



กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

รายงานฉบับสมบูรณ์ เล่มที่ 4/10

โครงการจัดทำมาตรฐานการเจาะ สํารวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

ชุดมาตรฐานการปฏิบัติงาน ด้านการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล

มาตรฐาน ทบ ป 3001-2550 ถึง 3008-2550



จัดทำโดย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ธันวาคม 2551



กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

รายงานฉบับสมบูรณ์ (เล่มที่ 4/10)

โครงการจัดทำมาตรฐานการเจาะ สํารวจ
และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

ชุดมาตรฐาน

การปฏิบัติงานด้านการประเมิน

ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล

มาตรฐาน ทบ ป 3001-2550 ถึง 3008-2550

จัดทำโดย



มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ธันวาคม 2551

ข้อมูลบรรณานุกรม

เจ้าของ : กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ชื่อเรื่อง : รายงานฉบับสมบูรณ์ (เล่มที่ 4/10)

ชุดมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล

มาตรฐาน ทบ ป 3001-2550 ถึง 3008-2550

โครงการจัดทำมาตรฐานการเจาะ สํารวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

พิมพ์ครั้งที่ 1 : เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2551 จำนวน 500 เล่ม

โรงพิมพ์ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา 232/199 ม. 6

ถ. ศรีจันทร์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

ISBN 978-974-286-584-9

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2539



ชุดมาตรฐาน
การปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล
มาตรฐาน ทบ ป 3001-2550 ถึง 3008-2550

เจ้าของโครงการ

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

จัดทำโดย

มหาวิทยาลัยขอนแก่น
กระทรวงศึกษาธิการ

คณะที่ปรึกษาโครงการ

นางสาวสมคิด บัวเพ็ง	อธิบดีกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
นายอนันต์ เกตุเอม	รองอธิบดีกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
นายโชติ ตราชู	รองอธิบดีกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

คณะกรรมการพิจารณาดำเนินการจ้างโดยวิธีตกลง

1. นายปรานีต์ ร้อยบาง	ประธานกรรมการ
2. นายบรรจง พรหมจันทร์	กรรมการ
3. นายอำนาจ เยาวสุด	กรรมการ
4. นายสุทธิพล เอี่ยมประเสริฐกุล	กรรมการ
5. นางสาวอุไร บางยี่ขัน	กรรมการ

คณะกรรมการตรวจสอบงาน

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



คณะกรรมการตรวจสอบมาตรฐานและคู่มือการปฏิบัติงานด้านการสำรวจอุทกธรณีวิทยาและแผนที่น้ำบาดาล

1. นายกมลศักดิ์	บัวอ่อน	ประธานคณะกรรมการ
2. นางสาววิลาวัลย์	ไทยสงคราม	คณะกรรมการ
3. นายประกอบ	อยู่คง	คณะกรรมการ
4. นายวสันต์	จันทร์แสง	คณะกรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการตรวจสอบมาตรฐานและคู่มือการปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล

1. นายสัมฤทธิ์	ชูณะทัศน์	ประธานคณะกรรมการ
2. นายสุนทร	ปัญญาสุธารส	คณะกรรมการ
3. นายเทิดศักดิ์	ทรัพย์ทวีวัง	คณะกรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการตรวจสอบมาตรฐานและคู่มือการปฏิบัติงานด้านการเจาะและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

1. นายสุพจน์	เจิมสวัสดิพงษ์	ประธานคณะกรรมการ
2. นายสำเริง	สโมทัย	คณะกรรมการ
3. นายพันธ์ศักดิ์	ธีรปัญญาภรณ์	คณะกรรมการ
4. นายสุวัฒน์	เปี่ยมปัจจัย	คณะกรรมการ
5. นายอุไรม	แก้วจันทร์	คณะกรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการตรวจสอบมาตรฐานและคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล

1. นายชัยพร	ศิริพรไพบูลย์	ประธานคณะกรรมการ
2. นายอดิสร	จารุรัตน์	คณะกรรมการ
3. ดร.อรรญา	เฟื่องสวัสดิ์	คณะกรรมการ
4. นางไศภิชญ์	ภิรมย์เลิศ	คณะกรรมการ
5. ดร.อรนุช	หล่อเพ็ญศรี	คณะกรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการตรวจสอบคู่มือการปฏิบัติงานด้านระบบฐานข้อมูลและสารสนเทศน้ำบาดาล

1. นายไพศาล	ลักษณ์นุรักษ์	ประธานคณะกรรมการ
2. นายเทิดศักดิ์	ทรัพย์ทวีวัง	คณะกรรมการ
3. นายบุญเลิศ	เลิศพฤษธุกิจ	คณะกรรมการ
4. นายธนจักร	วิจิรวินิช	คณะกรรมการและเลขานุการ



คณะทำงาน

1. รศ.ดร.เกรียงศักดิ์	ศรีสุข	หัวหน้าโครงการและผู้เชี่ยวชาญด้านอุทกธรณีวิทยา
2. นายสมชัย	วงศ์สวัสดิ์	รองหัวหน้าโครงการและผู้เชี่ยวชาญด้านอุทกธรณีวิทยา
3. นายเจริญ	เชื่อมไธสง	ผู้เชี่ยวชาญด้านการเจาะและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล
4. นายวิฑิต	ศิริโคภากิจ	ผู้เชี่ยวชาญด้านการสำรวจอุทกธรณีวิทยา
5. นายธีรวัชร	อินทรสุต	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.ศรีบุญญา	พรหมโคตร	ผู้เชี่ยวชาญด้านธรณีเคมี
12. รศ.ดร.อลิศรา	เรืองแสง	ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม
13. ดร.พิพัทธ์	เรืองแสง	ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบฐานข้อมูลและสารสนเทศน้ำบาดาล
14. นายพรศักดิ์	อรุณกิจกำจร	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมเครื่องกล
15. ผศ.ดร.อุมา	สิบุญเรือง	ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม
16. นายไพยม	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. นายประยุทธ์	เสนชัย	นักธรณีวิทยา
23. น.ส.เกวรี	พลเกิน	วิศวกรเกษตร
24. นางนันทนา	ศรีบุญลือ	เจ้าหน้าที่การเงิน
25. น.ส.ปิยะมาศ	ลีทองดี	เจ้าหน้าที่ธุรการ



คำนำ

น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีพโดยเฉพาะชุมชนที่แหล่งน้ำอื่นมีไม่เพียงพอกับความ ต้องการ รวมทั้งเป็นแหล่งน้ำทางเลือกสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมและการเกษตร ดังนั้นหากกระบวนการปฏิบัติงานด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาล เช่น การพัฒนาน้ำบาดาล การสำรวจและประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล และการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลไม่ดำเนินการให้เป็นไปตามมาตรฐานทางวิชาการ อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรน้ำบาดาลทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพยากที่จะแก้ไขได้ ในอดีตที่ผ่านมาการปฏิบัติงานด้านทรัพยากรน้ำบาดาลยังขาดแนวทางปฏิบัติที่ได้มาตรฐานตามหลักวิชาการ ดังนั้นในปีงบประมาณ 2550 กรมทรัพยากรน้ำบาดาลซึ่งเป็นหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลของประเทศได้ว่าจ้างมหาวิทยาลัยขอนแก่น ให้เป็นผู้ดำเนินงานโครงการจัดทำมาตรฐานการเจาะ สํารวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล เพื่อจัดทำมาตรฐานและคู่มือการปฏิบัติงานครอบคลุมการปฏิบัติงานด้านต่างๆ ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล 5 ด้าน คือ (1) มาตรฐานและหรือคู่มือการปฏิบัติงานด้านการสำรวจจํานวนทรัพยากรน้ำบาดาลและแผนที่น้ำบาดาล (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 หากผู้ใช้พบว่ามีส่วนใดยังไม่ครบสมบูรณ์ 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



โครงการจัดทำมาตรฐานการเจาะสำรวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

เล่มที่ 1/10 รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร

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

- (1) มาตรฐาน ทบ ส 1000-2550 การสำรวจอุทกธรณีวิทยาบ้นผิวดิน
- (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 ชุดคู่มือการปฏิบัติงานด้านการสำรวจอุทก ธรณีวิทยาและแผนที่น้ำบาดาล (คู่มือ ทบ ส 1000-2550 ถึง 4000-2550)

- (1) คู่มือ ทบ ส 1000-2550 การสำรวจอุทกธรณีวิทยาบ้นผิวดิน
- (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 ชุดมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการประเมิน ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล (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 การเปรียบเทียบผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล
- (7) มาตรฐาน ทบ ป 3007-2550 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล
- (8) มาตรฐาน ทบ ป 3008-2550 การจัดทำรายงานผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

เล่มที่ 5/10 ชุดคู่มือการปฏิบัติงานด้านการประเมิน ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล (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 ชุดมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการเจาะและ พัฒนาบ่อน้ำบาดาล (มาตรฐาน ทบ พ 1000-2550 ถึง 7000-2550)

- (1) มาตรฐาน ทบ พ 1000-2550 การเจาะเพื่อสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล



โครงการจัดทำมาตรฐานการเจาะสำรวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล

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

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

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

- (1) คู่มือ ทบ พ 1000-2550 การเจาะเพื่อสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาล
- (2) คู่มือ ทบ พ 2000-2550 การใช้และการแปลค่าข้อมูลหัตถ์ธรณีวิทยาหลุมเจาะ
- (3) คู่มือ ทบ พ 3000-2550 การออกแบบและก่อสร้างบ่อน้ำบาดาล
- (4) คู่มือ ทบ พ 4000-2550 การพัฒนาบ่อน้ำบาดาล
- (5) คู่มือ ทบ พ 5000-2550 การสุบทดสอบปริมาณน้ำบาดาล
- (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 ชุดมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์ และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล (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 ชุดคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และ ฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล (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 ชุดคู่มือการปฏิบัติงานด้านระบบฐานข้อมูล และสารสนเทศน้ำบาดาล (คู่มือ ทบ รฐ 1000-2550)

- (1) คู่มือ ทบ รฐ 1000-2550 การปฏิบัติงานด้านระบบฐานข้อมูลและสารสนเทศน้ำบาดาล



สารบัญ

	หน้า
มาตรฐาน ทบ ป 3001-2550 การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์	1
1. บทนำ	1
2. ขอบเขต	1
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง	2
4. ศัพท์บัญญัติ	2
5. สรุปใจความสำคัญของมาตรฐาน	2
6. ความสำคัญและการใช้งาน	3
7. การกำหนดปัญหา และการพัฒนาฐานข้อมูล	5
8. การจำลองเชิงมโนทัศน์เบื้องต้น	5
9. การอธิบายลักษณะพื้นผิวดิน	6
10. การอธิบายคุณลักษณะใต้ผิวดิน	6
11. การอธิบายคุณลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา	9
12. การอธิบายลักษณะของระบบน้ำบาดาล	9
13. การหาปริมาณคำนวณสมดุลของน้ำบาดาลในระบบ	10
14. การรายงานผล	10
15. คำสำคัญ	10
16. เอกสารอ้างอิง	10
มาตรฐาน ทบ ป 3002-2550 การเลือกใช้แบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์	11
1. บทนำ	11
2. ขอบเขต	11
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง	12
4. ศัพท์บัญญัติ	12
5. ความสำคัญและการใช้งาน	13
6. กระบวนการเลือกใช้แบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์	13
7. กำหนดความต้องการต่างๆ ของแบบจำลอง	14
8. การอธิบายถึงหน้าที่ของการแก้สมการทางคณิตศาสตร์	15
9. การจัดทำรายงานของกระบวนการเลือกใช้แบบจำลองน้ำบาดาล	16
10. คำสำคัญ	16
11. เอกสารอ้างอิง	16



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
มาตรฐาน ทบ ป 3003-2550 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล	31
1. บทนำ	31
2. ขอบเขต	31
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง	31
4. ศัพท์บัญญัติ	32
5. ความสำคัญและการใช้งาน	32
6. ชนิดของขอบเขต	32
7. ขั้นตอน	34
8. การจัดทำรายงาน	36
9. คำสำคัญ	36
10. เอกสารอ้างอิง	36
มาตรฐาน ทบ ป 3004-2550 การจำลองการไหลของน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของมวลสาร	37
1. บทนำ	37
2. ขอบเขต	37
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง	38
4. ศัพท์บัญญัติ	38
5. บทสรุปของมาตรฐาน	40
6. ความสำคัญและการใช้งาน	40
7. ประเภทของแบบจำลอง	40
8. ข้อสมมติฐานของแบบจำลอง	43
9. ชนิดของความผิดพลาด	43
10. การเขียนรายงาน	44
11. คำสำคัญ	44
12. เอกสารอ้างอิง	44
มาตรฐาน ทบ ป 3005-2550 การประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลตามสภาพปัญหาของพื้นที่	45
1. บทนำ	45
2. ขอบเขต	45
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง	46



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. ศัพทบัญญัติ	46
5. สรุปสาระสำคัญ	47
6. ความสำคัญและการใช้งาน	47
7. ขั้นตอน	47
8. การจัดทำรายงาน	53
9. คำสำคัญ	53
10. เอกสารอ้างอิง	53
มาตรฐาน ทบ ป 3006-2550 การเปรียบเทียบผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล	54
1. บทนำ	54
2. ขอบเขต	54
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง	55
4. ศัพทบัญญัติ	55
5. สรุปใจความสำคัญของมาตรฐาน	56
6. ความสำคัญและการใช้งาน	56
7. การสร้างเป้าหมายการเปรียบเทียบ	56
8. การกำหนดการเปรียบเทียบพารามิเตอร์	58
9. การเปรียบเทียบจากข้อมูลที่เก็บในอดีต	59
10. การปรับค่าตัวแปรนำเข้า	60
11. การเทียบอัตโนมิติ	61
12. การรายงานผล	63
13. คำสำคัญ	63
14. เอกสารอ้างอิง	63
มาตรฐาน ทบ ป 3007-2550 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล	64
1. บทนำ	64
2. ขอบเขต	64
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง	65
4. ศัพทบัญญัติ	65
5. ความสำคัญและการใช้งาน	66
6. การวิเคราะห์ความอ่อนไหว	66



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7. การจัดทำรายงาน	69
8. คำสำคัญ	69
9. เอกสารอ้างอิง	69
มาตรฐาน ทบ ป 3008-2550 การจัดทำรายงานผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล	70
1. บทนำ	70
2. ขอบเขต	70
3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง	71
4. ศัพท์บัญญัติ	71
5. ความสำคัญและการใช้งาน	72
6. การเขียนบันทึกของผลการจำลอง	72
7. การเก็บเอกสารสำคัญและบันทึกแบบจำลอง	74
8. คำสำคัญ	74
9. เอกสารอ้างอิง	74



มาตรฐาน ทบ ป 3001-2550 การสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

มาตรฐาน ทบ ป 3001-2550 เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล (ป) ของ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง “2550” หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้สอดคล้องต่อท้ายและระบุ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย ⁽ⁿ⁾ เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย ^(l) เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

มาตรฐานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย คุณลักษณะของระบบน้ำบาดาล กระบวนการสร้างแบบจำลอง การกำหนดปัญหา การสร้างฐานข้อมูล นอกจากนี้การสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ควรจะทำควบคู่กันกับการเข้าใจสภาพของพื้นที่ และทฤษฎีของระบบน้ำบาดาล

2. ขอบเขต

2.1 มาตรฐานนี้ครอบคลุมถึงการรวบรวมวิธีการอย่างเป็นขั้นตอนสำหรับการจำลองเชิงคณิตศาสตร์ และจำลองคุณลักษณะของระบบการไหลของน้ำบาดาลในเชิงปริมาณ ซึ่งรวมถึงบริเวณที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดโดยธรรมชาติและที่เกิดจากมนุษย์ด้วย

2.2 มาตรฐานนี้สามารถใช้ได้ในการสำรวจทุกระดับ ทั้งการสำรวจเฉพาะตำแหน่ง (site-specific) การสำรวจในระดับกึ่งภูมิภาค (subregional) และสามารถประยุกต์ใช้ในการสำรวจระดับภูมิภาค (regional) ด้วย

2.3 มาตรฐานนี้ได้อธิบายถึงกระบวนการที่ดำเนินการควบคู่กันไป ระหว่างการกำหนดสมมติฐานหลายๆ แบบ และคุณลักษณะของระบบการไหลของ

น้ำบาดาล กระบวนการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความไม่แน่นอนที่เกิดจากแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ การสังเกต การตีความ และการวิเคราะห์ในด้านต่างๆ เช่น สมมติฐาน และการตรวจสอบอย่างละเอียด แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่ดีของระบบการไหลน้ำบาดาล จะช่วยลดช่วงของค่าที่แท้จริงของตัวแปรต่างๆ ที่ต้องระบุในช่วงกระบวนการจำแนกคุณลักษณะต่าง ๆ ของแบบจำลอง คู่มือนี้ไม่ได้กล่าวถึงความไม่แน่นอนในเชิงปริมาณที่เกี่ยวข้องกับวิธีเฉพาะด้านอุทกธรณีวิทยาและวิธีการอธิบายคุณลักษณะและปริมาณของระบบน้ำบาดาล ตัวอย่างเช่น ผลกระทบของการสร้างบ่อน้ำบาดาลต่อระดับน้ำ

2.4 มาตรฐานนี้กล่าวถึงขั้นตอนการปฏิบัติงานทั่วไป ชนิดของข้อมูลที่ต้องการใช้ และเอกสารอ้างอิง ซึ่งผู้ทำการสำรวจสามารถใช้เพื่อทำให้กระบวนการวิเคราะห์ และตีความข้อมูลแต่ละแบบเสร็จสมบูรณ์ได้ โดยกระบวนการทาง อุทกธรณีวิทยา ได้เสนอแนะกลุ่มของข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์ ที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ด้วย

2.5 มาตรฐานนี้ไม่ได้กล่าวถึงวิธีการเฉพาะสำหรับการกำหนดคุณลักษณะอุทกธรณีวิทยาและคุณสมบัติของระบบน้ำบาดาล



2.6 มาตรฐานนี้ไม่ได้กล่าวถึงการเลือกแบบจำลอง การออกแบบ หรือที่จะใช้ในกระบวนการจำแนกระบบการไหลน้ำบาดาลในเชิงปริมาณ และไม่ได้กล่าวถึงกระบวนการจัดทำโครงร่างของแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วยทำให้ระบบอุทกธรณีวิทยาเข้าใจง่ายขึ้น และการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ทางอุทกธรณีวิทยาในแบบจำลอง

2.7 มาตรฐานนี้ไม่ได้กล่าวถึงข้อพิจารณาพิเศษที่ต้องการสำหรับการกำหนดคุณลักษณะของพื้นที่ที่ประกอบด้วยหินปูนที่มีลักษณะแบบคาสต์ (karst) และหินที่มีรอยแตก

2.8 มาตรฐานนี้ไม่ได้กล่าวถึง ข้อพิจารณาพิเศษในแง่ของต้นกำเนิด และการเคลื่อนที่ของสารเคมีในดินและหิน

2.9 มาตรฐานนี้ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ที่จะกล่าวถึงความปลอดภัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ถ้าหากมีความปลอดภัยใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้มาตรฐานนี้นั้นเป็นความรับผิดชอบของผู้ใช้มาตรฐานนี้ในการกำหนดความปลอดภัยที่เหมาะสม และแนวทางการปฏิบัติด้านสุขภาพ และการกำหนดข้อปฏิบัติในการประยุกต์ในการกำหนดขอบเขต ก่อนการใช้มาตรฐาน

2.10 มาตรฐานนี้เสนอการรวบรวมวิธีการจัดการรวบรวมข้อมูลหรือชุดทางเลือกต่างๆ และไม่ได้แนะนำแนวทางเฉพาะในการนำไปใช้ มาตรฐานนี้ไม่สามารถทดแทนการศึกษาหรือประสบการณ์และควรใช้ร่วมกับการแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ หลักเกณฑ์ในมาตรฐานนี้ไม่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับทุกสถานการณ์ มาตรฐานนี้ไม่ได้ต้องการแสดงหรือทดแทนมาตรฐานใดที่ดูแลโดยผู้เชี่ยวชาญ หรือไม่ควรนำเอกสารนี้ไปประยุกต์ใช้โดยขาดการพิจารณาถึงลักษณะเฉพาะด้านต่างๆ ของโครงการ

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3003-2550 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3005-2550 การประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลตามสภาพปัญหาของพื้นที่

3.2 American Society for Testing and Materials (ASTM):

- D 5979-96(RE 2002) Standard Guide for Conceptualization and Characterization of Ground-Water Systems.

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล (groundwater flow model) หมายถึง เครื่องมือเพื่อเลียนแบบการไหลของน้ำบาดาลเพื่อแสดงถึงการไหลของระบบน้ำบาดาลระดับภูมิภาค (regional) หรือเฉพาะพื้นที่ (site specific)

4.2 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (conceptual model) หมายถึง การตีความหรือการอธิบาย ถึงคุณลักษณะและพลวัต (dynamics) ของระบบทางกายภาพ (physical system)

4.3 ระบบอุทกวิทยา (Hydrologic System) หมายถึง กรอบแนวคิดทั่วไปของส่วนประกอบทางอุทกวิทยา กระบวนการทางอุทกวิทยาและความสัมพันธ์ของแต่ละส่วนกับกระบวนการ

5. สรุปใจความสำคัญของมาตรฐาน

5.1 มาตรฐานนี้ได้นำเสนอแบบองค์รวมของการสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ และการอธิบายคุณลักษณะของระบบน้ำบาดาล กระบวนการในการสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์และการจำลองคุณลักษณะของระบบน้ำบาดาล ประกอบด้วย การกำหนดปัญหา และการสร้างฐานข้อมูล การจำลองเชิงมโนทัศน์เบื้องต้น การอธิบายคุณลักษณะของพื้นผิว



ดิน การอธิบายคุณลักษณะใต้ผิวดิน การจำลองลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา การจำลองคุณลักษณะของระบบน้ำบาดาล และการจำลองระบบน้ำบาดาลในเชิงปริมาณ (รูปที่ 1) การจำลองเชิงโมโนโทน์ และอธิบายลักษณะของน้ำบาดาลเป็นกระบวนการ ที่ต้องทำความเข้าใจ เริ่มด้วยการเข้าใจถึงทฤษฎีของระบบน้ำบาดาล และการเก็บข้อมูล จากนั้นจึงนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และแก้ไข แบบจำลองเชิงโมโนโทน์ของระบบน้ำบาดาลที่สร้างขึ้นเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของกระบวนการสร้างแบบจำลอง

5.2 มาตรฐานนี้แสดงถึงวิธีการที่สามารถนำไปใช้ได้กับทุกขนาดของพื้นที่ ธรรมชาติของปัญหาที่เป็นตัวกำหนดประเภทและขนาดของข้อมูลที่ต้องการเก็บและประยุกต์ใช้

6. ความสำคัญและการใช้งาน

6.1 การจำลองเชิงโมโนโทน์ และการอธิบายคุณลักษณะการไหลของน้ำบาดาลเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ การจำลองเริ่มด้วยความคิดรวบยอดของผู้ทำการศึกษาร่วมกับองค์ประกอบหลักๆ ของระบบการศึกษา ซึ่งสามารถแสดงผลได้ในเชิงคุณภาพหรือสามารถมองเห็นภาพอย่างง่ายได้ ส่วนการพัฒนาในขั้นต่อไปของการเป็นตัวแทนของระบบนั้นขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของปัญหาของน้ำบาดาล และวัตถุประสงค์ของโครงการหลักๆ อาจเพียงพอหรืออาจใช้อธิบายได้มากขึ้น และสามารถใช้ได้กับแบบจำลองการวิเคราะห์เมื่อปัญหาซับซ้อนขึ้นหรือใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงว่าระดับของความละเอียดมากขึ้นตามการพัฒนาของโครงการและการวิวัฒนาการของการจำลอง

6.2 มาตรฐานนี้สามารถนำไปใช้ในกรณีดังต่อไปนี้

6.2.1 การประเมินความหลากหลายในธรรมชาติ ของระบบการไหลของน้ำบาดาล

6.2.2 การประเมินกิจกรรมของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับระบบการไหลของน้ำบาดาล เช่น การสูบน้ำเพื่อการประปา การชลประทาน การทำให้เกิดการซึมจากน้ำผิวดิน หรือการอัดน้ำลงสู่แหล่งน้ำบาดาล

6.2.3 การประเมินปริมาณและอัตราเร็วของมลพิษในน้ำบาดาล

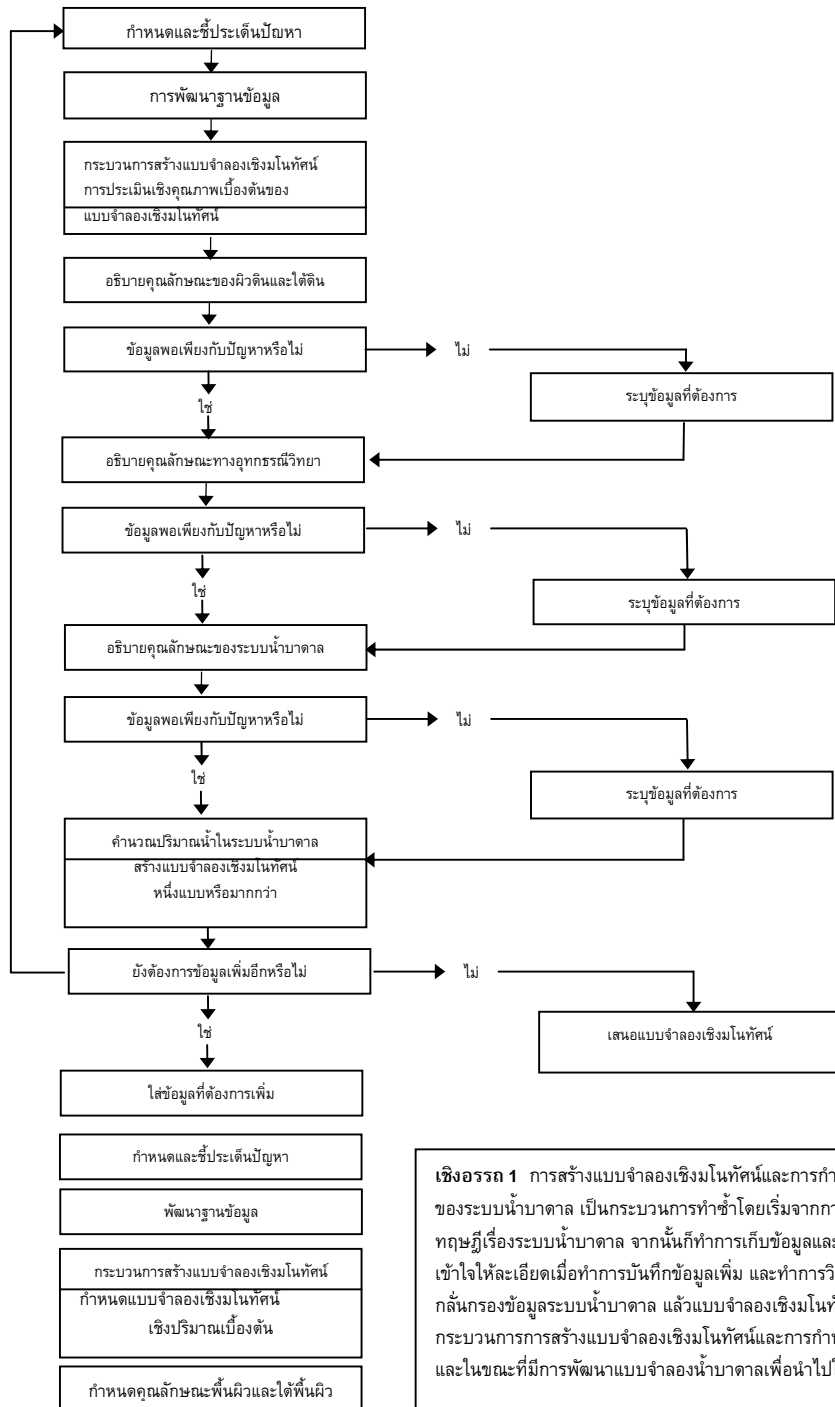
6.2.4 การออกแบบและการเลือกใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในการจำลองระบบน้ำบาดาล และการทำรูปแบบของแบบจำลองที่สมบูรณ์นั้นขึ้นอยู่กับ การกำหนดปัญหา การอธิบายคุณลักษณะของระบบการไหลน้ำบาดาล และการเลือกแบบจำลองที่ใช้งาน

6.2.5 การออกแบบระบบการบำบัดมลพิษในน้ำบาดาล

6.3 มาตรฐานนี้สามารถอธิบายเทคนิคเฉพาะที่มีความยืดหยุ่น และความต้องการในการสำรวจวิธีการอื่นที่กำหนดโดยมาตรฐานอื่น ๆ ก็อาจใช้ได้ ในบางกรณีที่เหมาะสม รายการต่าง ๆ ที่จะนำมาพิจารณาในการจำลองเชิงโมโนโทน์และการสร้างคุณลักษณะประกอบด้วย หัวข้อหลัก (จากหัวข้อ 7 ถึง 14) และหัวข้อย่อยที่หนึ่ง (ตัวอย่างเช่น 8.1 และ 9.1)

6.4 วิธีการและจำนวนความพยายามในการจัดทำแบบจำลองเชิงโมโนโทน์ การอธิบายคุณลักษณะ และการคำนวณแตกต่างกันไปตามเงื่อนไขของพื้นที่ วัตถุประสงค์ของการสำรวจหรือผู้ศึกษา และประสบการณ์ของผู้สำรวจ มาตรฐานนี้ไม่สามารถใช้ทดแทนตำราหรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญได้

6.5 มาตรฐานนี้อาจใช้ได้สำหรับการวางแผนโครงการและการเก็บข้อมูล แต่ไม่สามารถใช้ในกรณีที่เหมาะสมสำหรับเทคนิคการจำลองคุณลักษณะในสนามได้



รูปที่ 1 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองเชิงโมดัลและคุณลักษณะของระบบการไหลน้ำบาดาล

(ดัดแปลงจาก ASTM D5979-96, 2002)



7. การกำหนดปัญหา และการพัฒนาฐานข้อมูล

7.1 การกำหนดวัตถุประสงค์ของโครงการ เมื่อมีการกำหนดวัตถุประสงค์แล้ว จะทำการกำหนดรูปแบบและขนาดของพื้นที่ที่เหมาะสม

7.2 การกำหนดขอบเขตของพื้นที่ พิจารณาจากคุณลักษณะดังนี้ - สภาพตามธรรมชาติของพื้นที่ (ภูมิประเทศ ดิน ธรณีวิทยา อุทกวิทยา พืช และสัตว์) และการใช้ประโยชน์พื้นที่ทั้งในอดีตและปัจจุบัน

7.3 การรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่มีอยู่ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วยการกำหนดตำแหน่ง การเก็บข้อมูล และการจัดการข้อมูลที่ต้องการ (ดูรายละเอียดในตารางที่ 1)

7.3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลจากข้อมูลที่มีอยู่แล้ว ได้แก่ แผนที่ ตาราง และรายงานจากแหล่งข้อมูลที่เข้าถึงได้ทั้งที่มีการตีพิมพ์และไม่ไดตีพิมพ์ และการเก็บข้อมูลภาคสนาม รวมทั้งการศึกษาในห้องปฏิบัติการ จดบันทึกวิธีการในการเก็บและการวิเคราะห์ข้อมูล รวมทั้งจดบันทึกการประกันคุณภาพของข้อมูลและการควบคุมคุณภาพ ที่เห็นว่าเป็นความจำเป็นต่อโครงการ

7.3.2 เก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์จากบุคลากรในห้องถิ่นและผู้มีความรู้ เพื่อต้องการทราบข้อมูลทั้งเชิงเทคนิคและข้อมูลประวัติของพื้นที่และสิ่งก่อสร้างเป็นต้น

7.4 การจัดการและการเตรียมฐานข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของโครงการ ขั้นตอนนี้ประกอบด้วย การจัดทำฐานข้อมูลที่เหมาะสมได้แก่ ข้อมูลด้านธรณีสัณฐานวิทยา ธรณีวิทยา ธรณีฟิสิกส์ ภูมิอากาศ พืชพรรณ ดิน อุทกวิทยา อุทกธรณีเคมี และข้อมูลกิจกรรมของมนุษย์ (ดังตารางที่ 2)

8. การจำลองเชิงมโนทัศน์เบื้องต้น

8.1 การสร้างแนวคิดของพื้นที่ศึกษาโดยใช้ข้อมูลที่ได้กล่าวมา ถ้าหากข้อมูลของพื้นที่มีน้อย ควร

ใช้วิธีแปลภาพถ่ายและเทคนิควิเคราะห์สภาพภูมิประเทศ จากภาพการรับรู้ระยะไกล (remote sensing) ภาพถ่ายทางอากาศ และแผนที่ภูมิประเทศช่วยในการวิเคราะห์พื้นที่

8.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่แล้ว ทั้งที่เป็นข้อมูลสภาพตามธรรมชาติ และที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ การวิเคราะห์สภาพผิวดิน เช่น พืชพรรณ ดิน ชนิดของน้ำผิวดิน ภูมิประเทศ ธรณีวิทยา ธรณีวิทยาพื้นผิว และการวิเคราะห์ระบบระบายน้ำ

8.1.2 การสำรวจภาคสนามเบื้องต้น เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมมาในเบื้องต้นกับสภาพของพื้นที่

8.2 การจำลองเชิงมโนทัศน์ของระบบน้ำบาดาลในเชิงคุณภาพ ผลที่ได้เป็นการพัฒนาแบบจำลองเชิงมโนทัศน์หนึ่งแบบหรือหลายแบบ ซึ่งจะนำไปใช้ในการกำหนดคุณลักษณะและการคำนวณหาปริมาณ ซึ่งใช้หลักการเดียวกับหัวข้อที่ 9 ถึง 13 เรื่องการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

8.2.1 ประเมินลักษณะเชิงคุณภาพของพื้นผิวตามวิธีที่ปฏิบัติการในหัวข้อ 9

8.2.2 กำหนดลักษณะเชิงคุณภาพ ของโครงร่างธรณีวิทยาใต้พื้นผิวของพื้นที่ศึกษา ใช้วิธีปฏิบัติในหัวข้อ 9

8.2.3 กำหนดลักษณะเชิงคุณภาพของโครงร่างทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา ใช้วิธีปฏิบัติในหัวข้อที่ 11

8.2.4 การกำหนดลักษณะเชิงคุณภาพของระบบน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาใช้กระบวนการในหัวข้อ 12 ซึ่งแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของระบบน้ำบาดาลที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการกำหนดคุณลักษณะเชิงปริมาณ ประกอบด้วย การประเมินการที่น้ำไหลเข้ากักเก็บและการไหลออกจากระบบน้ำบาดาล ถึงขั้นนี้จะได้แนวคิดเกี่ยวกับผิวระดับน้ำบาดาล



(potentiometric surface) และเงื่อนไขขอบเขตของแต่ละชั้นหินอุ้มน้ำในระบบน้ำบาดาล

8.2.5 การอธิบายและแสดงภาพแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ โดยใช้ภาพตัดขวาง และภาพในแนวระนาบ ซึ่งแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของระบบน้ำบาดาลนี้อาจถูกดัดแปลงได้ในขั้นตอนต่าง ๆ ของการสร้างคุณลักษณะเชิงปริมาณ (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 9 ถึง 13)

9. การอธิบายลักษณะพื้นผิวดิน

9.1 การอธิบายลักษณะที่ปรากฏบนผิวดินทั้งรูปลักษณะและกระบวนการ ทั้งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น

9.1.1 การวิเคราะห์ผลของกิจกรรมของมนุษย์เพื่อกำหนดการใช้ที่ดินเชิงอุทกวิทยา เช่น ชลประทาน และการใช้น้ำเพื่อเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และการอุปโภคและบริโภค

9.1.2 การวิเคราะห์พืชพรรณ ได้แก่ ชนิดและการกระจายของพืช การใช้น้ำของพืช และการใช้ที่ดินเชิงอุทกวิทยา

9.1.3 การวิเคราะห์ภูมิประเทศ ได้แก่ ความสูงต่ำ ความลาดชัน ความต่อเนื่องเชิงอุทกวิทยา และตำแหน่งของขอบเขต

9.1.4 การวิเคราะห์เพื่อจำแนกน้ำผิวดิน ได้แก่ น้ำในแม่น้ำ น้ำพุ น้ำซับ หนอง บึง ทะเล และมหาสมุทร กรณีของแม่น้ำก็จำแนกเป็นส่วนของลำน้ำที่มีน้ำใต้ดินไหลเข้าหรือออกจากลำน้ำ ซึ่งลำน้ำจำแนกเป็นลำน้ำไหลทั้งปีหรือชั่วคราว

9.1.5 การวิเคราะห์ภูมิอากาศ ได้แก่ การกระจายของ อุณหภูมิ ลม และศักยภาพการคายระเหย

9.1.6 การวิเคราะห์กระบวนการ และการก่อตัวของดิน ได้แก่ความสามารถของการซึมของน้ำผ่านดินชนิดต่าง ๆ

9.1.7 การวิเคราะห์กระบวนการและการก่อตัวของภูมิฐาน รวมทั้งแผนที่แสดงชนิด คุณสมบัติ และการกระจายของวัสดุภูมิฐาน หินโผล่ และคุณสมบัติอื่นๆ ของภูมิฐานที่จำเป็นสำหรับการแก้ปัญหา

10. การอธิบายคุณลักษณะใต้ผิวดิน

10.1 การลำดับชั้นหินและหน่วยดินและหิน โดยการวิเคราะห์และใช้ฐานข้อมูลทางดิน ธรณีวิทยา และธรณีฟิสิกส์ และผลจากลักษณะพื้นผิวดิน

10.1.1 การใช้แผนที่และภาพตัดขวางทางธรณีวิทยา บันทึกการสำรวจใต้พื้นผิว โดยใช้ร่วมกับการหาคุณลักษณะผิวดิน และข้อมูลการวิเคราะห์ทางธรณีฟิสิกส์

10.1.2 การหาความต่อเนื่องของลำดับชั้นหินจากภาพตัดขวาง ชั้นหินที่ได้จากแผนที่ธรณีวิทยาร่วมกับการหยั่งธรณีหลุมเจาะ (well log) และข้อมูลธรณีฟิสิกส์

10.2 การหาความไม่ต่อเนื่องของโครงสร้างและธรณีสัณฐานวิทยา และประวัติแรงกระทำกับชั้นหิน เช่น รอยเลื่อน รอยแตก โพรงหินปูน อาศัยการวิเคราะห์ทางธรณีวิทยา เช่น แผนที่และภาพตัดขวางทางธรณีวิทยา การวิเคราะห์ธรณีฟิสิกส์และคุณลักษณะบนผิวดิน และจากแท่งลำดับชั้นหินทางธรณีวิทยา

10.3 การหารูปทรงและภาพตัดขวางของโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดิน โดยใช้ฐานข้อมูลทางดิน ธรณีวิทยา ธรณีสัณฐานวิทยา และธรณีฟิสิกส์ ซึ่งใช้ในการสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์เบื้องต้น และกระบวนการหาคุณลักษณะของผิวดินและกระบวนการหาคุณลักษณะใต้ผิวดินที่กำลังดำเนินการอยู่



ตารางที่ 1 ชนิดและประเภทของข้อมูล

ชนิดของข้อมูล	ประเภทของข้อมูล	
ภูมิประเทศและภาพ โทรมัมผัส	(ก) ภูมิประเทศ (ข) ภาพถ่ายทางอากาศ (ค) ภาพถ่ายดาวเทียม	(ง) ข้อมูล Multispectral (จ) ภาพถ่ายรังสีความร้อน (ฉ) ภาพถ่ายเรดาร์และไมโครเวฟ
ภูมิสัณฐาน	(ก) ธรณีวิทยาพื้นผิวหรือแผนที่ภูมิสัณฐาน (ข) แผนที่วิศวกรรมธรณี	(ค) แผนที่แหล่งน้ำผิวดิน (ง) กราฟเชิงเส้นและข้อมูลเชิงตัวเลขของข้อมูล อุทกวิทยา
ธรณีวิทยา	(ก) แผนที่ธรณีวิทยาและภาพตัดขวาง	(ข) ข้อมูลชนิดดิน-หิน หรือข้อมูลบันทึกชั้นดิน- หินจากการเจาะ
ธรณีฟิสิกส์	(ก) ข้อมูลการสำรวจแรงโน้มถ่วงของโลก สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้า และการ สำรวจคลื่นไหวสะเทือน หรือผลการตีความข้อมูล	(ข) ข้อมูลการวัดคลื่นไหวสะเทือนจากธรรมชาติ (ค) ข้อมูลการหยั่งธรณีหลุมเจาะ
ภูมิอากาศ	(ก) ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (ข) ข้อมูลด้านอุณหภูมิ ความชื้น และลม	(ค) ข้อมูลการคายระเหยน้ำของพืช (ง) ข้อมูลผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพ ภูมิอากาศต่อระบบอุทกวิทยา
พืชพรรณ	(ก) กลุ่มพืชพรรณหรือชนิดสปีชีส์ของพืช (ข) แผนที่แสดงความหนาแน่นของพืชพรรณ	(ค) ข้อมูลชนิดของพืชเกษตรกรรม ปฏิทินการ เพาะปลูกในพื้นที่ (ง) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและพืชที่ปกคลุม พื้นที่
ดิน	(ก) การสำรวจดิน	(ข) คุณสมบัติของดินที่ได้จากการวิเคราะห์ใน ห้องปฏิบัติการ
อุทกธรณีวิทยา	(ก) ข้อมูลระดับน้ำ (ข) ข้อมูลชลศาสตร์ของหินอุ้มน้ำ (ค) คุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุใต้พื้นผิวที่ได้จากการ วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (ง) ผลงานการศึกษาที่มีอยู่แล้ว ได้แก่ การศึกษา การสร้างแบบจำลอง แผนที่อุทกธรณีวิทยาและ ระบบน้ำบาดาล	(จ) ข้อมูลน้ำพุและน้ำผุด (ฉ) ข้อมูลน้ำผิวดิน (ช) ข้อมูลการออกแบบ การสร้างและการพัฒนา บ่อบาดาล
อุทกธรณีเคมี (ที่เกี่ยวข้องกับระบบ การไหลน้ำบาดาล)	(ก) คุณสมบัติทางเคมีใต้พื้นผิวที่ได้จากตัวอย่างน้ำ ในบ่อบาดาล (ข) คุณสมบัติทางเคมีของน้ำผิวดิน	(ค) คุณสมบัติทางเคมีของดินและหิน (ง) การสำรวจคุณภาพน้ำ
ลักษณะการใช้ ประโยชน์พื้นที่ของ มนุษย์	(ก) แผนที่การวางแผนการใช้ประโยชน์พื้นที่ (ข) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและพืชคลุมดิน (ค) แผนที่เส้นทางการคมนาคมและเขตการปกครอง	(ง) แผนที่แสดงกรรมสิทธิ์ที่ดินและประวัติการใช้ หากหาได้ (จ) แผนที่การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ

(จาก ASTM D 5979-96, 2002)



ตารางที่ 2 ฐานข้อมูลของแบบจำลองเชิงมโนทัศน์

ชนิดของข้อมูล	ฐานข้อมูล	
ธรณีสัณฐานวิทยา	(ก) แผนที่ภูมิประเทศ หรือแบบจำลองความสูงของพื้นที่	(ข) แผนที่ทางน้ำ
ธรณีวิทยา	(ก) แผนที่ธรณีวิทยาและแท่งลำดับชั้นหิน (ข) แผนที่ธรณีวิทยาพื้นผิวและแท่งลำดับชั้นหิน	(ค) ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยา (ง) ชนิดของหินในพื้นที่ และ/หรือ บันทึกข้อมูลชั้นดินและหินจากการเจาะ
ธรณีฟิสิกส์	(ก) แผนที่และข้อมูลการสำรวจแรงโน้มถ่วงของโลก (ข) แผนที่และข้อมูลการสำรวจสนามแม่เหล็ก (ค) แผนที่และข้อมูลการสำรวจความต้านทานไฟฟ้า	(ง) แผนที่และข้อมูลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนและการเกิดแผ่นดินไหว (จ) ข้อมูลการเหนียวนาสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
อุตุนิยมวิทยาและภูมิอากาศ	(ก) ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (ข) ข้อมูลอุณหภูมิ	(ค) ข้อมูลการระเหยของน้ำผิวดิน (ง) ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์
พืชพรรณ	(ก) แผนที่แสดงชนิดและการกระจายตัวของพืชพรรณ	(ข) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ของพืชพรรณ
ดิน	(ก) แผนที่ชนิดและคุณลักษณะของดิน	(ข) ข้อมูลคุณสมบัติของดิน
อุทกธรณีวิทยา	(ก) ข้อมูลบ่อน้ำบาดาล (ข) แผนที่เส้นชั้นความสูงของระดับน้ำหรือเฮด (potentiometric surface)	(ค) ข้อมูลน้ำพุและน้ำผุด (ง) ข้อมูลน้ำผิวดิน (จ) ข้อมูลคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ
อุทกเคมี/ธรณีเคมี (ที่เกี่ยวข้องกับระบบการไหลน้ำบาดาล)	(ก) อุทกธรณีเคมีด้านไอโซโทปของน้ำ (ข) อุทกธรณีเคมีของสารอินทรีย์ในน้ำ	(ค) อุทกธรณีเคมีของสารอนินทรีย์ (ง) การสะสมตัวของสารเคมีในดิน และธรณีเคมีของหิน
ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน	(ก) แผนที่ขอบเขตเมือง (ข) แผนที่แสดงกรรมสิทธิ์ที่ดิน	(ค) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและพืชปกคลุมดินและประวัติการใช้ที่ดิน (หากหาได้)
การอธิบายคุณลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา	(ก) ข้อมูลเกี่ยวกับบ่อน้ำบาดาล (ข) แผนที่อุทกธรณีวิทยา	(ค) ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาและแท่งลำดับชั้นหิน
การอธิบายคุณลักษณะของระบบน้ำบาดาล	(ก) ตารางระบบน้ำบาดาลสำหรับชนิดและปริมาณของการเติมน้ำและการสูญเสียน้ำ (ข) แผนที่ระบบน้ำบาดาลแสดงการเติมน้ำ สูญเสีย และระบบการไหล	(ค) ภาพตัดขวางระบบน้ำบาดาลแสดงการเติมน้ำ การสูญเสีย และระบบการไหล (ง) แผนที่เส้นชั้นความสูงของระดับน้ำหรือเฮดสำหรับชั้นอุทกวิทยาแต่ละชั้น

(จาก ASTM D 5979-96, 2002)



11. การอธิบายคุณลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา

11.1 การหาค่าและคุณลักษณะของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา ในแง่ของความหนา ความพรุน สภาพซึมผ่าน ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (หรือโค้งคุณลักษณะของชั้นดิน) ข้อมูลเหล่านี้วิเคราะห์จากการสุบทดสอบชั้นน้ำบาดาลและในห้องปฏิบัติการ

11.1.1 การหาความต่อเนื่อง ของรูปทรง และความหนาของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาทั้งหมด และเฉพาะส่วนที่อึดตัว

11.1.2 การหาค่าความเท่ากัน/ไม่เท่ากันของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินทางอุทกธรณีวิทยาในทิศทางต่างๆ (isotropy หรือ anisotropy)

11.1.3 การหาค่าความเป็นเนื้อเดียว หรือความไม่เป็นเนื้อเดียวของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา

11.1.4 การจำแนกลักษณะของหน่วยหินตามการตอบสนองทางอุทกวิทยาเป็นหินอุ้มน้ำ (aquifer) หรือเป็นหินกั้นน้ำ (confining bed) จำแนกจากค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ความหนาของชั้นอึดตัว และความต่อเนื่องทางชลศาสตร์ (hydraulic continuity)

11.2 การประเมินรูปแบบของโครงสร้างของหน่วยหินอุทกธรณีวิทยา เช่น รอยเลื่อน รอยแตก และ โพรงหินปูน ในแง่ของความหนา ความพรุน และค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน

11.2.1 การหาความต่อเนื่อง รูปทรง และการกระจายเชิงพื้นที่ และความหนา (ความหนาทั้งหมดและที่อึดตัวด้วยน้ำ) ของหน่วยโครงสร้างเชิงอุทก

11.2.2 การหาความเป็น isotropy/anisotropy ของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา

11.2.3 การหาความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneity/heterogeneity) ของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา

12. การอธิบายลักษณะของระบบน้ำบาดาล

12.1 การอธิบายคุณลักษณะของพื้นที่เติมน้ำและกำหนดชนิด ปริมาณ และการกระจายการเติมน้ำ โดยการวิเคราะห์พื้นที่ผิวดิน ใต้ผิวดิน และสภาพอุทกธรณีวิทยา การประเมินการเติมน้ำพิจารณาตามขนาด ลักษณะชั่วคราว และขอบเขตของปัญหา ส่วนปริมาณการเติมน้ำประมาณได้จาก การซึมของน้ำฝน การซึมของน้ำผิวดิน การไหลย้อนกลับของน้ำในพื้นที่ชลประทาน การรั่วซึมระหว่างหน่วยหินอุ้มน้ำ การไหลผ่านขอบเขตธรรมชาติหรือพื้นที่ศึกษา และแหล่งน้ำอื่นๆ

12.2 การอธิบายคุณลักษณะของพื้นที่สูญเสีย น้ำ และกำหนดชนิด ปริมาณ และการกระจายของการสูญเสีย น้ำ โดยการวิเคราะห์พื้นที่ผิวดิน ใต้ผิวดิน และอุทกธรณีวิทยา การสูญเสียสามารถประมาณได้จากน้ำพุและน้ำผุดในพื้นที่ น้ำผิวดิน การคายระเหย น้ำของพืชพรรณ การสูญเสียของบ่อบาดาล การรั่วซึมระหว่างหน่วยหินอุ้มน้ำ การไหลผ่านขอบเขตธรรมชาติหรือพื้นที่ศึกษา

12.3 การอธิบายคุณลักษณะทางเคมีของน้ำบาดาลที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของระบบการไหลน้ำบาดาล ทั้งที่เกิดโดยธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ส่วนประกอบทางเคมีน้ำประเมินตามขนาด ลักษณะชั่วคราว และขอบเขตของปัญหา

12.3.1 วิเคราะห์การปนเปื้อนของสารเคมีลงสู่ระบบอุทกวิทยาใต้พื้นผิว ทั้งที่เกิดโดยธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ จากแหล่งกำเนิดในบรรยากาศ พืชพรรณ และน้ำผิวดิน

12.3.2 วิเคราะห์การปนเปื้อนของสารเคมีลงสู่ระบบอุทกวิทยาใต้พื้นผิว ทั้งที่เกิดโดยธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์จากแหล่งกำเนิดในดินและหิน

12.3.3 อธิบายกระบวนการทางชีวเคมี ธรณีเคมี และอุทกธรณีเคมีที่สัมพันธ์กับการไหลของสารเคมี



นั้นๆ หรืออาจมีการแยกแยะประเภทของสารเคมีหรือใช้ความรู้ด้านไอโซโทป (isotope) เข้ามาช่วย

12.4 การอธิบายคุณลักษณะและคำนวณหาปริมาณของระบบน้ำบาดาลโดยการกำหนดและชี้ประเด็นปัญหา และการพัฒนาฐานข้อมูล (ดูในหัวข้อที่ 7) การจำลองเชิงมโนทัศน์เบื้องต้น (ดูในหัวข้อที่ 8) การอธิบายคุณลักษณะผิวดิน (ดูในหัวข้อที่ 9) การอธิบายคุณลักษณะใต้ผิวดิน (ดูในหัวข้อที่ 10) การอธิบายคุณลักษณะอุทกธรณี (ดูในหัวข้อที่ 11) และการอธิบายคุณลักษณะระบบน้ำบาดาล (ดูในหัวข้อที่ 12) อธิบายคุณลักษณะและคำนวณปริมาณระบบน้ำบาดาลจาก ขนาด (การประเมินเฉพาะพื้นที่ หรือในระดับภูมิภาค) ลักษณะชั่วคราว (การวิเคราะห์แบบคงที่หรือไม่คงที่ วิเคราะห์เป็นรายวัน ฤดูกาล หรือรายปี) และขอบเขตของปัญหา (การประเมินในเขตที่อ้อมตัวหรือไม่อ้อมตัวด้วยน้ำ การวิเคราะห์แบบสองหรือสามมิติ)

12.4.1 อธิบายคุณลักษณะและคำนวณหาปริมาณของเงื่อนไขเบื้องต้นและเงื่อนไขขอบเขตของระบบน้ำบาดาล

12.4.2 อธิบายคุณลักษณะของทิศทางการไหล และสร้างเส้นชั้นความสูงของเฮดของแต่ละหน่วยหินทางอุทกวิทยา

12.4.3 คำนวณปริมาณสมดุลน้ำในสภาวะคงที่ (steady-state)

13. การหาปริมาณคำนวณสมดุลของน้ำบาดาลในระบบ

13.1 การจำลองน้ำบาดาลเพื่อตรวจสอบแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ต่างๆ (โดยเฉพาะการเทียบผลของแบบจำลองกับข้อมูลสนาม เช่น เฮด และอัตราการไหล) เพื่อหาลักษณะการเคลื่อนที่ของระบบน้ำบาดาล เพื่อหาค่าที่ยังขาดอยู่ เช่น พารามิเตอร์ต่างๆ และเพื่อวางแผนการเก็บข้อมูลเพิ่ม

13.2 เก็บข้อมูลภาคสนามที่ต้องการเพิ่มเพื่อใช้ในการเติมข้อมูลที่ขาดหายไป

13.3 เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลอุทกธรณีวิทยาและระบบน้ำบาดาลเพิ่มเติมแล้ว จะทำให้แนวคิดและคุณลักษณะของระบบน้ำบาดาลชัดเจนขึ้น

13.4 เมื่อสมควรแล้วให้เลือกแบบจำลอง ทำการแต่งและปรับเทียบแบบจำลอง และทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (ดูมาตรฐาน ทบ ป 3007-2550)

14. การรายงานผล

14.1 ถ้าระบบน้ำบาดาลที่กล่าวถึงเป็นงานหลัก โดยตัวของมันเอง แล้วต้องเตรียมรายงานสรุปการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ แต่ถ้าเป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาอื่นแล้ว รายงานก็เป็นเพียงหัวข้อย่อย

14.2 เนื้อหาในรายงานควรประกอบด้วย การทบทวนวิธีการอธิบายและคำนวณปริมาณของระบบการไหลน้ำบาดาล และเนื้อหาในแต่ละหัวข้อที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการ

15. คำสำคัญ

คำสำคัญ (key words) สำหรับการสืบค้นข้อมูลด้านการสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ ได้แก่ การอธิบายคุณลักษณะ (characterization), การจำลองเชิงมโนทัศน์ (conceptualization), น้ำบาดาล (groundwater), แบบจำลองน้ำบาดาล (groundwater modeling) และระบบน้ำบาดาล (groundwater system)

16. เอกสารอ้างอิง

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2002. Standard Guide for Conceptualization and Characterization of Ground-Water Systems, D 5979-96 (2002), ASTM, Philadelphia.



มาตรฐาน ทบ ป 3002-2550

การเลือกใช้แบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์

มาตรฐาน ทบ ป 3002-2550 เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล (ป) ของ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง "2550" หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้สอดคล้องต่อท้ายและระบุ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย ⁽ⁿ⁾ เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย ^(u) เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันมี แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ให้เลือกใช้มากมาย มีทั้งข้อจำกัด ข้อดี ข้อเสีย ของแบบจำลอง และความเหมาะสมขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ ดังนั้นผู้เลือกใช้ควรมีความเข้าใจโครงสร้างและประสิทธิภาพของแบบจำลอง วิธีการวิเคราะห์ต่างๆ ในโปรแกรมต่างๆ เพื่อจะทำให้ผลของการจำลองนั้นนำมาเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการวางแผนและตัดสินใจในกระบวนการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาล

ขั้นตอนในการเลือกใช้แบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์

(1) การเลือกแบบจำลองให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของงาน

(2) การเลือกสมการทางคณิตศาสตร์ วิธีการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ เช่น Finite Difference Method เป็นต้น

3. ความสามารถของโปรแกรมสำเร็จรูปในการแก้ปัญหาที่ต้องการ

(4) โปรแกรมมีความถูกต้องแม่นยำอย่างไร หรือสามารถเพิ่มเติมส่วนอื่นๆ อีกได้ เช่น เศรษฐศาสตร์

(5) โปรแกรมบางชนิดสามารถให้ดัดแปลงแก้ไขเพิ่มเติม หรือการทวนสอบผล

2. ขอบเขต

2.1 มาตรฐานนี้ครอบคลุมถึงวิธีการที่เป็นระบบ ในการกำหนดความต้องการเลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ใช้ในการจำลองแหล่งน้ำบาดาล เนื่องจากการไหลของน้ำบาดาลในธรรมชาติมีความยุ่งยากและซับซ้อน ทั้งมีการนำพาสารละลายไปด้วย

2.2 การคัดเลือกแบบจำลอง ประกอบด้วย การวิเคราะห์อย่างเป็นระบบตามความต้องการของโครงการและประสิทธิภาพของแบบจำลอง โปรแกรมบางประเภทอาจจะมีการฟังก์ชันหรือวิธีการวิเคราะห์ได้ครบตามความต้องการ ดังนั้นในการเลือกตามรายการต่างๆ ของแบบจำลอง ที่มีอยู่ในปัจจุบัน และหน้าที่หลักของแบบจำลอง (ดังแสดงในรูปที่ 1) ที่มีองค์ประกอบสำคัญ คือ คุณลักษณะของระบบการไหล (flow system characteristics) คุณลักษณะของการเคลื่อนที่ของมวลสารและการปนเปื้อนในน้ำบาดาล (solute transport and fate characterization) คุณลักษณะของการแพร่กระจายความร้อน (heat transport characterization) คุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหินและดิน

2.3 มาตรฐานนี้เป็นหนึ่งในชุดมาตรฐานการสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์และการประยุกต์ใช้ เช่น มาตรฐาน ทบ ป 3003-2550 ทบ ป



3004-2550 ทบ ป 3005-2550 และ ทบ ป 3007-2550

2.4 มาตรฐานนี้เสนอการจัดการการเก็บข้อมูลหรือชุดของทางเลือกและไม่ได้เสนอวิธีการเฉพาะในการปฏิบัติ มาตรฐานนี้ไม่สามารถทดแทนการศึกษาหรือประสบการณ์และควรใช้ร่วมกับการแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ มาตรฐานนี้ไม่ได้มีความต้องการจะแสดงหรือทดแทนมาตรฐานใดที่ดำเนินการพัฒนาโดยผู้เชี่ยวชาญ หรือไม่ควรนำมาตราฐานนี้ไปประยุกต์ใช้โดยขาดการพิจารณาถึงลักษณะเฉพาะด้านต่างๆ ของโครงการ

2.5 มาตรฐานนี้ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ที่จะกล่าวถึงความปลอดภัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ถ้าหากมีความปลอดภัยใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้มาตรฐานนี้นั้นเป็นความรับผิดชอบของผู้ใช้มาตรฐานนี้ในการกำหนดความปลอดภัยที่เหมาะสม และแนวทางการปฏิบัติด้านสุขภาพ และการกำหนดข้อปฏิบัติในการประยุกต์ในการกำหนดขอบเขต ก่อนการใช้มาตรฐาน

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3003-2550 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3004-2550 การจำลองการไหลของน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของมวลสาร

- มาตรฐาน ทบ ป 3005-2550 การประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลตามสภาพปัญหาของพื้นที่

- มาตรฐาน ทบ ป 3007-2550 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3008-2550 การจัดทำรายงานผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

3.2 American Society for Testing and Materials (ASTM):

- D 6170-97 (Re 2004) Standard Guide for Selecting a Ground-Water Modeling.

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 การแก้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในแบบจำลองน้ำบาดาล (functionality) หมายถึง เซตของฟังก์ชัน และลักษณะของสมการ กระบวนการจำลอง เงื่อนไขขอบเขต และความสามารถในการคำนวณและวิเคราะห์

4.2 การเลือกใช้โปรแกรม (code selection) คือ กระบวนการเลือกโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของโครงการ

4.3 การสร้างแบบจำลอง (model construction) คือ กระบวนการแปลงจากแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ไปเป็นรูปแบบของพารามิเตอร์ทางคณิตศาสตร์ โดยการกำหนดพารามิเตอร์ที่ต้องการในข้อสันนิษฐานที่เกี่ยวข้องกับการกระจายของตัวแปรและเวลา การเลือกสมการทางคณิตศาสตร์เป็นขั้นตอนก่อนการสร้างแบบจำลอง

4.4 การออกแบบวางแผนผังของแบบจำลอง (model schematization) หมายถึง การทำให้แบบจำลองน้ำบาดาลง่ายต่อการคำนวณและสอดคล้องกับการวิเคราะห์และตรวจวัดตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

4.5 แบบจำลองเชิงวิเคราะห์ (analytical model) หมายถึง แบบจำลองที่แก้สมการพื้นฐานด้วยวิธีแคลคูลัสที่อธิบายถึงการไหลของน้ำบาดาลและ



กระบวนการเคลื่อนที่ของมวลสารในน้ำบาดาลที่ได้ผล
เฉลยตรง (exact solution)

4.6 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ หมายถึง (ก)
แบบจำลองที่มีการคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ โดยใช้
สมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงระบบกายภาพ ซึ่ง
ประกอบด้วย ข้อสันนิษฐานอย่างง่าย (ข) การ
แสดงผลทางกายภาพ โดยใช้ผลการคำนวณเชิงตัว
เลขที่แสดงถึงพฤติกรรมของระบบและพอทราบผล
ความแม่นยำของการคำนวณ

4.7 แบบจำลองเชิงตัวเลข (numerical model)
คือ แบบจำลองที่ใช้วิธีการทางตัวเลขเพื่อสมการ
อนุพันธ์เปลี่ยนให้เป็นชุดของสมการพีชคณิตเชิงเส้น

4.8 แบบจำลองเชิงโมโนทัศน์ (conceptual
model) หมายถึง การตีความหรือการอธิบาย ถึง
คุณลักษณะและพลวัต (dynamics) ของระบบทาง
กายภาพ (physical system)

4.9 แบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์
(groundwater modeling code) หมายถึง โปรแกรมที่
ได้อาศัยพารามิเตอร์ต่างๆ ในการคำนวณ แต่จะแก้
สมการโดยวิธีการประมาณการโดยใช้การคำนวณเชิง
ตัวเลข พร้อมทั้งระบบในการปรับและส่งผลการ
คำนวณให้สอดคล้องกับระบบอุทกวิทยา

4.10 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer code)
ประกอบด้วย วิธีการประมาณค่าเชิงตัวเลข การแก้
สมการโดยใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูง การป้อนข้อมูลและ
ส่งผลการคำนวณ พร้อมทั้งแสดงผล

5. ความสำคัญและการใช้งาน

5.1 แบบจำลองน้ำบาดาลเป็นเครื่องมือที่สำคัญ
ในการวางแผนและการตัดสินใจในกระบวนการบริหาร
จัดการทรัพยากรน้ำบาดาล แบบจำลองน้ำบาดาลเป็น
เครื่องมือในการวิเคราะห์และทำความเข้าใจถึงกลไก
และตัวควบคุมระบบน้ำบาดาลรวมถึงกระบวนการ
ต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อระบบน้ำบาดาล เช่น การสูบน้ำ

หรือการเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาลทั้งสร้างขึ้นและ
ธรรมชาติ นอกจากนี้ยังเป็นวิธีการรวบรวม
ประมวลผลข้อมูลในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ
บาดาล เพื่อใช้วางแผนและการป้องกันและการออก
กฎข้อบังคับ เกี่ยวกับการป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อมที่
จะเกิดขึ้นกับแหล่งน้ำบาดาล

5.2 ปัจจุบันแบบจำลองน้ำบาดาลมีให้เลือก
มากมาย แต่ละชนิดจะมีข้อจำกัด และความสามารถที่
แตกต่างกัน การเลือกใช้แบบจำลองที่ถูกต้องจะช่วย
ในการตัดสินใจในการลงทุนหรือฐานของค่าใช้จ่ายใน
การดำเนินงานและผลลัพธ์ของการวิเคราะห์จากการ
จำลองได้ดี

5.3 การอธิบายอย่างเป็นระบบและครอบคลุม
ถึงความต้องการของโครงการและมาตรฐานที่อธิบาย
ถึงประสิทธิภาพของสมการทางคณิตศาสตร์และความ
ต้องการในการใช้สมการให้เหมาะสม

6. กระบวนการเลือกใช้แบบจำลองน้ำบาดาล เชิงคณิตศาสตร์

6.1 การเลือกใช้แบบจำลองน้ำบาดาลเชิง
คณิตศาสตร์ เป็นขั้นตอนสำคัญในการประยุกต์ใช้
แบบจำลองน้ำบาดาล เป็นขั้นตอนเบื้องต้นของการ
จำลองทั่วไป

6.2 การเลือกใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ต้อง
สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของโครงการและมีเอกสาร
ของโปรแกรมที่ครบถ้วน

6.3 การเลือกสมการทางคณิตศาสตร์ที่
เหมาะสมในการวิเคราะห์และการอธิบายอย่างเป็น
ระบบเพื่อสนองความต้องการในการสร้างแบบจำลอง
และคุณลักษณะของสมการทางคณิตศาสตร์ของ
แบบจำลองน้ำบาดาลที่มีอยู่

6.4 การพิจารณาในการเลือกใช้แบบจำลอง
ควรคำนึงถึง 2 ประเด็นหลัก คือ โปรแกรมนี้จำเป็น
หรือไม่ ถ้าโปรแกรมไม่มีความสามารถในการคำนวณ



หรือแก้ปัญหาในสิ่งที่โครงการต้องการ ก็อาจพิจารณา ตัดทิ้งหรือเลือกแบบจำลองใหม่

6.5 การประเมินความสามารถของโปรแกรมว่า เหมาะสมที่จะเลือกใช้หรือไม่ อาจต้องมีการประเมิน ถึงอย่างไรก็ตามการใช้ดุลพินิจของผู้เชี่ยวชาญจะช่วยให้บรรลุวัตถุประสงค์

6.6 การเลือกโปรแกรมหรือแบบจำลอง เหมาะสมกับงาน ได้ผลงานที่ดีที่สุด คุ่มค่าที่สุด จะ ส่งผลให้โครงการมีประสิทธิภาพสูง เช่น การ พยากรณ์ตัวแปรได้แม่นยำ การนำผลการจำลองมา วางแผนการเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมในบางครั้ง การ ปรับปรุงหรือเขียนโปรแกรมในส่วนเศรษฐศาสตร์ของ โครงการ อาจมีความจำเป็น เพื่อให้การเลือกใช้ แบบจำลองนั้นสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

6.7 หากมีความจำเป็นต้องเลือกใช้แบบจำลอง มากกว่า 1 โปรแกรม การใช้โปรแกรมแต่ละประเภท อาจใช้ในแต่ละขั้นตอนของโครงการ เช่น แบบจำลอง แรกใช้ในการออกแบบและประเมินศักยภาพรวมของ โครงการ ส่วนแบบจำลองที่สอง อาจใช้ประเมินการกู่ สารปนเปื้อนมลพิษในแหล่งน้ำบาดาล เป็นต้น

6.8 ถ้าเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมแล้ว แต่ยังมี ความจำเป็นต้องดัดแปลงหรือปรับปรุงสมการ คณิตศาสตร์หรือส่วนสำคัญในการคำนวณ โปรแกรม มีความจำเป็นต้องทวนสอบ (verify) ด้วย

7. กำหนดความต้องการต่าง ๆ ของแบบจำลอง

7.1 การกำหนดวัตถุประสงค์ของโครงการ

7.2 การคัดเลือกพื้นที่เพื่อการติดตั้งอุปกรณ์ ต่างๆ

7.3 การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์

7.4 ขั้นตอนสำคัญในการประเมินความต้องการ ของแบบจำลอง มีดังนี้ การกำหนดวัตถุประสงค์ของ โครงการให้สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ความยากหรือง่ายของการวิเคราะห์หรือคำนวณ และ

ความน่าเชื่อถือผลการทำนายและความอ่อนไหวของ ตัวแปรที่มีความไม่แน่นอน เช่น การอธิบาย คุณสมบัติของระบบน้ำบาดาล และการวิเคราะห์ตัว แปรที่เกิดจากภายนอก เช่น มนุษย์ และสิ่งภายนอก อื่นๆ

7.5 โครงการที่จัดทำแบบจำลอง ประกอบด้วย การคัดเลือกพื้นที่เพื่อการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ที่ เกี่ยวข้องกับระบบการไหลของน้ำบาดาล การประเมิน ความเสี่ยง การออกแบบทางเทคนิค การประเมินผล กระทบสิ่งแวดล้อม การออกแบบเครือข่ายบ่อ สังเกตการณ์ ปกติวัตถุประสงค์หลักของการจำลองจะ ประกอบด้วยวัตถุประสงค์ย่อยๆ อีก เช่น วัตถุประสงค์ของโครงการอาจถูกแปลงไปเป็น วัตถุประสงค์ของแบบจำลองโดยการกำหนดรูปแบบ การจำลอง และกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการ คำนวณ

7.6 ส่วนประกอบหลักในกระบวนการเลือกใช้ แบบจำลอง คือ การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของโครงการและ ค่าตัวแปรอื่นๆ เช่น กระบวนการทางกายภาพและ เคมี รูปร่างและขนาดของพื้นที่ เงื่อนไขขอบเขตของ แบบจำลอง ส่วนสำคัญของขั้นตอนการจัดทำแบบ

จำลองเชิงมโนทัศน์ คือ ความเชื่อมโยงของกระ- บวนการการคำนวณและข้อมูลต่างๆ จาก ภายนอก

7.7 การจำลองสภาพแหล่งน้ำบาดาล มีหลาย ขั้นตอนอาจไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมที่ยุ่งยาก ดังนั้น การเลือกแบบจำลองก็จะช่วยให้งานสะดวกขึ้น

7.8 การเลือกแบบจำลองและหน้าที่หลักของ แบบจำลองแต่ละชนิด สามารถตรวจสอบจากบัญชี รายการ ดังรูปที่ 1

7.9 ข้อพิจารณาอื่นๆ ในการเลือกใช้แบบจำลอง



7.9.1 การยอมรับโปรแกรมหรือแบบจำลอง หมายถึง การยอมรับทั่วไปของโปรแกรมในการทำนายผลจากการแก้สมการหลัก และประสิทธิภาพของงาน

7.9.2 ความน่าเชื่อถือของ โปรแกรมหรือแบบจำลองน้ำบาดาลบางชนิดไม่สามารถทำงานเหมือนดังที่เขียนไว้ในคู่มือเสมอไป หรือทำงานได้ดังที่ผู้เขียนหรือผู้พัฒนาโปรแกรมคำนวณขึ้นมา หรือบางครั้งคู่มือไม่สามารถอธิบายการทำงานของโปรแกรมได้ครบถ้วน สิ่งเหล่านี้ทำให้ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองลดลง บางครั้งจำเป็นต้องได้รับการพิสูจน์จากผู้ที่ใช้แล้ว การประเมินหลักการทางทฤษฎีพื้นฐานและโครงสร้างของโปรแกรม โปรแกรมได้รับการทดสอบและทวนสอบ (verify) มาก่อน หรือโปรแกรมมีผู้ใช้หรือได้รับความเชื่อถือมามากจากหลักฐานทางวิชาการ แต่ถึงอย่างไรก็ตาม คงไม่มีโปรแกรมคำนวณชนิดใดที่ปราศจากข้อผิดพลาด แม้แต่ข้อผิดพลาดของโปรแกรมได้รับการปรับปรุงอยู่เรื่อยๆ

7.9.3 การใช้โปรแกรมให้เกิดประสิทธิภาพ เป็นการประยุกต์ใช้โปรแกรมที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด รวมถึงมีเอกสารหรือคู่มือที่ใช้ได้ดี โปรแกรมหรือ code ที่มีอยู่ทั่วไปสามารถที่จะปรับปรุงแก้ไขจากไฟล์ต้นฉบับหรือไฟล์ที่ใช้งานได้เลย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่ สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ โปรแกรมที่ใช้ได้ทั่วไปกับโปรแกรมลิขสิทธิ์ที่มีเครื่องหมายการค้า (proprietary software) จากผู้ผลิตซึ่งมีการซื้อขาย

7.9.4 คุณลักษณะของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานได้ มักจะเป็นโปรแกรมที่พร้อมใช้งานได้ร่วมกับโปรแกรมที่มีการป้อนข้อมูลและคู่มือในการดำเนินงานของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์อธิบายถึงวิธีการแก้สมการในรูปแบบต่างๆ ดังนั้นการป้อน

ข้อมูลมักจะมีโครงสร้างเฉพาะวิธีการนั้นๆ รวมทั้งโครงสร้างของการส่งออกของข้อมูลและการแสดงผล

7.9.5 เอกสารหรือคู่มือของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ คู่มือในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย การพัฒนาการออกแบบโปรแกรม วัตถุประสงค์ ขั้นตอน ความสัมพันธ์และการเชื่อมโยง ขั้นตอนต่างๆ พร้อมทั้งขีดความสามารถและข้อจำกัดต่างๆ หลักการสำคัญของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลองน้ำบาดาลนั้น ต้องสื่อสารไว้ในคู่มือให้ชัดเจน เช่น ผู้เขียน ผู้พัฒนา ผู้ที่อธิบายหรือสามารถช่วยเหลือเมื่อเวลาผู้ใช้มีปัญหา และระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน ซึ่งสามารถสื่อสารและสอบถามได้สะดวก

8. การอธิบายถึงหน้าที่ของการแก้สมการทางคณิตศาสตร์

8.1 การอธิบายถึงหน้าที่ของการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ ตัวแปรวิธีการคำนวณกระบวนการคำนวณและขีดความสามารถที่จะคำนวณฟังก์ชันต่างๆ ข้อมูลต่างๆเหล่านี้จะถูกขึ้นบัญชีไว้ในรายงานของแต่ละโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังในรูปที่ 1

8.2 การทำรายงานของสมการทางคณิตศาสตร์ สำหรับแบบจำลองน้ำบาดาลควรประกอบด้วยหัวข้อการสรุปสาระสำคัญ ซึ่งเรียกว่า “การอธิบายฟังก์ชันการใช้งาน” หรือ “ฟังก์ชันต่างๆ ของสมการคณิตศาสตร์และประสิทธิภาพ” ซึ่งกล่าวถึงทุกๆ หัวข้อในรูปที่ 1 ในหัวข้อนี้ควรมีรายละเอียดเพิ่มเติมเมื่อรูปที่ 1 ยังมีการอธิบายลักษณะและประสิทธิภาพของสมการทางคณิตศาสตร์ไม่เพียงพอ

8.3 การทบทวนสมการทางคณิตศาสตร์ รูปที่ 1 สามารถใช้เป็นรายการที่ต้องตรวจสอบ ถ้าการทบทวนสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับศักยภาพการใช้งานในโครงการมีความจำเป็น



8.4 การกำหนดความต้องการโครงการ รายการที่ต้องตรวจที่แสดงในรูปที่ 1 สามารถใช้สำหรับการกำหนดความต้องการโครงการในแง่ของกระบวนการเลือกสมการทางคณิตศาสตร์

9. การจัดทำรายงานของกระบวนการเลือกใช้แบบจำลองน้ำบาดาล

การเลือกแบบจำลองควรพิจารณาถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลองให้สอดคล้องกับรายงาน และคู่มือของการประยุกต์ ดังนั้นการจัดทำรายงานการเลือกใช้แบบจำลองควรจะกล่าวถึงข้อจำกัดหรือขอบเขตของแบบจำลองแต่ละชนิด เกณฑ์สำคัญ และเกณฑ์รองลงมาของแบบจำลองนั้นๆ นอกจากนี้ อาจจะกล่าวถึงขั้นตอนบางขั้นตอนที่สำคัญที่มีที่ไม่ได้นำมาจำลองแต่อาจมีผลต่อการคัดเลือกแบบจำลอง

10. คำสำคัญ

คำสำคัญ (key words) สำหรับการสืบค้นข้อมูลด้านการเลือกใช้แบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์ ได้แก่ การเลือกใช้แบบจำลอง (code selection) แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (computer model) การสร้างแบบจำลองน้ำบาดาล (groundwater modeling) และการจำลองสภาพ (simulation)

11. เอกสารอ้างอิง

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2004. Standard Guide for Selecting a Ground-Water Modeling Code, D 6170-97 (Re 2004).



Checklist for Ground-Water Modeling Needs and Code Functionality (3)

MODELING CODE NAME:		
VERSION:	RELEASE DATE:	
AUTHOR(S):		
INSTITUTE OF DEVELOPMENT:		
CONTACT ADDRESS:		
PHONE:	FAX:	
E-MAIL:		
PROGRAM LANGUAGE:		
COMPUTER PLATFORM(S):		
LEGAL STATUS/RESTRICTIONS ¹⁾ :		

USER-INTERFACE:	☐ program shell ☐ preprocessing ☐ file export for postprocessing (e.g., GRD, XLS) ☐ graphics file import (e.g., DXF, PCX, PGL) ☐ other:	☐ menu-driven, text-based ☐ simulation execution ☐ graphics file export ☐ other:	☐ screen-graphics (GUI) ☐ postprocessing ☐ other:
PREPROCESSING OPTIONS:	☐ input preparation ☐ other:	☐ automatic gridding ☐ other:	☐ interactive gridding ☐ other:
POSTPROCESSING FACILITIES:	☐ review results (text) ☐ graphical display of results (on screen) ☐ conversion of results for external postprocessing ☐ other:		

MODEL TYPE (General Descriptors)

☐ single phase saturated flow ☐ single phase unsaturated flow ☐ vapor flow/transport ☐ solute transport ☐ virus transport ☐ heat transport ☐ matrix deformation ☐ geochemical ☐ optimization ☐ groundwater and surface water hydraulics ☐ parameter ID saturated flow (inverse numerical)	☐ parameter ID unsaturated flow (analytical/ numerical) ☐ parameter ID solute transport (numerical) ☐ aquifer test analysis ☐ tracer test analysis ☐ flow of water and steam ☐ fresh/salt water interface ☐ two-phase flow ☐ three-phase flow ☐ phase transfers ☐ chemical transformations ☐ biochemical transformations ☐ watershed runoff	☐ sediment transport ☐ surface water runoff ☐ stochastic simulation ☐ geostatistics ☐ multimedia exposure ☐ pre-/postprocessing ☐ expert system ☐ data base ☐ ranking/screening ☐ water budget ☐ heat budget ☐ chemical species mass balance ☐ other:
--	--	--

UNITS

☐ SI system ☐ metric units	☐ US customary units ☐ any consistent system	☐ user-defined
---	---	---------------------------------------

PRIMARY USE

☐ research ☐ education	☐ general use ☐ site-dedicated	☐ policy-setting ☐ other:
---	---	--

1) proprietary versus public domain, license required, etc.

รูปที่ 1 รายการของแบบจำลองน้ำบาดาลที่ต้องการใช้และหน้าที่ของโปรแกรม
(ดัดแปลงจาก ASTM D6170-97, 2004)



GENERAL MODEL CHARACTERISTICS - continued

PARAMETER DISCRETIZATION

- ☐ lumped
 - ☐ mass balance approach
 - ☐ transfer function(s)
- ☐ distributed
- ☐ deterministic
- ☐ stochastic

SPATIAL ORIENTATION

Saturated flow

- ☐ 1D horizontal
- ☐ 1D vertical
- ☐ 2D horizontal (areal)
- ☐ 2D vertical (cross-sectional or profile)
- ☐ 2D axis-symmetric (horizontal flow only)
- ☐ fully 3D
- ☐ quasi-3D (layered; Dupuit approx.)
- ☐ 3D cylindrical or radial (flow defined in horizontal and vertical directions)

Unsaturated flow

- ☐ 1D horizontal
- ☐ 1D vertical
- ☐ 2D horizontal
- ☐ 2D vertical
- ☐ 2D axis-symmetric
- ☐ fully 3D
- ☐ 3D cylindrical or radial

DISCRETIZATION IN SPACE

- ☐ no discretization
- ☐ uniform grid spacing
- ☐ variable grid spacing
- ☐ movable grid (relocation of nodes during run)
- ☐ maximum number of nodes/cells/elements
 - ☐ modifiable in source code (requires compilation)
 - ☐ modifiable through input
- ☐ maximum number of nodes (standard version):
- ☐ maximum number of cells/elements (standard version):

Possible cell shapes

- ☐ 1D linear
- ☐ 1D curvilinear
- ☐ 2D triangular
- ☐ 2D curved triangular
- ☐ 2D square
- ☐ 2D rectangular
- ☐ 2D quadrilateral
- ☐ 2D curved quadrilateral
- ☐ 2D polygon
- ☐ 2D cylindrical
- ☐ 3D cubic
- ☐ 3D rectangular block
- ☐ 3D hexahedral (6 sides)
- ☐ 3D tetrahedral (4 sides)
- ☐ 3D spherical
- ☐ other:

RESTART CAPABILITY - types of updates possible

- ☐ dependent variables (e.g., head, concentration, temperature)
- ☐ fluxes
- ☐ velocities
- ☐ parameter values
- ☐ stress rates (pumping, recharge)
- ☐ boundary conditions
- ☐ other:

รูปที่ 1 รายการของแบบจำลองน้ำบาดาลที่ต้องการใช้และหน้าที่ของโปรแกรม (ต่อ)



FLOW SYSTEM CHARACTERIZATION

SATURATED ZONE

Hydrogeologic zoning

- ☐ confined
- ☐ semi-confined (leaky-confined)
- ☐ unconfined (phreatic)
- ☐ hydrodynamic approach
- ☐ hydraulic approach (Dupuit-Forcheimer assumption for horizontal flow)
- ☐ single aquifer
- ☐ single aquifer/aquitard system
- ☐ multiple aquifer/aquitard systems
- ☐ max. number of aquifers:
- ☐ discontinuous aquifers (aquifer pinchout)
- ☐ discontinuous aquitards (aquitard pinchout)
- ☐ storativity conversion in space (confined-unconfined)
- ☐ storativity conversion in time
- ☐ aquitard storativity
- ☐ other:

Hydrogeologic medium

- ☐ porous medium
- ☐ fractured impermeable rock (fracture system, fracture network)
- ☐ discrete individual fractures
- ☐ equivalent fracture network approach
- ☐ equivalent porous medium approach
- ☐ dual porosity system (flow in fractures and optional in porous matrix, storage in porous matrix and exchange between fractures and porous matrix)
- ☐ uniform hydraulic properties (hydraulic conductivity, storativity)
- ☐ anisotropic hydraulic conductivity
- ☐ nonuniform hydraulic properties (heterogeneous)
- ☐ other:

Flow characteristics

- ☐ single fluid, water
- ☐ single fluid, vapor
- ☐ single fluid, NAPL
- ☐ air and water flow
- ☐ water and steam flow
- ☐ moving fresh water and stagnant salt water
- ☐ moving fresh water and salt water
- ☐ water and NAPL
- ☐ water, vapor and NAPL
- ☐ incompressible fluid
- ☐ compressible fluid
- ☐ variable density
- ☐ variable viscosity
- ☐ linear laminar flow (Darcian flow)
- ☐ non-Darcian flow
- ☐ steady-state flow
- ☐ transient (non-steady state) flow
- ☐ dewatering (desaturation of cells)
- ☐ dewatering (variable transmissivity)
- ☐ rewatering (resaturation of dry cells)
- ☐ delayed yield from storage
- ☐ other:

Boundary conditions

- ☐ infinite domain
- ☐ semi-infinite domain
- ☐ regular bounded domain
- ☐ irregular bounded domain
- ☐ fixed head
- ☐ prescribed time-varying head
- ☐ zero flow (impermeable barrier)
- ☐ fixed cross-boundary flux
- ☐ prescribed time-varying cross-boundary flux
- ☐ areal recharge:
 - ☐ constant in space
 - ☐ variable in space
 - ☐ constant in time
 - ☐ variable in time
- ☐ other:

Boundary conditions - continued

- ☐ induced recharge from or discharge to a source bed aquifer or a stream in direct contact with ground water
 - ☐ surface water stage constant in time
 - ☐ surface water stage variable in time
 - ☐ stream penetrating more than one aquifer
- ☐ induced recharge from a stream not in direct contact with groundwater
- ☐ evapotranspiration dependent on distance surface to water table
- ☐ drains (gaining only)
- ☐ free surface
- ☐ seepage face
- ☐ springs
- ☐ other:

Sources/Sinks

- ☐ point sources/sinks (recharging/pumping wells)
 - ☐ constant flow rate
 - ☐ variable flow rate
 - ☐ head-specified
 - ☐ partially penetrating
 - ☐ well loss
 - ☐ block-to-radius correction
 - ☐ well-bore storage
 - ☐ multi-layer well
- ☐ line source/sinks (internal drains)
 - ☐ constant flow rate
 - ☐ variable flow rate
 - ☐ head-specified
- ☐ collector well (horizontal, radially extending screens)
- ☐ mine shafts (vertical)
 - ☐ water-filled
 - ☐ partially filled
- ☐ mine drifts, tunnel (horizontal)
 - ☐ water-filled
 - ☐ partially filled
- ☐ other:

รูปที่ 1 รายการของแบบจำลองน้ำบาดาลที่ต้องการใช้และหน้าที่ของโปรแกรม (ต่อ)



FLOW SYSTEM CHARACTERIZATION - continued

UNSATURATED ZONE

Soil medium

- ☐ porous medium
- ☐ fractured impermeable rock
- ☐ discrete individual fractures
- ☐ dual porosity system
- ☐ equivalent fracture network approach
- ☐ equivalent porous medium approach
- ☐ micropore/macropore system
- ☐ uniform hydraulic properties
- ☐ nonuniform hydraulic properties
- ☐ anisotropic hydraulic properties
- ☐ areal homogeneous (single soil type)
- ☐ areal heterogeneous (multi soil types)
- ☐ swelling/shrinking soil matrix
- ☐ dipping soil layers
- ☐ number of soil layers:
- ☐ other:

Flow characteristics

- ☐ single fluid, water
- ☐ single fluid, vapor
- ☐ single fluid, NAPL
- ☐ air and water flow
- ☐ water and NAPL
- ☐ water, vapor and NAPL
- ☐ variable density
- ☐ variable viscosity
- ☐ linear laminar flow (Darcian flow)
- ☐ non-Darcian flow
- ☐ steady-state flow
- ☐ transient (non-steady state) flow
- ☐ other:

Parameter representation

- Parameter definition
- ☐ suction vs. saturation (included; see next section)
 - ☐ porosity
 - ☐ residual saturation
 - ☐ hydraulic conductivity vs. saturation included; (see next section)
 - ☐ number of soil materials:
 - ☐ other:

Soil moisture saturation - matric potential relationship

- ☐ tabular
- ☐ math. function(s) (describe):

Soil hydraulic conductivity-saturation/hydraulic potential relationship

- ☐ tabular
- ☐ math. function(s) (describe):

Intercell conductance representation (K_c-determination)

- ☐ arithmetic
- ☐ harmonic
- ☐ geometric
- ☐ other:

Tortuosity model (e.g., for vapor diffusion)

- ☐ math. function(s) (describe):

Boundary conditions

- ☐ fixed head
- ☐ prescribed time-varying head
- ☐ fixed moisture content
- ☐ prescribed time-varying moisture content
- ☐ zero flow (impermeable barrier)
- ☐ fixed boundary flux
- ☐ prescribed time-varying boundary flux
- ☐ areal recharge:
 - ☐ constant in space
 - ☐ variable in space
 - ☐ constant in time
 - ☐ variable in time
- ☐ ponding
- ☐ automatic conversion between prescribed head and flux condition
- ☐ other:

Flow related processes

- ☐ evaporation
- ☐ evapotranspiration
- ☐ plant uptake of water (transpiration)
- ☐ capillary rise
- ☐ hysteresis
- ☐ interflow
- ☐ perched water
- ☐ other:

รูปที่ 1 รายการของแบบจำลองน้ำบาดาลที่ต้องการใช้และหน้าที่ของโปรแกรม (ต่อ)



FLOW SYSTEM CHARACTERIZATION - continued

DEPENDENT VARIABLE(S)

- | | | |
|-----------------------------------|---|---------------------------------|
| ☐ head | ☐ potential | ☐ other: |
| ☐ drawdown | ☐ moisture content | |
| ☐ pressure | ☐ stream function | |
| ☐ suction | ☐ velocity | |

SOLUTION METHODS - FLOW

- | | |
|---|---|
| <p>☐ <u>Analytical</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ single solution ☐ superposition ☐ method of images ☐ other: <p>☐ <u>Analytic Element method</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ point sources/sinks ☐ line sinks ☐ ponds ☐ uniform flow ☐ rainfall ☐ layering ☐ inhomogeneities ☐ doublets ☐ leakage through confining beds ☐ other: <p>☐ <u>Semi-analytical</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ continuous in time, discrete in space ☐ continuous in space, discrete in time ☐ approximate analytical solution ☐ other: <p>☐ <u>Solving stochastic PDE's</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ Monte Carlo simulations ☐ spectral methods ☐ small perturbation expansion ☐ self-consistent or renormalization technique ☐ other: | <p>☐ <u>Numerical</u></p> <p>Spatial approximation</p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ finite difference method <ul style="list-style-type: none"> ☐ block-centered ☐ node-centered ☐ integrated finite difference method ☐ boundary elements method ☐ particle tracking ☐ pathline integration ☐ finite element method ☐ other: <p>Time-stepping scheme</p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ fully implicit ☐ fully explicit ☐ Crank-Nicholson ☐ other: <p>Matrix-solving technique</p> <p>☐ Iterative</p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ SIP ☐ Gauss-Seidel (PSOR) ☐ LSOR ☐ SSOR ☐ BSOR ☐ ADIP ☐ Iterative ADIP (IADI) ☐ Predictor-corrector ☐ Point Jacobi ☐ other: <p>☐ Direct</p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ Gauss elimination ☐ Cholesky decomposition ☐ Frontal method ☐ Doolittle ☐ Thomas algorithm ☐ other: <p>☐ Iterative methods for nonlinear equations</p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ Picard method ☐ Newton-Raphson method ☐ Chord slope method <p>☐ other:</p> <p>☐ Semi-iterative</p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ conjugate-gradient ☐ other: |
|---|---|

รูปที่ 1 รายการของแบบจำลองน้ำบาดาลที่ต้องการใช้และหน้าที่ของโปรแกรม (ต่อ)



FLOW SYSTEM CHARACTERIZATION - continued

INVERSE MODELING/PARAMETER IDENTIFICATION FOR FLOW

Parameters to be identified

- ☐ hydraulic conductivity
- ☐ transmissivity
- ☐ storativity/storage coefficient
- ☐ leakage/leakage factor
- ☐ areal recharge
- ☐ cross-boundary fluxes
- ☐ boundary heads
- ☐ pumping rates
- ☐ soil parameters/coefficients
- ☐ streambed resistance
- ☐ other:

User input

- ☐ prior information on parameter(s) to be identified
- ☐ constraints on parameters to be identified
- ☐ instability conditions
- ☐ non-uniqueness criteria
- ☐ regularity conditions
- ☐ other:

PARAMETER IDENTIFICATION METHOD

- ☐ aquifer tests (based on analytical solutions)
- ☐ numerical inverse approach

Direct method (model parameters treated as dependent variable)

- ☐ energy dissipation method
- ☐ algebraic approach
- ☐ inductive method (direct integration of PDE)
- ☐ minimizing norm of error flow (flatness criterion)
- ☐ linear programming (single- or multi-objective)
- ☐ quadratic programming
- ☐ matrix inversion
- ☐ Marquardt
- ☐ other:

Indirect method (iterative improvement of parameter estimates)

- ☐ linear least-squares
- ☐ non-linear least-squares
- ☐ quasi-linearization
- ☐ linear programming
- ☐ quadratic programming
- ☐ steepest descent
- ☐ conjugate gradient
- ☐ non-linear regression (Gauss-Newton)
- ☐ Newton-Raphson
- ☐ influence coefficient
- ☐ maximum likelihood
- ☐ (co-)kriging
- ☐ gradient search
- ☐ decomposition and multi-level optimization
- ☐ graphic curve matching
- ☐ other:

รูปที่ 1 รายการของแบบจำลองน้ำบาดาลที่ต้องการใช้และหน้าที่ของโปรแกรม (ต่อ)



FLOW SYSTEM CHARACTERIZATION - continued

OUTPUT CHARACTERISTICS - FLOW

Echo of input (in ASCII text format)

- ☐ grid (nodal coordinates, cell size, element connectivity)
- ☐ initial heads/pressures/potentials
- ☐ initial moisture content/saturation
- ☐ soil parameters/function coefficients
- ☐ aquifer parameters
- ☐ flow boundary conditions
- ☐ flow stresses (e.g., recharge, pumping)
- ☐ other:

Simulation results - form of output

- ☐ dependent variables in binary format
- ☐ complete results in ASCII text format
- ☐ spatial distribution of dependent variable for postprocessing
- ☐ time series of dependent variable for postprocessing
- ☐ direct screen display - text
- ☐ direct screen display - graphics
- ☐ direct hardcopy (printer)
- ☐ direct plot (pen-plotter)
- ☐ graphic vector file
- ☐ graphic bitmap/pixel/raster file
- ☐ other:

Simulation results - type of output

- ☐ head/pressure/potential
 - ☐ areal values (table, contours)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ saturation/moisture content
 - ☐ areal values (table, contours)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ head differential/drawdown
 - ☐ areal values (table, contours)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ moisture content/saturation
 - ☐ areal values (table, contours)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)

Type of output - continued

- ☐ internal (cross-cell) fluxes
 - ☐ areal values (table, vector plots)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ infiltration fluxes
 - ☐ areal values (table, vector plots)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ evapo(transpi)ration fluxes
 - ☐ areal values (table, vector plots)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ cross boundary fluxes
 - ☐ areal values (table, vector plots)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ velocities
 - ☐ areal values (table, vector plots)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ stream function values
- ☐ streamlines/pathlines (graphics)
- ☐ capture zone delineation (graphics)
- ☐ traveltimes (table of arrival times; ticks on pathlines)
- ☐ isochrones (i.e., lines of equal travel times; graphics)
- ☐ position of interface (table, graphics)
- ☐ location of seepage faces
- ☐ water budget components
 - ☐ cell-by-cell
 - ☐ global (main components for total model area)
- ☐ calculated flow parameters
- ☐ uncertainty in results (i.e., statistical measures)
- ☐ other:

Computational information

- ☐ iteration progress
- ☐ iteration error
- ☐ mass balance error
- ☐ cpu time use
- ☐ memory allocation
- ☐ other:

รูปที่ 1 รายการของแบบจำลองน้ำบาดาลที่ต้องการใช้และหน้าที่ของโปรแกรม (ต่อ)



SOLUTE TRANSPORT AND FATE CHARACTERIZATION

WATER QUALITY CONSTITUENTS

- | | | |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ☐ any constituent(s) ☐ single constituent ☐ two interacting constituents ☐ multiple interacting constituents ☐ total dissolved solids (TDS) ☐ inorganics - general ☐ inorganics - specific <ul style="list-style-type: none"> ☐ heavy metals ☐ nitrogen compounds ☐ phosphorus compounds ☐ sulphur compounds | <ul style="list-style-type: none"> ☐ organics <ul style="list-style-type: none"> ☐ volatile organic compounds (VOCs) ☐ polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) ☐ polychlorinated biphenyls (PCBs) ☐ pesticides ☐ phthalates ☐ solvents ☐ non-polar organic compounds ☐ other: | <ul style="list-style-type: none"> ☐ radionuclides ☐ micro-organisms <ul style="list-style-type: none"> ☐ bacteria, coliforms ☐ viruses ☐ other: |
|--|--|---|

TRANSPORT AND FATE PROCESSES

(Conservative) transport

- ☐ advection
 - ☐ steady-state
 - ☐ uniform-parallel to transport coordinate system
 - ☐ uniform-may be under an angle with transport coordinate system
 - ☐ non-uniform
 - ☐ transient
 - ☐ velocities generated within code
 - ☐ from internal flow simulation
 - ☐ from external flow simulation or measured heads
 - ☐ velocities required as input
- ☐ mechanical dispersion
 - ☐ longitudinal
 - ☐ transverse
- ☐ molecular diffusion
- ☐ filtration (describe model):
- ☐ other:

Phase transfers

- ☐ solid<->gas; (vapor) sorption
- ☐ solid<->liquid; sorption
 - ☐ equilibrium isotherm
 - ☐ linear (retardation)
 - ☐ Langmuir
 - ☐ Freundlich
 - ☐ non-equilibrium isotherm
 - ☐ desorption (hysteresis)
 - ☐ other:
- ☐ liquid->gas; volatilization
- ☐ liquid->solids; filtration
- ☐ other:

Fate - Type of reactions:

- ☐ ion exchange
- ☐ substitution/hydrolysis
- ☐ dissolution/precipitation
- ☐ reduction/oxidation

Fate - Type of reactions - continued)

- ☐ acid/base reactions
- ☐ complexation
- ☐ biodegradation
 - ☐ aerobic
 - ☐ anaerobic
- ☐ other:

Fate - Form of reactions:

- ☐ zero order production/decay
- ☐ first order production/decay
- ☐ radioactive decay
 - ☐ single mother/daughter decay
 - ☐ chain decay
- ☐ microbial production/decay
 - ☐ aerobic biodegradation
 - ☐ anaerobic biodegradation
- ☐ other:

space)

- ☐ heterogeneous (variable in space)
- ☐ scale-dependent
- ☐ internal cross terms diffusion coefficient
- ☐ homogeneous (constant in space)
- ☐ heterogeneous (variable in space)

retardation factor

- ☐ homogeneous (constant in space)
- ☐ heterogeneous (variable in space)
- ☐ Chemical processes embedded in transport equation
- ☐ Chemical processes described by equations separate from the transport

Parameter representation

dispersivity

- ☐ isotropic (longitudinal = transverse)
- ☐ 2D anisotropic - allows longitudinal/transverse ratio
- ☐ 3D anisotropic - allows different longitudinal/transverse and horizontal transverse/vertical transverse ratios
- ☐ homogeneous (constant in

รูปที่ 1 รายการของแบบจำลองน้ำบาดาลที่ต้องการใช้และหน้าที่ของโปรแกรม (ต่อ)



FLOW SYSTEM CHARACTERIZATION - continued

OUTPUT CHARACTERISTICS - FLOW

Echo of input (in ASCII text format)

- ☐ grid (nodal coordinates, cell size, element connectivity)
- ☐ initial heads/pressures/potentials
- ☐ initial moisture content/saturation
- ☐ soil parameters/function coefficients
- ☐ aquifer parameters
- ☐ flow boundary conditions
- ☐ flow stresses (e.g., recharge, pumping)
- ☐ other:

Simulation results - form of output

- ☐ dependent variables in binary format
- ☐ complete results in ASCII text format
- ☐ spatial distribution of dependent variable for postprocessing
- ☐ time series of dependent variable for postprocessing
- ☐ direct screen display - text
- ☐ direct screen display - graphics
- ☐ direct hardcopy (printer)
- ☐ direct plot (pen-plotter)
- ☐ graphic vector file
- ☐ graphic bitmap/pixel/raster file
- ☐ other:

Simulation results - type of output

- ☐ head/pressure/potential
 - ☐ areal values (table, contours)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ saturation/moisture content
 - ☐ areal values (table, contours)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ head differential/drawdown
 - ☐ areal values (table, contours)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ moisture content/saturation
 - ☐ areal values (table, contours)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)

Type of output - continued

- ☐ internal (cross-cell) fluxes
 - ☐ areal values (table, vector plots)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ infiltration fluxes
 - ☐ areal values (table, vector plots)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ evapo(transpi)ration fluxes
 - ☐ areal values (table, vector plots)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ cross boundary fluxes
 - ☐ areal values (table, vector plots)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ velocities
 - ☐ areal values (table, vector plots)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ stream function values
- ☐ streamlines/pathlines (graphics)
- ☐ capture zone delineation (graphics)
- ☐ traveltimes (table of arrival times; tics on pathlines)
- ☐ isochrones (i.e., lines of equal travel times; graphics)
- ☐ position of interface (table, graphics)
- ☐ location of seepage faces
- ☐ water budget components
 - ☐ cell-by-cell
 - ☐ global (main components for total model area)
- ☐ calculated flow parameters
- ☐ uncertainty in results (i.e., statistical measures)
- ☐ other:

Computational information

- ☐ iteration progress
- ☐ iteration error
- ☐ mass balance error
- ☐ cpu time use
- ☐ memory allocation
- ☐ other:

รูปที่ 1 รายการของแบบจำลองน้ำบาดาลที่ต้องการใช้และหน้าที่ของโปรแกรม (ต่อ)



SOLUTE TRANSPORT AND FATE CHARACTERIZATION - continued

INVERSE/PARAMETER IDENTIFICATION FOR SOLUTE TRANSPORT

Parameters to be identified

- ☐ velocity
- ☐ dispersivity
- ☐ diffusion coefficient
- ☐ retardation factor
- ☐ source strength
- ☐ initial conditions (concentrations)
- ☐ other:

User input

- ☐ prior information on parameters to be identified
- ☐ constraints on parameters to be identified
- ☐ instability conditions
- ☐ non-uniqueness criteria
- ☐ regularity conditions
- ☐ other:

PARAMETER IDENTIFICATION METHOD

- ☐ tracer tests (based on analytical solutions)
- ☐ numerical inverse approach

Direct method (model parameters treated as dependent variable)

- ☐ energy dissipation method
- ☐ algebraic approach
- ☐ inductive method (direct integration of PDE)
- ☐ minimizing norm of error flow (flatness criterion)
- ☐ linear programming (single- or multi-objective)
- ☐ quadratic programming
- ☐ matrix inversion
- ☐ other:

Indirect method (iterative improvement of parameter estimates)

- ☐ linear least-squares
- ☐ non-linear least-squares
- ☐ quasi-linearization
- ☐ linear programming
- ☐ quadratic programming
- ☐ steepest descent
- ☐ conjugate gradient
- ☐ non-linear regression (Gauss-Newton)
- ☐ Newton-Raphson
- ☐ maximum likelihood
- ☐ (co-)kriging
- ☐ other:

OUTPUT CHARACTERISTICS - SOLUTE TRANSPORT

Echo of input (in ASCII text format)

- ☐ grid (nodal coordinates, cell size, element connectivity)
- ☐ initial concentrations
- ☐ transport parameter values
- ☐ transport boundary conditions
- ☐ transport stresses (source/sink fluxes)
- ☐ other:

Simulation results - Type of output

- ☐ concentration values
- ☐ concentration in pumping wells
- ☐ internal and cross-boundary solute fluxes
- ☐ velocities (from given heads)
 - ☐ areal values (table, vector plots)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
- ☐ mass balance components
 - ☐ cell-by-cell
 - ☐ global (total model area)
- ☐ calculated transport parameters
- ☐ uncertainty in results (i.e., statistical measures)
- ☐ other:

Simulation results - Form of output

- ☐ binary files of concentrations
- ☐ complete results in ASCII text format
- ☐ spatial distribution of concentration for postprocessing
- ☐ time series of concentration for postprocessing
- ☐ direct screen display -text
- ☐ direct screen display - graphics
- ☐ direct hardcopy (printer)
- ☐ direct plot (pen-plotter)
- ☐ graphic vector file
- ☐ graphic bitmap/pixel/raster file
- ☐ other:

Computational progress

- ☐ iteration progress
- ☐ iteration error
- ☐ mass balance error
- ☐ cpu use
- ☐ memory allocation
- ☐ other:

รูปที่ 1 รายการของแบบจำลองน้ำบาดาลที่ต้องการใช้และหน้าที่ของโปรแกรม (ต่อ)



HEAT TRANSPORT CHARACTERIZATION

TRANSPORT PROCESSES

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ☐ convection <ul style="list-style-type: none"> ☐ steady-state <ul style="list-style-type: none"> ☐ uniform flow ☐ non-uniform flow ☐ transient ☐ conduction <ul style="list-style-type: none"> ☐ through rock-matrix ☐ through liquid ☐ thermal dispersion | <ul style="list-style-type: none"> ☐ thermal diffusion between rock matrix and liquid ☐ radiation ☐ phase change <ul style="list-style-type: none"> ☐ evaporation/condensation <ul style="list-style-type: none"> ☐ water/vapors ☐ water/steam ☐ freezing/thawing ☐ heat exchange between phases ☐ internal heat generation (heat source) ☐ other: |
|---|--|

PARAMETER REPRESENTATION

(parameters not checked are considered homogeneous)

Thermal conductivity of rock matrix

- ☐ homogeneous (constant in space)
- ☐ heterogeneous (variable in space)
- ☐ other:

Thermal dispersion coefficient

- ☐ isotropic (longitudinal=transverse)
- ☐ anisotropic
- ☐ homogeneous (constant in space)
- ☐ heterogeneous (variable in space)

BOUNDARY CONDITIONS FOR HEAT TRANSPORT

General boundary conditions

- ☐ fixed temperature (constant in time)
- ☐ specified time-varying temperature
- ☐ zero heat flux/temperature gradient
- ☐ fixed heat flux/temperature gradient
- ☐ specified time-varying heat flux/temperature gradient
- ☐ heat flux from stream dependent on flow rate and stream temperature
- ☐ heat flux to stream dependent on flow rate and ground-water temperature
- ☐ heat flux through overburden dependent on flow rate and recharge temperature
- ☐ heat flux through overburden dependent on temperature difference between aquifer and atmosphere
- ☐ other:

Sources and sinks

- ☐ injection well with given constant temperature and flow rate
- ☐ injection well with given time-varying temperature and flow rate
- ☐ production well with given flow rate and heat flux dependent on ground-water temperature
- ☐ point sources
- ☐ line sources
- ☐ areal sources
- ☐ non-point (diffuse) sources
- ☐ other:

SOLUTION METHODS - HEAT TRANSPORT

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ☐ flow and heat transport equations are uncoupled ☐ flow and heat transport equations are coupled <ul style="list-style-type: none"> ☐ through temperature-dependent density ☐ through temperature-dependent viscosity ☐ <u>Analytical</u> <ul style="list-style-type: none"> ☐ single solution ☐ superposition ☐ method of images ☐ other: | <ul style="list-style-type: none"> ☐ <u>Semi-analytical</u> <ul style="list-style-type: none"> ☐ continuous in time, discrete in space ☐ continuous in space, discrete in time ☐ approximate analytical solution ☐ other: |
|--|--|

รูปที่ 1 รายการของแบบจำลองน้ำมันบาดาลที่ต้องการใช้และหน้าที่ของโปรแกรม (ต่อ)



HEAT TRANSPORT CHARACTERIZATION - continued

- ☐ Solving stochastic PDE's
 - ☐ Monte Carlo simulations
 - ☐ spectral methods
 - ☐ small perturbation expansion
 - ☐ self-consistent or renormalization technique
 - ☐ other:
- ☐ Numerical
 - Spatial approximation
 - ☐ finite difference
 - ☐ block-centered
 - ☐ node-centered
 - ☐ integrated finite difference
 - ☐ particle-tracking
 - ☐ method of characteristics
 - ☐ random walk
 - ☐ boundary element method
 - ☐ finite element method
 - ☐ other:
 - Time-stepping scheme
 - ☐ fully implicit
 - ☐ fully explicit
 - ☐ Crank-Nicholson
 - ☐ other:
- Matrix-solving technique
 - ☐ Iterative
 - ☐ SIP
 - ☐ Gauss-Seidel (PSOR)
 - ☐ LSOR
 - ☐ SSOR
 - ☐ BSOR
 - ☐ ADI
 - ☐ Iterative ADIP (IADI)
 - ☐ Point Jacobi
 - ☐ other:
 - ☐ Direct
 - ☐ Gauss elimination
 - ☐ Cholesky decomposition.
 - ☐ Frontal method
 - ☐ Doolittle
 - ☐ Thomas algorithm
 - ☐ other:
 - ☐ Iterative methods for nonlinear equations
 - ☐ Picard method
 - ☐ Newton-Raphson method
 - ☐ Chord slope method
 - ☐ other:
 - ☐ Semi-iterative
 - ☐ conjugate-gradient
 - ☐ other:

OUTPUT CHARACTERISTICS - HEAT TRANSPORT

- Echo of input (in ASCII text format)
 - ☐ grid (nodal coordinates, cell size, element connectivity)
 - ☐ initial temperatures
 - ☐ transport parameter values
 - ☐ transport boundary conditions
 - ☐ transport stresses (source/sink fluxes)
 - ☐ other:
- Simulation results - Type of output
 - ☐ temperature values
 - ☐ temperature in pumping wells
 - ☐ internal and cross-boundary heat fluxes
 - ☐ velocities (from given heads)
 - ☐ areal values (table, vector plots)
 - ☐ temporal series (table, x-t graphs)
 - ☐ heat balance components
 - ☐ cell-by-cell
 - ☐ global (total model area)
 - ☐ calculated transport parameters
 - ☐ uncertainty in results (i.e., statistical measures)
 - ☐ other:
- Simulation results - Form of output
 - ☐ binary files of temperatures
 - ☐ complete results in ASCII text format
 - ☐ spatial distribution of temperature for postprocessing
 - ☐ time series of temperature for postprocessing
 - ☐ direct screen display -text
 - ☐ direct screen display - graphics
 - ☐ direct hardcopy (printer)
 - ☐ direct plot (pen-plotter)
 - ☐ graphic vector file
 - ☐ graphic bitmap/pixel/raster file
 - ☐ other:
- Computational progress
 - ☐ iteration progress
 - ☐ iteration error
 - ☐ heat balance error
 - ☐ cpu use
 - ☐ memory allocation
 - ☐ other:

รูปที่ 1 รายการของแบบจำลองน้ำบาดาลที่ต้องการใช้และหน้าที่ของโปรแกรม (ต่อ)



ROCK/SOIL MATRIX DEFORMATION CHARACTERIZATION

MODELED SYSTEM

Deformation cause

- ☐ fluid withdrawal (increased internal rock matrix stresses)
- ☐ overburden increase (increased system loading)
- ☐ man-made cavities (reduced rock-matrix stresses)
- ☐ other:

Model components

- ☐ aquifer only
- ☐ aquifer/overburden
- ☐ aquifer(s)/aquitard(s)
- ☐ aquifer(s)/aquitard(s)/overburden
- ☐ other:

Model Types

- ☐ Empirical model
 - ☐ depth/porosity model
 - ☐ other:
- ☐ Semi-empirical model
 - ☐ aquitard drainage model
 - ☐ other:

- ☐ Mechanistic process-based model (see processes)
List model(s):
- ☐ other:

PROCESSES

- ☐ one-dimensional deformation
 - ☐ subsidence (vertical movement of land surface)
 - ☐ compaction (vertical deformation; decrease of thickness of sediments due to increase of effective stress; also consolidation)
 - ☐ matrix expansion (due to reduced skeletal stress)
 - ☐ other:
- ☐ two-dimensional deformation
 - ☐ vertical (cross-sectional)
 - ☐ horizontal (areal)
- ☐ three-dimensional deformation
- ☐ coupling fluid flow and deformation
 - ☐ single equation
 - ☐ two coupled equations
- ☐ coupling temperature change with fluid flow and deformation (e.g. geothermal reservoirs)
- ☐ elastic deformation
- ☐ inelastic (plastic) deformation
- ☐ other:

PARAMETER REPRESENTATION

(parameters not mentioned are considered homogeneous in space; see also flow model)

- ☐ stress-dependent hydraulic conductivity
- ☐ compressibility of rock matrix
 - ☐ homogeneous (constant in space)
 - ☐ heterogeneous
- ☐ coefficient of consolidation (isotropic)
 - ☐ homogeneous
 - ☐ heterogeneous

BOUNDARY CONDITIONS FOR DEFORMATION

- ☐ prescribed displacement
 - ☐ constant in time
 - ☐ varying in time
- ☐ prescribed pore pressure
 - ☐ constant in time
 - ☐ varying in time
- ☐ prescribed skeletal stress
 - ☐ constant in time
 - ☐ varying in time
- ☐ other:

รูปที่ 1 รายการของแบบจำลองน้ำบาดาลที่ต้องการใช้และหน้าที่ของโปรแกรม (ต่อ)



ROCK/SOIL MATRIX DEFORMATION CHARACTERIZATION - continued

SOLUTION METHODS - DEFORMATION

Flow and deformation equations are:

- ☐ uncoupled ☐ coupled

☐ Analytical

- ☐ single solution
☐ superposition
☐ other:

☐ Semi-analytical

- ☐ continuous in time, discrete in space
☐ continuous in space, discrete in time
☐ approximate analytical solution
☐ other:

☐ Numerical

Spatial approximation

- ☐ finite difference
☐ block-centered
☐ node-centered
☐ integrated finite difference
☐ finite element method
☐ other:

Time-stepping scheme

- ☐ fully implicit
☐ fully explicit
☐ Crank-Nicholson
☐ other:

Matrix-solving technique

- ☐ Iterative
☐ SIP
☐ Gauss-Seidel (PSOR)
☐ LSOR
☐ SSOR
☐ BSOR
☐ ADI
☐ Iterative ADIP (IADI)
☐ Point Jacobi
☐ other:
☐ Semi-iterative
☐ conjugate-gradient
☐ other:

☐ Direct

- ☐ Gauss elimination
☐ Cholesky decomposition.
☐ Frontal method
☐ Doolittle
☐ Thomas algorithm
☐ other:
☐ Iterative methods for nonlinear equations
☐ Picard method
☐ Newton-Raphson method
☐ Chord slope method
☐ other:

OUTPUT CHARACTERISTICS - DEFORMATION

Echo of input (in ASCII text format)

- ☐ grid (nodal coordinates, cell size, element connectivity)
☐ initial stresses
☐ deformation parameter values
☐ deformation boundary conditions
☐ other:

Simulation results - Form of output

- ☐ binary files
☐ complete results in ASCII text format
☐ spatial distribution for postprocessing
☐ time series for postprocessing
☐ direct screen display -text
☐ direct screen display - graphics
☐ direct hardcopy (printer, pen-plotter)
☐ graphic vector file/display
☐ graphic bitmap/pixel/raster file
☐ other:

Simulation results - Type of output

- ☐ matrix displacements (internal skeletal displacements; 1D, 2D, 3D)
☐ surface displacements (subsidence; 1D)
☐ pore pressure
☐ skeletal stress/strain
☐ calculated parameters
☐ other:

Computational progress

- ☐ iteration progress
☐ iteration error
☐ cpu use
☐ memory allocation
☐ other:

รูปที่ 1 รายการของแบบจำลองน้ำบาดาลที่ต้องการใช้และหน้าที่ของโปรแกรม (ต่อ)



มาตรฐาน ทบ ป 3003-2550

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

มาตรฐาน ทบ ป 3003-2550 เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ป) ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง "2550" หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้สอดคล้องต่อยุคและระบุน ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย⁽ⁿ⁾ เป็นตัวยกกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย^(l) เป็นตัวยกกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

การกำหนดขอบเขตของแบบจำลองและเงื่อนไขต่างๆ นั้นเป็นส่วนสำคัญของการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ดังนั้นการกำหนดขอบเขตแบบจำลองรวมถึงชนิดของขอบเขต ขั้นตอนในการกำหนดขอบเขตได้มากมายไว้ในมาตรฐานนี้

ขั้นตอนของการกำหนดขอบเขตแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์ ว่าเหมาะสมหรือทำให้ผลของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ถูกต้องหรือไม่

2. ขอบเขต

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในการจำลอง (boundary conditions) เป็นส่วนสำคัญในการจัดทำแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ แบบจำลองการไหลเชิงคณิตศาสตร์มีความสอดคล้องกับสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาและสอดคล้องกับปัญหาอื่นๆ มาตรฐานฉบับนี้มีขอบเขตงาน ดังนี้

2.1 ครอบคลุมการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่เหมาะสมของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์และแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล ได้อธิบายวิธีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบจำลองและความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลของชั้นหินอุ้มน้ำที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated groundwater flow model)

2.2 มาตรฐานนี้อยู่ในชุดมาตรฐานการจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์และการประยุกต์ใช้ (มาตรฐาน ทบ ป 3001-2550 ถึง ทบ ป 3008-2550)

2.3 มาตรฐานนี้ไม่ได้รวบรวมเอาทุกกรณีในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตไว้ เป็นสิ่งที่ผู้ใช้มาตรฐานฉบับนี้ต้องพิจารณาเลือกใช้วิธีการอย่างเหมาะสม รวมทั้งใช้ตามข้อจำกัดซึ่งบังคับควบคุม หรือตรวจสอบได้จากผู้อื่นๆที่เคยใช้มาแล้ว

2.4 มาตรฐานนี้นำเสนอการจัดการ การเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ หรือกลุ่มทางเลือก ซึ่งไม่เจาะจงวิธีการลงไป มาตรฐานนี้ไม่สามารถนำไปใช้ทดแทนความรู้และประสบการณ์ในการจัดทำแบบจำลอง แต่ควรใช้ร่วมกับการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งอาจเพิ่มเติมรายละเอียดนอกเหนือจากที่ได้กำหนดตามความเหมาะสม

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3005-2550 การประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลตามสภาพปัญหาของพื้นที่

3.2 American Society for Testing and Materials (ASTM):



- D 5609-94. (Re 2002). Standard Guide for Defining Boundary Conditions in Ground-Water Flow Modeling.

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 การจำลองสภาพ (simulation) หมายถึง การใช้แบบจำลองเพื่อเลียนแบบสภาพธรรมชาติ

4.2 ขอบเขต (boundary) คือ ขอบบริเวณ ด้านบน ด้านล่าง และด้านข้างของแบบจำลอง

4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของหน่วยหินอุ้มน้ำ (hydraulic conductivity) หมายถึง อัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่ที่เกิดจากเกรเดียนต์หนึ่งหน่วย

4.4 เงื่อนไขของขอบเขต (boundary condition) คือ สมการคณิตศาสตร์ที่ใช้แทนค่าทางกายภาพของพื้นที่ที่ทำการจำลอง

4.5 เงื่อนไขทางอุทกวิทยา (hydrologic condition) คือ อัตราและปริมาณของน้ำบาดาลไหลเข้า-ออก ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าเสดของน้ำบาดาล บริเวณขอบด้านในและนอกของแบบจำลอง

4.6 ชั้นหินอุ้มน้ำปิด (confined aquifer) คือ ชั้นหินอุ้มน้ำที่มีระดับน้ำบาดาลอยู่สูงกว่าระดับขอบบนของชั้นหินอุ้มน้ำซึ่งเป็นชั้นต้นน้ำ

4.7 ชั้นหินอุ้มน้ำเปิด (unconfined aquifer) ชั้นหินอุ้มน้ำที่มีระดับน้ำบาดาล (water table) เป็นระดับขอบบนของชั้นหินอุ้มน้ำ

4.8 แบบจำลองการไหลน้ำบาดาล (ground-water flow model) เป็นเครื่องมือที่ใช้เลียนแบบการไหลของน้ำบาดาล

4.9 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (conceptual model) หมายถึง การตีความหรือการทำงานเชิงอธิบายของลักษณะและพลวัตของระบบทางกายภาพ

4.10 ฟลักซ์ (flux) เป็นปริมาณการไหลของน้ำผ่านหน้าตัดของตัวกลางต่อหน่วยเวลาและหนึ่งหน่วยความลาดทางชลศาสตร์ (hydraulic gradient)

4.11 สภาพการส่งผ่าน (transmissivity) ปริมาณการไหลของน้ำผ่านตัวกลางในหนึ่งหน่วยเวลาและหนึ่งหน่วยความกว้างของชั้นหินอุ้มน้ำภายใต้ความลาดทางชลศาสตร์ (hydraulic gradient) หนึ่งหน่วย

5. ความสำคัญและการใช้งาน

คำจำกัดความที่ถูกต้องของเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) นั้นเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของการสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์และแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์ มาตรฐานฉบับนี้อธิบายคุณลักษณะของเงื่อนไขขอบเขตที่พบทั่วไป และได้แนะนำหลักการที่ใช้ในการกำหนดและประยุกต์ใช้ รวมทั้งความสำคัญและข้อจำกัดของเงื่อนไขขอบเขตสำหรับพื้นที่ศึกษาบางกรณี และความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

6. ชนิดของขอบเขต

6.1 การอธิบายขอบเขตของแบบจำลองโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ การไหลของน้ำบาดาลโดยปกติสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการอนุพันธ์ย่อย (partial differential equation) ซึ่งการจำลองเชิงปริมาณ มีผลการคำนวณขึ้นกับเงื่อนไขขอบเขตของพื้นที่นั้นๆ

6.2 ประเภทขอบเขตของแบบจำลอง ขอบเขตของแบบจำลองสามารถแบ่งออกเป็น 5 แบบ ได้แก่ ขอบเขตแบบกำหนดเฮด (specified head หรือ Dirichlet) ขอบเขตแบบกำหนดอัตราการไหลของน้ำ (Neumann) หรือขอบเขตทั้งสองร่วมกัน (Cauchy) ขอบเขตพื้นผิวอิสระ (free surface boundary) และขอบเขตพื้นผิวที่น้ำไหลซึมผ่านได้ (seepage-face)

6.2.1 ขอบเขตแบบกำหนดเฮด อาจนำมาใช้โดยกำหนดค่าเฮดของน้ำบาดาลที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาหรือตำแหน่ง หรือใช้ร่วมกันทั้งสองแบบ หรือกำหนดให้ค่าเฮดชลศาสตร์มีค่าคงที่ ณ เวลาใดๆ



ซึ่งค่าเฮดที่กำหนดนี้จะแตกต่างกันไปตามตำแหน่งที่แตกต่างกัน ขอบเขตแบบกำหนดเฮดชลศาสตร์มี 2 ประเภท ดังนี้

(1) ขอบเขตแบบกำหนดเฮดทั่วไป ซึ่งขอบเขตชนิดนี้พบได้ทุกที่ที่เฮดมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และเวลา เช่น ขอบเขตอย่างง่ายอาจจะเป็นหน่วยหินอุ้มน้ำที่รองรับอยู่ด้านล่างและเชื่อมต่อกับแม่น้ำขนาดใหญ่ที่มีการไหลซึมของน้ำเข้าหรือออกสู่ระบบ การเปลี่ยนแปลงของเฮดชลศาสตร์เป็นความสัมพันธ์ที่ขึ้นกับความลาดชันของพื้นที่จากต้นน้ำถึงท้ายน้ำ และเฮดของน้ำบาดาลเปลี่ยนแปลงตามเวลาและมีความสัมพันธ์กับระดับน้ำในแม่น้ำด้วย

(2) ขอบเขตแบบกำหนดค่าเฮดคงที่ เป็นขอบเขตที่กำหนดขึ้นในระบบหินอุ้มน้ำบาดาลเมื่อค่าเฮดชลศาสตร์ของตำแหน่งนั้นๆ เช่น หน่วยหินอุ้มน้ำที่เชื่อมต่อกับทะเลสาบที่มีระดับน้ำคงที่ทุกตำแหน่งที่ตรวจวัดและไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือหน่วยหินอุ้มน้ำที่เชื่อมต่อกับแม่น้ำที่มีการไหลเข้าออกคงที่ ดังนั้นจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตามเวลา แต่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามตำแหน่งต่างๆ

6.2.2 ขอบเขตแบบกำหนดอัตราการไหล หรือ Neumann เป็นการกำหนดอัตราการไหลเข้าหรือออกจากระบบน้ำบาดาลที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามสภาพพื้นที่และเวลา ขอบเขตแบบกำหนดอัตราการไหลที่ง่ายที่สุดสามารถกำหนดให้การไหลคงที่ในทุกตำแหน่งพื้นที่ ณ เวลาใดๆ ขอบเขตอัตราการไหลกำหนดให้คงที่ที่เวลาหนึ่งๆ แต่จะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง กรณีที่พบบ่อยมากที่สุด ได้แก่ กำหนดให้ขอบเขตอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงขึ้นกับเวลาและพื้นที่ ในทุกกรณีที่กำหนดขอบเขตอัตราการไหลกำหนดให้เป็นสภาวะแวดล้อมภายนอกระบบ

ขอบเขตแบบที่ไม่มีการไหลของน้ำผ่าน เป็นขอบเขตที่กำหนดอัตราการไหลของน้ำแบบพิเศษ ค่าการไหลของน้ำเข้าและออกเป็นศูนย์ ตัวอย่างของ

ขอบเขตแบบไม่มีการไหลของน้ำผ่าน เช่น ขอบเขตที่ไม่มีการซึมผ่านของน้ำ แต่วัตถุตัวกลางหรือหินอุ้มน้ำมีความพรุน อย่างไรก็ตามในการจำลองการไหลของน้ำบาดาลอาจพิจารณากำหนดขอบเขตการไหลแบบไม่มีการไหลของน้ำผ่านได้ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ระหว่างหินอุ้มน้ำกับหินข้างเคียงมีค่าแตกต่างกันมาก โดยทั่วไปแล้วสันปันน้ำบาดาล (groundwater divide) เป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน เช่น แม่น้ำ และเขาสูง เป็นต้น อย่างไรก็ตามสันปันน้ำบาดาลไม่ได้มีความสัมพันธ์อย่างแท้จริงกับคุณสมบัติทางกายภาพหรือสภาพทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำในพื้นที่ ตำแหน่งของสันปันน้ำบาดาลขึ้นกับการตอบสนองการไหลของน้ำบาดาล และการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้น ดังนั้นการใช้สันปันน้ำบาดาลกำหนดเป็นขอบเขตแบบไม่ให้น้ำไหลผ่านอาจเปลี่ยนแปลงได้

6.2.3 ขอบเขตแบบเฮดขึ้นอยู่กับการไหล (head dependent flux หรือ Cauchy) ในบางสถานการณ์การไหลของน้ำบาดาลผ่านขอบเขตการจำลองเปลี่ยนแปลงตามเฮดในหินอุ้มน้ำที่ติดต่อกับขอบเขตการจำลอง ซึ่งอัตราการไหลของน้ำบาดาลเหล่านี้เป็นฟังก์ชันของเฮดและอัตราการไหลแปรเปลี่ยนตามการเปลี่ยนแปลงของเฮดระหว่างการจำลองด้วย

6.2.4 ขอบเขตพื้นผิวอิสระ (free surface boundary) เป็นขอบเขตที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อค่าเฮดเท่ากับระดับความสูงของขอบเขตการจำลอง กรณีที่พบบ่อย ได้แก่ ระดับน้ำบาดาล เป็นพื้นผิวที่อยู่ระหว่างชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำและอากาศ ลักษณะที่สำคัญของขอบเขตแบบนี้คือ ระดับของพื้นผิวสามารถเปลี่ยนแปลงได้ นั่นคือระดับน้ำเพิ่มและลดเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

ตัวอย่างของการกำหนดขอบเขตแบบอิสระอีกชนิดหนึ่ง ได้แก่ ช่วงรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม



ในหินอุ้มน้ำบริเวณชายฝั่งทะเล และสมมุติว่ารอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นช่วงรอยต่อของน้ำจืดและน้ำเค็ม สามารถกำหนดให้เป็นแนวเส้นของรอยต่อที่ชัดเจนได้ แนวรอยต่อนี้สามารถกำหนดเป็นขอบเขตที่ไม่มีการไหลผ่านของน้ำบาดาล (no-flow boundary) ซึ่งใช้ในกรณีจำลองเฉพาะการไหลของระบบน้ำบาดาลจืดเท่านั้น ภายใต้สภาวะเช่นนี้เฮดของน้ำจืดในบริเวณรอยต่อเปลี่ยนแปลงตามสภาพพื้นที่ และระดับน้ำจืดที่ตำแหน่งต่างๆในสภาวะเงื่อนไขขอบเขตนี้

6.2.5 ขอบเขตแบบพื้นผิวที่น้ำไหลซึมผ่าน (seepage-face) เป็นขอบเขตที่อยู่ระหว่างบริเวณหินที่อิมิตด้วยน้ำมีการไหลของน้ำบาดาล และต่อเนื่องกับบรรยากาศ ขอบเขตแบบนี้ พบในบริเวณสูญเสีย (discharge zone) ซึ่งสูญเสียจากกระบวนน้ำบาดาลรวมทั้งการระเหยหรือการไหลลงของน้ำตามความลาดของพื้นที่ ซึ่งเป็นการไหลตามแรงโน้มถ่วงทำให้น้ำซึมออกเป็นแผ่นน้ำเคลือบบางๆ บนผิวดิน สามารถกำหนดตำแหน่งของขอบเขตนี้ ให้มีอัตราการไหลคงที่ในระบบการไหลของน้ำบาดาล โดยทั่วไปขอบเขตแบบพื้นผิวที่น้ำไหลซึมผ่าน มีความสัมพันธ์กับขอบเขตแบบพื้นผิวอิสระ การจำลองสภาพอุทกธรณีวิทยาในระบบหินอุ้มน้ำขนาดใหญ่ มักไม่นำขอบเขตแบบพื้นผิวอิสระ มาใช้ในการจำลองเนื่องจากผลการจำลองที่ได้นั้นมีค่าน้อยมากจนไม่ส่งผลกระทบต่อผลการจำลอง อย่างไรก็ตามในพื้นที่ศึกษาที่มีขนาดเล็กและต้องการผลการคำนวณที่ละเอียด ควรมีการพิจารณาขอบเขตแบบพื้นผิวอิสระมาด้วย

7. ขั้นตอน

7.1 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำบาดาล เป็นขั้นตอนหนึ่งของการประยุกต์ใช้แบบจำลองเฉพาะพื้นที่นั้นๆ ดูในมาตรฐาน ทบ ป

3005-2550 ขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตประกอบด้วย

7.1.1 กำหนดขอบเขตทางกายภาพจากขอบเขตของพื้นที่ศึกษา

7.1.2 คัดเลือกสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมเป็นตัวแทนในการอธิบายขอบเขต

7.1.3 ตรวจสอบและทดสอบความอ่อนไหวของขอบเขตที่ใช้ในจำลองภายใต้กรณีที่มีสูบน้ำจากระบบน้ำบาดาล

7.1.4 ปรับปรุงหลักเกณฑ์ขอบเขตเริ่มต้นที่ใช้ในการจำลองเพื่อจะได้หลักเกณฑ์สุดท้ายที่จะใช้เป็นตัวแทนของขอบเขตเริ่มต้นของการจำลอง

7.1.5 ทำการตรวจสอบ ทดสอบ และแก้ไขปรับปรุงขอบเขตของแบบจำลองเพิ่มเติม ขบวนการตรวจสอบและการทวนสอบแบบจำลองอธิบายในมาตรฐาน ทบ ป 3007-2550

7.2 การกำหนดขอบเขต (boundary identification)

เป็นการระบุขอบเขตทางกายภาพของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลต้องมีความถูกต้องมากที่สุด ความเข้าใจตำแหน่งและเงื่อนไขทางชลศาสตร์ ของเงื่อนไขขอบเขตในระบบการไหลของน้ำบาดาลนั้นมีจำเป็นต่อการสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์

7.2.1 สันปันน้ำบาดาล (groundwater divides) มักถูกเลือกใช้เป็นขอบเขตของการจำลอง เนื่องจากสามารถนำมาใช้เป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน (no flow boundaries) ได้จากกรณีที่เป็นขอบเขตตามแนวทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาลและแนวสันปันน้ำบาดาล เช่น แม่น้ำ หรือสันเขา อย่างไรก็ตามตำแหน่งของสันปันน้ำขึ้นอยู่กับเงื่อนไขทางชลศาสตร์ ซึ่งแนวสันปันน้ำสามารถเคลื่อนย้ายหรือหายไปได้เมื่อระบบน้ำบาดาลมีการใช้น้ำจากระบบน้ำบาดาล เมื่อ



ตัดสินใจใช้สันปันน้ำบาดาลเป็นเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลจะต้องวิเคราะห์ความอ่อนไหวตำแหน่งของขอบเขตเงื่อนไขนั้นไม่กระทบต่อผลการจำลองหรือการไหลของน้ำบาดาลในระยะยาว

7.2.2 ระดับน้ำบาดาล เป็นขอบเขตที่สำคัญในระบบการไหลของน้ำบาดาล และการกำหนดขอบเขตระดับน้ำบาดาลในแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลสามารถทำได้หลายวิธี ตำแหน่งของระดับน้ำใต้ดินนั้นไม่คงที่และสามารถถูกเติมด้วยน้ำหรือสูญเสียจากระบบน้ำบาดาลได้ (source หรือ sink) การกำหนดขอบเขตอธิบายได้ ดังนี้

(1) ระดับน้ำบาดาลสามารถกำหนดเป็นขอบเขตแบบเฮดคงที่ (constant head boundary) ในกรณีที่จำลองการไหลของน้ำบาดาลแบบระดับน้ำคงที่ (steady-state simulation) และเป็นแบบจำลองที่ไม่มี การสูบน้ำออกจากระบบ

(2) ระดับน้ำใต้ดินอาจถูกกำหนดเป็นขอบเขตพื้นผิวอิสระ (free-surface boundary) ในกรณีที่ระดับน้ำบาดาลต้องไม่เป็นระดับน้ำในแม่น้ำ

(3) ระดับน้ำบาดาลอาจถูกกำหนดเป็นขอบเขตแบบพื้นผิวอิสระ (free-surface boundary) ที่มีการสูญเสียจากน้ำบาดาลจากระบบ โดยการคายระเหย ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความลึกขึ้นอยู่กับระดับน้ำบาดาล ขอบเขตเงื่อนไขประเภทนี้เป็นขอบเขตการไหลของน้ำที่เฮดขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำ (head-dependent flux boundary)

(4) ความลาดชันของระดับน้ำบาดาลสามารถใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่การไหลของน้ำบาดาลได้ (flow surface) โดยที่ไม่มีการเพิ่มเติมน้ำสู่ระบบ

(5) บริเวณพื้นผิวของระดับน้ำบาดาลสามารถกำหนดให้มีการเพิ่มหรือสูญเสียได้ โดยการเพิ่มหรือสูญเสียจำเป็นต้องเป็นปริมาณสุทธิที่เกิดขึ้นในหินอุ้มน้ำนั้นๆ

7.3 ขอบเขตแบบจำลองเป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษาได้ โดยระบุได้จากคุณสมบัติเงื่อนไขทางชลศาสตร์ ได้แก่ แบบกำหนดเฮด (specified head) แบบกำหนดอัตราการไหล (specified flux) แบบกำหนดเฮดชลศาสตร์ขึ้นอัตราการไหล (head-dependent flux) แบบพื้นผิวอิสระ (free surface boundary) หรือ พื้นผิวที่น้ำบาดาลไหลผ่าน (seepage face)

7.4 ขอบเขตที่เปลี่ยนแปลงตามการสูบน้ำหรือดึงน้ำออกจากระบบน้ำบาดาล (stress dependency) คือ การตรวจสอบความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องระหว่างขอบเขตกับการสูบน้ำออกจากระบบ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของขอบเขตชนิดนี้ และการทดสอบขอบเขตธรรมชาติที่ขึ้นอยู่กับสูบน้ำว่าเหมาะสมที่จะใช้ในการจำลองหรือไม่

7.4.1 ตัวอย่างขอบเขตการจำลองแบบกำหนดเฮด (specified head boundary) ไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงแม้มีการสูบน้ำออกจากระบบ แต่ในสภาพความเป็นจริงระบบน้ำบาดาลถ้ามีการสูบน้ำจะส่งผลให้เฮดมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในการจำลองที่มีการสูบน้ำจึงไม่เหมาะสมที่จะนำขอบเขตแบบกำหนดเฮดมาใช้ ในลักษณะเดียวกันถ้ากำหนดขอบเขตแบบอัตราการไหล อัตราการไหลของแบบจำลองก็จะไม่เปลี่ยนแปลงตามการสูบน้ำในแบบจำลอง ดังนั้นในกรณีที่มีการสูบน้ำออกจากระบบควรกำหนดขอบเขตในแบบจำลองเป็นแบบการสูบน้ำเกิดขึ้นตามเงื่อนไขขอบเขต (stress-dependent boundary)

(1) ขอบเขตทางกายภาพ (physical boundary) เป็นขอบเขตของแบบจำลองนั้นสัมพันธ์กับสภาพจริงและขนาดของการสูบน้ำจากระบบ ที่ใช้ระหว่างที่มีการจำลอง เช่น แม่น้ำขนาดเล็กหรือปานกลางนั้นสัมพันธ์กับขอบเขตแบบกำหนดเฮด (specified head boundary) เมื่อการสูบน้ำไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อระดับน้ำในแม่น้ำ



อย่างไรก็ตามถ้าการสูบน้ำสูงจนทำให้ระดับน้ำในแม่น้ำเปลี่ยนแปลงมากจนน้ำในแม่น้ำแห้งแม่น้ำจะไม่สามารถกำหนดเป็นขอบเขตแบบกำหนดเขตได้ อีกต่อไป แม่น้ำควรถูกกำหนดเป็นขอบเขตอัตราการไหลแบบที่ขึ้นอยู่กับเฮดชลศาสตร์ (flux dependent head boundary)

(2) ถ้าเงื่อนไขขอบเขตนั้นขึ้นอยู่กับ การสูบน้ำออกจากระบบ การจำลองควรมีการตรวจสอบความสัมพันธ์และผลกระทบของสูบน้ำต่อระบบการไหลเพื่อผลที่ได้จากการคำนวณและพยากรณ์ที่ดีการศึกษาการสูบน้ำที่มีอัตราการสูบแตกต่างกันมีผลต่อแบบจำลองหรือไม่ สามารถวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองต่อขอบเขตที่กำหนดด้วย

7.4.2 ผลจากแบบจำลองไม่แตกต่างจากค่าที่วัดได้ในภาคสนาม

7.5 ผลที่ได้จากการสุบทดสอบ ควรนำมาใช้เปรียบเทียบกับ การจำลอง

7.6 การปรับปรุงแก้ไขการกำหนดขอบเขตแบบจำลอง ทำให้หลังจากที่มีการวิเคราะห์ความอ่อนไหว และควรมีการบันทึกช่วงการสูบน้ำที่ใช้ในการออกแบบหรือกำหนดขอบเขตของแบบจำลองไว้ด้วย

8. การจัดทำรายงาน

การจัดทำรายงานของเงื่อนไขขอบเขตของการจำลอง ประกอบด้วย

8.1 อธิบายลักษณะสภาพขอบเขตทางกายภาพตามธรรมชาติของพื้นที่และอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นตามบริเวณขอบเขต

8.2 อธิบายผลของการไหลถ้ามีการสูบน้ำออกจากระบบ และขอบเขตที่ใช้ในแบบจำลองแต่ละชนิดทดสอบและวิเคราะห์ความอ่อนไหวของขอบเขตของแบบจำลอง การสูบน้ำออกจากระบบ เป็นกรณีที่มีความสำคัญ เพราะการกำหนดขอบเขตแบบจำลองที่แตกต่างจากสภาพจริงในธรรมชาติ ควรมีการเตรียมการ ในการกำหนดขอบเขตอย่างระมัดระวังเพื่อให้ได้ขอบเขตที่เหมาะสม และทำให้ผลที่คำนวณได้จาก

9. คำสำคัญ

คำสำคัญ (key words) สำหรับการสืบค้นข้อมูลด้านการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล ได้แก่ หินอุ้มน้ำ (aquifers) เงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) แบบจำลองน้ำบาดาล (groundwater model) สันปันน้ำ (groundwater divide)

10. เอกสารอ้างอิง

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2002. Standard Guide for Defining Boundary Conditions in Ground-Water Flow Modeling, D 5609-94 (Re 2002).



มาตรฐาน ทบ ป 3004-2550

การจำลองการไหลของน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของมวลสาร

มาตรฐาน ทบ ป 3004-2550 เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล (ป) ของ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง "2550" หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้สอดคล้องต่อยุทธศาสตร์และระบุ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย ⁽ⁿ⁾ เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย ⁽¹⁾ เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

มาตรฐานการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลตามสภาพปัญหาของพื้นที่ได้อธิบายถึงขอบเขตของการประยุกต์ใช้สาระสำคัญในการดำเนินงาน เช่น การกำหนดวัตถุประสงค์ไปจนถึงการนำเสนอผลการจำลอง และแผนการตรวจสอบแบบจำลองหลังการศึกษา นอกจากนี้ยังได้นำความสำคัญของการประยุกต์ใช้ และขั้นตอนการดำเนินการ ดังแสดงในรูปที่ 1

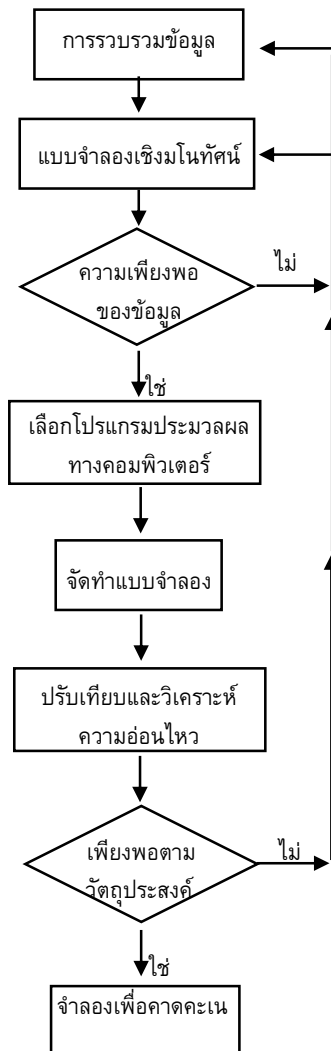
2. ขอบเขต

2.1 มาตรฐานนี้กล่าวครอบคลุมถึงการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ซึ่งคำว่าการไหลของน้ำใต้ดินรวมถึงการไหลของน้ำบาดาล (groundwater) น้ำในดิน (soil water) ไอน้ำรวมทั้งอากาศที่อยู่ในช่องว่างใต้พื้นผิวและของเหลวที่ไม่ได้อยู่ในสถานะน้ำ (nonaqueous phase liquids) มาตรฐานนี้จะช่วยเพิ่มความเข้าใจในปรากฏการณ์การไหลของของไหลว่าเป็นผลารวมกันของการสำรวจภาคสนามและการใช้ทฤษฎีเพื่ออธิบายถึงคุณลักษณะที่ได้จากการสังเกต ผลการศึกษานี้จะนำไปสู่การสร้างแบบจำลองการไหลที่มีประโยชน์และเหมาะสม

2.2 มาตรฐานนี้ประกอบด้วยศัพท์บัญญัติมากมายเพื่อให้ผู้ใช้ได้เข้าใจถึงข้อมูลที่เสนอในมาตรฐานนี้ ระบบการไหลของน้ำใต้ดิน (น้ำในดินและน้ำบาดาล) นั้นอาจแสดงได้โดยลักษณะเชิงกายภาพ หรือแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ดังแสดงไว้ในหัวข้อ 7.4.3 ซึ่งมาตรฐานนี้ให้ความสำคัญกับแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

2.3 มาตรฐานนี้ยังได้กล่าวถึงในมาตรฐานฉบับอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กระบวนการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลน้ำบาดาล (มาตรฐาน ทบ ป 3008-2550) กระบวนการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (มาตรฐาน ทบ ป 3003-2550) การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (มาตรฐาน ทบ ป 3007-2550) และการเขียนรายงานการประยุกต์ใช้แบบจำลอง (มาตรฐาน ทบ ป 3008-2550) ส่วนขั้นตอนอื่นๆ ประกอบ ด้วยการสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ และการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยส่วนของการเปรียบเทียบ การจำลองจะถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลของพื้นที่นั้นๆ (มาตรฐาน ทบ ป 3003-2550) เช่น ระดับน้ำ

2.4 มาตรฐานนี้อธิบายถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ข้อจำกัดของการใช้และความผิดพลาดของแบบจำลอง มาตรฐานนี้ไม่ได้รับรองความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองอย่างไรก็ดี มาตรฐานนี้อ้างอิงแบบจำลองบางชนิดที่สามารถประยุกต์ใช้ได้หลายประเภท



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์ (ดัดแปลงจาก ASTM D 5447-04, 2004)

2.5 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยสองส่วนคือ โปรแกรมที่ใช้แก้สมการทางคณิตศาสตร์หรือซอฟต์แวร์ และกลุ่มข้อมูลซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่ป้อนเข้ามาเพื่อสร้าง

เงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้น นอกจากนี้ยังมีข้อมูลด้านคุณสมบัติของตัวกลางและของไหลด้วย

2.6 มาตรฐานนี้ได้เสนอระบบการจัดการรวบรวมข้อมูลหรือชุดของทางเลือกและไม่ได้แนะนำการใช้เฉพาะกรณีใด มาตรฐานนี้ไม่สามารถใช้ทดแทนการศึกษาหรือประสบการณ์ และควรใช้ควบคู่ไปกับคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปประยุกต์ใช้โดยขาดการพิจารณาถึงลักษณะเฉพาะด้านต่าง ๆ ของโครงการ

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3003-2550 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3007-2550 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3008-2550 การจัดทำรายงานผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

3.2 American Society for Testing and Materials [ASTM]:

- D 5880-95 Standard Guide for Sub-surface Flow and Transport Modeling (2006)

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 กระบวนการกำหนดค่าต่าง ๆ (deterministic process) เป็นกระบวนการที่มีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่แน่นอนระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามในระบบการคำนวณ

4.2 การจำลอง (simulation) คือ การเลียนแบบธรรมชาติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีความถูกต้อง สมบูรณ์ รวมทั้งการนำเข้าและส่งผลของข้อมูลต่างๆ

4.3 การนำน้ำออกจากกระบบ (sink) เช่น สูบน้ำออกจากกระบบทำให้ระดับน้ำหรือปริมาตรลดลง



4.4 การปรับเทียบ (calibration) เป็นกระบวนการเปรียบเทียบผลการคำนวณต่อผลการวัดค่าจริงของพารามิเตอร์ทางอุทกธรณีวิทยา เช่น ค่าชลศาสตร์ของหินอุ้มน้ำและเงื่อนไขของเขตของแบบจำลอง

4.5 การเดินแบบสุ่ม (random walk) เป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสาร โดยติดตามจำนวนของอนุภาคกับสัดส่วนของอนุภาคที่ละลายในน้ำ และความน่าจะเป็นที่อนุภาคเข้ามาและแพร่กระจายออกไป

4.6 การไหลแบบคงตัว (steady-state flow) คือ การไหลแบบตัวแปรต่างๆ เช่น ความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

4.7 ความแม่นยำ คือ การประยุกต์ใช้แบบจำลองที่มีความละเอียดและออกแบบเพื่อให้ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

4.8 ความอ่อนไหว (sensitivity) เป็นการทดสอบผลของแบบจำลองและระดับการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรที่นำเข้าสู่แบบจำลอง เช่น ข้อมูลด้านโครงร่างทางอุทกธรณีวิทยา คุณสมบัติทางชลศาสตร์ และเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง เป็นต้น

4.9 เงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) เป็นคุณสมบัติของขอบเขตของพื้นที่จำลองเขียนในรูปของสมการคณิตศาสตร์

4.10 แบบจำลอง (model) เป็นการรวบรวมและเรียบเรียงแนวคิด (concept) เชิงกายภาพและทางตัวเลขของระบบอุทกวิทยา ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์แสดงถึงความเข้าใจถึงปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ

4.11 แบบจำลองเชิงวิเคราะห์ (analytical model) เป็นแบบจำลองที่เกี่ยวกับการแก้สมการควบคุมของการไหล และการเคลื่อนที่ของมวลสาร โดยวิธีทางแคลคูลัส

4.12 แบบจำลองการไหลน้ำบาดาล (ground-water flow model) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับจำลองสภาพการไหลน้ำบาดาลเฉพาะพื้นที่นั้นๆ

4.13 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (mathematical model) เป็นแบบจำลองที่มีวิธีการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงระบบกายภาพและประกอบด้วยการกำหนดข้อสันนิษฐานให้ง่ายขึ้น มีการแสดงระบบทางกายภาพในเชิงคณิตศาสตร์

4.14 แบบจำลองเชิงตัวเลข (numerical model) เป็นแบบจำลองที่ใช้วิธีการแก้สมการอนุพันธ์โดยวิธีทางตัวเลข

4.15 แบบจำลองเชิงสมโนทัศน์ เป็นการตีความหรือการอธิบายถึงคุณลักษณะและพลวัตของระบบกายภาพ

4.16 ผลการจำลอง (output) คือ ข้อมูลการกระจายตัวและแรงดันของน้ำหรือพลังงาน และระบบข้อมูลต่างๆ ของระบบอุทกวิทยา

4.17 วิธีการกำหนดคุณลักษณะ (method of characteristics) เป็นวิธีการแก้สมการอนุพันธ์ด้วยวิธีทางแคลคูลัสวิธีหนึ่ง

4.18 วิธีการคำนวณเชิงตัวเลข (numerical methods) เป็นการแก้สมการอนุพันธ์โดยการแทนที่สมการอนุพันธ์ด้วยสมการพีชคณิตเชิงเส้น

4.19 วิธีการคำนวณแบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite-difference method) เป็นวิธีการแก้สมการควบคุมโดยการคำนวณเชิงตัวเลขโดยการแทนค่าอนุพันธ์ต่อเนื่องด้วยค่าไม่ต่อเนื่องและแก้ค่าตัวแปรตามวิธีการประมาณการทางตัวเลข

4.20 วิธีการคำนวณแบบไฟไนต์อีลิเมนต์ (finite-element method) เป็นวิธีการแก้สมการควบคุมด้วยวิธีการเชิงตัวเลข โดยการหาระบบสมการพีชคณิตเชิงเส้นจากมุมของพื้นที่รูปสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยม

4.21 สมการทางคณิตศาสตร์ที่คำนวณโดยคอมพิวเตอร์หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ คือ วิธีการ



คำนวณเชิงตัวเลขต่างๆ และภาษาที่ใช้ควบคุมเพื่อแสดงการป้อนข้อมูลและแสดงผลข้อมูล

5. บทสรุปของมาตรฐาน

5.1 แบบจำลองเป็นเครื่องมือที่ใช้เลียนแบบและประเมินปัญหาของน้ำบาดาล แบบจำลองใช้เป็นเครื่องมือในการสำรวจเบื้องต้นก่อนการสำรวจภาคสนามได้ด้วยเพื่อให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นที่คาดว่าจะสำรวจอะไรบ้าง หรืออาจใช้คาดการณ์ล่วงหน้าว่าอะไรอาจเกิดขึ้นในอนาคต นอกจากนี้การประยุกต์ใช้แบบจำลองมีประโยชน์หลายประการ เช่น ด้านพฤติกรรมของการไหลของน้ำหรือเพื่อทดสอบตรวจสอบปัญหาที่อาจจะเกิดในหินอุ้มน้ำ

5.2 แบบจำลองสามารถอธิบายหรือแสดงได้หลายรูปแบบ เช่น การไหลในหินที่มีรูพรุน รอยโพรงหินปูนหรือในรอยแตกของหินการไหลของของเหลวชนิดเดียวหรือของเหลวหลายชนิด (multiphase) มีความแม่นยำและมีวิธีการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบต่างๆ

ส่วนการไหลของของเหลวหลายชนิดพร้อมกันอาจมีของเหลวที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกัน เช่น ของเหลวที่มีความหนาแน่นต่างกัน มีความจำเป็นต้องใช้วิธีการจำลองที่ยู่งยากขึ้นและต้องเลือกใช้แบบจำลองให้เหมาะสม

6. ความสำคัญและการใช้งาน

6.1 การจำลองการไหลของของเหลวผ่านวัตถุตัวกลาง เป็นวิธีการประยุกต์ใช้แบบจำลองและมีการสร้างเครื่องมือที่สามารถช่วยศึกษาปัญหาของน้ำใต้ดินและน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของมวลสารต่างๆ

6.2 การประเมินปัญหาที่มีความยู่งยากมีความจำเป็นต้องใช้แบบจำลองที่มีการแก้ปัญหของสมการเชิงตัวเลขที่ยู่งยากและซับซ้อนขึ้น แต่

ถึงอย่างไรก็ตามปัญหาความสับสน และการประยุกต์ใช้แบบจำลองควรพิจารณาถึงความเป็นไปได้และความเข้าใจในสภาพธรรมชาติ หรือการสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ให้ถูกต้อง

6.3 วัตถุประสงค์ของมาตรฐานนี้ เพื่อจะแนะนำแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการจำลองการไหลของของเหลวและอธิบายถึงวิธีการจำลองและการจำแนกแจกแจงวิธีการจำลอง

6.4 มาตรฐานนี้ควรจะนำมาใช้โดยผู้ปฏิบัติที่มีความรู้ด้านแบบจำลอง หรือประยุกต์ใช้แบบจำลองที่สามารถใช้ได้

7. ประเภทของแบบจำลอง

7.1 การสร้างและขั้นตอนการสร้างแบบจำลองเป็นการอธิบายหรือพรรณนาพฤติกรรมต่างๆ ของแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถทำได้

7.2 แบบจำลองของแหล่งน้ำบาดาล สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การไหลของของเหลวในรอยแตก (non-continuum) เช่น รอยแตกของหินและโพรงในปูน เป็นต้น การไหลของของเหลวสามารถแบ่งออกเป็นการไหลของของเหลวชนิดเดียว (single phase flow) และการไหลของเหลวหลายชนิดพร้อมกัน (multiphase flow) การไหลของของเหลวชนิดเดียว เช่น การไหลของน้ำจืดในชั้นดิน และชั้นหินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated zone) ส่วนการไหลของของเหลวพร้อมกัน อาจมีของเหลวที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกัน เช่น ของเหลวที่มีความหนาแน่นต่างกัน เป็นต้น

7.3 แบบจำลองส่วนใหญ่สามารถจำลองการไหลของน้ำในหินอุ้มน้ำที่มีรูพรุนระหว่างเม็ดแร่ ซึ่งใช้สมการควบคุม (governing equation) ซึ่งมีพื้นฐานจากกฎของดาร์ซี (Darcy's Law) ในบางครั้งการไหลของน้ำผ่านวัตถุตัวกลางที่มีรอยแตกก็อาจใช้การสมมุติเปรียบเทียบกับวัตถุตัวกลางนี้เป็นเสมือนวัตถุตัวกลางที่มีความพรุนระหว่างเม็ดแร่ (equivalent porous media) ถึงอย่างไรก็



ตาม ผู้ประยุกต์ใช้แบบจำลองก็ควรใช้ดุลพินิจตามเหมาะสม เนื่องจากธรรมชาติในการแก้ปัญหาเชิงคณิตศาสตร์อาจจะแตกต่างจากสภาพจริง

7.4 ประเภทของแบบจำลอง แบ่งตามหน้าที่และพฤติกรรมของน้ำและมวลสาร

7.4.1 แบบจำลองที่ใช้จำลองกระบวนการ (process) ประกอบด้วยแบบจำลอง 4 แบบ ได้แก่ แบบจำลองการไหลของของเหลว การเคลื่อนที่ของสารละลาย หรือมวลสาร การเคลื่อนที่ของความร้อน และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัตถุตัวกลาง (Mercer and Faust, 1980)

(1) แบบจำลองการไหลของของเหลว คือ แบบจำลองที่อธิบายหรือคำนวณเกี่ยวกับค่าที่มีตัวแปร เช่น ค่าเฮด (hydraulic head) ความดัน (pressure) หรือศักย์ (potential) ในกรณีที่มีการไหลของของเหลวหลายชนิด (สมการหนึ่งๆ ก็ใช้สำหรับของเหลวชนิดเดียวกัน)

(2) แบบจำลองการแพร่กระจายของมวลสาร (solute transport) เช่น การจำลองการกักสมการการไหลของน้ำร่วมกับการกักสมการการแพร่กระจายหรือความเข้มข้นของมวลสารนั้นๆ ปกติแบบจำลองชนิดนี้จะใช้แก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการกักสารพิษ การจัดการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล การแทรกตัวของน้ำเค็ม หรือการรั่วซึมของตัวกักเก็บใต้ดิน เป็นต้น

(3) แบบจำลองการแพร่กระจายของความร้อน (heat transport) ก็เช่นเดียวกันกับการแพร่กระจายของมวลสาร ต่อจากการกักสมการการไหลของน้ำบาดาล สมการเกี่ยวกับการไหลของของเหลวมักจะเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น และการพาความร้อน แบบจำลองเกี่ยวกับความร้อน มักจะใช้งานในการประเมินปริมาณสำรองของแหล่ง

พลังงานความร้อนและการปนเปื้อนในแหล่งพลังงานความร้อน เป็นต้น

(4) แบบจำลองการเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุตัวกลาง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหินอุ้มน้ำสามารถจำลองร่วมกัน แบบจำลองการไหลที่มีการรวมสมการที่อธิบายถึง แรงกด และแรงเค้น (stress and stain) ของเม็ดแร่ในหิน ใช้ในกรณีศึกษาแผ่นดินทรุด การอัดตัวและทรุดตัวของดิน

7.4.2 ความชัดเจนของแบบจำลอง (model fidelity) การใช้แบบจำลองในการฉายภาพความเป็นจริงในธรรมชาติสามารถทำได้โดยใช้แบบจำลองในการกรอกข้อมูลหรืองานที่จำเป็นใช้แบบจำลองการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ และใช้ในการจำลองระบบของหินอุ้มน้ำและระบบอุทกวิทยา

(1) ใช้ในการกรอกข้อมูลต่างๆ แบบจำลองที่ใช้ศึกษาสภาพทั่วๆ ไป เพื่อศึกษาสภาพทางกายภาพของระบบอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาเท่านั้น เช่น ใช้กรอกข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ ออกแบบจำลองคร่าวๆ หรือแบบจำลองเชิงมโนทัศน์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ

(2) ใช้คำนวณเชิงคณิตศาสตร์ การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการออกแบบเพื่ออนาคตทางสภาพอุทกธรณีวิทยา ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพต่างๆ เช่น การใช้น้ำ การเปลี่ยนแปลงขอบเขตของแหล่งน้ำ พารามิเตอร์บางตัวของระบบ การคำนวณเหล่านี้อาจจะไม่จำเป็นต้องการความแม่นยำสูงมากนัก เช่น ใช้ศึกษาระบบการระบายน้ำ ศึกษาแหล่งเติมน้ำสู่ระบบ หรือการแพร่กระจายของมวลสารบางชนิด

(3) การจำลองระบบหินอุ้มน้ำ เป็นการจำลองระบบอุทกวิทยา เพื่อให้ทราบว่ทั้งระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงอะไรบ้างในที่ต่างๆ และเวลาต่างๆด้วย ดังนั้นจึงต้องการผลความถูกต้องที่สูง



(4) การสร้างแบบจำลอง แบบจำลองสามารถสร้างได้ คือ ทางกายภาพ (physical) การเปรียบเทียบกับไหลของกระแสไฟฟ้า (electrical analog) และคอมพิวเตอร์

(5) แบบจำลองทางกายภาพ (physical model) เช่น ถังที่บรรจุทรายเห็นการไหลของน้ำ มีการเติมสีใช้สารติดและแสดงถึงการไหลของน้ำในสภาพคล้ายในภาคสนาม

(6) แบบจำลองแอนะล็อก แบบจำลองเปรียบเทียบ เช่น การไหลของน้ำศึกษาจากการไหลของกระแสไฟฟ้า

(7) แบบจำลองที่คำนวณเชิงคณิตศาสตร์ เป็นกลุ่มของสมการภายใต้เงื่อนไขหรือข้อสมมติฐานเพื่ออธิบายขบวนการที่เกิดขึ้นภายใต้ผิวดิน

7.4.3 การเตรียมโครงสร้างของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ เช่น แบบจำลองดีเทอร์มิเนติก (deterministic) หรือแบบจำลองเชิงสถิติหรือแบบจำลองรวมทั้งสองวิธี

(1) แบบจำลองดีเทอร์มิเนติกจะได้ผลที่แน่นอน

(2) แบบจำลองเชิงสถิติ (stochastic model) เป็นแบบจำลองที่มีค่าที่นำเข้าแบบสุ่ม ดังนั้นวิธีการหาค่าทางสถิตินำมาคำนวณค่าของพารามิเตอร์ที่มีความไม่แน่นอน และบางครั้งไม่สามารถหาเหตุผลมาอธิบายได้ ดังนั้นแบบจำลองเชิงสถิตินั้นจะให้ผลหรือคำตอบในเชิงช่วงค่าต่างๆ หรือเป็นช่วงหาโอกาสน่าจะเป็นของการกระจายตัวของพารามิเตอร์

(3) แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (mathematical model) แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของระบบทางกายภาพของพื้นที่ใดๆ เริ่มต้นด้วยการสร้างความเข้าใจพฤติกรรมทางกายภาพของ

ระบบน้ำบาดาล ความสัมพันธ์ของเหตุและผลที่ใช้สร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ที่ทำให้ระบบทำงานได้ตลอดสำหรับการไหลของน้ำบาดาลนั้น ปกติจะคำนวณโดยอาศัยพารามิเตอร์ของความแตกต่างในค่าของเฮดต่อระยะทาง (hydraulic gradient) ที่กำหนดทิศทางการไหลของน้ำในกรณีที่ไหลเท่ากันทุกๆ ทิศทาง แต่สำหรับการเคลื่อนที่ของมวลสารที่ละลายในน้ำ มีการละลายและบางครั้งมีการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารเคมีกับน้ำด้วย หรือกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ-เคมี ซึ่งยากต่อการเข้าใจ ดังนั้นความพยายามจะแปลงจากขบวนการทางกายภาพมา เช่น รูปแบบเชิงคณิตศาสตร์ จำเป็นต้องทำให้ง่ายต่อการคำนวณและมีข้อจำกัดที่เหมาะสม และมีการพัฒนามาให้การแก้ปัญหาของตัวแปรต่างๆ ในรูปแบบของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

(4) แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่จะประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์หนึ่งหรือสองวิธีในการแก้สมการอนุพันธ์ เช่น การแก้สมการเชิงวิเคราะห์ และการแก้สมการเชิงตัวเลขหรือวิธีอินทิกรัลขอบเขต (boundary integral)

(5) การแก้สมการ สามารถคำนวณได้โดยตรงให้ผลออกมาอย่างถูกต้อง เช่น สมการของ Theis (ในการสูบน้ำทดสอบน้ำ) ของสมการการไหลที่มีความไม่ยุ่งยาก

(6) แบบจำลองเชิงตัวเลข (numerical model) ในกรณีที่สภาพทางกายภาพของพื้นที่มีความยุ่งยากการแก้สมการจึงจำเป็นต้องใช้การประมาณค่าเชิงตัวเลข (numerical method) ใช้แก้สมการหาพารามิเตอร์ในกรณีขอบเขตของการคำนวณแบบไม่เป็นรูปทรงเลขาคณิต ความแปรผันของค่าพารามิเตอร์ของหินอุ้มน้ำทั้งสถานที่และเวลาต่างๆ รวมทั้งการสูบน้ำออกจากระบบและเติมน้ำด้วย



(7) วิธีการ analytical element method

เป็นวิธีการที่ใช้หลักการแก้สมการ การร่วมกันของวิธีการเชิง analytical

(8) วิธีการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite difference method) แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองการไหลของน้ำบาดาลและการแพร่กระจายของมวลสารมักจะใช้ การแก้ปัญหาของสมการโดยวิธี ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ วิธีการนี้ต้องการแบ่งพื้นที่ออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมเล็กๆ หรือเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ (กรณี 3 มิติ) ความกว้างและหนาอาจแตกต่างกันได้ การกำหนดค่าของพารามิเตอร์อาจจะกำหนดตรงกลางของรูปสี่เหลี่ยม (block-centered) หรือ ตรงเหลี่ยม (mesh-centered)

(9) การกำหนดพารามิเตอร์ตรงกลางของ กริดบล็อก หรือบางครั้งเรียกว่าโนด (node) ซึ่งมีค่าเฮด หรือความเข้มของมวลสารที่สามารถคำนวณได้ ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะมีค่าที่ตลอดความโค้งของกริดบล็อก ขอบเขตของน้ำจะไม่ไหลผ่านตามขอบของกริด และสมการกำหนดค่าของเฮดบนโนดได้ (specified-head boundaries)

(10) การกำหนดพารามิเตอร์ด้านข้าง กริดตำแหน่งจะเป็นจุด (โนด) ที่ตัดกันของเส้นของมุมกริด กรณีนี้การกำหนดขอบเขตด้านข้างจะกำหนดบนโนดเลย

(11) วิธีการไฟไนต์อีลิเมนต์ (finite-element method) การคำนวณด้วยวิธีนี้จะมีความยืดหยุ่นสูงในการออกแบบกริด รูปร่างของพื้นที่อาจแบ่งเป็นรูป 3 เหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมก็ได้ ดังนั้นการคำนวณในกรณีที่ขอบเขตมีความไม่สม่ำเสมอจะแก้ปัญหาได้ดี เช่น กรณีมีแนวรอยเลื่อน (fault zone)

8. ข้อสมมุติฐานของแบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันทุกชนิดสร้างขึ้นโดยอาศัยสมมุติฐานและทำให้สะดวกและง่ายต่อการจำลองซึ่งผลการทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์อาจจะกระทบตัวปัญหาบางประการ ข้อสมมุติฐานอาจเกิดจากการคำนวณหรือ code (โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสภาพของปัญหาบางปัญหา) ดังนั้นความเข้าใจของข้อจำกัดของแบบจำลองและเข้าใจสภาพของปัญหาของพื้นที่ซึ่งมีความสำคัญมากสำหรับผู้ใช้งานแบบจำลอง

9. ชนิดของความผิดพลาด

9.1 ความผิดพลาดจากการตัดค่า (truncation error) การประมาณค่าอนุพันธ์ โดย Taylor series มักต้องตัดค่าน้อยๆ ออกทำให้เกิดค่าผิดพลาดได้

9.2 ความผิดพลาดเนื่องจากปัดทศนิยม (round-off-error) การประมาณค่ามักจะกำหนดขึ้นว่ายอมให้เกิดความผิดพลาดได้เท่าไรจากการประมาณและค่าที่ถูกต้อง

9.3 ความผิดพลาดที่มีการวางแบบจำลองเชิงโมโนทัศน์ผิด การจำลองในกรณีที่สภาพธรรมชาติผิดไปจากความเป็นจริง เช่น จำลอง 2 มิติ แต่สภาพธรรมชาติเป็น 3 มิติ สภาพขอบเขตมีการรั่วซึมของแม่น้ำเข้าออกสู่ระบบเป็นต้น

9.4 ความผิดพลาดจากการแบ่งกริด การแบ่งกริดของแบบจำลองบางชนิดอาจเล็กหรือใหญ่เกินไป ซึ่งทำให้เกิดข้อผิดพลาดของผลการคำนวณได้

9.5 ความผิดพลาดของข้อมูลนำเข้า เช่นค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน สัมประสิทธิ์การกักเก็บหรือการกระจายของเฮด หรือความเข้มข้นของมวลสารหรือคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ไม่ดี หรือ มีน้อยเกินไป ทำให้ผลการคำนวณเกิดความผิดพลาดได้



10. การเขียนรายงาน

10.1 รายงานหลัก วัตถุประสงค์ของการเขียนรายงานจำลองเพื่อจะสื่อสาร และค้นพบสิ่งที่ศึกษาโดยการอธิบายถึงข้อสมมุติฐาน เอกสารที่เกี่ยวข้องที่ใช้ให้ชัดเจน การเขียนรายงานควรจะให้ครบถ้วนด้านเอกสาร เพื่อจะเป็นเครื่องช่วยตัดสินใจสำหรับผู้อ่านหรือผู้ใช้แสดงความคิดเห็นต่อความเชื่อถือของผลการจำลอง

10.2 เอกสารเสริม เอกสารที่ไม่ได้เกี่ยวข้องโดยตรงกับการจำลองอาจต้องมีการเก็บรักษาไว้ในรูปแบบที่ตรงกันได้

11. คำสำคัญ

คำสำคัญ (key words) สำหรับการสืบค้นข้อมูลด้าน การจำลองการไหลของน้ำบาดาลและ

การเคลื่อนที่ของมวลสาร ได้แก่ แบบจำลองคอมพิวเตอร์ (computer model) น้ำบาดาล (groundwater) การจำลอง (simulation)

12. เอกสารอ้างอิง

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2004. Standard Guide for Application of a groundwater flow model to a site-specific problem, D 5447-04 (Re 2004).

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2004. Standard Guide for Subsurface Flow and Transport Modeling, D 5880-95 (Re 2006).

Mercer, J.W., and Faust, C.R., 1980. Ground-Water Modeling: An Overview, Ground-Water, Vol 18, No. 3, pp. 108-115.



มาตรฐาน ทบ ป 3005-2550

การประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล ตามสภาพปัญหาของพื้นที่

มาตรฐาน ทบ ป 3005-2550 เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพน้ำบาดาล (ป) ของ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง "2550" หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้สอดคล้องกับสถานการณ์ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย ⁽ⁿ⁾ เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย ^(l) เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในการจำลอง (boundary conditions) เป็นส่วนสำคัญในการจัดทำแบบจำลองซึ่งมีความสอดคล้องกับสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาและสอดคล้องกับปัญหานั้นๆ มาตรฐานนี้มีขอบเขตงานครอบคลุมการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่เหมาะสมของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล ซึ่งได้อธิบายวิธีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบจำลองและความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล (saturated groundwater flow model)

2. ขอบเขต

2.1 มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์เพื่อใช้แก้ปัญหาตามสภาพปัญหาของพื้นที่

2.2 มาตรฐานนี้ได้อธิบายขั้นตอนหลักในการแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล ที่จำลองการไหลของน้ำบาดาลในระบบชั้นหินอุ้มน้ำจากการสำรวจข้อมูลในภาคสนาม แต่ไม่ครอบคลุมรายละเอียดโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer code) โปรแกรมสำเร็จรูป (software) หรือ ขั้นตอนการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการจำลอง

2.3 การใช้งานของมาตรฐานนี้อยู่ในเงื่อนไขที่มี การจำลองการไหลของน้ำบาดาล ในชั้นอิมิตด้วยน้ำและอุณหภูมิคงที่ ทั้งนี้เพื่อให้เป็นแนวการประยุกต์ใช้ในการออกแบบการจำลองอย่างกว้างๆ ของกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับน้ำบาดาล เช่น การไหลของน้ำในรูพรุนและรอยแตก การไหลของน้ำเนื่องจากความแตกต่างของหนาแน่นในน้ำ การเคลื่อนที่ของมวลสารในน้ำบาดาล และการเคลื่อนที่ของมวลสารแบบหลายสถานะ รายละเอียดต่างๆ ของกระบวนการเหล่านี้ไม่ได้กล่าวถึงในมาตรฐานนี้

2.4 มาตรฐานนี้ไม่ได้รวมการจำลองอีกหลายกรณี เนื่องจากแต่ละการจำลองน้ำบาดาลมีความเป็นแตกต่างและอาจต้องการกระบวนการในการพัฒนาและการประยุกต์ใช้เพิ่มเติม ซึ่งต้องการเพิ่มเติมในส่วนต่างๆ

2.5 มาตรฐานนี้อยู่ในชุดมาตรฐานการจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์และการประยุกต์ใช้

2.6 มาตรฐานนี้ไม่ครอบคลุมถึงความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน หรืออุบัติเหตุใดๆ ที่อาจเกิดขึ้น เป็นความรับผิดชอบของผู้ปฏิบัติงานที่ต้องระมัดระวังและกำหนดระเบียบการทำงานเพื่อความปลอดภัยด้วยตนเอง



2.7 มาตรฐานนี้นำเสนอการจัดการ การเก็บ ข้อมูลอย่างเป็นระบบ หรือกลุ่มทางเลือก ซึ่งไม่ได้ จำเพาะวิธีการลงไป รวมทั้งการแนะนำที่จัดทำขึ้น ไม่ได้รวมทุกสถานการณ์ไว้ เอกสารนี้ไม่สามารถ นำไปใช้ทดแทนความรู้และประสบการณ์ในการจัดทำ แบบจำลอง แต่ควรใช้ร่วมกับการตัดสินใจจาก ผู้เชี่ยวชาญ อาจเพิ่มเติมรายละเอียดนอกเหนือจากที่ ได้กำหนดในเอกสารนี้ได้ตามความเหมาะสม

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3004-2550 การจำลอง การไหลของน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของมวลสาร

3.2 American Society for Testing and Materials (ASTM):

- D 5447-04 Standard Guide for Application of a groundwater flow model to a site-specific problem. (2004)

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 การทวนสอบการประยุกต์ใช้ (application verification) คือ การใช้เซตของค่าพารามิเตอร์และ เงื่อนไขขอบเขต จากการเปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อ การยอมรับข้อมูลชุดที่สองที่วัดจากสนามภายใต้ สภาพทางอุทกวิทยาที่คล้ายคลึงกันว่าเหมาะสม หรือไม่

4.2 การปรับเทียบ (calibration) เป็นกระบวนการ ปรับเทียบค่าให้ละเอียดขึ้น เช่น ค่าพารามิเตอร์ ของหินอุ้มน้ำ ขอบเขต ปรับเทียบค่าที่คำนวณได้ กับ ค่าที่วัดในห้องปฏิบัติการหรือในภาคสนาม

4.3 ความอ่อนไหว (sensitivity) คือ การ ทดสอบผลของแบบจำลองและระดับการเปลี่ยนแปลง ของผลแบบจำลอง โดยการเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ ป้อนเข้าสู่แบบจำลอง เช่น ข้อมูลด้านโครงสร้างทาง

อุทกธรณีวิทยา คุณสมบัติทางชลศาสตร์ และเงื่อนไข ขอบเขตของแบบจำลอง เป็นต้น

4.4 เงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) เป็นการแสดงในเชิงคณิตศาสตร์ของระบบทางกาย ภาพที่สามารถใช้สมการของแบบจำลองเชิง คณิตศาสตร์ได้

4.5 แบบจำลอง (model) เป็นการรวบรวมระบบ แนวคิดที่แก้ปัญหาของตัวแปรต่างๆ เชิงคณิตศาสตร์ และแสดงผลต่างๆ ที่สอดคล้องกับปรากฏการณ์ทาง ธรรมชาติ

4.6 แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล (groundwater flow model) หมายถึง การประยุกต์ใช้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อแสดงถึงการไหลของ ระบบน้ำบาดาลแบบไพศาล (regional) หรือเฉพาะ พื้นที่ (site-specific)

4.7 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (mathematical model) หมายถึง (ก) แบบจำลองที่มีการคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึง ระบบกายภาพและ ประกอบด้วย ข้อสันนิษฐานอย่าง ง่าย (ข) การแสดงผลทางกายภาพ โดยใช้ผลการ คำนวณเชิงตัวเลขที่แสดงถึงพฤติกรรมของระบบและ พอทราบผลความแม่นยำของการคำนวณ

4.8 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (conceptual model) หมายถึง การตีความหรือการอธิบาย ถึงคุณลักษณะ และพลวัต (dynamics) ของระบบทางกายภาพ (physical system) สมรรถนะ

4.9 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer code) คือ วิธีการประมาณค่าเชิงตัวเลข การแก้สมการโดยใช้ คณิตศาสตร์ขั้นสูง ในการป้อนข้อมูลและส่งผลการ คำนวณ พร้อมทั้งแสดงผล



5. สรุปสาระสำคัญ

การจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐาน 7 ขั้นตอน เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถเป็นตัวแทนสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ได้ และการรายงานผลการศึกษแก่ผู้ใช้งาน หรือผู้ที่นำการจำลองไปใช้เพื่อการตัดสินใจ โดยขั้นตอนดำเนินงาน ประกอบด้วย

- 5.1 การกำหนดวัตถุประสงค์การศึกษา
- 5.2 การพัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของพื้นที่
- 5.3 การเลือกใช้โปรแกรมประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ (computer code)
- 5.4 การจัดทำและนำเข้าข้อมูลแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์
- 5.5 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์และวิเคราะห์ความอ่อนไหวแบบจำลอง
- 5.6 จัดทำแบบจำลองเพื่อการคาดคะเน
- 5.7 นำเสนอผลการศึกษาและผลการแบบจำลอง
- 5.8 เสนอแผนการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (post audit)

6 ความสำคัญและการใช้งาน

6.1 องค์กร National Research Council ประเทศสหรัฐอเมริกาได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์สำหรับเป็นเครื่องมือในงานด้านต่างๆ ดังนี้

- 6.1.1 ช่วยในการประเมินสภาพปัญหา
- 6.1.2 ช่วยในการออกแบบหรือการตรวจสอบเพื่อการแก้ไขปัญหาในระบบน้ำบาดาล
- 6.1.3 เพื่อจัดทำแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์และศึกษากระบวนการต่างๆ ในระบบการไหลของน้ำบาดาล

6.1.4 ให้ข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับช่วยการตัดสินใจดำเนินการขั้นต่อไป

6.1.5 ตรวจสอบความจำกัดของข้อมูลและเป็นแนวทางในการจัดเก็บข้อมูลใหม่เพิ่มเติม

6.2 แบบจำลองน้ำบาดาลโดยปกตินำไปใช้งานในการตัดสินใจจัดการด้านทรัพยากรสิ่งแวดล้อมแบบจำลองที่นำมาใช้ประกอบการตัดสินใจนี้จำเป็นต้องดำเนินการตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ และต้องบ่งชี้ระดับความไม่แน่นอนของแบบจำลองที่ใช้ในการตัดสินใจด้วย เอกสารฉบับนี้ได้นำเสนอภาพรวมของการพัฒนา การประยุกต์ใช้ และการจัดทำรายงานของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

6.3 มาตรฐานนี้นำเสนอขั้นตอนการจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาลที่เหมาะสมเพื่อให้เป็นแนวทางในการจัดทำแบบจำลอง ผลของแบบจำลองน้ำบาดาลขึ้นอยู่กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เลือกใช้ ซึ่งอาจใช้วิธีการทางตัวเลข วิธีการเปรียบเทียบ (analytical technique) หรือวิธีการอื่นที่เหมาะสม

6.4 มาตรฐานนี้ควรใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติสำหรับนักจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาล และเป็นแนวทางในการจัดทำแบบจำลองที่ถูกต้องเพื่อประยุกต์ใช้ในกรณีปัญหาต่างๆ

6.5 มาตรฐานนี้เป็นแนวทางและขั้นตอนแบบกว้างในการจัดทำแบบจำลอง ในบางกรณีอาจใช้งานไม่ได้เช่น การจำลองในสภาพพื้นที่โพรงหินปูน หรือน้ำบาดาลในรอยแตกของหิน แต่อย่างไรก็ตามนักจัดทำแบบจำลองควรสามารถยึดหลักการในเอกสารนี้เป็นหลักปฏิบัติเบื้องต้นได้

7. ขั้นตอน

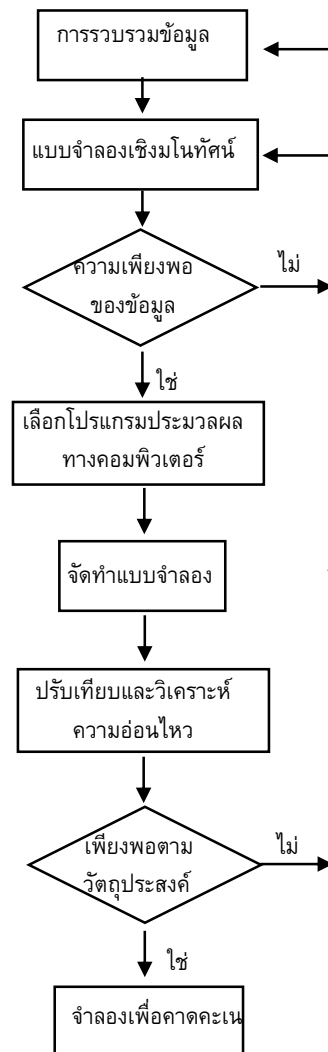
7.1 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ประกอบด้วย การกำหนดวัตถุประสงค์การศึกษา การพัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของพื้นที่ การเลือกใช้โปรแกรมประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ การ



จัดทำและนำเข้าข้อมูลแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์ การปรับเทียบพารามิเตอร์และวิเคราะห์ความอ่อนไหวแบบจำลอง จัดทำแบบจำลองเพื่อการคาดคะเน นำเสนอผลการศึกษาและผลของการจำลอง และ เสนอแผนการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง การดำเนินงานควรปฏิบัติตามขั้นตอนตามลำดับก่อนหลัง แต่อย่างไรก็ตาม เนื้อหาบางส่วนก็มีความคาบเกี่ยวขั้นตอนกัน เช่น ถ้ามีข้อมูลใหม่เพิ่มเติมเข้ามาในการศึกษาควรกลับไปดูที่แบบจำลองเชิงโมเดลของพื้นที่ หรือเมื่อมีปัญหาในการประยุกต์แบบจำลองอาจต้องกลับไปพิจารณาจัดทำแบบจำลองเชิงโมเดลของพื้นที่ปัญหาอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 1

7.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาเป็นขั้นตอนสำคัญในการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำบาดาล เพราะเป็นตัวกำหนดระดับความละเอียดและความถูกต้องของข้อมูลที่ต้องการจากแบบจำลองด้วย วัตถุประสงค์ที่ครอบคลุมและละเอียดสามารถจะจงบ่งชี้การจัดทำแบบจำลองได้อย่างเหมาะสม

7.3 การอธิบายคุณลักษณะและกลไกของระบบอุทกธรณีวิทยา แบบจำลองเชิงโมเดลการไหลของน้ำบาดาลและระบบอุทกธรณีวิทยาเป็นการแปลความหมาย การอธิบายคุณลักษณะและกลไกของระบบอุทกธรณีวิทยา ซึ่งแสดงลักษณะของพื้นที่อุทกธรณีวิทยาเชิงภูมิภาค (regional hydrogeology) และกลุ่มข้อมูลอุทกวิทยาในเชิงปริมาณ การจัดทำแบบจำลองเชิงโมเดลต้องการข้อมูลการสำรวจภาคสนามของข้อมูลอุทกธรณีวิทยาและอุทกวิทยาของระบบชั้นหินอุ้มน้ำ



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์
(ดัดแปลงจาก ASTM D 5447-04, 2004)



แบบจำลองเชิงมโนทัศน์เป็นส่วนสำคัญในการอธิบายลักษณะทางกายภาพของระบบอุทกธรณีวิทยา ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา ประเภทของวัตถุพูน (เป็นแบบมีรอยแตกหรือช่องว่างในเนื้อหิน) กระบวนการทางกายภาพและเคมี คุณสมบัติทางชลศาสตร์ การเติมน้ำหรือการสูญเสียน้ำจากระบบ (water budget) องค์ประกอบของแบบจำลองเชิงมโนทัศน์อาจอธิบายไว้แยกกันหรืออยู่แยกบทในรายงานของการจัดทำแบบจำลองได้ แต่ต้องมีการแสดงด้วยภาพประกอบอย่างชัดเจน เช่น แผนที่แสดงเส้น contour ภาพตัดขวาง และ block diagram เป็นต้น

7.4 การเลือกโปรแกรมการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ เป็นกระบวนการเลือกโปรแกรมที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพในการจำลองลักษณะทางกายภาพของระบบอุทกธรณีวิทยา โดยการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ หรือเทคนิคการวิเคราะห์อื่นๆ ซึ่งให้ผลการจำลองที่ได้สอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของพื้นที่ โปรแกรมการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ที่เลือกใช้ต้องผ่านการทดสอบสำหรับการใช้งานตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการและมีเอกสารที่จัดทำไว้เป็นอย่างดี ปัจจัยอื่นๆที่นำมาใช้พิจารณาในกระบวนการตัดสินใจร่วมด้วย เช่น ประสบการณ์ของผู้ชำนาญการวิเคราะห์แบบจำลอง โครงสร้างของแบบจำลอง ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของกระบวนการจัดทำแบบจำลอง เช่น มิติพื้นที่ของการจำลอง โปรแกรมการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ที่เลือกต้องมีประสิทธิภาพและความสามารถด้านมิติสอดคล้องกับแบบจำลองที่จัดทำ และโปรแกรมประมวลผลต้องมีการอธิบายหรือพิสูจน์ว่ามีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่เลือกใช้ในการศึกษาและจัดทำแบบจำลอง

7.5 การจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล เป็นกระบวนการถ่ายโอนข้อมูลจากแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงมโนทัศน์ไปยังแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองน้ำการไหลของน้ำบาดาลประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ กลุ่มของข้อมูลและโปรแกรมประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ กระบวนการจัดทำแบบจำลองเป็นการสร้างกลุ่มของข้อมูลสำหรับโปรแกรมประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ องค์ประกอบพื้นฐานของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล ประกอบด้วย มิติของการจำลอง การแบ่งพื้นที่เพื่อการคำนวณ เงื่อนไขขอบเขต เงื่อนไขเริ่มต้น และคุณสมบัติทางชลศาสตร์ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

7.5.1 มิติเชิงพื้นที่ เป็นการกำหนดพื้นที่ในการจัดทำแบบจำลอง พื้นที่การจำลองขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษาและสภาพธรรมชาติของระบบการไหลของน้ำบาดาล ยกตัวอย่างเช่น การจำลองที่กำหนดให้พื้นที่จำลองอยู่ในรูปแบบ 1 มิติ อาจใช้เป็นการตัวอย่างง่ายในการตรวจสอบหรือเปรียบเทียบแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ การกำหนดแบบจำลองในรูปแบบ 2 มิติในแนวระนาบอาจใช้จำลองในกรณีที่มีค่าความลาดทางชลศาสตร์ของน้ำบาดาล (hydraulic gradient) ในแนวตั้งน้อย และการจำลองแบบ 2 มิติ ตามภาพตัดขวางหรือ 3 มิติมีความเหมาะสมในกรณีลักษณะอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่มีค่าความลาดทางชลศาสตร์ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือระบบการไหลของน้ำบาดาลมีหน่วยหินอุ้มน้ำหลายหน่วยหิน การจำลองแบบคล้ายรูปแบบ 3 มิติ (quasi-three dimension) เหมาะสมในการจำลองกรณีที่หน่วยหินกั้นน้ำ (aquicard) บางหน่วยหิน ในพื้นที่ไม่ชัดเจนต้องประมาณการโดยกำหนดให้มีการรั่วซึมของน้ำบาดาลในระบบ

7.5.2 มิติเวลา เป็นการเลือกกำหนดเวลาในการจำลองการไหลของน้ำบาดาลระหว่างการจำลองสถานะเวลาคงที่ (steady state) หรือการจำลองสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลา (transient state) การจำลองสถานะเวลาคงที่ที่ต้องการข้อมูลที่ระบบน้ำ



บาดาลมีความสมดุลหรือคงที่ ซึ่งเมื่อจำลองแล้วให้ผลการจำลองที่ได้เป็นกรณีเฉลี่ยหรือผลในระยะยาวของสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ ส่วนการจำลองกรณีการไหลของน้ำบาดาลเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยทั่วไปดำเนินการโดยใช้เงื่อนไขขอบเขตของการจำลองเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลาหรือวัตถุประสงค์ของการศึกษาต้องการคำตอบที่มากกว่าหนึ่งช่วงเวลา

7.5.3 การแบ่งพื้นที่หรือกริดบล็อกที่ใช้ในการคำนวณของแบบจำลอง เป็นขั้นตอนสำคัญอย่างมากในกระบวนการจัดทำแบบจำลองน้ำบาดาล โดยทั่วไปการแบ่งพื้นที่ทำให้ได้จุดคำนวณ (model node) เพื่อใช้ในการคำนวณ ยิ่งแบ่งพื้นที่ให้มีขนาดเล็กจุดคำนวณที่ได้มีจำนวนมากความถูกต้องในการแก้สมการควบคุมยิ่งมีมาก แต่ในทางปฏิบัติการแบ่งพื้นที่ให้มีขนาดเล็กทำให้จุดคำนวณมีจำนวนมากและเป็นข้อจำกัดในการจำลองได้ อย่างไรก็ตามการจำลองที่ทำให้จุดในการคำนวณน้อยแต่มีผลการจำลองที่น่าเชื่อถือสามารถดำเนินการได้โดยการแบ่งพื้นที่เฉพาะบริเวณที่สนใจให้มีขนาดเล็ก การออกแบบกริดการจำลองน้ำบาดาลควรคำนึงถึงตำแหน่งของจุดในการคำนวณให้ใกล้เคียงกับตำแหน่งบ่อที่เป็นบ่อสูบน้ำในพื้นที่ ขอบด้านข้างของแบบจำลอง ความถูกต้องของเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการจำลองและหลีกเลี่ยงการแบ่งระยะของการกริดที่อยู่ใกล้เคียงให้มีช่วงระยะของกริดที่แตกต่างกันมากเกินไป

7.5.4 การแบ่งเวลาในการจำลอง เป็นการเลือกขนาดหรือตัวเลขในขั้นเวลา (time step) สำหรับช่วงเวลาที่ใช้ในการจำลองกรณีจำลองการไหลของน้ำบาดาลสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา การเลือกขั้นเวลาหรือช่วงเวลาที่มีผลให้การคำนวณมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด สามารถเลือกช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในเงื่อนไขขอบเขตของการจำลอง การเลือกขั้นเวลาที่มีขนาดแคบใช้สำหรับ

ตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำลองในเวลาเปลี่ยนแปลงในช่วงใกล้เคียงขึ้น บางแบบจำลองได้จำกัดขนาดกว้างสุดของขั้นเวลาเอาไว้ด้วยเพื่อให้แบบจำลองมีเสถียรภาพของการคำนวณเชิงตัวเลข

7.5.5 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของการจำลอง หมายถึง การกำหนดชนิดของเงื่อนไขขอบเขตลงไปตำแหน่งต่างๆ บนขอบเขตพื้นผิวของระบบชั้นหินอุ้มน้ำ รวมทั้งเงื่อนไขการสูบน้ำและเติมน้ำเข้าสู่ระบบน้ำด้วย เงื่อนไขขอบเขตประกอบด้วย 5 ชนิด ได้แก่ ขอบเขตแบบกำหนดเฮดชลศาสตร์ (Dirichlet) ขอบเขตแบบกำหนดอัตราการไหล (Neumann) ขอบเขตแบบกำหนดเฮดชลศาสตร์ขึ้นอยู่กับกริดการไหล (Cauchy Type) ขอบเขตพื้นผิวแบบอิสระ และขอบเขตพื้นผิวที่น้ำไหลซึมขึ้น แบบจำลองเกือบทั้งหมดกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองตามขอบเขตธรรมชาติในระบบอุทกธรณีวิทยา แต่การจำลองจำเป็นต้องกำหนดขอบเขตพื้นที่ที่แน่นอน มีผลให้ไม่สามารถกำหนดขอบเขตตามเงื่อนไขตามสภาพอุทกธรณีวิทยาได้ การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบไม่เป็นไปตามสภาพธรรมชาติของพื้นที่การจำลองจึงไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ การกำหนดขอบเขตเหล่านี้ต้องอยู่ห่างจากพื้นที่เป้าหมายของการจำลอง อีกทั้งต้องไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้แบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ ผลกระทบของขอบเขตที่ไม่เป็นไปตามสภาพธรรมชาติควรถูกตรวจสอบและมีรายละเอียดในรายงานของแบบจำลองด้วย

7.5.6 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น เป็นการกำหนดค่าแรงดันระดับน้ำบาดาลไว้ในแต่ละจุดการคำนวณ ที่เวลาเริ่มต้นของการคำนวณแบบจำลองกรณีจำลองการไหลของน้ำบาดาลสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลาเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นจุดเริ่มต้นของการคำนวณ ดังนั้นความถูกต้องของเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นสิ่งจำเป็นในการทำให้ผลการคำนวณในขั้นเวลาถัดไปมีความ



ถูกต้องไปด้วย เงื่อนไขเริ่มต้นของการจำลองกรณีสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลาอาจใช้ผลการจำลองกรณีสภาวะคงที่เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นได้ แต่เงื่อนไขเริ่มต้นของการจำลองแบบสภาวะคงที่ไม่จำเป็นที่เงื่อนไขเริ่มต้นต้องมีความถูกต้องเสมอไป

7.5.7 คุณสมบัติทางชลศาสตร์ในแบบจำลอง แต่ละจุดการคำนวณในแบบจำลองต้องกำหนดค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของตำแหน่งนั้นๆ ลงไป ซึ่งแบบจำลองชนิดต่างๆ มีความต้องการคุณสมบัติทางชลศาสตร์ที่ต่างกัน เช่น แบบจำลองเชิงวิเคราะห์ (analytical model) ต้องการการกำหนดค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ที่มีลักษณะแบบเนื้อเดียวกันตลอด ค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (hydraulic conductivity) ในแนวราบและตั้ง (หรือค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ) และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำของหน่วยหินอุ้มน้ำ ค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ที่กำหนดในแบบจำลองขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยาและข้อมูลการทดสอบหน่วยหินอุ้มน้ำที่ได้ การกำหนดคุณสมบัติทางชลศาสตร์ในพื้นที่กว้างคล้ายคลึงกับสภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ เทคนิคทางธรณีสถิติที่ใช้ในการกำหนดค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ในแบบจำลองเมื่อมีข้อมูลปริมาณมากพอปกติใช้วิธี Kriging

7.6 การเปรียบเทียบแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล เป็นกระบวนการปรับพารามิเตอร์ของการจำลอง, เงื่อนไขขอบเขต, และเงื่อนไขเริ่มต้น ให้อยู่ในช่วงค่าพารามิเตอร์ที่เป็นไปได้ โดยได้ผลการจำลอง คือ อัตราการไหล และค่าเฮดชลศาสตร์ของตำแหน่งต่างๆ สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการสังเกตการณ์ในภาคสนาม ช่วงค่าพารามิเตอร์ที่เป็นไปได้และเงื่อนไขขอบเขตให้เป็นไปตามแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ในกรณีที่พารามิเตอร์ต่างๆ มีข้อมูลที่ครบถ้วนทั้งจากการสังเกตการณ์ในภาคสนาม ช่วงของการเปลี่ยน

แปลงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองควรครอบคลุมตามที่ได้ทำการตรวจวัดในภาคสนาม ระดับความสอดคล้องของผลการจำลองกับข้อมูลภาคสนามควรบ่งบอกในเชิงปริมาณโดยใช้เทคนิคทางสถิติ รายละเอียดของการเปรียบเทียบการจำลอง มีดังนี้

7.6.1 การเปรียบเทียบแบบจำลองโดยส่วนมากใช้การปรับค่าพารามิเตอร์ของการจำลองซึ่งตรวจวัดจากภาคสนามแบบลองผิดลองถูก เทคนิคการคำนวณแบบย้อนกลับ (inverse techniques) ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง การเปรียบเทียบแบบจำลองดำเนินการจนกระทั่งผลการจำลองที่ได้ตรงกับระบบอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ โดยระดับการยอมรับขึ้นกับอยู่วัตถุประสงค์ของการศึกษา

7.6.2 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของการจำลอง ประเมินจากการวิเคราะห์ผลต่างของค่าเฮดชลศาสตร์ระหว่างค่าที่ได้จากการสังเกตการณ์ในภาคสนามและการจำลอง ทั้งนี้อาจตรวจสอบผลการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าเฉลี่ยผลต่างค่าเฮดชลศาสตร์ที่เข้าใกล้ศูนย์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้ค่าน้อยที่สุด การตรวจสอบทางสถิติและการแสดงภาพการกระจายของผลต่างค่าเฮดชลศาสตร์และนำเสนอการเปรียบเทียบแบบจำลองในรายงาน การเปรียบเทียบที่ดีควรจัดทำแบบแผนการเปรียบเทียบโดยเรียงลำดับพารามิเตอร์ที่เปรียบเทียบก่อนและหลังตามขั้นตอนการจำลองให้ชัดเจนตั้งแต่เริ่มต้น

7.6.3 การเปรียบเทียบการจำลองบ่อยครั้งเป็นเหตุให้ต้องแก้ไขหรือจัดทำแบบจำลองใหม่ โดยการแก้ไขที่ดำเนินการต้องย้อนกลับไปเปลี่ยนหรือปรับรายละเอียดของแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (ดังรูปที่ 1) ซึ่งผู้จัดทำแบบจำลองต้องตรวจสอบให้แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ใหม่เป็นตัวแทนของลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาที่ดีขึ้นกว่าเดิม

7.6.4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์การจำลองมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งใน



กระบวนการเปรียบเทียบแบบจำลอง โดยทำให้ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่ได้มีความชัดเจนและทำให้ชุดข้อมูลพารามิเตอร์ของแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวเป็นการใช้เทคนิคคำนวณย้อนกลับเข้ามาปรับพารามิเตอร์ของการจำลอง

7.6.5 การเปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลสนามชุดเดียวไม่สามารถรับรองให้แบบจำลองเป็นแบบ unique solution ได้ ควรแก้ปัญหานี้โดยการให้แบบจำลองคำนวณเปรียบเทียบข้อมูลภาคสนามชุดอื่นเพิ่มเติม ทั้งนี้ข้อมูลที่นำมาใช้เพิ่มเติมควรมีเงื่อนไขขอบเขตที่แตกต่างกันหรือมีสภาพการใช้น้ำจากระบบน้ำบาดาลที่ต่างกัน กระบวนการนี้คือการทวนสอบ (validation หรือ verification) แบบจำลอง การสอบทวนและการเปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้กลุ่มของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามที่สภาวะการสูบน้ำจากระบบน้ำบาดาลที่แตกต่างกัน ผลการจำลองที่ได้เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ตรวจวัดจากภาคสนามเป็นตัวกำหนดระดับความถูกต้องของแบบจำลอง ถ้าการเปรียบเทียบไม่ตรงกัน การเปรียบเทียบแบบจำลองหรือการรวบรวมข้อมูลจำเป็นต้องดำเนินการเพิ่มเติม แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลที่ผ่านการสอบทวนทำให้การประยุกต์ใช้เพื่อการพยากรณ์มีความเชื่อมั่นสูงขึ้น แบบจำลองที่ผ่านการเปรียบเทียบแต่ไม่ได้สอบทวนอาจนำไปใช้ในการจำลองเพื่อการพยากรณ์ได้ แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่ใช้เพื่อการพยากรณ์นั้นต้องทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวอย่างละเอียดด้วย

7.7 วิเคราะห์ความอ่อนไหวของการจำลอง เป็นวิธีการคำนวณเชิงปริมาณที่บ่งชี้ผลกระทบของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองโดยตรวจสอบจากผลการจำลอง เป้าหมายของการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของการจำลองคือประเมินหาความไม่แน่นอนของ

แบบจำลองที่ผ่านการเปรียบเทียบแล้ว โดยทำการตรวจสอบความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ของหน่วยหินอุ้มน้ำ สภาพการใช้น้ำในระบบ และเงื่อนไขขอบเขตของการจำลอง การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของการจำลองทำให้ผู้จัดทำแบบจำลองเข้าใจระดับความมั่นใจในผลของการจำลองที่ได้และความไม่พอเพียงของข้อมูลที่ใช้ในการจำลอง การวิเคราะห์ความอ่อนไหว มีดังนี้

7.7.1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวสามารถดำเนินการในช่วงที่ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองหรือในช่วงการวิเคราะห์แบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวในช่วงการเปรียบเทียบแบบจำลองนำแบบจำลองที่ผ่านการเปรียบเทียบแล้วมาทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ของการจำลอง ซึ่งทำให้ทราบพารามิเตอร์หลักสำคัญหรือเงื่อนไขขอบเขตที่ส่งผลกระทบต่อผลของแบบจำลอง และการวิเคราะห์ความอ่อนไหวในช่วงแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ถูกนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบของพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าแน่นอนต่อผลของการจำลอง

7.7.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวพารามิเตอร์ของแบบจำลองเป็นการแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าของแต่ละพารามิเตอร์ที่เลือกในการคำนวณต่อผลการจำลองที่เปลี่ยนแปลงโดยถ้ากำหนดให้พารามิเตอร์หรือเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองมีการเปลี่ยนแปลงค่าเล็กน้อยแต่มีผลกระทบให้ผลการจำลองเปลี่ยนแปลงมาก ดังนั้นแบบจำลองจึงมีความอ่อนไหวต่อพารามิเตอร์หรือเงื่อนไขขอบเขตนั้น

7.8 การประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำบาดาล ในแต่ละพื้นที่หรือแต่ละปัญหา บ่อยครั้งที่ใช้แบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ ซึ่งเป็นการใช้เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพอุทกธรณีวิทยาแต่ละกรณีตามวัตถุประสงค์การศึกษา การจัดทำรายงานต้องแสดงใน



รูปภาพหรือคำอธิบายที่เหมาะสมในรายงานแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์

เงื่อนไขขอบเขตของการจำลองที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองอาจไม่เหมาะสมในการจำลองเพื่อการพยากรณ์ ดังนั้นอาจต้องกลับไปตรวจสอบจากข้อมูลการไหลของน้ำบาดาลที่มีอยู่หรือสภาวะการไหลของน้ำบาดาลในอดีตเพื่อตรวจสอบเงื่อนไขขอบเขตแบบจำลองอีกครั้ง ถ้าการจำลองอยู่ภายใต้สภาวะที่มีใช้น้ำบาดาลปริมาณมากหรือตำแหน่งการใช้ น้ำจากระบบน้ำบาดาลที่เพิ่มเติมเข้ามาในแบบจำลองอยู่บริเวณเดียวกับเงื่อนไขขอบเขตของการจำลอง การวิเคราะห์อ่อนไหวของการพยากรณ์จากเงื่อนไขขอบเขตแบบจำลองที่ใช้เป็นสิ่งที่ต้องดำเนินการ ซึ่งอาจทำให้เกิดการทวนซ้ำในกระบวนการจัดทำแบบจำลองเพื่อให้แบบจำลองที่ได้มีความสอดคล้องกับสภาพธรรมชาติ

7.9 การประยุกต์ใช้แบบจำลองในกรณีการพยากรณ์ การจัดทำแบบจำลอง post audit ควรดำเนินการเพื่อให้แบบจำลองที่ได้มีความถูกต้องในการพยากรณ์ ส่วนการเปรียบเทียบการจำลองและการสอบทานทำให้แบบจำลองที่ได้มีความถูกต้องในกรณีพฤติกรรมในอดีตของระบบบาดาล การทดสอบ post audit ทำให้แบบจำลองที่ได้พยากรณ์พฤติกรรมของน้ำบาดาลในอนาคตได้ post audit ควรดำเนินการหลังจากส่งรายงานของแบบจำลองในอีกหลายปีถัดมา และจัดทำเป็นรายงานแยกต่างหากออกมาด้วย

8. การจัดทำรายงาน

การจัดทำรายงาน มีเป้าหมายเพื่อนำเสนอผลการดำเนินงาน กระบวนการจัดทำและสมมติฐานที่ใช้ในการศึกษา และให้ข้อมูลรายละเอียดสำหรับตรวจสอบงานได้ รายงานควรเป็นเอกสารที่สมบูรณ์เพียงพอให้ข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาและการตัดสินใจสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องการศึกษาไปใช้ โดยสามารถ

ประเมินและทำความเข้าใจด้วยตนเองได้ ผู้จัดทำแบบจำลองสามารถนำเสนอผลการจำลองที่ได้โดยมีอิสระ และรายงานควรมีรายละเอียดที่เพียงพอ โดยมีองค์ประกอบและอธิบายเนื้อหา ดังนี้

(1) บทนำ

(1.1) ความสำคัญและความเป็นมา

(1.2) วัตถุประสงค์ของการศึกษา

(2) แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

(2.1) โครงสร้างของระบบหน่วยหินอุ้มน้ำ

(2.2) ระบบการไหลของน้ำบาดาล

(2.3) ขอบเขตทางอุทกวิทยา

(2.4) การสูบน้ำและการเติมน้ำสู่ระบบน้ำ

บาดาล

(2.5) สมดุลน้ำ

(3) โปรแกรมประมวลผลทางคอมพิวเตอร์

(4) การจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำ

บาดาล

(5) การเปรียบเทียบ

(6) การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการพยากรณ์

(7) สารสำคัญและสรุป

(8) เอกสารอ้างอิง

9. คำสำคัญ

คำสำคัญ (key words) สำหรับการสืบค้นข้อมูลด้านการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลตามสภาพปัญหาของพื้นที่ ได้แก่แบบจำลองคอมพิวเตอร์ (computer model) น้ำบาดาล (groundwater) การจำลอง (simulation)

10. เอกสารอ้างอิง

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2004. Standard Guide for Application of a groundwater flow model to a site-specific problem, D 5447-04 (Re 2004).



มาตรฐาน ทบ ป 3006-2550

การเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาล

มาตรฐาน ทบ ป 3006-2550 เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล (ป) ของ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง “2550” หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้สว่างเลืบท่อยและระบุ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย ⁽¹⁾ เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย ⁽¹⁾ เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

มาตรฐานการเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลมีวัตถุประสงค์ มีกำหนดวิธีการขอบเขต และขั้นตอนในการเปรียบเทียบผลของพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ทั้งการเปรียบเทียบจากข้อมูลในอดีต การปรับค่าตัวแปรที่นำเข้าสู่ระบบ และการปรับเทียบอัตโนมัติ

2. ขอบเขต

2.1 มาตรฐานนี้ครอบคลุมเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาล โดยกระบวนการเปรียบเทียบกับข้อมูลในอดีต (matching historical data) ซึ่งเป็นขั้นตอนก่อนการทำนายผลในอนาคต

2.2 ขั้นตอนการปรับเทียบเป็นกระบวนการปรับค่าของการจำลองให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดมากที่สุด ทั้งสภาพอุทกธรณีวิทยา พารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ และเงื่อนไขขอบเขต เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างผลการจำลองกับค่าที่วัดได้จากสภาพจริงในธรรมชาติ

2.3 แบบจำลองการไหลมักใช้วิธีเปรียบเทียบแบบลองผิดลองถูกหรือการใช้วิธีปรับค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติหรือวิธีย้อนกลับ ซึ่งมาตรฐานนี้เสนอวิธีการปรับเทียบทั้งสองวิธี

2.4 วิธีปรับเทียบในมาตรฐานนี้สามารถนำไป

ประยุกต์เพื่อใช้ในแบบจำลองชนิดอื่น ๆ ได้ เช่น แบบจำลองการไหลของของเหลวที่มีหลายสถานะ การไหลของน้ำในรอยแตก และการจำลองการเคลื่อนที่มวลสารในน้ำบาดาล ตามความเหมาะสม

2.5 มาตรฐาน ทบ ป 3005-2550 นำเสนอขั้นตอนการใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล สมการคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาเฉพาะพื้นที่ การปรับเทียบเป็นขั้นตอนหนึ่งในนั้น มาตรฐานอื่นๆ ที่ใช้ในการเตรียมสร้างแบบจำลอง เช่น มาตรฐาน ทบ ป 3003-2550 ทบ ป 3007-2550 ทบ ป 3008-2550 ทบ ป 3002-2550 และ ทบ ป 3004-2550

2.6 มาตรฐานนี้ไม่ได้มีวัตถุประสงค์กล่าวถึงความปลอดภัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ถ้าหากมีความปลอดภัยใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้มาตรฐานนี้จะเป็นความรับผิดชอบของผู้ใช้มาตรฐานนี้ในการกำหนดความปลอดภัยที่เหมาะสม และแนวทางการปฏิบัติด้านสุขภาพ และการกำหนดข้อปฏิบัติในการประยุกต์ในการกำหนดขอบเขตก่อนการใช้มาตรฐาน

2.7 มาตรฐานนี้เสนอการรวบรวมวิธีการจัดการรวบรวมข้อมูลหรือชุดทางเลือกต่างๆ และไม่แนะนำแนวทางเฉพาะในการนำไปใช้ เอกสารนี้ไม่สามารถทดแทนการศึกษาหรือประสบการณ์และควรใช้ร่วมกับการแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ หลักเกณฑ์ในมาตรฐานนี้ไม่



สามารถประยุกต์ใช้ได้กับทุกๆ สถานการณ์ได้ มาตรฐานนี้ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ที่ใช้หรือทดแทน มาตรฐานใดที่ดูแลโดยผู้เชี่ยวชาญ หรือไม่ควรนำ เอกสารนี้ไปประยุกต์ใช้โดยขาดการพิจารณาถึง ลักษณะเฉพาะด้านต่างๆ ของโครงการ

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3003-2550 การ กำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองการไหล ของน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3005-2550 การ ประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลตาม สภาพปัญหาของพื้นที่

- มาตรฐาน ทบ ป 3007-2550 การ วิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่ใช้ใน แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3008-2550 การ จัดทำรายงานผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองการ ไหลของน้ำบาดาล

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 การจำลอง (simulation) ในการจำลอง การไหลของน้ำบาดาล ต้องใช้โปรแกรม คอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองการไหลของ น้ำบาดาล รวมถึงข้อมูลที่นำเข้าและผลลัพธ์ที่ได้

4.2 การปรับเทียบ (calibration) เป็น กระบวนการปรับปรุงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ยังไม่มี ความชัดเจน เพื่อเป็นตัวแทนของระบบ เช่น ค่า คุณสมบัติทางชลศาสตร์ และเงื่อนไขขอบเขต แบบจำลอง

4.3 การปรับเทียบค่าความสูงของระดับน้ำ หรืออัตราการไหล และความคลาดเคลื่อนที่เกิดจาก การวัด ส่งผลต่อการนำแบบจำลองไปใช้ ผลของ

แบบจำลอง ที่อิงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของพารามิเตอร์ ที่สำคัญของพื้นที่นั้นๆ

4.4 การปรับเทียบโดยวิธีย้อนกลับ (inverse method) เป็นการหาพารามิเตอร์อิสระ โดยอาศัยค่าตัว แปรที่ถูกควบคุม (dependent variables)

4.5 การปรับเทียบพารามิเตอร์จากผลการจำลอง ระหว่างพารามิเตอร์ที่คำนวณโดยแบบจำลองกับ พารามิเตอร์ที่วัดในสภาพธรรมชาติ

4.6 การปรับเทียบมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับเทียบ พารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ โดยนำผลการคำนวณมา ปรับเทียบกับการค่าที่ได้จากการวัด

4.7 การสอบทานการประยุกต์ใช้ของแบบจำลอง ชนิดนั้นๆ หมายถึง การเปรียบเทียบผลของแบบจำลอง ที่จำลองโดยใช้ข้อมูลชุดเดียวกับแบบจำลองอย่างน้อย 2 ชนิดขึ้นไป และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของ แบบจำลองอื่นๆ ว่ามีสิ่งสำคัญในการจำลองที่ใช้อยู่ต้อง ปรับปรุงแก้ไข โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการคำนวณหรือแก้ สมการในการคำนวณตัวแปรต่างๆ เป็นต้น

4.8 การสอบทานสมการทางคณิตศาสตร์ถูกนำมา ใช้ในพิจารณาเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง โดยใช้การ ทดสอบผ่านซอฟต์แวร์ การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ และการเปรียบเทียบสมการอื่นๆ ที่สอดคล้องกัน เพื่อ ตรวจสอบให้เห็นจริง ทั้งนี้ต้องเป็นไปตามหลักพื้นฐาน ทางคณิตศาสตร์

4.9 ความชัดเจน (fidelity) คือ ระดับของการประยุกต์ ใช้แบบจำลองถูกออกแบบให้มีความคล้ายคลึงกับระบบ ทางอุทกธรณีวิทยากายภาพ

4.10 ความอ่อนไหว (sensitivity) การตรวจวัดช่วง ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ ส่งผลถึงผลการ คำนวณค่าต่างๆ เช่น ขอบเขตและพารามิเตอร์ของหิน

4.11 ค่าความแตกต่างระหว่างค่าจากการคำนวณ และค่าที่ได้จากการวัด หรือผลต่าง (residual) เปลี่ยนแปลงตามสถานที่และเวลา



4.12 คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดินและหินที่สำคัญ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (hydraulic conductivity) ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (transmissivity) อัตราการรั่วซึม (leakance) สัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ (specific storage) และอัตราการให้น้ำจำเพาะ (specific yield) ของหินอุ้มน้ำ

4.13 แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล (groundwater flow model) เป็นแบบจำลองที่คำนวณค่าของเขตและอัตราการเร็วของน้ำบาดาล โดยใช้วิธีการแก้สมการเชิงตัวเลข

5. สรุปใจความสำคัญของมาตรฐาน

ขั้นตอนในการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลประกอบด้วย การสร้างเป้าหมายการเปรียบเทียบ และข้อเกี่ยวข้องอื่น ๆ ในส่วนที่ยอมรับได้และผลต่างในแง่สถิติ (residual statistics) (ดู ข้อ 7) จากนั้นทำการกำหนดหรือระบุพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ (ดู ข้อ 8) และท้ายสุดทำการเปรียบเทียบการเปรียบเทียบกับข้อมูลในอดีต (history matching) (ดู ข้อ 9) ซึ่งสามารถทำได้โดยวิธีลองผิดลองถูก (trial-and-error) เพื่อให้ได้การปรับแก้อย่างรวดเร็วของแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับสภาพอุทกธรณีของพื้นที่ศึกษา หลังจากนั้นใช้วิธีเปรียบเทียบที่ต้องการลองผิดลองถูก และ/หรือใช้วิธีปรับค่าพารามิเตอร์อินเวิร์สแบบวิธีย้อนกลับ (inverse method) เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงมากที่สุด

6. ความสำคัญและการใช้งาน

6.1 การจำลองการไหลของน้ำบาดาลสำหรับพื้นที่เฉพาะควรทำการเปรียบเทียบก่อนการนำแบบจำลองไปใช้ในการทำนายพารามิเตอร์

6.2 ระหว่างที่ทำการเปรียบเทียบ ค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์อาจไม่ตรงตามค่าความเป็นจริง หรือ

มีความเป็นไปได้ดังนี้ แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของพื้นที่ศึกษามีความจำเป็นต้องทบทวนหรือสร้างขึ้นใหม่ รวมทั้งตรวจสอบคุณภาพข้อมูลที่ใช้ในการสร้างเป้าหมายการเปรียบเทียบ เช่น บางครั้งขั้นตอนการจำลองอาจส่งผลที่ผิดพลาดได้

6.3 มาตรฐานนี้ เป็นการแนะนำวิธีการต่างๆ ในการเปรียบเทียบของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล ซึ่งวิธีการแต่ละอย่างอาจเหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ บางวิธีสามารถยกเว้น เปลี่ยนแปลง หรือมุ่งเน้นในการนำไปใช้

7. การสร้างเป้าหมายการเปรียบเทียบ

7.1 เป้าหมายการเปรียบเทียบ (calibration target) คือ ค่าที่ดีที่สุดที่ประมาณได้จากแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลของระดับน้ำ หรืออัตราการไหลของน้ำบาดาล การประมาณค่าของเป้าหมายเปรียบเทียบ และค่าผลเหลือที่ยอมรับได้ หรือ residual statistics ขึ้นอยู่กับระดับความถูกต้องที่ตั้งไว้สำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลองแต่ละพื้นที่ รวมทั้งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษา เมื่อเทียบระหว่างแบบจำลองที่มีระดับความถูกต้องต่ำกับระดับความถูกต้องสูง แล้ว แบบจำลองที่ต้องการระดับความถูกต้องต่ำใช้เป้าหมายเปรียบเทียบที่น้อยกว่า และมีค่าผลเหลือที่สูงกว่า แบบจำลองที่ต้องการระดับความถูกต้องสูง

7.2 สำหรับแบบจำลองที่ต้องการระดับความถูกต้องปานกลาง การสร้างเป้าหมายการเปรียบเทียบโดยการชี้ถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเกี่ยวกับระดับน้ำบาดาล (รวมทั้งค่าการวัดระดับน้ำจากบ่อบาดาล ค่าความลึกของบ่อที่แห้งแล้ว ตำแหน่งสูงสุดของท่อกู้ ในบ่อที่มีน้ำไหล) และอัตราการไหล (รวมถึง บันทึกของบ่อสูบทดสอบ หรือ การสูญเสียจากบ่อบาดาล (wellfield discharge) การประมาณค่า baseflow ในแม่น้ำ การสูญเสียในบ่อบาดาลที่มีการไหล (flowing wells) การวัด spring flow และ/หรือ อัตราเร็วของการปนเปื้อน



(contaminant plume velocities) ควรใส่ค่าความคลาดเคลื่อน (error bar) ของค่าที่ประมาณหรือวัดได้

7.3 การสร้างเป้าหมายเปรียบเทียบก่อนทำการจำลอง

7.4 ค่าความแตกต่างของผลการคำนวณและการวัดจำเป็นต้องกำหนดขึ้น และสามารถยอมรับได้ขั้นต่ำที่สุดเท่าไร เพราะในกระบวนการเปรียบเทียบพารามิเตอร์บางชนิดแสดงผล

7.4.1 ความถูกต้องในการวัดระดับน้ำ อยู่ในช่วงความถูกต้องที่ประมาณ 20-30 ฟุต เป็นไปได้ยากที่จะทำการจำลองค่าระดับน้ำที่วัดได้ในช่วงค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น เพราะค่าความผิดพลาดจากการประมาณค่าที่เกี่ยวข้องกับระดับน้ำ (ดูในมาตรฐาน ทบ ป 3005-2550) ดังนั้น นักจำลองควรเพิ่มค่าที่ยอมรับได้จากการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ให้สูงกว่าค่าความผิดพลาดจากการวัดการตัดสินใจจำเป็นในการเลือกช่วงค่า residual ใหม่ที่ยอมรับได้ ซึ่งโดยทั่วไปของช่วงค่า residual เป็นช่วงค่าที่น้อยกว่าช่วงความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดของระดับน้ำในพื้นที่ศึกษา

7.4.2 ค่าความผิดพลาดในการคำนวณอัตราการไหลของน้ำบาดาลโดยทั่วไปแล้ว มีค่ามากกว่าค่าระดับน้ำ ตัวอย่างเช่น ความถูกต้องของการคำนวณค่า base flow อยู่ในช่วงค่าที่แตกต่างในกรณีเช่นนี้ช่วงค่าที่ยอมรับได้ของ base flow ในแบบจำลอง มีค่าเท่ากับความแตกต่างของค่าสูงสุดและต่ำสุดจากการประมาณ

7.5 ความหลากหลายของเงื่อนไขทางชลศาสตร์ เมื่อมีการเก็บข้อมูลการวัดค่าระดับน้ำมากกว่าหนึ่งชุดข้อมูล การแยกแยะความแตกต่างระหว่างเงื่อนไขทางชลศาสตร์ได้จากข้อมูลที่มี ชุดข้อมูลหนึ่งชุดของเงื่อนไขทางชลศาสตร์ใช้ใน

เป้าหมายการเปรียบเทียบ ส่วนข้อมูลที่เหลือถูกใช้ในการสอบทานแบบจำลอง

7.5.1 เงื่อนไขทางชลศาสตร์ที่แตกต่าง (uniqueness) จำนวนของการจำแนกเงื่อนไขทางชลศาสตร์ นั้นได้จากชุดของข้อมูลชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งสำคัญในการประมาณคุณภาพของแบบจำลอง โดยทั่วไปแล้วการเปรียบเทียบกับเงื่อนไขทางชลศาสตร์ที่หลากหลายนั้นเหมาะสมกับกรณีที่ค่าข้อมูลชลศาสตร์สามารถแบ่งแยกได้อย่างชัดเจน การจับคู่ที่เหมือนกัน (matching) เงื่อนไขทางอุทกวิทยาที่แตกต่างเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในกรณีที่มีเงื่อนไขเหมือนกัน เพราะข้อมูลแต่ละชุดสามารถใช้จับคู่ที่เหมือนกันที่เหมาะสมกับอัตราส่วนของอัตราการไหลของน้ำบาดาลต่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ (hydraulic conductivity) ขณะที่อัตราการไหลของน้ำอาจมีการเปลี่ยนแปลง ช่วงค่าของสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำซึ่งมีค่าที่แตกต่างกับที่ยอมรับได้นั้นมีช่วงค่าที่จำกัด

วิธีการอื่นๆที่ใช้แยกปัญหา uniqueness คือ การใช้อัตราการไหลของน้ำบาดาลกับค่าระดับน้ำของเป้าหมายเปรียบเทียบ และค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ที่วัดได้เป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

7.5.2 การสอบทาน (เงื่อนไขทางชลศาสตร์ที่คล้ายกัน) เมื่อข้อมูลเงื่อนไขทางชลศาสตร์สองชุดคล้ายกัน ข้อมูลเพียงชุดเดียวถูกใช้เพื่อเป็นเป้าหมายเปรียบเทียบ อย่างไรก็ตาม ชุดข้อมูลที่เหลือสามารถนำมาใช้ในการสอบทานแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล ในขบวนการสอบทาน ข้อมูลจากแบบจำลองถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ใช้ในการสอบทาน (verification) ไม่ใช่ชุดข้อมูลชุดที่ใช้ในการเปรียบเทียบ (calibration) ผลของระดับความสอดคล้องสามารถใช้บ่งชี้ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ของการทำนายของแบบจำลองได้

7.6 ใน transient modeling การจับคู่ที่เหมือนกันเกิดจากการเปลี่ยนแปลง (นั่นคือระดับน้ำลด หรือ



drawdowns) ง่ายกว่าการใช้ระดับน้ำ ถ้าวัตถุประสงค์ของการศึกษาและตามความต้องการของแบบจำลอง การเลือกเป้าหมายเปรียบเทียบสามารถใช้ ระดับน้ำลดแทนระดับน้ำ

7.7 ในบางกรณี ถ้าสภาวะแวดล้อมในการเก็บข้อมูลไม่เหมือนกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง เช่น ในสภาวะคงที่ (steady-state) ในบ่อสูบ (pumping well) ตามความเป็นจริงมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเนื่องจากการสูญเสีย น้ำ ในขณะที่ในแบบจำลองมีค่าคงที่ เพื่อความถูกต้องในการเปรียบเทียบและหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนของค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ เป้าหมายการเปรียบเทียบหรือค่าจากการคำนวณในแบบจำลองควรมีการปรับเพื่อให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยที่แนะนำว่าค่าที่ได้จากการคำนวณควรปรับเปลี่ยนแต่ค่าจากเป้าหมายการเปรียบเทียบควรคงไว้เช่นเดิม

8. การกำหนดการเปรียบเทียบพารามิเตอร์

8.1 ค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบควรเป็นกลุ่มของชุดต่างๆ เป็นค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ หรือเงื่อนไขขอบเขต ซึ่งค่าเหล่านี้ปรับเปลี่ยนในระหว่างที่ทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบสำหรับการใช้แบบจำลองได้แก่

8.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านแนวราบหรือแนวตั้งของหน่วยหินอุ้มน้ำหลักตามสถานที่ต่างๆ

8.1.2 อัตราส่วนของพื้นที่เติมน้ำ (recharge) ในแต่ละพื้นที่ ตามช่วงเวลาต่างๆ

8.1.3 อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ระบบในตำแหน่งต่างๆ

8.1.4 การสมมุติค่าระดับพื้นผิวน้ำในทะเลสาบเมื่อน้ำเสียเกิดขึ้นในปี 1969 ถึงปี 1975

8.1.5 การรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นกวดทรายในพื้นที่ใกล้ๆ ฐานของเขื่อนดิน และ

8.1.6 ความหนาของการสะสมตัวของตะกอนท้องน้ำ

8.2 ค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบเป็นค่าเฉพาะของคุณสมบัติทางชลศาสตร์ (ตัวอย่างดูข้อ 8.1.1 และ 8.1.5) หรือเงื่อนไขขอบเขต (ตัวอย่างดูข้อ 8.1.3 และ 8.1.4) ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกัน (homogeneous) ทั้งตำแหน่งและเวลา ในกรณีดังกล่าวเหล่านี้ ค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบคือ ค่าข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อย่างไรก็ตาม ค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบเป็นค่าตัวเลขที่ใช้ในการจำลองในแบบจำลอง (ตัวอย่างดูข้อ 8.1.2 และ 8.1.6) ในขณะที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้ในการสร้างไฟล์ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล ซึ่งถ้าใช้กรณีดังกล่าวกับคุณสมบัติค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบที่เหมือนกัน ให้ผลลัพธ์ที่มีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน (inhomogeneous) เช่น ค่าความหนาของตะกอนท้องน้ำเท่ากัน ให้ค่าการรั่วซึมของน้ำแตกต่างกันไปในแต่ละโหนดของแม่น้ำเพราะการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่โหนด

8.3 การคำนวณค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบโดยการกำหนดโซนที่เหมือนกันของคุณสมบัติทางชลศาสตร์ โดยคำนึงถึง ชนิดหิน (lithology) การเรียง ลำดับชั้นหิน (stratigraphy) และการทดสอบชั้นหินอุ้มน้ำ (aquifer testing) การกำหนดโซนที่เหมือนกันของพื้นที่เติมน้ำอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลชนิดดิน พิษคลุมดิน ความลาดชันและความสูงของพื้นที่ ส่วนการกำหนดค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบอื่น ๆ นั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษา

8.4 จำนวนพารามิเตอร์เปรียบเทียบ (degrees of freedom) ของแบบจำลอง ตามหลักการ จำนวนพารามิเตอร์เปรียบเทียบไม่ควรมีมากกว่าจำนวนเป้าหมายเปรียบเทียบที่มี ข้อมูลเบื้องต้นของคุณสมบัติทางชลศาสตร์ หรือความรู้เชิงคณิตศาสตร์สามารถนำมาใช้ในการช่วยในการตัดสินใจเพื่อลดข้อจำกัดลง



8.5 สำหรับแต่ละพารามิเตอร์เปรียบเทียบ ควรกำหนดช่วงค่าที่เป็นไปได้ในสภาพจริง การสร้างช่วงค่าเหล่านี้ทำก่อนเริ่มทำการจำลอง

9. การเปรียบเทียบจากข้อมูลที่เก็บในอดีต

9.1 การเปรียบเทียบจากข้อมูลที่เก็บในอดีตเป็นส่วนหนึ่งของการเปรียบเทียบ ที่ต้องใช้การเปลี่ยนแปลงข้อมูลนำเข้า จนกระทั่งแบบจำลองให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงในพื้นที่ตามช่วงความถูกต้องที่ต้องการในพื้นที่ศึกษาเฉพาะ ข้อมูลพื้นที่ศึกษาเฉพาะสามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งในสภาพคงที่ (steady-state) หรือ สภาวะ transient History matching สามารถทำได้โดยใช้วิธีเปรียบเทียบที่ต้องทำซ้ำ (trial-and-error) หรือ การใช้วิธีปรับค่าพารามิเตอร์อัตโนมัติ แบบ inverse method

9.2 ในขบวนการเริ่มต้นของการเปรียบเทียบบ่อยครั้งที่มีการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (calibration sensitivity analysis) โดยการเปลี่ยนแปลงค่าข้อมูลนำเข้าที่มีผลมากที่สุดต่อการคำนวณระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำบาดาล การวิเคราะห์เช่นนี้ทำให้ผู้ใช้แบบจำลองไม่ต้องเสียเวลาในการเปลี่ยนแปลงค่าข้อมูลนำเข้าที่มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อแบบจำลอง ในขบวนการเปรียบเทียบขั้นต่อมา การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ความอ่อนไวยังสามารถใช้ในการลดค่าผลต่างให้น้อยที่สุด

9.3 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองต่อข้อมูลที่วัดได้จริงจากพื้นที่ศึกษา ทำได้ทั้งวิธีการเชิงคุณภาพและปริมาณ (อธิบายในเอกสาร D 5490) วิธีการเชิงปริมาณจะคำนวณค่า potentiometric head residual ซึ่งเป็นการประเมินความเกี่ยวข้องสัมพันธ์ระหว่าง head residual และสามารถคำนวณ flow residual ได้ด้วย วิธีการเชิงคุณภาพจะประเมินความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบทั่วไปที่ได้

จากการวัดค่าจริงในพื้นที่ศึกษากับรูปแบบของเส้นชั้นระดับน้ำ (head contour) จากการจำลอง ซึ่งการประมาณค่านี้สามารถทำให้สร้างค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองได้ภายในช่วงค่าที่ยอมรับ

9.4 ในหลายกรณี เป็นไปได้ที่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงกับเป้าหมายเปรียบเทียบแบบจำลองใกล้เคียงกันโดยที่ใช้ข้อมูลนำเข้าที่แตกต่างกัน เรียกกรณีนี้ว่า nonuniqueness ถึงแม้ว่าความถูกต้องของการจำลองขึ้นอยู่กับค่าที่ถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ ยังมีความจำเป็นที่ต้องแก้ปัญหาของ nonuniqueness ของชุดข้อมูลในการเปรียบเทียบแบบจำลอง ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ หรือ ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ หรือ transmissivity (ดูข้อ 10.3) ในการปรับเทียบอัตราการไหลและระดับน้ำ และ/หรือปรับเทียบต่อค่าที่ได้จากความแตกต่างของสภาพพลศาสตร์

9.4.1 เมื่ออยู่ในช่วง transient ของแบบจำลอง เนื่องจากการเปลี่ยนเงื่อนไขทางอุทกวิทยา การตอบสนองของระดับน้ำที่ตำแหน่งต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับ hydraulic diffusivity ของชั้นหินอุ้มน้ำ (อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำต่อสัมประสิทธิ์การกักเก็บ หรือค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำต่อค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ) แทนที่จะเป็นค่าคุณสมบัติทางพลศาสตร์เพียงตัวเดียว นอกจากถ้าคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งหรือสองที่ ผลที่ได้จากการปรับเทียบมีค่าเป็น nonuniqueness

9.4.2 ในแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลแบบ linear ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทั้งหมดในพื้นที่เติมน้ำและพื้นที่สูญเสียในแบบจำลอง เนื่องจากปัจจัยบางอย่าง และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเหมือนกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณค่าระดับน้ำคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง



นอกจากถ้าคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งหรือสองที่ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบมีค่าเป็น nonuniqueness

10. การปรับค่าตัวแปรนำเข้า

10.1 การปรับค่าตัวแปรนำเข้า ประกอบด้วย ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง การจำลองด้วยข้อมูลนำเข้าชุดใหม่ และการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองกับเป้าหมายเปรียบเทียบ (calibration target) ถ้าค่าระดับน้ำและอัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับค่าวัดจริงในพื้นที่ศึกษา แสดงว่าแบบจำลองได้มีการปรับเทียบแล้ว ถ้าค่ายังมีความแตกต่างกันอยู่ ต้องทำการปรับเทียบอีก วิธีการทำซ้ำนี้เรียกว่า วิธีการลองผิดลองถูก (trial-and-error method)

10.2 วิธีปรับเทียบแบบลองผิดลองถูก (trial-and-error) ควรใช้สภาวะเริ่มต้นในการปรับเทียบแบบจำลอง ก่อนถึงการปรับเทียบขั้นสุดท้าย ถึงแม้ว่าใช้วิธี inverse code ควรมีในการปรับเทียบในสภาวะเริ่มต้น ซึ่งทำให้ผู้ใช้แบบจำลองมองเห็นทิศทางของการปรับเทียบต่อไป

10.3 ค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์จากการวัดจริงและจากการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ที่ได้ควรมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ไม่ควรมีค่าเดียวกัน เพราะการคำนวณนั้นย่อมมีความผิดพลาดคลาดเคลื่อน โดยทั่วไปแล้วค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าระหว่างค่าที่ประมาณได้ (order of magnitude) และเมื่อมีการประมาณค่าจากค่าการทดสอบเชิงอุทกวิทยา ปริมาณความเครียดของดินหรือหินในการทดสอบมีค่าน้อยกว่าปริมาณจากแบบจำลอง โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ หรือค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำเพื่อการปรับเทียบในแบบจำลองมักมีค่ามากกว่าค่าที่วัดได้จริงในพื้นที่ศึกษา เพราะผลกระทบที่เกิดจากขนาดพื้นที่ (5)

10.4 คำแนะนำที่สำคัญสำหรับการจะประสบผลสำเร็จในการปรับเทียบวิธี trial-and-error วิธีการนี้ต้องมีการใช้อย่างเคร่งครัดระมัดระวัง และผู้ใช้แบบจำลองควรมีการตัดสินใจอย่างเป็นอิสระต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่นำเข้า อย่างไรก็ตาม ถ้าค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับดิน หรือหินในพื้นที่ศึกษา และเป็นปัญหาที่เป็นเอกลักษณ์ (uniqueness) ดังนั้นความสามารถในการทำ historic matching ของระดับน้ำใต้ดิน และอัตราการไหลของน้ำในแบบจำลอง อาศัยการตัดสินใจจากค่าเฉพาะของชั้นหินอุ้มน้ำเชิงชลศาสตร์

10.4.1 ในสภาวะระดับน้ำคงที่ เส้นทางการไหลของน้ำ (flow line) ในพื้นที่ศึกษา เริ่มต้นที่การกำหนดขอบเขตการไหลของน้ำบาดาล (เช่น no-flow boundary เป็นขอบเขตของชั้นหินอุ้มน้ำ หรือเส้นแบ่งแบบกว้าง) และขอบเขตแบบจำลองแบบกำหนดเฮด (เช่น ทางน้ำและแม่น้ำ) ระดับน้ำที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนเส้นทางการไหลของน้ำ (flow line) ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้านทานของการไหลและขอบเขตแบบกำหนดอัตราการไหล ดังนั้น ถ้าค่าการเติมน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการปรับเทียบแบบจำลอง จึงควรเริ่มจากการกำหนดขอบเขตเงื่อนไขแบบกำหนดเฮด (specified head boundary) และขอบเขตแบบจำลองแบบกำหนดอัตราการไหล (specified flux boundary)

10.4.2 แบบจำลองที่อยู่ในช่วง transient นั้น ควรเริ่มการปรับเทียบของสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (หรือสัมประสิทธิ์การการจ่ายน้ำ) ที่สภาวะคงที่ (steady-state scenario) ก่อน หลังจากนั้นใช้ transient scenario เพื่อการปรับเทียบสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ (หรือสัมประสิทธิ์การกักเก็บ) วิธีการนี้ขึ้นอยู่กับชุดข้อมูลที่มีอยู่ในสภาวะคงที่ในสภาพจริงของพื้นที่ศึกษา

10.4.3 เพื่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำในตำแหน่งหนึ่งในแบบจำลอง ต้องมีการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำหรือสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ การ



เพิ่มขึ้นของอัตราการเติมน้ำ การลดลงของการซึมผ่านได้ของน้ำ (conductance) ที่ไหนขอบเขตแบบจำลองในบริเวณที่สูญเสีย (discharge) หรือการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของน้ำบาดาลผ่านไหน หรือกรณีทั้งหมดรวมกัน

10.4.4 การเพิ่มการตอบสนองของระดับน้ำที่ตำแหน่งหนึ่งต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะเงื่อนไขขอบเขตแบบจำลอง ทำได้โดยการเพิ่มสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ หรือค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านได้ระหว่างพื้นที่หรือบริเวณขอบเขตเปลี่ยนแปลง หรือการลดของค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บหรือสัมประสิทธิ์การกักเก็บเฉพาะในพื้นที่ศึกษา หรือกรณีทั้งหมดรวมกัน

10.4.5 ในบริเวณใกล้เคียงกับระดับน้ำผิวดิน การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ หรือสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน เพื่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความชันของระดับน้ำ หรือ ระดับ piezometric surface และการเปลี่ยนแปลงของการยอมให้น้ำซึมผ่าน (หรือปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านชั้นปิดทับ) สำหรับระดับน้ำที่บริเวณขอบเขตกำหนดแบบจำลองให้เพิ่มหรือลดในอัตราที่เท่ากันนั้น ขอบเขตกำหนดแบบจำลองต้องเป็นฟังก์ชันที่เหมือนกันกับแบบกำหนดขอบเขตระดับน้ำคงที่ (constant head boundary)

10.4.6 ในพื้นที่ใกล้เคียงของขอบเขตแบบจำลองแบบกำหนดระดับน้ำ (specified head boundary) ที่มีระดับน้ำที่แตกต่างกัน (เช่น ในบริเวณเขื่อน สะพาน หรือทางน้ำที่มีการกวัดแกว่ง) มีการไหลวนของน้ำใน flow path

10.4.7 การเพิ่มขึ้นของค่าการไหลซึมผ่านชั้นปิดทับของน้ำในชั้นน้ำแบบมีแรงดัน ทำให้ระดับน้ำบาดาลในบริเวณตรงข้ามของชั้นน้ำแบบมีแรงดันมีค่าเท่ากับชั้นน้ำแบบมีแรงดัน การ

ลดลงของค่าการไหลซึมผ่านชั้นปิดทับทำให้ระดับน้ำทั้งสองข้างมีความแตกต่าง

10.4.8 เป็นสิ่งที่ดีในการเริ่มต้นจากรูปแบบง่าย ๆ ของการกระจายตัวของคุณสมบัติทางศาสตร์ (ตัวอย่างเช่น ค่าที่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) ในพื้นที่กว้าง) และถ้ามีความจำเป็นให้แยกเป็นโซน ให้หลีกเลี่ยงการสร้างโซนที่มากเกินไป

10.4.9 ถ้ามีสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาของความสัมพันธ์ระหว่าง residual ในพื้นที่ศึกษา ให้ทำการเลือกพารามิเตอร์ใหม่เพื่อใช้ในการนำเข้าของแบบจำลอง กำหนดโซนใหม่โดยยึดค่าที่เท่ากันของพารามิเตอร์ และปรับรอยเชื่อมต่อระหว่างโซนให้ต่อเนื่อง

10.4.10 ถ้าแบบจำลองนั้นมีความยุ่งยากต่อการปรับเทียบบางที่อาจเพราะมีระดับน้ำคงที่มากเกินไป ซึ่งทำให้มีผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้ ให้ทำการตรวจสอบแบบจำลองเชิงแนวคิด (conceptual model) ใหม่ เพื่อดูว่าแบบกำหนดขอบเขตระดับน้ำคงที่ (constant head boundary) นั้น ควรเป็นแบบอัตราการไหลคงที่ (constant flux boundary) หรือแบบผสมผสาน (mixed-type boundary)

11. การปรับเทียบอัตโนมัติ

11.1 การปรับเทียบแบบอัตโนมัติ เป็นการปรับเทียบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer code) ในการจำลองแต่ละครั้งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับเป้าหมายปรับเทียบ (calibration target) และมีการปรับเปลี่ยนอย่างเป็นระบบของพารามิเตอร์ที่นำเข้า จนกระทั่ง residual มีค่าน้อยที่สุด วิธีการปรับเทียบแบบอัตโนมัตินี้มี 2 อย่าง คือ direct solution และ indirect solution.

11.1.1 Direct solution ใช้การกำหนดใหม่ของการสมการอนุพันธ์ (partial differential equation) ของการไหล โดยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางศาสตร์ที่เปลี่ยนแปลง และค่าระดับน้ำ เป็นพารามิเตอร์ในการ



แก้ปัญหา โดยใช้สมการคณิตศาสตร์ direct solution ต้องใช้เป้าหมายเปรียบเทียบทุกโหนด และโดยทั่วไป direct solution มีแนวโน้มไม่เสถียร (instability) เมื่อเทียบกับ indirect solution

11.1.2 การคำนวณซ้ำๆ ของ indirect solution สามารถทำให้ได้พารามิเตอร์นำเข้า หรือผลลัพธ์ที่ดีขึ้น จนได้ residual ในช่วงที่ยอมรับได้ การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลและพารามิเตอร์นำเข้า ขึ้นอยู่กับการ optimization หรือวิธีการจัดการ ซึ่งโดยทั่วไปใช้ nonlinear least squares optimization การเปรียบเทียบแบบอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่เป็นแบบ indirect solution

11.2 ควรมีการเปรียบเทียบแบบ manual calibration ก่อนใช้การเปรียบเทียบแบบอัตโนมัติ จนได้ residual หรือ residual statistic ในช่วงที่ยอมรับได้ การใช้การเปรียบเทียบแบบอัตโนมัติก่อนการจำลองนั้น ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ไม่เสถียร หรือไม่ตรงตามความเป็นจริง

11.3 สำหรับแบบจำลองที่มีจำนวนพารามิเตอร์มาก ผลลัพธ์ที่ไม่เสถียรหรือไม่ตรงตามความเป็นจริงนั้น สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการประมาณค่าพารามิเตอร์เพียงบางค่าในแต่ละครั้งของการเปรียบเทียบ เริ่มจากพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อแบบจำลองมากที่สุด ตัวอย่างเช่น ในแบบจำลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน 5 โชน โดยที่ค่า residual มีความอ่อนไหวต่อการยอมให้น้ำซึมผ่านมากกว่าค่าการเติมน้ำ ดังนั้น ค่า 3 ค่าของการเติมน้ำถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ในขณะที่มีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน จากนั้นค่าการเติมน้ำทั้ง 3 โชนจึงถูกคำนวณ หลังจากนั้นมีการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้งสองเพื่อใช้ในแบบจำลอง และการเปรียบเทียบแบบอัตโนมัติเพื่าคำนวณค่า optimal value สำหรับ

พารามิเตอร์ทั้งหมด ในบางกรณีเป็นสิ่งที่จำเป็นในการใช้วิธีการที่กล่าวมาข้างต้นเพื่าคำนวณค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวในแต่ละครั้งของการเปรียบเทียบ

11.4 บางครั้งค่าผลลัพธ์และผลเหลือ จากการจำลองหรือทั้งสอง ไม่มีความอ่อนไหวต่อข้อมูลนำเข้า และพารามิเตอร์บางตัว ซึ่งข้อมูลนำเข้าและพารามิเตอร์เหล่านี้ไม่สามารถใช้ในการเปรียบเทียบ ตัวอย่างเช่น ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในโซนเล็กๆ ในพื้นที่แบบจำลองขนาดใหญ่ การเปลี่ยนแปลงค่าข้อมูลนำเข้าในโซนเล็กๆ นี้ส่งผลกระทบต่อค่า residual เพียงเล็กน้อยในตำแหน่งนั้น แต่ไม่กระทบค่าในพื้นที่ใกล้เคียง การประเมินความอ่อนไหวนั้นมีสำคัญในวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง ดูในเอกสาร D 5611

11.5 การเปรียบเทียบแบบอัตโนมัติโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ อาศัยการกำหนดค่าความสำคัญที่แตกต่างของ residual เพื่อการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์จากการคำนวณให้มีความถูกต้องเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น เป้าหมายเปรียบเทียบที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าหรือตำแหน่ง ควรจัดระดับความสำคัญในแบบจำลองถึงแม้ว่าหน่วยการวัดจะแตกต่างกัน ใช้ระดับความสำคัญนี้ในการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำและอัตราการไหลของเป้าหมายเปรียบเทียบในวัตถุประสงค์เดียวกัน

11.6 กรณีที่ผลจากการเปรียบเทียบแบบอัตโนมัติไม่เหมาะสมหรือตรงตามความเป็นจริง ต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ใหม่ หรือทำการตรวจสอบแบบจำลองเชิงแนวคิดที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ สมการคณิตศาสตร์บางสมการสามารถกำหนดช่วงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไว้ได้ ดังที่กล่าวไว้ในข้อ 8

12. การรายงานผล

12.1 จัดเตรียมรายงาน (หรือส่วนหนึ่งในรายงานเล่มใหญ่) เกี่ยวกับวิธีการเปรียบเทียบแบบจำลอง วิธีการเปรียบเทียบแบบจำลองได้อธิบายในเอกสารแนะนำในมาตรฐาน ทบ ป 3008-2550



12.2 กำหนดเป้าหมายเปรียบเทียบ (calibration target) และผลที่เหมาะสมยอมรับได้ของค่าผลเหลือ อธิบายถึงวิธีการกำหนดค่าผลเหลือไว้ด้วย

12.3 ระบุอัตราส่วนที่เลือกใช้ในรูปแบบจำลองของข้อมูลนำเข้าที่เปลี่ยนแปลง และคงที่ระหว่างการเปรียบเทียบ

12.4 นำเสนอการเปรียบเทียบเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ ระหว่างแบบจำลองกับค่าข้อมูลที่วัดได้ โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบในเอกสาร D 5490

13. คำสำคัญ

คำสำคัญ (key words) สำหรับการสืบค้นข้อมูลด้านการเปรียบเทียบแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในการประยุกต์ใช้ได้แก่ การเปรียบเทียบ (calibration); น้ำบาดาล (groundwater); วิธีย้อนกลับ (inverse methods); modeling; ผลต่าง (residual); ลองผิดลองถูก (trial-and-error); เงื่อนไขทางศาสตร์ที่แตกต่าง (uniqueness); การทวนสอบ (verification)

14. เอกสารอ้างอิง

- Isaaks, E., and Srivastava, R., 1989. Applied Geostatistics, New York, Oxford University Press.
- Anderson, M. P., and Woessner, W. W., 1992. Applied Groundwater Modeling-Simulation of Flow and Advective Transport, Academic Press, Inc., San Diego, p 230.
- Konikow, L. F., and Bredehoeft, J. D., 1992. Ground-Water Models Cannot Be Validated, Adv. Wat. Res., Vol 15, pp. 75–83.
- Freyberg, D. L., 1988. An Exercise in Ground-Water Model Calibration and Prediction, Ground-Water, 26(3), pp. 350–360.
- Bradbury, K. R., and Muldoon, M. A., 1990. Hydraulic Conductivity Determinations in Unlithified Glacial and Fluvial Materials, in Ground-Water and Vadose Zone Monitoring, ASTM STP 1053, D. M. Nielsen and A. I. Johnson, eds., ASTM, Philadelphia, pp. 138–151.
- Yeh, W. W-G., 1986. Review of Parameter Identification Procedures in Ground-water Hydrology: The Inverse Problem, Water Resources Research, 22(2), pp. 95–108.



มาตรฐาน ทบ ป 3007-2550

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

มาตรฐาน ทบ ป 3007-2550 เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล (ป) ของ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง “2550” หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้สว่างเลียบต่อท้ายและระบุ ปี พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย ⁽ⁿ⁾ เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย ⁽¹⁾ เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

มาตรฐานการวิเคราะห์ความอ่อนไหวครอบคลุมถึงขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์ ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่างๆ ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำบาดาล การกำหนดประเภทของความอ่อนไหว และสรุปเขียนรายงาน

2. ขอบเขต

2.1 มาตรฐานนี้ครอบคลุมขั้นตอนการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (sensitivity analysis) ของการประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำบาดาล การวิเคราะห์ความอ่อนไหวเชิงตัวเลขของตัวแปรต่างๆ ทางศาสตร์ที่ป้อนเข้าหรือเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง ของชั้นหินอุ้มน้ำ

2.2 หลังจากที่แบบจำลองน้ำบาดาลได้มีการปรับเทียบค่าที่คำนวณกับค่าที่วัดแล้วควรมีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อข้อมูลที่ป้อนเข้า

2.3 หลังจากแบบจำลองได้มีการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ผู้ศึกษาหรือผู้สร้างแบบจำลองอาจมีการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์บางประเภทไปเป็นช่วงๆ หรือเปลี่ยนเงื่อนไขและทำการจำลองใหม่เพื่อให้ได้ผลดังที่ได้ออกแบบไว้ เช่น จำนวนและตำแหน่งของบ่อที่เสนอให้สูบน้ำออกอาจมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อจะสูบน้ำออกน้อยที่สุด การ

แปรเปลี่ยนของตัวแปรเหล่านั้นเป็นขั้นตอนของการทำการวิเคราะห์ค่าเหมาะสมที่สุด (optimization) ในกรณีนี้จะไม่ถือว่าเป็นการทดสอบความอ่อนไหว แต่อีกนัยหนึ่งการประเมินสถานการณ์ในอนาคตที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น การเติมน้ำสู่ระบบในปีที่คาดว่าจะเกิดภาวะแห้งแล้งซึ่งไม่ทราบระยะเวลาและความรุนแรง ประเด็นเหล่านี้เป็นหัวข้อของการวิเคราะห์ความอ่อนไหวได้เช่นกัน

2.4 เอกสารแนะนำนี้แสดงถึงขอบข่ายและขั้นตอนการวิเคราะห์ความอ่อนไหวอย่างง่ายและเป็นวิธีการที่เป็นที่ยอมรับทั่วไป วิธีการเทคนิคอย่างอื่นมีพัฒนาขึ้นโดยนักวิจัยต่างๆ สามารถนำมาใช้แทนวิธีในมาตรฐานนี้ได้

2.5 มาตรฐานนี้เขียนขึ้นเพื่อแสดงวิธีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองน้ำบาดาล อย่างไรก็ตามวิธีการเทคนิคนี้ใช้ได้กับแบบจำลองน้ำบาดาลชนิดต่างๆ เช่น แบบจำลองเชิงวิเคราะห์ แบบจำลองการไหลแบบ multiphase การไหลแบบไม่ต่อเนื่อง (noncontinuum - karst or fracture flow) หรือแบบจำลองการเคลื่อนที่มวลสารในน้ำบาดาล (mass transport model)

2.6 หน่วยที่ใช้ คือ inch-pound ส่วนระบบ SI จะใส่ไว้ในวงเล็บเพื่อใช้เป็นข้อมูล



2.7 มาตรฐานนี้ไม่ได้รวมสาระสำคัญไว้ทั้งหมด แต่เป็นการรวบรวมเอาสิ่งจำเป็นที่เกี่ยวข้องและเป็นมาตรฐานในการใช้และประมาณค่าอย่างถูกต้อง เหมาะสมในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

2.8 เอกสารนี้รวบรวมการจัดระเบียบการเก็บข้อมูลหรือชุดทางเลือก โดยที่ไม่ได้จำเพาะเจาะจงวิธีการใดวิธีการหนึ่ง เอกสารนี้ไม่สามารถนำไปใช้ทดแทนความรู้และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญในการตัดสินใจ รวมทั้งไม่ได้รวบรวมมุมมองของสถานการณ์ทั้งหมดไว้

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3005-2550 การประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลตามสภาพปัญหาของพื้นที่

3.2 American Society for Testing and Materials (ASTM):

- D 5611-94 (Re 2002) Standard Guide for Conducting a Sensitivity Analysis for a Ground-Water Flow Model Application.

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 การจำลอง (simulation) หมายถึง ผลการจำลองตัวแปรต่างๆ จากการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีความถูกต้องและสมบูรณ์ รวมทั้งข้อมูลป้อนเข้าและผลลัพธ์

4.2 การปรับเทียบ (calibration) เป็นกระบวนการปรับเทียบค่าให้ละเอียดและถูกต้องยิ่งขึ้น เช่น ค่าพารามิเตอร์ของหินอุ้มน้ำ ขอบเขต เป็นต้น โดยการปรับเทียบค่าที่คำนวณได้ กับค่าที่วัดในห้องปฏิบัติการหรือในภาคสนาม

4.3 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (sensitivity analysis) หมายถึง การประเมินเชิงคุณภาพของผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงหรือความไม่แน่นอน

ของข้อมูลนำเข้าสู่แบบจำลองต่อระดับการปรับเทียบของแบบจำลองหรือต่อผลหรือสรุปของแบบจำลอง

4.4 ความอ่อนไหว (sensitivity) - การทดสอบผลของแบบจำลองและระดับการเปลี่ยนแปลงของผลแบบจำลอง โดยการเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ป้อนเข้าสู่แบบจำลอง เช่น ข้อมูลด้านโครงสร้างทางอุทกธรณีวิทยา คุณสมบัติทางชลศาสตร์ และเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง เป็นต้น

4.5 คุณสมบัติทางชลศาสตร์ (hydraulic properties) คุณสมบัติของดินและหินจะเกี่ยวข้องกับการควบคุมการให้น้ำ (เช่น สมบัติการซึมผ่านได้ของน้ำ (hydraulic conductivity) สมบัติการส่งน้ำ (transmissivity) และ อัตราการรั่วซึม (leakance)) และการกักเก็บ (เช่น สมบัติการกักเก็บจำเพาะ (specific storage) และอัตราการให้น้ำจำเพาะ (specific yield)) ของน้ำ

4.6 เงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) - การแสดงในเชิงคณิตศาสตร์ของระบบทางกายภาพที่สามารถใช้สมการของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ได้

4.7 แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล (groundwater flow model) หมายถึง การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อแสดงถึงการไหลของระบบน้ำบาดาลแบบภูมิภาค (regional) หรือเฉพาะพื้นที่ (site-specific)

4.8 เป้าหมายของการปรับเทียบ (calibration targets) ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการวัด การสังเกต การคำนวณ หรือประมาณของค่าสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่าน (hydraulic conductivity) หรือ อัตราการไหลของน้ำบาดาลที่แบบจำลองสามารถคำนวณได้ ค่าเหล่านี้ควรจะได้รับ การปรับเทียบ

4.9 ผลเหลือ (residual) - ค่าแตกต่างที่ได้จากการคำนวณและการวัดค่า โดยจะเป็นค่าที่ไม่แน่นอน ณ เวลาและสถานที่ต่างๆ



5. ความสำคัญและการใช้งาน

5.1 หลังจากที่ใช้แบบจำลองน้ำบาดาลได้มีการเปรียบเทียบและได้ผลสรุปของระบบอุทกธรณีกายภาพ (เช่น การประเมินบริเวณที่ทำการสูบน้ำ) การวิเคราะห์ความอ่อนไหวสามารถระบุตัวแปรนำเข้าสู่แบบจำลองที่มีผลกระทบสูงสุดต่อระดับการเปรียบเทียบและต่อผลสรุปของการจำลอง

5.2 ถ้าข้อมูลที่ป้อนเข้าไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อผลการเปรียบเทียบ (ไม่มีนัยสำคัญ) แต่ให้ผลสรุปแบบจำลองที่แตกต่างมาก ป่งบอกว่าการสรุปผลโดยใช้แบบจำลองที่เปรียบเทียบนั้นไม่เหมาะสมและไม่ถูกต้อง

5.3 เอกสารนี้ไม่ได้มุ่งที่จะจำเพาะวิธีการในการวิเคราะห์ความอ่อนไหว วิธีการอื่นๆสามารถนำมาใช้ได้ อย่างไรก็ตามควรมีการพิจารณาว่าวิธีการนั้นๆเหมาะสมหรือไม่เพียงใด

6. การวิเคราะห์ความอ่อนไหว

6.1 ขั้นตอนแรกในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวคือการเลือกตัวแปรนำเข้าที่ควรได้รับการวิเคราะห์ หลังจากนั้น สำหรับตัวแปรแต่ละตัว ควรทำการเปรียบเทียบและจำลองสถานการณ์โดยใช้ตัวแปรนำเข้านั้นๆซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าในช่วงๆหนึ่ง แสดงผลในรูปของผลเหลือและผลสรุปแบบจำลองต่อค่าของข้อมูลนำเข้า และระบุประเภทของความอ่อนไหวของแบบจำลองจากข้อมูลนำเข้านั้นๆ

6.2 การเลือกตัวแปรนำเข้าที่จะทดสอบและกำหนดช่วงค่าต่างๆ

6.2.1 ระบุตัวแปรนำเข้าที่ส่งผลต่อแรงดันของน้ำที่คำนวณได้และอัตราการไหล ซึ่งจะกระทบต่อผลเหลือในขั้นตอนการเปรียบเทียบและต่อผลสรุปแบบจำลองในขั้นตอนการทำนายเหตุการณ์ในอนาคต

6.2.2 โดยทั่วไปแล้ว การเปลี่ยนตัวแปรใดๆที่ตำแหน่งหนึ่งของแบบจำลองจะไม่เกิดผลกระทบที่

ชัดเจน ดังนั้นการรวบรวมตัวแปรใดๆเป็นกลุ่มจะมีความสำคัญและมีความหมายมากกว่าในการวิเคราะห์ความอ่อนไหว

6.2.3 การเปลี่ยนแปลงข้อมูลนำเข้าแบบจำลองแบบสอดคล้องกัน คือการเปลี่ยนแปลงตัวแปรนำเข้ามากกว่าหนึ่งประเภทในเวลาเดียวกัน ในการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน การเปลี่ยนแปลงตัวแปรแบบสอดคล้องกัน (เช่น สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำและการเติมน้ำ) อาจส่งผลต่อการเปรียบเทียบเพียงเล็กน้อย แต่มีผลต่อการทำนายอนาคตสูง เมื่อแบบจำลองไม่ได้รับการปรับเทียบต่อสภาพทางอุทกวิทยาให้หลากหลายกรณี การวิเคราะห์ความอ่อนไหวโดยการเปลี่ยนแปลงแบบสอดคล้องกันสามารรถชี้ให้เห็นถึงความไม่เป็นเอกลักษณ์ของชุดข้อมูลนำเข้าได้

6.3 การคำนวณของแบบจำลอง:

6.3.1 สำหรับข้อมูลนำเข้าแต่ละตัวหรือแต่ละกลุ่ม ควรกำหนดช่วงค่าของข้อมูลนั้นๆที่จะทำการปรับเปลี่ยน ค่าตัวแปรบางตัวควรทำการปรับเปลี่ยนแบบเรขาคณิต ในขณะที่บางตัวควรปรับเปลี่ยนแบบเลขคณิต ลักษณะของการปรับเปลี่ยนข้อมูลแต่ละตัวหรือกลุ่มขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ทำแบบจำลอง

6.3.2 สำหรับแต่ละค่าของกลุ่มข้อมูลที่จะเปลี่ยนแปลง ให้ทำการเปรียบเทียบและคำนวณแบบจำลองอีกครั้ง คำนวณผลคงเหลือของการปรับเทียบครั้งใหม่ (หรือค่าคงเหลือทางสถิติ) ระบุผลของการเปลี่ยนแปลงค่าข้อมูลต่อผลสรุปแบบจำลอง

6.4 การแสดงผลลัพธ์ในรูปกราฟิกให้

6.4.1 สำหรับข้อมูลนำเข้า (หรือกลุ่มข้อมูล) ให้จัดเตรียมแผนภูมิของผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่อค่าคงเหลือต่างๆในการเปรียบเทียบและต่อผลสรุปจากแบบจำลอง รูปที่ 1-4



แสดงตัวอย่างแผนภูมิของผลจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหว

6.4.2 การแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงตัวแปรนำเข้า ควรแสดงผลในรูปของค่าทางสถิติของค่าคงเหลือ เช่น ค่าคงเหลือมากที่สุด ค่าคงเหลือน้อยที่สุด ค่าคงเหลือเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าคงเหลือ

6.4.3 ในบางกรณีการแสดงผลในรูปของเส้นชั้นความสูงของการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอาจทำให้ชัดเจนขึ้น ในการจำลองแบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา ควรแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและเวลา

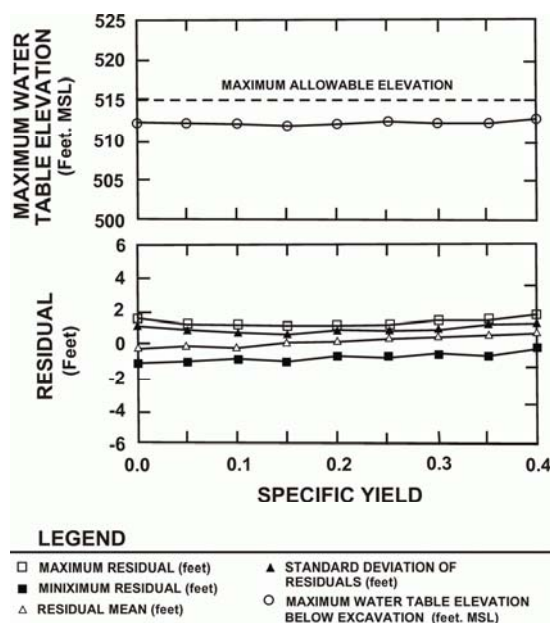
6.5 การกำหนดประเภทของความอ่อนไหว

6.5.1 สำหรับแต่ละข้อมูลป้อนเข้า (หรือกลุ่มของข้อมูลป้อนเข้า) ต้องกำหนดประเภทของความอ่อนไหวของแบบจำลองที่เกิดจากข้อมูลป้อนเข้านั้น ประเภทของความอ่อนไหวมีอยู่ 4 แบบ คือแบบที่ I ถึง IV ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงสองส่วนคือ ผลคงเหลือในการเปรียบเทียบ และผลสรุปจากแบบจำลองว่ามีนัยสำคัญหรือไม่ ความอ่อนไหวทั้ง 4 แบบสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 5 ดังต่อไปนี้

หมายเหตุ การกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงของผลคงเหลือในการเปรียบเทียบว่ามีนัยสำคัญหรือไม่ เป็นการตัดสินใจเอง แต่การกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงในผลสรุปจากแบบจำลองสามารถใช้หลักการในการตัดสินใจ ตัวอย่างเช่น แบบจำลองที่ใช้ในการออกแบบระบบสูบน้ำออกจากงานขุดหลุม ค่าระดับน้ำใต้ดินที่ได้จากการคำนวณ ก็จะได้รู้ได้เลยว่าอยู่สูงกว่าหรือต่ำกว่าระดับพื้นหลุม

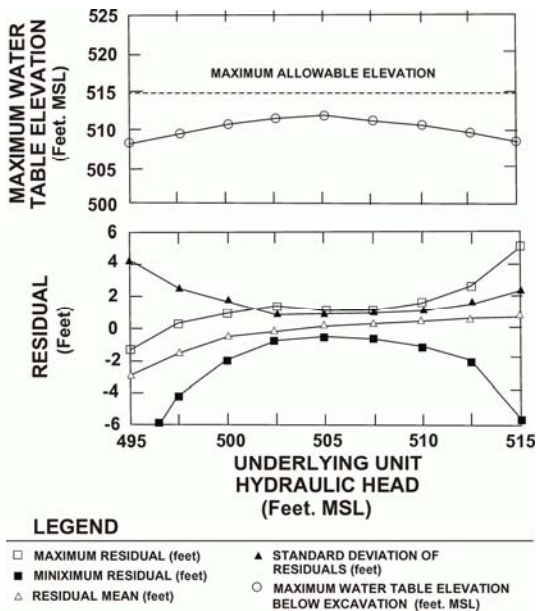
(1) ความอ่อนไหวแบบที่ I เมื่อการแปรผันของข้อมูลป้อนเข้าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่มีนัยสำคัญ ทั้งในผลคงเหลือการเปรียบเทียบ และในผลสรุปจากการทดลอง นั่นคือแบบจำลองนี้มีความ

อ่อนไหวแบบที่ I ต่อข้อมูลป้อนเข้า รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างความอ่อนไหวแบบที่ I เนื่องจากความอ่อนไหวแบบที่ I นี้ ไม่ว่าข้อมูลป้อนเข้าจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรก็ไม่ทำให้ผลสรุปเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงไม่ต้องการพิจารณา



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างความอ่อนไหวแบบที่ I
(ดัดแปลงจาก ASTM D 5611-94, 2002)

(2) ความอ่อนไหวแบบที่ II เมื่อการแปรผันของข้อมูลป้อนเข้าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงผลการเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญ แต่การเปลี่ยนแปลงผลสรุปของแบบจำลองไม่มีนัยสำคัญ นั่นคือแบบจำลองนี้มีความอ่อนไหวแบบที่ II ต่อข้อมูลป้อนเข้า รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างความอ่อนไหวแบบที่ II ความอ่อนไหวแบบที่ II นี้ไม่ต้องพิจารณา เพราะแม้ค่าข้อมูลป้อนเข้าจะเปลี่ยนแปลงไปก็ไม่ทำให้ผลสรุปจากแบบจำลองเปลี่ยนแปลงตาม

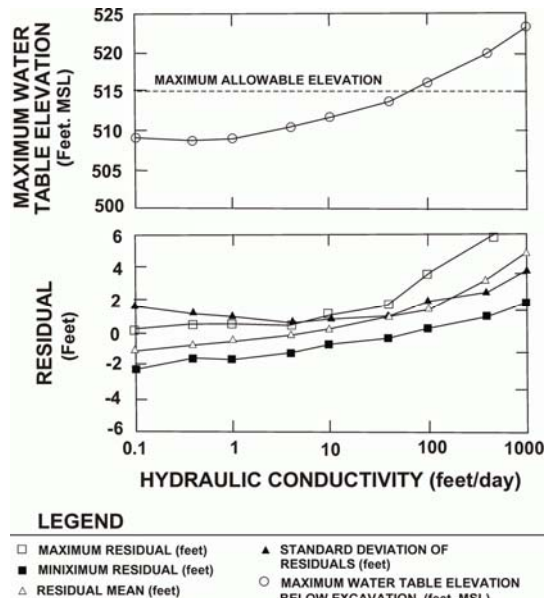


รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างความอ่อนไหวแบบที่ II
(ดัดแปลงจาก ASTM D 5611-94, 2002)

(3) ความอ่อนไหวแบบที่ III เมื่อการแปรผันของข้อมูลป้อนเข้าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงผลการเปรียบเทียบและผลสรุปของแบบจำลอง อย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือแบบจำลองนี้มีความอ่อนไหวแบบที่ III ต่อข้อมูลป้อนเข้า ซึ่งรูปที่ 3 แสดงตัวอย่างความอ่อนไหวแบบที่ III ความอ่อนไหวแบบนี้ไม่ต้องพิจารณา เพราะแม้ว่าการแปรผันของข้อมูลป้อนเข้าจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงผลสรุปของแบบจำลอง แต่ก็ทำให้แบบจำลองไม่สามารถเปรียบเทียบได้เช่นกัน ดังนั้น

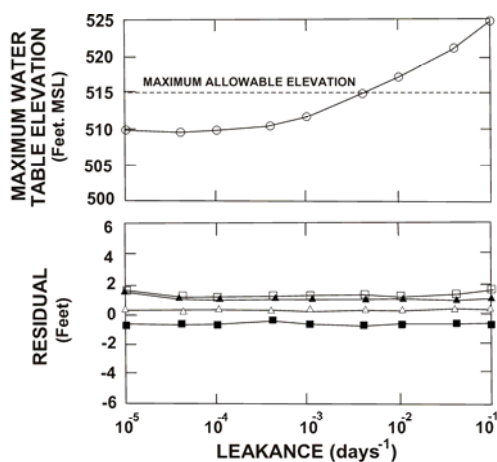
(4) ความอ่อนไหวแบบที่ IV ถ้ามีการแปรผันข้อมูลป้อนเข้าบางค่าแล้วทำให้ผลสรุปจากแบบจำลองเปลี่ยนไป แต่ไม่มีนัยสำคัญต่อผลของการเปรียบเทียบ นั่นคือแบบจำลองนี้มีความอ่อนไหวแบบที่ IV ต่อข้อมูลป้อนเข้า รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างความอ่อนไหวแบบที่ IV ถ้าผลของการวิเคราะห์ความอ่อนไหวเป็นแบบที่ IV ผลการจำลองไม่อาจยอมรับได้ ทั้งนี้เพราะในช่วง

ค่าของพารามิเตอร์ที่ทำการปรับเทียบ ทำให้ผลสรุปจากแบบจำลองเปลี่ยนไป จึงจำเป็นต้องเก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่ม เพื่อลดช่วงค่าที่เป็นไปได้ของพารามิเตอร์



รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างความอ่อนไหวแบบที่ III
(ดัดแปลงจาก ASTM D 5611-94, 2002)

6.5.2 ตัวแปรบางตัว (เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของ cutoff wall) ใช้ในการทำนายเหตุการณ์อนาคตของแบบจำลองเท่านั้น ในกรณีดังกล่าวความอ่อนไหวจะเป็นแบบที่ III หรือ IV ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของผลสรุปจากแบบจำลอง ถ้าความอ่อนไหวเป็นแบบที่ IV จำเป็นต้องมีเอกสารสนับสนุนซึ่งแสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลองการทำนายเหตุการณ์อนาคต เพื่อที่จะช่วยตัดสินใจผลสรุปที่ได้จากแบบจำลอง



LEGEND

- MAXIMUM RESIDUAL (feet)
- MINIMUM RESIDUAL (feet)
- △ RESIDUAL MEAN (feet)
- ▲ STANDARD DEVIATION OF RESIDUALS (feet)
- MAXIMUM WATER TABLE ELEVATION BELOW EXCAVATION (feet. MSL)

รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างความอ่อนไหวแบบที่ IV
(ดัดแปลงจาก ASTM D 5611-94, 2002)

		CHANGE IN CALIBRATION	
		INSIGNIFICANT	SIGNIFICANT
CHANGE IN CONCLUSION	INSIGNIFICANT	TYPE I	TYPE II
	SIGNIFICANT	TYPE IV	TYPE III

รูปที่ 5 แสดงความอ่อนไหวทั้ง 4 แบบ
(ดัดแปลงจาก ASTM D 5611-94, 2002)

7. การจัดทำรายงาน

7.1 ถ้าไม่มีการวิเคราะห์ความอ่อนไหว ต้องระบุเหตุผลที่ไม่มีการวิเคราะห์ ถ้ามีการวิเคราะห์ความอ่อนไหว ต้องรายงานข้อมูลป้อนเข้าที่แปรค่า และผลการจำลองที่ตรวจสอบค่า รายงานควรตัดสินใจเลือกข้อมูลป้อนเข้าและผลการจำลองในเทอมของวัตถุประสงค์ของการจำลอง

7.2 สำหรับตัวแปรนำเข้าแต่ละตัวที่นำมาใช้วิเคราะห์ความอ่อนไหว รายงานควรนำเสนอในรูปแบบแผนภูมิการเปลี่ยนแปลงค่าคงเหลือ (หรือค่าสถิติของค่าคงเหลือ) และผลการจำลอง เทียบกับการเปลี่ยนแปลงค่าของข้อมูลป้อนเข้า รายงานควรชี้ว่าการวิเคราะห์ไม่มีผลของแบบที่ IV หรือไม่เช่นนั้นต้องระบุการวิเคราะห์ที่มีผลของแบบที่ IV

8. คำสำคัญ

คำสำคัญ (key words) สำหรับการสืบค้นข้อมูลด้านการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล ได้แก่ การปรับเทียบ (calibration); คอมพิวเตอร์ (computer); น้ำบาดาล (groundwater); แบบจำลอง (modeling); ความอ่อนไหว (sensitivity)

9. เอกสารอ้างอิง

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2002. Standard Guide for Conducting a Sensitivity Analysis for a Ground-Water Flow Model Application, D 5611-94 (Re 2002).



มาตรฐาน ทบ ป 3008-2550

การจัดทำรายงานผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

มาตรฐาน ทบ ป 3008-2550 เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล (ป) ของ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทบ) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตัวเลขชุดแรกมี 4 ตำแหน่ง หมายถึง ลำดับของมาตรฐาน ตัวเลขชุดที่สอง “2550” หมายถึง ปี พ.ศ. ที่จัดทำเอกสารต้นฉบับของมาตรฐาน กรณีที่มีการแก้ไขและปรับปรุงมาตรฐานให้สอดคล้องต่อยุทธศาสตร์ฉบับ พ.ศ. ที่แก้ไขปรับปรุง เช่น (แก้ไขปรับปรุง 2555) เป็นต้น โดยมีเครื่องหมาย ⁽¹⁾ เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่แก้ไข และมีเครื่องหมาย ⁽¹⁾ เป็นตัวยกกำกับหน้าข้อความที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

1. บทนำ

มาตรฐานการจัดทำรายงานผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลเป็นบันทึกและเอกสารสำคัญจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล มาตรฐานนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอน แนะนำการเขียนรายงาน ความสำคัญในการใช้งาน การเขียนบันทึกผลการจำลอง เช่น วัตถุประสงค์ ไปจนถึงการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์และการคาดคะเนผลในอนาคต เป็นต้น

2. ขอบเขต

2.1 คำแนะนำนี้ประกอบไปด้วยบันทึกและเอกสารสำคัญจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลน้ำบาดาลทางคณิตศาสตร์ การเขียนรายงานผลการจำลองแหล่งน้ำบาดาลประกอบด้วย การเขียนรายงาน และการนำเสนอผลงานในรูปภาพหรือแผนที่ข้อสมมุติฐานในการจำลอง วัตถุประสงค์ แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ คำอธิบายสมการและวิธีการทางคณิตศาสตร์ การออกแบบ การปรับค่าตัวแปร การทำนายคาดคะเน และผลสรุปจากแบบจำลองเอกสารอ้างอิง ไฟล์ข้อมูล (ทั้งในรูปของรายงานและดิจิทัล) ที่รวบรวมเอาบันทึกเหตุการณ์การจำลองที่มีความสำคัญ (การเปรียบเทียบแบบจำลอง ความอ่อนไหว และการทำนายเหตุการณ์ในอนาคต) การ

คำนวณเพิ่มเติมอื่นๆ เอกสารเกี่ยวกับการจำลอง ไฟล์ของโปรแกรมหรือการดำเนินการใช้แบบจำลอง ข้อมูลนำเข้า และผลลัพธ์ของผลการจำลอง

2.2 คำแนะนำนี้แสดงขั้นตอนในการเตรียมเอกสารสำคัญสำหรับการเขียนรายงานการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลน้ำบาดาล ข้อมูลเพิ่มเติมในเอกสารของแบบจำลองการไหลน้ำบาดาลสามารถอ่านได้ใน Anderson and Woessner (1988)

2.3 คำแนะนำนี้แนะนำการเขียนรายงานเพื่อการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลน้ำบาดาลสำหรับน้ำบาดาลที่อุ้มตัวในชั้นหินอุ้มน้ำ

2.4 แบบจำลองแต่ละประเภทมีลักษณะเฉพาะไม่เหมือนกัน แบบจำลองบางประเภทจำเป็นต้องมีเอกสาร และข้ออธิบายเพิ่มเติม

2.5 มาตรฐานไม่ได้กล่าวถึงในทุกๆ ด้าน อย่างไรก็ตามมาตรฐานนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการทำรายงานที่มีความเหมาะสมในการใช้อย่างปลอดภัยและถูกต้อง ซึ่งรวมทั้งการประมาณความสามารถและข้อจำกัดในการใช้แบบจำลอง

2.6 คำแนะนำนี้ได้เสนอแนะการจัดการการเก็บข้อมูลหรือแนวทางเลือกต่างๆ ไม่ได้จำเพาะเจาะจงวิธีใดวิธีหนึ่งลงไป เอกสารนี้ไม่สามารถใช้แทนการศึกษาหรือประสบการณ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ เอกสารแนะนำนี้ไม่ได้รวบรวมมุมมองหรือสถานการณ์ทั้งหมดเอาไว้



การเลือกหรือตัดสินใจในการบันทึกนั้นต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจและประสบการณ์ในการพิจารณาความเหมาะสมในมุมมองที่แตกต่างกัน

3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3001-2550 การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์

- มาตรฐาน ทบ ป 3002-2550 การเลือกใช้แบบจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์

- มาตรฐาน ทบ ป 3003-2550 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3005-2550 การประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลตามสภาพปัญหาของพื้นที่

- มาตรฐาน ทบ ป 3006-2550 การเปรียบเทียบผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

- มาตรฐาน ทบ ป 3007-2550 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

3.2 American Society for Testing and Materials (ASTM):

- D 5718–95. (Re 2006) Standard Guide for Documenting a GroundWater Flow Model Application.

4. ศัพท์บัญญัติ

4.1 การจำลอง (simulation) ในด้านแบบจำลองการไหลน้ำบาดาล หมายถึงผลการจำลองตัวแปรต่างๆ จากการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีความถูกต้องและสมบูรณ์ ซึ่งมีทั้งข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์ส่งออก

4.2 การปรับเทียบ (calibration) เป็นกระบวนการ-

การปรับเทียบค่าตัวแปรให้ถูกต้องยิ่งขึ้น เช่น ค่าพารามิเตอร์ของหินอุ้มน้ำ ขอบเขต เป็นต้น โดยการปรับเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดในห้องปฏิบัติการหรือในภาคสนาม

4.3 การสอบทานประยุกต์ (application verification) เป็นการใส่ค่าของกลุ่มพารามิเตอร์และสภาพขอบเขตของแบบจำลองจากผลของการปรับเทียบ (calibration) แล้วตรวจสอบความถูกต้องของผลการคำนวณครั้งที่สอง ภายใต้สภาพทางอุทกวิทยาที่คล้ายกัน การสอบทานสามารถใช้วิธีการคำนวณเชิงวิเคราะห์จากโปรแกรมใดๆ ซึ่งคำตอบที่ได้เป็นผลการคำนวณที่ถูกต้อง (exact solution หรือ analytical) กับผลการคำนวณเชิงตัวเลข (numerical solution) จากโปรแกรมที่ใช้สมการคณิตศาสตร์ที่คล้ายคลึงกัน

4.4 เงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) แสดงสมการคณิตศาสตร์ ที่ใช้แทนค่าทางกายภาพของพื้นที่ที่ทำการจำลอง

4.5 แบบจำลองการไหลน้ำบาดาล (ground-water flow model) การประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เพื่อแสดงระบบการไหลน้ำบาดาลเฉพาะพื้นที่

4.6 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (mathematical model) หมายถึง แบบจำลองที่มีการคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงระบบกายภาพและประกอบด้วยข้อสันนิษฐานอย่างง่าย หรือการแสดงผลทางกายภาพโดยใช้ผลการคำนวณเชิงตัวเลขที่แสดงถึงพฤติกรรมของระบบและสามารถคาดคะเนผลความแม่นยำของการคำนวณได้

4.7 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (conceptual model) คือ ผลของการตีความหรือการทำงานเชิงอธิบายของคุณลักษณะและพลวัตของระบบทางกายภาพ



4.8 เป้าหมายของการปรับเทียบ (calibration targets) ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการวัด การสังเกต การคำนวณ หรือประมาณของค่าสัมประสิทธิ์ การยอมให้น้ำซึมผ่าน (hydraulic conductivity) หรือ อัตราการไหลของน้ำบาดาลที่แบบจำลองสามารถ คำนวณได้ ค่าเหล่านี้ควรจะได้รับ การปรับเทียบ

4.9 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer code) คือ วิธีการประมาณค่าเชิงตัวเลข การแก้สมการโดยใช้คณิตศาสตร์ชั้นสูง โปรแกรมจะทำการรับข้อมูลเข้า คำนวณและแสดงผลการคำนวณ พร้อมทั้งแสดงผล

5. ความสำคัญและการใช้งาน

5.1 แบบจำลองการไหลน้ำบาดาลเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบอุทกธรณีวิทยา การตัดสินใจในปัญหาของโครงการบางอย่างนั้นมีความสำคัญขึ้นอยู่กับผลของแบบจำลอง การรับรองผลของแบบจำลองที่นำไปใช้ กระบวนการเขียนรายงานที่สมบูรณ์เป็นปัจจัยสำคัญในการรับรองคุณภาพของการจัดทำแบบจำลอง

5.2 เนื่องจากมีความหลากหลายในการเสนอผลการจำลอง มาตรฐานนี้จะทำให้เกิดการรายงานผลที่มีแนวทางเดียวกัน

6. การเขียนบันทึกของผลการจำลอง

6.1 การเขียนบันทึกประกอบด้วย การนำเสนอในรูปแบบของรายงานทั้งบันทึก และกราฟิก (รูปภาพ เป็นต้น) รวมทั้งข้อสมมติฐาน วัตถุประสงค์ แนวคิด สมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ การออกแบบ การปรับเทียบ การคาดคะเนอนาคตจากแบบจำลอง และสรุปผลที่ได้

6.2 บทนำ เป็นการนำเสนอวัตถุประสงค์ของการจำลอง ฟังก์ชันของแบบจำลองที่จะนำมาใช้ และอธิบายคร่าวๆเกี่ยวกับพื้นที่ศึกษา กำหนดหน้าที่และองค์ประกอบอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

6.2.1 วัตถุประสงค์ของการจำลอง กำหนดเป้าหมายหลัก (purpose) ของโครงการให้ชัดเจน และระบุการใช้ประโยชน์จากแบบจำลอง รวมทั้งกำหนดประเภทของการพยากรณ์เหตุการณ์ในอนาคตที่เกิดจากผลการจำลอง

6.2.2 หน้าที่ของแบบจำลอง อธิบายถึงการใชแบบจำลองเพื่อให้บรรลุเป้าหมายหลัก และจุดประสงค์ของการศึกษา

6.2.3 การกำหนดทั่วไป รวมถึงการรวบรวมข้อมูลต่างๆ เช่น สภาพพื้นที่โดยสังเขป ภูมิประเทศ ธรณีวิทยา อุทกวิทยา และการใช้ที่ดิน การนำเสนอแผนที่ครอบคลุมบริเวณกว้างโดยที่มีขอบเขตพื้นที่ศึกษารวมอยู่ด้วย

6.3 การจำลองเชิงมโนทัศน์ นำเสนอการจำลองเชิงแนวคิดของพื้นที่ศึกษาแต่ละพื้นที่ (ขึ้นอยู่กับ การเก็บข้อมูล) โดยอาศัยสภาพทางกายภาพ รวมทั้งกล่าวถึงระบบของชั้นหินอุ้มน้ำ (ในด้าน ธรณีวิทยา และอุทกวิทยา) ขอบเขตพื้นที่ทางอุทกธรณีวิทยา คุณสมบัติทางชลศาสตร์ การเติมน้ำและการสูญเสีย น้ำ และสมดุลน้ำในพื้นที่ศึกษา ในการแปลความหรือตีความหมายควรมีความสอดคล้องกันของข้อมูลที่มีอยู่

6.3.1 ระบบของหินอุ้มน้ำ นำเสนอการแปลความหมายจากข้อมูลทางธรณีวิทยา และลักษณะทางอุทกวิทยาของหินอุ้มน้ำในระบบนั้นๆ เพื่อให้เกิดความเหมาะสม โดยอาจจะแสดงในรูปภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา เส้นชั้นความสูงของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาต่างๆ และเส้นชั้นความสูงของแรงดันน้ำ

6.3.2 ขอบเขตทางอุทกธรณีวิทยา กล่าวถึงขอบเขตทางอุทกธรณีวิทยาที่มีอยู่ในระบบหินอุ้มน้ำ

6.3.3 คุณสมบัติทางชลศาสตร์ นำเสนอถึงคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของหินอุ้มน้ำ ได้แก่



สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน สัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ สัมประสิทธิ์การกักเก็บ และความพรุน เป็นต้น ถ้าตัวแปรนั้นค่ามีการเปลี่ยนแปลงตามสถานที่หรือตำแหน่ง อาจนำเสนอข้อมูลในรูปของแผนที่

6.3.4 การเติมน้ำและการสูบน้ำออกจากระบบ (sources and sinks) กำหนดตำแหน่งที่มีการเติมน้ำหรือสูบน้ำ รายงานปริมาณที่เติมหรือสูบน้ำออกจากระบบ

6.3.5 สมดุลน้ำ (water budget) การอธิบายเชิงพรรณนาหรือตัวเลขของสมดุลน้ำของระบบ รวมไปถึงปริมาณการเข้าและออก การกักเก็บ การไหลของน้ำในระบบ

6.4 คำอธิบายสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

6.4.1 ข้อสมมุติฐาน อธิบายสมมุติฐานที่ใช้สร้างสมการคณิตศาสตร์และใช้ในการเลือกใช้ตามจุดประสงค์ของการศึกษาและแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

6.4.2 ข้อจำกัด อธิบายข้อจำกัดของสมการคณิตศาสตร์ และความเหมาะสมในการใช้ ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษาและการตีความของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

6.4.3 วิธีการแก้สมการของแบบจำลอง

6.4.4 ผลกระทบของการจำลองอธิบายถึงผลกระทบจากข้อสมมุติฐานและข้อจำกัดของสมการคณิตศาสตร์ ต่อการสร้างแบบจำลองและผลลัพธ์ที่ได้

6.5 การสร้างแบบจำลองกำหนดชนิดแบบจำลอง กำหนดสถานะเริ่มต้น เงื่อนไขขอบเขตของพื้นที่ศึกษา และสถานะทางพลศาสตร์ รวมทั้งความชัดเจนของค่าต่าง ๆ กล่าวถึงการตั้งสมมุติฐานอย่างง่าย ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

6.5.1 ขอบเขตของแบบจำลอง -แสดง ขอบเขตของแบบจำลองโดยการซ้อนทับบนแผนที่ภูมิประเทศ

ในมาตราส่วนของแผนที่ที่เหมาะสม รายงานควรกล่าวถึงการออกแบบระยะห่างหรือขนาดของกริดในแบบจำลอง ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ อธิบายถึงข้อมูลของแบบจำลองก่อนและหลังการคำนวณ รวมทั้งสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในแบบจำลอง ควรมีการบันทึกอย่างละเอียด ในกรณีที่เป็นแบบจำลองสามมิติให้อธิบายการสร้างและการเลือกชั้นข้อมูลในแบบจำลองด้วย

6.5.2 ค่าตัวแปรทางพลศาสตร์ แสดงค่าตัวแปรทางพลศาสตร์ที่ใช้ในพื้นที่ศึกษา ถ้าตัวแปรแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ในบริเวณพื้นที่ศึกษา ให้อธิบายการกระจายตัวของค่าเหล่านั้นในรูปของแผนที่ โดยอ้างอิงถึงแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

6.5.3 การเติมน้ำและสูญเสียน้ำ แสดงตำแหน่งและวิธีการ ปริมาณหรืออัตราของการเติมน้ำหรือสูบน้ำ

6.5.4 สภาพขอบเขตศึกษา อธิบายประเภทของขอบเขตที่สอดคล้องกับแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

6.5.5 ค่าตัวแปรเชิงคณิตศาสตร์ แสดงการเลือกค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (ได้แก่ closure criterion, acceleration และ seed factor) เป็นต้น)

6.6 การเปรียบเทียบแบบจำลอง แสดงและอธิบายถึงขบวนการเปรียบเทียบในการจำลอง แสดงผลของการเปรียบเทียบจากการจำลองในพื้นที่ศึกษานั้นๆ โดยใช้เทคนิคเชิงคุณภาพ และปริมาณ กล่าวถึงการวิเคราะห์ความอ่อนไหวและการสอบทานแบบจำลอง รวมทั้งสมดุลน้ำและสมดุลมวลสาร อธิบายถึงผลที่ได้จากการทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง การตัดสินใจในการปรับเปลี่ยนโดยอาศัยแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ บันทึกลำดับขั้นตอนที่แน่นอนซึ่งใช้ในการแก้ปัญหาหรือตัวแปรต่างๆที่ใช้ในแบบจำลอง



6.6.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ/ปริมาณ อธิบายขั้นตอนการวิเคราะห์โดยใช้การเปรียบเทียบกับข้อมูลการเปรียบเทียบแบบจำลองของพื้นที่ศึกษา และผลที่ได้

6.6.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว อธิบายถึงเป้าหมายของการวิเคราะห์ความอ่อนไหว บันทึกขั้นตอนขบวนการและผลที่ได้จากการวิเคราะห์ และผลกระทบต่อแบบจำลอง เน้นการกำหนดตัวแปรในแบบจำลองที่มีผลสำคัญต่อผลการจำลอง การเลือกช่วงค่าตัวแปรในการวิเคราะห์ความอ่อนไหว ซึ่งขึ้นอยู่กับความถูกต้องของข้อมูล แสดงผลจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวในรูปของตารางหรือกราฟิก (เช่น รูปหรือ กราฟ) (Anderson and Woessner, 1988)

6.6.3 การสอบทานประยุกต์ ควรมีการกล่าวถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อสอบทาน ผลที่ได้จากการสอบทานแสดงไว้ในรูปของแผนที่ รวมทั้งแสดงผลสมมูลน้ำและมวลจากการจำลอง

6.7 การคำนวณเหตุการณ์ในอนาคต (predictive simulation) - อธิบายถึงการคำนวณเหตุการณ์ในอนาคต และความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์ของการศึกษา รายละเอียดและการเปลี่ยนแปลงในการเปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อการคาดคะเน แสดงผลที่ได้ของการคำนวณเหตุการณ์ในอนาคตในรูปแบบของกราฟิก (เช่น รูป หรือ กราฟ)

6.8 ผลลัพธ์และสรุป รวบรวมสรุปผลที่ได้จากการจำลองทางคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งสรุปผลที่ได้ซึ่งสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์ของการศึกษา ระบุความไม่แน่นอนจากผลการทำนายจากการจำลอง

6.9 เอกสารอ้างอิง

7. การเก็บเอกสารสำคัญและบันทึกแบบจำลอง

7.1 การเก็บสำรองข้อมูลที่ใช้ในการจำลอง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (สมการคณิตศาสตร์) รายงาน และข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์ การเปรียบเทียบ

แบบจำลอง สำหรับการปรับแก้แบบจำลองครั้งสุดท้าย และการทำนายเหตุการณ์ในอนาคต

7.2 การเก็บขั้นตอนและผลการจำลอง เก็บสำเนาของผลการจำลอง ซึ่งรวมถึง ชื่อการจำลอง วันที่ทำการจำลอง ชื่อโครงการ ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับข้อมูลนำเข้า ชื่อไฟล์ผลลัพธ์และข้อเสนอแนะที่ได้รับ

7.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำเนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในรูปดิจิทัล รวมทั้งโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณการจำลองและโปรแกรมประมวลผลภายหลัง (post processing) รวมทั้งบันทึกอ้างอิงถึงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั้งหมด

7.4 การเก็บบันทึกรายงานต่างๆไว้

7.5 ข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์ ข้อมูลนำเข้าและผลที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองครั้งสุดท้าย การสอบทานแบบจำลอง การวิเคราะห์ความอ่อนไหว และการคาดคะเนเหตุการณ์ในอนาคต

8. คำสำคัญ

คำสำคัญ (key words) สำหรับการสืบค้นข้อมูลด้านการจัดทำรายงานผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล ได้แก่ การเก็บสำรองข้อมูล การทำรายงาน (archival documentation)

9. เอกสารอ้างอิง

American Society for Testing and Materials (ASTM)

2006. Standard Guide for Documenting a Ground-Water Flow Model Application, D 5718-95 (2006), ASTM, Philadelphia.

Anderson, M.P, and Woessner, W.W.1988.

applied Groundwater Modeling Simulation of Flow and Advective Transport. London. 381 p. Academic Press.INC.



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