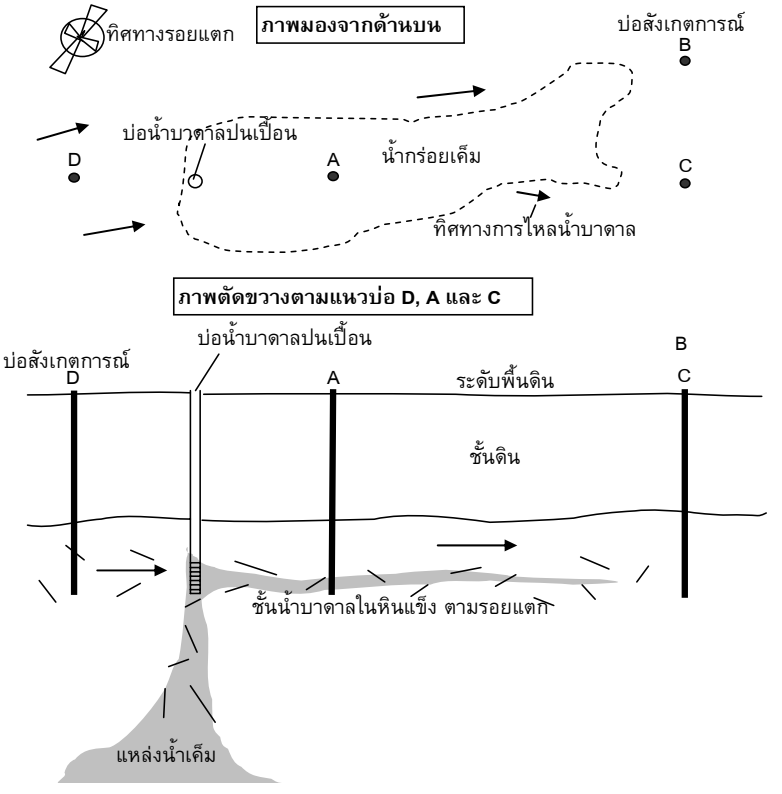
ตารางที่ 1 เครือข่ายบ่อสังเกตการณ์เพื่อศึกษาการปนเปื้อนน้ำบาดาลในพื้นที่ขนาดเล็ก (ต่อ)

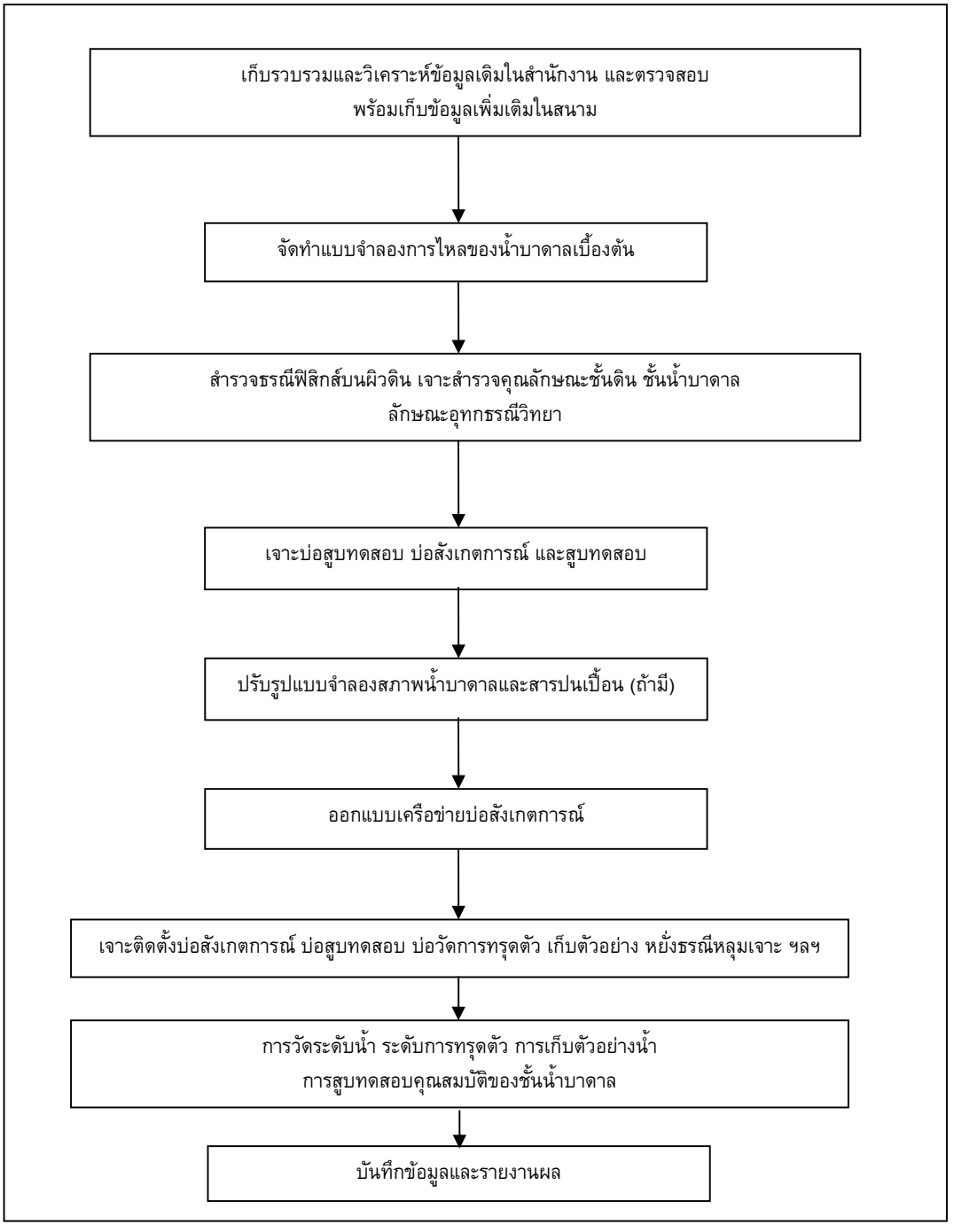
ลักษณะการปนเปื้อนหรือผลกระทบ	ตำแหน่ง จำนวน และความลึกของบ่อสังเกตการณ์
3. พื้นที่สูบน้ำมากเกินสมดุล และเกิดการปนเปื้อนน้ำกร่อยเค็ม 3.1 กรณีแหล่งน้ำกร่อยเค็มอยู่ในแนวระนาบหรือบนผิวดิน 3.1.1 กรณีชั้นน้ำบาดาลชั้นเดียว	- อยู่ในพื้นที่และช่วงความลึกที่ถูกปนเปื้อน จำนวนอย่างน้อย 1 บ่อ (A) ดูรูปที่ - อยู่นอกพื้นที่ถูกปนเปื้อนและอยู่ระหว่างบ่อที่ถูกปนเปื้อนและบ่อที่ยังไม่ถูกปนเปื้อน จำนวนอย่างน้อย 2 บ่อ (B และ C) - ให้แนวบ่อ B และ C ประมาณตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำกร่อยเค็ม - จำนวนบ่ออาจจะถูกกำหนดเพิ่ม เพื่อศึกษาทิศทางและขอบเขต การกระจายตัวของสารปนเปื้อน - ระดับความลึกและระยะห่าง จะต้องออกแบบให้เหมาะสม สัมพันธ์กับข้อมูลของบ่อที่กำลังสูบ ความลึกของชั้นน้ำบาดาล ผลการประเมินสภาพอุทกธรณีวิทยา ลักษณะของสารปนเปื้อนและจุดประสงค์ของงาน 

ตารางที่ 1 เครือข่ายบ่อสังเกตการณ์เพื่อศึกษาการปนเปื้อนน้ำบาดาลในพื้นที่ขนาดเล็ก (ต่อ)

ลักษณะการปนเปื้อนหรือผลกระทบ	ตำแหน่ง จำนวน และความลึกของบ่อสังเกตการณ์
3.1.2 กรณีชั้นน้ำบาดาลหลายชั้น	- อยู่ในพื้นที่ถูกปนเปื้อนและให้ระดับความลึกเดียวกันกับชั้นน้ำบาดาลที่ถูกปนเปื้อน จำนวนอย่างน้อย 1 บ่อ (A) ดูรูปที่ 7 - อยู่ในพื้นที่ถูกปนเปื้อน ในชั้นน้ำบาดาลที่ความลึกอยู่เหนือระดับชั้นน้ำบาดาลที่ถูกปนเปื้อน จำนวนอย่างน้อย 1 บ่อ (B) - อยู่ในพื้นที่ถูกปนเปื้อน ในชั้นน้ำบาดาลที่อยู่ใต้ระดับชั้นน้ำบาดาลที่ถูก ปนเปื้อน (ถ้าชั้นน้ำบาดาล มีตั้งแต่ 3 ชั้น ขึ้นไป) จำนวนอย่างน้อย 1 บ่อ (C) - อยู่นอกพื้นที่ถูกปนเปื้อนและอยู่ระหว่างบ่อที่ถูกปนเปื้อนและบ่อที่ยังไม่ถูกปนเปื้อน ความลึกเดียวกันกับชั้นน้ำบาดาลที่ถูกปนเปื้อน จำนวนอย่างน้อย 2 บ่อ (D และE) - ให้ประมาณทิศทาง ตำแหน่งบ่อ C A และ B อยู่ในแนวเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำบาดาล และประมาณตั้งฉากกับแนวบ่อ D และ E - จำนวนบ่ออาจจะถูกกำหนดเพิ่ม เพื่อศึกษาทิศทางและขอบเขต การกระจายตัวของสารปนเปื้อน - ระดับความลึกและระยะห่าง จะต้องออกแบบให้เหมาะสม สัมพันธ์กับข้อมูลของบ่อที่กำลังสูบ ความลึกของชั้นน้ำบาดาล ผลการประเมินสภาพอุทกธรณีวิทยา ลักษณะของสารปนเปื้อนและจุดประสงค์ของงาน  

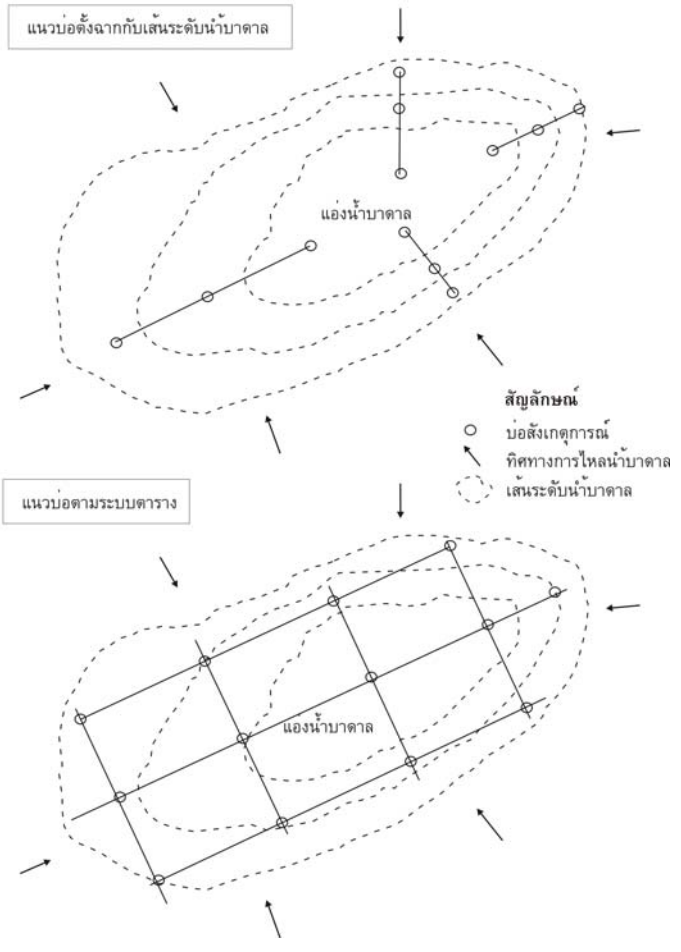
ตารางที่ 1 เครือข่ายบ่อสังเกตการณ์เพื่อศึกษาการปนเปื้อนน้ำบาดาลในพื้นที่ขนาดเล็ก (ต่อ)

ลักษณะการปนเปื้อนหรือผลกระทบ	ตำแหน่ง จำนวน และความลึกของบ่อสังเกตการณ์
3.2 กรณีแหล่งน้ำกร่อยเค็มมีระดับความลึกกว่าชั้นน้ำบาดาลที่สูบน้ำหรือมีการดันตัวของน้ำเค็มในแนวดิ่ง (upconing) รวมถึงแหล่งน้ำพุร้อน	- อยู่ท้ายน้ำ ในพื้นที่และช่วงความลึกเดียวกันกับชั้นน้ำบาดาลที่ถูกปนเปื้อน อย่างน้อย 1 บ่อ (A) - อยู่ท้ายน้ำ นอกพื้นที่และช่วงความลึกเดียวกันกับชั้นน้ำบาดาลที่ถูกปนเปื้อน อย่างน้อย 2 บ่อ (B และ C) ตามทิศทางรอยแตกของชั้นหิน - อยู่เหนือน้ำ นอกพื้นที่และช่วงความลึกเดียวกันกับชั้นน้ำบาดาลที่ถูกปนเปื้อน จำนวนอย่างน้อย 1 บ่อ (D) - ให้ประมาณทิศทาง ตำแหน่งบ่อ D A และ C (หรือ D A และ B) อยู่ในแนวเดียวกับ ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล - จำนวนบ่ออาจจะถูกกำหนดเพิ่ม เพื่อศึกษาทิศทางและขอบเขต การกระจายตัวของสารปนเปื้อน - ระดับความลึกและระยะห่าง จะต้องออกแบบให้เหมาะสม สัมพันธ์กับข้อมูลของบ่อที่กำลังสูบ ความลึกของชั้นน้ำบาดาล ผลการประเมินสภาพอุทกธรณีวิทยา ลักษณะของสารปนเปื้อนและจุดประสงค์ของงาน 

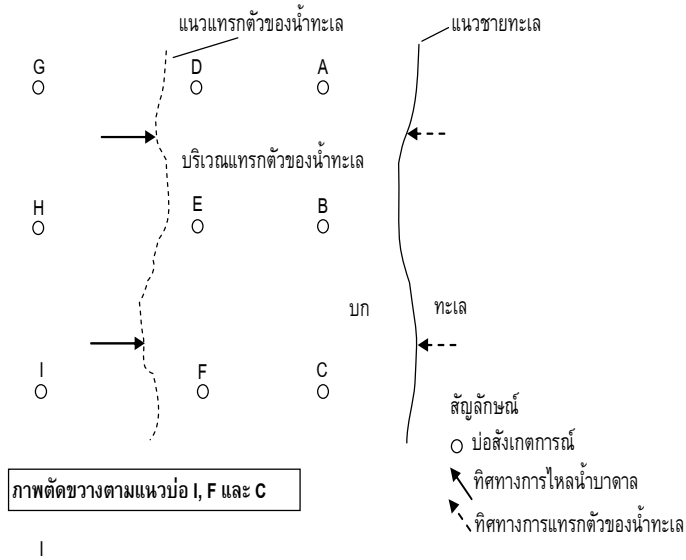
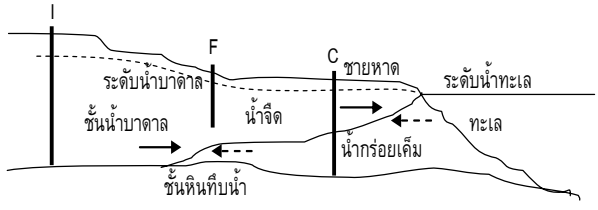


รูปที่ 6 ผังแสดงการดำเนินงานการศึกษาวางเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์เพื่อศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาล

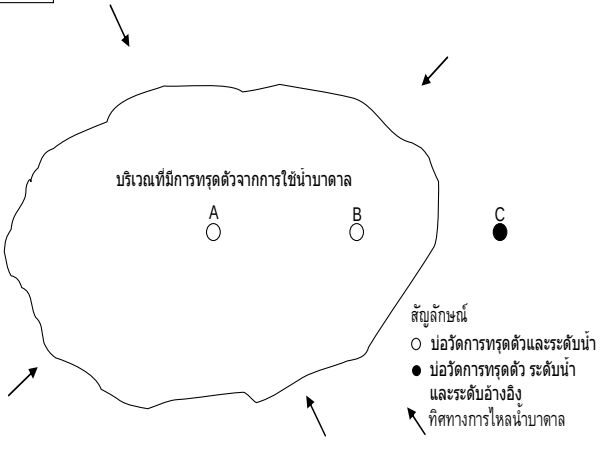
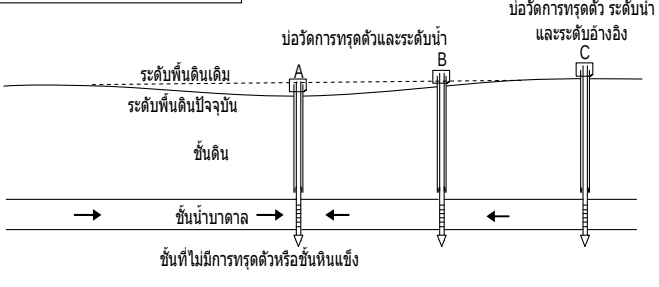
ตารางที่ 2 เครือข่ายบ่อสังเกตการณ์เพื่อศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ขนาดใหญ่

ลักษณะการปนเปื้อนหรือผลกระทบ	ตำแหน่ง จำนวน และความลึกของบ่อสังเกตการณ์
1. ศึกษาและประเมินสภาพน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาล	- ให้มีแนวบ่อสังเกตการณ์ อย่างน้อย 4 แนว แนวละ 3 บ่อ โดยแต่ละแนวตั้งฉากกับเส้นระดับ (contour line) น้ำบาดาล - หรือรูปแบบเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์อาจจะเป็นระบบตาราง (grid system) - ความยาวของท่อกรองในกรณีที่ต้องการทราบแรงดันน้ำบาดาลเฉพาะช่วงความลึกใดความลึกหนึ่งต้องกำหนดให้ความยาวท่อกรองมีขนาดสั้น ส่วนกรณีที่ต้องการทราบค่าเฉลี่ยตลอดความหนาของชั้นน้ำให้กำหนดความยาวท่อกรองตลอดความหนาของชั้นน้ำบาดาล - จำนวน ความลึก และระยะห่างบ่อ ต้องกำหนดให้เหมาะสม สัมพันธ์กับผลที่ประเมินได้ในข้อ 7.2.5 และวัตถุประสงค์ของงาน 

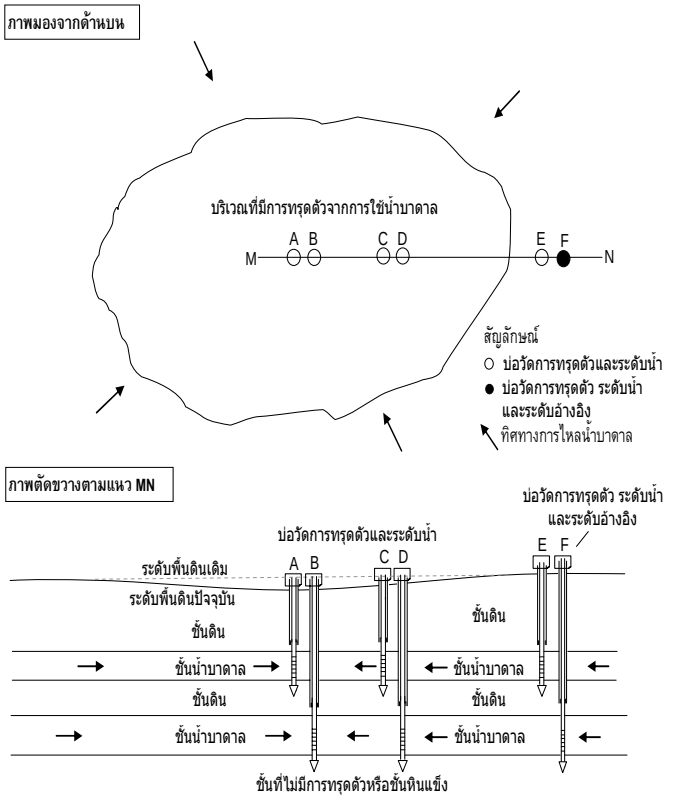
ตารางที่ 2 เครือข่ายบ่อสังเกตการณ์เพื่อศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ขนาดใหญ่ (ต่อ)

ลักษณะการปนเปื้อนหรือผลกระทบ	ตำแหน่ง จำนวน และความลึกของบ่อสังเกตการณ์
2. การปนเปื้อนน้ำบาดาล เช่น พื้นที่แทรกตัวของน้ำเค็มโดยธรรมชาติบริเวณติดกับทะเล และมีการแทรกตัวของน้ำทะเล เข้ามาในชั้นน้ำบาดาล	- อยู่ในพื้นที่และช่วงความลึกที่ถูกปนเปื้อน ให้ขนานกับแนวชายทะเล จำนวนอย่างน้อย 3 บ่อ (A, B และC) - อยู่ในพื้นที่ถูกปนเปื้อน แต่ความลึกอยู่เหนือช่วงระดับสิ่งปนเปื้อน ให้ขนานกับแนวชายทะเล จำนวนอย่างน้อย 3 บ่อ (D, E และF) บ่อF มีวัตถุประสงค์ใช้ตรวจสอบความเค็มในกรณีที่น้ำเค็มเคลื่อนตัวเข้ามาและปนเปื้อนน้ำบาดาลระดับตื้นกว่า - อยู่นอกพื้นที่ถูกปนเปื้อน ให้ขนานกับแนวชายทะเล จำนวนอย่างน้อย 3 บ่อ (G, H และI) - จำนวนบ่ออาจจะถูกกำหนดเพิ่ม เพื่อศึกษาในรายละเอียด ของทิศทางและขอบเขตของพื้นที่ที่ถูกปนเปื้อน - ระดับความลึกและระยะห่างบ่อ จะต้องออกแบบให้เหมาะสมสัมพันธ์กับข้อมูลของบ่อที่กำลังสูบ ความลึกของชั้นน้ำบาดาล ผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดิน และจุดประสงค์ของงาน **ภาพมองจากด้านบน**  **ภาพตัดขวางตามแนวบ่อ I, F และ C** 

ตารางที่ 2 เครือข่ายบ่อสังเกตการณ์เพื่อศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ขนาดใหญ่ (ต่อ)

ลักษณะการปนเปื้อนหรือผลกระทบ	ตำแหน่ง จำนวน และความลึกของบ่อสังเกตการณ์
3. การทรุดของแผ่นดิน 3.1 กรณีมีชั้นน้ำบาดาลชั้นเดียว	- ใกล้กับศูนย์กลางของพื้นที่สูบน้ำที่มีการทรุดตัว ให้ติดตั้งบ่อวัดการทรุดตัว (ตามรูปที่10 ในข้อ 7.3) มีท่อกรองในระดับความลึกเดียวกันกับชั้นน้ำบาดาลที่มีการสูบน้ำ พร้อมอุปกรณ์วัดการทรุดตัวในชั้นดินต่างๆที่อยู่เหนือชั้นน้ำ จำนวนอย่างน้อย 1 บ่อ (A) - ห่างจากศูนย์กลางของพื้นที่สูบน้ำและอยู่ในในพื้นที่ที่มีการทรุดตัว ให้ติดตั้งบ่อแบบเดียวกันกับแบบบ่อ A จำนวนอย่างน้อย 1 บ่อ (B) - อยู่นอกพื้นที่ที่มีการทรุดตัว ให้ติดตั้งบ่อแบบเดียวกันกับแบบ A พร้อมหมุดหลักฐานหรือบ่อระดับอ้างอิง จำนวนอย่างน้อย 1 บ่อ (C) - จำนวน ระยะความลึก และระยะห่างบ่อ ต้องกำหนดให้เหมาะสม สัมพันธ์กับผลที่ประเมินได้ในข้อ 7.2.5 และวัตถุประสงค์ของงานที่จะทำ **ภาพมองจากด้านบน**  **ภาพตัดขวางตามแนวบ่อ A, B และ C** 

ตารางที่ 2 เครือข่ายบ่อสังเกตการณ์เพื่อศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ขนาดใหญ่ (ต่อ)

ลักษณะการปนเปื้อนหรือผลกระทบ	ตำแหน่ง จำนวน และความลึกของบ่อสังเกตการณ์
3.2 กรณีมีชั้นน้ำบาดาลหลายชั้น	- ใกล้กับศูนย์กลางของพื้นที่สูบน้ำที่มีการทรุดตัว ให้ติดตั้งบ่อวัดการทรุดตัว (ตามรูปที่10 ในข้อ 7.3) มีท่อกรองในระดับความลึกเดียวกันกับชั้นน้ำบาดาลที่มีการสูบน้ำ พร้อมอุปกรณ์วัดการทรุดตัวในชั้นดินที่อยู่เหนือชั้นน้ำ จำนวนอย่างน้อย 1 บ่อ ในแต่ละชั้นน้ำบาดาล ในกรณีนี้ ยกตัวอย่าง มี 2 ชั้นน้ำ คือ ชั้นน้ำบน จะเป็นบ่อ A และชั้นน้ำล่าง เป็นบ่อ B (หรือติดตั้งบ่อวัดการทรุดตัวแบบหลายช่วงความลึก ตามรูปที่ 11 ในข้อ 7.3) - ห่างจากศูนย์กลางของพื้นที่สูบน้ำและอยู่ในพื้นที่ที่มีการทรุดตัว ให้ติดตั้งบ่อแบบเดียวกันกับแบบบ่อ A และ B คือ ชั้นน้ำบน จะเป็นบ่อ C และชั้นน้ำล่าง เป็นบ่อ D - อยู่นอกพื้นที่ที่มีการทรุดตัว ให้ติดตั้งบ่อแบบเดียวกันกับแบบบ่อ A และ B คือ ชั้นน้ำบน จะเป็นบ่อ E และชั้นน้ำล่าง เป็นบ่อ F พร้อมติดตั้งระดับอ้างอิงในบ่อ F - จำนวน ระยะความลึก และระยะห่างบ่อ ต้องกำหนดให้เหมาะสม สัมพันธ์กับผลที่ประเมินได้ในข้อ 7.2.5 และวัตถุประสงค์ของงาน 

7.2.7 ตัวอย่างความหนาแน่นของเครือข่ายบ่อสังเกต การณ์ของประเทศต่างๆ ในทวีปยุโรปสำหรับเครือข่ายวัดระดับน้ำ อยู่ระหว่าง 0.11 ถึง 2.27 แห่งต่อพื้นที่ 100 ตารางกิโลเมตร แต่มีบางสถานการณ์ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ที่ความหนาแน่นมากถึง 10.7 แห่งต่อพื้นที่ 100 ตารางกิโลเมตร ส่วนเครือข่ายวัดคุณภาพน้ำ อยู่ระหว่าง 0.02 ถึง 1.61 แห่งต่อพื้นที่ 100 ตารางกิโลเมตร (Jousma and Willems, 1996)

7.3 รูปแบบบ่อสังเกตการณ์

โดยทั่วไปจะคล้ายกับแบบบ่อน้ำบาดาล แต่ขนาดท่อกรุท่อกรองสังเกตการณ์ มีขนาดเล็กกว่าปกติจะมีขนาด 51 มม. (2 นิ้ว) เว้นแต่มีจุดประสงค์เพื่อใช้เป็นบ่อสูบทดสอบ ขนาดของบ่อจะเป็น 101 – 152 มม. (4 - 6 นิ้ว) เนื่องจากบ่อสังเกตการณ์ส่วนใหญ่จะไม่มีการติดตั้งเครื่องสูบน้ำ ห่างไกลจากผู้คนดูแล และต้องป้องกันไม่ให้ตัวอย่างที่เก็บได้ เกิดความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง จึงต้องมีการป้องกันที่ปากบ่อเป็นอย่างดี (รูปที่ 7)

รูปแบบบ่อสังเกตการณ์ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบบ่อเดี่ยว เป็นแบบที่ใช้โดยทั่วไป เพื่อหาข้อมูลที่ช่วงระดับความลึกเดียว ตามรูปที่7 และแบบกลุ่มบ่อ โดยติดตั้งหลายบ่อ ที่ช่วงความลึกต่างกันในหลุมเจาะเดียวกัน (รูปที่ 8) เพื่อหาข้อมูลได้หลายช่วงความลึกหรือหลายชั้นน้ำในหลุมเจาะเดียว

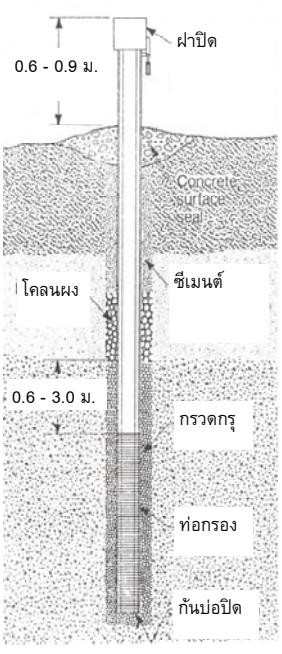
บ่อสังเกตการณ์ ที่ใช้ศึกษาการปนเปื้อนในชั้นน้ำบาดาล ต้องออกแบบให้มีการป้องกันสิ่งปนเปื้อนใดๆ ไม่ให้เข้าไปเจือปนกับตัวอย่างน้ำ ตามช่วงความลึกที่ต้องจะเก็บ เพื่อให้ตัวอย่างน้ำนั้น เป็นตัวแทนของน้ำ ในชั้นน้ำบาดาลที่ช่วงความลึกนั้น (รูปที่ 9)

บ่อสังเกตการณ์อีกประเภทหนึ่ง ใช้วัดการทรุดตัวของพื้นดินที่มีผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาล มีลักษณะเป็นบ่อที่มีท่อสองชั้น ท่อชั้นนอกจะเป็นท่อใช้ตรวจสอบการทรุดตัว ติดตั้งในชั้นดินเหนียวเหนือชั้นน้ำบาดาลที่มีผลกระทบจากการสูบน้ำ ส่วนท่อชั้นใน ใช้เป็นบ่อระดับอ้างอิงและวัดระดับน้ำ ลักษณะเป็นบ่อบาดาล ปลายท่อของบ่อวางตัวในชั้นดินหรือหินที่อยู่ใต้ชั้นน้ำบาดาลนั้นและไม่ได้รับผลกระทบหรือทรุดตัวจากการสูบน้ำ ตามที่ได้แสดงในรูปที่ 10 หรือเป็นแบบทีมีจุดเชื่อมต่อที่ปลายท่อชั้นนอกและท่อชั้นใน มีลักษณะเป็นแบบต่อเลื่อน (slip joint) ทำให้ท่อทั้งสองเป็นอิสระต่อกัน สามารถติดตั้งตัวต่อเลื่อนหลายตำแหน่งความลึกในบ่อเดียวกัน เพื่อตรวจสอบการทรุดตัวเฉพาะของชั้นดินที่ระดับบนสุดและการทรุดตัวสะสมรวมของแต่ละชั้นดิน ที่หลายช่วงความลึกในระดับล่าง (รูปที่ 11) ซึ่งสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติม ได้ใน คู่มือ ทบ อ 3000-2550 การประเมินผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาลมากเกินไปหรือการลดระดับน้ำบาดาล

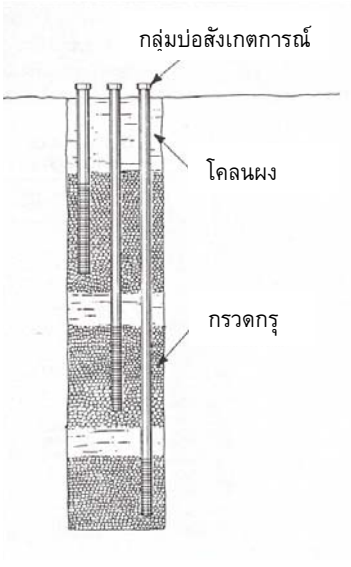
7.4 การเจาะและติดตั้งบ่อสังเกตการณ์

การเจาะบ่อสังเกตการณ์ มีหลายวิธีคล้ายคลึงกับเจาะบ่อน้ำบาดาล สิ่งสำคัญ คือ ต้องป้องกัน อย่าให้เกิดการปนเปื้อนจากการปฏิบัติงานทั้งในบ่อและในชั้นน้ำบาดาล ซึ่งจะทำให้ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จากตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ ผิดไปจากความเป็นจริง

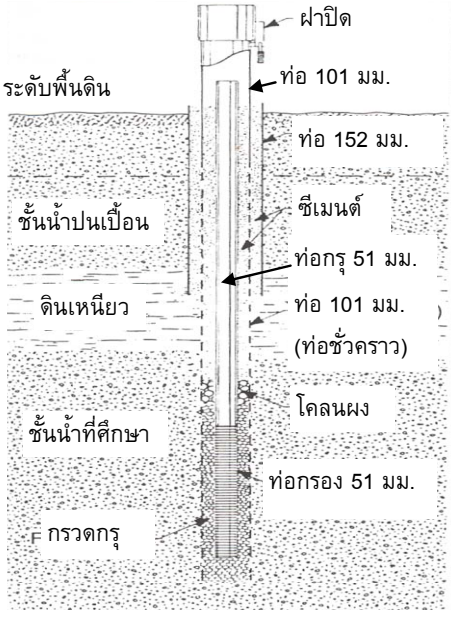
7.4.1 แบบมือหมุน (hand auger) เป็นวิธีเจาะโดยใช้กำลังคน ขนาดหัวเจาะ มักจะเล็กกว่า 102 มม. (4 นิ้ว) ไม่ใช้น้ำ น้ำโคลน หรือลม เป็นชุดเจาะที่คล่องตัว ค่าใช้จ่ายถูก แต่เจาะได้เฉพาะในชั้นดิน ที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำที่ไม่ลึก ไม่เหมาะที่จะเก็บตัวอย่างทราย



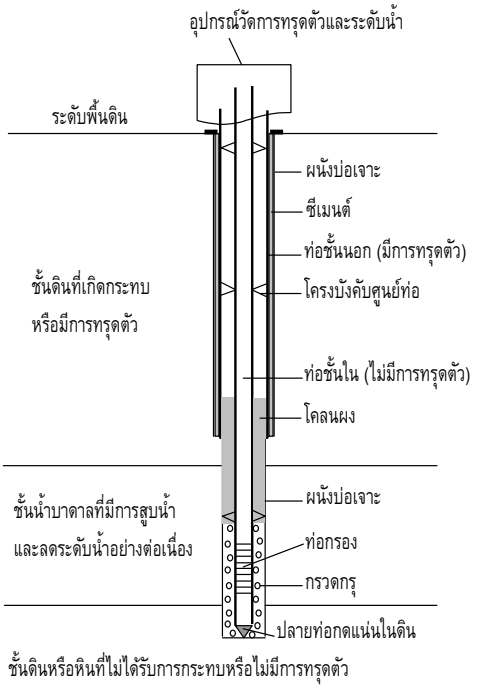
รูปที่ 7 รูปแบบบ่อสังเกตการณ์ (Driscoll, 1987)



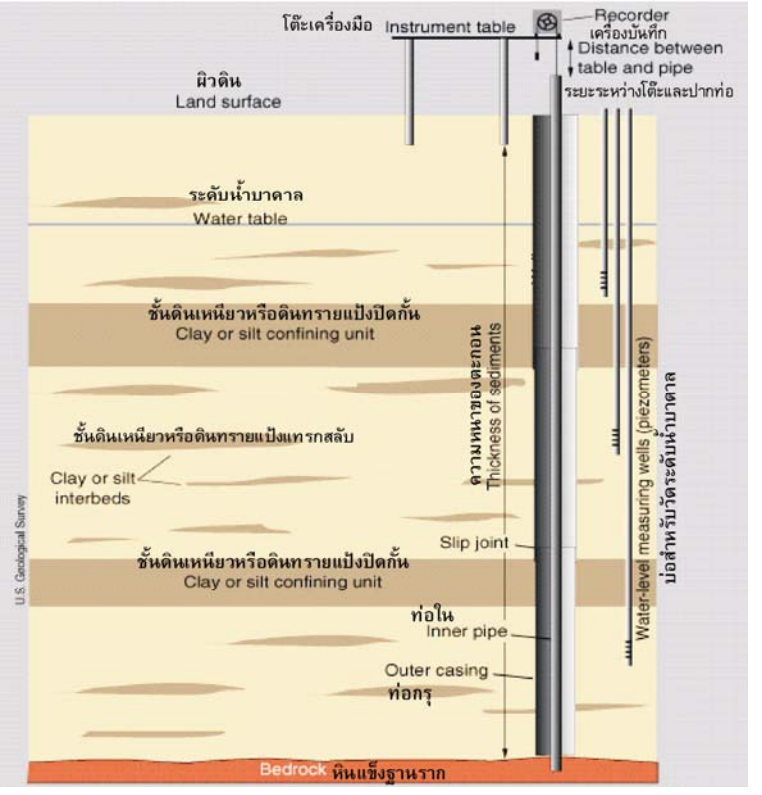
รูปที่ 8 กลุ่มบ่อสังเกตการณ์ (Driscoll, 1987)



รูปที่ 9 บ่อสังเกตการณ์ที่มีการติดตั้งท่อป้องกันการปนเปื้อน (ดัดแปลงจาก Driscoll, 1987)



รูปที่ 10 บ่อวัดการทรุดตัวแบบช่วงความลึกเดียว



รูปที่ 11 บ่อวัดการทรุดตัวแบบหลายช่วงความลึก (ดัดแปลงจาก Leake, 2004)

7.4.2 แบบเจาะกลวง (hollow stem auger) เป็นวิธีเจาะแบบหมุน มีอุปกรณ์เฉพาะ คือ หัวและก้านเจาะที่มีลักษณะกลวง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในมีขนาดใหญ่พอที่จะสอดท่อกรุท่อกรองขนาด 51 มม. (2 นิ้ว) ได้ เจาะในชั้นหินร่วนและลึกกว่าแบบมือหมุน เจาะได้เร็ว และมีความคล่องตัว

7.4.3 แบบหมุนตรง (direct rotary) เป็นวิธีเดียวกับการเจาะบ่อน้ำบาดาล เจาะได้ในชั้นหินร่วนและหินแข็ง สามารถเจาะได้ลึกและเร็ว ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน มาตรฐาน ทบ พ 1000-2550 การเจาะเพื่อสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

7.4.4 แบบกระแทกด้วยลม (down the hole) มีวิธีเดียวกับในข้อ 7.4.3 แต่ใช้ลมแทนน้ำโคลน เหมาะสำหรับเจาะในชั้นหินแข็ง โดยเฉพาะในชั้นหินแข็งมาก เจาะได้เร็วมาก บ่งบอกเมื่อเจาะถึงชั้นน้ำบาดาล สามารถเก็บตัวอย่างน้ำได้ในขณะเจาะ แต่ถ้าเจาะในชั้นหินร่วน ต้องลงท่อกันพังตลอด ทำให้การเก็บข้อมูลธรณีหลุมเจาะได้ไม่ครบทุกค่า (log functions)

7.4.5 แบบกระแทก (cable tool) เจาะได้ในชั้นหินร่วนและหินแข็ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้นหินแข็งปานกลางจะเหมาะสม เช่น หินปูน หินทราย หินดินดาน เป็นต้น ช่วงความลึกการเจาะก่อนถึงระดับน้ำบาดาล ต้องใช้น้ำในการตักตัวอย่างเจาะออก ความเร็วของการเจาะจะช้า บ่งบอกเมื่อเจาะถึงชั้นน้ำบาดาล เก็บตัวอย่างน้ำได้ในขณะเจาะ ไม่เหมาะสำหรับเจาะในชั้นหินร่วน

7.5 การหยั่งธรณีหลุมเจาะ

เพื่อตรวจสอบคุณลักษณะของชั้นหิน หรือชั้นดินทรายและชั้นน้ำบาดาล รวมถึงดูลักษณะภายในบ่อสังเกตการณ์หรือหลุมเจาะ ทิศทางของแนวแตก ทิศทางการไหลและประมาณความเร็วของน้ำบาดาล ตามแต่ละวัตถุประสงค์ที่ต้องการจะตรวจสอบ มีหลายวิธี ดังนี้

7.5.1 Spontaneous potential log (SP) บ่งบอกถึงสภาพคุณภาพน้ำในชั้นน้ำบาดาล ถ้าค่าที่อ่านได้จาก SP สูง แสดงว่า ชั้นน้ำบาดาลมีสารละลายเกลือแร่สูงหรือชั้นดินเหนียว ชั้นหินดินดาน ซึ่งมีประสิทธิภาพการให้น้ำต่ำ ค่า SP ที่อ่านได้จะมีค่าต่ำด้วย

7.5.2 Resistivity log บอกถึงสภาพการต้านทานไฟฟ้า ของแต่ละชั้นหินหรือชั้นดินทราย เช่น ชั้นดินเหนียว จะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่าชั้นทรายหรือชั้นน้ำบาดาลที่เป็นน้ำจืด จะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่าชั้นน้ำบาดาลที่เป็นน้ำเค็ม เป็นต้น

7.5.3 Natural gamma log ใช้ตรวจสอบชั้นดินเหนียว หินดินดาน หินโคลน โดยอาศัยกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ

7.5.4 Gamma-gamma log หรือ Density log ตรวจสอบด้วยกัมมันตรังสี หาคุณลักษณะความพรุนและความหนาแน่น ในชั้นหิน ดิน ทราย การแยกชั้นดินเหนียวและทราย หรือการแบ่งแยกแต่ละชนิดของชั้นหิน

7.5.5 Sonic log ตรวจสอบหาคุณลักษณะความพรุนและความหนาแน่นในชั้นหิน โดยใช้คลื่นเสียง

7.5.6 Neutron log เป็นเครื่องมือตรวจสอบค่านิวตรอนใช้ตรวจสอบความชื้นประกอบในชั้นดินทราย

7.5.7 Caliper log ใช้ตรวจสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลุมเจาะและช่วงความลึกของชั้นหินที่มีรอยแตก

7.5.8 Down hole TV ใช้ตรวจสอบดูสภาพภายในบ่อ หรือลักษณะและทิศทางของแนวแตกโพรง และการเปลี่ยนแปลง ในแต่ละความลึกของชั้นหินแข็ง

7.5.9 Vertical flow ใช้ตรวจสอบทิศทางการไหลและประมาณความเร็วของน้ำบาดาล ตามแนวดิ่งในแต่ละช่วงความลึกของชั้นน้ำบาดาล

7.5.10 Horizontal flow ใช้วัดทิศทางการไหลและประมาณความเร็วของน้ำบาดาล ตามแนวราบ ในแต่ละช่วงความลึกของชั้นน้ำบาดาล

ดูรายละเอียดเรื่องการหยั่งธรณีหลุมเจาะในมาตรฐาน ทบ ส 3000-2550 และตารางที่ 3

7.6 การเลือกใช้ชนิดและขนาดวัสดุก่อสร้าง

7.6.1 ท่อกรุท่อกรอง (well casing and screen) ท่อกรุท่อกรองที่จะใช้ติดตั้งสำหรับบ่อสังเกตการณ์จะต้องมีคุณสมบัติวัสดุ ขนาดและความยาว ตามหลักการพิจารณา ดังนี้

(1) เป็นวัสดุที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับตัวอย่างน้ำที่ต้องการเก็บทดสอบ เช่น ท่อพีวีซี จะเหมาะสมกว่าท่อโลหะ ในกรณีที่สารปนเปื้อน มีสภาพเป็นกรดหรือด่างสูง หรือต้องการทดสอบสารละลายโลหะในน้ำหรือในกรณีศึกษาการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ระเหยง่ายและสารอินทรีย์อื่นๆ ท่อโลหะจะเหมาะสมกว่าท่อพีวีซี เป็นต้น

(2) มีความแข็งแรงเพียงพอต่อสภาพการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน ช่วงทำการพัฒนาบ่อ และเป็นบ่อลึก

(3) ขนาดร่องเปิดท่อกรอง ต้องมีขนาดเหมาะสม ควรมีพื้นที่เปิด 15 - 20% ทำให้น้ำไหลเข้าบ่อที่มีความเร็วเหมาะสม สามารถกรองเม็ดกรวดทราย ในกรวดกรุและชั้นน้ำบาดาล ไม่ให้เข้าบ่อ ดูรายละเอียดเพิ่มเติม เกี่ยวกับการคัดเลือกท่อกรุท่อกรองและการติดตั้งในมาตรฐาน ทบ พ 1000-2550

ตารางที่ 3 การใช้และข้อจำกัดของแต่ละวิธีของการหยั่งธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะ

วิธีการหยั่ง	ตัวนำในหลุมเจาะ		ชนิดท่อกรุ			ท่อกรอง		รัศมีการตรวจสอบ (ซม.)
	อากาศ	น้ำ	เปิด	โลหะ	พลาสติก	มี	ไม่มี	
Sonic	4	1	1	4	4	4	4	5-50
Resistivity	4	1	1	4	3	3	4	5-400
Induction	1	1	1	4	1	1	1	100-400
Natural Gamma	2	2	2	2	2	1	1	5-30
Gamma Density	2	2	2	2	2	1	1	5-15
Neutron	2	2	2	2	2	1	1	5-15
Caliper	1	1	1	1	1	1	1	0
TV	1	2	1	1	1	1	1	0
Borehole Fluid	4	1	1	1	1	1	1	0
Fluid Resistivity Vertical Flow	4	1	1	1	1	1	4	0
Horizontal Flow	4	1	1	1	1	3	4	2-6

หมายเหตุ : 1 คือ ใช้ได้ เพราะตัวนำในหลุมเจาะไม่มีผลกระทบต่อเครื่องหยั่งธรณีฟิสิกส์ 2 คือ ใช้ได้ แต่ต้องมีการปรับค่า
3 คือ ใช้ได้ แสดงเฉพาะคุณลักษณะแต่ไม่แสดงเชิงปริมาณ 4 คือ ใช้ไม่ได้

(ดัดแปลงจาก U.S. EPA, 1991)

(4) หากขนาดของบ่อที่ติดตั้งไม่ลึก และใช้เพียงเพื่อวัดระดับน้ำ จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 51 มม. (2 นิ้ว) แต่สำหรับบ่อลึก มีการเก็บตัวอย่างน้ำ และทดสอบปริมาณน้ำ ขนาดของบ่อควรมีขนาดตั้งแต่ 102 มม. (4 นิ้ว) ขึ้นไป จะทำให้ตัวอย่างน้ำที่เก็บได้นั้น มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น (เพราะการพัฒนาบ่อกระทำได้ดีกว่าบ่อขนาด 51 มม. หรือ 2 นิ้ว) และสามารถหาข้อมูลจากการสูบทดสอบใช้คำนวณหาค่าคุณลักษณะของชั้นน้ำบาดาล

(5) ความยาวท่อกรอง โดยปกติจะติดตั้งยาวประมาณ 1 ม. ตรงตำแหน่งช่วงความลึกที่ต้องการเก็บตัวอย่างน้ำในชั้นน้ำบาดาล

(6) การเชื่อมต่อท่อกรุและท่อกรอง สิ่งที่ดีที่สุด คือ การเชื่อม ถ้าเป็นท่อพีวีซี อาจต่อด้วยแบบเกลียวและข้อต่อ พันทับด้วยเทปเทฟลอน (teflon tape) หรือใส่โอริง (o-ring) ในข้อต่อเกลียว

(7) เป็นวัสดุง่ายแก่การติดตั้งและมีราคาที่เหมาะสม

7.6.2 กรวดกรุ คุณสมบัติ และขนาดของกรวดกรุให้ใช้ตามมาตรฐาน ทบ พ 1000-2550

7.6.3 การอุดข้างบ่อให้ใช้ตามมาตรฐาน ทบ พ 1000-2550

7.7 การติดตั้งบ่อสังเกตการณ์

7.7.1 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ เช่น โครงฐานวางท่อกรุท่อกรอง หูหิ้ว ลวดสลิง กุญแจจับและขันท่อ ฯลฯ ต้องสะอาดปราศจากสิ่งปนเปื้อนใดๆ อาจใช้ผงซักฟอก และฉีดล้างด้วยน้ำสะอาด หรือใช้สาร โซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) ไตรโซเดียมฟอสเฟส (trisodium phosphate) แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ (calcium hypochlorite) (Richter and Collentine, 1983)

7.7.2 การลงท่อกรุท่อกรอง ใช้วิธีเดียวกับการลงท่อบ่อน้ำบาดาล (มาตรฐาน ทบ พ 1000-2550) และการต่อท่อควรใช้วิธีเชื่อม (welding) ถ้าต่อด้วยเกลียวและข้อต่อ ควรพันทับด้วยเทปเทฟลอนหรือใส่

โอริงในข้อต่อเกลียว ห้ามใช้น้ำยาละลาย (solvent) เชื่อมประสานเป็นอันขาด เพราะท่อ พีวีซีเชื่อมต่อโดยใช้น้ำยาละลาย จะทำให้ตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ มีการปนเปื้อน ของสารเตตระไฮโดรฟูราน (tetrahydrofuran) เมทธีลเอทธีลคีโตน (methylethyl ketone) เมทธีลบูทีล คีโตน (methylbutyl ketone) และสารอินทรีย์สังเคราะห์อื่นๆ (Sosebee et al., 1983)

7.7.3 การกรุกรวด ใช้ขนาดกรวดที่เหมาะสมกับร่องเปิดของท่อกรอง และเม็ดกรวดทรายของชั้นน้ำบาดาลในชั้นหินร่วน (ตามมาตรฐาน ทบ พ 1000-2550) แต่ในกรณีที่ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ขนาดเม็ดกรวดทรายของชั้นน้ำบาดาลแล้ว โดยทั่วไปจะใช้ขนาดกรวดกรุ 2 – 5 มม. หรือในชั้นน้ำบาดาลที่เป็นชั้นหินแข็ง อาจไม่จำเป็นต้องกรุกรวด

7.7.4 การอุดข้างบ่อ โดยทั่วไปมักจะใช้ซีเมนต์ จะมีข้อเสีย สำหรับบ่อที่เป็นท่อพีวีซีเพราะเมื่อซีเมนต์แข็งตัว จะหดตัว (shrinkage) และเกิดเป็นช่องว่างเล็กๆ ระหว่างผิวท่อและซีเมนต์ หรือเกิดรอยแตก (cracking) ในซีเมนต์ (Wehrmann, 1983) หรืออาจจะใช้ซีเมนต์ผสมโคลนเจาะ (bentonite) ใส่โคลนผง 1.4 - 2.3 กก. ในน้ำ 25 ลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วเติมซีเมนต์ 42.6 กก. (Driscoll, 1987) วัสดุที่ใช้ติดตั้งทุกชนิด ต้องไม่เป็นวัสดุปนเปื้อน ไปเจือปนน้ำในบ่อและในชั้นน้ำบาดาล ทำให้ตัวอย่างน้ำที่เก็บได้เกิดความคลาดเคลื่อน

7.8 การพัฒนาบ่อ

การพัฒนาบ่อสังเกตการณ์ กระทำโดยวิธีการตักน้ำ สูบน้ำด้วยลม เครื่องสูบแบบติดตั้งที่ปากบ่อ หรือด้วยเครื่องสูบน้ำแบบจุ่มใต้น้ำ แต่มีข้อแตกต่างจากการพัฒนาบ่อน้ำบาดาลทั่วไป คือพยายามสูบน้ำออกจากบ่อด้วยปริมาณน้ำน้อยๆ และสม่ำเสมอ จนกระทั่งน้ำที่สูบได้ มีค่าสารละลายรวม (Total Dissolved Solids, TDS) คงที่หรือค่อนข้างคงที่ ไม่ควรใช้วิธีการพัฒนาบ่อแบบรุนแรง เช่น แบบอัดและดึงด้วยลูกสูบ การเป่าอัดกวนน้ำและสูบออกด้วยลม เป็นต้น (ดูรายละเอียดในมาตรฐาน ทบ พ 4000-2550 การพัฒนาบ่อน้ำบาดาล)

7.9 การวัดระดับน้ำ

ใช้เครื่องมือวัดระดับน้ำ แบบสายเทปไฟฟ้า หรือเครื่องวัดอัตโนมัติติดตั้งที่บ่อ ตามที่ได้กล่าวในข้อ 6.5 โดยมีจุดระดับอ้างอิง (reference point) ซึ่งอาจจะเป็น ระดับน้ำทะเลปลานกลาง ระดับพื้นดินหรือจุดอ้างอิง ที่สร้างขึ้นใช้เฉพาะในแต่ละพื้นที่

กรณีมีการสูบทดสอบปริมาณน้ำ ให้ปฏิบัติตามวิธีการวัดระดับน้ำ ในมาตรฐาน ทบ พ 5000-2550

7.10 การเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล และวิเคราะห์คุณภาพน้ำในสนาม

7.10.1 การเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล ต้องทำการสูบน้ำขังทิ้งออกจากบ่อ ด้วยปริมาณน้ำรวมประมาณ 3-10 เท่า ของปริมาตรน้ำที่ขังอยู่ในบ่อ (Driscoll, 1987) หรือกระทั่งคุณภาพของน้ำอยู่ในสภาวะ ค่าของสารละลายรวม หรือค่าความเป็นกรดด่าง ค่อนข้างคงที่ แล้วจึงทำการเก็บตัวอย่าง บางกรณีไม่ต้องสูบน้ำขังทิ้งออกจากบ่อ เช่น การติดตามผลการฟื้นฟูสภาพพื้นที่ที่ถูกปนเปื้อน ซึ่งต้องเก็บตัวอย่างน้ำ ที่จุดความลึกที่ระบุไว้ ในบ่อสังเกตการณ์ ที่มีการติดตั้งท่อกรองยาว หรือติดตั้งท่อกรองหลายระดับความลึก ซึ่งมีวิธี ดังต่อไปนี้

(1) การใช้กระบอกตัก กระทำโดยหย่อนกระบอกตัก ลงอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้เกิดการกวนน้ำในบ่อ หรือเกิดน้อยที่สุด ในช่วงแรกที่ตักน้ำทิ้ง ควรตักที่ระดับบนๆของน้ำในบ่อ หลังจากนั้น ค่อยๆหย่อนกระบอกตัก ลงอย่างช้าๆ ในตำแหน่งช่วงความลึกของท่อกรอง หรือในระดับความลึกที่ต้องการเก็บตัวอย่าง ปล่อยทิ้งไว้สักครู่ เมื่อน้ำเข้าเต็มกระบอก

แล้ว ดึงกระบอกขึ้นอย่าช้าๆ (ในช่วงการขึ้นลงของกระบอกตักพยายามไม่ให้กระบอกตักครูดผิวท่อกรุท่อกรอง) จากนั้น ถ่ายน้ำลงในขวดเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกตักจะเป็นวิธีการที่ดีซึ่งสามารถใช้ได้ในทุกกรณีและวัตถุประสงค์สะดวกต่อการดำเนินการ ประหยัดพลังงาน

(2) เครื่องสูบน้ำ แบบสูบที่ปากบ่อ (ใช้ในกรณีที่ระดับน้ำขณะสูบ ลึกไม่เกินกว่า 6 ม. จากเครื่องสูบ) ติดตั้งท่อดูดน้ำที่เป็นโลหะเหล็กไร้สนิมหรือพลาสติกชนิดที่ทนแรงดันและไม่ทำปฏิกิริยากับสารปนเปื้อน มีลิ้นกันกลับติดที่ส่วนปลายท่อ ลงในบ่ออย่างช้าๆ ในตำแหน่งระดับความลึกที่ต้องการเก็บตัวอย่างน้ำ สูบน้ำทิ้งอย่างช้าๆ กระทั่งค่าความเป็นกรดด่าง หรือค่าสารละลายรวมในน้ำ ที่วัดได้มีค่าค่อนข้างคงที่ หลังจากนั้น ทำการเก็บตัวอย่าง บรรจุในขวดหรือภาชนะเก็บตัวอย่าง เครื่องสูบน้ำที่นิยมใช้จะเป็นแบบหอยโข่ง ที่ทั้งเสื้อและใบพัด ทำด้วยโลหะเหล็กไร้สนิม ในกรณีที่ต้องการเก็บตัวอย่างน้ำที่มีสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ควรใช้เครื่องสูบน้ำแบบรีด (Nielsen and Yeates, 1985)

(3) เครื่องสูบแบบจุ่มใต้น้ำ มักจะทำด้วยโลหะเหล็กไร้สนิม เป็นที่นิยมใช้สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล ในบ่อสังเกตการณ์ที่มีขนาด ตั้งแต่ 76 มม. (3 นิ้ว) ขึ้นไป เหมาะกับบ่อที่มีระดับน้ำขณะสูบลึกกว่า 6 ม. หรือบ่อที่ใช้สำหรับสูบทดสอบปริมาณน้ำ กระทำโดยติดตั้งเครื่องสูบน้ำ ที่ระดับความลึกที่ต้องการเก็บตัวอย่าง จากนั้น สูบน้ำทิ้งอย่างช้าๆ กระทั่งค่าความเป็นกรดด่าง หรือค่าสารละลายรวมในน้ำ ที่วัดได้มีค่าค่อนข้างคงที่ หลังจากนั้น ทำการเก็บตัวอย่าง บรรจุในขวดหรือภาชนะเก็บตัวอย่าง อัตราการสูบเพื่อเก็บตัวอย่างน้ำ ไม่ควรเกิน 2 ลบ.ม./ ชม.

7.10.2 ในกรณีเก็บตัวอย่างสารปนเปื้อน ที่เป็นสารอินทรีย์เหลวที่หนักกว่าและไม่ละลายน้ำ (DNAPLs) ควรทำการเก็บตัวอย่างที่ก้นบ่อ ส่วนสารอินทรีย์เหลวที่เบากว่าและไม่ละลายน้ำ (LNAPLs) ควรเก็บตัวอย่างที่ระดับกลางถึงระดับบนของช่วงท่อกรอง

7.10.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในสนาม มีดังนี้

(1) ลักษณะทางกายภาพ และทางเคมี จะครอบคลุมถึง สี ความขุ่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สารละลายรวมในน้ำ (TDS) คลอไรด์ (chloride) เหล็ก (iron) ความกระด้างทั้งหมด (total hardness)

(2) ลักษณะทางชีวภาพ วิเคราะห์สารอินทรีย์หรือแบคทีเรีย ที่อาจจะมีปนเปื้อนในน้ำ โดยใช้เครื่องมือตรวจสอบในสนาม ที่เรียกว่า ATP วัดหาค่า adenosine triphosphate เป็นต้น

7.11 การเก็บและรักษาสภาพตัวอย่าง

ให้ดำเนินตามมาตรฐาน ทบ อ 7000-2550

7.12 บ่อสังเกตการณ์ที่เลิกใช้

ดำเนินการอุดกลบบ่อ ตามคู่มือ ทบ อ 6000-2550 การอุดกลบบ่อน้ำบาดล

7.13 การเตรียมการและความสะอาดของอุปกรณ์

7.13.1 ต้องมีการเตรียมการและวางแผนที่ดี เพื่อให้ดำเนินงานเป็นไปตามวัตถุประสงค์ ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย

7.13.2 ต้องปรับความเที่ยงตรงของเครื่องมือก่อนใช้งาน ทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์ก่อนและหลังในแต่ละครั้งของการเก็บแต่ละตัวอย่าง

7.14 บันทึกข้อมูลและรายงานผล

การดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนผู้ปฏิบัติจะต้องบันทึกข้อมูลและรายงานผลการดำเนินงานเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการดำเนินงานในขั้นตอนต่อไป

8. ความปลอดภัย

การปฏิบัติงานด้านความปลอดภัยให้ปฏิบัติตามมาตรฐาน ทบ พ 1000-2550 การเจาะเพื่อสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล และข้อปฏิบัติเพิ่มเติม ดังนี้

8.1 อบรมถึงขอบเขตของงานและคุณลักษณะของสารปนเปื้อนที่เกี่ยวข้อง สิ่งที่ห้ามกระทำในบริเวณพื้นที่ทำงาน การทำความสะอาดและการบำรุงรักษาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ พิษภัยที่อาจจะเกิดขึ้น การปฐมพยาบาล ตลอดจนเรื่องอื่นๆที่จำเป็น

8.2 ใส่ชุดปฏิบัติงานที่มีการป้องกันที่เหมาะสมกับสารปนเปื้อน

8.2.1 ไอระเหยจากสารที่มีพิษต้องมีหน้ากากกรองการหายใจ หมวก แว่นตา และอุปกรณ์ป้องกันที่ไม่ซับน้ำ เช่น ถุงมือยาง รองเท้าบูทยาง เป็นต้น

8.2.2 สารที่สามารถติดไฟ หรือระเบิดได้ ต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันที่ไม่เกิดประกายไฟ เช่น รองเท้าหุ้มส้นที่ไม่เป็นหัวหรือพื้นเหล็ก เป็นต้น ต้องมีเครื่องตรวจจับก๊าซ เครื่องดับเพลิง และใช้เครื่องมือที่สามารถเกิดประกายไฟ เช่น สว่านเจาะ โทรศัพท์ มือถือ เป็นต้น ในบริเวณที่จัดไว้

8.2.3 สารประกอบทางชีวภาพที่มีเชื้อแบคทีเรียหรือไวรัส ต้องมีอุปกรณ์ป้องกัน เช่น ผ้ากรอง หรือหน้ากากกรองในการหายใจ แว่นตา มีถังพ่นหรืออ่างล้างมือใส่น้ำคลอรีน ชุดเสื้อกางเกงที่ใช้แล้วต้องกำจัดทิ้ง เป็นต้น

8.2.4 สารกัมมันตรังสีจำเป็นต้องได้รับการปรึกษา แนะนำ จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติหรือหน่วยที่เกี่ยวข้องและมีความรู้

นอกจากนี้แล้ว ต้องมีถังเก็บน้ำสะอาด อ่างล้างมือ และฝักบัว สำหรับล้างหรือทำความสะอาดผู้ปฏิบัติงานและอุปกรณ์ ชุดยาสามัญที่จำเป็นเฉพาะงาน การจัดเวลาและบริเวณที่พักระหว่างงานและอื่นๆที่จำเป็นและเป็นประโยชน์

9. บุคลากร

9.1 เป็นบุคลากรชุดเดียวกับมาตรฐาน ทบ พ 1000-2550 การเจาะเพื่อสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

9.2 ผู้ชำนาญการเฉพาะ คือ นักอุทกธรณีวิทยา วิศวกรสิ่งแวดล้อม หรือนักวิทยาศาสตร์ ที่เกี่ยวข้องและมีประสบการณ์ งานด้านสิ่งแวดล้อมและน้ำบาดาล

10. เอกสารอ้างอิง

ราชบัณฑิตยสถาน, 2544. พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา ฉบับราชบัณฑิตยสถาน, กรุงเทพฯ, 384 หน้า.

Brobst, R.D., and Bruszka, P.M., 1986. The effect of three drilling fluids on groundwater sample chemistry, Ground-Water Monitoring Review, vol. 6, no. 1, pp. 62-70.

Canter, L.W., 1981. Potential groundwater contamination sources, Presented at Groundwater Quality Protection Institute, University of Wisconsin-Extension, Madison, WI.

Cheremisinoff, P.N., Gigliello, K.A., and Oneill, T.K., 1984. Groundwater-Leachart, Technomic Publishing Company: Penn-sylvania, pp. 97-120.

Commonwealth of Pensylvania, Department of Environmental Protection, 2001. Groundwater monitoring guidance manual.

Driscoll, F.G., 1987. Groundwater and Wells, Johnson Division, St. Paul, Minnesota 55112, 2nd ed., pp. 702- 733.

Jousma, G. and J.W. Willems, 1966, Groundwater monitoring networks. European Water Pollution Control, Vol. 6, no. 5, 1996

Ludwig, K.J., 1983. Electromagnetic induction method for monitoring acid mine drainage: Ground-Water Monitoring Review, vol. 3, no. 1, pp 46-51.

Nielsen, D.M., and Yeates, G.L., 1985. A comparison of sampling mechanisms available for small-diameter groundwater monitoring wells, proceedings of the Fifth National Symposium and Exposition on Aquifer Restoration and Ground-Water Monitoring; National Water Well Association, Dublin, Ohio, pp. 237-270.

Norman, W.R., 1986. An effective and inexpensive gas-drive groundwater sampling device, Ground-Water Monitoring Review, vol. 6, no. 2, pp. 56-60.

Puls, R.W., and Barcelona, M.J., 1996. Low-Flow (Minimal Drawdown) Ground-Water Sampling Procedure, U.S. Environment Protection Agency, Office of Research and Development, Publication/EPA 540/5-95/504, pp. 12.

Robin, M.J., Dytynshyn D.J., and Sweeny, S.J., 1982. Two gas-drive sampling devices; Ground-Water Monitoring Review, vol. 2, no. 1, pp. 63-65.

Richter, H.R., and Collentine, M.G., 1983. Will my monitoring well survive down there?: design and installation techniques for hazardous waste studies, in proceedings of the Third National Symposium on Aquifer Restoration and Ground-Water Monitoring, D.M. Nielsen, Editor, National Water Well Association, Worthington, OH.

Rudy, R.J., and Caolic, J.A., 1984. Utilization of shallow geophysical sensing at two abandoned municipal/industrial waste landfills on the Missouri River floodplain, Ground Water Monitoring Review, vol. 4, no. 4., pp. 57-65.

Saunders, W., 1983. Groundwater Monitoring Technology, Paper presented at Groundwater Monitoring Technology Conference, November, Philadelphia, PA. Sponsored by University of Wisconsin-Extension, Madison, WI.

Sosebee, J.B., Geiszler, P.C., Winegardner, D.L., and Fisher, C.R. 1983. Contamination of groundwater samples with PVC adhesives and PVC primer from monitor well, Proceeding of the ASTM Second Symposium on Hazardous and Industrial Solid Waste Testing, ASTMSTP 805, R.A. Conway and W.P. Gulledge, eds. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania, pp. 38-50.

Taylor, R., and Cherbauer, D., 1984. The application of combined seismic and electrical measurements to the determination of the hydraulic conductivity of a lake bed, Ground

Water Monitoring Review, vol. 4, no. 4, pp. 78-85.

Truman, L.A., 1991. Handbook of Suggested Practices for the Design and Installation of Ground-Water Monitoring Wells, EPA, 160014-891034.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1991. Handbook of Suggested Practices for the Design and Installation of Ground-Water Monitoring Wells, Environmental Monitoring Systems Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, Nevada, Nevada 89193-3478, pp 24.

Wehrmann, H.A., 1983. Monitoring well design and construction, Ground-Water Age, vol. 17, no. 8, pp. 35-38.

คู่มือ ทบ อ 2000-2550
การประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล

คู่มือ ทบ อ 2000-2550 เป็นคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล (อ) ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง "2550" หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้ใส่วงเล็บต่อท้ายและระบุ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย [(ก)] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย [(ป)] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ทำให้ต้องเร่งผลผลิตที่ภาคอุตสาหกรรม และเกษตรกรรมให้เพียงพอกับความต้องการของตลาดภายในประเทศ และส่งออกเพื่อนำรายได้มาพัฒนาด้านต่างๆ ส่งผลให้มีการนำสารอันตรายมาใช้ในรูปแบบต่างๆ มากขึ้น เช่น ในภาคอุตสาหกรรม ภาคธุรกิจการค้าและการบริการ ภาคเกษตรกรรม ภาคครัวเรือน และการสาธารณูปโภค กิจกรรมเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชนเพิ่มมากขึ้นไปด้วย ส่งผลให้เกิดปัญหาจากของเสียอันตรายอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

กรมควบคุมมลพิษได้ประเมินปริมาณของเสียอันตราย จากภาคอุตสาหกรรมและชุมชน พบว่าปริมาณของเสียอันตรายจากชุมชนมีแนวโน้มคงที่ ส่วนปริมาณของเสียอันตรายจากภาคอุตสาหกรรมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นนับจากปี พ.ศ. 2542 เป็นต้นมา

ภาคเอกชนลงทุนดำเนินการที่ได้รับอนุญาตแล้ว 32 แห่ง มีความสามารถในการกำจัดของเสียได้ ปีละ 606,000 ตัน จึงยังคงมีของเสียอันตรายที่ไม่ได้รับการทำลายปีละ 8 แสนตัน ทั้งนี้ยังไม่รวมของ เสียที่ตกค้างจากปีก่อนๆ ซึ่งโรงงานต่างๆ อาจเก็บไว้เพื่อนำมาใช้ใหม่เป็นบางส่วน และลักลอบแอบทิ้งส่วนที่เหลือ อันมีผลต่อการปนเปื้อนหาแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำบาดาลโดยตรง

2. ขอบเขต

2.1 คู่มือฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อน ของมลสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยพิจารณาจากผลการประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาล ร่วมกับศักยภาพของแหล่งมลสารที่จะส่งผลกระทบต่อน้ำบาดาลและความเสี่ยงต่อสุขภาพ

2.2 หน่วยวัดที่ใช้ในคู่มือนี้เป็นหน่วยวัดระบบเมตริกหรือระบบ SI

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ส 4000-2550 การจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยา
- มาตรฐาน ทบ พ 5000-2550 การสูบทดสอบปริมาณน้ำบาดาล
- คู่มือ ทบ ส 4000-2550 การจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยา
- คู่มือ ทบ พ 5000-2550 การสูบทดสอบปริมาณน้ำบาดาล

- คู่มือ ทบ ป 2000-2550 การประเมินศักยภาพน้ำบาดาลของแอ่งน้ำบาดาลและการจัดทำแผนการใช้น้ำบาดาล

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 ความเสี่ยง (risk) หมายถึง ผลลัพธ์ของความน่าจะเกิดอันตรายและผลจากอันตรายนั้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2537)

4.2 การประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนแหล่งน้ำบาดาล (risk assessment for groundwater contamination) หมายถึง กระบวนการที่นำมาใช้เพื่อคาดการณ์ถึงความเป็นไปได้ที่น้ำบาดาลจะถูกปนเปื้อนจากมลสาร

4.3 มลพิษ (pollutant) หมายถึง ของเสีย วัตถุอันตรายและมลสารอื่นๆ รวมทั้งกาก ตะกอน หรือสิ่งตกค้างจากสิ่งเหล่านั้นที่ถูกปล่อยทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษ หรือที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ ซึ่งก่อให้เกิดหรืออาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม หรือภาวะที่เป็นพิษภัยอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนได้ และหมายความรวมถึง รังสี ความร้อน แสง เสียง กลิ่น ความสั่นสะเทือน หรือเหตุรำคาญอื่นๆ ที่เกิดหรือถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดมลพิษด้วย (พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535)

4.4 มลสารหรือสารปนเปื้อน (contaminant) หมายถึง สารที่ทำให้เกิดมลพิษ และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ซึ่งเป็นของเสียหรือสารปนเปื้อนที่เป็นผลผลิตที่ไม่พึงประสงค์จากกิจกรรมต่างๆ เช่น สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ของเสียจากกิจกรรมเหมืองแร่ และภาคเกษตรกรรม ล้วนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

4.5 สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) หมายถึง สารอินทรีย์ระเหยจากอุตสาหกรรม ซึ่งมีอันตรายต่อมนุษย์หากได้สัมผัสหรือเข้าสู่ระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร มี 15 ชนิด (ประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 พ.ศ. 2543)

4.6 ความเสี่ยงด้านสุขภาพ (human health risk) หมายถึง ความน่าจะเป็นของการเจ็บป่วยหรือบาดเจ็บของประชาชนจากเหตุการณ์ใดๆ โดยไม่รวมถึงความสูญเสียในทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อม

4.7 สารก่อมะเร็ง (carcinogen) หมายถึง สารเคมีที่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง

4.8 สารไม่ก่อมะเร็ง (non-carcinogen) หมายถึง สารเคมีที่ไม่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง แต่มีอันตรายต่อสุขภาพ หากร่างกายรับเกินค่ากำหนด

5. ความสำคัญและหลักการใช้งาน

ผลจากการศึกษาความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยา จะได้ผลออกมาในรูปของแผนที่ DRASTIC และดัชนี DRASTIC ในพื้นที่ต่างๆ แสดงถึงความยากง่าย ในการซึมของมลพิษลงสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยทั่วไปสามารถใช้ประเมินผลได้สมบูรณ์ในตัวเองอยู่แล้ว แต่เมื่อนำมาประกอบกับการศึกษาด้านแหล่งศักยภาพของมลสารในพื้นที่เดียวกัน ในรูปของการประเมินความเสี่ยง ทำให้ทราบถึงกระบวนการทางเคมีและเส้นทางการปนเปื้อน ทิศทางการกระจายตัว และขอบเขตของพื้นที่ซึ่งถูกปนเปื้อน ทั้งนี้เพื่อจะได้จัดทำลำดับความจำเป็นเร่งด่วน ในการฟื้นฟู แหล่งน้ำบาดาลและเลือกวิธีการฟื้นฟูประเภทต่างๆ ที่เหมาะสมกับสารพิษเหล่านั้นโดยแบ่งเป็น 5 กลุ่มเสี่ยง คือ

กลุ่มที่ 1 ความเสี่ยงต่ำมากไม่มีผลกระทบต่อแหล่งน้ำบาดาล

กลุ่มที่ 2 ความเสี่ยงต่ำมีผลกระทบน้อยแก้ไขได้

กลุ่มที่ 3 ความเสี่ยงปานกลาง มีผลกระทบ แต่สามารถควบคุมแก้ไขได้ใช้เวลาสั้น

กลุ่มที่ 4 ความเสี่ยงสูง มีผลกระทบรุนแรง ต้องใช้เวลาแก้ไขปานกลางต้องมีการเฝ้าระวังการปนเปื้อน

กลุ่มที่ 5 ความเสี่ยงสูงมาก มีผลกระทบรุนแรง ต้องใช้ทั้งคนและเวลามากในการแก้ไข จำเป็นต้องเข้าไปฟื้นฟูเร่งด่วน

6. คำอธิบายวิธีการ

การระบุความเสี่ยงที่แท้จริงต้องพิจารณาข้อมูลสภาพความอ่อนไหวตามธรรมชาติของแหล่งน้ำบาดาลร่วมกับศักยภาพของแหล่งมลสารที่จะส่งผลกระทบต่อชั้นน้ำบาดาล ก่อนที่นำมารวมกันเพื่อประเมินความเสี่ยงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นต่อแหล่งน้ำบาดาล และพิจารณาร่วมกับผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพด้วย ดังนี้

6.1 การประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาล

การประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาล (groundwater resources vulnerability assessment) มาจากแนวคิดที่ว่าสภาวะแวดล้อม และกิจกรรมต่างๆ ในชุมชนเมือง จะก่อให้เกิดการซึมของสารปนเปื้อนชนิดต่างๆ ลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ดังนั้น จึงควรหาวิธีป้องกันหรือหลีกเลี่ยงผลกระทบดังกล่าวโดยทำการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการปนเปื้อน แล้วกำหนดให้เป็นพื้นที่ป้องกัน (protection area) ในรูปของแผนที่แสดงความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อน (groundwater vulnerability map) การแบ่งหน่วยพื้นที่ในแผนที่นี้เป็นการพิจารณาจากการให้คะแนนตามอ่อนไหว โดยแสดงในรูปแบบเชิงเปรียบเทียบเท่านั้น วิธีการประเมินมีหลายวิธีโดย แบ่งเป็น 3 กลุ่ม (ดังแสดงในตารางที่ 1) ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ประเมินจากสภาพอุทกธรณีวิทยา (Hydrogeological Complex and Setting Methods, HCS) ใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากสภาพธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา การไหลซึมของชั้นน้ำบาดาล วิธีนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ ที่มีความซับซ้อนทางสภาพอุทกธรณีวิทยาเป็นสำคัญ

กลุ่มที่ 2 ประเมินโดยการวิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อม (parametric system methods) ซึ่งรวมถึง Matrix System (MS), Rating System (RS) และ Point Count System Models (PCSM) แต่ละวิธีมีการเลือกพิจารณาจากปัจจัยกำหนด (parameter) ที่มีผลต่อความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อน และให้น้ำหนักแก่ปัจจัยที่มีผลมากหรือน้อยต่อการไหลซึมปนเปื้อน ทั้งนี้จะมีการแสดงผลออกมาในรูปของช่วงคะแนนระดับต่างๆ ที่แสดงถึงลักษณะของการปนเปื้อนในเชิงตัวเลข

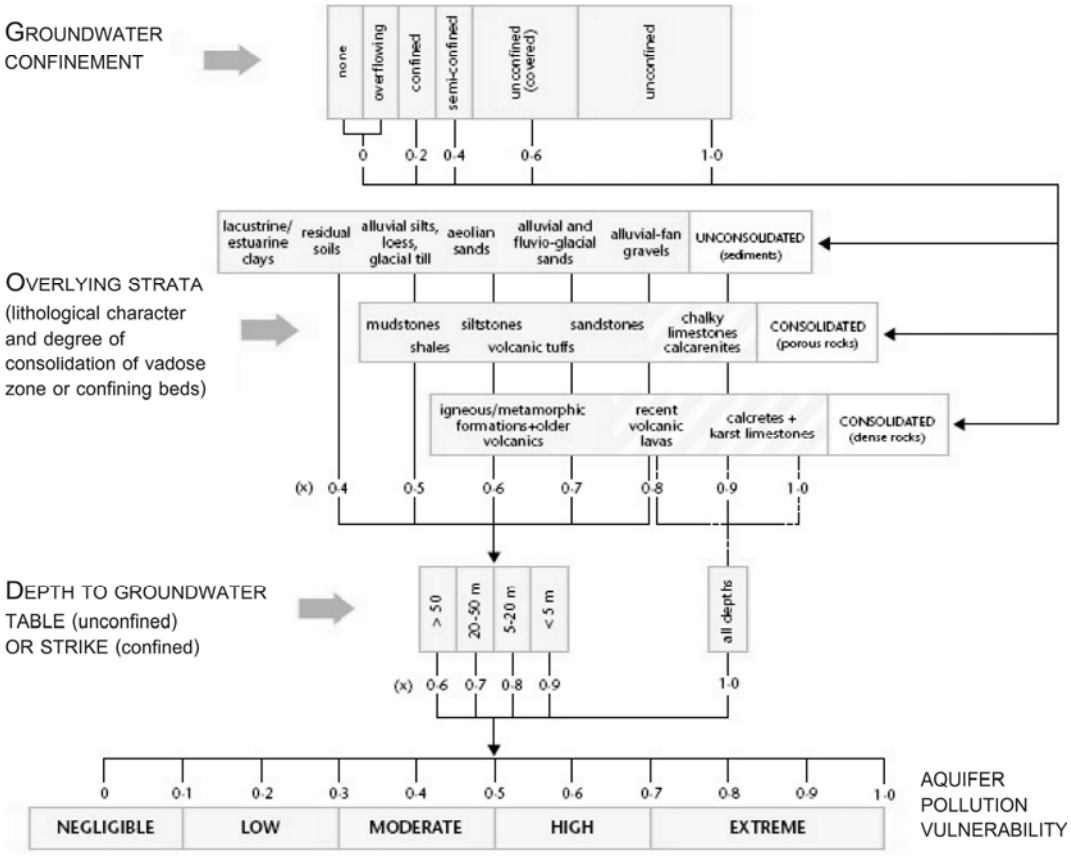
กลุ่มที่ 3 การประเมินจากการเปรียบเทียบเชิงสัมพันธ์และใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Analogical Relations, AR, and Numerical Model) วิธีนี้ใช้หลักเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงการอ่อนไหว ซึ่งมักใช้ได้ดีเฉพาะสารปนเปื้อนบางตัว และพื้นที่ซึ่งมีโครงสร้างซับซ้อน เช่น โพรงในหินปูน

วิธีการประเมินทั้ง 3 กลุ่มนี้ การประเมินโดยวิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อมเป็นที่นิยมกว่ากลุ่มอื่น เพราะมีการนำข้อมูลสภาวะแวดล้อมมาประกอบการวิเคราะห์เพื่อประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาลด้วย ในกรณีที่ชั้นดินชั้นบนสุดมีความหนาพอสมควร และยังคงคุณสมบัติทางกายภาพเดิมอยู่ นิยมใช้วิธี GOD (รูปที่ 1) ซึ่งนำเสนอโดย Foster (1987) โดยนำข้อมูลต่างๆ มาประเมิน ดังนี้

G = groundwater hydraulic confinement

O = overlying strata

D = depth to groundwater table



รูปที่ 1 วิธีการ GOD (Foster, 1987)

ตารางที่ 1 วิธีการประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาล

METHOD		BASIC PARAMETE4RS													
REFFERENCE	TYPE	PRECIPITATION RATE& CHEMICAL COMPOSITON	TOPOGRAPHIC SURFACE SLOPE VARIABILITY	STREAMFLOW NETWORK DENSITY	CHARACTERISTIC OF SOIL				AQUIFER CONNECTIONS TO SURFACE WATER	NET RECHARCE	CHARACTERISTICS OF THE UNSATURATED ZONE	DEPTH TO WATER	WATER LEVEL CHANGES	HYDROGEOLOGICAL FEATURES	AQUIFER HYDRAULIC CONDUCTIVITY
					THICKNESS TEXTURE $MINERALOGY	EFFECTIVE MOISTURE	PERMEABILITY	PHYSICAL &CHEMICAL PROPERTIES							
Albinet & Margat (1970) B.R.G.M. (1976 …)	HCS								●		●	●		●	●
Varana (1968) Olmer & Rezac (1974)	HCS										●			●	
Fenge (1976)	RS				●					●	●	●	●	●	●
Josopait & Schwerdfeger (1979)	HCS									●	●	●		●	●
Zampetti (1983) Fried (1987)	AR										●	●			
Villumsea et al. (1983)	RS				●						●	●	●	●	●
Haertle (1983)	MS										●	●			
Vrana (1984b)	HCS	●			●						●			●	
Subirana Asturias & Casas Ponsati (1984)	HCS								●		●	●		●	●
Engelen (1985)	MS								●		●	●		●	
Zaporozec (1985)	RS				●	●	●	●			●	●		●	
Breeusvsma et al. (1986)	HCS				●	●	●	●	●	●	●	●			●
Sotomikova & Vrba (1987)	RS						●					●	●	●	
Ostry et al. (1987)	HCS				●			●				●		●	
Ministry Flemish Comm (1986)	MS				●			●				●		●	
Carter et al. (1987) Palmer (1988)	MS				●		●	●						●	
Marcolongo & Pretto (1987) Method 1	RS				●				●	●	●				
Marcolongo & Pretto (1987) Method 2	AR					●				●	●	●			
GOD - Foster (1987)	RS										●	●		●	
Schmidt (1987)	RS				●				●		●	●			
Trojan & Perry (1988)	PCSM	●	●				●			●	●	●		●	
Civita in Benacchio et al. (1988)	HCS								●		●	●		●	●
DRASTIC – Aller et al. (1987)	PCSM		●		●					●	●	●		●	●
SINTACS – Civita (1990a)	PCSM		●	●	●				●	●	●	●		●	●

หมายเหตุ : AR - Analogical Relations, HCS - Hydrogeological Complex and Setting, MS - Matrix System, PCSM - Point Count System Model, RS - Rating System.

(จาก Civita, 1993)

DRASTIC เป็นวิธีการประเมินความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลที่นิยมใช้กันมากที่สุด Aller et al. (1987) พัฒนาให้กับ U.S. Environmental Protection Agency วิธีนี้ใช้ข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยารวม 7 ปัจจัยกำหนด ได้แก่ depth to water table (D), net recharge (R), aquifer media (A), soil media (S), topography (T), impact of the vadose zone media (I), และ hydraulic conductivity of the aquifer (C) ผลจากการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยกำหนดจะถูกแบ่งเป็นช่วงๆ และให้ค่าของแต่ละช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 10 หลังจากนั้นนำค่าคะแนนที่ได้มาคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 5 ดังแสดงในสมการที่ (1) และตารางที่ 2 เพื่อให้ได้ค่าถ่วงน้ำหนักของพารามิเตอร์ที่ถือได้ว่ามีความสำคัญต่อความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาล ค่าที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 5 และค่าถ่วงน้ำหนักของพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 1

$$D_rD_w+R_rR_w+A_rA_w+S_rS_w+T_rT_w+I_rI_w+C_rC_w = \text{DRASTIC Index} \quad (1)$$

เมื่อ D, R, A, S, T, I, C หมายถึง พารามิเตอร์ทั้ง 7 ตัว ของ DRASTIC

r หมายถึง ค่าที่ได้จากการแบ่งช่วงของแต่ละพารามิเตอร์ต่างๆ (rating)

w หมายถึง ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละพารามิเตอร์ (weight)

โดยการแบ่งช่วงค่าของพารามิเตอร์จะแสดงในหัวข้อวิธีการวิเคราะห์ของแต่ละปัจจัยกำหนด

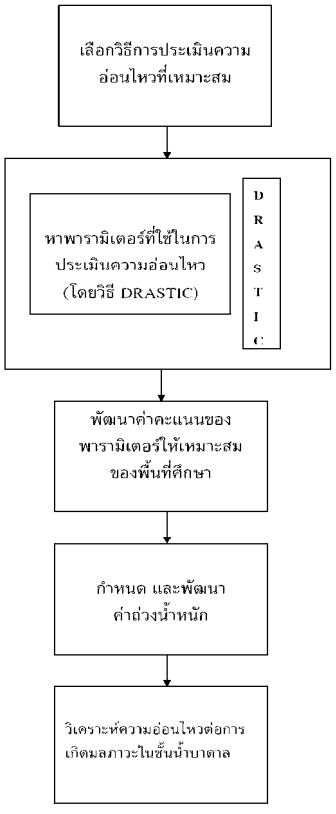
ค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้ของดัชนี DRASTIC คือ 23 และค่าสูงสุดคือ 226 ค่าของดัชนี DRASTIC แสดงถึงการตรวจวัดความอ่อนไหวในเชิงเปรียบเทียบ นั่นคือ พื้นที่ที่มีค่าดัชนี DRASTIC มากกว่าอีกพื้นที่หนึ่ง แสดงว่าพื้นที่นั้นมีความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะง่ายกว่าอีกพื้นที่หนึ่ง อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่มีค่าดัชนี DRASTIC ต่ำ ไม่ได้หมายถึงว่าพื้นที่นั้นไม่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดมลภาวะเลย เพียงแต่เป็นพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวน้อยกว่าพื้นที่ที่มีค่าดัชนี DRASTIC ที่สูงกว่าเท่านั้น

เทคนิคทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ถูกนำมาใช้ในการประมวลข้อมูลทั้งหมดเพื่อแสดงผลสุดท้ายในรูปแผนที่ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาล โดยการแปลงข้อมูลให้เป็น raster และสร้างกริด (grid) ขนาดที่เหมาะสมเพื่อใส่ค่าของแต่ละปัจจัยกำหนดไปในแต่ละกริด เมื่อทำการซ้อนทับแผนที่มีค่าของแต่ละพารามิเตอร์เข้าด้วยกัน ทุกพารามิเตอร์ในกริดเดียวกันจะถูกนำมาคำนวณตามสมการ (1)

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ DRASTIC

พารามิเตอร์ทางอุทกธรณีวิทยา	ค่าถ่วงน้ำหนัก
D - ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (depth to water table)	5
R - อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (net recharge)	4
A - คุณสมบัติของวัสดุที่เป็นชั้นน้ำบาดาล (aquifer media)	3
S - คุณสมบัติของดิน (soil media)	2
T - ลักษณะภูมิประเทศ (topography)	1
I - คุณสมบัติของวัสดุในชั้นเหนือระดับน้ำ (impact of the vadose zone media)	5
C - สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นน้ำ, (aquifer of the aquifer hydraulic conductivity)	3

(จาก Aller et al., 1987)



รูปที่ 2 ขั้นตอนการประเมินความอ่อนไหว

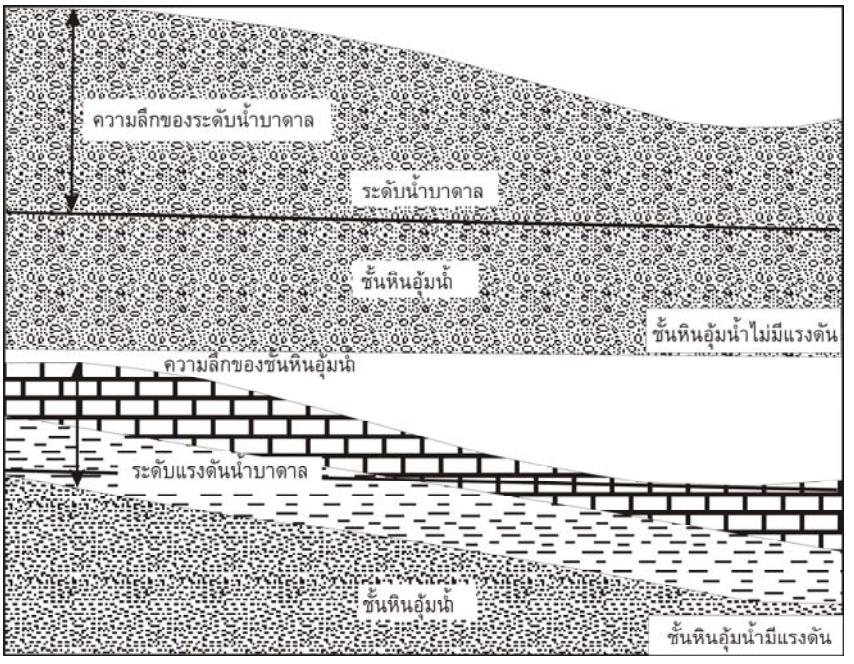
เพื่อให้ได้ค่าดัชนี DRASTIC ของแต่ละกริดเซลล์ หลังจากนั้นแบ่งช่วงค่าดัชนี DRASTIC ของทั้งพื้นที่ศึกษา เป็น 5 ช่วงตามลำดับความอ่อนไหวมากน้อย แล้วแสดงสีของแต่ละช่วงบนแผนที่แสดงความอ่อนไหวของชั้น น้ำบาดาล (DRASTIC map)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะด้วยวิธี DRASTIC ใช้ข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยา 7 ปัจจัยกำหนด (ตารางที่ 2) โดยการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลจะประเมินพื้นที่ที่มีความแตกต่างของศักยภาพต่อการปนเปื้อนในน้ำบาดาลออกเป็นหลายๆ ส่วน ผลของการจัดแบ่งประเมินจะแสดงออกมาในรูปของแผนที่ ซึ่งนำไปสู่การคัดเลือกพื้นที่เพื่อการศึกษาวิเคราะห์สถานการณ์การปนเปื้อนเพื่อวางระบบติดตามการปนเปื้อนและวางแผนการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

6.1.1 การหาความลึกถึงระดับน้ำบาดาล

ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (depth to water table, D) เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญเป็นอันดับต้นๆ ซึ่งแสดงระยะทางที่มลสารจะต้องเดินทางผ่านก่อนที่จะถึงระดับน้ำบาดาล โดยทั่วไปแล้วมลสารจะใช้เวลาเดินทางไปสู่ระดับน้ำบาดาลช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับระยะทางหรือความลึก การหาค่าความลึกของระดับน้ำบาดาลพิจารณาจากชนิดของชั้นน้ำบาดาล

ในการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ค่าความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (D) เริ่มด้วย ศึกษาภาพรวมของพื้นที่ว่าเป็นชั้นน้ำบาดาลแบบมีแรงดันหรือไม่มีแรงดัน (รูปที่ 3) โดยพิจารณาจากข้อมูลชั้นดินและชั้นหินจากหลุมเจาะน้ำบาดาล ชั้นน้ำบาดาลแบบไม่มีแรงดันมีโอกาสที่จะได้รับการปนเปื้อนสูงกว่าชั้นน้ำแบบมีแรงดัน เพราะชั้นน้ำแบบมีแรงดันนั้นจะถูกปิดทับด้วยชั้นกั้นน้ำ ซึ่งเป็นการป้องกันโดยธรรมชาติจากการปนเปื้อนที่ซึมมาจากผิวดิน เมื่อได้ข้อมูลความลึกของน้ำบาดาลจากระดับผิวดินแล้ว นำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยต้องหาค่าถ่วงน้ำหนักและค่าคะแนนความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (weight, D_w, and rating of depth to water table, D_r) ที่จะนำมาใช้คำนวณความอ่อนไหว ในตารางที่ 3 เป็นตารางการให้ค่าถ่วงน้ำหนักและคะแนนความลึกถึงระดับน้ำบาดาล ที่ดัดแปลงมาจากการให้คะแนนของ Aller et al. (1987)



รูปที่ 3 ชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดันและไม่มีแรงดัน (Aller et al., 1987)

ข้อมูลที่ใช้ในการหาค่าความลึกถึงระดับน้ำบาดาล ประกอบด้วย

- ข้อมูลระดับน้ำบาดาลจากบ่อขุด บ่อตอกระดับตื้น และบ่อบาดาลที่ระดับลึกต่างๆ หากเป็นข้อมูลทุติยภูมิ ให้แยกเป็นระดับน้ำในฤดูแล้งและฤดูฝน

- ข้อมูลระดับน้ำที่ทำการวัดใหม่ในช่วงเวลาใกล้เคียงกันโดยพยายามให้ข้อมูลกระจายคลุมทั้งพื้นที่

- ศึกษาสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่เพื่อแยกประเภทของชั้นน้ำเป็นแบบมีแรงดันหรือไม่มีแรงดัน

- ข้อมูลการไหลของลำน้ำหลัก และลำน้ำสาขาในพื้นที่ ซึ่งอาจมีความสัมพันธ์กับระดับน้ำบาดาลในบ่อประเภทต่างๆ

6.1.2 การหาอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล(net recharge, R) แสดงถึง ปริมาณน้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายและนำมลสารลงไปสู่น้ำบาดาล นอกจากนั้นยังเป็นปัจจัยกำหนดปริมาณน้ำที่ซึมไป เพื่อเจือจางมลสารต่างๆ ลงไปยังชั้นเหนือระดับน้ำ (vadose zone) และจากนั้นจึงลงไปยังชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated zone) โดยทั่วไปหากปริมาณการซึม (recharge) มาก ศักยภาพในการเกิดมลภาวะในน้ำบาดาลจะมากขึ้นเช่นกัน

ปริมาณน้ำฝนที่ซึมลงไปยังชั้นน้ำบาดาลขึ้นอยู่กับช่องว่างในดิน ความชื้นในดินและค่าสัมประสิทธิ์การซึม (pesrneabiliy)ได้ของชั้นดิน การระเหยของพืช แหล่งน้ำผิวดิน การซึมของน้ำฝนในพื้นที่มากกว่า 90% จะเป็นไปในช่วงฤดูมรสุมระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม

ตารางที่ 3 คะแนน D_r และค่าถ่วงน้ำหนัก D_w

ช่วงค่าความลึกถึงระดับน้ำ (เมตร)	ค่าคะแนน (D_r)
0-2	10
2-5	9
5-10	7
10-15	5
15-25	3
25-30	2
> 30	1
ค่าถ่วงน้ำหนัก (D_w) : 5	

(ดัดแปลงจาก Alter et al., 1987)

อัตราการซึมของน้ำบาดาลไม่ได้เป็นไปตามสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่แต่ขึ้นอยู่กับลักษณะทางอุทกธรณีของพื้นที่นั้นๆ และยังขึ้นอยู่กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาอีกมากมาย ดังนั้นในการประเมินหาค่าการซึมสู่ชั้นน้ำบาดาล (net recharge estimation) จึงมีความคลาดเคลื่อนสูง เมื่อรวมความคลาดเคลื่อนจากการวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยา-อุทกวิทยาที่มีหลายตัวแปร และความแตกต่างของสภาพอุทกธรณีในพื้นที่ด้วย จึงทำให้ยากที่จะได้ค่าที่ถูกต้อง

วิธีการหาอัตราการซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลเป็นสิ่งที่ยากและสำคัญที่สุดในการประเมินหาดัชนี DRASTIC อย่างไรก็ดี พอสรุปวิธีการประเมินอัตราการซึมได้โดยการศึกษาสมดุลของน้ำบาดาล ดังสมการ

Recharge = Inflow – Outflow (2)

Inflow = Rainfall + Canal seepage
+ Irrigation Water

Outflow = Run off + Evapotranspiration +
Soil water holding capacity

Rainfall เป็นข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ย้อนหลังไม่ต่ำกว่า 30 ปี

Canal Seepage เป็นการซึมของน้ำในทางน้ำสายหลัก หรือลำห้วยสายรอง มักจะคิดเป็นอัตราส่วนของปริมาณการไหลในลำน้ำ

Irrigation water คือ น้ำที่ใช้ในการชลประทาน พืชดูดส่วนหนึ่งไปใช้แล้ว ที่เหลือซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

Run off เป็นปริมาณน้ำที่ไหลบนผิวดินลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น หนอง บึง ผ่านทางแม่น้ำคลอง ประเมินได้จากปริมาณน้ำท่าที่จดสถิติโดยกรมชลประทาน

Evapotranspiration เป็นค่าการคายระเหยของพืช ปริมาณน้ำส่วนหนึ่งซึ่งถูกกักเก็บในชั้นดินบางส่วนที่เหลือจากการดูดซับของเนื้อดิน จะซึมผ่านลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในขณะที่อีกส่วนหนึ่งจะถูกพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ป่าเขา น้ำที่ควรจะเติมลงไปสู่ชั้นน้ำบาดาลมีปริมาณลดลง เนื่องจากการคายระเหยของพืชมีปริมาณมาก

ค่าการคายระเหยของพืชคำนวณได้จากสมการ FAO เพนแมน มอนไทธ์ (FAO Penman Monteith) ดังสมการ

$$E_o = \frac{0.408\Delta R_n + 900\gamma u_2(e_s - e_a)/(T+273)}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)} \qquad (3)$$

เมื่อ E_0 คือ อัตราการคายระเหยของพืชอ้างอิง (mm d^{-1})

Δ คือ ความชันโค้งความดันไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิ (kPa$^{\circ}C^{-1}$)

R_n คือ พลังงานแผ่รังสีสุทธิ (MJ $m^{-2}d^{-1}$)

γ คือ ค่าคงตัวไซโครเมตริก (kPa$^{\circ}C^{-1}$)

u_2 คือ ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูง 2 เมตร จากผิวดิน (m s^{-1})

$e_s - e_a$ คือ ปริมาณพร่องความดันไอน้ำในอากาศ (kPa) ที่อุณหภูมิ T ($^{\circ}C$)

ในการคำนวณอัตราการคายระเหยของพืชในพื้นที่ศึกษาจะทำลงบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้แผนที่การใช้ที่ดินเป็นข้อมูลพื้นฐาน เนื่องจากการใช้ดินเพาะปลูกพืชแต่ละชนิดจะบ่งชี้ถึงอัตราการระเหยของพืชแตกต่างกัน ในขณะที่พื้นที่เมืองและเขตอุตสาหกรรมอัตราการคายระเหยของพืชจะเป็นศูนย์

ค่าการอุ้มน้ำของดิน (soil water holding capacity) ในเนื้อดินแต่ละชนิดมีความสามารถในการอุ้มน้ำไม่เท่ากัน อันเป็นคุณสมบัติทางกายภาพเฉพาะตัวของเม็ดแร่ในเนื้อดิน ในเนื้อดินที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำจะสามารถส่งผ่านน้ำให้เติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้มาก ในทางตรงกันข้ามดินในเนื้อดินที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงจะสามารถส่งผ่านน้ำให้เติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ต่ำตามตารางที่ 4

เมื่อมีข้อมูลกลุ่มชุดดิน ปริมาณน้ำฝน ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา-อุทกวิทยา แผนที่การใช้ที่ดิน ค่า evapotranspiration ข้อมูลการใช้น้ำเพื่อการเกษตร และข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี นำข้อมูลทั้งหมดเข้าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และแปลงเป็น raster ซึ่งจะให้ค่าอัตราการซึมของน้ำ (R) ลงสู่ชั้นน้ำบาดาลของทั้งพื้นที่ศึกษา อัตราการซึมของน้ำที่ไม่เท่ากันมีผลต่อความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อนไม่เท่ากัน ซึ่งนำมาพิจารณาใช้หาค่าคะแนน (R_r) เพื่อคำนวณค่าความอ่อนไหวจากตัวแปรนี้หลังจากนั้นแปลงค่า R ให้คะแนนหรือ R_r (ตารางที่ 5)

6.1.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุที่เป็นชั้นน้ำบาดาล (aquifer media, A)

พิจารณาจากวัสดุที่ประกอบชั้นน้ำบาดาลว่าเป็นตะกอนร่วนหรือหินแข็ง หินแข็งที่มีรอยแตกร้าวหรือรอยเลื่อนที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ความสามารถในการซึมผ่านได้ของชั้นน้ำบาดาลดี มีความ

ตารางที่ 4 ค่าการอุ้มน้ำของดิน

ประเภทของเนื้อดิน	ค่าการอุ้มน้ำของดิน (มม.)
ดินทรายหยาบ (coarse sand)	17.6
ดินทรายละเอียด (fine sand)	22.5
ดินร่วนปนทราย (sandy loam)	32.5
ดินเหนียว (clay)	35.0

(จาก Broner, 2005)

ตารางที่ 5 คะแนน R_r และค่าถ่วงน้ำหนัก R_w

ช่วงค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล – R (มม./ปี)	ค่าคะแนน (R_r)
0 - 70	1
71 - 140	4
141 - 210	6
211 - 280	8
281 - 350	10
ค่าถ่วงน้ำหนัก (R_w) : 4	

(ดัดแปลงจาก Aller et al., 1987)

อ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลมากขึ้นด้วย ชั้นน้ำบาดาลที่เป็นตะกอนร่วนหรือหินแข็ง อัตราการซึมผ่านของน้ำขึ้นอยู่กับการเรียงตัวและการประสานกันของเม็ดตะกอนที่ประกอบเป็นชั้นน้ำ นำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยต้องหาค่าถ่วงน้ำหนักและค่าคะแนนของลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำ เพื่อคำนวณความอ่อนไหวตามตารางที่ 6 เป็นรายละเอียดการให้ค่าถ่วงน้ำหนักและคะแนนของวัสดุอุ้มน้ำที่ดัดแปลงมาจากการให้คะแนนตามชนิดของวัสดุอุ้มน้ำของ Aller et al. (1987)

ตารางที่ 6 คะแนน A_r และค่าถ่วงน้ำหนัก A_w

ลักษณะของวัสดุอุ้มน้ำ (aquifer media, A)	ค่าคะแนน (A_r)
ทรายและกรวด (sand and gravel)	9
หินปูน (limestone)	8
ทรายและดินเหนียว (sand and clay)	6
หินทรายและหินดินดาน (sandstone and shale)	6
แกรนิต (granite)	4
หินแปร (metamorphic rock)	3
หินภูเขาไฟ (volcanic rock)	3
หินตะกอนเนื้อแน่น (massive sedimentary rock)	2
ค่าถ่วงน้ำหนัก (A_w) : 3	

(จาก Aller et al., 1987)

6.1.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน

ดิน คือ วัสดุที่อยู่ชั้นบนสุดของพื้นผิวที่มีการผุพังและทับถมกันของซากอินทรีย์วัตถุ มีความลึกไม่เกิน 1.8 เมตร (Osborn, Eckenstein, and Koon, 1998) ดินมีผลต่อปริมาณน้ำที่ซึมลงสู่ชั้นใต้ดินเป็นอย่างมาก มลสารจะผ่านชั้นดินที่หดหัวหรือขยายตัวน้อยลงสู่ระดับน้ำบาดาลได้ยากกว่าดินที่มีความสามารถในการหดหรือขยายตัวมากกว่าและมีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า

คุณสมบัติของดินในพื้นที่ศึกษา ได้มาจากข้อมูลแผนที่กลุ่มชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน โดยนำข้อมูลทั้งหมดเข้าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หลังจากนั้นหาค่าคะแนนของคุณสมบัติของดิน (S_r) เพื่อใช้คำนวณความอ่อนไหว ตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คะแนน S_r และค่าถ่วงน้ำหนัก S_w

คุณสมบัติของดิน (soil media, S)	ค่าคะแนน (S_r)
ทราย (sand)	10
ทรายปนดินร่วน (loamy sand)	9
ดินร่วนปนกรวด (gravelly loams)	6
ทรายแป้ง (silt)	4
ดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay)	3
ดินเหนียว (clay)	1
ค่าถ่วงน้ำหนัก (S_w) : 2	

(จาก Aller et al., 1987)

6.1.5 การวิเคราะห์ลักษณะของภูมิประเทศ

ข้อมูลภูมิประเทศจะแสดงถึงความลาดชันของพื้นที่ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นไปได้ที่มลสารจะลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ถ้าพื้นที่มีความลาดชันน้อยน้ำที่ไหลผ่านและสัมผัสผิวดินมีมาก โอกาสที่มลสารจะลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ก็มีมาก ส่วนพื้นที่ที่มีความลาดชันมากน้ำจะไหลจากพื้นที่สูงเร็วกว่าทำให้โอกาสที่มลสารจะสัมผัสผิวดินและลงสู่ชั้นน้ำบาดาลมีน้อย ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำเข้าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หลังจากนั้นให้คะแนนความชันของพื้นที่ (T_r) ตามตารางที่ 8 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศ ได้แก่ แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1: 50,000 จากกรมแผนที่ทหาร โดยการจัดกลุ่มค่าความชันเป็น 5 ช่วง ได้แก่ 0-2 %, 2-6 %, 6-12 % ,12-18 % และมากกว่า 18% ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 คะแนน T_r และค่าถ่วงน้ำหนัก T_w

ความลาดชันของภูมิประเทศ (ร้อยละ)	ค่าคะแนน (T_r)
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
> 18	1
ค่าถ่วงน้ำหนัก (T_w) : 1	

(จาก Aller et al., 1987)

6.1.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุที่อยู่ในชั้นเหนือระดับน้ำ

ความสำคัญ vadose zone ที่มีต่อการกระจายของการปนเปื้อนนั้นเห็นได้ชัดเจน ทั้งนี้การที่มลสารจะปนเปื้อนลงไปลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินในปริมาณเท่าใดหรือในทิศทางใดนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นดินชั้นหินใน vadose zone เป็นสำคัญ ดังนั้นในการวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวจึงจำเป็นต้องมีการพิจารณาส่วนประกอบของ vadose zone โดยละเอียด

บริเวณ vadose zone คือ บริเวณที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาลทั้งหมด วัสดุประกอบด้วยตะกอนกรวดทราย และเศษหินทุกชนิด ที่อยู่ใต้ชั้นดินและอยู่เหนือระดับน้ำบาดาลขึ้นไป

ชนิดของตะกอนใน vadose zone นั้นเป็นตัวดัชนีบ่งชี้ความสามารถในการลดความรุนแรงของมลสารที่จะกระจายลงไปสู่ชั้นน้ำบาดาล กระบวนการลดความรุนแรงอาจที่เกิดขึ้นภายในบริเวณ vadose zone นี้ ได้แก่

- การลดระดับปฏิกริยาทางชีวภาพ (biodegradation)
- กระบวนการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสารปนเปื้อนให้เข้าสู่สมดุล (neutralization)
- การกรอง (mechanical filtration)
- ปฏิกิริยาทางเคมี (chemical reaction)
- การระเหยและการแพร่ของมลสาร (volatilization and dispersion) ทั้งนี้ระดับปฏิกริยาทางชีวภาพและการระเหยนั้นจะลดลงเมื่อความลึกของ vadose zone เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ vadose zone ยังเป็นตัวควบคุมระยะและทิศทางการเคลื่อนที่ของมลสาร ทั้งยังส่งผลกระทบโดยตรงต่อระยะเวลาและปริมาณของมลสารที่คงค้างอยู่ในวัสดุที่ประกอบเป็นชั้นน้ำ อันเป็นตัวแปรสำคัญที่ควบคุมประสิทธิภาพของการลดสารปนเปื้อนทางชีวภาพ

ทิศทางในการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในเบื้องต้นนั้นถูกกำหนดโดยปัจจัยทางกายภาพที่สำคัญใน vadose zone เช่น รอยแตกและรอยแยก หรือชั้นดินเหนียวหรือหินเนื้อแน่นที่มีค่าสัมประสิทธ์การซึมต่ำ (impermeable layer) มาแทรกสลับอยู่ รวมทั้งต้องคำนึงปัจจัยภายนอกที่เข้ามาเปลี่ยนแปลงและมีผลต่อวัสดุที่เป็น vadose zone เช่น การตอกเสาเข็ม การหล่อซีเมนต์ การสร้างตอหม้อสำหรับสิ่งปลูกสร้าง ฯลฯ ที่อาจส่งผลกระทบต่อทิศทางการแพร่กระจายของมลสาร

วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุที่อยู่ในชั้นเหนือระดับน้ำ สำหรับตัวแปร impact of the vadose zone media นั้นสามารถจำแนกได้ตามลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของบริเวณ vadose zone โดยเริ่มต้นด้วยการประเมินและรวบรวมชนิดของวัสดุของ vadose zone ในพื้นที่ศึกษา นำมาให้คะแนนตามศักยภาพที่เอื้อต่อการปนเปื้อนของตัวกลางนั้น ๆ เป็นสำคัญ ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 คะแนน I_r และค่าถ่วงน้ำหนัก I_w

ลักษณะของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล	ค่าคะแนน (I_r)
ดินเหนียว	1
ดินเหนียวปนทราย	2
ทรายแป้ง	3
หินอัคนีและหินแปร	4
หินดินดาน	5
หินทราย	5
หินปูน	6
ทราย	8
กรวด	10
ค่าถ่วงน้ำหนัก (I_w) : 5	

(จาก Aller et al., 1987)

6.1.7 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาล

สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาล (hydraulic conductivity of the aquifer, C) แสดงถึงความสามารถในการยอมให้น้ำไหลผ่านชั้นน้ำบาดาล และเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของน้ำบาดาลภายใต้ความแตกต่างของแรงดันน้ำ โดยอัตราการไหลของน้ำบาดาลส่งผลโดยตรงกับอัตราการเคลื่อนที่ของมลสาร ให้กระจายออกไปเร็วหรือช้าจากจุดที่มลสารนั้นเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล เมื่อชั้นน้ำบาดาลปนเปื้อนด้วยมลสาร มลสารจะแพร่กระจายไปได้เร็วหรือช้าเป็นไปตามค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าว ถ้ามีค่ามากมลสารจะแพร่กระจายไปได้เร็ว

การซึมผ่านนั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญประกอบด้วย คือ ช่องว่างภายในชั้นน้ำ ความต่อเนื่องของช่องว่างเหล่านั้น ความพรุนระหว่างเม็ดแร่ในหิน รอยแตก รอยเลื่อนในหิน รอยต่อระหว่างระนาบชั้นหิน ค่าการซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาลคำนวณได้จากการสูบทดสอบในสนาม ซึ่งมีตัวอย่างวิธีการปฏิบัติตามคู่มือ ทบ พ 5000-2550 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของหินประเภทต่างๆ แสดงในตารางที่ 10 และการให้คะแนนสัมประสิทธิ์การซึมผ่านแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 10 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นดินและหิน

ชั้นหินและดิน	ค่าการซึมผ่าน (ม./วัน)
ดินเหนียว (clay)	$< 10^{-2}$
ทรายแป้ง (silt)	10^{-2}-1
ทรายแม่น้ำ (alluvial sand)	1 - 500
กรวดทราย (gravel sand)	500 - 10,000
หินดินดาน (shale)	$5x10^{-8}$ - $5x10^{-6}$
หินทราย (sandstone)	10^{-4} - 10
หินปูน (limestone)	10^{-5} - 10
หินบะซอลต์ (basalt)	0.0003 - 3
หินแกรนิต (granite)	0.0003 - 0.03
หินกาบ (slate)	10^{-8} - 10^{-5}
หินชิสต์ (schist)	10^{-7} - 10^{-4}

(จาก Brassington, 1988)

ตารางที่ 11 คะแนน C_r และค่าถ่วงน้ำหนัก C_w

สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาล (ม./วัน)	ค่าคะแนน (C_r)
< 0.50	1
0.50 - 1.50	2
1.50 - 3.50	4
3.50 - 5.00	6
5.00 - 10.00	8
> 10.00	10
ค่าถ่วงน้ำหนัก (C_w) : 3	

(จาก Aller et al., 1987)

6.1.8 สรุปวิธีการประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาล

แผนที่และรายงานที่ได้จากการประเมินความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาลแสดงการเปรียบเทียบโอกาสที่มลสารจะซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ปัจจัย

สำคัญที่เป็นตัวกำหนดสภาพความอ่อนไหว เรียงตามความสำคัญ คือ

ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล(D) คุณสมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาล (I) อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (R) คุณสมบัติของวัสดุที่เป็นชั้นน้ำบาดาล (A) สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นน้ำ (C) คุณสมบัติของดิน (S) และลักษณะภูมิประเทศ (T)

แผนที่แสดงความอ่อนไหวของแหล่งน้ำบาดาลนี้เมื่อนำไปซ้อนทับกับแผนที่ศักยภาพแหล่งมลสารจะได้แผนที่ประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมลภาวะของชั้นน้ำบาดาล

6.2 การประเมินศักยภาพมลสาร

การประเมินความเสี่ยงที่ชั้นน้ำบาดาลจะถูกปนเปื้อนจากมลสารต่างๆ นั้น นอกจากต้องทราบถึงความยากง่ายของการเคลื่อนที่ของมลสารจากแหล่งกำเนิดสู่ชั้นน้ำบาดาลแล้ว ยังจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาแหล่งที่มาของมลสารด้วย เพื่อให้ทราบถึงจำนวนและที่ตั้งของแหล่งมลสารแต่ละประเภทสำหรับการจัดทำบัญชีแหล่งมลสาร รวมทั้งทราบถึงศักยภาพรายพื้นที่ เพื่อการวิเคราะห์ความเสี่ยงของแหล่งน้ำบาดาลในขั้นต่อไป โดยส่วนใหญ่น้ำบาดาลจะมีคุณภาพดี เนื่องจากผ่านการกรองตามธรรมชาติเป็นระยะเวลานานกว่าที่จะลงสู่ชั้นน้ำบาดาล อย่างไรก็ตาม การดำเนินกิจกรรมในภาคอุตสาหกรรมและกิจกรรมในชุมชนที่อาจก่อให้เกิดมลสารต่างๆ มีผลทำให้น้ำบาดาลมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของมลสารซึ่งมีคุณสมบัติในการก่อมลพิษแตกต่างกันตามลักษณะของกิจกรรม กิจกรรมในภาคอุตสาหกรรมหลายประเภทที่มีโอกาสก่อให้เกิดมลภาวะต่อแหล่งน้ำบาดาลได้ เช่น บริเวณที่ฝังกลบขยะ ก่อให้เกิดแอมโมเนียม ฮาโลจีเนตไฮโดรคาร์บอนบางชนิด ในเขตชุมชน ก่อให้เกิดอินทรีย์วัตถุ ไขมัน สารซักฟอก และ สถานีบริการน้ำมัน ก่อให้เกิดเบนซีน อโรมาติค ไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ฮาโลจีเนตไฮโดรคาร์บอนบางชนิด เป็นต้น จากข้อมูลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติและพฤติกรรมของแหล่งมลสารต่างๆ เหล่านี้ ทำให้ทราบว่ามีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของมลสาร ทั้งประเภทสารอินทรีย์ระเหย (volatile organic compounds) และโลหะหนัก (heavy metals)

การวิเคราะห์ศักยภาพของแหล่งมลสารเชิงเปรียบเทียบ คือ การแสดงถึงโอกาสที่พื้นที่หนึ่งๆ จะได้รับมลสารมากกว่าหรือน้อยกว่าอีกพื้นที่หนึ่ง ซึ่งเมื่อนำข้อมูลในส่วนนี้มาพิจารณาร่วมกับผลการศึกษาความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลในแต่ละพื้นที่ ผลที่ได้จะสามารถนำไปสู่การประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนมลสารของพื้นที่และจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่ที่มีความจำเป็นเร่งด่วนในการฟื้นฟูและอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำบาดาลต่อไป

ศักยภาพของแหล่งมลสารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ วิธีการวิเคราะห์ศักยภาพจึงมีความหลากหลาย ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์หลักของแต่ละการศึกษา อย่างไรก็ตาม แนวคิดวิธีการวิเคราะห์เกือบทั้งหมดจะคล้ายคลึงกัน วิธีการวิเคราะห์ที่นิยมนำมาเป็นแนวทางการศึกษาศักยภาพของแหล่งมลสาร คือ ระบบการจัดลำดับความเสี่ยงอันตราย (Hazard Ranking System, HRS) ที่พัฒนาขึ้นในปี 1992 โดย Environmental Protection Agency ในประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) ซึ่งเป็นกลไกสำคัญที่ใช้ในการประเมินและจัดลำดับความสำคัญของสถานที่กำจัดของเสียอันตรายที่ปนเปื้อนด้วยสารพิษและของเสียอันตรายในประเทศสหรัฐอเมริกา ระบบนี้ถือเป็นการให้คะแนนแต่ละแหล่งมลสารอย่างง่ายๆ โดยใช้ข้อมูลเบื้องต้นที่มีอยู่อย่างจำกัดของแต่ละแหล่งมลสารคะแนนจะอยู่ในช่วง 0-100 ขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ (1) แนวโน้มที่มลสารจากแหล่ง กำเนิดจะออกมาสู่สิ่งแวดล้อม (2) ลักษณะ ปริมาณ และ

คุณภาพของมลสาร และ (3) ความเป็นไปได้ที่คนหรือสิ่งแวดล้อมบริเวณนี้จะสัมผัสกับมลสารเหล่านั้น

การประเมินศักยภาพของมลสารประกอบด้วยขั้นตอนการทำงาน 9 ขั้นตอน (รูปที่ 4) ได้แก่

(1) รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องด้านมลสารและแหล่งมลสาร
(2) ศึกษาและคัดเลือกวิธีการประเมินศักยภาพแหล่งมลสารแต่ละประเภท
(3) กำหนดเกณฑ์การประเมินศักยภาพแหล่งมลสารแต่ละประเภท
(4) ศึกษาลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและจัดทำแผนที่ที่ตั้งมลสาร
(5) รวบรวมวิเคราะห์และจำแนกมลสารตามแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ
(6) จัดทำฐานข้อมูลสารเคมีอันตรายต่อน้ำบาดาล
(7) วิเคราะห์ ประเมินศักยภาพแหล่งมลสารแต่ละประเภท
(8) กำหนดเกณฑ์การประเมินศักยภาพมลสารโดยรวม
(9) วิเคราะห์ประเมินศักยภาพแหล่งมลสารโดยรวม

การประเมินแหล่งมลสาร เพื่อเลือกพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนมลสารในน้ำบาดาลนั้นต้องพิจารณา 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ความอ่อนไหวทางด้านสิ่งแวดล้อม การบริหารการจัดการแหล่งกำเนิดมลสารต่างๆ และสภาพอุทกธรณีวิทยาบริเวณแหล่งกำเนิดมลสาร

การคัดเลือกพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนประกอบการประเมินศักยภาพของแหล่งกำเนิดมลสารที่แตกต่างกันไปตามประเภทของแหล่งมลสาร 6 ประเภท ได้แก่

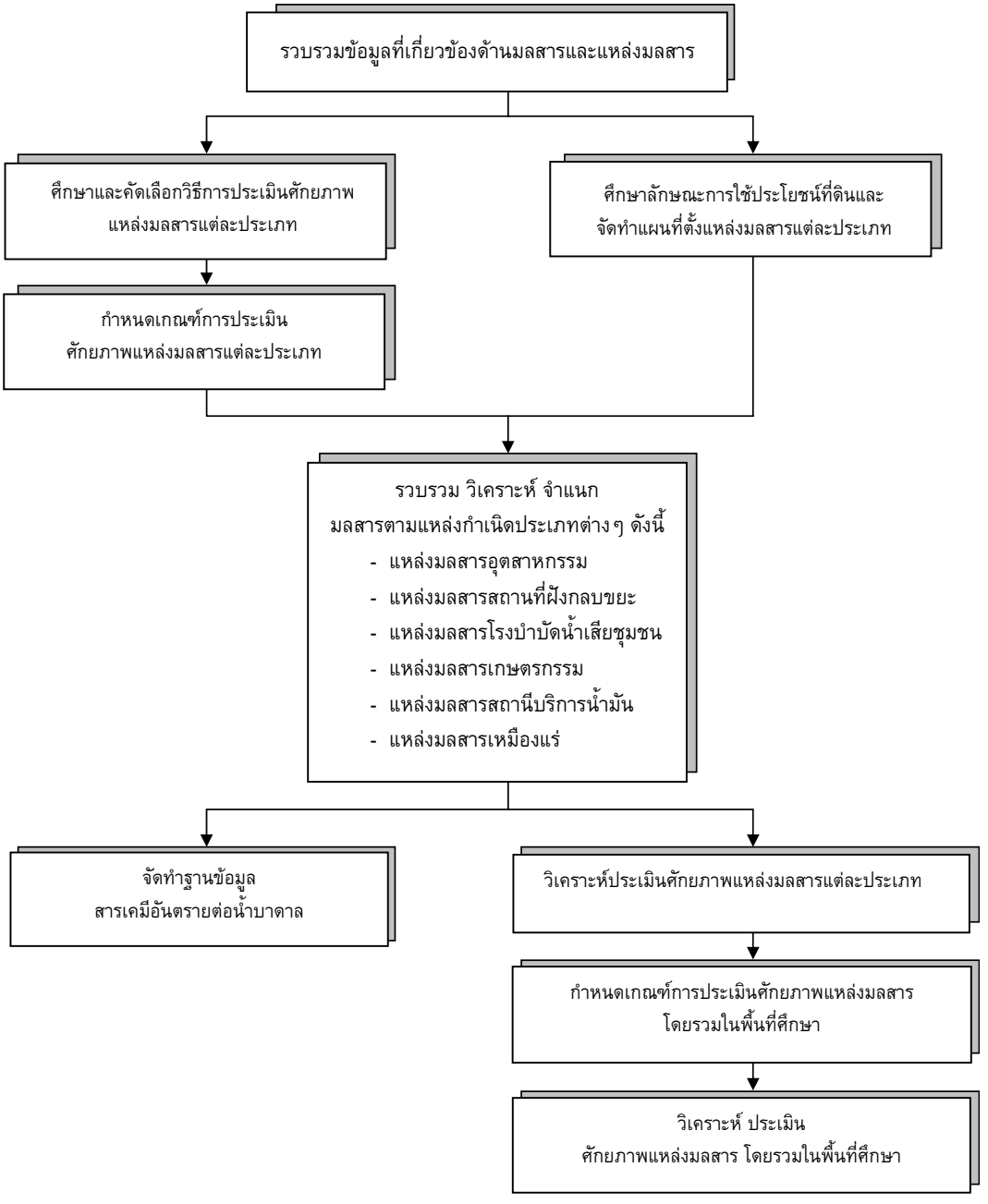
(1) แหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย
(2) แหล่งมลสารประเภทอุตสาหกรรม
(3) แหล่งมลสารประเภทสถานีบริการน้ำมัน
(4) แหล่งมลสารประเภทระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน
(5) แหล่งมลสารประเภทเหมืองแร่
(6) แหล่งมลสารประเภทเกษตรกรรม

การประเมินศักยภาพของแหล่งมลสารแต่ละประเภทจะประเมินผลแสดงออกมาเป็นระดับความรุนแรงของแหล่งมลสารที่ส่งผลกระทบต่อน้ำบาดาล ซึ่งจะนำไปสู่การคัดเลือกพื้นที่เพื่อการศึกษาวิเคราะห์สถานการณ์การปนเปื้อนและเพื่อวางระบบติดตามการปนเปื้อนและวางแผนการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาต่อไป

6.2.1 แหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย

(1) วิธีการกำหนดเกณฑ์ ปัจจัยที่นำมาพิจารณาเพื่อกำหนดเกณฑ์ การประเมินศักยภาพแหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย มีดังนี้

(1.1) วิธีการกำจัดขยะมูลฝอยที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและระบบการป้องกันการปนเปื้อนน้ำบาดาลโดยที่การฝังกลบอย่างปลอดภัย (secure landfill) มีการจัดการเตรียมมาตรการด้านการป้องกันน้ำชะมูลฝอยไหลซึมลงสู่แหล่งน้ำบาดาลดีที่สุด โอกาสที่น้ำชะมูลฝอยจะลงสู่แหล่งน้ำบาดาลจึงน้อยที่สุด และสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองไม่มีระบบการป้องกันน้ำชะมูลฝอยไหลซึมลงสู่แหล่งน้ำบาดาล โอกาสที่น้ำชะมูลฝอยจะลงสู่น้ำบาดาลมากที่สุด



รูปที่ 4 ขั้นตอนการประเมินศักยภาพมลสาร

(1.2) ปริมาณขยะมูลฝอยที่กำจัดต่อวัน ขนาดพื้นที่ที่ใช้ในการกำจัดขยะที่ใช้ไปแล้ว และระยะเวลาที่เปิดใช้สถานที่กำจัดขยะ ปัจจัยทางด้านปริมาณขยะ ขนาดพื้นที่ที่ใช้กำจัดขยะ และระยะเวลาที่เปิดใช้เหล่านี้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในสถานที่กำจัดแต่ละแห่งว่าจะมีมากหรือน้อยเพียงใด นอกจากนี้ ระยะเวลาที่เปิดใช้สถานที่กำจัดขยะ หรืออายุของสถานที่กำจัดขยะมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของน้ำชะมูลฝอย (leachate quality) ซึ่งสามารถนำไปพิจารณาจัดเกณฑ์การให้คะแนนได้ โดยเกณฑ์การให้คะแนนจะเน้นผลกระทบต่อน้ำบาดาลเป็นสำคัญ ดังนั้น ปริมาณขยะต่อวัน ขนาดพื้นที่ที่ใช้กำจัด และระยะเวลาที่เปิดใช้ยิ่งมากจะก่อให้เกิดน้ำชะมูลฝอยมาก โอกาสที่น้ำบาดาลจะได้รับการปนเปื้อนจึงมีสูง

(1.3) ประเภทของขยะ ประเภทของขยะที่รับกำจัดจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงองค์ประกอบและคุณภาพของน้ำชะขยะมูลฝอย โดยของเสียอันตรายจากอุตสาหกรรม จะส่งผลให้น้ำชะมูลฝอยมีสารเคมีอันตรายต่างๆ เป็นองค์ประกอบ จึงทำให้โอกาสที่น้ำบาดาลจะปนเปื้อนสารเคมีอันตรายมีสูงกว่าขยะมูลฝอยที่มาจากชุมชนทั่วไป

(1.4) ลักษณะดินของแหล่งฝังกลบขยะ ลักษณะดินจะบ่งชี้ถึงการยอมให้น้ำซึมได้ของดิน (permeability) โดยบริเวณที่เนื้อดินเป็นดินทรายหยาบหรือเป็นกรวดจะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมสูง โอกาสที่น้ำบาดาลจะได้รับการปนเปื้อนจึงมีสูงในขณะที่บริเวณที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวที่ไม่มีช่องว่างของดินในแนวดิ่ง หรือบริเวณที่ดินที่มีชั้นดานที่มีการสมานตัวดี จะให้น้ำซึมผ่านได้น้อย โอกาสที่น้ำบาดาลจะได้รับการปนเปื้อนจึงน้อย

(1.5) สภาพแวดล้อมทางกายภาพโดยรอบสถานที่ที่กำจัดขยะ เป็นเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อชุมชนเป็นหลัก โดยกำหนดเกณฑ์ตามเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ของสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยตามที่กรมควบคุมมลพิษ (2543) ได้กำหนดไว้ คือ สถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยควรตั้งอยู่ห่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือที่มนุษย์สร้างขึ้นมา รวมทั้งพื้นที่ชุ่มน้ำ (wetland) ไม่น้อยกว่า 300 เมตร และควรตั้งอยู่ห่างจากชุมชนไม่น้อยกว่า 1 กิโลเมตร

(2) เกณฑ์การให้คะแนน และจัดระดับความรุนแรง เมื่อประเมินศักยภาพแหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยโดยใช้เกณฑ์ดังกล่าวข้างต้นแล้ว จะต้องนำคะแนนที่ได้มาจัดกลุ่มตามระดับความรุนแรงออกเป็น 5 ระดับ (ตารางที่ 12 และ ตารางที่ 13)

6.2.2 แหล่งมลสารประเภทอุตสาหกรรม

ของเสียอุตสาหกรรมจัดเป็นมลสารประเภทอุตสาหกรรม โดยของเสียที่เกิดขึ้นมีทั้งในรูปที่เป็นกากของเสียและน้ำเสีย มลสารจากอุตสาหกรรมเป็นมลสารที่มีความรุนแรงสูง เนื่องจากมีปริมาณมากและเป็นอันตรายสูง อันตรายจากของเสียขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม ทั้งนี้มลสารจากอุตสาหกรรมเกิดจากหลายกระบวนการตั้งแต่การจัดเก็บวัตถุดิบหรือสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนการผลิต ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต รวมทั้งน้ำเสียที่เกิดจากการล้างวัตถุดิบและเครื่องมือต่างๆ เป็นต้น การจัดการของเสียอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นอย่างไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก รวมทั้งอาจส่งผลกระทบต่อน้ำบาดาลอีกด้วย

จากข้อมูลการจัดตั้งโรงงานอุตสาหกรรม พบว่ามีอุตสาหกรรมสำคัญ 14 หมวด ที่ใช้วัตถุดิบและปล่อยของเสียประเภทสารอินทรีย์ระเหยง่าย และโลหะหนัก ที่แสดงในตารางที่ 14 ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ของเสียที่ไม่เป็นอันตราย ได้แก่ เศษวัตถุดิบจากอุตสาหกรรม เช่น เศษผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ เศษกระป๋อง และบรรจุภัณฑ์

ตารางที่ 12 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย

ลำดับที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (weighing factor)	ผลคูณ (คะแนน x น้ำหนัก)
		1	2	3	4	5		
1	วิธีการกำจัดขยะมูลฝอยที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและระบบป้องกันการปนเปื้อนน้ำบาดาล - ฝังกลบอย่างปลอดภัย (secure landfill)	x					5	5
	- ฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (sanitary landfill) และใช้วัสดุกันซึมสองชั้น (double liner)		x					10
	- ฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (sanitary landfill) และใช้วัสดุกันซึมเป็นแผ่นวัสดุสังเคราะห์ชั้นเดียวกับดินที่มีอัตราการไหลซึมต่ำ (single geosynthetic liner with low permeable soil) หรือใช้วัสดุกันซึม (composite liner)			x				15
	- ฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (sanitary landfill) และใช้วัสดุกันซึมเป็นดินที่มีอัตราการไหลซึมต่ำ (low permeable soil liner)				x			20
	- ฝังกลบไม่ถูกหลักสุขาภิบาล หรือการเทกอง (open dump)					x		25
2	ปริมาณขยะมูลฝอยที่จำกัด (ตันต่อวัน) < 10 ตันต่อวัน	x					3	3
	10-50 ตันต่อวัน		x					6
	> 50-100 ตันต่อวัน			x				9
	> 100-300 ตันต่อวัน				x			12
	> 300 ตันต่อวัน					x		15

ตารางที่ 12 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย (ต่อ)

ลำดับที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (weighing factor)	ผลคูณ (คะแนน x น้ำหนัก)
		1	2	3	4	5		
3	ขนาดพื้นที่ที่ใช้ในการกำจัดขยะที่ใช้ไปแล้ว < 5 ไร่	x					3	3
	10-50 ไร่		x					6
	> 10-20 ไร่			x				9
	> 20-50 ไร่				x			12
	> 50 ไร่					x		15
4	ระยะเวลาที่เปิดใช้สถานที่กำจัดขยะ < 2 ปี	x					3	3
	2-5 ปี		x					6
	> 5-10 ปี			x				9
	> 10-15 ปี				x			12
	> 15 ปี					x		15
5	ประเภทของขยะมูลฝอยที่รับกำจัด - ขยะฝอยชุมชน ที่คัดแยกขยะเปียกออกไป เหลือแต่ขยะแห้งประเภทที่เผาไหม้ได้ เช่น กระดาษ เศษผ้า และพลาสติก	x					4	4
	- ขยะมูลฝอยชุมชนที่คัดแยกขยะเปียกออกไป เหลือแต่ขยะแห้งประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้ เช่น โลหะ แก้ว และกระป๋อง		x					8
	- ขยะมูลฝอยชุมชนที่คัดแยกขยะแห้งออกไป เหลือแต่ขยะเปียก เช่น เศษอาหาร ผัก ผลไม้			x				12
	- ขยะชุมชนที่ไม่มีการคัดแยกขยะ				x			16
	- ของเสียอันตรายจากอุตสาหกรรม (hazardous waste)					x		20

ตารางที่ 12 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย (ต่อ)

ลำดับที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (weighing factor)	ผลคูณ (คะแนน x น้ำหนัก)
		1	2	3	4	5		
6	ลักษณะดินของแหล่งฝังกลบขยะ - ดินเหนียวที่ไม่มีช่องว่างเรียงตัวในแนวดิ่งหรือเป็นชั้นดานที่มีการเชื่อมตัวแข็งแรง	x					2	2
	- ดินที่มีเนื้อออกเป็นดินร่วน ทรายแป้งหรือดินเหนียวที่มีโครงสร้างเลว		x					4
	- ดินร่วน หรือดินร่วนปนทรายแป้ง			x				6
	- ทรายปนดินร่วน หรือดินร่วนปนทราย				x			8
	- ทรายหยาบ กรวด ลูกรัง					x		10
7	สภาพแวดล้อมกายภาพโดยรอบสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย 7.1 แหล่งน้ำสาธารณะใกล้เคียง - ไม่มีแหล่งน้ำสาธารณะใกล้เคียงหรือมีแหล่งน้ำสาธารณะอยู่ห่างมากกว่า 300 เมตร	x					1	1
	- มีแหล่งน้ำสาธารณะใกล้เคียงในระยะห่างน้อยกว่า 300 เมตร		x					2
	7.2 ชุมชนบริเวณใกล้เคียง (1) - มีชุมชนบริเวณใกล้เคียงในรัศมีมากกว่า 1 กม.	x						1
	- มีชุมชนบริเวณใกล้เคียงภายในรัศมี 1 กม.		x					2
ผลรวมคะแนนเต็ม (คิดเป็น 100%)								104

ตารางที่ 13 การจัดระดับความรุนแรงของแหล่งมลสารที่มีผลกระทบต่อน้ำบาดาล

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด	คะแนน (%)
1	น้อยมาก	ไม่มีผลกระทบต่อน้ำบาดาล อย่างมีนัยสำคัญ	น้อยกว่า 45
2	น้อย	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลเล็กน้อย สามารถควบคุมหรือแก้ไขได้	46 - 60
3	ปานกลาง	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลสามารถควบคุมหรือแก้ไขได้ในระยะเวลาสั้น	60 - 75
4	สูง	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลรุนแรง ต้องใช้เวลาในการแก้ไขระยะปานกลางอีกทั้งมีผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ ควรจัดให้มีระบบการเฝ้าระวังการปนเปื้อน	76 - 90
5	สูงมาก	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลรุนแรงมาก ต้องใช้ทรัพยากรและเวลาในการแก้ไขระยะยาว อีกทั้งมีผลกระทบต่อชุมชนเป็นบริเวณกว้าง หรือหน่วยงานของรัฐต้องเข้าดำเนินการแก้ไขหรือเข้าไปฟื้นฟูอย่างเร่งด่วนต้องมีระบบติดตามตรวจสอบการปนเปื้อน	> 90

ตารางที่ 14 ของเสียจากอุตสาหกรรม 14 หมวด

หมวดอุตสาหกรรมสำคัญ	สารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ที่พบ	โลหะหนักที่พบ
1. อุตสาหกรรมอาหาร	trimethylamine	-
2. สิ่งทอ	benzene, carbontetrachloride, dichloromethane, toluene, dichloromethane, trichloroethylene, xylene	antimony compounds, chromium compounds, copper compound
3. ผลิตภัณฑ์หนังสัตว์และผลิตภัณฑ์จากหนังสัตว์	benzene, carbontetrachloride, dichloromethane, toluene, dichloromethane, trichloroethylene, xylene	antimony compounds, chromium compounds, copper compound
4. ผลิตกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ	toluene	zinc compounds
5. เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี	benzene, carbontetrachloride, dichloromethane, toluene, dichloromethane, trichloroethylene, xylene	-

(ดัดแปลงจาก กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539 และ Shreve and Brink, 1977)

ตารางที่ 14 ของเสียจากอุตสาหกรรม 14 หมวด (ต่อ)

หมวดอุตสาหกรรมสำคัญ	สารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ที่พบ	โลหะหนักที่พบ
6. ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม	benzene, carbontetrachloride, dichloromethane, toluene, dichloromethane, trichloroethylene, xylene	-
7. ยางและผลิตภัณฑ์ยาง	benzene, ethylbenzene, styrene, toluene, xylene	-
8. ผลิตภัณฑ์พลาสติก	benzene, dichloromethane, ethylbenzene, styrene, toluene, xylene, 1,1,1-trichloroethane	antimony compounds, chromium compounds, cobalt compounds, lead compounds, manganese compounds
9. ผลิตภัณฑ์อโลหะ	benzene, ethylbenzene, toluene, styrene, xylene	antimony compounds, lead compounds, lithium compounds, barium compounds, manganese compounds
10. ผลิตโลหะขั้นมูลฐาน	trichloroethylene, xylene	chromium compounds, copper compounds, lead compounds, zinc, manganese compounds, nickel
11.ผลิตภัณฑ์โลหะ	trichloroethylene, xylene	chromium compounds, copper compounds, lead compounds, zinc, manganese compounds, nickel
12. ผลิตเครื่องจักร และเครื่องกล	trichloroethane, toluene	chromium compounds, copper compounds, lead compounds, manganese compounds, nickel, zinc compounds
13. ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์	trichloroethane, toluene	-
14. ผลิตยานพาหนะและอุปกรณ์ รวมทั้งซ่อมยานพาหนะและอุปกรณ์	trichloroethylene, toluene, xylene	chromium compounds, copper compounds, lead compounds, manganese compounds, nickel, zinc compounds

(ดัดแปลงจาก กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539 และ Shreve and Brink, 1977)

เศษผ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น และของเสียที่เป็นอันตราย ได้แก่ บรรจุภัณฑ์ของสารปราบศัตรูพืช และสารเคมีต่างๆ ชิ้นส่วนอิเลคทรอนิกส์ ตะกอนก้นถังกลั่นน้ำยาเคมีต่างๆ ขยะที่มีใยแอสเบสตอสปนเปื้อน กากตะกอนที่มีโลหะหนักเป็นส่วนประกอบ เป็นต้น โดยของเสียอันตรายส่วนใหญ่จะถูกส่งไปกำจัดที่ศูนย์รับบริการกำจัดกากของเสียอันตราย

การบำบัดกากของเสียอันตรายในปัจจุบัน การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยกำหนดให้บริษัทผู้ให้บริการกำจัดของเสียอันตราย ที่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานราชการเป็นผู้ดำเนินการจัดเก็บและกำจัดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยตรง โดยโรงงานจะต้องยื่นขออนุญาตนำของเสียออกนอกโรงงานต่อการนิคมอุตสาหกรรม และยื่นขออนุญาตต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม กรณีที่กำจัดขยะทั่วไปและขยะอันตราย ทั้งนี้ในแต่ละนิคมฯ จะมีผู้ให้บริการบำบัดและกำจัดของเสียอันตรายเข้ามามีส่วนในการรับผิดชอบในการกำจัดต่อไปกากของเสียอันตรายหรือขยะที่เกิดขึ้นจากนิคมอุตสาหกรรมจะถูกส่งไปกำจัดที่ศูนย์บำบัดและกำจัดกากของเสียอันตรายหรือสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชน ดังนั้นในการประเมินศักยภาพแหล่งมลสารประเภทอุตสาหกรรม จึงใช้เกณฑ์การประเมินเช่นเดียวกันกับการประเมินศักยภาพแหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนและให้ความสำคัญกับพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากมีการลักลอบทิ้งกากของเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งถือว่ามีผลกระทบต่อน้ำบาดาลรุนแรงมาก กล่าวคือต้องใช้ทรัพยากรและเวลาในการแก้ไขระยะยาว อีกทั้งมีผลกระทบต่อชุมชนเป็นบริเวณกว้าง หรือหน่วยงานของรัฐต้องเข้าดำเนินการแก้ไขหรือเข้าไปฟื้นฟูอย่างเร่งด่วน ต้องมีระบบติดตามตรวจสอบการปนเปื้อน

6.2.3 แหล่งมลสารประเภทสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

มลสารจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงประกอบด้วย สารประกอบเบนซีนอโรมาติค ไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ฮาโลจีเนตไฮโดรคาร์บอนบางชนิด ซึ่งสารประกอบเหล่านี้มีความเป็นพิษต่อมนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อม การปนเปื้อนของมลสารประเภทนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการรั่วไหล ของสารในภาชนะที่เก็บ ซึ่งทำให้เกิดการปนเปื้อนในดิน รวมถึงน้ำบาดาล โดยการปนเปื้อนนั้นขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ และตำแหน่งที่มีการรั่วไหลถังบรรจุบนดิน อีกทั้งหากเกิดการรั่วไหลของถังบรรจุใต้ดินจะทำให้มีการควบคุมยาก

(1) วิธีการกำหนดเกณฑ์

การกำหนดเกณฑ์การประเมินศักยภาพแหล่งมลสาร เพื่อใช้ในการคัดเลือกแหล่งมลสารประเภทสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนมลสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาลนั้น พิจารณาจากลักษณะการปนเปื้อนของมลสารที่คาดว่าจะเกิดจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง เช่นถังบรรจุน้ำมันที่อยู่ใต้ดิน ภาชนะขนถ่ายหรือเก็บกักน้ำมันเครื่องใช้แล้วหลังจากมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง โดยมีข้อมูลที่สำคัญ ดังนี้

(1.1) ประวัติการเกิดการรั่วไหลของน้ำมัน เนื่องจากสถานีบริการน้ำมันที่อยู่ในสถานะเปิดให้บริการในปัจจุบัน ส่วนมากจะต้องคำนึงถึงมาตรการป้องกันการรั่วไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงในภาชนะบรรจุเพื่อประโยชน์ของกิจการ ดังนั้นการรั่วไหลที่มีปริมาณมากพอที่จะส่งผลต่อการปนเปื้อนของมลสาร ลงสู่ชั้นน้ำบาดาลจึงน่าจะเกิดจากการออกแบบโครงสร้างของภาชนะบรรจุ ความหนา และชนิดของวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นภาชนะ

(1.2) ระยะห่างจากแหล่งน้ำ เนื่องจากปริมาณการปนเปื้อนของมลสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาลเกิด

จากการที่น้ำเป็นตัวพา ระยะห่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติ จึงถูกนำมาพิจารณาเพื่อให้สามารถแสดงระดับความรุนแรงหรือปริมาณการปนเปื้อนของมลสารจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงต่อชั้นน้ำบาดาล โดยมีสมมติฐานที่ว่า ระยะห่างจากแหล่งน้ำยิ่งมาก ปริมาณการปนเปื้อนของมลสารจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงต่อคุณภาพน้ำบาดาล จะมีปริมาณน้อยลง

(2) เกณฑ์การให้คะแนนและจัดระดับความรุนแรง

เกณฑ์การให้คะแนนเพื่อประเมินศักยภาพแหล่งมลสารประเภทสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ดังตารางที่ 15 เมื่อประเมินศักยภาพแหล่งมลสารประเภทสถานีบริการน้ำมันโดยใช้เกณฑ์ดังกล่าวข้างต้นแล้ว จะต้องนำผลคะแนนที่ได้ไปเทียบระดับความรุนแรง ซึ่งที่ปรึกษาได้แบ่งกลุ่มตามระดับความรุนแรงออกเป็น 5 ระดับ ดังตารางที่ 13

6.2.4 แหล่งมลสารประเภทระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

น้ำเสียจากแหล่งกำเนิดน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่มาจากบ้านเรือน ที่อยู่อาศัย โรงแรม อาคารพาณิชย์ ร้านอาหาร ภัตตาคาร กิจกรรมให้บริการ เป็นต้น ซึ่งรัฐบาลได้จัดสรรงบประมาณในการจัดการน้ำเสียโดยการก่อสร้างระบบรวบรวมน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนแล้ว แต่การดำเนินงานระบบบำบัดน้ำเสียประสบกับปัญหา ด้านขาดงบประมาณ ขาดบุคลากรที่ชำนาญ และที่สำคัญคือขาดความพร้อมในการบริหารการจัดการ จนไม่สามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและต่อเนื่อง

ตารางที่ 15 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทบริการน้ำมัน

ลำดับที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (weighing factor)	ผลคูณ (คะแนน x น้ำหนัก)
		1	2	3	4	5		
1	ความหนาของเหล็กที่ประกอบเป็นถังน้ำมัน							
	- น้อยกว่า 7 มม.			x			2	6
	- หนากว่า 7 มม.					x		10
	- ไม่เคยระเบิด	x						2
2	ระยะห่างจากแหล่งน้ำ							
	0-200 เมตร					x		5
	> 200-400 เมตร				x		1	4
	> 400-600 เมตร			x				3
	> 600-800 เมตร		x					2
	> 800 เมตร ขึ้นไป	x						1
ผลรวมคะแนนเต็ม (คิดเป็น 100%)								15

แหล่งกำเนิดน้ำเสียชุมชนที่ระบายน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมหรือมีการบำบัดน้ำเสียก่อนระบายน้ำทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมนั้น มีลักษณะการดำเนินการสรุปได้ 4 รูปแบบ ดังรูปที่ 5 ซึ่งปัจจุบันมีชุมชนเมืองเพียงไม่กี่แห่งและส่วนใหญ่เป็นชุมชนเมืองระดับเทศบาลนครและเทศบาลเมือง ที่ได้รับการสนับสนุนงบประมาณก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเป็นชุมชนเมืองที่มีขนาดใหญ่ มีปริมาณน้ำเสียค่อนข้างมากที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คุณภาพแหล่งน้ำ และคุณภาพชีวิตของประชาชน (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

ปัจจัยที่นำมาพิจารณาเพื่อกำเนิดเกณฑ์การประเมินศักยภาพแหล่งมลสารประเภทระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน มีดังนี้

(1) ผลการจัดระดับการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำเสีย ในปี 2546 กรมควบคุมมลพิษได้จัดทำแผนฟื้นฟูและปรับปรุงระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียรวมชุมชนทั่วประเทศ ซึ่งได้มีการประเมินผลการดำเนินงานระบบโดยอาศัยเกณฑ์ประเมิน 4 ด้าน ได้แก่ การเดินระบบ ความพร้อมในการดำเนินการ บุคลากร และงบประมาณ ตามน้ำหนักความสำคัญของแต่ละด้าน ดังแสดงในตารางที่ 16 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อประเมินผลการดำเนินงาน และเกณฑ์การให้คะแนน ดังแสดงในตารางที่ 17 และ 18 ตามลำดับ

(2) ผลการจัดกลุ่มระดับการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำเสียจากเกณฑ์การจัดระดับการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำเสียสามารถจัดแบ่งระบบบำบัดน้ำเสียออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 จัดอยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีระดับการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพถึงร้อยละ 90 - 100

กลุ่มที่ 2 จัดอยู่ในเกณฑ์ดี มีระดับการดำเนินงานร้อยละ 76 - 89 ซึ่งในกลุ่มนี้ระบบส่วนใหญ่สามารถดำเนินงานได้ดีอยู่แล้ว แต่ควรมีการพัฒนาเพิ่มศักยภาพการบริหารงานต่อเนื่องเพื่อยกระดับให้อยู่ในเกณฑ์ดีมาก

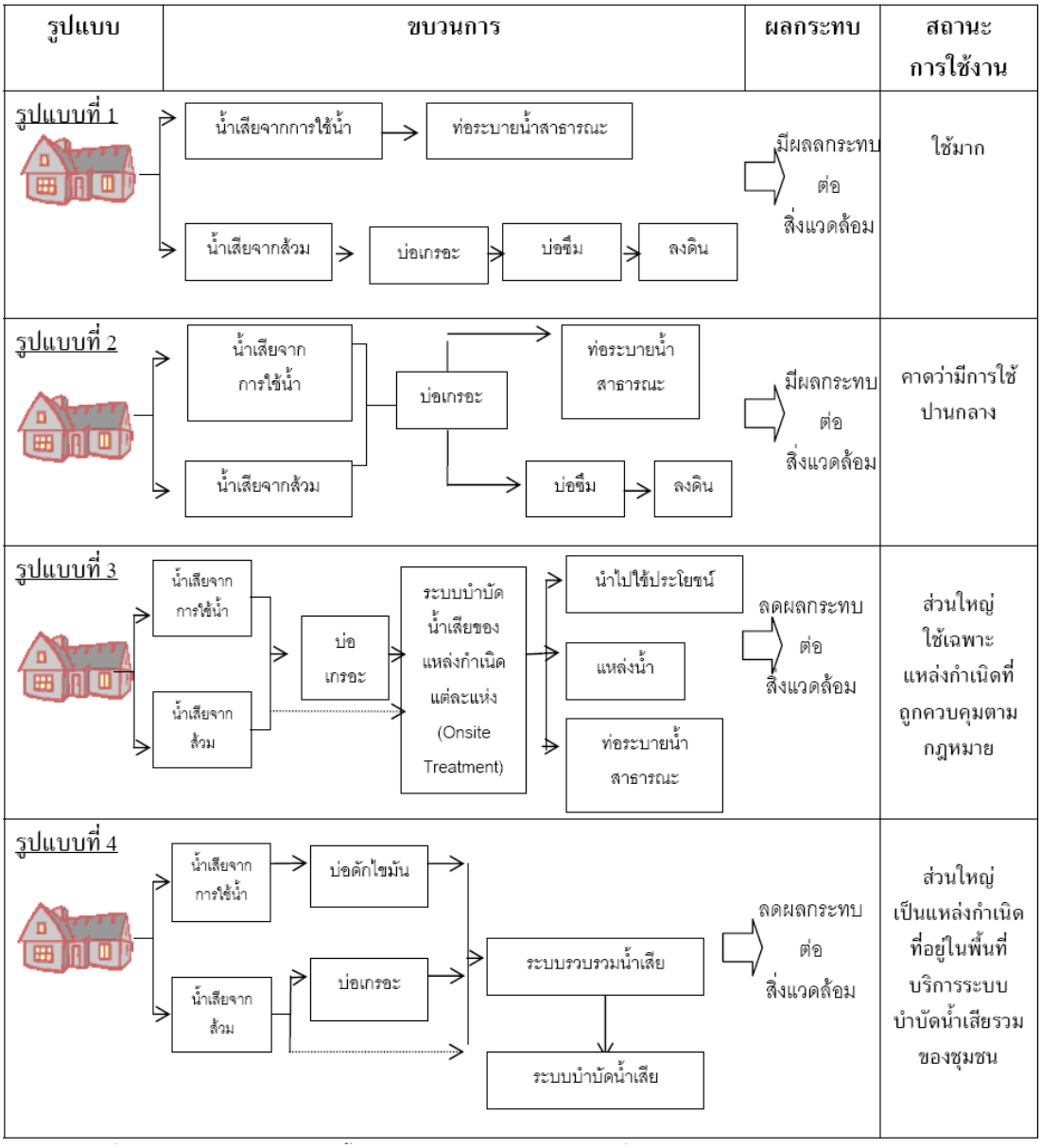
กลุ่มที่ 3 จัดอยู่ในเกณฑ์พอใช้ มีระดับการดำเนินงานร้อยละ 50 - 75 โดยกลุ่มนี้จำเป็นต้องมีการปรับปรุงซ่อมแซมเพื่อฟื้นฟูสภาพการดำเนินงานระบบตลอดจนการเตรียมความพร้อมในการบริหารจัดการ

กลุ่มที่ 4 จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ มีระดับการดำเนินงานร้อยละ 0 - 49 โดยกลุ่มนี้มีการดำเนินการระบบที่ขาดประสิทธิภาพมาก จำเป็นต้องตรวจในรายละเอียดมากขึ้น เพื่อวางแผนการดำเนินงานและวิเคราะห์ความพร้อมของท้องถิ่น พร้อมทั้งกำหนดแนวทางการบริหารจัดการและการจัดเก็บค่าบริการบำบัดน้ำเสียก่อน และจึงดำเนินการปรับปรุงซ่อมแซมภายหลัง

เกณฑ์การให้คะแนนและจัดระดับความรุนแรง ดังตารางที่ 18 และตารางที่ 13

6.2.5 แหล่งมลสารประเภทเหมืองแร่

การทำเหมืองแร่ก่อให้เกิดมลสารในรูปของน้ำเสียที่สามารถปนเปื้อนลงสู่น้ำบาดาลได้ในหลายกระบวนการ ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของเหมืองแร่ โดยสาเหตุส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของมลสารในน้ำบาดาล ได้แก่ การจัดการของเสียที่ไม่เหมาะสม การเกิดอุบัติเหตุ และการรั่วไหลของมลสารจากแหล่งกำเนิดทั้งที่อยู่บนผิวดินใต้ดิน หรือต่ำกว่าระดับน้ำบาดาล การจัดการของเสียจากการทำเหมืองแร่ที่ไม่เหมาะสม เช่น การกองทิ้งหางแร่ที่มีธาตุบางชนิดที่เป็นอันตราย ซึ่งเมื่อมีการชะล้างหางแร่ น้ำที่ฉีดพรมในพื้นที่หรือน้ำฝน ทำให้มลสารจากหางแร่สามารถซึมลงไปปนเปื้อนดินและน้ำบาดาลได้ ในกระบวนการผลิตแร่สารเคมีที่ใช้จำนวนมาก ก่อให้เกิด



รูปที่ 5 รูปแบบการกำจัดน้ำเสีย 4 แบบ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

ตารางที่ 16 การประเมินผลงานด้านระบบบำบัดน้ำเสีย

เกณฑ์ประเมิน	น้ำหนักความสำคัญ	การให้คะแนน
1. งบประมาณการดำเนินงานระบบ	2	คะแนน 0 = ไม่มี คะแนน 5 = มีบ้าง แต่ไม่พอเพียง คะแนน 10 = เพียงพอ
2. บุคลากร	3	คะแนน 0 = ไม่มี คะแนน 5 = มีน้อย ไม่เพียงพอ คะแนน 7 = มีเพียงพอ แต่ขาดประสบการณ์ คะแนน 10 = มีเพียงพอ และมีประสบการณ์
3. ความพร้อมในการดำเนินการ	4	คะแนน 0 = ไม่มีความพร้อม และไม่มีแผนการดำเนินการ คะแนน 5 = มีแผนที่จะดำเนินการ แต่ยังไม่ได้ปฏิบัติ คะแนน 7 = มีแผนดำเนินการ ปฏิบัติแล้วแต่ยังไม่สมบูรณ์ คะแนน 10 = ดำเนินการแล้วอย่างสมบูรณ์
4. การเดินระบบ	5	คะแนน 0 = ไม่มีการเดินระบบ คะแนน 5 = มีการเดินระบบ แต่ไม่ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง คะแนน 7 = มีการเดินระบบ แต่ยังไม่สมบูรณ์ คะแนน 10 = ระบบเดินได้สมบูรณ์

ตารางที่ 17 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อประเมินงานด้านระบบบำบัดน้ำเสีย

หัวข้อพิจารณา	คะแนนเต็ม	น้ำหนัก (1)	คะแนนเต็ม x น้ำหนัก	คะแนน (2)	คะแนนที่ได้รับ (1) × (2)
1. งบประมาณ	10	2	20	5	10
2. บุคลากร	10	3	30	5	15
3. ความพร้อมในการดำเนินการ	10	4	40	5	20
4. การเดินระบบ	10	5	50	7	35
รวม			140		80
ร้อยละ					57
ระดับ					เกณฑ์พอใช้

ตารางที่ 18 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

ลำดับที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (weighing factor)	ผลคูณ (คะแนน x น้ำหนัก)
		1	2	3	4	5		
1	ผลการจัดระดับการดำเนินงานระบบบำบัดน้ำเสียโดยกรมควบคุมมลพิษในปี 2546 - กลุ่มที่ 1 จัดอยู่ในเกณฑ์ดีมากมีระดับการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพถึงร้อยละ 90-100	x					3	3
	กลุ่มที่ 2 จัดอยู่ในเกณฑ์ดีมีระดับการดำเนินงานร้อยละ 76-89		x					6
	กลุ่มที่ 3 จัดอยู่ในเกณฑ์พอใช้มีระดับการดำเนินงานร้อยละ 50-75			x				9
	กลุ่มที่ 4 จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำมีระดับการดำเนินงานร้อยละ 0-49				x			12
2	ปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน) $\leq$ 5,000 ลบ.ม./วัน	x					5	5
	> 5,000-10,000 ลบ.ม./วัน		x					10
	> 10,000-20,000 ลบ.ม./วัน			x				15
	> 20,000 ลบ.ม./วัน				x			20
3	คุณภาพน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ความเข้มข้นของบีโอดี (มก/ล) $\leq$ 20 มก./ล. (อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง)**	x					4	4
	> 200 มก./ล. (สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง)		x					8

หมายเหตุ : ** ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) วันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 113 ตอนที่ 13 ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

ตารางที่ 18 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน (ต่อ)

ลำดับที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (weighing factor)	ผลคูณ (คะแนน x น้ำหนัก)
		1	2	3	4	5		
4	การบำบัดและกำจัดสลัดจ์ (sludge) กำจัดจากระบบบำบัด น้ำเสีย - มีการบำบัดสลัดจ์และกำจัดโดยการเผา	x					4	4
	- มีการบำบัดสลัดจ์และกำจัดโดยการนำไปหมักทำปุ๋ยหรือฝังกลบนอกเขตพื้นที่โรงบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน		x					8
	- มีการบำบัดสลัดจ์และกำจัด โดยการนำไปทำปุ๋ยหมักหรือฝังกลบในเขตพื้นที่โรงบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน			x				12
	- ไม่มีการบำบัดสลัดจ์				x			16
5	ลำดับความสำคัญของชุมชนเมืองระดับเทศบาลในแผนการจัดการน้ำเสียชุมชน - ชุมชนเมืองที่ควรได้รับการจัดการเพื่อแก้ไขและฟื้นฟูคุณภาพน้ำในระยะยาว เป็นพื้นที่ที่วิกฤตและคุณภาพน้ำดี-พอใช้ หรือพื้นที่ที่คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี-พอใช้	x					2	
	- ชุมชนเมืองที่ควรได้รับการจัดการเพื่อแก้ไขและฟื้นฟูคุณภาพน้ำในระยะปานกลางเป็นพื้นที่วิกฤต และคุณภาพน้ำดี-พอใช้		x					4
	- ชุมชนเมืองที่ควรได้รับการจัดการเพื่อแก้ไขและฟื้นฟูคุณภาพน้ำในระยะเร่งด่วน เป็นพื้นที่วิกฤตและคุณภาพน้ำเสื่อมโทรม			x				6
ผลรวมคะแนนเต็ม (คิดเป็น 100%)								62

การปนเปื้อนทั้งจากตัวแร่ หางแร่ นอกจากนี้อาจเกิดการปนเปื้อนจากอุบัติเหตุ และการรั่วไหลจากกระบวนการผลิต และกระบวนการละลายของแร่ที่อยู่ในชั้นน้ำบาดาล ซึ่งทำให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำบาดาล และกระบวนการระบายสารละลายกรดจากกระบวนการทำเหมือง (acid mine drainage)เป็นต้น ความรุนแรงจะขึ้นอยู่กับประเภทของแร่ ชนิดของแร่ เทคนิคและกระบวนการในการทำเหมืองแร่

เพื่อลดปัญหาความเสื่อมโทรมทางทรัพยากรธรรมชาติ และลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม จึงควรกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารที่เกิดจากกิจกรรมการทำเหมือง ดังนี้

(1) การกำหนดเกณฑ์ให้คะแนนจากชนิดของแร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ ระยะห่างจากแหล่งน้ำผิวดิน และอายุการเปิดดำเนินการ

(1.1) ชนิดแร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ ธรณีวิทยาแหล่งแร่ ตลอดจนพื้นที่ศักยภาพทางแร่นั้น มีความสัมพันธ์กับชนิดของโลหะหนักที่อาจพบได้ในบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งจะส่งผลต่อการปนเปื้อนของโลหะหนักในสายแร่ลงสู่น้ำบาดาล โดยในการทำเหมืองหินอาจพบโลหะหนักหลายชนิด (กองพัฒนาทรัพยากรธรณี, 2540) ตัวอย่างเช่น เหมืองหินปูนอาจพบโลหะหนัก จำพวกตะกั่ว สังกะสี และทองแดง เหมืองหิน แกรนิต อาจพบโลหะหนักจำพวกพลวง สารหนู ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง

(1.2) ระยะห่างจากแหล่งน้ำ พื้นที่เหมืองที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำมากย่อมจะมีโอกาสที่มลสารจากกระบวนการทำเหมืองจะปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำมีเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน

(1.3) อายุเปิดดำเนินการ เหมืองแร่ที่มีอายุเปิดดำเนินการยาวนานย่อมมีการสะสมสารในปริมาณที่สูงและมีการปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมได้มากกว่ามีแนวโน้มที่จะเป็นแหล่ง กำเนิดมลสารที่เป็นอันตรายต่อคุณภาพน้ำบาดาลการให้คะแนนสามารถคำนวณจากระยะเวลานับตั้งแต่ปีแรกที่เปิดดำเนินการจนถึงปีปัจจุบัน

(2) เกณฑ์การให้คะแนนและการจัดระดับความรุนแรงเพื่อประเมินศักยภาพของแหล่งมลสารประเภทเหมืองแร่สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 19 และตารางที่ 13 ตามลำดับ

6.2.6 แหล่งมลสารประเภทเกษตรกรรม

(1) วิธีการกำหนดเกณฑ์มลสารจากเกษตรกรรมสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อการปนเปื้อนในน้ำบาดาลเนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมี ยาปราบวัชพืช ยาปราบศัตรูพืช การเก็บและการทิ้งมูลสัตว์ รวมทั้งกิจกรรมการเกษตรกรรมอื่นๆ มีผลให้เกิดความเสี่ยงในการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยกิจกรรมต่างๆ จะดำเนินการบนผิวดิน ดังนั้นดินจึงเป็นแหล่งที่รองรับมลสารต่างๆ โดยตรง จากนั้นมลสารจะเคลื่อนที่ลงสู่น้ำบาดาลในที่สุด โดยกิจกรรมทางเกษตรกรรมทำให้มีโอกาสปนเปื้อนของมลสารลงสู่ดินสูง เนื่องจากมีการใช้สารเคมีในรูปแบบต่างๆ ในปริมาณที่มากและกระจายครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่เกษตรกรรม เช่น การรองก้นหลุม การคลุกเมล็ดพันธ์ การอบดิน หรือการฉีดพ่นลงบนผิวดินโดยตรง นอกจากนี้ยังสามารถนำมลสารเข้าสู่ดินได้โดยวิธีการอื่นๆ อีก เช่น การตกค้างของสารเคมีที่มีอยู่ในพืชที่ใช้ทำปุ๋ยพืชสด ดังตารางที่ 20 เป็นต้น

(2) เกณฑ์การให้คะแนนและจัดระดับความรุนแรง เมื่อประเมินศักยภาพแหล่งมลสารเกษตรกรรมโดยใช้เกณฑ์ดังกล่าวข้างต้นแล้วจะนำคะแนนที่ได้มาจัดกลุ่มตามระดับความรุนแรงออกเป็น 5 ระดับ ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 19 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทเหมืองแร่

ลำดับที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (weighing factor)	ผลคูณ (คะแนน x น้ำหนัก)
		1	2	3	4	5		
1	ชนิดแร่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ - อุตสาหกรรมหินทรายแก้ว	x					5	5
	- อุตสาหกรรมชนิดหินปูน			x				15
	- อุตสาหกรรมชนิดหินแกรนิตหรือ อุตสาหกรรมชนิดหินปูนและแกรนิต					x		25
2	ระยะห่างระหว่างเหมืองแร่และแหล่งน้ำ > 800 เมตร	x					3	3
	> 600-800 เมตร							6
	> 400-600 เมตร			x				9
	> 200-400 เมตร				x			12
	< 200 เมตร					x		15
3	อายุเปิดดำเนินการเหมือง < 3 ปี	x					1	1
	> 4-6 ปี		x					2
	> 7-9 ปี			x				3
	> 10-13 ปี				x			4
	> 14-16 ปี					x		5
ผลรวมคะแนนเต็ม (คิดเป็น 100%)								45

ตารางที่ 20 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทเกษตรกรรม

ลำดับที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (weighing factor)	ผลคูณ (คะแนน x น้ำหนัก)
		1	2	3	4	5		
1	ปริมาณพาราควอตไดคลอไรด์							
	- 0-20 %	x					1	5
	- 21-40 %		x					10
	- 41-60 %			x				15
	- 61-80 %				x			20
	- 81-100 %					x		25

ตารางที่ 20 เกณฑ์การให้คะแนนแหล่งมลสารประเภทเกษตรกรรม (ต่อ)

ลำดับที่	ปัจจัยกำหนด	คะแนน					น้ำหนัก (weighing factor)	ผลคูณ (คะแนน x น้ำหนัก)
		1	2	3	4	5		
2	ปริมาณไกรโฟเสต							
	- 0-20 %	x					1	5
	- 21-40 %		x					10
	- 41-60 %			x				15
	- 61-80 %				x			20
	- 81-100 %					x		25
3	ปริมาณไดยูรอน							
	- 0-20 %	x					1	5
	- 21-40 %		x					10
	- 41-60 %			x				15
	- 61-80 %				x			20
	- 81-100 %					x		25
4	ปริมาณปุ๋ยเคมี							
	- 0-20 %	x					1	5
	- 21-40 %		x					10
	- 41-60 %			x				15
	- 61-80 %				x			20
	- 81-100 %					x		25
5	ปริมาณปุ๋ยยูเรีย							
	- 0-20 %	x					5	5
	- 21-40 %		x					10
	- 41-60 %			x				15
	- 61-80 %				x			20
	- 81-100 %					x		25

6.2.7 สรุปผลการประเมินศักยภาพแหล่งมลสารรวม

การประเมินค่าศักยภาพมลสารรวมเป็นการเปรียบเทียบว่าบริเวณใดในพื้นที่ศึกษาที่เป็นแหล่งก่อมลสารที่สำคัญในพื้นที่ โดยสามารถแสดงในรูปแผนที่ศักยภาพของแหล่งมลสารเชิงเปรียบเทียบแสดงถึงโอกาสที่พื้นที่หนึ่งๆ จะได้รับมลสารมากกว่าหรือน้อยกว่าอีกพื้นที่หนึ่ง โดยพิจารณาจากระดับความรุนแรงของแหล่งมลสารทั้ง 6 ประเภท ได้แก่ แหล่งมลสารประเภทสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย แหล่งมลสารประเภทอุตสาหกรรม แหล่งมลสารประเภทสถานีบริการน้ำมัน แหล่งมลสารประเภทระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน แหล่งมลสารประเภทเหมืองแร่ และแหล่งมลสารประเภทเกษตรกรรม

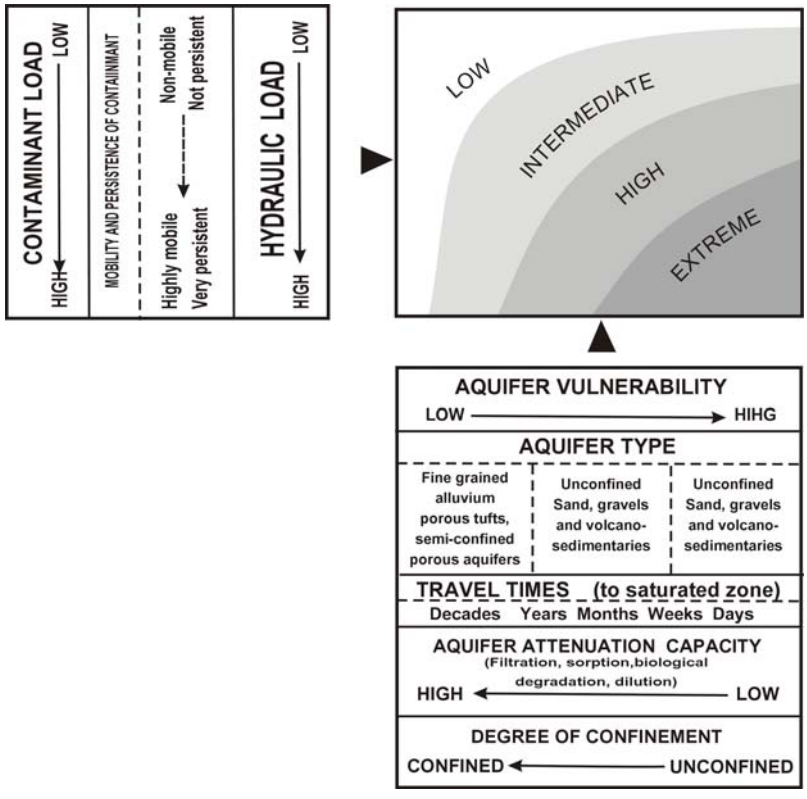
สำหรับผลการประเมินศักยภาพแหล่งมลสารรวม แสดงในรูปของระดับความรุนแรงของแหล่งมลสารที่ส่งผลกระทบต่อน้ำบาดาล ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ตามตารางที่ 21

6.3 ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ

ความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ Foster (1987) หมายถึง โอกาสหรือความเป็นไปได้ที่น้ำบาดาลจะถูกปนเปื้อนเกินกว่าระดับที่ยอมรับได้ ส่วน Morris and Foster (2000) ได้นิยามความหมายของการประเมินความเสี่ยงว่า หมายถึง กระบวนการที่นำมาใช้เพื่อคาดการณ์ถึงความเป็นไปได้ที่น้ำบาดาลจะถูกปนเปื้อนจากมลสาร การที่จะระบุความเสี่ยงที่แท้จริง (integrated vulnerability) ต้องพิจารณาทั้งสภาพความอ่อนไหวตามธรรมชาติของแหล่งน้ำบาดาลร่วมกับศักยภาพของแหล่งมลสารที่จะส่งผลต่อชั้นน้ำบาดาล และได้เสนอหลักการพื้นฐานเพื่อใช้ประเมินความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะดังแสดงในรูปที่ 6

ตารางที่ 21 ระดับความรุนแรงของแหล่งมลสารรวมที่กระทบต่อน้ำบาดาล

ระดับ	ความรุนแรง	รายละเอียด	คะแนน
1	น้อยมาก	ไม่มีผลกระทบต่อน้ำบาดาล อย่างมีนัยสำคัญ	1 - 5
2	น้อย	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลเล็กน้อย สามารถควบคุมหรือแก้ไขได้	6 - 10
3	ปานกลาง	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลสามารถควบคุมหรือแก้ไขได้ในระยะเวลาสั้น	11 - 15
4	สูง	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลรุนแรง ต้องใช้เวลาในการแก้ไขระยะปานกลางอีกทั้งมีผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ ควรจัดให้มีระบบการเฝ้าระวังการปนเปื้อน	16 - 20
5	สูงมาก	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลรุนแรงมาก ต้องใช้ทรัพยากรและเวลาในการแก้ไขระยะยาว อีกทั้งมีผลกระทบต่อชุมชนเป็นบริเวณกว้าง หรือหน่วยงานของรัฐต้องเข้าดำเนินการแก้ไขหรือเข้าไปฟื้นฟูอย่างเร่งด่วนต้องมีระบบติดตามตรวจสอบการปนเปื้อน	21 - 25



รูปที่ 6 หลักการประเมินความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลก่อนเกิดมลภาวะ (Morris and Foster, 2000)

6.3.1 หลักการประเมินความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ

หลักการปนเปื้อนนี้สามารถสรุปได้ว่าเป็นกระบวนการที่ใช้เพื่อคาดการณ์หรือประเมินความเป็นไปได้ที่มลสารจะส่งผลกระทบในด้านลบต่อผู้รับ ซึ่งผลกระทบจะมากหรือน้อยต้องพิจารณาถึงประเภทของมลสาร ความเข้มข้น ความรุนแรง แนวโน้มในการปนเปื้อนของมลสาร และเส้นทางที่เชื่อมระหว่างแหล่งกำเนิดกับตัวผู้รับ ได้แก่ สภาพทางธรณีวิทยาของชั้นน้ำบาดาลว่ามีความอ่อนไหวเพียงใด นอกจากปัจจัยข้างต้นในกระบวนการประเมินความเสี่ยงแล้วอาจพิจารณาความต้องการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาด้วย

6.3.2 วิธีการประเมินความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ

การระบุความเสี่ยงที่แท้จริง จำเป็นต้องพิจารณาทั้งสภาพความอ่อนไหวตามธรรมชาติของแหล่งน้ำบาดาล ร่วมกับศักยภาพของแหล่งมลสารที่จะส่งผลต่อชั้นน้ำบาดาล ตามสูตรการคำนวณของ Gonzalez, et al. (1997) ดังนั้นสรุปสมการที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงได้ดังนี้

$$R = L \times V \quad (4)$$

R คือ ค่าคะแนนความเสี่ยง

L คือ คะแนนศักยภาพมลสาร

V คือ คะแนนความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1 - 5

เมื่อได้คะแนนความเสี่ยงจากสูตรการคำนวณตามสมการที่ (4) แล้วนำคะแนนดังกล่าวมาจัดกลุ่มความเสี่ยง โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มความเสี่ยงสำหรับการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธี equal area of score ซึ่งหลักการของวิธีนี้คือการแบ่งความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์เสี่ยงในระดับต่างๆ เท่าๆ กัน (รูปที่ 7 และตารางที่ 21) สามารถจัดได้ 5 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 ความเสี่ยงระดับที่ 1 ความเสี่ยงต่ำมาก คะแนนความเสี่ยง 1 - 5

กลุ่มที่ 2 ความเสี่ยงระดับที่ 2 ความเสี่ยงต่ำ คะแนนความเสี่ยง 6 - 10

กลุ่มที่ 3 ความเสี่ยงระดับที่ 3 ความเสี่ยงปานกลาง คะแนนความเสี่ยง 11 - 15

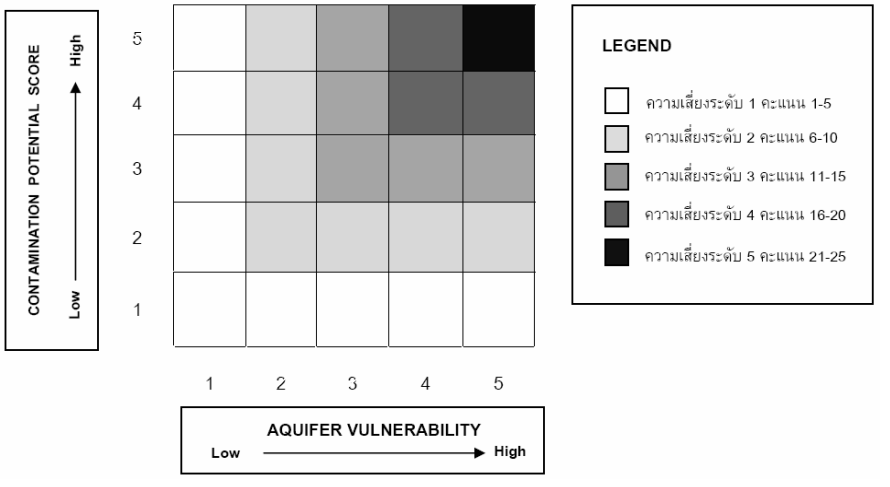
กลุ่มที่ 4 ความเสี่ยงระดับที่ 4 ความเสี่ยงสูง คะแนนความเสี่ยง 16 - 20

กลุ่มที่ 5 ความเสี่ยงระดับที่ 5 ความเสี่ยงสูงมาก คะแนนความเสี่ยง 21 - 25

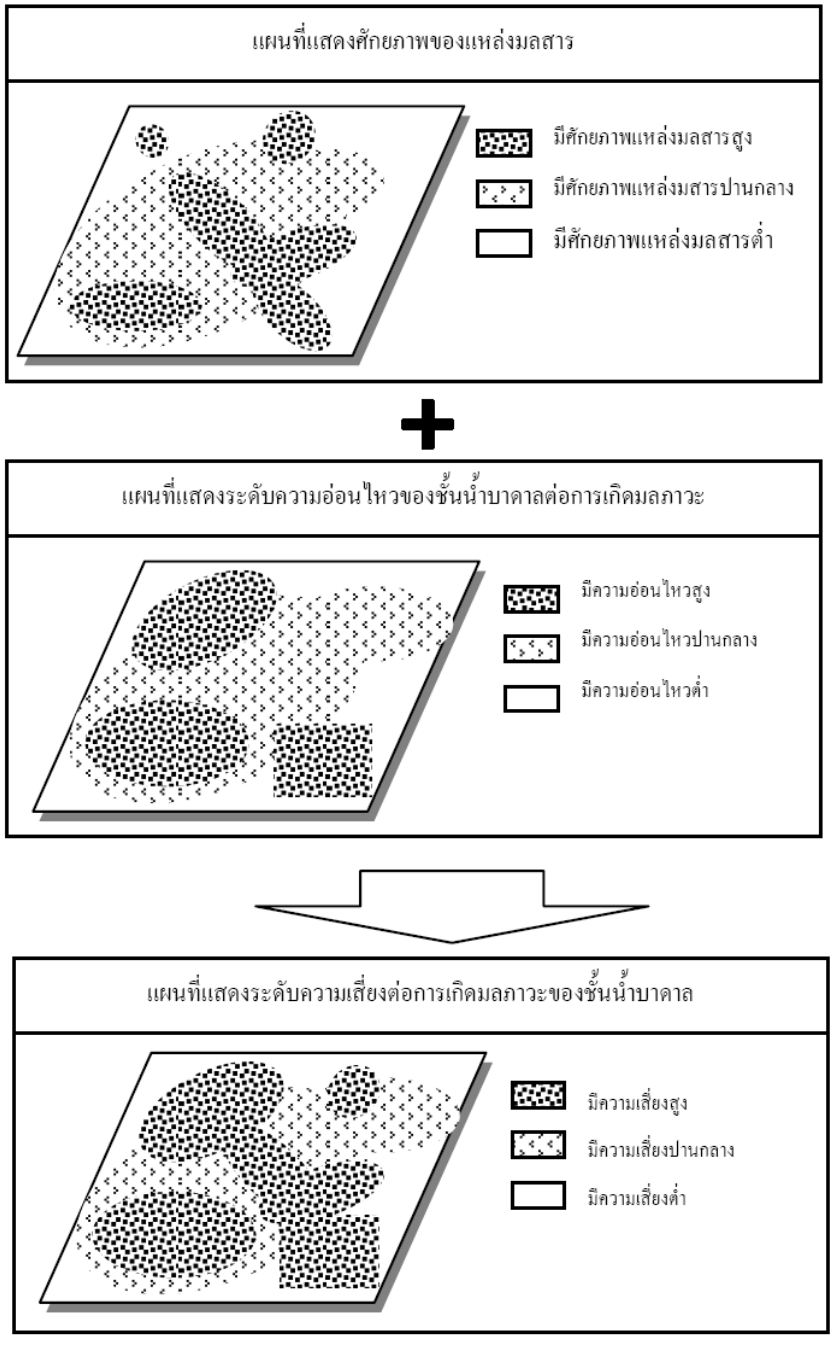
หลังจากได้ประเมินศักยภาพมลสารรวมและประเมินความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลแล้วให้นำค่าคะแนนที่ได้เป็นคะแนนสำหรับคำนวณ หาค่าความเสี่ยงโดยแปลงค่าคะแนน ให้อยู่ในรูปกริดเซลล์ แล้วนำค่าความเสี่ยงตามสมการที่ (4) จากนั้นจำแนกระดับความเสี่ยงออกเป็น 5 ระดับ คือ สูงมาก สูง ปานกลาง ต่ำ และต่ำมาก แสดงในตัวอย่างแผนที่แสดงระดับความเสี่ยงต่อการเกิดมลภาวะในน้ำบาดาล ดังแสดงในรูปที่ 8

6.4 การประเมินความเสี่ยง

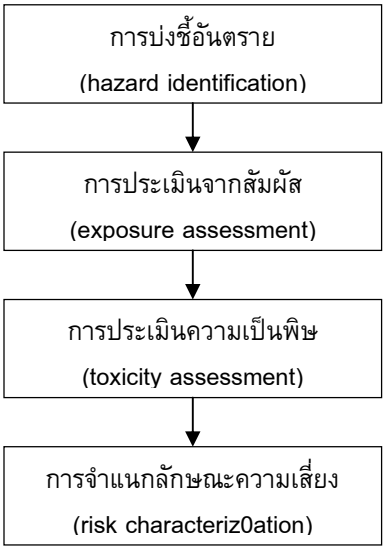
การประเมินความเสี่ยง (risk assessment) เป็นเครื่องมือที่ใช้ดำเนินการเพื่อให้ผู้ประเมินเกิดความรู้ ความเข้าถึงผลกระทบจากมลพิษ อุบัติเหตุ หรืออุบัติภัยร้ายแรงที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ หรือความเสียหายต่อทรัพย์สินหรือสิ่งแวดล้อม ผลที่ได้รับจากการประเมินความเสี่ยงจะมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้ ในการตัดสินใจดำเนินการตามทางเลือกที่เหมาะสม เพื่อลดความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ส่งผลให้อันตรายหรือความเสียหายดังกล่าวลดลง ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ (human health risk) เท่านั้น ส่วนที่เป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพย์สินไม่ขอกล่าวถึงเนื่องจากมีตัวแปร และปัจจัยที่ซับซ้อนเกินกว่าขอบเขตของวัตถุ-ประสงค์ของเอกสารคู่มือฉบับนี้



รูปที่ 7 เกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งระดับความเสี่ยง



รูปที่ 8 ตัวอย่างแผนที่แสดงระดับความเสี่ยงต่อการเกิดมลภาวะในชั้นน้ำบาดาล



รูปที่ 9 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง

6.4.1 ความเสี่ยงด้านสุขภาพ

ความเสี่ยงหมายถึงความน่าจะเป็น (probability) ของการเจ็บป่วย บาดเจ็บ หรือสูญเสียชีวิต การคำนวณค่าความเสี่ยงทำได้โดยการนำเอาโอกาสของการเกิดเหตุการณ์นั้นๆ คูณกับความรุนแรงของผลที่จะเกิดจากเหตุการณ์ดังกล่าว ดังนี้

ความเสี่ยง = ความน่าจะเป็น X ความรุนแรง

ความเสี่ยงด้านสุขภาพมีความหมายเฉพาะความน่าจะเป็นของการเจ็บป่วย หรือบาดเจ็บของประชาชนจากเหตุการณ์ใดๆ โดยไม่รวมถึงความสูญเสีย ด้านทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อม ในความเป็นจริง บางครั้งไม่สามารถวัดความรุนแรงเป็นปริมาณหรือตัวเลขได้ เช่น การเสียชีวิตโดยโรคมะเร็ง จึงใช้ความน่าจะเป็นของการเกิดอันตรายที่เกิดมาในอดีตเพื่อคำนวณค่าความเสี่ยงอย่างเดียวโดยไม่ต้องคูณกับความรุนแรง เช่น สหรัฐอเมริกามีประชากรที่เป็นมะเร็งในช่วงตลอดอายุขัยประมาณร้อยละ 25 จึงประมาณได้ว่า คนอเมริกันมีความเสี่ยงตลอดอายุขัย (lifetime risk of cancers) เท่ากับ 0.25

6.4.2 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง

ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพในเชิงปริมาณ ดำเนินการโดยกระบวนการที่เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง เช่นที่ดำเนินการโดยองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) โดยกระบวนการนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

(1) การบ่งชี้อันตราย
(hazard identification)
(2) การประเมินจากการสัมผัส
(exposure assessment)
(3) การประเมินความเป็นพิษ
(toxicity assessment)
(4) การจำแนกลักษณะความเสี่ยง
(risk characterization)

องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา ได้นำกระบวนการประเมินความเสี่ยงนี้มาใช้ครั้งแรกในการประเมินความเสี่ยงจากสารเคมีที่เป็นสาเหตุของมะเร็งในปี ค.ศ. 1984 โดยใช้ค่า Carcinogenic Potency Factors (CPF) หรืออาจเรียกว่า Slope Factors (SF) ซึ่งได้มาจากการศึกษาขั้นตอนของการประเมินความเป็นพิษมาใช้ในการประเมินความความเสี่ยงสำหรับประชาชนที่สัมผัสกับสารเคมีนั้นๆ ส่วนกรณีของสารเคมีที่ไม่เป็นสาเหตุของมะเร็งจะใช้ค่า Reference Doses (R_fD) ซึ่งคำนวณมาจากค่าที่ยอมรับได้ในการบริโภคในแต่ละวัน (Acceptable Daily Intake, ADI) แทนค่า CPF ในการประเมินความเสี่ยง

ความเสี่ยงสามารถประเมินได้ทั้งสารเคมีที่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง และสารเคมีที่ไม่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง การที่จะรู้ว่าการสัมผัสกับสารเคมีนั้น มีความเสี่ยงต่อสุขภาพในระดับใดจำเป็นต้องมีค่ามาตรฐานสำหรับการเปรียบเทียบ ที่เรียกว่าค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ (acceptable risk) ซึ่งมีการกำหนดเป็นมาตรฐานดังนี้

(1) องค์กร EPA ได้กำหนดค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้สำหรับสารเคมีที่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็งทั่วไป เรียกว่าค่าความเสี่ยง (risk) ไว้ในช่วง 10^{-6} ถึง 10^{-4} อย่างไรก็ตามมีข้อยกเว้นสำหรับสารเคมีบางชนิด กำหนดให้ค่า risk อยู่นอกช่วงดังกล่าว เช่น องค์การบริหารอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) กำหนดให้ค่า saccharin น้อยกว่า 10^{-7} แต่ประชาชนทั่วไปรับค่านี้ที่ 10^{-4} หรือมากกว่า ในทางปฏิบัติกำหนดค่าความเสี่ยงไว้ที่ 10^{-6} หรือ 1 ในล้าน (ตารางที่ 22)

(2) สารเคมีที่ไม่เป็นสาเหตุของมะเร็งนั้น EPA กำหนดให้ใช้ค่าดัชนีสภาวะอันตราย (Hazard Index, HI) สำหรับเปรียบเทียบความเสี่ยงไว้ที่ค่าต่ำกว่า 1.0 โดยทั่วไปจะรวมค่า HI ของสารเคมีหลายชนิดที่มีอันตรายต่ออวัยวะเป้าหมายเดียวกัน แต่สารเคมีต่างชนิดที่มีผลต่อเป้าหมายต่างกันแม้จะสัมผัสในช่วงเวลาเดียวกัน ก็จะไม่นำค่า HI มารวมกันเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้ เช่น เมื่อคำนวณพบว่าไซยาไนด์มีค่า HI เท่ากับ 0.7 และแคดเมียมมีค่า 0.6 หากรวมกันจะได้ 1.3 ซึ่งเกินกำหนด คือ 1.0 แต่ไซยาไนด์มีผลต่อสมอง ส่วนแคดเมียมมีผลต่อไต จึงแยกค่า HI ทั้งสองค่า ซึ่งแต่ละสารเคมีมีค่าไม่เกิน 1.0

6.4.3 กระบวนการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ

กระบวนการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่

(1) การบ่งชี้อันตราย ประกอบด้วยขั้นตอนการกลั่นกรองข้อมูลเบื้องต้น และทำการพิจารณาขั้นสุดท้าย ดังนี้

(1.1) การกลั่นกรองข้อมูลเบื้องต้น แยกประเภทสารเคมีตามลักษณะการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมชนิดต่างๆ เช่น อากาศ น้ำ ดิน รวมทั้งแยกประเภทสารเคมีที่เป็นสาเหตุของมะเร็ง (carcinogen) และไม่เป็นสาเหตุของมะเร็ง (non-carcinogen) กรณีนี้สมมติว่ามีสารเคมีเพียง 4 ชนิด ที่ออกจากแหล่งกำเนิดและแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ Chlorobenzene, Chloroform, 1-2 Dichloroethane และ Bis (2-ethyl-hexyl Phthalate (BEHP))

สร้างตารางแสดงค่าความเข้มข้นของสารเคมีดังกล่าวที่วัดได้จากแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่ง ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดดังแสดงในตารางที่ 23

ระบุค่า R_fD สำหรับสารเคมีที่ไม่เป็นสาเหตุของมะเร็ง และค่า CPF หรือ SF สำหรับสารเคมีที่เป็นสาเหตุของมะเร็ง แยกตามสิ่งแวดล้อมชนิดต่างๆ ในตารางที่ 24 แสดงค่าดังกล่าวเฉพาะสื่อสิ่งแวดล้อมที่เป็นดิน หาค่า Toxicity Score (TS) สำหรับสารเคมีแต่ละชนิด ดังนี้

สำหรับสารเคมีที่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง

$TS = SF \times C_{max}$

TS = Toxicity Score,

SF = Slope Factor,

C_{max}= maximum concentration

สำหรับสารเคมีที่ไม่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง

$TS = C_{max} / R_fD$,

R_fD = Chronic Reference Dose

จัดลำดับสารเคมีเรียงตาม Toxic Score ตามตารางที่ 25 เลือกสารเคมีที่เป็นตัวแทนของแต่ละสิ่งแวดล้อม

(1.2) การพิจารณาขั้นสุดท้าย การจัดลำดับตาม Toxicity Score เป็นการบ่งชี้สารเคมีที่มีอันตรายสูงสุดตามค่าความเข้มข้น และความเป็นพิษ แต่การเลือกสารเคมีเพื่อเป็นตัวแทน ต้องพิจารณาความเข้มข้นที่พิสัยอื่นๆ การเคลื่อนที่ในสิ่งแวดล้อม การคงสภาพในสิ่งแวดล้อม ความถี่ที่สามารถตรวจวัดได้ และความสามารถในการบำบัดได้ด้วย

ตารางที่ 22 ค่าความเสี่ยงจากการทำกิจกรรมต่างๆ ที่ทำให้เกิดอันตรายถึงแก่ความตายได้และมีความเสี่ยงเท่ากับหนึ่งในล้าน

Action	Nature of Risk
Smoking 1.4 cigarettes	Cancer heart disease
Drinking 0.5 liter of wine	Cirrhosis of the liver
Spending 1 hour in a coal mine	Black lung disease
Spending 3 hour in a coal mine	Accident
Living 2 days in New York or Boston	Air pollution heart disease
Traveling 6 minutes by canoe	Accident
Traveling 10 miles by bicycle	Accident
Traveling 30 miles by car	Accident
Flying 1000 miles by jet	Accident
One chest X-ray taken in a good hospital	Cancer caused by radiation
Living 2 months with a cigarette smoker	Cancer heart disease
Eating 40 tablespoons of improperly stored peanut butter	Liver cancer caused by Aflatoxin B1
Drinking heavily chlorinated water (e.g. Miami) for 1 year	Cancer caused by chloroform
Drinking 30 12-oz cans of diet soda	Cancer caused by saccharin
Living 5 years at site boundary of typical nuclear power plant in the open	Cancer caused by radiation
Living 150 years within 20 miles of nuclear power plant	Cancer caused by radiation
Eating 100 charcoal boiled steaks	Cancer from benzo (a) pyrene

(จาก LaGrega, Buckingham, and Evans, 1994)

ตารางที่ 23 ความเข้มข้นของสารเคมีที่วัดได้จากอากาศ น้ำ และดิน

Chemical	Air		Groundwater		Soil	
	Mean (mg/m^3)	Maximum (mg/m^3)	Mean (mg/L)	Maximum (mg/L)	Mean (mg/kg)	Maximum (mg/kg)
Chlorobenzene	4.09E-08	8.09E-08	2.50E-04	1.10E-02	1.39E+00	6.40E+00
Chloroform	1.12E-12	3.12E-12	4.30E-04	7.60E-03	1.12E+00	4.10E+00
1,2-Dichloro ethane	1.40E-08	2.40E-08	2.10E-04	2.00E-03	ND	ND
BEHP	3.29E-07	8.29E-07	ND	ND	1.03E+02	2.30E+02

หมายเหตุ : ND คือ Not Detect, E คือ Exponential นั่นคือ 4.09E-0.8 = 4.09×10^{-8} หรือ 2.30E+02 = 2.3×10^{2}

(จาก U.S. EPA, 1993)

ตารางที่ 24 ความเข้มข้นของสารเคมีในดินที่ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

Selection of non-carcinogenic chemicals. Rank the chemicals for soil				
Chemical	C_{max} (mg/kg)	R_fD	Toxicity Score	Rank
Chlorobenzene	6.40E+00	2.00E-02	3.20E+02	3
Chloroform	4.10E+00	1.00E-02	4.10E+02	2
1,2-Dichloroethane	ND	NA	NA	NA
BEHP	2.30E+02	2.00E-02	1.15E+04	1

หมายเหตุ : ND คือ Not Detect, NA คือ Not Applicaple, C_{max} คือ maximum concentration, R_fD คือ Chronic Reference Dose (จาก U.S. EPA, 1993)

ตารางที่ 25 แสดงความเป็นพิษของสารเคมีชนิดต่างๆ

Chemical name	CASRN	Oral R_fD		Inhalation R_fD		Oral CPF		Inhalation CPF		CARC Class
		mg/kg . day	Date	mg/kg . day	Date	mg/kg . day	Date	mg/kg . day	Date	
Chlorine cyanide	506-77-4	5.00E-02	3/1/88	No data		No data		No data		
Chlorine dioxide	10049-04-4	no data		5.72E-05	11/1/90	No data				
Chlorite	14998-27-7	pending	9/1/92	No data		No data		No data		
p-Chloroaniline	106-47-8	4.00E-03	8/22/88	No data		No data		No data		
2-Chloroaceto phenone	532-27-4	no data		8.58E-06	10/1/91	No data		No data		
Chlorobenzene	108-90-7	2.00E-02	11/1/90	Pending		No data		No data		D
Chlorobenzenilate	510-15-6	2.00E-02	12/1/89	No data		No data		No data		
1-Chlorobutane	109-69-3	No data		No data		No data		No data		D
2-Chlorobutane	78-68-4	No data		No data		No data		No data		D
Chlorocyclopenta diene	41851-50-7	No data		No data		No data		No data		D
1-Chloro-1,1-difluorethne	75-68-3	No data		Pending	10/1/92	No data		No data		
Chlorodifluorome thane	75-45-6	No data		Pending	10/1/92	6.10E-03	1/1/91	No data		
Chloroform	67-66-3	1.00E-02	6/30/88	Pending		Pending	5/1/92	8.10E-02	1/1/92	B2
Chloromethane	74-87-3	Pending		Pending				Pending	5/1/92	
Chloromethyl methyl						No data				
Ether (CMME)	107-30-2	No data		Pending		No data		No data		A
Beta-Chloronaph thalene	91-58-7	8.00E-02	11/1/90	No data		No data		No data		

หมายเหตุ : CASRN = Chemical Abstracts Service Registry Number Carcinogen Class, A = human carcinogen, B1 = probable human careinogen, B2 = animal carcinogen, C = Possible human carcinogen, D = not classifiable as to human carcinogen, E = non carcinogen for human (จาก U.S. EPA, 1993)

ตารางที่ 25 แสดงความเป็นพิษของสารเคมีชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

Chemical name	CASRN	Oral R_fD		Inhalation R_fD		Oral CPF		Inhalation CPF		CARC
		mg/kg . day	Date	mg/kg . day	Date	mg/kg . day	Date	mg/kg . day	Date	Class
2-Chlorophenol	95-57-8	5.00E-03	8/22/88	No data		No data		No data		
p-Chlorophenyl methyl sulfide	123-09-1	pending	8/1/92	No data		No data		No data		D
p-Chlorophenyl methyl sulfone	98-57-7	pending	8/1/92	No data		No data		No data		D
p-Chlorophenyl methyl sulfoxide	934-73-6	pending	8/1/92	No data		No data		No data		D
2-Chloro-1,1,1,2-tetrafluoroethane	2837-89-0	No data		Pending	3/1/93	Pending		No data		
Chlorothalonil	1897-45-6	1.50E-02	3/1/88	No data		No data		Pending		
o-Chlorotoluene	95-49-8	2.00E-02	2/1/90	No data		No data		No data		
Chlorpropham	101-21-3	2.00E-01	6/30/88	No data		No data		No data		
1,1-Dichloro ethane	75-34-3	Pending		Pending		No data		No data		C
1,2-Dichloro ethane	107-06-2	No data		No data		9.10E-02	1/1/91	9.10E-02[0]	1/1/91	B2
1,1-Dichloro ethylene	75-35-4	900E-03	4/1/89	Pending		6.00E-01	1/1/91	6.00E-01[1]	1/1/91	C
Cis-1,2-Dichloro ethylene	156-59-2	Pending		No data		No data		No data		D
Trans-1,2-Dichloro ethylene	156-60-5	200E-02	1/1/89	No data		No data		No data		
1,1-Dichloro-1-fluoroethylene	1717-00-6	No data		pending	10/1/92	No data		No data		
Dichloromethane (methylenechloride)	75-09-2	6.00E-02	3/1/88	Pending		7.50E-03	1/1/91	1.65E-03[1]	1/1/91	B2
2,4-Dichloro phenol	120-83-2	3.00E-03	3/1/88	No data		No data		No data		
2,4-Dichlorophenoxy Acetic Acid (2,4-D)	94-75-7	1.00E-02	5/5/88	No data		No data		No data		
4-(2,4-Dichlorophenoxy) Butyric acid (2,4-DB)	94-82-6	8.00E-03	3/1/88	Nodata		No data		No data		
1,2-Dichloro propane	78-87-5	no data		1.14E-03	12/1/91	No data		No data		
2,3-Dichloropropanal	616-23-9	3.00E-03	11/1/90	No data		No data		No data		

หมายเหตุ : CASRN = Chemical Abstracts Service Registry Number Carcinogen Class, A = human carcinogen, B1 = probable human careinogen, B2 = animal carcinogen, C = Possible human carcinogen, D = not classifiable as to human carcinogen, E = non carcinogen for human (จาก U.S. EPA, 1993)

ตารางที่ 25 แสดงความเป็นพิษของสารเคมีชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

Chemical name	CASRN	Oral R_fD		Inhalation R_fD		Oral CPF		Inhalation CPF		CARC Class
		mg/kg . day	Date	mg/kg . day	Date	mg/kg . day	Date	mg/kg . day	Date	
1,3-Dichloropropene	542-75-6	3.00E-04	10/1/90	5.72E-03	1/1/91	No data (NA)		No data (NA)		B2
1,1-Dichloro-2,2,2-trifluoroethane	306-82-2	Na data		Pending	10/1/92	No data		No data		
Dichlovos	62-73-7	Withdrawn	7/1/92	Pending	12/1/92	2.90E-01	10/1/89	Na data		B2
Dicofol	115-32-2	No data		No data		Withdrawn	4/1/92	Withdrawn	4/1/92	C
Dieldrin	60-57-1	5.00E-05	9/1/91	No data		1.60E+01	1/1/91	1.60E+01[0]	1/1/91	B2
Diesel engine emissions	No CASRN	No data		pending	7/1/92	No data		Na data		
Di(2-ethylhexyl) adipate	103-23-1	Withdrawn	8/1/91	No data		1.20E-03	8/1/91	Na data		C
Di(2-ethylthexyl) phthalate (DEHP)	117-81-7	2.00E-02	5/1/91	No data		1.40E-02	8/1/91	Na data		B2
Diethyl phthalate	84-66-2	8.00E-01	8/1/91	No data		No data (NA)		Na data (NA)		D
Diethyl-p-nitro-phenyphosphate	311-45-5	No data		No data		No data (NA)		No data (NA)	10/1/92	D
Diethyl sulfate	64-67-5	No data		message	11/1/91	No data		No data		

หมายเหตุ : CASRN = Chemical Abstracts Service Registry Number Carcinogen Class, A = human carcinogen, B1 = probable human careinogen, B2 = animal carcinogen, C = Possible human carcinogen, D = not classifiable as to human carcinogen, E = non carcinogen for human (จาก U.S. EPA, 1993)

(2) การประเมินการสัมผัส ประกอบด้วยองค์ประกอบดังนี้

(2.1) ทางผ่านของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม แหล่งกำเนิด เช่น สถานที่กำจัดขยะ แหล่งกักเก็บของเสี่ยงอันตราย วิธีการปล่อยสารเคมีจากแหล่งกำเนิด เช่น น้ำชำระล้างสารเคมีจากกองขยะ วิธีการเคลื่อนที่ของสารเคมี เช่น โดยทางชีวภาพ จุดสัมผัสสารเคมี เช่น บ่อน้ำบาดาล ทั้งในลำน้ำธรรมชาติ ผู้รับสารเคมี คือประชาชนที่อยู่ใกล้โรงงาน ผู้บริโภคผักในแปลงเกษตรที่ปนเปื้อนมลพิษ เส้นทางเข้าสู่ร่างกาย เช่น การกิน การหายใจ ผ่านเข้าทางผิวหนัง

(2.2) กลุ่มประชากรที่มีแนวโน้มต่อการสัมผัส ผ่านทาง โรงเรียน โรงพยาบาล สถานรับเลี้ยงเด็ก สวนสาธารณะ สถานที่พักผ่อน กลุ่มที่ไวต่อการรับสาร เช่น เด็ก ผู้สูงอายุ หญิงมีครรภ์ ผู้ป่วยเรื้อรัง สัมผัสโดยทางอ้อม เช่นกินผักจากแปลงเกษตรที่มีสารปนเปื้อน หรือกินสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่ปนเปื้อนสารพิษ

(2.3) ความเข้มข้นของสารเคมีที่จุดสัมผัส ตรวจวัดความเข้มข้นของสารเคมีที่จัดสัมผัสและผู้สัมผัส เพื่อการคาดการณ์ การแผ่กระจายของสารเคมีในอนาคต โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

(2.4) คำนวณขนาด (doses) ของสารเคมีของผู้ได้รับสารเข้าสู่ร่างกาย โดยการกิน การหายใจ และการซึมผ่านผิวหนังไปสู่อวัยวะเป้าหมาย

ตัวอย่างของปัจจัยกำหนดที่ใช้ในการคำนวณตามตัวอย่างที่ 1 ถึง 7 แสดงไว้ในตารางที่ 26 อย่างไรก็ตาม ค่าเหล่านี้แปรเปลี่ยนไปตามลักษณะของกลุ่มผู้สัมผัสสารเคมี ค่าเวลาเฉลี่ยที่สัมผัส (AT) สำหรับสารก่อมะเร็งใช้เวลา 70 ปี หรือ 25,550 วัน ส่วนสารไม่ก่อมะเร็งใช้เวลาจริง

ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณขนาดของสารเคมีชนิดไม่ก่อมะเร็งที่เข้าสู่ร่างกายของผู้ใหญ่โดยการหายใจเมื่อสารเคมีนั้นมีความเข้มข้นที่จุดสัมผัสเท่ากับ 10 มก.ต่อ ลบ.ม.

$$\text{จากสูตร } I = \frac{C \times CR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

C = ความเข้มข้นที่จุดสัมผัส = 10 มก./ลบ.ม
CR = Contact Rate = 0.83 × 24 ลบ.ม/วัน
EF = Exposure Frequency = 365 วัน/ปี
ED = Expusure Duration = 30 ปี
BW = น้ำหนักตัวผู้สัมผัสสารเคมี = 70 กก.
AT = เวลาที่สัมผัส = 30 × 365 วัน

$$I = [10 \times (0.83 \times 24) \times 365 \times 30] / (70 \times 30 \times 365)$$

ขนาดสารเคมีที่เข้าสู่ร่างกาย (I)
= 2.85 มก./กก. ต่อวัน

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณขนาดของสารเคมีชนิดก่อมะเร็ง ที่เข้าสู่ร่างกายเด็กอายุ 6-12 ปี โดยการหายใจเมื่อสารเคมีนั้นมีความเข้มข้นที่จุดสัมผัสเท่ากับ 10 มก./ลบ.ม.

C = 10 มก./ ลบ.ม.
CR = 0.46 × 24 ลบ.ม/วัน (จากตารางที่ 26)
EF = 365 วัน/ปี
ED = 6 ปี (จากตารางที่ 26)
BW = 29 กก.,
AT = 70 x 365 วัน (เพราะเป็นสารก่อมะเร็ง)

$$I = [10 \times (0.46 \times 24) \times 365 \times 6] / (29 \times 70 \times 365)$$

ขนาดสารเคมีที่เข้าสู่ร่างกาย
= 0.326 มก./กก.วัน

ตัวอย่างที่ 3 คำนวณปริมาณของคลอโรเบนซีน ซึ่งเป็นสารไม่ก่อมะเร็ง ที่เข้าสู่ร่างกายคนงานทางผิวหนังในช่วงการสัมผัส 1 ปี กำหนดให้ความเข้มข้นของคลอโรเบนซีนในดินเท่ากับ 1.39 มก./กก.(ตารางที่ 23) ส่วนผิวหนังที่สัมผัสร้อยละ 20 ของร่างกาย ปริมาณฝุ่นที่ติดกับผิวหนังส่วนที่สัมผัสครั้งละ เท่ากับ 0.51 มก./ตร.ซม. ลักษณะดินที่สามารถสัมผัสได้ร้อยละ 15 ของดินทั้งหมด และกำหนดค่าอื่นๆ ดังนี้

C = ความเข้มข้นของคลอโรเบนซีนในดิน
= 1.39 มก./กก.
A = พื้นที่ผิวหนังที่สัมผัส
= 18,150 × 0.2 ตร.ซม/ครั้ง
DA = ปริมาณฝุ่นที่ติดผิวหนัง = 0.51 มก./ตร.ซม.
SM = ดินที่สามารถสัมผัสได้ (Soil Metrix) = 15%
ABS = การดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิต (Absorption into Blood Stream) = 6%
EF = ความถี่ในการสัมผัส (Exposure Frequency) = 156 × 2 ครั้ง/ปี
ED = ระยะเวลาที่สัมผัส = 1 ปี
CF = Conversion Factor = 10-6 กก./มก
BW = น้ำหนักคนงาน = 70 กก.
AT = เวลาที่สัมผัส = 1 ปี

ตารางที่ 26 ค่าที่ใช้ในการคำนวณความเสี่ยง

Parameter		Adults	Child 6-12 yr	Child 2-6 yr
BW :	Average body weight (kg)	70	29	16
	Skin surface area (cm^2)	18,150	10,470	6,980
	Water ingested (L/day)	5	5	1
CR :	Air breathed (m^3/hr)	0.83	0.46	0.25
RR :	Retention rate	100 %	100 %	100 %
ABS :	Absorption rate	100%	100 %	100 %
	Soil ingested (mg/day)	100	100	200
	Bathing duration (minutes)	30	30	30
EF :	Exposure frequency (days)	365	365	365
ED :	Exposure duration (years)	30	6	4

(จาก LaGrega et al., 1994)

ในกรณีที่สัมผัสทางผิวหนังจะปรับสมการใหม่ดังนี้

$$I = \frac{C \times A \times DA \times SM \times ABS \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$$

$I = [(1.39 \times (18{,}150 \times 0.2) \times 0.51 \times 0.15 \times 0.06 \times (156 \times 2) \times 1 \times 10^{-6})] / (70 \times 1 \times 30)$

ขนาดของคลอโรเบนซีนที่เข้าสู่ร่างกาย
$= 2.82 \times 10^{-7}$ มก./กก.วัน

ตัวอย่างที่ 4 คำนวณปริมาณของคลอโรฟอร์มที่เป็นสารก่อมะเร็งที่คนงานสัมผัสทางผิวหนังโดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยของคลอโรฟอร์มในดิน เฉลี่ยเท่ากับ 1.12 มก./กก. ลักษณะการสัมผัสเช่นเดียวกับคลอโรเบนซีนในตัวอย่างที่ 3

กรณีนี้ C = 1.12 มก./กก.

$$I = \frac{C \times A \times DA \times SM \times ABS \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$$

$I = [(1.12 \times (18{,}150 \times 0.2) \times 0.51 \times 0.15 \times 0.06 \times (156 \times 2) \times 1 \times 10^{-6})] / (70 \times 25{,}550)$

ขนาดของคลอโรฟอร์มที่เข้าสู่ร่างกาย
$= 3.26 \times 10^{-9}$ มก./กก. ต่อวัน

(3) การประเมินความเป็นพิษ จำแนกสารเคมีที่เป็นสาเหตุของมะเร็งและที่ไม่เป็นสาเหตุของมะเร็ง สารเคมีบางชนิดอาจเป็นได้ทั้ง 2 ประเภท ในการศึกษาเพื่อประเมินความเป็นพิษแต่ละสารเคมีนั้นต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูงจึงใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งข้อมูลที่ได้รับความเชื่อถืออย่างกว้างขวาง คือ Integrated Risk Information System (IRIS) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีการปรับปรุง และสามารถสืบค้น Online ได้

(3.1) ข้อมูลความเป็นพิษของสารเคมีที่เป็นสาเหตุของมะเร็งข้อมูลนี้ เรียกว่าค่า Slope Factor (SF) มีหน่วยเป็นขนาดของสารเคมีที่ร่างกายรับเข้าไป (มก./กก. ต่อวัน) องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐได้จัดแบ่งสารเคมีที่เป็นสาเหตุของมะเร็งพบว่าสารเคมีเพียง 14 ชนิดเท่านั้น จากจำนวนที่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง ที่มีข้อมูลทางระบาดวิทยาว่าเป็นสาเหตุของมะเร็งในคน (Class A) อีก 70% มีเหตุการณ์สนับสนุนว่าเป็นสาเหตุของมะเร็งในสัตว์ทดลองอย่างน้อย 2 ชนิดขึ้นไป (Class B2)

(3.2) ข้อมูลความเป็นพิษของสารเคมีที่ไม่เป็นสาเหตุของมะเร็งความเป็นพิษของสารเคมีที่ไม่ก่อมะเร็งกำหนดไว้ว่าเป็นค่า Reference Dose (R_fD) ถ้าร่างกายรับสารเคมีนี้เข้าไปไม่เกินค่ากำหนดดังกล่าวต่อวัน ก็ไม่เกิดโทษต่อร่างกาย

(4) การแสดงลักษณะความเสี่ยงที่ได้จากการคำนวณค่าของความเสี่ยงในเชิงปริมาณ โดยต้องครอบคลุมสารเคมีทั้ง 2 ประเภทและกลุ่มประชากรที่มีแนวโน้มต่อการสัมผัสทุกกลุ่ม

(4.1) ค่าความเสี่ยงของสารเคมีที่เป็นสาเหตุของมะเร็ง คำนวณได้จากสมการ ดังนี้

Risk = CDI X SF (6)

เมื่อ Risk คือ ค่าความเสี่ยงที่เป็นสาเหตุของมะเร็ง CDI คือ ขนาดของสารเคมีที่เข้าสู่ร่างกาย (มก./กก. ต่อวัน) และ SF คือ Carcinogen Slope Factor (กก.-วัน/มก.)

กรณีที่มีการสัมผัสของสารเคมีหลายชนิดในเวลาเดียวกัน เมื่อคำนวณค่าเสี่ยงแต่ละชนิดแล้วนำมาคำนวณค่าความเสี่ยงรวม ดังแสดงในตารางที่ 27

ตัวอย่างที่ 5 ชายคนหนึ่งหนัก 75 กิโลกรัม ดื่มน้ำที่มีสารปนเปื้อน 0.1 มก./ล. ตลอดเวลา 20 ปี โดยดื่มน้ำปีละ 300 วัน วันละ 1.8 ลิตร จงหาดัชนีความเสี่ยงอันตราย กำหนดให้ R_fD ของสารนี้เท่ากับ 0.60

$$I=\frac{CW\times IR\times EF\times ED}{BW\times AT}$$

เมื่อ

I = ปริมาณสารที่เข้าสู่ร่างกาย
CW = ความเข้มข้นของสารปนเปื้อน เท่ากับ 0.1 มก./ล.
IR = อัตราการดื่มน้ำ 1.8 ลิตรต่อวัน
EF = ความถี่ของการดื่มน้ำเท่ากับ 300 วันต่อปี
ED = ระยะเวลาที่ดื่มน้ำ 20 ปี
BW = น้ำหนักร่างกาย 75 กก.
AT = ระยะเฉลี่ยของการรับสารปนเปื้อนเท่ากับ 20 x 365 = 7,300 วัน
R_fD = 0.60

$$I=\frac{0.1\times1.8\times300\times20}{75\times7,300}$$

= 0.00197 มก./กก.วัน

ความเสี่ยงอันตราย
HI = I/R_fD = 0.00197/0.60 = 0.00328
ซึ่งน้อยกว่า 1.0 จึงเป็นความเสี่ยงที่ยอมรับได้

ตารางที่ 27 ความเสี่ยงรวมจากการสัมผัสสารเคมีที่เป็นสารก่อมะเร็ง

Carcinogen	Lifetime Risk
Benzene	0.0005
Cadmium	0.0008
Vinyl Chloride	0.0075
Total	0.0038 = 3.8 X 10^{-3}

(4.2) ความเสี่ยงของสารที่ไม่ก่อมะเร็งเรียกว่าดัชนีอันตราย (Hazard Index) คำนวณได้จากอัตราส่วนของขนาดของสารเคมีที่ร่างกายรับเข้าไปต่อ R_fD

HI = CDI/ RfD

HI = ดัชนีอันตราย (ไม่มีหน่วย), CDI = ขนาดสารเคมีเข้าสู่ร่างกาย(mg/ kg.day) และ R_fD = Reference Dose (mg/kg.day)

ตัวอย่างที่ 6 คำนวณค่าดัชนีอันตราย (Hazard Index) ของคลอโรฟอร์ม ซึ่งเป็นสารที่ไม่ก่อมะเร็งจากตัวอย่างที่ 3 ความเข้มข้นของคลอโรฟอร์มไนดิน = 1.12 มก./กก. (ตารางที่ 23)

CDI = 2.27 X 10^{-7} mg/kg.day

R_fD ของคลอโรฟอร์ม

= 1.00 X 10^{-2} mg/kg.day

HI = (2.27 X 10^{-7}) / (1.00 X 10^{-2})

= 2.27 X 10^{-5}

ดัชนีอันตรายที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้คือ 1.0 ดังนั้นความเสี่ยงจากการสัมผัสกับคลอโรฟอร์มกรณีนี้จึงน้อยมาก

ตารางที่ 28 ค่าดัชนีอันตรายรวมจากการสัมผัสสารเคมีชนิดไม่ก่อมะเร็ง

Noncarcinogen	Hazard Index
Acenaphthene	0.05
Cyanide	0.15
Mercury	0.03
Total	0.23 (< 1.0)

(จาก ...)

ตัวอย่างที่ 7 คำนวณความเสี่ยงของสารก่อมะเร็งเนื่องจากการสัมผัสคลอโรฟอร์ม ซึ่งติดมากับดินผ่านผิวหนังตามตัวอย่างที่ 4

จากสูตร Risk = CDI X SF

CDI ในตัวอย่างที่ 4

CDI = 3.26 X 10^{-9} มก./กก.วัน

SF ของคลอโรฟอร์ม

= 6.10 X 10^{-3}(กก.-วัน/มก.)

(จากตาราง IRIS)

Risk = (3.26 X 10^{-9}) X (6.10 X 10^{-3})

= 1.99 X 10^{-11}

ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้คือ 10^{-6} ดังนั้นความเสี่ยงจากการสัมผัสกับคลอโรฟอร์มจึงไม่มีอันตราย

ค่าความเสี่ยงที่คำนวณได้ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ คือ 10^{-6} ความเสี่ยงที่เกิดจากการสัมผัสคลอโรฟอร์มจึงน้อยมากอย่างไรก็ตามหากให้ค่าความเข้มข้นของคลอโรฟอร์ม เป็นค่าสูงสุด ค่าความเสี่ยงจะเป็นค่าสูงสุด (maximum carcinogenic risk) ด้วย

7. ขั้นตอนในการดำเนินงาน

การจัดทำการประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนแหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่ปฏิบัติงานมีขั้นตอนการดำเนินงาน 5 ขั้นตอน

7.1 รวบรวมข้อมูล

7.1.1 ด้านอุทกธรณีวิทยา

(1) ข้อมูลภูมิประเทศจากแผนที่มาตราส่วน คือ 1:250,000 และ 1:50,000 ที่มีอยู่แล้ว หรือจัดทำขึ้นใหม่เพื่อใช้เป็นขอบเขตแผนที่ธรณีวิทยาอุทกธรณีวิทยา

(2) ข้อมูลธรณีวิทยาสัณฐานจากการแปลภาพถ่ายทางอากาศ หรือภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อประเมินสภาพธรณีวิทยาสัณฐานของพื้นที่ปฏิบัติงาน

(3) ข้อมูลทางธรณีวิทยาแสดงลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา โดยลำดับ

(4) ข้อมูลอุทกธรณีวิทยาและภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา

(5) ข้อมูลคุณสมบัติของชั้นหินอุ้มน้ำประเภทต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบ

(5) ข้อมูลระดับน้ำในบ่อบาดาล บ่อขุด บ่อตอก ในฤดูต่างๆ เพื่อดูทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในแต่ละชั้นน้ำบาดาล

7.1.2 ด้านมลสารและแหล่งมลสาร

รวบรวมข้อมูลแหล่งกำเนิดมลสารแต่ละประเภท เพื่อระบุของแหล่ง กำเนิดมลสาร 6 ประเภทที่สำคัญ ดังนี้

(1) แหล่งกำเนิดมลสารประเภทอุตสาหกรรม ประกอบด้วยรายชื่อโรงงานตำแหน่ง ที่ตั้ง จำนวนโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทของโรงงาน ขนาด และกำลังการผลิต สารเคมีที่ใช้เป็นวัตถุดิบ สารเคมีในน้ำทิ้ง

(2) แหล่งมลสารประเภทฝังกลบ ระบบบำบัดมลพิษ แหล่งฝังกลบขยะชุมชน ขยะจากอุตสาหกรรม แหล่งฝังกลบถูกต้องตามหลักสุขอนามัย (sanitary landfill) แบบเทกอง (dumping site)

(3) แหล่งกำเนิดมลสารประเภทน้ำเสียจากชุมชนเป็นน้ำทิ้งที่ปล่อยออกมาจากแหล่งชุมชน ระบบบำบัดน้ำเสียของชุมชน ดูแนวโน้มของการแพร่กระจายของมลสารในพื้นที่

(4) แหล่งกำเนิดมลสารประเภทเกษตรกรรม การใช้สารเคมีที่มีส่วนผสมของสารพิษในปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ยากำจัดวัชพืช ทั้งในอดีต ปัจจุบัน และอนาคต

(5) แหล่งมลสารที่มาจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ประวัติการรั่วไหลของมลสารจากถังเก็บน้ำมัน ถังน้ำมันระเบิด การรั่วไหล ระหว่างการขนส่ง การบำบัดของเสียจากเครื่องยนต์ที่มารับบริการ

(6) แหล่งมลสารที่เกิดจากการทำเหมืองแร่ และการแต่งแร่ขั้นตอนต่างๆ การทิ้งหางแร่ การบำบัดของเสียจากเหมืองแร่

(7) จัดทำแผนที่แหล่งกำเนิดมลสาร

7.2 ประเมินความอ่อนไหว

7.2.1 เลือกวิธีประเมินความอ่อนไหวที่เหมาะสมจากวิธีการซึ่งเป็นที่นิยมและได้มาตรฐาน เช่น วิธี DRASTIC

7.2.2 รวบรวมข้อมูลที่ใช้สำหรับวิธี DRASTIC ซึ่งมี 7 ชนิด คือ depth to water table (D), net recharge (R), aquifer media (A), soil media (S), topography (T), impact of vadose zone (I) และ hydraulic conductivity of the aquifer (C)

7.2.3 กำหนดคะแนนให้เหมาะสมกับพื้นที่รวมทั้งค่าน้ำหนัก (weight) และระดับค่าคะแนน

7.2.4 วิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวโดยเอาคะแนนคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก แล้วหาค่าดัชนี DRASTIC

7.2.5 จัดทำแผนที่แสดงความอ่อนไหว

7.3 ประเมินศักยภาพมลสาร

7.3.1 กำหนดเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินศักยภาพแหล่งมลสารจากปัจจัยสำคัญ คือ แนวโน้มที่มลสารจะออกมาสู่สิ่งแวดล้อม ลักษณะและปริมาณคุณภาพมลสาร และความเสี่ยงที่คนหรือสิ่งแวดล้อมจะได้รับจากการสัมผัส

7.3.2 รวบรวมวิเคราะห์ จำแนกมลสาร ตามแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ โดยตรวจสอบสารอันตรายประเภทต่างๆ ที่ตรวจพบในกิจกรรมทั้ง 6 ประเภท

7.3.3 กำหนดเกณฑ์การประเมินศักยภาพแหล่งมลสาร

7.3.4 จัดทำแผนที่แสดงศักยภาพแหล่งมลสาร

7.4 ประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อน

7.4.1 เตรียมแผนที่แสดงความอ่อนไหวและแผนที่แสดงศักยภาพมลสารในรูปแบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในมาตราส่วนที่เหมาะสม ซ้อนภาพแผนที่ประเมินความเสี่ยง และแผนที่ประเมินศักยภาพของมลสารหลังจากที่ได้พัฒนาและกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักค่าระดับคะแนนแล้ว

7.4.2 ปรับแก้เกณฑ์ประเมินความเสี่ยง

7.4.3 จัดกลุ่มพื้นที่ตามค่าดัชนีความเสี่ยง

7.4.4 จัดทำเอกสารและรายงาน

7.5 ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

7.5.1 การบ่งอันตรายระบุว่าสารเคมีใดที่เป็นสาเหตุอันตรายต่อสุขภาพ

7.5.2 ประเมินการสัมผัสประเมินว่าสารเคมีแพร่กระจายไปอย่างไร

7.5.3 ประเมินความเป็นพิษ หาค่าดัชนีความเป็นพิษของสารเคมีออกมาเป็นตัวเลข เพื่อนำไปใช้ในการประเมินขนาดของความเสี่ยง

7.5.4 จำแนกลักษณะความเสี่ยง ประเมินขนาดของความเสี่ยง

7.5.5 แสดงตัวอย่างการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ

7.5.6 พิจารณาผลการประเมินร่วมกับข้อ 7.4 ประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อน

8. เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ, 2543. เกณฑ์มาตรฐานและแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน, กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์ครุสภาพ ลาดพร้าว.

กรมควบคุมมลพิษ, 2544. เกณฑ์มาตรฐานและแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน, กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์ครุสภา ลาดพร้าว.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543. ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม ว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง และการจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543.

กรมอุตสาหกรรมเหมืองแร่, 2544. รายงานสรุปประทานบัตร, กระทรวงอุตสาหกรรม, ค้นเมื่อ 1 มิถุนายน 2551,จาก http://www.dpim.go.th

กรมพัฒนาที่ดิน, 2545. ฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร, 2545. รายงานการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรปี 2546, ค้นเมื่อ 30 มิถุนายน 2551, จาก http://www.diw.go.th

กรมควบคุมมลพิษ, 2547. แผนการจัดการน้ำเสียชุมชน, กรุงเทพฯ.

กองพัฒนาทรัพยากรธรณี, 2540. คู่มือแผนที่แหล่งแร่และแหล่งเชื้อเพลิงธรรมชาติของประเทศไทย, กรุงเทพฯ, กรมทรัพยากรธรณี.

กองตรวจโรงงาน, 2539. กรรมวิธีการผลิตและขั้นตอนการผลิตทั่วไปของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ, กรุงเทพฯ, กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2550. การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, ค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2551, จาก http://www.ieat.go.th

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2544. แนวการศึกษาชุดวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัยและการจัดการกากของเสียในโรงงานอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ ชุดวิชา 59703, กรุงเทพฯ.

เนทิยา ตัณฑชุณห์, 2551. การประเมินความเสี่ยง เอกสารประกอบการสอน on line, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, สำนักวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาเขตพะเยา, จาก http://www.pyo.nu.ac.th

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535, ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 110 ตอนที่ 92 ลงวันที่ 13 กรกฎาคม 2536.

บริษัท เมทริกซ์ แอสโซซิเอทซ์, 2550. โครงการประเมินศักยภาพด้านคุณภาพน้ำบาดาล วางระบบติดตามการปนเปื้อน และวางแผนรายละเอียดการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดระยอง และจังหวัดชลบุรี, กรุงเทพฯ.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 20 (พ.ศ.2543) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน.

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) วันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่อง “กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง

จากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม" ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539.

ราชบัณฑิตยสถาน, 2544. พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา ฉบับราชบัณฑิตสถาน, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, อรุณการพิมพ์.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี, กรุงเทพฯ, ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักบริหารและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม, 2546. เหมืองแร่และการดูแลสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.

เอิบ เขียวรื่นรมณ์, 2542. การสำรวจดิน, มโนทัศน์ หลักการและเทคนิค, กรุงเทพฯ, ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration : Guidelines for Computing Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO.

Aller, L., Bennett, T., Jay, H.L., Rebecca, J.P., and Hackett, 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Using Hydroqeologic Settings, NWWA/EPA Series.

Blaney, H.F., and Criddle, W.D., 1962. Determining consumptive use and irrigation water requirements, USDA.

Brassington, R., 1988. Field Hydrogeology, Halstad Press, 192 p.

Broner, I., 2005. Irrigation Scheduling: The water Balance Approach, Colorado State University, Extension paper no. 4.707.

Civita M., 1993. Groundwater vulnerability maps: a review, Proc. IX Symp. on Pesticide Chemistry "Degradation and Mobility of Xenobiltics", Lucca, Italy, p. 587-631.

Foster, S.D., 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerabilety pollution risk and protecttion strategy, in W.Van Duijvan-booden, and H.G.vanWaegeningh (eds.), Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution, Proceedings and Information No.38 of the International Conference held inthe Netherlands, TNO Committee on Hydrological Research, Netherlands.

Gieske, A.S.M., 2003. Operational solutions of actual evapotranspiration, In: Simmers, I.(ed), Understanding Water in a Dry Environment: Hydrological Process in Arid and Semi-arid zone, A.A. Balkema.

Gonzalez, B., Andrade-Garda, E., Andrade-Garda, Seraano-Velasco, J.M., Lopez-Hahia,P., 1997. Hydrology and Ground water Pollution of Yaqui Valley, Sonora, Mexico. Geof Sica International, 36, p. 49-54.

LaGrega, M. D., Buckingham, P. L., and Evans, J. C., 1994. Hazardous waste Management, New York, McGraw-Hill, Inc.

Mansell, M.G., 2003. Rural and Urban Hydrology, ThomasTelford.

Morris, B.I., and Foster, S. S. D., 2000. Crypto-sporidium contamination hazard assessment and risk management for British groundwater source, Water Science and Technology. 41(7): 67-77.

Osborn, N.I., Eckenstein, E., and Koon, K.Q, 1998. Vulnerability assessment of twelve major aquifers in Oklahoma, Japan: Oklahoma Water Resources Board, Technical Report.

Patrick, D. R., 1994. Toxic Air Pollution Handbook, New york, Van Nostrand Reinhold.

Shreve, R.N., and Brink, J.A., Jr., 1977. Chemical process industries, Mcgraw-Hill Inc.

U.S. EPA, 1992. Hazard Ranking System (HRS).

U.S. EPA, 1993. Integrated Risk Information System (IRIS).

Zaporozec, A., 2002. Contaminant sources inventory a methodological guideline, Paris, UNESCO.

คู่มือ ทบ อ 3000-2550
การประเมินผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาลมากเกินสมดุล

คู่มือ ทบ อ 3000-2550 เป็นคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล (อ) ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง "2550" หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้ใส่วงเล็บต่อท้ายและระบุ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย (ก) เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย (ป) เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

การสูบน้ำบาดาลมาใช้มากเกินสมดุลน้ำบาดาล อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำบาดาล กล่าวคือทำให้ปริมาณน้ำบาดาลลดลงและขาดแคลนน้ำ และส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม เช่น กระทบระบบนิเวศน์ที่พึ่งพาน้ำบาดาล เกิดแผ่นดินทรุด หรือเกิดการรุกล้ำของน้ำบาดาลเค็ม เป็นต้น เพื่อเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำบาดาลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพอย่างยั่งยืน จำเป็นต้องมีระบบการจัดการและประเมินผลกระทบต่าง ๆ อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ คู่มือนี้กล่าวถึงการประเมินผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาลมากเกินสมดุล ประกอบด้วย 3 ประเด็นหลัก คือ (1) ผลกระทบของการลดระดับน้ำบาดาลต่อระบบนิเวศน์ที่พึ่งพาน้ำบาดาล (2) การสูบน้ำบาดาลเกินสมดุล และการเกิดแผ่นดินทรุด และ (3) การสูบน้ำบาดาลและการเกิดการรุกล้ำของน้ำเค็ม

2. ขอบเขต

คู่มือนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นคู่มืออ้างอิงเชิงแนวคิดและเชิงหลักการทางวิชาการสำหรับบุคลากรที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการอนุรักษ์แหล่งน้ำบาดาลและเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานที่ยังใหม่ในสาขานี้ให้เข้าใจในหลักการและแนวคิดในเรื่องนี้ คู่มือนี้ไม่ได้กล่าวรวมถึงรายละเอียดการออกแบบหรือการดำเนินการทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง แต่จะกล่าวถึงหลักทฤษฎีและแนวทางปฏิบัติหรือการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการสูบน้ำบาดาลมากเกินสมดุล

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 Asian Institute of Technology (AIT), 1981. Investigation of Land Subsidence Caused by Deep Well Pumping in the Bangkok Area, Research Report, vol. 91. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

3.2 Commission on Geosciences, Environmental Water Requirements of Groundwater Economic Concept and Approaches. http://www.nap.ded/books/ 0309056403/html/75.html.

3.3 Department of Groundwater Resources (DGR), 2004. Mathematical Modeling of Effects of Mitigation to Excessive Groundwater Use in Bangkok Area, A Technical Report by Kasetsart University for DGR, Bangkok, Thailand.

3.4 Department of Mineral Resources (DMR), 2000. A Master Plan and Conceptual Design of an Artificial Recharge Scheme for Conservation of Bangkok Groundwater System, A Technical Report

by Chulalongkorn University for DMR, Bangkok, Thailand.

3.5 Falkenmark, M., 2003. Water Management and Ecosystems: Living with Change, GWR TEC Background Paper No.9. Stockholm, Sweden.

3.6 Jacob, C.E., 1940. On the Flow of Water in an Elastic Artesian Aquifer, Transaction of American Geophysical Union, vol. 22, pp. 574 - 586.

3.7 Johnson, A.I., 1986. Land Subsidence, In: Proceedings, 3rd Internet. Symp. On Land Subsidence held in Venice, Italy, 19-25, March 1984, IAHS, Wallingford, 939 pp.

3.8 Japan International Cooperation Agency (JICA), 1995. The Study on Management of Groundwater and Land Subsidence in the Bangkok Metropolitan Area and Its Vicinity, Report submitted to Department of Mineral Resources and Public Works Department, Kingdom of Thailand.

3.9 Lofgren, B.E., 1975. Land Subsidence Due to Groundwater Withdrawal, Arvin-Maricopa area, CA., USGS Professional Paper, 437-D, Washington, D.C., 55 p.

3.10 Meinzer, O.E., 1928. Compressibility and Elasticity of Artesian Aquifers, Economic Geology, vol. 23, No. 3, pp. 263 – 291.

3.11 Nutalaya, P., Yong, R.N., Chumnankit, T., Buapeng, S., 1989. Land Subsidence in Bangkok During 1978-1988. Proceedings of Workshop on Bangkok Land Subsidence - What is Next?, Bangkok, June, pp.1-48.

3.12 Nutalaya, P., Yong, R.N., Chumnankit, T., Buapeng, S., 1996. Land Subsidence in Bangkok During 1978-1988. In: Milliman, J.D., Haq, B.U. (Eds.) Sea-Level Rise and Coastal Subsidence, pp. 105-130.

3.13 Phienwej, N., 1995. The Present State of Bangkok Land Subsidence: 1995, Proceedings of a Workshop on Management and Usage of Groundwater for Sustainable Development, IDRC and PP Teknologi, Jakarta, Indonesia, pp. 1-11.

3.14 Phienwej, Thepparak, S., Giao, P.H., 2004. Analysis of Differential Settlement of Buildings Induced by Land Subsidence from Deep Well Pumping. Proceedings of the 15th Southeast Geotechnical Conference, Bangkok, Thailand, vol. 1, pp. 165-170.

3.15 Pianchareon, C., 1976. Groundwater and Land Subsidence in Bangkok ,Thailand, Proceedings of the Second International Symposium on Land Subsidence, California, pp. 355-364.

3.16 Premchit, J., 1978. Analysis and Simulation of Land Subsidence with Special Reference to Bangkok, Doctoral Dissertation No. D37, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

3.17 Ramnarong, V., 1983. Groundwater Depletion and Land Subsidence in Bangkok, Proceedings of Conference on Geology and Mineral Resources of Thailand, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand.

3.18 Ramnarong, V., Buapeng, S., Chusanathas, S., Lorphensri, O., 1998. Ground-

water and Land Subsidence Crisis in Bangkok Metropolitan and Vicinity, Technical Report, vol. 3/1998, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand.

3.19 Thepparak, S., 2001. Analysis of Settlement and Compression of Shallow Soil Strata Due to Drawdown of Groundwater in an Underlying Aquifer from Well Pumping in Bangkok Area, Master Thesis, No. GE-00-01, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

4. ความสำคัญและการใช้งาน

ใช้เป็นคู่มืออ้างอิงเชิงแนวคิดและหลักการในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการสูบน้ำบาดาลมากเกินสมดุล

5. การประเมินผลต่อสิ่งแวดล้อม

5.1 ระบบนิเวศน์ที่พึ่งพาน้ำบาดาล

ภาพรวมของระบบนิเวศวิทยาและน้ำบาดาลจำเป็นต้องนำมาพิจารณาร่วมกันในประเด็นดังนี้

- น้ำบาดาลนับเป็นปัจจัยที่มีบทบาทร่วมกันในการที่จะดำรงรักษาระบบนิเวศวิทยาทางน้ำ ทางบก และชายฝั่งทะเล รวมถึงสภาพภูมิทัศน์ที่เกี่ยวข้องทั้งที่อยู่ในเขตร้อนชื้นและเขตแห้งแล้งให้เกิดความยั่งยืน ดังนั้นน้ำบาดาลจึงเป็นกุญแจสำคัญในการที่จะช่วยดำรงสภาพของระบบนิเวศน์หลักๆ เหล่านี้ให้ยั่งยืนยาวนาน

- ขาดการควบคุมดูแลเรื่องการปกป้องและการพัฒนาทรัพยากรน้ำบาดาลทำให้เกิดผลกระทบทางลบ (เช่น ทำให้เกิดการเปลี่ยนทิศทางการไหลของน้ำบาดาล เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพน้ำบาดาล เป็นต้น) ต่อระบบของพืชและสัตว์น้ำบางชนิด ในชั้นน้ำบาดาลบางแห่งที่ใช้น้ำมากเกินสมดุล อาจทำให้ระดับน้ำลดลงมากจนทำให้สมดุลของน้ำบาดาลต่อระบบนิเวศน์สูญเสียไป ในบางกรณีการลดลงของระดับน้ำบาดาลจนเกินสมดุลจะทำให้เกิดการเสื่อมถอยของคุณภาพน้ำบาดาลเพราะเกิดการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งสารปนเปื้อนจากปุ๋ยเคมีและยาฆ่าแมลงศัตรูพืช

5.2 ระบบนิเวศวิทยาที่มีความสัมพันธ์กับน้ำบาดาล

การจำแนกระบบนิเวศน์ที่สัมพันธ์กับน้ำบาดาลสามารถพิจารณาจาก ลักษณะทางธรณีสัณฐานหรือสภาพทางภูมิประเทศ (ทางน้ำ ทางบก ชายฝั่งทะเล ฯลฯ) พิจารณาร่วมกับ กลไกการไหลของน้ำบาดาลบริเวณกว้าง (regional flow) และการไหลท้องถิ่น (local flow) โดยใช้หลักเกณฑ์ดังกล่าวนี้จะสามารถจำแนกระบบนิเวศน์ เป็นระบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนี้

(ก) พื้นที่ชุ่มน้ำในพื้นที่แห้งแล้งขึ้นอยู่กับการไหลของน้ำบาดาลระดับลึก (regional flow, ระบบบริเวณกว้าง) บางครั้งมีการเติมน้ำบ้างจากน้ำฝนแต่ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำบาดาลที่ได้กักเก็บในหินอุ้มน้ำ

(ข) พื้นที่ชุ่มน้ำในเขตร้อนชื้น พื้นที่ชุ่มน้ำแต่ละแห่งขึ้นอยู่กับการไหลของน้ำจากความลึกต่างๆ กัน พื้นที่ชุ่มน้ำหลักเกิดจากการไหลของน้ำบาดาลในบริเวณกว้าง (regional) และพื้นที่ชุ่มน้ำรองเกิดจากการไหลพาของน้ำบาดาลในระดับท้องถิ่น (local)

(ค) ระบบนิเวศน์ตะกอนท้องน้ำในเขตร้อนชื้นบริเวณต้นน้ำระบบนิเวศน์มีการเปลี่ยนแปลงตามลำน้ำ (intermittent stream)

(ง) ระบบนิเวศน์พื้นที่แอ่งน้ำริมทะเล (lagoon) พื้นที่รอยต่อของน้ำเค็ม กร่อย และน้ำจืด การไหลของน้ำบาดาลมีโอกาสทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรอยต่อของน้ำเหล่านี้

(จ) ระบบนิเวศน์พื้นที่บนเขาในเขตร้อนชื้นขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลที่ใช้น้ำบาดาลในบริเวณชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำหรือบริเวณที่พืชดูดน้ำมาใช้

5.3 การเสื่อมโทรมของระบบนิเวศน์วิทยา

การสูบน้ำบาดาลมีผลกระทบต่อระดับน้ำบาดาลแต่ในแง่ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์เนื่องจากการสูบน้ำ (เช่นการสูบน้ำเพื่อการเกษตรกรรมหรือเพื่อผลิตน้ำประปา) ทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลงเป็นบริเวณกว้าง ในบางกรณีการที่ระดับน้ำบาดาลลดอาจไม่ได้เกิดจากการสูบน้ำเกินสมดุลแต่อาจเกิดจากพื้นที่เติมน้ำบาดาลมีการเปลี่ยนแปลงไป เช่น มีการทำลายหรือถางป่าต้นน้ำก็สามารถทำให้การเติมน้ำบาดาลมีน้อยลงได้

การสูบน้ำบาดาลในระดับลึกที่ต่างกันทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์บนผิวดินในอีกพื้นที่หนึ่งและมีความรุนแรงต่างกัน และต่างสถานที่ด้วยดังแสดงในรูปที่ 2

การเกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์อาจมีความสลับซับซ้อนเนื่องจากการเสื่อมถอยของคุณภาพน้ำบาดาล เช่นมีสารไนเตรต สารแอมโมเนีย หรือสารฟอสเฟตสูงขึ้น หรือมีร่องรอยของสารพิษจากยาฆ่าแมลงศัตรูพืช สาเหตุเหล่านี้อาจทำให้เกิดผลกระทบมากกว่าสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงการไหลน้ำบาดาลด้วย

ในทางปฏิบัติผลกระทบที่เกิดต่อระบบนิเวศน์อาจมีความสลับซับซ้อนขึ้น เช่น ผลของการเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำบาดาล น้ำมีปริมาณในเตรทมากขึ้น มีการปนเปื้อนของสารพิษ เช่น ยาฆ่าแมลง ในบริเวณพื้นที่น้ำบาดาลไหลขึ้นสู่ผิวดิน (discharge area) คุณภาพน้ำเหล่านี้มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำ รูปที่ 3 แสดงระบบนิเวศน์วิทยาที่เกิดขึ้นทั้งในพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำ พืชบางชนิดอาจจะมีการปรับตัวได้ดีหากการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในเวลาสั้น ๆ

5.4 การป้องกันระบบนิเวศน์ที่พึ่งพาน้ำบาดาล

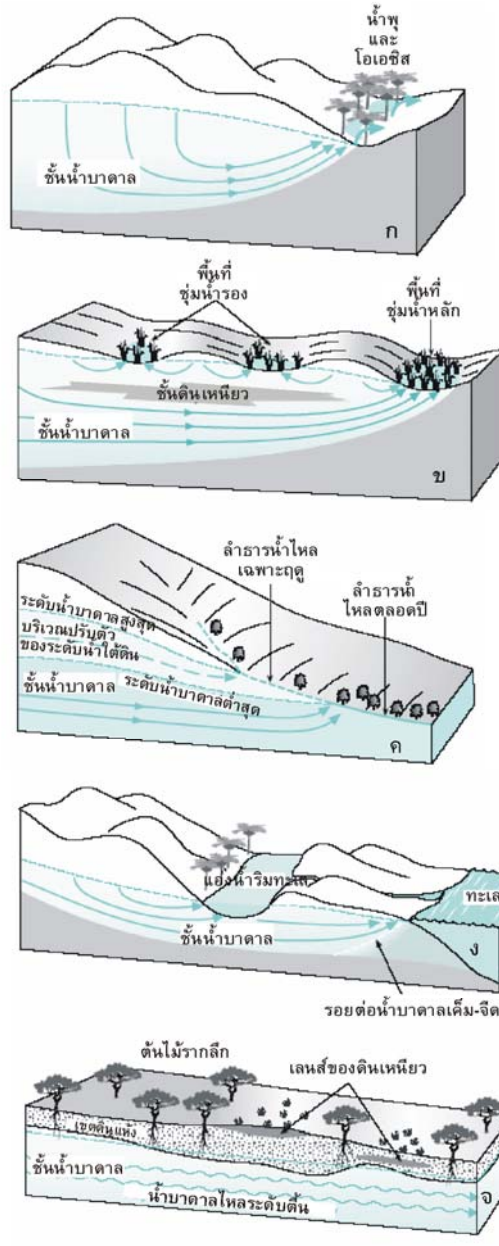
มาตรการต่างๆ ที่สร้างความเข้มแข็งด้านการบริหารจัดการน้ำบาดาลสามารถนำมาใช้หรือประยุกต์ใช้เพื่อป้องกันระบบนิเวศน์แบบนี้ได้ วิธีการคือกำหนดเกณฑ์เพื่อคงสภาพระดับน้ำบาดาลและอนุรักษ์คุณภาพน้ำบาดาลให้ได้ตามความต้องการของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในระบบนิเวศน์นั้นๆ

วิธีการดังกล่าวข้างต้นมักทำให้เกิดความยุ่งยากเกี่ยวกับเรื่องปริมาณน้ำและการกระจายการสูบน้ำและต้องระมัดระวังเรื่องการป้องกันการปนเปื้อนของสารพิษ การอนุรักษ์น้ำบาดาลเพื่อให้ได้คุณภาพน้ำดื่มในการนี้จึงต้องมีการถกเถียงหาความสมดุลระหว่างการมีชีวิตที่ดีในชนบทและการรักษาระบบนิเวศน์ให้ยั่งยืนและการถกเถียงนี้ต้องได้รับการเสนอข้อมูลที่มีการวิเคราะห์อย่างดีทั้งทางเทคนิคและทางเศรษฐสังคม หัวใจสำคัญที่ใช้เป็นเครื่องมือการวางแผน การจัดการน้ำบาดาลและสิ่งแวดล้อมก็คือการนำปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำบาดาลและระบบนิเวศน์มาพิจารณาร่วมกัน

อย่างไรก็ตามปัญหาต่างๆ ด้านสังคม การพัฒนาการเกษตรกรรม และการประปาชุมชนเมือง อาจทำให้มาตรการการควบคุมระดับน้ำและคุณภาพน้ำบาดาลเป็นไปได้ยาก จึงจำเป็นต้องหาทางเลือกอื่นไว้ด้วย เช่น

- สำรวจเพื่อระบุเขตคุ้มครอง (protection zones) ที่อยู่บริเวณรอบๆ พื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อประกันว่าสามารถป้องกันไม่ให้ระดับน้ำบาดาลลดและคุณภาพน้ำบาดาลไม่เสื่อมลง

- ทำการเติมน้ำลงในชั้นน้ำบาดาลและพัฒนาคุณภาพน้ำบาดาล ในพื้นที่ที่อยู่ในเขตอนุรักษ์พื้นที่ชุ่มน้ำ หรือทำการสูบน้ำจากน้ำบาดาลเพื่อเสริมชดเชยให้พื้นที่ชุ่มน้ำที่มีระดับน้ำลดต่ำเกินระดับวิกฤต.



(ก) พื้นที่ชุ่มน้ำในพื้นที่แห้งแล้งขึ้นอยู่กับการไหลของน้ำบาดาลระดับลึก (regional flow, ระบบกว้าง) บางครั้งมีการเติมน้ำบ้างจากน้ำฝนแต่ส่วนใหญ่ จะเป็นน้ำบาดาลที่ได้กักเก็บในหินอุ้มน้ำ

(ข) พื้นที่ชุ่มน้ำในเขตร้อนชื้น พื้นที่ชุ่มน้ำแต่ละแห่งขึ้นอยู่กับการไหลของน้ำจากความลึกต่างๆ กัน พื้นที่ชุ่มน้ำหลักเกิดจากการไหลของน้ำบาดาลในบริเวณกว้าง และพื้นที่ชุ่มน้ำรองเกิดจากการไหลพาน้ำบาดาลในระดับท้องถิ่น (local)

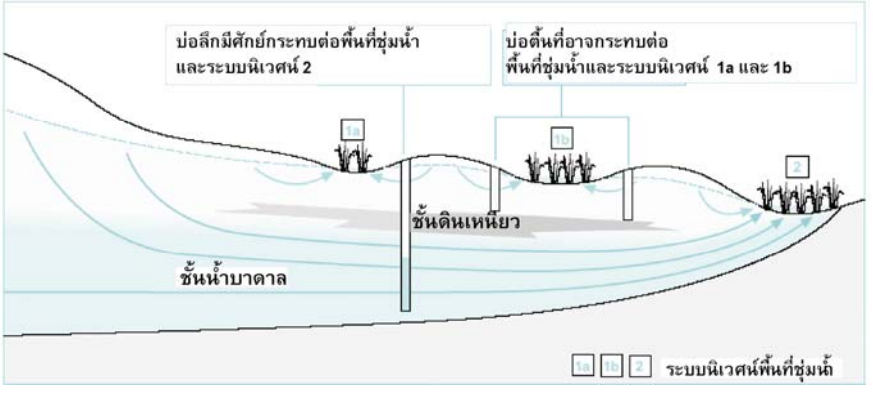
(ค) ระบบนิเวศน์ตะกอนท้องน้ำในเขตร้อนชื้น บริเวณต้นน้ำระบบนิเวศน์มีการเปลี่ยนแปลงตามลำน้ำ ลำน้ำไหลไม่ตลอดปี (intermittent stream)

(ง) ระบบนิเวศน์พื้นที่แอ่งน้ำริมทะเล (lagoon) พื้นที่รอยต่อของน้ำเค็ม กร่อย และน้ำจืด มีโอกาสทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรอยต่อของน้ำเหล่านี้

(จ) ระบบนิเวศน์พื้นที่บนเขาในเขตร้อนชื้นขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาล ที่ใช้น้ำบาดาลในบริเวณชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำหรือบริเวณที่พืชดูดน้ำมาใช้

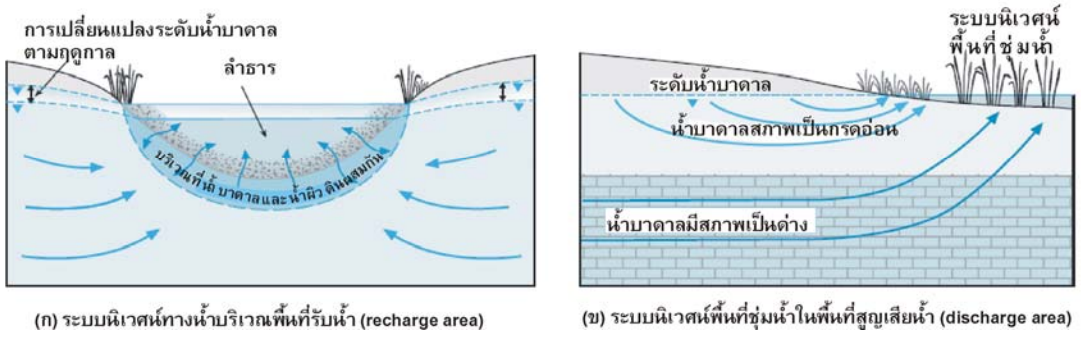
รูปที่ 1 ระบบการไหลของน้ำบาดาล (groundwater flow systems) ที่ทำให้เกิดระบบนิเวศน์วิทยา

(ดัดแปลงจาก Foster et al., 2006)



รูปที่ 2 การสูบน้ำบาดาลในระดับลึกที่ต่างกันมีผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาบนผิวดิน

(ดัดแปลงจาก Foster et al., 2006)



รูปที่ 3 ระบบนิเวศน์ในพื้นที่รับน้ำ (recharge area) และพื้นที่สูญเสียน้ำ (discharge area)

(ดัดแปลงจาก Foster et al., 2006)

5.5 การประเมินมูลค่าระบบนิเวศน์ที่พึ่งพาน้ำบาดาล

ในการประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจของระบบนิเวศน์ที่มีความสัมพันธ์กับการไหลของน้ำบาดาลสรุปไว้ในตารางที่ 1 ควรพิจารณาจากการจำแนกทางเศรษฐศาสตร์ 2 กลุ่ม คือ มูลค่าจากการใช้ระบบนิเวศน์ และมูลค่าส่วนที่ยังไม่ได้ใช้

มูลค่าจากการใช้ระบบนิเวศน์ ควรพิจารณามูลค่าทางตรงที่มีการวางแผนการใช้ระบบนิเวศน์ เช่น ใช้เป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจ หรือมูลค่าทางอ้อมที่ให้ผลประโยชน์ทางอ้อมต่อชุมชน เช่น การเพิ่มธาตุอาหารในดินหรือการดูดซับมลพิษ การควบคุมน้ำท่วม และการป้องกันการกัดเซาะหน้าดิน เป็นต้น

มักจะเกิดกรณีพิพาทในเรื่องความสมดุลระหว่างการพัฒนาคุณภาพชีวิตชนบทกับการรักษาระบบนิเวศน์ให้ยั่งยืน ในการตัดสินใจในเรื่องนี้จำเป็นต้องมีข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์อย่างรอบคอบทางด้านเทคนิคและด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนั้น จึงมีความสำคัญที่ต้องพิจารณาผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ร่วมกับผลการวิเคราะห์ทางเลือกในการจัดการ โดยผ่านทางการจำแนกและการเกิดประโยชน์สูงสุดทางด้านสวัสดิการ ผลประโยชน์และการกระจาย

ตารางที่ 1 การประมาณการมูลค่ารวมทางเศรษฐศาสตร์ของระบบนิเวศน์ที่พึ่งพาน้ำบาดาล

การจำแนกทางเศรษฐศาสตร์		มูลค่า	ตัวอย่างของมูลค่า	วิธีประเมินมูลค่า
มูลค่าจากการใช้ (use value)	มูลค่าทางตรง (direct use value)	เพิ่มขึ้นจากมูลค่าจริง และหรือการวางแผนใช้งาน	การเก็บของป่าหรือการพักผ่อนหย่อนใจ	Hedonic Pricing * Residual Value * และวิธีการอื่นๆ **
	มูลค่าทางอ้อม (indirect use value)	มูลค่าของทรัพยากรและบทบาทที่ให้ผลประโยชน์ทางอ้อมแก่ชุมชน	การเพิ่มเติมธาตุอาหารในดิน การดูดซับมลพิษ ควบคุมน้ำท่วม สนับสนุนระบบนิเวศน์ รักษาความมั่นคงให้กับแนวชายฝั่ง ควบคุมการกัดเซาะหน้าดิน	Contingent Valuation และ Choice Experiment
มูลค่าส่วนที่ยังไม่ได้ใช้ (non-use value)	มูลค่าเผื่อจะใช้ (option value)	ความยินดีที่จะไม่ใช้ในปัจจุบันเพื่อรับประกันการมีทรัพยากรใช้ในอนาคต	ศักยภาพที่จะเกิดผลประโยชน์ในอนาคตจากการใช้โดยตรงหรือโดยอ้อม	
	มูลค่ากึ่งเผื่อจะใช้ (quasi-option value)	ความยินดีที่จะไม่ใช้ในปัจจุบันเพื่อจะลดหรือป้องกันผลกระทบจากการพัฒนาที่มีความไม่แน่นอนที่จะเกิดขึ้นต่อทรัพยากรในอนาคต	มูลค่าอนาคตของข้อมูลจากการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ	
	มูลค่าการคงอยู่ (existence value)	มูลค่าที่เกิดขึ้นจากการได้ทราบว่าทรัพยากรนั้นอยู่ในสภาพที่ดี	ความหลากหลายทางชีวภาพ	
	มูลค่ามรดก (bequest value)	มูลค่าที่เกิดจากความต้องการเก็บรักษาไว้เป็นมรดกสำหรับประชากรรุ่นต่อไป		
	มูลค่าที่เกิดขึ้นเพื่อผู้อื่น (altruistic value)	มูลค่าที่เกิดจากความรู้สึกที่ดีที่จะเก็บรักษาไว้เพื่อชุมชนหรือสังคมถึงแม้จะยังไม่ใช้ประโยชน์ก็ตาม		

(ดัดแปลงจาก Foster et al., 2006)

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการนี้โดยมากมักจะทำการประเมินในเรื่องต่อไปนี้คือ

- ราคาในการคุ้มครองโดยพิจารณาในรูปของการสูญเสียทางเลือกในการใช้น้ำบาดาล การใช้ที่ดิน และ การบริหารการใช้ที่ดิน และนโยบายการควบคุมน้ำบาดาล

- ผลประโยชน์ของการคุ้มครองในรูปของมูลค่าน้ำบาดาลและการบริการของระบบนิเวศน์

การดำเนินการด้านสถาบันและด้านกฎหมายที่สามารถเอื้ออำนวยต่อการพิจารณาและการคุ้มครองน้ำบาดาลเพื่อสิ่งแวดล้อม

ในประเทศกำลังพัฒนาพบว่าแรงกดดันทางสังคมสามารถทำให้เกิดการพัฒนาด้านการเกษตร-กรรมและการพัฒนาชุมชนเมือง การพัฒนาเหล่านี้อาจส่งผลกระทบระบบนิเวศน์ที่พึ่งพาน้ำบาดาลทั้งกระทบทางตรง (โดยการทำให้มีการสูบน้ำมาใช้เพิ่มขึ้น) และทางอ้อม (โดยการทำให้เกิดการปนเปื้อนน้ำบาดาลเพิ่มขึ้น) ประเด็นสำคัญในการใช้มาตรการการจัดการน้ำบาดาลเพื่อคุ้มครองระบบนิเวศน์ ก็คือใครจะเป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ที่เป็นตัวแทนของระบบนิเวศน์นั้นๆ

ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในกรณีนี้ ได้แก่

- องค์กรเอกชนที่ทำหน้าที่เป็นตัวแทนชุมชนท้องถิ่นซึ่งขึ้นอยู่กับหน้าที่ของระบบนิเวศน์หรือโดยทั่วไปที่มีความสนใจในเรื่องการอนุรักษ์ระบบนิเวศน์

- เจ้าหน้าที่ที่ดินท้องถิ่นเป็นตัวแทนรักษาสมดุลความสนใจของเจ้าของที่ดินท้องถิ่น

- องค์กรด้านสิ่งแวดล้อมทั้งระดับชาติและระดับท้องถิ่น

ถ้ายังไม่มีระบบสิทธิการใช้น้ำบาดาล (groundwater use rights system) และระบบการมีส่วนร่วมจากกลุ่มผู้มีส่วนได้เสียที่ระบุกลุ่มอย่างชัดเจนการรับฟังความเห็นสาธารณะเรื่องการคุ้มครองระบบนิเวศน์ที่พึ่งพาน้ำบาดาลก็มักจะไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร

สมมุติให้มีแบบเสนอโครงการพัฒนาแหล่งน้ำและหรือแบบเสนอโครงการพัฒนาที่ดินแห่งหนึ่ง การพัฒนาดังกล่าวมีแนวโน้มที่เกิดปัญหาเรื่องผลกระทบระบบนิเวศน์ที่พึ่งพาน้ำบาดาล หน่วยงานที่มีหน้าที่ออกกฎระเบียบโดยมากจะต้องใช้กลยุทธ์การตัดสินใจ ดังนี้

- หลักการการระวังไว้ก่อน (precautionary principle) โดยการไม่อนุมัติการพัฒนาใดใดจนกว่าจะทราบความเสี่ยงต่อระบบนิเวศน์และมีวิธีจัดการป้องกันแก้ไข (วิธีนี้เป็นวิธีอนุรักษ์นิยมเกินไปสำหรับประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งมีความต้องการการพัฒนาที่ดินและน้ำเป็นอย่างมาก)

- หลักการพัฒนานำร่อง (pragmatic initial development) ในการพัฒนาทรัพยากรน้ำบาดาลโดยให้มีการติดตามเฝ้าระวังอย่างรอบคอบมีการประเมินผลและมีการปรับประยุกต์ของแผนการพัฒนา ถ้าหากพบว่าเกิดมีผลกระทบที่สำคัญๆ

- หลักการสำรองการไหลในสิ่งแวดล้อมเฉพาะที่ (reserving specific environmental flows)

ภายในกลยุทธ์และการวางแผนรวมเรื่องการจัดการทรัพยากรแหล่งน้ำบาดาลเพื่อรักษาพื้นที่ชุ่มน้ำหลักให้ยั่งยืน

ความสลับซับซ้อนของการประมาณการณ์เรื่องผลกระทบจากการสูบน้ำบาดาลและการปนเปื้อนทำให้มีความยุ่งยากในการกำหนดพิกัด (limits) ที่สามารถรังวัดได้ทันทีและสามารถบังคับใช้ทางกฎหมาย อย่างไรก็ดีข้อกำหนดทางกฎหมายสามารถให้แนวทางได้ โดยการกำหนดไว้ว่า ในกรณีที่ผู้มีส่วนได้เสียมีความเห็นไม่ตรงกันกับการตัดสินของเจ้าหน้าที่ผู้รักษากฎหมาย ผู้มีส่วนได้เสียสามารถ

ทำการศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้โดยต้องจ่ายค่าใช้จ่ายเอง

6. การเกิดแผ่นดินทรุดจากการสูบน้ำบาดาล

ความสัมพันธ์ระหว่างการลดระดับน้ำบาดาลและการเกิดแผ่นดินทรุด มีผู้ทำการศึกษาในสถานที่ต่างๆ มากมาย เช่น Poland and Davis (1956), Hix (1995), Wilson and Gorelick (1996) การลดระดับน้ำบาดาลในชั้นน้ำแบบมีแรงดัน (confined aquifer) จะทำให้แรงดันโพรง (pore pressure) ลดลงแต่แรงกดดันจากชั้นดินยังเท่าเดิมจะทำให้แรงกดดันประสิทธิผล (effective stress) ในชั้นน้ำเพิ่มขึ้น เป็นสาเหตุทำให้ชั้นน้ำนั้นเกิดการอัดตัว การทรุดตัวของชั้นน้ำบาดาลจะส่งผลให้เกิดการทรุดตัวของผิวดินตามกันไปด้วย (Jacob,1939; Narasimhan et al., 1984; Parker and Springfield, 1950) การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ร่วมกับการเกิดแผ่นดินทรุด อาจจะนำไปสู่การเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ตามชายฝั่งหรือพื้นที่ลุ่มต่ำ ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ หลายอย่างตามมา คู่มือนี้กล่าวถึงวิธีการประมาณการ การเกิดแผ่นดินทรุดจากการสูบน้ำบาดาลมากเกินสมดุล การเกิดแผ่นดินทรุดเกิดขึ้นจากองค์ประกอบสองส่วนคือ องค์ประกอบการทรุดตัวแบบยืดหยุ่น (elastic subsidence) และองค์ประกอบการทรุดตัวแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic subsidence) ของชั้นน้ำ การคำนวณหาการทรุดตัวแบบยืดหยุ่นสามารถคำนวณจากสัมประสิทธิ์การทรุดยุบตัว (compressibility) และสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (storativity) ของชั้นน้ำจากการตอบสนองระดับน้ำบาดาลต่อแรงกดดันบรรยากาศ (atmospheric loading)

การทรุดตัวแบบไม่ยืดหยุ่นสามารถคำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ (specific storage) ค่าระดับน้ำลด (water level drop) และความหนาของชั้นน้ำ การทำนายอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินมีประโยชน์ในการจัดการ การวางแผนพัฒนา การออกกฎเกณฑ์ และการบริหารทรัพยากรที่ดินและน้ำบาดาล

6.1 การทรุดตัวแบบยืดหยุ่น

การทรุดตัวแบบยืดหยุ่นของชั้นน้ำ หมายถึง การเกิดการอัดยุบตัวของชั้นน้ำที่สามารถคืนตัวได้เมื่อแรงกดดันที่กระทำนั้นหายไป การทรุดตัวของชั้นน้ำโดยวิธีนี้สามารถคำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำและสัมประสิทธิ์การทรุดยุบตัว ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวสามารถประมาณได้จากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาลเมื่อแรงดันบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไป (Rojstaczer, 1988; Rojstaczer and Riley, 1990; Furbish, 1992) ค่าสัมประสิทธิ์การทรุดยุบตัวแบบยืดหยุ่น (elastic compressibility) ของชั้นน้ำมีแรงดัน สามารถประมาณได้จากสมการที่ (1) (Jacob, 1940)

$$S_s = \rho_w g(\beta_p + \beta_w) \qquad (1)$$

เมื่อ S_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ (specific storativity) ρ_w คือความหนาแน่นของน้ำ g คือ ความเร่งโน้มถ่วง β_p คือ สัมประสิทธิ์การอัดยุบตัวรวมของชั้นหิน (bulk compressibility) และ β_w คือ สัมประสิทธิ์การอัดยุบตัวของน้ำ (4.6×10^{-10} m^2/N)

Jacob (1940) และ Domenico and Schwartz (1998) คำนวณหาค่า tidal efficiency (T.E.) จากสมการ

$$T.E. = \frac{\partial P}{\rho_w g \partial H'} = \frac{\beta_p}{\rho_p + n\beta_w} = \frac{\rho_w g \beta_w}{S_s} \qquad (2)$$

เมื่อ ∂P คือ แรงดันน้ำบาดาล

$\partial H'$ คือ ระดับความสูงน้ำทะเล

แรงดันบารอมิเตอร์ (barometric pressure) หรือแรงดันบรรยากาศ มีความสัมพันธ์ผกผันกับระดับน้ำบาดาลในบ่อบาดาล ค่าประสิทธิภาพบารอมิเตอร์ (barometric efficiency, B.E) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลตามการเปลี่ยนแปลงแรงดันบรรยากาศ ค่า B.E คำนวณหาจากสมการที่ (3)

$$B.E. = \frac{\rho_w g \partial h}{\partial P_a} \qquad (3)$$

เมื่อ P_a คือ แรงดันบรรยากาศ

∂h คือ ระดับน้ำบาดาลในบ่อบาดาล

จากสมการที่ (3) แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของแรงดันบรรยากาศ จะมีผลทำให้แรงดันน้ำบาดาลในบ่อเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วย แรงกดดันที่กระทำต่อชั้นน้ำบาดาลนี้จะแบกรับไว้โดยเม็ดดินและน้ำในชั้นน้ำนั้น เมื่อแรงดันบรรยากาศเปลี่ยนไป จะเกิดความต่างของแรงดัน (pressure difference) ระหว่างแรงดันน้ำและแรงดันในชั้นน้ำ เมื่อแรงดันบรรยากาศเพิ่มขึ้น ระดับน้ำในบ่อบาดาลจะลดลง เพราะว่า T.E. + B.E. = 1 (Jacob, 1940) จากสมการ (2) และ (3) จะได้สมการที่ (4)

$$B.E. = \frac{n\beta_w}{\beta_p + n\beta_w} = \frac{\rho_w g n \beta_w}{S_s} \qquad (4)$$

ในทางปฏิบัติ ค่า B.E. สามารถหาได้จากข้อมูลระดับน้ำบาดาลและข้อมูลแรงดันบารอมิเตอร์ โดยใช้สมการที่ (3) ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ และค่าสัมประสิทธิ์การอัดยุบตัวรวมของชั้นน้ำ สามารถหาจากสมการที่ (4) ค่าการกักเก็บน้ำ (storativity, S) ก็คือผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะและความหนาของชั้นน้ำ

$$S = S_s m = \rho_w g m(\beta_p + n\beta_w) \qquad (5)$$

เมื่อ m คือ ความหนาของชั้นน้ำ และโดยคำจำกัดความ สัมประสิทธิ์การอัดยุบตัวรวมของชั้นน้ำก็คือ

$$\frac{\Delta m}{m} = \beta_p \Delta\delta = \beta_p \Delta P \qquad (6)$$

เมื่อ Δm คือการเปลี่ยนแปลงความหนาชั้นน้ำ $\Delta\delta$ คือ การเปลี่ยนแปลง แรงดันประสิทธิผล (effective stress change) ซึ่งมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ ΔP

รวมสมการที่ (5) และ (6) แก้สมการหาค่า Δm สามารถหาค่าการทรุดตัวแบบยืดหยุ่นของชั้นน้ำมีแรงดันได้จากสมการ

$$\Delta m = \Delta P\left(\frac{S}{\rho_w g} - \beta_w nm\right) \qquad (7)$$

6.2 การทรุดตัวแบบไม่ยืดหยุ่น

การทรุดตัวแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic Compaction) เป็นการทรุดตัวแบบถาวร เกิดจากการอัดตัวที่ไม่สามารถคืนรูปเดิมได้แม้ว่าแรงกดดันจะหายไปแล้วก็ตาม สาเหตุเกิดจากการลดระดับน้ำบาดาลในชั้นน้ำแรงดันที่มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ดินเหนียว หรือตะกอนละเอียด การทรุดตัวจะขึ้นกับการลดระดับน้ำบาดาล และสามารถคำนวณหาจากสมการของ Domenico and Schwartz (1998) และ Cernica (1995) ดังนี้

$$\Delta M' = S_s M\left(\frac{\Delta h_1 + \Delta h_2}{2}\right) \qquad (8)$$

เมื่อ $\Delta M'$ คือ การทรุดตัวของชั้นน้ำมีแรงดัน (confining layer)

S_s คือ สัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ

M คือ ความหนาของชั้นน้ำมีแรงดัน

Δh_1 และ Δh_2 คือ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในชั้นน้ำชั้นบนและชั้นล่าง

ปริมาณการทรุดตัวและระยะเวลาที่เกิดการทรุดตัวสามารถคำนวณจากสมการของ Cernica (1995) ดังสมการที่ (9)

$$\frac{t}{T^*} = \frac{tK_v}{M^2 S_s} \qquad (9)$$

เมื่อ t คือ เวลาที่ใช้ในการเกิดการทรุดตัว

T^* คือ ค่าคงที่เวลา (time constant) (ระยะเวลาที่ชั้นน้ำทรุดตัว 93% ของการทรุดตัวสูงสุด)

K_v คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมแนวดิ่งของชั้นน้ำมีแรงดัน

เมื่อกำหนดปริมาณการทรุดตัวที่ต้องการ ค่าสัดส่วนสมการที่ (9) สามารถหาได้จากกราฟจาก Cernica (1995)

7. การคำนวณการทรุดตัว

การทรุดตัวแบบยืดหยุ่นคำนวณจากสมการ (3) - (7) โดยการหาค่า B.E. ก่อน โดยสมการ (3) อัตราการทรุดตัวรวมหาได้จากผลรวมของการทรุดตัวแบบยืดหยุ่นและการทรุดตัวแบบไม่ยืดหยุ่น (การทรุดตัวถาวร)

8. กลไกการเกิดแผ่นดินทรุดจากการสูบน้ำบาดาล

การเกิดแผ่นดินทรุดมักพบในพื้นที่ที่มีระบบชั้นน้ำบาดาล บางส่วนประกอบด้วยชั้นตะกอนเม็ดละเอียด (fine-grained sediments) และมีการสูบน้ำบาดาลใช้มากเกินสมดุล โครงสร้างของชั้นตะกอนที่เป็นชั้นน้ำบาดาลจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นเม็ดตะกอนและส่วนที่เป็นน้ำที่แทรกในตะกอน (Meinzer, 1928) เมื่อสูบน้ำออกไปมากๆ จะทำให้ ระดับน้ำลดลง ส่งผลให้แรงดันโพรงลดลงตามไปด้วย แรงกดดันจากชั้นน้ำจะถ่ายเทไปยังเม็ดตะกอน และทำให้แรงกดดันประสิทธิผล (effective stress) เพิ่มขึ้น เมื่อแรงกดดันประสิทธิผลเพิ่มขึ้น จะทำให้เม็ดตะกอนเกิดการอัดตัวและแตกหักเสียรูปถาวร และเกิดการทรุดตัว ส่งผลให้เกิดการทรุดตัวของผิวดินตามไปด้วย ชั้นน้ำที่ประกอบไปด้วยตะกอนเม็ดละเอียดจำพวก ดินเหนียว (clays) และทรายแป้ง (silts) จะเกิดการทรุดตัวสูงกว่าชั้นน้ำที่เป็นตะกอนเม็ดหยาบจำพวกทรายและกรวด

การแตกหักเสียรูปของระบบชั้นน้ำเกิดขึ้นได้สองกรณีคือการเสียรูป (deformation) ที่สามารถคืนรูปเดิมได้หรือการเสียรูปแบบยืดหยุ่น (elastic deformation) การเสียรูปกรณีนี้เกิดขึ้นในกรณีที่แรงกดดันในชั้นน้ำมีค่าไม่เกินกำลังดั้งเดิม (preconsolidation stress) ที่ชั้นน้ำนั้นเคยมี ถ้าแรงกดดันในชั้นน้ำเพิ่มขึ้นเกินกำลังดั้งเดิมที่เคยมีจะทำให้เม็ดตะกอนเกิดการปรับตัวใหม่ การปรับตัวใหม่ของเม็ดตะกอนนี้จะทำให้ขนาดช่องว่างในชั้นตะกอนลดลงและไม่สามารถคืนสภาพเดิมได้ทำให้เกิดการทรุดตัวอย่างถาวร การเสียรูปอย่างถาวรนี้เรียกว่า การเสียรูปแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic deformation)

กรณีที่ระบบชั้นน้ำประกอบด้วยชั้นตะกอนละเอียดหนามาก การเกิดการทรุดตัวจะขึ้นอยู่กับความหนา ค่าสัมประสิทธิ์การซึมแนวดิ่ง (K_v) และค่าแรงดันน้ำหรือแรงดันโพรง การทรุดตัวจะเกิดขึ้นช้าและเป็นเวลานานจึงจะถึงจุดที่หยุดการทรุด ระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดการทรุดตัวประมาณ 93% ของการทรุดตัวทั้งหมด นี้เรียกว่า เวลาคงที่ (time constant, T*) (Riley, 1969) รายละเอียดเกี่ยวกับการเกิดการทรุดตัวของระบบชั้นน้ำมีอธิบายใน Poland (1984)

9. การตรวจวัดการเกิดแผ่นดินทรุด

9.1 การตรวจวัดด้วยสัญญาณดาวเทียม GPS

การตรวจวัดด้วยสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (global positioning system, GPS) ทำได้โดยนำเครื่องรังวัดไปตั้งรับสัญญาณที่ตำแหน่งพิกัดที่ต้องการวัดระดับตามเส้นโค้งเครือข่ายการรังวัดที่ได้จัดเตรียมไว้ล่วงหน้า นำผลการรังวัดระดับที่ได้มาประมวลผลและปรับแก้โครงข่ายเพื่อหาค่าระดับของจุดบนผิวดินที่ต้องการทราบ ติดตามทำการรังวัดระดับตามระยะเวลาที่กำหนดเพื่อวิเคราะห์หาการเกิดการทรุดตัวของผิวดิน เทคนิควิธีการรังวัดระดับภูมิประเทศมีอธิบายโดยละเอียดในเรื่องการสำรวจด้วยระบบ GPS (Zilkoski et al., 1997)

9.2 การตรวจวัดด้วยวิธี InSAR

วิธีการสำรวจด้วยวิธี InSAR (interferometric synthetic aperture radar) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ วิธีการนี้ใช้หลักการรังวัดจากภาพถ่ายดาวเทียมที่ถ่ายภาพพื้นที่ที่ต้องการศึกษาโดยถ่ายภาพพื้นที่เดียวกันในเวลาต่างกัน ความแตกต่างของสัญญาณเรดาห์ที่ถ่ายจากพื้นที่เดียวกันแต่ต่างเวลากันจะสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงหรือการเคลื่อนตัวของผิวดิน เทคนิคการรังวัดโดยวิธีนี้ มีการนำไปใช้ศึกษาการแตกหักของผิวภูมิประเทศจากการเกิดแผ่นดินไหว (Massonnet et al., 1993) ศึกษาการเกิดภูเขาไฟระเบิด (Massonnet et al., 1995) และศึกษาการเกิดแผ่นดินทรุด (Massonnet et al., 1997; Fielding et al., 1998; Galloway et al., 1998; Amelung et al., 1999; Hoffmann et al., 2001; Sneed et al., 2001)

10. ความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินทรุด

แผ่นดินทรุดทำให้เกิดปัญหาหลายอย่าง เช่น

(1) เกิดการเปลี่ยนแปลงความสูงของผิวดิน ความเอียงเทของลำธาร คลอง และ ทางระบายน้ำเปลี่ยนไป

(2) เกิดความเสียหายต่อสะพาน ถนน ทางรถไฟ ร่องระบายน้ำฝน ท่อสุขาภิบาล คลอง และคันดินธรรมชาติริมห้วย

(3) เกิดความเสียหายต่ออาคารส่วนบุคคลและอาคารสาธารณะ และ

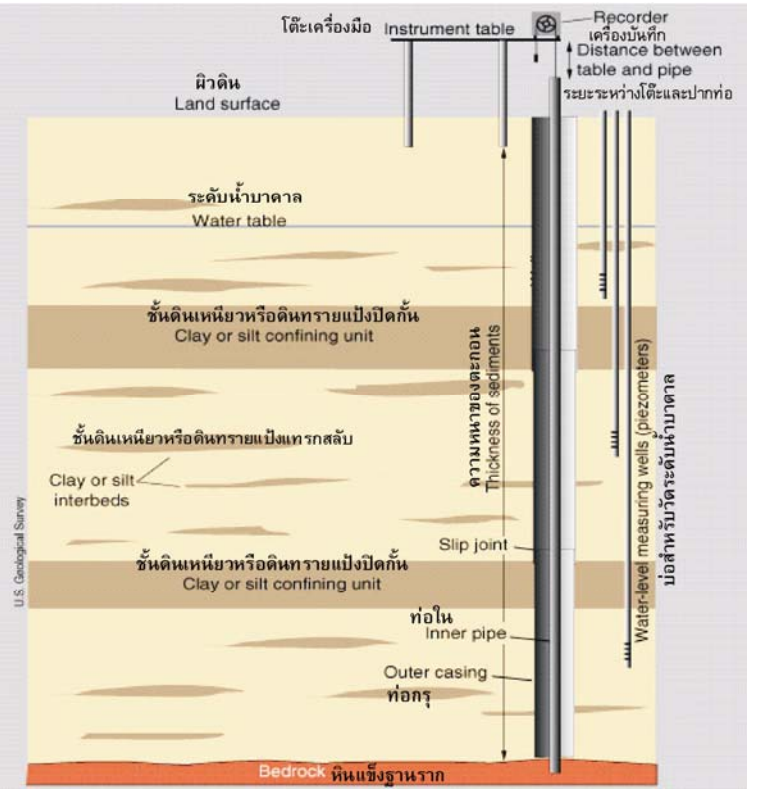
(4) เกิดความเสียหายต่อท่อกันพังบ่อบาดาล เนื่องจากแรงดันการทรุดตัวของชั้นดินละเอียดในระบบชั้นน้ำ ตามบริเวณชายฝั่งบางแห่ง แผ่นดินทรุดทำให้เกิดน้ำทะเลรุกล้ำเข้าท่วมพื้นที่ราบต่ำ ซึ่งแต่เดิมเคยอยู่สูงกว่าระดับน้ำขึ้นน้ำลง ตัวอย่างความเสียหายดังกล่าวมีแสดงในรูปที่ 4 และ รูปที่ 5 ในประเทศไทย การเกิดแผ่นดินทรุดในกรุงเทพฯ ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมหลายประการ เนื่องจากกรุงเทพฯอยู่ในพื้นที่ราบต่ำและอยู่ใกล้ทะเล รองรับด้วยชั้นดินเหนียวที่หนา การเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วมและทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นอกจากนี้การเกิดแผ่นดินทรุดยังทำให้แนวชายฝั่งทะเลเกิดการเปลี่ยนแปลงร่นถอย เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศของป่าชายเลน (Phienwej et al., 2006) การรุกล้ำของน้ำเค็มเข้าไปในชั้นน้ำบาดาลตามแนวชายฝั่งเป็นอีกผลกระทบหนึ่งที่เป็นปัญหา (DMR, 2000)

11. การติดตามเฝ้าระวังการเกิดแผ่นดินทรุด

การติดตามตรวจสอบการเกิดแผ่นดินทรุดสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่พื้นฐานที่สุดคือใช้วิธีการสำรวจรังวัดซ้ำๆ (repeated survey) ด้วยวิธีการสำรวจงานระดับมาตรฐาน หรือวิธี สำรวจงานระดับ GPS วิธีอื่น อาจใช้วิธีวัดการทรุดตัวด้วยเครื่องบันทึก หรือวิธี ติดตั้งเครื่องวัดการทรุดแนวดิ่ง (vertical extensometers) ดังแสดงในรูปที่ 6 เครื่องวัดการทรุดตัวแนวดิ่งจะใช้ท่อหรือลวดสลิงติดตั้งภายในท่อกรุบ่อ

รูปที่ 4 ความเสียหายของอาคารที่เกิดจากการทรุดตัวของแผ่นดิน (Phien-wej et al., 2006)

รูปที่ 5 การทรุดตัวของอาคาร เนื่องจากการทรุดตัวของชั้นดินกรุงเทพฯ
บริเวณสถาบันเอไอที กรุงเทพฯ (Phien-wej et al., 1998)



รูปที่ 6 การติดตั้งเครื่องบันทึกการทรุดตัวของชั้นดิน เพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความหนา (ดัดแปลงจาก Leake, 2004)

ท่อที่ติดตั้งในท่อกรุบ่อ ปลายล่างยึดในชั้นดินที่เกิดการทรุดตัว บนผิวดินตรงปากบ่อมีโต๊ะที่ติดตั้งเครื่องตรวจวัดการทรุดตัวโดยการติดตามวัดระยะระหว่างปลายท่อบนกับระดับโต๊ะ ในช่วงเวลาต่างๆ ระยะที่เปลี่ยนแปลงไป คือการทรุดตัวของชั้นดิน หิน ชั้นที่ทำการตรวจวัดนั้น วิธีการตรวจวัดการทรุดตัวของผิวดินอีกวิธีหนึ่งซึ่งกำลังทำการทดสอบความแม่นยำอยู่ ก็คือวิธีใช้ภาพถ่ายดาวเทียม interferometric synthetic aperture radar (InSAR) วิธีการนี้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่ถ่ายภาพพื้นที่เดียวกันในเวลาที่ต่างกัน นำภาพถ่ายที่ถ่ายแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบกันแล้วสร้างภาพ interferograms และรังวัดความเปลี่ยนแปลง ของผิวดินได้ความละเอียดถึง 1 นิ้วหรือละเอียดกว่า

12. การหนุนแทรกของน้ำเค็ม

น้ำเค็ม (saline water) จัดได้ว่าเป็นสารปนเปื้อนที่พบง่ายและพบทั่วไปในน้ำบาดาล การหนุนแทรกในน้ำเค็มเกิดขึ้นเมื่อน้ำเค็มเข้ามาผสมหรือแทนที่น้ำจืดในชั้นน้ำบาดาล ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ทั้งในชั้นน้ำบาดาลที่อยู่ในระดับลึกเนื่องจากการหนุนแทรกขึ้นมาของน้ำเค็มที่เกิดอยู่ก่อนแล้วตามกระบวนการทางธรณีหรือมาจากน้ำเค็มที่ไหลชะล้างชั้นเกลือหินที่วางตัวอยู่ได้ล่างในชั้นหินอุ้มน้ำในระดับตื้น การปนเปื้อนอาจจะมาจากน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ในชั้นหินอุ้มน้ำบริเวณชายฝั่งทะเล (coastal aquifer) ซึ่งมีความต่อเนื่องทางชลศาสตร์ (hydraulic continuity) ระหว่างน้ำบาดาล

และน้ำทะเลก็อาจจะมีน้ำทะเลหนุนแทรกเข้ามาโดยตรง

น้ำเค็มในชั้นน้ำน้ำบาดาลอาจมีสาเหตุมาจาก

- การหนุนแทรกเข้ามาโดยตรงของน้ำทะเลบริเวณชายฝั่ง
- น้ำทะเลที่รุกเข้ามาในชายฝั่งในช่วงเวลาทางธรณีตามอดีตกาลและถูกกักเก็บเอาไว้ในชั้นหิน
- เกลือจากชั้นหินเกลือ โดมเกลือ (salt dome) หรือผลึกของเกลือที่แทรกอยู่ในหิน
- น้ำซึ่งมีความเข้มข้นของเกลือมากขึ้นเนื่องจากกระบวนการระเหยของน้ำในแอ่งปิดบนบก (playa) ทะเลสาบ (lagoon) เป็นต้น
- น้ำส่วนเกินจากการชลประทานและไหลกลับลงสู่ชั้นน้ำบาดาล
- น้ำเสียที่เกิดจากมนุษย์

การหนุนแทรกของน้ำเค็มในชั้นหินอุ้มน้ำบริเวณชายฝั่งทะเล เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยน้ำบาดาลจะมีทิศทางการไหลลงสู่ทะเล และเนื่องมาจากน้ำทะเลมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำบาดาลซึ่งเป็นน้ำจืด จะทำให้น้ำบาดาลวางตัวอยู่บนน้ำทะเลและคอยกดทับผลักดันให้น้ำทะเลถอยออกไป แต่ถ้าบริเวณดังกล่าวมีการขุดเจาะ และนำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เป็นจำนวนมาก ทำให้ปริมาณน้ำจืดที่คอยจะกดทับหรือผลักดันให้น้ำทะเลถอยออกไปลดลงแล้ว น้ำทะเลก็จะสามารถหนุนเนื่องเข้ามาแทนที่น้ำจืดในบริเวณนั้นได้ เนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำทะเลและน้ำจืด จะทำให้เกิดรอยต่อ (interface) ระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มขึ้นในตำแหน่งที่น้ำทั้งสองชนิดพบกัน รูปร่างและการเคลื่อนที่ของรอยต่อนี้ จะขึ้นอยู่กับความสมดุลทางชลศาสตร์ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งนั้นๆ (รูปที่ 7)

12.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มตามกฎของ Ghyben-Herzberg

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มตามกฎของ Ghyben-Herzberg เป็นเวลามากกว่า 50 ปีแล้วที่นักวิทยาศาสตร์ทั้งสองคนนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มบริเวณชายฝั่งในยุโรป โดยการศึกษาทั้งสองเป็นอิสระซึ่งกันและกัน แต่ได้ค้นพบตรงกันว่า ตามบริเวณชายฝั่งทะเลแล้ว จะพบน้ำเค็มวางตัวอยู่ลึกจากใต้ผิวดินลงไป แต่ไม่ใช่พบที่ระดับน้ำทะเล โดยจะพบที่ความลึกประมาณ 40 เท่าของแท่งความสูงของน้ำจืดเมื่อวัดจากระดับน้ำทะเล ซึ่งเป็นสภาวะสมดุลทางชลศาสตร์ของน้ำจืดและน้ำเค็มที่มีความหนาแน่นที่ต่างกัน สมการที่ใช้อธิบายสมดุลดังกล่าว เรียกว่า Ghyben-Herzberg relation ถ้าพิจารณาสมดุลของแรงดันน้ำในท่อรูปตัวยูดังแสดงในรูปที่ 8 ความดันในท่อทั้งสองด้านจะต้องเท่ากันเมื่อสมดุลจะได้

$$\rho_s g h_s = \rho_f g (z + h_f) \qquad (10)$$

โดยมี ρ_s คือ ความหนาแน่นของน้ำเค็ม

ρ_f คือ ความหนาแน่นของน้ำจืด

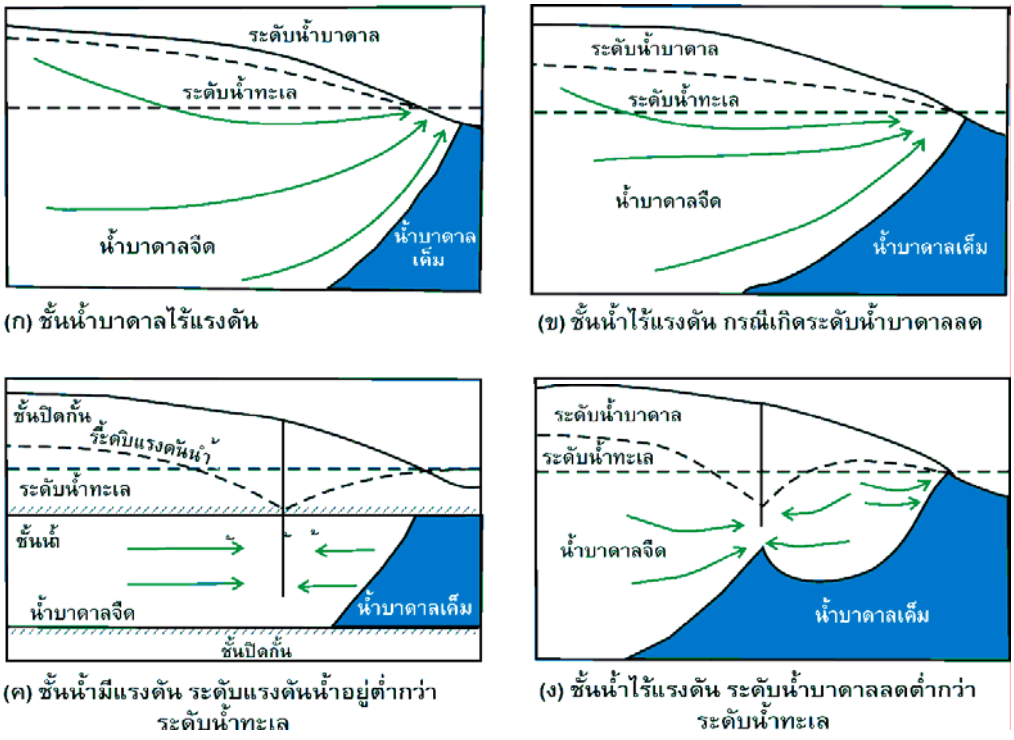
g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก

z, h_f ดังแสดงในรูป 5

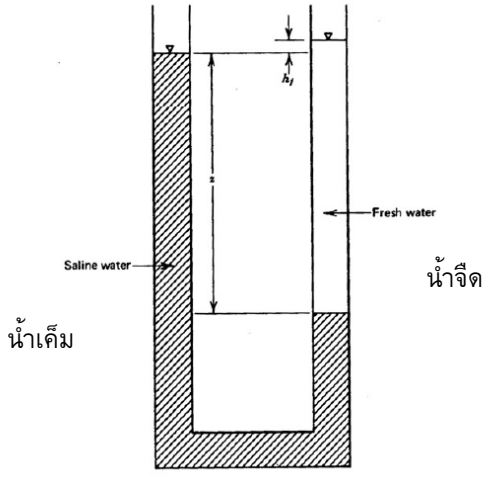
ซึ่งสมการ (10) เรียกว่า Ghyben-Herzberg relation สำหรับน้ำทะเลทั่วไป ให้ค่า ρ_s =1.025 ก./ลบ.ซม. และสำหรับน้ำจืด ρ_f =1.000 ก./ลบ.ซม. สมการ (10) จะได้เท่ากับ

$$z = 40 h_f \qquad (11)$$

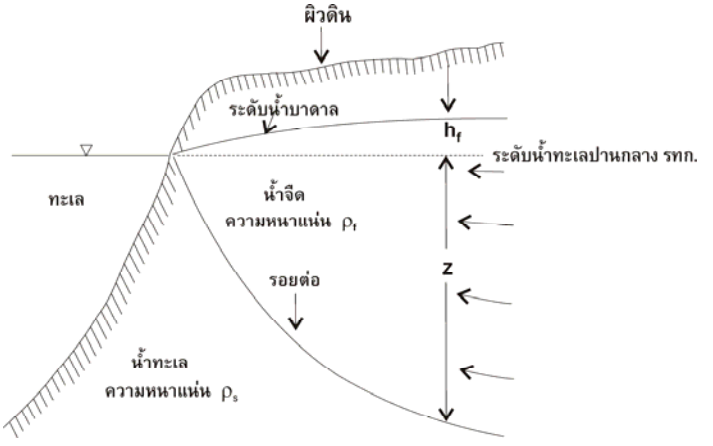
เมื่อแปลงสมดุลของท่อรูปดังกล่าวให้อยู่ในสภาพชั้นหินอุ้มน้ำบริเวณชายฝั่งตามรูปที่ 7 ค่า h_f คือ ค่าความสูงของน้ำบาดาลที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเล และค่า z จะคือ ค่าความลึกไปถึงรอยต่อของน้ำเค็ม



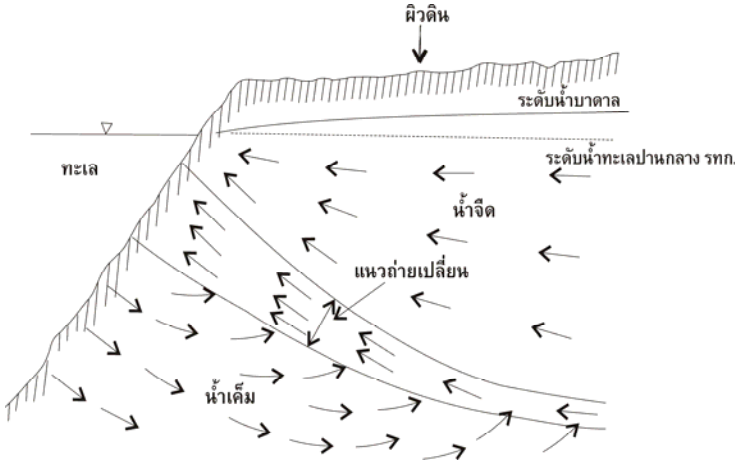
รูปที่ 7 การหนุนแทรกของน้ำทะเลในชั้นหินอุ้มน้ำในบริเวณชายฝั่งทะเล (ดัดแปลงจาก Fetter, 2001)



รูปที่ 8 สมดุลของแรงดันน้ำระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืด (ดัดแปลงจาก Todd, 1980)



รูปที่ 9 การหนุนแทรกของน้ำทะเล อธิบายโดย Ghyben-Herzberg relation (ดัดแปลงจาก Todd, 1980)



รูปที่ 10 รูปแบบการไหลของน้ำ เมื่อเกิดการหนุนแทรกของน้ำทะเล (ดัดแปลงจาก Todd, 1980)

และน้ำจืดใต้ระดับน้ำทะเลลงไป ทั้งนี้ Ghyben-Herzberg relation ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า (1) ระดับน้ำบาดาลสูงกว่าระดับน้ำทะเลและ (2) ระดับน้ำบาดาลเอียงลงสู่ทะเล ซึ่งถ้าไม่มีสองกรณีดังกล่าว น้ำทะเลก็จะไหลเข้าหาฝั่งโดยตรง ในความเป็นจริงและสภาพจริงแล้วรอยต่อ (interface) ระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืดไม่ได้เป็นเส้นตรงชัดเจนเหมือนกับที่แสดงในรูปแต่จะมีลักษณะเป็นบริเวณหรือแถบที่คอยแปรเปลี่ยนจากน้ำเค็มไปสู่น้ำกร่อย (brackish water) และน้ำจืดเรียกว่า บริเวณแปรเปลี่ยน (transition zone) (รูปที่ 8) ซึ่งเป็นบริเวณที่น้ำเค็มและน้ำจืดผสมกันอยู่ และมีทิศทางของการไหลของน้ำขึ้นข้างบน

12.2 การหนุนขึ้นของน้ำเค็ม

ในกรณีที่ชั้นหินอุ้มน้ำมีน้ำเค็ม (up-coning of saline water) วางตัวอยู่ด้านล่างและมีการสูบน้ำออกจากบ่อบาดาลที่เจาะลงไปถึงเฉพาะส่วนบนของชั้นน้ำบาดาลที่เป็นส่วนของน้ำจืดจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การหนุนขึ้นของน้ำเค็ม (รูปที่ 11) ในกรณีนี้เริ่มต้นรอยต่อระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืดจะอยู่ในแนวระนาบ เมื่อเริ่มสูบน้ำออกจากบ่อ ระดับของรอยต่อจะสูงขึ้นและสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อสูบน้ำต่อเนื่องถ้ารอยต่อขึ้นมาถึงบ่อบาดาล ก็จะทำให้น้ำที่สูบได้กลายเป็นน้ำกร่อยและน้ำเค็มในที่สุด ทำให้จำเป็นต้องปิด เลิกใช้บ่อไปในที่สุด ถ้าหยุดการสูบน้ำ น้ำเค็มซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าก็จะทอดตัวลงต่ำลง และวางตัวอยู่ล่างน้ำจืดเหมือนเมื่อตอนเริ่มต้น

ระดับความสูง (z) ของการหนุนขึ้นของน้ำเค็ม สามารถหาได้จาก

$$z = \frac{Q}{2\pi dK(\Delta\rho/\rho_f)} \qquad (12)$$

โดยมี $\Delta\rho = \rho_s - \rho_f$

K คือ สัมประสิทธิ์การซึม

Q คือ อัตราการสูบน้ำ

z, d ดังแสดงในรูป 11

จากสมการ (12) แสดงว่า การหนุนขึ้นของน้ำเค็มจะแปรเปลี่ยนโดยตรงกับปริมาณน้ำที่สูบขึ้นจากบ่อ (Q) สำหรับปริมาณการสูบน้ำสูงสุด (Q_{max}) ที่จะป้องกันไม่ให้น้ำเค็มขึ้นมาจนถึงระดับของบ่อบาดาล สามารถหาได้จากสมการ

$$Q_{max} \le \pi d^2 K(\Delta\rho/\rho_f) \qquad (13)$$

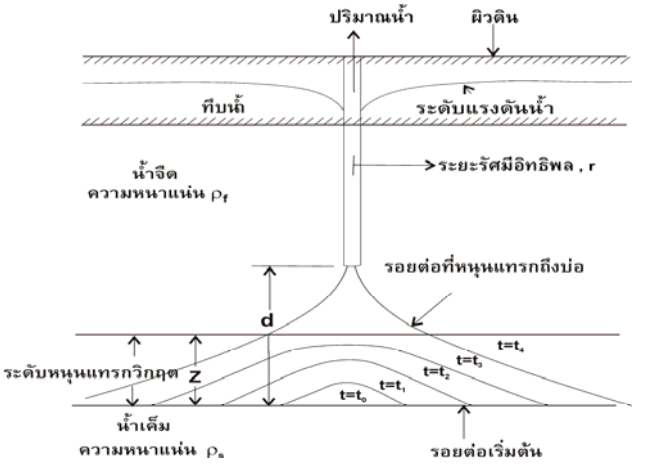
ในทำนองเดียวกันรอยต่อระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืดในกรณีการหนุนขึ้นนี้ไม่ได้เป็นเส้นตรงชัดเจนแต่จะเป็นแถบหรือบริเวณแปรเปลี่ยน (transition zone) เช่นเดียวกัน กล่าวคือ จากน้ำเค็มเป็นน้ำกร่อยและน้ำจืด เช่นเดียวกับกรณีของการหนุนแทรกของน้ำทะเลตามแนวชายฝั่ง

เกาะในทะเลที่ล้อมรอบด้วยน้ำทะเล ส่วนใหญ่จะมีน้ำจืดวางตัวอยู่บนน้ำเค็ม (รูปที่ 12) ในสภาพดังกล่าว น้ำจืดหรือน้ำบาดาลจะได้จากน้ำฝนที่ซึมผ่านลงไปเท่านั้น ดังนั้น ปริมาณปริมาณน้ำจืดจึงค่อนข้างจำกัด น้ำจืดจะไหลจากบริเวณกลางเกาะออกไปทุกทิศทางเพื่อไหลลงสู่ทะเลในที่สุด ดังนั้นความหนาของน้ำจืดจะลดลงเมื่อห่างจากจุดศูนย์กลางของเกาะดังกล่าว การสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในปริมาณมากเกินไป ก็จะทำให้เกิดการหนุนขึ้นของน้ำเค็มเช่นเดียวกัน การออกแบบโดยให้มีการเจาะบ่อขนาดเล็กและตื้นหลายๆ บ่อ จะให้ผลที่ดีกว่าการเจาะบ่อขนาดใหญ่และลึก เพื่อให้ได้น้ำในปริมาณเดียวกัน บ่อเล็กและตื้นจะทำให้การลดของระดับน้ำบาดาลหรือกรวยน้ำลดกระจายตัวออกไป ในขณะที่บ่อใหญ่และลึกจะทำให้ระดับน้ำบาดาลรอบๆ บ่อลดลงมากและเหนี่ยวนำให้เกิดการหนุนขึ้นของน้ำเค็มได้ง่ายกว่า ในบริเวณที่น้ำบาดาลอยู่ตื้นใกล้ผิวดิน การขุดเป็นร่องให้

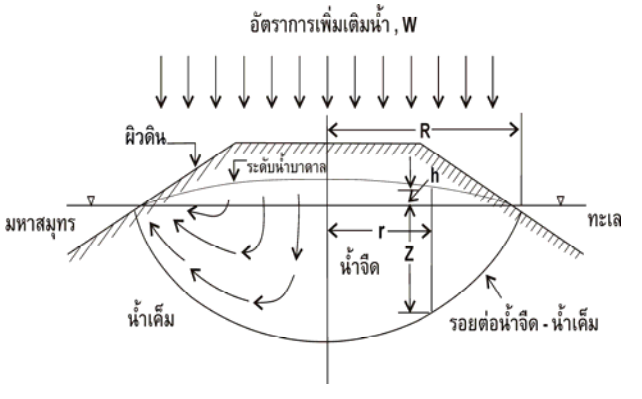
ลึกกว่าระดับน้ำบาดาลเพียงเล็กน้อยก็จะได้น้ำบาดาลที่ไหลซึมลงมาในร่องน้ำที่ขุด (infiltration gallery) ซึ่งสามารถรวบรวมได้น้ำเป็นปริมาณมากเพียงพอต่อการใช้สอย และไม่ก่อให้เกิดปัญหาการหนุนขึ้นของน้ำเค็มได้โดยง่าย

12.3 การควบคุมการหนุนแทรกของน้ำเค็ม

วิธีการควบคุมการหนุนแทรกของน้ำเค็ม (control of saline water intrusion) จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำเค็ม ขนาดและการแพร่กระจายของการหนุนแทรก สภาพธรณีวิทยา ประเภทของการใช้น้ำและปัจจัยทางเศรษฐกิจ ตารางที่ 2 แสดงวิธีควบคุมการหนุนแทรกของน้ำเค็มอันเนื่องมาจากแหล่งหรือสาเหตุต่าง ๆ เนื่องจากน้ำเค็มเพียง 2 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำจืดจะส่งผลให้น้ำจืดไม่สามารถใช้บริโภคได้ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องระมัดระวังและหาทางป้องกันการหนุนแทรกของน้ำเค็ม



รูปที่ 11 การหนุนขึ้นของน้ำเค็มเนื่องมาจากการสูบน้ำ (ดัดแปลงจาก Todd, 1980)



รูปที่ 12 การวางตัวของน้ำจืดบนน้ำเค็มในเกาะที่ล้อมรอบด้วยน้ำทะเล (ดัดแปลงจาก Todd, 1980)

ตารางที่ 2 วิธีการควบคุมการหนุนแทรกของน้ำเค็ม

แหล่งหรือสาเหตุของการหนุนแทรก	วิธีการควบคุม
น้ำทะเลในชั้นน้ำตามชายฝั่ง	การดัดแปลงรูปแบบการสูบน้ำ การเติมน้ำลงชั้นน้ำ การสร้างแนวกั้นน้ำโดยการสูบน้ำออก การสร้างแนวกั้นน้ำโดยการอัดฉีดน้ำลงไป การสร้างแนวกั้นน้ำใต้ผิวดิน
การหนุนแทรกเป็นกรวยจากด้านล่าง	การดัดแปลงรูปแบบการสูบน้ำ บ่อสูบดักน้ำเค็ม
น้ำเค็มจากบ่อน้ำมัน	การห้ามการกำจัดของเสียบนผิวดิน บ่ออัดฉีด การอุดกลบบ่อร้าง
ท่อกรุบ่อชำรุด	การอุดกลบบ่อที่สร้างไม่ได้มาตรฐาน
การแทรกซึมจากผิวดิน	การกำจัดแหล่งปนเปื้อน
เขตน้ำเค็มในชั้นน้ำจืด	การย้ายตำแหน่งบ่อและการออกแบบบ่อใหม่

(ดัดแปลงจาก Todd, 1980)

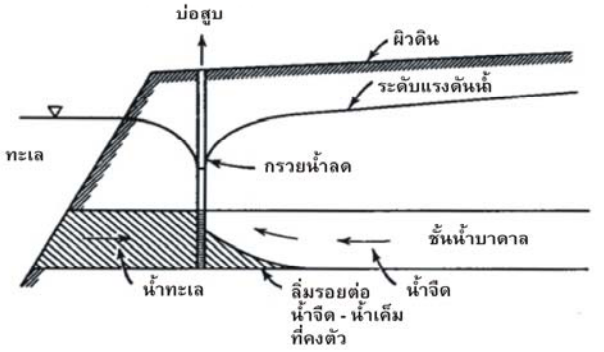
การปรับเปลี่ยนรูปแบบการสูบน้ำ (modification of pumping pattern) โดยการขยับตำแหน่งของบ่อบาดาลให้เข้ามาสู่แผ่นดินให้มากขึ้น ซึ่งอาจจะช่วยให้มีการปรับความลาดชันของลาดชลศาสตร์ลงสู่ทะเลมากขึ้น ทำให้มีน้ำบาดาลไหลไปผลักดันน้ำเค็มมากขึ้น การลดปริมาณการสูบน้ำบาดาลก็จะมีน้ำจืดไปผลักน้ำทะเลออกไปมากขึ้น

การเพิ่มเติมน้ำ (artificial recharge) เพื่อยกระดับน้ำบาดาลให้สูงขึ้นเหนือระดับน้ำทะเล โดยอาจจะเป็นรูปแบบของแอ่งกระจายน้ำ ในกรณีของชั้นหินอุ้มน้ำไม่มีแรงดันหรือการเติมน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาลในกรณีชั้นหินอุ้มน้ำแบบมีแรงดัน

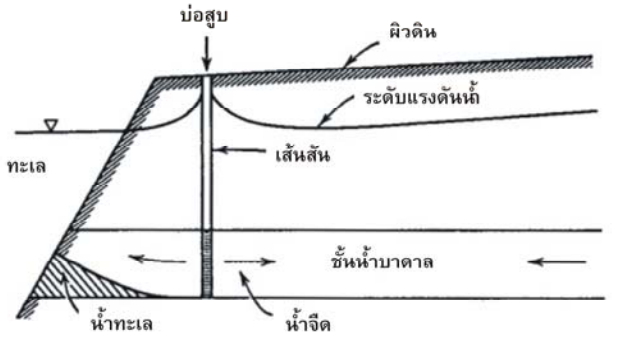
ผนังกั้นโดยการสูบน้ำ (extraction barrier) โดยการสูบน้ำออกจากบ่อที่วางเป็นแนวตามชายฝั่งเพื่อให้เกิดร่องการสูบตลอดแนว (รูปที่ 13) น้ำเค็มที่หนุนแทรกเข้ามาจะถูกควบคุมให้อยู่กับที่ ไม่รุกล้ำหนุนแทรกเข้าไปเพิ่มเติม น้ำที่สูบขึ้นมาจากบ่อจะเป็นน้ำกร่อย ซึ่งอาจจะไม่สามารถนำมาบริโภคได้ จะมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง

ผนังกั้นโดยการอัดน้ำ (injection barrier) โดยการอัดน้ำจืดลงไปเพื่อให้ไปผลักดันน้ำเค็มออกไปโดยกระทำเป็นแนวตามชายฝั่ง (รูปที่ 14) จะมีค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำจืดที่จะนำมาอัดลงไป

ผนังกั้นน้ำใต้ผิวดิน (subsurface barrier) โดยการสร้างผนังกั้นน้ำด้วยวัสดุที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ตลอดแนวชายฝั่ง (รูปที่ 15) จะป้องกันไม่ให้น้ำทะเลหนุนแทรกเข้ามาได้ วัสดุที่ใช้อาจเป็นแอสฟัลต์ พลาสติก ซิลิกาเจล เป็นต้น ปัญหาสำคัญคือ ค่าก่อสร้างและความแข็งแรงของผนังต่อการกัดกร่อนทางเคมีหรือกรณีเกิดแผ่นดินไหว

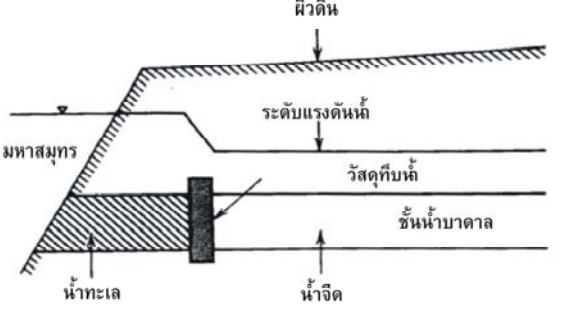


รูปที่ 13 การควบคุมการหนุนแทรกของน้ำทะเล
โดยวิธีผนังกั้นโดยการสูบน้ำ (ดัดแปลงจาก Todd, 1980)



รูปที่ 14 การควบคุมการหนุนแทรกของน้ำทะเลโดยวิธีผนังกั้นการอัดน้ำ (injection barrier)

(ดัดแปลงจาก Todd, 1980)



รูปที่ 15 การควบคุมการหนุนแทรกของน้ำทะเลโดยวิธีสร้างผนังกั้นน้ำใต้ผิวดิน (ดัดแปลงจาก Todd, 1980)

13. เอกสารอ้างอิง

Domenico, A., and Schwartz, F.W., 1998. Physical and Chemical Hydrology, 2 nd ed., Wiley, New York.

Environment Australia, 2001. Environmental Water Requirements of Groundwater-Dependent Ecosystem, Sinclair Knight Merz Pty Ltd, Technicl Report2 http:// www.deh. gov.au/water/rivers/nrhpgroundwater/chapter 2.html.

Foster, S., Koundouri, P., Tuinhof, A., Kemper, K., Nani, M., and Garduno, H., 2006. Groundwater Dependent Ecosystems: The Challenge of Balanced Assessment and Adequate Conservation, GW-MATE Briefing Note15, Global Water Partnership Associate Program, The World Bank, Washington D.C. 8 p.

Galloway, D.L., Hudnut, K.W., Ingebritsen, S.E., Phillips, S.P., Peltzer, G., Rogez, F., and Rosen, P.A., 1998. InSAR Detection of Aquifer System Compaction and Land Subsidence, Antelope Valley, Mojave Desert, California, Water Resources Research, vol. 34, pp. 2573 – 2585.

Galloway, D.L., Jones, D.R., and Ingebritsen, S.E., 2000. Measuring Land Subsidence from Space, U.S. Geological Survey Fact Sheet 051-00, 4p.

Gudgeon, D.I., Warner, M.F., and Stowell, J., 1988. Prediction of Settlement Due to Dewatering for Deep Excavation, In: Bell, F.G., Culshaw, M.G., Cripps, J.C., and Lovell, M.A., (editors), Engineering Geology of Underground Movements, Geological Society of London, pp. 377-386.

Ikehara, M.E., 1994. Global Positioning System Surveying to Monitor Land Subsidence in Scramento Valley, California, U.S.A., Hydrological Science, vol. 39, No. 5, pp. 417 – 429.

Jacob, C.E., 1939. Fluctuations in Artesian Pressure Produced by Passing Railroad Trains as Shown in a Well on Long Island, New York, Transaction of American Geophysical Union, vol. 20, pp. 666 - 674.

Leake, S.A., 2004. Land Subsidence from Ground-water Pumping, USGS, Human Impacts on the Landscape, http://geo change.er.usgs.gov/ sw/changes/anthropogenic/subside/

Massonnet, D., Holzer, T., and Vadon, H., 1997. Land Subsidence Caused by the Etna Mesa Geothermal Field, California, Observed Using SAR Interferometry, Geophysical Research Letters, vol. 24, pp. 901 - 904.

Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K., and Rabaute, T., 1993. The Displacement Field of the Landers Earthquake Mapped by Radar Interferometry, Nature, vol. 364, pp. 138 – 142.

Phien-wej, N., Giao, P.H., and Nutalaya, P., 2006. Land Subsidence in Bangkok, Thailand, Engineering Geology, vol.82, pp. 187 - 201.

Poland, J.F., 1984. Guidebook to Studies of Land Subsidence Due to Groundwater Withdrawal, vol., 40 of UNESCO Studies and Reports in Hydrology, Paris, France, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 305 p., 5 Appendixes.

Riley, F.S., 1969. Analysis of Borehole Extensometer Data from Central California, In: Tison, L.J., Land Subsidence, International Association of Hydrological Sciences Publication 89, vol. 2, pp. 423 – 431.

Sneed, M, Ikehara, M.E., Stork, S.W., Amelung, F., and Galloway, D.L., 2003. Detection and Measurement of Land Subsidence Using Interferometric Synthetic Aperture Radar and Global Positioning System, San Bernardino County, Mojave Desert, Califor-nia, Water Resources Investigation Report 03-4015, USGS, Sacramento, California, 69 p.

Sun, H., Grandstaff, D., and Shagam, R., 1999. Land Subsidence Due to Groundwater Withdrawal: Potential Damage of Subsidence and Sea Level Rise in Southern New Jersey, U.S.A., Environmental Geology, vol. 37, No. 4 , pp. 289-296.

Todd, D.K.,1980. Groundwater Hydrology, 2nd end. John Wiley, New York.

Yong, R.N., Nutalaya, P., Mohamed, A.M.O., Xu, D.M., 1991. Land Subsidence and Flooding in Bangkok, Proceedings of the Fourth International Symposium on Land Subsidence, Houston, U.S.A., pp. 407-416.

Yong, R.N., Maathuis, H., Turcott, E., 1995. Groundwater Abstraction Induced Land Subsidence Prediction: Bangkok and Jakarta Case Studies, Proceedings of the Fifth International Symposium on Land Subsidence, FISOLS-95, The Hague, Netherlands.

Zilkoski,D.B., D'Onofrio, J.D., and Frakes, S.J., 1997. Guidelines for Establishing GPS-derived Ellipsoid Heights (Standards: 2 cm. and 5 cm.), Version 4.3, Silver Spring, MD., National Geodetic Survey, 10 p., 3 Appendixes.

คู่มือ ทบ อ 4001-2550
การเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาล

คู่มือ ทบ อ 4001-2550 เป็นคู่มือการปฏิบัติงานด้านการเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาล (อ) ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง “2550” หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้ใส่วงเล็บต่อท้ายและระบุ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย [ก] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย [ป] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

การเพิ่มเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาลเป็นเทคโนโลยีในการบริหารจัดการน้ำบาดาล โดยการเก็บกักน้ำส่วนเกินในชั้นใต้ดินและนำมาใช้ประโยชน์เมื่อเกิดการขาดแคลนน้ำ การเพิ่มเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาลและเพิ่มระดับน้ำบาดาลมีหลายวิธี เช่น การกักเก็บน้ำท่าไว้ในแอ่งกักเก็บ การระบายน้ำจากแม่น้ำลำธารและควบคุมระดับน้ำผิวดินให้ซึมผ่านดินลงสู่ชั้นน้ำบาดาล การสูบน้ำขึ้นมาใช้บริเวณฝั่งแม่น้ำและปล่อยให้น้ำในลำน้ำไหลซึมเข้าสู่ชั้นน้ำ การระบายน้ำลงสู่ชั้นน้ำโดยวิธีการใดๆ คุณภาพของน้ำที่จะทำการสูบอัดกลับจะต้องได้มีการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ จะต้องได้มาตรฐานที่กำหนดไว้

2. ขอบเขต

คู่มือเล่มนี้อธิบายหลักการและขั้นตอนที่จำเป็นในการวางแผน ออกแบบ บำรุงรักษา ดำเนินการ และการปิดโครงการการเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาล รวมทั้งมุมมองของการเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาลในเชิงเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และ กฎหมาย

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

- คู่มือ ทบ ส 4000-2550 การจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยา
- คู่มือ ทบ ป 1000-2550 การประเมินแหล่งน้ำต้นทุนของแอ่งน้ำบาดาล
- คู่มือ ทบ ป 2000-2550 การประเมินศักยภาพน้ำบาดาลของแอ่งน้ำบาดาล และการจัดทำแผนการใช้น้ำบาดาล
- คู่มือ ทบ ป 3000-2550 การจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์ และการประยุกต์ใช้
- คู่มือ ทบ พ 3000-2550 การออกแบบและก่อสร้างบ่อน้ำบาดาล
- คู่มือ ทบ พ 9000-2550 การบำรุงรักษาบ่อน้ำบาดาล
- คู่มือ ทบ อ 4002-2550 การสร้างระบบกักเก็บน้ำใต้ดินด้วยเขื่อนใต้ดิน
- มาตรฐาน ทบ ส 4000-2550 การจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยา
- มาตรฐาน ทบ พ 3000-2550 การออกแบบและก่อสร้างบ่อน้ำบาดาล
- มาตรฐาน ทบ อ 6000-2550 การอุดกลบบ่อน้ำบาดาล

3.2 American Society of Civil Engineers (ASCE), 2001. Standard Guidelines for Artificial Recharge of Ground Water, ASCE Standard EWRI/ASCE 34-01. Reston, VA.

3.3 Ministry of Water Resources, 2000. Guide on Artificial Recharge. New Delhi, India. New Delhi, India, Central Groundwater Board.

3.4 American Water Works Association (AWWA), 2003. AWWA M21 Groundwater.

3.5 Dillon, P. and Molloy, R., 2006. Developing Aquifer Storage and Recovery (ASR) Opportunities in Melbourne, Technical Guidance for ASR, CSIRO Land and Water Science Report 4/06.

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 การเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาล (recharge) เป็นการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำ โดยกระบวนการซึมผ่านผิวดินจากฝน ลำน้ำ อ่างน้ำหรือบ่อน้ำ และแหล่งน้ำดิบอื่นๆ หรือโดยการนำน้ำเติมลงในชั้นน้ำโดยตรง โดยผ่านบ่อน้ำบาดาลหรืออื่นๆ แบ่งเป็นการเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาลโดยธรรมชาติ (natural recharge) และการเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาลโดยมนุษย์ (artificial recharge)

4.2 การเหนี่ยวนำการเติมน้ำ (recharge induction) คือ การสูบน้ำหรือการนำน้ำบาดาลออกจากชั้นน้ำโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง ในพื้นที่บริเวณใกล้ๆ ลำน้ำทำให้ระดับหรือความดันของน้ำบาดาลในชั้นน้ำลดลง ส่งผลให้เพิ่มการไหลซึมผ่านจากลำน้ำนั้นๆ สู่ชั้นน้ำ

4.3 การซึมผ่านผิวดิน (infiltration) คือ ระบบซึ่งทำการกระจายและกักน้ำไว้เพื่อส่งเสริมให้เกิดการซึมผ่านผิวดินและไหลผ่านชั้นดินลงสู่ชั้นน้ำ

4.4 การฝากน้ำและสูบกลับ (Aquifer Storage and Recovery, ASR) เป็นระบบการฝากน้ำลงสู่ชั้นน้ำโดยผ่านบ่อน้ำบาดาลที่ทำหน้าที่เป็นทั้งบ่อฝากน้ำและบ่อสูบกลับในตัวเอง

4.5 การบำบัดน้ำโดยการซึมผ่านชั้นดิน (Soil Aquifer Treatment, SAT) เป็นระบบเติมน้ำที่สามารถเปลี่ยนแปลงหรือกำจัดสารปนเปื้อนออกจากน้ำที่ถูกเติมเข้าไปผ่านชั้นดินนั้นๆ

5. ความสำคัญและหลักการ

5.1 ความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบันส่งสัญญาณให้องค์กรที่เกี่ยวข้องต่างๆ ให้ความสนใจกับการวางแผนจัดการน้ำในแบบต่างๆ เช่นการจัดการน้ำหรือใช้น้ำใต้ดินร่วมกับน้ำผิวดิน การเก็บกักน้ำในเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำมีข้อจำกัดหลายด้านโดยเฉพาะการทำลายสิ่งแวดล้อม การเก็บกักน้ำในชั้นใต้ดินโดยการเติมน้ำจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและเป็นการแก้ปัญหาที่ไม่ส่งผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมมากนัก เนื่องจากสามารถใช้ชั้นน้ำเป็นที่เก็บ ส่งผ่าน และกระจายน้ำที่ถูกเติมไปโดยไม่ต้องก่อสร้างโครงสร้างที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบนพื้นดินมากนัก

5.2 การเติมน้ำสู่ใต้ดินสามารถลดความอ่อนไหวของการผันแปรปริมาณน้ำฝนต่อการเติมน้ำลงสู่แหล่งน้ำบาดาลตามธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีปริมาณฝนตกน้อย ในพื้นที่เหล่านี้ การลดลงของปริมาณฝนเพียงเล็กน้อย สามารถส่งผลให้ปริมาณเติมน้ำธรรมชาติสงสู่แหล่งน้ำบาดาลลดลงมาก

5.3 การเพิ่มเติมน้ำบาดาลลงสู่ชั้นน้ำบาดาลนั้นเป็นการจัดการการใช้น้ำบาดาลวิธีหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยการวางแผน การจัดทำโครงการ และการดำเนินการ ทั้งนี้การจัดการโครงการต่างๆ ต้องสามารถจำแนกวัตถุประสงค์ของงานแต่ละส่วนให้ชัดเจน

เพื่อให้การดำเนินการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดไม่สิ้นเปลืองงบประมาณและเวลาแบบสูญเปล่า

5.4 วัตถุประสงค์ของการเพิ่มเติมน้ำบาดาล คือ (1) เพื่อรักษาระดับหรือกักเก็บน้ำบาดาลอนุรักษ์แหล่งน้ำธรรมชาติ (2) เพื่อป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็มทั้งด้านข้างและแนวดิ่ง (3) เพื่อความสะดวกในการนำน้ำบาดาลมาใช้ และ (4) เพื่อลดปริมาณการสูญเสียน้ำผิวดินจากขบวนการระเหยจากแหล่งน้ำ

6. วิธีการเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาล

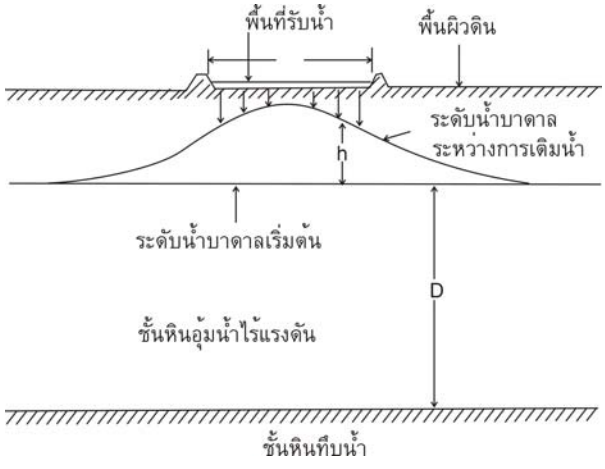
วิธีการเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาลสามารถจำแนกได้เป็น 3 วิธี คือ การปล่อยลงสู่ผิวดินโดยตรง วิธีเพิ่มน้ำโดยตรงใต้ผิวดิน และวิธีการผสมผสานระหว่างการอัดเสริมโดยตรงบนผิวดินและใต้ผิวดิน

6.1 การปล่อยลงสู่ผิวดินโดยตรง

การปล่อยน้ำผิวดินไหลเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำโดยการซึมผ่านชั้นทรายและดิน วิธีการนี้ได้ผลดี คือ พื้นที่ผิวที่น้ำนองผิวดิน และระยะเวลาที่น้ำสัมผัสกับผิวดิน วิธีการนี้สามารถนำมาปฏิบัติได้หลายวิธี เช่น การปล่อยให้น้ำท่วม ใช้คูหรือร่องน้ำ ใช้แอ่งน้ำ การปล่อยให้น้ำซึมจากท้องน้ำ การกักน้ำไว้ในลำน้ำ และน้ำส่วนที่เหลือจากระบบชลประทาน มีรายละเอียดดังนี้

6.1.1 วิธีปล่อยให้น้ำท่วม

วิธีการนี้เหมาะกับพื้นที่ที่มีความลาดเอียงไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์และเป็นพื้นที่กว้าง เพื่อที่จะปล่อยให้น้ำไหลนองได้เป็นบริเวณกว้าง กักน้ำในลักษณะแผ่นฟิล์มบางๆ และไหลตามพื้นที่ลาดเอียงแบบช้าๆ โดยไม่ทำให้ผิวดินถูกรบกวน น้ำจะถูกปล่อยให้ไหลท่วมผิวดินจากหลายๆ จุด พื้นที่อาจกั้นขอบเขตโดยการขุดร่องคูหรือกั้นทำนบดิน (รูปที่ 1) น้ำส่วนที่เกินความต้องการจะถูกควบคุมให้ไหลกลับสู่แม่น้ำลำธารในบริเวณที่เป็นที่ต่ำ จากการศึกษาหลายๆ พื้นที่ พบว่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำจะสูงในบริเวณที่ดินและพืชปกคลุมดินไม่ถูกทำลาย ปัญหาหลักของวิธีการปล่อยให้น้ำท่วม คือ ปัญหาในการกักขังน้ำให้อยู่ในพื้นที่ที่ต้องการ ส่วนปัญหาอื่นๆ ได้แก่ ต้องการพื้นที่ขนาดใหญ่ และการสูญเสียจากการระเหยของน้ำที่ปล่อยให้ท่วม สำหรับข้อดีของวิธีการนี้คือใช้เงินลงทุนน้อยและง่ายต่อการบำรุงรักษา



รูปที่ 1 การเพิ่มเติมน้ำแบบโดยตรงทางผิวโดยวิธีปล่อยให้น้ำท่วม

6.1.2 วิธีขุดคูหรือร่องน้ำ

วิธีขุดคูหรือร่องน้ำนั้นแม่น้ำลำธารที่เป็นแหล่งต้นน้ำจะจ่ายน้ำผ่านเข้าไปในร่องน้ำที่เตรียมไว้ โดยร่องน้ำนั้นจะต้องอยู่ใกล้ชิดกัน ตื้น และท้องน้ำแบนราบ ระบบเพิ่มเติมน้ำแบบนี้จะมีวิธีที่ทำกันอย่างแพร่หลายอยู่ 3 ระบบ คือ

(1) ระบบด้านข้าง

ในระบบนี้น้ำจากทางน้ำสายหลักจะถูกผันให้ไหลเวียนเข้าสู่ระบบโดยมีการขุดร่องน้ำให้เป็นแนวมุมฉาก สำหรับร่องน้ำที่เล็กลงมาก็จะตั้งฉากกับร่องน้ำใหญ่ชุดแรก (รูปที่ 2 ก) โดยควบคุมการไหลของน้ำโดยประตูน้ำ ความลึกของร่องน้ำจะขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ความเร็วของน้ำที่ไหลในแต่ละร่องมีผลโดยตรงต่ออัตราการซึมลงสู่ใต้ดิน น้ำที่ไหลเวียนออกทางปลายระบบจะเข้าสู่ร่องน้ำอีกร่องหนึ่ง และไหลรวมกันลงสู่ทางน้ำสายหลักบริเวณปลายทางน้ำ

(2) ระบบกิ่งก้านสาขา

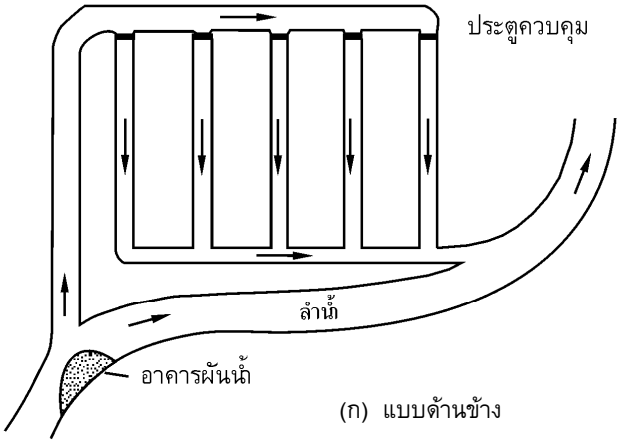
เป็นวิธีที่เบี่ยงเบนให้น้ำจากสายน้ำหลักเข้าสู่ทางน้ำสาขาที่เล็กกว่าอย่างต่อเนื่อง (รูปที่ 2 ข) มีประตูเปิด-ปิดลำน้ำในแต่ละร่องน้ำ การขยายกิ่งก้านสาขาของคูน้ำจะถูกทำขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงจุดที่มั่นใจว่าน้ำที่เบี่ยงเบนเข้าไปจะมีการซึมลงไปใต้ดินตามวัตถุประสงค์ ระบบนี้จะนำน้ำกลับเข้าสู่ทางน้ำหลักโดยมีร่องรวบรวมน้ำบริเวณปลายสาขาหรือไม่ขึ้นกับความต้องการของผู้ดำเนินการหรือความเหมาะสมของพื้นที่ปลายน้ำ

(3) ระบบชั้นความสูง

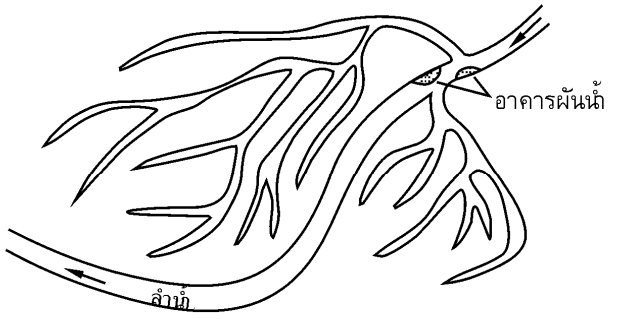
ระบบนี้จะปล่อยน้ำจากทางน้ำหลักเข้าสู่ร่องน้ำซึ่งจะไหลตามความลาดของระดับชั้นความสูงของพื้นที่ (รูปที่ 2 ค) การนำน้ำกลับเข้าสู่ทางน้ำหลักจะทำในบริเวณที่น้ำที่เบี่ยงเข้าไปในร่องน้ำเริ่มจะถึงจุดจำกัดของการไหลแล้ว หากจะให้ผลที่น่าพอใจ ร่องน้ำควรจะมีรูปแบบโค้งตวัดและบริเวณที่ต่ำสุดจะผันกลับเข้าสู่ทางน้ำหลัก ข้อดีของระบบการเพิ่มเติมน้ำผ่านร่องน้ำหรือคูน้ำ คือ วิธีนี้สามารถใช้น้ำที่มีตะกอนมากได้เนื่องจากอัตราการไหลของความเร็วของทางน้ำสามารถพัดพาตะกอนหรือวัตถุต่างๆ ที่ถูกทางน้ำพัดพามาได้ จากการดำเนินการโดยวิธีนี้ในหลายๆ แห่งพบว่าอัตราการซึมลงสู่ใต้ดินมักจะน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่เพิ่มเติมน้ำ

6.1.3 วิธีทำโดยใช้แอ่งน้ำ

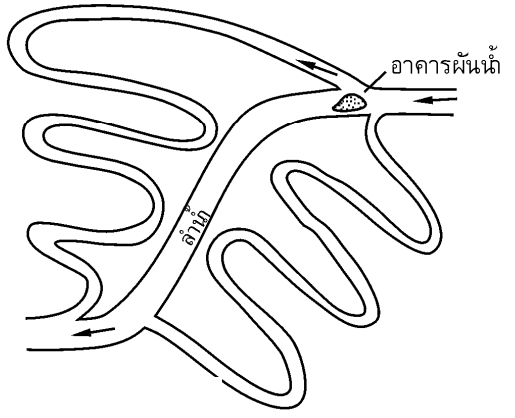
การสร้างแอ่งน้ำทำได้หลายแบบ อาจจะก่อสร้างโดยสร้างพนังกั้นน้ำหรือคันดิน หรือโดยวิธีการเปิดผิวหน้าดิน โดยทั่วๆ ไปรูปร่างและขนาดของแอ่งน้ำจะปรับให้เข้ากับสภาพความลาดเอียงของหน้าดิน น้ำที่จะเพิ่มเติมโดยวิธีการนี้จะต้องปราศจากตะกอน เพื่อป้องกันมิให้ผิวหน้าดินอุดตัน ซึ่งมีผลต่ออัตราการซึมของน้ำ การสร้างแอ่งน้ำอาจจะสร้างเพียงแอ่งเดียวหรือหลายๆ แอ่งต่อเชื่อมกัน (รูปที่ 3) กรณีมีแอ่งเดี่ยวมักจะสร้างเพื่อรองรับน้ำที่ไหลล้นในเขตชุมชนเมือง เนื่องจากปริมาณน้ำไหลล้นจะน้อย ส่วนใหญ่จะไหลลงสู่ระบบระบายน้ำของเมือง ส่วนแอ่งน้ำแบบหลายแอ่ง มักจะสร้างขนานกับทางน้ำสายใหญ่ที่มีปริมาณน้ำไหลล้นมากๆ และมีข้อดีหลายประการ เช่น ความสามารถในการกักเก็บของแอ่งน้ำจะช่วยเพิ่มเวลาในการซึมของน้ำลงสู่ใต้ดิน แอ่งน้ำที่อยู่ใกล้ต้นน้ำจะเปรียบเสมือนบ่อตกตะกอนทำให้น้ำที่ไหลลงสู่แอ่งล่างค่อนข้างสะอาดใส ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการซึมลงสู่ใต้ดิน และสามารถบำรุงรักษาแอ่งน้ำ เช่นขุดลอกกันแอ่งที่มีตะกอนปิดทับ โดยสามารถเลือกกระทำได้ทีละแอ่ง ทำให้การเพิ่มเติมน้ำเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และบ่อที่ขุดลอกแล้วจะเพิ่มประสิทธิภาพในการซึมลงสู่ใต้ดินให้มากขึ้น



(ก) แบบด้านข้าง

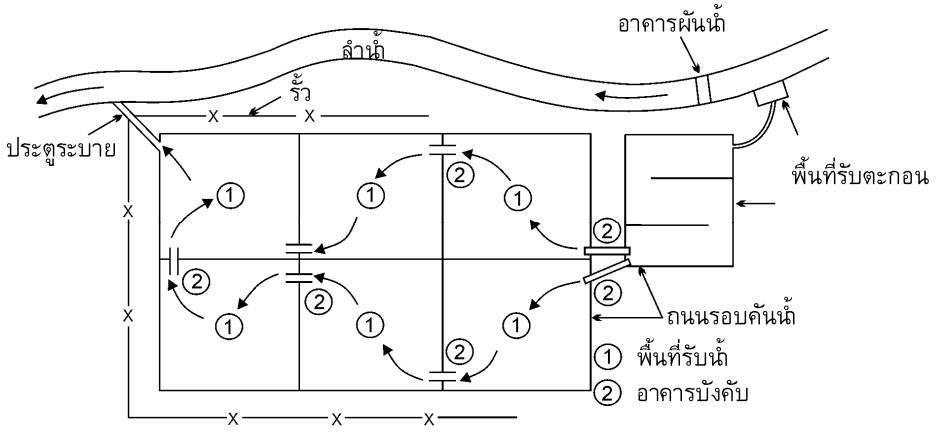


(ข) แบบกิ่งก้านสาขา



(ค) แบบตามชั้นความสูง

รูปที่ 2 ระบบเพิ่มเติมน้ำแบบขุดคูหรือร่องน้ำ (Roscoe Moss Company, 1990)



รูปที่ 3 แผนผังการเพิ่มเติมน้ำแบบใช้แอ่งน้ำหลายแอ่งต่อเนื่องกันโดยผันน้ำมาจากลำธาร (Todd, 1982)

นอกจากนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการซึมยังสามารถกระทำได้โดยการปรับปรุงสภาพดินหรือปลูกพืชคลุมดิน การปรับปรุงสภาพดินบางครั้งจะใช้สารเคมีหรือวิธีการทางกายภาพเพื่อเพิ่มช่องว่างของเม็ดดินทำให้มีพื้นที่ในการซึมมากขึ้น การปลูกพืชคลุมดินนั้นรากของพืชจะแทรกไปตามเนื้อดินทำให้เกิดช่องว่างให้น้ำซึมเข้าไปได้เช่นกัน

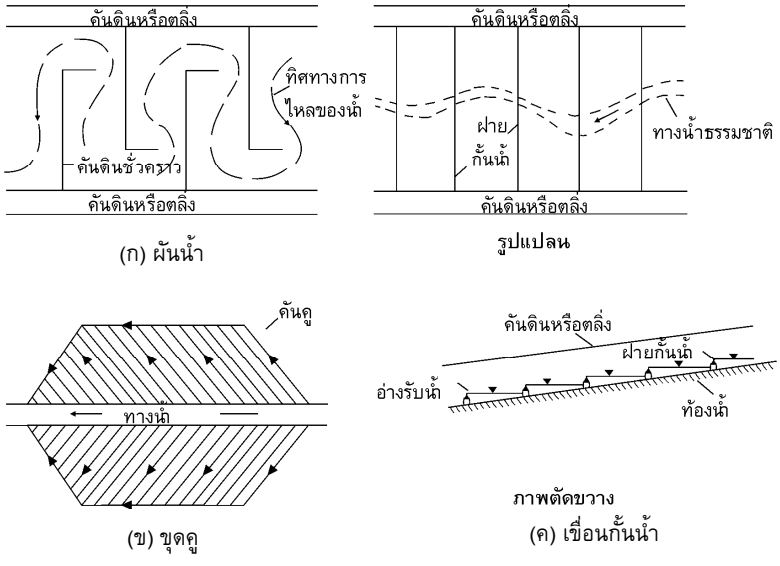
6.1.4 วิธีการปรับปรุงร่องน้ำ

วิธีการนี้จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงสภาพร่องน้ำธรรมชาติเพื่อเพิ่มอัตราการซึมลงสู่ใต้ดินโดยกักการไหลของทางน้ำและเพิ่มพื้นที่ผิวของท้องน้ำเพื่อทำให้ท้องน้ำมีหน้าสัมผัสกับน้ำมากขึ้น การเพิ่มเติมน้ำบาดาลโดยวิธีนี้สามารถกระทำร่วมกับวิธีการปล่อยให้น้ำท่วม วิธีขุดคูหรือร่องน้ำหรือวิธีใช้แอ่งน้ำพร้อมๆ กับการขยายร่องน้ำ ขุดลอกร่องน้ำหรือปรับระดับเป็นชั้นของท้องน้ำ (รูปที่ 4) เทคนิคอีกอันหนึ่งที่ต้องทำคือสร้างเขื่อนกั้นน้ำ (check dam) ของร่องน้ำ ซึ่งจะมีผลทำให้บริเวณเหนือเขื่อนมีลักษณะคล้ายแอ่งน้ำ ช่วยเพิ่มพื้นผิวการซึมและบริเวณใต้เขื่อน อัตราการซึมจะมากขึ้น เนื่องจากน้ำมีความเร็วลดลง เวลาที่สัมผัสกับท้องน้ำจะมากขึ้นและแอ่งน้ำระหว่างเขื่อนสกัดแต่ละชุดสามารถก่อสร้างหรือขุดลอกท้องน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการซึมลงสู่ใต้ดินได้อีกด้วย

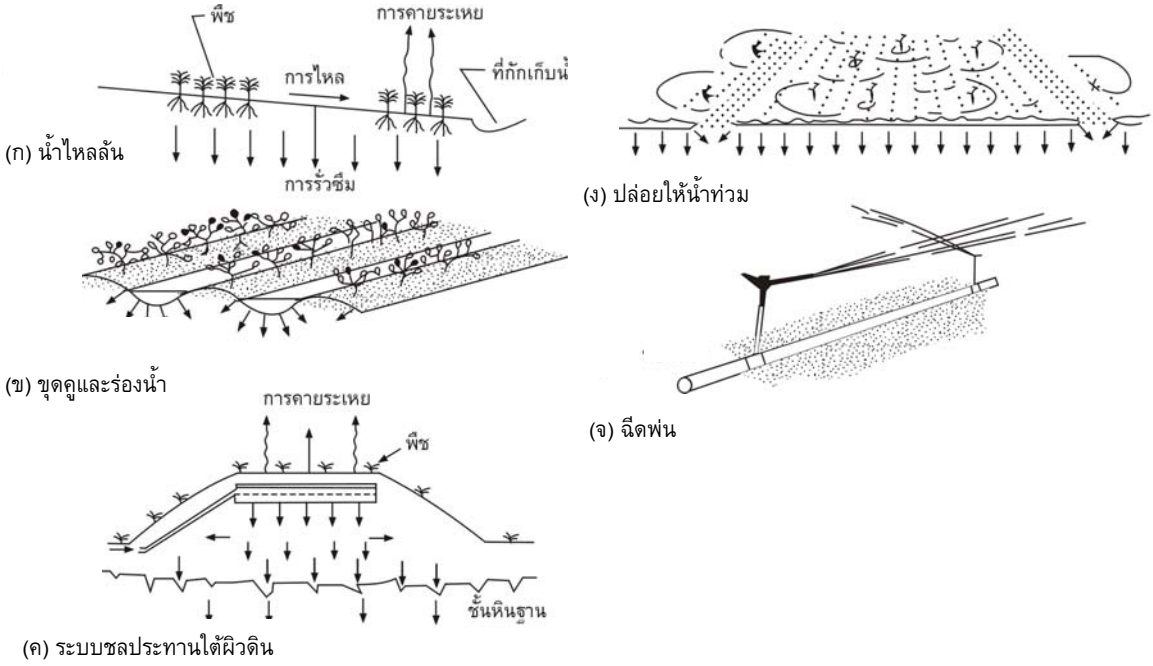
การขุดลอกท้องน้ำจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการซึม การขยายท้องน้ำหรือโครงการแก้มลิง การปรับระดับท้องน้ำให้เป็นชั้น หรือการเจาะบ่อหรือขุดหลุมเล็กๆ บริเวณท้องน้ำจะช่วยเพิ่มพื้นที่เปียกเพื่อเพิ่มอัตราการซึมของน้ำให้มากขึ้น และการขุดคูหรือร่องน้ำบนที่ราบน้ำท่วม จะช่วยทำให้พื้นผิวมีการซึมน้ำได้ด้วย

6.1.5 วิธีใช้น้ำเหลือจากระบบชลประทาน

ฤดูกาลที่ไม่ได้ปลูกพืชผลทางการเกษตรหากกักไว้ให้เต็มคลองส่งน้ำชลประทานหรือปล่อยให้ไหลล้นออกจากคลองส่งน้ำบ้างจะเพิ่มอัตราการซึมลงสู่ใต้ดิน วิธีการนี้มีหลายรูปแบบ (รูปที่ 5) และค่อนข้างจะประหยัดงบประมาณเพราะว่าไม่ต้องลงทุนเพิ่มเติม หากมีชั้นน้ำแบบไร้แรงดันอยู่ตื้นระดับน้ำบาดาลจะสูงขึ้น ทำให้ใช้พลังงานในการสูบน้ำบาดาลออกมาจากบ่อเพื่อการเกษตรน้อยลง แต่ข้อเสียของวิธีการนี้ก็คือน้ำที่ไหลล้นระบบส่งน้ำจะชะล้างหน้าดินทำให้สามารถพาเกลือแร่ที่อยู่ในเขตรากพืชลงสู่ชั้นน้ำได้



รูปที่ 4 การเพิ่มเติมน้ำโดยวิธีการปรับปรุงร่องน้ำ



รูปที่ 5 วิธีการเพิ่มน้ำจากระบบชลประทาน

6.2 วิธีเพิ่มน้ำโดยตรงใต้ผิวดิน

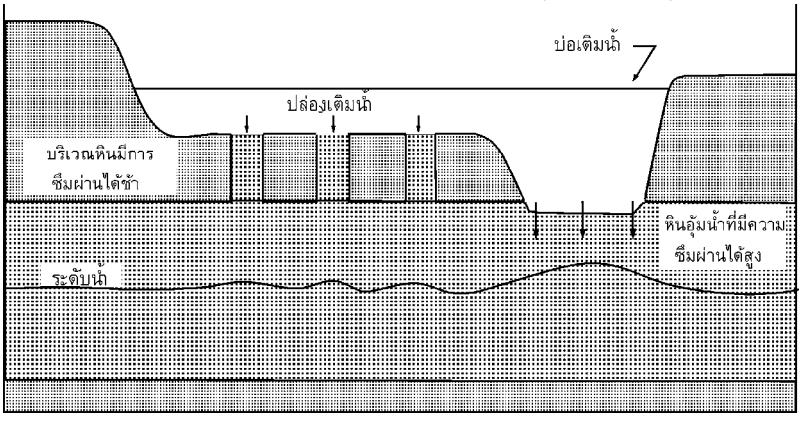
วิธีนี้เป็นการเพิ่มน้ำให้กับชั้นน้ำโดยตรงอีกวิธีหนึ่ง โดยทั่วไปมักใช้ในกรณีที่แหล่งน้ำที่จะใช้เพิ่มเติมกับชั้นน้ำถูกกั้นขวางด้วยชั้นทึบน้ำหรือกึ่งทึบน้ำ เทคนิคในการเพิ่มเติมน้ำโดยวิธีนี้จะเป็นแบบอัดน้ำลงไปในรูเปิดตามธรรมชาติ บ่อขุดหรือปล่อง บ่อน้ำบาดาล และระบบท่อส่งน้ำ การอัดน้ำลงชั้นน้ำโดยตรงนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณภาพของน้ำที่จะอัดลงไปอย่างมาก เนื่องจากน้ำที่อัดลงไปจะไม่ถูกกรองโดยตัวกลางใดๆ เลย

6.2.1 วิธีอัดเสริมเข้ารูเปิดธรรมชาติ

รูเปิดธรรมชาติ ได้แก่ รูจากรอยแตกของหินที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก ถ้ำโพรงที่เกิดจากการละลายของหินปูน หรือหินอื่นๆ ที่ถูกละลายได้ ซึ่งรูเปิดเหล่านี้เปรียบเสมือนทางน้ำหรือท่อส่งน้ำนำน้ำที่อัดเสริมลงไปไหลเข้าสู่ชั้นน้ำ ปริมาณน้ำที่เข้าไปจะเข้าสู่ชั้นน้ำมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำ ขนาด การวางตัว และตำแหน่งที่ตั้งของรูเปิด

6.2.2 วิธีอัดเสริมผ่านบ่อขุดและปล่องขุด

วิธีนี้จะกระทำในบริเวณที่มีชั้นหินกึ่งเนื้อแน่นอยู่บริเวณผิวดินหรือใกล้ผิวดิน ชั้นน้ำที่อยู่ด้านล่างจะถูกอัดเสริมโดยการขุดบ่อขุดให้ลึกหรือปล่องน้ำ (shaft) ที่เจาะทะลุจนถึงชั้นน้ำ (รูปที่ 6) บ่อขุดจะมีขนาดและรูปร่างแปรเปลี่ยนไปตามสภาพธรณีวิทยา ขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นหินกึ่งทึบน้ำหรือทึบน้ำที่ปิดทับชั้นน้ำอยู่ ผนังบ่อขุดที่มีความชันมากจะช่วยลดอัตราการอุดตันของกันบ่อและงบประมาณในการก่อสร้างและบำรุงรักษาจะมากกว่าวิธีการเพิ่มน้ำแบบการปล่อยลงสู่ผิวดินโดยตรง แต่หากใช้บ่อขุดเก่าที่มีอยู่แล้ว เช่น บ่อดินลูกรังหรือบ่อกรวด ก็จะช่วยลดการลงทุนได้มาก ปล่องน้ำจะลึกกว่าบ่อขุดและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า การขุดบ่อขุดและปล่องอาจสามารถกระทำได้โดยใช้แรงคน รถตักดิน รถเจาะดิน หรือรถเจาะหินก็ได้ ผนังของปล่องส่วนใหญ่จะเกิดการอุดตัน (clogging) ได้ง่ายด้วยขบวนการทางชีวภาพหรือวัสดุที่อยู่ในบ่อขุดเอง และยากต่อการบำรุงรักษา และเนื่องจากต้องใช้งบประมาณลงทุนและบำรุงรักษามาก วิธีการอัดเสริมโดยผ่านบ่อขุดและปล่องขุดจึงไม่เป็นที่นิยม



รูปที่ 6 วิธีการเพิ่มน้ำผ่านบ่อขุดและปล่องขุด (จาก Roscoe Moss Company, 1990)

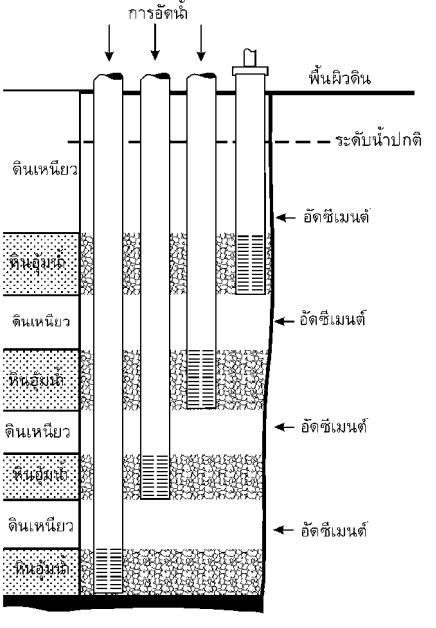
6.2.3 วิธีอัดเสริมโดยผ่านท่อใต้ดิน

วิธีการนี้ระบบการวางท่อต่างๆ คล้ายคลึงกับระบบชลประทานใต้ดินกล่าวคือ ระบบจะไม่รบกวนการใช้ที่ดินข้างบน วิธีการนี้น้ำจะถูกอัดเสริมไปตามท่อ น้ำจะได้จากชั้นดินเหนือระดับน้ำบาดาล (water table) รวบรวมมาตามเครือข่ายของท่อเซาะร่องที่วางไว้ที่ตำแหน่งต่างๆ แล้วส่งไปยังบริเวณที่ยังไม่อิ่มตัวด้วยน้ำหรือบริเวณที่ต้องการน้ำเสริม น้ำที่ไหลลันบนผิวดินจะมีโอกาสซึมลงไปทดแทนได้มาก ซึ่งตรงข้ามกับวิธีเพิ่มน้ำแบบระบบชลประทานใต้ดิน ข้อดีของวิธีการนี้คือไม่ต้องลงทุนซื้อที่ดิน (ในกรณีที่ที่ดินมีราคาแพง) การอุดตันสามารถแก้ไขได้โดยการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนจะทำการอัดเสริมหรือปล่อยให้ระบบได้หยุดบ้าง เพื่อที่จะให้แบคทีเรียเข้าไปย่อยสลายจุลินทรีย์ที่อุดตันอยู่

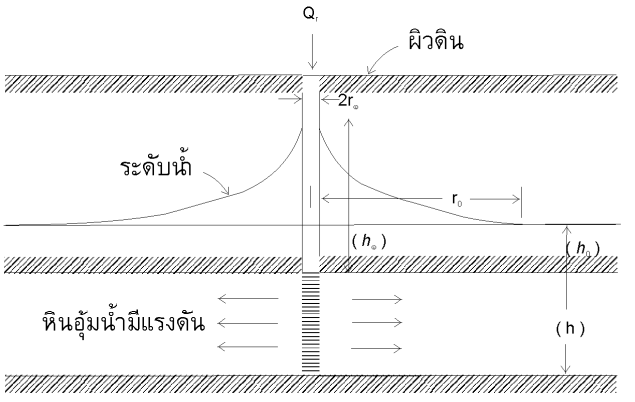
6.2.4 วิธีอัดเสริมลงไปในบ่อเจาะ

วิธีการอัดเสริมน้ำลงไปในบ่อบาดาลมักจะไม่ค่อยปฏิบัติกันในโครงการที่หวังให้เกิดผลในพื้นที่กว้าง เนื่องจากต้องใช้เงินลงทุนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ มักจะใช้วิธีการนี้ในวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง เช่น เป็นตัวกันน้ำเค็มหรือเป็นตัวกักกันการปนเปื้อนจากมลพิษ (contaminant plumes) การออกแบบบ่ออัดเสริมน้ำบาดาลจะมีส่วนคล้ายคลึงกับบ่อสูบน้ำบาดาลมาก บ่ออัดเสริมน้ำบาดาลบางแห่งจะทำหลายๆ บ่ออยู่ในบ่อใหญ่บ่อเดียว แต่ละบ่อย่อยจะอัดน้ำไปในชั้นน้ำแต่ละชั้น โดยการวางท่อกรองหรือท่อเซาะร่องให้ตรงกับชั้นน้ำแต่ละชั้น และระหว่างชั้นจะอัดกันซึม (seal) ด้วยซีเมนต์ (รูปที่ 7) การอัดน้ำลงไปนี้เหมาะสำหรับชั้นน้ำที่อยู่ระดับลึกและปิดทับหรือคั่นด้วยชั้นหินทึบน้ำ เพราะปริมาณน้ำที่อัดลงไปนั้นจะไม่สูญหาย การไหลของน้ำที่อัดลงไปในบ่อจะมีลักษณะคล้ายกับกรวยการสูบน้ำขึ้นมาจากบ่อแต่รูปร่างกลับกัน (รูปที่ 8) โดยทั่วไปการอัดน้ำลงไปใต้ดินควรจะเท่ากับอัตราการสูบขึ้นมาใช้จากบ่อน้ำบาดาล (yield) แต่ในทางปฏิบัติจะไม่เท่ากัน เนื่องจากขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น เกิดการอุดตันเนื่องจากมีทรายเม็ดละเอียดอยู่ในชั้นน้ำและน้ำที่ใช้อัดลงไป ฟองอากาศในน้ำที่ใช้อัดจะทำให้ช่องว่างในเนื้อดินลดลง แบคทีเรียที่สามารถเจริญเติบโตในบ่อและในชั้นน้ำรอบๆ บ่อ หรือเกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้สารละลายตกตะกอน เป็นต้น ดังนั้นมักจะพบว่าอัตราการอัดน้ำในระยะเริ่มแรกจะทำได้สูง แต่เมื่ออัดต่อไปจะลดลงจึงจำเป็นต้องแก้ไข โดยการสูบน้ำปนตะกอนออก (pumping) หรือเป่าล้างด้วยลม

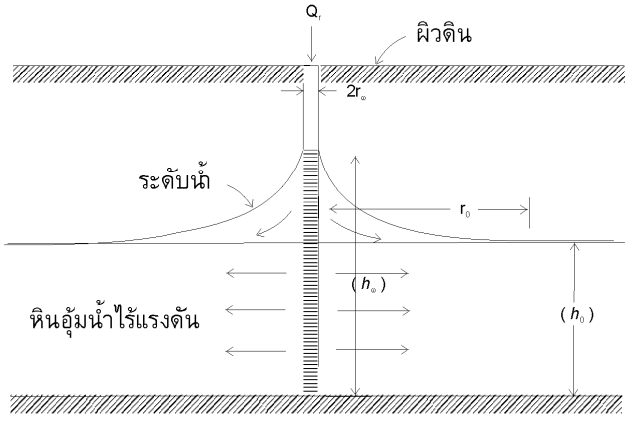
นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาจากบ่ออัดเสริมน้ำเพียงอย่างเดียวเป็นบ่ออัดเสริมน้ำเมื่อเวลาที่มีน้ำเหลือและเป็นบ่อผลิตน้ำในคราวที่มีความจำเป็นต้องใช้น้ำ เรียกวิธีนี้ว่า Aquifer Storage and Recovery (ASR) ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 9



รูปที่ 7 การอัดเสริมน้ำลงไปในบ่อเจาะแบบชั้นน้ำหลายชั้น



(ก) ชั้นน้ำเปิด



(ข) ชั้นน้ำปิด

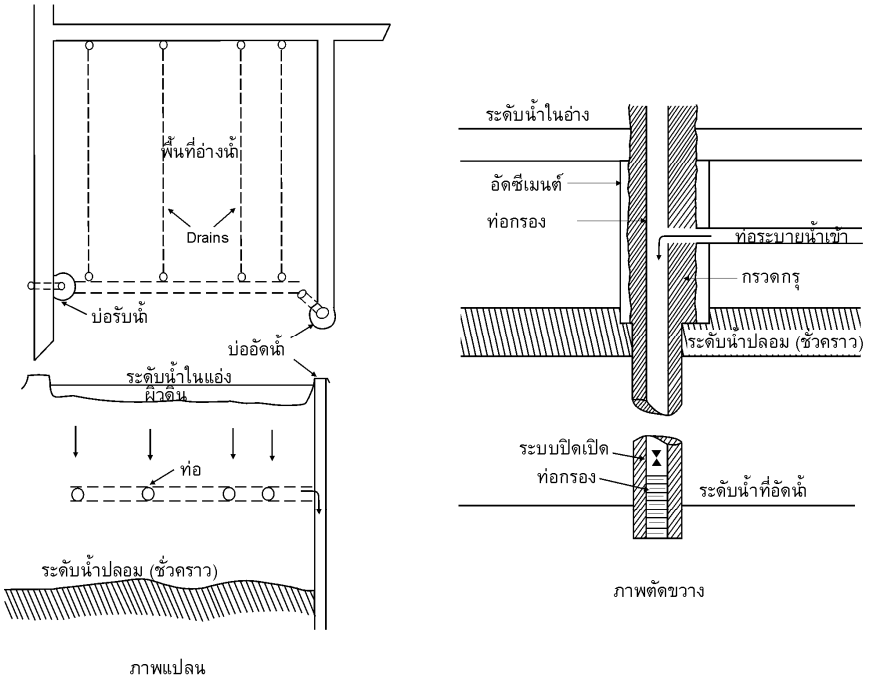
รูปที่ 8 แสดงรูปร่างของกรวยน้ำเพิ่มในบ่ออัดน้ำ (Todd, 1982)

6.3 วิธีการผสมผสานระหว่างการอัดเสริมโดยตรงบนผิวดินและใต้ผิวดิน

บางครั้งการอัดน้ำลงไปในชั้นน้ำไม่สามารถทำให้ได้ผล 100 เปอร์เซ็นต์ได้โดยวิธีการใดวิธีการหนึ่งเพียงอย่างเดียว ถึงแม้ว่าข้อดีของการเพิ่มเติมน้ำจากผิวดินจะมีมาก เช่น ง่ายต่อการบำรุงรักษา มีพื้นที่ให้น้ำซึมมากและสามารถกักน้ำได้ง่ายและครั้งละมากๆ แต่มีข้อเสียคือต้องใช้พื้นที่ค่อนข้างกว้างและไม่มีผลต่อการเพิ่มเติมน้ำลงไปในชั้นน้ำที่อยู่ลึกๆ ดังนั้นการผสมผสานวิธีการจึงเป็นที่น่าสนใจไม่น้อย วิธีการผสมผสานที่นิยมทำกันมากมี 2 ลักษณะ คือ

6.3.1 วิธีใช้ท่อรวมน้ำเพื่ออัดลงสู่บ่อ

วิธีนี้ใช้การรวมน้ำในท่อที่วางตัวอยู่ในแนวระนาบ ซึ่งท่อเหล่านี้จะรับน้ำที่ได้จากการเพิ่มเติมน้ำจากผิวดิน เช่น จากแอ่งน้ำ จากบ่อขุดและปล่องขุดหรือจากท้องน้ำที่ซึมลงไปใต้ดิน น้ำจะไหลเข้าสู่ท่อทางท่อกรองหรือท่อเซาะร่องแล้วไหลไปรวมกันที่ท่ออีกท่อหนึ่งซึ่งมีปลายท่อต่อติดกับบ่ออัดเสริมน้ำบาดาล (injection wells) ซึ่งเจาะทะลุชั้นหินทึบน้ำไปถึงชั้นน้ำที่อยู่ระดับลึก (รูปที่ 9) เพื่อเติมน้ำชั้นล่างให้เต็ม



รูปที่ 9 ระบบรวมน้ำจากท่อเซาะร่องที่วางตัวแนวนอนแล้วไหลรวมเพื่ออัดลงในบ่อเจาะ

6.3.2 วิธีใช้แอ่งน้ำ บ่อขุด ปล่องขุดหรือบ่อเจาะ

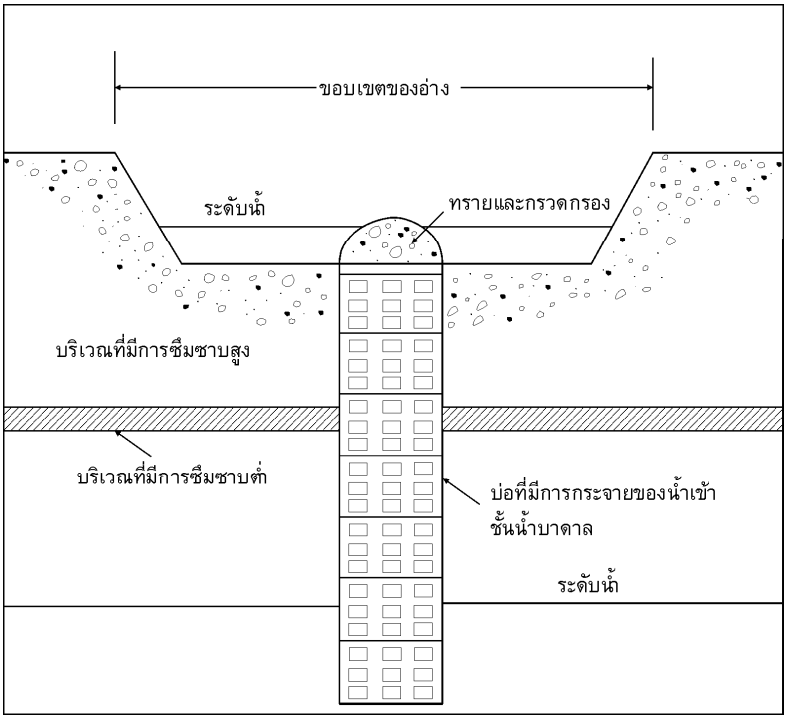
วิธีการนี้เป็นวิธีที่รวบรวมน้ำจากแอ่งน้ำแล้วอาศัยบ่อขุด ปล่องขุด หรือบ่อเจาะเป็นตัวส่งน้ำไปในชั้นหินอุ้มน้ำตามท่อคอนกรีตที่ก่อขึ้นโดยกันบ่อจะอยู่ใต้ระดับน้ำบาดาล ท่อคอนกรีตจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางค่อนข้างใหญ่ จะก่อด้วยอิฐบล็อกที่มีรูตลอดความลึกของบ่อเพื่อให้น้ำไหลออกได้ตลอดช่วงความลึก ปากบ่อจะกรุ (pack) ด้วยกรวดและทรายเพื่อกรองตะกอนที่มากับน้ำที่ไหลลงแอ่งน้ำ (รูปที่ 10)

6.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกวิธีการเพิ่มเติมน้ำ

การที่จะตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่ดีที่สุดที่จะทำการเพิ่มเติมน้ำบาดาลเกี่ยวข้องอย่างมากกับการศึกษาเบื้องต้นทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่เพื่อให้มั่นใจว่าการดำเนินการจะบรรลุวัตถุประสงค์และคุ้มต่อการลงทุน ดังนั้นการเลือกตำแหน่งพื้นที่และวิธีการมักจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการเพิ่มเติมน้ำ สภาพเงื่อนไขที่กำหนด นอกเหนือจากนั้นต้องรู้ถึงคุณลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา สภาพภูมิประเทศ ทิศทางการไหลของน้ำ แหล่งน้ำที่จะใช้เพิ่มเติม ข้อกำหนดทางกฎหมาย สภาพการใช้ที่ดิน ความเป็นไปได้ในการใช้ที่ดิน ตลอดจนการยอมรับจากสาธารณชน

6.4.1 คุณลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา

การจะเลือกใช้วิธีการใดในการเพิ่มเติมน้ำบาดาลนั้น ปัจจัยที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงอันดับแรก คือ ชนิดของชั้นน้ำ โดยทั่วไปแล้วหากเป็นชั้นน้ำแบบไร้แรงดัน (unconfined aquifers) วิธีการที่ใช้ในการเพิ่มเติมน้ำบาดาลมักจะเป็นวิธีเพิ่มเติมจากผิวดิน เช่น แอ่งน้ำ หรือท้องน้ำ แต่หากเป็นชั้นน้ำแบบมีแรงดัน (confined aquifers) มักจะเลือกใช้วิธีอัดเสริมโดยผ่านบ่อเจาะ ซึ่งวิธีการนี้ชั้นหินที่ปิดทับชั้นน้ำอยู่จะมีอิทธิพลต่อการเพิ่มเติมน้ำบาดาลน้อยมาก



รูปที่ 10 การเพิ่มเติมน้ำโดยใช้แอ่งน้ำ บ่อขุด หรือปล่องขุด

ดังนั้นสิ่งที่จะต้องรู้เกี่ยวกับชั้นน้ำหรือคุณลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาอื่นๆ ประกอบด้วย

- การเรียงลำดับชั้นหินและภาพตัดขวาง
- ความหนา ความลึก และการแผ่กระจายตัวของชั้นน้ำ
- ความหนา ความลึก และการแผ่กระจายตัวของชั้นทึบน้ำ
- ลักษณะเนื้อหินของชั้นน้ำและชั้นทึบน้ำ
- คุณลักษณะทางชลศาสตร์ต่างๆ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำไหลผ่าน ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ การรั่วซึม ค่าความนำทางชลศาสตร์ ความพรุน เป็นต้น
- ลักษณะทางแร่วิทยาของชั้นดิน
- คุณภาพของน้ำในชั้นน้ำแต่ละชั้น
- ทิศทางการไหลและความเร็วในการไหลของน้ำบาดาล

นอกเหนือจากที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังอาจเสริมด้วยการศึกษาสภาพอุทกธรณีวิทยาด้านอื่นๆ ตามวัตถุประสงค์และงบประมาณของการดำเนินการ

6.4.2 สภาพภูมิประเทศและทางน้ำไหล

ความสูงต่ำหรือความแตกต่างของภูมิประเทศมีอิทธิพลอย่างมากในการเลือกวิธีการเพิ่มเติมน้ำบาดาลโดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการเพิ่มน้ำทางผิวดิน เนื่องจากการประยุกต์ใช้วิธีต่างๆ เช่น วิธีปล่อยให้น้ำท่วม วิธีใช้ระบบชลประทาน หรือการปรับปรุงสภาพผิวดิน ล้วนต้องใช้พื้นที่ที่ค่อนข้างราบหรือเอียงเทเพียงเล็กน้อย ในทางกลับกันการใช้แอ่งน้ำ คลอง และร่องคู มักจะอาศัยข้อได้เปรียบของพื้นที่ที่มีความลาดเอียงมากกว่า ความแตกต่างของระดับ

ภูมิประเทศจะไม่มีผลหรือมีผลน้อยมากต่อการเพิ่มเติมน้ำแบบใต้ผิวดิน เช่น การอัดเสริมน้ำผ่านบ่อขุด ปล่องขุด หรือบ่อเจาะ

สำหรับคุณลักษณะของทางน้ำไหลและพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นจะมีความสัมพันธ์กับความสูงต่ำของภูมิประเทศ และมีความสำคัญในการเลือกวิธีการเพิ่มเติมน้ำบาดาลมากเช่นกัน เช่น ทางน้ำที่มีลักษณะโค้งตวัด (meandering streams) ที่มีพื้นที่น้ำท่วมถึง (flood plains) กว้างและต่ำ จะเหมาะสำหรับวิธีการเพิ่มเติมน้ำแบบปรับปรุงร่องน้ำแบบเพิ่มเติมน้ำทางผิวดิน เช่น วิธีปล่อยให้น้ำท่วม ร่องหรือคู หรือวิธีการใช้แอ่งน้ำ จะสามารถดำเนินการได้ภายในร่องน้ำนั้น หรือผันน้ำจากต้นน้ำออกมาเพิ่มเติมน้ำแบบแอ่งน้ำหรือวิธีการต่างๆ ทางผิวดินก็จะทำได้ง่าย ถ้าหากว่าเป็นทางน้ำที่มีการไหลของน้ำสม่ำเสมอ และระดับน้ำค่อนข้างคงตัว อาจจะเลือกใช้วิธีเพิ่มเติมน้ำแบบล่อน้ำ

6.4.3 คุณลักษณะของแหล่งน้ำที่จะใช้เพิ่มเติม

คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งน้ำที่จะนำมาเพิ่มเติมน้ำบาดาลนั้น ต้องพิจารณาถึงปริมาณและคุณภาพของน้ำที่จะนำมาใช้ด้วยเพื่อกำหนดวิธีการเพิ่มเติมน้ำบาดาลที่เหมาะสม

6.4.4 ตำแหน่งที่ตั้งและความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำมาใช้

ในสถานที่ที่มีการแปรเปลี่ยนด้านปริมาณน้ำและความสามารถที่จะนำน้ำมาใช้มีการแปรเปลี่ยนมากๆ เช่น บริเวณทางน้ำที่มีน้ำไหลเฉพาะฤดูฝน (intermittent streams) นั้น วิธีการเพิ่มเติมน้ำทางผิวดินจะเหมาะสมกว่า เช่น วิธีการเพิ่มเติมแบบแอ่งน้ำและบ่อขุด สามารถที่จะออกแบบให้รองรับน้ำในช่วงที่มีน้ำท่วมฝั่งในทางตรงกันข้าม ปล่องขุดหรือบ่อเจาะจะใช้ไม่ได้ผลเท่าที่ควร เนื่องจากต้องการแหล่งน้ำที่สามารถจ่ายน้ำให้อย่างสม่ำเสมอ

6.4.5 คุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพของน้ำที่จะนำมาใช้ในการเพิ่มเติมน้ำบาดาลนั้นเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการที่จะพิจารณาเลือกวิธีการในการเพิ่มเติมน้ำบาดาล คุณภาพของน้ำทางกายภาพจะหมายถึงปริมาณของของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ อุณหภูมิ และปริมาณของฟองอากาศที่อยู่ในน้ำ คุณภาพทางเคมีหมายถึงชนิดและความเข้มข้นของสารละลายและก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำ สำหรับคุณภาพทางชีวภาพจะหมายถึงชนิดและความหนาแน่นของสิ่งมีชีวิตทั้งหลายที่เจือปนอยู่ในน้ำภายใต้สภาวะที่แน่นอนอันหนึ่ง คุณภาพของน้ำที่ได้กล่าวถึงจะเป็นตัวลดอัตราการเพิ่มเติมน้ำเข้าสู่ชั้นน้ำ

(1) คุณภาพทางกายภาพ

ถ้ามีสารแขวนลอยอยู่ในน้ำที่จะใช้ในการเพิ่มเติมน้ำบาดาล การใช้วิธีเพิ่มเติมน้ำทางผิวดินจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการเพิ่มเติมน้ำบาดาลใต้ผิวดิน ถึงแม้ว่าสารแขวนลอยเหล่านี้อาจทำให้เกิดการอุดตันได้ง่ายเช่นกัน แม้กระทั่งการเพิ่มเติมน้ำทางอ้อม เช่น การล่อน้ำก็สามารถใช้งานได้ดีเช่นกัน วิธีการขุดร่องหรือคูน้ำก็สามารถใช้ได้ดีในกรณีนี้ เนื่องจากการที่น้ำไหลอยู่ตลอดเวลาในระบบจะทำให้สารที่แขวนลอยอยู่ในน้ำไม่เกิดการตกตะกอน แต่วิธีการใช้แอ่งน้ำจะไม่เหมาะสมนัก เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำในระบบจะช้าจนเกือบนิ่ง ดังนั้นโอกาสที่สารแขวนลอยจะตกตะกอนแล้วไปอุดตันผิวดินจะเกิดขึ้นได้ง่าย หากจำเป็นต้องใช้ระบบแอ่งน้ำกับน้ำที่มีสารแขวนลอยมากหรือขุ่นมาก ควรต้องใช้ระบบหลายๆ แอ่ง โดยแอ่งต้นๆ จะเป็นแอ่งตกตะกอน (siltation and clarifying basin) น้ำในแอ่งต่อๆ ไปจึงเป็นแอ่งสำหรับเพิ่มเติมน้ำโดยตรง แต่วิธีการนี้เปลืองที่ดินมาก

ในกรณีที่ใช้วิธีเพิ่มเติมน้ำใต้ผิวดิน น้ำที่มีสารแขวนลอยมากหรือความขุ่นสูง จะสร้างปัญหาให้กับระบบเพิ่มน้ำเป็นอย่างมาก เนื่องจากจะต้องบำบัดน้ำก่อนที่จะดำเนินการอัดเสริมน้ำลงตามบ่อขุด ปล่องขุดหรือบ่อเจาะ หากบำบัดน้ำไม่ดีมีโอกาสเกิดการอุดตันสูงมากและยากต่อการบำรุงรักษา

(2) คุณภาพทางเคมี

น้ำที่จะใช้เพิ่มเติมจะต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมกับวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของชั้นน้ำและน้ำบาดาลที่อยู่ในชั้นน้ำนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งอาจจะเป็นผลทำให้จำนวนช่องว่างในชั้นน้ำอุดตัน (chemical clogging) และความสามารถในการรับน้ำที่เพิ่มเติมน้ำไม่ว่าโดยวิธีการใดๆ สารที่เป็นพิษที่เกินมาตรฐานต้องไม่อยู่ในน้ำที่จะใช้เพิ่มเติม หากมีต้องบำบัดก่อนโดยวิธีการทางเคมี หรืออาจเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการเพิ่มเติมน้ำประเภทนี้โดยให้เกิดการสลายตัวของสารเป็นพิษภายในผิวดินเองตามกระบวนการทางธรรมชาติ

(3) คุณภาพทางชีวภาพ

สาหร่ายหรือแบคทีเรียอาจจะมีอยู่ในแหล่งน้ำที่จะใช้เพิ่มเติมน้ำบาดาล ของเสียทางอินทรีย์สารจะประกอบด้วยแบคทีเรียที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ หรือช่วยทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้เร็วขึ้น หรือการสลายตัวของอินทรีย์สารบางชนิดอาจจะทำให้เกิดสารไนเตรทที่เกินมาตรฐานหรือสารพิษพลอยได้อื่นๆ ดังนั้นต้องตรวจสอบคุณภาพทางชีวภาพของน้ำที่จะใช้เพิ่มเติมโดยละเอียดก่อนที่จะเลือกใช้แหล่งน้ำและวิธีการเพิ่มเติมน้ำ

6.4.6 ปัจจัยอื่นๆ

สภาวะการทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม เป็นสิ่งที่ต้องนำมาร่วมพิจารณาเลือกวิธีการเพิ่มเติมน้ำ ความเป็นไปได้ของการใช้ที่ดินพื้นที่ที่อยู่ติดกัน ทัศนคติของสาธารณะ และข้อกำหนดทางกฎหมาย มีส่วนสำคัญเป็นอย่างมาก เช่น ในเมืองใหญ่ ราคาที่ดินแพงมาก ควรจะเลือกใช้วิธีการแบบใด หรือหากใช้วิธีเพิ่มเติมน้ำทางผิวดินจะสร้างปัญหาให้กับชุมชนเมืองหรือไม่ เป็นเรื่องที่จะต้องนำมาพิจารณาร่วมด้วยเสมอ ปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่ไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ เช่น การพังทลายของเขื่อนกั้นน้ำ (check dam) อาจทำให้เกิดอุทกภัยได้ ดังนั้นก่อนจะดำเนินการในแต่ละขั้นตอนต้องประเมินผลได้ผลเสียที่จะเกิดขึ้นตามมาเสียก่อน โดยทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (EIA) ก่อน เพื่อป้องกันปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและความขัดแย้งกับชุมชนในอนาคต

7. ขั้นตอนในการดำเนินงาน

การเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาล ต้องจัดทำเป็นโครงการที่มีกระบวนการ และวิธีการปฏิบัติที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และทรัพยากรที่มีอยู่ สามารถใช้เป็นหลักการพื้นฐานเพื่อการวางแผนขั้นต้นได้ โดยทั่วไปประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ (1) กิจกรรมขั้นต้น (2) การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐ-ศาสตร์และวิศวกรรม (3) การออกแบบระบบเติมน้ำ (4) การดำเนินการและการบำรุงรักษา (5) การปิดโครงการ (6) การบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับระบบเติมน้ำผ่านผิวดินระหว่างการดำเนินการเติมน้ำ

7.1 กิจกรรมขั้นต้น

เป็นการรวบรวมข้อมูลและการศึกษาเบื้องต้น เพื่อทำความเข้าใจกับสภาพพื้นที่และประเมินทรัพยากรที่มีอยู่ เพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจในการดำเนินการขั้นต่อไป ขั้นตอนและรายละเอียดของการดำเนินงานในกิจกรรมขั้นต้นแสดงในตารางที่ 1

7.2 การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

ขั้นตอนและรายละเอียดในการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์แสดงในตารางที่ 2

7.3 การออกแบบระบบเติมน้ำ

การออกแบบระบบเติมน้ำ ประกอบด้วยการออกแบบเบื้องต้นและการออกแบบขั้นสุดท้าย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

7.3.1 การออกแบบเบื้องต้น

เป็นการประเมินทรัพยากรและแผนต่างๆ ที่ได้รับการคัดเลือกระหว่างการวางกรอบความคิด ผลจากการออกแบบเบื้องต้นใช้ในการศึกษาในรายละเอียดขั้นต่อไปสำหรับการออกแบบขั้นสุดท้ายถึงความเป็นไปได้ด้านวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม เศรษฐ-ศาสตร์ กฎหมายและข้อกำหนดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3

7.3.2 การออกแบบขั้นสุดท้าย

การออกแบบขั้นสุดท้ายเป็นการให้รายละเอียดลงบนการออกแบบในขั้นต้น โดยพิจารณาผลของการทำประชาพิจารณ์และข้อมูลเพิ่มเติมร่วมด้วย การออกแบบควรมีรายละเอียดมากเพียงพอที่จะใช้ในการประมาณราคาที่ถูกต้อง เข้าใจง่ายในการก่อสร้าง และอำนวยความสะดวกในการดำเนินการเติมน้ำ การออกแบบขั้นสุดท้ายควรดำเนินการร่วมกับการทำรายงานผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม มีรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 1 ขั้นตอนและรายละเอียดของการดำเนินงานในกิจกรรมขั้นต้น

ขั้นตอน	รายละเอียด
1. การรวบรวมและจัดการข้อมูล	
1.1 ข้อมูลกายภาพ	- อัตราการไหลหรือปริมาณน้ำของแหล่งน้ำที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ - ข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ทั้งน้ำที่เติมและน้ำบาดาล - ความลึกของระดับน้ำบาดาลจากผิวดินค่าระดับของน้ำบาดาลและค่าแรงดันทางชลศาสตร์ของน้ำบาดาล (hydraulic head) ในชั้นน้ำต่างๆ - ข้อมูลทางธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา - ตำแหน่งของบ่อน้ำบาดาลและการสูบน้ำในพื้นที่แอ่งน้ำและรอบๆ พื้นที่ศึกษา - ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนทั้งบนผิวดินและใต้ดิน - การสูบทดสอบและวิเคราะห์ค่าทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำ - แผนที่ธรณีวิทยาและภูมิประเทศ - การใช้ประโยชน์ที่ดินและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ส่งผลถึงสมดุลทางอุทกวิทยา - อัตราการซึมผ่านผิวดินและความสามารถในการซึมผ่านชั้นดินเป็นต้น
1.2 ข้อมูลด้านอื่นๆ	- กฎหมาย ระเบียบ ข้อบังคับต่างๆ - ข้อกำหนดทางสิ่งแวดล้อมและการสงวนรักษาพันธ์พืชและสัตว์ - ข้อมูลเกี่ยวกับทรัพยากรทางศิลปวัฒนธรรม

ตารางที่ 1 ขั้นตอนและรายละเอียดของการดำเนินงานในกิจกรรมขั้นต้น (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด
2. การประเมินทรัพยากร 2.1 การประเมินความต้องการน้ำ	แนวโน้มในการใช้น้ำ การจัดหาน้ำและความต้องการใช้น้ำตั้งแต่อดีต ปัจจุบัน และอนาคต ในรูปของค่าเฉลี่ย การผันแปรแต่ละเดือนและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง สัดส่วนระหว่างความต้องการน้ำสูงสุดในหนึ่งวันต่อความต้องการน้ำเฉลี่ยรายปี ความต้องการน้ำสูงสุดในสัปดาห์ต่อความต้องการน้ำเฉลี่ยรายปี ความต้องการน้ำรายเดือนต่อความต้องการน้ำเฉลี่ยรายปี
2.2 การประเมินปริมาณและคุณภาพของแหล่งน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้	- แหล่งน้ำที่เหมาะสมที่ใช้เติม ได้แก่ ลำธาร ลำคลอง ทะเลสาบ สระเก็บน้ำ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว น้ำท่า น้ำที่ผันจากพื้นที่อื่น น้ำบาดาลจากชั้นน้ำอื่นๆ และน้ำดื่มที่ได้รับการบำบัดแล้ว - อัตราการไหลเฉลี่ยที่สามารถนำไปใช้ได้ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลและคุณภาพน้ำ และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง - การเข้าถึงแหล่งน้ำที่เติม ความยากง่ายของการเข้าถึงแหล่งน้ำ - การนำแหล่งน้ำดิบมาใช้ได้ในระยะยาว - ข้อจำกัดทางด้านกฎหมายและสิ่งแวดล้อม - ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำหรือปรับปรุงคุณภาพน้ำ
2.3 การประเมินแหล่งน้ำบาดาล - คู่มือ ทบ ป 1000-2550 - คู่มือ ทบ ป 2000-2550	- ขอบเขตและลักษณะแอ่งน้ำบาดาลและแอ่งน้ำย่อย - คุณภาพน้ำบาดาล - จำนวนชั้นน้ำและความต่อเนื่องระหว่างชั้นน้ำ - คุณสมบัติต่างๆ ทางอุทกธรณีและอุทกวิทยา - สมดุลและแนวโน้มระหว่างการจัดหาและความต้องการใช้น้ำบาดาล
2.4 การประเมินพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำ - Ghayoumian et al. (2007) - Anbazhagan et al. (2005)	- ธรณีวิทยา เคมีธรณี สภาพภูมิศาสตร์ สภาพอุทกวิทยา อุตุนิยมวิทยา - ทิศทางและความลาดชันของพื้นผิวน้ำบาดาล หรือพื้นผิวของเส้นแรงดัน - ระยะทางจากแหล่งน้ำที่ใช้เติม จากระบบลำเลียงจากพื้นที่ใช้ประโยชน์จากระบบเติมน้ำจากแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนและจากห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ผู้เชี่ยวชาญ - การใช้ประโยชน์ที่ดินในอดีตและปัจจุบันขอบเขตการปกครองและสาธารณูปโภค - พื้นที่ป่าและสัตว์ป่า สัตว์สงวนต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา - บ่อน้ำบาดาลข้างเคียง

ตารางที่ 1 ขั้นตอนและรายละเอียดของการดำเนินงานในกิจกรรมขั้นต้น (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด
3. การศึกษาเบื้องต้น - Bouwer (2002)	การศึกษาขั้นต้นเป็นการศึกษาถึงความเหมาะสมของโครงการเติมน้ำด้านต่างๆ เช่น อุทกธรณีวิทยา ธรณีเคมี สิ่งแวดล้อม ข้อกำหนดกฎหมายต่างๆ ศึกษาถึงความเป็นไปได้ของโครงการโดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในด้านต่างๆ ในเบื้องต้น
4. การกำหนดวัตถุประสงค์หลักของการเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาล	- การบริหารจัดการน้ำแบบบูรณาการ - การกักเก็บน้ำและสูบขึ้นมาใช้ตามฤดูกาล - การกักเก็บน้ำระยะยาวหรือระยะสั้นหรือเพื่อภาวะฉุกเฉิน - การกักเก็บน้ำเพื่อเพิ่มอัตราการให้น้ำของบ่อสูบน้ำในพื้นที่ - การเพิ่มระดับน้ำบาดาลที่ลดลงไปเมื่อมีการใช้น้ำมากเกินสมดุล - การกักเก็บน้ำเพื่อรักษาแรงดันและอัตราการไหลของระบบจ่ายน้ำหรือในลำน้ำ - การกักเก็บน้ำเพื่อหยุดหรือชะลออัตราการทรุดตัวของดิน - การกักเก็บน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับอุปโภคบริโภคหรือเกษตรกรรรม - การกักเก็บน้ำเพื่อยับยั้งน้ำเค็มที่รุกล้ำเข้ามา - การกักเก็บน้ำเพื่อควบคุมการไหลของน้ำที่ปนเปื้อน - การกักเก็บน้ำเพื่อควบคุมการเกิดน้ำท่วม - การกักเก็บน้ำเพื่อป้องกันที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์ที่อาศัยในน้ำและตามชายฝั่ง
5. การวางกรอบแนวความคิด	การวางกรอบแนวความคิดอธิบายถึงแผนงานหรือส่วนประกอบของโครงการรวมถึงในส่วนของระบบก่อนและหลังการเติมน้ำ กรอบแนวความคิดประกอบด้วย การอธิบายถึงขั้นตอนการปฏิบัติและการทบทวนทางสิ่งแวดล้อม
5.1 การคัดเลือกวิธีการเติมน้ำให้เหมาะสมกับพื้นที่มากที่สุด	กระบวนการพัฒนากรอบแนวความคิดเริ่มจากการพิจารณาทางเลือกต่างๆและเปรียบเทียบกัน แผนงานที่ดีที่สุดจะได้รับการคัดเลือกเพื่อศึกษาต่อไปในขั้นตอนการออกแบบ
5.2 เลือกตำแหน่งที่จะทำการเติมน้ำ	ควรศึกษาหลักการกระบวนการเติมน้ำแบบต่างๆ ศึกษาสภาพพื้นที่ในด้านต่างๆ การพิจารณาเลือกตำแหน่งเติมน้ำพิจารณาองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (1) สภาพแวดล้อมของตำแหน่งเติมน้ำ - ตำแหน่งที่ตั้งของระบบเติมน้ำและสูบกลับควรติดต่อกับชั้นให้น้ำส่วนที่มีความสามารถในการซึมผ่านสูง ควรห่างจากจุดที่น้ำบาดาลมีคุณภาพเลว

ตารางที่ 1 ขั้นตอนและรายละเอียดของการดำเนินงานในกิจกรรมขั้นต้น (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด
5.2 เลือกตำแหน่งที่จะทำการเติมน้ำ (ต่อ)	- สภาพแวดล้อมโดยรอบพื้นที่เติมน้ำ เนื้อที่ของตำแหน่งเติมน้ำต้องเพียงพอสำหรับการขุดเจาะบ่อ เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับบำรุงรักษา การเก็บวัสดุต่างๆ และระบบบำบัดต่างๆที่จำเป็น เช่น การฆ่าเชื้อโรคและการกรอง - แหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนตำแหน่งและการใช้น้ำจากบ่อน้ำบาดาลข้างเคียง (2) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม - ชุมชนเมืองหรือสวนสาธารณะข้างเคียงซึ่งอาจถูกรบกวนจากกลิ่น แมลงและเสียงจากระบบเติมน้ำ หรือโครงสร้างที่อาจได้รับผลกระทบจากการยกตัวของระดับน้ำบาดาล เช่น ฐานราก และชั้นใต้ดิน - แผนทางเลือกทุกแผนการต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดและมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการป้องกันผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในเบื้องต้น
5.3 การแสดงกรอบแนวความคิด	การวางกรอบแนวความคิดควรเป็นแผนงานทั่วไปที่สามารถเข้าใจง่าย โดยแสดงเป็นแผนผังอธิบายถึงระบบพื้นฐานของการเติมน้ำและสูบน้ำกลับมาใช้พร้อมกับรายละเอียดเบื้องต้นของระบบทดสอบการเติมน้ำ เพื่อนำแบบที่จัดทำขึ้นไปใช้ในการประมาณราคาในเบื้องต้นเพื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละตัวเลือก ผลการศึกษาแผนกรอบแนวความคิดควรมีการรวบรวมเป็นรายงานหรือข้อสรุปเบื้องต้น เพื่อชี้แจงรายละเอียดของโครงการต่อสาธารณชน ซึ่งควรประกอบด้วยหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้ - แผนทางเลือกทั้งหมดที่ผ่านการคัดเลือก - ข้อมูลที่ใช้โดยสรุปและแหล่งที่มาของข้อมูลนั้นๆ - หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการพัฒนาแผนทางเลือกที่ได้รับการคัดเลือก - ความคิดเห็นที่ได้จากคณะที่ปรึกษาของท้องถิ่น - ข้อดีและข้อเสียของแผนทางเลือกต่างๆ - ข้อแนะนำสำหรับข้อมูลเพิ่มเติมและการศึกษาหน้างาน - การประมาณราคา - ปัญหาด้านกายภาพ ข้อบังคับ และสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นและการแก้ไขปัญหา
6. การมีส่วนร่วมของสาธารณชน	คณะที่ปรึกษาซึ่งเป็นคนในท้องถิ่นเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาองค์ประกอบของแผนทางเลือกและแผนทางเลือกทั้งหมด สมาชิกของคณะที่ปรึกษาควรเป็นตัวแทนจากส่วนต่างๆของสาธารณชนในพื้นที่ถูกผลกระทบ ในขั้นต้น ควรเริ่มจากการนำเสนอข้อมูลทั่วไปและขั้นตอนการพิจารณาแผนทางเลือก คณะที่ปรึกษาอาจเพิ่มเติม พัฒนา และเปรียบเทียบแผนทางเลือกอื่นตามความเหมาะสม

ตารางที่ 1 ขั้นตอนและรายละเอียดของการดำเนินงานในกิจกรรมขั้นต้น (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด
7. การคัดเลือกแผนการศึกษาในขั้นต่อไป	- แผนทางเลือกทั้งหมดจะนำมาเปรียบเทียบกันในด้านข้อจำกัดต่างๆ ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น จุดประสงค์ของโครงการ และการบรรลุถึงเป้าหมายของโครงการ ควรนำแผนทางเลือกทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีโครงการเกิดขึ้นด้วย - การกำหนดข้อมูลที่ต้องการเพิ่มเติมในกรณีที่ข้อมูลไม่เพียงพอในการคัดเลือกแผนทางเลือกสำหรับการศึกษาในขั้นต่อไป ควรเก็บข้อมูลที่จำเป็นเพิ่มเติมก่อนการคัดเลือกแผนการใดๆ - เมื่อแผนทางเลือกได้รับการคัดเลือกแล้ว การวางกำหนดการ การจัดสรรเงินทุน และการหาข้อมูลเพิ่มเติมเป็นขั้นตอนต่อไปในการศึกษาขั้นรายละเอียด

ตารางที่ 2 กระบวนการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

ขั้นตอน	รายละเอียด
1. การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์ - Botzan et al. (1999) - Donovan et al. (2002)	การเปรียบเทียบระหว่างหน่วยราคาของน้ำที่ผลิตขึ้นจากทางเลือกต่างๆ ร่วมกับค่าใช้จ่ายจากปัจจัยอื่นๆ เช่น คุณภาพน้ำ ความสะดวกในการก่อสร้างและการขออนุญาต ผลกระทบด้านบวกและลบด้านสิ่งแวดล้อม และประโยชน์ของระบบเติมน้ำในอนาคต
1.1 ค่าใช้จ่ายต่างๆ	- ค่าใช้จ่ายในการจัดหาที่ดิน - ค่าใช้จ่ายในการวางแผน - ค่าใช้จ่ายทางด้านวิศวกรรม เกี่ยวกับงานออกแบบ แผนการก่อสร้าง โครงการทดสอบนำร่อง รายงานฉบับสุดท้ายเกี่ยวกับการทดสอบและการก่อสร้าง และการปิดโครงการ - ค่าใช้จ่ายด้านการก่อสร้าง เช่น ค่าใช้จ่ายจากการขุดดินและทำทางลาด ระบบบำบัดน้ำ บ่อน้ำบาดาลเติมน้ำ อาคารปฏิบัติการ เป็นต้น
1.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและการบำรุงรักษา	- ค่าใช้จ่ายในการทดแทนหรือเปลี่ยนอุปกรณ์บางส่วน - ค่าใช้จ่ายในการปิดโครงการ คือ ค่าใช้จ่ายในการเคลื่อนย้ายระบบเติมน้ำทั้งบนผิวดินและใต้ดิน การฟื้นฟูพื้นดินให้กลับสู่สภาพเดิมก่อนเริ่มโครงการ หรือสู่สภาพที่ได้รับการยอมรับจากหน่วยงานที่รับผิดชอบ - การศึกษาความเป็นไปได้ด้านการเงิน หมายถึง ความสามารถของผู้รับผลประโยชน์ที่จะชำระค่าบริการหรือผลผลิตของโครงการ โครงการหนึ่งๆอาจมีความน่าสนใจทางเศรษฐศาสตร์ ในขณะที่ความสามารถด้านการเงินของหน่วยงานผู้สนับสนุนด้านการเงินอาจมีจำกัดทำให้โครงการไม่สามารถจัดสรรทางการเงินได้เพียงพอ

ตารางที่ 2 กระบวนการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด
1.2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและการบำรุงรักษา (ต่อ)	- การวิเคราะห์ด้านการเงินควรแสดงถึงการจัดสรรรายได้จากผู้ให้การสนับสนุนด้านการเงินตลอดทั้งโครงการ - ความเป็นไปได้ด้านการเงินของแต่ละโครงการจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ย ราคาของน้ำ และมูลค่าของความสูญเสีย - โครงการที่มีความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์อาจไม่มีความเป็นไปได้ด้านการเงิน ในกรณีเช่นนี้ แผนทางเลือกที่ควรได้รับการพิจารณาคือแผนที่มีความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์น้อยกว่า แต่มีความเป็นไปได้ด้านการเงินสูงกว่า
2. การศึกษาความเป็นไปได้ด้านวิศวกรรม - Phillips et al. (2003)	- วิธีที่ดีที่สุดคือศึกษาข้อมูลและเอกสารอ้างอิงสำหรับพื้นที่ที่มีศักยภาพ ทบทวนและสรุปข้อมูลเบื้องต้นเหล่านี้ กำหนดข้อมูลที่จำเป็นเพิ่มเติม เก็บข้อมูลจากหน้างาน และสรุปผลทั้งหมดเพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไปในบางกรณีอาจมีความจำเป็นต้องมีการทดสอบหน้างาน โครงการนำร่องและการทดสอบวิเคราะห์เพื่อการกลั่นกรอง - การทดสอบวิเคราะห์อาจทำโดยการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระหว่างขั้นตอนต่างๆ - ผลการทดสอบควรรวบรวมเป็นรายงานพร้อมกับข้อมูล ผลการทดสอบและสรุปพร้อมข้อแนะนำก่อนที่จะดำเนินการศึกษาออกแบบเบื้องต้น

ตารางที่ 3 ขั้นตอนและรายละเอียดของการออกแบบเบื้องต้น

ขั้นตอน	รายละเอียด
1. เกณฑ์การออกแบบสำหรับระบบผิวดิน - Abu-Taleb (2003)	- เมื่ออัตราการไหลของแหล่งน้ำดิบมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูง ควรมีแหล่งเก็บกักไว้ - หากแหล่งน้ำดิบมีปริมาณตะกอนสูงในระหว่างอัตราการไหลสูง น้ำบางส่วนอาจต้องส่งไปบ่อตกตะกอนเพื่อลดปริมาณตะกอน - รูปร่างของสระเติมน้ำและความลึกของน้ำในบ่อซึ่งมีผลต่ออัตราการซึมผ่านสูงสุด - จุดประสงค์ของการออกแบบระบบเติมน้ำแบบสระเติมน้ำคือการทำให้มีค่าสัดส่วนระหว่างระหว่างพื้นที่เปียกต่อพื้นที่ทั้งหมดสูงสุด สระเติมน้ำโดยทั่วไปมีอัตราส่วนประมาณ 75% และสระเติมน้ำในเมืองอัตราส่วนอาจสูงถึง 90% - สำหรับระบบที่มีสระเติมน้ำจำนวนมาก การควบคุมการไหลเข้าสู่สระเติมน้ำและอัตราการไหลระหว่างสระเติมน้ำเป็นสิ่งสำคัญ ควรมีท่อ อุโมงค์ลอด ฝายหรือทางระบายน้ำล้นระหว่างคันกั้นบ่อ - บริเวณด้านท้ายของโครงการควรมีโครงสร้างสำหรับควบคุมและระบายน้ำส่วนที่เหลือกลับลงแหล่งน้ำดิบ - แต่ละบ่อน้ำควรมีการดำเนินการแบบเป็นอิสระต่อกันเพื่อให้การบริหารจัดการดีที่สุด

ตารางที่ 3 ขั้นตอนและรายละเอียดของการออกแบบเบื้องต้น (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด
2. เกณฑ์การออกแบบสำหรับระบบใต้ดิน - มาตรฐานและคู่มือ ทบ พ 3000-2550	- การเลือกขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางขึ้นอยู่กับประเภทของบ่อน้ำบาดาลว่าเป็นบ่อน้ำบาดาลประเภทเติมน้ำเพียงอย่างเดียวหรือบ่อน้ำบาดาลแบบ ASR - ท่อกรุบ่อน้ำบาดาลแบบเติมน้ำควรมีขนาดใหญ่เพียงพอสำหรับใส่ท่อนำและมีพื้นที่เพียงพอสำหรับอุปกรณ์สำหรับบำรุงรักษาหรือพัฒนาบ่อใหม่ด้วย - สำหรับบ่อน้ำบาดาลระบบ ASR บ่อควรมีขนาดใหญ่เพียงพอสำหรับอุปกรณ์เพื่อการสูบน้ำกลับขึ้นมาใช้ - ความลึกของบ่อน้ำบาดาลขึ้นอยู่กับความลึกของชั้นน้ำที่จะใช้สำหรับเก็บกักน้ำที่เติม สำหรับบ่อ ASR ช่วงร่องเปิดหรือตะแกรงกรองน้ำขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการผสมกับระหว่างน้ำที่เติมและน้ำบาดาลเดิม
3. การทดสอบโดยการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการตรวจสอบการเติมน้ำในขั้นตอนนี้เป็นสิ่งที่ควรนำเข้ามาพิจารณาร่วมด้วย
4. การทดสอบโดยโครงการนำร่อง	- การหาค่าตัวแปรทางอุทกวิทยา เช่น อัตราการไหลของลำน้ำและระดับน้ำบาดาลในพื้นที่เก็บกักก่อนเริ่มโครงการ - การเฝ้าสังเกตการณ์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในหลายฤดูกาลสำหรับการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำระดับตื้นและหลายเดือนสำหรับการเติมน้ำในชั้นให้น้ำระดับลึกและการเติมน้ำผ่านลำน้ำ - หากน้ำดิบที่ใช้มาจากน้ำเสียที่นำมาใช้ใหม่การทดสอบและสังเกตการณ์ควรใช้ระยะเวลานานกว่าที่กำหนดไว้เบื้องต้น - สำหรับระบบ ASR ควรทำการทดสอบทั้งการเติมน้ำและสูบกลับมาใช้จำนวนหลายวงจร และสำหรับบ่อน้ำบาดาลเติมน้ำควรทำการทดสอบเป็นระยะเวลาหลายเดือนภายใต้สภาวะปกติ - ระยะเวลาในการทดสอบโครงการนำร่องควรนานพอที่เกิดการตอบสนองของระดับน้ำบาดาล หรือให้ระดับน้ำบาดาลเข้าใกล้จุดสมดุลมากที่สุด - ระบบที่ก่อสร้างในโครงการนำร่องควรมีขนาดใกล้เคียงกับโครงการจริงที่สุด - ข้อมูลที่ต้องเก็บ คือ ระดับน้ำ ทิศทางการไหล แรงดัน และคุณภาพน้ำ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาและค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง จึงต้องมีการวางแผนอย่างรอบคอบ
5. การประเมินศักยภาพในการให้น้ำ	สำหรับแผนทางเลือกต่างๆ ควรดำเนินการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยาโดยใช้หลักการสมดุลของน้ำหรือใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
6. การศึกษาด้านสิ่งแวดล้อม	- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและแนวทางแก้ไขและประมาณการค่าใช้จ่าย - ควรทำการทบทวนและปรับปรุงผลการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งดำเนินการในเบื้องต้นให้ครอบคลุมด้านเศรษฐกิจและสังคม
7. การประเมินแผนทางเลือก	- เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคาดการณ์ของแต่ละแผนทางเลือกกับจุดประสงค์ - เปรียบเทียบผลกระทบทางด้านบวกและลบที่อาจเกิดขึ้นร่วมกับค่าใช้จ่ายและปริมาณการให้น้ำจากแผนทางเลือกต่างๆ

ตารางที่ 3 ขั้นตอนและรายละเอียดของการออกแบบเบื้องต้น (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด
8. รายงาน	- การศึกษาเบื้องต้นทั้งหมดควรบันทึกลงในรายงานอย่างน้อยสองเล่มคือรายงานทางด้านวิศวกรรมและด้านสิ่งแวดล้อม - ควรมีการอธิบายถึงโครงการที่ได้รับการคัดเลือกพร้อมเหตุผลประกอบอย่างชัดเจนและกระชับ - เปรียบเทียบให้เห็นถึงประโยชน์ที่จะได้รับเมื่อมีโครงการเกิดขึ้น - แผนทางเลือกต่าง ๆที่ผ่านการศึกษามาแล้วควรรวบรวมไว้ในรายงาน
9. ประชาพิจารณ์	ควรจัดให้มีการรับฟังความคิดเห็นจากสาธารณชนเกี่ยวกับโครงการที่นำเสนอให้ทั่วถึง ผู้ที่ควรเข้าร่วมการประชาพิจารณ์ประกอบด้วย ผู้มีส่วนร่วมในการตัดสินใจและสมาชิกของคณะที่ปรึกษา ข้อคิดเห็นทุกข้อควรได้รับการพิจารณาและการตอบสนองและรวบรวมไว้ในรายงานฉบับสุดท้ายภายใต้หัวข้อการออกแบบเบื้องต้น

ตารางที่ 4 ขั้นตอนและรายละเอียดของการออกแบบขั้นสุดท้าย

ขั้นตอน	รายละเอียด
1. การปรับปรุงข้อมูลสิ่งแวดล้อม	ในช่วงการออกแบบขั้น ควรมีการทบทวนและรวบรวมปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นไว้ในรายงานผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม
2. อายุการใช้งาน	ควรมีการกำหนดอายุของโครงการ หรือออกแบบให้เป็นโครงการถาวรโดยการออกแบบการบำรุงรักษาและการแทนที่ชิ้นส่วนอุปกรณ์ของระบบต่าง ๆ
3. ทรัพยากรน้ำที่นำมาใช้ได้	- มีข้อมูลช่วงเวลาที่ทรัพยากรน้ำมีปริมาณและคุณภาพสูงพอที่จะใช้เติมเพื่อการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์และการเงินที่ถูกต้อง - ควรพิจารณาถึงการพัฒนาของบริเวณต้นน้ำและผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพของแหล่งน้ำดิบที่ใช้ด้วย
4. แผนการดำเนินการและบำรุงรักษา	ควรมีการออกแบบแผนการดำเนินการ การบำรุงรักษาและการเปลี่ยนอุปกรณ์ชิ้นส่วนของระบบอย่างรอบคอบรวมถึงระบบสังเกตการณ์และการประเมินผลของโครงการเป็นระยะ
5. ร่างรายงานฉบับสุดท้าย	ผลการออกแบบขั้นสุดท้ายควรรวบรวมในเอกสารซึ่งต้องสมบูรณ์ด้วยประเด็นต่อไปนี้ - รายงานควรประกอบด้วยผลสำเร็จที่คาดไว้ เช่น การให้น้ำ และการออกแบบ - วิธีการดำเนินการที่ถูกต้องและเหมาะสม ในเชิงเทคนิค สิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ - เอกสารสำหรับใช้ในการขอใบอนุญาต การขอการสนับสนุนจากหน่วยงานและองค์กร - เอกสารด้านผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม - บทสรุปสำหรับผู้บริหารสำหรับการตัดสินใจ

ตารางที่ 4 ขั้นตอนและรายละเอียดของการออกแบบขั้นสุดท้าย (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด
6. ประชาพิจารณ์	นำเสนอข้อมูลของโครงการอย่างชัดเจนและไม่ซับซ้อนเกินไป ควรนำเสนอผลการศึกษาในรูปแบบแผนภูมิหรือตารางเพื่อให้ง่ายในการทำความเข้าใจ และควรมีการประชาสัมพันธ์ก่อนการทำประชาพิจารณ์
7. รายงานฉบับสุดท้าย	นำร่างรายงานฉบับสุดท้ายมาทำการทบทวนและแก้ไข พร้อมทั้งรวบรวมข้อคิดเห็นที่เกิดขึ้นและการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการทำร่างรายงานและการทำประชาพิจารณ์
8. กำหนดการทบทวนผลสัมฤทธิ์เป็นระยะ	- วางแผนกำหนดการในการเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการในระยะต่างๆกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ - เปรียบเทียบระหว่างข้อคิดเห็นที่เกิดขึ้นในช่วงวางโครงการกับการเปลี่ยนแปลงทัศนคติของประชาชนภายหลังเริ่มโครงการแล้ว
9. การก่อสร้างระบบเติมน้ำ - คู่มือ ทบ พ 3000-2550	- เทคนิคในการก่อสร้างสำหรับระบบเติมน้ำผ่านผิวดินค่อนข้างตรงไปตรงมา ระบบบ่อน้ำบาดาลมีความซับซ้อนทั้งทางด้านการก่อสร้าง การดำเนินการและการบำรุงรักษา

7.4 การดำเนินการและการบำรุงรักษา

ขั้นตอนการดำเนินการและการบำรุงรักษา (ตารางที่ 5) การบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับระบบเติมน้ำผ่านผิวดินระหว่างการดำเนินการเติมน้ำแสดงในตารางที่ 6

7.5 การปิดโครงการ

เมื่อโครงการเติมน้ำมีการปิดลงอย่างถาวร ประเด็นที่สำคัญคือการป้องกันไม่ให้สารปนเปื้อนจากผิวดินเข้าสู่ชั้นน้ำโดยผ่านระบบนี้ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อต้องการปิดบ่อน้ำบาดาลควรทำการเติมวัสดุทึบน้ำลงภายในบ่อและพื้นที่ว่างรอบๆ บ่อ เช่น ซีเมนต์หรือดินเหนียว จากกันบ่อจนกระทั่งถึงปากหลุม (CDWR, 1991; มาตรฐาน ทบ อ 6000-2550 การอุดกลบบ่อน้ำบาดาล)

นอกจากนั้นการทดสอบคุณภาพน้ำควรดำเนินการแม้ภายหลังจากการปิดสระเติมน้ำไปแล้ว เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีสารปนเปื้อนใดๆ สะสมอยู่ระหว่างกระบวนการเติมน้ำ เมื่อพบสารปนเปื้อน ควรมีการวิเคราะห์ถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นและความจำเป็นที่ต้องกำจัดสารปนเปื้อนให้หมดหรือกำจัดเพียงบางส่วนพร้อมกับการบำบัดน้ำให้มีคุณภาพดีพอสำหรับการใช้ประโยชน์ วัสดุใดๆ ที่หลงเหลืออยู่ด้านล่างและด้านข้างของสระเติมน้ำควรกำจัดออกไป ถ้าวัสดุเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพน้ำบาดาล

การใช้ประโยชน์ด้านอื่นจากพื้นที่เติมน้ำ เช่น ทะเลสาบเพื่อการพักผ่อน สถานที่หลบภัยของสัตว์ป่าและสวนสาธารณะ เป็นต้น สระเติมน้ำที่ไม่ได้ใช้งานแล้วไม่ควรนำมาดัดแปลงเป็นพื้นที่สำหรับฝังกลบขยะ

8. คุณภาพน้ำและกระบวนการบำบัดน้ำ

อุปสรรคสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาล คือ การตกตะกอนที่ก้นบ่อ การมีตะกอนแขวนลอย (ความขุ่น) และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำที่ไม่เหมาะสม ช่วงค่าขนาดของอนุภาคและค่าความขุ่นที่มากที่สุดสำหรับระบบเติมน้ำที่เหมาะสมแสดงในตารางที่ 7

วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาคุณภาพน้ำที่อาจเกิดขึ้น เริ่มจากการบำบัดขั้นต้นก่อนการเติมน้ำ การ

บริหารจัดการระบบ และการบำบัดหลังการเติมน้ำ หากมีปัญหาเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจำเป็นต้องมีการทบทวนด้านอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่และทบทวนขั้นตอนการดำเนินการและการบำรุงรักษาอีกครั้ง

วิธีการบำบัดขั้นต้นสำหรับการเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาลโดยผ่านผิวดินที่นิยมใช้กัน คือ การบำบัดทางเคมี บ่อตกตะกอน การกรองโดยใช้หญ้าและดินและพื้นที่ชุ่มน้ำ การบำบัดน้ำขั้นต้นก่อนการการเติมน้ำสำหรับการเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาลโดยผ่านบ่อน้ำบาดาลมีความจำเป็นเช่นกัน การบำบัดขั้นต้นหมายถึง การกรอง การกรองผ่านทราย บ่อตกตะกอน หรือวิธีการอื่นๆ

การฆ่าเชื้อโรคในน้ำอาจจำเป็นถ้าบริเวณพื้นที่เติมน้ำมีน้ำที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ คลอรีนในสารประกอบไฮโปคลอไรท์นิยมใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรค ก๊าซคลอรีนก็สามารถใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรคที่มีประสิทธิภาพเช่นกัน

ประเภทของการบำบัดที่จำเป็นสำหรับน้ำที่สูบกลับขึ้นมาใช้จากระบบเก็บกักน้ำบาดาลจะแปรผันตามคุณภาพของน้ำและความจำเป็นของผู้ใช้น้ำปลายทาง โดยทั่วไปแล้วน้ำเติมลงสู่ใต้ดินจากบ่อน้ำบาดาลโดยระบบ ASR ที่มีคุณภาพเทียบเท่ากับน้ำดื่ม ไม่ต้องมีการบำบัดยกเว้นแต่การฆ่าเชื้อโรค หรือบางครั้งใช้เพียงการปรับความเป็นกรดด่างเท่านั้น

ตารางที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินการและการบำรุงรักษา

ขั้นตอน	รายละเอียด
1. การอบรมสำหรับผู้ควบคุมระบบ	ควรมีการฝึกอบรมให้ผู้ควบคุมระบบมีความรู้ความเข้าใจในประเด็นต่างๆ ดังต่อไปนี้ - ความสำคัญและกระบวนการดำเนินการของทั้งโครงการ - การสำรวจหน้างานของระบบเติมน้ำและสูบกลับมาใช้ - การบันทึกข้อมูลการออกแบบ การก่อสร้าง และการบำรุงรักษา และระบุตำแหน่งที่เก็บข้อมูลเหล่านี้ - คำแนะนำวิธีการบำรุงรักษาเครื่องมือจักรกลต่างๆ - ความเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกิดจากการใช้สารเคมีในโครงการ
2. การเก็บข้อมูลระหว่างการดำเนินการ	ประโยชน์ของการเก็บข้อมูล คือ เพื่อใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพของระบบ ใช้ตรวจสอบว่าระบบได้รับการดำเนินการตามแผนและการออกแบบที่วางไว้หรือไม่ รวมทั้งเป็นตัวแสดงผลการดำเนินงานที่เกิดขึ้น และเพื่อการพัฒนาปรับปรุงระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้ดีขึ้น ข้อมูลที่ต้องตรวจวัดมีดังต่อไปนี้ - อัตราการไหล ช่วงระยะเวลา และคุณภาพของแหล่งน้ำดิบ - อัตราการไหลเข้า ช่วงระยะเวลา และคุณภาพของน้ำเติมเข้าสู่แต่ละหน่วยเติมน้ำ - อัตราการไหล ระยะเวลาและคุณภาพน้ำออกจากระบบเติมน้ำผ่านผิวดิน - อัตราการเติมน้ำต่อเวลาของแต่ละหน่วยเติมน้ำและของทั้งหมด

ตารางที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินการและการบำรุงรักษา (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด
2. การเก็บข้อมูลระหว่างการดำเนินการ (ต่อ)	- ความลึกถึงระดับน้ำบาดาลและคุณภาพของน้ำบาดาลบริเวณตำแหน่งเติมน้ำและโดยรอบพื้นที่เติมน้ำ - พลังงานที่ใช้ในแต่ละหน่วยและทั้งหมด - ความลึกของน้ำในสระเติมน้ำต่อเวลาหรือความลึกของน้ำในบ่อน้ำบาดาลเมื่อไม่ใช้ความดันในการอัดน้ำลงสู่บ่อน้ำบาดาลเติมน้ำ - ความดันต่อเวลาเมื่อมีการใช้ความดันในการอัดน้ำ - ความหนาและส่วนประกอบของชั้นอุดตันก้นสระ เมื่อสระน้ำแห้งปราศจากน้ำในบ่อแล้ว - ปริมาณฝนตกและอัตราการระเหยจากผิวน้ำในสระเติมน้ำ - อุณหภูมิของน้ำที่ตำแหน่งไหลเข้าและออก - เวลา อัตรา และปริมาตรของเครื่องสูบน้ำในแต่ละหน่วย และทั้งหมด
4. การติดตามการดำเนินการของระบบ - Schmidt et al. (2007)	- เปรียบเทียบการดำเนินการจริงของระบบเติมน้ำกับการดำเนินการที่คาดการณ์ไว้เป็นระยะ โดยการแสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สำคัญต่อเวลาเพื่อดูแนวโน้มของตัวแปรเหล่านั้น - เปลี่ยนแปลงกระบวนการเมื่อผลการดำเนินการจริงแตกต่างกับที่วางแผนไว้ - อาจมีการปรับเปลี่ยนปริมาณ ประเภท และความถี่ของการเก็บข้อมูลเพื่อให้คุณภาพของฐานข้อมูลและแบบจำลองที่ใช้ทำนายดีขึ้น - ควรทำการประเมินอัตราการเติมน้ำทุกครั้งหลังจากมีการฟื้นฟูระบบ - ควรมีการติดตามผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเติมน้ำในด้านคุณภาพน้ำและสิ่งแวดล้อมระหว่างช่วงดำเนินการด้วย
5. การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน - คู่มือ ทบ พ 9000-2550 - ตารางที่ 6	- การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน หมายถึงการบำรุงรักษาเป็นช่วงเวลาเพื่อหลีกเลี่ยงการซ่อมแซม หรือยืดระยะเวลาการเปลี่ยนทดแทนชิ้นส่วนเดิมที่มีการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน - การบำรุงรักษาเชิงป้องกันยังเกี่ยวข้องกับการสังเกตการณ์และบันทึกการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรสำคัญต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบสัญญาณที่บ่งบอกถึงความจำเป็นที่ต้องมีการบำรุงรักษาก่อนระยะเวลาอันควร สัญญาณเหล่านี้ เช่น การลดลงของอัตราการเติมน้ำอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิของอุปกรณ์เครื่องกลที่สูงขึ้น ปริมาณหรือจำนวนการรั่วไหลของของเหลว หรือการเกิดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เป็นต้น - การบำรุงรักษาเชิงป้องกันควรมีกำหนดการเป็นประจำและอาจดำเนินการระหว่างช่วงเวลาเติมน้ำหรือเมื่อหยุดพักการเติมน้ำ

ตารางที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินการและการบำรุงรักษา (ต่อ)

ขั้นตอน	กระบวนการและรายละเอียด
6. การบำรุงรักษา	
6.1 การบำรุงรักษาระบบเติมน้ำผิวดิน - Mousavi and Rezai (1999)	- เมื่ออัตราการซึมผ่านผิวดินช้าลง จะต้องทำการขุดลอกกันสระ วัตถุที่ลอกออกจากกันสระเติมน้ำอาจประกอบไปด้วยสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ทำให้เกิดโรค ดังนั้นควรระมัดระวังในการเคลื่อนย้ายและกำจัดวัตถุเหล่านี้ - บางกรณีการขูดหรือพรวนกันบ่อก็เพียงพอ ไม่ต้องลอกตะกอนจากกันบ่อ - การเจริญเติบโตของสาหร่ายสามารถควบคุมได้โดยการใช้สารคอปเปอร์ซัลเฟตหรือสารเคมีอื่นๆ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำ ในบางกรณีคอปเปอร์อาจตกตะกอนที่กันบ่อและทำให้เกิดปัญหาการอุดตันตามมาได้ - การทำความสะอาดที่เหมาะสมที่สุดคือการกำจัดวัตถุสะสมบนผิวหน้าของกันสระที่ทำให้ประสิทธิภาพการเติมน้ำลดลง - อาจใช้ทรายหรือก้อนกรวดขนาดเล็กรองที่กันสระก่อน เพื่อลดปัญหาความลึกของสระเติมน้ำจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการขุดลอกตักหน้าดินเดิมออกไประหว่างการทำความสะอาด
6.2 การบำรุงรักษาบ่อเติมน้ำ - คู่มือ ทบ พ 9000-2550	- เมื่อเริ่มต้นระบบอาจมีการเติมคลอรีนลงสู่ชั้นหินอุ้มน้ำเพื่อทำการฆ่าเชื้อโรครอบๆ บ่อน้ำบาดาลเติมน้ำด้วยอัตราการเติมคลอรีนสูงเป็นระยะเวลาสั้นๆ - การเติมคลอรีนที่ใช้เพื่อการฆ่าเชื้อโรคนั้นควรมีปริมาณคลอรีนหลงเหลือประมาณ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำที่เติม - การใช้คลอรีนเพื่อการฆ่าเชื้อโรคนั้นควรพิจารณาประกอบด้วยว่าคลอรีนที่เติมเข้าไปจะทำให้เกิดสารประเภท Trihalomethanes และกรด Haloacretics
6.3 การป้องกันการสึกกร่อน	- ปัจจัยซึ่งแสดงถึงความสามารถในการกัดกร่อนจากน้ำที่ต้องพิจารณา เช่น ค่าความเป็นกรดด่างต่ำแสดงถึงน้ำมีคุณสมบัติเป็นกรด ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำ ปริมาณของแข็งละลายน้ำสูง (มากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร) คาร์บอนไดออกไซด์เกินกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร คลอไรด์เกินกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตรและอุณหภูมิของน้ำในบ่อน้ำบาดาลสูง - ถ้าพบปัจจัยข้างต้นในพื้นที่เติมน้ำ ควรพิจารณาวิธีการป้องกันการกัดกร่อน เช่น การใช้เหล็กประเภททนต่อการกัดกร่อน ท่อกรุ ท่อกรองซึ่งไม่เป็นโลหะ การใช้ท่อกรุ ท่อกรองโลหะที่มีความหนาหรือการชุบผิวโลหะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการป้องกันการกัดกร่อนของบ่อน้ำบาดาล - อีกทางเลือกหนึ่งคือการก่อสร้างบ่อน้ำบาดาลโดยการใช้ท่อพีวีซี โดยทั่วไปแล้วการใช้พีวีซีมีราคาต่ำกว่าและลดปัญหาที่เกิดจากการอุดตันจากการกัดกร่อนโลหะ

ตารางที่ 6 การบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับระบบเติมน้ำผ่านผิวดินระหว่างการดำเนินการเติมน้ำ

ช่วงระยะเวลา	การตรวจสอบ บำรุงรักษาเชิงป้องกัน
ประจำวัน	- ระดับน้ำหรือความลึกของน้ำในสระเติมน้ำ - สีและความขุ่นของน้ำไหลเข้าระบบ - การเก็บตัวอย่างคุณภาพของน้ำไหลเข้า
ประจำสัปดาห์	- การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเก็บกักหักลบการระเหย - การเปลี่ยนแปลงอัตราการซึมผ่าน - การเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำในสระเติมน้ำ - สภาพของคันกั้นน้ำ ท่อรอง และอื่นๆ
ประจำเดือน	- การบำรุงรักษาเครื่องสูบน้ำ ประตูน้ำ วาล์ว และอื่นๆ - ระดับน้ำโดยรอบโครงการ

ตารางที่ 7 ช่วงค่าขนาดอนุภาคและความขุ่นที่เหมาะสมสำหรับระบบเติมน้ำประเภทต่างๆ

ประเภทของชั้นน้ำ	วิธีการเติมน้ำ	ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	ความขุ่น (NTU)	ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS) (มก./ลิตร)
ตะกอนกรวดทรายและดินเหนียว	สระเติมน้ำ/ลำน้ำ	100 – 500	5 – 10	
	บ่อน้ำบาดาลเติมน้ำ	10 – 100		0 – 3
	ระบบ ASR	10 – 100		0 – 5
หินปูนที่มีโพรง	บ่อน้ำบาดาลเติมน้ำ	100 – 500		0 – 5
	ระบบ ASR	100 – 500		0 – 10
หินแข็งที่มีรอยแตก	บ่อน้ำบาดาลเติมน้ำ	100 – 300		0 – 5
	ระบบ ASR	100 – 300		0 – 5

หมายเหตุ NTU คือ หน่วยวัดความขุ่น (Nephelometric Turbidity Units)
(ดัดแปลงจาก Asano,1985)

9. ระบบการฝากน้ำและสูบกลับ (ASR)

9.1 ประเภทของชั้นน้ำที่เหมาะกับระบบการฝากน้ำและสูบกลับ

โดยทั่วไปแล้วระบบการฝากน้ำและสูบกลับง่ายที่จะบริหารจัดการในชั้นน้ำที่เป็นหินแข็ง เนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีตะแกรงกั้นและกรวดกรองในชั้นหินแข็ง ชั้นน้ำแบบหินที่มีรอยแตกสามารถใช้ในระบบนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีอัตราการฝากน้ำที่สูงกว่าอัตราการสูบน้ำกลับขึ้นมาใช้ ชั้นหินอุ้มน้ำแบบไม่แข็งตัวซึ่งมีองค์ประกอบของกรวดและทรายขนาดใหญ่ก็มีความเหมาะสมเช่นกัน แต่ต้องเฝ้าระวังการรั่วไหลของสารปนเปื้อนจากปากบ่อฝากน้ำ การใช้ระบบการฝากน้ำและสูบกลับในชั้นน้ำแบบไม่แข็งตัวซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นทรายหรือดินเม็ดเล็กเป็นปัญหาสำคัญ น้ำดิบสำหรับการฝากต้องมีธาตุสารอาหารของพืชและปริมาณของแข็งแขวนลอยในปริมาณที่ต่ำมาก โดยทั่วไปแล้วชั้นน้ำแบบมีแรงดันจะเหมาะสมกว่าชั้นหินอุ้มน้ำแบบไร้แรงดันเนื่องจากคุณภาพน้ำในชั้นน้ำแบบมีแรงดันมีการปกป้องจากการถูกปนเปื้อนมากกว่า

9.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบการฝากน้ำและสูบกลับ

ประกอบด้วยโครงสร้างพื้นฐาน ดังนี้

- อาคารผันน้ำจากลำน้ำ ช่องระบายน้ำและแหล่งน้ำดิบ
- ระบบควบคุมอัตราการไหลของอาคารผันน้ำเพื่อควบคุมอัตราการไหลอยู่ในขอบข่ายที่ต้องการ
- พื้นที่กักน้ำ บ่อเก็บกัก เขื่อนหรือสระน้ำสำหรับเก็บกักน้ำ
- ทางระบายน้ำล้นติดตั้งในพื้นที่กักน้ำ บ่อเก็บกัก เขื่อนหรือบ่อน้ำ
- ระบบบำบัดน้ำก่อนการฝากน้ำ
- บ่อน้ำบาดาลสำหรับฝากน้ำและสูบกลับ
- บ่อสังเกตการณ์ใกล้บ่อฝากน้ำ ในกรณีที่มีแนวโน้มจะเกิดการอุดตันและบริเวณท้ายน้ำ
- วาล์วหรือเครื่องมือ anticavitation บนระบบฝากน้ำ
- ระบบสังเกตการณ์เพื่อตรวจวัดและบันทึกระดับน้ำ ปริมาณและคุณภาพน้ำที่ฝากลงไปและที่สูบกลับขึ้นมา
- ช่องสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำจากท่อฝากและสูบกลับ
- ระบบควบคุมเพื่อปิดการเติมน้ำเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินขึ้น
- ระบบควบคุมหรือบำบัดและนำกลับไปใช้ใหม่ของน้ำที่ขจัดออกจากบ่อฝากน้ำ
- ระบบบำบัดสำหรับน้ำที่สูบกลับขึ้นมา

9.3 องค์ประกอบอื่นๆ

กระบวนการและขั้นตอนระบบฝากและสูบกลับให้ใช้แนวทางเดียวกับระบบเติมน้ำลงสู่แหล่งน้ำบาดาลที่ได้อธิบายไว้ในขั้นต้น องค์ประกอบของโครงการ การฝากน้ำและสูบกลับ ควรรวมถึงแผนการบริหารเพื่อจัดการความเสี่ยงเพื่อประเมินและจัดการความเสี่ยงที่เกิดจากการปนเปื้อนน้ำบาดาลและคุณภาพน้ำที่สูบกลับขึ้นมาใช้ไม่ได้มาตรฐาน การบริหารความเสี่ยงประกอบไปด้วย

- คณะทำงานที่มีความรู้และประสบการณ์
- การกำหนดคุณสมบัติน้ำที่สูบกลับขึ้นมาใช้และกระบวนการผลิต
- การระบุประโยชน์ใช้สอยของน้ำที่สูบกลับขึ้นมา
- ขั้นตอนและกระบวนการประเมินโครงการ
- การระบุสิ่งที่เป็นอันตรายและประเมินความเสี่ยงจากแหล่งกำเนิดต่อระบบจ่ายน้ำ
- การกำหนดตำแหน่งควบคุมที่สำคัญ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สามารถใช้ในการตรวจสอบอันตรายต่างๆ ที่ระบุไว้ในขั้นต้นได้
- การกำหนดขอบเขตค่าสูงสุดและต่ำสุดของตัวแปรที่สำคัญในการตรวจสอบระบบ
- การพัฒนาสิ่งจำเป็นและความต้องการของระบบตรวจสอบสำหรับแต่ละตำแหน่งควบคุม
- การกำหนดแนวทางปฏิบัติเพื่อแก้ไขปัญหา เมื่อค่าตัวแปรต่างๆ ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด
- การจัดตั้งกระบวนการสำหรับการจัดการข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดและบันทึกไว้
- การพัฒนาระเบียบการเพื่อตรวจสอบว่าระบบได้ผลิตน้ำที่อยู่ในมาตรฐานที่ต้องการ

การเพิ่มขั้นตอนการป้องกันในกระบวนการของระบบการฝากน้ำและสูบกลับ จะเป็นการเพิ่มความมั่นใจว่าสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ได้รับการปกป้อง แนวทางการป้องกันน้ำบาดาลและและน้ำที่สูบกลับมาใช้สำหรับโครงการการฝากน้ำและสูบกลับมีดังแสดงในตารางที่ 8

สิ่งจำเป็นในการเฝ้าระวังเพื่อปกป้องคุณภาพน้ำบาดาลให้เหมาะสมกับจุดประสงค์การใช้งาน และแผนรองรับเมื่อความผิดพลาดใดๆ เกิดขึ้น

นอกจากนั้น ยังมีความจำเป็นเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพตรงตามแผนที่วางไว้ คือ มีปริมาณของน้ำฝากและสูบกลับที่เหมาะสมและแรงดันฝากอยู่ในขอบเขตที่อนุโลมได้ การเฝ้าระวังด้านคุณภาพน้ำขึ้นอยู่กับผลที่ตามมาและความเสี่ยงจากการถูกปนเปื้อนของสารใดๆ ตำแหน่งควบคุมที่สำคัญสำหรับการเฝ้าระวัง คือ น้ำผิวดินด้านเหนือน้ำจากบ่อเก็บกักน้ำและในท่อลำเลียงน้ำเข้าระบบ ดัชนีที่ควรวัดเป็นประจำ คือ การนำไฟฟ้า ความเค็ม ความขุ่น อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง ออกซิเจนละลายน้ำ รวมถึงแรงดันและอัตราการไหล สิ่งปนเปื้อนอื่นๆ เช่น ยาฆ่าแมลง เชื้อโรค หรือโลหะหนัก ควรทำการตรวจวัดด้วย

ตารางที่ 8 แนวทางการป้องกันแหล่งกักเก็บน้ำของระบบฝากน้ำและสูบกลับ

ลำดับที่	การป้องกัน	รายละเอียด
1	การประเมินสิ่งปนเปื้อนหรืออันตรายที่อาจปะปนมากับแหล่งน้ำดิบของระบบ และคุณลักษณะของสิ่งปนเปื้อนนั้นๆ	โดยทั่วไปแล้วจะขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณพื้นที่เก็บกักน้ำและประเภทของอุตสาหกรรมในพื้นที่เก็บกักน้ำเสียสำหรับระบบการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่
2	การคัดเลือกแหล่งน้ำดิบ	ตามหลักการแล้วแหล่งน้ำดิบควรมาจากพื้นที่เก็บกักน้ำควบคุมซึ่งศักยภาพในการถูกปนเปื้อนจะต่ำ
3	การคัดเลือกชั้นน้ำ	ชั้นน้ำซึ่งมีน้ำบาดาลเป็นน้ำกร่อยเหมาะสำหรับ การฝากน้ำและสูบกลับ ด้วยน้ำฝนหรือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด เพื่อการสูบกลับมาใช้นอกเหนือจากการอุปโภคบริโภค สำหรับชั้นน้ำที่มีคุณภาพน้ำเหมาะสมสำหรับการอุปโภคบริโภคอยู่แล้วควรมีการป้องกันอย่างดีที่สุด
4	บ่อพักน้ำ	สามารถลดการแปรปรวนของคุณภาพน้ำและบรรเทาการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำบาดาลได้ระดับหนึ่ง
5	ระบบบำบัดก่อนการฝากน้ำ	การเปรียบเทียบระหว่างคุณภาพน้ำบาดาลเดิมพร้อมกับคุณสมบัติของชั้นน้ำและน้ำที่ฝากลงไปสามารถบ่งบอกถึงความจำเป็นที่ต้องมีระบบบำบัดก่อนการอัดน้ำ ควรเข้าใจในปฏิกิริยาทางปฐพีชีววิทยาที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการฝากน้ำเข้าไปสู่ชั้นน้ำ เพื่อนำมาวิเคราะห์ความจำเป็นของระบบการบำบัดก่อนการฝากน้ำ
6	ระบบปิดการฝากน้ำ	เมื่อระดับน้ำในบ่อฝากน้ำ ความดันของน้ำที่ฝาก คุณภาพน้ำที่ใช้ฝาก เกินกว่าค่าที่อนุโลมได้
7	แผนสำรองและการบำรุงรักษา	การป้องกันบ่อน้ำผิวดินจากการถูกปนเปื้อน การปรับเทียบและบำรุงรักษาอุปกรณ์สังเกตการณ์ต่างๆ เครื่องสูบน้ำ อุปกรณ์ในระบบบำบัดน้ำก่อนการฝากน้ำ การพัฒนาบ่อฝากน้ำใหม่ หรือการแก้ปัญหาการตกตะกอนในบ่อเก็บกักน้ำเป็นต้น
8	การบำบัดน้ำที่สูบกลับ	การบำบัดน้ำดิบที่สูบขึ้นมาจำเป็นต้องอาศัยการเปรียบเทียบระหว่างคุณภาพน้ำที่สูบกลับขึ้นมาและมาตรฐานน้ำสำหรับจุดประสงค์การใช้งาน
9	การเฝ้าระวัง	การสังเกตการณ์ไม่ใช่เป็นการป้องกันความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น แต่เป็นการดำเนินการเพื่อตรวจสอบขั้นตอนต่างๆที่กล่าวมาในขั้นต้น เช่น การวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ฝากและน้ำที่สูบกลับขึ้นมา

10. กรณีศึกษา

กรณีศึกษาของระบบฝากน้ำและสูบน้ำกลับแสดงโดยสรุปไว้ในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สรุปกรณีศึกษาของระบบฝากน้ำและสูบน้ำกลับ

ที่ตั้งโครงการ	สภาพธรณีวิทยา	สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (ตร.ม./วัน)	TDS น้ำเข้าระบบ (มก./ล.)	ปัญหาการอุดตันของระบบ	จุดประสงค์หลักของระบบเติมน้ำ
Highline - Seattle, USA	ทรายและกรวด	277	1.0 – 4.0	มี - เกิดจากสาหร่ายในน้ำดิบ	ความต้องการน้ำใช้ตามฤดูกาล
Columbia South Shore - Portland, USA	ทรายและกรวด	251	1.0 – 1.67	กำลังตรวจสอบ	ความต้องการน้ำใช้ตามฤดูกาล
Beaverton, Oregon, USA	หินภูเขาไฟ	1,242	1.0 – 10.0	ไม่มี - มีการพัฒนาบ่อเป็นประจำ	ความต้องการน้ำใช้ตามฤดูกาล
Salem - Oregon, USA	หินภูเขาไฟ	2,973	0.3 – 1.0	ไม่มี - มีการพัฒนาบ่อเป็นประจำ	น้ำประปาฉุกเฉิน
Salt Lake City - Utah, USA	ทรายและกรวด (ชั้นน้ำไร้แรงดัน)	460	< 1.0	น้อย - สาหร่ายในน้ำดิบ	ความต้องการน้ำใช้ตามฤดูกาล
Huron - South Dakota, USA	ทราย	372	ไม่รายงาน	น้อย	ฟื้นฟูระดับน้ำใต้ดิน
Washoe County - Nevada, USA	ทราย	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	น้อย	ความต้องการน้ำใช้ตามฤดูกาล
Oak Creek - Wisconsin, USA	หินทราย	305	< 1.0	มี - จากของแข็งแขวนลอย	ความต้องการน้ำใช้ตามฤดูกาลและสูงสุด
Hilton Head Island - South Carolina, USA	หินปูน	3,530	1.0 – 2.0	มี - จากของแข็งแขวนลอยและปัญหาชลศาสตร์	ความต้องการน้ำใช้ตามฤดูกาลและสูงสุด
Myrtle Beach - South Carolina, USA	ทราย	149	1.0 – 1.5	มี - จากของแข็งแขวนลอยและจุลชีพ	ความต้องการน้ำใช้ตามฤดูกาล
Lychett Minster - England	หินชอล์ก	200	< 1.0	ไม่มี	ความต้องการน้ำใช้ตามฤดูกาล

(ดัดแปลงจาก Brown et al., 2006)

11. เอกสารอ้างอิง

Anbazhagan, S., Ramasamy, S. M., and Das Gupta, S. 2005. Remote Sensing and GIS for Artificial Recharge Study, Runoff Estimation and Planning in Ayyar Basin, Tamil Nadu. India Environ Geol, 48: 158-170.

Asano, T., 1985. Artificial Recharge of Groundwater, Butterworth Publishers, Boston, 767 pp.

Abu-Taleb, M. F., 2003. Recharge of Groundwater through Multi-stage Reservoirs in a Desert Basin, Environmental Geology, 44:379-390.

Brown, C.J., Hatfield, K., Newman M., 2006. Lessons Learned from a Review of 50 ASR Projects from the United States, England, Australia, India, and Africa. 2006 UCOWR Annual Conference Increasing Freshwater Supplies, Santa Fe, New Mexico, USA.

Botzan, T.M., Necula, A.I., Marino, M.A., Basagaoglu, H., 1999. Benefit-Cost Model for an Artificial Recharge Scenario in the San Joaquin Valley, California. Water Resources Management 13: 189–203.

Bouwer, H., 2002. Artificial Recharge of Groundwater : Hydrogeology and Engineering, Hydrogeology Journal, 10:121–142.

Bouwer, H., and Rice, R. C., 1989. Effect of Water Depth in Groundwater Recharge Basins on Infiltration Rate, Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 115(4): 556-568.

California Department of Water Resources (CDWR), 1991. California Well Standards, Water Wells, Monitoring Wells, Cathodic Protection Wells, Bulletin 74-90, Sacramento, CA.

Dillon, P. and Molloy, R., 2006. Developing Aquifer Storage and Recovery (ASR) Opportunities in Melbourne, Technical Guidance for ASR, CSIRO Land and Water Science Report 4/06.

Donovan, D.J., Katzer, T., Brothers, K., Cole, E., and Johnson, M., 2002. Cost-Benefit Analysis of Artificial Recharge in Las Vegas Valley, Nevada, J. Water Resour. Plng. and Mgmt., 128 (5): 356-365.

Ghayoumian, J., Mohseni Saravi, M., Feiznia, S., Nouri, B., and Malekian, A., 2007. Application of GIS Techniques to Determine Areas Most Suitable for Artificial Groundwater Recharge in a Coastal Aquifer in Southern Iran, Journal of Asian Earth Sciences, 30: 364–374.

Mousavi, S.F., and Rezai, V., 1999. Evaluation of Scraping Treatments to Restore Initial Infiltration Capacity of Three Artificial Recharge Projects in Central Iran, Hydrogeology Journal, 7:490-500.

Phillips, S.P., Carlson, C.S., Metzger, L.F., Howle, J.F., Galloway, D.L., Sneed, M., Ikehara, M.E., Hudnut, K.W., and King, N.E., 2003. Analysis of Tests of Subsurface Injection, Storage, and Recovery of Freshwater in Lancaster, Antelope Valley, California. USGS, Water-Resources Investigations Report 03-4061 Sacramento, CA.

Roscoe Moss Company, 1990. Handbook of Ground Water Development, John Wiley & Sons, Inc., Los Angeles, CA.

Todd, D. K., 1982. Groundwater Hydrology, 2ed. John Wiley and Sons, 535p.

Schmidt Ross, H.C, Ziegler, A.C., and Parkhurst, D.L., 2007. Geochemical Effects of Induced Stream-Water and Artificial Recharge on the Equus Beds Aquifer, South-Central Kansas, 1995-2004. USGS Scientific Investigations Report 2007-5025.

คู่มือ ทบ อ 4002-2550
การสร้างระบบกักเก็บน้ำใต้ดินด้วยเขื่อนใต้ดิน

คู่มือ ทบ อ 4002-2550 เป็นคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล (อ) ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง "2550" หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้ใส่วงเล็บต่อท้ายและระบุ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย [(n)] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย [(ป)] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

การสร้างเขื่อนใต้ดินเป็นวิธีการหนึ่งที่คนสมัยโบราณใช้แก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ ในเขตร้อนและแห้งแล้ง การสร้างเขื่อนใต้ดินเป็นวิธีการอนุรักษ์น้ำใต้ดิน โดยการกักเก็บน้ำไว้ในชั้นดิน/หินอุ้มน้ำธรรมชาติ หรือกักเก็บไว้ในชั้นตะกอนทรายที่สะสมตื้นเขินในเหมืองฝาย โดยกักเก็บน้ำส่วนเกินที่มีในช่วงฤดูฝนและน้ำที่กักเก็บไว้สามารถนำมาใช้ในช่วงฤดูแล้ง โดยใช้ระบบบ่อสูบน้ำบาดาล

2. ขอบเขต

คู่มือนี้เจตนาจะให้เป็นคู่มืออ้างอิงเชิงแนวคิดและเชิงหลักการทางวิชาการสำหรับบุคลากรที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการอนุรักษ์แหล่งน้ำบาดาล จุดประสงค์เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานที่ยังใหม่ในสาขานี้มีเข้าใจในหลักการและแนวคิดในเรื่องนี้ คู่มือนี้ไม่กล่าวรวมถึงรายละเอียดการออกแบบหรือการดำเนินการทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง แต่จะกล่าวถึงหลักการโดยทั่วไปและข้อมูลด้านต่าง ๆ ที่ใช้ในการพิจารณาประกอบการออกแบบก่อสร้างเขื่อนใต้ดิน

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 Archwichai, L., Youngme, W., Wannakhao, L., Buaphan, C., Hokjaroen, S., and Wannakha, P., 1991. Integrated geotechnical and geophysical investigations of the groundwater dam at Ban Wa, Khon Kaen: A case study, Journal of Thai Geosciences, vol. 1 , No. 1, pp. 1-10.

3.2 Archwichai, L., Mantapan, K., and Srisuk, K., 2005. Approachability of subsurface dams in the Northeast Thailand, Proceedings of the International Conference on Geology, Geotechnology and Mineral Resources of Indochina (GEOINDO 2005), 28-30 November, Khon Kaen, Thailand, pp. 149-155.

3.3 Veterinaires San Frontieres (VSF), 2006. A Manual on Subsurface Dams Construction Based on an Experience of Veterinaires San Frontieres in Turkana District (Kenya), VSF-Belgium and Turkana Livestock Development Project (TLDP), 51 p.

4. ความสำคัญและการใช้งาน

ใช้เป็นคู่มืออ้างอิงเชิงแนวคิดและหลักการในการพิจารณาสำรวจข้อมูลประกอบการออกแบบก่อสร้างเขื่อนใต้ดินเพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำบาดาล

5. หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับเขื่อนใต้ดิน

เขื่อนใต้ดินเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรมที่ใช้กักกันน้ำใต้ดิน ทำให้เกิดเป็นอ่างหรือแหล่งน้ำใต้ดิน

หลักการก็คือ แทนที่จะกักเก็บน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำบนผิวดิน ก็สร้างสิ่งกีดขวางใต้ดินไว้กักเก็บน้ำใต้ดิน การเก็บน้ำไว้ในเขื่อนใต้ดิน ทำให้การระเหยของน้ำเกิดได้ยาก ระเหยได้น้อยกว่าน้ำที่เก็บบนอ่างบนดิน ปัญหาเรื่องน้ำท่วมพื้นที่ก็ไม่มีเหมือนการสร้างเขื่อนบนผิวดิน

เขื่อนใต้ดินอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ “เขื่อนใต้ดิน” (subsurface dam) และ “เขื่อนกักทราย” (sand storage dam) เขื่อนใต้ดินสร้างขึ้นเพื่อกักกันการไหลและกักเก็บน้ำใต้ดินไว้ในชั้นน้ำ ช่วยทำให้การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินเหนือคันกักกันเกิดขึ้นไม่มาก เขื่อนใต้ดินจะสร้างให้แนวสันคันกักกันน้ำตลอดแนวอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดิน ดังแสดงในรูปที่ 1

เขื่อนกักทราย ส่วนมากมักสร้างให้คันกักทรายโผล่พ้นผิวดิน สร้างกั้นลำห้วยที่มีน้ำไหลบางฤดูกาล ดินทรายและตะกอนดินอื่นๆ จะไหลมาตกสะสมตัวกันในช่วงฤดูฝน และกักเก็บไว้ ในขณะเดียวกัน น้ำก็จะถูกกักเก็บไว้ในชั้นตะกอนดินนั้นด้วย (รูปที่ 2) เขื่อนกักทรายส่วนมากจะสร้างทีละชั้นเพื่อให้ทรายมาสะสมจนเต็มและปล่อยให้ดินตะกอนเม็ดละเอียดโดนชะล้างไป แล้วค่อยสร้างต่อคันขึ้นเรื่อยๆ

เขื่อนใต้ดิน อาจสร้างผสมผสานกันระหว่างเขื่อนทั้งสองประเภทนี้ เมื่อสามารถหาแหล่งที่เหมาะสมในการสร้างเขื่อนใต้ดิน ในการก่อสร้าง วิธีที่สะดวกที่สุดคือใช้วิธีขุดร่องตัดแนวลำห้วย หรือแนวลำห้วยโบราณ (burried channel) ขุดร่องให้ลึกถึงชั้นที่ทึบน้ำ แล้วจึงก่อสร้างกำแพงกันน้ำตามแนวร่องนั้น จากนั้นจึงทำการกลบดินกลับคืนพร้อมบดอัด คันกันน้ำใต้ดินนี้อาจมีความสูง ตั้งแต่ 2 - 10 เมตร

กำแพงกันน้ำ สามารถสร้างจากวัสดุหลายชนิด เช่น ดินเหนียว ปูนซีเมนต์ หินฉาบดินเหนียว กำแพงหิน แผ่นพลาสติกหรือ geomembranes เช่น แผ่นยางพารา ชั้นยางมะตอยหรือกำแพงดินซีเมนต์ (soil-cement secant diaphragm wall) ในกรณีที่ก่อสร้างกำแพงมีความลึกมากๆ หรือกรณีสร้างเขื่อนใต้ดินขนาดใหญ่ (Imaizumi et al., 1999; Ishida, 2005) ดังแสดงในรูปที่ 5

อ่างเก็บน้ำเขื่อนใต้ดินจะรับน้ำจากการซึมลงดินจากฝนตก โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน น้ำที่กักเก็บไว้ในเขื่อนใต้ดิน สามารถนำขึ้นมาใช้ได้โดยการพัฒนาบ่อบาดาลในบริเวณนั้น เมื่ออ่างเขื่อนใต้ดินเต็ม น้ำใต้ดินส่วนเกิน จะไหลล้นคันกักกั้นไปสู่ชั้นน้ำด้านท้ายเขื่อน (รูปที่ 1)

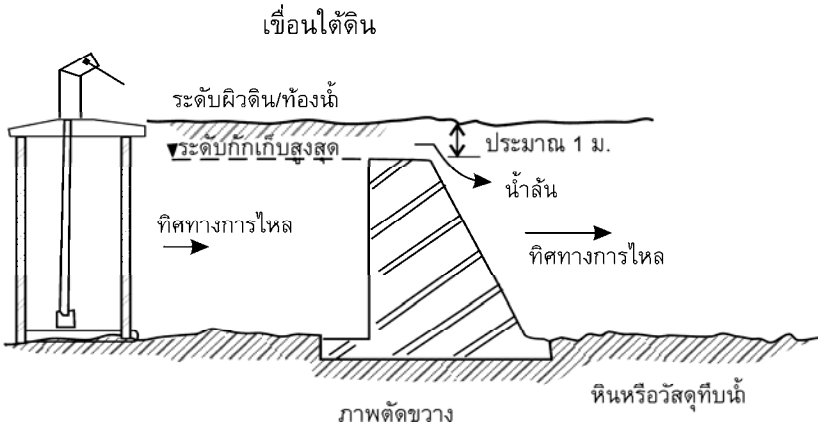
6. เกณฑ์การเลือกพื้นที่เพื่อพัฒนาเขื่อนใต้ดิน

ในการก่อสร้างเขื่อนใต้ดิน จำเป็นต้องมีแหล่งก่อสร้างที่มีสภาพพื้นที่ที่มีความเหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไปแหล่งที่เหมาะสมในการสร้างเขื่อนใต้ดิน จะต้องมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้คือ

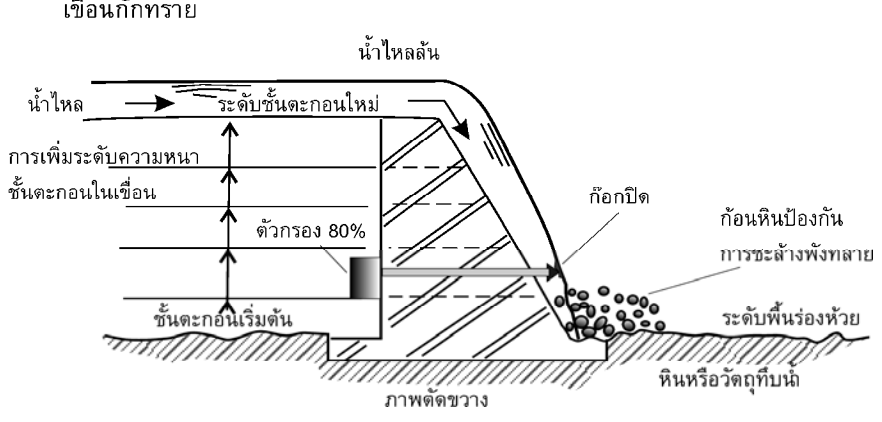
6.1 ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา

แหล่งก่อสร้างเขื่อนใต้ดินที่เหมาะสมควรมีลักษณะดังนี้

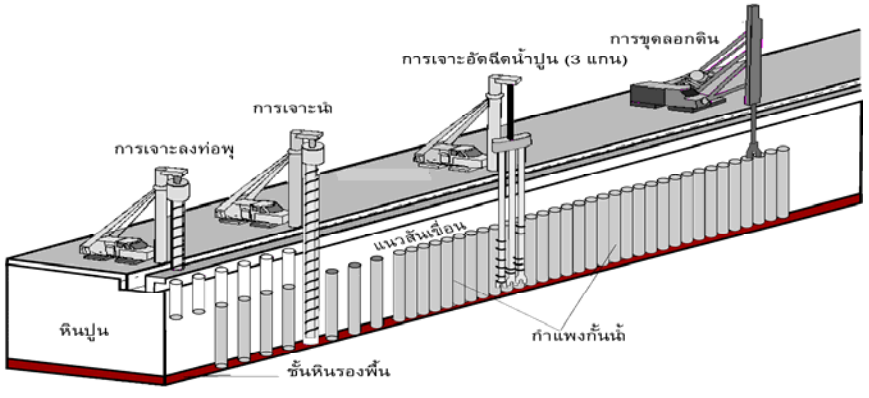
- มีสภาพการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินค่อนข้างสูงระหว่างฤดูกาล
- มีชั้นน้ำกระจายกว้างขวางในพื้นที่
- ชั้นน้ำมีค่าความพรุนประสิทธิผลและมีค่าการซึมสูง
- ชั้นหินรองรับและชั้นหินด้านข้างขอบอ่างน้ำใต้ดินต้องรั่วซึมได้น้อยหรือไม่รั่วซึมเลยเพื่อป้องกันการรั่วซึมออกทางด้านข้าง และทางด้านพื้นอ่าง



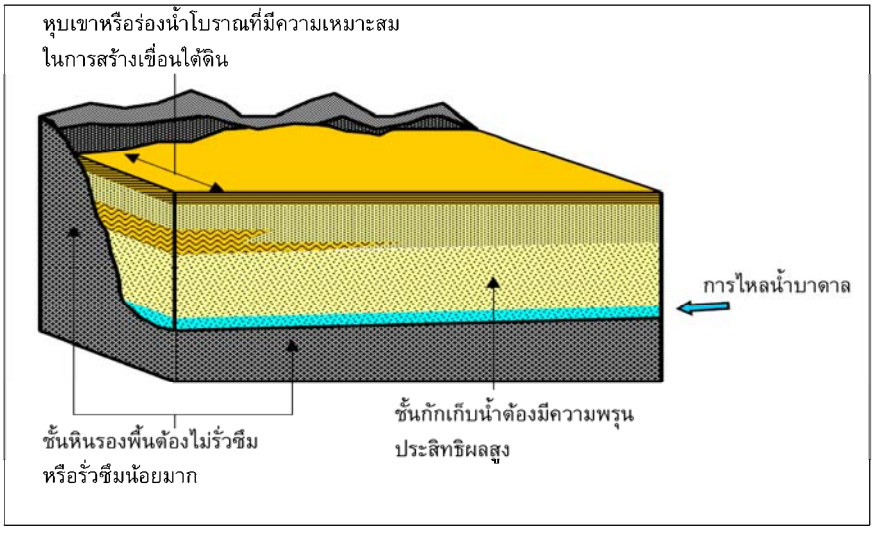
รูปที่ 1 น้ำใต้ดินส่วนเกินจะไหลล้นคันกักกั้นเขื่อนลงสู่ชั้นน้ำด้านท้ายเขื่อน



รูปที่ 2 การสร้างเขื่อนกักทราย



รูปที่ 3 การสร้างกำแพงเสาในสนามเพื่อเป็นกำแพงทึบน้ำกั้นน้ำใต้ดิน (Ishida, 2005)



รูปที่ 4 ลักษณะพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการสร้างเขื่อนใต้ดิน (Japan Green Resources, 2004)

- ความยาว และความลึกของกำแพงกันน้ำจะต้องพอเหมาะ เพื่อเหตุผลทางด้านค่าใช้จ่าย ข้อมูลจากกรณีศึกษาการสร้างเขื่อนใต้ดินในประเทศญี่ปุ่นบ่งชี้ว่าความลึกสูงสุดของกำแพงกั้นน้ำที่สามารถสร้างได้จะลึกประมาณ 65 เมตร และแนวสันกำแพงเขื่อนยาวประมาณ 1,790 เมตร (Imaizumi et al., 1999; Ishida et al., 2003)

- ในพื้นที่จะต้องมีแหล่งน้ำสำหรับใช้ในการเติมน้ำลงเขื่อนใต้ดิน น้ำนั้นต้องมีคุณภาพและปริมาณที่เหมาะสมต่อการทำการเติมน้ำลงชั้นน้ำใต้ดิน ส่วนมากแล้วควรมีปริมาณฝนตกมากพอ สมควรและมีอัตราการซึมสูง สอดคล้องกับปริมาณน้ำที่ต้องการกักเก็บ

6.2 ลักษณะทางด้านสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ

ในเขตพื้นที่ที่พิจารณาเห็นว่ามีความจำเป็นต้องพัฒนาแหล่งน้ำ จำเป็นต้องมีการยืนยันว่าบริเวณนั้นไม่มีชั้นดิน ชั้นหินที่มีคุณสมบัติบวมพองตัวเมื่อมีน้ำ เพราะว่าชั้นดินชั้นหินที่มีคุณสมบัติบวมพองตัวเมื่อมีการสูบน้ำบาดาล อาจทำให้เกิดปัญหาแผ่นดินทรุดได้ นอกจากนี้สภาพแวดล้อมเสื่อมโทรม เช่น ดินและน้ำใต้ดินเค็มและมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อน ควรมีการพิจารณาอย่างรอบคอบในขั้นตอนการคัดเลือกพื้นที่

อย่างไรก็ตามจะต้องตระหนักว่าการสร้างเขื่อนใต้ดินนั้นมีข้อด้อยที่ต้องพิจารณาคือ

- ความยุ่งยากในการคัดเลือกพื้นที่ก่อสร้าง การศึกษาหาข้อมูลใต้ดินของพื้นก่อสร้าง ทำได้ลำบากและมีค่าใช้จ่ายสูงและข้อมูลที่ได้มีความไม่แน่นอนสูง

- ประสิทธิผลการกักเก็บน้ำใต้ดินต่ำ เนื่องจากเขื่อนใต้ดินเก็บน้ำใต้ดินไว้ในช่องว่างเม็ดตะกอนในชั้นน้ำ ปริมาณน้ำที่กักเก็บ หาจากปริมาตรของช่องว่าง รูพรุนประสิทธิผล (effective porosity) เหล่านั้น และส่วนมากสามารถกักเก็บได้ประมาณ 10 - 30 % ของปริมาตรของชั้นอ่างเก็บ

- การดักเก็บน้ำใต้ดิน เขื่อนใต้ดินบางทีจะดักกักกันทางไหลน้ำใต้ดิน ทำให้น้ำใต้ดินด้านท้ายเขื่อนถูกดักเก็บ และทำให้เกิดการขาดน้ำทางด้านท้ายเขื่อนได้ อย่างไรก็ดี ในกรณีนี้ ในบางพื้นที่อาจจะไม่มีปัญหาเพราะการเติมน้ำลงชั้นน้ำอาจจะเกิดได้จากหลายจุดซึ่งอยู่นอกเขตด้านเหนือเขื่อน

- การเกิดดินเค็มในพื้นที่อ่างเก็บน้ำใต้ดิน เขื่อนใต้ดินบางแห่งอาจมีแนวโน้มทำให้เกิดดินเค็มในพื้นที่อ่าง เนื่องจากน้ำในอ่างใต้ดินมีระดับตื้น การระเหยของน้ำใต้ดินที่อยู่ใกล้ผิวดิน อาจนำเกลือขึ้นมาสะสมตัวเกิดเป็นดินเค็มได้ ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการออกแบบระดับกักเก็บน้ำใต้ดินให้อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำวิกฤต (critical water level)

7. การสำรวจเพื่อคัดเลือกพื้นที่สร้างเขื่อนใต้ดิน

การสำรวจเพื่อคัดเลือกพื้นที่สร้างเขื่อนใต้ดิน (groundwater dam site survey) มีกระบวนการการสำรวจ (survey protocol) ดังนี้

7.1 การสำรวจภูมิปะเทศและการสำรวจธรณีวิทยา

การสำรวจภูมิประเทศมีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบตำแหน่งพื้นที่รับน้ำ การแพร่กระจาย และคุณลักษณะทางชลศาสตร์ของชั้นรองฐานอ่างและชั้นน้ำใต้ดิน เพื่อตรวจสอบหาจุดที่มีน้ำ นอกจากนี้ยังใช้หาข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ ข้อมูลที่จำเป็นประกอบด้วย

- ลักษณะทั่วไปของภูมิประเทศในพื้นที่รับน้ำ
- ชั้นน้ำใต้ดิน ลักษณะการวางชั้นของชั้นดิน หิน ความพรุนประสิทธิผล (effective porosity) และค่าสัมประสิทธิ์การซึม (hydraulic conductivity)
- ลักษณะชลศาสตร์ของชั้นรองอ่าง ประกอบด้วย สภาพทางธรณีวิทยา รูปร่าง ค่าสัมประสิทธิ์การซึม

รายการสำรวจมีดังนี้

7.1.1 การสำรวจภูมิประเทศ (topographic survey) รวบรวมข้อมูลสภาพภูมิประเทศ พื้นที่การแพร่กระจายของชั้นน้ำใต้ดิน และทำแผนที่ภูมิประเทศ

7.1.2 การสำรวจทางกายภาพ (physical prospecting) ทำการสำรวจธรณีฟิสิกส์ เช่นการสำรวจคลื่นแม่เหล็กและการสำรวจคลื่นไหวสะเทือน เพื่อหารูปร่าง รูปทรงของชั้นรองฐานอ่างในพื้นที่ที่มีชั้นน้ำ

7.1.3 การเจาะสำรวจ (coring investigation) เจาะสำรวจโดยการเจาะเก็บตัวอย่างแท่ง (core boring) ทำการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมในสนาม (field permeability) การสูบทดสอบ ทดสอบดินเพื่อตรวจวัดหาความลึกของชั้นรองฐานอ่าง และค่าการซึมของชั้นน้ำและชั้นรองฐานอ่าง การศึกษาควรเน้นการศึกษาตัวอย่างแท่งที่ได้เพื่อนำไปประเมินหาค่าการซึมและค่าความพรุนประสิทธิผล (effective porosity)

7.2 การสำรวจด้านอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

การสำรวจเหล่านี้มีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบปริมาณน้ำที่หมุนเวียนในระบบพื้นที่รับน้ำ รายการสำรวจประกอบด้วย

7.2.1 การสำรวจด้านอุตุนิยมวิทยา (meteorological survey) รวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีตรวจอากาศที่มีในพื้นที่ใกล้เคียง รวมถึงข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันและข้อมูลด้านภูมิอากาศอื่นๆ ส่วนมากมักจะใช้ข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป ถ้าไม่มีสถานีตรวจอากาศในบริเวณนั้น ให้ติดตั้งสถานีตรวจวัดน้ำฝน และเก็บข้อมูลน้ำฝนอย่างน้อย 1 ปี

7.2.2 การสำรวจอัตราการไหลน้ำผิวดิน (surface water flow rate survey) รวบรวมข้อมูลอัตราการไหลน้ำผิวดิน ของลำน้ำและน้ำผิวดินอื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียง ควรมีข้อมูลย้อนหลัง 10 ปีขึ้นไป

7.2.3 การสำรวจระดับน้ำใต้ดิน (groundwater level observation) ตรวจวัด รวบรวมข้อมูลระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ ประเมินการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ เก็บข้อมูลคลุมระยะเวลาอย่างน้อย 1 ปี

7.2.4 การสำรวจการใช้น้ำใต้ดิน (groundwater use survey) สำรวจปริมาณการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

7.2.5 การสำรวจเรื่องน้ำ (water survey) ทำการสำรวจเกี่ยวกับปัญหาคุณภาพน้ำ และการกระจายด้านคุณภาพน้ำ เช่นการเกิดน้ำเค็ม

7.3 การวิเคราะห์ทางชลศาสตร์

การวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ (hydraulic analysis) มีเป้าหมายเพื่อตรวจวัดข้อมูลเชิงปริมาณเกี่ยวกับปริมาณน้ำหมุนเวียนในพื้นที่รับน้ำโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภูมิประเทศและการสำรวจธรณีวิทยา และข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา แล้วนำข้อมูลการวิเคราะห์ที่ได้ ไปทำแบบจำลองสมดุลน้ำ และจำลองการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่โดยใช้วิธีการทำแบบจำลองน้ำบาดาลที่นิยมใช้ทั่วไปในปัจจุบัน

7.4 การตรวจสอบความเป็นไปได้ของการสร้างเขื่อนใต้ดิน

การตรวจสอบความเป็นไปได้ (feasibility examination of groundwater dam construction) ของการสร้างเขื่อนใต้ดิน สามารถตรวจสอบจากการพิจารณาข้อมูล เกี่ยวกับเรื่องกำแพงทึบน้ำ อุปกรณ์อำนวยความสะดวกด้านการสูบน้ำ การ จ่ายน้ำ โดยพิจารณาในแง่ เทคโนโลยีการก่อสร้าง และปริมาณน้ำใช้งาน ศึกษาราคาโครงการ เทคโนโลยีการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ ควรทำการตรวจสอบ ตั้งแต่การสำรวจในระยะ การสำรวจเบื้องต้น เพราะว่าข้อจำกัดเรื่องความลึกในการก่อสร้าง จำเป็นต้องศึกษาให้ชัดเจน

7.4.1 การสำรวจเทคโนโลยีการก่อสร้าง ตรวจสอบเทคโนโลยีการก่อสร้าง เรื่องการสร้างกำแพงทึบน้ำ เครื่องเอื้ออำนวยในการสูบน้ำ เครื่องอำนวยในการจ่ายน้ำ โดยเน้นการศึกษาในเรื่องต่อไปนี้

(1) ข้อจำกัดด้านความลึกในการก่อสร้างกำแพงทึบน้ำและอาคารองค์ประกอบการสูบน้ำ

(2) พิกัด ขอบเขตการจ่ายน้ำ

(3) ความเหมาะสมของการดำเนินงานและการจัดการโดยพิจารณาจากประโยชน์ที่จะได้รับ

7.4.2 การศึกษาแผนการปรับปรุงพัฒนาหมู่บ้าน ศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำสามารถใช้ จำแนกระยะการจ่ายน้ำที่อาจเกิดขึ้น ศึกษาลักษณะแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อให้สามารถนำไปปฏิบัติได้และมีความยั่งยืน ควรทำดังนี้

(1) สำรวจข้อมูลเกี่ยวกับการทำกสิกรรมในพื้นที่ ตรวจนับจำนวน ขนาด ระบบการเพาะปลูกและรายได้

(2) สำรวจลักษณะการใช้ที่ดิน

(3) สำรวจการใช้น้ำ ตรวจสอบอัตราการใช้น้ำจากแหล่งน้ำ แยกตามประเภทการใช้ และตามฤดูกาล

(4) สำรวจความต้องการ โดยการสำรวจจากความต้องการของกสิกร ด้วยแบบสอบถาม

(5) การวางแผนงานเบื้องต้นเกี่ยวกับการพัฒนาหมู่บ้าน

7.4.3 การวางแผนโครงการ จากการพิจารณาข้อมูลและผลการศึกษาด้านต่างๆ ดังกล่าวมาแล้วนั้น สามารถที่จะเตรียมแผนและเขียนแบบโครงการเบื้องต้น พร้อมทั้งประมาณการค่าก่อสร้างอย่างหยาบได้

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการสำรวจแหล่งก่อสร้าง

รายการศึกษา	รายการสำรวจ	วัสดุอ้างอิง
ตำแหน่ง แหล่งน้ำ	1. การสำรวจภูมิประเทศ และการสำรวจทางธรณีวิทยา 1.1 การสำรวจภูมิประเทศ การเก็บรวบรวมข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศที่มีอยู่แล้วและการทำแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1: 50,000 ของพื้นที่การกระจายตัวของชั้นน้ำบาดาล 1.2 การสำรวจทางกายภาพ รูปร่างของแอ่งรองรับน้ำบาดาล 1.3 การเจาะสำรวจ รูปร่างของแอ่งรองรับค่าการซึมของชั้นน้ำบาดาลและของชั้นรองฐานแอ่ง	จัดซื้อแผนที่ภูมิประเทศครอบคลุมพื้นที่ศึกษา - การทำแผนที่ภูมิประเทศ - การสำรวจทางกายภาพ - การเจาะสำรวจ
	2. การสำรวจด้านอุตุนิยมวิทยา และอุทกธรณีวิทยา 2.1 การสำรวจด้านอุตุนิยมวิทยา การรวบรวมข้อมูลด้านปริมาณน้ำฝนรายวัน การคายระเหย อุณหภูมิ ความชื้น และการสังเกตการณ์เกี่ยวกับฝนตก 2.2 การสำรวจอัตราการไหลน้ำผิวดิน การเก็บข้อมูลและการสังเกตอัตราการไหลของน้ำในลำธาร 2.3 การวัดระดับน้ำบาดาล และการสังเกตการณ์ การวัดระดับน้ำบาดาลแบบต่อเนื่อง และแบบตามฤดูกาล 2.4 การสำรวจการใช้น้ำ 2.5 การสำรวจน้ำ	- เก็บข้อมูลจากรายงานทางด้านแหล่งน้ำจากหน่วยงานของรัฐ - ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาจากสถานีตรวจอากาศในพื้นที่ - การสำรวจในสนาม - เครื่องอำนวยความสะดวกและเครื่องวัดที่ติดตั้งใหม่ - ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน - ข้อมูลระดับน้ำบาดาล ฯลฯ
	3. การวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ 3.1 การวิเคราะห์สมดุลน้ำ 3.2 การวิเคราะห์การไหลของน้ำบาดาล 3.3 ประเมินผลการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อม และปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถใช้ได้ 3.4 ศึกษาแผนปฏิบัติการของเขื่อนใต้ดิน	
การเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อม ปริมาณน้ำที่นำมาใช้ได้ อุปทาน และวิธีการจ่ายน้ำ ค่าใช้จ่ายโครงการ	4. การตรวจสอบความเป็นไปได้ของการสร้างเขื่อนใต้ดิน 4.1 การสำรวจเทคโนโลยีการก่อสร้าง 4.2 การศึกษาแผนการปรับปรุง ฟาร์มหมู่บ้าน แผนพัฒนาการจ่ายน้ำและจุดปลายทาง 4.3การวางแผนโครงการ 4.4 การเตรียมเครื่องอำนวยความสะดวกและการวางแผนโครงการ	

8. เอกสารอ้างอิง

Archwichai, L., Mantapan, K., and Srisuk, K., 2005. Approachability of subsurface dams in the Northeast Thailand, Proceedings of the International Conference on Geology, Geo-technology and Mineral Resources of Indo-china (GEOINDO 2005), 28-30 November, Khon Kaen, Thailand, pp. 149-155.

Archwichai, L., Youngme, W., Wannakhao, L., Buaphan, C., Hokjaroen, S., and Wannakha, P., 1987. Groundwater dam and the Green E-san Project, Collective paper for National Conference on Geology and the Green E-san Development. Geological Society of Thailand, 15 October, Imperial Hotel, Bangkok, Thailand, 19 p. (in Thai).

Archwichai, L., Youngme, W., Wannakhao, L., Buaphan, C., Hokjaroen, S., and Wannakha, P., 1991. Integrated geotechnical and geophysical investtigations of the ground-water dam at Ban Wa, Khon Kaen: A case study, Journal of Thai Geosciences, vol. 1 , No. 1, pp. 1-10.

Hanson, A. and Nilsson, A., 1986. Groundwater dams for rural water supplies in developing countries, Ground Water, vol. 24, No. 4, pp. 497 - 506.

Imaizumi, M., Sukuchun, S., and Palopkern, K., 1999. Current situation of water resources and proposal for the construction of a subsurface dam in Northeast Thailand, JIRCAS Journal for Scientific Papers, No. 7, pp. 45-67.

Ishida, S., Kotoru, M., Abe, E., Fazal, M.A., Tsuchihara, T., and Imaizumi, M., 2003. Construction of subsurface dams and their impact on the environment, RMZ – Materials and Geoenvironment, vol. 50, No., 1, pp. 149-52.

Ishida, S., 2005. Subsurface dams for rural water supplies, Power Point Presentation Slides, National Institute of Rural Engineering, Japan, 65 slides.

Japan Green Resources Agency, 2004. Technical reference for effective ground-water development, http://www.green.go.jp, pp. 215 - 228.

Kawasaki, S., Sugahara, T., Miyakita, J., and Kotoku, M., 1993. Geotechnical develop-pment of subsurface dam project in Japan, Hydrogeology Selected Papers, Verlag Heins Heise, vol. 4, pp. 215 – 228.

Nagata, S., Enami, N., Nagata, A.J., and Katho, T., 1993. Design and construction of cutoff walls for subsurface dams on Amami and Ryukyu Islands in the most southern part of Japan, Hydrogeology Selected Papers, vol. 4, pp. 229 – 245.

Nagata, J., 1996. Subsurface dam projects in Japan, Proceedings of International Sym-posium on Geology and Environment, Chiang Mai University, Thailand, pp. 283 - 303.

Nilsson, A., 1988. Groundwater dams for small-scale water supply, IT Publications, U.K.

คู่มือ ทบ อ 4003-2550
การควบคุมการแพร่กระจายของสารปนเปื้อน

คู่มือ ทบ อ 4003-2550 เป็นคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล (อ) ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง "2550" หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้ใส่วงเล็บต่อท้ายและระบุ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย [(n)] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย [(ป)] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

กระบวนการฟื้นฟูการปนเปื้อนสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การดึงสารปนเปื้อนออกมา (removal) การแยก (separation) การทำลาย (destruction) และการกักกั้น (containment) การฟื้นฟูการปนเปื้อนโดยวิธีการกักกั้น เป็นกระบวนการที่ใช้เพื่อสกัดกั้นหรือกักกั้นไม่ให้สารปนเปื้อนแพร่กระจายสู่พื้นที่ภายนอก โดยทั่วไปแล้ววิธีนี้ ไม่มีการทำลาย หรือโยกย้ายสารปนเปื้อนไปที่อื่น

2. ขอบเขต

คู่มือนี้เจตนาจะให้เป็นคู่มืออ้างอิงทั่วไปสำหรับบุคลากรที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาล จุดประสงค์เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานที่ยังใหม่ในสาขานี้มีเข้าใจในหลักการและแนวคิดในเรื่องนี้ คู่มือนี้ไม่กล่าวรวมถึงรายละเอียดการออกแบบหรือการดำเนินการทางวิศวกรรม ที่เกี่ยวข้อง แต่จะกล่าวถึงทางเลือกต่าง ๆที่มีพร้อมทั้งข้อควรพิจารณาและข้อจำกัดอื่นๆ

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 Technical Assistance Bulletin (TAB), TAB No. 22, 2008. In-Situ Remediation Technologies for Contaminated Sites, Environmental Canada-Ontario Region, http://www.ec.gc.ca/pollution/ecnpd/

3.2 Technical Assistance Bulletin (TAB), TAB No. 24, 2008. Remediation Technologies for Groundwater Contamination, Environmental Canada-Ontario Region, http://www.ec.gc.ca/pollution/ecnpd/

3.3 Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies (CLARINET), 2002. Remediation of Contaminated Land Technology Implementation in Europe, A Report from the Contaminated Land Rehabilitation Network for Environmental Technologies, Federal Environment Agency, Austria, 188 p.

3.4 Water Technology International Corp, 1997. Site Remediation Technologies: A Reference Manual, Contaminated Sites Management Working Group, Burlington, Ontario, Canada, 123 p.

3.5 U.S. EPA, 1993. Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version 1, Report EPA 542-B- 93-005, July, 1993, 142 p.

3.6 U.S. EPA, 1990. Handbook of In-situ Treatment of Hazardous Waste-contaminated Soils, EPA/540/2-90/002, 157 p.

3.7 Engineer Manual, EM 1110-3500, 1995. Engineering and Design: Chemical Grouting, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 34 p.

3.8 Engineer Manual, EM 1110-2-3506, 1984. Engineering and Design: Grouting Technology, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 159 p.

3.9 Engineer Manual, EM 1110-2-2504, 1994. Engineering and Design: Design of Sheet Pile Walls, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 75 p.

3.10 Pearlman, L., 1999. Subsurface Containment and Monitoring System: Barriers and Beyond, USEPA, Washington, DC, 66 p.

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 พลูม (plume) หมายถึง พื้นที่ที่น้ำบาดาลมีการปนเปื้อนโดยมากจะเป็นน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนสารเคมีไหลผ่านไปในชั้นหินอุ้มน้ำ

5. ความสำคัญ และการใช้งาน

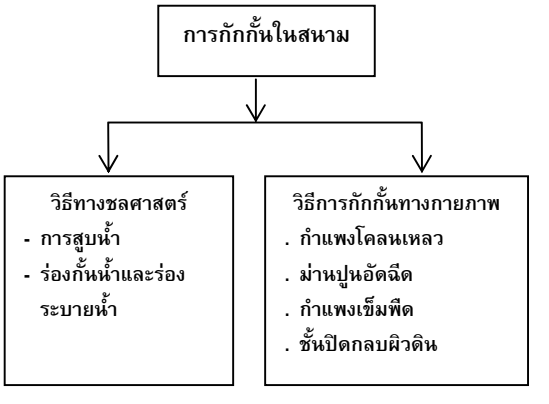
ใช้เป็นคู่มืออ้างอิงเชิงแนวคิดและหลักการในการฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนไม่รวมถึงรายละเอียดการออกแบบ หรือการดำเนินการทางวิศวกรรม ที่เกี่ยวข้อง แต่จะกล่าวถึงทางเลือกต่างๆที่มีพร้อมทั้งข้อควรพิจารณาและข้อจำกัดอื่นๆ

6. การควบคุมโดยการกักกั้น

การควบคุมโดยวิธีการกักกั้น (in-situ containment) เป็นการป้องกันการแพร่กระจาย สารปนเปื้อนออกนอกบริเวณปนเปื้อน ซึ่งหมายถึงการกักกันสารปนเปื้อนให้อยู่กับที่โดยการสร้างวัตถุกักกั้นไว้ล้อมรอบบริเวณปนเปื้อน

การกักกั้นการปนเปื้อนในพื้นที่เกิดการปนเปื้อนเป็นวิธีการที่นิยมใช้โดยทั่วไป และเป็นวิธีที่ได้ผลดีเพื่อแก้ปัญหาแบบถาวรหรือแบบชั่วคราว คำว่าการกักกั้น (containment) หมายถึง การป้องกันสารปนเปื้อนไม่ให้แพร่กระจายออกไปสู่ที่อื่น โดยทั่วไปแล้ววิธีนี้ ไม่มีการทำลาย หรือโยกย้ายสารปนเปื้อนไปที่อื่น แม้ว่าในวิธีการกักกั้นโดยใช้วิธีทางชลศาสตร์ (hydraulic containment) จะมีการแยกสารปนเปื้อนที่ละลายในน้ำบาดาลออกไป การกักกั้นยังสามารถนำไปใช้กักกั้นวัสดุปนเปื้อนที่ขุดตักขึ้นมาได้ด้วย

วิธีการกักกั้น นิยมใช้ในการแก้ไขปัญหาในกรณีที่การบำบัดในพื้นที่หรือการขุดออกทิ้ง ไม่สามารถทำได้ หรือทำได้แต่ค่าใช้จ่ายสูงเกินไป การกักกั้นจึงเป็นทางเลือกสุดท้าย ถ้าการฟื้นฟู หรือการกู้ไม่สามารถทำได้ และพื้นที่นั้นมีข้อจำกัดในการใช้สอย ส่วนมากมักใช้กักกั้น สารปนเปื้อนที่เป็นสารเหลว หรือน้ำบาดาล ไม่ให้ไหลกระจายออกนอกพื้นที่ อย่างไรก็ดีการกักกั้นยังสามารถนำไปใช้แก้ไขปัญหาการปนเปื้อนในดินได้เช่นเดียวกัน ถ้าบริเวณนั้นมีโอกาสเกิดการรั่วไหลของสารปนเปื้อนไปที่อื่น ทางเลือกอื่นๆ สำหรับวิธีการกักกั้น มีแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ทางเลือกอื่นๆ ในการทำการกักกั้น

เทคนิคการกักกั้นควรจะได้รับการออกแบบโดยหน่วยงาน บริษัท หรือ บุคคลที่มีคุณสมบัติ และแล้วแต่สภาพพื้นที่ คู่มือนี้ไม่กล่าวรวมถึงรายละเอียดการออกแบบ แต่จะกล่าวถึงทางเลือกต่างๆที่มีพร้อมทั้งข้อควรพิจารณาและข้อจำกัดอื่นๆ

7. เทคนิคการกักกั้นทางชลศาสตร์

7.1 การสูบน้ำ

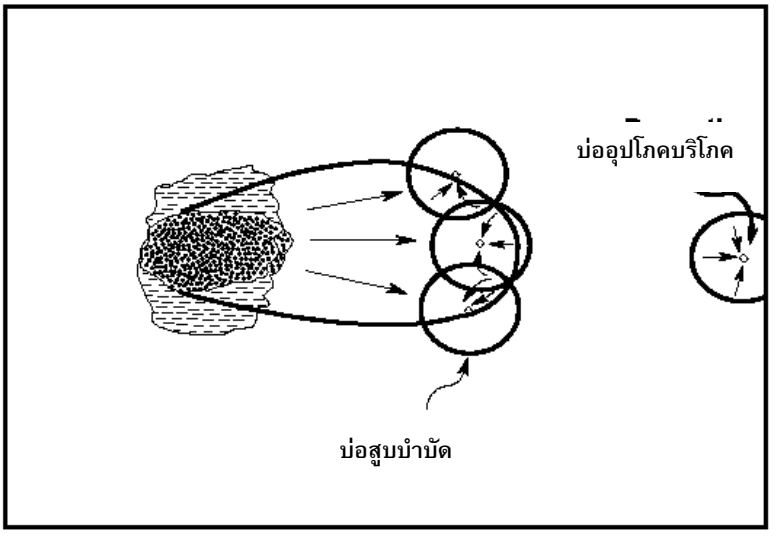
สำหรับพื้นที่ที่มีสารปนเปื้อนในน้ำบาดาล มักจะใช้วิธีการกักกั้นทางชลศาสตร์ (hydraulic containment techniques) โดยการสูบน้ำในการแก้ปัญหา การสูบน้ำจะทำให้น้ำบาดาลที่ปนเปื้อนไม่แพร่กระจายไปที่อื่น หรือช่วยลดขอบเขตการกระจายของสารปนเปื้อน (contaminant plume) โดยการไปยับยั้งหรือย้อนทิศทางการไหลของน้ำบาดาลเพราะระดับน้ำบาดาลในบ่อสูบจะมีระดับต่ำกว่าระดับน้ำในพื้นที่รอบๆบ่อ น้ำบาดาลปนเปื้อนที่อยู่รอบๆ จะไหลเข้าสู่บ่อและสูบออกไปบำบัดที่อื่น

น้ำบาดาลปนเปื้อนที่สูบออกไปจะนำไปบำบัดหรือนำไปอัดกลับลงชั้นน้ำ ถ้าน้ำบาดาลปนเปื้อนที่สูบขึ้นมานั้นนำไปบำบัดบนผิวดินการดำเนินการนี้เรียกว่า “การสูบและบำบัด” (pump and treat) เมื่อทำการออกแบบการควบคุมโดยวิธีทางชลศาสตร์ (รูปที่ 2 ถึงรูปที่ 4) ควรจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่อไปนี้

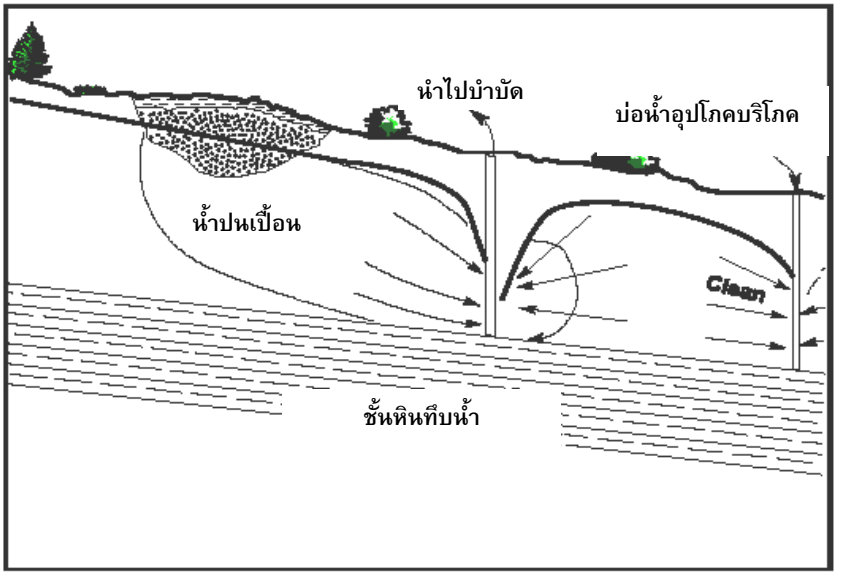
- ขนาดของ plume หรือคุณสมบัติของสารปนเปื้อน
- อัตราการไหลของน้ำบาดาลและทิศทางการไหล
- ระยะทางจากพื้นที่ปนเปื้อนถึงตำแหน่งบ่อสูบน้ำ
- สภาพทางอุทกธรณีวิทยา
- อัตราการสูบน้ำที่จะทำให้สามารถควบคุม plume ได้
- จุดตำแหน่งบ่อสูบที่จะทำให้เกิดสภาวะการกักกั้นทางชลศาสตร์
- ความสูงระดับน้ำบาดาลพึงประสงค์ภาพตัดขวางระดับน้ำบาดาลและในสภาวะการสูบแบบคงที่ (steady state pumping)
- ระดับความเข้มข้นที่ประสงค์ของสารปนเปื้อนในน้ำที่สูบออก (ทำแบบจำลองตามระยะเวลา)
- ผลของการอัดกลับของน้ำปนเปื้อนถ้าพิจารณากรณีการอัดกลับ
- ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการสูบ

ข้อด้อยอื่นๆที่เกิดจากการใช้ระบบการสูบน้ำเพื่อการกักกั้นทางชลศาสตร์มีดังนี้

- การควบคุมทางชลศาสตร์ อาจใช้เวลานานมาก (หลายร้อยปี) จึงจำเป็นต้องมีข้อกฎหมายบังคับให้เจ้าของพื้นที่ต้องตั้งกองทุนเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ
- ชั้นน้ำบางชั้นอาจจะแก้ไขด้วยการสูบน้ำทิ้งไม่ได้
- การปนเปื้อนบางระบบไม่สามารถกักกั้นโดยวิธีการสูบน้ำทิ้ง บางกรณีสารปนเปื้อนเกิดการแพร่กระจายหลายทิศทางออกสู่พื้นที่ข้างเคียง และแก้ไขด้วยการสูบ ไม่ได้
- อัตราการสูบอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งจำเป็นต้องออกแบบระบบใหม่อยู่เรื่อย
- สารปนเปื้อนบางชนิดไม่สามารถบำบัดหรืออัดกลับได้โดยปลอดภัย
- มีความไม่แน่นอนสูงเกี่ยวกับประสิทธิผลของการสูบน้ำเนื่องจากความหลากหลายของสภาพใต้ผิวดิน ดังนั้น ระบบอาจจะทำงานไม่ได้ตามที่วางแผนออกแบบไว้

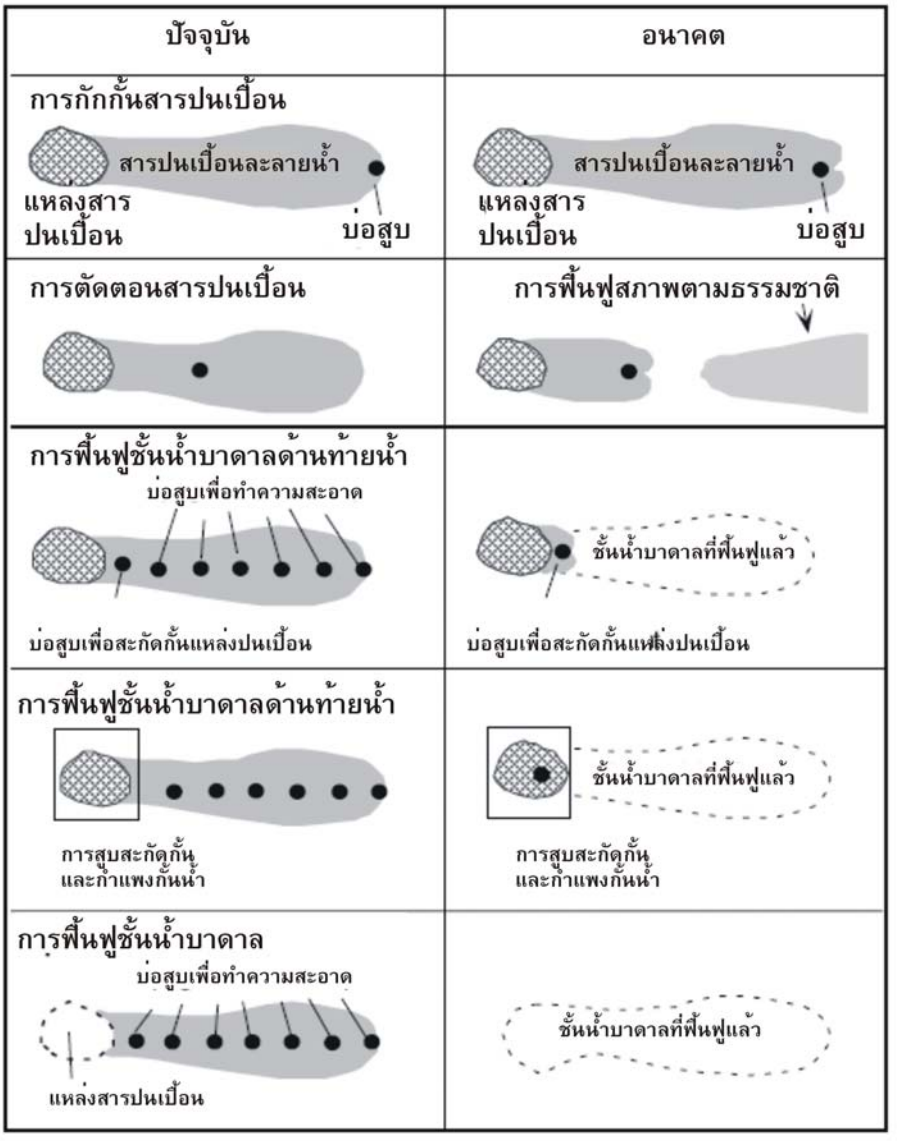


(ก) ภาพแผนที่

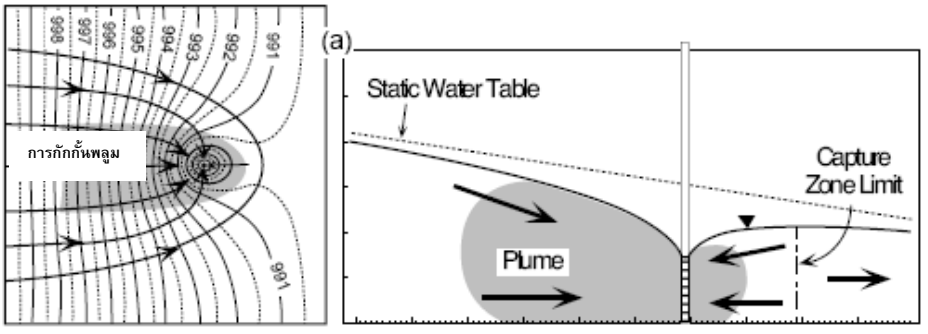


(ข) ภาพตัดขวาง

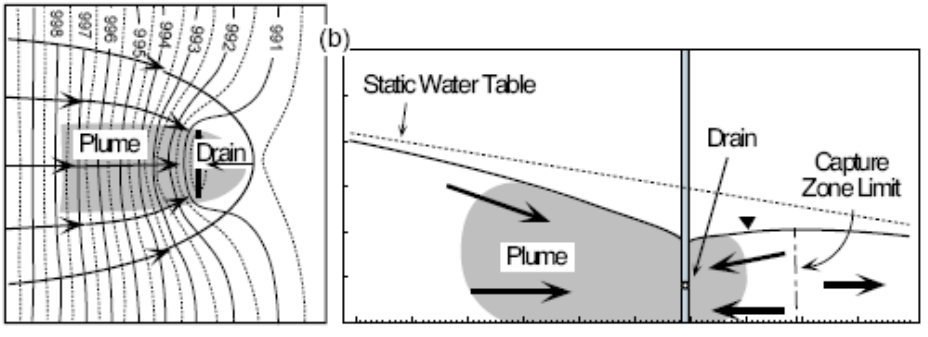
รูปที่ 2 ตัวอย่างการกักกั้นโดยวิธีทางชลศาสตร์ (Noyes Data Corp.,1985, In: Contaminated Sites Management Working Group, 1997.)



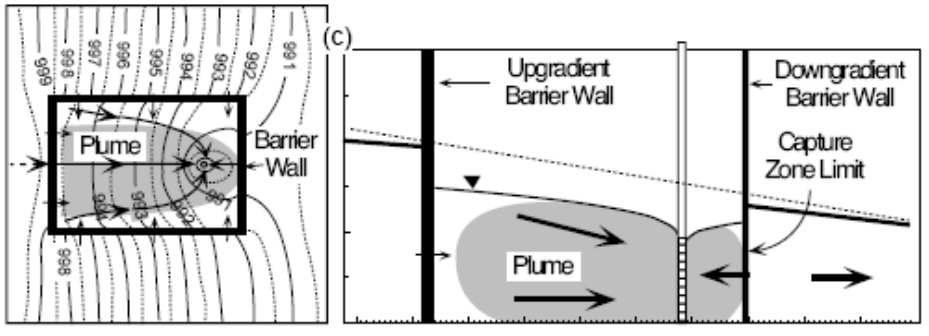
รูปที่ 3 กลยุทธ์การจัดการการปนเปื้อนน้ำบาดาลโดยวิธีการสูบ (NRC, 1994; Cherry et al., 1992, In: Contaminated Sites Management Working Group, 1997.)



การกักกั้นด้วยการสูบน้ำ



การกักกั้นโดยใช้ร่องระบายน้ำ



การกักกั้นโดยใช้บ่อสูบภายในกำแพงกั้น

รูปที่ 4 ตัวอย่างการกักกั้นโดยวิธีทางชลศาสตร์แสดงในรูปของแผนที่และภาพตัดขวาง

7.2 ร่องกั้นน้ำและร่องระบายน้ำ

การควบคุมทางชลศาสตร์ในบางพื้นที่สามารถทำได้โดยใช้วิธีการขุดร่องกั้นน้ำหรือขุดร่อง (cut-off trenches and drains) ระบายน้ำใต้ผิวดินเพื่อดักการไหลของน้ำบาดาลที่จะไหลเข้าหรือไหลออกจากพื้นที่ ทางเลือกนี้สามารถใช้ได้ในกรณีสภาพน้ำบาดาลระดับตื้นเท่านั้น น้ำที่ไหลสู่ร่องจะไหลโดยธรรมชาติหรือไหลโดยการสูบไปยังบริเวณทำการบำบัด ร่องขุดและร่องระบายน้ำนี้ยังใช้เป็นที่รับน้ำไหลบ่าจากผิวดิน (run off) ได้ด้วย ส่วนมากแล้วร่องขุดนี้มักจะใช้สำหรับการกู้ฉุกเฉินในกรณีที่สารปนเปื้อนไหลบ่าอย่างรวดเร็วและจำเป็นต้องป้องกันไม่ให้ไหลสู่ผู้ได้รับผลกระทบอย่างเร่งด่วน

ร่องกั้นน้ำหรือร่องระบายน้ำที่สร้างขึ้นบริเวณส่วนต้นทางการไหล (up-gradient) ของน้ำบาดาลก่อนไหลเข้าบริเวณปนเปื้อนนั้น จุดประสงค์เพื่อใช้ป้องกันน้ำบาดาลคุณภาพดีไม่ให้ไหลเข้าไปในพื้นที่ปนเปื้อน และโดยการนี้ น้ำที่ปนเปื้อนแล้วก็ไหลช้า หรือหยุดไหลออกไปจากพื้นที่ปนเปื้อน ส่วนมากน้ำที่กักกั้นไว้ในระบบกักกั้นนี้เป็นน้ำที่สะอาด และสามารถนำไปปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำผิวดินได้

ร่องกักกั้นหรือร่องระบายน้ำที่สร้างขึ้นบริเวณด้านท้ายน้ำของการไหล (down-gradient) ของน้ำบาดาลที่ไหลผ่านพื้นที่ปนเปื้อน จะทำหน้าที่ดักน้ำที่ไหลออกไปจากพื้นที่ปนเปื้อน น้ำเหล่านี้จะต้องสูบกลับไปบำบัดหรือนำไปหมุนเวียนชะล้างสารปนเปื้อนใหม่ ในการนี้จะต้องมีการบำบัดโดยวิธีใดวิธีหนึ่งก่อน เพราะน้ำที่ปนเปื้อนสารบางชนิดอาจจะไม่สามารถนำกลับไปหมุนเวียนในพื้นที่ได้อีก ทั้งนี้เพราะน้ำใต้ดินระดับตื้น มักได้รับอิทธิพลจากฝนตกได้ง่าย และพื้นที่นั้นอาจเกิดน้ำท่วมล้นร่องขุด หรือร่องระบายได้

ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ มีดังนี้

- ขนาดของ plume หรือคุณสมบัติของสารปนเปื้อน
- อัตราการไหลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล การแปรเปลี่ยนการไหลตามฤดูกาล
- สภาพทางอุทกธรณีวิทยา
- ระดับความสูงภูมิประเทศของพื้นที่อยู่สูงกว่า หรือต่ำกว่าจุดทิ้งน้ำที่อยู่ใกล้เคียง
- การวางตำแหน่งของร่องกักกั้นน้ำหรือร่องระบายน้ำเพื่อให้บรรลุผลในการกักกั้น
- ความจำเป็นว่าต้องมีเครื่องสูบน้ำหรือแอ่งกักเก็บหรือไม่
- ความสูงระดับน้ำบาดาลพึงประสงค์และภาพตัดขวางระดับน้ำบาดาล ในสภาพการไหลคงที่
- ความเข้มข้นพึงประสงค์ของสารปนเปื้อนในน้ำที่ดักไว้ (ทำแบบจำลองตามช่วงเวลา)
- ผลของการสูบอัดกลับลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ถ้าพิจารณากรณีนี้ด้วย
- ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการระบายน้ำ

ข้อด้อยของการใช้วิธีร่องกักกั้นน้ำหรือร่องระบายน้ำมีดังนี้

- ถ้าใช้แก้ไขปัญหาเป็นระยะเวลานาน จะมีข้อด้อยเหมือนกันทุกประการกับการใช้วิธีการสูบน้ำ
- วิธีนี้ใช้ไม่ได้ผลถ้าระดับน้ำลึกเกิน 10 ม. จากผิวดิน
- ใช้ควบคุมการไหลของน้ำตามแนวดิ่งไม่ได้
- ร่องน้ำมีผิวสัมผัสอากาศทำให้สารปนเปื้อนที่เป็นไอระเหย ระเหยสู่อากาศได้
- ร่องเปิดต้องมีมาตรการความปลอดภัยพิเศษโดยเฉพาะ

8. เทคนิคการกักกั้นทางกายภาพ

การกักกั้นทางกายภาพ (physical containment techniques) เป็นกระบวนการป้องกันไม่ให้น้ำบาดาลที่ปนเปื้อนไหลออกไปจากพื้นที่ปนเปื้อน

8.1 กำแพงโคลนเหลว

กำแพงโคลนเหลว(slurry walls) สามารถสร้างโดยการขุดร่องรอบๆ หรือขุดร่องบาง ส่วนกั้นบริเวณพื้นที่ปนเปื้อน แล้วเติมร่องด้วยโคลนเหลว ซึ่งเมื่อโคลนแห้ง จะเกิดกำแพงทึบน้ำป้องกันการไหลน้ำบาดาลได้ โคลนเหลวนี้ส่วนใหญ่ทำจากผงแร่ bentonite ผสมน้ำ bentonite เป็นแร่ดินเหนียวชนิดหนึ่ง มีคุณสมบัติดูดน้ำและพองตัวและกันซึมได้ ในบางกรณีโคลนเหลวนี้จะทำให้แข็งตัวโดยการเติมดินและเติม bentonite เพิ่ม และบางครั้งอาจเติมซีเมนต์ ทำให้เกิดการแข็งตัว ร่องขุดจะต้องขุดให้ลึกถึงชั้นทึบน้ำที่วางตัวอยู่ใต้เขตที่มีการปนเปื้อน หรือขุดให้ลึกถึงจุดที่อยู่ใต้เขตการปนเปื้อนที่น้ำบาดาลจากข้างนอกกำแพงจะไม่ปะปนกับน้ำบาดาลจากในกำแพง พื้นที่การปนเปื้อนที่แก้ไขด้วยวิธีนี้ จะต้องทำการปิดกลบ ด้วยวัสดุกันซึมเพื่อป้องกันการรั่วซึมจากน้ำฝน ข้อพิจารณาในการเลือกใช้วิธีกำแพงโคลนเหลว (slurry walls) ม่านปูน อัดฉีด (grout curtains) กำแพงเข็มพืด (sheet pile walls) ดังแสดงในตารางที่ 1 การเปรียบเทียบข้อดีข้อด้อยแต่ละวิธีมีแสดงในตารางที่ 2

8.2 ม่านปูนอัดฉีด

ม่านปูนอัดฉีด (grout curtains) มีลักษณะคล้ายคลึงกับกำแพงโคลน ต่างกันที่สารอุดอัด (grout) จะอัดฉีดลงไปในดินโดยใช้หลุมเจาะการอัดฉีดน้ำปูนสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะใช้วิธีการอัดฉีดน้ำปูนหรือสารอุดอัดเหลวลงไปในดินด้วยแรงดันสูง โดยทั่วไปหลุมเจาะเพื่อการอัดฉีดน้ำปูนสามารถเจาะโดยใช้เครื่องเจาะมาตรฐานทั่วไป ทำการอัดฉีดน้ำปูนหลายๆ จุด รอบๆ พื้นที่ปนเปื้อน จนทำให้เกิดกำแพงทึบน้ำหรือม่านปูน สารที่ใช้ในการอัดฉีดมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น ดินเหนียว bentonite ซีเมนต์ silicates และ สารเคมีอินทรีย์ (organic chemicals) สารอัดฉีดเหล่านี้สามารถอัดฉีดลงไปที่ความลึกต่างๆได้ และสามารถเลือกความลึกได้ตามต้องการ ตารางที่ 1 และ 2 แสดงการเปรียบเทียบเทคนิคการอัดฉีดแบบต่างๆ

8.3 กำแพงเข็มพืด

กำแพงทึบน้ำสามารถสร้างขึ้นได้โดยวิธีการตอกเข็มพืด (sheet piles walls) ลงไปในดินรอบๆ หรือบางส่วนของพื้นที่ปนเปื้อน เข็มพืดทำจากแผ่นเหล็ก ตอกลงไปในดินโดยใช้เครื่องตอกเสาเข็ม ดังแสดงในรูปที่ 5 จะเห็นแผ่นเข็มพืดเชื่อมต่อกันตรงขอบแผ่น ทำให้เกิดเป็นกำแพงต่อเนื่องกันใต้ดิน ตรงรอยต่อระหว่างแผ่นก็ปิดด้วยสารอัดฉีดหรือน้ำปูน ในทางปฏิบัติกำแพงเข็มพืดสามารถตอกลงในดินได้ลึกถึง 20 ม. ถ้าใช้เครื่องตอกเข็มชนิดพิเศษ สามารถตอกได้ลึกเพิ่มขึ้น

8.4 ชั้นปิดกลบผิวดิน

การปิดกลบ(surface caps) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ทั่วไปในการจัดการพื้นที่ปนเปื้อน ส่วนใหญ่มักใช้ร่วมกันไปกับวิธีการกักกั้นแบบอื่น หรือร่วมกับวิธีการบำบัดในพื้นที่ ชั้นปิดกลบอาจประกอบด้วยชั้นเดียวหรือหลายชั้นวางปิดทับพื้นที่ปนเปื้อน ความหนารวมของชั้นปิดกลบไม่น้อยกว่า 0.5 ม. บางครั้งอาจหนาถึง 1 ม. หรือหนากว่า ชั้นปิดกลบนี้อาจจะออกแบบให้ทึบน้ำ (impermeable) กึ่งทึบน้ำ (semi-impermeable) หรือ ออกแบบให้น้ำ ซึมผ่านได้ (permeable) แล้วแต่ลักษณะของสาร สัมประสิทธิ์การซึม (permeability) ของชั้นปิดกลบจะขึ้นกับ (1) กลไกการควบคุมอื่นๆ หรือระบบการบำบัดอื่นๆที่ใช้ร่วมกันในพื้นที่ (2) ปริมาณฝนตกและปริมาณน้ำไหลบ่าบนดิน

(overland flow) (3) การรั่วซึมของน้ำหรือของไอระเหย และ (4) การใช้ประโยชน์ของพื้นที่ที่วางแผนไว้

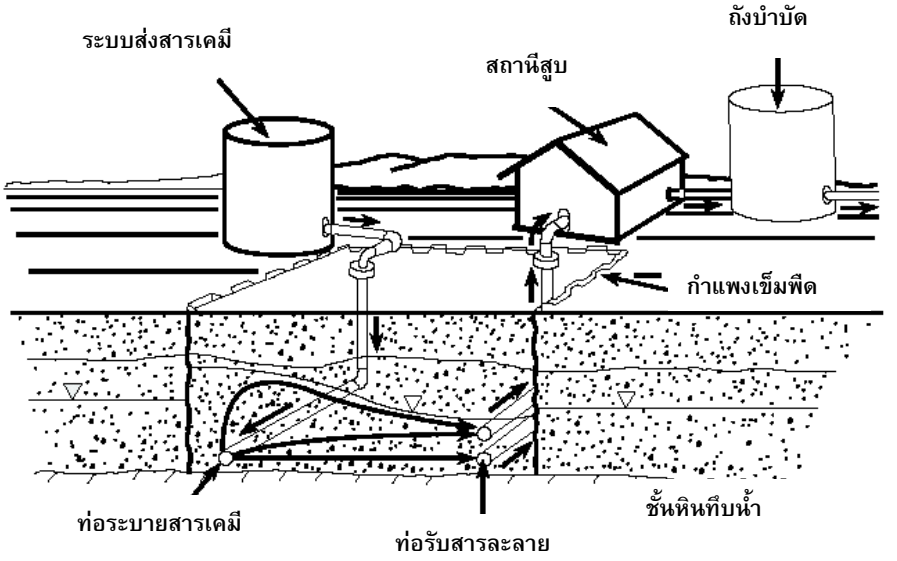
ชั้นปิดกลบทึบน้ำส่วนมากออกแบบไว้ป้องกันน้ำฝนและน้ำผิวดินไม่ให้รั่วซึมลงไปในเขตที่มีการปนเปื้อน และยังป้องกันสารปนเปื้อนไม่ให้รั่วออกสู่ภายนอก ชั้นปิดกลบนี้โดยทั่วไปจะทำด้วยวัสดุหลายชั้นซึ่งจะมีชั้นที่ทึบน้ำ หนึ่งหรือหลายชั้นแทรกอยู่ด้วย ชั้นวัสดุทึบน้ำนี้อาจทำด้วยชั้นดินเหนียวบดอัดหรือแผ่นพลาสติกที่ออกแบบไว้เพื่อการนี้ โดยเฉพาะวัสดุชนิดอื่น อาจเป็น geofabric ดินทราย และดินเดิม วัสดุ geofabric ส่วนมากนิยมใช้ป้องกันการชะล้างพังทลาย หรือใช้ยึดชั้นปิดกลบอื่นๆ ให้เข้าที่ในบางพื้นที่อาจมีความจำเป็นต้องมีท่อระบายก๊าซ เสียบทะลุผ่านชั้นปิดกลบนี้เพื่อให้ไอระเหยบางชนิดระเหยออกไป ชั้นปิดกลบที่น้ำซึมผ่านหรือกึ่งซึมผ่าน บางกรณีก็ใช้ร่วมกันกับระบบการบำบัดในที่ (in-situ treatment) หรือร่วมกับระบบการกักกั้นทางชลศาสตร์ ชั้นปิดกลบเหล่านี้จะให้น้ำบางส่วนสามารถซึมผ่านเข้าไปในพื้นที่ปนเปื้อน หรือยอมให้ก๊าซ หรือไอระเหยออกไปได้ ชั้นปิดกลบดังกล่าวนี้บางกรณีอาจเติมสารเร่งปฏิกิริยา (reactive materials) หรือสารที่ละลายน้ำได้ เช่น หินปูน ปุ๋ย ขี้เถ้า หรือสารเคมีอื่นๆ น้ำที่ซึมผ่านชั้นนี้ไป จะนำสารละลายลงไปด้วยทำให้เกิดกระบวนการการฟื้นฟูในที่ตรงนั้น ชั้นปิดกลบเหล่านี้ส่วนใหญ่ราคาถูก และสามารถป้องกันสารปนเปื้อนไม่ให้แพร่กระจายบนผิวดินได้ อย่างไรก็ตามชั้นปิดกลบเหล่านี้ต้องมีการซ่อมบำรุงอยู่เสมอ ความเสียหายชั้นปิดกลบมักเกิดขึ้นบ่อยๆจากการชะล้างพังทลาย หรือจากการฉีกขาด การใช้เทคนิคนี้พบว่าประสบผลสำเร็จสูงและใช้มาแล้วกว่า 100 ปี

ตารางที่ 1 ข้อพิจารณาในการใช้กำแพงโคลนเหลว ม่านปูนอัดฉีด และกำแพงเข็มพืด

สภาพพื้นที่	กำแพงโคลนเหลว	ม่านปูนอัดฉีด	กำแพงเข็มพืด
ความลึกถึงชั้นทึบน้ำ	น้อยกว่า 10 ม	ทุกความลึก	น้อยกว่า 20 ม. (อาจจะลึกกว่านี้ถ้าใช้เครื่องมือพิเศษ)
อุทกธรณีวิทยา	ทุกสภาพอุทกธรณีวิทยาถึงความลึกสูงสุด	ทุกสภาพ น้ำปูนสามารถอัดฉีดปิดชั้นหินที่ต้องการได้	ทุกสภาพ ถึงชั้นความลึกสูงสุด
ธรณีวิทยา / ธรณีสัณฐาน	การขุดร่องมีความยุ่งยากในชั้นหิน และในชั้นดินบางชนิด	น้ำปูนจะอุดช่องว่างในดิน และช่วยเพิ่มกำลังรับแรงในชั้นดิน	การตอกเข็มไม่สามารถตอกผ่านชั้นหินได้ ในกรณีดินอ่อนอาจต้องใช้ค้ำยันพิเศษ
ชนิดของการปนเปื้อน	ต้องเลือกโคลนที่เข้ากันได้กับสารปนเปื้อน	ต้องเลือกสารอุดอัดทีเข้ากันได้กับสารปนเปื้อน	สารปนเปื้อนบางชนิดจะมีฤทธิ์กัดกร่อนเหล็ก สามารถป้องกันการกัดกร่อนโดยการเคลือบเหล็ก
สภาพน้ำใต้ดินหลังจากการดำเนินการ	น้ำใต้ดินจะไหลรอบๆและ หรือไหลลอดใต้สิ่งกีดขวาง จำเป็นต้องทำแบบจำลองเพื่อตรวจหาทิศทางการไหล และ อัตราการไหล ในบางกรณี น้ำใต้ดินจะเกิดเป็นเนินน้ำทางด้านหลังสิ่งกีดขวาง และอาจส่งผลกระทบกับบ่อสูบน้ำที่มีอยู่บริเวณนั้น		
สภาพพื้นผิวดิน	ต้องสามารถนำเครื่องมือก่อสร้างเข้าสู่พื้นที่ก่อสร้างได้ ต้องได้รับอนุญาตจากเจ้าของพื้นที่ให้สร้างกำแพงในพื้นที่ได้ และอาจจำเป็นต้องมีการควบคุมพื้นผิวดินหลังการติดตั้งแล้ว		
การซึมผ่านผิวดิน	การรั่วซึมจากผิวดินสามารแก้ไขได้ด้วยการกลบปิดด้วยชั้นกลบปิด หรืออาจจะใช้ระบบระบายน้ำติดตั้งด้านล่างเขตพื้นที่ปนเปื้อน เพื่อรวมน้ำที่ซึมผ่านลงไป และดักนำน้ำไปทิ้งรอการบำบัด		

ตารางที่ 2 ข้อดี ข้อด้อย ของกำแพงโคลนเหลว ม่านปูนอัดฉีด และกำแพงเข็มพืด

ปัจจัย	กำแพงโคลนเหลว	ม่านปูนอัดฉีด	กำแพงเข็มพืด
ราคา	ถูกกว่าม่านปูนอัดฉีดและกำแพงเข็มพืด ถ้าความลึกในช่วงไม่เกิน 10 ม.	ถูกกว่ากำแพงเข็มพืด	ราคาแพง โดยเฉพาะถ้าใช้วิธีการตอกเข็มด้วยเทคนิคพิเศษ หรือกรณีต้องใช้เหล็กกล้า
ความเกี่ยวพันด้านสิ่งแวดล้อม	วัสดุที่ใช้เป็นโคลนเหลว จะต้องได้รับอนุญาตจากผู้คุมกฎ	สารอุดอัดบางชนิดอาจมีพิษและต้องได้รับอนุญาตจากผู้คุมกฎ	ไม่เกี่ยวข้อง
อายุการใช้งาน	อาจเกิดการกัดกร่อนหรือละลาย หลังการติดตั้ง 30 – 50 ปี กำแพงอาจเกิดการแตกหัก	สารอุดอัดบางชนิดจะกัดกร่อนหรือละลาย หลังการติดตั้ง 30 - 50 ปี	อาจเกิดการกัดกร่อนถ้าอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด
ประสิทธิภาพ	มีประสิทธิภาพ 100% ในช่วงเริ่มต้น ถ้าติดตั้งอย่างเหมาะสม	มีความยุ่งยากในการตรวจวัดความสมบูรณ์ในการอุดอัดช่องว่างในดิน สารอุดอัดอาจจะไปไม่ทั่วถึงช่องว่างในดินทั้งหมด	มีประสิทธิภาพ 100 % ถ้าติดตั้งอย่างเหมาะสม
ความลึกถึงชั้นทึบน้ำ	10 ม.	ไม่จำกัด	20 ม.
ความสะดวกในการติดตั้ง	ขุดร่องลึกได้ถึง 5 ม. ด้วยเครื่องจักรมาตรฐาน ขุดได้ลึกถึง 10 ม. ถ้าใช้ระบบการขุดพิเศษ	มีข้อจำกัดในการติดตั้งและยุ่งยาก แม้จะใช้ผู้มีประสบการณ์สูง	เครื่องตอกเข็มและเข็มพืดเหล็กสามารถหาได้ทั่วไปในท้องตลาด
การซ่อมบำรุง	การซ่อมบำรุงใต้ผิวดินไม่สามารถทำได้ จะต้องทำการติดตามตรวจสอบการรั่วซึม ถ้าตรวจพบมีการรั่วซึม จะต้องติดตั้งกำแพงกั้นชุดที่สอง หรือขุดและติดตั้งใหม่		
การนำกลับไปใช้ใหม่	ต้องทำการขุดลอก	ส่วนมากไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้	เข็มพืดอาจจะสามารถถอดนำไปใช้ใหม่ได้



รูปที่ 5 ตัวอย่างการใช้กำแพงเข็มพืดช่วยกู้น้ำบาดาล (Wastech, 1993, In: Contaminated Sites Management Working Group, 1997.)

9. ข้อพิจารณาในการวางแผนใช้ระบบการกักกั้น

เทคนิคการกักกั้นเป็นวิธีการที่ใช้เฉพาะสถานการณ์หนึ่งๆ ก่อนตัดสินใจเลือกใช้วิธีนี้จำเป็นต้องศึกษาลักษณะของพื้นที่ (site characterization) และทำแบบจำลองค่อนข้างมาก บางครั้งการศึกษาทำแบบจำลอง จะบอกได้ว่าการแก้ไขโดยวิธีการกักกั้นไม่สามารถใช้ได้ ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงสถานการณ์ต่างๆ ที่เทคนิคต่างๆเช่นเทคนิคการกักกั้น การบำบัดในที่ การสูบและบำบัด การขุดทิ้ง อาจจะใช้ได้หรือใช้ไม่ได้

อนึ่งการพิจารณาจะใช้วิธีการกักกั้นแต่ละชนิดจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลศึกษาความเป็นไปได้ ทั้งเทคโนโลยีที่เหมาะกับการแก้ปัญหาตลอดจนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย ความปลอดภัยของประชาชน และบุคลากรดำเนินงาน แล้วจึงออกแบบและดำเนินการในระหว่างดำเนินการจะต้องมีการติดตามความไม่แน่นอนและปัญหาต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นเพื่อให้การกักกั้นประสบผลสำเร็จ

10. บทสรุป

เทคนิคการกักกั้นเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปในการควบคุมสารปนเปื้อน และมักใช้เป็นมาตรการระยะกลาง (interim measure) จนกว่าจะมีแผนการฟื้นฟูที่สมบูรณ์ การกักกั้นสามารถทำได้โดยการก่อสร้างเครื่องกักกั้นทางกายภาพ เช่นม่านปูนอัดฉีด กำแพงโคลนเหลว กำแพงเข็มพืด หรือชั้นปิดกลบ หรือโดยวิธีทางชลศาสตร์ เช่น การสูบน้ำออก การสร้างร่องกั้นน้ำ หรือร่องระบายน้ำ การสูบน้ำออกเป็นวิธีการที่นิยมใช้เพราะง่ายในการดำเนินการและมีแนวโน้มประสบผลสำเร็จมากกว่าวิธีทางกายภาพ การสูบน้ำออก จำเป็น ต้องบำบัดน้ำหรือนำไปทิ้งที่อื่น และเป็นระบบที่จำเป็นต้องมีแผนปฏิบัติการและกองทุนสนับสนุนในระยะยาว

11. เอกสารอ้างอิง

Contaminated Sites Management Working Group, 1997. Site Remediation Techno-logies: A Reference Manual, Water Technology International Corp, Ontario, Canada, 123 p.

Engineering Manual, EM1110-1-502, 1994. Technical Guidelines for Hazardous and Toxic Waste Treatment and Cleanup Activities, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

ตารางที่ 3 ข้อพิจารณาในการใช้วิธีการกักกั้นทางกายภาพ วิธีการกักกั้นทางชลศาสตร์ และวิธีการบำบัดในสนามและการตักทิ้ง

สถานการณ์	การกักกั้นทางายภาพ	การกักกั้นทางชลศาสตร์ การสูบ และบำบัด	การบำบัดในสนาม	การขุดดิน หรือวัสดุ
ดินปนเปื้อนในชั้น Vadose Zone เท่านั้น	ใช่	ไม่	ใช่	ไม่
ดินปนเปื้อนสาร LNAPL เขตอิ่มตัวด้วยน้ำ	ใช่	ใช่ แต่มักไม่สามารถแยกสารปนเปื้อนออกจากดินได้ทั้งหมด	ใช่	มักจะมีความยุ่งยาก
ดินปนเปื้อนสาร DNAPL เขตอิ่มตัวด้วยน้ำ	อาจจะไม่	ใช่ แต่เพียงแค่เก็บพลูมไม่สามารถแยกสาร DNAPL ได้หมด	อาจจะไม่	มักจะมีความยุ่งยาก
ปลอก หรือถัง หรือ ของเสีย หรือ สารแปรสภาพ	ใช่ แต่ไม่ นิยม	ใช่ แต่ไม่ นิยม	ไม่	ใช่ แต่ไม่ นิยม
สารละลายปนเปื้อนในชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้น	ใช่	ใช่	ใช่	ไม่
สารละลายปนเปื้อนในชั้นหินอุ้มน้ำระดับลึก	ยุ่งยาก	ใช่	ใช่ แต่มีความยุ่งยาก	ไม่
ผลลัพธ์ (ของเหลว)	ไม่แนะนำ	ใช่	ยุ่งยาก	ใช่ ในบางกรณี
สารกัมมันต์	ใช่	ใช่	ไม่	ราคาแพงมากและอันตราย

คู่มือ ทบ อ 4004-2550
การฟื้นฟูเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลโดยวิธีการทางเคมีและชีวภาพ

คู่มือ ทบ อ 4004-2550 เป็นคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล (อ) ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง "2550" หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้ใส่วงเล็บต่อท้ายและระบุ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย [(n)] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย [(ป)] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

การฟื้นฟูน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนจากมลพิษเพื่อให้น้ำบาดาลมีคุณภาพดีขึ้นเข้ามาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาล นำไปใช้ประโยชน์ได้ตามต้องการ ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคนิคและวิธีการต่างๆ เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำและกำจัดสารพิษหลายวิธี ทั้งที่อยู่ในแหล่งกำเนิดสารพิษ (source) และพื้นที่ซึ่งสารพิษละลายและไหลไปกับน้ำบาดาล (plume) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การฟื้นฟูน้ำบาดาลในพื้นที่ซึ่งมีการปนเปื้อน (in situ) และฟื้นฟูนอกสถานที่ที่มีการปนเปื้อน (ex situ) เหล่านี้มีวิธีการ และเทคนิคต่างกัน ดังแสดงในหัวข้อที่ 8 ของเอกสารเรื่องนี้

2. ขอบเขต

2.1 คู่มือฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลโดยวิธีการทางเคมีและชีวภาพเป็นหลัก โดยมีจุดประสงค์จะให้เข้าสู่มาตรฐานน้ำดื่มน้ำใช้ขององค์การอนามัยโลก (WHO) ที่ได้แนะนำไว้

2.2 วิธีการต่างๆ ที่แนะนำเป็นคู่มือนั้นได้ยึดถือเอกสารวิชาการและตำรา ตลอดจนประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญแขนงต่างๆ ซึ่งเป็นผลงานที่ถูกต้องยอมรับได้ในระดับสากล อย่างไรก็ตามได้เปิดโอกาสให้มีการแก้ไขเพิ่มเติมในบทความในส่วนต่างๆ ได้หากมีเอกสารรายงานที่มีเนื้อหาเป็นประโยชน์ต่อคู่มือฉบับนี้

2.3 คู่มือฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในงานวิชาการของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลเท่านั้น ดังนั้นหน่วยงานอื่นที่จะนำไปใช้ประโยชน์ ควรจะได้ศึกษาในรายละเอียด และข้อจำกัดก่อนที่จะพิจารณาปรับปรุงแก้ไขตามความเหมาะสม

2.4 หน่วยวัดใช้ระบบเมตริกหรือระบบ SI

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ.2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน

3.2 Foster, S.S.D., R. Hirata, D.C. Gomes, M. D'Elia and M. Paris, 2007. Ground-water Quality Protection, Groundwater Management Advisory Team (GW-MATE), The World Bank Washington, D.C.

3.3 The United Nations (UN), 1980. International Drinking Water Supply and Sanitation Decade. The report of the United Nations (UN) Water Conference and approved the Mar del Plata Action Plan concerning drinking water supply and

sanitation and other agreements reached at the Conference, 35/18 of 10 November 1980.

3.4 World Health Organization (WHO), 2006. Guidelines for drinking-water quality, incorporating first addendum. Vol.1, Recommendations, 3rd ed. ISBN 92 4 1546964.

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 Reductive dehalogenation เป็นกระบวนการที่ทำให้ความเป็นพิษของสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุหมู่ 7 ของตารางธาตุ (periodic table) ลดลงและง่ายต่อการสลายด้วยจุลินทรีย์ นิยมใช้บำบัดสารอินทรีย์ที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ

4.2 Co-metabolism เป็นกระบวนการบำบัดสารอินทรีย์ที่โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนไฮโดรคาร์บอนหลายวง สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุหมู่ 7 เป็นองค์ประกอบและสารปราบศัตรูพืชบางชนิด

5. ความสำคัญและการใช้งาน

สืบเนื่องจากปรัชญาของสหประชาชาติว่าด้วยการจัดหาน้ำสะอาดและทศวรรษแห่งการสารธารณสุข (The United Nations, 1980) ที่กำหนดให้มีน้ำกินน้ำใช้อย่างทั่วถึงและพอเพียง โดยปราศจากเชื้อโรค และสารที่เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์นั้น จนถึงคริสต-ศตวรรษที่ 21 พบว่าในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา ยังไม่สามารถเข้าถึงปรัชญาดังกล่าวได้ โดยเฉพาะในน้ำบาดาลยังมีแร่ธาตุต่างๆ ละลายอยู่มากเกินมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (WHO) ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ใช้น้ำบาดาลในระยะยาว ดังนั้นจึงต้องมีแนวทางแก้ไขโดยหาวิธีการต่างๆ เพื่อปรับปรุงหรือบำบัดให้น้ำบาดาลดังกล่าวมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสากลที่กำหนดไว้

องค์การอนามัยโลก พบว่าในคริสต์ศตวรรษที่ 21 ปัญหาใหญ่ในเรื่องคุณภาพน้ำบาดาลในประเทศกำลังพัฒนา ได้แก่ การแพร่กระจายของเชื้อโรคต่างๆ ในแหล่งน้ำและการเกิดสารมลพิษละลายในแหล่งน้ำ สาเหตุหลักมาจากขาดการเรียนรู้เรื่องสุขอนามัย ถึงแม้ว่า องค์การอนามัยโลกได้จัดทำมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มมาแล้ว กว่า 20 ปีก็ตาม นอกจากนี้ในน้ำบาดาลโดยธรรมชาติก็มีแร่ธาตุต่างๆ ที่ละลายอยู่สูงกว่ามาตรฐาน (ตารางที่ 1 และตารางที่ 2) น้ำบาดาลมีแร่ธาตุต่างๆ ละลายอยู่ตามธรรมชาติโดยที่ไม่มีการปนเปื้อน แร่ธาตุเหล่านี้บางตัวมีความจำเป็นต่อการดำรงชีพของมนุษย์และสัตว์ ถ้าละลายอยู่ในปริมาณที่เหมาะสมถ้ามีมากเกินไปเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ทำให้เกิดโรคภัยต่างๆ ในกลุ่มธาตุรอง (trace elements) เป็นกลุ่มที่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพงในการตรวจวัด ส่วนกลุ่มธาตุเหล็กตรวจวัดง่ายและมีค่าใช้จ่ายในการตรวจวัดไม่สูงนัก

6. ขั้นตอนในการดำเนินงาน

การฟื้นฟูน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนสารมลพิษ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้น้ำบาดาลมีคุณภาพดีขึ้นตามกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาล และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ตามต้องการ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคและวิธีการต่างๆ เพื่อใช้ในการบำบัดสารมลพิษในน้ำบาดาล ทั้งที่อยู่ในบริเวณแหล่งกำเนิดสารมลพิษ (source) และบริเวณที่สารมลพิษมีการเคลื่อนที่ไปในน้ำบาดาล (plume) โดยทั่วไปมีการแบ่งวิธีการที่จะใช้ในการบำบัดออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การฟื้นฟูน้ำบาดาลโดยตรงในบริเวณพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน (in situ) และ การฟื้นฟูน้ำบาดาลนอกสถานที่ที่มีการปนเปื้อน (ex situ) คือต้องมีการสูบน้ำบาดาลออกมาจากชั้นหินอุ้มน้ำ แล้วจึงนำไปบำบัดต่อไป ซึ่งการฟื้นฟูน้ำบาดาลทั้งสองวิธีประกอบด้วยเทคนิคการบำบัดสารมลพิษที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 1 สารละลายในน้ำบาดาลที่มีผลเสียต่อสุขภาพมนุษย์

กลุ่มธาตุรอง (trace elements) ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)				กลุ่มธาตุหลัก (major elements) ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
0.1-1	1-10	10-100	100-1000	1-10	10-100	มากกว่า 100
V *	Li *	P *	Sr *	Mg *	Na *	HCO_3 *
Se *	Ba *	B	F *	K *	Ca *	
As	Cu *	Br		Si *	SO_4 *	
Cd	Mn *	Fe *			Cl *	
Co *	U	Zn *			NO_3 *	
Ni *	I					
Cr *						
Pb						
Al						

หมายเหตุ * เป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อสุขภาพมนุษย์และสัตว์

As เป็นธาตุที่มีพิษหรือไม่พึงปรารถนาหากมีความเข้มข้นเกินกำหนด

(ดัดแปลงจาก Foster, et al., 2006)

ตารางที่ 2 ตัวอย่างธาตุรองที่ละลายในน้ำบาดาลและมีผลเสียต่อสุขภาพ

ชื่อธาตุรอง	มาตรฐานน้ำดื่ม * (มิลลิกรัมต่อลิตร)	อันตรายต่อสุขภาพ	การละลายในน้ำบาดาล	การปรับปรุงคุณภาพ
อาร์เซนิก (As)	ลดจาก 50 เหลือ 10	อันตรายอยู่ในรูปของสารประกอบ อาร์ซีไนต์-อาร์ซีเนต	แตกตัวมาจากแร่ Pyrite โดยละลายน้ำที่เป็นกรด	ได้จากการเพิ่มออกซิเจนให้เปลี่ยนสภาพและตกตะกอนแยกตัวออก
ฟลูออไรด์ (F)	1,500	มีอันตรายต่อฟันและกระดูก	เกิดจากการละลายของหินแกรนิตและหินภูเขาไฟที่มีแร่ฟลูออไรด์อยู่	ทำให้ตกตะกอนด้วยยิปซัมหรือปูนขาวกับสารส้ม แล้วกรองออกหรือใช้วิธีแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้า
แมงกานีส (Mn)	100	เป็นธาตุจำเป็นแต่ถ้ามีความเข้มข้นสูงมากไป มีอันตรายต่อระบบประสาทและทำให้เครื่องใช้มีสีแดง	พบในดิน-หินโดยละลายในสภาวะน้ำเป็นกรด และในสภาวะไม่มีออกซิเจน	ทำให้ตกตะกอนโดยการสัมผัสกับอากาศแล้วกรองออกไป

(ดัดแปลงจาก Foster, et al., 2006)

ตารางที่ 3 เทคนิคที่ใช้ในการบำบัดสารมลพิษในน้ำบาดาล

In situ	รายละเอียดกระบวนการ
In situ bioremediation	การย่อยสลายทางชีวภาพของสารมลพิษโดยจุลินทรีย์
Soil vapor extraction	การระเหยของสารมลพิษที่ปนเปื้อนบริเวณชั้นน้ำไม่อิ่มตัว(vadose zone)
Air sparging	การระเหยของสารมลพิษที่ปนเปื้อนบริเวณชั้นน้ำอิ่มตัว(saturated zone)
Permeable reaction barriers	การย่อยสลายทางกายภาพหรือชีวภาพของสารมลพิษบริเวณตัวกลางกั้นขวาง
Vacuum vapor extraction	การระเหย (ภายในหลุมเจาะ) ของสารมลพิษที่ปนเปื้อนบริเวณดินอิ่มน้ำ
Ex situ	**รายละเอียดกระบวนการ**
Ex situ bioremediation	การย่อยสลายทางชีวภาพของสารมลพิษโดยใช้จุลินทรีย์
Air stripping	การระเหยของสารมลพิษ
Carbon adsorption	การดูดซับสารมลพิษโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์
Ion exchange	การแลกเปลี่ยนประจุกันระหว่างสารมลพิษกับเรซินชนิด ion exchange
Alkaline precipitation	การปรับค่าความเป็นกรดต่างเพื่อให้สารที่ละลายในน้ำบาดาลตกตะกอนแยกออกมา
Membrane	การใช้เยื่อเลือกผ่าน หรือเยื่อที่มีรูพรุนขนาดต่างๆ ในการกรอง หรือแยกสารมลพิษ
Wetlands treatment	การบำบัดสารมลพิษในพื้นที่ชุ่มน้ำ
Electro kinetic decontamination	การละลายของสารมลพิษในสภาวะที่เป็นกรด

6.1 การฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนมลพิษโดยวิธีการทางชีวภาพ

การฟื้นฟูทางชีวภาพ (bioremediation) หมายถึง การใช้ระบบบำบัดทางชีวภาพเพื่อลดความเข้มข้นของสารอันตรายในบริเวณที่มีการปนเปื้อน เช่น การกำจัดสารอันตรายในน้ำบาดาล ดิน หนองน้ำ และกากตะกอนมลพิษ การฟื้นฟูทางชีวภาพ เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการบำบัดสารมลพิษมีความรุนแรงน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี อย่างไรก็ตาม วิธีนี้อาจใช้ไม่ได้ผลนักในบริเวณแหล่งน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนสารมลพิษในปริมาณที่สูงมากๆ แต่สามารถนำมาใช้ในการบำบัดสารมลพิษร่วมกับวิธีการบำบัดแบบอื่นได้ นอกจากนั้นแล้วบริเวณแหล่งน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนที่สภาวะแตกต่างกัน ก็จำเป็นจะต้องใช้เทคนิคและวิธีการเฉพาะอย่างแตกต่างกัน สำหรับการฟื้นฟูทางชีวภาพในแหล่งน้ำบาดาลก็สามารถแบ่งออกได้เป็นทั้งการบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพแบบ in situ และ ex situ ซึ่งมีเทคนิคและหลักการ ดังต่อไปนี้

6.1.1 การฟื้นฟูโดยวิธีทางชีวภาพแบบ in situ

การฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลโดยวิธีทางชีวภาพแบบ In situ (In situ bioremediation) เป็นการปรับสภาวะบริเวณแหล่งน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนให้มีความเหมาะสม เพื่อให้เกิดการบำบัดสารมลพิษทางชีวภาพในบริเวณที่มีการปนเปื้อนได้ดีขึ้น ประกอบด้วยเทคนิคต่างๆ ดังต่อไปนี้

(1) การเติมจุลินทรีย์ (bioaugmentation) เทคนิคนี้เป็นการเติมจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการบำบัดสารมลพิษลงในบริเวณแหล่งน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนโดยตรง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด โดยจะต้องมีการคัดเลือกจุลินทรีย์ ที่มีความคงทนต่อสารมลพิษ และมีความสามารถในการบำบัดสารมลพิษผ่านกลไกต่างๆ ได้แก่ การย่อยสลายสารมลพิษ เพื่อ

เป็นแหล่งอาหารหรือแหล่งพลังงาน การดูดซับและสะสมสารมลพิษไว้บนผิวเซลล์หรือในเซลล์ หรือการเปลี่ยนรูปหรือย่อยสลายสารมลพิษให้อยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยลง หรือไม่มีความเป็นพิษเหลืออยู่ จุลินทรีย์ที่นำมาใช้อาจอยู่ในรูปเซลล์อิสระหรือเซลล์ที่ถูกตรึงบนวัสดุพยุงต่างๆ ทั้งนี้ การใช้เซลล์ตรึงรูปจะมีข้อดี คือ วัสดุพยุงจะช่วยป้องกันเซลล์จากสภาวะรุนแรงที่อาจเกิดขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง หรือความเข้มข้นของสารมลพิษ ซึ่งจะช่วยให้จุลินทรีย์มีอัตราการอยู่รอดในสิ่งแวดล้อมสูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถลดการกระจายตัวของจุลินทรีย์เข้าสู่สิ่งแวดล้อมบริเวณอื่นๆ ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามความสามารถในการแพร่ของสารมลพิษเข้าถึงเซลล์จุลินทรีย์อาจถูกจำกัดโดยวัสดุพยุงที่ใช้ในการตรึงเซลล์

(2) การกระตุ้นจุลินทรีย์ประจำถิ่น (biostimulation) โดยปกติแล้วในแหล่งน้ำบาดาล (ชั้น aquifer) จะมีจุลินทรีย์บางชนิดเจริญอยู่เรียกว่าจุลินทรีย์ประจำถิ่น (indigenous microorganisms) เทคนิคนี้จะเป็นการกระตุ้นจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่มีอยู่ในแหล่งน้ำบาดาลนี้ให้มีความสามารถในการบำบัดสารมลพิษหรือเพิ่มความสามารถในการบำบัดสารมลพิษ ผ่านกลไกการบำบัดสารมลพิษโดยจุลินทรีย์ ได้แก่ การย่อยสลายสารมลพิษเพื่อเป็นแหล่งอาหารหรือแหล่งพลังงาน การดูดซับและสะสมสารมลพิษไว้บนผิวเซลล์หรือในเซลล์หรือการเปลี่ยนรูปหรือย่อยสลายสารมลพิษให้อยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยลง หรือไม่มีความเป็นพิษเหลืออยู่ ซึ่งทำได้โดยการเติมสารอาหาร แหล่งพลังงาน แร่ธาตุ หรือตัวรับอิเล็คตรอนที่จำเป็นต่อการเจริญ และการอยู่รอดของจุลินทรีย์ประจำถิ่น ลงไปในแหล่งน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนสารมลพิษ เพื่อเพิ่มกิจกรรมในการบำบัดสารมลพิษให้ดีขึ้น เพื่อให้ใช้เทคนิคนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องมีการศึกษาเพื่อหาแหล่งอาหาร หรือปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสม ในบางกรณีอาจมีการเติมสารที่จะช่วยเหนี่ยวนำให้จุลินทรีย์ผลิตเอ็นไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารมลพิษ ซึ่งลักษณะนี้เรียกว่าการย่อยสลายสารมลพิษแบบโคเมทาบอลิซึม (co metabolism)

(3) การเติมอากาศ (bioventing หรือ biosparging) เทคนิคนี้จะมีการเติมอากาศลงไปในแหล่งน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนสารมลพิษ โดยการสูบอัดอากาศผ่านท่อลงไปยังบริเวณที่ต่ำกว่าระดับน้ำบาดาล อากาศที่เติมลงไปจะกระจายตัวในน้ำบาดาล เป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำบาดาลให้มีปริมาณเพียงพอต่อการเจริญและกิจกรรมของจุลินทรีย์ชนิดที่ต้องการอากาศ ซึ่งก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสารมลพิษโดยจุลินทรีย์ประจำถิ่นในแหล่งน้ำบาดาลได้ โดยกลไกการบำบัดสารที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคนี้ ได้แก่ กลไกการบำบัดสารมลพิษโดยจุลินทรีย์ดังอธิบายแล้วข้างต้น

(4) การใช้ตัวกลางกั้นขวางชีวภาพ (reactive biobarrier) การฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลโดยใช้ตัวกลางกั้นขวางทางชีวภาพ จะเป็นการสร้างกำแพงชีวภาพขวางทิศทางการไหลของน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อน เพื่อมิให้สารมลพิษมีการกระจายและปนเปื้อนไปตามทิศทางการไหลของน้ำบาดาล ซึ่งกำแพงดังกล่าวจะมีคุณสมบัติเฉพาะ คือ ยอมให้น้ำบาดาลไหลผ่านไปได้ แต่สารมลพิษจะถูกกำจัดระหว่างที่น้ำบาดาลเคลื่อนที่ผ่านกำแพงนี้ โดยต้องทำการขุดเจาะดินเหนือบริเวณสุดปลายน้ำบาดาลมีการปนเปื้อนสารมลพิษลึกจนถึงชั้นดินที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ (impermeable layer) หลังจากขุดดินออกแล้วจึงเติมวัสดุชีวภาพที่สามารถส่งเสริมการบำบัดสารมลพิษนั้นๆ ได้ลงไปแทน ซึ่งวัสดุชีวภาพที่นำมาใช้โดยมากแล้วจะเป็นเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ตรึงไว้ในวัสดุ

พยุงหรืออาจมีการเติมวัสดุที่เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ร่วมด้วย เมื่อน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนสารมลพิษไหลสู่ตัวกลางชีวภาพนี้ จะเกิดกลไกการบำบัดสารมลพิษโดยจุลินทรีย์ขึ้น ร่วมกับกลไกการกรองสารมลพิษให้อยู่ติดกับวัสดุพยุง หรือวัสดุอื่นๆ ที่เติมลงไป จากนั้นน้ำบาดาลที่ผ่านตัวกลางนี้ออกมาจะมีปริมาณสารมลพิษลดลง หรือปราศจากสารมลพิษดังกล่าว การที่จะใช้เทคนิคนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดก่อน เช่น ชนิดและความหนาแน่นของจุลินทรีย์ ความหนาของตัวกลางกั้นขวางทางชีวภาพที่จะทำให้กระบวนการบำบัดเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ รวมไปถึงความยาว และทิศทางการจัดวางของตัวกลางซึ่งควรจะครอบคลุมการกระจายตัวของสารมลพิษอย่างทั่วถึง เทคนิคนี้สามารถใช้ในการบำบัดแบบ ex situ ได้ โดยการปั๊มน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนผ่านตัวกั้นขวางทางชีวภาพที่ทำการบรรจุไว้ในลักษณะที่เป็นคอลัมน์ สารมลพิษที่อยู่ในน้ำบาดาลก็จะถูกกำจัดโดยอาศัยหลักการเดียวกัน

(5) การกรองโดยใช้ตัวกรองชีวภาพ (biofilter) วัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวกรองในเทคนิคนี้เป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติที่มีรูพรุน หรืออาจมีการตรึงจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการบำบัดไว้ด้วยก็ได้ โดยจะมีการสร้างเป็นกำแพงในลักษณะเดียวกันกับตัวกลางกั้นขวางทางชีวภาพ เมื่อน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนสารมลพิษไหลสู่ตัวกรองชีวภาพนี้ สารมลพิษจะถูกดักจับไว้ในรูพรุนของตัวกรอง ถ้ามีจุลินทรีย์ตรึงอยู่ด้วยก็จะเกิดระบวนการบำบัดโดยจุลินทรีย์ร่วมด้วย น้ำบาดาลที่ผ่านออกมาจะมีปริมาณสารมลพิษลดลง หรือปราศจากสารมลพิษ ซึ่งจะต้องมีการศึกษาเพื่อหาชนิดของตัวกรองที่เหมาะสมในการบำบัดสารมลพิษแต่ละชนิดก่อน เพื่อให้สามารถใช้เทคนิคนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เทคนิคนี้สามารถใช้ในการบำบัดแบบ Ex situ ได้ โดยการปั๊มน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนผ่านตัวกรองชีวภาพ จากนั้นสารมลพิษที่อยู่ในน้ำบาดาลก็จะถูกกำจัดโดยอาศัยหลักการเดียวกัน

(6) การฟื้นฟูโดยพืช (phytoremediation) การฟื้นฟูน้ำน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนสารมลพิษโดยใช้พืชเป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารปนเปื้อนหลายชนิด ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ใช้ แต่ทว่าวิธีนี้จะใช้ได้ผลไม่ดีเท่าที่ควรหากพื้นที่นั้นมีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในปริมาณที่สูงมาก ในขั้นตอนการบำบัดจะมีการปลูกพืชเหนือบริเวณที่น้ำบาดาลมีการปนเปื้อน เพื่อให้รากพืชมีการแทรกตัวลงสู่ชั้นน้ำบาดาล และเกิดกระบวนการบำบัดสารมลพิษผ่านกลไกต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งการบำบัดน้ำบาดาลโดยใช้พืช แบบ in situ นี้มีข้อจำกัด คือ ระดับน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนต้องไม่ลึกจนเกินไป คือ ไม่ควรลึกเกิน 5 ม. สารมลพิษจะต้องละลายน้ำได้ค่อนข้างดี และพื้นดินบริเวณที่มีการปลูกพืชจะต้องมีปริมาณธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียม ที่เพียงพอต่อการเจริญของพืช โดยจะต้องมีการศึกษาเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์พืชที่มีความสามารถในการทนและบำบัดสารมลพิษที่ต้องการได้

(7) การบำบัดตัวเองโดยธรรมชาติ (intrinsic remediation หรือ natural attenuation) การฟื้นฟูน้ำบาดาลด้วยวิธีการนี้อยู่บนพื้นฐานความเชื่อที่ว่าบริเวณแหล่งน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนสารมลพิษนั้นๆ มีจำนวนจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการบำบัดสารมลพิษ ปริมาณสารอาหาร และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดสารมลพิษที่เหมาะสมเพียงพออยู่แล้ว นอกจากนี้ยังมีกลไกธรรมชาติทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมี เช่น การดูดซับสารมลพิษโดยวัสดุในชั้นหินอุ้มน้ำ การตกตะกอน และการเกิด ปฏิกิริยารวมตัวกันของสารมลพิษ ซึ่งกลไกเหล่านี้จะช่วย

ตารางที่ 4 กลไกที่เกี่ยวข้องกับการฟื้นฟูโดยใช้พืช

กลไกการฟื้นฟูโดยใช้พืช	กระบวนการที่เกี่ยวข้อง
การสร้างสมดุลโดยพืช (Phytostabilization)	- พืชเป็นตัวควบคุมความเป็นกรด-ด่าง แก๊สในดิน และสภาวะลด หรือเพิ่มออกซิเจนในดินเพื่อตรึงสารปนเปื้อนไว้บริเวณรากพืช
การย่อยสลายบริเวณรากพืช (Rhizodegradation)	- สารคัดหลั่ง (exudates) จากพืชจะเป็นตัวกระตุ้นให้จำนวนแบคทีเรียบริเวณรอบรากพืชเพิ่มขึ้น - สารคัดหลั่งจะกระตุ้นให้การย่อยสลายสารปนเปื้อนโดยเชื้อราและจุลินทรีย์ดีขึ้น - รากพืชจะเป็นตัวดูดออกซิเจนให้กับจุลินทรีย์ประเภทใช้อากาศ
การกรองโดยรากพืช (Rhizofiltration)	- สารประกอบถูกดูดซับโดยรากพืช
การย่อยสลายโดยพืช (Phytodegradation)	- พืชจะดูดซับ เก็บ และย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์บางชนิดให้เป็นสารที่ไม่มีพิษ ซึ่งอาจถูกย่อยสลายต่อไปโดยจุลินทรีย์และกระบวนการอื่น ๆ ทำให้มีความเป็นพิษน้อยลง

ป้องกันการกระจายตัวของสารมลพิษได้อีกทางหนึ่ง การบำบัดโดยวิธีการนี้ จึงเพียงแค่ตรวจติดตามผลการบำบัดสารมลพิษจากกระบวนการทางธรรมชาติเหล่านี้ อย่างไรก็ตามการบำบัดโดยวิธีนี้จะได้ผลดีก็ต่อเมื่อมีการฟื้นฟูบริเวณแหล่งกำเนิดสารมลพิษ (source) ที่ต้องการบำบัดเสียก่อน แล้วจึงปล่อยให้มีกระบวนการบำบัดตัวเองโดยธรรมชาติบริเวณที่สารมลพิษกระจายตัวไป

6.1.1 การฟื้นฟูโดยวิธีทางชีวภาพแบบ ex situ

การฟื้นฟูโดยวิธีทางชีวภาพแบบ ex situ (ex situ bioremediation) ต้องทำการสูบน้ำบาดาลออกมาจากชั้นหินอุ้มน้ำแล้วจึงนำไปบำบัดต่อโดยวิธีทางชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วยเทคนิคและหลักการดังต่อไปนี้

(1) ถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (bioreactor) การฟื้นฟูคุณภาพน้ำบาดาลในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเป็นการบำบัดสารมลพิษโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบต่าง ๆ ที่มีการออกแบบเพื่อให้สามารถควบคุมสภาวะและปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบำบัดสารมลพิษได้ง่ายกว่าวิธีการบำบัดแบบ in situ โดยน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนจะถูกสูบเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการบำบัดสารมลพิษที่ต้องการอยู่แล้ว ทั้งนี้อาจมีการเติมสารอาหารหรือปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญและการบำบัดสารมลพิษของจุลินทรีย์ร่วมด้วย โดยจุลินทรีย์ที่จะนำมาใช้เป็นได้ทั้งกลุ่มจุลินทรีย์ เช่น กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบต่าง ๆ หรือเป็นจุลินทรีย์เดี่ยวที่มีความสามารถในการบำบัดสารมลพิษได้โดยตรง ซึ่งโดยมากแล้วสามารถคัดแยกจุลินทรีย์เหล่านี้ได้จากบริเวณที่มีการปนเปื้อนสารมลพิษที่ต้องการบำบัด หรือในบางกรณีอาจไม่ต้องมีการเติมจุลินทรีย์ลงไปในถังปฏิกรณ์ แต่ต้องจัดสภาวะต่าง ๆ ในถังปฏิกรณ์ให้เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วในน้ำบาดาลที่จะทำการฟื้นฟู อาจใช้เทคนิคการกระตุ้นจุลินทรีย์ และการเติมอากาศร่วมด้วย การใช้งานจุลินทรีย์เหล่านี้อาจใช้ในรูปเซลล์แขวนลอย ลักษณะคล้ายกับการ

บำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบ activated sludge หรือ Up flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) หรืออาจเป็นเซลล์ที่ถูกตรึงไว้กับวัสดุพยุง ลักษณะคล้ายกับการบำบัดน้ำเสียในถังปฏิกรณ์แบบ rotating biological contactor หรือ trickling filter การใช้เทคนิคนี้ จะต้องมีการศึกษาเพื่อหาชนิดของจุลินทรีย์ สภาวะ และระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดสารมลพิษแต่ละชนิด

(2) การบำบัดสารมลพิษแบบกึ่งแข็งกึ่งเหลว (slurry phase treatment) วิธีนี้เป็นการนำน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนสารมลพิษมาผสมกับดิน แล้วทำการบำบัดในถังปฏิกรณ์แบบต่างๆ มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดสารมลพิษโดยการทำงานของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งอาจมีการเติมแหล่งอาหารและปัจจัยต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับกิจกรรมของจุลินทรีย์ร่วมด้วย เมื่อสิ้นสุดกระบวนการบำบัดสารมลพิษทั้งในส่วนที่เป็นน้ำและส่วนที่เป็นดินจะต้องมีความเข้มข้นลดลงจนถึงจุดที่ต้องการ หรือเกิดกระบวนการบำบัดโดยสมบูรณ์ หากมีการใช้เทคนิคการเติมจุลินทรีย์ที่มีความสามารถโดยตรงในการบำบัดสารมลพิษร่วมด้วย ก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดได้ดียิ่งขึ้น

(3) การบำบัดสารมลพิษในพื้นที่ชุ่มน้ำ (wetlands treatment) การฟื้นฟูน้ำบาดาลในพื้นที่ชุ่มน้ำนี้ เป็นการสร้างแอ่งน้ำที่มีการปลูกพืชที่เติบโตได้ในพื้นที่ชุ่มน้ำ อาจมีการรองพื้นแอ่งน้ำนี้ด้วยวัสดุที่น้ำไม่สามารถไหลผ่านได้ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารมลพิษสู่ชั้นดินบริเวณใกล้เคียง กระบวนการบำบัดจะทำการปล่อยน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนให้ไหลผ่านบึง ซึ่งมีทั้งการปล่อยน้ำบาดาลให้ไหลผ่านบริเวณลำต้นพืช หรือไหลผ่านบริเวณรากพืช เทคนิคการบำบัดนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ สามารถนำมาใช้ในการบำบัดสารมลพิษได้หลากหลายชนิดในเวลาเดียวกัน โดยบริเวณแอ่งน้ำนั้นจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ บริเวณผิวน้ำซึ่งจะมีปริมาณออกซิเจนสูง และบริเวณที่อยู่ลึกลงไป ซึ่งจะมีปริมาณออกซิเจนต่ำ จึงทำให้จุลินทรีย์หลากหลายชนิดเจริญและทำงานร่วมกันเพื่อเพิ่มกิจกรรมการบำบัดสารมลพิษ โดยจุลินทรีย์เหล่านี้มีชีวิตอยู่ได้ทั้งในรูปที่เป็นเซลล์แขวนลอยในน้ำ และเกาะติดอยู่กับลำต้น ใบ และรากพืช และยังสามารถเกาะติดอยู่บนผิว ดิน ทราย หิน หรือวัสดุอื่นๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างแอ่งน้ำได้อีกด้วย นอกจากนั้น ยังมีกลไกการบำบัดสารมลพิษโดยพืชที่ปลูกในบึง ลักษณะเหมือนกับกลไกการบำบัดสารมลพิษโดยใช้พืช (phytoremediation) ที่อธิบายแล้ว เทคนิคการบำบัดสารมลพิษในพื้นที่ชุ่มน้ำนี้ นอกจากจะสามารถบำบัดสารมลพิษหลายชนิดในเวลาเดียวกันแล้ว ยังมีข้อดีคือ มีต้นทุนต่ำ การดำเนินระบบ และการบำรุงรักษาระบบทำได้ง่าย และสามารถใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม เทคนิคนี้ยังมีข้อจำกัด คือ ต้องใช้พื้นที่มากในการสร้างระบบ อาจเกิดปัญหาการรบกวนโดยยุงและแมลงต่างๆ และเมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานานควรมีการล้างระบบเพื่อลดการสะสมของสารมลพิษในตะกอนดิน

6.2 การฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์

6.2.1 การฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนโลหะหนัก

โลหะหนักที่มีการกำหนดค่าความเข้มข้นสูงสุดไว้ในมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาล ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) ได้แก่ แคดเมียม (cadmium) โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนซ์ (hexavalent chromium) ทองแดง (copper) ตะกั่ว (lead) แมงกานีส (manganese) นิกเกิล (nickel) สังกะสี (zinc) สารหนู (arsenic) ซีลีเนียม (selenium) และปรอท (mercury) ซึ่งสามารถใช้วิธีการ

ทางชีวภาพในการกำจัดโลหะหนักเหล่านี้จากน้ำบาดาลได้ แต่เนื่องจากโลหะหนักไม่สามารถถูกย่อยสลายให้หมดไปได้ ดังนั้นในกระบวนการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำบาลดาลด้วยวิธีทางธรรมชาติ จึงต้องใช้กลไกอื่นๆ ที่ไม่ใช่การย่อยสลาย ได้แก่ การตรึงหรือสะสมโลหะหนัก การตกตะกอน การกรองด้วยตัวกรองชีวภาพ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน และการเปลี่ยนรูปโลหะหนักให้อยู่ในรูปของแข็งเพื่อตกตะกอนออกมา หรือเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยลง โดยใช้เทคนิคต่อไปนี้

(1) การบำบัดโลหะหนักด้วยเทคนิคการเติมจุลินทรีย์แบบ in situ และในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ กระบวนการบำบัดโดยใช้เทคนิคนี้ จะเริ่มต้นจากการคัดแยกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการทนต่อโลหะหนักที่ต้องการบำบัด โดยมากจะคัดแยกจากดินหรือน้ำ ในบริเวณที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักชนิดนั้นๆ เป็นเวลานาน หรือใช้เทคนิค acclimatization โดยนำวัสดุที่เป็นแหล่งให้จุลินทรีย์ เช่น ดิน น้ำ หรือกากตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบต่างๆ เป็นต้น มาผสมกับโลหะหนักดังกล่าว แล้วปล่อยทิ้งไว้เพื่อให้จุลินทรีย์มีการปรับตัวให้มีความสามารถในการทนต่อโลหะหนักได้ เมื่อคัดแยกได้แล้วจึงนำมาทดสอบความสามารถและหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดโลหะหนัก เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามรถย่อยสลายโลหะหนักเพื่อเป็นแหล่งพลังงานได้ กลไกการบำบัดโลหะหนักโดยใช้จุลินทรีย์จึงมี 2 กลไกด้วยกัน ได้แก่ ด้วยกลไกการสะสมโลหะหนักโดยจุลินทรีย์ (bioaccumulation/biosorption) และหรือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือการตกตะกอน (oxidation-reduction or precipitation) ดังอธิบายในตารางที่ 3 เมื่อได้จุลินทรีย์ที่มีความสามารถตามต้องการและทราบสภาวะที่เหมาะสมแล้ว ทำการเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ แล้วจึงเติมจุลินทรีย์ลงในบริเวณที่แหล่งน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนเพื่อบำบัดสารมลพิษโดยตรง วิธีการนี้จะไม่สามารถกำหนดสภาวะที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดได้ อีกวิธีหนึ่งคือเติมจุลินทรีย์ที่ทำการเพาะเลี้ยงลงในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ วิธีนี้จะสามารถควบคุมและกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดโลหะหนักในถังปฏิกรณ์ชีวภาพได้ เช่น ความเข้มข้นของโลหะหนัก ในน้ำบาดาล ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ อัตราการเติมอากาศ และอัตราการกวนผสม เป็นต้น ซึ่งจะทำให้กระบวนการบำบัดเกิดประสิทธิภาพสูงสุดได้ แต่จะต้องใช้ต้นทุนสูงในการสร้างถังปฏิกรณ์ และการดูแลรักษาระบบ ในกรณีที่น้ำบาดาลมีการปนเปื้อนโดยโลหะหนักหลายชนิด อาจใช้จุลินทรีย์หลากหลายสายพันธุ์เพื่อให้ทำงานร่วมกันในลักษณะที่เรียกว่ากลุ่มจุลินทรีย์ (mixed culture) หรือจุลินทรีย์บางชนิดจะมีความสามารถในสะสมโลหะได้หลากหลายชนิด ก็ใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์นั้นๆ เพียงชนิดเดียว (pure culture) ได้ ข้อจำกัดของเทคนิคนี้คือ หากความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำบาดาลในสูงเกินไป อาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง ทั้งนี้ขึ้นกับความสามารถของจุลินทรีย์แต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการบำบัด นอกจากนี้ ชนิดและความเป็นพิษของโลหะหนักที่ต้องการบำบัดต่อจุลินทรีย์ก็มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดด้วยเช่นกัน ในกรณีที่ใช้การบำบัดโดยจุลินทรีย์แบบ in situ จุลินทรีย์ที่เติมลงไปในแหล่งน้ำบาดาลอาจเกิดการกระจายตัวปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียงได้ ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้โดยใช้เทคนิคการตรึงจุลินทรีย์ไว้บนวัสดุพยุง ก่อนทำการเติมลงสู่แหล่งน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อน โดยเซลล์ตรึงของจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้นี้สามารถนำไปใช้ในการสร้างตัวกลางกั้นขวางทางชีวภาพเพื่อทำการบำบัดโลหะหนักในแหล่งน้ำบาดาลแบบทั้งในแบบ in situ และ ex situ ในคอลัมน์ ดังอธิบายแล้วข้างต้น

(2) การบำบัดโลหะหนักด้วยเทคนิคการกระตุ้นจุลินทรีย์แบบ in situ และในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ กระบวนการบำบัดโดยใช้เทคนิคนี้จะเริ่มต้นจากการศึกษาหาแหล่งอาหาร หรือปัจจัยที่เหมาะสม รวมไปถึงความเข้มข้นของปัจจัยนั้นๆ ที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ประจำถิ่น ในการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาล เช่น แหล่งคาร์บอน หรือแหล่งไนโตรเจนมีทั้งที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ และสารประกอบอนินทรีย์บริสุทธิ์ เช่น กลูโคส และแอมโมเนียมคลอไรด์หรือวัสดุทางธรรมชาติ/วัสดุเหลือทิ้งทางธรรมชาติ เช่น กากน้ำตาล ฟางข้าว ชานอ้อย และซังข้าวโพด โดยนำวัสดุเหล่านี้มาเติมลงในลงในบริเวณที่แหล่งน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อน หรือเติมลงในถังปฏิกรณ์ชีวภาพซึ่งจะสามารถควบคุมและกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดโลหะหนักได้ดีกว่า จากนั้นจุลินทรีย์ที่เจริญในน้ำบาดาลจะใช้สารประกอบหรือวัสดุที่เติมลงไปเพื่อเป็นแหล่งพลัง หรือเป็นตัวรับอิเล็คตรอน ทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มกิจกรรมการบำบัดโลหะหนักได้อีกวิธีหนึ่ง อย่างไรก็ตามวิธีนี้อาจใช้ไม่ได้ผลหากในแหล่งน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนไม่มีจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการบำบัดปนอยู่ จึงมักนิยมใช้วิธีนี้ร่วมกับเทคนิคการเติมจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการบำบัดโลหะหนักโดยตรง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดให้ดียิ่งขึ้น

(3) การบำบัดโลหะหนักโดยพืช และการปลูกพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ การฟื้นฟูน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนโลหะหนักโดยใช้พืชเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เนื่องจากพืชมีกลไกหลายอย่างที่สามารถกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำบาดาลได้ ดังแสดงในตารางที่ 4 ขั้นตอนจะเริ่มต้นจากการศึกษาเพื่อคัดเลือกหาพืชที่มีความทนต่อโลหะหนัก และสามารถกำจัดโลหะหนักจากน้ำบาดาลได้ พืชเหล่านี้ โดยมากจะใช้พันธุ์พืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีได้ในระบบที่รากต้องแช่อยู่ในน้ำ หรืออยู่ในพื้นที่ชุ่มน้ำ และมีการเจริญเติบโตได้ในท้องถิ่นใกล้เคียงบริเวณพื้นที่ปนเปื้อน เพื่อความสะดวกในการจัดหา เมื่อได้ชนิดของพืชที่ต้องการแล้ว กรณีที่เป็นพืชที่ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด จะต้องทำการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนของพืช ให้มีอายุที่เหมาะสม (ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช) แล้วจึงย้ายพืชไปปลูกในพื้นดินเหนือบริเวณที่น้ำบาดาลมีการปนเปื้อน หากเป็นพืชที่ขยายพันธุ์โดยใช้หน่อ หรือลำต้น ก็สามารถนำหน่อหรือลำต้น มาใช้ได้เลย หรืออาจมีการอนุบาลพืชก่อนนำไปปลูกในพื้นที่จริงด้วยก็ได้ โดยรากพืชจะชอนไชลงไปถึงชั้นน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อน และเกิดกลไกการบำบัดผ่านกลไกต่างๆ กรณีที่ทำการบำบัดโดยพืชแบบ in situ นี้ระดับน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนต้องไม่ลึกจนเกินไป และพื้นดินบริเวณที่มีการปลูกพืชจะต้องปริมาณธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียม ที่เพียงพอต่อการเจริญของพืช และสามารถปลูกพืชหลายชนิดร่วมกันได้ในกรณีที่มีการปนเปื้อนด้วยโลหะหนักหลายชนิดสำหรับการบำบัดน้ำบาดาลโดยพืชแบบ ex situ หรือการสร้างแอ่งน้ำ โดยปกติจะปลูกพืชได้หลายชนิดในแอ่งน้ำเดียวกัน ทั้งที่เป็นพืชที่เจริญได้ดีในพื้นที่ชุ่มน้ำ และพืชลอยน้ำ ทำการสร้างแอ่งน้ำให้มีขนาดตามต้องการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำบาดาลที่ต้องการบำบัด โดยมีการรองพื้นแอ่งน้ำนี้ด้วยวัสดุที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารมลพิษสู่ชั้นดินบริเวณใกล้เคียง เมื่อปลูกพืชเสร็จแล้ว จะเริ่มกระบวนการบำบัด โดยปล่อยน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนให้ไหลผ่านบึง ซึ่งมีทั้งการปล่อยน้ำบาดาลให้ไหลผ่านบริเวณลำต้นพืช หรือไหลผ่านบริเวณรากพืช เพื่อให้โลหะหนักผ่านกลไกการบำบัดโดยพืชที่ปลูกในบึงและกลไกธรรมชาติอื่นดังอธิบายแล้วข้างต้น น้ำบาดาลที่ผ่านออกมาจากแอ่งน้ำนี้จะไม่มีโลหะหนัก

ปนเปื้อน เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานานควรมีการล้างระบบเพื่อลดการสะสมของโลหะหนักในตะกอนดิน หรือขุดลอกระบบเพื่อนำตะกอนดินและพืชที่มีการสะสมโลหะหนักไปกำจัดต่อไป

(4) การบำบัดโลหะหนักตามธรรมชาติ ในบริเวณที่น้ำบาดาลมีการปนเปื้อนโลหะหนักในปริมาณน้อย หรือไม่มีการนำน้ำบาดาลบริเวณนั้นมาใช้ประโยชน์ในปริมาณ วิธีการบำบัดตัวเองตามธรรมชาติ ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักจากน้ำบาดาลได้ โดยทำการตรวจติดตามผลการบำบัดโลหะหนักจากกระบวนการทางธรรมชาติ ดังอธิบายในรายละเอียดกระบวนการ และเฝ้าระวังเพื่อไม่ให้โลหะหนักที่ปนเปื้อน กระจายตัวไปยังแหล่งน้ำบาดาลบริเวณโดยรอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่มีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้

6.2.2 การฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยง่าย

สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีการกำหนดค่าความเข้มข้นสูงสุดไว้ในมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543)สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ได้แก่ เบนซีน (benzene) เอทธิลเบนซีน (ethyl benzene) โทลูอีน (toluene) ไซลีน (xylene) และ สไตรีน (styrene) สารจำพวกนี้จะมีการปนเปื้อนในน้ำบาดาลบริเวณผิวหน้าหรือระดับน้ำบาดาล และกระจายตัวไปตามทิศทางการไหลของน้ำบาดาล สารอินทรีย์ระเหยง่ายอีกประเภทหนึ่ง ได้แก่ กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ได้แก่ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbon tetrachloride) 1,2-ไดคลอโรอีเทน (1,2-dichloroethan) 1,1-ไดคลอโรเอธิลีน (1,1-dichloroethylene) ซิส-1,2-ไดคลอโรเอธิลีน (cis-1,2-dichloroethylene) ทรานส์-1,2-ไดคลอโรเอธิลีน (trans-1,2-dichloroethylene) ไดคลอโรมีเทน (dichloromethane) เตตระคลอโรเอธิลีน (tetra chloro-ethylene) ไตรคลอโรเอธิลีน (trichloro-ethylene) 1,1,1-ไตรคลอโรเอธิลีน (1,1,1-trichlo-roethylene) 1,1,2-ไตรคลอโรเอธิลีน (1,1,2-trichlo-roethylene) สารประกอบเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะจมลงและรวมตัวกันอยู่ในชั้น impermeable layer ลักษณะเป็นกองสารอินทรีย์ เมื่อมีการไหลของน้ำบาดาลผ่านกองสารอินทรีย์นี้ ก็จะเปรียบเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดสาร (source) ในน้ำบาดาลอีกแหล่งหนึ่ง การที่จะฟื้นฟูให้ได้ประสิทธิภาพ ตรงตามเป้าหมายจะต้องมีการบำบัดแหล่งกำเนิดสารนี้ก่อน โดยมากบริเวณแหล่ง กำเนิดสารจะมีความเข้มข้นสารอินทรีย์ที่สูง การใช้วิธีทางชีวภาพอาจได้ผลไม่ดีนัก จึงต้องมีการใช้วิธีการบำบัดทางกายภาพหรือเคมีร่วมด้วยเพื่อลดระยะเวลาการบำบัด จากนั้นจึงทำการฟื้นฟูบริเวณแหล่งน้ำบาดาลที่มีการกระจายตัวของสารอินทรีย์ไปถึงซึ่งจะมีความเข้มข้นต่ำกว่า โดยสามารถใช้วิธีการทางชีวภาพในการกำจัดหรือย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยง่ายเหล่านี้จากน้ำบาดาลได้ ผ่านกลไกการย่อยสลาย การดูดซับหรือกรองด้วยตัวกรองชีวภาพและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ด้วยเทคนิคต่างๆ ต่อไปนี้

(1) การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยเทคนิคการเติมจุลินทรีย์แบบ in situ และในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ การฟื้นฟูน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยวิธีนี้ อาศัยหลักการที่ว่าจุลินทรีย์จะมีกระบวนการเมทาบอลิซึมเพื่อนำสารอินทรีย์ไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอน ไนโตรเจน หรือแหล่งพลังงานอื่นๆ หรือใช้เป็นตัวรับอิเล็ตรอนได้ โดยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถนี้จัดอยู่ในกลุ่ม chemo-heterotrophic กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 กลไกการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาลโดยจุลินทรีย์

กลไก	ลักษณะกระบวนการ
1. การสะสมโลหะหนักโดยจุลินทรีย์ (Bioaccumulation/ Biosorption)	- จุลินทรีย์จะมีกลไกในการดูซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาลไว้บนผิวเซลล์ กลไกในการลำเลียงโลหะหนักเข้าไปสะสมภายในเซลล์ และกลไกในการใช้โลหะหนักในกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ ทำให้โลหะหนักถูกกำจัดออกจากน้ำบาดาล
2. การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน/การตกตะกอน (Oxidation reduction/ Precipitation)	- สารที่ได้จากกระบวนการเมตาบลิซึมของจุลินทรีย์ จะทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายอยู่ในน้ำบาดาลให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ หรือตกตะกอนแยกออกจากน้ำบาดาล - การเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน-รีดักชันทำให้โลหะหนักเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยลง

ตารางที่ 6 วิธีการฟื้นฟูโดยใช้พืชในบริเวณที่มีการปนเปื้อนโลหะหนัก

วิธีการ	กระบวนการที่เกี่ยวข้อง
1. การสร้างสมดุลโดยพืช (phytostabilization)	- พืชและสารประกอบที่หลั่งจากพืชเป็นตัวควบคุมความเป็นกรด-ด่าง แก๊สในดิน และสภาวะรีด็อกซ์ในดินเพื่อตรึง หรือตกตะกอนโลหะหนัก หรือทำให้โลหะหนักเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยลง
2. การกระตุ้นจุลินทรีย์รอบรากพืช (rhizosphere stimulation)	- สารประกอบที่หลั่งจากพืช และออกซิเจนที่ซึมผ่านรากพืชจะช่วยกระตุ้นกิจกรรมการกำจัดโลหะหนักโดยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการบำบัด
3. การสะสมในพืช (phytoaccumulation)	- โลหะหนักถูกดูดซับด้วยกลไกต่างๆ เข้าไปสะสมในส่วนต่างๆ ของพืช
4. การกรองโดยรากพืช (rhizofiltration)	- โลหะหนักจะถูกกรองและดูดซับไว้บริเวณรากพืช
5. การระเหยโดยพืช (phytovolatilization)	- โลหะที่ระเหยได้จะถูกดูดซับและเปลี่ยนสภาวะ และระเหยผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช

การบำบัดโดยวิธีการนี้จะเริ่มต้นจากการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เราต้องการ เรียกว่า degrader โดยมากจะคัดแยกจากดิน หรือน้ำ หรือวัสดุอื่นๆ ในบริเวณที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ชนิดนั้นๆ เป็นเวลานาน โดยใช้เทคนิค enrichment คือ เลี้ยงจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติมสารอินทรีย์เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน เช่น แหล่งคาร์บอนเพียงอย่างเดียว แหล่งไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว หรือเป็นทั้งแหล่งคาร์บอนและแหล่งไนโตรเจน โดยไม่มีการเติมสารอื่นเพื่อเป็นแหล่งพลังงานร่วมด้วย เมื่อเลี้ยงจุลินทรีย์ในอาหารนี้เป็นระยะเวลานาน จุลินทรีย์บางชนิดจะมีการปรับตัวให้มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ต้องการบำบัด เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานดังกล่าวได้ เมื่อได้จุลินทรีย์ที่ต้องการแล้ว จึงนำมาเติมลงในแหล่งน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์นั้นๆ หรือเติมลงในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ หรือใช้ในการสร้างตัวกลางกั้นขวางทางชีวภาพลักษณะเดียวกันกับเทคนิคการเติมจุลินทรีย์ในการบำบัดโลหะหนักจากน้ำบาดาล ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่างๆ ในสภาวะที่แตกต่างกันออกไป เช่น บางชนิดย่อยสลายได้ได้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน แต่บางชนิดต้องการออกซิเจนในการย่อยสลาย จุลินทรีย์บางชนิดต้องการแหล่งพลังงานหลักอย่างอื่นเพื่อช่วยให้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ต้องการได้ ในลักษณะที่เป็นโคเมทาบอลิซึม (co metabolism) (ตารางที่ 7) ซึ่งหากสามารถปรับสภาวะให้เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ได้ ก็จะช่วยให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายสูงขึ้นอีกด้วย

(2) การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยเทคนิคการกระตุ้นจุลินทรีย์แบบ in situ และในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ด้วยหลักการเดียวกันกับกระบวนการบำบัดโลหะหนักในน้ำบาดาล เทคนิคนี้จะเริ่มต้นจากการศึกษาหาแหล่งอาหาร หรือปัจจัยที่เหมาะสม เช่น แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน หรือแหล่งพลังงานหลักในกรณีที่การย่อยสลายเป็นแบบ co metabolism รวมไปถึงความเข้มข้นที่เหมาะสมของปัจจัยนั้นๆ สำหรับจุลินทรีย์ประจำถิ่น ในการกระตุ้นจุลินทรีย์ประจำถิ่นให้มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาลได้ แล้วนำวัสดุหรือสารเหล่านั้นมาเติมลงในลงในบริเวณที่แหล่งน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนหรือเติมลงในถังปฏิกรณ์ชีวภาพซึ่งจะสามารถควบคุมและกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดโลหะหนักได้ดีกว่า จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในน้ำบาดาลจะใช้สารประกอบหรือวัสดุที่เติมลงไปเพื่อเป็นแหล่งพลังงานหรือเป็นตัวรับอิเล็คตรอน ทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มกิจกรรมการบำบัดโลหะหนักได้อีกวิธีหนึ่ง อย่างไรก็ตามวัสดุที่เติมลงไปจะต้องไม่มีปริมาณมากเกินไป เนื่องจากจุลินทรีย์จะใช้วัสดุเหล่านั้นเป็นแหล่งพลังงาน โดยไม่ใช้สารอินทรีย์ที่ต้องการบำบัด ซึ่งก็อาจทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงได้ด้วย ในบางกรณีอาจมีการเติมจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์แต่ละชนิดโดยตรง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดให้ดียิ่งขึ้น

(3) การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยการใช้ตัวกรองชีวภาพ การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยวิธีนี้จะต้องทำการสกัดไอระเหยของสารอินทรีย์ออกมาจากน้ำบาดาลก่อน ด้วยวิธีทางกายภาพหรือเคมี เช่น การพ่นด้วยอากาศผ่านท่อแล้วทำการเก็บรวมไอระเหยของสารอินทรีย์ที่ระเหยออกมา ปล่อยให้ไหลผ่านคอลัมน์ หรือถังปฏิกรณ์ ที่บรรจุตัวกรองชีวภาพไว้ ซึ่งตัวกรองชีวภาพนี้ อาจใช้วัสดุที่มีรูพรุนที่มีการตรึงจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายไอระเหยของสารอินทรีย์ที่ต้องการบำบัด สารอินทรีย์จะถูกดูดซับไว้บรุพรุนของวัสดุพยุง

ตารางที่ 7 กระบวนการที่จุลินทรีย์ใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย

วิธีการ	กระบวนการที่เกี่ยวข้อง
1. กระบวนการหมัก (fermentation)	- เป็นกระบวนการไม่ใช้อากาศ ในกระบวนการหมักจุลินทรีย์ใช้สารอินทรีย์เป็นทั้งตัวให้และตัวรับอิเล็กตรอน กระบวนการนี้ไม่ทำให้เกิดการออกซิเดชันที่สมบูรณ์
2. กระบวนการย่อยสลายแบบใช้อากาศ (aerobic respiration)	- กระบวนการนี้จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้โมเลกุลออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน โดยจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนหรือ ออกซิไดซ์คาร์บอนในสารปนเปื้อน ให้ผลพลอยได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ส่วนคาร์บอนที่เหลือจะใช้ไปในการสร้างเซลล์
3. กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ (anaerobic respiration))	- การย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศเกิดขึ้นเมื่อไม่มีโมเลกุลออกซิเจน โดยในกระบวนการนี้จะมี ไนเตรท ซัลเฟต เหล็ก แมงกานีส หรือคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน นอกจากการผลิตเซลล์แล้ว ยังมีผลพลอยได้จากกระบวนการนี้คือ ก๊าซไนโตรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือก๊าซไข่เน่า และก๊าซมีเทน ทั้งนี้ผลพลอยได้จะเป็นอะไรขึ้นอยู่กับตัวรับอิเล็กตรอน
4. รีดักทีฟ ดีฮาโลจีเนชัน (reductive dehalogenation)	- กระบวนการนี้เป็นการทำให้ความเป็นพิษของสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุหมู่ที่ 7 ของตาราง Periodic Table ลดลง โดยจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในสภาวะไร้อากาศ ธาตุในหมู่ที่ 7 จะหลุดออกจากโมเลกุลของสารอินทรีย์ออกมาเป็นธาตุอิสระ กระบวนการนี้ไม่เกิดการสร้างพลังงาน ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการนี้คือสารจะมีความเป็นพิษลดลงและจะง่ายต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มากขึ้นกว่าสารเริ่มต้น ปัจจุบันนิยมใช้กระบวนการในการบำบัดสารอินทรีย์ที่มีคลอรีนองค์ประกอบ
5. โคเมตาบอลิซึม (co metabolism)	- เป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์เป้าหมายเมื่อมีสารอินทรีย์ชนิดอื่นทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานหลัก ในกรณีนี้ จุลินทรีย์จะไม่ใช้สารอินทรีย์ที่ต้องการบำบัดเป็นแหล่งพลังงานเลย แต่จะมีการเติมสารอินทรีย์ชนิดอื่นที่จุลินทรีย์ใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ลงไป แล้วจะเกิดการเหนี่ยวนำให้ จุลินทรีย์มีการสร้างเอ็นไซม์ที่ใช้ในการบำบัดสารอินทรีย์ที่ต้องการขึ้น ปัจจุบันนิยมใช้กระบวนการนี้ในการบำบัด สารประกอบอินทรีย์ซึ่งโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนไฮโดรคาร์บอนหลายๆวง (polynuclear aromatic hydrocarbon) สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุหมู่ 7 เป็นองค์ประกอบ (halogenated aliphatic) และสารปราบศัตรูพืชบางชนิด

และย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในระบบ ไอหรืออากาศที่ผ่านออกมาจากระบบจะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ลดลง หรือปราศจากสารอินทรีย์ โดยสารอินทรีย์ที่จะทำการบำบัดด้วยวิธีนี้ได้จะต้องมีความสามารถในการระเหยกลายเป็นไอได้ดี

(4) การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยพืช และการปลูกพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยเทคนิคนี้มีหลักการและวิธีการเช่นเดียวกับการบำบัดโลหะหนักโดยพืช และการปลูกพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำ ดังกล่าวแล้วข้างต้น แต่จะมีกลไกการบำบัดที่แตกต่างกันซึ่งกลไกการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยพืชแสดงในตารางที่ 8

(5) การบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายตามธรรมชาติ วิธีนี้มักนิยมใช้ในกรณีที่น้ำบาดาลมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ความเข้มข้นต่ำๆ หรือไม่มีการสูบน้ำบาดาลบริเวณนั้นมาใช้ประโยชน์ โดยทำการตรวจติดตามผลการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากกระบวนการทางธรรมชาติ และเฝ้าระวังเพื่อไม่ให้สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปนเปื้อนกระจายตัวไปยังสายน้ำบาดาลบริเวณโดยรอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่มีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ประโยชน์

การฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช และสารพิษอื่นๆ ตามกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาล ตามประกาศคณะ กรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 20 พ.ศ. 2543 มีการกำหนดชนิดและความเข้มข้นของสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ได้แก่ คลอเดน (chlordane) ดิลดริน (dieldrin) เฮปตะคลอร์เพอร์อ๊อกไซด์ (heptachlorperoxide) ดีดีที (DDT) 2,4-ดี (2,4-D) อะทราซีน (atrazine) ลินเดน (linden) และ เพนตะคลอโรฟีนอล (pentachlorophenol) และสารพิษอื่นๆ ได้แก่ เบนโซ (เอ) ไพรีน (benzo (a) pyrene) ไซยาไนด์ (cyanide) พีซีบี (PCBs) และไวนิลคลอไรด์ (vinyl chloride) ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จัดอยู่ในกลุ่มสารอินทรีย์ สามารถใช้วิธีทางชีวภาพในการบำบัดจากน้ำบาดาลได้ โดยใช้เทคนิคและวิธีการเดียวกันกับการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย

6.3 การฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติ

การปนเปื้อนของน้ำบาดาลตามธรรมชาติเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความเป็นพิษต่อผู้ใช้น้ำบาดาลได้ ลักษณะไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากการปนเปื้อนตามธรรมชาติในน้ำบาดาล ได้แก่ การปนเปื้อนโดยโลหะหนักจำพวกเหล็กและแมงกานีส ความกระด้าง ความเค็ม และการปนเปื้อนโดยฟลูออไรด์และไนเตรท และเชื้อโรคต่างๆ ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ซึ่งมลพิษต่างๆ เหล่านี้ ก็สามารถใช้วิธีทางชีวภาพในการบำบัดได้เช่นเดียวกัน

6.3.1 การกำจัดเหล็กและแมงกานีส เหล็ก และแมงกานีสเป็นโลหะหนักที่มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ ซึ่งอาจปนเปื้อนเข้าสู่แหล่งน้ำบาดาลได้ การบำบัดเหล็กและแมงกานีส ที่ปนเปื้อนในลักษณะนี้โดยใช้วิธีทางชีวภาพ สามารถทำได้โดยใช้เทคนิคและวิธีการเดียวกันกับการบำบัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำบาดาลโดยการกระทำของมนุษย์

6.3.2 การลดความกระด้าง ความเค็ม และปริมาณฟลูออไรด์

การปนเปื้อนของธาตุรอง (trace element) ในน้ำบาดาลเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำบาดาลมีคุณภาพต่ำ เช่น มีความกระด้างสูง จากการปนเปื้อนของสารประกอบแคลเซียมและแมกนีเซียมและมีความความเค็ม ซึ่งเกิดจากการปนเปื้อนโดยเกลือที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น โซเดียมคลอไรด์ และโปแทสเซียมคลอไรด์ การปนเปื้อนในลักษณะนี้ก่อให้เกิดความเป็นพิษไม่รุนแรงนักในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

จึงมักจะใช้วิธีที่ง่าย ต้นทุนต่ำ และการควบคุมระบบไม่ซับซ้อนนัก เช่น การกรองโดยใช้วัสดุกรองจากธรรมชาติ การบำบัดโดยพืช การบำบัดในพื้นที่ชุ่มน้ำ หรือปล่อยให้มีการบำบัดตัวเองโดยธรรมชาติ ซึ่งมีหลักและวิธีการดังอธิบายแล้ว

6.3.3 การกำจัดไนเตรท

การกำจัดปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาลโดยวิธีทางชีวภาพ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การบำบัดโดยใช้จุลินทรีย์ที่มีความสามารถใช้ไนเตรทเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน หรือเป็นตัวรับอิเล็คตรอน จุลินทรีย์เหล่านี้มีอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถคัดแยกและนำมาใช้ในเทคนิคการเติมจุลินทรีย์ หรือใช้เทคนิคการกระตุ้นจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมโดยตรง นอกจากนี้พืชยังสามารถดูดซึมไนเตรทเพื่อใช้เป็นอาหารได้ ดังนั้น การบำบัดโดยพืชทั้งแบบ in situ และ ex situ ก็สามารถนำมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนไนเตรทได้ด้วยเช่นกัน

6.3.4 การลดปริมาณเชื้อโรค

การใช้วิธีทางชีวภาพ ไม่สามารถฆ่าเชื้อโรคได้โดยตรงทั้งหมด อาจใช้ในลักษณะการควบคุมโดยกลไกทางชีวภาพ โดยใช้จุลินทรีย์ชนิดหนึ่งควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่ง เช่น จุลินทรีย์บางชนิดสามารถผลิตสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ (antibiotic sub-stance) ออกมาได้ หรืออีกทางหนึ่ง การใช้ตัวกรองทางชีวภาพ หรือกลไกการกรองโดยรากพืช ก็สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำบาดาลได้ด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 8 วิธีการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยพืช

วิธีการ	กระบวนการที่เกี่ยวข้อง
1. การเปลี่ยนรูปตัวโดยพืช (phytotransformation)	- พืชและสารประกอบที่หลั่งจากพืชเป็นตัวควบคุมความเป็นกรด-ด่าง แก๊สในดิน และสภาวะรีด็อกซ์ในดินเพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปอยู่ในรูปที่มีความเป็นพิษน้อยลง - สารอินทรีย์บางชนิดเมื่อถูกดูดซับเข้าสู่ส่วนต่างๆ ของพืช แล้วจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช เปลี่ยนเป็นสารผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้
2. ย่อยสลายโดยจุลินทรีย์รอบรากพืช (rhizosphere degradation)	- สารประกอบที่หลั่งจากพืช และออกซิเจนปั๊มผ่านรากพืชจะช่วยกระตุ้นกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์บริเวณรอบรากพืช
3. การสะสมในพืช (phytoaccumulation)	- สารอินทรีย์ถูกดูดซับด้วยวิธีการต่างๆ เข้าไปสะสมในส่วนต่างๆ ของพืช
4. การกรองโดยรากพืช (rhizofiltration)	- สารอินทรีย์จะถูกกรองและดูดซับไว้บริเวณรากพืช
5. การระเหยโดยพืช (phytovolatilization)	- สารอินทรีย์บางชนิดถูกดูดซับเข้าสู่ส่วนต่างๆ ของพืช และระเหยผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช

7. เอกสารอ้างอิง

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543), ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน.

Delleur, J. WI, 1999. The Handbook of Groundwater Engineering, United States of America: Springer-Verlag GmbH & Co. KG.

Foster, S., Kemper, K., Tuinhof, A., Koundouri, Koundouri, P., Nanni, M., Garduno, H., 2006. Sustainable Groundwater Management Concepts & Tools, Briefing Note Series Note, Natural Groundwater Quality Hazards avoiding problems and formulating mitigation strategies 2002-2006, The World Bank.

Todd, D.K., and Mays, L.W., 2006. Ground-water Hydrology, Third Edition, United States of America : John Wiley & Sons, Inc., 636 pp.

The United Nations (UN), 1980. International Drinking Water Supply and Sanitation Decade, The report of the United Nations (UN) Water Conference and approved the Mar del Plata Action Plan concerning drinking water supply and sanitation and other agreements reached at the Conference, 35/18 of 10 November 1980.

World Health Organization (WHO), 2006 Guidelines for drinking-water quality, incorporating first addendum. Vol.1, Recommendations, 3rd ed. ISBN 92 4 1546964.

คู่มือ ทบ อ 5000-2550
การอนุรักษ์แหล่งน้ำบาดาล

คู่มือ ทบ อ 5000-2550 เป็นคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล (อ) ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง “2550” หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้ใส่วงเล็บต่อท้ายและระบุ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย [ก] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย [ป] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

การอนุรักษ์น้ำบาดาล หมายถึง วิธีการหรือกระบวนการซึ่งจะทำให้แหล่งน้ำบาดาลมีปริมาณสำรองที่มั่นคงยั่งยืนเพื่อให้ผู้ใช้น้ำได้ใช้น้ำบาดาลในปริมาณเพียงพอ และคุณภาพที่เหมาะสมตลอดไป การอนุรักษ์น้ำบาดาลยังรวมไปถึงวิธีการหรือกระบวนการที่ทำให้แหล่งน้ำบาดาลที่ถูกสูบใช้เกินปริมาณที่กำหนด (overdraft) กลับสู่สภาพเดิม มีพื้นที่เพิ่มเติมน้ำที่เอื้อต่อการไหลเพิ่มเติมของน้ำผิวดิน ผู้ใช้น้ำมีจิตสำนึกต่อการใช้น้ำแบบประหยัดและคุ้มค่า ผู้ใช้น้ำตระหนักร่วมกันที่จะร่วมกันอนุรักษ์น้ำบาดาล

หลักการอนุรักษ์น้ำบาดาล ประกอบด้วย

- การเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการ
- การอนุรักษ์พื้นที่ต้นน้ำหรือพื้นที่เพิ่มเติมน้ำบาดาล
- การควบคุมปริมาณการใช้น้ำบาดาล
- การเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการ

การใช้น้ำบาดาลโดยทั่วไป เมื่อเริ่มใช้ ผู้ใช้น้ำจะไม่คำนึงถึงการบริหารจัดการอยู่ในลักษณะต่างคนต่างใช้ เมื่อเวลาผ่านไปมีบ่อน้ำบาดาลมากขึ้น ชั้นน้ำอยู่ที่ความลึกมากขึ้น ปริมาณน้ำบาดาลถูกสูบขึ้นมาใช้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนก่อให้เกิดปัญหาทั้งระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว คุณภาพน้ำก็ต่ำลงและเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ตามมา ดังนั้นการบริหารจัดการน้ำบาดาลจึงมีความจำเป็น

2. ขอบเขต

2.1 การจัดการน้ำบาดาลเป็นงานควบคุมปริมาณน้ำไหลเข้าและไหลออกจากแหล่งน้ำบาดาลให้เป็นไปอย่างเหมาะสมคุ้มค่าเกี่ยวกับการเพิ่มเติมน้ำและปริมาณการสูบน้ำของผู้ใช้น้ำทั้งหมดในแอ่งน้ำบาดาลเพื่อให้มีน้ำบาดาลใช้ได้ตลอดไปไม่มีวันหมด

2.2 การอนุรักษ์พื้นที่เพิ่มเติมน้ำ ประกอบด้วยการบำรุงรักษาฟื้นฟูพื้นที่เพิ่มเติมน้ำให้เอื้อต่อการเพิ่มเติมน้ำบาดาลสู่ชั้นน้ำบาดาลอย่างเต็มที่ ได้น้ำจืดที่สะอาด ปริมาณมาก ปราศจากการปนเปื้อนจากมลพิษ

2.3 การควบคุมปริมาณการใช้น้ำบาดาลเป็นงานที่ประกอบด้วยการเก็บข้อมูลการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำในแอ่งน้ำบาดาลให้ครบถ้วนเพื่อให้ได้ข้อมูลการสูบน้ำที่แท้จริงตามชนิดผู้ใช้น้ำ เพื่อวางนโยบายและกำหนดปริมาณการใช้น้ำในระยะยาวให้เพียงพอและยุติธรรม

2.4 การจัดการปัญหาการใช้น้ำเป็นงานที่รวบรวมปัญหาการใช้น้ำบาดาล จัดลำดับปัญหาและแก้ปัญหาการใช้น้ำเพื่อให้การใช้น้ำบาดาลมีน้ำเพียงพอต่อผู้ใช้ควบคู่ไปกับการอนุรักษ์น้ำบาดาลและสิ่งแวดล้อม

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

- คู่มือ ทบ ป 1000-2550 การประเมินแหล่งน้ำต้นทุนของแอ่งน้ำบาดาล

- คู่มือ ทบ ป 2000-2550 การประเมินศักยภาพน้ำบาดาลของแอ่งน้ำบาดาลและการจัดทำแผนการใช้น้ำบาดาล

- คู่มือ ทบ ป 3000-2550 การจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์และการประยุกต์ใช้

3.2 Asano, T, 1985. Artificial Recharge of Groundwater, Butterworth Publishers, Boston, p. 767.

3.3 Bloetscher, F., Muniz A. and G. M. Witt, 2005. Groundwater Injection; Modeling, Risks and Regulations, McGraw-Hill, New York, p. 337.

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 การสูบน้ำบาดาลเกินกำหนด (overdraft) หมายถึง ปริมาณสูบน้ำบาดาลรายปีของแอ่งน้ำบาดาลที่สูบในปริมาณที่มากกว่าปริมาณน้ำเพิ่มเติมรายปีหรือผลผลิตน้ำบาดาลรายปีทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลงมากกว่าปกติเมื่อสิ้นปี

4.2 ผลผลิตน้ำบาดาลรายปี (annual yield) หมายถึง ปริมาณน้ำบาดาลรายปีของแอ่งน้ำบาดาลที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้ โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระดับน้ำบาดาล คุณภาพและปริมาณน้ำ ตลอดจนผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมข้างเคียงอื่นๆ

5. ความสำคัญและการใช้งาน

5.1 เอกสารคู่มือนี้ได้กำหนดขั้นตอนการอนุรักษ์แหล่งน้ำบาดาล และสิ่งแวดล้อมในรูปแอ่งน้ำบาดาลและสิ่งแวดล้อมในรูปแอ่งน้ำบาดาลเพื่อให้ผู้ถือ พ.ร.บ. น้ำบาดาล และกฎหมายที่เกี่ยวข้องและผู้ใช้น้ำมีกรอบปฏิบัติเป็นที่ยอมรับซึ่งกันและกันตามหลักสากลและทันสมัยต่อผู้ใช้น้ำ

5.2 การจัดทำคู่มือบริหารแอ่งน้ำบาดาลแต่ละแอ่งจำเป็นที่ผู้ใช้น้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลนั้นจะร่วมมือกับคณะกรรมการน้ำบาดาลจัดทำคู่มือของตนเองเพื่อกำหนดแนวปฏิบัติในการสูบน้ำและอนุรักษ์พื้นที่เพิ่มเติมน้ำตลอดจนรวบรวมปัญหาและแก้ปัญหาของแอ่งน้ำบาดาลของตนเองที่เกิดขึ้นไปตามเวลาการใช้น้ำบาดาล

6. คำอธิบายวิธีการ

การวางแผนอนุรักษ์น้ำบาดาลและสิ่งแวดล้อมประกอบด้วยการวางแผนการจัดการน้ำบาดาล การวางแผนอนุรักษ์พื้นที่เพิ่มเติมน้ำและการวางแผนด้านอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

6.1 การวางแผนการจัดการน้ำบาดาล การวางแผนจัดการน้ำบาดาล ประกอบด้วย การกำหนดวัตถุประสงค์การจัดการน้ำร่วมกันของผู้ถือ พ.ร.บ. น้ำบาดาล และผู้ใช้น้ำในลุ่มน้ำ การจัดทำคู่มือการจัดการน้ำบาดาลได้การหาค่าผลผลิตน้ำบาดาลรายปี การหาค่าปริมาณการสูบน้ำรายปีของผู้ใช้น้ำในแอ่งน้ำบาดาล การกำหนดปริมาณสูบน้ำรายปีในอนาคต

6.1.1 การหาค่าผลผลิตน้ำบาดาลรายปี วิธีการโดยอาศัยคู่มือ ทบ ป 1000-2550 ถึงคู่มือ ทบ ป 3000-2550 การประเมินศักยภาพน้ำบาดาลของแอ่งน้ำบาดาลและการจัดทำแผนการใช้น้ำบาดาล

6.1.2 การกำหนดปริมาณการสูบน้ำรายปีในอนาคต วิธีการโดยอาศัยผลผลิตน้ำรายปีที่ได้ในข้อ 6.1.1 และข้อมูลปริมาณการสูบน้ำรายปีในปีที่ผ่านมาร่วมกับข้อมูลความต้องการน้ำของผู้ใช้น้ำปัจจุบัน และความต้องการเพิ่มเติมของผู้ใช้น้ำใหม่ที่เพิ่มขึ้น นำมาพิจารณาร่วมกันเพื่อกำหนดปริมาณการสูบน้ำรายปีของแอ่งน้ำบาดาลโดยมีรายละเอียดการสูบน้ำของผู้ใช้น้ำทุกราย

6.2 การอนุรักษ์น้ำบาดาลและสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย การจัดการชนิดใช้น้ำร่วมกัน การอนุรักษ์พื้นที่เพิ่มเติมน้ำ และการจัดการปัญหาแอ่งน้ำบาดาล

6.2.1 การจัดการชนิดของน้ำร่วมกัน กำหนดแหล่งน้ำผิวดินเพื่อใช้เป็นทางเลือกในการลดการใช้น้ำบาดาล หรือช่วยเพิ่มเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลโดยใช้มาตรการผู้ลดปริมาณการใช้น้ำบาดาลมีส่วนได้เครดิตจากการลดค่าน้ำบาดาลหรือได้รับผลตอบแทนเพิ่มเติมจากกองทุนน้ำบาดาล ในทางตรงข้ามผู้ที่ใช้น้ำบาดาลมากเกินไปจะถูกลดเครดิตและต้องจ่ายค่าน้ำเพิ่มพิเศษจากผู้ใช้น้ำปกติ ซึ่งการทำแผน ประกอบด้วย ผู้ถือ พ.ร.บ.น้ำ คณะกรรมการน้ำบาดาล และผู้ใช้น้ำทุกคนมีมติร่วมกัน

6.2.2 การอนุรักษ์พื้นที่เพิ่มเติมน้ำ กำหนดพื้นที่เพิ่มเติมน้ำและพื้นที่สูบน้ำบาดาล ผู้อนุรักษ์พื้นที่เพิ่มเติมน้ำและช่วยเพิ่มเติมน้ำจะได้รับเครดิตและผลตอบแทนจากกองทุนน้ำบาดาล ผู้ใช้น้ำมีส่วนรับผิดชอบต่อการใช้น้ำและเพิ่มเติมน้ำ

6.2.3 การจัดการปัญหาการใช้น้ำบาดาล การรวบรวมปัญหา จัดลำดับปัญหา และการแก้ปัญหา จัดทำแผนการจัดการปัญหา โดยคณะกรรมการน้ำบาดาล และผู้ใช้น้ำโดยจัดทำรายงานประจำปีสรุปปัญหาที่ได้รับการแก้ไขและเสนอแนะปัญหาที่ต้องแก้ไขในอนาคตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำและความยั่งยืนของการพัฒนาแอ่งน้ำบาดาล

7. ขั้นตอนในการดำเนินงาน

การอนุรักษ์น้ำบาดาลและสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงานตั้งแต่การจัดการน้ำบาดาล การอนุรักษ์พื้นที่ต้นน้ำ หรือพื้นที่เพิ่มเติมน้ำบาดาล การควบคุมปริมาณการใช้น้ำบาดาล การรวบรวมปัญหาการใช้น้ำบาดาล ตลอดจนการวางแผนจัดการปัญหาน้ำบาดาลเพื่อให้การอนุรักษ์น้ำบาดาลยั่งยืนควบคู่กับการใช้น้ำบาดาล

8. การจัดการน้ำบาดาล

การพัฒนาน้ำบาดาลถ้าจะให้ได้ผลสูงสุดจำเป็นต้องวางแผนการใช้น้ำให้ครอบคลุมตลอดทั้งแอ่งน้ำบาดาล เนื่องจากลักษณะแอ่งน้ำบาดาลเป็นอ่างน้ำธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ซึ่งอยู่ใต้ดิน การใช้น้ำบาดาลในอ่างน้ำดังกล่าว ไม่ว่าจะโดยผู้หนึ่งผู้ใด ย่อมจะมีผลต่อผู้ใช้น้ำรายอื่นๆด้วย การจัดการน้ำบาดาลนั้นโดยทั่วไปต้องคำนึงถึงไม่เฉพาะสภาพทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาเท่านั้นแต่จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ กฎหมาย การเมือง และการเงินด้วย ปกติการใช้น้ำบาดาลถ้าจะให้ได้ผลคุ้มค่าทางด้านเศรษฐกิจในการนำน้ำบาดาลจากแอ่งน้ำบาดาลขึ้นมาใช้แล้ว ต้องเป็นการใช้น้ำผสมผสานระหว่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินควบคู่กันไป ขั้นตอนหรือวิธีการดำเนิน งานในการจัดการน้ำบาดาลนั้นหลังจากที่มีการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำและเตรียมแผนการจัดการน้ำบาดาลแล้ว ขั้นตอนการตัดสินใจสุดท้ายจำเป็นต้องให้ฝ่ายรัฐบาลเป็นผู้ตัดสินใจ และให้หน่วยงานรัฐบาลเป็นผู้ดำเนินงาน

8.1 หลักการในการจัดการแอ่งน้ำบาดาล

การจัดการแอ่งน้ำบาดาลจะต้องสอดคล้องกับแผนการพัฒนาน้ำใต้ดิน เพื่อจุดประสงค์เกี่ยวกับด้านสังคมและเศรษฐกิจ โดยทั่วไปแต่ละจุดประสงค์หลักของการจัดการน้ำบาดาลก็เพื่อให้ได้ “ปริมาณน้ำมากที่สุด คุณภาพตามต้องการ ด้วยราคาต่ำที่สุด” ในการพัฒนาแอ่งน้ำบาดาลยังต้องคำนึงถึงด้วยว่า แอ่งน้ำบาดาลเปรียบเสมือนเป็นที่เก็บน้ำใต้ดินขนาดใหญ่ การใช้น้ำบาดาลหรือการสูบน้ำบาดาลไปใช้ ณ จุดใดจุดหนึ่งในแอ่งน้ำบาดาลนั้น จะมีผลกระทบต่อปริมาณน้ำบาดาล ณ จุดอื่นๆ ในแอ่งน้ำบาดาลนั้นด้วย

น้ำบาดาลจัดเป็นทรัพยากรธรรมชาติซึ่งนำขึ้นมาจากใต้ดิน เช่นเดียวกับทรัพยากรธรรมชาติอื่นๆ เช่น น้ำมันและก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น แต่น้ำบาดาลมีลักษณะแตกต่างตรงที่สามารถมีปริมาณเพิ่มเติมเข้ามาใหม่ได้เมื่อใช้ไปแล้วหรือใช้ได้ไม่มีวันหมด (renewable) ดังนั้นเมื่อพัฒนาน้ำบาดาลขึ้นมาใช้แล้ว ประชาชนย่อมเข้าใจว่าจะสามารถใช้ต่อไปได้เรื่อยๆ ไม่มีวันหมด การใช้เช่นนี้จะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อความสมดุลระหว่างปริมาณน้ำไหลเข้าและไหลออกจากแอ่งน้ำบาดาล

ส่วนใหญ่การพัฒนาน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาล เริ่มจากบ่อสูบน้ำบาดาลไม่กี่บ่อ กระจายอยู่ในท้องที่ต่างๆในแอ่งน้ำบาดาล เมื่อเวลาผ่านไปมีการเจาะบ่อน้ำบาดาลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้อัตราการสูบน้ำจากแอ่งน้ำบาดาลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เป็นเงาตามตัวตามจำนวนของบ่อน้ำบาดาล การเพิ่มขึ้นของจำนวนบ่อน้ำบาดาลนี้จะมีจำนวนมากตามเวลา จนในที่สุดความสมดุลระหว่างปริมาณน้ำไหลเข้าแอ่งน้ำบาดาลและปริมาณน้ำที่สูบจากแอ่งน้ำบาดาลเสียไป หรือปริมาณการสูบน้ำสูงกว่าปริมาณน้ำไหลเข้ามากๆ ดังนั้นการใช้น้ำหลังจากเวลาดังกล่าว ถ้าขาดการจัดการก็จะทำให้เกิดการลดลงของระดับน้ำบาดาลและปริมาณน้ำบาดาลทำให้มีผลกระทบต่อสภาพสังคมและเศรษฐกิจ

การจัดการน้ำบาดาล เป็นการควบคุมปริมาณน้ำไหลเข้า และออกจากแอ่งน้ำบาดาลให้เป็นไปตามหลักวิชาการ อย่างความเหมาะสมก็จะทำให้การใช้น้ำจากแอ่งน้ำบาดาลเกิดประโยชน์สูงสุด เช่นเดียวกับน้ำในอ่างเก็บน้ำผิวดิน นับวันปริมาณความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทั้งในประเทศและทั่วโลก ด้วยเหตุที่ปริมาณน้ำผิวดินมีอยู่อย่างจำกัด และมีปัญหาเรื่องมลภาวะเพิ่มขึ้นทุกวัน ดังนั้นความสนใจเกี่ยวกับการใช้น้ำบาดาลจึงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ด้วยเหตุผลดังกล่าวแล้ว การใช้น้ำบาดาลในอนาคตจำเป็นจะต้องมีการจัดการน้ำบาดาลที่ดี เพื่อให้น้ำบาดาลสามารถใช้ได้ตลอดไป ซึ่งในการจัดการจุดประสงค์สำคัญ ได้แก่ การใช้น้ำบาดาลซึ่งมีปริมาณเพิ่มเติมต่อปีอย่างจำกัดให้คุ้มค่าทางเศรษฐกิจมากที่สุด

8.2 การจัดการแอ่งน้ำบาดาลชนิดใช้น้ำร่วมกัน

การพัฒนาทรัพยากรน้ำจากลุ่มน้ำใดๆ ถ้าจะให้ได้ผลประโยชน์สูงสุดควรใช้วิธีใช้น้ำร่วมกันระหว่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน วิธีการนี้จะทำให้ได้น้ำเต็มที่ตามต้องการ พร้อมกับมีการอนุรักษ์น้ำไปพร้อมกันด้วยเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

หลักการของการใช้น้ำร่วมกันระหว่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน เป็นการกักเก็บน้ำที่ไหลในแม่น้ำไว้ใช้ในอ่างเก็บน้ำผิวดินแล้วเปลี่ยนไปเก็บไว้ในรูปของน้ำใต้ดิน น้ำในอ่างเหนือเขื่อนเหมาะสำหรับเป็นน้ำใช้ในระหว่างปี ในขณะที่น้ำบาดาลจะสงวนไว้ใช้ในช่วงขาดฝน หรือฤดูแล้ง ดังนั้น ระดับน้ำบาดาลควรจะเปลี่ยนแปลงได้ ในช่วงปีแล้งและปีฝนมาก นั่นคือระดับน้ำบาดาลจะต่ำกว่าปกติในฤดูแล้ง แล้วคืนตัวสู่ระดับปกติในปีฝนมาก ภายใต้ระบบการใช้น้ำร่วมกันในระหว่างช่วงปีมีฝนตกปกติ น้ำผิวดินจะถูกนำไปใช้ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ พร้อมทั้งทำการอัดหรือเพิ่มเติมน้ำผิวดินลงสู่ชั้นน้ำบาดาลให้มากที่สุด เพื่อยกระดับน้ำบาดาล ในทางกลับกัน ในปีฝนแล้งหรือฝนน้อย น้ำผิวดินจะมีอยู่อย่างจำกัด ปริมาณน้ำทดแทนจะได้จากการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้และปล่อยให้ระดับน้ำบาดาลลดต่ำลงกว่าปกติได้ หลักการของการใช้น้ำร่วมกันขึ้นอยู่กับการใช้น้ำบาดาลจากแอ่ง ภายใต้ช่วงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาลช่วงหนึ่ง สำหรับที่จะยกระดับน้ำบาดาลขึ้นในปีฝนมาก และลดระดับลงถึงระดับหนึ่งเมื่อมีความต้องการสูบน้ำในปีฝนน้อย การจัดการน้ำแบบใช้น้ำร่วมกันต้องการสิ่งอำนวยความ

สะดวกทางด้านกายภาพ เช่น ระบบการกระจายน้ำเพื่ออัดหรือเพิ่มเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลและการวางแผนการสูบน้ำอย่างดี สำหรับการใช้น้ำบาดาลและน้ำผิวดินที่มีอยู่ ซึ่งวิธีดังกล่าวค่อนข้างจะยุ่งยาก และใช้เทคนิคสูง ต้องการคนที่มีความสามารถ มีความรู้เกี่ยวกับสภาพอุทกธรณีวิทยาของแอ่ง ต้องการข้อมูลการสูบน้ำ การอัดน้ำ และข้อมูลต่อเนื่องด้านคุณภาพน้ำและระดับน้ำบาดาล (ฉลอง บัวผัน, 2538; ASANO, 1985 Bloetsher, et al., 2005; Everett, 1980; Pettyjohn, 1981 และ Ratnoparkhi, 1978)

9. การอนุรักษ์พื้นที่ต้นน้ำหรือพื้นที่เพิ่มเติมน้ำบาดาล

9.1 ความสำคัญและบทบาทของการอนุรักษ์พื้นที่ต้นน้ำ

พื้นที่ต้นน้ำหรือพื้นที่เพิ่มเติมน้ำบาดาลนับว่าเป็นพื้นที่สำคัญมาก สำหรับชั้นน้ำบาดาลเปรียบเสมือนปากขวดหรือปากโอ่งที่จะให้น้ำไหลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล ถ้าพื้นที่ต้นน้ำมีความสมบูรณ์ทั้งต้นไม้ปกคลุม และสภาพแวดล้อมปราศจากมลพิษ ก็จะทำให้น้ำที่ไหลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลมีปริมาณมากและคุณภาพดี ในทางตรงกันข้าม ถ้าพื้นที่ต้นน้ำหรือพื้นที่เพิ่มเติมน้ำถูกทำลายหรือมีการปนเปื้อนของมลพิษ จะทำให้น้ำที่เพิ่มเติมสู่ชั้นน้ำบาดาลมีปริมาณน้อยและคุณภาพไม่ดี ใช้ประโยชน์ไม่ได้ อีกทั้งต้องสิ้นเปลืองงบประมาณในการบำบัดเพิ่มขึ้น

9.2 ชนิดของพื้นที่เพิ่มเติมน้ำ

พื้นที่เพิ่มเติมน้ำมีอยู่หลายชนิด ประกอบด้วย พื้นที่ป่าและแหล่งน้ำธรรมชาติ หรือรอยแตกของหินตามธรรมชาติ เขตเกษตรกรรม เช่น พื้นที่ไร่ พื้นที่นา พื้นที่สวน พื้นที่ชุมชน พื้นที่อุตสาหกรรมและเขตพาณิชยกรรม

(1) พื้นที่ป่าต้นน้ำ แหล่งน้ำธรรมชาติ และรอยแตกของหิน พื้นที่เหล่านี้จะช่วยให้น้ำฝนที่ตกลงมาแต่ละปีไหลเพิ่มเติมเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ อย่างมีประสิทธิภาพ ได้ปริมาณน้ำมากและคุณภาพดี เช่น พื้นที่ป่ารอบๆ แอ่งลุ่มน้ำเจ้าพระยาและพื้นที่ป่าลำนำสาขาในภาคเหนือ เป็นต้น ตลอดจนแหล่งน้ำธรรมชาติต่างๆ เช่น บึงบอระเพ็ด และเขื่อนต่างๆ

(2) เขตเกษตรกรรม พื้นที่เกษตรกรรมทั้งพื้นที่ปลูกพืชไร่ต่างๆ เช่น ไร่อ้อย ข้าวโพดและมันสำปะหลังเป็นแหล่งเพิ่มเติมน้ำบาดาลด้วยเช่นกัน ในขณะที่พื้นที่นาทั้งนาน้ำฝนและเขตชลประทาน ก็มีส่วนเพิ่มเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล ตลอดจนพื้นที่สวนซึ่งขุดเป็นคูน้ำในภาคกลาง ก็มีส่วนเพิ่มเติมน้ำเช่นกัน

(3) พื้นที่ชุมชนในที่นี้หมายถึงชุมชนชนบทมีส่วนในการเพิ่มเติมน้ำแต่จะเป็นน้ำที่ไหลบ่าผิวดินและน้ำใช้จากชุมชน ซึ่งส่วนใหญ่น้ำจะมีคุณภาพต่ำลง

(4) เขตอุตสาหกรรม พื้นที่อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ น้ำฝนหรือน้ำไหลบ่าผิวดินจะถูกรวบรวมระบายออกไป ทำให้น้ำไหลเพิ่มเติมน้ำลงในส่วนของน้ำฝน แต่น้ำเสียจากอุตสาหกรรมทีโอกาสจะซึมลงสู่ใต้ดินมากขึ้น ทำให้น้ำใต้ดินมีคุณภาพลดลง

(5) เขตพาณิชยกรรมและชุมชนเมือง ปัจจุบันเขตชุมชนเมืองและเขตพาณิชยกรรมซึ่งเป็นย่านการค้า จะรวบรวมน้ำฝนไหลบ่าผิวดินระบายออกไป ในขณะที่น้ำเสียจากเมือง ระบบถังส้วม และอื่นๆ มีส่วนไหลลงสู่น้ำใต้ดินแทน และทำให้น้ำใต้ดินมีคุณภาพลดลง

10. การควบคุมปริมาณการใช้น้ำบาดาล

ปริมาณน้ำบาดาลที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ถือว่าเป็นทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัด สำหรับผู้ใช้น้ำในปัจจุบันและอนาคต การควบคุมปริมาณการใช้น้ำบาดาลก็เพื่อให้ผู้ใช้น้ำในแอ่งน้ำบาดาลทั้งในปัจจุบันและอนาคต สามารถใช้น้ำได้ตลอดไปอย่างเหมาะสม

คุ้มค่า และมีคุณภาพที่ดี โดยตระหนักถึงการใช้อย่างประหยัด และการมีส่วนร่วมกับผู้ใช้น้ำรายอื่นๆ การควบคุมปริมาณการใช้น้ำบาดาลประกอบด้วย การจัดแบ่งเขตและชั้นน้ำบาดาล การจำแนกผู้ใช้น้ำ การจดทะเบียนผู้ใช้น้ำและการรวบรวมปริมาณการใช้น้ำบาดาลและระดับน้ำบาดาล

10.1 การจัดแบ่งเขตและชั้นน้ำบาดาล

การจัดแบ่งเขตและชั้นน้ำบาดาลนี้ จะช่วยให้ทราบปริมาณน้ำบาดาลที่มีอยู่ อาจจะจัดแบ่งเขตตามแอ่งน้ำบาดาล ตามความลึกของชั้นน้ำบาดาล แต่ละลุ่มน้ำ แต่ละภูมิภาคให้แน่ชัด มีผลการศึกษาที่น่าเชื่อถือและใช้ประโยชน์ได้จริง

10.2 การจำแนกผู้ใช้น้ำ

การจำแนกผู้ใช้น้ำตามชนิดการใช้น้ำตามความจำเป็น เช่น น้ำอุปโภคบริโภค น้ำเพื่อเกษตรกรรม น้ำเพื่ออุตสาหกรรม และน้ำเพื่อพาณิชยกรรม เป็นต้น ซึ่งปัจจุบัน พ.ร.บ.น้ำบาดาล 2520 ได้จัดแบ่งไว้แล้วแต่ควรจะมีการศึกษาวิจัย การจัดแบ่งชนิดผู้ใช้น้ำให้เหมาะสมยิ่งขึ้นตามกาลสมัย

10.3 การจดทะเบียนผู้ใช้น้ำ

ทะเบียนผู้ใช้น้ำนี้ควรจะต้องมีการจดทะเบียนผู้ใช้น้ำให้ครบถ้วนทั้งเอกชนและราชการ เพื่อให้การควบคุมการใช้น้ำมีประสิทธิภาพ ควรจะมีการปรับปรุง พ.ร.บ.น้ำบาดาล ให้หน่วยงานราชการต้องจดทะเบียนและจ่ายค่าน้ำบาดาล ซึ่งคิดราคาอาจจะถูกมากๆ เช่น ร้อยละ 10 เป็นต้นเพื่อให้ตระหนักถึงคุณค่าน้ำบาดาล

10.4 การรวบรวมปริมาณการใช้น้ำบาดาลและระดับน้ำบาดาล

ปริมาณน้ำบาดาลแต่ละแอ่งหรือเขตการใช้น้ำบาดาลและระดับน้ำบาดาล ควรต้องมีการรวบรวมอย่างเป็นระบบทุกๆ รอบปี น้ำเพื่อใช้ประกอบการกำหนดปริมาณน้ำปลอดภัยของแต่ละแอ่งน้ำบาดาลหรือเขตน้ำบาดาลที่จะใช้ได้ในแต่ละปี

10.5 การกำหนดปริมาณการใช้น้ำบาดาล

ปริมาณน้ำบาดาลควรกำหนดตามความต้องการของผู้ใช้ จัดลำดับความสำคัญของผู้ใช้น้ำตาม พ.ร.บ.น้ำบาดาล ปริมาณน้ำบาดาลสำรอง ปริมาณน้ำบาดาลปลอดภัยรายปี ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ ที่ พ.ร.บ.น้ำบาดาลและกลุ่มผู้ใช้น้ำมีความเห็นร่วมกัน แล้วจัดสรรปริมาณน้ำบาดาลในระยะรอบปี และรอบ 5 ปี เป็นต้น

11. การรวบรวมปัญหาการใช้น้ำบาดาล

การใช้น้ำบาดาล ในแต่ละปีจะมีผู้ใช้น้ำเพิ่มขึ้นตามด้วยปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น จำนวนบ่อและความลึกของบ่อ ดังนั้น ในรอบ 1 ปี ควรจะรวบรวมปัญหาการใช้น้ำบาดาลของแอ่งน้ำบาดาลแต่ละแอ่ง เพื่อจัดลำดับความสำคัญเพื่อประโยชน์ในการวิจัยและแก้ไขทั้งในรูปแอ่งน้ำบาดาลแต่ละแอ่ง และรวมเป็นปัญหาน้ำบาดาลของประเทศโดยรวม

การประเมินความเสี่ยงการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล หมายถึง กระบวนการที่นำมาใช้เพื่อคาดการณ์ถึงความเป็นไปได้ที่น้ำบาดาลจะถูกปนเปื้อนจากมลสาร

12. การวางแผนจัดการปัญหาน้ำบาดาล

ปัญหาน้ำบาดาลที่ได้ในข้อ 5 จะต้องนำมาจัดทำแผนแก้ปัญหาเพื่อเสนอให้คณะกรรมการน้ำบาดาลจัดสรรงบประมาณในแต่ละปี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ อนุรักษ์พื้นที่เพิ่มเติมน้ำ การแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม ตลอดจนการจัดตั้งกลุ่มผู้ใช้น้ำบาดาล ในรูปคณะอนุกรรมการน้ำบาดาลแต่ละแอ่งน้ำบาดาล สัมพันธ์กับคณะ กรรมการน้ำบาดาลในระดับประเทศ

13. เอกสารอ้างอิง

ฉลอง บัวผัน, 2538. น้ำบาดาล, โอ.เอส.พรินติ้งเฮ้าส์ กรุงเทพฯ 354.

Asano, T., 1985. Artificial Recharge of Groundwater, Boston: Butterworth Publishers, p.767.

Bloetscher, F., Muniz A. and Witt, G. M., 2005. Groundwater Injection; Modeling, Risks and Regulations, McGraw-Hill, New York, p337

Everett, G.E., 1980. Groundwater Monitoring, New York: General Electric Company, p.440.

Pettyjohn, W.A., 1981. Introduction to Artificial Groundwater Recharge, Worthington, Ohio: National Well Water Association.

Ratnoparkhi, T.G., 1978. Underground Bund for Artifical Recharge, In R.N. Athavale (Ed.), Proceeding of Indo-German Workshop, Padmanagar, Secunderabad India, National Geophysical Research Institute, p.351-358.

Todd, D.K., 1980. Groundwater Hydrogeology, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York, 535 p.

คู่มือ ทบ อ 6000-2550
การอุดกลบบ่อน้ำบาดาล

คู่มือ ทบ อ 6000-2550 เป็นคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล (อ) ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง "2550" หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้ใส่วงเล็บต่อท้ายและระบุ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย [(n)] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย [(ป)] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

ความเข้าใจและเอาใจใส่ในการดำเนินงานในสิ่งใดเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ผลงานในสิ่งนั้นเกิดความสมบูรณ์ มีคุณภาพ และประสิทธิภาพที่ดี แต่ทั้งนี้ต้องมีหลักวิชาการ เทคนิค และการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ตามมาตรฐานที่ถูกต้อง คู่มือการอุดกลบบ่อน้ำบาดาลนี้ ได้รวบรวมวิธีการ ทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานไม่มากก็น้อย

2. ขอบเขต

2.1 คู่มือนี้จัดขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับอุดกลบบ่อน้ำบาดาลตามมาตรฐานการอุดกลบบ่อน้ำบาดาล (มาตรฐาน ทบ พ 6000-2550)

2.2 แนวทางปฏิบัติที่กล่าวในคู่มือนี้ไม่ครอบคลุมไปถึงความรับผิดชอบที่อาจจะเกิดขึ้น ทั้งนี้หน่วยงานใด และหรือบุคลากรใด ที่จะใช้มาตรฐานนี้ต้องศึกษา มีความเข้าใจ และมีช่างผู้ชำนาญการ ในการปฏิบัติงานโดยคำนึงถึงความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินทุกขั้นตอน

2.3 หน่วยวัดที่ใช้ในคู่มือนี้เป็นหน่วยวัดระบบเมตริก

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ พ 1000-2550 การเจาะเพื่อสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล
- มาตรฐาน ทบ พ 6000-2550 การใช้และการแปลค่าข้อมูลหยั่งธรณีวิทยาหลุมเจาะ
- คู่มือ ทบ พ 1000-2550 การเจาะเพื่อสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล
- คู่มือเทคโนโลยีการพัฒนาน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 ตัวอุด (packer) หมายถึง อุปกรณ์ใช้สำหรับอุดหรือคั่นสิ่งที่ไม่ต้องการสิ่งหนึ่งไม่ให้ไปผสมหรือปนเปื้อนในอีกสิ่งหนึ่งซึ่งอาจจะทำด้วยไม้ โลหะ หรือยาง

4.2 เครื่องวัดพิกัด (Global Positioning System, GPS) หมายถึง เครื่องใช้วัดตำแหน่งบนพื้นผิวโลกโดยสื่อจากดาวเทียม

4.3 เครื่องสูบแรงดันสูง (reciprocating pump) หมายถึง เครื่องสูบแบบชักชนิดหนึ่งแต่มีหลายลูกสูบทำงานสลับและสัมพันธ์กันเพื่อให้เกิดแรงดันที่สูงและต่อเนื่องมักใช้สำหรับสูบอัดน้ำโคลนหรือซีเมนต์

4.4 กล้องส่องตรวจสอบในบ่อ (down hole TV) หมายถึง กล้องถ่ายภาพโทรทัศน์หย่อนลงในบ่อน้ำบาดาลเพื่อถ่ายภาพลักษณะ สภาพ พร้อมแสดงตำแหน่งช่วงความลึกของผนังท่อกรุท่อกรองบ่อ แล้วส่งสัญญาณภาพมายังจอภาพบนพื้นดิน

4.5 โคลนผง (bentonite) หมายถึง ผงโคลนผสมน้ำให้เป็นน้ำโคลนใช้สำหรับเจาะบ่อน้ำบาดาลหรือบ่อน้ำมัน

5. วัตถุประสงค์

คู่มือฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางปฏิบัติสำหรับอุดกลบบ่อน้ำบาดาล บ่อเจาะสำรวจ บ่อสังเกตการณ์ หรือบ่อเจาะใดๆ เมื่อเลิกใช้แล้ว ไม่ให้บ่อเหล่านี้เป็นตัวนำเกิดการปนเปื้อน หรือมีกระทบต่อคุณสมบัติของชั้นน้ำบาดาล ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาล

6. เครื่องจักรกล เครื่องมือ อุปกรณ์ และวัสดุ

ใช้ร่วมกับชุดการเจาะเพื่อการพัฒนาบ่อน้ำบาดาลในคู่มือ ทบ พ 1002-2550 ใช้สำหรับถอนเครื่องสูบน้ำ งมท่อหรือสิ่งที่ค้างในบ่อ ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเป่าล้างบ่อ และติดตั้งตัวอุด (packer) ในท่อกรุบ่อ แต่จะมีเครื่องมือและอุปกรณ์หลัก ใช้เฉพาะในแต่ละวิธีการอุดกลบ ดังนี้

6.1 เครื่องมือสำหรับการอุดกลบบ่อด้วยดินเหนียว

การอุดกลบบ่อด้วยดินเหนียว ประกอบด้วย

6.1.1 เครื่องมือวัดระดับน้ำและความลึกบ่อ

6.1.2 เครื่องอัดลม ขนาดไม่น้อยกว่า 7.1 กก./ตร.ซม. (100 ปอนด์/ตารางนิ้ว) ปริมาณลมไม่น้อยกว่า 334 ลบ.ม./ชม. (175 ลบ.ฟ./นาที) ท่อลม (air line) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 13 มม. (1/2 นิ้ว) และท่อสูบน้ำ (eductor pipe) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ไม่น้อยกว่า 51 มม. (2 นิ้ว)

6.1.3 ชุดตัดท่อเหล็กด้วยแก๊ส

6.1.4 เครื่องมืออ่านพิกัดตำแหน่งบ่อ (GPS)

6.2 สำหรับการอุดกลบบ่อด้วยซีเมนต์

การอุดกลบบ่อด้วยซีเมนต์ ประกอบด้วย

6.2.1 เครื่องมือวัดระดับน้ำและความลึกบ่อ

6.2.2 เครื่องอัดลม ขนาดไม่น้อยกว่า 7.1 กก./ตร.ซม. (100 ปอนด์/ตารางนิ้ว) ปริมาณลมไม่น้อยกว่า 334 ลบ.ม./ชม. (175 ลบ.ฟ./นาที) ท่อลม (air line) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 13 มม. (1/2 นิ้ว) และท่อสูบน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 51 มม. (2 นิ้ว)

6.2.3 เครื่องอัดซีเมนต์เป็นเครื่องสูบแรงดันสูง (reciprocating pump) หรือแบบหอยโข่งขนาดแรงดันน้ำไม่น้อยกว่า 7.1 กก./ตร.ซม.(100 ปอนด์/ตารางนิ้ว) ปริมาณน้ำไม่น้อยกว่า 10 ลบ.ม./ชม. (5.3 ลบ.ฟ./นาที) พร้อมท่ออัด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 13 มม. (1/2 นิ้ว)

6.2.4 ชุดตัดท่อเหล็กด้วยแก๊ส

6.2.5 เครื่องมืออ่านพิกัดตำแหน่งบ่อ

6.3 สำหรับการอุดกลบบ่อด้วยซีเมนต์ผสมโคลนผง

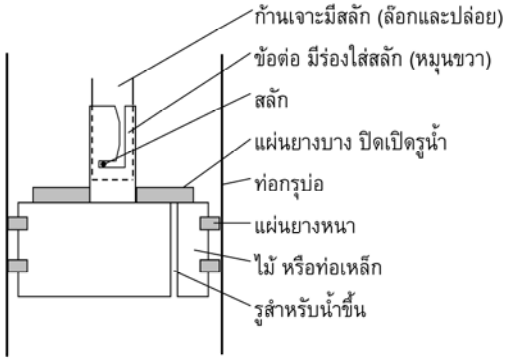
ใช้อุปกรณ์ชุดเดียวกันกับอุดกลบด้วยซีเมนต์ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ 6.2

6.4 สำหรับการอุดกลบบ่อด้วยตัวอุด

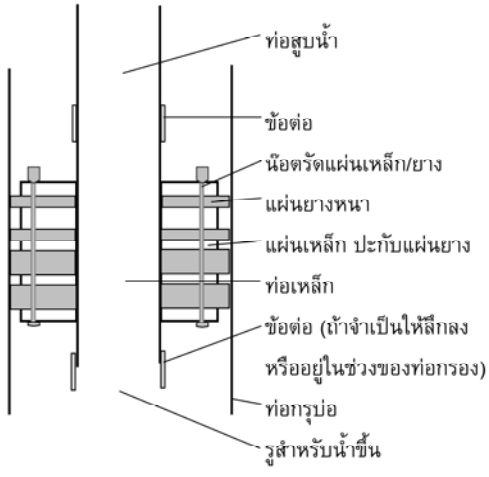
การอุดกลบบ่อด้วยตัวอุด ประกอบด้วย

6.4.1 เครื่องมือวัดระดับน้ำและความลึกบ่อ

6.4.2 ตัวอุดมีขนาดกระชับกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในของท่อกรุบ่อซึ่งทำด้วยแผ่นเหล็ก (หรือไม้) ประกับหรือติดด้วยกับแผ่นยางหนา โดยทั่วไปจะมี 2 รูปแบบ ตามลักษณะการใช้งานเพื่ออุดกลบบ่อหรือเพื่อสูบน้ำ (รูปที่ 1 และรูปที่ 2)



รูปที่ 1 ตัวอุดใช้ในกรณีอุดกลบบ่อ



รูปที่ 2 ตัวอุดใช้ในกรณีสูบน้ำ

6.4.3 เครื่องอัดลม ขนาดไม่น้อยกว่า 7.1 กก./ตร.ซม. (100 ปอนด์/ตร.น.) ปริมาณลมไม่น้อยกว่า 334 ลบ.ม./ชม. (175 ลบ.ฟ./นาที) ท่อลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 13 มม. (1/2 นิ้ว) และท่อสูบน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 51 มม. (2 นิ้ว)

6.4.4 เครื่องอัดซีเมนต์เป็นเครื่องสูบแรงดันสูง (reciprocating pump) หรือแบบหอยโข่งขนาดแรงดันน้ำไม่น้อยกว่า 7.1 กก./ตร.ซม.(100 ปอนด์/ตารางนิ้ว) ปริมาณน้ำไม่น้อยกว่า 10 ลบ.ม./ชม. (5.3 ลบ.ฟ./นาที) พร้อมท่ออัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 13 มม. (1/2 นิ้ว)

6.4.5 ชุดตัดท่อเหล็กด้วยแก๊ส

6.4.6 เครื่องมืออ่านพิกัดตำแหน่งบ่อ

นอกจากนี้แล้วกล้องส่องตรวจสอบในบ่อ (down hole TV) อาจจำเป็นต้องใช้สำหรับส่องดูสิ่งที่ตกค้างในบ่อเพื่อเป็นข้อมูลในการสร้างเครื่องมืองมสิ่งที่ค้างขึ้นจากบ่อ

7. ขั้นตอนในการดำเนินงาน

การอุดกลบบ่อสามารถแบ่งออกเป็น 4 วิธี ตามวัสดุที่ใช้อุดกลบ ขั้นตอนการอุดกลบมีรายละเอียดดังนี้

7.1 รวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลเดิมและตรวจสอบข้อมูลในสนาม

7.1.1 ทราบสาเหตุที่เลิกใช้และต้องทำการอุดกลบบ่อจากเจ้าของบ่อ เช่น มีน้ำประปาเข้าถึงท่อกรุ ท่อกรองบ่อผุแตก ปริมาณการให้น้ำลดลง คุณภาพน้ำเปลี่ยน เป็นต้น

7.1.2 ความลึกของการก่อสร้างบ่อ ขนาด และช่วงความลึกท่อกรุและท่อกรองบ่อที่ติดตั้ง และระดับน้ำคงที่

7.1.3 มีเครื่องสูบน้ำติดตั้งอยู่ในบ่อหรือไม่ ถ้ามียังคงอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์หรือไม่ มีบางส่วนของชุดเครื่องสูบน้ำ เช่น มอเตอร์ ใบพัด ท่อดูด เป็นต้นตกค้างในบ่อหรือไม่

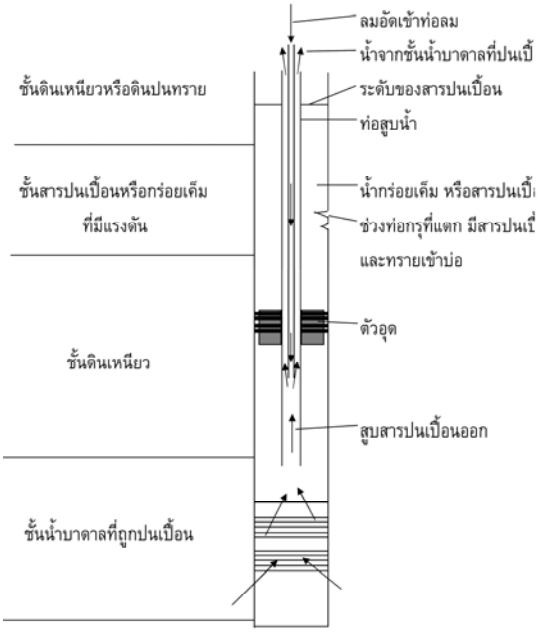
7.1.4 ถ้าไม่มีเครื่องสูบน้ำติดตั้งให้วัดระดับคงที่และความลึกบ่อ พร้อมเปรียบเทียบกับข้อมูลเดิมว่าบ่อตื้นขึ้นหรือไม่ มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในบ่อหรือไม่

7.2 ถอนเครื่องสูบน้ำ (ถ้ามี) พร้อมวัดระดับน้ำและความลึกบ่อ

7.3 ทำการงมสิ่งที่ตกค้างในบ่อ และวัดความลึกบ่ออีกครั้ง (ในบางกรณี อาจจะต้องใช้กล้องช่วย

ตรวจสอบ รูปลักษณะของสิ่งที่ต้องการจะงม เพื่อทำเครื่องมืองมที่เหมาะสม หรือตรวจสอบถึงสภาพช่องว่างระหว่างบ่อและสิ่งที่ตกค้างกีดขวางว่าสามารถจะทำการอุดกลบได้หรือไม่ ถ้าไม่สามารถงมสิ่งที่ตกค้างขึ้นได้)

7.4 เป่าล้างบ่อด้วยเครื่องอัดลมและเก็บตะกอนดินทรายที่กันบ่อ ขึ้นให้หมดหรือให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้หรือในกรณีที่เลิกใช้บ่อ เนื่องจากท่อกรุแตกและมีน้ำกร่อยเค็ม ไหลลงปนเปื้อนในชั้นน้ำบาดาลดี หรือในกรณีปนเปื้อนจากสารเคมีที่อันตราย ต้องเป่าสูบน้ำเอาน้ำกร่อยเค็มหรือสารเคมีที่ปนเปื้อนออก จนเข้าสู่ภาวะปกติของชั้นน้ำบาดาลหรือให้ออกมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ การเป่าสูบน้ำออก ต้องคำนึงถึงแหล่งต้นเหตุของการปนเปื้อนและทิศทางการดันของน้ำ ตลอดจนต้องเป่าสูบตามวิธีการที่ถูกต้อง เช่น ใช้ตัวอุดเพื่อบล็อกน้ำจากแหล่งปนเปื้อน (ดูรูปที่ 3) และวัดความลึกบ่อ



รูปที่ 3 การเป่าสูบน้ำโดยใช้ตัวอุดเพื่อบล็อกน้ำจากแหล่งปนเปื้อน

7.5 จากขนาดท่อกรุท่อกรองและความลึกบ่อที่ได้ นำมาคำนวณหาปริมาตรบ่อ (คิดจากระดับก้นบ่อหลังจากเป่าล้างบ่อ ถึงระดับพื้นดิน) และปริมาณวัสดุ (ดินเหนียว ซีเมนต์ หรือโคลนผง) ที่จะต้องใช้ในการอุดกลบ

7.6 การอุดกลบบ่อ ซึ่งแยกตามวัสดุที่จะใช้อุดกลบ ออกเป็น 4 วิธี ดังนี้

7.6.1 วิธีอุดกลบด้วยดินเหนียว

(1) เตรียมดินเหนียวน้ำจืด ปราศจากวัสดุอื่นเจือปน เช่น หญ้า ใบไม้ เศษหินปูน ลูกรัง เป็นต้น ปั้นให้มีลักษณะกลม (ขนาดเล็กกว่า 3 ซม.) นำไปตากแดดให้แห้ง และเก็บรวบรวมในกระสอบ

(2) เทลูกดินเหนียวลงในบ่ออย่างช้าๆ ในช่วงแรกๆ การลงดินเหนียว ซึ่งท่อกรองบ่อยังไม่ถูกอุดตัน อาจจะใช้น้ำสะอาด ฉีดลงพร้อมกับดินเหนียว เพื่อไล่ดินเหนียวที่อาจค้างผนังท่อกรุบ่อ ทำให้ดินเหนียวละลายง่ายขึ้น (คู่มือ เทคโนโลยีการพัฒนาน้ำลาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล) และน้ำที่ไหลลงบ่อนั้น จะช่วยพาดินเหนียวสู่ก้นบ่อเร็วขึ้น ในช่วงเวลาที่ท่อกรองบ่อยังไม่ถูกอุดตันด้วยดินเหนียว

(3) เมื่อดินเหนียวเต็มถึงระดับปากบ่อ ปล่อยให้ดินเหนียวยุบตัว เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง จากนั้นเติมดินเหนียวให้เต็มถึงระดับปากบ่ออีกครั้ง

7.6.2 วิธีอุดกลบด้วยซีเมนต์

(1) กรณีบ่อที่จะทำการอุดกลบ มีสาเหตุมาจากการปนเปื้อนของน้ำกร่อยเค็ม และไม่สามารถสูบออกเพื่อให้น้ำจืดจากชั้นน้ำบาดาลมาแทนที่แล้ว ต้องนำจืดที่สะอาด ใส่ลงในบ่อแทนที่น้ำกร่อยเค็ม

(2) ลงท่ออัดซีเมนต์ ที่ความลึก ประมาณ 1 ม. เหนือระดับก้นบ่อ แล้วทำการอัดซีเมนต์ (ซีเมนต์ 50 กก. ต่อน้ำจืดประมาณ 23 ลิตร) โดยใช้ชุดอัด

ซีเมนต์ (ที่ได้กล่าวในข้อ 6.2.3) ทำการอัดต่อเนื่องจนซีเมนต์ในบ่อขึ้นถึงระดับพื้นดิน กรณีที่บ่อลึก และแรงดันของเครื่องอัดซีเมนต์ไม่เพียงพอที่จะอัดในครั้งเดียวจากก้นบ่อ ให้ทำการยกท่ออัดขึ้น ที่ระดับประมาณ 1 ม. เหนือระดับซีเมนต์ที่อัดได้ในแต่ละครั้ง ทำการอัดอย่างต่อเนื่อง จนถึงระดับพื้นดิน

(3) ปล่อยให้ซีเมนต์แข็งตัวประมาณ 24 ชั่วโมง จากนั้นเติม ซีเมนต์ในบ่อ ให้เต็มถึงระดับ 10 ซม. ลึกจากระดับพื้นดิน

7.6.3 อุดกลบด้วยซีเมนต์ผสมโคลนผง

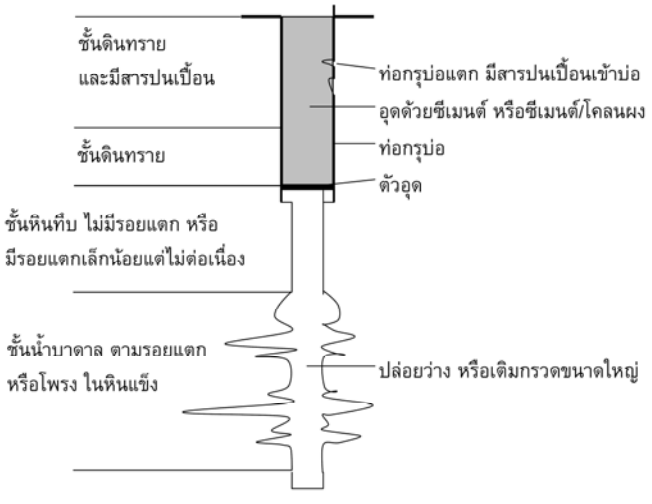
วิธีเดียวกับอุดกลบด้วยซีเมนต์ แต่ใช้ซีเมนต์ผสมโคลนผง ในอัตราส่วน ใช้โคลนผง 2 กก. ในน้ำจืดประมาณ 25 ลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วเติมซีเมนต์ 50 กก.

7.6.4 อุดกลบด้วยตัวอุด

บ่อน้ำบาดาลบางบ่อ เจาะในชั้นน้ำบาดาลที่เป็นรอยแตกหรือโพรงในหินแข็งและมีการสูบน้ำจากบ่อน้ำบาดาลข้างเคียงในช่วงทำการอุดกลบบ่อ การอุดด้วยซีเมนต์ โคลนผง หรือดินเหนียว ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสม เนื่องจากน้ำที่เคลื่อนผ่าน อาจจะทำละลายวัสดุที่ใช้อุดกลบก่อนที่จะแข็งตัว มีผลทำให้การอุดกลบบ่อไม่ดี และน้ำที่ละลายวัสดุเหล่านี้ จะปนกับน้ำอาจจะทำให้น้ำที่สูบออกจากบ่อข้างเคียงมีลักษณะขุ่น หรืออาจจะมีผลทำให้รอยแตกในชั้นน้ำบาดาลเกิดการอุดตัน การอุดกลบบ่อโดยใช้ตัวอุดร่วมกับซีเมนต์ (อาจจะใช้กรวดขนาด 10 มม. ขึ้นไป ใส่ก้นบ่อในบางกรณี) จะเป็นการอุดกลบวิธีหนึ่ง ที่จะให้เกิดผลดีและประหยัดซีเมนต์

(1) ตัวอุด โดยทั่วไปจะทำด้วยแผ่นยางประกับด้วยแผ่นเหล็ก ขนาดของแผ่นยางมีขนาดกระชับกับเส้นผ่าศูนย์ในของท่อกรุบ่อที่จะทำการอุดกลบ ตามที่ได้กล่าวในข้อ (6.4.2)

(2) ติดตั้งตัวอุด ที่ตำแหน่งความลึกบนชั้นน้ำบาดาลที่ต้องการจะอุด อาจจะอยู่ในท่อกรุบ่อหรือในผนังหินแข็งที่เป็นบ่อเปลือยหรือไม่ลงท่อตลอด ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยใช้ก้านเจาะหรือท่อนำ ที่ตรงปลายมีสลัก หมุนวนขวา เข้าล็อกกับตัวอุด ลงในตำแหน่งความลึกที่ต้องการ จากนั้น ทำการหมุนก้านเจาะหรือท่อนำวนซ้าย เพื่อคายสลัก ปล่อยตัวอุด



รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งของตัวอุดที่คั่นระหว่างชั้นน้ำบาดาล

(3) เมื่อปล่อยตัวอุดแล้ว ดึงก้านเจาะหรือท่อนำขึ้น ประมาณ 0.5 ม. เหนือระดับตัวอุด แล้วทำการอัดซีเมนต์ลงในบ่อ โดยผ่านก้านเจาะหรือท่อนำ เมื่อซีเมนต์ขึ้นมาเหนือตัวอุด ประมาณ 2 ม. ให้หยุดการอุดซีเมนต์ และถอนก้านเจาะหรือท่อนำขึ้น ทิ้งให้ซีเมนต์แข็งตัว ประมาณ 24 ชม. จากนั้น ลงท่อนำ อุดต่อด้วยซีเมนต์ ทำการอัดต่อเนื่อง จนซีเมนต์ในบ่อขึ้นถึงระดับพื้นดิน กรณีที่บ่อลึก และแรงดันของเครื่องอัดซีเมนต์ไม่เพียงพอที่จะอัดในครั้งเดียวจากก้นบ่อ ให้ทำการยกท่ออัดขึ้น ที่ระดับประมาณ 1 ม. เหนือระดับซีเมนต์ที่อัดได้ในแต่ละครั้ง ทำการอัดอย่างต่อเนื่องจนถึงระดับพื้นดิน

(4) ปล่อยให้ซีเมนต์แข็งตัวประมาณ 24 ชั่วโมง จากนั้นเติมซีเมนต์ในบ่อ ให้เต็มถึงระดับ 10 ซม. ลึกจากระดับพื้นดิน

7.7 ตัดท่อกรุปากบ่อให้ระดับต่ำกว่าพื้นดินประมาณ 10 ซม.

7.8 เทฐานคอนกรีตลักษณะหลังเต่าหรือเทลาดเอียงออกจากบ่อเล็กน้อยที่ปากบ่อ ขนาด 0.5 ม.x 0.5 ม. x 0.1 ม. ให้ระดับเสมอกับพื้นดินเขียนหมายเลขบ่อกำกับไว้ และจับพิกัดบ่อ (เผื่อในอนาคต หากมีการก่อสร้างใด เกิดขึ้นในบริเวณนี้ และท่อกรุบ่อที่อุดกลบกีดขวางงานแล้วก็จะสามารถหาจุดที่แน่นอน เพื่อทำการตัดท่อได้)

7.9 รายงานการอุดกลบ ส่งมอบให้ สำนัก งานทรัพยากรน้ำบาดาลจังหวัดที่เกี่ยวข้อง เจ้าของบ่อหรือผู้ว่าจ้าง และนักอุทกธรณีหรือนักธรณีที่ปรึกษา

8. ความปลอดภัย

คู่มือการอุดกลบบ่อน้ำบาดาลนี้ ให้ปฏิบัติตามเรื่องความปลอดภัยตามมาตรฐาน ทบ พ 1002-2550 การเจาะเพื่อพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

9. บุคลากร

เป็นบุคลากรชุดเดียวกันกับมาตรฐาน ทบ พ 1000-2550 การเจาะเพื่อสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

10. เอกสารอ้างอิง

Fletcher, G. D., 1987. Groundwater and Wells, Second Edition, Minnesota: Johnson Division.

คู่มือ ทบ อ 7000-2550
การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล เพื่อการอนุรักษ์แหล่งน้ำบาดาล

คู่มือ ทบ อ 7000-2550 เป็นคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล (อ) ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง "2550" หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้ใส่วงเล็บต่อท้ายและระบุ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย [ก] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย [ป] เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

คู่มือการเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี จัดทำขึ้นภายใต้โครงการจัดทำมาตรฐานและคู่มือการเจาะ สำรวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล พ.ศ. 2550 คู่มือฉบับนี้ใช้ร่วมกับมาตรฐานการเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล (มาตรฐาน ทบ พ 7000-2550)

การบริหารจัดการน้ำบาดาลโดยทั่วไปใช้หลักการปกป้องคุณภาพน้ำโดยการเก็บกักน้ำส่วนเกินในชั้นใต้ดินและนำมาใช้ประโยชน์เมื่อเกิดการขาดแคลนน้ำ การเก็บกักน้ำในเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำมีข้อจำกัดหลายด้าน การเก็บกักน้ำในชั้นใต้ดินโดยการเติมน้ำในตำแหน่งที่มีความเป็นไปได้น่าจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและเป็นการแก้ปัญหาที่ไม่ส่งผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมมากนัก

2. ขอบเขต

คู่มือฉบับนี้ครอบคลุมการเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีในการตรวจสอบการปนเปื้อนโดยเฉพาะในกรณีที่สงสัยว่าน้ำบาดาลอาจมีการปนเปื้อนหรือต้องการตรวจสอบการปนเปื้อน ควรเลือกพารามิเตอร์ในการตรวจสอบ สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มลักษณะทางกายภาพ (2) กลุ่มสารอนินทรีย์ และ (3) กลุ่มสารอินทรีย์

ทั้งนี้จะเน้นพารามิเตอร์ที่ละลายในน้ำเท่านั้น ไม่ครอบคลุมถึงแก๊สที่ละลายในน้ำและไม่ครอบคลุมถึงการเก็บรักษาสภาพน้ำและการวิเคราะห์เพื่อศึกษาทางกัมมันตภาพรังสี

การตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลโดยการกำหนดพารามิเตอร์ในการติดตามตรวจสอบเบื้องต้นนั้นอาจยังไม่สามารถระบุได้เด่นชัดว่าน้ำบาดาลได้รับการปนเปื้อนจากสารชนิดใด การตัดสินใจเห็นควรที่จะตรวจสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานที่กำหนดตามประกาศของหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องเช่น

(1) ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท ตีพิมพ์ในหนังสือราชกิจจานุเบกษา เล่ม 98 ตอนที่ 157 (ฉบับพิเศษ) ลงวันที่ 24 กันยายน 2524 (ภาคผนวก ก)

(2) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332 (พ.ศ. 2521) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2521 เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ตีพิมพ์ในหนังสือราชกิจจานุเบกษา เล่ม 95 ตอนที่ 68 ลงวันที่ 4 กรกฎาคม 2521 (ภาคผนวก ข)

(3) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2521) ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และ

มาตรฐานในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ตีพิมพ์ในหนังสือราชกิจจานุเบกษา เล่ม 95 ตอนที่ 66 ลงวันที่ 27 มิถุนายน 2521 (ภาคผนวก ค)

(4) ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) วันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบบน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในหนังสือราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

(5) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 5 (พ.ศ. 2521) ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 ตีพิมพ์ในหนังสือราชกิจจานุเบกษาเล่มที่ 95 ตอนที่ 66 ลงวันที่ 27 มิถุนายน 2521 (ภาคผนวก จ)

การตรวจสอบคุณภาพน้ำตามมาตรฐานของกฎหมายที่กำหนดควรอยู่ในดุลพินิจของผู้เชี่ยวชาญทางด้านน้ำบาดาล โดยเฉพาะบ่อน้ำบาดาลที่อยู่ใกล้เคียงกับแหล่งชุมชน หลุมฝังกลบขยะโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ พ 7000-2550 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล

- คู่มือ ทบ พ 7000-2550 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล

3.2 ASTM, D 6517-00, 2000. Standard Guide for Field Preservation of Ground-Water Samples.

3.3 U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), 1991. Site Characterization for Subsurface Remediation, Seminar Publication, Office of Research and Development, Washington, D.C. 20460, EPA/600113-90/003, p.123-124.

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 ลักษณะทางกายภาพ หมายถึง คุณลักษณะปฐมภูมิที่ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างน้ำ ซึ่งแตกต่างจากคุณลักษณะทางเคมีหรือองค์ประกอบทางชีวภาพ ลักษณะทางกายภาพ โดยทั่วไปสามารถสังเกตเห็นได้ เช่น สี ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ และสารอื่นๆ ที่อยู่ในรูปแบบที่แยกตัวออกจากน้ำได้ เช่น ตะกอนสารที่ลอยอยู่บนน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามลักษณะทางกายภาพมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีเช่นกัน ลักษณะทางกายภาพตามคุณสมบัติทางกายภาพในการพิจารณาตรวจสอบคุณภาพน้ำประกอบด้วย สี ความขุ่น กลิ่น รส สภาพกรด สภาพด่าง การอิ่มตัวแคลเซียมคาร์บอเนต ความกระด้าง สภาพความต้องการตัวออกซิเด้นท์ (เช่น โอโซน คลอรีนไดออกไซด์) ความนำไฟฟ้า ความเค็ม สารลอยน้ำ (เช่น ไข น้ำมัน) ของแข็ง (เช่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายน้ำ) อุณหภูมิ แร่ใยหิน ศักย์รีดอกซ์ (ORP) ตม (sludges) การอิ่มตัวยวดยิ่งของแก๊สละลาย (dissolved gas super saturation)

4.2 กลุ่มสารอนินทรีย์ในน้ำ (inorganic constituents) เป็นสารองค์ประกอบอนินทรีย์ที่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ โลหะ (เช่น เหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว เป็นต้น) และสารองค์ประกอบที่ไม่ใช่โลหะอินทรีย์ (เช่น โบรไมด์ คลอไรด์ ไซยาไนด์ ไนเตรต ฟอสเฟต เป็นต้น)

4.3 กลุ่มสารอินทรีย์ (organic constituents) ในน้ำเป็นสารองค์ประกอบอินทรีย์ในน้ำที่แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ องค์ประกอบอินทรีย์รวมกลุ่ม (aggregate organic constituents) และสารประกอบอินทรีย์เดี่ยว (individual organic compounds)

4.3.1 สารประกอบอินทรีย์รวมกลุ่ม (aggregate organic constituents) ประกอบด้วย ความต้องการ

ออกซิเจนทางชีวภาพ (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (chemical oxygen demand, COD) คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (total organic carbon, TOC) ฮาโลเจนอินทรีย์ละลาย (dissolved organic halogen) สารฮิวมิกละลายในน้ำ (aguatic humic substances) น้ำมันและไข (oil และ grease) ฟีนอล (phenols) สารลดความตึงผิว (surfacetants) เทนนินและลิกนิน (tanin และ lignin) สารกลุ่มกรดอินทรีย์และกรดระเหย (organic และ volatile acids) สารในรูปไตรฮาโลมีเทน (trihalomethanes) สารประกอบอินทรีย์ดูดกลืนแสงยูวี (uv-absorbing organic constituents) และอื่นๆ

4.3.2 สารประกอบอินทรีย์เดี่ยว (individual organic compounds) ประกอบด้วย สารประกอบอินทรีย์ระเหย (volatile organic compounds, VOCs) มีเทนสารกลุ่ม EDB (1,2-dibromoethane, EDB) และ สารกลุ่ม DBCP (1,2-dibromo-3-chloropropane, DBCP) ไตรฮาโลมีเทน (trihalomethanes) และ chlorinated organic solvents สารพลอยได้พวก halo acetic acid และ trichlorophenol สารพลอยได้พวกอัลดีไฮด์ฟีนอล สารกลุ่มพีซีบี (polychlorinated biphenyls, PCBs) และกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนโพลีนิวเคลียร์ (polynuclear aromatic hydrocarbons) สารกำจัดแมลงกลุ่มคาร์บาเมต (carbamate pesticides) สารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (organochlorine pesticides) สารกำจัดวัชพืชประเภทกรด (acid herbicide compounds) สารกำจัดวัชพืชประเภทไกลโฟเสต (glyphosate herbicide)

5. ความสำคัญและการใช้งาน

5.1 คู่มือฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเก็บและตรวจสอบคุณภาพน้ำทางเคมีซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ตามความเหมาะสมโดยการอ้างอิงตาม American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environmental Federation (1998)

5.2 คู่มือฉบับนี้ควรให้ใช้ร่วมกับมาตรฐาน ทบ พ 7000-2550 และคู่มือ ทบ พ 7000-2550

6. การปฏิบัติในการเก็บและตรวจสอบคุณภาพน้ำ

เมื่อกำหนดวัตถุประสงค์และวางแผนการเก็บตัวอย่างน้ำแล้วควรกำหนดความถี่ของการเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำทั่วไป เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงช่วงสั้นๆ (1-2 ปี ขึ้นไป) และช่วงยาว (มากกว่า 2 ปี) หากต้องการรายละเอียดคุณภาพน้ำรายเดือนก็สามารถทำได้ แต่ส่วนใหญ่แล้วควรเก็บทุกๆ 3 เดือน หรือทุกฤดูกาลเป็นอย่างน้อย แนวทางกำหนดความถี่สำหรับการเก็บน้ำตัวอย่างได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

6.1 ระเบียบวิธีการเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างที่เก็บจากบ่อต้องมีรายละเอียดที่ระบุวิธีการเก็บตัวอย่าง และขั้นตอนการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับผลที่ต้องการ ระเบียบวิธีการเก็บตัวอย่างสามารถสะท้อนถึงคุณภาพการเก็บตัวอย่าง ซึ่งผลจากการวัดคุณภาพน้ำที่ได้จะถูกบันทึกไว้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ขั้นตอนสำคัญในระเบียบการเก็บตัวอย่างได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 จุดมุ่งหมายของขั้นตอนแต่ละรายการและข้อเสนอแนะได้แสดงไว้ด้วยแล้ว ข้อควรคำนึงขั้นพื้นฐานในระเบียบวิธีการเก็บตัวอย่าง มี 3 ประการหลัก คือ

6.1.1 การวัดระดับน้ำ ซึ่งต้องทำก่อนการเก็บตัวอย่าง

6.1.2 การถ่ายน้ำออกจากบ่อ ต้องวัดปริมาตรน้ำและอัตราการถ่ายน้ำออกจากบ่อก่อนเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 1 การกำหนดความถี่ในการเก็บตัวอย่าง ตัวเลขแสดงเป็นจำนวนเดือนที่ควรละเว้นช่วง

การตรวจสอบ	พื้นที่ที่ไม่ปนเปื้อน	พื้นที่ปนเปื้อน	
		ปลายน้ำ	ต้นน้ำ
คุณภาพน้ำทั่วไป			
องค์ประกอบหลัก	2-7	2 - 38	2 - 10
องค์ประกอบรอง (ปริมาณน้อยกว่า 1.0 มก./ลิตร)	2-7	1 - 2	2 - 10
คุณลักษณะทางธรณีเคมี			
องค์ประกอบหลัก	1 - 2	7 - 14	1 - 5
องค์ประกอบรอง (ปริมาณ น้อยกว่า 1.0 มก./ลิตร)	1 - 2	< 2	1 - 5
การปนเปื้อน			
คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC)	2	3	3
สารอินทรีย์กลุ่มฮาโลเจนทั้งหมด	6 - 7	24	7
ค่าการนำไฟฟ้า	6 - 7	24	7
ความเป็นกรด-ด่าง	2	2	1

(ดัดแปลงจาก U.S. EPA, 1991)

6.1.3 การเก็บตัวอย่างจริงในสนาม รวมถึงพารามิเตอร์ที่วัดในสนาม หลังจากถ่ายน้ำเก่าออกจากบ่อแล้ว การรักษาสภาพน้ำ การนำส่งตัวอย่างและการบันทึกลงในแบบบันทึกข้อมูลการครอบครองตัวอย่าง

6.2. ความถี่ของการเก็บตัวอย่าง

ขึ้นอยู่กับความต้องการข้อมูลและความคุ้มทุนของการเก็บตัวอย่าง เหตุผลที่ควรใส่ใจอันดับแรกคือการประเมินแหล่งที่มาของการปนเปื้อนซึ่งกำลังดำเนินการตรวจสอบ การพิจารณาตัวการที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนที่กระจายเข้ามาในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นการกำหนดความถี่ของการเก็บตัวอย่างที่น้อยที่สุด ในแง่ระยะทางตามทิศทางการไหลของน้ำบาดาล และใช้ข้อมูลอุทกวิทยาในการคำนวณความถี่ที่ต้องการ โดยคำนวณตามสมการดังนี้ (Barcelona et al., 1985)

$$F = DN/(864Ki)$$

เมื่อ F = ความถี่ของการเก็บตัวอย่าง (วัน)

N = ความพรุนยังผล (effective porosity)

K = ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (hydraulic conductivity) (ซม./วินาที)

i = เกรเดียนต์ (hydraulic gradient) (เมตร/เมตร)

การหาความถี่อาจทำได้โดยใช้โนโมกราฟ (nomograph) เพื่อที่จะแปลข้อมูลไฮดรอลิกไปเป็นความถี่ที่มีความยาวตามทิศทางการไหลของน้ำบาดาลแบบต่างๆ (รูปที่ 1) ถ้าไม่มีข้อมูลเดิมมาก่อนว่ามีการปนเปื้อนสารชนิดใดควรเลือกตรวจสอบพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานตามกฎหมายก่อน ถ้ามีข้อมูลการปนเปื้อนบันทึกไว้แล้วสามารถจะเลือกพารามิเตอร์ที่ต้องการตรวจสอบได้แน่นอนกว่า หากมีข้อมูลน้อยเกินไปควรตรวจสอบพารามิเตอร์ทั้งกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสารอินทรีย์ พวกที่เป็นโลหะและไม่ใช่โลหะ กลุ่มสารอินทรีย์พวกที่เป็นองค์ประกอบอินทรีย์กลุ่มก้อน หรือสารประกอบอินทรีย์เดี่ยว เป็นต้น

หากต้องการตรวจสอบสารปนเปื้อนหลายอย่างควรมีลำดับการเก็บน้ำตัวอย่างโดยเก็บจากสารปนเปื้อนที่สามารถสูญหายหรือเปลี่ยนแปลงได้ง่ายก่อนดังนี้

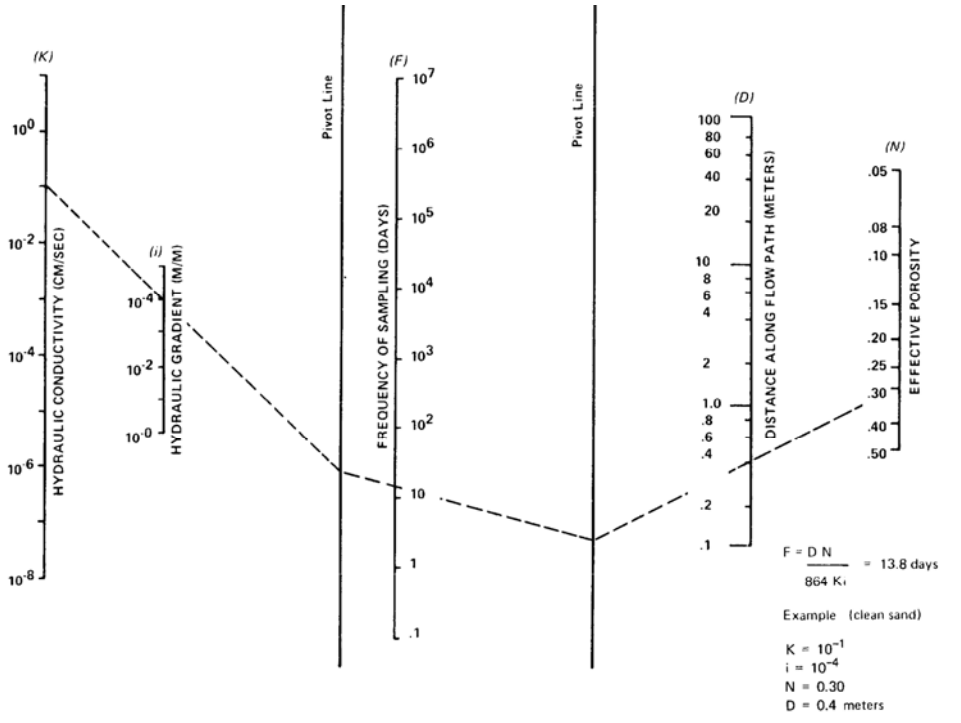
(1) สารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) สารกลุ่มนี้จะสูญหายไปจากน้ำได้ง่ายจากการระเหย และการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ได้แก่สารในรูปไตรฮาโลมีเทน สารกลุ่มอัลดีไฮด์ คีโตน เป็นต้น ควรเก็บน้ำตัวอย่างโดยไม่กรอง และรักษาสภาพทันที

(2) สารอินทรีย์กึ่งระเหย เช่น สารกำจัดแมลง และกำจัดวัชพืช สารกลุ่มพีซีบี (PCBs) เป็นต้น ควรเก็บตัวอย่างโดยไม่มีการกรองและรักษาสภาพ

ตารางที่ 2 ระเบียบวิธีการเก็บตัวอย่างโดยทั่วไป

ขั้นตอน	เป้าหมาย	ข้อเสนอแนะ
การวัดในสนาม	การวิเคราะห์ในสนามก็เพื่อหลีกเลี่ยงอคติที่อาจเกิดขึ้นต่อพารามิเตอร์ที่มีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม	ตัวอย่างที่จะต้องวัดในสนามให้ทำโดยเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ คือ แก๊สสภาพด่าง (alkalinity) และความเป็นกรด-ด่าง
ตัวอย่างเปล่า / มาตรฐานต่างๆ	ตัวอย่างเปล่าและมาตรฐานต่างๆ จะทำให้ผลวิเคราะห์ถูกต้องสำหรับการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นหลังเก็บตัวอย่าง เช่น การรักษาสภาพ การเก็บ และการขนส่ง	อย่างน้อยที่สุดจะต้องมีตัวอย่างเปล่าและมาตรฐานอย่างละ 1 ชุด สำหรับพารามิเตอร์ที่มีความว่องไวมาก ขั้นตอนนี้จะต้องทำในสนามในวันที่มีการสุ่มเก็บตัวอย่าง ตัวอย่างที่มีการเติมสาร (spike sampling) ควรจะทำเพื่อการประกันคุณภาพและการควบคุมคุณภาพ
การเก็บรักษา/การขนส่ง	การทำให้เย็นและการป้องกันตัวอย่างที่เก็บควรจะลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์	ควรใส่ใจข้อกำหนดช่วงเวลาก็เก็บตัวอย่างไว้นานสูงสุด
การวัดพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา	การวัดระดับน้ำก่อนการสูบเก็บตัวอย่างน้ำ	วัดระดับน้ำที่แตกต่างกัน ±0.3ซม. (หรือ ±0.01 ฟุต)
การถ่ายน้ำออกจากท่อ	การถ่ายน้ำหรือการจำกัดน้ำขังออกจากบ่อเพื่อไม่ให้เกิดอคติต่อตัวอย่างที่เป็นตัวแทน	สูบน้ำจนพารามิเตอร์ที่วัดได้จากการถ่ายน้ำออก เช่น pH, EC, Eh, หรืออุณหภูมิมีค่าเสถียรในระดับ ±10%
การเก็บตัวอย่าง	เก็บตัวอย่างบนผิวดิน หรือในบ่อขุดซึ่งมีการกระจายตัวลักษณะทางเคมีน้อยที่สุด	อัตราการสูบควรมีข้อจำกัดถึงประมาณ 100 มล./นาที สำหรับสารอินทรีย์ระเหยและพารามิเตอร์ที่ว่องไวต่อแก๊ส
การกรอง/การรักษาสภาพ	การกรองทำได้เมื่อองค์ประกอบที่ละลายอยู่ในสภาพที่รักษาสภาพได้ ควรทำให้แล้วเสร็จในสนามทันทีที่เก็บตัวอย่าง	- การกรองสามารถดำเนินการได้เมื่อวิเคราะห์หาโลหะร่องรอย (trace metals) แอนไอออนและแคทไอออนที่เป็นสารอนินทรีย์ และสภาพด่าง (alkalinity) - ไม่กรองเมื่อวิเคราะห์หา TOC, TOX และสารประกอบอินทรีย์ระเหย การกรองสารประกอบอินทรีย์ระเหยอื่นๆ จะทำก็ต่อเมื่อระบุเท่านั้น

(ดัดแปลงจาก Barcelona et al., 1985)



รูปที่ 1 โนโมกราฟของความถี่การเก็บตัวอย่าง (Barcelona et al., 1985)

(3) โลหะและสารประกอบที่ไม่ใช่โลหะอินทรีย์ ควรกรองตัวอย่างและรักษาสภาพ

(4) จุลินทรีย์และพารามิเตอร์อื่นๆ

6.3 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล

6.3.1 การวางแผนเก็บตัวอย่าง ปัจจัยที่ควรพิจารณามีดังนี้ รายละเอียดบ่อน้ำบาดาล เช่น สถานที่ตั้ง ความลึกบ่อ ระดับน้ำ ปริมาณน้ำ คุณภาพของการทำความสะอาดบ่อ การเลือกอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำให้เหมาะสม เช่น เครื่องสูบน้ำแบบจุ่มใต้น้ำ หรือใช้กระบอกตักแล้วแต่ กรณี

6.3.2 การปรับเทียบอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่จะใช้ในสนามทุกชนิดก่อนเก็บตัวอย่างโดยเฉพาะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

6.3.3 การวัดระดับน้ำบาดาล ก่อนเก็บตัวอย่างจะต้องวัดระดับน้ำในบ่อก่อน ควรเทียบกับจุดอ้างอิงก่อนที่จะสูบหรือตักเอาน้ำออกจากบ่อ การวัดอาจใช้เครื่องตรวจสอบวัดระดับน้ำแบบไฟฟ้าก็ได้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดควรทำความสะอาดทันทีเมื่อมีการใช้ด้วยน้ำปราศจากไอออนหรือใช้ไอโซโพรพิวแอลกอฮอล์ทำความสะอาด

6.3.4 การเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล ควรเลือกใช้อุปกรณ์เก็บน้ำบาดาลที่เหมาะสมเช่น กระบอกตัก (bailer) เครื่องสูบแบบจุ่ม (submersible pump) เครื่องสูบแบบรีด (peristaltie pump) เครื่องสูบแบบถุง (bladder pump) เป็นต้น การเลือกวิธีการเก็บอาจขึ้นอยู่กับข้อดีหรือข้อด้อยของอุปกรณ์แต่ละชนิด ซึ่งสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์คุณภาพข้อมูลที่ต้องการโดยรวม ทั้งนี้อาจใช้อุปกรณ์หลายชนิดร่วมกันในการเก็บตัวอย่างก็ได้ ข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำบาดาล แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำบาดาล

อุปกรณ์	ข้อดี	ข้อเสีย
กระบอกตัก (bailer) (ดูคู่มือ ทบ พ 4000-2550; ข้อที่ 7.1 ประกอบ)	1. ไม่ต้องใช้แหล่งพลังงานเพื่อใช้งาน 2. ขนาดเล็ก สะดวกในการใช้งาน 3. ไม่จำกัดขนาดและวัสดุใช้งาน 4. ราคาถูก 5. ลดการสูญหายของสารอินทรีย์ระเหยได้ดีในขณะตักน้ำ 6. ใช้งานง่าย 7. ใช้ได้รวดเร็ว วิธีการใช้ไม่ซับซ้อนในการตักน้ำปริมาตรน้อยๆ	1. สิ้นเปลืองเวลามากโดยเฉพาะบ่อขนาดใหญ่ 2. การขนย้ายตัวอย่างน้ำจากบ่ออาจทำให้เกิดการเติมอากาศหรืออาจทำให้สูญเสียแก๊สในตัวอย่างน้ำ
เครื่องสูบแบบจุ่ม (submersible pump)	1. พกพาสะดวก สามารถใช้ได้ไม่จำกัดจำนวนบ่อ 2. สูบน้ำได้มาก (ขึ้นกับความลึกและขนาดของเครื่องสูบ) 3. ไม่ต้องล่อน้ำ	1. มีผลต่อการวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ที่มีปริมาณน้อย (trace organics) 2. มีขนาดและน้ำหนักมาก 3. มีราคาแพง 4. ต้องใช้กระแสไฟฟ้า 5. ชำรุดง่ายหากมีตะกอนทรายแป้งหรือตะกอนอื่นๆไปอุดใบพัด 6. ไม่เหมาะสมกับบ่อที่มีน้ำน้อยหรือบ่อน้ำตื้น
เครื่องสูบแบบถุง (bladder pump)	1. มีความน่าเชื่อถือในการเก็บตัวอย่างได้ดี 2. ใช้งานง่าย	1. ทำความสะอาดยาก 2. สูบได้ที่ระดับลึกประมาณ 100 ฟุต เท่านั้น 3. ควบคุมยาก
เครื่องสูบแบบดูดสุญญากาศ (suction pump)	ขนาดเล็กและราคาถูกสะดวกต่อการใช้งาน	1. สูบน้ำได้ที่ระดับประมาณ 25 ฟุต หรือน้อยกว่านั้น 2. สุญญากาศเป็นสาเหตุของการสูญหายของสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) 3. ยากที่จะควบคุมสุญญากาศ เพราะไม่ต้องล่อน้ำ 4. อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบส (pH)
เครื่องสูบแบบใช้แรงเฉื่อย (inertia pump)	1. เคลื่อนย้ายสะดวก ราคาถูกและสะดวกในการใช้งาน 2. ใช้กับบ่อตื้นได้	1. ใช้งานได้ที่ความลึก 70 ฟุตหรือน้อยกว่า 2. สิ้นเปลืองเวลา 3. สิ้นเปลืองแรงงาน 4. เครื่องแบบ Waterra เหมาะสมกับบ่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 2 นิ้ว

(ดัดแปลงจาก EPA, 1991)

6.3.5 ตัวอย่างน้ำที่ใช้เป็นตัวแทน (representtative samples) ควรเก็บน้ำตัวอย่างจากบ่อน้ำที่สูบน้ำเก่าออกแล้ว โดยทั่วไปบ่อสังเกตการณ์ (monitorring well) จะสูบน้ำที่ขังอยู่ในบ่อออกก่อน จนกระทั่งคาดว่า พารามิเตอร์ที่ต้องการตรวจสอบคุณภาพน้ำในสนาม มีค่าคงที่แน่นอน หรือน้ำอยู่ในสภาวะเสถียร ข้อกำหนดที่ควรกระทำมีดังนี้

(1) ต้องวัดค่าการนำไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่างในสนาม จนกระทั่งผลการวัดที่อ่านได้อยู่ในช่วงระหว่าง

ค่าการนำไฟฟ้า ± 5%
อุณหภูมิ ± 0.1 องศาเซลเซียส
ความเป็นกรด-ด่าง ± 0.04

(2) การทดสอบความเสถียรของค่าที่วัดได้ ต้องทำให้แล้วเสร็จทันทีในสนาม ปริมาตรน้ำที่ต้องการเมื่ออยู่ในสภาวะเสถียรควรบันทึกไว้ และควรใช้ปริมาตรที่ถ่ายน้ำออกจากบ่อน้อยที่สุดเป็นเกณฑ์ในการติดตามตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง ปริมาณที่สูบน้ำออกจากบ่อควรมีประมาณ 3 ใน 5 ของปริมาตรของบ่อ

(3) ถ้าน้ำในบ่อสามารถสูบหรือตักออกได้ด้วยอุปกรณ์ที่เคยใช้ก็ควรให้น้ำอยู่ในระดับคืนตัวก่อนเก็บตัวอย่าง ถ้าระดับน้ำคืนตัวใช้เวลานาน ก็ควรที่จะเก็บตัวอย่างหลังการถ่ายน้ำออกจากบ่อ

การสร้างบ่อและการพัฒนาบ่อ มีผลกระทบที่สำคัญต่อคุณภาพน้ำ ซึ่งรวมถึงการติดตามตรวจสอบคุณภาพระหว่างการสูบน้ำออกจากบ่อ ดังนั้นจึงควรที่จะเว้นระยะการเก็บตัวอย่างออกไปอย่างน้อย 1 สัปดาห์ หลังจากที่มีการพัฒนาบ่อบาดาล ซึ่งน้ำที่ได้ควรจะใสไม่มีตะกอน

6.4 การสูบน้ำออกจากบ่อและการคำนวณปริมาตรการถ่ายน้ำ

บ่อสังเกตการณ์ (monitoring well) ควรสูบน้ำในบ่อออกอย่างน้อยที่สุดให้เท่ากับปริมาตรบ่อ เป็น 3 เท่าของน้ำที่มีอยู่ในบ่อ หรือทำการถ่ายน้ำออกจากบ่ออย่างต่อเนื่องจนค่าความนำไฟฟ้า (EC) อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเสถียร ปริมาตรของน้ำคำนวณได้ โดยสมการดังนี้

$$V = 0.041\ D^2\ (d_2 - d_1) \qquad (1)$$

เมื่อ V = ปริมาตร (แกลลอน)
D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของบ่อกรุ (นิ้ว)
d_2 = ความลึกของบ่อทั้งหมด (ฟุต)
d_1 = ความลึกจากผิวน้ำ (ฟุต)
ในหน่วยเมตริก

$$V = D_2\ (d_2 - d_1)\ /4 \qquad (2)$$

เมื่อ V = ปริมาตร
D = เส้นผ่าศูนย์กลางของบ่อกรุ
d_2 = ความลึกของน้ำในบ่อ
d_1 = ความลึกของช่วงกรองบ่อ

ปริมาตรของบ่อ คำนวณหาได้จากปริมาตรของน้ำที่ถ่ายออกไป ความเสถียรขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำคงที่ ทำได้โดยสูบน้ำออกเป็น 3 เท่าของปริมาตรน้ำในบ่อ ถ้ายังไม่เสถียร ปริมาตรที่สูบออกจะเพิ่มขึ้นเป็น 5 เท่าของปริมาตรบ่อ สภาวะทางเคมีของน้ำจะบ่งบอกสภาวะความเสถียรของน้ำที่ถ่ายออก (purging) โดยค่า EC ที่แตกต่างกันไม่ควรแตกต่างกันร้อยละ 10 และมีอุณหภูมิคงที่อย่างน้อย 3 ช่วงเวลาที่ต่างกันอย่างต่อเนื่อง

6.5 การทำความสะอาดอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

อุปกรณ์เก็บน้ำตัวอย่างทุกชิ้นต้องทำความสะอาดก่อน เพื่อป้องกันการปนเปื้อน ไม่ใช่แค่ภาชนะบรรจุน้ำตัวอย่างเท่านั้น อุปกรณ์อื่นๆ เช่นกัน โดยเฉพาะอุปกรณ์ตักน้ำที่หย่อนลงในบ่อ เช่น เชือก ท่อ สายวัด หรือสายไฟ สารที่ใช้ทำความสะอาดไม่ควรใช้ผงซักฟอก สบู่ หรือแม้แต่สารฟอกขาวที่มีสารประเภทคลอรีนผสมอยู่ด้วย ถ้าต้องการตรวจสอบจุลินทรีย์ด้วย จะต้องฆ่าเชื้ออุปกรณ์ทุกชิ้นเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ขณะเก็บตัวอย่าง การล้างอุปกรณ์ในขั้นตอนสุดท้ายจะต้องกลั้วด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนเสมอ (deionized water) แล้วคว่ำและผึ่งอุปกรณ์ให้แห้งหรืออบในตู้อบก่อนใช้งาน (ไม่ควรเช็ดอุปกรณ์) เมื่อต้องการเก็บตัวอย่างบริเวณอื่นๆ ด้วยให้กลั้วด้วยน้ำตัวอย่างนั้นในบริเวณที่ต้องการเก็บตัวอย่างเสมอ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บสารอินทรีย์ของเหลวที่ไม่ละลายน้ำ (Non Aqueous Phase Liquid, NAPL) ต้องใช้สารทำความสะอาดลักษณะเดียวกันด้วย

6.6 การบรรจุน้ำตัวอย่างในขวดเก็บตัวอย่าง

ถ้ามีความจำเป็นต้องกรองตัวอย่างน้ำให้ทำทันทีใน สถานที่เก็บตัวอย่าง ข้อควรระวังสำหรับการบรรจุตัวอย่างน้ำในขวดเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบสารประกอบอินทรีย์ระเหยและสารอินทรีย์กึ่งระเหย คือ ต้องไม่กวนน้ำในขณะใส่น้ำตัวอย่างในภาชนะบรรจุ เพื่อป้องกันการระเหยของสารที่ต้องการตรวจสอบออกจากน้ำและต้องไม่มีฟองอากาศในขวดเลย ภาชนะบรรจุหรือขวดเก็บตัวอย่างต้องมีแผ่นเทฟลอนเป็นฝารองด้านในฝาปิด

สำหรับน้ำตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบโลหะหนัก ถ้าต้องกรองและเติมสารเพื่อรักษาสภาพควรดำเนินการทันทีเพราะพารามิเตอร์เหล่านี้มีความว่องไวในการเปลี่ยนสภาพตามปฏิกิริยารีดอกซ์ หรือมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นต้น

ไอออนอื่นๆ เช่น ไนเตรต คาร์บอเนตไบคาร์บอเนต ซัลเฟต แมงกานีส เหล็ก มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อสัมผัสอากาศ ส่วนไอออนคลอไรด์ โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม มีสภาวะที่เสถียรมากกว่าไอออนตัวอื่นๆ การเก็บรักษาสภาพน้ำตัวอย่างและการดูแลหลังจากเก็บตัวอย่าง จึงไม่เข้มงวดเท่ากับกลุ่มพารามิเตอร์ที่ต้องการตรวจสอบดังที่กล่าวมาแล้ว

ทั้งนี้ลักษณะภาชนะบรรจุน้ำตัวอย่าง ปริมาณที่ต้องการ รวมถึงการรักษาสภาพน้ำตัวอย่าง ให้ศึกษาจากมาตรฐาน ทบ พ 7000-2550

การเก็บตัวอย่างน้ำ

(1) เก็บตัวอย่าง 1 ลิตร ในขวดแก้วสีชาที่มีฝารองชั้นในเป็นเทฟลอน

(2) ใช้ขวดพลาสติกเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาไนเตรต-ไนโตรเจน ถ้าใช้ขวดแก้วเก็บตัวอย่างจะต้องวิเคราะห์ตัวอย่างทันที และต้องเก็บขวดน้ำตัวอย่างให้ห่างจากสิ่งแวดล้อมที่อาจทำให้เกิดการปนเปื้อน

(3) ให้ล้างขวดเก็บตัวอย่างด้วยน้ำจากบ่อบาดาล อย่างน้อย 3 ครั้ง ก่อนเก็บน้ำตัวอย่างถ้าต้องวิเคราะห์หาสารกำจัดแมลงและไนเตรต-ไนโตรเจน น้ำที่ใช้ล้างขวดจะต้องใส่ประมาณ 1 ใน 3 ของขวด แล้วปิดฝา เขย่าขวดแล้วทิ้งน้ำที่ล้างขวด ส่วนน้ำตัวอย่างที่เก็บใส่ขวดแล้วให้ปิดฝาขวดด้วยฝาที่มีฝารองชั้นในเป็นเทฟลอน ปิดฉลากขวดแล้วเก็บขวดตัวอย่างในห้องเย็น เพื่อนำส่งวิเคราะห์ต่อไป

ภาชนะบรรจุการรักษาสภาพน้ำตัวอย่าง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ภาชนะบรรจุ การรักษาสภาพ และระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างได้

พารามิเตอร์	ภาชนะบรรจุ	การรักษาสภาพ	ระยะเวลาสูงสุด ที่เก็บตัวอย่างได้
ไนเตรด+ไนไตรท์	100 มล. พลาสติก	แช่เย็นที่ 4°ซ., เติม H_2SO_4, ให้ pH < 2	28 วัน
แอมโมเนีย	100 มล. พลาสติก	แช่เย็นที่ 4°ซ, เติม H_2SO_4, ให้ pH < 2	ให้บันทึก pH และอุณหภูมิที่เก็บตัวอย่าง 28 วัน
สารกำจัดแมลงประเภทด่าง - กลาง	100 มล. แก้วสีชา	แช่เย็นที่ 4°ซ	ให้ดูตารางที่ 1 มาตรฐาน ทบ พ 7000-2550 ประกอบ
สารกำจัดแมลงประเภทกรด	100 มล. แก้วสีชา	แช่เย็นที่ 4°ซ, เติม H_2SO_4, ให้ pH < 2	
คาร์บาเมต	100 มล. แก้วสีชา	แช่เย็นที่ 4°ซ, เติม 5 มล. ของ 1% กรดฟอสฟอริก	
เพนตาคลอโรฟีนอล	100 มล. แก้วสีชา	แช่เย็นที่ 4°ซ, เติม H_2SO_4, ให้ pH < 2	7 วันจนถึงการสกัด

หมายเหตุ : 1.ตัวอย่างจะต้องทำการรักษาสภาพทันทีที่เก็บ 2. จะต้องทำการวิเคราะห์ทันทีหรือเร็วที่สุดที่จะทำได้
(ดัดแปลงจาก Minnesota Department of Agriculture, 2008)

6.7 การปิดฉลากบนขวดเก็บน้ำตัวอย่าง

รายละเอียดที่ฉลากควรจะระบุบ่งบอกประกอบด้วย

(1) วิธีการหรือชนิดของการวิเคราะห์
(2) รายละเอียดหรือชื่อของอุปกรณ์วิเคราะห์ที่อาจมีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์
(3) การระบุบริเวณที่ทำการติดตามตรวจสอบ
(4) ชื่อของผู้ทำการเก็บตัวอย่าง
(5) วันที่และเวลาที่เก็บตัวอย่าง
(6) ลักษณะการเก็บรักษาสภาพน้ำตัวอย่างหรือรายละเอียดอื่นๆ เช่น การกรองตัวอย่างก่อนส่งวิเคราะห์

6.8 การบันทึกข้อมูล

การติดตามตรวจสอบข้อมูลการเก็บตัวอย่าง ควรที่จะมีรูปแบบการบันทึกที่แสดงถึงความรับผิดชอบของบุคคล หรือหน่วยงานที่ทำงานในการเก็บและขนส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ ตัวอย่างของแบบบันทึกข้อมูลแสดงไว้ในตารางที่ 5 ใบส่งตัวอย่างจะต้องแนบไปกับน้ำตัวอย่างด้วย จนถึงผู้รับสุดท้าย โดยต้องมีสำเนาให้กับหน่วยงานที่ส่งตัวอย่าง

6.9 การส่งตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำบาดาลและตัวอย่างเปล่าทั้งหมดต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°ซ. จนถึงห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ ถุงเย็นใส่น้ำแข็งเหมาะที่จะใช้ได้ในช่วงเวลาสั้นๆ และต้องระวังไม่ให้ความชื้นทำให้ฉลากปิดขวดถูกทำลาย

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลการส่งมอบน้ำตัวอย่าง (ดัดแปลงจาก Minnesota Department of Agriculture (2008))

หน่วยงาน :	หัวหน้าโครงการ :	หมายเหตุ																
ชื่อโครงการ/สถานที่ : โทรศัพท์ :	โทรสาร :							ลักษณะภาชนะบรรจุ										
ประเภทตัวอย่าง (1) น้ำบาดาล (2) น้ำผิวดิน (3) น้ำเสีย (4) น้ำทะเล	หน่วยงานที่เก็บตัวอย่าง : ผู้เก็บตัวอย่าง (ชื่อ-สกุล) : (ลายมือชื่อ) :	รายละเอียดสถานที่เก็บตัวอย่าง	วิธีการเก็บตัวอย่าง *	วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความขุ่น	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า	ปริมาณน้ำที่ใช้	VOA	Semi volatile org. cpds	PEST/PCBs	METALS	CYANIDE	ภาชนะบรรจุ	ค่าที่ตรวจในภาคสนาม		
ผู้รับตัวอย่าง : ลายมือชื่อ :																		
วัน/เวลา :																		

หมายเหตุ : * วิธีเก็บตัวอย่าง (1) การดัก (2) การสูบน้ำใช้ (3) กรองตัวอย่าง (4) ไม่กรองตัวอย่าง

7. การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

อ้างอิงตามมาตรฐาน ทบ พ 7000-2550 หรือใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมตาม American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environmental Federation (1998) หรือใช้ฉบับตีพิมพ์ล่าสุดเป็นเกณฑ์ ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลพินิจของของผู้เชี่ยวชาญ

8. การเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลและการประกันคุณภาพ

การเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลและการประกันคุณภาพ (groundwater sampling and quality assurance) จะส่งผลให้ที่เห็นภาพกว้างของสภาพทางอุทกธรณีวิทยาและสภาวะทางเคมีของบริเวณทำการตรวจสอบน้ำบาดาล ผลการตรวจวิเคราะห์จะเป็นตัวแทนความเข้าใจเบื้องต้นของธรรมชาติและอาจครอบคลุมถึงการปนเปื้อนบริเวณใต้ดิน สภาวะทางเคมีและสภาพทางอุทกธรณีวิทยาของน้ำบาดาลจึงมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมใต้ดินซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต ดังนั้นความถี่ของการเก็บตัวอย่างและสถานที่เก็บตัวอย่างที่ไม่ต่อเนื่องสัมพันธ์กันควรพิจารณาอย่างระมัดระวังในการแก้ปัญหาการกระจายตัวของการปนเปื้อนน้ำใต้ดิน

โปรแกรมการประกันคุณภาพ (Quality Assurance, QA) เป็นระบบของการตรวจสอบทางเอกสารซึ่งให้ความน่าเชื่อถือของชุดข้อมูล ขั้นตอน QA ถูกใช้เพื่อตรวจสอบระบบการวัดในสนามและในห้องปฏิบัติการซึ่งดำเนินงานภายใต้ข้อจำกัดที่สามารถยอมรับได้ ข้อจำกัดนี้ควรกำหนดขึ้นระหว่างการออกแบบการเก็บตัวอย่างสำหรับการวัดแต่ละครั้ง อย่างไรก็ตามเอกสารข้อมูลขั้นต้นสำหรับการประเมินจะต้องจัดทำขึ้นถ้ามีการดำเนินงานและมีผู้ดำเนินงานทางด้านการตรวจสอบน้ำบาดาล ซึ่งทำให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพสูงและคุ้มค่าการใช้จ่าย

โปรแกรม QA ควรสร้างขึ้นในฐานะเป็นชุดขั้นตอนการวัดเบื้องต้นและสัมพันธ์กับการตรวจสอบการควบคุมคุณภาพ (quality control) ความสัมฤทธิ์ผลของการตรวจสอบคุณภาพโดยรวมเพื่อลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นทางบุคคลหรือโดยเทคนิคภายนอกของการเก็บตัวอย่างปกติ และการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

8.1 การควบคุมคุณภาพการเก็บตัวอย่าง

การควบคุมคุณภาพการเก็บตัวอย่างมีหลักการที่สำคัญดังนี้

8.1.1 การปรับเทียบเครื่องมือในการเก็บตัวอย่างทั้งหมดและอุปกรณ์การวัดในสนาม

8.1.2 ความมั่นใจการประกันการเก็บตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของบริเวณที่เก็บตัวอย่าง ความถี่ของการเก็บตัวอย่าง การทำความสะอาดบ่อ (well purge) และการเก็บรวบรวมตัวอย่าง

8.1.3 การใช้ความระมัดระวังในการขนถ่ายตัวอย่าง

ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลที่อาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6

ขั้นตอนรูปแบบการวิเคราะห์เป็นลักษณะพิเศษเฉพาะ การวางแผนขั้นตอน QA ควรดำเนินการอย่างระมัดระวัง ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและสาเหตุความผิดพลาดได้แสดงในตารางที่ 7 ผู้ตรวจสอบทาง QA และการตรวจวัดควบคุมคุณภาพ แต่ละขั้นตอนควรที่จะใส่ใจควบคุมความผิดพลาดที่อาจเกิดจากการวิเคราะห์

ตารางที่ 6 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลและสาเหตุความผิดพลาด

ขั้นตอน	สาเหตุความผิดพลาด
1. สภาวะเดิม ณ บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง	
2. การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง	การสร้างบ่อที่ไม่เหมาะสมหรืออยู่ในสถานที่ ๆ ไม่เหมาะสม การเลือกใช้วัสดุไม่เหมาะสม
3. การวัดในสนาม	ความผิดพลาดของเครื่องมือหรือผู้ปฏิบัติ
4. การเก็บตัวอย่าง	การเลือกปฏิบัติต่อกลไกการเก็บตัวอย่างหรือความผิดพลาดจากผู้ปฏิบัติ
5. การส่งตัวอย่างหรือการถ่ายตัวอย่าง	การเลือกปฏิบัติต่อกลไกการเก็บตัวอย่าง การให้ตัวอย่างสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอก การไล่แก๊ส (degassing) การเติมออกซิเจน สภาวะในสนาม
6. ตัวอย่างเปล่าในสนาม (field blank), การเปรียบเทียบกับมาตรฐาน	ข้อผิดพลาดจากเครื่องมือหรือผู้ปฏิบัติ สภาวะในสนาม
7. ผลการตรวจวัดในสนาม	ข้อผิดพลาดจากเครื่องมือหรือผู้ปฏิบัติ สภาวะในสนาม
8. การรักษาสภาพ/การเก็บตัวอย่าง	การรบกวนจากสิ่งแวดล้อมอื่นๆ และข้อผิด พลาดจากการดูแลขนส่งหรือการเขียนฉลากตัวอย่าง
9. การขนส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเคมี	ความล่าช้า และการสูญหายของตัวอย่าง

(ดัดแปลงจาก Barcelona et al., 1985)

ตารางที่ 7 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและสาเหตุความผิดพลาด

ขั้นตอน	สาเหตุความผิดพลาด
1. น้ำตัวอย่าง ตัวอย่างเปล่าในสนามมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบ	ตัวอย่างเก็บไว้นานเกินไป ความสูญหายของพารามิเตอร์ที่ต้องการวิเคราะห์การปนเปื้อน
2. มาตรฐานขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์	มาตรฐานล้าสมัย นักวิเคราะห์ทำผิดพลาด
3. การวิเคราะห์	การรบกวนจากสิ่งแวดล้อมอื่นๆ วิธีการไม่เหมาะสม ความผิดพลาดจากเครื่องมือหรือผู้วิเคราะห์
4. มาตรฐานอ้างอิง	มาตรฐานล้าสมัย
5. การคำนวณ	ความผิดพลาดจากการแปลความหรือเครื่องมือ ตัวอย่างสูญหายในระบบการทำงาน การเทียบเคียงไม่เหมาะสมเนื่องจากได้ค่าเกินความเป็นจริงหรือต่ำกว่าความเป็นจริง ความไม่ถูกต้องเนื่องจากการเสนอข้อมูลเกินความเป็นจริงหรือต่ำกว่าความเป็นจริง
6. ผลที่ได้จากการวิเคราะห์	

(ดัดแปลงจาก Barcelona et al., 1985)

8.2. การประกันคุณภาพและการควบคุมคุณภาพในการเก็บตัวอย่างภาคสนาม

มีความเป็นไปได้สูงที่จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นจากการเก็บตัวอย่างซึ่งยากที่จะควบคุมได้ เพื่อลดความเป็นไปได้จาการปนเปื้อน ควรคำนึงถึงปัจจัยดังนี้

8.2.1 การเก็บตัวอย่างจากบ่อตรวจสอบ (monitoring well) ควรเริ่มต้นเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อที่คาดว่ามีคุณภาพน้ำที่ดีที่สุดก่อน แล้วเก็บตัวอย่างน้ำที่มีคุณภาพไม่ดีเป็นอันดับสุดท้าย ลำดับการเก็บตัวอย่างอาจขึ้นอยู่กับผลการวิเคราะห์ที่ต้องการ

8.2.2 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง ควรแยกอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างแต่ละบริเวณออกจากกัน ไม่ควรใช้ร่วมกัน เพื่อป้องกันมีการปนเปื้อนควรกำจัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างทิ้งไป เช่น เชือก ถุงมือ เป็นต้น

8.2.3 การเก็บตัวอย่างเพื่อการเปรียบเทียบในสนาม (field blank) ตัวอย่างนี้เป็นตัวอย่างเปล่าที่ปราศจากไอออนที่เก็บควบคู่ไปกับตัวอย่างน้ำในสนาม โดยผ่านกระบวนการต่างๆ ด้วยอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างที่ทำความสะอาดแล้ว เพื่อใช้ในสนาม ตัวอย่างเปล่าจะต้องนำมาวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างที่เก็บในสนามเพื่อเปรียบเทียบผลกับตัวอย่างในสนาม

8.2.4 จำนวนตัวอย่างสำรอง ควรเก็บในลำดับขั้นตอนเดียวกัน 2 ตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นตัวแทนอย่างน้อยร้อยละ 10 ของตัวอย่างทั้งหมดที่มี ในการเปรียบเทียบกับตัวอย่างปกติ ตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบทั้งหมด และตัวอย่างสำรองควรส่งวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการในลักษณะที่เป็นตัวอย่างที่ไม่มีการระบุที่มา (blind sample)

8.3 การประกันคุณภาพและควบคุมคุณภาพในห้องปฏิบัติการ

ห้องปฏิบัติการควรมีการรับรองคุณภาพและควบคุมคุณภาพ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำสูง ตัวอย่างที่ส่งมาวิเคราะห์ควรแบ่งเก็บในสนามเป็น 2 ส่วน แล้วส่งไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ 2 แห่ง เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องด้วยเช่นกัน

9. เอกสารอ้างอิง

American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environmental Federation, 1998. Standard Methods, for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, Maryland: United Book Press, Inc.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), 1991. Site Characterization for Subsurface Remediation, Seminar Publication, Office of Research and Development, Washington, D.C. 20460, EPA/600113-90/003, p.123-124.

Barcelona, M.J., Gibb, J.P, Helfrich, J.A., and Garske, E.E., 1985. Practical Guide for Ground-Water Sampling, ISWS Contract Report 374, Illinois: Illinois State Water Survey.

Minnesota Department of Agriculture, 2008. Ground Water Sampling Guidance, Guidance Document 12, Internet: www.mda.state.mn.us/incidentresponse. [August, 2008].

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
49 ชั้น 8 อาคารกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ซอย 30
ถ.พระราม 6 แขวงพญาไท เขตพญาไท กรุงเทพฯ
Website : http://www.dgr.go.th