



การสำรวจแหล่งน้ำบาดาลด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์
Time-Domain Electromagnetic (TDEM)
พื้นที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอไทรงาม และอำเภอลานกระบือ
จังหวัดกำแพงเพชร

นายจิตรกร สุวรรณเลิศ

อธิบดีกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

นายปราณีต ร้อยบาง

รองอธิบดีกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

นายสุวัฒน์ เปี่ยมปัจจัย

รองอธิบดีกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

-

จัดพิมพ์โดย

กองแผนงาน

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

๒๖/๘๓ ซอยท่านผู้หญิงพหลฯ ถนนงามวงศ์วาน

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

๑๐๙๐๐

พิมพ์ครั้งที่ ๑

มีนาคม ๒๕๕๘

จำนวน ๕ เล่ม

ข้อมูลการลงรายการบรรณานุกรม

จิตรกร สุวรรณเลิศ

การสำรวจแหล่งน้ำบาดาลด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ Time-Domain Electromagnetic (TDEM)

พื้นที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอไทรงาม และอำเภอลานกระบือ

จังหวัดกำแพงเพชร/โดย จิตรกร สุวรรณเลิศ -

กรุงเทพฯ: กองแผนงาน กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, ๒๕๕๘.

๑๕๓ หน้า: รูปประกอบ: ตาราง.

รายงานวิชาการ.

ชื่อผลงาน	การสำรวจแหล่งน้ำบาดาลด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ Time-Domain Electromagnetic (TDEM)
ชื่อผู้เขียนผลงาน	พื้นที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอไทรงาม และอำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร
ปี	นายจิตรกร สุวรรณเลิศ ๒๕๕๘

บทคัดย่อ

การสำรวจแหล่งน้ำบาดาลด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ Time-Domain Electromagnetic (TDEM) เป็นวิธีการสำรวจที่ได้พัฒนาวิธีการและเทคนิคการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ให้มีความทันสมัย ที่ไม่ถูกจำกัดด้วยสภาพพื้นที่ สามารถสำรวจได้ข้อมูลที่รวดเร็วขึ้น ข้อมูลที่ได้มีความละเอียด ครบถ้วน สามารถครอบคลุมในลักษณะของพื้นที่ต่อเนื่อง และสามารถบ่งบอกถึงขนาดรูปร่าง การแพร่กระจายตัวของชั้นน้ำบาดาล และสภาพการวางลำดับชั้นดินและหินได้ ซึ่งจะส่งผลให้การแปลความหมายมีความแม่นยำขึ้น สามารถนำมาใช้ในการวางแผนการบริหารจัดการน้ำ และแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับแหล่งน้ำบาดาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร ประกอบด้วยอำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอไทรงาม และอำเภอลานกระบือ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ ๑,๐๐๐ ตารางกิโลเมตร

การสำรวจด้วยวิธี TDEM อาศัยหลักการที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าถูกส่งลงใต้ผิวดิน เมื่อเจอชั้นน้ำบาดาลที่มีค่าความนำไฟฟ้าสูงก็就会被เหนี่ยวนำเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น ทำให้ทราบลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของชั้นดินชั้นหินชนิดต่างๆ กันที่อยู่ด้านล่างของพื้นผิวดิน และแสดงผลได้ทั้งในรูปแบบแผนที่และภาพสามมิติ สามารถให้ข้อมูลชนิดและขอบเขตที่แน่นอนของชั้นน้ำบาดาล และสามารถกำหนดจุดเจาะสำรวจและพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลได้อย่างแม่นยำ

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยวิธี TDEM นำมาจัดทำเป็นแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ในทั้งรูปแบบ ๒ มิติ และ ๓ มิติ และนำมาใช้ในการวิเคราะห์และแปลความหมายร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจ โดยเฉพาะข้อมูลจากการหยั่งธรณีฟิสิกส์ในหลุมเจาะถูกนำมาแปลความหมายเป็นลักษณะของชั้นตะกอน/ชั้นน้ำบาดาลแต่ละชั้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดขอบเขตชั้นทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยา ในแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ที่มีแถบสีมาตรฐานของค่าความต้านทานไฟฟ้า โดยนำเสนอในลักษณะของแบบจำลองทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยา ในรูปแบบ ๓ มิติ ผลการดำเนินการจัดทำแบบจำลองด้านอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะของพื้นผิวของขอบเขตการแผ่ขยายตัวและความหนาของชั้นหินให้น้ำบาดาลแต่ละชั้นหรือหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาแต่ละหน่วย ตลอดจนนำข้อมูลมาจัดทำเป็นแผนที่อุทกธรณีวิทยาชั้นรายละเอียด มาตราส่วน ๑:๕๐,๐๐๐ ของพื้นที่ศึกษาได้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานเรื่อง “การสำรวจแหล่งน้ำบาดาลด้วยวิธีทางธรณีฟิสิกส์ Time-Domain Electromagnetic (TDEM) พื้นที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอไทรงาม และอำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร” สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ขอขอบคุณคณะทำงานจากสำนักสำรวจและประเมินศักยภาพน้ำบาดาล ที่ให้ความร่วมมือในการจัดทำข้อมูลและให้ความเอาใจใส่กับงานสำรวจ จนทำให้เกิดผลสำเร็จและความก้าวหน้าของผลงานวิชาการในครั้งนี้

นอกจากนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผู้บริหารกรมทรัพยากรน้ำบาดาลทุกท่านที่ให้โอกาสในการสนับสนุนและให้ความสำคัญในการจัดทำผลงาน รวมทั้งเข้ามาช่วยให้งานของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเป็นอย่างดี ตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออีกมาก ที่ผู้เขียนไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอบพระคุณและขอบคุณ มาไว้ในโอกาสนี้ด้วย

จิตรกร สุวรรณเลิศ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ ๑ บทนำ	
๑.๑ ความเป็นมาและความสำคัญของการดำเนินการ	๑
๑.๒ วัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน	๒
๑.๓ เป้าหมายของการดำเนินงาน	๒
๑.๔ ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา	๒
๑.๕ สภาพของพื้นที่ศึกษา	๒
๑.๖ ขอบเขตการศึกษา	๒
บทที่ ๒ สภาพพื้นที่ศึกษา	
๒.๑ สภาพภูมิประเทศ	๕
๒.๒ สภาพภูมิอากาศ	๕
๒.๓ สภาพการใช้ที่ดิน	๖
๒.๔ สภาพทางธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้าง	๖
๒.๔.๑ ธรณีวิทยา: ลำดับชั้นหินและหน่วยหินทางธรณีวิทยา	๖
๒.๔.๒ ธรณีวิทยาโครงสร้าง	๑๒
๒.๕ สภาพทางอุทกธรณีวิทยา	๑๗
๒.๕.๑ หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา	๑๗
๒.๕.๒ ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล	๒๑
๒.๕.๓ สถิติและสถานภาพบ่อน้ำบาดาล	๒๔
๒.๕.๔ ปริมาณการใช้น้ำบาดาล	๒๕
๒.๕.๕ คุณสมบัติของชั้นหินให้น้ำบาดาล	๒๗
บทที่ ๓ การบินสำรวจธรณีฟิสิกส์	
๓.๑ การเตรียมการบินสำรวจ	๒๘
๓.๑.๑ ลำดับและขั้นตอนการปฏิบัติการบินสำรวจ	๒๙
๓.๑.๒ พื้นที่บินสำรวจ	๓๐
๓.๑.๓ แนวบินสำรวจ	๓๐
๓.๒ การปฏิบัติการภาคพื้นดิน	๓๒
๓.๒.๑ จุดขึ้น-ลงเฮลิคอปเตอร์จุดที่ ๑	๓๒
๓.๒.๒ จุดขึ้น-ลงเฮลิคอปเตอร์จุดที่ ๒	๓๒

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
๓.๓ การติดตั้งเครื่องมือและส่วนประกอบต่างๆ	๓๓
๓.๓.๑ ชุดเครื่องมือการบินสำรวจ	๓๓
๓.๓.๒ ระบบการทำงานของเครื่องมือ TEM	๓๖
๓.๔ การบันทึกข้อมูลในเวลาเดียวกัน (Data Synchronizing)	๓๖
๓.๕ การเปรียบเทียบระบบ TEM	๓๗
๓.๕.๑ การประมวลผลข้อมูลนำทาง (Navigation Data Processing)	๓๘
๓.๕.๒ การประมวลผลข้อมูลค่าความต่างศักย์	๓๙
๓.๕.๓ การผกผันในเชิงปรับค่าเรียบ (Smooth Inversion)	๓๙
๓.๕.๔ การสร้างแบบจำลองและการแปลความหมายข้อมูล (Modeling and Interpretation)	๔๐
๓.๖ การทดสอบวัดค่าที่ระดับความสูง (High Altitude Tests)	๔๑
๓.๗ การดำเนินการเก็บข้อมูล (Data Acquisition)	๔๑
๓.๗.๑ การตั้งสถานีฐาน (Ground Base Stations) DGPS	๔๒
๓.๗.๒ สถานีฐานวัดค่าสนามแม่เหล็ก (Magnetometer Base Station)	๔๒
๓.๘ การประมวลผลข้อมูล	๔๒
๓.๘.๑ ประมวลผลข้อมูล EM	๔๒
๓.๘.๒ การประมวลผลค่ามุมเอียง (Tilt Processing)	๔๔
๓.๘.๓ การประมวลผลค่าระดับความสูง (Height Processing)	๔๔
๓.๘.๔ การประมวลผล DGPS	๔๔
๓.๘.๕ ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM)	๔๕
๓.๘.๖ แฟ้มข้อมูลการบินสำรวจ (Airborne Data File)	๔๕
๓.๙ การวัดค่าและประมวลผลข้อมูลค่าสนามแม่เหล็ก (Magnetic Data Acquisition and Processing)	๔๕
๓.๙.๑ การทดสอบวัดค่า (Magnetic Heading Effect Test)	๔๕
๓.๙.๒ การทดสอบการอ่านค่าที่คลาดเคลื่อนกัน (Magnetometer Lag (parallax) Test)	๔๕
๓.๙.๓ การประมวลผลข้อมูลค่าสนามแม่เหล็ก (Magnetic Processing)	๔๗
บทที่ ๔ การประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล	
 การบินสำรวจเชิงธรณีฟิสิกส์	
๔.๑ การประมวลผลข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (EM Processing)	๔๙
๔.๑.๑ การนำเสนอข้อมูลดิบ EM (Presentation of Raw EM Data)	๔๙
๔.๑.๒ การประมวลผลค่ามุมเอียง (Tilt Processing)	๕๐
๔.๑.๓ การประมวลผลค่าระดับความสูง (Height Processing)	๕๐

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
๔.๑.๓ การประมวลผลค่าระดับความสูง (Height Processing)	๕๐
๔.๑.๔ ประมวลผลข้อมูลค่าตำแหน่งจากดาวเทียมเชิงอนุพันธ์ (DGPS Processing)	๕๑
๔.๑.๕ ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM)	๕๑
๔.๒ การประมวลผลข้อมูลค่าสนามแม่เหล็ก (Magnetic Data Processing)	๕๒
๔.๒.๑ การวัดค่าทดสอบ และปรับเทียบค่าในสนาม	๕๒
๔.๒.๒ แฟ้มข้อมูลจากการบินสำรวจ (Airborne Data File)	๕๖
๔.๓ การสร้างแบบจำลองเชิงผกผันของข้อมูล SkyTEM (Inversion of SkyTEM Data)	๕๘
๔.๓.๑ แบบจำลองหยั่งลึก ๑ เมตร	๕๘
๔.๓.๒ การปรับค่าปกติของแบบจำลอง (regularization) แบบกริด	๕๘
๔.๓.๓ การรักษาคุณภาพของแบบจำลองจากการตรวจสอบค่า Residuals	๖๑
๔.๓.๔ ผลของการผกผัน (Inversion Results)	๖๑
๔.๔ การนำเสนอแบบจำลองที่เป็นภาพตัดขวางและแบบกริด	๖๒
บทที่ ๕ การประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล	
การบินสำรวจเชิงธรณีวิทยา	
๕.๑ แนวคิดและแนวทางในการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบินสำรวจเชิงธรณีวิทยา	๖๖
๕.๒ ข้อมูลและโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ใช้ในการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบินสำรวจเชิงธรณีวิทยา	๖๗
๕.๒.๑ ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบินสำรวจเชิงธรณีวิทยา	๖๗
๕.๒.๒ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ใช้ในการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบินสำรวจเชิงธรณีวิทยา	๖๙
๕.๓ การแปลความหมายข้อมูลลักษณะชั้นดิน-หิน (Lithology) จากข้อมูลการบินสำรวจ	๗๐
๕.๓.๑ แนวทางการดำเนินการ	๗๐
๕.๓.๒ การแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะและลักษณะชั้นดิน-หิน	๗๐
๕.๔ การแปลความหมายข้อมูลการบินสำรวจเชิงธรณีวิทยา	๗๑
๕.๔.๑ สภาพธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษาและบริเวณโดยรอบ	๗๑
๕.๔.๒ ระเบียบวิธีปฏิบัติในการแปลความหมายข้อมูลการบินสำรวจเชิงธรณีวิทยา	๗๑
๕.๔.๓ การแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในพื้นที่ศึกษาในภาพรวม	๗๑

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
๕.๕ การจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยา	๗๕
๕.๕.๑ แนวคิดและแนวทางในการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยา	๗๕
๕.๕.๒ ข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยา	๗๖
๕.๕.๓ ขั้นตอนและวิธีการในการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยา	๗๖
๕.๕.๔ รายละเอียดการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยาแบบ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา	๗๙
๕.๖ การศึกษาวิเคราะห์สภาพการตกสะสมตัวของตะกอนในพื้นที่ศึกษา จากข้อมูล SkyTEM	๙๖
๕.๖.๑ ลักษณะการแผ่ขยายตัวของหินแข็งและตะกอน และลำดับการตกสะสม ตัวของตะกอนในช่วงความลึกต่างๆ	๙๗
๕.๖.๒ โครงสร้างทางธรณีวิทยา	๑๐๘
๕.๖.๓ ธรณีวิทยาแปรสัณฐานที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยา ของการตกสะสมตัวของตะกอน	๑๑๐
๕.๖.๔ สภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยาของการตกสะสมตัวของตะกอน	๑๑๑
บทที่ ๖ การประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบินสำรวจเชิงอุทกธรณีวิทยา: รายละเอียดและคุณสมบัติทางศาสตร์ของชั้นหินให้น้ำบาดาล	
๖.๑ การจัดทำแบบจำลองด้านอุทกธรณีวิทยา	๑๑๒
๖.๒ รายละเอียดของชั้นหินให้น้ำบาดาล	๑๑๔
๖.๒.๑ ชั้นหินให้น้ำบาดาลในหินร่วน (Unconsolidated-rocks aquifers)	๑๑๕
๖.๒.๒ ชั้นหินให้น้ำบาดาลในหินแข็ง (Consolidated-rocks aquifers)	๑๑๗
๖.๓ คุณสมบัติทางศาสตร์ของชั้นหินให้น้ำบาดาล	๑๑๗
๖.๔ ระบบการไหลของน้ำบาดาล	๑๑๘
๖.๕ การแผ่ขยายตัวของพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสีย	๑๒๓
๖.๖ ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล	๑๒๗
๖.๖.๑ ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลในเชิงปริมาณ	๑๒๗
๖.๖.๒ ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลเชิงคุณภาพน้ำ	๑๒๗
๖.๗ ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้	๑๓๘

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
๒.๓-๑	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ศึกษา
๒.๔-๑	สรุปจำนวนบ่อน้ำบาดาลประเภทต่างๆ ในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล พ.ศ. ๒๕๕๑)
๒.๔-๒	สรุปปริมาณการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล พ.ศ. ๒๕๕๑)
๓.๓-๑	ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการบินสำรวจธรณีฟิสิกส์
๓.๗-๑	แสดงค่าพิกัดและค่าระดับของความสูงของสถานีฐาน DGPS
๓.๗-๒	แสดงค่าพิกัดและค่าระดับของความสูงของสถานีวัดค่าสนามแม่เหล็ก
๓.๘-๑	ค่าพารามิเตอร์ควบคุมในการบินสำรวจ
๔.๒-๑	แสดงการวัดค่าทดสอบผลจากทิศมุ่งหน้าการบินสำรวจ
๔.๒-๒	หัวเรื่องของแฟ้มข้อมูลการบินสำรวจในรูปแบบ xyz-file
๔.๓-๑	ความหนาและความลึกของชั้นจำลองจำนวน ๓๐ ชั้น
๔.๓-๒	แบบฟอร์มไฟล์ xyz เป็นผลจากการทำผกผัน
๕.๕-๑	แสดงบัญชีบ่อน้ำบาดาลในโครงการศึกษาสำรวจและจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยา ชั้นรายละเอียด มาตราส่วน ๑:๕๐,๐๐๐ พื้นที่แอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน พื้นที่ ๓ จังหวัดนครสวรรค์ ตากและกำแพงเพชร ที่มีการนำข้อมูลหลุมเจาะมาใช้ในการดำเนิน การจำแนกหน่วยหินทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา
๖.๓-๑	ผลการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางศาสตร์ของบ่อน้ำบาดาลที่เจาะและพัฒนาขึ้น ใหม่ในพื้นที่ศึกษา

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
๑.๔-๑ ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา	๔
๒.๓-๑ การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา	๗
๒.๔-๑ แผนที่ธรณีสัณฐานบริเวณพื้นที่ศึกษา (โครงการศึกษาสำรวจและจัดทำแผนที่ น้ำบาดาลชั้นรายละเอียด มาตรฐาน 1 : 50,000 พื้นที่แอ่งน้ำบาดาล เจ้าพระยาตอนบน พื้นที่ 3 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ปีงบประมาณ 2553)	๘
๒.๔-๒ สภาพธรณีแปรสัณฐานในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแอ่งเทอร์เชียรี ของประเทศไทย (จาก Bal และคณะ, ๑๙๙๒)	๑๒
๒.๔-๓ สภาพธรณีแปรสัณฐานของแอ่งพิฆณุโลก (จาก Bal และคณะ, ๑๙๙๒)	๑๓
๒.๔-๔ แนวการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนบริเวณแอ่งพิฆณุโลก (จาก Bal และคณะ, ๑๙๙๒)	๑๔
๒.๔-๕ ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญบริเวณแอ่งพิฆณุโลก และแนวการสำรวจ คลื่นไหวสะเทือนหลักในแนวตะวันออก-ตะวันตก (จาก Bal และคณะ, ๑๙๙๒)	๑๕
๒.๔-๖ ผลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนตามแนวการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนหลักในแนว ตะวันออก-ตะวันตก แสดงโครงสร้างหลักทางธรณีวิทยา (จาก Bal และคณะ, ๑๙๙๒)	๑๖
๒.๔-๗ แผนที่อุทกธรณีวิทยาและแนวภาพตัดขวาง (โครงการศึกษาสำรวจและจัดทำ แผนที่น้ำบาดาลชั้นรายละเอียด มาตรฐาน ๑:๕๐,๐๐๐ พื้นที่แอ่งน้ำบาดาล เจ้าพระยาตอนบน พื้นที่ ๓ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ปีงบประมาณ ๒๕๕๓)	๑๘
๓.๑-๑ ภาพซ้ายมือแสดงระบบ SkyTEM ในระหว่างปฏิบัติการในเคนมาร์ก ภาพขวามือบน แสดงข้อมูลเชิง ๓ มิติของค่าความต้านทานไฟฟ้าที่แตกต่างกันของชั้นดินและชั้นหินที่ได้ จากระบบ SkyTEM ส่วนภาพขวามือล่างแสดงการแปลความหมายทางธรณีวิทยา ของข้อมูลเชิง ๒ มิติ	๒๘
๓.๑-๒ แผนที่แสดงพื้นที่ดำเนินการบินสำรวจ ครอบคลุมพื้นที่ ๑,๐๐๐ ตารางกิโลเมตร	๓๐
๓.๑-๓ แผนที่แสดงแนวการบินสำรวจในพื้นที่ Block 1A	๓๑
๓.๑-๔ แผนที่แสดงแนวการบินสำรวจในพื้นที่ Block 1B	๓๑
๓.๒-๑ บริเวณจุดขึ้น-ลงเฮลิคอปเตอร์จุดที่ ๑ บริเวณสถานที่สำนักงานเขตพื้นที่ การศึกษาประถมศึกษากำแพงเพชร เขต ๑ (สนามหญ้าหน้าอาคาร ๒) พิกัด ๕๕๕๔๒๒ E/๑๘๓๐๔๙๓ N	๓๒
๓.๒-๒ บริเวณจุดขึ้น-ลงเฮลิคอปเตอร์จุดที่ ๒ โรงเรียนทุ่งโพธิ์ทะเลพิทยฯ ตำบลนิคมทุ่ง โพธิ์ทะเล อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร พิกัด ๕๗๕๕๕๒ E/๑๘๒๓๒๗๑ N	๓๓
๓.๓-๑ ชุดเครื่องมือสำรวจที่อธิบายในเชิงระนาบ ประกอบเป็นเฟรมหกเหลี่ยม ตำแหน่งที่ วางเครื่องมือส่วนต่างๆ สีแดง เป็นพื้นที่วางวงส่งสัญญาณ (transmitter loop)	๓๔
๓.๓-๒ แสดงองค์ประกอบของเฟรมสำรวจ ในมุมมองจากล่างขึ้นบน	๓๔
๓.๓-๓ เครื่องมือวัดค่าสนามแม่เหล็กทางอากาศ	๓๕
๓.๓-๔ แสดงชุดเครื่องมือวัดค่าสนามแม่เหล็กทางอากาศที่ติดตั้งอยู่บนเฟรมสำรวจ	๓๖

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
๓.๕-๑ ข้อมูลของการนำทาง ค่าความสูง (และทำการประมวลผลแก้ค่าแล้ว) ความเร็วเครื่องบิน รวมทั้งมุมเอียง ทั้งแบบ Pitch และ Roll	๓๘
๓.๕-๒ การประมวลผลข้อมูลที่เป็นค่าความสูง จุด คือค่าอ่านได้ เลเซอร์สะท้อนจากต้นไม้ กราฟ เส้นทึบ เป็นค่าที่ทำการแก้ค่าแล้วเพื่อใช้ในการประมวลผลข้อมูล	๓๙
๓.๕-๓ การปรับแก้ค่าข้อมูลจากผกผันในเชิงปรับค่าเรียบ บริเวณที่สัญญาณรบกวนจะถูกตัดออกอัตโนมัติ	๔๐
๓.๖-๑ แสดงกราฟการทดสอบวัดค่าที่ระดับความสูง โดยสัญญาณ LM จากช่องสัญญาณ (gate) ๑ และข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณช่องสัญญาณ (gate) ๗ และสัญญาณจากช่องสัญญาณแรกจึงนำมาใช้ในการประมวลผลสัญญาณ HM แสดงที่ช่องสัญญาณ ๑๕ และข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณช่องสัญญาณ ๑๘	
เส้นกราฟ ๒ ชุด ได้จากการทดสอบวัดค่าที่ระดับความสูง ณ ก่อนและหลังที่ทำการบินสำรวจ โดยเส้นกราฟที่สองแสดงรูปแบบสอดคล้องกันไม่มีการเคลื่อนย้ายขยับหนึ่กันในระบบ (drift in the system) เมื่อเปิดส่งสัญญาณที่ระดับเดียวกับสัญญาณรบกวน จากช่องสัญญาณที่ใช้ที่ระดับความสูง ไม่พบสัญญาณรบกวนจากพื้นดิน จึงสรุปได้ว่า ไม่มีสัญญาณรบกวนที่สำคัญต่อระบบการวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	๔๑
๓.๘-๑ ตัวอย่างการนำเสนอข้อมูลดิบ EM สามารถเลือกแสดงในรูปกริด (cell size) ขนาด ๖๖ เมตร สีแดงแสดงระดับสัญญาณสูง และสีฟ้าแสดงระดับสัญญาณต่ำ	๔๓
๓.๘-๒ คำอธิบายข้อมูลการบินสำรวจ (airborne data file) SkyTEM survey	๔๖
๓.๙-๑ แผนที่ Residual Magnetic Field: RMF หลังจากการประมวลผลข้อมูล	๔๘
๔.๑-๑ ตัวอย่างการนำเสนอข้อมูลดิบ EM สามารถเลือกแสดงในรูปกริด (cell size) ขนาด ๖๖ เมตร สีแดงแสดงระดับสัญญาณสูง และสีฟ้าแสดงระดับสัญญาณต่ำ	๔๙
๔.๑-๒ พล็อตข้อมูลดิบ HM จากที่ขดลวด Z เลือกจากช่อง gate ๒๕ ของชุดข้อมูลสีแดงเป็นค่าสัญญาณสูง	๕๐
๔.๑-๓ แผนที่ DEM บริเวณพื้นที่สำรวจ จังหวัดกำแพงเพชร (เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง) ระบบพิกัด UTM Zone 47N (WGS84)	๕๒
๔.๒-๑ แผนที่กริดความเข้มสนามแม่เหล็กแบบ RMF สำหรับพื้นที่สำรวจ	๕๖
๔.๓-๑ แบบจำลองหยั่งลึก ๑ มิติ	๕๙
๔.๓-๒ แบบจำลองในรูปภาพตัดขวางจากบนเป็นภาพตัดขวางค่าความต้านทานไฟฟ้า จำเพาะ Resistivity section ความลึกที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง Investigation (DOI), ค่าสนามแม่เหล็กที่เห็น ประกอบด้วยข้อมูล Residual, Magnetic section, LM gate plot and HM gate plot	๖๒
๔.๔-๑ แบบจำลองผกผันที่เป็นกริดรูปลูกบาศก์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ	๖๓
๔.๔-๒ แบบจำลองค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๒ มิติ ความลึกห่างกัน ๒๐ เมตร จากที่ระดับความสูง ๑๑๐ เมตร ลงระดับลึก ๒๓๐ เมตร (ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง)	๖๔

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
๔.๔-๓ ภาพตัดขวางของแบบจำลองค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๒ มิติ จำนวน ๑๐ แนวไล่ลำดับจากด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา จากแนว 3DGrid3_719 ถึง 3DGrid3_692 ตามลำดับ	๖๕
๕.๒-๑ ตัวอย่างข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทาน ไฟฟ้าจำเพาะ ๑ มิติ ของพื้นที่ศึกษา	๖๘
๕.๔-๑ แผนที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย ตัดที่ช่วงระดับ ๗๕ ถึง ๗๐ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง)	๗๒
๕.๔-๒ แผนที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย ตัดที่ช่วงระดับความสูง ๕๐ ถึง ๔๕ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง)	๗๓
๕.๔-๓ แผนที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย ตัดที่ช่วงระดับความสูง ๒๐ ถึง ๑๕ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง)	๗๓
๕.๔-๔ แผนที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย ตัดที่ช่วงระดับความสูง ๕๕ ถึง ๖๐ เมตร (ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง)	๗๔
๕.๔-๕ แผนที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย ตัดที่ช่วงระดับความสูง ๑๙๕ ถึง ๒๐๐ เมตร (ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง)	๗๕
๕.๕-๑ แผนที่แสดงแนวภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของ แบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง ในแบบ ๒ มิติ (2-D vertical resistivity profile) จำนวน ๘ แนวหลัก	๗๘
๕.๕-๒ ตัวอย่างแบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูป ของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง ในแบบ ๒ มิติ หมายเลข Profile ๕ แสดงการกำหนดตำแหน่งขอบเขตการแผ่ขยายตัว ในแนวดิ่งและแนวนอนของชั้นธรณีแต่ละชั้นๆ ในจอแสดงภาพสามมิติ ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D	๗๙
๕.๕-๓ แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, ๒๕๕๔)	๘๑
๕.๕-๔ แผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, ๒๕๕๔)	๘๒
๕.๕-๕ ตัวอย่างข้อมูล E-log และ Gamma ray log ของบ่อน้ำบาดาล หมายเลข B03 (5541A004)	๘๔
๕.๕-๖ ตัวอย่างข้อมูลรายละเอียดชั้นดิน-หิน ของบ่อน้ำบาดาลหมายเลข B03 (5541A004)	๘๕
๕.๕-๗ แผนที่แสดงแนวภาพตัดขวางฯ ๘ แนวหลักและแนวภาพตัดขวางฯ ๑๐ แนวรอง ในพื้นที่ศึกษาที่กำหนดไว้ในเบื้องต้น (และจุดตัดระหว่างแนวภาพตัดขวางฯ หลัก)	๘๗
๕.๕-๘ แผนที่แสดงแนวภาพตัดขวางฯ ที่กำหนดเพิ่มเติมขึ้นในพื้นที่ศึกษา (และจุดตัดระหว่าง แนวภาพตัดขวางฯ หลักที่มีเพิ่มมากขึ้น)	๘๗

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
๕.๕-๙ ตัวอย่างแบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ตามแนวภาพตัดขวางฯ หลัก หมายเลข Profile 3	๘๘
๕.๕-๑๐ ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตด้านบนสุดของหน่วยหินตะกอนตะกั่วลันเต้า (Qot) และหน่วยหินตะกอนตะกั่วลันเต้ายุคใหม่ (Qyt) ในข้อมูล E-log ของบ่อน้ำบาดาลหมายเลข B03 (5541A004)	๘๙
๕.๕-๑๑ ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตด้านบนสุดของหินแข็ง (หินแกรนิต: gr) ในข้อมูล E-log ของบ่อน้ำบาดาลหมายเลข B02 (5541A011)	๙๐
๕.๕-๑๒ ข้อมูล DEM (Digital Elevation Model) ของพื้นที่ศึกษา	๙๑
๕.๕-๑๓ ตัวอย่างแบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ตามแนวภาพตัดขวางฯ หลัก หมายเลข Profile 3 แสดงการถ่ายโอนข้อมูล (ระดับความลึก) ตำแหน่งขอบเขตของหน่วยหินหลัก ทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาจากข้อมูล E-log มาสู่ภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ ณ ตำแหน่งที่ตั้งของบ่อน้ำบาดาลที่ปรากฏอยู่ในแนวภาพตัดขวางฯ หลักดังกล่าว	๙๒
๕.๕-๑๔ ตัวอย่างแบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ตามแนวภาพตัดขวางฯ หลัก หมายเลข Profile 3 แสดงการกำหนดตำแหน่ง Interpretation points เพิ่มเติมจนครอบคลุมตลอดความยาวของแนวภาพตัดขวางฯ หลักและครบทุก หน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยา	๙๓
๕.๕-๑๕ ภาพ ๓ มิติ แสดงการกระจายตัวของ Interpretation points ในพื้นที่ส่วนต่างๆ ของพื้นที่ศึกษาก่อนการกำหนดแนวภาพตัดขวางฯ เพิ่มเติมขึ้น	๙๔
๕.๕-๑๖ ภาพ ๓ มิติ แสดงการกระจายตัวของ Interpretation points ที่เพิ่มมากขึ้นใน พื้นที่ส่วนต่างๆ ของพื้นที่ศึกษาภายหลังการกำหนดแนวภาพตัดขวางฯ เพิ่มเติมขึ้น	๙๕
๕.๕-๑๗ ภาพตัวอย่างแบบจำลองทางธรณีวิทยา ๓ มิติ แสดงการแผ่ขยายตัวของพื้นผิวขอบเขต การแผ่ขยายตัว (boundary surface) ของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/ อุทกธรณีวิทยา ในลักษณะของ Solid layers	๙๕
๕.๕-๑๘ ภาพแบบจำลองทางธรณีวิทยา ๓ มิติ แสดงการแผ่ขยายตัวของพื้นผิวขอบเขต การแผ่ขยายตัว ของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยา	๙๖
๕.๖-๑ แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของ แบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้า จำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-710 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญ ชาวเคนยาแสดงการแผ่ขยายตัวของหินแข็งที่รองรับอยู่ข้างใต้ในบริเวณตอนบน ทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา	๙๙

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
๕.๖-๒	แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษาตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-713 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์กแสดงการแผ่ขยายตัวของหินแข็งที่รองรับอยู่ข้างใต้ในบริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา ๙๙
๕.๖-๓	แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษาตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-716 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์กแสดงการแผ่ขยายตัวของหินแข็งที่รองรับอยู่ข้างใต้ในบริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา ๙๙
๕.๖-๔	แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษาตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-719 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์กแสดงการแผ่ขยายตัวของหินแข็งที่รองรับอยู่ข้างใต้ในบริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา ๑๐๐
๕.๖-๕	แผนภูมิสีของพื้นที่ศึกษาที่กำหนดขึ้น ๑๐๐
๕.๖-๖	แบบจำลองแผนที่ทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแผนที่ทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นธรณีในแบบ ๒ มิติในช่วงความลึก ๒๔๕-๒๕๐ เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลางแสดงการแผ่ขยายตัวของชั้นหินแข็งที่รองรับอยู่ข้างใต้ในบริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา และมวลตะกอนเนื้อหยาบหน่วยต่างๆ ๑๐๐
๕.๖-๗	แบบจำลองแผนที่ทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแผนที่ทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นธรณีในแบบ ๒ มิติในช่วงความลึก ๙๕-๑๐๐ เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลางแสดงการแผ่ขยายตัวของชั้นหินแข็งที่รองรับอยู่ข้างใต้ในบริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา ๑๐๑

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
๕.๖-๘	แบบจำลองแผนที่ทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแผนที่ทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นธรณีในแบบ ๒ มิติในช่วงความลึก ๕-๑๐ เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง แสดงการแผ่ขยายตัวของชั้นหินแข็งที่รองรับอยู่ข้างใต้ในบริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา	๑๐๑
๕.๖-๙	แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-692 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของมวลตะกอนเนื้อหยาบที่รองรับอยู่ข้างใต้พื้นที่ศึกษา ในจอแสดงภาพตัดขวางของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D	๑๐๓
๕.๖-๑๐	แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-695 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของมวลตะกอนเนื้อหยาบที่รองรับอยู่ข้างใต้พื้นที่ศึกษา ในจอแสดงภาพตัดขวางของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D	๑๐๓
๕.๖-๑๑	แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-698 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของมวลตะกอนเนื้อหยาบที่รองรับอยู่ข้างใต้พื้นที่ศึกษา ในจอแสดงภาพตัดขวางของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D	๑๐๔
๕.๖-๑๒	แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-701 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของมวลตะกอนเนื้อหยาบที่รองรับอยู่ข้างใต้พื้นที่ศึกษา ในจอแสดงภาพตัดขวางของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D	๑๐๔

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
๕.๖-๑๓	แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษาตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-704 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของมวลตะกอนเนื้อหยาบที่รองรับอยู่ข้างใต้พื้นที่ศึกษาในจอแสดงภาพตัดขวางของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D	๑๐๕
๕.๖-๑๔	แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษาตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-707 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของมวลตะกอนเนื้อหยาบที่รองรับอยู่ข้างใต้พื้นที่ศึกษาในจอแสดงภาพตัดขวางของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D	๑๐๕
๕.๖-๑๕	แบบจำลองแผนที่ทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแผนที่ทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นธรณีในแบบ ๒ มิติ ในช่วงความลึก ๒๔๕-๒๕๐ เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง แสดงการแผ่ขยายตัวของชั้นหินแข็งและโครงสร้างหลักทางธรณีวิทยา (รอยเลื่อนปกติบริเวณขอบเขตแอ่งย่อยและแอ่งหลักของแอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน)	๑๐๙
๖.๑-๑	ภาพ ๓ มิติแสดงพื้นผิวขอบเขตการแผ่ขยายตัว (boundary surface) ของหน่วยหินหลักทางอุทกธรณีวิทยาในลักษณะของ solid layers	๑๑๓
๖.๑-๒	ภาพ ๓ มิติ แสดงพื้นผิวขอบเขตการแผ่ขยายตัว ของพื้นผิวภูมิประเทศ (Terrain) และพื้นผิวของชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัด (Alluvial Fan Aquifer; Qaf)	๑๑๓
๖.๑-๓	ภาพ ๓ มิติ แสดงพื้นผิวขอบเขตการแผ่ขยายตัว ของชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัด และชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำยุคใหม่ (Younger Terrace Aquifer; Qyt)	๑๑๔
๖.๑-๔	ภาพ ๓ มิติ แสดงพื้นผิวขอบเขตการแผ่ขยายตัว ของชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำยุคใหม่ และชั้นหินแข็ง (Bedrock)	๑๑๔
๖.๔-๑	แผนที่แสดงค่าระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลของชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดยุคใหม่ (Qaf1)	๑๒๐
๖.๔-๒	แผนที่แสดงค่าระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกอนน้ำยุคใหม่ช่วงตอนบน (Qyt1)	๑๒๑
๖.๔-๓	แผนที่แสดงค่าระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกอนน้ำยุคใหม่ช่วงตอนล่าง (Qyt2)	๑๒๒
๖.๔-๔	แผนที่แสดงค่าระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกอนน้ำยุคเก่าช่วงตอนบน (Qot1)	๑๒๔

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
๖.๔-๕	แผนที่แสดงค่าระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลของชั้นหินให้น้ำ ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่าช่วงตอนกลาง (Qot2)	๑๒๕
๖.๕-๑	แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่รับน้ำ ขอบเขตพื้นที่สูญเสีย และขอบเขตพื้นที่ที่เป็น ได้ทั้งพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสีย	๑๒๖
๖.๖-๑	แผนที่แสดงขอบเขตปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำ ตะกอนน้ำพารูปพัดยุคใหม่ (Qaf1)	๑๒๘
๖.๖-๒	แผนที่แสดงขอบเขตปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำ ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ช่วงตอนบน (Qyt1)	๑๒๙
๖.๖-๓	แผนที่แสดงขอบเขตปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำ ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ช่วงตอนล่าง (Qyt2)	๑๓๐
๖.๖-๔	แผนที่แสดงขอบเขตปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำ ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่าช่วงตอนบน (Qot1)	๑๓๑
๖.๖-๕	แผนที่แสดงขอบเขตปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำ ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่าช่วงตอนกลาง (Qot2)	๑๓๒
๖.๖-๖	แผนที่แสดงปริมาณ TDS ของชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดยุคใหม่ (Qaf1)	๑๓๓
๖.๖-๗	แผนที่แสดงปริมาณ TDS ของชั้นหินให้น้ำ ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ช่วงตอนบน (Qyt1)	๑๓๔
๖.๖-๘	แผนที่แสดงปริมาณ TDS ของชั้นหินให้น้ำ ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ช่วงตอนล่าง (Qyt2)	๑๓๕
๖.๖-๙	แผนที่แสดงปริมาณ TDS ของชั้นหินให้น้ำ ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่าช่วงตอนบน (Qot1)	๑๓๖
๖.๖-๑๐	แผนที่แสดงปริมาณ TDS ของชั้นหินให้น้ำ ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่าช่วงตอนกลาง (Qot2)	๑๓๗
๖.๗-๑	แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำ ตะกอนน้ำพารูปพัดยุคใหม่ (Qaf1)	๑๓๙
๖.๗-๒	แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำ ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ช่วงตอนบน (Qyt1)	๑๔๐
๖.๗-๓	แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำ ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ช่วงตอนล่าง (Qyt2)	๑๔๑
๖.๗-๔	แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำ ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่าช่วงตอนบน (Qot1)	๑๔๒
๖.๗-๕	แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำ ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่าช่วงตอนกลาง (Qot2)	๑๔๓

บทที่ ๑

บทนำ

๑.๑ ความเป็นมาและความสำคัญของการดำเนินการ

ด้วยทิศทางการขยายตัวทางเศรษฐกิจทั้งทางด้านเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม มีแนวโน้มการเติบโตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องในเขตพื้นที่แอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบนของประเทศไทย ทำให้พื้นที่แอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน มีความต้องการใช้น้ำเพื่อรองรับการเจริญเติบโตในทุกๆ ด้านเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะด้านการเกษตร การทำนาปรังและพืชเศรษฐกิจ เช่น อ้อย เป็นต้น การอาศัยพึ่งพาการบริหารจัดการแหล่งน้ำผิวดินเพียงด้านเดียวในการสนับสนุนการผลิต มีความเสี่ยงที่จะประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรงได้ ดังเช่นเหตุการณ์ภัยแล้งเมื่อปี พ.ศ. ๒๕๔๘ แหล่งน้ำผิวดินไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำทั้งด้านเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม และในปัจจุบันสภาพภูมิอากาศมีแนวโน้มที่จะเกิดความแปรปรวนอย่างต่อเนื่องจากภาวะโลกร้อน อาจทำให้เกิดภาวะน้ำท่วมและภัยแล้งในพื้นที่นั้นได้ ดังนั้น เพื่อป้องกันและแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำทั้งในปัจจุบันและอนาคต จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องดำเนินการวางแผน และบริหารจัดการน้ำทุกระบบในภาพรวม ไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำผิวดินหรือแหล่งน้ำบาดาล โดยเฉพาะแหล่งน้ำบาดาล ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งน้ำสำรองที่สำคัญจะต้องมีการวางแผนบริหารจัดการข้อมูลแหล่งน้ำบาดาลที่ถูกต้อง ชัดเจน ทันสมัย ครบถ้วน จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และประสิทธิผล

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล มีข้อมูลด้านการสำรวจธรณีฟิสิกส์ที่นำมาใช้ในการศึกษาข้อมูลสภาพอุทกธรณีวิทยา ที่ได้จัดทำไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ. ๒๕๐๗ รวมถึงการสำรวจเพิ่มเติมในปัจจุบันเป็นบางพื้นที่ ซึ่งเป็นการสำรวจเฉพาะจุด ยังไม่ครอบคลุมในลักษณะของพื้นที่ต่อเนื่อง รวมทั้งยังไม่มีข้อมูลที่ทันสมัย ในการบ่งบอกถึงขนาดรูปร่าง และการแพร่กระจายตัวของชั้นน้ำบาดาล และสภาพการวางลำดับชั้นดินและหิน อีกทั้งยังไม่สามารถนำข้อมูลที่มีอยู่มาวิเคราะห์และประมวลผล เพื่อใช้ในการวางแผนการบริหารจัดการน้ำและแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับแหล่งน้ำบาดาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่ผ่านมาการสำรวจแหล่งน้ำบาดาลโดยการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ ยังใช้วิธีการและเทคนิคในการสำรวจบนภาคพื้นดิน ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการสำรวจนาน และถูกจำกัดด้วยสภาพภูมิประเทศทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลรายละเอียดได้ครบถ้วนข้อมูลที่ละเอียดอาจจะทำให้การแปลความหมายเกิดความคลาดเคลื่อน แต่การบินสำรวจนั้นไม่ถูกจำกัดด้วยสภาพพื้นที่ทำให้สามารถสำรวจได้รวดเร็วขึ้นและได้ข้อมูลที่ละเอียดครบถ้วน ส่งผลให้การแปลความหมายแม่นยำขึ้น

การสำรวจ Airborne Electromagnetic (AEM) ด้วยวิธี Time – Domain Electromagnetic (TDEM) ถือเป็นเทคนิคการสำรวจที่พัฒนาขึ้นใหม่ โดยอาศัยหลักการที่ “สนามแม่เหล็กไฟฟ้าถูกส่งลงใต้ผิวดิน เมื่อเจอชั้นน้ำบาดาลที่มีค่าความนำไฟฟ้าสูงก็就会被เหนี่ยวนำเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น” ทำให้ทราบลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของชั้นดินชั้นหินชนิดต่างๆ กันที่อยู่ด้านล่างของพื้นผิวดิน และแสดงผลได้ทั้งในรูปแบบที่และภาพสามมิติ สามารถให้ข้อมูลชนิดและขอบเขตที่แน่นอนของชั้นน้ำบาดาลระดับต้น

บริเวณที่เป็นพื้นที่เติมน้ำลงสู่แหล่งน้ำบาดาล รวมทั้งความต่อเนื่องกับชั้นน้ำบาดาลที่อยู่ลึกถัดลงไปและสามารถกำหนดจุดเจาะสำรวจและพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลได้อย่างแม่นยำ ลดอัตราเสี่ยงในการเจาะได้อ่อน้ำบาดาลแห้ง

๑.๒ วัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน

- ๑) เพื่อสำรวจหาการแพร่กระจายตัว และความหนาที่แน่นอนของชั้นน้ำบาดาลแต่ละชั้น
- ๒) เพื่อต้องการพิสูจน์ทราบผลจากการสำรวจด้วย TDEM กับผลการหยั่งธรณีฟิสิกส์ในหลุมเจาะจากการเจาะบ่อน้ำบาดาล

๑.๓ เป้าหมายของการดำเนินงาน

พื้นที่ศึกษาได้รับการสำรวจ ประมวลผล วิเคราะห์ และแปลความหมายข้อมูลทางด้านธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยา ได้อย่างละเอียดและครบถ้วน

๑.๔ ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอไทรงาม และอำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ ๑,๐๐๐ ตารางกิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ ๑.๔-๑

๑.๕ สภาพของพื้นที่ศึกษา

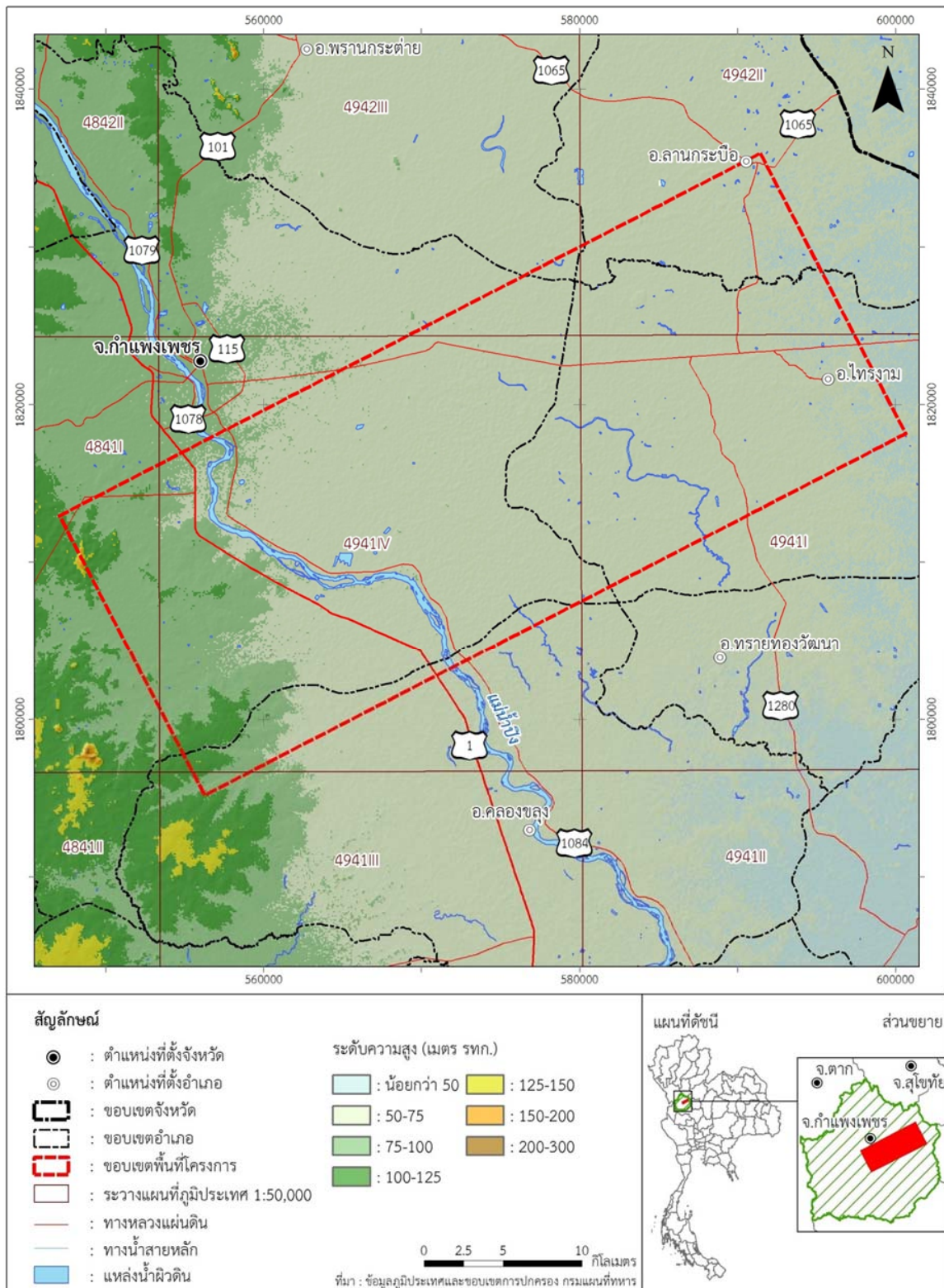
สภาพภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา แบ่งออกได้ ๒ ลักษณะ คือ

- ๑) ที่ราบเชิงเขา ได้แก่ พื้นที่สูงเชิงเขาด้านตะวันออกของพื้นที่ตอนบน
- ๒) ที่ราบลุ่มแม่น้ำ คือ บริเวณตอนกลางของพื้นที่ตอนบนที่เป็นที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำปิง และแม่น้ำสาขา มีระดับความสูงของประเทศตั้งแต่ ๑๐๐ เมตร ลงมาจนถึงประมาณ ๕๐ - ๖๐ เมตร (รทก.) ครอบคลุมเขตพื้นที่ด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่บริเวณอำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอไทรงาม และอำเภอลานกระบือ

๑.๖ ขอบเขตการศึกษา

- ๑) รวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง
- ๒) วางแผนแนวการบินสำรวจ แผนการปฏิบัติงานภาคพื้นดินเพื่อรองรับและสนับสนุนการบินสำรวจ กำหนดตารางเวลาบินตามมาตรฐานของเครื่องบินปีกหมุน
- ๓) ดำเนินการบินสำรวจทางอากาศโดยใช้เครื่องมือ Time-Domain Electromagnetic (TDEM) ทำการสำรวจธรณีฟิสิกส์ โดยขณะบินสำรวจอุปกรณ์ในการสำรวจจะส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic) ส่งสัญญาณลงมาบนพื้นดิน และคลื่นสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดการเหนี่ยวนำจะสะท้อนกลับมายังอุปกรณ์รับสัญญาณเพื่อเปลี่ยนจากคลื่นสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัญญาณดิจิทัลเก็บไว้ในเครื่องและนำเข้าสู่อุปกรณ์ประมวลผลและแปลความหมายของสัญญาณประชุมสัมมนาและจัดทำรายงาน
- ๔) ทำการประมวลผลแปลความหมายและวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการบินสำรวจ

- ๕) แสดงผลการสำรวจที่ได้รับการประมวลผลแปลความหมายและการวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบ resistivity profile 2 and 3 dimension subsurface hydrogeology ที่แสดงข้อมูลได้ทุกระดับความลึกที่ต้องการจากผิวดินและแปลความหมายทางอุทกธรณีวิทยา ที่ระดับความลึกต่างๆ เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการสำรวจภาคพื้นดินเจาะสำรวจและพัฒนาบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่
- ๖) คัดเลือกพื้นที่ศักยภาพน้ำบาดาล จำนวนไม่น้อยกว่า ๑๕ พื้นที่เพื่อเจาะสำรวจ
- ๗) เจาะและพัฒนาบ่อน้ำบาดาลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๖ นิ้ว จำนวนไม่น้อยกว่า ๑๕ บ่อ ความลึกรวมไม่น้อยกว่า ๒,๗๐๐ เมตร เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลการศึกษาและดำเนินการหยั่งธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะตลอดความลึกของทุกหลุมเจาะ
- ๘) สุ่มทดสอบปริมาณน้ำแบบ ๗๒ ชั่วโมงและเก็บตัวอย่างน้ำทุก ๖ ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทาง ชลศาสตร์ของชั้นหินให้น้ำบาดาล
- ๙) ตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำบาดาลแบบสมบูรณ์ (complete analysis)ตามมาตรฐานกรมทรัพยากรน้ำบาดาลไม่น้อยกว่า ๑๕ บ่อ



รูปที่ ๑.๔-๑ ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา

บทที่ ๒

สภาพพื้นที่ศึกษา

๒.๑ สภาพภูมิประเทศ

พื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอไทรงาม และอำเภอลานกระบือ โดยลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำปิงตอนล่างแบบตะพักลุ่มน้ำ (alluvial terrace) มีระดับความสูงประมาณ ๖๐-๑๔๐ เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยบริเวณด้านตะวันตกมีความสูงประมาณ ๑๔๐ เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง และระดับค่อยๆ ลดระดับลงไปทางด้านตะวันออก ในเขตอำเภอลานกระบือ ด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษามีลักษณะภูมิประเทศ เป็นภูเขาสูง คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ ๑๐ ของพื้นที่โครงการ และค่อยๆ ลาดเทลงมาในลักษณะที่ราบอีกประมาณร้อยละ ๙๐ ของพื้นที่โครงการ และมีแม่น้ำปิงไหลผ่านในเขตอำเภอเมืองกำแพงเพชร ซึ่งสามารถจำแนกลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาได้ ดังนี้

๑) ที่ราบเชิงเขา ได้แก่ พื้นที่สูงเชิงเขาด้านตะวันออกของพื้นที่ตอนบน

๒) ที่ราบลุ่มแม่น้ำ คือ บริเวณตอนกลางของพื้นที่ตอนบนที่เป็นที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำปิง และแม่น้ำสาขา มีระดับความสูงของประเทศตั้งแต่ ๑๐๐ เมตร ลงมาจนถึงประมาณ ๕๐ - ๖๐ เมตร (รทก.) ครอบคลุมเขตพื้นที่ด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่บริเวณอำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอไทรงาม และอำเภอลานกระบือ

ส่วนระบบของน้ำพบว่า มีแม่น้ำสายสำคัญ คือ แม่น้ำปิง เป็นแม่น้ำสายสำคัญของพื้นที่โครงการ มีต้นกำเนิดจากจังหวัดเชียงใหม่ ไหลผ่านบางส่วนของจังหวัดลำพูนเข้าสู่จังหวัดตาก ผ่านอำเภอสามเภา อันเป็นที่ตั้งของเขื่อนภูมิพลผ่านอำเภอบ้านตาก อำเภอเมืองตาก และอำเภอวังเจ้า และมีขนาดกว้างใหญ่ขึ้นเมื่อไหลเข้าสู่จังหวัดกำแพงเพชร และไหลลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดนครสวรรค์

๒.๒ สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศของพื้นที่โครงการมีลักษณะร้อนชื้น มีช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งที่เห็นเด่นชัด ฤดูฝนได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ส่วนฤดูหนาวได้รับอิทธิพลความเย็นมาจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ภูมิอากาศโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น ๓ ฤดู คือ

๑) ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์เป็นต้นไปจนถึงกลางเดือนพฤษภาคม

๒) ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมเป็นต้นไปจนถึงเดือนตุลาคม โดยฝนจะตกทางด้านตะวันตกมากกว่าด้านตะวันออก เนื่องจากอยู่ในเขตอิทธิพลของมรสุมและดีเปรสชัน นอกจากนี้ด้านตะวันตกมีพื้นที่ป่าไม้ขนาดใหญ่ ทำให้เก็บความชุ่มชื้นได้เป็นอย่างดี

๓) ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคมเป็นต้นไปจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ อากาศจะหนาวจัดในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม

๒.๓ สภาพการใช้ที่ดิน

จากการศึกษาข้อมูลแผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ศึกษา (กรมพัฒนาที่ดิน, ๒๕๔๓/๒๕๔๔) สามารถแบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น ๕ ประเภทหลัก ได้แก่ พื้นที่ชุมชนและย่านการค้า พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่า พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ ดังตารางที่ ๒.๓-๑ และรูปที่ ๒.๓-๑

ตารางที่ ๒.๓-๑ ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ศึกษา

ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ปริมาณพื้นที่	
	ตร.ม.	ร้อยละ
๑. พื้นที่เกษตรกรรม	๒,๘๖๐,๗๕๓,๗๖๕	๗๐.๙๑
๒. พื้นที่ป่า	๑๓๑,๙๙๒,๕๗๑	๓.๒๗
๓. พื้นที่ชุมชนและย่านการค้า	๕๙๗,๓๔๔,๑๗๔	๑๔.๘๑
๔. พื้นที่แหล่งน้ำ	๔๓๗,๗๗๒,๓๒๖	๑๐.๘๕
๕. พื้นที่อื่นๆ	๖,๗๓๗,๙๒๒	๐.๑๗
รวมพื้นที่ทั้งหมด	๔,๐๓๔,๖๐๐,๗๕๘	๑๐๐

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. ๒๕๔๓/๒๕๔๔

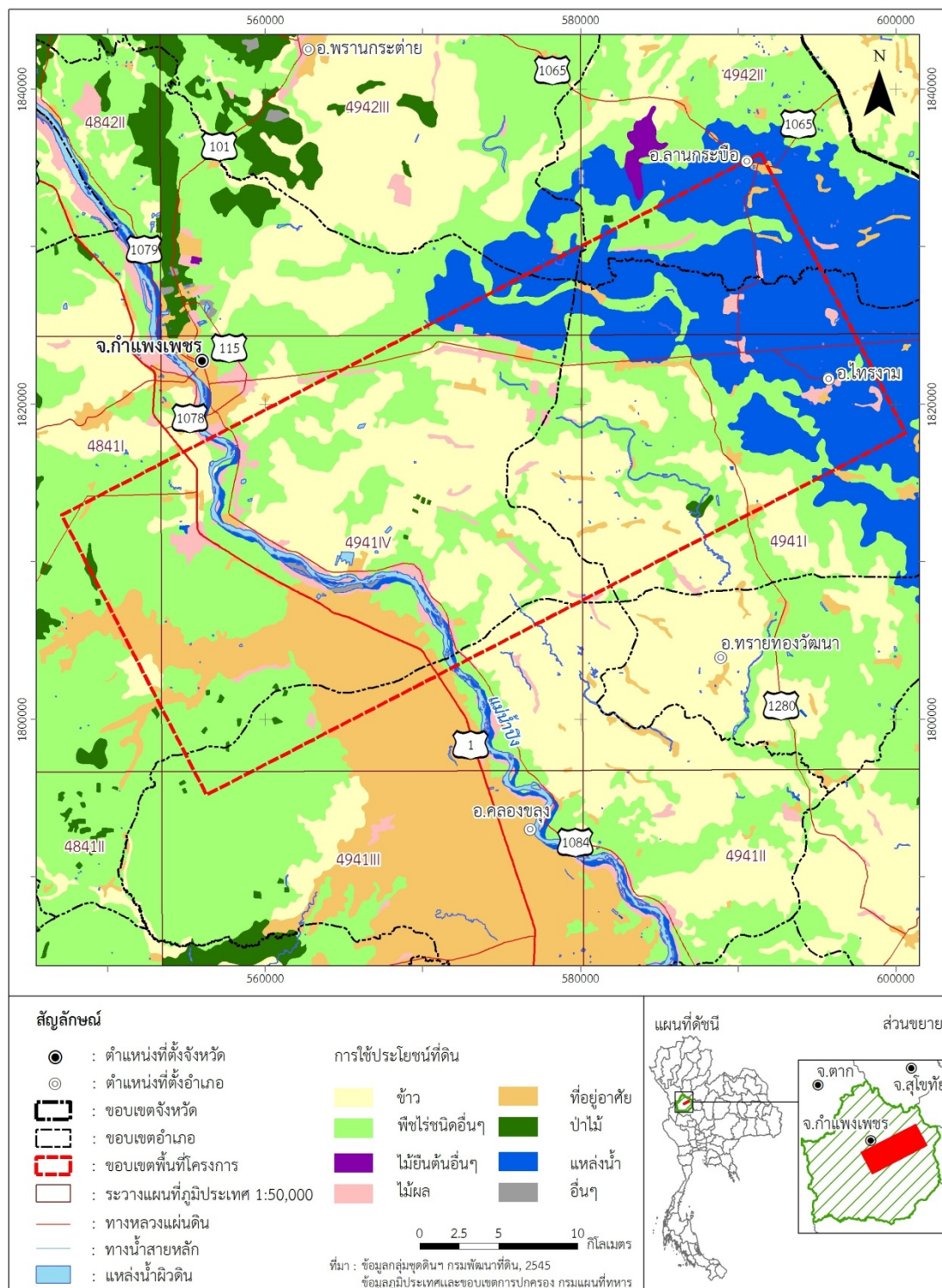
๒.๔ สภาพทางธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้าง

๒.๔.๑ ธรณีวิทยา: ลำดับชั้นหินและหน่วยหินทางธรณีวิทยา

จากการรวบรวมข้อมูลจากโครงการศึกษาสำรวจและจัดทำแผนที่น้ำบาดาลชั้นรายละเอียด มาตราส่วน ๑: ๕๐,๐๐๐ พื้นที่แอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน พื้นที่ ๓ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ปี ๒๕๕๓) พื้นที่ศึกษาประกอบด้วยหน่วยหินทางธรณีวิทยาทั้งที่เป็นตะกอนร่วน หินชั้น หินแปร และหินอัคนี จำนวนทั้งหมด ๑๔ หน่วย โดยเรียงลำดับอายุจากอ่อนสุดไปหาแก่สุด (จากด้านบนลงสู่ด้านล่าง) แผนที่ธรณีวิทยาแสดงดังรูปที่ ๒.๔-๑ โดยมีรายละเอียดดังนี้

(๑) ตะกอนร่วนยุคควอเทอร์นารี (Quaternary sediments) ประกอบด้วยแหล่งสะสมตะกอนที่ยังไม่จับตัวเป็นหินแข็ง ๕ หน่วย ได้แก่ ตะกอนน้ำพาสสมัยปัจจุบัน (Recent alluvial deposits) ตะกอนเนินตะกอนน้ำพารูปพัด (Alluvial fan deposits) ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ (Younger terrace deposits) ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่า (Older terrace deposits) และตะกอนเศษหินเชิงเขา (Colluvial deposits) มีรายละเอียดดังนี้

(๑.๑) ตะกอนน้ำพาสสมัยปัจจุบัน (Recent alluvial deposits : Qa) เป็นหน่วยหินทางธรณีวิทยาที่มีอายุน้อยสุด (ประมาณ ๑,๐๐๐-๑๐,๐๐๐ ปีก่อนปัจจุบัน) ประกอบด้วยตะกอนจำพวกดินเหนียว ทรายแป้ง ทรายและกรวด แผ่ขยายตัวอยู่ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา โดยในบริเวณที่มีระดับภูมิประเทศค่อนข้างสูงและ/หรือรองรับด้วยชั้นหินดาน (bedrock) ที่ระดับต้น ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ทางด้านตะวันตกตอนบนของพื้นที่ศึกษา ชั้นตะกอนหน่วยนี้มีความหนาไม่มากนัก ประมาณ ๒-๕ เมตร แต่เมื่อเข้าสู่บริเวณที่ราบจะมีความหนาเพิ่มมากขึ้นถึง ๘-๑๒ เมตร และยิ่งกว่านั้นเมื่อเข้าสู่ที่



รูปที่ ๒.๓-๑ การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา

ราบลุ่มน้ำหลาก (flood plain) ของทางน้ำสายหลัก (แม่น้ำปิง) จะมีความหนามากที่สุดถึงกว่า ๓๕ เมตร ในส่วนที่เป็นที่ราบลุ่มน้ำหลากมีลักษณะเป็นตะกอนจำพวกทรายและกรวดที่ถูกปิดทับด้วยชั้นทรายแป้งและดินเหนียว มีความหนาประมาณ ๘-๒๕ เมตร ตะกอนบริเวณนี้มีขนาดตั้งแต่ทรายเม็ดปานกลางถึงกรวดขนาดประมาณ ๑๕ มิลลิเมตร มีความกลมมนปานกลางถึงดี มีการคัดขนาดปานกลางถึงดี และมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่จำพวกควอร์ตซ์กับมีแร่เฟลด์สปาร์และเศษหินปนอยู่บ้าง แผ่ขยายตัวครอบคลุมพื้นที่ตลอดความยาวของแม่น้ำปิงในเขตท้องที่อำเภอโกสัมพีนคร อำเภอมืองกำแพงเพชร อำเภอคลองขลุง จังหวัดกำแพงเพชร

(๑.๒) ตะกอนน้ำพารูปพัด (Alluvial fan deposits: Qaf) ประกอบด้วย ตะกอนจำพวกทรายหยาบ และกรวดที่เกิดจากทางน้ำที่ไหลจากหุบเขาสูงชันทางด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษาลงสู่พื้นราบ เมื่อความเร็วของกระแสน้ำลดลงจนไม่สามารถพัดพาตะกอนบางส่วนต่อไปได้ ตะกอนดังกล่าวจึงตกสะสมบริเวณใกล้กับเนินเขาในลักษณะที่แผ่กระจายออกไปเป็นรูปพัด มีลักษณะโครงสร้างชั้นตะกอนแบบเรียงขนาดจากเล็กขึ้นไปใหญ่ (coarsening upward) แบ่งออกได้เป็น ๒ บริเวณใหญ่ๆ คือ

- **บริเวณแรก: ตะกอนน้ำพารูปพัดยุคใหม่ (Younger alluvial fan deposits: Qaf1)** แผ่ขยายตัวอยู่ทางฝั่งตะวันออกของแม่น้ำปิง มีอายุอยู่ในช่วงสมัยไพลสโตซีนตอนกลางถึงตอนปลาย (Middle to Late Pleistocene) มีความหนาประมาณ ๑๕-๒๕ เมตร ตะกอนมีขนาดตั้งแต่ทรายเม็ดละเอียดถึงกรวดขนาดประมาณ ๑๒ มิลลิเมตร มีความกลมมนแบบเป็นเหลี่ยมถึงกลมมนปานกลาง มีการคัดขนาดไม่ดีถึงดี และมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่จำพวกควอร์ตซ์ มีแร่เฟลด์สปาร์ เศษหินและแร่ไมกาปนอยู่บ้าง ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ด้านตะวันออกของอำเภอรานกระต่ายและอำเภอมืองกำแพงเพชรไปจนถึงขอบพื้นที่ศึกษาด้านตะวันออก ในท้องที่อำเภอรานกระต่าย อำเภอมืองกำแพงเพชร อำเภอลานกระบือ อำเภอไทรงาม อำเภอคลองขลุง อำเภอทรายทองวัฒนา และอำเภอบึงสามัคคี จังหวัดกำแพงเพชร

- **บริเวณที่สอง: ตะกอนน้ำพารูปพัดยุคเก่า (Old alluvial fan deposits: Qaf2)** แผ่ขยายตัวอยู่ทางฝั่งตะวันตกของแม่น้ำปิง มีอายุอยู่ในช่วงสมัยไพลสโตซีนตอนกลาง (Middle Pleistocene) มีความหนาประมาณ ๓๕-๔๐ เมตร ตะกอนมีขนาดตั้งแต่ทรายเม็ดละเอียดถึงกรวดขนาดประมาณ ๑๕ มิลลิเมตร มีความกลมมนแบบกึ่งเป็นเหลี่ยมถึงกลมมนดี มีการคัดขนาดไม่ดีถึงดี มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่จำพวกควอร์ตซ์ แร่เฟลด์สปาร์และเศษหินปนอยู่บ้าง ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ตอนล่างทางด้านตะวันตกของอำเภอมืองกำแพงเพชรลงไปจนถึงบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำปิงฝั่งตะวันตก ในท้องที่อำเภอมืองกำแพงเพชร อำเภอคลองขลุง จังหวัดกำแพงเพชร

(๑.๓) ตะกอนตะพักลุ่มน้ำยุคใหม่ (Younger terrace deposits: Qt1) มีอายุอยู่ในช่วงสมัยไพลสโตซีนตอนกลาง (Middle Pleistocene) ประกอบด้วย ตะกอนจำพวกกรวดและทรายปนดินเหนียว ส่วนใหญ่มีการแผ่ขยายตัวอยู่ทั่วทั้งพื้นที่ของแอ่งที่ราบลุ่ม โดยรองรับอยู่ข้างใต้ตะกอนน้ำพารูปพัดและตะกอนน้ำพาสสมัยปัจจุบัน บางแห่งเนื้อตะกอนถูกเชื่อมประสานด้วยแร่เหล็กออกไซด์จนกลายเป็นศิลาแลง มีความหนาประมาณ (๖๐-๑๐๐ เมตร ชั้นตะกอนกรวดทรายของชั้นนี้มีขนาดตะกอนตั้งแต่ทรายเม็ดละเอียดถึงกรวดขนาดประมาณ ๒๒ มิลลิเมตร ที่มีความกลมมนกึ่งเหลี่ยมถึงกลมมนดี มีการคัดขนาดไม่ดีถึงดี มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่จำพวกควอร์ตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ มีเศษหินและแร่ไมกาปนอยู่บ้าง ตะกอนตะพักลุ่มน้ำยุคใหม่นี้ยังมีส่วนที่ปรากฏอยู่บนผิว

ดินในบริเวณทางด้านตะวันตกและด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษาด้วย ท้องที่อำเภอพรานกระต่าย อำเภอโกสัมพีนคร อำเภอเมืองกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร

(๑.๔) ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่า (Old terrace deposits: Qt2) มีอายุอยู่ในช่วงสมัยไพลโอซีนตอนปลายถึงสมัยไพลสโตซีนตอนต้น (Late Pliocene to Early Pleistocene) (ยุคเทอร์เชียรีตอนปลายถึงยุคควอเทอร์นารีตอนต้น) ประกอบด้วยตะกอนจำพวกทรายหยาบ และกรวดใหญ่ปนดินเหนียวแผ่ขยายตัวทั่วทั้งพื้นที่ของแอ่งที่ราบลุ่มโดยรองรับอยู่ข้างใต้ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ ตะกอนหน่วยนี้เป็นส่วนล่างสุดของตะกอนร่วนยุคควอเทอร์นารี บางแห่งเนื้อตะกอนถูกเชื่อมประสานด้วยแร่เหล็กออกไซด์จนกลายเป็นศิลาแลง มีความหนาประมาณ ๒๕ – ๔๕ เมตร ชั้นตะกอนกรวดทรายของชั้นนี้มีขนาดตะกอนตั้งแต่ทรายเม็ดละเอียดถึงกรวดขนาดประมาณ ๒๘ มิลลิเมตร ที่มีความกลมมนแบบกึ่งเหลี่ยมถึงกลมมนดี มีการคัดขนาดไม่ดีถึงดี มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่จำพวกควอร์ตซ์กับมีแร่เฟลด์สปาร์ และมีเศษหินปนอยู่ ตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่านี้มีส่วนที่ปรากฏบนผิวดินอยู่ในบริเวณทางด้านตะวันตกและด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา ในท้องที่อำเภอพรานกระต่าย อำเภอโกสัมพีนคร อำเภอเมืองกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร

(๑.๕) ตะกอนเศษหินเชิงเขา (Colluvial deposits: Qc) เกิดจากการพังพังของหินเดิมซึ่งอาจเกิดอยู่กับที่หรือถูกพัดพาไปไม่ไกล พบในบริเวณเชิงเขาตามขอบแอ่งหรือพื้นที่ศึกษา ที่อยู่ติดขอบแอ่งหรือพื้นที่ศึกษาด้านตะวันออก ในท้องที่อำเภอโกสัมพีนคร อำเภอคลองลาน อำเภอคลองขลุงและอำเภอปางศิลาทอง จังหวัดกำแพงเพชร มีความหนาประมาณ ๑๕-๔๐ เมตร เนื้อตะกอนประกอบด้วยทรายแป้ง ทราย กรวดและเศษหิน ที่มีขนาดใหญ่สุดถึง ๑๒ มิลลิเมตร มีความกลมมนแบบเป็นเหลี่ยมและมีการคัดขนาดไม่ดีถึงปานกลาง

(๒) หินชั้นและหินแปร (Sedimentary and Metamorphic rocks) แบ่งออกได้เป็น ๖ หน่วย ดังนี้

(๒.๑) หินยุคจูแรสซิก (Jurassic rocks : J) ประกอบด้วยหินทราย หินทรายแป้ง สีนํ้าตาลถึงนํ้าตาลแกมแดง สลับด้วยหินดินดานสีนํ้าตาลแกมแดง หินกรวดมนสีนํ้าตาลแกมแดง เรียงขนาดเล็กขึ้นข้างบน การคัดขนาดไม่ดี กรวดขนาดเล็กถึงกรวดใหญ่ ประกอบด้วยแร่ควอร์ตซ์ หินทราย เฟลด์สปาร์ หินไรโอไลต์ ความกลมมนปานกลางถึงกลมถึงเหลี่ยม เนื้อหินเป็นเนื้อทราย เนื้อปานกลางถึงหยาบ หินทรายอาร์คอส สีเทาจาง ขาว เนื้อปานกลาง การคัดขนาดดี ความกลมมนดีถึงเหลี่ยมถึงกลม ประกอบด้วย ควอร์ตซ์ เฟลด์สปาร์มาก เชื่อมประสานด้วยเหล็ก ซิลิกาและแคลเซียมออกไซด์ บางบริเวณพื้นที่กระทบจากแรงเฉือนพบหินกรวดมนเนื้อฟิลไลต์ หินหน่วยนี้ส่วนใหญ่แผ่ขยายตัวในลักษณะเป็นแนวภูเขาหรือเนินเขารอบคลุมบริเวณตอนกลางทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา ในท้องที่อำเภอคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร

(๒.๒) หินยุคไทรแอสซิก (Triassic rocks : Trpt) หมวดหินพระธาตุ : Trpt ลักษณะหินประกอบด้วยหินทราย หินกรวดมน เนื้อหยาบสีนํ้าตาล-นํ้าตาลแดง ชั้นหินหนามาก สลับกับหินทรายแป้งและหินโคลน นํ้าตาลแดงแกมม่วง หน่วยหินนี้ส่วนใหญ่แผ่ขยายตัวในลักษณะเป็นแนวภูเขาหรือบริเวณด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา มีลักษณะเป็นภูเขาหรือเนินเขาโดดๆ ในท้องที่อำเภอโกสัมพีนคร จังหวัดกำแพงเพชร

(๒.๓) หินยุคเพอร์เมียน-คาร์บอนิเฟอรัส (Permian-Carboniferous rocks: PC) ประกอบด้วยหินควอร์ตไซต์ หินทรายแป้ง หินเถ้าภูเขาไฟเนื้อฟิลไลต์ สีเทาแกมนํ้าตาล ชั้นบาง

หินหน่วยนี้พบในลักษณะเป็นแนวเนินเขาหรือภูเขาสูงโดดๆ บริเวณทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา ในท้องที่อำเภอโกสัมพีนคร จังหวัดกำแพงเพชร

(๒.๔) หินยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน (Silurian-Devonian rocks: SD) ประกอบด้วย หินดินดานเนื้อฟิลไลต์ สีเทาแกมเขียว เนื้อละเอียดมาก เนื้อเม็ดแปร แสดงแนวแตกเรียบประชิด บางบริเวณมีซิลิกาแทนที่ หินทรายอาร์โคสแปรสภาพ สีเทาจาง ประกอบด้วยควอร์ตซ์เป็นส่วนใหญ่ แตกหัก มาจากรอยเลื่อน หินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ แปรสภาพ สีเทาจาง เนื้อละเอียดมาก เนื้อเม็ดแปร ประกอบด้วย ควอร์ตซ์ เฟลด์สปาร์ เนื้อหินแสดงรอยเถล หินทรายเนื้ออาร์โคส สีเทาจาง เนื้อละเอียด สลับด้วยหินโคลนสีขาว เนื้อละเอียด ประกอบด้วย ดินเหนียว เนื้อเฟลด์สปาร์ พบบริเวณทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ในท้องที่อำเภอคลองลาน อำเภอเมืองกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร

(๒.๕) หินยุคแคมเบรียน (Cambrian rocks: C) ประกอบด้วยหินควอร์ตไซต์ สีเทาจาง เนื้อตกผลึกใหม่เนื้อแน่น ประกอบด้วยควอร์ตซ์ ไม่แสดงชั้น บางบริเวณเป็นแถบชั้นบาง และแถบชั้นบางเฉียงระดับ หินไมกาชีสต์ สีเทาเข้ม เนื้อเม็ดแปร เนื้อละเอียดสลับชั้นของไบโอไทต์กับชั้นควอร์ตซ์และเฟลด์สปาร์ แนวเรียงตัวแบบหินชีสต์ การสลับชั้นหินของควอร์ตซ์ชีสต์ หินชีสต์ ควอร์ตซ์ไมกาชีสต์และหินฟิลไลต์ สีขาวและเหลืองจาง หินหน่วยนี้ส่วนใหญ่แผ่ขยายตัวในลักษณะเป็นแนวภูเขา มีทิศทางการวางตัวในแนวประมาณเหนือใต้ พบบริเวณด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษาในท้องที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร

(๒.๖) หินอายุพรีแคมเบรียน (Precambrian rocks: PC) ประกอบด้วย หินออร์โทไนส์ เนื้อแบบเม็ดแปร ดอกแปร บางบริเวณเป็นรูปดวงตา ประกอบด้วยเฟลด์สปาร์ ควอร์ตซ์และไมกา แสดงริ้วสภาพเรียงตัวแบบหินชีสต์ หินพาราไนส์ แสดงริ้วของโครงสร้างหินเดิม หินควอร์ตซ์ชีสต์ สีน้ำตาลอ่อน ประกอบด้วยควอร์ตซ์เป็นแร่หลัก หินควอร์ตซ์-ไมกาชีสต์ สีน้ำตาลอ่อน ประกอบด้วยควอร์ตซ์และมัสโคไวต์ตามริ้วขนาน หินไมกาชีสต์ สีเทาเข้ม เนื้อละเอียดมาก มีไบโอไทต์มาก แสดงสภาพเรียงตัวแบบหินชีสต์ หินแคลก์-ซิลิเกต สีเทาแกมเขียว เป็นแถบ พบบริเวณทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา ท้องที่อำเภอคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร

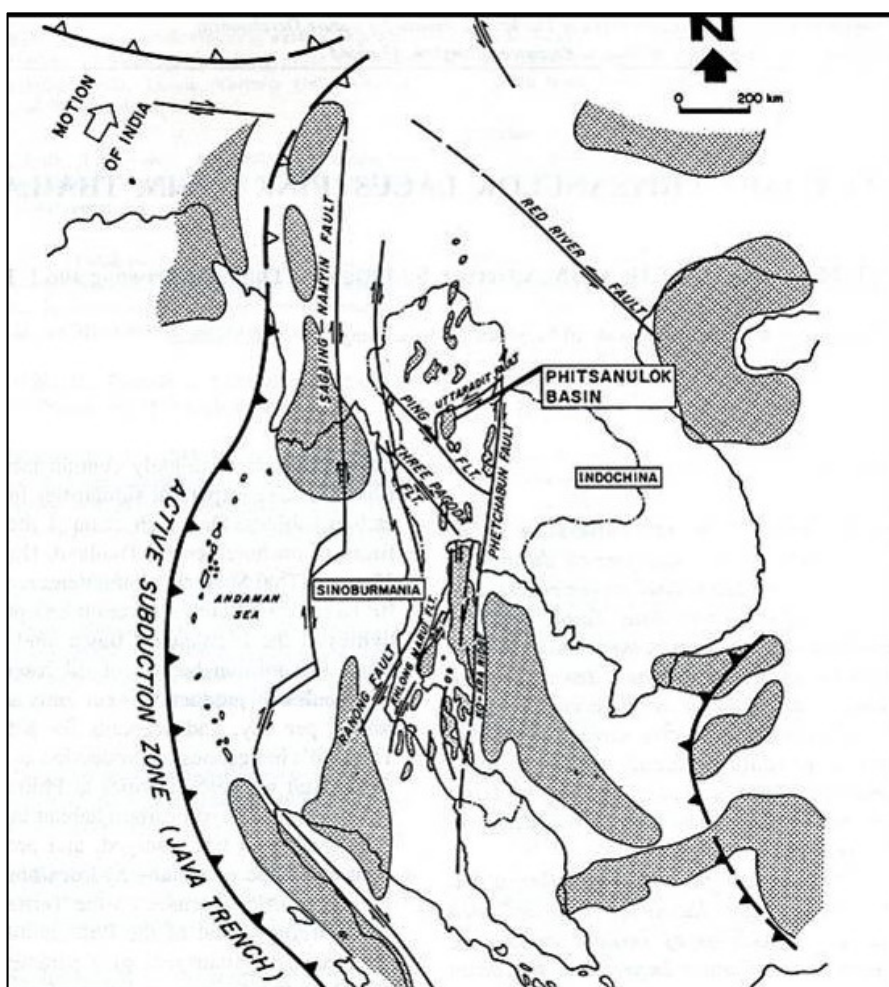
(๓) หินอัคนี (Igneous rocks) แบ่งออกได้เป็น ๒ กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มหินภูเขาไฟ (Volcanic rocks) และกลุ่มหินแกรนิต (Granitic rocks)

(๓.๑) กลุ่มหินภูเขาไฟ (Volcanic rocks: Vc) ประกอบด้วยหินภูเขาไฟชนิดต่างๆ ที่มีอายุอยู่ในยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสซิก (PTrv) ได้แก่ หินไรโอลิติกทัฟฟ์ สีม่วงแดงถึงม่วงเทา หินไรโอลิต์เนื้อดอก หินไรโอลิต์สีชมพูอ่อน เนื้อละเอียด และแผ่ขยายตัวต่อเนื่องลงมาถึงบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา ในท้องที่อำเภอโกสัมพีนคร อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร

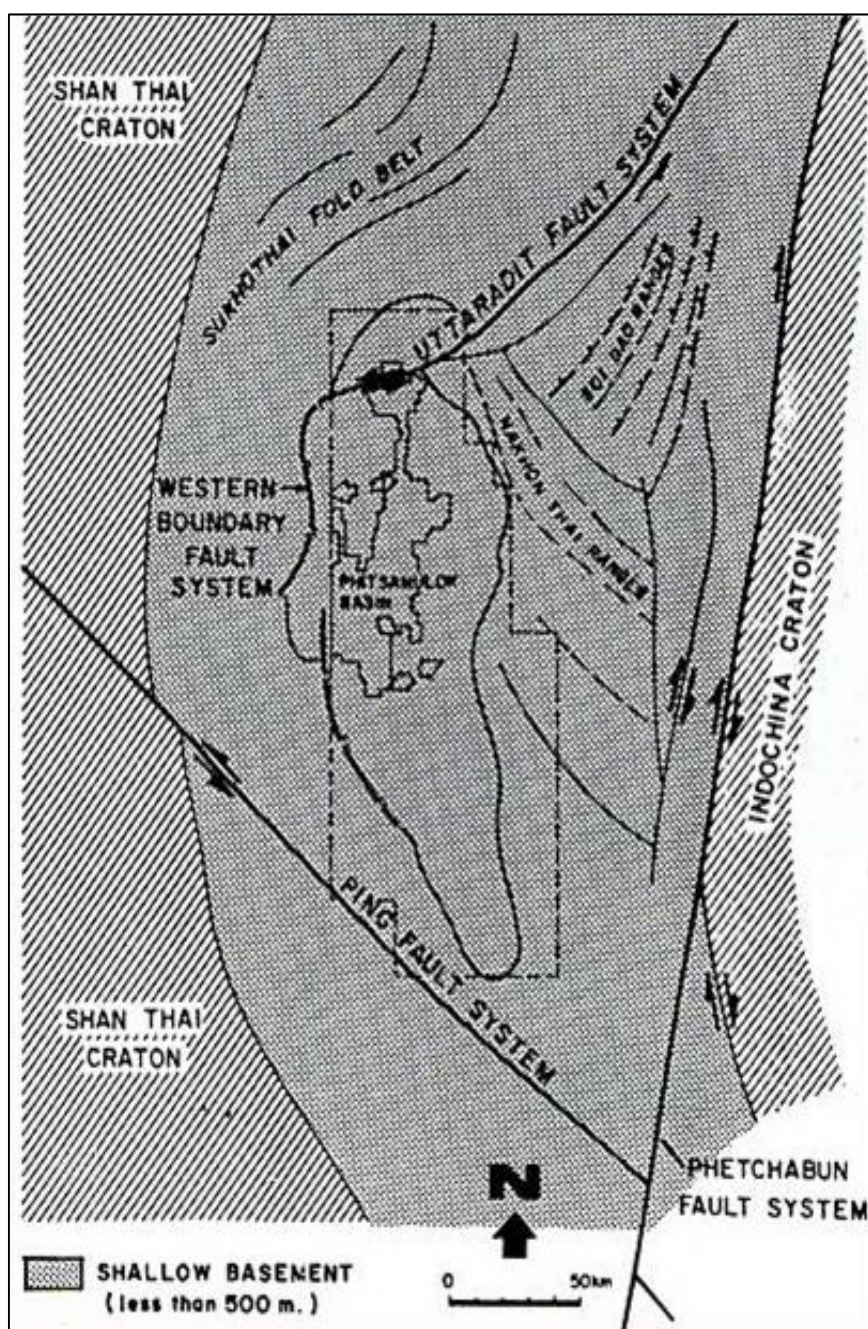
(๓.๒) กลุ่มหินแกรนิต (Granitic rocks: Gr) ประกอบด้วยหินแกรนิตชนิดต่างๆ ที่มีอายุอยู่ในช่วงยุคไทรแอสซิก (Trgr) ได้แก่ หินควอตซ์ไบโอไทต์แกรนิต เนื้อละเอียด หินฮอร์นเบลนด์แกรนิต สีเขียวอ่อน เนื้อหยาบ และบางส่วนเป็นหินแกรโนไดออไรต์เนื้อหยาบ ส่วนใหญ่มีลักษณะการวางตัว ในรูปของเทือกเขาขนาดใหญ่ที่สูงชันและเทือกเขาขนาดเล็กที่ไม่สูงชันมากนัก และมีอีกส่วนหนึ่งที่มีลักษณะการแผ่ขยายตัวในรูปของภูเขาหรือเนินเขาขนาดเล็ก ในลักษณะเนินหินผุ บริเวณตอนบนด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา และบริเวณเทือกเขาขนาดเล็กที่ไม่สูงชันมากนัก และอำเภอโกสัมพีนคร อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร

๒.๔.๒ ธรณีวิทยาโครงสร้าง

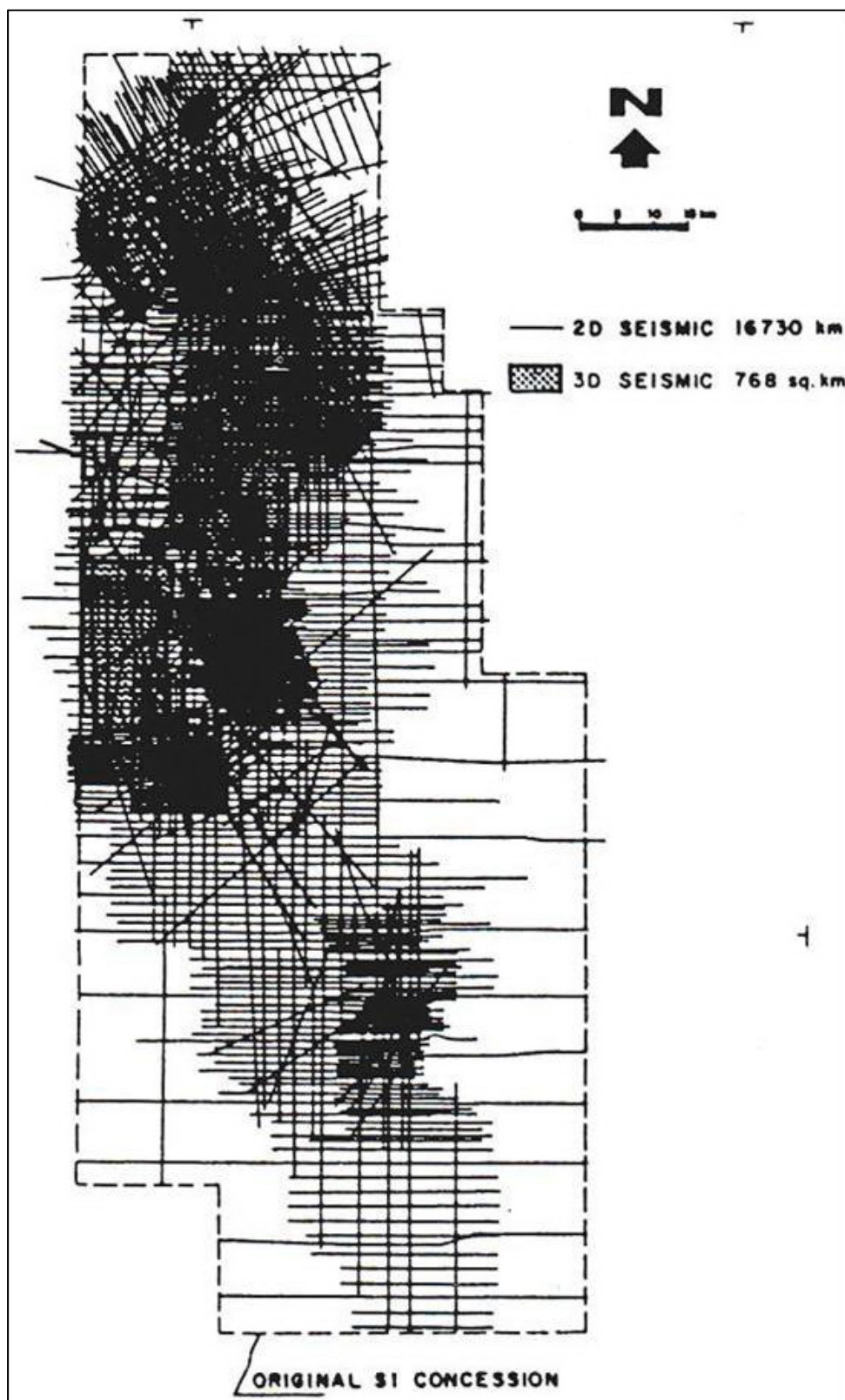
จากการศึกษาด้านธรณีวิทยาแปรสัณฐานและแอ่งเทอร์เชียรีในประเทศไทยโดย Bal และคณะ (๑๙๙๒) แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างหลักทางธรณีวิทยาของแอ่งที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบน หรือแอ่งพิษณุโลก ซึ่งเป็นแอ่งสะสมตะกอนยุคเทอร์เชียรีบนแผ่นดินที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของประเทศ และมีพื้นที่ส่วนหนึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียงโดยรอบในเขตจังหวัดกำแพงเพชร คือ กลุ่มรอยเลื่อนตามแนวระดับขนาดใหญ่ ๓ กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิง (Mae Ping Fault Zone) กลุ่มรอยเลื่อนอุตรดิตถ์ (หรือกลุ่มรอยเลื่อนน้ำปาด) (Nam Pat Fault Zone) และกลุ่มรอยเลื่อนเพชรบูรณ์ (Phetchabun Fault Zone) ซึ่งล้อมรอบพื้นที่แอ่งที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบนและบริเวณใกล้เคียงทางด้านทิศใต้ ทิศเหนือและทิศตะวันออก ตามลำดับ (รูปที่ ๒.๔-๒ และรูปที่ ๒.๔-๓) และจากผลการศึกษาสำรวจด้านคลื่นไหวสะเทือน (seismic survey) ของคณะผู้ทำการศึกษาดังกล่าวยังแสดงให้เห็นด้วยว่า ในบริเวณขอบแอ่งที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบนด้านทิศตะวันตกยังมีรอยเลื่อนปกติเกิดอยู่โดยรอบด้วย ซึ่งในรายงานของคณะผู้ทำการศึกษาเรียกว่ารอยเลื่อนขอบแอ่งด้านทิศตะวันตก (Western Boundary Fault) (รูปที่ ๒.๔-๔ ถึงรูปที่ ๒.๔-๖)



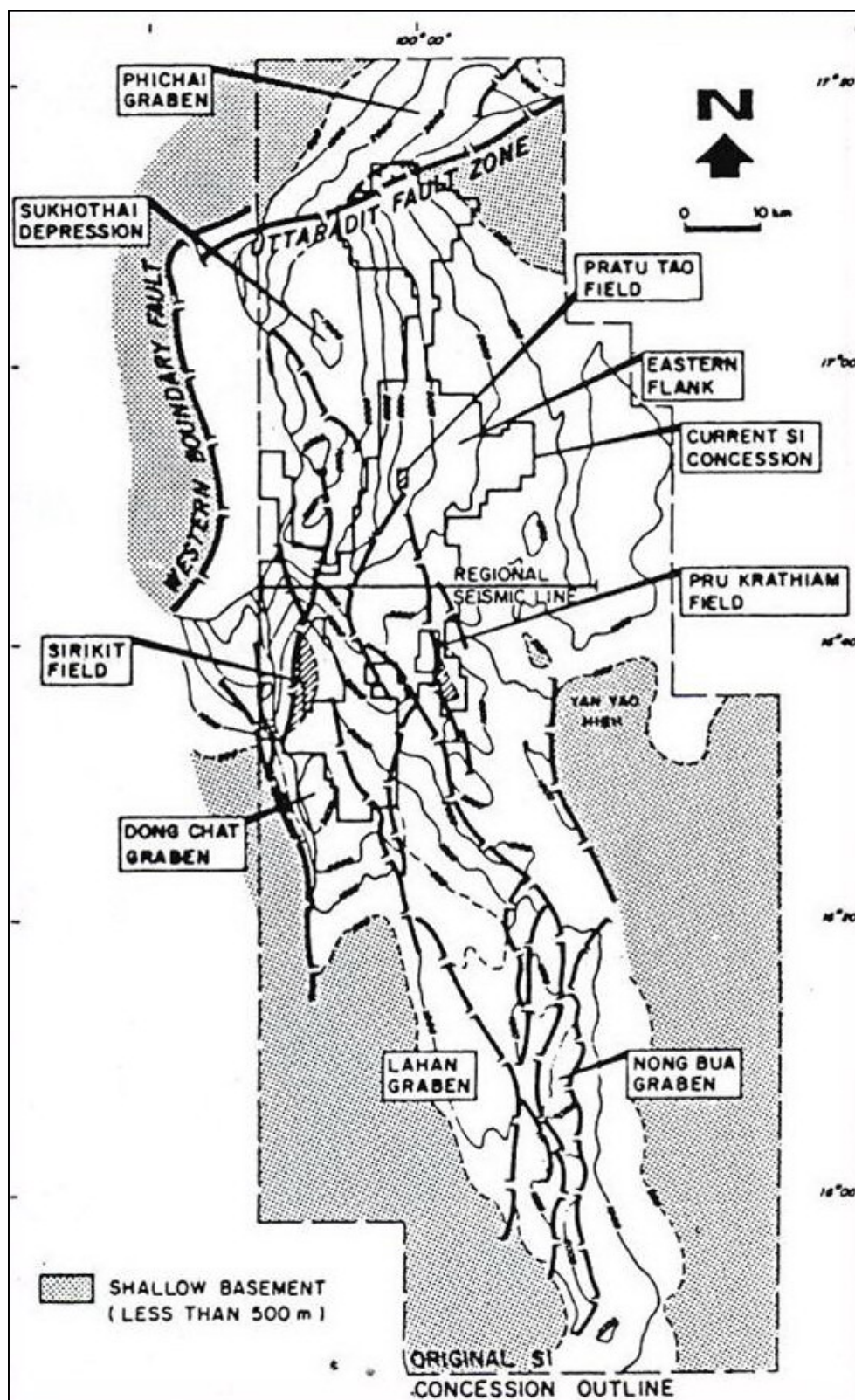
รูปที่ ๒.๔-๒ สภาพธรณีแปรสัณฐานในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแอ่งเทอร์เชียรีของประเทศไทย (จาก Bal และคณะ, ๑๙๙๒)



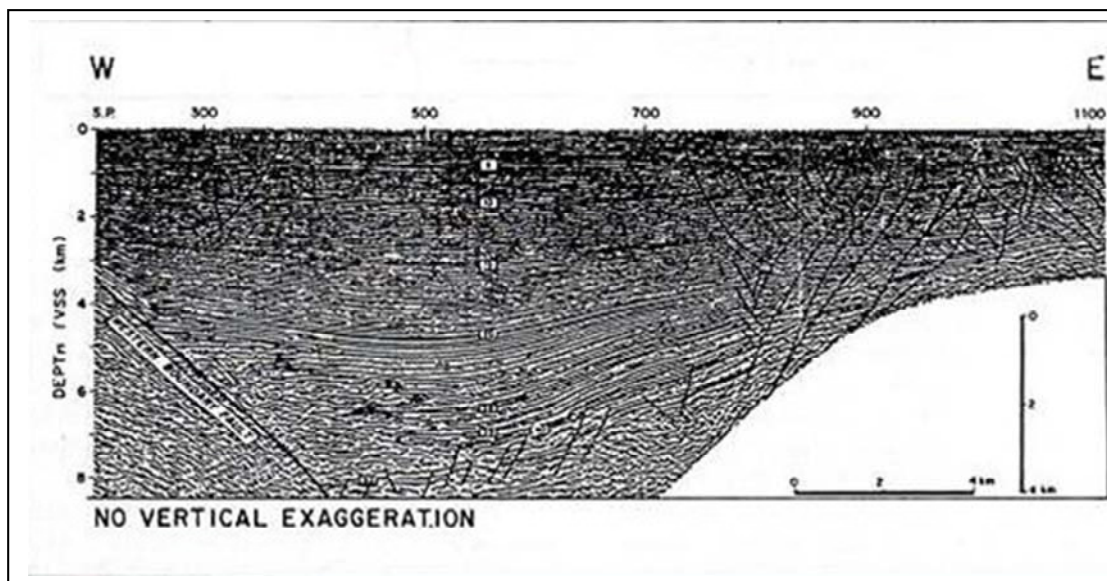
รูปที่ ๒.๔-๓ สภาพธรณีแปรสัณฐานของแอ่งพิษณุโลก (จาก Bal และคณะ, ๑๙๙๒)



รูปที่ ๒.๔-๔ แนวการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนบริเวณแอ่งพิษณุโลก (จาก Bal และคณะ, ๑๙๙๒)



รูปที่ ๒.๔-๕ ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญบริเวณแอ่งพิชญ์โลก และแนวการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนหลักในแนวตะวันออก-ตะวันตก (จาก Bal และคณะ, ๑๙๙๒)



รูปที่ ๒.๔-๖ ผลการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนตามแนวการสำรวจคลื่นไหวสะเทือนหลักในแนว ตะวันออก-ตะวันตก แสดงโครงสร้างหลักทางธรณีวิทยา (จาก Bal และคณะ, ๑๙๙๒)

กรมทรัพยากรธรณี (พ.ศ. ๒๕๔๒) ได้แสดงข้อมูลเกี่ยวกับกลุ่มรอยเลื่อนทั้งสาม ดังกล่าวข้างต้น ดังนี้

- **กลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิง** เป็นกลุ่มรอยเลื่อนที่รวมเอารอยเลื่อนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น รอยเลื่อนเมย-อุทัยธานี หรือรอยเลื่อนแม่เมย รอยเลื่อนวังเจ้าและรอยเลื่อนลานสาง เป็นต้น มีทิศทางไปทางตะวันออกเฉียงใต้ โดยเริ่มต้นจากรอยเลื่อนสะแกง (Sakiang Fault) หรือ Shan Boundary Fault Zone ในประเทศพม่า ผ่านเข้ามาในประเทศไทยบริเวณแม่น้ำเมยด้านตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ผ่านบ้านลานสาง จังหวัดตาก แม่น้ำปิง จังหวัดกำแพงเพชรและจังหวัดนครสวรรค์ ต่อเลยไปถึงจังหวัดสระแก้วและประเทศกัมพูชา มีความยาวทั้งสิ้นที่ผ่านประเทศไทยประมาณ ๗๕๐ กิโลเมตร เนื่องจากเป็นรอยเลื่อนที่ยาวมากจึงตัดผ่านชั้นหินมากมาย ตั้งแต่มหายุคพรีแคมเบียนถึงมหายุคมีโซโซอิก โดยเคลื่อนตัวไปทางซ้ายประมาณ ๑๐๐ กิโลเมตร (Campbell and Nutalaya, ๑๙๗๓; Bunopas, ๑๙๘๑; Chantaramee, ๑๙๘๑; Tapponnier et al., ๑๙๘๖) ปัจจุบันรอยเลื่อนกลุ่มนี้เคลื่อนย้ายไปทางขวา

- **กลุ่มรอยเลื่อนอุตรดิตถ์ (หรือกลุ่มรอยเลื่อนน้ำปาด)** เป็นกลุ่มรอยเลื่อนที่อยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีจุดเริ่มต้นต่อจาก Dien Bien Phu Fault Zone ประเทศเวียดนาม ผ่านเมืองชัยบุรี ประเทศลาว ตามแนวแม่น้ำปาด คลองตรอน และแอ่งเจ้าพระยา ตอนบนบริเวณจังหวัดอุตรดิตถ์ จังหวัดสุโขทัย และอำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร กลุ่มรอยเลื่อนนี้ยาวประมาณ ๒๕๐ กิโลเมตร (รวมทั้งรอยเลื่อนอุตรดิตถ์ด้วย) ส่วนใหญ่ตัดผ่านกลุ่มหินโคราช การเคลื่อนตัวของกลุ่มรอยเลื่อนนี้เข้าใจว่าเป็นลักษณะเดียวกันกับ Dien Bien Phu Fault Zone กล่าวคือ เป็นแบบเคลื่อนตัวไปทางขวา (dextral fault) ในช่วงยุคเทอร์เชียรีตอนกลาง และกลับเคลื่อนตัวไปทางซ้าย (dextral fault) ในยุค ควอเทอร์นารี (Tapponnier et al., ๑๙๘๖) โดยมีค่าอัตราการเคลื่อนตัว long-term slip rate (mm/yr) = ๐.๐๔ (Fenton et al., ๑๙๙๗)

- **กลุ่มรอยเลื่อนเพชรบูรณ์** วางตัวอยู่ในแนวเหนือใต้ เป็นกลุ่มรอยเลื่อนที่ต่อกับกลุ่มรอยเลื่อนน้ำปาดหรือรอยเลื่อนอุตรดิตถ์ที่เมืองปากลาย (Paklay) ประเทศลาว ผ่านเข้ามาในประเทศไทยด้านตะวันตกของอำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ในแนวเหนือใต้ ผ่านแอ่งเพชรบูรณ์ตามแนวแม่น้ำป่าสักถึงบริเวณจังหวัดสระบุรี ยาวประมาณ ๓๕๐ กิโลเมตร แอ่งเพชรบูรณ์กลุ่มน้ำป่าสักเกิดจากอิทธิพลของกลุ่มรอยเลื่อนนี้ ซึ่งตัดผ่านกลุ่มหินโคราชและกลุ่มหินสระบุรี

๒.๕ สภาพทางอุทกธรณีวิทยา

๒.๕.๑ หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา

จากการรวบรวมข้อมูลสภาพอุทกธรณีวิทยา ของโครงการศึกษาสำรวจและจัดทำแผนที่น้ำบาดาลชั้นรายละเอียด มาตราส่วน ๑:๕๐,๐๐๐ พื้นที่แอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ปีงบประมาณ ๒๕๕๓) สามารถสรุปหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาหรือชั้นหินให้น้ำบาดาล ทั้งในหินร่วนและหินแข็งจำนวนทั้งหมด ๑๓ หน่วย แผนที่หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาและแนวภาพตัดขวางแสดงดังรูปที่ ๒.๔-๗ โดยเรียงลำดับหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาจากอายุอ่อนสุดไปหาแก่สุด (จากด้านบนลงสู่ด้านล่าง) ดังนี้

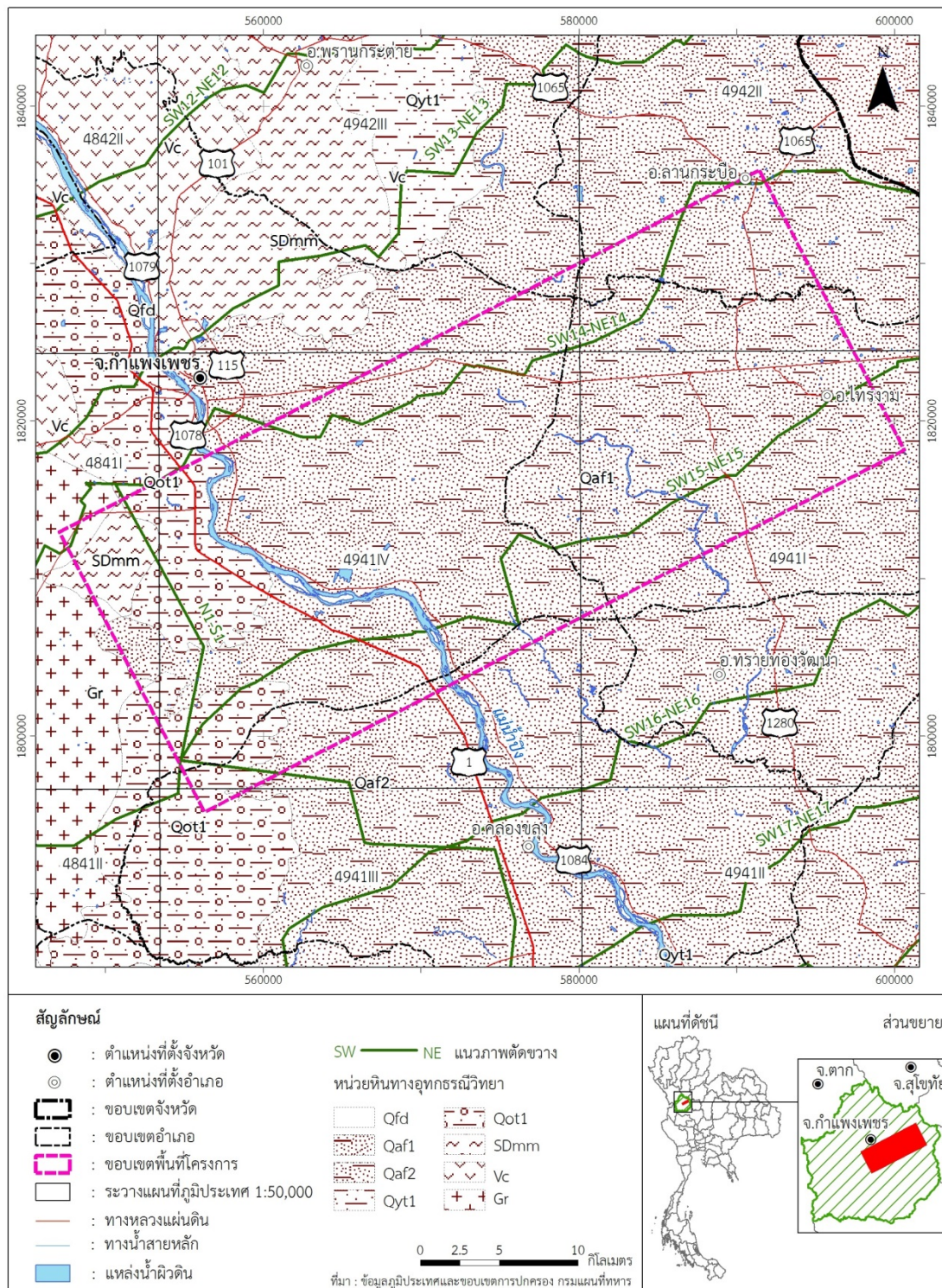
(๑) ชั้นหินให้น้ำบาดาลในหินร่วน (Unconsolidated-rocks aquifers)

(๑.๑) **ชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา (Alluvial and/or Flood-plain aquifer: Qa/Qfd)** เป็นชั้นหินให้น้ำบาดาลที่มีอายุอ่อนสุด (ประมาณ ๑,๐๐๐-๑๐,๐๐๐ ปีก่อนปัจจุบัน) และวางตัวปิดทับอยู่ด้านบนสุดของบรรดาชั้นหินให้น้ำบาดาลในหินร่วนทั้งหมด แผ่ขยายตัวครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา โดยในบริเวณที่มีระดับภูมิประเทศค่อนข้างสูงและ/หรือรองรับด้วยชั้นหินดาน (bedrock) ที่ระดับตื้น ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ทางด้านตะวันตกตอนบนของพื้นที่ศึกษา ชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้มีความหนาไม่มากนัก ประมาณ ๖-๑๕ เมตร แต่เมื่อเข้าสู่บริเวณที่ราบลุ่มจะมีความหนาเพิ่มมากขึ้นถึง ๑๕-๓๕ เมตร (flood plain) ของแม่น้ำป่าสัก และทางน้ำสาขาต่างๆ มีความหนามากที่สุดถึงกว่า ๔๘ เมตร โดยในบริเวณที่อยู่ห่างจากทางน้ำสายหลักและทางน้ำสาขาต่างๆ ออกไป ชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้ประกอบขึ้นด้วยตะกอนจำพวกดินเหนียว ทรายแป้ง ทรายและกรวดละเอียดเล็กกันอย่างไม่เป็นระบบ

พบบริเวณที่ราบลุ่มน้ำหลากของแม่น้ำป่าสัก ในเขตพื้นที่อำเภอโกสุมพิสัย อำเภอมือเกรง อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ อำเภอฆ้องชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ มีชั้นตะกอนกรวดทรายท้องน้ำที่มีความหนาถึง ๕-๒๐ เมตร ที่บริเวณท้องน้ำแม่น้ำป่าสัก โดยตะกอนกรวดทรายดังกล่าวมีขนาดของตะกอนตั้งแต่ทรายเม็ดละเอียดถึงกรวดขนาด ๕ มิลลิเมตร มีความกลมมนถึงกลมมนดี มีการคัดขนาดปานกลางถึงดี

(๑.๒) **ชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัด (Alluvial fan aquifers; Qaf1 และ Qaf2)** เป็นชั้นหินให้น้ำบาดาลที่มีอายุแก่ถัดขึ้นไปจากชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา และรองรับอยู่ข้างใต้ชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพาที่มีส่วนล่างสุดเป็นชั้นดินเหนียวที่ค่อนข้างหนา แผ่ขยายตัวครอบคลุมพื้นที่ศึกษาในส่วนที่เป็นแอ่งที่ราบลุ่มทั้งสองฝั่งของแม่น้ำป่าสัก ชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้แบ่งออกได้เป็น ๒ หน่วยย่อย ได้แก่

(๑.๒.๑) **ชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดยุคใหม่ (Younger alluvial fan aquifer: Qaf1)** มีอายุการเกิดอยู่ในช่วงสมัยไพลสโตซีนตอนกลางถึงตอนปลาย ประกอบด้วยตะกอนจำพวกทรายหยาบและกรวดที่มีขนาดเม็ดตะกอนตั้งแต่ขนาดทรายหยาบถึงขนาดใหญ่กว่า



รูปที่ ๒.๔-๗ แผนที่อุทกธรณีวิทยาและแนวภาพตัดขวาง (โครงการศึกษาสำรวจและจัดทำแผนที่น้ำบาดาลชั้นรายละเอียด มาตรฐาน ๑:๕๐,๐๐๐ พื้นที่แอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน พื้นที่ ๓ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ปีงบประมาณ ๒๕๕๓)

๒๐ มิลลิเมตร มีความกลมมนเป็นเหลี่ยมถึงกลมมนดี มีการคัดขนาดไม่ดีถึงดี แผลขยายตัวครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ด้านตะวันออกของอำเภอพรานกระต่ายและอำเภอเมืองกำแพงเพชรไปจนถึงขอบพื้นที่ศึกษาด้านตะวันออก ในท้องที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอลานกระบือ อำเภอไทรงาม อำเภอคลองขลุง อำเภอทรายทองวัฒนา และอำเภอบึงสามัคคี ของพื้นที่ศึกษา ชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้มีความหนาไม่มากนัก ประมาณ ๖-๑๕ เมตร แต่เมื่อเข้าสู่บริเวณที่ราบลุ่มจะมีความหนาเพิ่มมากขึ้นถึง ๑๕-๓๕ เมตร (flood plain) ของแม่น้ำปิง และทางน้ำสาขาต่างๆ มีความหนามากที่สุดถึงกว่า ๔๘ เมตร โดยในบริเวณที่อยู่ห่างจากทางน้ำสายหลักและทางน้ำสาขาต่างๆ ออกไป ชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้ประกอบขึ้นด้วยตะกอนจำพวกดินเหนียว ทรายแป้ง ทรายและกรวดละเอียดเล็กกันอย่างไม่เป็นระบบ

พบบริเวณที่ราบลุ่มน้ำหลากของแม่น้ำปิง ในเขตพื้นที่อำเภอโกสัมพีนคร อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอคลองขลุง จังหวัดกำแพงเพชร มีชั้นตะกอนกรวดทรายท้องน้ำที่มีความหนาถึง ๕-๒๐ เมตร ที่บริเวณท้องน้ำแม่น้ำปิง โดยตะกอนกรวดทรายดังกล่าวมีขนาดของตะกอนตั้งแต่ทรายเม็ดละเอียดถึงกรวดขนาด ๕ มิลลิเมตร มีความกลมมนถึงกลมมนดี มีการคัดขนาดปานกลางถึงดี

(๑.๒.๒) ชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดยุคเก่า (Old alluvial fan aquifer; Qaf2) มีช่วงอายุการเกิดอยู่ในไพลสโตซีนตอนกลาง ประกอบด้วยตะกอนจำพวก ทรายหยาบ และกรวด ที่มีขนาดเม็ดตะกอนตั้งแต่ขนาดทรายหยาบถึงขนาดใหญ่กว่า ๒๐ มิลลิเมตร มีความกลมมนแบบเป็นเหลี่ยมถึงกลมมนดี มีการคัดขนาดไม่ดีถึงดี แผลขยายตัวครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ตอนล่างทางด้านตะวันตกของอำเภอเมืองกำแพงเพชรลงไปจนถึงบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำปิงฝั่งตะวันตก ในท้องที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร

ชั้นหินให้น้ำบาดาลทั้งสองหน่วยนี้มีลักษณะทางด้านอุทกธรณีวิทยาที่คล้ายคลึงกันมาก เพียงแต่มีช่วงอายุการเกิดและแหล่งต้นกำเนิดตะกอนที่ต่างกันเท่านั้น นอกจากนี้ ชั้นหินให้น้ำบาดาลทั้งสองหน่วยนี้นับได้ว่าเป็นแหล่งน้ำบาดาลระดับต้นที่สำคัญของพื้นที่ศึกษาอีกด้วย

(๑.๓) ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักลุ่มน้ำยุคใหม่ (Younger terrace deposits aquifer: Qyt1) ประกอบด้วยตะกอนจำพวกกรวดและทรายปนดินเหนียว ตะกอนกรวดและทรายมีความกลมมนถึงกลมมนถึงกลมมนดี มีการคัดขนาดไม่ดีถึงดี ส่วนใหญ่มีชั้นดินเหนียวและ/หรือชั้นดินเหนียวปนทรายค่อนข้างหนาแทรกสลับด้วยกระเปาะกรวดปนทราย บางแห่งอาจมีชั้นกรวดปนทรายหนาพอสมควร ชั้นหินให้น้ำนี้แผ่ขยายทั่วทั้งพื้นที่ของแอ่งที่ราบลุ่ม โดยถูกปิดทับด้วยชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดและชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพาสสมัยปัจจุบัน จากภาพตัดขวางแสดงชั้นน้ำพบว่าชั้นหินให้น้ำชั้นนี้ แผลขยายตัวอยู่ในช่วงความลึกประมาณ ๒๕-๗๐ เมตร ความหนาของชั้นน้ำแตกต่างกันไปแล้วแต่พื้นที่ มีความหนาประมาณ ๑๕-๒๐ เมตร

นอกจากนี้ยังพบว่า ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักลุ่มน้ำยุคใหม่นี้ยังมีส่วนที่ปรากฏอยู่บนผิวดินในบริเวณทางด้านตะวันตกและตอนบนของพื้นที่ศึกษาด้วย ในท้องที่อำเภอพรานกระต่ายอำเภอโกสัมพีนคร อำเภอเมืองกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร

(๑.๔) ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักลุ่มน้ำยุคเก่า (Old terrace deposits aquifer: Qot) ประกอบด้วยตะกอนจำพวกทรายหยาบและกรวดหยาบปนดินเหนียว มีความกลมมนถึงเหลี่ยมถึงกลมมนดี มีการคัดขนาดไม่ดีถึงดี แผลขยายตัวทั่วทั้งพื้นที่ของแอ่งที่ราบลุ่ม โดยถูกปิดทับ

ด้วยชั้นหินให้น้ำ ตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ในพื้นที่บริเวณขอบแอ่งน้ำบาดาล พบตอนบนด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเป็นตะพักกลุ่มน้ำชั้นสูง คุณลักษณะในการกักเก็บน้ำค่อนข้างดี เกณฑ์การให้น้ำต่างกันไปแล้วแต่พื้นที่ กล่าวคือ บริเวณใจกลางแอ่งให้น้ำมากกว่าบริเวณขอบแอ่ง

นอกจากนี้ยังพบว่า ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่านี้มีส่วนที่ปรากฏบนผิวดินอยู่ในบริเวณทางด้านตะวันตกและตอนบนของพื้นที่ศึกษา ในท้องที่อำเภอพรานกระต่าย อำเภอโกสุมพินคร อำเภอนาบ่อคำ อำเภอคลองลาน อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอปางศิลาทอง อำเภอขาณุวรลักษบุรี จังหวัดกำแพงเพชร ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่าส่วนที่ปรากฏบนผิวดินนั้นหนาประมาณ ๒๐-๑๕๐ เมตร

(๒) ชั้นหินให้น้ำบาดาลในหินแข็ง (Consolidated-rocks aquifers)

ประกอบด้วยชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยต่างๆ ที่เรียงลำดับอายุจากอ่อนสุดไปหาแก่สุด (จากด้านบนลงสู่ด้านล่าง) ดังนี้

(๒.๑) ชั้นหินให้น้ำบาดาลในหินชั้นและหินแปร (Sedimentary and metamorphic aquifers)

(๒.๑.๑) ชั้นหินให้น้ำหินตะกอนยุคจูแรสสิก (Jurassic aquifer: Js)

ประกอบด้วยหินกรวดมนสีน้ำตาลแกมแดง เรียงขนาดเล็กขึ้นข้างบน การคัดขนาดไม่ดี กรวดขนาดเล็กถึงกรวดใหญ่ ประกอบด้วยแร่ควอร์ตซ์ หินทราย เฟลด์สปาร์ หินไรโอไลต์ ความกลมมนปานกลางถึงกลมถึงเหลี่ยม เนื้อหินเป็นเนื้อทราย เนื้อปานกลางถึงหยาบ หินทรายอาร์โคส สีเทาจาง ขาว เนื้อปานกลาง การคัดขนาดดี ความกลมมนดีถึงเหลี่ยมถึงกลม ประกอบด้วยควอร์ตซ์ เฟลด์สปามาก เชื่อมประสานด้วยเหล็ก ซิลิกาและแคลเซียมออกไซด์ บางบริเวณพื้นที่กระทบจากแรงเฉือนพบหินกรวดมนเนื้อฟิลโลต์ พบในท้องที่อำเภอคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร น้ำบาดาลถูกกักเก็บน้ำไว้ในรอยแตกและรูพรุนในเนื้อหิน ความลึกถึงชั้นน้ำประมาณ ๑๐-๒๐ เมตร จากผิวดิน

(๒.๑.๒) ชั้นหินให้น้ำลำปาง (Lampang aquifer: TRLp) ประกอบด้วยหินดินดาน หินทรายแป้ง หินทรายและหินกรวดมน ยุคไทรแอสซิก ส่วนใหญ่แผ่ขยายตัวในลักษณะเป็นแนวภูเขาหรือเทือกเขา บางส่วนแผ่ขยายตัวในลักษณะเป็นภูเขาหรือเนินเขาโดดๆ ในท้องที่อำเภอโกสุมพินคร จังหวัดกำแพงเพชร น้ำบาดาลถูกกักเก็บน้ำไว้ในรอยแตก รูพรุนในเนื้อหิน ระบายชั้นหินและโซนหินผุ โดยบ่อน้ำบาดาลระดับตื้นมักจะได้น้ำในเกณฑ์ดีจากรอยแตกกว้างเนื่องจากการหดตัว ส่วนบ่อน้ำบาดาลระดับลึกอาจได้น้ำจากแนวรอยต่อระหว่างชั้นหิน ความลึกถึงชั้นน้ำประมาณ ๕-๑๕ จากผิวดิน

(๒.๑.๓) ชั้นหินให้น้ำหินชั้นกึ่งแปรยุคเพอร์โม-คาร์บอนิเฟอรัส (Metasediments aquifers: PCms) ประกอบด้วยหินควอร์ตไซต์ หินทรายและหินทรายเนื้อแป้ง ส่วนใหญ่แผ่ขยายตัวในลักษณะเป็นเนินเขาหรือภูเขาสูงโดดๆ พบด้านตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา ในท้องที่อำเภอโกสุมพินคร จังหวัดกำแพงเพชร ชั้นหินให้น้ำหน่วยนี้ถูกแปรสภาพบ้างเล็กน้อยโดยส่วนใหญ่มักได้น้ำเมื่อเจาะตามแนวรอยเลื่อนหรือชั้นหินผุที่หนามากๆ เท่านั้น

(๒.๑.๔) ชั้นหินให้น้ำหินปูนยุคออร์โดวิเซียน (Ordovician Limestone aquifer: OLs) ประกอบด้วยหินปูนเนื้อดิน สีเทาปานกลางถึงเทาเข้ม แสดงแถบชั้นบาง ชั้นหินคดโค้งแบบรอยคดโค้งนอนทับ ส่วนใหญ่แผ่ขยายตัวในลักษณะเป็นแนวภูเขาหรือเทือกเขาขนาดใหญ่และสูงชัน โดยมีทิศทางการวางตัวในแนวประมาณเหนือใต้ พบบริเวณตอนบนด้านตะวันตกของพื้นที่

ศึกษา ในท้องที่อำเภอคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร (ในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลการพัฒนาน้ำจากชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้)

(๒.๑.๕) ชั้นหินให้น้ำหินแปรยุคแคมเบรียน (Cambrian metamorphic aquifer: Emm) ประกอบด้วยหินควอร์ตไซต์สีเทาจาก หินไมกาชีสต์เนื้อเม็ดแปร หินควอร์ตซ์ชีสต์ หินชีสต์ หินควอร์ตซ์ไมกาชีสต์ และหินฟิลโลต์ สีขาวและเหลืองจาง ส่วนใหญ่แผ่ขยายตัวในลักษณะเป็นแนวภูเขา หรือเทือกเขาขนาดใหญ่ที่สูงชัน โดยมีทิศทางการวางตัวในแนวประมาณเหนือใต้ พบบริเวณตอนบนด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ในท้องที่อำเภอคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร (ปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลการพัฒนาน้ำจากชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้)

(๒.๑.๖) ชั้นหินให้น้ำหินแปรมหายุคพรีแคมเบรียน (Precambrian metamorphic aquifer: PEmm) ประกอบด้วยหินออร์โทไนส์ เนื้อแบบเม็ดแปร ที่ประกอบขึ้นด้วยเฟลด์สปาร์ ควอร์ตซ์และไมกา หินชีสต์ หินพาราไนส์ หินควอร์ตซ์ชีสต์ หินควอร์ตซ์-ไมกาชีสต์ หินแคลก์-ซิลิเกต สีเทาแกมเขียว เป็นแถบ ส่วนใหญ่แผ่ขยายตัวในลักษณะเป็นแนวภูเขาหรือเทือกเขาขนาดใหญ่ที่สูงชัน โดยมีทิศทางการวางตัวในแนวประมาณเหนือ-ใต้ พบบริเวณตอนบนด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ในท้องที่อำเภอคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร ความลึกถึงชั้นหินให้น้ำประมาณ ๕-๑๐ เมตร

(๒.๒) ชั้นหินให้น้ำบาดาลในหินอัคนี (Igneous-rocks aquifers) ประกอบด้วยชั้นหินให้น้ำบาดาล ๒ หน่วย ดังนี้

(๒.๒.๑) ชั้นหินให้น้ำหินภูเขาไฟ (Volcanic-rocks aquifers: Vc) เป็นชั้นหินให้น้ำในหน่วยหินภูเขาไฟที่มีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสซิกถึงยุคจูแรสซิก ประกอบด้วยหินภูเขาไฟจำพวกหินไรโอไรต์ หินแอนดีไซต์ หินกรวดภูเขาไฟ หินทัฟฟ์และหินไรโอลิติกทัฟฟ์ ส่วนใหญ่แผ่ขยายตัวอยู่ในบริเวณตอนบนด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาแต่ไม่สูงชันมากนักและภูเขาลูกโดดๆ ซึ่งมีทิศทางการวางตัวในแนวประมาณเหนือ-ใต้ ในท้องที่อำเภอโกสัมพีนคร จังหวัดกำแพงเพชร ชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้มีชั้นให้น้ำอยู่ที่ระดับความลึกตั้งแต่ ๕-๔๐ เมตร ลงไป

(๒.๒.๒) ชั้นหินให้น้ำหินแกรนิต (Granitic Rocks aquifers: Gr) เป็นชั้นหินให้น้ำในหน่วยหินแกรนิตที่มีอายุอยู่ในช่วงยุคไทรแอสซิกถึงยุคจูแรสซิก ประกอบด้วยหินแกรนิตชนิดต่างๆ ได้แก่ หินควอร์ตซ์-ไบโอไทต์แกรนิต หินฮอร์นเบลนด์แกรนิต และบางส่วนเป็นหินแกรโนไดออไรต์ บริเวณตอนบนด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ทั้งในบริเวณที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นเทือกเขาขนาดใหญ่ที่สูงชันด้านตะวันตกสุดของพื้นที่ศึกษา และในบริเวณเทือกเขาขนาดเล็กที่ไม่สูงชันมากนัก ในเขตอำเภอโกสัมพีนคร อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร มีชั้นหินให้น้ำอยู่ที่ระดับความลึกตั้งแต่ ๕-๙๐ เมตร ลงไป

๒.๕.๒ ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล

จากข้อมูลคู่มือการใช้แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดกำแพงเพชร มาตราส่วน ๑:๑๐๐,๐๐๐ ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (กองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณีเดิม) (พ.ศ. ๒๕๔๔) พิจารณาสรุปลักษณะศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลของพื้นที่โครงการและพื้นที่ใกล้เคียงโดยรอบในเขตจังหวัดกำแพงเพชรในภาพรวมได้ดังต่อไปนี้

- น้ำบาดาลในจังหวัดกำแพงเพชรส่วนใหญ่ได้จากตะกอนร่วนที่แผ่ปกคลุมพื้นที่ถึงร้อยละ ๗๒ ของพื้นที่ของจังหวัด โดยบริเวณหินแข็งและเทือกเขาสูงทางด้านตะวันตกให้น้ำในปริมาณน้อย

- ชั้นหินให้น้ำที่ให้น้ำได้ดีที่สุด คือ ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกั่วลันเตาที่ชั้นให้น้ำอยู่ที่ระดับความลึกระหว่าง ๘๐-๑๒๐ เมตร และให้ปริมาณน้ำได้ในมากกว่า ๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง รองลงมาคือ ชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา ที่มีชั้นให้น้ำอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ ๓๐ เมตร ให้ปริมาณน้ำได้ในเกณฑ์ ๑๐-๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ส่วนชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกั่วลันเตาใหม่ให้น้ำได้ค่อนข้างน้อย

- ชั้นหินให้น้ำหินตะกอนและหินแปรให้น้ำได้น้อย ในอัตรา ๓-๕ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ส่วนหินอัคนีให้น้ำได้ในอัตราน้อยกว่า ๒ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

- คุณภาพน้ำบาดาลโดยทั่วไปของจังหวัดกำแพงเพชรมีปริมาณหลักในน้ำสูงกระจายอยู่ทั่วไป และพื้นที่ด้านตะวันตกที่มีเขตติดต่อกับหินอัคนีจะมีค่าฟลูออไรด์สูง

ส่วนศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลรายอำเภอของจังหวัดกำแพงเพชรพอจะสรุปได้ดังนี้

(๑) อำเภอโกสัมพีนคร (บริเวณด้านตะวันออกของอำเภอเป็นที่ราบลุ่มตะกั่วลันเตาใหม่ และบริเวณใกล้แม่น้ำปิงเป็นที่ราบตะกอนน้ำพา ส่วนด้านตะวันตกเป็นภูเขาที่ประกอบด้วยหินแปรและหินอัคนีหลายชนิด)

- ชั้นหินให้น้ำบาดาลที่สำคัญคือชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกั่วลันเตาที่ให้น้ำได้ในอัตราระหว่าง ๑๐-๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากชั้นให้น้ำที่ระดับความลึกประมาณ ๒๐ เมตร และ ๔๕ เมตร และในอัตราระหว่าง ๒-๑๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (ในเขตที่สูงและเชิงเขาด้านตะวันตก)

- คุณภาพน้ำบาดาลโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์พอใช้ได้ ยกเว้นมีปริมาณหลักและฟลูออไรด์สูงเนื่องจากอยู่ในพื้นที่ๆ รองรับด้วยหินแกรนิต ซึ่งส่งผลให้ค่าปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำมีค่าสูงตามไปด้วย

(๒) อำเภอปางศิลาทอง (ทางด้านทิศตะวันออกของอำเภอมีที่ราบแคบๆ ต่อเนื่องไปถึงเขตตำบลคลองขลุง อำเภอคลองขลุง)

- ชั้นหินให้น้ำบาดาลที่สำคัญคือชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกั่วลันเตาที่ให้น้ำได้ในอัตราสูงกว่า ๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากชั้นให้น้ำที่ระดับความลึกประมาณ ๔๕ เมตร และในอัตราระหว่าง ๒-๑๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (ในเขตที่รองรับด้วยหินแกรนิต และหินแปรเนื้อแน่น)

- คุณภาพน้ำบาดาลโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นมีปริมาณหลักสูงอยู่ทั่วไปและมีฟลูออไรด์สูงในบางแห่ง

(๓) อำเภอเบญจมาศคีรี (เป็นพื้นที่ราบทางด้านตะวันออกของจังหวัดที่ปกคลุมด้วยตะกอนน้ำพาและตะกอนตะกั่วลันเตาใหม่)

- ชั้นหินให้น้ำบาดาลที่สำคัญคือชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา ที่ให้น้ำได้ในอัตราสูงกว่า ๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ในบริเวณที่เกิดจากการสะสมตัวของตะกอนทางน้ำเก่าที่ระดับความลึกประมาณ ๓๐ เมตร ส่วนในบริเวณอื่นให้น้ำได้ในอัตราระหว่าง ๑๐-๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

นอกจากนี้ยังมีชั้นหินให้น้ำที่สำคัญอีกหน่วยหนึ่งคือ ชั้นตะกอนตะกั่วปากน้ำยุคใหม่ ที่ให้น้ำได้ในอัตรามากกว่า ๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เช่นเดียวกัน ในบริเวณที่เกิดจากการสะสมตัวของกรวดทรายในชั้นตะกอนตะกั่วปากน้ำยุคใหม่ที่ระดับความลึกประมาณ ๖๐ เมตร

(๔) อำเภอลำลูกเกด (บริเวณทางด้านตะวันตกบางส่วนของอำเภอเป็นเทือกเขาสูงที่ประกอบด้วยหินแกรนิต หินแปรและกลุ่มหินโคราชตอนล่าง ส่วนบริเวณทางด้านตะวันออกเป็นที่ราบตะกอนตะกั่วปากน้ำยุคใหม่ และที่ราบตะกอนน้ำพาของแม่น้ำปิง ส่วนตะกอนตะกั่วปากน้ำยุคเก่าวางตัวรองรับอยู่ข้างใต้ที่ระดับความลึก ๑๐๐-๑๒๐ เมตร ขึ้นไป)

- ชั้นหินให้น้ำบาดาลที่สำคัญคือชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา ที่ให้น้ำได้ในอัตรา มากกว่า ๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยบ่อบาดาลบริเวณนี้มีความลึกตั้งแต่ ๑๒๐ เมตร ลงไป ซึ่งในปี พ.ศ. ๒๕๒๕ เคยเจาะได้น้ำพุบาดาล แต่ในปัจจุบันระดับน้ำลดลงมาก

- คุณภาพน้ำบาดาลโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นมีปริมาณคลอไรด์สูง

(๕) อำเภอคลองขลุง (ทั้งอำเภอเป็นพื้นที่ราบที่ต่อเนื่องลงมาจากอำเภอลำลูกเกด และมีชั้นหินให้น้ำที่ต่อเนื่องกัน)

- ชั้นหินให้น้ำบาดาลที่สำคัญคือชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา ที่ให้น้ำได้ในอัตรา ระหว่าง ๑๐-๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และมากกว่า ๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยบ่อบาดาลบริเวณนี้มีความลึกตั้งแต่ ๕๐ เมตร ขึ้นไปจนถึง ๑๒๐ เมตร และ ๒๐๐ เมตร

- คุณภาพน้ำบาดาลโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นมีปริมาณเหล็กค่อนข้างสูง และมีปริมาณฟลูออไรด์สูงในบางแห่ง

(๖) อำเภอคลองลาน (พื้นที่ด้านตะวันตกของอำเภอเป็นที่สูงและเป็นเทือกเขาหินแปรและหินอัคนี โดยมีที่ราบเฉพาะพื้นที่ทางด้านตะวันออกของอำเภอ)

- ชั้นหินให้น้ำบาดาลที่สำคัญคือชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา ที่ให้น้ำได้ในอัตรา ระหว่าง ๑๐-๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

นอกจากนี้ยังมีชั้นหินให้น้ำที่สำคัญอีกหน่วยหนึ่งคือ ชั้นหินให้น้ำหินแปร ที่ให้น้ำได้ในอัตราน้อยกว่า ๒ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และในอัตราระหว่าง ๒-๑๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

- คุณภาพน้ำบาดาลโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นมีปริมาณเหล็กค่อนข้างสูง และมีปริมาณฟลูออไรด์สูงในบางแห่ง

(๗) อำเภอไทรทอง (เป็นพื้นที่ราบทางด้านตะวันออกของจังหวัด ที่ประกอบด้วยที่ราบตะกอนตะกั่วปากน้ำยุคใหม่และที่ราบตะกอนน้ำพาตามทางน้ำสาขาที่ไหลลงสู่แม่น้ำยม)

- ชั้นหินให้น้ำบาดาลที่สำคัญคือชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา ที่ให้น้ำได้ในอัตรา ระหว่าง ๒-๑๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และระหว่าง ๑๐-๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยบ่อบาดาลบริเวณนี้มีความลึกตั้งแต่ ๔๐ เมตร ขึ้นไปจนถึง ๖๐ เมตร

- คุณภาพน้ำบาดาลโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ ยกเว้นมีปริมาณเหล็กและฟลูออไรด์สูงในบางแห่ง

(๘) อำเภอพรานกระต่าย พื้นที่ด้านตะวันตกของอำเภอมีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาและที่สูง โดยมีที่ราบอยู่ในบริเวณตอนกลางของพื้นที่อำเภอ ในขณะที่บริเวณทางด้านทิศตะวันออกประกอบด้วยตะกอนตะกั่วปากน้ำยุคใหม่และที่ราบตะกอนน้ำพาที่สะสมตัวในร่องน้ำเก่า ชั้นหินให้น้ำบาดาลในชั้นตะกอนร่วนทางด้านตะวันตกจะอยู่ที่ระดับตื้นและให้น้ำน้อย เพราะรองรับด้วยชั้นหิน

แข็งที่ระดับความลึกไม่มากนัก โดยจะมีความหนาเพิ่มขึ้นไปทางทิศตะวันออก และมีความต่อเนื่องกับชั้นหินให้น้ำของอำเภอลานกระบือ

- ชั้นหินให้น้ำบาดาลที่สำคัญคือชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา ที่ให้น้ำได้ในอัตรา ระหว่าง ๒-๑๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ๑๐-๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และมากกว่า ๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยมีชั้นให้น้ำอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ ๔๐ เมตร และ ๗๕ เมตร
- คุณภาพน้ำบาดาลโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นมีปริมาณเหล็กสูงโดยทั่วไป และมีปริมาณฟลูออไรด์สูงในบางแห่ง

(๙) **อำเภอลานกระบือ** (เป็นพื้นที่ราบทางด้านตะวันออกของจังหวัด ส่วนใหญ่เป็นที่ราบที่เกิดจากการสะสมตัวของตะกอนตะพักลำนํายุคใหม่ ที่ต่อเนื่องมาจากเขตอำเภอพราณกระต่ายและอำเภอยะรัง)

- ชั้นหินให้น้ำบาดาลที่สำคัญคือชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา ที่ให้น้ำได้ในอัตรา ระหว่าง ๒-๑๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ๑๐-๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และมากกว่า ๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มีชั้นให้น้ำบาดาลอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ ๔๐ และ ๗๐ เมตร
- คุณภาพน้ำบาดาลโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นมีปริมาณเหล็กสูงเกินค่ามาตรฐานน้ำดื่ม และมีค่า ฟลูออไรด์สูงในบางแห่ง

(๑๐) **อำเภอเมืองกำแพงเพชร** (พื้นที่ด้านตะวันตกของอำเภอเป็นภูเขาหินอัคนีและหินแปร ส่วนทางด้านตะวันออกของอำเภอเป็นพื้นที่ราบ ที่เกิดจากการสะสมตัวของตะกอนตะพักลำนํายุคใหม่)

- ชั้นหินให้น้ำบาดาลที่สำคัญคือชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา ที่ให้น้ำได้ในอัตรา ระหว่าง ๒-๑๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ๑๐-๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และมากกว่า ๒๐ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มีชั้นให้น้ำบาดาลอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ ๔๐ และ ๗๐ เมตร มีชั้นให้น้ำอยู่ที่ระดับความลึกต่างๆ ตั้งแต่ระหว่าง ๒๕-๓๐ เมตร (ชั้นให้น้ำระดับตื้น) ถึงระหว่าง (๖๐-๗๐ เมตร (ชั้นให้น้ำระดับลึกปานกลาง) และ ๑๒๐-๑๓๐ เมตร (ชั้นให้น้ำระดับลึก)
- คุณภาพน้ำบาดาลโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นมีปริมาณเหล็กสูงโดยทั่วไปและมีปริมาณฟลูออไรด์สูงในบางแห่ง

๒.๕.๓ สถิติและสถานภาพบ่อน้ำบาดาล

จากข้อมูลผลการสำรวจสถานภาพบ่อน้ำบาดาลของโครงการสำรวจสถานภาพบ่อน้ำบาดาล ศึกษากำหนดเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์และประเมินการใช้น้ำบาดาลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลของประเทศ (กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. ๒๕๕๑) พบว่า ในบริเวณพื้นที่โครงการ (ซึ่งครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอไทรทองและอำเภอลานกระบือ) และพื้นที่ใกล้เคียงโดยรอบในเขตจังหวัดกำแพงเพชร มีบ่อน้ำบาดาลจำนวนทั้งสิ้น ๘,๐๖๙ บ่อ แยกประเภทออกเป็นบ่อของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ๒,๘๔๓ บ่อ บ่อขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ๔๒๕ บ่อของหน่วยงานอื่น (ที่ไม่ใช่หน่วยงานทั้งสองประเภทดังกล่าว) ๑๘๐ บ่อ และบ่อน้ำบาดาลระดับตื้น ๒๔,๖๒๑ บ่อ (จากกลุ่มบ่อทั้งหมด ๒๖๔ กลุ่ม) ซึ่งจากจำนวนบ่อน้ำบาดาลทั้งหมดดังกล่าว เป็นบ่อที่อยู่ในพื้นที่ของสามอำเภอซึ่งมีพื้นที่โครงการตั้งอยู่จำนวนรวมถึง ๒๑,๙๓๑ บ่อ หรือประมาณ ๙๐% ของจำนวนบ่อรวมทั้งจังหวัด โดยอำเภอที่มีจำนวนบ่อน้ำบาดาลรวมมากที่สุดคืออำเภอเมืองกำแพงเพชร (๑๐,๔๕๗ บ่อ) รองลงมาเป็นอำเภอลานกระบือ (๕,๓๓๗ บ่อ) และอำเภอไทรทอง

(๖,๑๓๗ บ่อ) ตามลำดับ ดังรายละเอียดผลการสรุปจำนวนบ่อน้ำบาดาลประเภทต่างๆ ในพื้นที่ของแต่ละอำเภอของจังหวัดกำแพงเพชรในตารางที่ ๒.๔-๑

ตารางที่ ๒.๔-๑ สรุปจำนวนบ่อน้ำบาดาลประเภทต่างๆ ในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล พ.ศ. ๒๕๕๑)

จังหวัด	อำเภอ	จำนวนตำบล	จำนวนหมู่บ้าน	จำนวนบ่อน้ำบาดาลประเภทต่างๆ				
				บ่อกรมฯ	บ่อท้องถิ่น	บ่อหน่วยงานอื่นๆ	บ่อระดับต้น (กลุ่ม/บ่อ)	รวม
กำแพงเพชร	โกสัมพีนคร	3	43	59	3	16	4 / 36	114
	บึงสามัคคี	4	45	80	19	5	11 / 1,201	1,305
	ขาณุวรลักษบุรี	12	143	382	54	17	1 / 1	454
	คลองขลุง	10	103	394	56	37	23 / 199	686
	คลองลาน	4	68	221	9	25	3 / 26	281
	ทรายทองวัฒนา	3	38	152	19	7	25 / 2,248	2,426
	ไทรงาม	7	75	233	29	14	56 / 5,861	6,137
	ปางศิลาทอง	3	42	132	13	14	3 / 17	176
	พรานกระต่าย	10	112	398	41	10	17 / 247	696
	เมืองกำแพงเพชร	16	226	517	101	26	68 / 9,813	10,457
	ลานกระบือ	8	73	275	81	9	53 / 4,972	5,337
รวมจังหวัดกำแพงเพชร		80	968	2,843	425	180	264 / 24,621	28,069

ที่มา : กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, ๒๕๕๑

นอกจากนี้ข้อมูลผลการสำรวจสถานภาพบ่อน้ำบาดาลของโครงการดังกล่าวข้างต้นยังแสดงให้เห็นว่า จากสถิติจำนวนบ่อน้ำบาดาลดังกล่าวข้างต้น บ่อน้ำบาดาลประเภทบ่อของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลซึ่งมีอยู่ทั้งหมด ๒,๘๔๓ บ่อ นั้น เป็นบ่อที่มีสถานภาพใช้งานได้ปกติจำนวน ๑,๔๖๔ บ่อ หรือประมาณ ๕๐% ของจำนวนบ่อของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลรวมทั้งหมดในจังหวัดกำแพงเพชร และถ้าพิจารณาเฉพาะในพื้นที่ของสามอำเภอซึ่งมีพื้นที่โครงการตั้งอยู่ พบว่า มีบ่อน้ำบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลที่มีสถานภาพใช้งานได้ปกติจำนวน ๕๕๒ บ่อ จากจำนวนทั้งหมด ๑,๐๒๕ บ่อ หรือประมาณ ๕๐% ของจำนวนบ่อของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลรวมทั้งหมดในพื้นที่ของสามอำเภอซึ่งมีพื้นที่โครงการตั้งอยู่ โดยอำเภอที่มีจำนวนบ่อน้ำบาดาลที่มีสถานภาพใช้งานได้ปกติมากที่สุดคือ อำเภอเมืองกำแพงเพชร (๒๖๕ บ่อ) รองลงมาเป็นอำเภอไทรงาม (๑๔๖ บ่อ) และอำเภอลานกระบือ (๑๔๑ บ่อ) ตามลำดับ

๒.๕.๔ ปริมาณการใช้น้ำบาดาล

จากข้อมูลผลการสำรวจสถานภาพบ่อน้ำบาดาลของโครงการสำรวจสถานภาพบ่อน้ำบาดาล ศึกษากำหนดเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์และประเมินการใช้น้ำบาดาลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลของประเทศ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล พ.ศ. ๒๕๕๑) ยังพบว่า ในบริเวณพื้นที่โครงการ (ซึ่งครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอไทรงามและอำเภอลานกระบือ) และพื้นที่ใกล้เคียงโดยรอบในเขตจังหวัดกำแพงเพชร มีปริมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่อการ

อุปโภคบริโภคและการเกษตรกรรมรวมทั้งสิ้น ๒๖๑,๔๒๙ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน แยกเป็นการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค ๒๒,๗๒๙ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และเพื่อการเกษตรกรรม ๒๓๘,๗๐๐ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งจากปริมาณการใช้น้ำบาดาลรวมดังกล่าว เป็นปริมาณการใช้น้ำในพื้นที่ของสามอำเภอ ซึ่งมีพื้นที่โครงการตั้งอยู่ถึง ๒๓๑,๐๔๑ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือประมาณ ๙๗% ของปริมาณการใช้น้ำบาดาลรวมจังหวัด โดยอำเภอที่มีปริมาณการใช้น้ำบาดาลมากที่สุดคืออำเภอกำแพงเพชร (๑๓๑,๖๔๗ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน แยกเป็นเพื่อการอุปโภคบริโภค ๑๑,๐๑๖ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และเพื่อการเกษตรกรรม ๑๒๐,๖๓๑ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) รองลงมาเป็นอำเภอไทรงาม (๔๙,๘๙๖ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน แยกเป็นเพื่อการอุปโภคบริโภค ๑,๘๖๖ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และเพื่อการเกษตรกรรม ๔๘,๐๒๙ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) และอำเภอลานกระบือ (๔๙,๔๙๙ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน แยกเป็นเพื่อการอุปโภคบริโภค ๒,๖๒๙ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และเพื่อการเกษตรกรรม ๔๖,๘๗๐ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) ตามลำดับ ดังรายละเอียดผลการสรุปปริมาณการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ของแต่ละอำเภอของจังหวัดกำแพงเพชรในตารางที่ ๒.๔-๒

ตารางที่ ๒.๔-๒ สรุปปริมาณการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล พ.ศ. ๒๕๕๑)

จังหวัด	อำเภอ	จำนวนตำบล	จำนวนหมู่บ้าน	การอุปโภคบริโภค		การเกษตรกรรม	
				จำนวน (บ่อ)	ปริมาณการใช้น้ำรวม (ม ³ /วัน)	จำนวน (บ่อ)	ปริมาณการใช้น้ำรวม (ม ³ /วัน)
กำแพงเพชร	โกสัมพีนคร	3	43	70	424.0	12	46.0
	บึงสามัคคี	4	45	0	0.0	0	0.0
	ชาณุวรลักษบุรี	12	143	278	1,214.0	6	29.7
	คลองขลุง	10	103	252	2,410.4	191	1,799.7
	คลองลาน	4	68	66	272.3	4	109.0
	ทรายทองวัฒนา	3	38	97	701.5	2,251	19,141.0
	ไทรงาม	7	75	261	1,866.0	5,783	48,029.7
	ปางศิลาทอง	3	42	107	458.6	3	30.3
	พรานกระต่าย	10	112	243	1,737.4	243	2,014.0
	เมืองกำแพงเพชร	16	226	890	11,016.2	9,273	120,631.0
	ลานกระบือ	8	73	249	2,629.0	4,937	46,870.0
	รวม	80	968	2,513	22,729.4	22,703	238,700.4

ที่มา : กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, ๒๕๕๑

๒.๕.๕ คุณสมบัติของชั้นหินให้น้ำบาดาล

ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัปกุ่มน้ำยุคเก่า (Qot) นับได้ว่าเป็นชั้นหินให้น้ำบาดาลที่มีศักยภาพมากที่สุดของแอ่งที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบน (รวมทั้งพื้นที่โครงการศึกษาครั้งนี้) โดยเป็นชั้นหินให้น้ำบาดาลที่มีค่าสัมประสิทธิ์การให้น้ำ (Transmissivity, T) สูงกว่าชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยอื่นๆ ซึ่งในรายงานเรื่องอุทกธรณีวิทยาของประเทศไทย (Hydrogeology of Thailand) ของ Piancharoen (๑๙๗๘) ได้สรุปค่าสัมประสิทธิ์การให้น้ำของชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้ในภาพรวมของพื้นที่แอ่งที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบนว่ามีค่าสูงถึง ๒,๔๐๐ ตารางเมตรต่อวัน และจากคู่มือการใช้แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดกำแพงเพชร มาตราส่วน ๑:๑๐๐,๐๐๐ ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (กองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณีเดิม) (พ.ศ. ๒๕๔๔) ได้รายงานค่าสัมประสิทธิ์การให้น้ำของชั้นหินให้น้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชรดังนี้ ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัปกุ่มน้ำยุคเก่ามีค่าสัมประสิทธิ์การให้น้ำอยู่ในช่วง ๘๘-๑,๗๔๐ ตารางเมตรต่อวัน (ในพื้นที่อำเภอคลองขลุงและอำเภอขาณุวรลักษบุรี) และชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัปกุ่มน้ำยุคใหม่มีค่าสัมประสิทธิ์การให้น้ำอยู่ในช่วง ๔-๓๗ ตารางเมตรต่อวัน

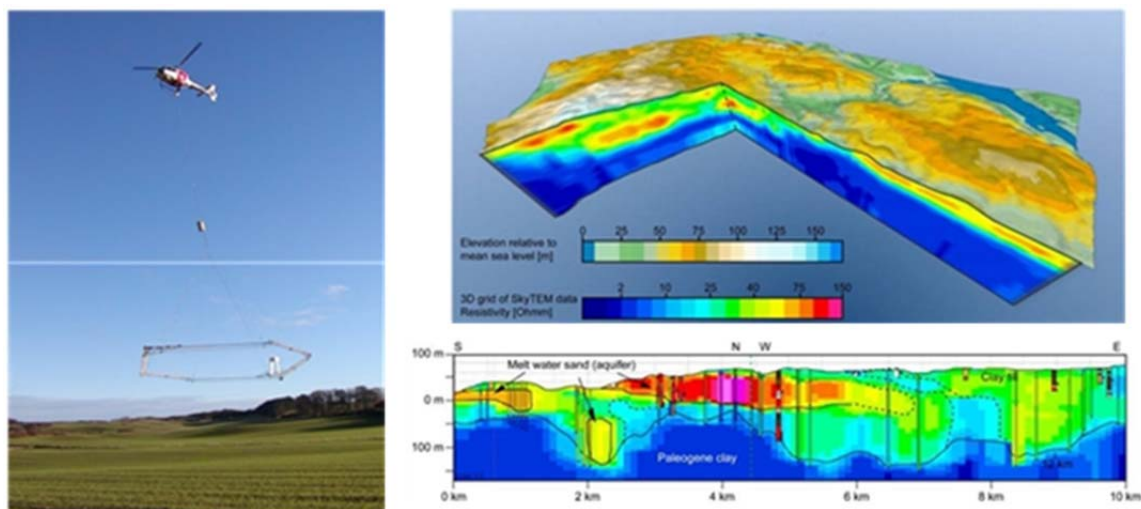
บทที่ ๓

การบินสำรวจธรณีฟิสิกส์

๓.๑ การเตรียมการบินสำรวจ

การบินสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในเชิงเวลา (Airborne Transient Electromagnetic Method) หรือที่เรียกกันว่า “SkyTEM” เป็นระบบที่ค่อนข้างใหม่ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นในประเทศเดนมาร์ก เพื่อใช้ปรับปรุงและพัฒนาการสำรวจและจัดทำแผนที่แหล่งน้ำบาดาลให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น มีผลงานการสำรวจและจัดทำแผนที่แหล่งน้ำบาดาลในเดนมาร์กและประเทศอื่นๆ ในยุโรป รวมทั้งออสเตรเลีย และสหรัฐอเมริกา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบ Airborne SkyTEM สามารถแสดงผลลัพธ์เป็นแผนที่เชิง ๓ มิติอย่างละเอียดของภูมิประเทศที่มีการทับถมกันของตะกอนจนถึงระดับความลึกอย่างน้อย ๓๐๐ เมตรจากผิวดิน ยิ่งไปกว่านั้นระบบนี้กำลังได้รับการพัฒนาให้สามารถเจาะลงไปในระดับที่ลึกกว่าเดิมอีกด้วย

การสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในเชิงเวลา (TEM) ที่ติดตั้งกับเฮลิคอปเตอร์ในความสูงระดับต่ำและระยะทางสั้นๆ ระหว่างเส้นทางบินแต่ละเที่ยว สามารถสร้างภาพสแกนอย่างละเอียดของพื้นผิวโลก ตั้งแต่ระดับใต้ผิวดินใกล้กับพื้นโลกลงไปจนถึงระดับความลึกหลายร้อยเมตร



รูปที่ ๓.๑-๑ ภาพซ้ายมือแสดงระบบ SkyTEM ในระหว่างปฏิบัติการในเดนมาร์ก ภาพขวามือบนแสดงข้อมูลเชิง ๓ มิติของค่าความต้านทานไฟฟ้าที่แตกต่างกันของชั้นดินและชั้นหินที่ได้จากระบบ SkyTEM ส่วนภาพขวามือล่างแสดงการแปลความหมายทางธรณีวิทยาของข้อมูลเชิง ๒ มิติ

ภาพสแกนดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการทับถมและจัดเรียงตัวเป็นชั้นๆ ของตะกอน ตัวแปรที่ใช้ในการสร้างแผนที่คือค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) และความหนาของชั้นตะกอนใต้ผิวดิน ตัวแปรไฟฟ้าเหล่านี้สามารถนำไปแปลความหมายในการสร้างแผนที่ทางธรณีวิทยาเกี่ยวกับหิน (ดังที่แสดงในรูปที่ ๓.๑-๑) หรือด้านอุทกธรณีวิทยา ระดับความลึกของพื้นที่สำรวจจะแตกต่างกันไปตามความแตกต่างของค่าความต้านทานกระแสไฟฟ้าของชั้นตะกอนใต้ผิวดิน (layer resistivities) แต่

ระบบสามารถเจาะลึกได้ถึงระดับความลึกที่ ๓๕๐ เมตร หรือมากกว่านั้นในชั้นตะกอนระดับลึกที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง เช่น ในน้ำเค็มที่มีตะกอนหรือชั้นของดินเหนียวที่ไม่มีทรายปน

ในปัจจุบันเรายังไม่มีวิธีการสำรวจทางอากาศรูปแบบอื่นที่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับชั้นตะกอนได้อย่างละเอียด และครอบคลุมความลึกตั้งแต่ระดับใต้ผิวดินใกล้กับพื้นโลกไปจนถึงระดับความลึกที่หลายร้อยเมตร ซึ่งถ้าใช้วิธีการสำรวจด้านธรณีฟิสิกส์บนพื้นดินก็จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก และใช้เวลายาวนานมาก เพื่อให้ได้ข้อมูลของพื้นที่ที่มีบริเวณกว้างและข้อมูลที่มีความหนาแน่นมากพอที่จะสร้างภาพเชิง ๓ มิติอย่างละเอียดของโครงสร้างที่สำคัญทางธรณีวิทยาในพื้นที่สำรวจ

กลุ่มบริษัทที่ปรึกษา โดยทีมงานจากบริษัท SkyTEM Surveys ApS ประเทศเดนมาร์ก และเครื่องเฮลิคอปเตอร์ ได้ดำเนินการบินสำรวจแหล่งน้ำบาดาลด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์ขั้นสูง ครอบคลุมพื้นที่ ๑,๐๐๐ ตารางกิโลเมตร โดยคิดเป็นระยะทางที่บินสำรวจทั้งสิ้น ๕,๐๐๖.๙ กิโลเมตร โดยเริ่มดำเนินการบินสำรวจในพื้นที่ ตั้งแต่วันที่ ๒๑ พฤศจิกายน ๒๕๕๔ จนดำเนินการบินสำรวจแล้วเสร็จในวันที่ ๒๐ ธันวาคม ๒๕๕๔ และในระหว่างการบินสำรวจได้จัดทำรายงานการบินสำรวจประจำวัน รายงานการบินสำรวจเบื้องต้น (preliminary report) และข้อมูลจากการบินสำรวจได้จัดเก็บไว้ในแผ่น DVD ส่งมอบให้กับกรมทรัพยากรน้ำบาดาลเรียบร้อยแล้ว

การดำเนินการบินสำรวจแหล่งน้ำบาดาลด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์ขั้นสูง ซึ่งประกอบด้วย การสรุปขั้นตอนและลำดับการปฏิบัติการบินสำรวจ จุดจอดขึ้นลงชั่วคราว แนวการบินสำรวจ อุปกรณ์การสำรวจ การประมวลผลข้อมูล การเปรียบเทียบระบบ การกรองค่าต่างๆ มีรายละเอียดดังจะได้กล่าวในลำดับต่อไป

๓.๑.๑ ลำดับและขั้นตอนการปฏิบัติการบินสำรวจ

ลำดับและขั้นตอนการปฏิบัติการบินสำรวจ ประกอบด้วย

๑) ขนย้ายอุปกรณ์การบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยรถบรรทุกคอนเทนเนอร์ไปยังบริเวณจุดจอดเฮลิคอปเตอร์ ที่ศูนย์ราชการจังหวัดกำแพงเพชร

๒) ดำเนินการติดต่อหาที่ตั้งสำหรับจัดเก็บอุปกรณ์การบินสำรวจ และเป็นจุดจอดขึ้น-ลงเฮลิคอปเตอร์ถาวร และจุดจอดขึ้น-ลงเฮลิคอปเตอร์ชั่วคราว สำหรับการเติมเชื้อเพลิงระหว่างบินสำรวจ

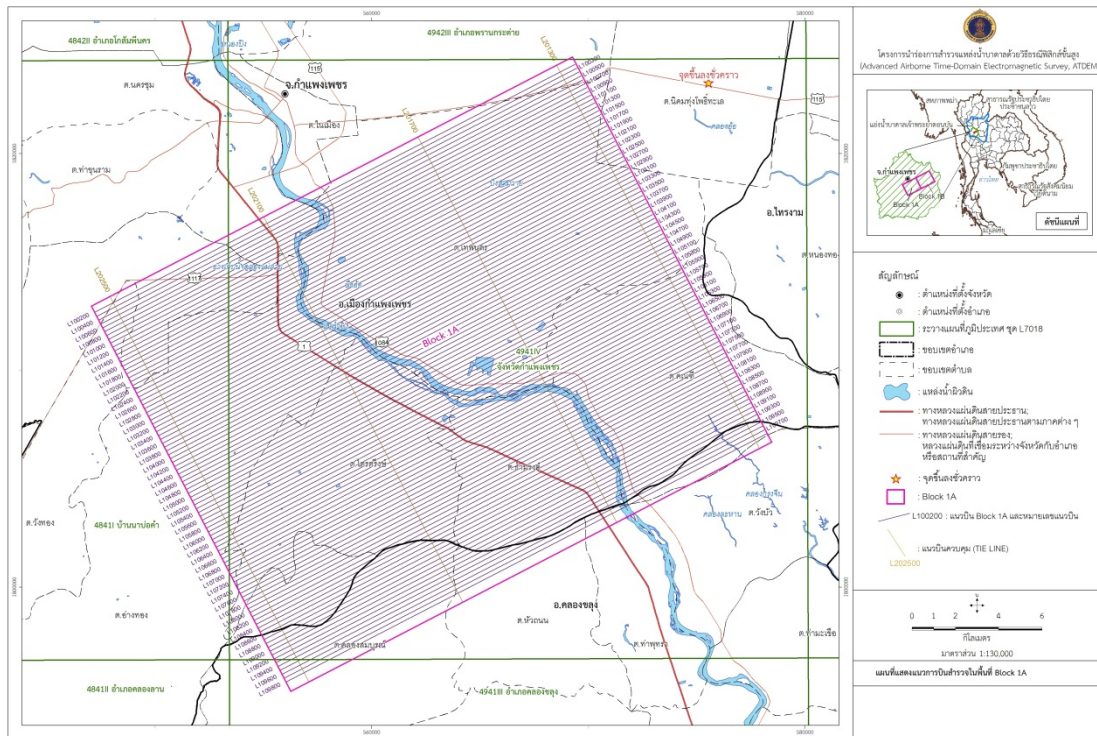
๓) ทีมงาน ผู้เชี่ยวชาญจากบริษัท SkyTEM Surveys ApS และเครื่องเฮลิคอปเตอร์ เดินทางไปพื้นที่โครงการจังหวัดกำแพงเพชร

๔) ติดตั้งและประกอบอุปกรณ์การบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ ทำการทดสอบอุปกรณ์ภาคพื้นดิน และทดสอบระบบการบิน

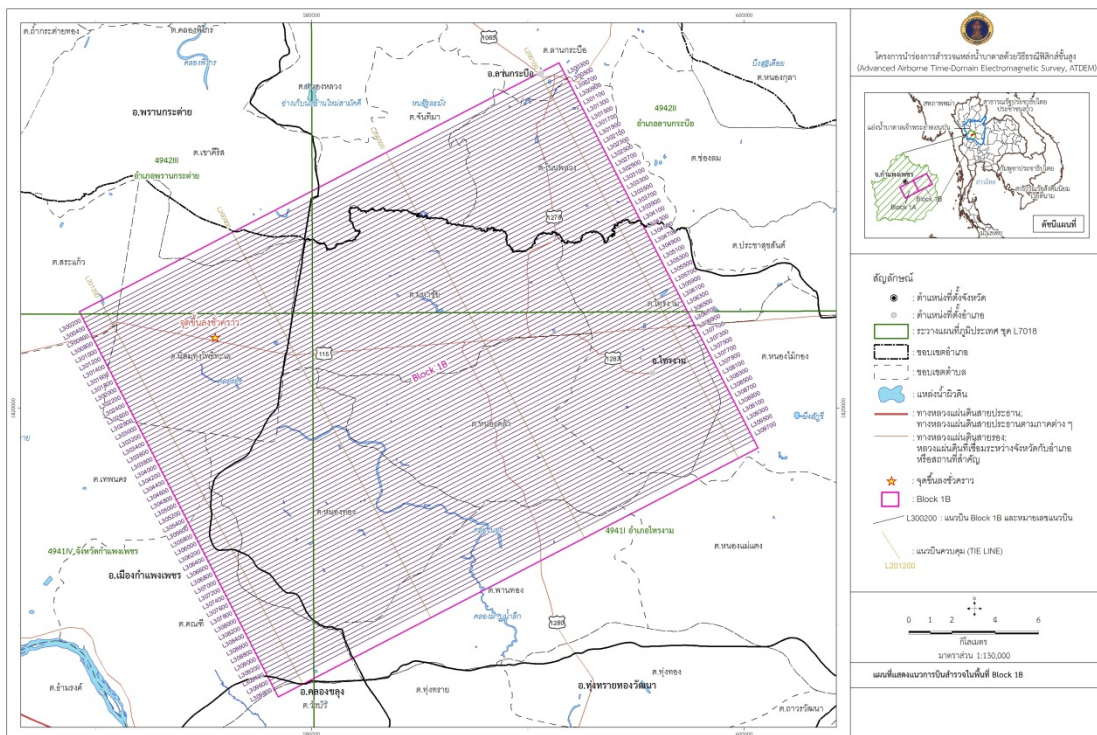
๕) ดำเนินการบินสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยใช้เครื่องมือ Time-domain Electromagnetic (TDEM) พร้อมทั้งรายงานผลการบินสำรวจประจำวัน

๖) ในระหว่างการบินสำรวจในพื้นที่ กรมทรัพยากรน้ำบาดาลและกลุ่มบริษัทที่ปรึกษาได้จัดประชุมประชาสัมพันธ์โครงการให้กับหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และภาคเอกชน

๗) หลังการบินสำรวจเสร็จสิ้น ผู้เชี่ยวชาญจากประเทศเดนมาร์กจัดทำรายงานสรุปผลการบินสำรวจในชั้นเบื้องต้น จัดเก็บอุปกรณ์ทั้งหมดเตรียมส่งกลับประเทศเดนมาร์ก



รูปที่ ๓.๑-๓ แผนที่แสดงแนวการบินสำรวจในพื้นที่ Block 1A



รูปที่ ๓.๑-๔ แผนที่แสดงแนวการบินสำรวจในพื้นที่ Block 1B

๓.๒ การปฏิบัติการภาคพื้นดิน

กลุ่มบริษัทที่ปรึกษาได้ประเมินระยะเวลาการบินสำรวจ ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ความสะดวกในการทำงาน และความปลอดภัยอากาศยาน และอุปกรณ์สำรวจต่างๆ แล้ว ได้กำหนดจุดขึ้นลงเฮลิคอปเตอร์จำนวน ๒ จุด และได้ยื่นขอจัดตั้งจุดขึ้นลงอากาศยานกับกรมการขนส่งทางอากาศ แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งจุดขึ้นลงเฮลิคอปเตอร์ จำนวน ๒ จุด แสดงดังรูปที่ ๓.๑-๒

๓.๒.๑ จุดขึ้น-ลงเฮลิคอปเตอร์จุดที่ ๑

การจัดตั้งที่ขึ้น-ลงเฮลิคอปเตอร์และที่เก็บอุปกรณ์สำรวจตลอดระยะเวลาการบินสำรวจ และการประเมินปริมาณเชื้อเพลิง เพื่อใช้เป็นพื้นที่หลักสำหรับจอดเครื่องบินเฮลิคอปเตอร์ และเก็บอุปกรณ์สำรวจกรณีพิสัยตลอดระยะเวลาการบินสำรวจ ใช้บริเวณสถานที่สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษากำแพงเพชร เขต ๑ (สนามหญ้าหน้าอาคาร ๒) พิกัด ๕๕๕๔๒๒ E/๑๘๓๐๔๔๓ N แสดงดังรูปที่ ๓.๒-๑



รูปที่ ๓.๒-๑ บริเวณจุดขึ้น-ลงเฮลิคอปเตอร์จุดที่ ๑ บริเวณสถานที่สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษากำแพงเพชร เขต ๑ (สนามหญ้าหน้าอาคาร ๒) พิกัด ๕๕๕๔๒๒ E/๑๘๓๐๔๔๓ N

๓.๒.๒ จุดขึ้น-ลงเฮลิคอปเตอร์จุดที่ ๒

เครื่องเฮลิคอปเตอร์ลงจอดพักระหว่างวัน เติมน้ำมัน และตรวจเช็คประจำวัน ซึ่งจะใช้พื้นที่ในบริเวณใกล้เคียงในแต่ละพื้นที่ย่อย ในการจัดตั้งที่ขึ้น-ลงพื้นที่จอดเฮลิคอปเตอร์ โดยเลือกบริเวณโรงเรียนทุ่งโพธิ์ทะเลพิทยฯ ตำบลนิคมทุ่งโพธิ์ทะเล อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร พิกัด ๕๗๕๕๕๒ E/๑๘๒๓๒๗๑ N แสดงดังรูปที่ ๓.๒-๒



รูปที่ ๓.๒-๒ บริเวณจุดขึ้น-ลงเฮลิคอปเตอร์จุดที่ ๒ โรงเรียนทุ่งโพธิ์ทะเลพิทยฯ ตำบลนิคมทุ่งโพธิ์ทะเล อำเภอมือง จังหวัดกำแพงเพชร พิกัด ๕๗๕๕๕๒ E/๑๘๒๓๒๗๑ N

๓.๓ การติดตั้งเครื่องมือและส่วนประกอบต่างๆ

ชุดเครื่องมือบินสำรวจ Time-Domain Electromagnetic survey หรือ TDEM ประกอบด้วยส่วนที่เป็นระบบของการวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เครื่องวัดค่าสนามแม่เหล็ก เครื่องหาตำแหน่งพิกัดจากดาวเทียมชนิด DGPS จำนวน ๓ ชุด เครื่องวัดความเอียง (inclinometers) จำนวน ๒ ชุด และเครื่องวัดระดับความสูง (altimeter) จำนวน ๒ ชุด แสดงดังรูปที่ ๓.๓-๑ และรูปที่ ๓.๓-๒

๓.๓.๑ ชุดเครื่องมือการบินสำรวจ

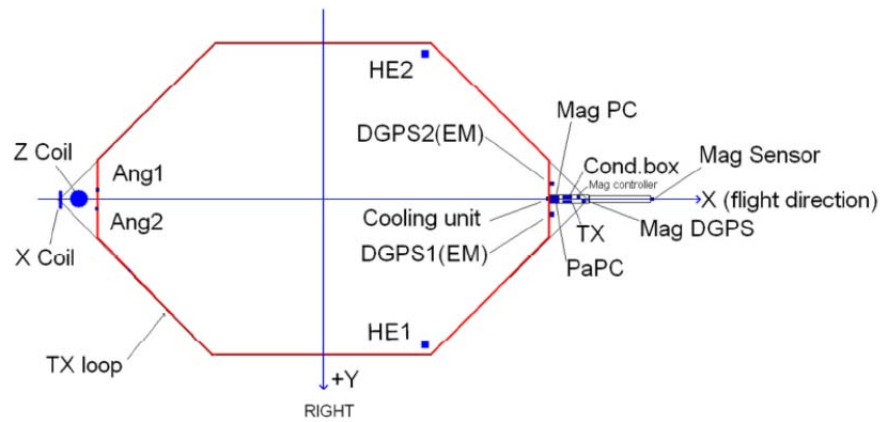
๑) ระบบส่งสัญญาณ ส่งสัญญาณคลื่นในฟอร์มของคลื่นรูปสี่เหลี่ยม มีลักษณะเป็น ตัวเฟรมที่เป็นไม้หรือ PVC รูปหกเหลี่ยม (lattice frame) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง จาก ๑๖ เมตร ถึง ๒๘ เมตร ซึ่งเป็นวงวนส่งสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า (Transmitter (Tx) loop) ขนาด ๓๑๔ ตาราง เมตร ประกอบด้วยขดลวด ๔ รอบ ได้กระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ที่แขวนไว้ด้านบนสุดอยู่ต่ำจากเฮลิคอปเตอร์ประมาณ ๑๕ เมตร

๒) ระบบรับสัญญาณ ทำการวัดค่าสนามแม่เหล็กที่เป็นทุติยภูมิ ด้วยขดลวดใน ๒ ระนาบคือ แนวตั้งและแนวนอนแยกเป็นอิสระกัน ขดลวด Z วัดสัญญาณคลื่นในส่วนที่เป็นแนวตั้ง และขดลวด X ในแนวระนาบตามทิศทางของการสำรวจ แต่ละขดลวดมีพื้นที่รับสัญญาณ ๑๗๕ ตารางเมตร (สำหรับ ขดลวด Z) และ ๑๐๕ ตารางเมตร (สำหรับขดลวด X) ตามลำดับ

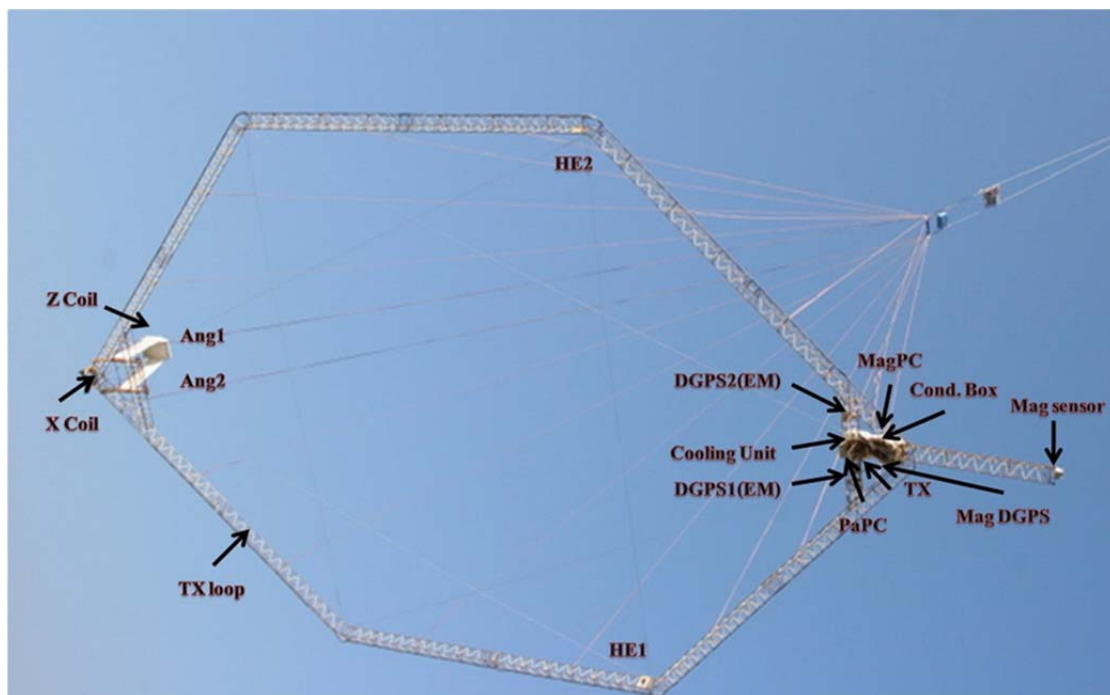
๓) เครื่องวัดระดับความเอียง (inclination) เป็นผลิตภัณฑ์ของ Bjerre Technology ทำการวัดค่าความเอียง ๒ ครั้ง ใน ๑ วินาที ใน ๒ ทิศทางตามแกน X (ขนานกับทิศทางของการบินสำรวจ) และ Y (ตั้งฉากกับทิศทางของการบินสำรวจ) มุมเอียงจะต้องทำการตรวจสอบ และปรับเทียบให้อยู่ภายใน ๐.๕ องศา

๔) เครื่องหาตำแหน่งพิกัดจากดาวเทียมชนิด DGPS ติดตั้งกับชุดเครื่องมือบินสำรวจ และสถานีฐาน (DGPS airborne unit and base stations) Chipset เป็นผลิตภัณฑ์ของ OEMV1-L1 14-channel rate : Trimble, Bullet III GPS ทำการส่งข้อมูล ๑ ชุดข้อมูลใน ๑ วินาที ค่าพิกัด

อยู่ในรูปของ Latitude/longitude, WGS84 ค่าความคลาดเคลื่อน ใน ทิศทาง xyz-เป็น ± 1 เมตร และจะถูกบันทึกพร้อมกับข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ ๓.๓-๑ ชุดเครื่องมือสำรวจที่อธิบายในเชิงระนาบ ประกอบเป็นเฟรมหกเหลี่ยม ตำแหน่งที่วางเครื่องมือส่วนต่างๆ สีแดง เป็นพื้นที่วางวงส่งสัญญาณ (transmitter loop)



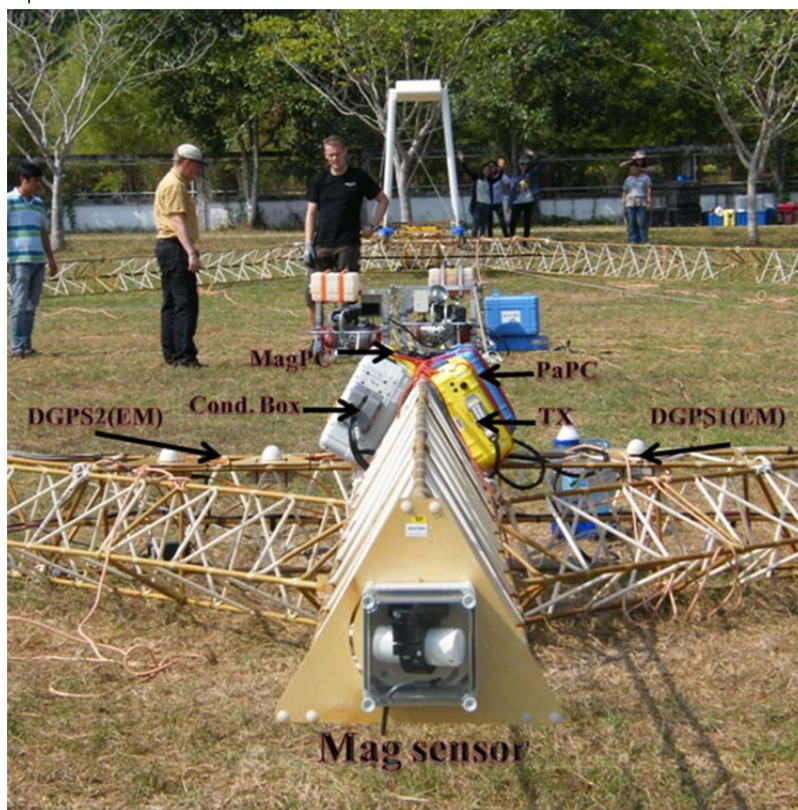
รูปที่ ๓.๓-๒ แสดงองค์ประกอบของเฟรมสำรวจ ในมุมมองจากล่างขึ้นบน

๕) เครื่องวัดระดับความสูง (altimeter) เป็นผลิตภัณฑ์ของ MDL ILM300R เป็น ๒ ชุดที่ใช้เลเซอร์ วัดค่าความสูงอย่างอิสระแต่ละด้านของเฟรมหกเหลี่ยมจากพื้นดิน ทำการวัดค่า ๓๐ ครั้งในทุก ๑ วินาที คลุมในช่วง ๑.๕ เมตร ถึงประมาณ ๒๐๐ เมตร ให้ค่าละเอียดทศนิยม ๒ ตำแหน่ง มีค่าความคลาดเคลื่อน ๑๐ – ๓๐ เซนติเมตร ซึ่งกำหนดไว้ ๓๐ เมตร ตลอดเวลาที่ทำการบินสำรวจ เพื่อให้นำมาปรับแก้ค่าในขั้นตอนประมวลผลข้อมูลบริเวณที่เป็นผิวน้ำอาจลดความถูกต้อง

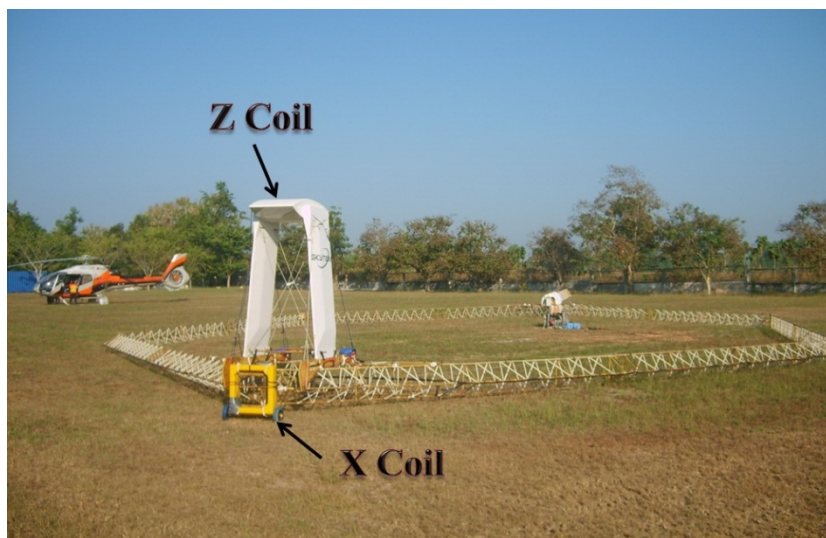
๖) ชุดเครื่องมือวัดค่าสนามแม่เหล็กทางอากาศ (magnetometer airborne unit) เป็นผลิตภัณฑ์ของ Geometrics G822A sensor and Kroum KMAG4 counter ใช้หัววัดแบบ ซีเซียมที่ให้ค่าความละเอียดของข้อมูลสูง <0.0005 nT/MHz rms. โดยทั่วไปทำการวัดค่า สนามแม่เหล็กที่มีความละเอียด 0.002 nT ที่อัตราการวัดทุกๆ ๐.๑ วินาที เมื่อรวมกับความแม่นยำ สัมบูรณ์ที่น้อยกว่า 3 nT ในการวัดค่าอย่างเต็มพิกัด และติดตั้งให้การทำงานสอดคล้องกับระบบ TEM เมื่อช่วงส่งสัญญาณ TEM ปิด เป็นช่วงที่ทำการบินวัดค่าสนามแม่เหล็ก จาก ๑๐๐ ไมโครวินาที ถึงช่วงที่ เริ่มปล่อยสัญญาณ TEM มีความถี่การอ่านค่าเฉลี่ย ๕๐ ครั้งใน ๑ วินาที แสดงดังรูปที่ ๓.๓-๓ และรูป ที่ ๓.๓-๔

๗) ชุดเครื่องมือวัดค่าสนามแม่เหล็กที่สถานีฐาน (magnetometer base station) เป็นผลิตภัณฑ์ของ GEM Overhauser มีค่าความละเอียด 0.01 nT ความแม่นยำสัมบูรณ์ 1 nT ทำ การอ่านค่าทุกๆ 1 ครั้งใน 1 วินาที

๘) ชุดเครื่องมือวัดค่าสนามแม่เหล็กที่สถานีฐาน (magnetometer base station) เป็นผลิตภัณฑ์ของ GEM Overhauser มีค่าความละเอียด 0.01 nT ความแม่นยำสัมบูรณ์ 1 nT ทำ การอ่านค่าทุกๆ ๑ ครั้งใน ๑ วินาที



รูปที่ ๓.๓-๓ เครื่องมือวัดค่าสนามแม่เหล็กทางอากาศ



รูปที่ ๓.๓-๔ แสดงชุดเครื่องมือวัดค่าสนามแม่เหล็กทางอากาศที่ติดตั้งอยู่บนเฟรมสำรวจ

๓.๓.๒ ระบบการทำงานของเครื่องมือ TEM

ระบบการทำงานของเครื่องมือ TEM ได้ทำการติดตั้งในโหมดส่งสัญญาณแบบคู่สลับ (dual transmitter mode) ประกอบด้วย ๒ โหมด ได้แก่

๑) โหมดโมเมนต์ต่ำ (Low Moment (LM) Mode ~3,140 NIA) ใช้ขดลวด ๑ รอบ กระแสไฟฟ้าต่ำ (peak current) ๑๐.๘ แอมแปร์ ความถี่สูงถึง ๒๐๐ เฮิร์ต ตัดการส่งสัญญาณ (๑.๗ ไมโครวินาที) ทำให้ได้ข้อมูลช่วงเวลาแรกๆ ของสัญญาณข้อมูลที่ได้ระดับต้น

๒) โหมดโมเมนต์สูง (High Moment (HM) Mode ~150,000 NIA) ใช้ขดลวด ๔ รอบ กระแสไฟฟ้าสูงกว่า (ประมาณ ๑๐๐ แอมแปร์) ความถี่ฐานที่ใช้ ๒๕ เฮิร์ต ช่วงการตัดสัญญาณ (๑๐ ไมโครวินาที) และเป็นข้อมูลที่ระดับลึก

โดยที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบการทำงานของเครื่องมือ TEM แสดงดังตารางที่ ๓.๓-๑

๓.๔ การบันทึกข้อมูลในเวลาเดียวกัน (Data Synchronizing)

การบันทึกข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยเครื่องมือ TEM มีความสัมพันธ์กันกับการกำหนดตามระบบของเวลา และการเชื่อมโยงของข้อมูลที่แตกต่างกัน การกำหนดเวลาในระบบของ UTC/GMT มีหลายรูปแบบ ดังนี้

๑) การบันทึกเวลาในรูปแบบของ ปี/เดือน/วัน แล้วตามด้วยชั่วโมง นาที และวินาที ได้แก่ yyyy/mm/dd hh:mm:ss.sss

๒) การบันทึกเวลาในรูปแบบการนับจำนวนวันรวมกัน เริ่มจาก ๑๙๐๐-๐๑-๐๑ และจำนวนวินาทีรวมกัน ได้แก่ Ddddd.sssssssss

ตารางที่ ๓.๓-๑ ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการบินสำรวจธรณีฟิสิกส์

Low moment

Parameter	Value
Number of transmitter turns	1
Transmitter area	314 m ²
Peak current	10.8 Amp
Peak moment	~3,140 NIA
Repetition frequency	200 Hz
On-time	800 μ s
Off-time	1700 μ s
Duty cycle	32 %

High Moment

Parameter	Value
Number of transmitter turns	4
Transmitter area	314 m ²
Peak current	111.8 Amp
Peak moment	~150,000 NIA
Repetition frequency	25 Hz
On-time	10000 μ s
Off-time	10000 μ s
Duty cycle	50 %

๓.๕ การปรับเทียบระบบ TEM

เครื่องมือที่ใช้ในการบินสำรวจในระบบ TEM บริษัท SkyTEM Surveys ApS ได้ทำการปรับเทียบระบบและทดสอบค่าที่ National Reference Site ประเทศเดนมาร์ก เมื่อเดือนสิงหาคม ๒๕๕๔ การปรับเทียบรวมถึงการวัดค่ารูปแบบคลื่นส่งสัญญาณ และข้อมูลที่อ่านได้ที่ระดับความสูงต่างๆ กัน มีหนังสือรับรองว่าเครื่องมือสำรวจนี้สามารถสร้างการอ้างอิงโดยใช้พารามิเตอร์อย่างเป็นอิสระในการปรับเทียบค่าคงที่ของระดับความสูงที่ใช้ในการบินสำรวจในครั้งนี้

ผลการปรับเทียบค่าและพารามิเตอร์ มีดังต่อไปนี้

Low moment

Shift factor: 1.00 (on the raw dB/dt data)

Time shift: 0 s

High Moment

Shift factor: 1.05 (on the raw dB/dt data)

Time shift: 0 s

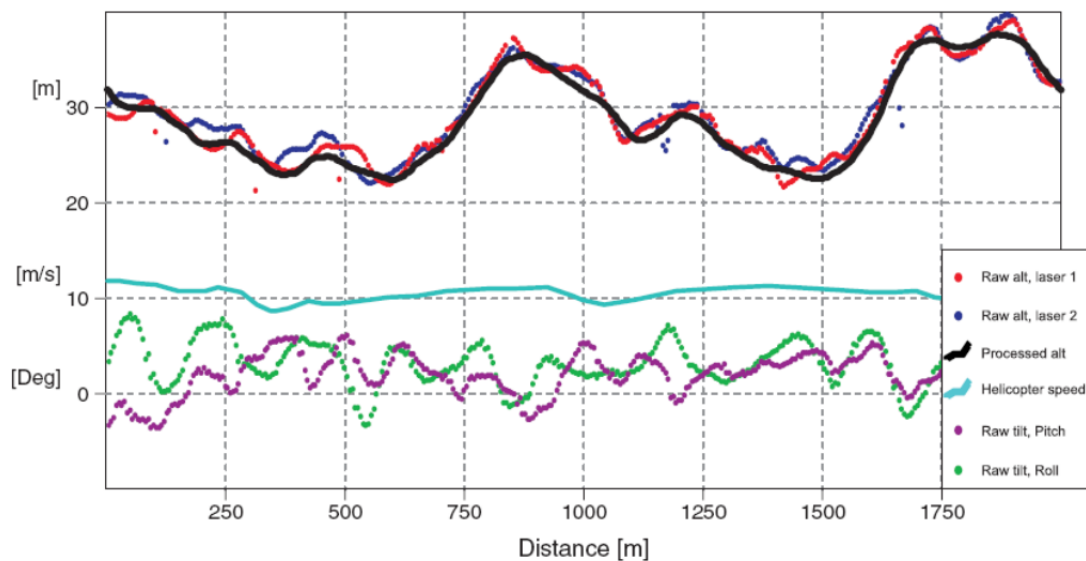
ดังนั้นการประมวลผลข้อมูลทั้งหมดได้ใช้ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้นนี้

๓.๕.๑ การประมวลผลข้อมูลนำทาง (Navigation Data Processing)

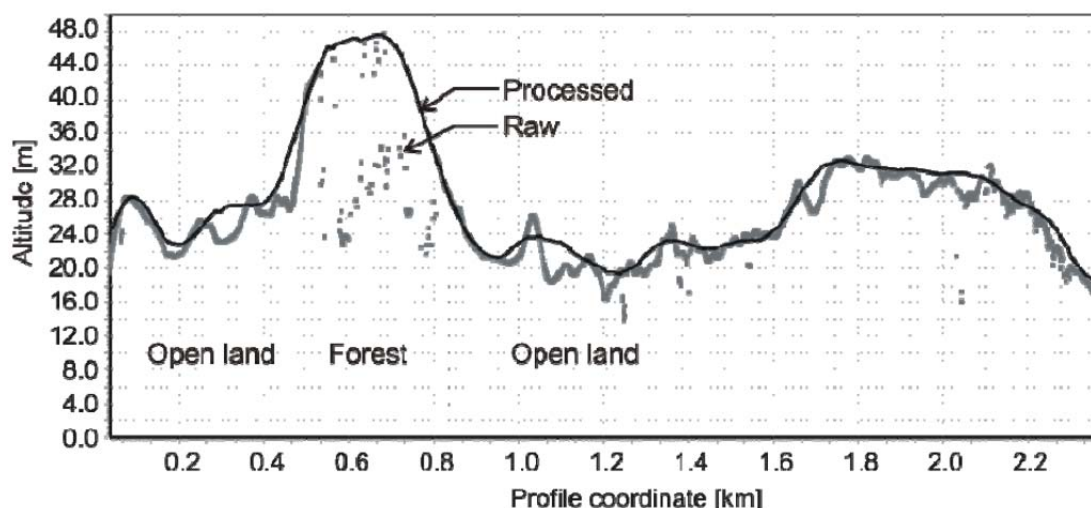
เป็นการกรอง การแก้ค่าเฉลี่ยทั้งแบบอัตโนมัติและแบบเลือกด้วยมือสำหรับข้อมูลนำทางที่ถูกพล็อตพร้อมกันขณะบินสำรวจ เช่น ระดับความสูง มุมเอียง และค่าความต่างศักย์ ตำแหน่งพิกัด (รูปที่ ๓.๕-๑) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีค่าพารามิเตอร์ควบคุม เช่น ความเร็วการบิน ภูมิประเทศ การเอียง ตำแหน่งของการบินอาจแสดงเป็นแผนที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้

การประมวลผลข้อมูลในบางกรณีสามารถทำได้เลย เช่น แนวบินสำรวจที่ผ่านสายไฟฟ้าแรงสูง จะเห็นระยะความสูงเปลี่ยนเพิ่มขึ้นทันทีและมีสัญญาณรบกวนชัดเจน หรือหากการสะท้อนของเลเซอร์วัดความสูงไม่ดีแสดงว่ากำลังบินผ่านป่าไม้ เป็นต้น การวัดค่ามุมเอียงช่วยในการแก้ค่าความสูง และเป็นพารามิเตอร์ที่ต้องใช้ในการผกผันข้อมูล ทั้งแกน X และแกน Z

ความสูงของเฟรมตัวส่งสัญญาณและขดลวดรับสัญญาณ ค่าความสูงที่เกิดจากเลเซอร์สะท้อนจากต้นไม้ให้ข้อมูลผิดพลาด (รูปที่ ๓.๕-๒) ภาพตัดขวางของข้อมูลระดับความสูงจากการวัดค่าระบบ SkyTEM เส้นทึบเป็นข้อมูลระดับความสูงที่ผ่านการประมวลผลแล้ว ผลผิดพลาดจากการสะท้อนที่ได้รับบริเวณที่เป็นป่าแล้วผ่านการประมวลผลเป็นค่าเส้นโค้งระดับความสูง ข้อมูลระดับความสูงที่ผ่านการแก้ค่าแล้วใช้ในการสร้างแบบจำลอง



รูปที่ ๓.๕-๑ ข้อมูลของการนำทาง ค่าความสูง (และทำการประมวลผลแก้ค่าแล้ว) ความเร็วเครื่องบิน รวมทั้งมุมเอียง ทั้งแบบ Pitch และ Roll



รูปที่ ๓.๕-๒ การประมวลผลข้อมูลที่เป็นค่าความสูง จุด คือค่าอ่านได้ เลเซอร์สะท้อนจากต้นไม้ กราฟ เส้นทึบ เป็นค่าที่ทำการแก้ค่าแล้วเพื่อใช้ในการประมวลผลข้อมูล

๓.๕.๒ การประมวลผลข้อมูลค่าความต่างศักย์

สามารถทำแบบอัตโนมัติ นั่นคือ การกรองและเฉลี่ยค่า แล้วทำการคำนวณหาค่า Standard Deviation จากข้อมูลที่วัดค่าซ้อน (stack) จะเป็นการลดสัญญาณรบกวนและช่วยเพิ่มความถูกต้องของสัญญาณที่เกิดจากวัตถุ อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N ratio) เป็นสัดส่วนกับ $\sqrt{N}$ โดย N เป็นจำนวนการวัดค่าซ้อน (stack)

ค่าความต่างศักย์ที่ได้แยกตามขั้นตอนการประมวลผล คือข้อมูลจากเครื่องที่เป็นข้อมูลดิบไม่ได้วัดค่าซ้อน ข้อมูลดิบที่ได้จากวัดค่าซ้อน และข้อมูลเฉลี่ยจากการวัดค่าซ้อน จำนวนการวัดค่าซ้อนสำหรับ HM เป็น ๙๖ และสำหรับ LM เป็น ๑๖๐ ของภาวะชั่วคราว โดยใช้เวลาประมาณ ๕๐ ไมโครวินาทีในการวัดแต่ละโหมด สัญญาณรบกวนอาจเกิดขึ้นจากโครงสร้างพื้นฐาน เช่น สายไฟ รั้ว ลวดหนาม แหล่งชุมชน เป็นต้น สามารถทำการแก้ด้วยมือเอง โดยการลบข้อมูลที่มีการรบกวนออก

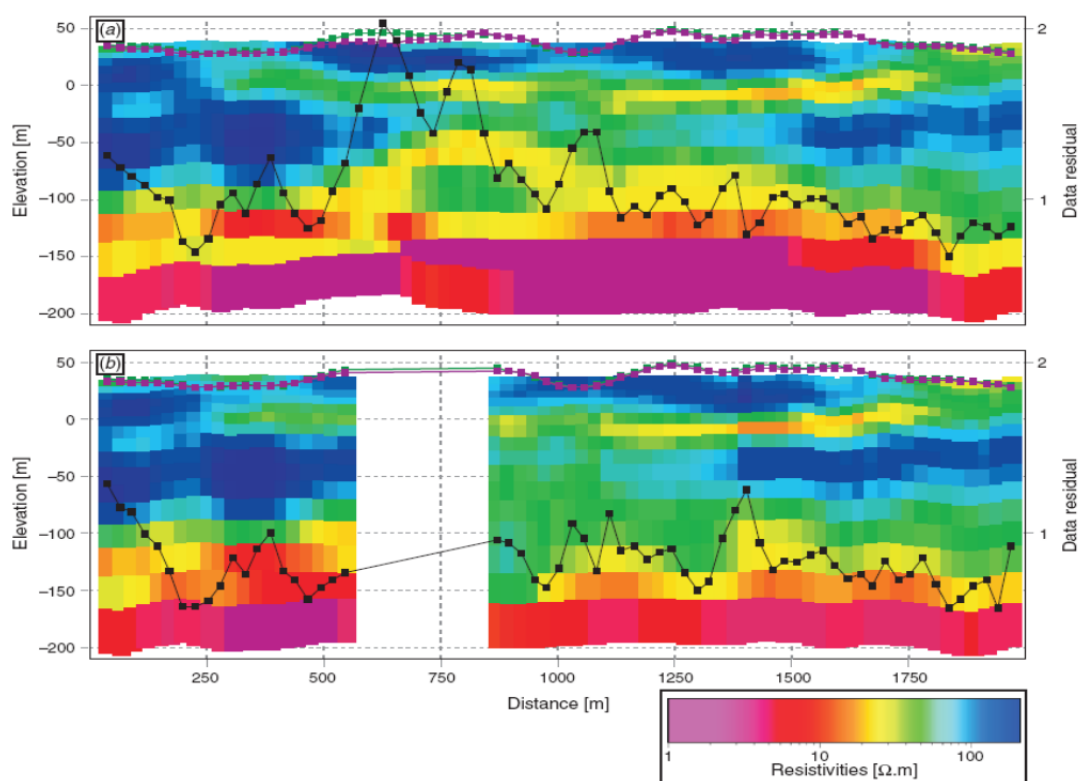
การแก้ค่าข้อมูลดิบค่าความต่างศักย์ที่เป็นผลจากมุมเอียงทั้งแบบหน้า-หลัง (pitch) และแบบซ้าย-ขวา (roll) ตามแกน Z คือ

$$\frac{db}{dt_{cor}} = 2 \frac{db}{dt} \cos(\alpha_{pitch}) \cos(\alpha_{roll})$$

โดย db/dt_{cor} เป็นค่าความต่างศักย์ที่แก้ค่าจากผลมุมเอียง db/dt เป็นความต่างศักย์ α_{pitch} มุมเอียง pitch และ α_{roll} มุมเอียง roll

๓.๕.๓ การผกผันในเชิงปรับค่าเรียบ (Smooth Inversion)

หลังจากการปรับค่าข้อมูลแล้ว จากนั้นสามารถทำการผกผันในเชิงปรับค่าเรียบด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการปรับแก้ค่า (รูปที่ ๓.๕-๓) เช่น ปรับแก้ค่าที่เกิดจากสัญญาณรบกวนพื้นหลังโดยธรรมชาติ (natural background noise)



รูปที่ ๓.๕-๓ การปรับแก้ค่าข้อมูลจากผกผันในเชิงปรับค่าเรียบ บริเวณที่สัญญาณรบกวนจะถูกตัดออกอัตโนมัติ

๓.๕.๔ การสร้างแบบจำลองและการแปลความหมายข้อมูล (Modeling and Interpretation)

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพดี จึงต้องกำหนดพารามิเตอร์ของเครื่องมือต่างๆ และกระบวนการสร้างแบบจำลองของข้อมูล เช่น

๑) ช่วงเวลาเปิด-ปิดกระแสไฟฟ้าที่ถูกปล่อยที่ตัวส่งสัญญาณ และการกำหนดเวลาที่ถูกต้องระหว่างการส่งสัญญาณและการรับสัญญาณ จึงต้องใช้ค่าพารามิเตอร์ของการกำหนดเวลา เพื่อความแม่นยำที่ ๑๐ นาโนวินาที

๒) ฟังก์ชันของการถ่ายโอน การรับสัญญาณ เป็นขั้นตอนของการสร้างแบบจำลองจากการกรองสัญญาณแบบให้ความถี่ต่ำผ่าน (อาจทำมากกว่าหนึ่งครั้ง) มีผลต่อข้อมูลที่ในช่วงเวลาปล่อยกระแสช่วงต้น การกรองข้อมูลความถี่ต่ำผ่านที่จัดไว้ในระบบการรับสัญญาณ เป็นการเพิ่มความเสถียรของการขยายสัญญาณที่อ่านได้ และลดทอนสัญญาณรบกวนจากสถานีวิทยุชนิดคลื่นยาว

๓) การวางโครงแบบของเครื่องส่งและรับสัญญาณเชิงเรขาคณิตต้องมีความแม่นยำ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจนี้ซึ่งเป็นการวางขดลวดอยู่ในวงวนส่งสัญญาณที่มีขนาดพื้นที่คงที่ จะมีผลจากการเบี่ยงเบนเชิงเรขาคณิตของโครงแบบจนทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงของข้อมูลไม่มาก

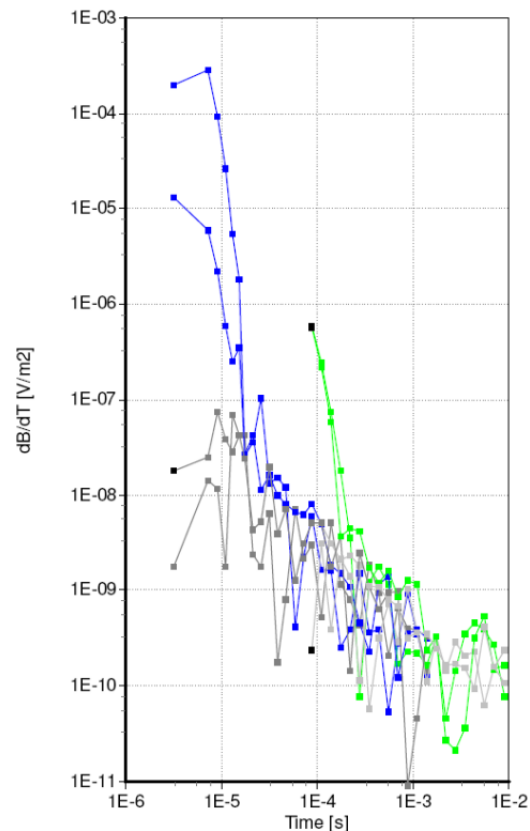
ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเป็นข้อมูลที่มีความหนาแน่นเชิงพื้นที่สูง อาจใช้ในการแปลความหมาย ในเชิง (๑) ปรับปรุงการแยกแยะของโครงสร้างทางธรณีวิทยา และ (๒) ระบุและกำจัดข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวน (อาจเกิดจากความผิดพลาดในการทำงานของเครื่องมือ และการควมคู่ของสัญญาณรบกวนจากตัวนำไฟฟ้าประดิษฐ์)

๓.๖ การทดสอบวัดค่าที่ระดับความสูง (High Altitude Tests)

การปฏิบัติการทดสอบวัดค่าที่ระดับความสูง ได้ดำเนินการก่อนและหลังการบินสำรวจเสร็จสิ้นแล้ว ที่ระดับความสูง ๑,๒๐๐ ฟุต หรือประมาณ ๔๐๐ เมตร ในการทดสอบต้องจัดระบบและการวางตำแหน่งต่างๆ ของส่วนประกอบเหมือนเดิมทุกอย่างกับระบบที่ใช้ในการบินสำรวจ ดังรูปที่ ๓.๖-๑ เส้นกราฟสีน้ำเงินเป็น Low moment สีเขียวเป็น High moment และสีเทาเป็นสัญญาณรบกวน

๓.๗ การดำเนินการเก็บข้อมูล (Data Acquisition)

เส้นสำรวจที่ทำการบินสำรวจดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ ๓.๑-๓ และรูปที่ ๓.๑-๔ เส้นบินสำรวจที่ (flight line no) ๑๐๐๒๐๐ ถึง ๑๐๙๘๐๐ เส้นบินสำรวจที่ ๓๐๐๒๐๐ ถึง ๓๐๙๘๐๐ และ เส้นบินสำรวจ (tie line no) ที่ ๒๐๐๑๐๐ ถึง ๒๐๒๕๐๐ ระดับความสูงปกติเป็น ๓๐-๕๐ เมตร ขึ้นอยู่กับสิ่งกีดขวางหรืออันตราย เช่น ต้นไม้สูง สายไฟฟ้าแรงสูง เป็นต้น ระดับความสูงที่ปลอดภัยขึ้นอยู่กับ การตัดสินใจของนักบิน ความเร็วของการบินอยู่ระหว่าง ๘๐-๑๐๐ กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณีที่ราบและไม่มีลม ความเร็วอาจเปลี่ยนในบางบริเวณเป็นพื้นที่สูงต่ำมากและลมแรง



รูปที่ ๓.๖-๑ แสดงกราฟการทดสอบวัดค่าที่ระดับความสูง โดยสัญญาณ LM จากช่องสัญญาณ (gate) ๑ และข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณช่องสัญญาณ (gate) ๗ และสัญญาณจากช่องสัญญาณแรกจึงนำมาใช้ในการประมวลผลสัญญาณ HM แสดงที่ช่องสัญญาณ ๑๕ และข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนบริเวณช่องสัญญาณ ๑๘ เส้นกราฟ ๒ ชุด ได้จากการทดสอบวัดค่าที่ระดับความสูง ณ ก่อนและหลังที่ทำการบินสำรวจ โดยเส้นกราฟที่สองแสดงรูปแบบสอดคล้องกันไม่มีการเคลื่อนย้ายขยับหนึ่กันในระบบ (drift in the system) เมื่อเปิดส่งสัญญาณที่ระดับเดียวกับสัญญาณรบกวน จากช่องสัญญาณที่ใช้ที่ระดับความสูง ไม่พบสัญญาณรบกวนจากพื้นดิน จึงสรุปได้ว่า ไม่มีสัญญาณรบกวนที่สำคัญต่อระบบการวัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

๓.๗.๑ การตั้งสถานีฐาน (Ground Base Stations) DGPS

สถานีฐาน DGPS ตั้งอยู่ใกล้ฐานปฏิบัติการภาคพื้นดิน และเป็นที่เปิดสามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้เต็มที่ ในการบินสำรวจได้ตั้งสถานีฐาน DGPS ๒ แห่ง แสดงดังตารางที่ ๓.๗-๑

๓.๗.๒ สถานีฐานวัดค่าสนามแม่เหล็ก (Magnetometer Base Station)

สถานีฐานวัดค่าสนามแม่เหล็ก ตั้งอยู่ใกล้ฐานปฏิบัติการภาคพื้นดิน ต้องอยู่บริเวณที่ไม่ได้รับการรบกวนจากสนามแม่เหล็กภายนอกน้อยที่สุด และห่างจากสายไฟฟ้าหรือวัตถุที่เป็นโลหะ ในการบินสำรวจได้ตั้งสถานีฐานวัดค่าสนามแม่เหล็กจำนวน 2 สถานี พิกัดตำแหน่งที่ตั้งแสดงดังตารางที่ ๓.๗-๒

ตารางที่ ๓.๗-๑ แสดงค่าพิกัดและค่าระดับของความสูงของสถานีฐาน DGPS

สถานีฐาน	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ	ระดับความสูง (เมตร)
Base01	555378.94	1830543.38	53
Base02	555384.87	1830543.89	53

ตารางที่ ๓.๗-๒ แสดงค่าพิกัดและค่าระดับของความสูงของสถานีวัดค่าสนามแม่เหล็ก

สถานีฐาน	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ	ระดับความสูง (เมตร)
Base01	555479.74	1830531.85	51
Base02	555464.91	1830534.88	51

๓.๘ การประมวลผลข้อมูล

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมในการบินสำรวจ และทำการเลือกพล็อตไว้ ซึ่งประกอบด้วย ค่าระดับความสูงของการบิน ความเร็ว มุมเอียงของเฟรมหกเหลี่ยม กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ถูกส่ง อุณหภูมิ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบน ได้นำมาแสดงไว้ในตารางที่ ๓.๘-๑

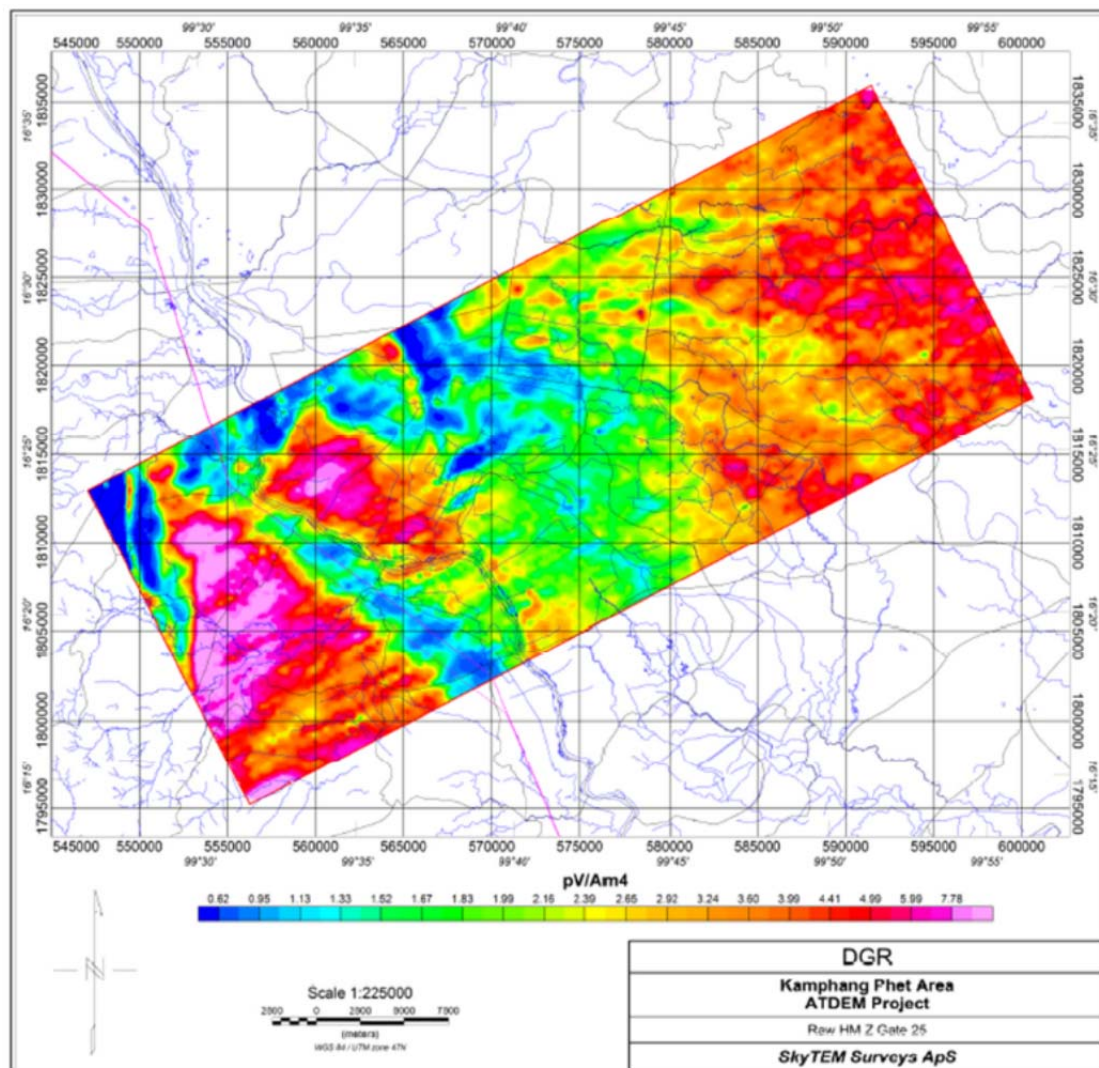
๓.๘.๑ ประมวลผลข้อมูล EM

ข้อมูลทั้งหมดทำการสุ่มจัดใหม่เป็น 10 Hz ซึ่งบริษัท SkyTEM Surveys ApS ได้พัฒนาโปรแกรมขึ้นใช้สำหรับการปรับแต่งข้อมูลตามพื้นที่ขดลวดรับ-ส่งสัญญาณ จำนวนขดลวด และกระแสไฟฟ้า $V/(m4 \cdot A)$ การกรองข้อมูลดิบด้วยระดับสัญญาณค่า LM และ HM ข้อมูล EM ปรับระดับสเกลจาก V เป็น pV เครื่องมือที่เป็นส่วนประกอบทั้งหมด เช่น DGPS, Laser altimeters, Inclinerometers เป็นต้น ทำการปรับย้ายไว้ที่ตำแหน่งจุดกึ่งกลาง

การนำเสนอข้อมูลดิบ EM สามารถเลือกแสดงในรูปกริด (cell size) ขนาด 66 เมตร แสดงตัวอย่างดังรูปที่ ๓.๘-๑

ตารางที่ ๓.๘-๑ ค่าพารามิเตอร์ควบคุมในการบินสำรวจ

Control parameter		Mean Value	Standard Deviation
Ground speed*)		82.2 km/h	5.3 km/h
Processed height		56 m	23.9 m
Tilt angle	X	-5.0 degrees	3.9 degrees
	Y	-2.6 degrees	1.8 degrees
Tx Voltage**)	Tx_off	70 V	-
	Tx_on	68 V	-
Low moment Current**)		10.8 A	0.1 A
High Moment Current**)		109.3 A	1.0 A
Tx temperature**)		68 °C	-



รูปที่ ๓.๘-๑ ตัวอย่างการนำเสนอข้อมูลดิบ EM สามารถเลือกแสดงในรูปกริด (cell size) ขนาด ๖๖ เมตร สีแดงแสดงระดับสัญญาณสูง และสีฟ้าแสดงระดับสัญญาณต่ำ

๓.๘.๒ การประมวลผลค่ามุมเอียง (Tilt Processing)

การประมวลผลมุมเอียงตามแกน X and Y ใช้ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบใช้มือตัวเอง จะทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม SkyLAB ซึ่งบริษัท SkyTem Surveys ApS เป็นผู้พัฒนาขึ้น และใช้โปรแกรม Oasis Montaj Geosoft

การประมวลผลมีขั้นตอนดังนี้

- ๑) กำจัดข้อมูลด้วยโปรแกรม Automated spike l
- ๒) กรอง 3 sec box (ด้วยโปรแกรม SkyLAB)
- ๓) กรองความถี่ต่ำผ่านที่ ๓.๕ วินาที (ด้วยโปรแกรม Geosoft)

๓.๘.๓ การประมวลผลค่าระดับความสูง (Height Processing)

การประมวลผลค่าระดับความสูง ใช้ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบใช้มือตัวเอง จะทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม SkyLAB ซึ่งบริษัท SkyTem Surveys ApS เป็นผู้พัฒนาขึ้น และใช้โปรแกรม Oasis Montaj Geosoft

การประมวลผลมีขั้นตอนดังนี้

- ๑) รักษาค่าสูงสุด ๒ ค่า ใน ๑ วินาที และลบที่เหลือทั้งหมดเพื่อใช้แก้ค่าสำหรับ the canopy effect (treetop filter)
- ๒) กรองแบบ 2 sec running box (smoothing filter)
- ๓) ปรับแก้ค่ามุมเอียง (tilt correction)
- ๔) ทำการเฉลี่ยที่ได้จากทั้ง ๒ ค่า
- ๕) ทำการกรองสัญญาณเพิ่มด้วยโปรแกรม Geosoft ซึ่งเกี่ยวข้องกับข้อมูล ดังนี้
 - ๕.๑) แก้อาชีพที่ขาดหายไป
 - ๕.๒) เติมค่าเชื่อมโยงบริเวณที่เป็นช่องว่างเล็กๆ
 - ๕.๓) กรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน ที่ ๓.๕ วินาที

๓.๘.๔ การประมวลผล DGPS

ข้อมูลทำการประมวลผลใช้ Waypoint GrafNav Lite Differential GPS การตั้งค่ามาตรฐานในการบินสำรวจ คือ

- ๑) นำเข้าข้อมูลฐาน
- ๒) นำเข้าข้อมูลบินสำรวจ
- ๓) ทำการคำนวณ แก้ค่าแบบตรงและแบบผกผัน
- ๔) ได้ไฟล์ในรูปแบบของ text file (*.txt)

ข้อมูล DGPS ที่จัดเก็บในรูปแบบของ txt files ใช้ในการปรับแก้ค่า ในการประมวลผลข้อมูล SkyLAB software ความเร็วพื้นดิน ความสูง พิกัด Latitude/Longitude จากการประมวลผล DGPS ถูกรวมจัดเก็บในไฟล์ข้อมูล Final GDB เปลี่ยนพิกัดเป็น UTM Zone 47N (WGS84) ภายหลัง การกรองความถี่ต่ำผ่านที่ ๓.๕ วินาที ประยุกต์เข้ากับพารามิเตอร์ดังกล่าวมาแล้ว

๓.๘.๕ ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM)

ทำการคำนวณแยกจากการกรองข้อมูลระดับความสูงออกจากค่าระดับความสูงของ DGPS

การประมวลผลค่า DEM เป็นไปตามขั้นตอน ดังนี้

- ๑) ทำการกรองและประมวลผลค่าระดับความสูง จาก Laser altimeter
- ๒) แยกข้อมูล DEM data จากข้อมูลที่ได้จากการกรอง ข้อ ๑) ออกจากความสูงที่ได้จากการประมวลผลข้อมูล DGPS altitude
- ๓) สร้างกริดจากวิธี Minimum curvature กำหนดขนาดกริด เป็น ๖๖ เมตร

๓.๘.๖ แฟ้มข้อมูลการบินสำรวจ (Airborne Data File)

ไฟล์ข้อมูลที่ได้จากการบินสำรวจด้วย SkyTEM อยู่ในรูปแบบของ xyz-file ประกอบด้วย ข้อมูลที่ผ่านการรวบรวมและการประมวลผลสำหรับการแปลความหมายข้อมูล และการสร้างแบบจำลองเชิงผกผัน พิกัดที่ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงได้จาก Latitude/Longitude เป็น UTM (WGS84) Zone 47N โดยมีรายละเอียดของพารามิเตอร์ คำอธิบายของแต่ละพารามิเตอร์ และหน่วยที่ใช้ในการวัดค่าของแต่ละพารามิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ ๓.๘-๒

๓.๙ การวัดค่าและประมวลผลข้อมูลค่าสนามแม่เหล็ก (Magnetic Data Acquisition and Processing)

การทดสอบเครื่องมือวัดค่าสนามแม่เหล็ก (tests) ที่ได้ดำเนินการในสนาม ได้แก่

๓.๙.๑ การทดสอบวัดค่า (Magnetic Heading Effect Test)

ผลจากการวัดค่าจากการผูกติดเครื่องมืออยู่ด้านหน้าเฟรม แล้วบินเคลื่อนที่ในทิศทางที่ต่างกัน ๔ ทิศทาง ทำการทดสอบใกล้สถานีฐานและตามเส้นสำรวจ ๒๐๑๑๑๒๑๓ แล้วประมาณค่าผิดพลาดจากการบินนำ

๓.๙.๒ การทดสอบการอ่านค่าที่คลาดเคลื่อนกัน (Magnetometer Lag (parallax) Test)

การคลาดเคลื่อนของระบบเครื่องมือวัดค่าสนามแม่เหล็ก หาจาก ๒ ทิศทาง จากการบินทดสอบบนเส้นสำรวจ ๒๐๑๑๑๒๑๒ การทดสอบได้ดำเนินการก่อนการขนย้ายอุปกรณ์มายังพื้นที่ศึกษา โดยได้ทำการทดสอบที่เมืองเบเดอร์ (Beder) ประเทศเดนมาร์ก

ตารางที่ ๓.๘-๒ คำอธิบายข้อมูลการบินสำรวจ (airborne data file) SkyTEM survey

Parameter	Explanation	Unit
Fid	Unique Fiducial number. Fid with the value of 0.0 is equal to midnight on the date of 2011/11/28	s
Line	Line number	LLLLLL
Flight	Name of flight	yyyymmdd.ff
DateTime	DateTime format	Decimal days
Date	Date	yyyymmdd
Time	Time	hhmmss.zzz
AngleX	Angle in flight direction (tilt)	Degrees
AngleY	Angle perpendicular to flight direction(roll)	Degrees
Height	Filtered height measurement	Meters
Lon	Latitude/longitude, WGS84	Decimal degrees
Lat	Latitude/longitude, WGS84	Decimal degrees
E	UTM Zone 47N (WGS84)	Meter
N	UTM Zone 47N (WGS84)	Meter
DEM	Digital Elevation Model	Meter a. sl
Alt	DGPS Altitude	Meter a. sl
GdSpeed	Ground Speed	[km/h]
Curr_HM	Current, high moment	A
Curr_LM	Current, low moment	A
RMF_MA1	Residual Magnetic Field, diurnal and IGRF corrected	nT
LM_Z_G7[xx]	Normalized LM Z-coil value: gate 10-27. Channel number [xx] refer to gate number (7+[xx]).	pV/(m4*A)
HM_Z_G18[xx]	Normalized HM Z-coil value: gate 18-35. Channel number [xx] refer to gate number (18+[xx]).	pV/(m4*A)
LM_X_G11[xx]	Normalized LM X-coil value: gate 11-27. Channel number [xx] refer to gate number (11+[xx]).	pV/(m4*A)
HM_X_G18[xx]	Normalized HM X-coil value: gate 18-35. Channel number [xx] refer to gate number (18+[xx]).	pV/(m4*A)

๓.๙.๓ การประมวลผลข้อมูลค่าสนามแม่เหล็ก (Magnetic Processing)

การประมวลผลค่าสนามแม่เหล็กที่วัดได้ในเบื้องต้น คือการแก้ค่าการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กประจำวัน Diurnal variation and IGRF model ก่อนจัดให้เป็นกริดข้อมูล การประมวลผลขั้นสูงดำเนินการโดยใช้โปรแกรม SkyLAB ซึ่งบริษัท SkyTem Surveys ApS เป็นผู้พัฒนาขึ้น และใช้โปรแกรม Oasis Montaj Geosoft มีขั้นตอนดังนี้

- ๑) ประมวลผลในทางสถิติปรับแก้ค่าโดยเทียบกับค่าที่อ่านได้ที่สถานีฐาน
- ๒) ประมวลผลข้อมูลและการกรองข้อมูล ค่าที่บินสำรวจ ค่าที่สถานีฐาน และการแก้ค่าการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กประจำวัน (diurnal) โดยใช้ค่าเฉลี่ยในช่วงการบินสำรวจ 20 nT
- ๓) กำจัดข้อมูลที่สูงเกินผิดปกติ (spikes and spurious data) การประมาณค่าในช่วงที่ขาดหาย ของข้อมูลดิบสนามแม่เหล็กโลกรวม (TMI)
- ๔) คำนวณปรับแก้ค่าตามมาตรฐานของ IGRF ตามตำแหน่งและวันที่ทำการวัดค่าจริง ใช้ 11th ของ IGRF

๕) ค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากวัตถุจริง (Residual magnetic field - RMF) ได้จากการแยกจาก ค่าสนามแม่เหล็กโลกรวม (TMI) ที่อ่านได้

๖) การกรองข้อมูลแบบ RMF ใช้ การกรองแบบ Naudy non-linear filter ขนาดความกว้างของคลื่น ๐.๕ วินาที จำกัดค่าแอมพลิจูด ที่ 1 nT โดยใช้วิธีการกรองแบบเฟรเซอร์ความถี่ต่ำผ่าน เลือกที่ความยาวคลื่น ๑๕ วินาที

การแก้ค่าข้อมูลสนามแม่เหล็ก ดังนี้

- ๑) เตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผลข้อมูล
 - (๑) อ่านค่าซ้ำจาก 50 Hz ถึง 10 Hz ด้วยโปรแกรม SkyLAB
 - (๒) ย้ายตำแหน่งไปที่กึ่งกลางเฟรม ด้วยโปรแกรม SkyLAB
- ๒) การประมวลผลข้อมูล
 - (๑) Non-linear filter applied - Naudy NL with filter width of 0.3 sec
 - (๒) B-spline filter with smoothness 0.6 and tension of 0.1
 - (๓) Diurnal correction
 - (๔) Lag not applied – negligible
 - (๕) Heading correction waits for final processing
- ๓) แก้ค่าเป็น IGRF จากการแยกข้อมูล TMI data - IGRF TMI ปรับให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้อง ความสูง วันที่ทำการสำรวจ ด้วย IGRF 11th generation
- ๔) การแก้ค่าระดับจะทำในขั้นตอนสุดท้าย

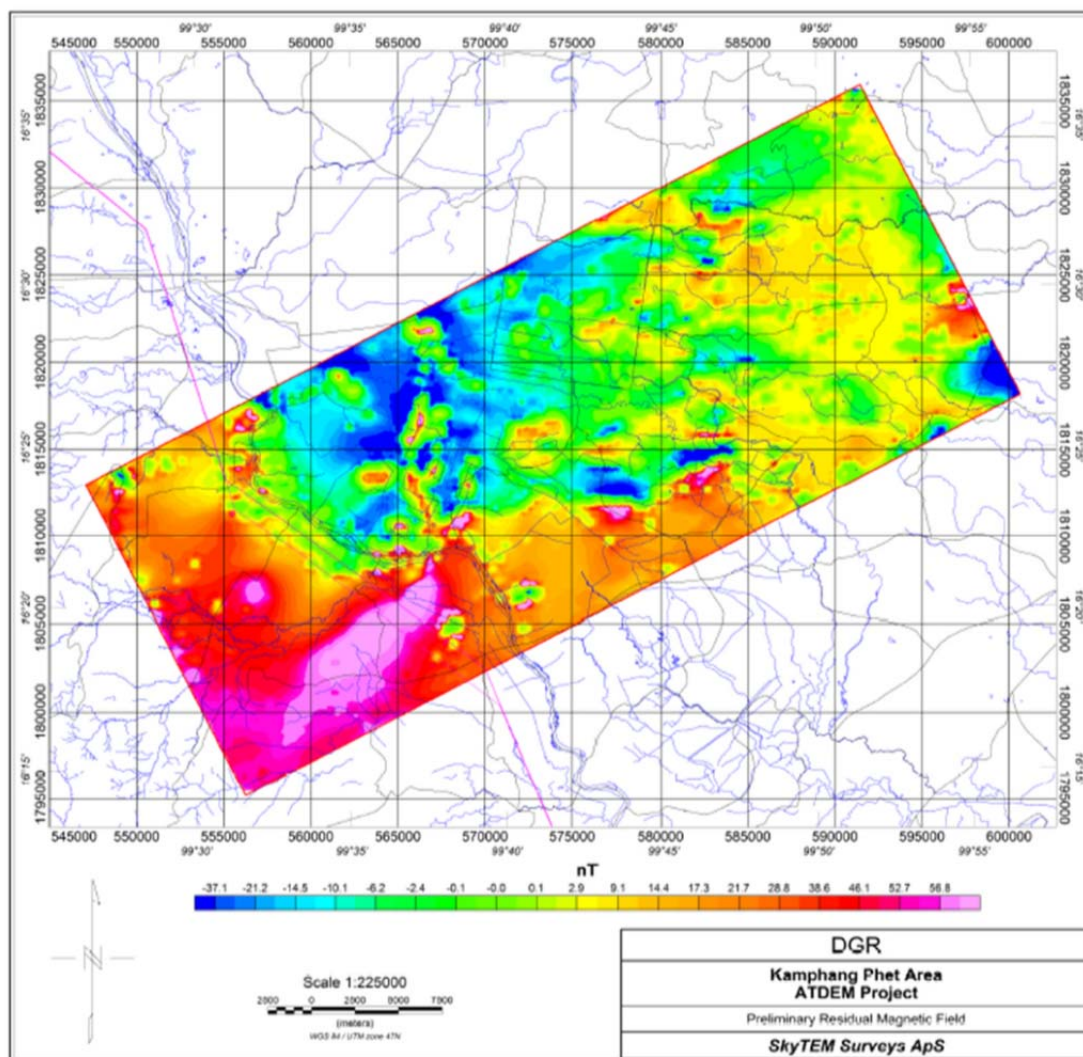
การแก้ค่าการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กประจำวัน (corrections for diurnal variations)

เมื่อทำการปรับแก้ค่าข้อมูลดิบ TMI จากการแก้ค่าระดับ และการกรองข้อมูลเป็นค่าที่เกิดจากวัตถุจริง (RMF) จากข้อมูลสถานีฐาน ใช้วันและเวลาในระบบ UTC เป็นการอ้างอิงข้อมูล

จากการบินสำรวจ เมื่อแก้ค่า diurnal แล้ว แยกข้อมูล Residual ของสถานีฐาน และบวกเพิ่มเติมในค่า Residual ของสถานีฐาน

การสร้างกริดของข้อมูลการวัดค่าสนามแม่เหล็ก (gridding of magnetic data)

ข้อมูลจากการวัดค่าสนามแม่เหล็กที่ผ่านการปรับแก้ค่าแล้ว จะนำมาสร้างเป็นค่าความเข้มสนามแม่เหล็กชนิดแม่เหล็กคงเหลือ (Residual Magnetic Field: RMF) ค่าสนามแม่เหล็กที่อยู่ระหว่างแนวบินสำรวจจะถูกประมาณค่าข้อมูล โดยใช้วิธีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ minimum curvature โดยสร้างเป็นกริดขนาด ๖๖ เมตร ด้วยโปรแกรม GeoSoft แสดงเป็นแผนที่ RMF ดังแสดงในรูปที่ ๓.๙-๑



รูปที่ ๓.๙-๑ แผนที่ Residual Magnetic Field: RMF หลังจากการประมวลผลข้อมูล

บทที่ 4

การประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล การบินสำรวจเชิงธรณีฟิสิกส์

๔.๑ การประมวลผลข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (EM Processing)

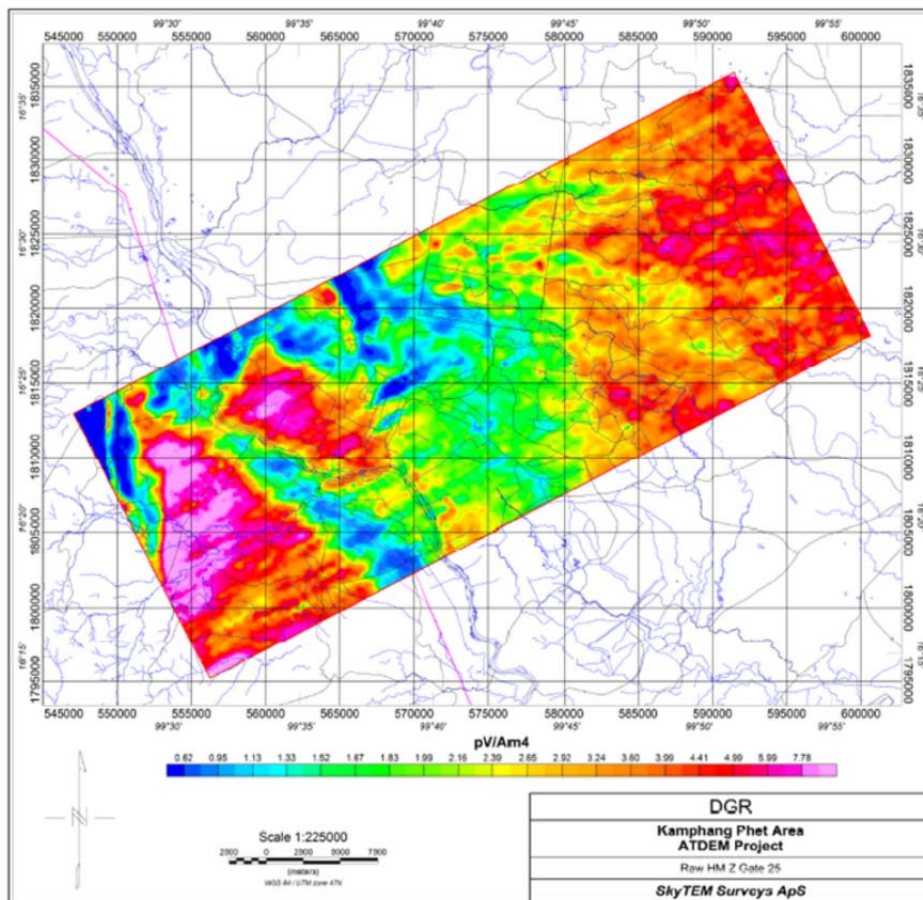
ข้อมูลทั้งหมดทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมเฉพาะของ SkyTEM โดยจะทำการบันทึกจุดข้อมูลใหม่ (resample) ในรูปความถี่ ๑๐ เฮิร์ตซ์ ข้อมูลถูกทำให้เป็นบรรทัดฐาน ตามพื้นที่ของวงวนของเครื่องรับสัญญาณ (Rx) และเครื่องส่งสัญญาณ (Tx) จำนวนรอบของสายไฟและกระแสไฟฟ้า (มีหน่วยเป็น $V/(m^4 \cdot A)$)

ข้อมูลดิบ EM จะถูกกรองสัญญาณตามระดับสัญญาณ เช่น ค่าสูงเป็นผลจากจำนวน transient ที่ต่ำในจำนวนค่าซ้อน (stack) เป็นต้น ค่า LM and HM EM จะถูกปรับจาก V เป็น pV.

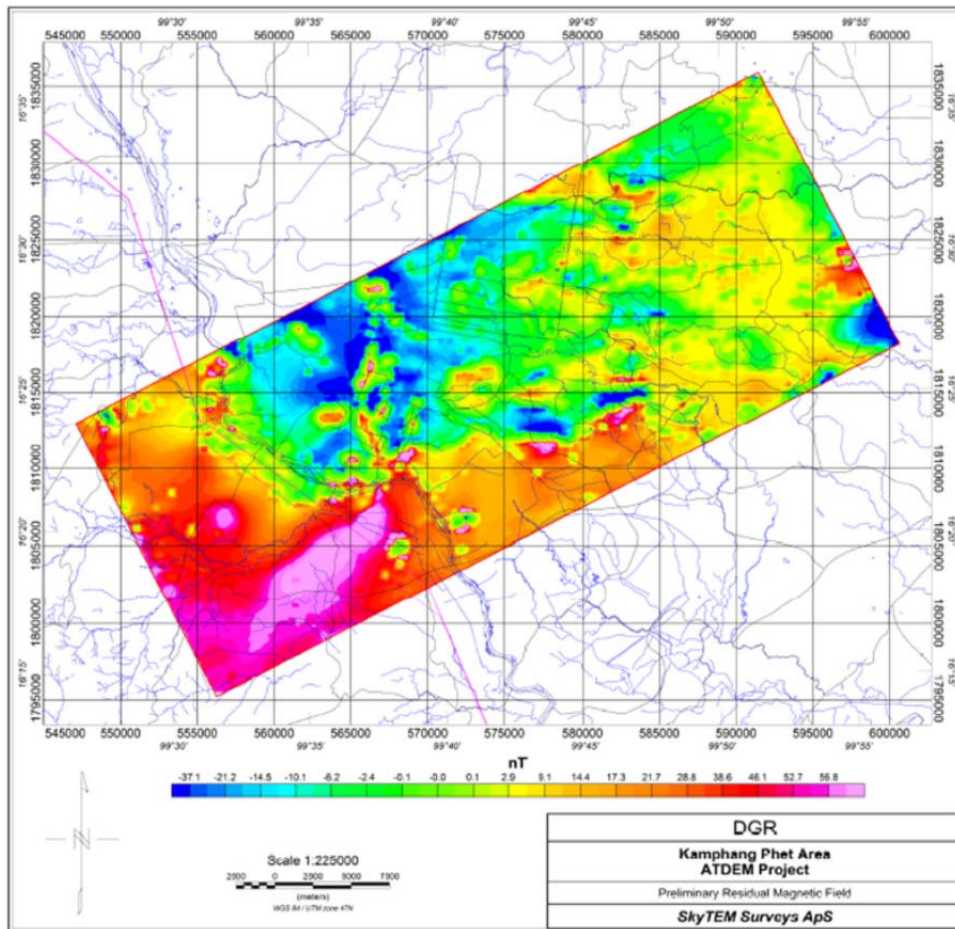
อุปกรณ์เสริมทั้งหมด (DGPS, Laser altimeters, inclinometers) จะถูกปรับแก้ค่าย้ายมาอยู่ที่จุดศูนย์กลางของเฟรม

๔.๑.๑ การนำเสนอข้อมูลดิบ EM (Presentation of Raw EM Data)

การเลือกช่องสัญญาณของข้อมูลดิบ EM แล้วทำการพล็อตกริดแบบ minimum curvature ด้วยขนาดกริด (cell size) ๖๖ เมตร ได้แผนที่ตามรูปที่ ๔.๑-๑ และรูปที่ ๔.๑-๒



รูปที่ ๔.๑-๑ ตัวอย่างการนำเสนอข้อมูลดิบ EM สามารถเลือกแสดงในรูปกริด (cell size) ขนาด ๖๖ เมตร สีแดงแสดงระดับสัญญาณสูง และสีฟ้าแสดงระดับสัญญาณต่ำ



รูปที่ ๔.๑-๒ พล็อตข้อมูลดิบ HM จากที่ขดลวด Z เลือกจากช่อง gate ๒๕ ของชุดข้อมูลสีแดง เป็นค่าสัญญาณสูง

๔.๑.๒ การประมวลผลค่ามุมเอียง (Tilt Processing)

การประมวลผลมุมเอียงตามแกน X and Y เลือกทำได้ทั้งแบบกำหนดเองและอัตโนมัติ จะทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม SkyLAB ซึ่งบริษัท SkyTem Surveys ApS เป็นผู้พัฒนาขึ้น และใช้โปรแกรม Oasis Montaj Geosoft โดยมีขั้นตอนการประมวลผลดังนี้

- ๑) กำจัดค่าสูงมากกว่าปกติช่วงสั้นๆ (Automated spike) แบบอัตโนมัติ
- ๒) ใช้โปรแกรมของ SkyLAB ตั้งการกรองค่า ๓ วินาที (3 sec box filter)
- ๓) ใช้โปรแกรม Geosoft กรองข้อมูลความถี่ต่ำผ่าน ที่ ๓.๕ วินาที (low pass filtering of 3.5 sec.)

๔.๑.๓ การประมวลผลค่าระดับความสูง (Height Processing)

การประมวลผลค่าระดับความสูง ใช้ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบใช้มือแก้ไข จะทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม SkyLAB ซึ่งบริษัท SkyTem Surveys ApS เป็นผู้พัฒนาขึ้น และใช้โปรแกรม Oasis Montaj Geosoft

การประมวลผลมีขั้นตอนดังนี้

๑) รักษาค่าสูงสุด ๒ ค่า ใน ๑ วินาที และลบที่เหลือทั้งหมด เพื่อนำมาแก้ค่าที่เป็นผลจากยอดต้นไม้สูง (canopy effect) หรือการกรองค่า แบบ Treetop filter

๒) กรองข้อมูลให้เรียบ (smoothing filter) ด้วยการเฉลี่ยค่า ๒ วินาที (2 sec running box filter)

๓) ปรับแก้ค่ามุมเอียง (tilt correction)

๔) เฉลี่ยค่าความสูงจาก ๒ ด้าน (averaging two laser values)

๕) ใช้โปรแกรม Geosoft ในการเพิ่มประสิทธิภาพการกรองข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่สำรวจ เช่น

๕.๑) แก้ไขข้อมูลที่ไม่ใช่ข้อมูลที่เกิดจากสภาพพื้นที่จริง (spurious data) เช่น ข้อมูลที่หายไปบริเวณอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น

๕.๒) ประมาณค่าเพื่อเชื่อมโยงค่าในช่วงช่องว่างแคบๆ

๕.๓) กรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน ที่ ๓.๕ วินาที

๔.๑.๔ ประมวลผลข้อมูลค่าตำแหน่งจากดาวเทียมเชิงอนุพันธ์ (DGPS Processing)

การประมวลค่า DGPS ใช้เครื่องมือ GPS ของ Waypoint GrafNav Lite Differential ใช้ระบบการตั้งค่าตามมาตรฐานการบิน คือ

๑) นำเข้าข้อมูลที่สถานีฐาน (base station) เป็นตัวหลัก (master)

๒) นำเข้าข้อมูลที่บินสำรวจ

๓) คำนวณผลเฉลี่ยค่า DGPS (DGPS solution) ทั้งโดยวิธีแบบข้างหน้าและผกผัน (forward and reverse)

๔) ได้ข้อมูลในรูปแบบของ .txt file

ข้อมูล DGPS ในรูป.txt files ถูกนำเข้าโปรแกรม SkyLAB เพื่อใช้ในการแก้ค่าข้อมูลบินสำรวจ โดยทำการรวมค่าความเร็วพื้น (ground speed) ความสูง (altitude) ตำแหน่งพิกัด (latitude and longitude) ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูล DGPS เป็นข้อมูลรวมสุดท้ายในรูป .GDB files แล้วเปลี่ยนค่าพิกัดเป็นระบบ UTM “Zone 47N (WGS84)” และทำการกรองค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ความถี่ต่ำผ่านที่ ๓.๕ วินาที

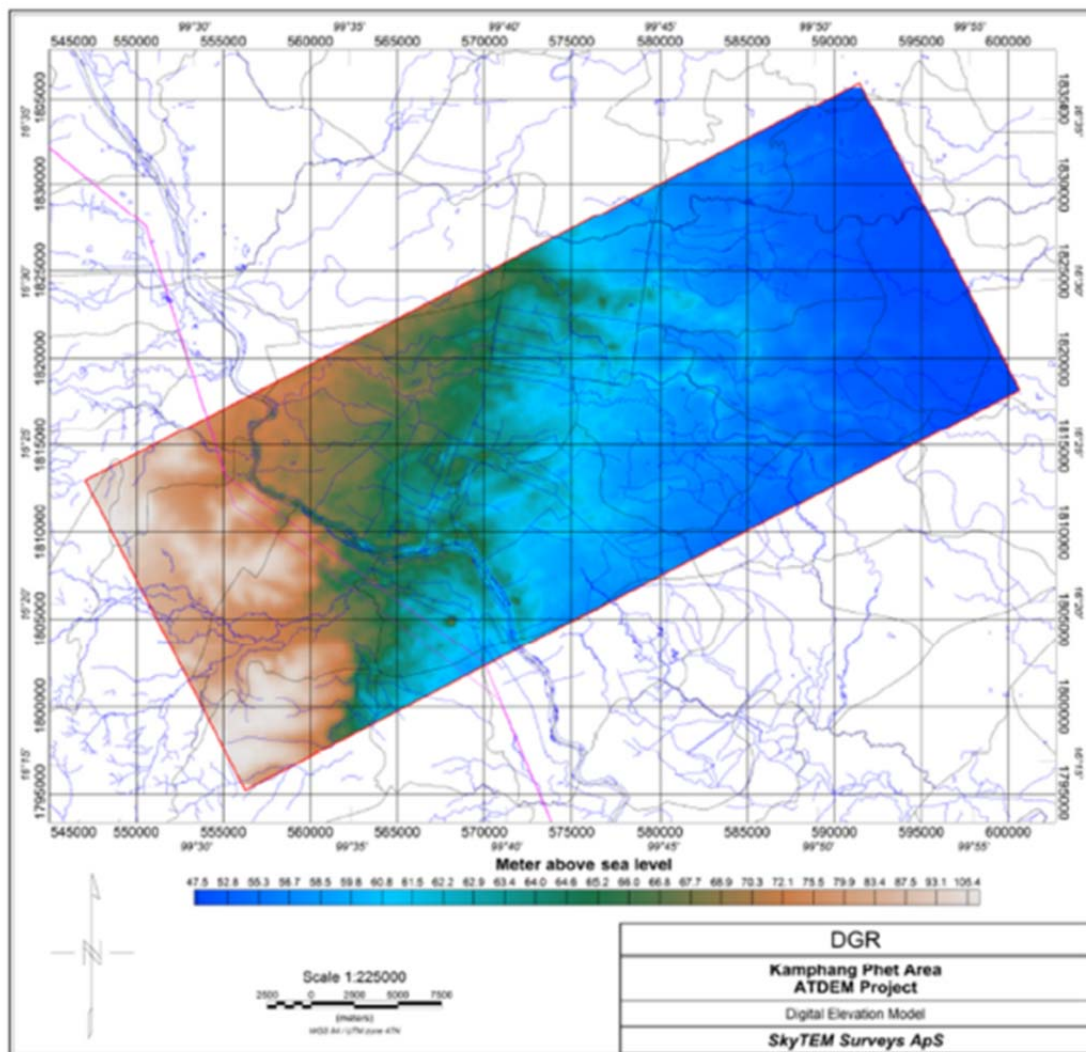
๔.๑.๕ ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM)

การคำนวณค่า DEM จากการหักลบค่าความสูงจาก Laser altimeter ที่ผ่านการกรองแล้ว จากค่าความสูงของ DGPS การประมวลผลให้ได้ค่า DEM สุดท้าย ดังรูปที่ ๔.๑-๓ มีขั้นตอนดังนี้

๑) กรองและประมวลผลค่าความสูงที่วัดได้จาก Laser altimeter ตามที่ได้อธิบายมาแล้ว

๒) แยกข้อมูล DEM data จากข้อมูลที่ได้จากการกรอง ข้อ 1) ออกจากความสูงที่ได้จากการประมวลผลข้อมูล DGPS altitude

๓) สร้างกริดด้วยวิธี Minimum curvature โดยกำหนดขนาดกริด (cell size) เป็น ๖๖ เมตร



รูปที่ ๔.๑-๓ แผนที่ DEM บริเวณพื้นที่สำรวจ จังหวัดกำแพงเพชร (เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง) ระบบพิกัด UTM Zone 47N (WGS84)

๔.๒ การประมวลผลข้อมูลค่าสนามแม่เหล็ก (Magnetic Data Processing)

๔.๒.๑ การวัดค่าทดสอบ และปรับเทียบค่าในสนาม

(๑) การวัดค่าทดสอบผลจากทิศมุ่งหน้าการบินสำรวจ (Magnetic Heading Effect Test)

การวัดค่าทดสอบผลจากทิศมุ่งหน้าการบินสำรวจ จัดตามทิศทางการบินให้เป็น ๔ ทิศ ตามทิศทางของเส้นสำรวจที่กำหนดไว้ โดยมี ๒ แนวที่เป็นบริเวณใกล้จุดขึ้นลงจอดเครื่องบินเพื่อหาข้อมูลเชิงสถิติในการประมาณค่าผิดพลาดจากทิศมุ่งหน้าของการบินสำรวจ (heading error) และทำการบินทดสอบตามแนวเส้นสำรวจ ๒๐๑๑๑๒๑๓ ผลจากการทดสอบแสดงว่าทิศทางการบินสำรวจมีผลต่อการวัดค่าข้อมูลค่อนข้างน้อย คือน้อยกว่า 1.5 nT ซึ่งต่ำกว่าค่าจำกัดที่ยอมรับได้ โดยข้อมูลได้ถูกทำการแก้ค่าตามตารางที่ ๔.๒-๑

ตารางที่ ๔.๒-๑ แสดงการวัดค่าทดสอบผลจากทิศมุ่งหน้าการบินสำรวจ

Direction	Heading Correction
62.7	-0.675
152.7	-1.325
242.7	0.690
332.7	1.205

(๒) การวัดค่าทดสอบผลการเลื่อนของเวลาที่บันทึกในการบินสำรวจ (Magnetometer Lag (parallax) Test)

เวลาที่บันทึกของระบบการวัดค่าสนามแม่เหล็กที่เลื่อนไปในการบินสำรวจหาได้จากเส้นการบินสำรวจในทิศทางตรงกันข้ามบริเวณที่มีค่าผิดปกติสูงชัน (sharp magnetic anomaly) การบินทดสอบค่าที่เส้นสำรวจ ๒๐๑๑๑๒๑๒ การสังเกตผลการทดสอบได้ยืนยันว่าไม่พบว่ามีผลการเลื่อนของเวลาที่บันทึก ขณะอ่านค่า (no time lag) จากการการบินทดสอบที่เมือง Beder ประเทศเดนมาร์ก ก่อนการขนส่งมายังประเทศไทย

(๓) การประมวลผลค่าสนามแม่เหล็ก (Magnetic Data Processing)

ทำการประมวลผลในเบื้องต้นโดยการแก้ค่าจากการเปลี่ยนแปลงค่าสนามแม่เหล็กรายวัน (diurnal variation) และแบบจำลอง IGRF ก่อนที่จะทำกริดแสดงเป็นแผนที่ การประมวลผลขั้นสูงทุกขั้นตอนของค่าสนามแม่เหล็กด้วยโปรแกรมเฉพาะของ SkyTEM (SkyLAB) และ Geosoft's Oasis Montaj มีขั้นตอนดังนี้

- ประมวลผลข้อมูลจากสถานีฐานในเชิงสถิติ
- ประมวลผลและกรองข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กที่ได้จากการบินสำรวจ

(๔) การประมวลผลข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กที่สถานีฐานและการแก้ค่าการเปลี่ยนแปลงรายวัน (Processing of Base Station Magnetic Data and Diurnal Correction)

- กำจัดข้อมูลที่มีค่าสูงผิดปกติ หรือค่าที่ไม่ใช่ข้อมูลจากการวัดค่าจริง (spikes and spurious) และทำการสอดแทรกข้อมูลค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกรวม (TMI)
- การคำนวณให้เป็นค่ามาตรฐานระบบ IGRF สำหรับตำแหน่งที่ตั้งของสถานีฐาน และวันที่ทำการวัดค่าจริง
- สำหรับการคำนวณหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องใช้อ้างอิงจาก 11th generation of IGRF
- ค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากวัตถุจริง (residual magnetic field (RMF)) คำนวณได้จากการหักลบค่าข้อมูลสนามแม่เหล็กโลกรวมที่ได้คำนวณปรับค่าแล้ว (IGRF TMI data) จากค่าที่ได้จากการวัดสนามแม่เหล็กโลกรวม
- ค่า RMF จะถูกรองด้วย Naudy non-linear ใช้ช่วงกว้างเท่ากับ ๐.๕ วินาที จำกัดขนาดแอมพลิจูด ที่ 1 nT.
- ค่า RMF ถูกรองด้วยวิธีเฟรเซอร์ความถี่ต่ำผ่าน (Fraser low-pass) ตัดค่าความยาวคลื่นที่ ๑๕ วินาที

- การคำนวณการเปลี่ยนแปลงรายวันของค่าสนามแม่เหล็กโลก (diurnal variations) ด้วยการหักลบค่าเฉลี่ย ๒๐ nT จากค่า RMF

(๕) การประมวลผลและกรองข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กที่ได้จากการบินสำรวจ (Processing and Filtering of Airborne Magnetic Data)

การประมวลผลข้อมูลเกี่ยวข้องกับการแก้ค่าดังนี้

- เตรียมการข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กก่อนที่จะนำมาทำการประมวล
- ทำการซ้ำค่า (stack) ของข้อมูลจากความถี่ 50 Hz ถึง 10 Hz ใน SkyLAB
- ย้ายตำแหน่งค่าที่อ่านได้มาอยู่ที่กึ่งกลางเฟรมหกเหลี่ยม ใน SkyLAB
- ประมวลผลและกรองข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กที่ได้จากการบินสำรวจ
- กำจัดข้อมูลที่มีค่าสูงมากผิดปกติ หรือค่าที่ไม่ใช่ข้อมูลจากการวัดค่าจริง

(spikes and spurious)

- กรองข้อมูลแบบ B-spline ด้วยการปรับเรียบ ที่ ๐.๗ และค่าแรงดึง (tension)

ที่ ๐.๐

- แก้ค่าเปลี่ยนแปลงรายวัน
- ไม่ต้องทำการแก้ค่าเวลาเลื่อน เนื่องจากไม่มีผล จึงสามารถตัดทิ้งได้
- แก้ค่าทิศมุ่งหน้าการบินต่ำกว่า 1.5 nT ประยุกต์ตามตารางของทิศมุ่งหน้า

(heading table)

- กำจัด IGRF จากข้อมูล TMI การคำนวณ IGRF TMI จากพารามิเตอร์ประกอบด้วย ตำแหน่งพิกัดค่าภูมิประเทศ ณ วันที่ทำการบินสำรวจด้วยโปรแกรม IGRF 11th generation (ทำการคำนวณจาก web online)

- การแก้ระดับความสูงของสัญญาณถึง 4.6 nT ในเชิงสถิติ ตามแนวเส้นสำรวจควบคุม (tie lines) การแก้ระดับความสูงเต็มที่ของสัญญาณถึง 3.6 nT สำหรับตามแนวเส้น

- การปรับแก้ค่าในระดับละเอียด (micro-leveling) ด้วยค่าพารามิเตอร์ดังนี้
 - เลือกความยาวคลื่นที่ต้องการกำจัดออกที่ 2000 m
 - กรองสัญญาณตามทิศทางอะซิมุท คือ 62.7 degrees
 - จำกัดขนาดแอมพลิจูด ที่ 0.5 nT
 - ตั้งค่าความยาวในการกรองแบบ Naudy ที่ 1000

(๖) แก้ค่าการเปลี่ยนแปลงรายวัน (Diurnal Variations)

ข้อมูลดิบค่าสนามแม่เหล็กโลกรวมที่ได้จากการบินสำรวจ เมื่อผ่านการปรับแก้ค่าและการกรองสัญญาณแล้วทำการประมวลผลร่วมกับข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กที่อ่านได้ที่สถานีฐาน โดยยึดวันและเวลาที่ทำการสำรวจเป็นข้ออ้างอิง

ข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กจากการบินสำรวจได้ถูกทำการแก้ค่าการเปลี่ยนแปลงรายวันด้วยการหักลบจากข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงจริงของสถานีฐาน (residual base station magnetic data) แล้วบวกค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการเปลี่ยนแปลงจริงของสถานีฐาน

(๗) การแก้ค่าเนื่องจากการเลื่อนของเวลา (Lag Correction)

ไม่พบว่ามีผลจากการคลาดเคลื่อนของเวลา ระหว่างการรวบรวมข้อมูล GPS กับการบินสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็ก และได้รับการยืนยันจากผลการบินทดสอบด้านนี้มาแล้ว (lag (parallax) tests)

(๘) การแก้ค่าจากทิศมุ่งหน้าการบินสำรวจ (Heading Correction)

การแก้ค่าจากทิศมุ่งหน้าการบินสำรวจ เป็นการทำให้ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลช่วงท้าย แต่จากการทดสอบพบว่าผลกระทบของทิศมุ่งหน้าการบินสำรวจมีผลน้อยมาก สำหรับทิศทางของการบินสำรวจทั้งหมด และไม่เป็นผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญของค่าที่ทำการอ่านของการบินสำรวจ

(๙) การแก้ค่าให้ค่ามาตรฐาน IGRF

The International Geomagnetic Reference Field (IGRF) ได้กำหนดค่าสนามแม่เหล็กความถี่ยาวแบบไพศาลที่คำนวณจากข้อมูลที่ได้บันทึกอย่างถาวรทั่วโลก ค่า IGRF เป็นค่าที่มีการปรับแต่งให้ทันสมัยและหารีร่วมกันในการประชุมระหว่างนักธรณีฟิสิกส์นานาชาติ ทุก ๕ ปี จากการเปลี่ยนแปลงค่าสนามแม่เหล็กโลก แบบ Secular การคำนวณค่าสนามแม่เหล็กให้เป็นระบบ IGRF

ระบบ IGRF ทำก่อนการปรับค่าโดยใช้พารามิเตอร์ในทุกการบินสำรวจ ดังนี้

IGRF: ค่า coefficients กำหนดจาก version 11th Generation

วันที่: เปลี่ยนตามวันที่ทำการบินสำรวจในช่องของฐานข้อมูล

ตำแหน่ง: เป็นค่าละติจูด ลองจิจูด เปลี่ยนตาม ค่า GPS ในระบบ WGS84

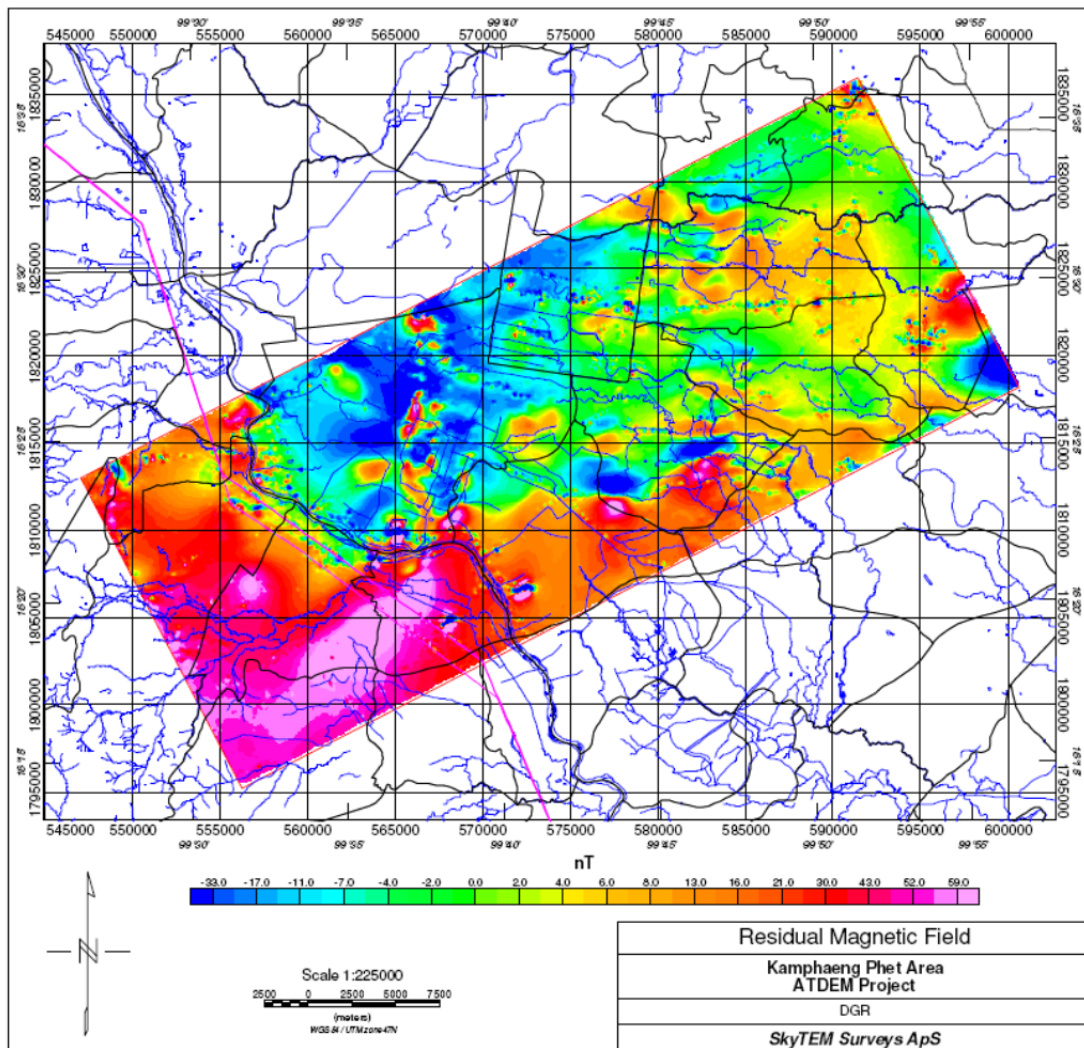
ค่าความสูง: แปรเปลี่ยนตามค่าความสูงของหัววัดสัญญาณ หาได้จาก GPS

(๑๐) การทำข้อมูลสนามแม่เหล็กให้อยู่ในรูปกริด (Gridding)

ข้อมูลค่าสนามแม่เหล็กที่ผ่านการแก้ค่าแล้ว จะถูกทำให้เป็นค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากวัตถุจริง (Residual Magnetic Field - RMF) มีการคำนวณแทรกค่าสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งระหว่างเส้นสำรวจ โดยทำกริดจากการกำหนดตำแหน่งแบบสุ่ม ใช้ขั้นตอนวิธีแบบ Minimum curvature ทำให้ได้ค่ากริดในเชิง x-y โดยกำหนดขนาดของกริดเป็น ๖๖ เมตร

(๑๑) การประมวลผลข้อมูลโดยการทำเป็นกริด

ข้อมูลกริด RMF และ TMI ทำจากการเลือกช่องข้อมูล RMF และ TMI ด้วยวิธี Minimum curvature ในโปรแกรม Geosoft ดังรูปที่ ๔.๒-๑ เป็นแผนที่ RMI หลังจากที่ผ่านมาการประมวลผลแล้วจากเครื่องวัดค่าสนามแม่เหล็ก



รูปที่ ๔.๒-๑ แผนที่กริดความเข้มสนามแม่เหล็กแบบ RMF สำหรับพื้นที่สำรวจ

๔.๒.๒ แฟ้มข้อมูลจากการบินสำรวจ (Airborne Data File)

แฟ้มข้อมูลจากการบินสำรวจจัดเป็นคอลัมน์ xyz-file ตัวอย่างดังตารางที่ ๔.๒-๒ ซึ่งเป็นแบบของผลการบินสำรวจ SkyTEM ประกอบด้วย ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลแล้วทั้งหมด ใช้สำหรับการแปลความหมายและการทำแบบจำลองผกผัน (interpretation and inversion) โดยข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จัดส่งแล้วในเบื้องต้นเป็นข้อมูลเฉพาะความถี่ ๑๐ เฮิร์ตซ์

ข้อมูลในแฟ้มได้ดำเนินการจัดแยกที่เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของเส้นสำรวจในแต่ละแผนการบิน โดยต้องทำการกำจัดสัญญาณรบกวนที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ออก

ข้อมูลดิบค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ค่าสนามแม่เหล็ก และค่าที่เกี่ยวข้องเมื่อผ่านการกรองและประมวลผลแล้วตามที่ได้อธิบายไว้แล้ว ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในแฟ้มข้อมูล xyz จะถูกย้ายมาที่ตำแหน่งกึ่งกลางของเฟรม

ข้อมูลในแฟ้มข้อมูล xyz ถูกนำมาทำการประมวลผลและทำเป็นกริด แล้วนำเข้าโปรแกรมสร้างแบบจำลองผกผันและแปลความหมาย

การเชื่อมโยงตำแหน่ง เป็น Latitude/longitude ในระบบ WGS84 และกำหนดเป็นโซน 47N ในระบบ UTM WGS84

ตารางที่ ๔.๒-๒ หัวเรื่องของแฟ้มข้อมูลการบินสำรวจในรูปแบบ xyz-file

Parameter	Explanation	Unit
Fid	Unique Fiducial number. Fid with the value of 0.0 is equal to midnight on the date of 2011/11/28	s
Line	Line number	LLLLLL
Flight	Name of flight	yyyymmdd.ff
DateTime	DateTime format	Decimal days
Date	Date	yyyymmdd
Time	Time	hhmmss.zzz
AngleX	Angle in flight direction (tilt)	Degrees
AngleY	Angle perpendicular to flight direction(roll)	Degrees
Height	Filtered height measurement	Meters
Lon	Latitude/longitude, WGS84	Decimal degrees
Lat	Latitude/longitude, WGS84	Decimal degrees
E	UTM Zone 47N (WGS84)	Meter
N	UTM Zone 47N (WGS84)	Meter
DEM	Digital Elevation Model	Meter a. s. l.
Alt	DGPS Altitude	Meter a. s. l.
GdSpeed	Ground Speed	[km/h]
Curr_HM	Current, high moment	A
Curr_LM	Current, low moment	A
BMAG_TMI	Raw magnetic base station data	nT
BMAG_Diurnal	Calculated base station diurnal variations	nT
MA1_raw	Raw airborne magnetic data	nT
MA1_Fil	Filtered and interpolated airborne magnetic data	nT
MA1_Cor	Diurnal, lag, heading and IGRF corrected magnetic data	nT
IGRF_TMI	calculated IGRF-11 - total magnetic intensity	nT
IGRF_Inc	calculated IGRF-11 - magnetic inclination	Degrees
IGRF_Dec	calculated IGRF-11 - magnetic declination	Degrees
RMF	Final levelled RMF data	nT
TMI	Final levelled TMI data	nT
LM_Z_G7[xx]	Normalized LM Z-coil value: gate 10-27. Channel number [xx] refer to gate number (7+[xx]).	pV/(m4*A)
HM_Z_G18[xx]	Normalized HM Z-coil value: gate 18-35. Channel number [xx] refer to gate number (18+[xx]).	pV/(m4*A)
LM_X_G11[xx]	Normalized LM X-coil value: gate 11-27. Channel number [xx] refer to gate number (11+[xx]).	pV/(m4*A)
HM_X_G18[xx]	Normalized HM X-coil value: gate 18-35. Channel number [xx] refer to gate number (18+[xx]).	pV/(m4*A)

๔.๓ การสร้างแบบจำลองเชิงผกผันของข้อมูล SkyTEM (Inversion of SkyTEM Data)

๔.๓.๑ แบบจำลองหยั่งลึก ๑ มิติ

การกำหนดค่าเริ่มต้นของแบบจำลองและสร้างบรรทัดฐานสูงสุดของแบบจำลอง การสร้างแบบจำลองผกผันในเชิง ๑ มิติ แบบหยั่งลึกตัวอย่างดังรูปที่ ๔.๓-๑ แยกกันตลอดแนวของโปรไฟล์ โดยกำหนดชั้น (Multi-layer model, MLM) จำนวน ๓๐ ชั้น กำหนดความหนาของชั้นที่ แต่ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของแต่ละชั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงในขณะที่ทำการผกผันข้อมูลเพื่อให้ค่าที่ได้จากการคำนวณสอดคล้องกับค่าที่วัดได้จากสนาม

ความหนาของชั้นแรกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ ๕ เมตร และความลึกถึงชั้นลึกที่สุดมีค่าเท่ากับ ๕๐๐ เมตร ความหนาและความลึกของแต่ละชั้นในแบบจำลองแสดงไว้ในตารางที่ ๔.๓-๑

ข้อมูลที่นำเข้าไปทำการคำนวณผกผัน ได้แก่ ข้อมูลโมเมนต์ต่ำ (LM) และโมเมนต์สูงในส่วน of z-component ของข้อมูลคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ในพื้นที่สำรวจได้กำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะตั้งต้นของแบบจำลองเป็น ๑๐๐ โอห์มเมตร และกำหนดเงื่อนไขให้แปรเปลี่ยนได้ในช่วง ๐.๑ ถึง ๑๐,๐๐๐ โอห์มเมตร โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจะถูกกระทำให้เปลี่ยนแปลงอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยกระบวนการ L2-norm และการคำนวณผกผันเบื้องต้นจะดำเนินการกับข้อมูลความถี่ ๑ เฮิร์ต สำหรับไฟล์นำเข้า ซึ่งทำให้ได้แบบจำลองผกผันแบบ 1 มิติ ในทุกๆ ๒๐ เมตร

๔.๓.๒ การปรับค่าปกติของแบบจำลอง (regularization) แบบกริด

เป็นวิธีการกำหนดช่วงทางสถิติ (statistical broadband) เพื่อใช้ปรับค่าให้เป็นค่าปกติสำหรับแบบจำลองหลายๆ ชั้น สหสัมพันธ์ (correlation) ของความยาว ๙ ขนาด ถึงสูงสุด ๑๐,๐๐๐ กิโลเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ ๑ ใช้อธิบายสหสัมพันธ์เชิงเมทริกซ์

แบบจำลองที่เป็นสัญญาณรบกวน (noise model) บริเวณพื้นที่สำรวจ ค่าพารามิเตอร์สัญญาณรบกวนสำหรับทำการผกผันโมเมนต์ทั้งสองแบบ คือ

โมเมนต์ต่ำ (low moment)

$V_0 = 2.5e-12$ in field units normalized with Tx moment

$t_0 = 1$ ms

slope = -0.5

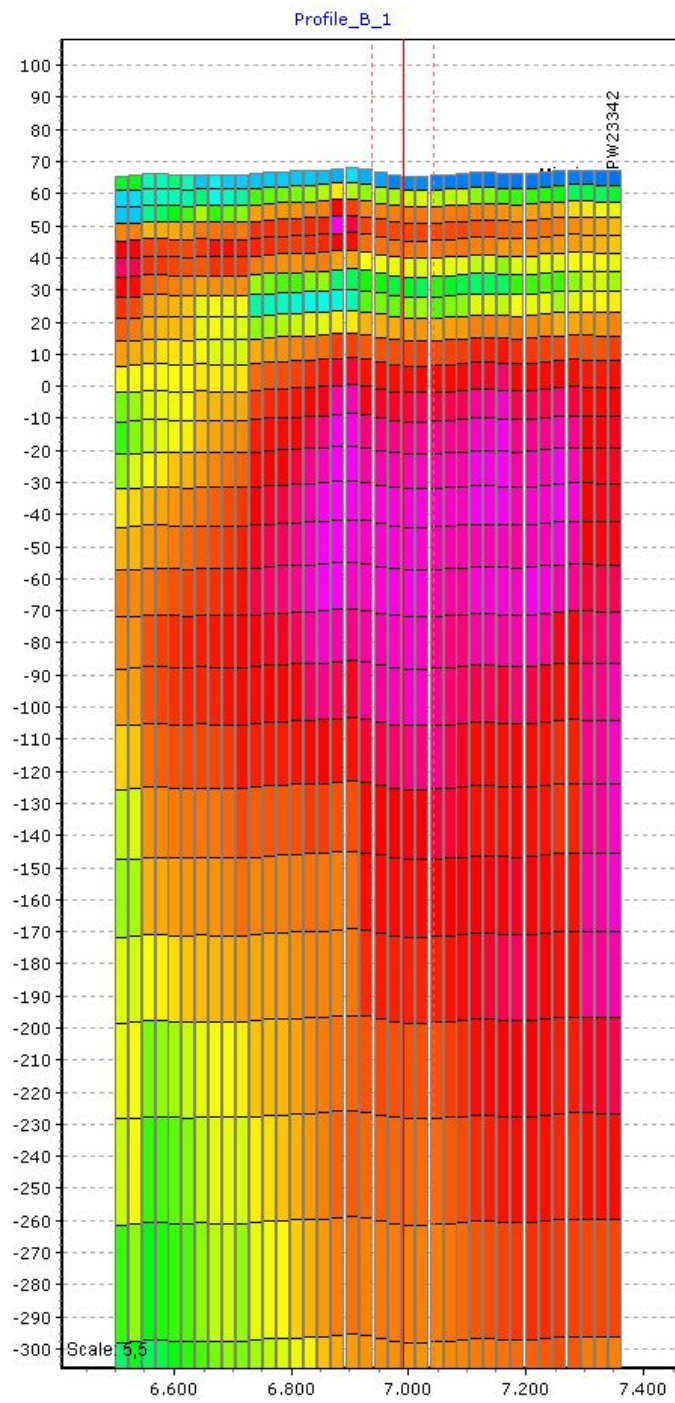
โมเมนต์สูง (high moment)

$V_0 = 2.5e-14$ in field units normalized with Tx moment

$t_0 = 1$ ms

slope = -0.5

อนึ่งค่าที่เป็นลบมีสาเหตุมาจาก ความสามารถในการเก็บประจุเชิงควบคู่ และมีค่าต่ำกว่า ๐.๐๑* ระดับสัญญาณรบกวน ค่าลบนี้จะถูกแยกออกจากการทำผกผัน



รูปที่ ๔.๓-๑ แบบจำลองหิ้งลึก ๑ เมตร

ตารางที่ ๔.๓-๑ ความหนาและความลึกของชั้นจำลองจำนวน ๓๐ ชั้น

Layer #	Layer Thickness [m]	Layer depth [m]
1	5.00	0.00
2	5.06	5.00
3	5.17	10.06
4	5.34	15.22
5	5.56	20.56
6	5.85	26.12
7	6.21	31.97
8	6.63	38.18
9	7.13	44.81
10	7.70	51.93
11	8.36	59.63
12	9.11	67.99
13	9.97	77.11
14	10.93	87.08
15	12.02	98.01
16	13.24	110.03
17	14.60	123.26
18	16.13	137.86
19	17.83	153.99
20	19.74	171.82
21	21.86	191.56
22	24.22	213.41
23	26.85	237.64
24	29.78	264.49
25	33.04	294.27
26	36.66	327.31
27	40.70	363.97
28	45.18	404.67
29	50.16	449.84
30	N/A	500.00

๔.๓.๓ การรักษาคุณภาพของแบบจำลองจากการตรวจสอบค่า Residuals

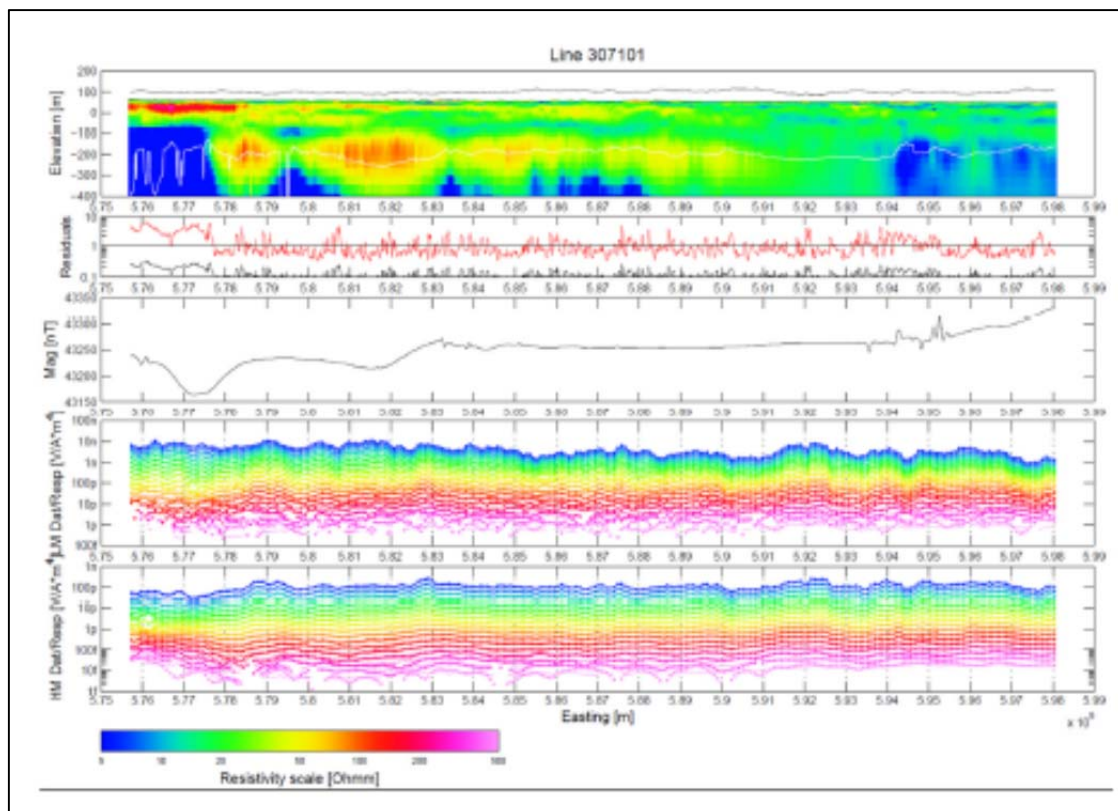
ข้อมูล Residual คำนวณได้จากการเปรียบเทียบค่าจากการบินสำรวจกับแบบจำลองสุดท้ายที่ทำการผกผันแล้ว ถ้าค่า Residual อยู่ในช่วงของ ๑ แสดงว่าค่าความแตกต่างระหว่างค่าของแบบจำลองสุดท้ายกับข้อมูลจากการสำรวจมีค่าเท่ากับสัญญาณรบกวน และถ้า Residual มีค่าสูงซึ่งอาจเป็นผลมาจากข้อมูลที่ไม่มีคุณภาพ มีสัญญาณรบกวนสูงกว่าสัญญาณรบกวนของแบบจำลองที่ได้ตั้งไว้ ซึ่งค่า Residual สูงอาจเกิดจากพื้นที่ที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูง และสัญญาณค่าสนามแม่เหล็กต่ำ และยังพบในบริเวณที่ความแตกต่างกันสูงของบริเวณที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้ามาก รวมทั้งผลจากสัญญาณรบกวนจากสายไฟฟ้าแรงสูงหรือสิ่งปลูกสร้างทำให้ค่า Residual สูง

๔.๓.๔ ผลของการผกผัน (Inversion Results)

ผลที่ได้จากการทำผกผัน แสดงไว้ในรูปไฟล์ xyz และกำหนดเหมือนกับฐานข้อมูล GERDA รวมทั้งรายการต่างๆ ของข้อมูลที่จะต้องส่งด้วย ประกอบด้วยค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสำหรับแต่ละชั้นในแบบจำลอง หัวข้อของไฟล์ XYZ อธิบายในตารางที่ ๔.๓-๒ และแบบจำลองเชิงผกผัน แสดงแบบจำลองในเชิงภาพตัดขวาง (sections) และแบบหน้าตัดข้าง (profiles) และแบบกริด เป็นค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในแต่ละช่วงความลึก ตั้งแต่ผิวดินถึงชั้นล่างสุดประกอบด้วย ๓๐ แบบจำลอง ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ ๔.๓-๒

ตารางที่ ๔.๓-๒ แบบฟอร์มไฟล์ xyz เป็นผลจากการทำผกผัน

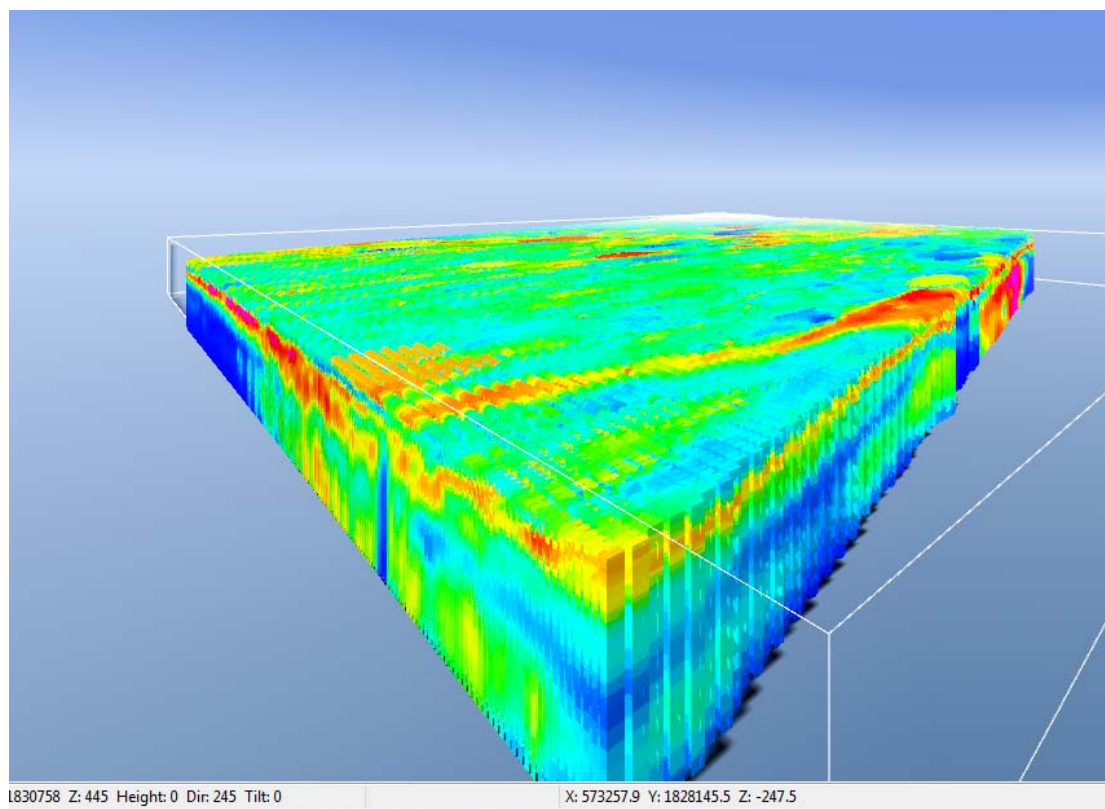
Parameter	Explanation	Unit
Fid	Unique Fiducial number.	s
Line	Line number	LLLLLL
E	UTM Zone 47N (WGS84)	Meter
N	UTM Zone 47N (WGS84)	Meter
DTM	Digital Terrain Model	Meters above mean sea level
ResI1	Residual of data	-
ResI4	Residual total	-
Height	Filtered Height Measurement	Meter
DOI	Depth of Investigation	-
Layer	Number of layers in model	-
Elev001-Elev030	Elevation of top of layer x	Meter
Res001-Res030	Resistivity of layer x	Ω meter
RUnc001-030	Relative uncertainty of layer x	-



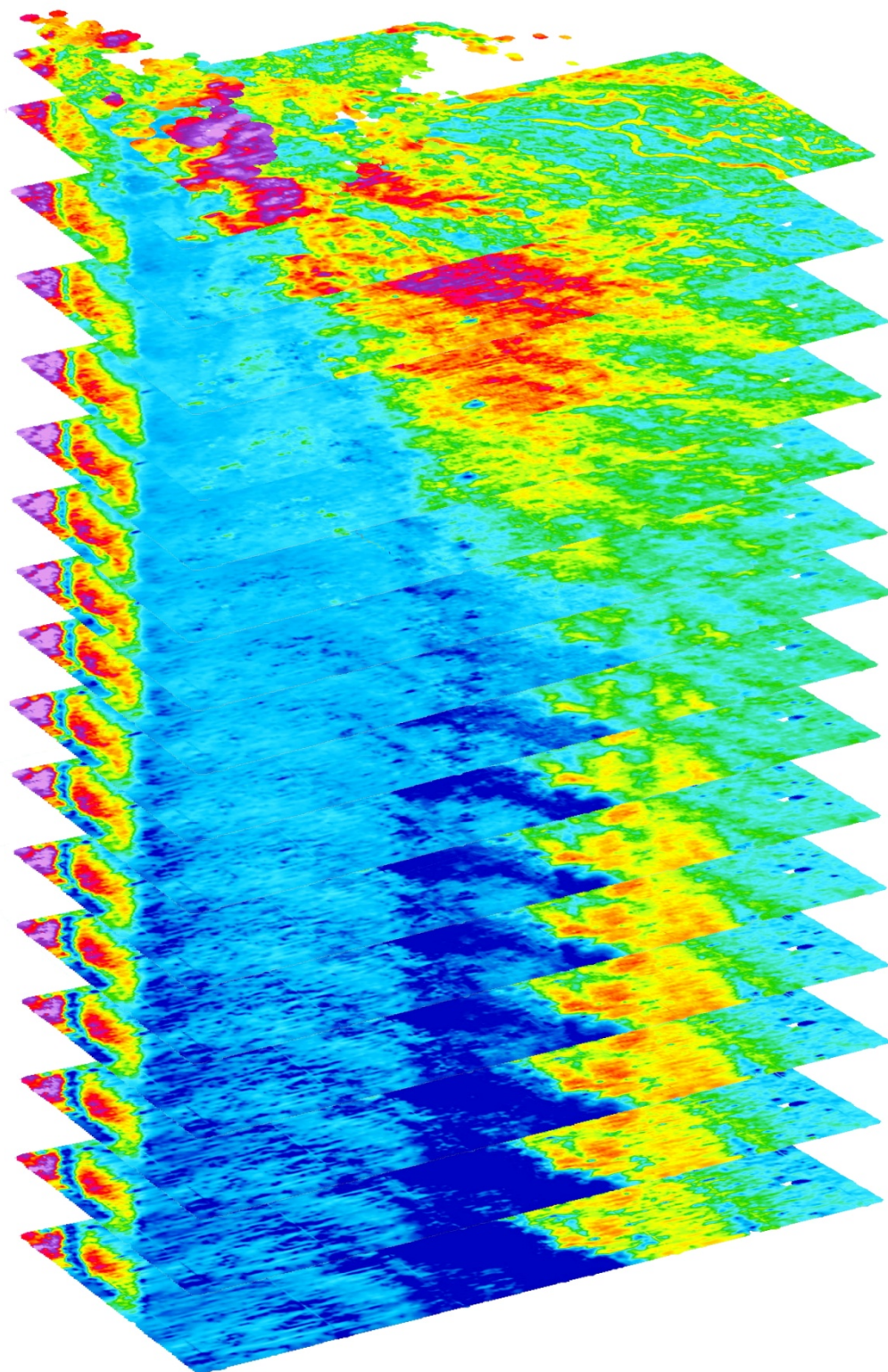
รูปที่ ๔.๓-๒ แบบจำลองในรูปภาพตัดขวางจากบนเป็นภาพตัดขวางค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ Resistivity section ความลึกที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง Investigation (DOI), ค่าสนามแม่เหล็กที่เห็น ประกอบด้วยข้อมูล Residual, Magnetic section, LM gate plot and HM gate plot

๔.๔ การนำเสนอแบบจำลองที่เป็นภาพตัดขวางและแบบกริด

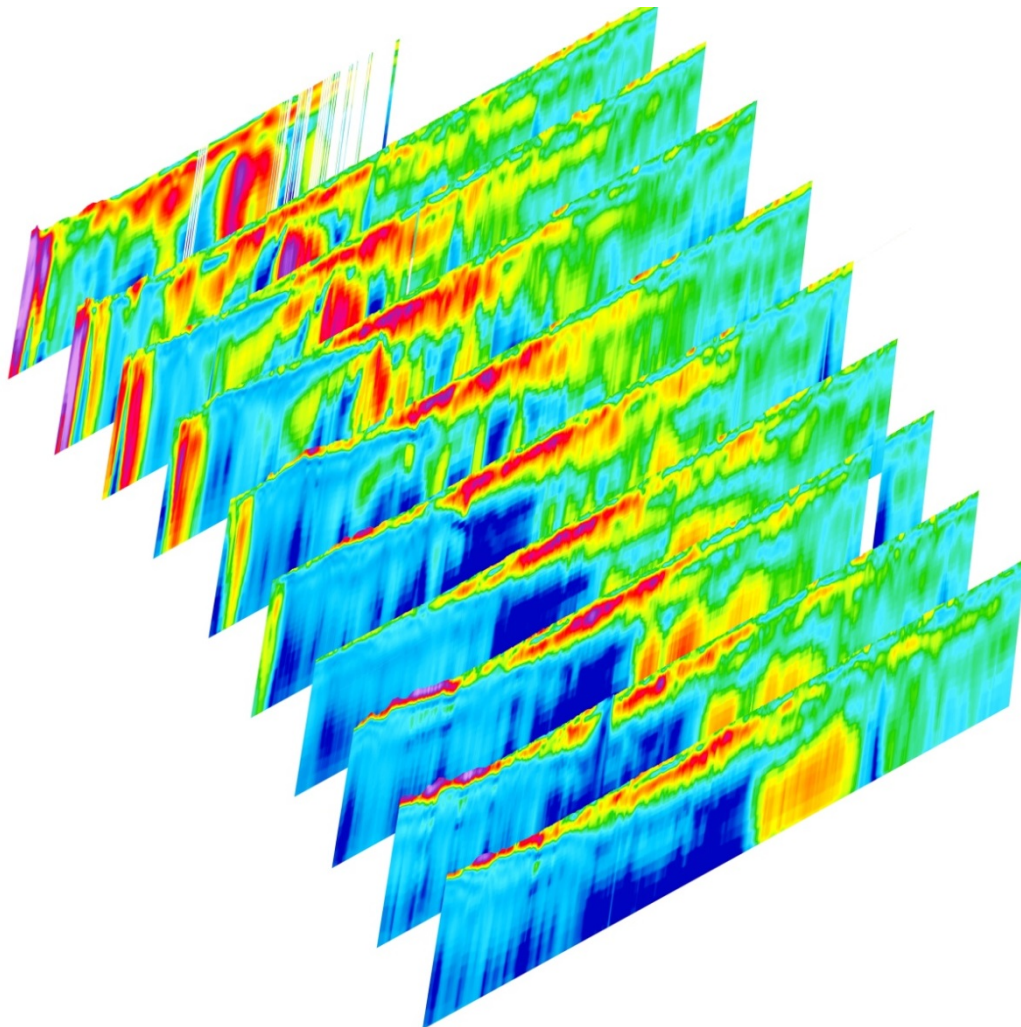
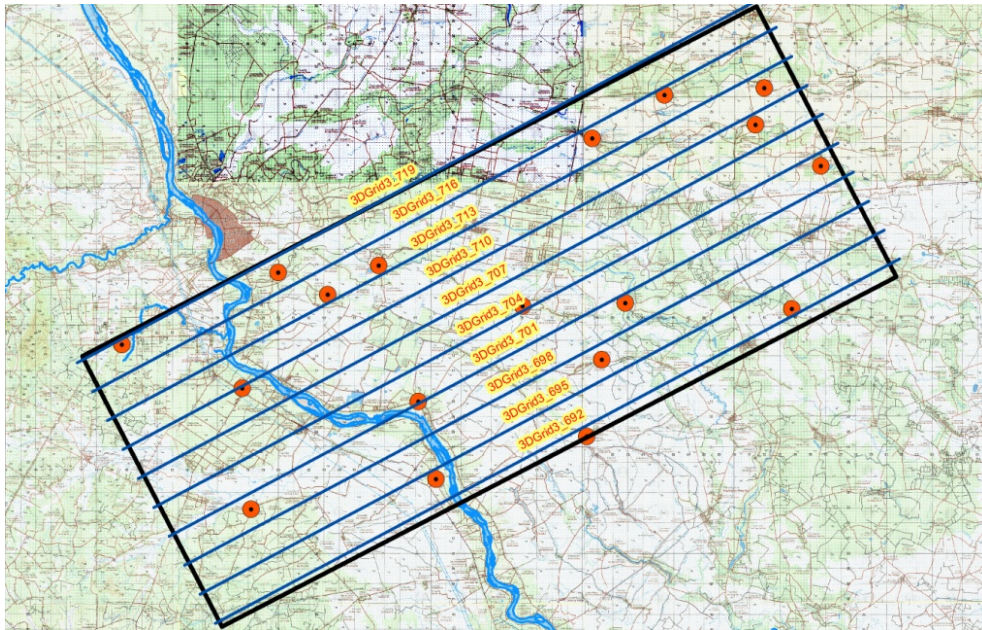
แบบจำลองเป็นผลจากการทำผกผันของข้อมูลทั้งเป็นกริดรูปลูกบาศก์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ คือมีทั้งความลึก ความหนา ความยาวของพื้นที่สำรวจ ดังแสดงในรูปที่ ๔.๔-๑ สามารถเลือกตัดข้อมูลเพื่อแสดงผลของแบบจำลอง ทั้งในรูปแบบของแบบจำลองที่เป็นแผนที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่ระดับความลึกต่างๆ ทุกๆ ๕ เมตร (รูปที่ ๔.๔-๒) และแบบจำลองแบบภาพตัดขวาง (รูปที่ ๔.๔-๓)



รูปที่ ๔.๔-๑ แบบจำลองผกผันที่เป็นกริดรูปลูกบาศก์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ



รูปที่ ๔.๔-๒ แบบจำลองค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๒ มิติ ความลึกห่างกัน ๒๐ เมตร จากที่
ระดับความสูง ๑๑๐ เมตร ลงระดับลึก ๒๓๐ เมตร (ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง)



รูปที่ ๔.๔-๓ ภาพตัดขวางของแบบจำลองค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๒ มิติ จำนวน ๑๐ แนว
ไล่ลำดับจากด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา จากแนว 3DGrid3_719 ถึง
3DGrid3_692 ตามลำดับ

บทที่ ๕

การประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล การบิ่บสำรวจเชิงธรณีวิทยา

การประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบิ่บสำรวจเชิงธรณีวิทยา เป็นการดำเนินการต่อจากขั้นตอนการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบิ่บสำรวจเชิงธรณีฟิสิกส์ โดยมีวัตถุประสงค์หลักประการแรกเพื่อบำแนกชั้นธรณี หรือชั้นหินและชั้นตะกอนต่างๆ ทางธรณีวิทยา (geological formations) หรืออีกนัยหนึ่งหน่วยหินทางธรณีวิทยา (geological units) ออกจากกัน พร้อมทั้งแสดงการแผ่ขยายตัวทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง ตลอดจนแสดงความลึกและความหนาของชั้นธรณีเหล่านั้นในบริเวณต่างๆ ของพื้นที่ศึกษา ส่วนวัตถุประสงค์หลักอีกประการหนึ่งของการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบิ่บสำรวจเชิงธรณีวิทยาคือ เพื่อนำผลลัพธ์ของการบำแนกหน่วยหินทางธรณีวิทยาไปใช้ในการบำแนกชั้นหินให้น้ำบาดาล (aquifers) หรือหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (hydrogeological units) ต่อไป

เนื้อหาของรายงานในบทนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ กล่าวคือ ส่วนแรก (หัวข้อ ๕.๑ ถึงหัวข้อ ๕.๓) เป็นการรวบรวมหรือประมวลผลการแปลความหมายข้อมูลเชิงธรณีวิทยา (geological interpretation) จากข้อมูลการบิ่บสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธี SkyTEM (ซึ่งต่อจากนี้ไปอาจเรียกว่า “ข้อมูล SkyTEM”) ที่ผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก (Mr. Peter Sandersen) ได้จัดทำไว้ในระหว่างการปฏิบัติงานประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลดังกล่าวที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาล เมื่อวันที่ 1 - 22 กุมภาพันธ์ 2555 ที่ผ่านมา และส่วนที่สอง (หัวข้อ ๕.๔) เป็นการจัดทำแบบจำลองทางธรณีวิทยา (geological model) จากข้อมูล SkyTEM (ที่อยู่ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ หรือ geophysical model) ซึ่งเป็นการปฏิบัติงานเพิ่มเติมภายหลังจากผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์กได้เดินทางกลับแล้ว

อนึ่ง การจัดทำแบบจำลองทางธรณีวิทยาทั้งในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ จากข้อมูล SkyTEM ร่วมกับข้อมูลหลุมเจาะบ่อน้ำบาดาลนับได้ว่ามีความสะดวกมากกว่าการจัดทำแบบจำลองทางธรณีวิทยาตามรูปแบบเดิมที่ใช้ข้อมูลหลุมเจาะบ่อน้ำบาดาลแต่เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เพราะข้อมูล SkyTEM มีความต่อเนื่องถึงกันตลอดทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา (ในขณะที่ข้อมูลหลุมเจาะบ่อน้ำบาดาลมีลักษณะที่กระจายตัวเป็นแห่งๆ และไม่มีต่อเนื่องถึงกันตลอด) จึงทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งของขอบเขตของชั้นธรณีต่างๆ ได้อย่างชัดเจนและต่อเนื่อง

๕.๑ แนวคิดและแนวทางในการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบิ่บสำรวจเชิงธรณีวิทยา

การประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบิ่บสำรวจเชิงธรณีวิทยา เป็นการดำเนินการแปลง (transform) ข้อมูล SkyTEM ที่เป็นผลลัพธ์จากขั้นตอนการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบิ่บสำรวจเชิงธรณีฟิสิกส์ ซึ่งอยู่ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ (geophysical model) ให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางธรณีวิทยา (geological model) ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิค (techniques) และวิธีการ (methods) ตลอดจนเครื่องมือ (tools) ต่างๆ ที่เหมาะสม ทั้งนี้ด้วยการดำเนินการตามระเบียบวิธีปฏิบัติ (procedures) ต่างๆ ของแต่ละขั้นตอนของกระบวนการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล ซึ่งในที่สุดจะทำให้ได้รับผลลัพธ์สุดท้ายเป็นผล

การบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธี SkyTEM ที่สามารถนำไปใช้ในการจำแนกและจัดหมวดหมู่ของหน่วยหินทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาได้ โดยเครื่องมือที่เหมาะสมที่สุดในการดำเนินการดังกล่าวในขณะนี้คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D

๕.๒ ข้อมูลและโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ใช้ในการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบินสำรวจเชิงธรณีวิทยา

๕.๒.๑ ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบินสำรวจเชิงธรณีวิทยา

ข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล SkyTEM เชิงธรณีวิทยาในครั้งนี้ แบ่งออกได้เป็น ๓ ส่วน ได้แก่ ข้อมูล SkyTEM ข้อมูลหลุมเจาะ (borehole data) ของบ่อน้ำบาดาลและข้อมูลประกอบอื่นๆ ดังมีเนื้อหาโดยสังเขปดังต่อไปนี้

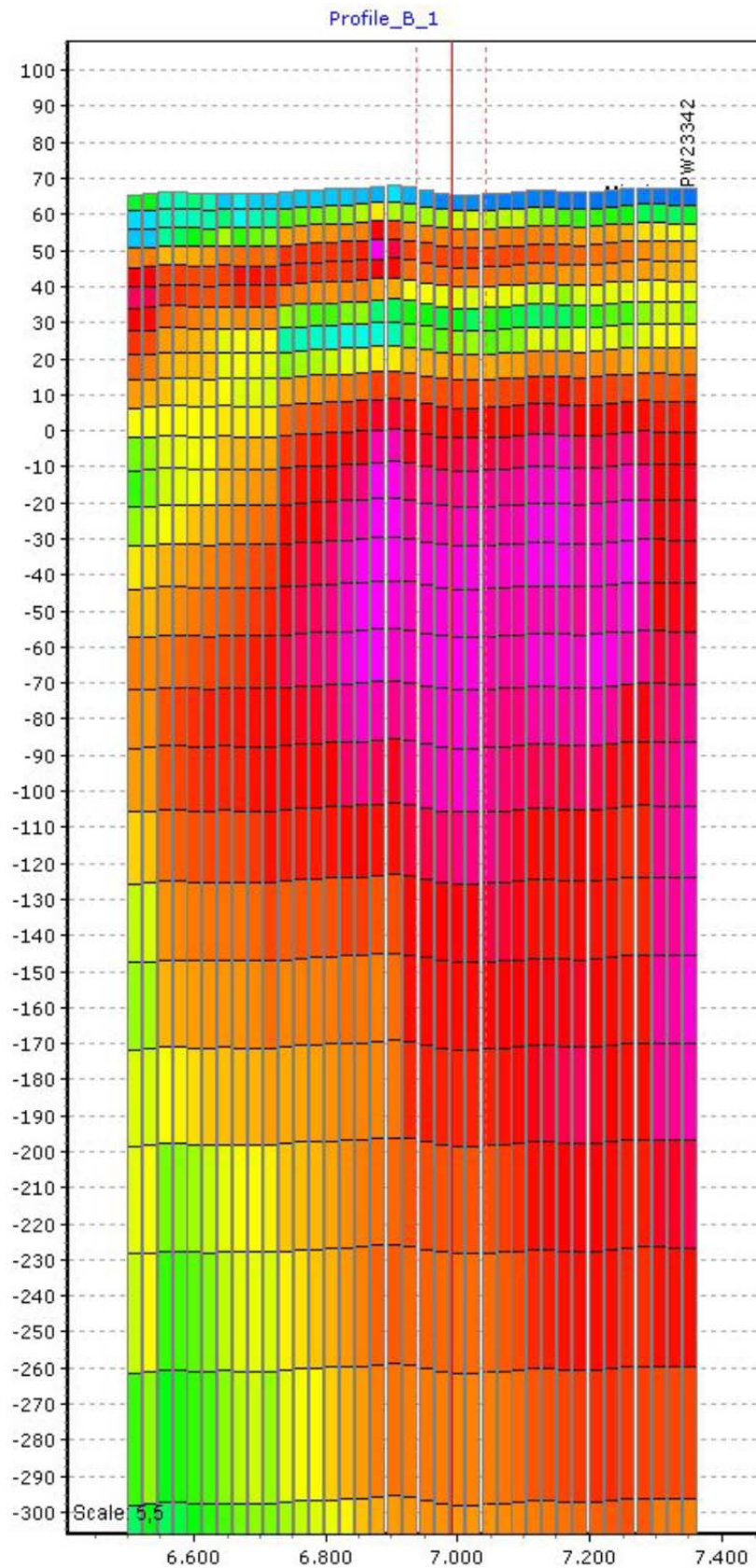
(๑) ข้อมูล SkyTEM

ข้อมูล SkyTEM ที่ใช้สำหรับการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล SkyTEM เชิงธรณีวิทยาในครั้งนี้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ 1 มิติ ที่ประกอบด้วยชั้นของค่าคุณสมบัติทางธรณีฟิสิกส์ที่แตกต่างกัน 30 ชั้น (the geophysical 1-D 30-layer resistivity models) ของจุดสำรวจต่างๆ ตามแนวมบินสำรวจ (รูปที่ ๕.๒-๑) ข้อมูลดังกล่าวได้รับการจัดเตรียมขึ้นโดยบริษัท SkyTEM Aps. แห่งประเทศเดนมาร์ก และถูกนำเข้าสู่ที่จัดเก็บในระบบฐานข้อมูล GERDA ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Workbench โดยสำนักสำรวจธรณีวิทยาแห่งประเทศเดนมาร์กและกรีนแลนด์ (Geological Survey of Denmark and Greenland: GEUS) ในภายหลังข้อมูลดังกล่าวได้รับการจัดเตรียมให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ 3 มิติ (the geophysical 3-D resistivity model หรือ resistivity volume หรือ resistivity cube) ของพื้นที่ศึกษาโดย GEUS ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D

(๒) ข้อมูลหลุมเจาะของบ่อน้ำบาดาล

ข้อมูลหลุมเจาะบ่อน้ำบาดาลต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล SkyTEM เชิงธรณีวิทยาในครั้งนี้ สามารถจำแนกข้อมูลบ่อน้ำบาดาลออกได้เป็น ๒ ส่วน ได้แก่

๑) ข้อมูลหลุมเจาะบ่อน้ำบาดาลเดิมในระบบฐานข้อมูลพสุธาราของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่โครงการ จำนวนทั้งสิ้น ๕๖๒ บ่อ แต่เมื่อพิจารณาความครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูลบ่อน้ำบาดาลแล้ว พบว่ามีบ่อน้ำบาดาลที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ จำนวนทั้งสิ้น ๒๐๓ บ่อ โดยในจำนวนนี้เป็นบ่อน้ำบาดาลที่มีข้อมูลการบรรยายลักษณะชั้นดิน-ชั้นหิน จำนวน ๑๐๒ บ่อ เป็นบ่อที่มีข้อมูลระยะท่อเจาะร่อง จำนวน ๑๑๖ บ่อ และเป็นบ่อที่มีข้อมูลการตรวจวัดระดับน้ำบาดาล จำนวน ๑๕๒ บ่อ ซึ่งในจำนวนนี้มีบ่อน้ำบาดาลที่ได้จากการศึกษาในโครงการศึกษาสำรวจและจัดทำแผนที่น้ำบาดาลชั้นรายละเอียด มาตราส่วน 1:50,000 (พื้นที่แอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน) ซึ่งสำรวจข้อมูลเมื่อปี พ.ศ. ๒๕๕๓ จำนวน ๔ บ่อ ได้แก่ บ่อหมายเลข 5341C011, 5341C015, 5341C025 และ 5341C026 ที่ประกอบด้วยคำบรรยายลักษณะชั้นดิน-หิน ของตัวอย่างตะกอนเศษหิน (cuttings) จากการเจาะ รวมทั้งกราฟการหยั่งธรณีฟิสิกส์ในหลุมเจาะชนิดต่างๆ (Geophysical borehole logs: Gamma-ray, Self Potential และ Resistivity logs)



รูปที่ ๕.๒-๑ ตัวอย่างข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๑ มิติ ของพื้นที่ศึกษา

๒) ข้อมูลหลุมเจาะบ่อน้ำบาดาลจากการเจาะสำรวจใหม่ในโครงการนี้ จำนวน 18 บ่อ ที่ประกอบด้วยคำบรรยายลักษณะชั้นดิน-หิน ของตัวอย่างตะกอนเศษหิน (cuttings) จากการเจาะ ข้อมูลระยะท่อเจาะร่อง ข้อมูลการตรวจวัดค่าระดับน้ำบาดาล รวมทั้งกราฟการหึงธรณีฟิสิกส์ในหลุมเจาะชนิดต่างๆ (Geophysical borehole logs: Gamma-ray, Self Potential และ Resistivity logs)

โดยข้อมูลในส่วนที่เป็น cuttings ถูกจัดเตรียมอยู่ในรูปของ Access files ซึ่งเป็นรูปแบบที่สามารถนำไปแสดงในโปรแกรมสำเร็จรูป GeoScene3D ในขณะที่ข้อมูลในส่วนที่เป็น geophysical borehole logs ได้ถูกจัดเตรียมอยู่ทั้งในรูปของ Access files ในกรณีที่ข้อมูลเดิมที่มาจากเครื่องหึงธรณีฟิสิกส์ในหลุมเจาะอยู่ในรูปของ digital files ส่วนในกรณีที่ข้อมูลเดิมที่มาจากเครื่องหึงธรณีฟิสิกส์ในหลุมเจาะอยู่ในรูปของข้อมูลอนาล็อก (analog data) ที่ถูกพิมพ์ออกมาในรูปของกระดาษกราฟแสดงข้อมูลคุณสมบัติทางธรณีฟิสิกส์ต่อเนื่องตลอดความลึกของหลุมเจาะ (log chart) จะแสดงอยู่ในรูปของไฟล์รูปภาพต่างๆ (jpeg และ bitmap files: *.jpg และ *.bmp) ซึ่งสามารถนำไปแสดงในโปรแกรมสำเร็จรูป GeoScene3D ได้เช่นเดียวกัน

(๓) ข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์

ข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่โครงการ ได้จากโครงการศึกษาสำรวจและจัดทำแผนที่น้ำบาดาลชั้นรายละเอียด มาตราส่วน ๑:๕๐,๐๐๐ (พื้นที่แอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน) ซึ่งสำรวจข้อมูลเมื่อปี พ.ศ. ๒๕๕๓ เป็นข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์บนผิวดินด้วยวิธีวัดความต้านทานไฟฟ้าในแนวตั้ง (VES) พร้อมผลการแปลความหมาย จำนวนทั้งสิ้น ๑๕๓ จุด ข้อมูลดังกล่าวได้ถูกจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบของตารางข้อมูล Access files ซึ่งสามารถแสดงผลได้ในโปรแกรมสำเร็จรูป GeoScene3D

(๔) ข้อมูลประกอบ

นอกจากข้อมูล SkyTEM และข้อมูลหลุมเจาะของบ่อน้ำบาดาลแล้ว ยังมีข้อมูลประกอบอื่นๆ ที่ถูกนำมาใช้ร่วมกันในการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล SkyTEM เชิงธรณีวิทยาในครั้งนี้ด้วย เช่น ข้อมูลสภาพภูมิประเทศในรูปของแบบจำลองระดับความสูงของภูมิประเทศเชิงตัวเลข หรือ Digital Elevation Model (DEM) และข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ (topographic maps) มาตราส่วน ๑:๕๐,๐๐๐ ของพื้นที่ศึกษา เป็นต้น โดยข้อมูลในส่วนนี้ถูกจัดเตรียมอยู่ในรูปของ shape file (.shp) ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS)

๕.๒.๒ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ใช้ในการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบินสำรวจเชิงธรณีวิทยา

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ใช้ในการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล SkyTEM เชิงธรณีวิทยาในครั้งนี้ คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย บริษัท I-GIS แห่งประเทศเดนมาร์ก

๕.๓ การแปลความหมายข้อมูลลักษณะชั้นดิน-หิน (Lithology) จากข้อมูลการบินสำรวจ

๕.๓.๑ แนวทางการดำเนินการ

การแปลความหมายทางธรณีวิทยาในการศึกษานี้ มุ่งเน้นการแปลความหมายในภาพรวมของลักษณะทางธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้าง ที่ประกอบด้วยการดำเนินการ ๓ ขั้นตอนดังนี้

๑) การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ดำเนินการโดยการจัดทำแผนที่แสดงการแปรเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแต่ละช่วงชั้นความหนา ๕ เมตร เริ่มจากพื้นผิวลงไปจนถึงระดับ ๒๕๐ เมตร (ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง) ด้วยโปรแกรม Aarhus Workbench โดยศึกษาจากรูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน สัมพันธ์กับลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

๒) การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะภายในพื้นที่ที่ย่อย ดำเนินการโดยการนำแผนที่แสดงการแปรเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแต่ละช่วงชั้นความหนา ๕ เมตร มาศึกษาร่วมกับข้อมูลบ่อน้ำบาดาล ด้วยโปรแกรม Geoscene3D โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นพื้นที่ย่อย ๔ พื้นที่ ประกอบด้วย พื้นที่ย่อย A, B, C และพื้นที่ย่อย D และใช้โปรแกรม GeoScene3D จัดทำภาพตัดขวางเพื่อศึกษารายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้า ร่วมกับข้อมูลบ่อน้ำบาดาล ให้ทราบถึงลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

๓) การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉพาะที่ เพื่อกำหนดตำแหน่งจุดเจาะสำรวจ ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม GeoScene3D ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าเฉพาะที่ เพื่อกำหนดตำแหน่งที่จะเจาะสำรวจ

ในขั้นตอนการวิเคราะห์และแปลความหมายใน ๓ ขั้นตอนที่น่าเสนอนั้นเป็นการศึกษาในเบื้องต้น มุ่งเน้นเพื่อกำหนดจุดเจาะสำรวจ และศึกษาเพื่อทราบถึงลำดับชั้นหิน (stratigraphy) ของพื้นที่ศึกษา

๕.๓.๒ การแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะและลักษณะชั้นดิน-หิน

การแปลความหมายข้อมูล SkyTEM ในเชิงธรณีวิทยาด้วยการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นดิน-หินต่างๆ ของแบบจำลองแบบหยั่งลึก ที่แสดงอยู่ในรูปของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยของชั้นดิน-หินแต่ละชั้น ทำให้การแยกแยะระหว่างชั้นทรายกับชั้นดินเหนียวทำได้ยาก เนื่องจากค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจะถูกแสดงอยู่ช่วงค่าระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นทรายและของชั้นดินเหนียว ดังนั้น การแปลความหมายข้อมูล SkyTEM ในเชิงธรณีวิทยาให้มีความถูกต้องมากขึ้นจึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจ และข้อมูลการหยั่งธรณีฟิสิกส์ในหลุมเจาะ เช่น ค่าระดับรังสีแกมมา ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่วัดได้ในหลุมเจาะสำรวจ มาเทียบเคียง ทั้งนี้เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความถูกต้องชัดเจนมากยิ่งขึ้น

ช่วงค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นกรวดทรายมีค่า ๕๐ โอห์มเมตร หรือมากกว่า ในขณะที่ชั้นดินเหนียวโดยทั่วไปมีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำกว่า ๑๐ โอห์มเมตร ส่วนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นดิน-หินที่มีค่าปานกลาง (ระหว่างค่าของชั้นดินเหนียวและชั้นกรวดทราย) จึงแสดงว่าเป็นชั้นที่ผสมหรือมีความหลากหลายในขนาดของเนื้อตะกอน ตั้งแต่กรวด ทราย

ทรายแป้ง หรือชั้นดินเหนียว หรือมีการแทรกสลับกันของชั้นตะกอนเหล่านี้ ส่วนชั้นศิลาแลงในพื้นที่ศึกษาถึงแม้จะมีความพรุนสูงแต่ยังคงมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงเสมอ

๕.๔ การแปลความหมายข้อมูลการบินสำรวจเชิงธรณีวิทยา

๕.๔.๑ สภาพธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษาและบริเวณโดยรอบ

พื้นที่สำรวจตั้งอยู่บริเวณทิศตะวันตกของกลุ่มแอ่งขนาดใหญ่ ด้านตะวันตกหินฐานที่เป็นหินแกรนิตและหินมหายุค Palaeozoic ปรากฏอยู่ที่ระดับต้นและเป็นส่วนหนึ่งของขอบด้านตะวันตกของแอ่งตะกอน การผุกร่อนของชั้นหินฐานเกิดเป็นชั้นตะกอนสะสมบริเวณในแอ่งมีน้ำไหลผ่าน และแม่น้ำพัดพามาสะสมบริเวณที่ต่ำกว่าทางด้านตะวันออก ส่วนชั้นตะกอนภายในแอ่งของพื้นที่สำรวจประกอบด้วยกรวด ทราย และดินเหนียว ชั้นบนสุดของลำดับชั้นตะกอนในพื้นที่เป็นชั้นศิลาแลง ส่วนใหญ่มีความหนาในช่วงระหว่าง ๓๐๐ ถึง ๕๐๐ เมตร แต่อาจหนาถึง ๗๐๐ เมตร หรือมากกว่าบริเวณกลางกลุ่มแอ่ง

ผลที่เกิดจากกระบวนการแปรสัณฐานในการพัฒนาเป็นกลุ่มแอ่ง เกิดรอยเลื่อนขนาดใหญ่ตามแนวระดับช่วงมหายุค Mesozoic วางตัวในแนว WNW-ESE พบได้บริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่สำรวจ และกระบวนการเกิดรอยเลื่อนทำให้เกิดแอ่งย่อยๆ ขึ้นในกลุ่มแอ่ง ตั้งแต่ช่วง Miocene จนถึง Quaternary มีทิศทางการวางตัวแนวตามทิศเหนือ-ใต้

๕.๔.๒ ระเบียบวิธีปฏิบัติในการแปลความหมายข้อมูลการบินสำรวจเชิงธรณีวิทยา

ค่าสูงหรือต่ำของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของชั้นตะกอน ขึ้นอยู่กับปริมาณแร่ดินเหนียวที่อยู่ในเนื้อตะกอนซึ่งเป็นตัวชี้วัดหลัก และอออนของน้ำในช่องว่าง เช่น ถ้าปริมาณอออนของน้ำในช่องว่างต่ำ จะหมายถึงค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะที่วัดได้เป็นค่าจากปริมาณดินเหนียวที่เป็นส่วนประกอบในชั้นตะกอน เป็นต้น

วิธีการบินสำรวจของ SkyTEM จะเน้นการตรวจวัดชั้นที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำ และในการชี้ชัดบริเวณหรือชั้นที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงของข้อมูล SkyTEM จึงให้ความถูกต้องไม่มาก โดยทั่วไป ชั้นที่อยู่ระดับต้นหรือชั้นบนๆ สามารถแยกแยะได้ดี และความคมชัดจะลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ดังนั้นกระบวนการประมวลผลข้อมูล SkyTEM จึงเป็นการสร้างแบบจำลอง 1D หรือหยั่งลึก ที่มีชั้นแบบจำลอง ๓๐ ชั้น กำหนดความหนาที่แน่นอนตั้งแต่ระดับต้นคือ ๕ เมตร จนถึง ๕๐ เมตร ที่ระดับลึกสุดของแบบจำลอง

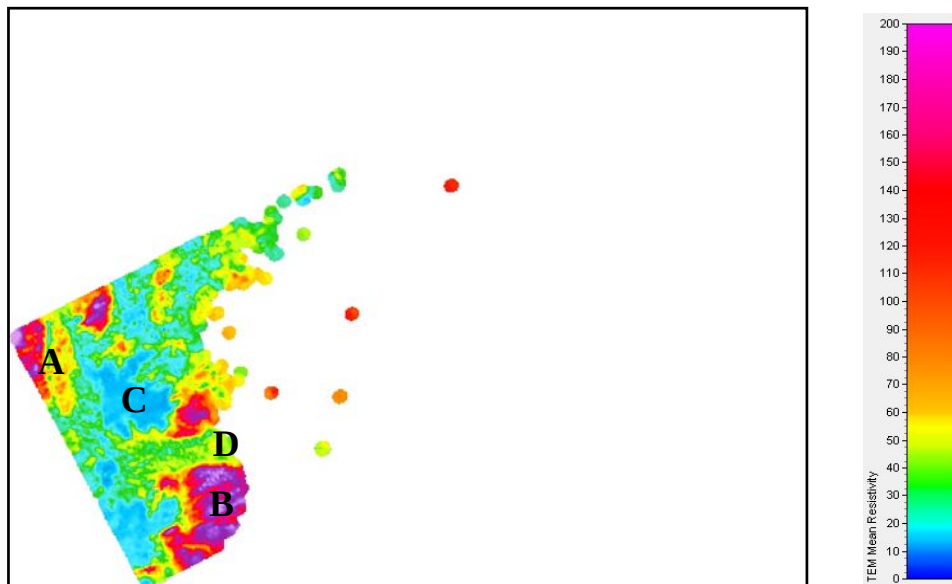
จากผลของแบบจำลองแต่ละชั้นที่มีความหนา ๕-๑๐ เมตร สามารถแสดงชั้นน้ำบาดาลในระดับต้น ส่วนบริเวณระดับลึกสุด ในการกำหนดชั้นจำลองแต่ละชั้นถูกกำหนดให้มีความหนาเป็นหลายสิบเมตร ที่จะใช้แสดงชั้นน้ำบาดาลในระดับลึก จุดเด่นของวิธีการ SkyTEM คือสามารถหาชั้นที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำ ความลึกของชั้นที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้าสูง มักจะเป็นผลช่วยในการแปลความหมายในเชิงอุทกธรณีวิทยาอย่างมีประสิทธิภาพ ถึงแม้จะอยู่ที่ระดับลึกมากขึ้น

๕.๔.๓ การแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในพื้นที่ศึกษาในภาพรวม

๑) ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย ที่ระดับความสูง ๑๒๐ ถึง ๗๐ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง)

พบเขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูง (A) ขนาดเล็ก ที่ระดับบนสุดที่มุมด้านตะวันตกเฉียงเหนือ ขยายไปทางตะวันออกเฉียงใต้ (B) (สีแดง/เหลือง/ม่วง) เขตที่เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงด้านใต้/ตะวันออกเฉียงใต้ขยายไปทางตะวันออก เมื่อระดับความลึกเพิ่มมากขึ้น

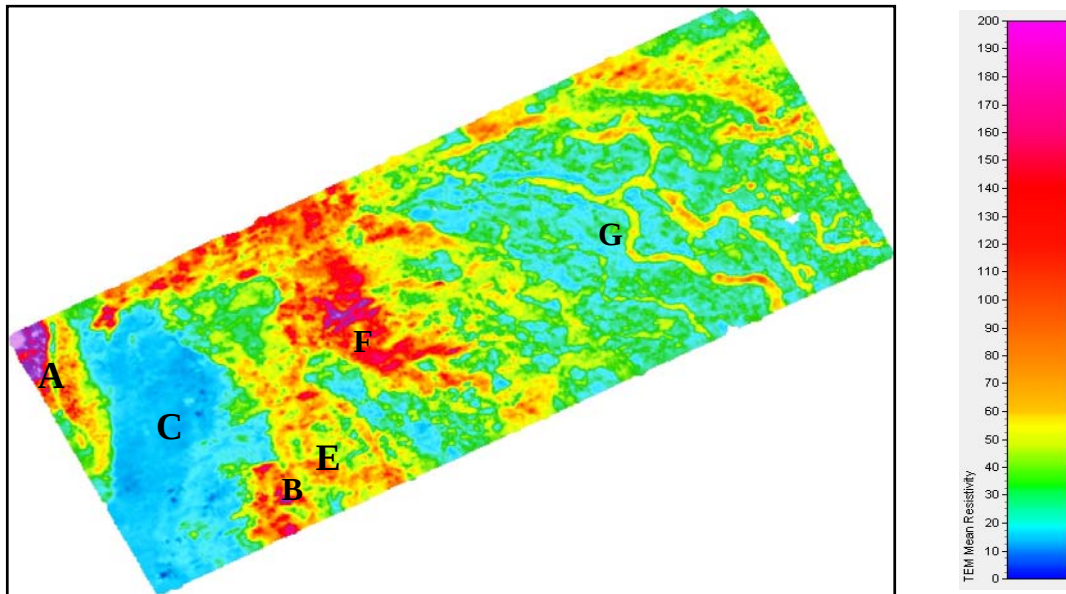
ชั้นซึ่งบริเวณค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงจากภูมิประเทศที่สูงด้วย ลำดับชั้นทางธรณีวิทยาที่พบส่วนใหญ่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำ (C) (สีฟ้า/เขียว) ชั้นที่เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงทางใต้/ตะวันออกเฉียงใต้ เกิดการตัดผ่านแนวร่องที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะวางตัวตะวันตก-ตะวันออกซึ่งเป็นแม่น้ำในปัจจุบัน เขตที่เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงทั้งสองด้านอาจเคยมีการต่อเนื่องมาก่อนแล้วถูกกร่อนเป็นแนวร่อง (รูปที่ ๕.๔-๑)



รูปที่ ๕.๔-๑ แผนที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย ตัดที่ช่วงระดับ ๗๕ ถึง ๗๐ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง)

๒) ชั้นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย ช่วงที่ระดับความสูง ๗๐ ถึง ๔๐ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง)

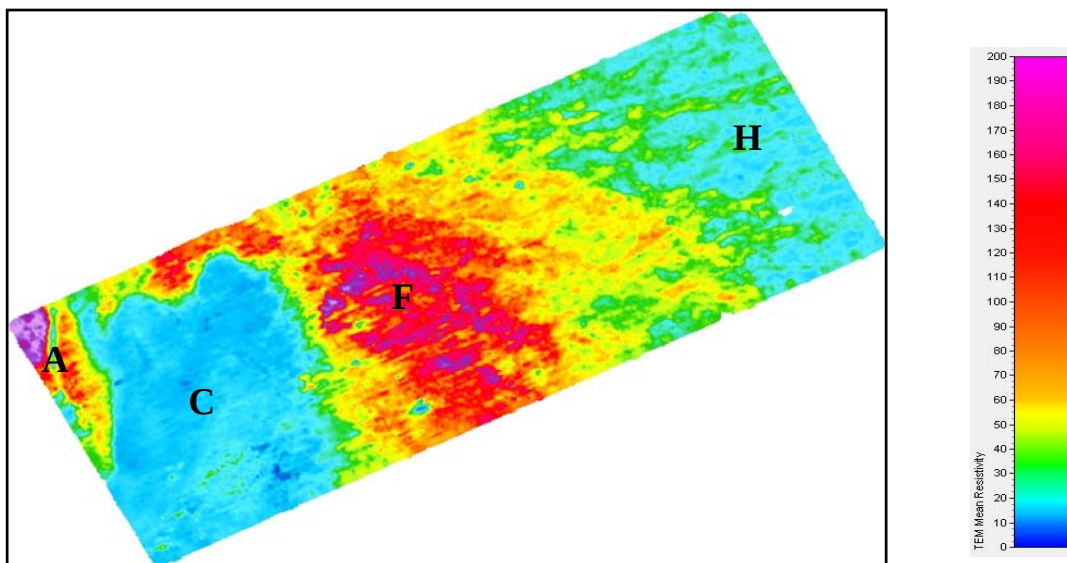
ยังคงพบเขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูง (A) มุมด้านตะวันตกเฉียงเหนือ ไม่พบการกร่อนเป็นแนวร่องที่ระดับล่าง บริเวณตอนกลางพื้นที่เขตความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงรวมตัวกันลงด้านล่าง (F) เขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงเป็นพื้นที่ใหญ่ประมาณตอนกลางพื้นที่สำรวจ เขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำ (G) (สีเขียวออกฟ้า) ด้านตะวันออก แสดงทิศทางการวางตัวอย่างชัดเจนในแนว WNW-ESE พบแนวแคบๆ ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูง ซึ่งบางส่วนเป็นแม่น้ำปัจจุบัน (รูปที่ ๕.๔-๒)



รูปที่ ๕.๔-๒ แผนที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย ตัดที่ช่วงระดับความสูง ๕๐ ถึง ๔๕ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง)

๓) ชั้นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยที่ระดับความสูง ๔๐ ถึง ๐ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง)

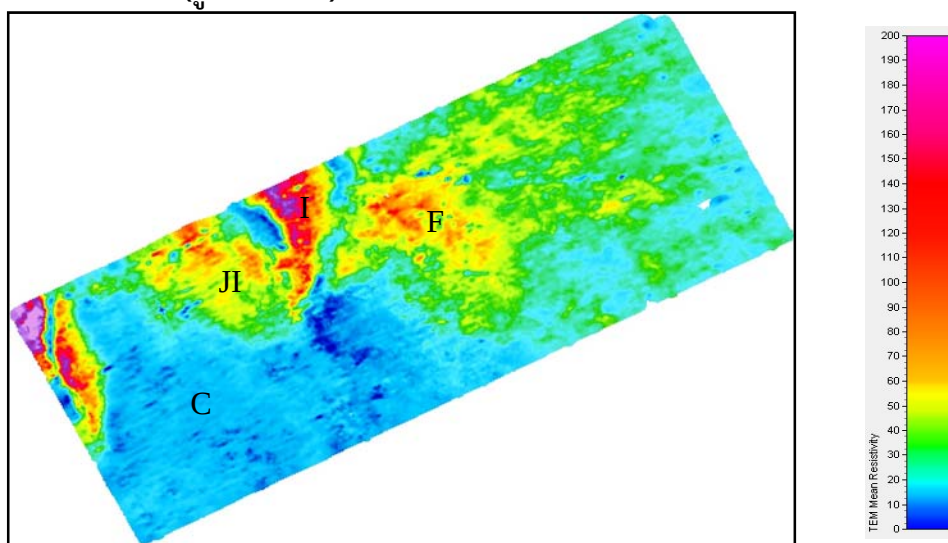
ในช่วงชั้นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงที่ประมาณตอนกลางพื้นที่ (F) กลุ่มพื้นที่ใหญ่มากขึ้นและค่อยขยับไปทางตะวันออกเมื่อระดับลึก (ในช่วงความลึกนี้) เพิ่มขึ้น เขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำ (C) กลุ่มพื้นที่กว้างออกไปทางตะวันออก ในขณะที่เขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูง (A) ทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนด้านตะวันออกสุดแสดงเขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำที่ประกอบด้วย เขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำเป็นส่วนย่อยๆ ของเขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูง (H) (รูปที่ ๕.๔-๓)



รูปที่ ๕.๔-๓ แผนที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย ตัดที่ช่วงระดับความสูง ๒๐ ถึง ๑๕ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง)

๔) ชั้นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยที่ระดับความสูง ๐ ถึง ๘๐ เมตร (ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง)

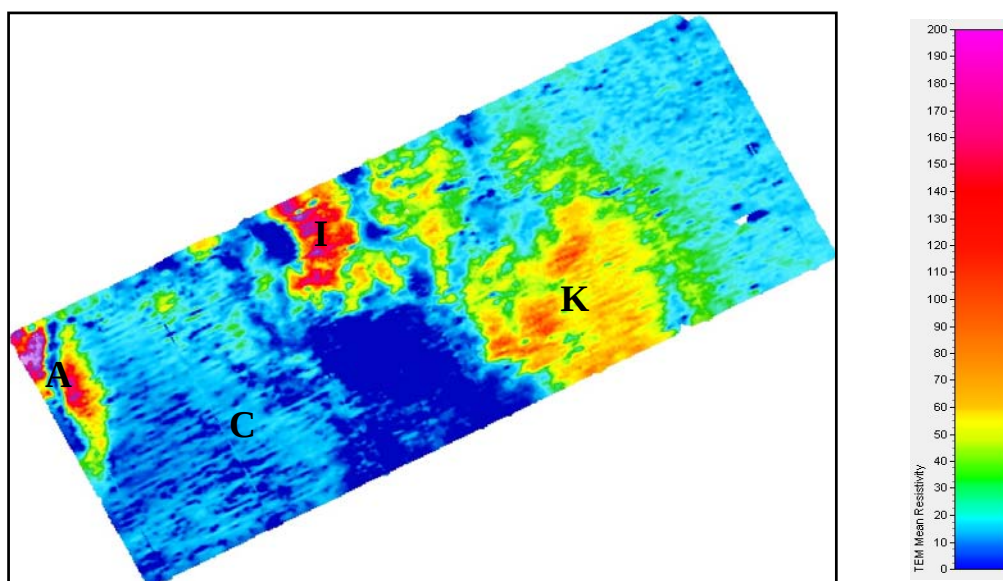
เขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูง (F) ที่พบกลางพื้นที่สำรวจ ขยายต่อเนื่องไปทางตะวันออกและค่อยๆ เลื่อนหายที่ระดับความลึกมากขึ้น ทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือพบแนวเขตที่เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงวางตัวแนวเหนือ-ใต้ที่เด่นชัด (I) เขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงนี้คลุมมากขึ้นที่ระดับความลึกด้านล่างของช่วงนี้ มีการกระจายตัวมากขึ้นของเขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูง (J) ด้านตะวันตก เขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำ (C) ขยายคลุมมากขึ้นในพื้นที่สำรวจ (รูปที่ ๕.๔-๔)



รูปที่ ๕.๔-๔ แผนที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย ตัดที่ช่วงระดับความสูง ๕๕ ถึง ๖๐ เมตร (ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง)

๕) ชั้นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยที่ระดับความสูง ๘๐ เมตร (ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง)และลึกลงไป

ยังพบเขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงที่วางตัวเหนือ-ใต้ทางขอบด้านเหนือของตอนกลางพื้นที่สำรวจ (I) มีการขยายต่อเนื่องไปลงระดับลึกเหมือนกับเขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงด้านมุมตะวันตกเฉียงเหนือ ครึ่งหนึ่งทางด้านตะวันตกพบเขตค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำเด่นมาก (C) ค่อยๆ ขยายคลุมมากขึ้นในพื้นที่สำรวจระดับลึก พบแนวเขตที่เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงขนาดใหญ่บริเวณทางตะวันออก (K) (รูปที่ ๕.๔-๕)



รูปที่ ๕.๔-๕ แผนที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย ตัดที่ช่วงระดับความสูง ๑๙๕ ถึง ๒๐๐ เมตร (ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง)

๕.๕ การจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยา

๕.๕.๑ แนวคิดและแนวทางในการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยา

การจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยานับได้ว่าเป็นขั้นตอนการดำเนินงานที่สำคัญที่สุดของการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายเชิงธรณีวิทยา กล่าวคือ (๑) เป็นการดำเนินการจำแนกชั้นธรณี (geological formations) ในรูปแบบ ๒ มิติ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งเป็นการจัดทำแบบจำลองทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ ที่สามารถแสดงขอบเขตและการแผ่ขยายตัวทั้งในแนวราบและแนวตั้งของชั้นธรณี หรือหน่วยหินทางธรณีวิทยา (geological units) หน่วยต่างๆ แบบ ๒ มิติ ในบริเวณใดบริเวณหนึ่งของพื้นที่ศึกษา (ซึ่งได้ดำเนินการมาแล้วส่วนหนึ่งในหัวข้อที่ผ่านมา) และ (๒) เป็นการนำแนวทาง วิธีการและความรู้ความเข้าใจในการจัดทำแบบจำลองทางธรณีวิทยาในรูปแบบ ๒ มิติ ดังกล่าว มาดำเนินการเพิ่มเติมให้ครอบคลุมบริเวณต่างๆ ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา (รวมทั้งประมวลผลการจัดทำแบบจำลองทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ ที่ได้ดำเนินการแล้วในหัวข้อ ๕.๓ ที่ผ่านมา) พร้อมทั้งเชื่อมต่อข้อมูลแบบ ๒ มิติ (2-D gridding or interpolation) เพื่อจัดทำเป็นแบบจำลองทางธรณีวิทยาแบบ ๓ มิติ ที่สามารถแสดงขอบเขตและการแผ่ขยายตัวทั้งในแนวราบและแนวตั้งของชั้นธรณี หรือหน่วยหินทางธรณีวิทยา (geological units) หน่วยต่างๆ แบบ ๓ มิติ ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาได้ อันจะเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการจำแนกชั้นหินให้น้ำบาดาล หรือหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาหน่วยต่างๆ แบบ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษาที่จะกล่าวถึงต่อไป

อนึ่ง ในการดำเนินการจัดทำแบบจำลองทางธรณีวิทยาแบบ ๓ มิติ ในครั้งนี้ ในเบื้องต้นได้กำหนดแนวทางการดำเนินการไว้เป็น ๒ แนวทาง ตามลำดับดังนี้ (๑) การจำแนกและแสดงขอบเขตการแผ่ขยายตัวของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา (principal geological units) ซึ่งหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาที่ได้รับการจัดจำแนกไว้เป็น ๓ หน่วย ในโครงการศึกษาสำรวจและจัดทำแผนที่น้ำบาดาลชั้นรายละเอียดมาตราส่วน ๑:๕๐,๐๐๐ พื้นที่ ๓: จังหวัดนครสวรรค์

ตากและกำแพงเพชร (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, ๒๕๕๔) ประกอบด้วย (โดยเรียงลำดับจากอายุอ่อนสุดไปหาอายุแก่สุด หรือเรียงลำดับจากบนลงล่าง) หน่วยตะกอนน้ำพารูปพัด (Quaternary Alluvial Fan Deposits: Qaf) หน่วยตะกอนตะพักลำนํ้ายุคใหม่ (Quaternary Young Terrace deposits: Qyt) และหน่วยตะกอนตะพักลำนํ้ายุคเก่า (Quaternary Old Terrace Deposits: Qot) และ (๒) การจำแนกและแสดงขอบเขตการแผ่ขยายตัวของหน่วยย่อยภายในหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยาหรือชั้นธรณีต่างๆ ดังกล่าวแล้วในข้อ (๑) ซึ่งประกอบด้วย กลุ่มของชั้นกรวดทรายและชั้นดินเหนียวต่างๆ อันได้แก่ หน่วยตะกอนตะพักลำนํ้ายุคใหม่ส่วนบน (Upper Quaternary Young Terrace Deposits: Qyt - upper part) หน่วยตะกอนตะพักลำนํ้ายุคใหม่ส่วนล่าง (Lower Quaternary Young Terrace Deposits: Qyt - lower part) หน่วยตะกอนตะพักลำนํ้ายุคเก่าส่วนบน (Upper Quaternary Old Terrace Deposits: Qot - upper part) และหน่วยตะกอนตะพักลำนํ้ายุคเก่าส่วนล่าง (Lower Quaternary Old Terrace Deposits: Qot - lower part) เป็นต้น

๕.๕.๒ ข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยา

ข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยา ได้แก่ข้อมูลต่างๆ ที่กล่าวแล้วในหัวข้อ ๕.๒.๑

๕.๕.๓ ขั้นตอนและวิธีการในการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยา

การจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยาแบ่งออกได้เป็น ๒ แบบ คือ การจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ และการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยาแบบ ๓ มิติ โดยการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยาในแบบแรกได้มีการกล่าวถึงรายละเอียดไว้ค่อนข้างสมบูรณ์แล้วในหัวข้อ ๕.๓ และหัวข้อ ๕.๔ และเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ในการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยาคบทั้งสองแบบ ในลำดับต่อจากนี้ไปจะได้กล่าวถึงการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยาแบบ ๓ มิติเป็นหลัก โดยอาจมีการกล่าวอ้างอิงถึงการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติบ้างในบางประเด็น ซึ่งในการดำเนินการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยาแบบ ๓ มิติในครั้งนี้ ได้ดำเนินการตามขั้นตอนและวิธีการที่กำหนดไว้ ๔ ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นตอนที่ ๑ การพิจารณาหาวิธีการที่เหมาะสมในการกำหนดขอบเขตการแผ่ขยายตัวในแนวตั้ง (ขอบเขตด้านบนและด้านล่าง ณ ตำแหน่งที่มีข้อมูลหลุมเจาะหรือข้อมูล SkyTEM) และ/หรือแนวราบ (ความต่อเนื่องของขอบเขตด้านบนและด้านล่างตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีวิทยา) ของชั้นธรณีแต่ละชั้น หรือหน่วยหินทางธรณีวิทยาแต่ละหน่วย (ทั้งหน่วยหลักและหน่วยย่อย)

ขั้นตอนที่ ๒ การกำหนดขอบเขตการแผ่ขยายตัวในแนวตั้งและ/หรือในแนวราบของชั้นธรณีแต่ละชั้นฯ ทัวทั้งพื้นที่ศึกษาด้วยวิธีการที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ ๓ การเชื่อมต่อขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้นฯ ในแบบ ๓ มิติ ทัวทั้งพื้นที่ศึกษา

ขั้นตอนที่ ๔ การแสดงผลการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยาแบบ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษาดังมีเนื้อหาโดยสังเขปตามลำดับดังต่อไปนี้

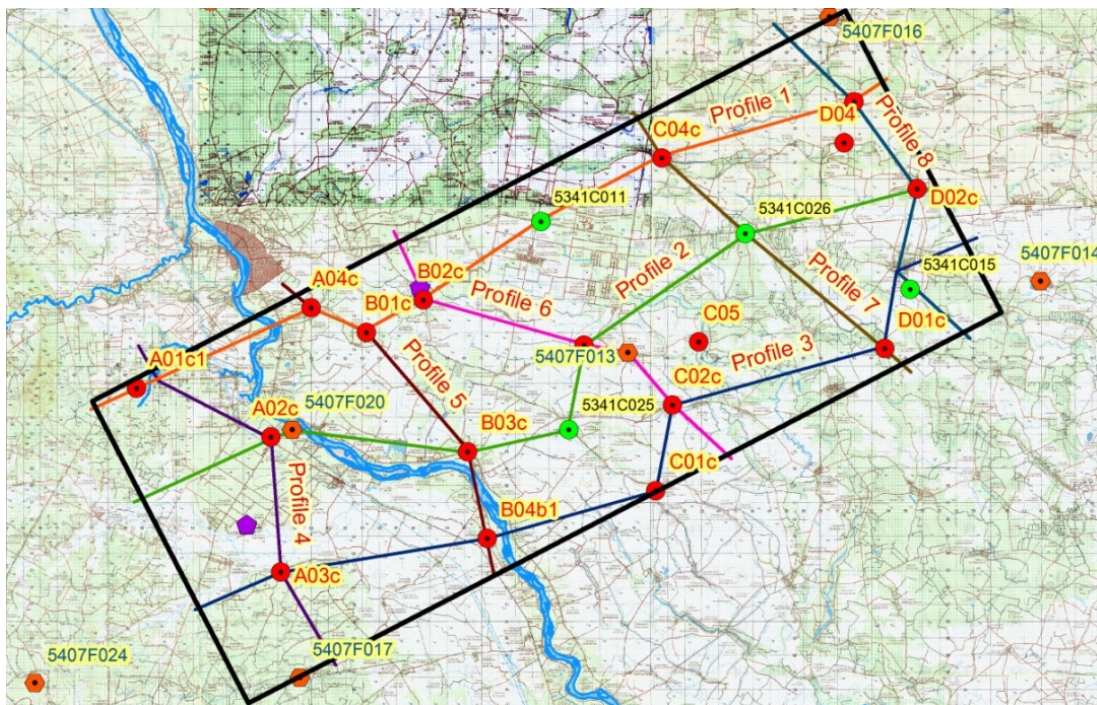
(๑) การพิจารณาหาวิธีการที่เหมาะสมในการกำหนดขอบเขตการแผ่ขยายตัวในแนวตั้ง(ขอบเขตด้านบนและด้านล่าง ณ ตำแหน่งที่มีข้อมูลหลุมเจาะหรือข้อมูล SkyTEM) และ/หรือแนวราบ (ความต่อเนื่องของขอบเขตด้านบนและด้านล่างตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีวิทยา) ของชั้นธรณีแต่ละชั้น

ขั้นตอนการดำเนินงานนี้จำเป็นต้องดำเนินการเป็นขั้นตอนแรก ทั้งนี้เพราะผลการดำเนินการในขั้นตอนนี้ คือการตัดสินใจว่าควรจะใช้วิธีการใดในการกำหนด (marking) ขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้น ทั้งในแนวราบและแนวตั้ง (interpretation points) จะเป็นตัวกำหนดแนวทางการดำเนินการกำหนดขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้น ทั้งในแนวราบและแนวตั้งในบริเวณต่างๆ ทัวทั้งพื้นที่ศึกษา (ก่อนที่จะมีการเชื่อมต่อขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้น (2-D grid interpolation) เพื่อให้เกิดเป็นระนาบหรือพื้นผิว (surface) ของขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้นต่อไป ซึ่งเป็นการดำเนินการในอีกสองขั้นตอนที่ตามมา)

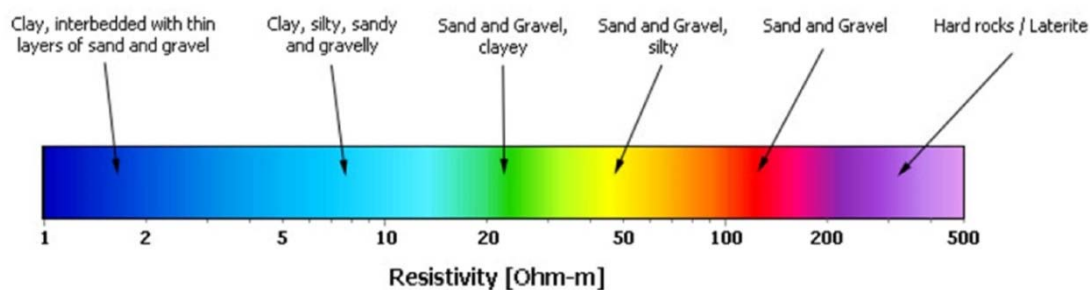
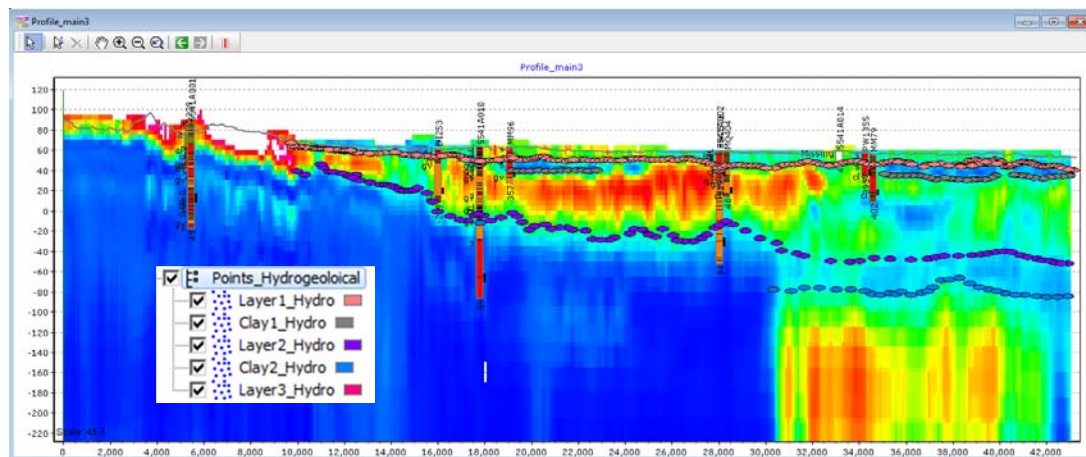
การดำเนินการในขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดตำแหน่งขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้น จากข้อมูล SkyTEM ที่มีอยู่ ทั้งในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๑ มิติ (ข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในลักษณะเป็นแท่ง ณ จุดสำรวจแต่ละจุดตามแนวสำรวจ - 1-D resistivity sticks) และในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ (ข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะในลักษณะเป็นมวลรวมแบบสามมิติ ทัวทั้งพื้นที่ศึกษา - 3-D resistivity cube หรือ resistivity volume) ดังกล่าวแล้วในหัวข้อ ๕.๒.๑ หัวข้อย่อยที่ (๑)

(๒) การดำเนินการกำหนดขอบเขตการแผ่ขยายตัวในแนวตั้งและ/หรือในแนวราบของชั้นธรณีแต่ละชั้น

เมื่อได้ตัดสินใจเลือกใช้วิธีการในการกำหนดตำแหน่งขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้นของพื้นที่ศึกษา ด้วยการจัดทำภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติแล้ว ได้ดำเนินการจัดทำภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ ในบริเวณต่างๆ ทัวทั้งพื้นที่ศึกษา จำนวนรวมทั้งสิ้น ๘ แนวหลัก ดังแสดงในรูปที่ ๕.๕-๑ โดยทุกแนวตัดผ่านตำแหน่งที่ตั้งบ่อน้ำบาดาลที่มีข้อมูลชั้นดิน-หิน และ/หรือข้อมูลการหยั่งธรณีฟิสิกส์ในหลุมเจาะด้วยอย่างน้อย ๑ บ่อ เพื่อใช้เป็นข้อมูลกำกับ หรือบ่งชี้ขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้น หรือหน่วยหินทางธรณีวิทยาแต่ละหน่วย กับการกำหนดขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้น หรือหน่วยหินทางธรณีวิทยาแต่ละหน่วย ด้วยข้อมูล SkyTEM ที่ปรากฏอยู่ตามแนวภาพตัดขวางๆ แต่ละแนว ดังตัวอย่างที่แสดงอยู่ในรูปที่ ๕.๕-๒ ในการดำเนินการได้กำหนดให้แนวภาพตัดขวางๆ ต่างๆ เหล่านี้มีทิศทางการวางตัวที่แตกต่างกันไปตลอดจนมีทิศทางการวางตัวที่ไขว้กันตามสมควร (บนพื้นฐานของการกระจายตัวของตำแหน่งที่ตั้งของบ่อน้ำบาดาลที่มีข้อมูลชั้นดิน-หิน และ/หรือข้อมูลการหยั่งธรณีฟิสิกส์ในหลุมเจาะในพื้นที่ศึกษา) ทั้งนี้เพื่อเป็นพื้นฐานที่ดีในการเชื่อมต่อข้อมูลตำแหน่งขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้น จนเกิดเป็นพื้นผิวขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้น ที่จะดำเนินการในขั้นตอนต่อไป และในขณะเดียวกันเพื่อเป็นการตรวจสอบ (cross-check) หรือการทำให้เกิดความสอดคล้องกันในการกำหนดขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้น ตามแนวภาพตัดขวางๆ ต่างๆ ที่ตัดผ่านกัน



รูปที่ ๕.๕-๑ แผนที่แสดงแนวภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษาตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ (2-D vertical resistivity profile) จำนวน ๘ แนวหลัก



รูปที่ ๕.๕-๒ ตัวอย่างแบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข Profile ๕ แสดงการกำหนดตำแหน่งขอบเขตการแผ่ขยายตัวในแนวดิ่งและแนวราบของชั้นธรณีแต่ละชั้น ในจอแสดงผลภาพสามมิติ ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D

(๓)การเชื่อมต่อขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้นฯ ทั้งทั้งพื้นที่ศึกษา

ภายหลังการกำหนด (marking) ขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้นฯ (interpretation points) ตามแนวภาพตัดขวางฯ ในบริเวณต่างๆ ทั้งทั้งพื้นที่ศึกษาแล้ว ได้ดำเนินการเชื่อมต่อ (2-D grid interpolation) ข้อมูลตำแหน่งขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้นฯ ดังกล่าว จนเกิดเป็นพื้นผิว (surface)ของขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นธรณีแต่ละชั้น หรือหน่วยหินทางธรณีวิทยาแต่ละหน่วย ทั้งทั้งพื้นที่ศึกษา ที่สามารถแสดงให้เห็นเป็นภาพ ๓ มิติได้

๕.๕.๔ รายละเอียดการจัดทำแบบจำลองด้านธรณีวิทยาแบบ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา

การจำแนกหน่วยหินทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาจากข้อมูลการบินสำรวจ SkyTEM เป็นการแปลงข้อมูลในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ (geophysical model) ให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา (geological or hydrogeological model)

ในการดำเนินการจำแนกหน่วยหินทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาในครั้งนี้ ได้อาศัยข้อมูลและความรู้ความเข้าใจเดิมเกี่ยวกับการจำแนกหน่วยหินทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาที่ได้มีการ

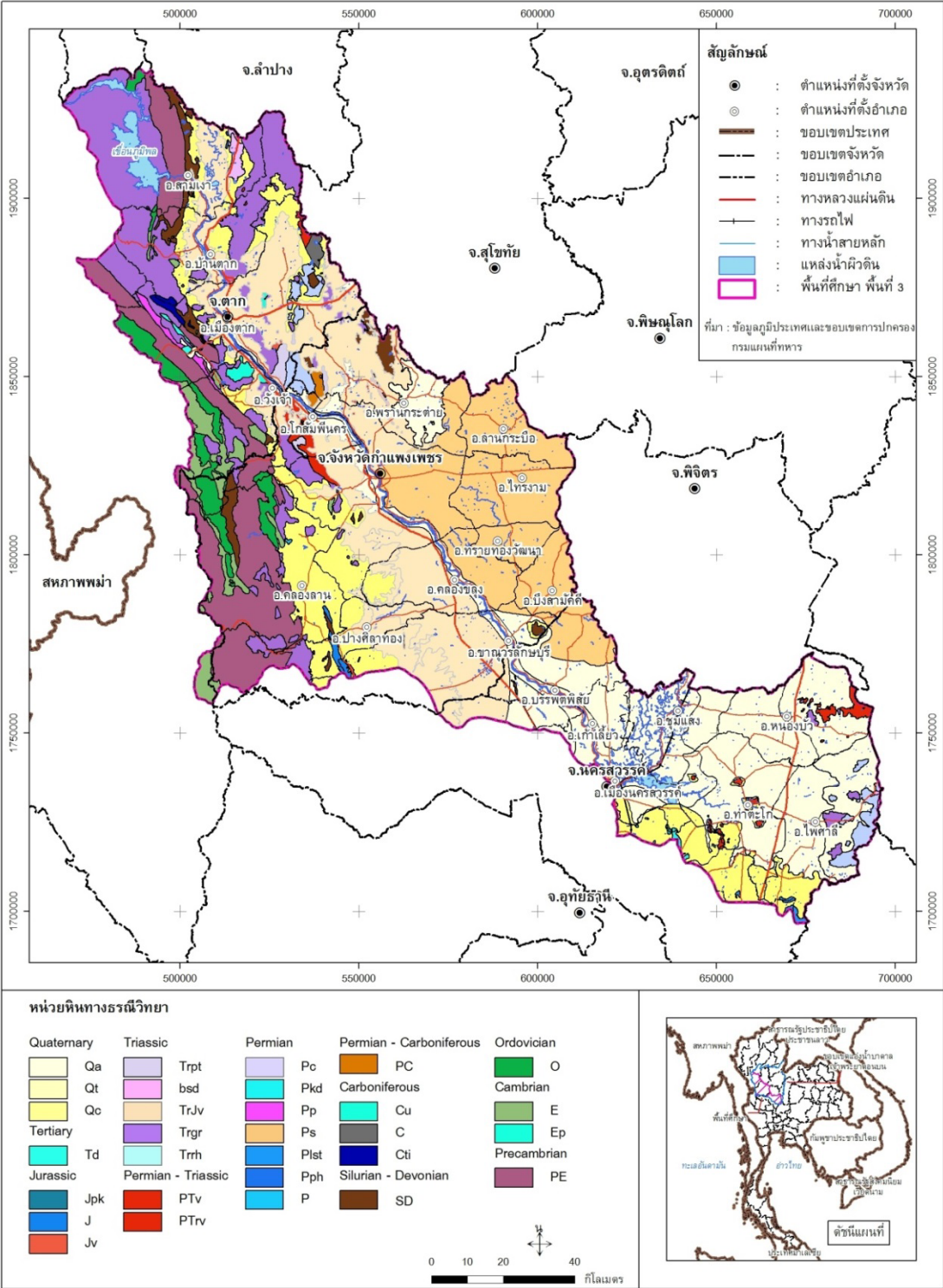
ดำเนินการมาก่อนแล้วในโครงการศึกษา สํารวจและจัดทำแผนที่น้ำบาดาลชั้นรายละเอียด มาตรฐาน ๑:๕๐,๐๐๐ พื้นที่แอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน พื้นที่ ๓ จังหวัดนครสวรรค์ ตากและกำแพงเพชร (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, ๒๕๕๔) เป็นพื้นฐาน ซึ่งในโครงการดังกล่าวได้จำแนกหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยาในส่วนที่เป็นหินร่วน (unconsolidated rocks) ในพื้นที่ศึกษา (พื้นที่โครงการ) ออกเป็น ๔ หน่วย โดยเรียงลำดับตามอายุอ่อนสุดไปหาแก่สุด ดังนี้ (๑) หน่วยหินตะกอนลุ่มน้ำหลากหรือหน่วยหินตะกอนน้ำพา (Quaternary flood-plain aquifer: Qfdหรือ Qa) (๒) หน่วยหินตะกอนทรายรูปพัด (Quaternary alluvial fan aquifers: Qaf) (๓) หน่วยหินตะกอนตะพักน้ำยุคใหม่ (Quaternary young terrace aquifers: Qyt) และ (๔) หน่วยหินตะกอนตะพักลุ่มน้ำยุคเก่า (Quaternary older terrace aquifers: Qot) และพร้อมๆ กันนั้นก็ได้จำแนกหน่วยหินหลักทางอุทกธรณีวิทยาในส่วนที่เป็นหินร่วน (Unconsolidated-rock aquifers) ในพื้นที่ศึกษา ออกเป็น ๔ หน่วย เช่นเดียวกัน ได้แก่ (๑) ชั้นหินให้น้ำตะกอนลุ่มน้ำหลาก (Flood plain aquifers: Qfd) (๒) ชั้นหินให้น้ำตะกอนทรายรูปพัด (Alluvial fan aquifers: Qaf) (๓) ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักน้ำยุคใหม่ (Young terrace aquifers: Qyt) และ (๔) ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักลุ่มน้ำยุคเก่า (Older terrace aquifers: Qot) ตามลำดับ ส่วนในกรณีของหินแข็ง (consolidated rocks) ได้มีการจำแนกหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษาออกเป็น ๒ หน่วย ได้แก่ หน่วยหินแปรชั้นต่ำยุคไซลูเรียน – ดีโวเนียน (Silurian – Devonian metamorphic rocks: SD) และหน่วยหินแกรนิตยุคไทรแอสซิก (Triassic granite: gr) และในทำนองเดียวกันก็ได้จำแนกหน่วยหินหลักทางอุทกธรณีในหินแข็ง (Consolidated-rock aquifers) ออกเป็นชั้นหินให้น้ำหินแปรยุคไซลูเรียน – ดีโวเนียน (Silurian – Devonian metamorphic aquifers: SDmm) และชั้นหินให้น้ำหินแกรนิต (Granitic aquifers: gr) ตามลำดับ (รายละเอียดเกี่ยวกับการจำแนกหน่วยหินทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาดังกล่าวสามารถศึกษาจากรายงานของโครงการศึกษา สํารวจและจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยาชั้นรายละเอียด มาตรฐาน ๑:๕๐,๐๐๐ พื้นที่แอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน พื้นที่ ๓ จังหวัดนครสวรรค์ ตากและกำแพงเพชร ดังกล่าวแล้วข้างต้น) (รูปที่ ๕.๕-๓ และ รูปที่ ๕.๕-๔)

ในการดำเนินการจำแนกหน่วยหินทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาจากข้อมูลการบินสำรวจ SkyTEM ในครั้งนี้ พอจะแบ่งขั้นตอนหลักของการดำเนินงานออกได้เป็น ๓ ขั้นตอน ได้แก่ (๑) การรวบรวมข้อมูล (๒) การจัดเตรียมข้อมูล และ (๓) การวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งรายละเอียดของการดำเนินการในแต่ละขั้นตอนดังกล่าว จะกล่าวได้กล่าวถึงตามลำดับในหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

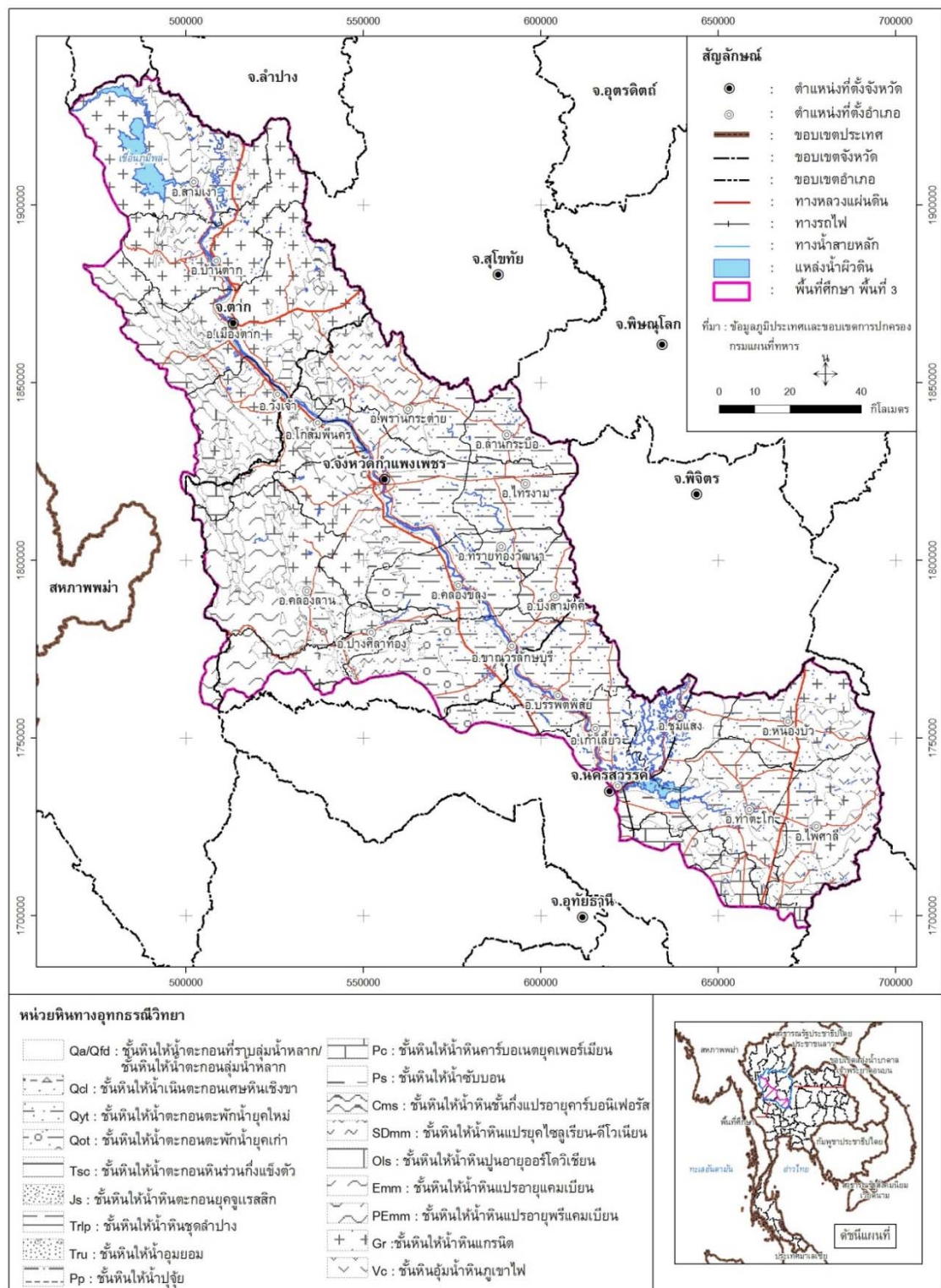
(๑) การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องหรือจำเป็นต้องใช้ในการดำเนินการจำแนกหน่วยหินทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาในครั้งนี้ ซึ่งต้องทำการรวบรวม แบ่งออกได้เป็น ๓ ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ข้อมูลหลัก ข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลประกอบอื่นๆ ซึ่งมีรายละเอียดโดยสังเขป ดังนี้

๑) **ข้อมูลหลัก** เป็นข้อมูลการบินสำรวจ SkyTEM ที่ผ่านขั้นตอนการประมวลผลต่างๆ ทางธรณีฟิสิกส์ (data processing and inversion) จนอยู่ในรูปของ 1-D Resistivity Inversion แล้ว และที่พร้อมจะสามารรถนำไปใช้ในการจัดทำแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ (geophysical model) ทั้งในรูปแบบ ๒ มิติ และ ๓ มิติ ได้



รูปที่ ๕.๕-๓ แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, ๒๕๕๔)



รูปที่ ๕.๕-๔ แผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, ๒๕๕๔)

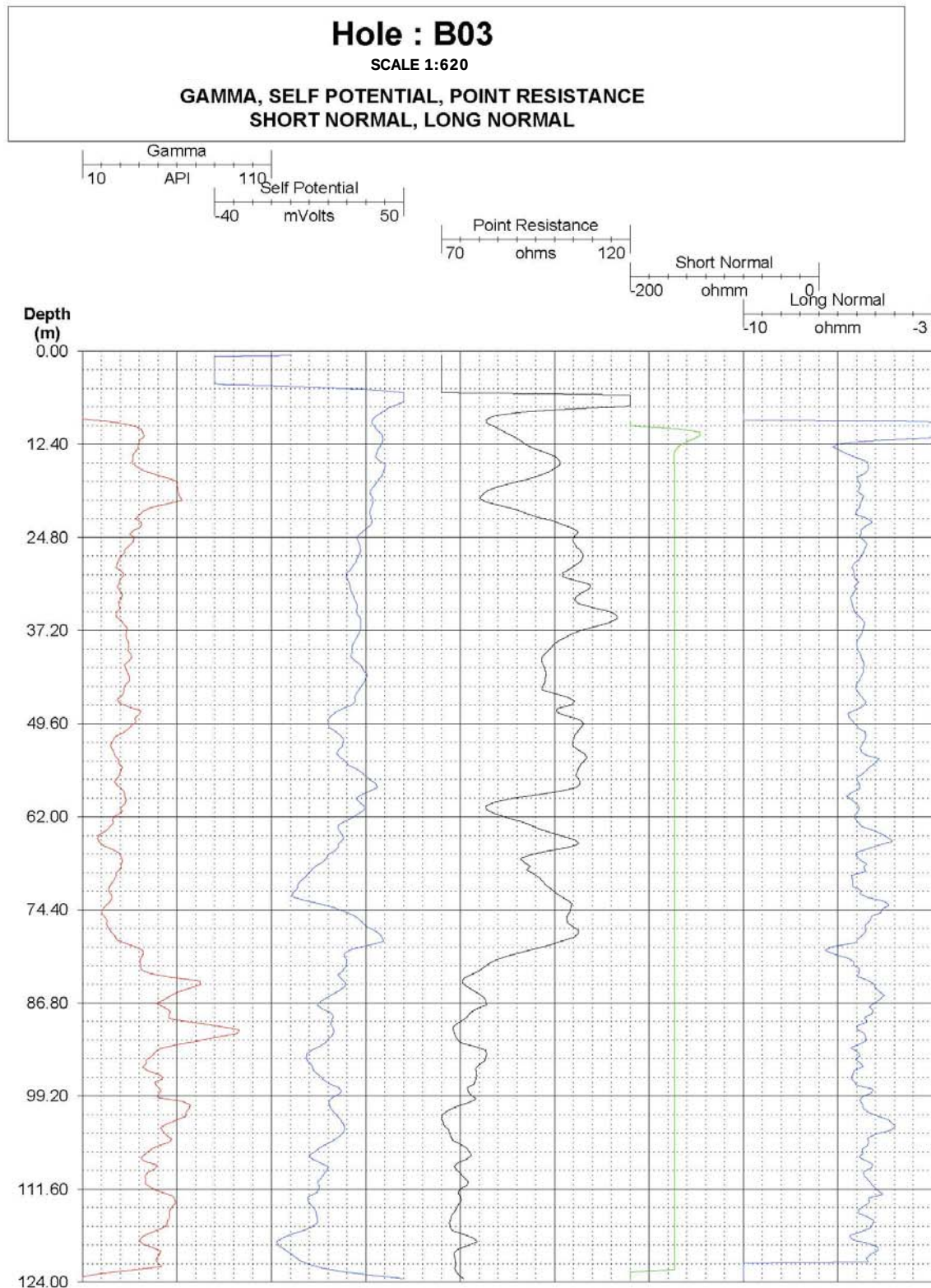
๒) ข้อมูลพื้นฐาน เป็นข้อมูลหลุมเจาะของบ่อน้ำบาดาลในส่วนที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งที่ตั้ง ความลึก รายละเอียดชั้นดิน – หิน (lithologic log) และข้อมูลการหยั่งธรณีฟิสิกส์ในหลุมเจาะ (geophysical borehole log) ชนิดต่างๆ ซึ่งที่สำคัญได้แก่ E-log และ Gamma ray log

๓) ข้อมูลประกอบอื่นๆ เป็นข้อมูลด้าน GIS เกี่ยวกับแผนที่ภูมิประเทศ และ/หรือแผนที่แบบจำลองแสดงระดับความสูงของภูมิประเทศ (Digital Elevation Model: DEM)

ในส่วนของคุณข้อมูลพื้นฐานที่นำมาใช้ในการดำเนินการในครั้งนี้ ประกอบด้วยข้อมูลหลุมเจาะของบ่อน้ำบาดาลที่เจาะขึ้นใหม่ในระหว่างการดำเนินการของโครงการนำร่องการสำรวจแหล่งน้ำบาดาลด้วยวิธีธรณีฟิสิกส์ขั้นสูง จำนวน ๑๘ บ่อ และข้อมูลหลุมเจาะของบ่อน้ำบาดาลที่เจาะขึ้นใหม่ในระหว่างการดำเนินการของโครงการศึกษา สำรวจและจัดทำแผนที่น้ำบาดาลชั้นรายละเอียด มาตรฐาน ๑:๕๐,๐๐๐ พื้นที่แอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน พื้นที่ ๓ จังหวัดนครสวรรค์ ตากและกำแพงเพชร จำนวน ๔ บ่อ ข้อมูลหลุมเจาะของบ่อน้ำบาดาลจากโครงการทั้งสองดังกล่าวถือได้ว่าเป็นข้อมูลหลุมเจาะที่ใช้เป็นหลัก ส่วนข้อมูลหลุมเจาะของบ่อน้ำบาดาลอื่นๆ ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา) จะนำมาใช้เป็นเพียงข้อมูลเสริมเท่านั้น ทั้งนี้เพราะข้อมูลส่วนหลังนี้มีเพียงข้อมูลรายละเอียดชั้นดิน - หิน เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีข้อมูล E-log มาปรับแก้ความลึกแต่อย่างใด (เป็นข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนในด้านความลึกค่อนข้างมาก) ในบรรดาข้อมูลชนิดต่างๆ ของข้อมูลหลุมเจาะบ่อน้ำบาดาลนั้น ข้อมูล E-log และ Gamma ray log ถือได้ว่าเป็นข้อมูลที่สำคัญและใช้เป็นหลักในการดำเนินการจำแนกหน่วยหินทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาจากข้อมูลการบินสำรวจ SkyTEM ในครั้งนี้ ทั้งนี้เพราะเป็นข้อมูลจากการหยั่งธรณีฟิสิกส์ในหลุมเจาะที่มีความละเอียดแม่นยำสูง (ตารางที่ ๕.๕-๑ และ รูปที่ ๕.๕-๕ ถึง รูปที่ ๕.๕-๖)

ตารางที่ ๕.๕-๑ แสดงบัญชีบ่อน้ำบาดาลในโครงการศึกษาสำรวจและจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยาชั้นรายละเอียด มาตรฐาน ๑:๕๐,๐๐๐ พื้นที่แอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน พื้นที่ ๓ จังหวัดนครสวรรค์ ตากและกำแพงเพชร ที่มีการนำข้อมูลหลุมเจาะมาใช้ในการดำเนินการจำแนกหน่วยหินทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

รายชื่อบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ	ความลึกเจาะสำรวจ	ช่วงความลึกท่อเจาะร่อง (เมตร)
5341C011	573543.378	1823507.996	65.8	62-80
5341C015	595294.779	1819535.368	49.7	96-108
5341C025	575180.989	1822822.752	61.7	72-90
5341C026	585577.177	1822822.752	57.4	93-111



รูปที่ ๕.๕-๕ ตัวอย่างข้อมูล E-log และ Gamma ray log ของบ่อน้ำบาดาลหมายเลข B03 (5541A004)

Well B03

Location: วัดกาฬสามัคคีธรรม หมู่ 1 บ้านเกาะสง่า ต.คณที อ.เมือง จ.กำแพงเพชร
N 569206 E 1809954

Depth (m)		Description
From	To	
0.0	2.0	Clay , brown, slightly sand, well compacted, highly plastic
2.0	6.0	Sand and Gravel , 70% sand and 30% gravel, yellowish brown, slightly clay; <u>Sand</u> , fine to coarse grained, subangular to subrounded, moderately sorted, composed mostly of quartz and feldspars with some rock fragments; <u>Gravel</u> , size ranges from 2-5 mm, angular to subangular, poorly sorted, composed mostly of quartz and feldspars with some rock fragments
6.0	9.0	Sand and Clay , 50% sand and 50% clay, brownish yellow, slightly gravel; <u>Sand</u> , fine to coarse grained, angular to subangular, moderately sorted, composed mostly of quartz and feldspars with some rock fragments; <u>Clay</u> , moderately compacted, highly plastic
9.0	17.0	Sand and Gravel , 50% sand and 50% gravel, gray; <u>Sand</u> , medium to coarse grained, angular to subangular, moderately sorted, composed mostly of quartz and feldspars with some rock fragments; <u>Gravel</u> , size ranges from 2-7 mm, subangular to subrounded, poorly sorted, composed mostly of quartz and feldspars with some rock fragments

รูปที่ ๕.๕-๖ ตัวอย่างข้อมูลรายละเอียดชั้นดิน-หิน ของบ่อน้ำบาดาลหมายเลข B03 (5541A004)

(๒) การจัดเตรียมข้อมูล

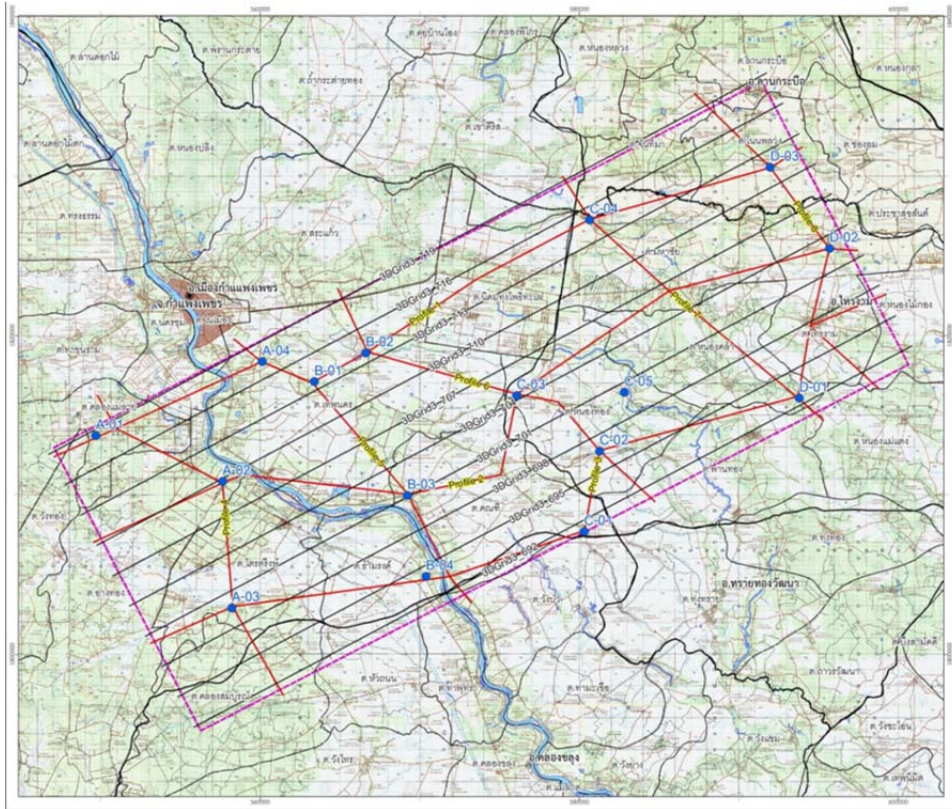
เป็นการเตรียมความพร้อมของข้อมูลสำหรับการดำเนินการจำแนกหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาจากข้อมูลการบินสำรวจ SkyTEM ซึ่งพอจะแยกอธิบายได้ตามลำดับ ดังต่อไปนี้

ข้อมูลหลัก หรือข้อมูล SkyTEM ในการดำเนินการจัดเตรียมข้อมูลหลักได้แบ่งขั้นตอนย่อยในการดำเนินการออกเป็น ๒ ขั้นตอน ได้แก่ (๑) การกำหนดแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ (geophysical profile lines) และ (๒) การจัดทำภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ (geophysical profile) ซึ่งมีรายละเอียดโดยสังเขป ดังนี้

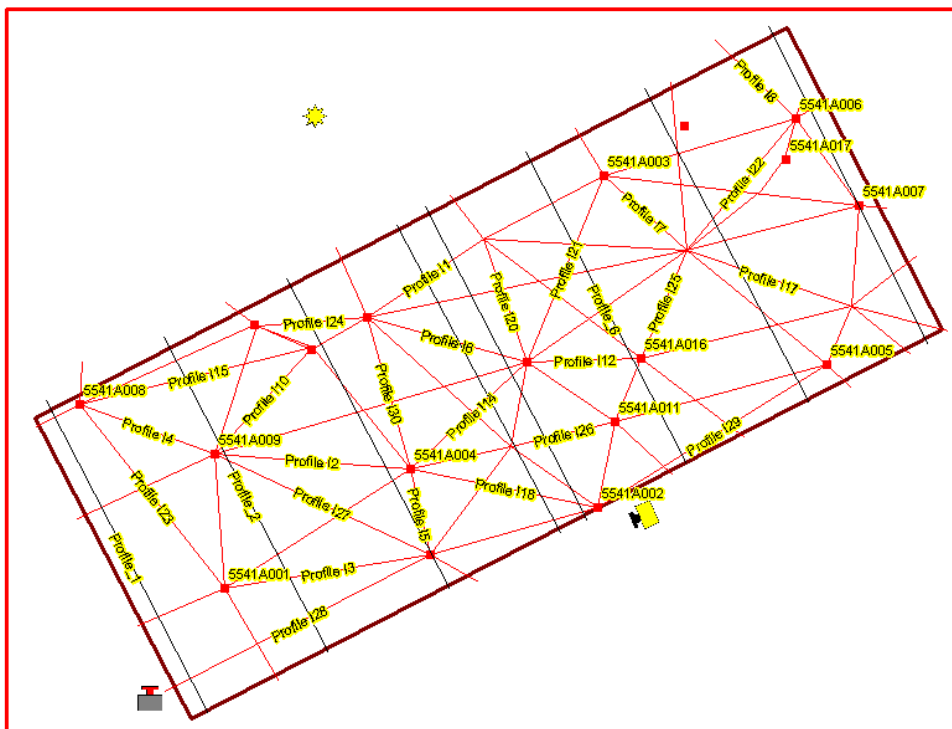
๑) การกำหนดแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ (Geophysical profile lines)

การดำเนินการกำหนดแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ เป็นการดำเนินการในหน้าจอแสดงภาพแผนที่ (map window) ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D โดยได้แบ่งแนวทางการดำเนินการออกเป็น ๒ แนวทาง คือ (๑) การกำหนดแนวภาพตัดขวางฯ ขึ้นใหม่โดยมีทิศทางผ่านไปตามตำแหน่งที่ตั้งของบ่อน้ำบาดาลต่างๆ ที่มีข้อมูลหลุมเจาะบ่อน้ำบาดาล (E-log และ Gamma ray log) ปรากฏอยู่ แนวภาพตัดขวางฯ ที่กำหนดขึ้นใหม่ตามแนวทางนี้ ถือได้ว่าเป็นแนวภาพตัดขวางฯ หลัก (main geophysical-profile lines) ที่มีลักษณะไม่เป็นแนวเส้นตรง แต่จะมีทิศทางเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งที่ตั้งของบ่อน้ำบาดาล โดยในเบื้องต้นได้กำหนดไว้จำนวนทั้งสิ้น ๘ แนว (๑) การกำหนดแนวภาพตัดขวางฯ โดยมีทิศทางขนานไปกับแนวขอบเขตของพื้นที่ศึกษา ทั้งในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ – ตะวันตกเฉียงใต้ (NE–SW) และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ – ตะวันออกเฉียงใต้ (NW–SE) แนวภาพตัดขวางฯ ที่กำหนดขึ้นตามแนวทางนี้เป็นแนวภาพตัดขวางที่กำหนดไว้แต่เดิมโดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก ที่ถือได้ว่าเป็นแนวภาพตัดขวางฯ รอง (minor geophysical-profile lines) มีลักษณะเป็นแนวเส้นตรงและมีระยะห่างระหว่างแนวที่สลับเสมอ โดยมีระยะห่างในแนว NE-SW ประมาณ ๒ กิโลเมตร และระยะห่างในแนว NW-SE ประมาณ ๘ กิโลเมตร จำนวนรวม ๑๐ แนว ดังนั้นจะได้แนวภาพตัดขวางฯ หลัก และแนวภาพตัดขวางฯ รอง รวมทั้งสิ้น ๑๘ แนว (รูปที่ ๕.๕-๓)

แต่อย่างไรก็ตาม เพื่อเพิ่มจำนวนจุดตัดกันของแนวภาพตัดขวางฯ ทั้งสองแบบให้มีมากขึ้น (ณ จุดตัดดังกล่าว จะมีข้อมูลตำแหน่งขอบเขตการแผ่ขยายตัวของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาแต่ละหน่วยในแนวภาพตัดขวางฯ หลักที่ได้จากการแปลความหมาย ซึ่งต่อไปในที่นี้จะเรียกแทนว่า Interpretation point ปรากฏอยู่ ซึ่ง Interpretation point ในแนวภาพตัดขวางฯ หลักดังกล่าว ณ จุดตัดใดๆ ก็จะเป็นข้อมูล Interpretation point อ้างอิงให้กับแนวภาพตัดขวางฯ รอง ณ จุดตัดนั้นๆ ด้วย) จึงได้เพิ่มแนวภาพตัดขวางฯ ตามแนวทางแรกให้มีจำนวนมากขึ้นในพื้นที่ส่วนต่างๆ ของพื้นที่ศึกษาที่ยังไม่มีแนวภาพตัดขวางฯ พาดผ่าน ด้วยการเชื่อมต่อแนวภาพตัดขวางฯ ไปตามตำแหน่งที่ตั้งของบ่อน้ำบาดาลต่างๆ (รูปที่ ๕.๕-๔)



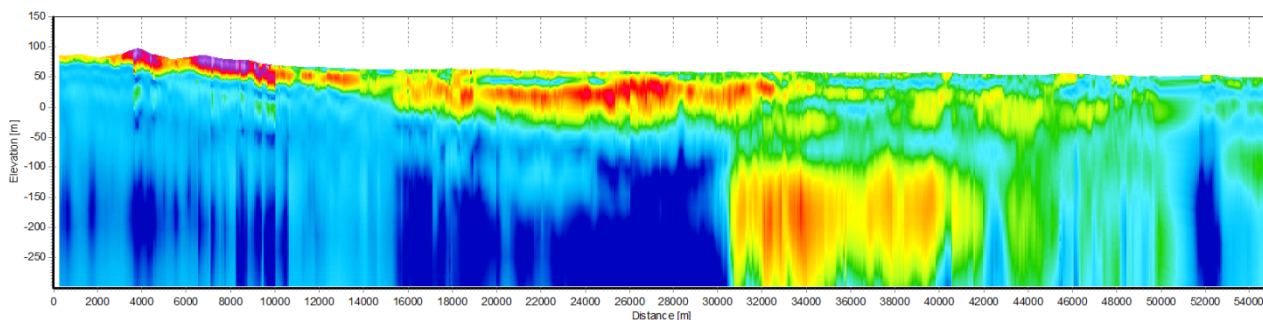
รูปที่ ๕.๕-๗ แผนที่แสดงแนวภาพตัดขวางฯ ๘ แนวหลักและแนวภาพตัดขวางฯ ๑๐ แนวรองในพื้นที่ศึกษาที่กำหนดไว้ในเบื้องต้น (และจุดตัดระหว่างแนวภาพตัดขวางฯ หลัก)



รูปที่ ๕.๕-๘ แผนที่แสดงแนวภาพตัดขวางฯ ที่กำหนดเพิ่มเติมขึ้นในพื้นที่ศึกษา (และจุดตัดระหว่างแนวภาพตัดขวางฯ หลักที่มีเพิ่มมากขึ้น)

๒) การจัดทำภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ (Geophysical profile)

การดำเนินการจัดทำภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ เป็นการดำเนินการในจอแสดงภาพตัดขวาง (profile window) ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D ด้วยการตั้งค่าสั่งให้โปรแกรมฯ สร้างภาพตัดขวางฯ ตามแนวภาพตัดขวางฯ ต่างๆ โดยอัตโนมัติ ซึ่งภาพตัดขวางฯ ที่ได้จะอยู่ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ (geophysical model) ที่แสดงถึงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นธรณีต่างๆ ทั้งในแนวนราบและแนวดิ่งเพียงเท่านั้น แต่ยังไม่มีการแสดงข้อมูลในเชิงธรณีวิทยา หรือเป็นแบบจำลองทางธรณีวิทยาแต่ประการใด (รูปที่ ๕.๕-๙)

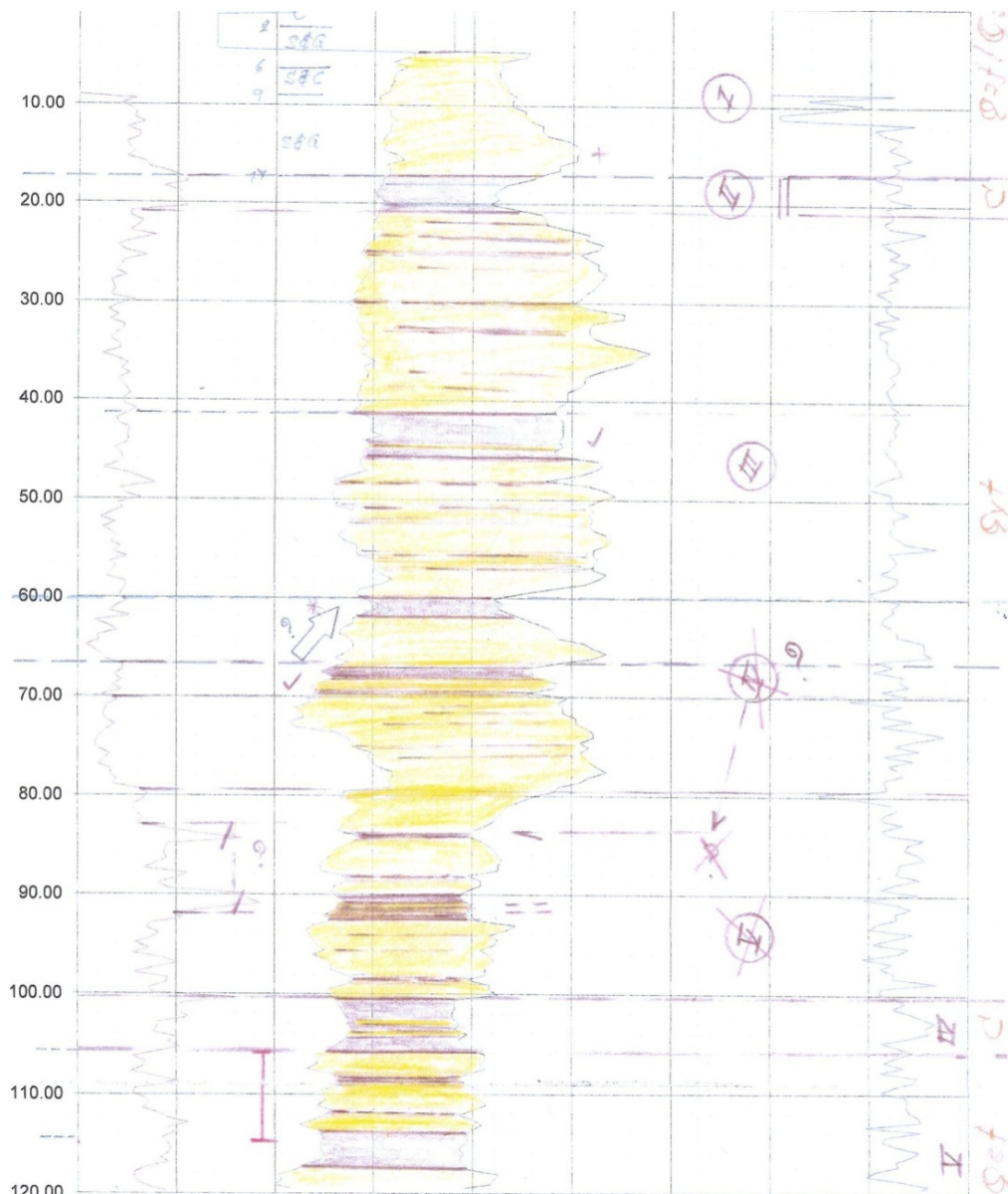


รูปที่ ๕.๕-๙ ตัวอย่างแบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ตามแนวภาพตัดขวางฯ หลักหมายเลข Profile 3

ข้อมูลพื้นฐาน หรือข้อมูลหลุมเจาะของบ่อน้ำบาดาล ในการจัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานได้แบ่งขั้นตอนย่อยในการดำเนินการออกเป็น ๒ ขั้นตอน ได้แก่ (๑) การจัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานในกรณีของหินร่วน และ (๒) การจัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานในกรณีของหินแข็ง ซึ่งมีรายละเอียดโดยสังเขป ดังนี้

๑) การจัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานในกรณีของหินร่วน

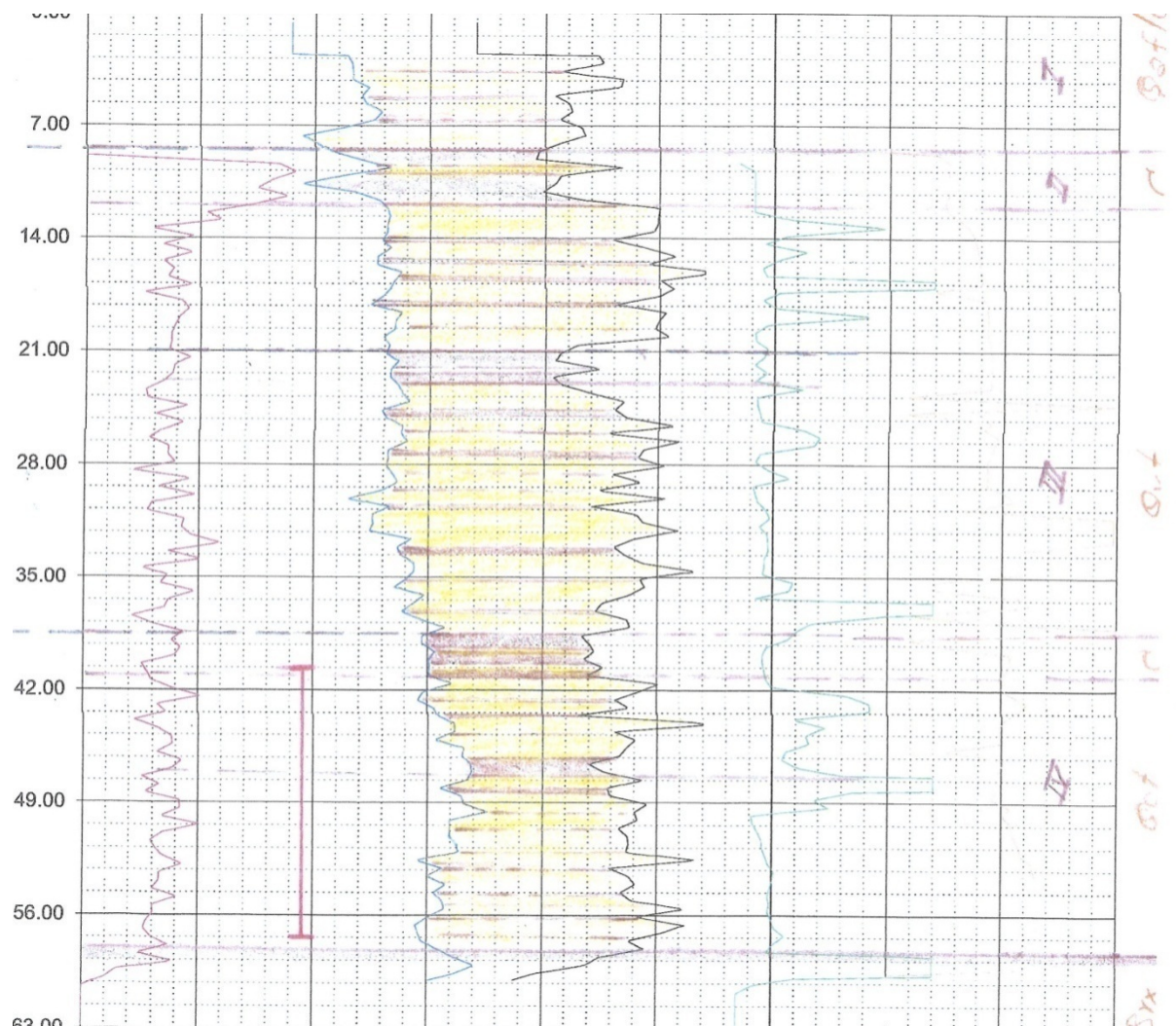
เป็นการกำหนดตำแหน่งขอบเขตด้านบนสุด และ/หรือล่างสุดของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาแต่ละหน่วยในข้อมูล E-log โดยอาศัยชั้นดินเหนียวหลัก (clay key bed) ที่เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงการสิ้นสุดลำดับการตกทับถมของตะกอนของหน่วยหินทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาหน่วยนั้นๆ เป็นเกณฑ์ พร้อมทั้งทำเครื่องหมายแสดงขอบเขตดังกล่าวตามระดับความลึกในข้อมูล E-log หรือบันทึกความลึกของขอบเขตฯ ดังกล่าวไว้สำหรับข้อมูลหลุมเจาะของบ่อน้ำบาดาลแต่ละบ่อ การดำเนินการดังกล่าวจะทำให้ได้ตำแหน่งขอบเขตหรือจุดแบ่งระหว่างหน่วยหินตะกอนตะกอนน้ำยุคเก่าและหน่วยหินตะกอนตะกอนน้ำยุคใหม่ (Qot/Qyt) หน่วยหินตะกอนตะกอนน้ำยุคใหม่และหน่วยหินตะกอนน้ำพายุพัด (Qyt/Qaf) และหน่วยหินตะกอนตะกอนน้ำยุคใหม่และหน่วยหินตะกอนที่ราบลุ่มน้ำหลาก หรือหน่วยหินตะกอนน้ำพา (Qyt/Qfd) (รูปที่ ๕.๕-๑๐)



รูปที่ ๕.๕-๑๐ ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตด้านบนสุดของหน่วยหินตะกอนตะพักลำนํ้ายุคเก่า (Qot) และหน่วยหินตะกอนตะพักลำนํ้ายุคใหม่ (Qyt) ในข้อมูล E-log ของบ่อนํ้าบาดาลหมายเลข B03 (5541A004)

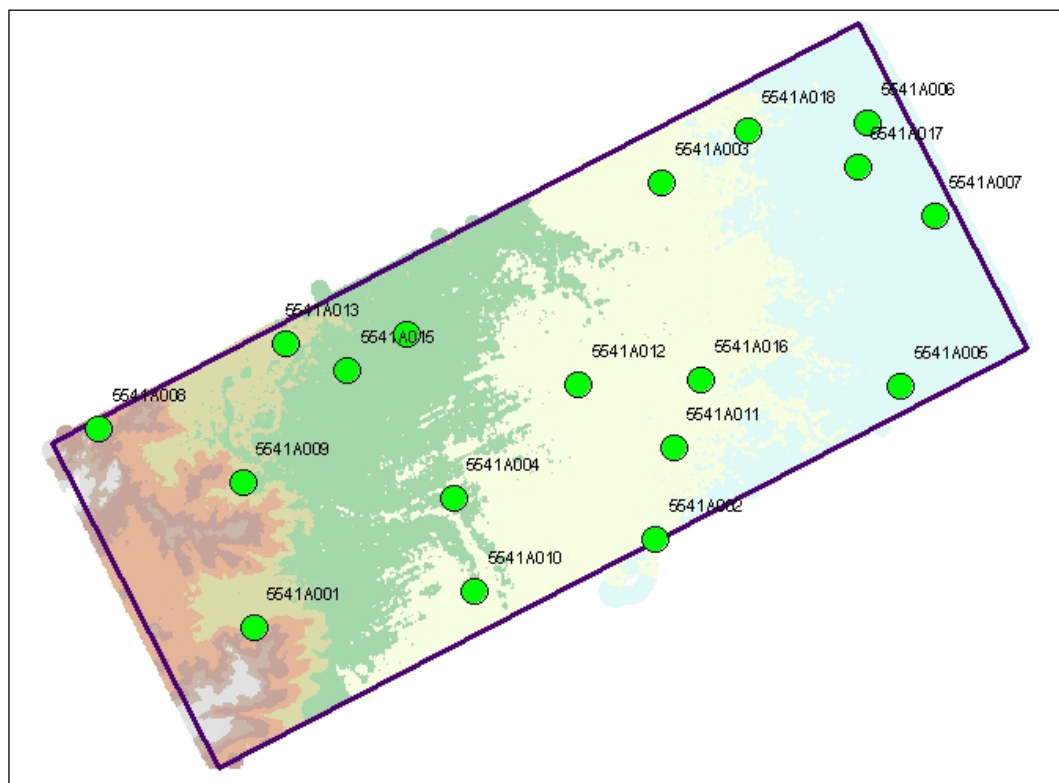
๒) การจัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานในกรณีของหินแข็ง

เป็นการกำหนดขอบเขตด้านบนสุดของหินแข็งที่เจาะพบลงในข้อมูล E-log โดยอาศัยข้อมูลรายละเอียดชั้นดิน - หิน ของหลุมเจาะของบ่อนํ้าบาดาลที่แสดงถึงความลึกของการเริ่มเจาะพบชั้นหินแข็งโดยตรง หรือบันทึกความลึกของขอบเขตฯ ดังกล่าวไว้สำหรับข้อมูลหลุมเจาะของบ่อนํ้าบาดาลแต่ละบ่อ การดำเนินการดังกล่าวจะทำให้ได้ตำแหน่งขอบเขตหรือจุดแบ่งระหว่างหินแข็งและหน่วยหินตะกอนร่วนที่ปิดทับอยู่ข้างบน (รูปที่ ๕.๕-๑๑)



รูปที่ ๕.๕-๑๑ ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตด้านบนสุดของหินแข็ง (หินแกรนิต: gr) ในข้อมูล E-log ของบ่อน้ำบาดาลหมายเลข B02 (5541A011)

ข้อมูลประกอบอื่นๆ เป็นเพียงการกำหนดขอบเขตพื้นที่ของ DEM (หรือแผนที่ภูมิประเทศ) ให้ตรงกับขอบเขตของพื้นที่ศึกษาเพียงเท่านั้น โดยอาจมีการปรับแผนภูมิสี (color scale) เพื่อให้เห็นความแตกต่างของระดับความสูงของภูมิประเทศได้ชัดเจนขึ้น (รูปที่ ๕.๕-๑๒)



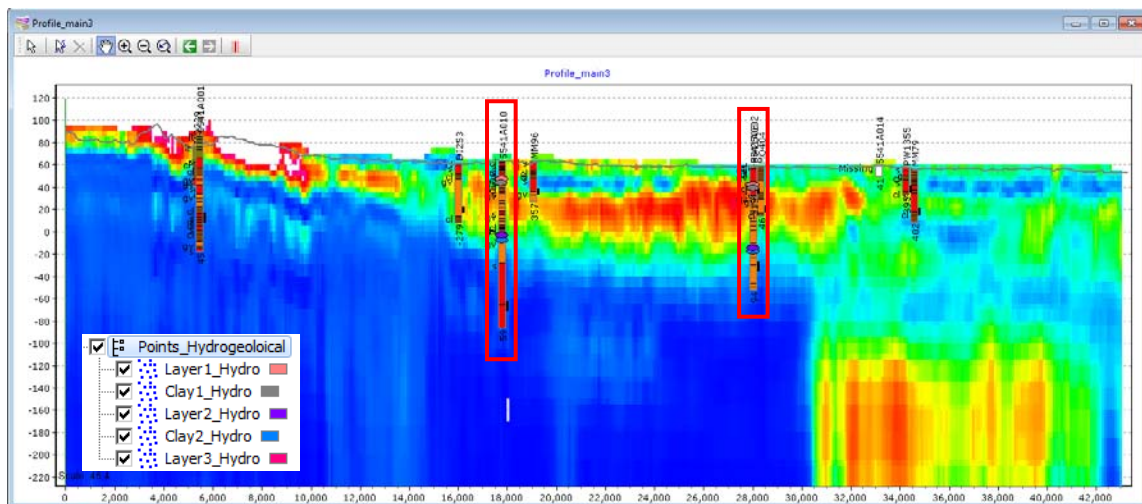
รูปที่ ๕.๕-๑๒ ข้อมูล DEM (Digital Elevation Model) ของพื้นที่ศึกษา

(๓) การจำแนกหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยา

การจำแนกหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยา เป็นการดำเนินการในหน้าจอแสดงภาพตัดขวาง (profile window) ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D โดยทั่วไปได้แบ่งขั้นตอนย่อยในการดำเนินการออกเป็น ๒ ขั้นตอน ได้แก่ (๑) การถ่ายโอนข้อมูล (ระดับความลึก) ของตำแหน่งขอบเขตของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยา (๒) การเชื่อมต่อตำแหน่งขอบเขตของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยา ซึ่งมีรายละเอียดโดยสังเขป ดังนี้

๑) การถ่ายโอนข้อมูล (ระดับความลึก) ตำแหน่งขอบเขตของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยา

เป็นการดำเนินการถ่ายโอนข้อมูล (ระดับความลึก) ตำแหน่งขอบเขตของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาแต่ละหน่วย (หรือระหว่างหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาสองหน่วยที่อยู่ติดต่อกัน) ที่ได้กำหนดไว้ในข้อมูล E-log ของหลุมเจาะของบ่อน้ำบาดาลแต่ละบ่อ ลงในแนวภาพตัดขวางฯ หลัก (main profile) ต่างๆ ณ ตำแหน่งที่บ่อน้ำบาดาลนั้นๆ ปรากฏอยู่ (บ่อน้ำบาดาล ๑ บ่อ อาจปรากฏอยู่ในแนวภาพตัดขวางฯ หลักได้มากกว่า ๑ แนว) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง เป็นการทำเครื่องหมาย (marking) แสดงตำแหน่งขอบเขตฯ ดังกล่าว ซึ่งเรียกแทนแต่แรกว่า Interpretation point ณ ตำแหน่งที่ตั้งของบ่อน้ำบาดาลแต่ละบ่อในแนวภาพตัดขวางฯ หลัก โดยเป็นการถ่ายโอนข้อมูลดังกล่าวมาจากข้อมูล E-log ที่ได้จัดเตรียมไว้แล้วในขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูล ดังกล่าวแล้วข้างต้น (รูปที่ ๕.๕-๑๓)



รูปที่ ๕.๕-๑๓ ตัวอย่างแบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ตามแนวภาพตัดขวางฯ หลักหมายเลข Profile 3 แสดงการถ่ายโอนข้อมูล (ระดับความลึก) ตำแหน่งขอบเขตของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาจากข้อมูล E-log มาสู่ภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ ณ ตำแหน่งที่ตั้งของบ่อน้ำบาดาลที่ปรากฏอยู่ในแนวภาพตัดขวางฯ หลักดังกล่าว

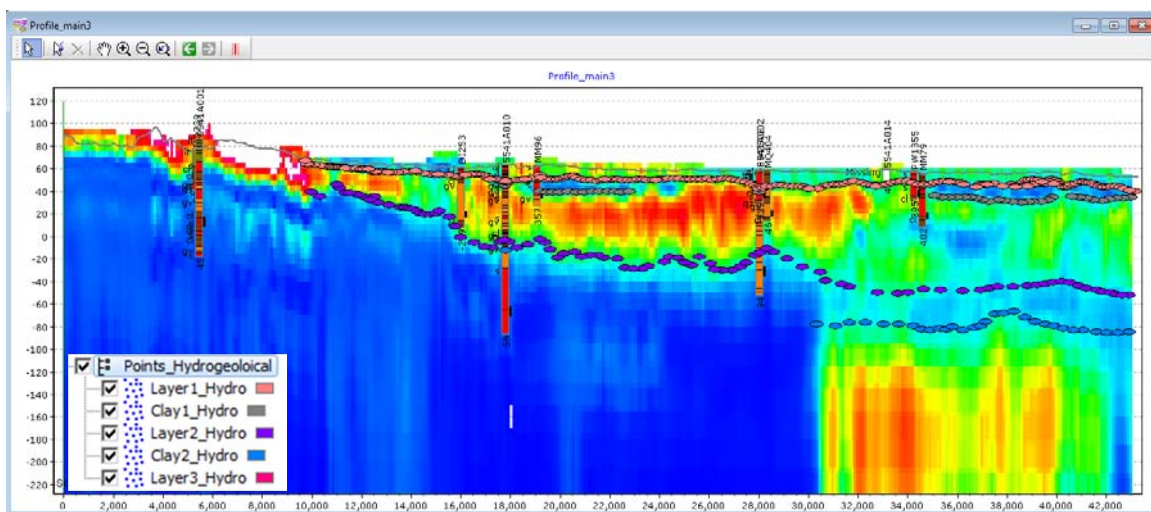
หมายเหตุ

๑) ระดับความลึกของตำแหน่งขอบเขตของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยา ณ ตำแหน่งต่างๆ ในแนวภาพตัดขวางฯ หลักต้องตรงกัน หรืออยู่ในระดับความลึกเดียวกันกับที่กำหนดไว้ในข้อมูล E-log ของบ่อน้ำบาดาลแต่ละบ่อ

๒) เครื่องหมายแสดงตำแหน่งขอบเขตของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาที่ได้จากการแปลความหมายโดยคณะทำงาน (ซึ่งเรียกแทนแต่แรกว่า Interpretation point) ณ ตำแหน่งบ่อน้ำบาดาลต่างๆ ที่ปรากฏอยู่ในแนวภาพตัดขวางฯ หลักนั้น ถือได้ว่าเป็น Interpretation point เบื้องต้นที่มีความถูกต้องแน่นอนแล้วในแนวภาพตัดขวางฯ หลักนั้นๆ ทั้งนี้โดยทั่วไปแล้ว Interpretation point ดังกล่าวควรมีความสอดคล้องกับตำแหน่งการเปลี่ยนแปลงของโทนสีที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (resistivity) จากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่งในแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ (geophysical model) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงจากชั้นธรณี (geologic formation) หนึ่งไปเป็นชั้นธรณีอีกหน่วยหนึ่งเมื่อพิจารณาในรูปของแบบจำลองทางธรณีวิทยา (geological model) ยกตัวอย่างเช่นในกรณีของตะกอนร่วนอาจเป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงจากชั้นดินเหนียวไปเป็นชั้นกรวดทราย ด้วยการเปลี่ยนสีจากโทนสีฟ้าหรือสีน้ำเงินไปเป็นโทนสีเขียวถึงสีเหลืองและสีแดง เป็นต้น

หากข้อมูลทั้งสองส่วน (การเปลี่ยนโทนสี ณ ตำแหน่งหรือระดับความลึกของ Interpretation point ในแนวภาพตัดขวางฯ หลัก และตำแหน่งหรือระดับความลึกของ Interpretation point ในข้อมูล E-log) ไม่สอดคล้องกัน ต้องทำการตรวจสอบความถูกต้อง หรือพิจารณาหาเหตุผลที่เหมาะสมมาอธิบายจนได้ข้อสรุปที่ชัดเจน

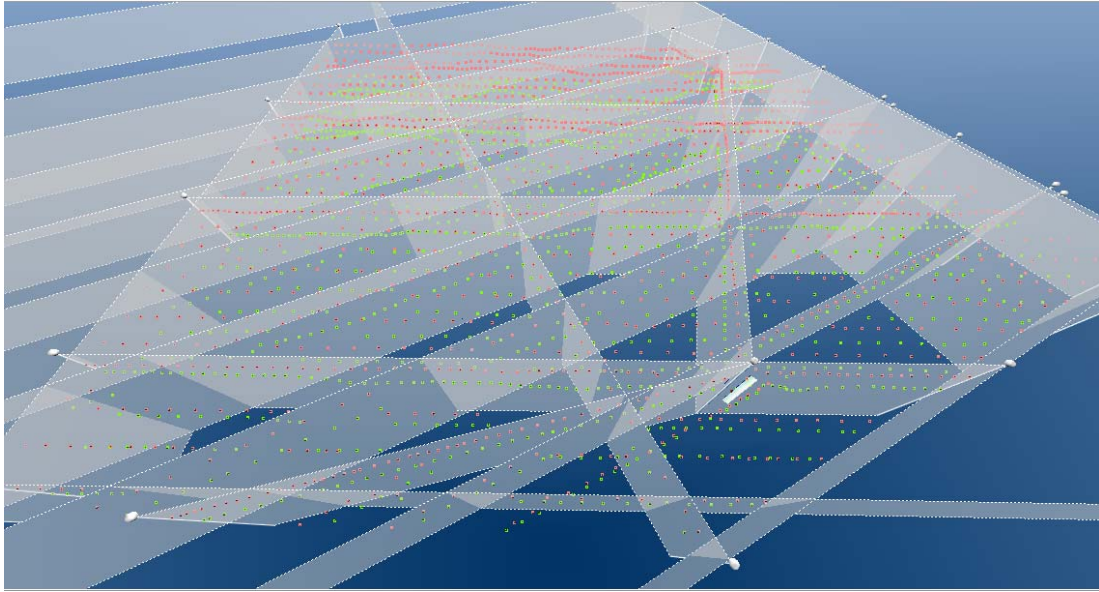
๒) การกำหนดตำแหน่ง Interpretation points เพิ่มเติมตามแนวภาพตัดขวางฯ หลัก ด้วยการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของโทนสีดังกล่าวแล้วข้างต้น ทั้งนี้โดยดำเนินการจนครอบคลุมตลอดความยาวของแนวภาพตัดขวางฯ หลักและครบทุกหน่วยหินหลักทาง



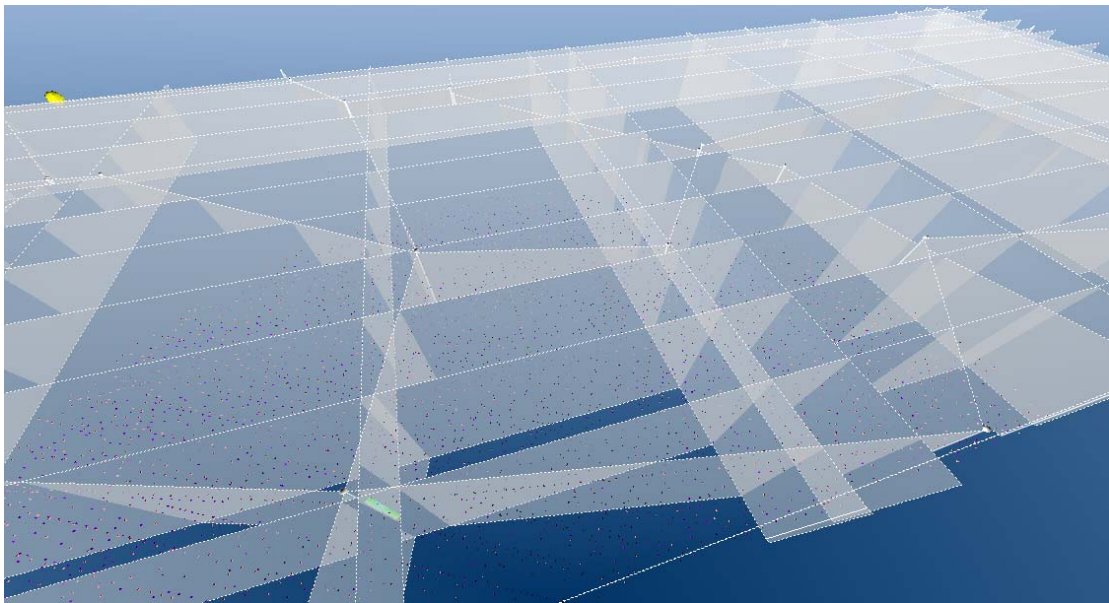
แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแนวภาพตัดขวางฯ หลักที่กำหนดไว้ในพื้นที่ศึกษายังไม่ครอบคลุมพื้นที่ส่วนต่างๆ ของพื้นที่ศึกษา ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนแนวภาพตัดขวางฯ ขึ้นในบริเวณที่ยังไม่มีแนวภาพตัดขวางฯ หลักพาดผ่าน ทั้งนี้เพื่อเพิ่ม Interpretation points ให้ครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ การดำเนินการดังกล่าวนอกจากจะทำให้ได้รับ Interpretation points ในแนวภาพตัดขวางฯ เพิ่มมากขึ้นแล้ว ยังทำให้ได้รับ Interpretation points ณ จุดตัดกันระหว่างแนวภาพตัดขวางฯ หลักและแนวภาพตัดขวางฯ รองเพิ่มขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย ซึ่ง Interpretation points ในแนวภาพตัดขวางฯ หลัก ณ จุดตัดกันดังกล่าว จะเป็น Interpretation points อ้างอิงให้กับแนวภาพตัดขวางฯ รอง ณ จุดตัดกันดังกล่าวอีกด้วย ซึ่งจะส่งผลให้การกำหนด Interpretation points เพิ่มเติมระหว่างจุด Interpretation points อ้างอิงในแนวภาพตัดขวางฯ รองกระทำได้สะดวกขึ้น และมีความสอดคล้องกับ Interpretation points ที่กำหนดไว้ในแนวภาพตัดขวางฯ หลักต่างๆ ด้วย

ต่อจากนั้น ดำเนินการติดตามขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้

ก. ดำเนินการซ้ำตามขั้นตอนย่อยที่ ๑) และ ๒) ซึ่งจะทำให้ได้รับผลลัพธ์เป็น Interpretation points ที่มีการแพร่กระจายตัวครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ศึกษามากขึ้น (รูปที่ ๕.๕-๑๕ และ รูปที่ ๕.๕-๑๖)



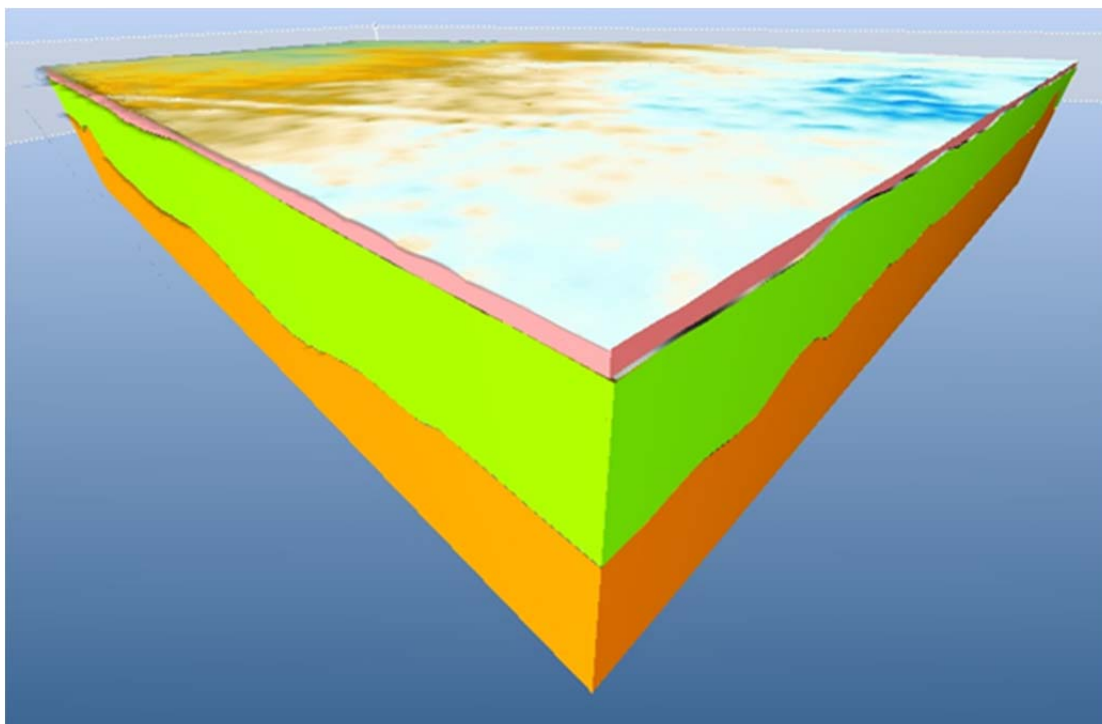
รูปที่ ๕.๕-๑๕ ภาพ ๓ มิติ แสดงการกระจายตัวของ Interpretation points ในพื้นที่ส่วนต่างๆ ของพื้นที่ศึกษาก่อนการกำหนดแนวภาพตัดขวางฯ เพิ่มเติมขึ้น



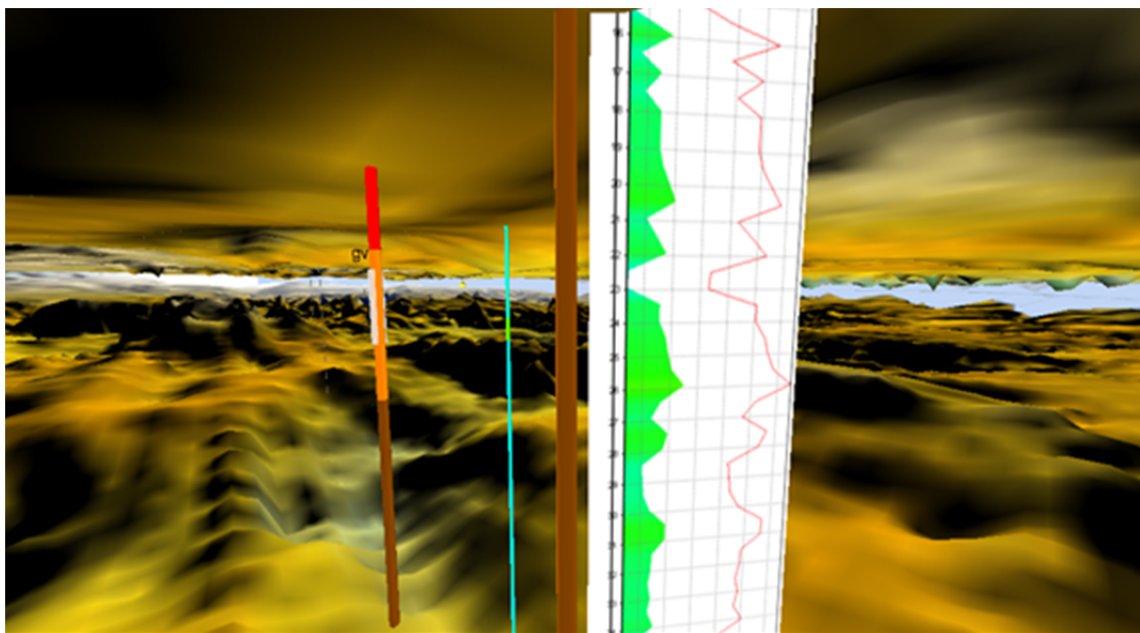
รูปที่ ๕.๕-๑๖ ภาพ ๓ มิติ แสดงการกระจายตัวของ Interpretation points ที่เพิ่มมากขึ้นในพื้นที่ส่วนต่างๆ ของพื้นที่ศึกษาภายหลังการกำหนดแนวภาพตัดขวางฯ เพิ่มเติมขึ้น

ข. ทำการเชื่อมต่อ Interpretation points ในแนวภาพตัดขวางๆ แต่ละแนวที่มีอยู่ทั้งหมด ทั้งแนวภาพตัดขวางๆ หลักและแนวภาพตัดขวางๆ รอง ซึ่งจะทำให้ได้ผลลัพธ์เป็นแนวขอบเขต (boundary) การแผ่ขยายตัวของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาแต่ละหน่วยในเชิงภาพ ๒ มิติ ตามแนวภาพตัดขวางๆ ต่างๆ ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา

ค. ทำการเชื่อมต่อ Interpretation points ในเชิง ๓ มิติ ในหน้าจอแสดงภาพ ๓ มิติ (3-D scene หรือ 3-D viewer) ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D ซึ่งในที่สุดจะทำให้ได้รับผลลัพธ์เป็นพื้นผิวขอบเขตการแผ่ขยายตัว (boundary surface) ของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาแต่ละหน่วยในเชิงภาพ 3 มิติ ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา (รูปที่ ๕.๕-๑๗ และ รูปที่ ๕.๕-๑๘)



รูปที่ ๕.๕-๑๗ ภาพตัวอย่างแบบจำลองทางธรณีวิทยา ๓ มิติ แสดงการแผ่ขยายตัวของพื้นผิวขอบเขตการแผ่ขยายตัว (boundary surface) ของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยา ในลักษณะของ Solid layers



รูปที่ ๕.๕-๑๔ ภาพแบบจำลองทางธรณีวิทยา ๓ มิติ แสดงการแผ่ขยายตัวของพื้นผิวขอบเขตการแผ่ขยายตัวของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยา

จากภาพ ๓ มิติ ของพื้นผิวขอบเขตการแผ่ขยายตัวของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาที่ได้ จะทำให้สามารถทราบหรือมองเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ในพื้นที่ส่วนต่างๆ ของพื้นที่ศึกษาหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาแต่ละหน่วยมีการเปลี่ยนแปลงการแผ่ขยายตัวทั้งในแนวราบและแนวตั้งอย่างไร และในขณะเดียวกันก็ทำให้สามารถทราบการเปลี่ยนแปลงความหนาของหน่วยหินหลักทางธรณีวิทยา/อุทกธรณีวิทยาแต่ละหน่วยในพื้นที่ส่วนต่างๆ ของพื้นที่ศึกษาได้ด้วย

๕.๖ การศึกษาวิเคราะห์สภาพการตกสะสมตัวของตะกอนในพื้นที่ศึกษาจากข้อมูล SkyTEM

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูล SkyTEM ของพื้นที่ศึกษา (ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน) เกี่ยวกับ (๑) ลักษณะการแผ่ขยายตัวของชั้นหินและชั้นตะกอน และลำดับการตกสะสมตัวของตะกอนในช่วงความลึกต่างๆ (๒) โครงสร้างทางธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแปรสัณฐานที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยาของการตกสะสมตัวของตะกอน และ (๓) สภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยาของการตกสะสมตัวของตะกอน โดยข้อมูล SkyTEM ของพื้นที่ศึกษาที่นำมาใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ ได้แก่ (ก) แบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ในรูปของภาพตัดขวางแสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ (2-D vertical resistivity profile) ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ - ตะวันตกเฉียงใต้ จำนวน ๑๐ แนว ซึ่งต่อไปในที่นี้จะเรียกว่า “ภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์” และ (ข) แบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ในรูปของแผนที่แสดงการแปรเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นธรณีในแต่ละช่วงชั้นความหนา ๕ เมตร จำนวน ๘๔ ชั้น แบบ ๒ มิติ (2-D horizontally-sliced mean resistivity layers) ที่จัดทำขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก

๕.๖.๑ ลักษณะการแผ่ขยายตัวของหินแข็งและตะกอน และลำดับการตกสะสมตัวของตะกอนในช่วงความลึกต่างๆ

๕.๖.๑.๑ ลักษณะการแผ่ขยายตัวของหินแข็งและตะกอน

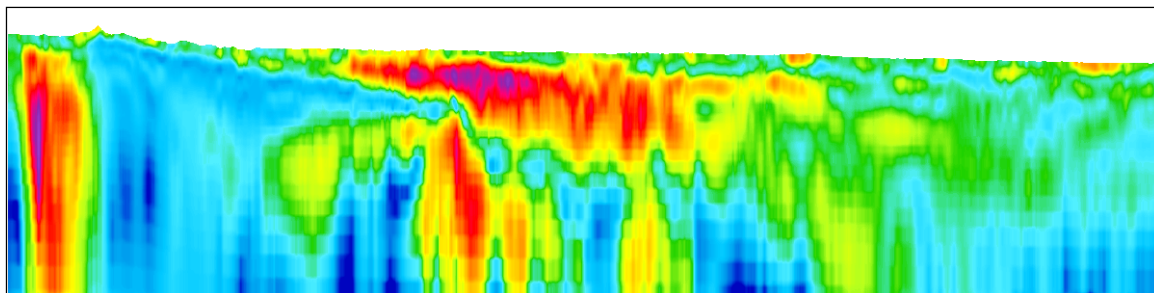
๑) ลักษณะการแผ่ขยายตัวของหินแข็ง

จากการพิจารณาข้อมูลภาพถ่ายทางธรณีสัณฐานที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์กในบริเวณตอนบนของพื้นที่ศึกษา จำนวน ๔ แนว ได้แก่ แนวภาพถ่ายทางอากาศหมายเลข 3DGrid3-710 ถึงหมายเลข 3DGrid3-719 (รูปที่ ๕.๕-๗ และรูปที่ ๕.๖-๑ ถึงรูปที่ ๕.๖-๔) ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งของบริเวณที่มีชั้นหินแข็งหรือชั้นหินดาน (bedrock) ร่องรับอยู่ข้างใต้ ออกได้เป็น ๒ บริเวณ (บนพื้นฐานของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงตามแผนภูมิสีของพื้นที่ศึกษา) ได้แก่ (ก) บริเวณด้านทิศตะวันตกสุด (ข) บริเวณตอนกลางทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา โดยทั้งสองบริเวณดังกล่าวมีลักษณะปรากฏเป็นมวลสีแดงเข้มถึงสีม่วงที่มีขอบเขตการแผ่ขยายตัวในแนวลึกค่อนข้างชัน และถือได้ว่าเป็นบริเวณส่วนหนึ่งของพื้นที่ศึกษาที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงสูงที่สุดตามแผนภูมิสีของพื้นที่ศึกษา (รูปที่ ๕.๖-๕) ซึ่งก่อนหน้านี้ผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์กก็ได้แปลความหมายไว้ว่าบริเวณทั้งสองดังกล่าวมีชั้นหินแข็งร่องรับอยู่ข้างใต้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ ลักษณะปรากฏของชั้นหินแข็งดังกล่าวยังสามารถสังเกตเห็นได้ค่อนข้างชัดเจนจากข้อมูลแผนที่ทางธรณีสัณฐานด้วย (รูปที่ ๕.๖-๖ ถึงรูปที่ ๕.๖-๘ ซึ่งเป็นรูปตัวอย่างส่วนหนึ่งของข้อมูลแผนที่ทางธรณีสัณฐานที่แสดงว่ามีชั้นหินแข็งร่องรับอยู่ข้างใต้ ตั้งแต่ช่วงความลึก ๒๔๕-๒๕๐ เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง ขึ้นมาจนถึงช่วงความสูง ๕-๑๐ เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง) อนึ่ง ข้อมูลแบบจำลองทางธรณีสัณฐานในส่วนหลังนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงความลึก ๒๔๕-๒๕๐ เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง (รูปที่ ๕.๖-๖) นอกจากจะทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งของบริเวณที่มีชั้นหินแข็งร่องรับอยู่ข้างใต้พื้นที่ศึกษาดังกล่าวได้แล้ว ยังช่วยให้สามารถทราบขอบเขตการแผ่ขยายตัว (ลักษณะ ขนาด ความลึกและความหนา) ของหินแข็งทั้งสองบริเวณดังกล่าวได้ชัดเจนขึ้นด้วย กล่าวคือ ชั้นหินแข็งทั้งสองบริเวณมีลักษณะการแผ่ขยายตัวเป็นแนวยาว ที่มีทิศทางการวางตัวในแนวประมาณเหนือ - ใต้ โดยชั้นหินแข็งบริเวณด้านทิศตะวันตกสุดของพื้นที่ศึกษามีการแผ่ขยายตัวกว้างประมาณ ๔ กิโลเมตร ในแนวตะวันออก - ตะวันตก ยาวประมาณ ๑๓ กิโลเมตร ในแนวเหนือ - ใต้ ลึกประมาณ ๕-๑๐ เมตร จากระดับผิวดิน และหนาไม่น้อยกว่า ๒๕๐ เมตร ในขณะที่ชั้นหินแข็งบริเวณตอนกลางทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษามีการแผ่ขยายตัวกว้างประมาณ ๔ กิโลเมตร ในแนวตะวันออก - ตะวันตก ยาวประมาณ ๗ กิโลเมตร ในแนวเหนือ - ใต้ ลึกประมาณ ๕๐-๖๐ เมตร จากระดับผิวดิน และหนาไม่น้อยกว่า ๒๕๐ เมตร

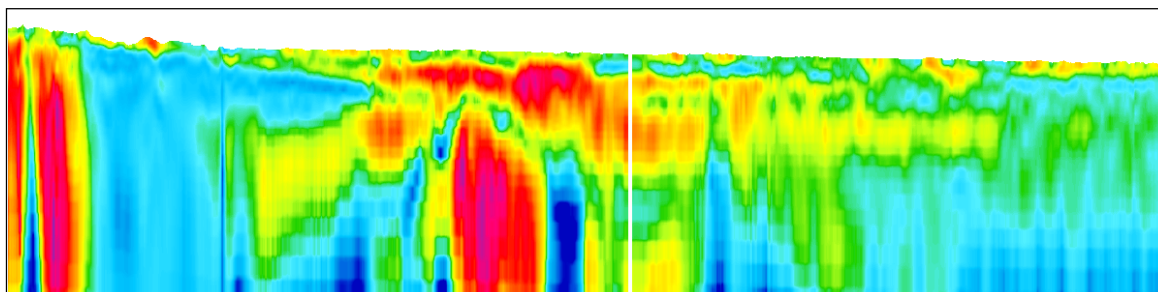
และจากการพิจารณาข้อมูลภาพถ่ายทางธรณีสัณฐานที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์กเพิ่มเติมในบริเวณตอนล่างของพื้นที่ศึกษาอีกจำนวน ๕ แนว ได้แก่ แนวภาพถ่ายทางอากาศหมายเลข 3DGrid3-692 ถึงหมายเลข 3DGrid3-704 (รูปที่ ๕.๕-๗ และรูปที่ ๕.๖-๙ ถึงรูปที่ ๕.๖-๑๓) ก็ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งของบริเวณที่มีชั้นหินแข็งหรือชั้นหินดาน (bedrock) ร่องรับอยู่ข้างใต้เพิ่มเติมขึ้นได้อีกหนึ่งบริเวณ (บนพื้นฐานของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงตามแผนภูมิสีของพื้นที่ศึกษา) คือ บริเวณตอนล่างค่อนข้างไปทางทิศตะวันออกทางตอนล่าง (ทางด้านทิศใต้) ของพื้นที่ศึกษา โดยบริเวณดังกล่าวมีลักษณะปรากฏเป็นมวลสีเหลืองขนาดใหญ่ที่มีขอบเขตการแผ่ขยายตัวในแนวลึกค่อนข้างชันเช่นเดียวกันกับสองบริเวณแรก ซึ่งถือได้ว่าเป็นบริเวณขนาดใหญ่ส่วนหนึ่งของพื้นที่ศึกษาที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงสูงปานกลาง และอยู่ใน

ระดับเดียวกันกับค่าความต้านทานจำเพาะจริงของชั้นตะกอนจำพวกกรวดทราย ซึ่งก่อนหน้านี้ ผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์กได้แปลความหมายไว้ว่าบริเวณนี้เป็นบริเวณที่มีมวลตะกอนเนื้อหยาบจำพวก กรวดทรายขนาดใหญ่แผ่ขยายตัวอยู่ นอกจากนี้ ลักษณะปรากฏของชั้นหินแข็งดังกล่าวยังสามารถ สังเกตเห็นได้ค่อนข้างชัดเจนจากข้อมูลแผนที่ทางธรณีฟิสิกส์ด้วยเช่นกัน (รูปที่ ๕.๖-๖ ถึงรูปที่ ๕.๖-๘) ซึ่งเป็นรูปตัวอย่างส่วนหนึ่งของข้อมูลแผนที่ทางธรณีฟิสิกส์ที่แสดงว่าชั้นหินแข็งรองรับอยู่ ข้างใต้ ตั้งแต่ช่วงความลึก ๒๔๕-๒๕๐ เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง ขึ้นมาจนถึงช่วงความสูง ๕- ๑๐ เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงความลึก ๒๔๕-๒๕๐ เมตร ได้ ระดับน้ำทะเลปานกลาง (รูปที่ ๕.๖-๖) ที่ทำให้สามารถพิจารณาได้ว่า มวลหินแข็งดังกล่าวมีการแผ่ ขยายตัวกว้างประมาณ ๑๐ กิโลเมตร ในแนวตะวันออก - ตะวันตก ยาวประมาณ ๘ กิโลเมตร ในแนว เหนือ - ใต้ ลึกประมาณ ๑๔๐ เมตร จากระดับผิวดิน และหนาไม่น้อยกว่า ๑๕๐ เมตร โดยมีขอบเขต การแผ่ขยายตัวทั้งทางด้านทิศตะวันตกและทิศตะวันออกในลักษณะเกือบเป็นแนวเส้นตรง ที่มีทิศ ทางการวางตัวในแนวประมาณตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้

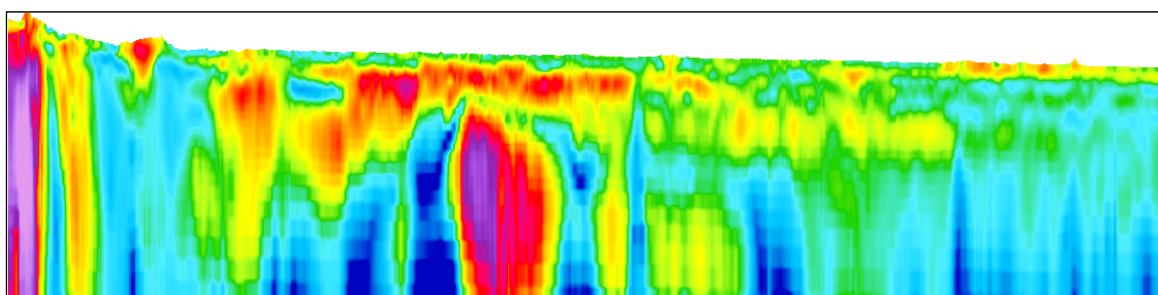
นอกจากข้อมูลแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ทั้งสองแบบดังกล่าวที่ทำให้ สามารถกำหนดขอบเขตการแผ่ขยายตัวในเบื้องต้นของหินแข็งที่รองรับอยู่ข้างใต้พื้นที่ศึกษาได้แล้ว ข้อมูลหลุมเจาะของบ่อเจาะสำรวจต่างๆ ที่เจาะขึ้นใหม่ในระหว่างการค้าเนินการโครงการในเวลา ต่อมา ก็เป็นข้อมูลอีกด้านหนึ่งที่ช่วยตรวจสอบหรือยืนยันได้ถึงการปรากฏอยู่จริงของหินแข็งดังกล่าว อันได้แก่ (๑) ข้อมูลหลุมเจาะของบ่อเจาะสำรวจ หมายเลข 5541A008 (A01) ที่บริเวณบ้านคลอง ละแวก หมู่ ๑ ตำบลคลองแม่ลาย อำเภอเมืองกำแพงเพชร (พิกัด ๕๔๙๖๙๖ ตะวันออก/๑๘๑๓๗๑๙ เหนือ) ซึ่งอยู่ในบริเวณด้านทิศตะวันตกสุดของพื้นที่ศึกษา แสดงหลักฐานว่ามีการเจาะพบหินฟิลไลต์ที่ ระดับความลึกประมาณ ๙ เมตร จากผิวดิน (๒) ข้อมูลหลุมเจาะของบ่อเจาะสำรวจหมายเลข 5541A011 (B02) ที่บริเวณวัดมะกอกหวาน บ้านมะกอกหวาน หมู่ ๗ ตำบลเทพนคร อำเภอเมือง กำแพงเพชร (พิกัด ๕๖๖๖๑๖ ตะวันออก/๑๘๑๘๙๐๔ เหนือ) ซึ่งอยู่ในบริเวณตอนกลางทางด้านทิศ เหนือของพื้นที่ศึกษา แสดงหลักฐานว่ามีการเจาะพบหินแกรนิตที่ระดับความลึกประมาณ ๕๙ เมตร จากผิวดิน และ (๓) ข้อมูลหลุมเจาะของบ่อเจาะสำรวจหมายเลข 5541A014 (C02) ที่บริเวณ โรงเรียนบ้านโนนใหญ่ หมู่ ๙ ตำบลหนองทอง อำเภอไทรงาม จังหวัดกำแพงเพชร (พิกัด ๕๘๑๒๗๔ ตะวันออก ๑๘๑๒๗๓๖ เหนือ) ซึ่งอยู่ในบริเวณตอนกลางค่อนข้างไปทางทิศตะวันออกทางตอนล่าง (ด้าน ทิศใต้) ของพื้นที่ศึกษาก็แสดงหลักฐานว่า มีการเจาะพบหินแอนดีไซติกทัฟฟ์ (andesitic tuff) และ หินดินดานที่ระดับความลึกประมาณ ๑๓๗ เมตร และ ๑๔๘ เมตร จากผิวดิน ตามลำดับ



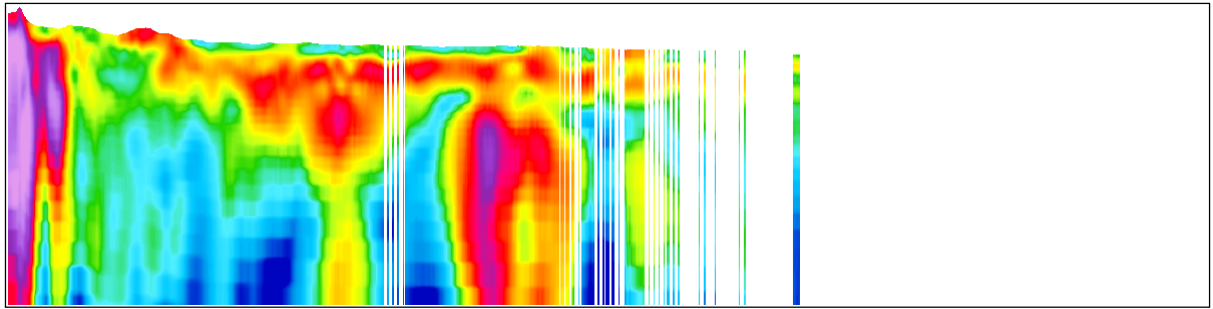
รูปที่ ๕.๖-๑ แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-710 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของหินแข็งที่รองรับอยู่ข้างใต้ในบริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา



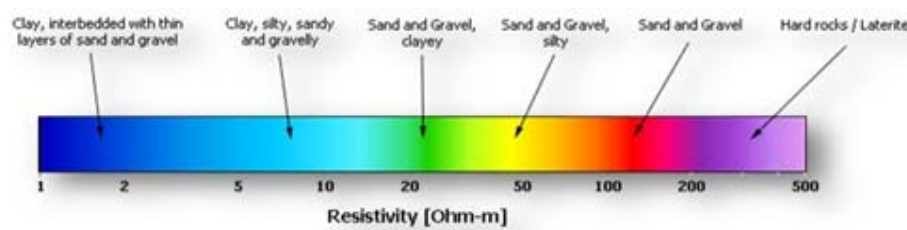
รูปที่ ๕.๖-๒ แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-713 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของหินแข็งที่รองรับอยู่ข้างใต้ในบริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา



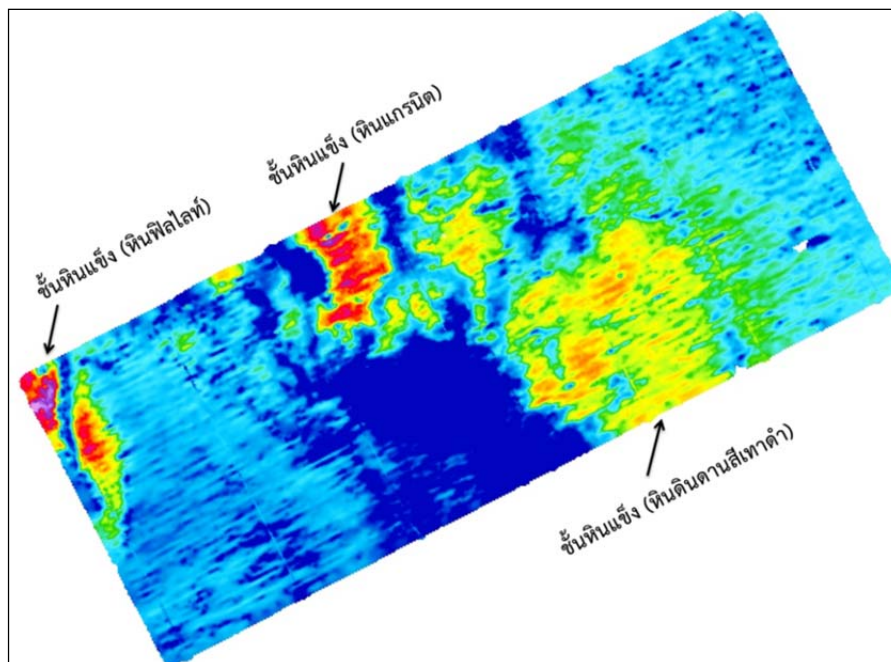
รูปที่ ๕.๖-๓ แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-716 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของหินแข็งที่รองรับอยู่ข้างใต้ในบริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา



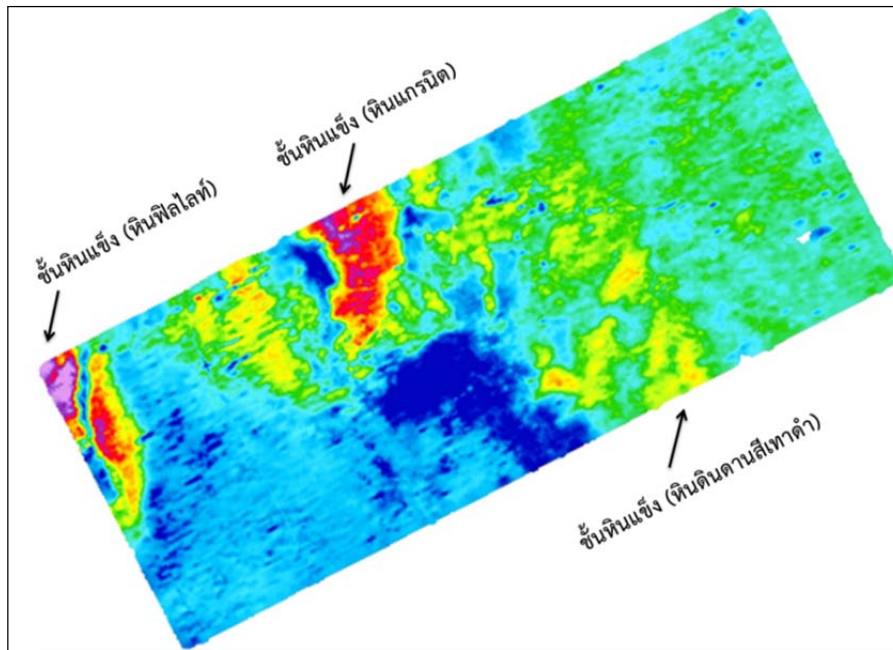
รูปที่ ๕.๖-๔ แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-719 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของหินแข็งที่รองรับอยู่ข้างใต้ในบริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา



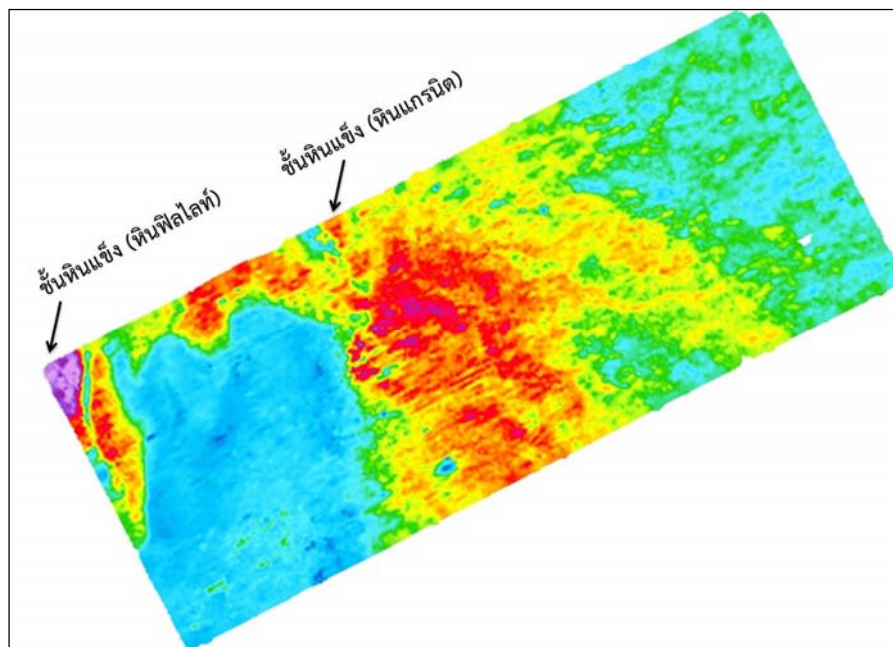
รูปที่ ๕.๖-๕ แผนภูมิสีของพื้นที่ศึกษาที่กำหนดขึ้น



รูปที่ ๕.๖-๖ แบบจำลองแผนที่ทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแผนที่ทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นธรณีในแบบ ๒ มิติ ในช่วงความลึก ๒๔๕-๒๕๐ เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง แสดงการแผ่ขยายตัวของชั้นหินแข็งที่รองรับอยู่ข้างใต้ในบริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา และมวลตะกอนเนื้อหยาบหน่วยต่างๆ



รูปที่ ๕.๖-๗ แบบจำลองแผนที่ทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแผนที่ทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นธรณีในแบบ ๒ มิติในช่วงความลึก ๙๕-๑๐๐ เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง แสดงการแผ่ขยายตัวของชั้นหินแข็งที่รองรับอยู่ข้างใต้ในบริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา



รูปที่ ๕.๖-๘ แบบจำลองแผนที่ทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแผนที่ทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นธรณีในแบบ ๒ มิติในช่วงความลึก ๕-๑๐ เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง แสดงการแผ่ขยายตัวของชั้นหินแข็งที่รองรับอยู่ข้างใต้ในบริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา

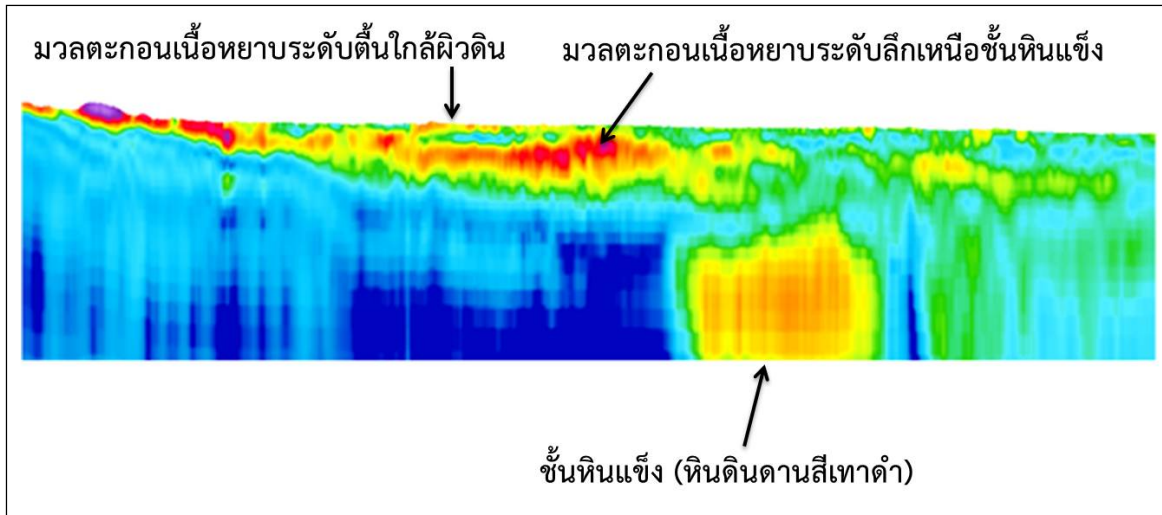
๒) ลักษณะการแผ่ขยายตัวของตะกอน

จากการพิจารณาข้อมูลภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ ของพื้นที่ศึกษาทั้ง ๑๐ แนว อันได้แก่ แนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ หมายเลข 3DGrid3-692 ถึงหมายเลข 3DGrid3-719 (รูปที่ ๕.๖-๑ ถึงรูปที่ ๕.๖-๔ และ รูปที่ ๕.๖-๕ ถึงรูปที่ ๕.๖-๑๔) ทำให้สามารถกำหนดขอบเขตการแผ่ขยายตัวหรือโซน (zones) ของมวลตะกอนเนื้อหยาบได้ค่อนข้างชัดเจน โดยแบ่งออกได้เป็น ๒ โซนหลัก ดังนี้ (๑) โซนมวลตะกอนเนื้อหยาบระดับลึกเหนือชั้นหินแข็ง (ในบริเวณตอนกลางทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา) และ (๒) โซนมวลตะกอนเนื้อหยาบระดับตื้นใกล้ผิวดิน ดังมีรายละเอียดการแผ่ขยายตัวของมวลตะกอนเนื้อหยาบแต่ละโซนพอจะกล่าวได้ตามลำดับดังต่อไปนี้

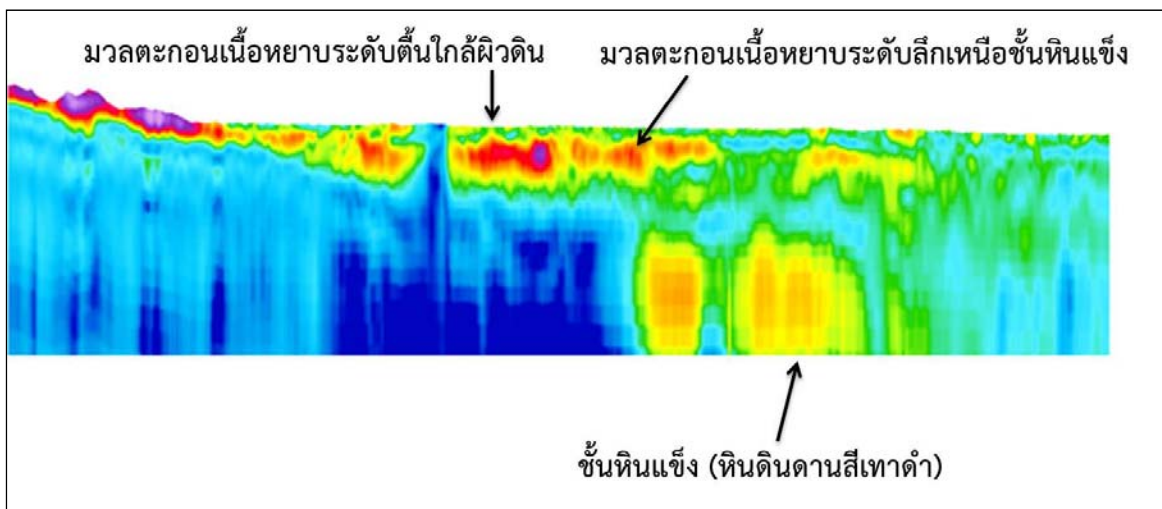
(๑) โซนมวลตะกอนเนื้อหยาบระดับลึกเหนือชั้นหินแข็ง

โซนมวลตะกอนเนื้อหยาบโซนนี้มีลักษณะปรากฏเป็นมวลสีแดงเข้มถึงสีม่วงและสีแดงปนเหลืองที่เป็นแถบหรือชั้นค่อนข้างหนา (ซึ่งตามแผนภูมิสีของพื้นที่ศึกษา แสดงว่าเป็นมวลตะกอนเนื้อหยาบจำพวกกรวดทรายที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงค่อนข้างสูงถึงสูงมาก) โดยมีส่วนที่หนาที่สุดอยู่ที่บริเวณตอนปลายทางด้านทิศใต้ของเทือกเขาหินแกรนิต ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ หมายเลข 3DGrid3-710 ในรูปที่ ๕.๖.๑ แต่ในบริเวณที่อยู่ถัดจากแนวภาพตัดขวางฯ ดังกล่าวขึ้นไปทางด้านทิศเหนือหรือตอนบนของพื้นที่ศึกษา โซนมวลตะกอนเนื้อหยาบโซนนี้จะมีความหนาลดลง ซึ่งมวลสีแดงเข้มถึงสีม่วงและสีแดงปนเหลืองเหนือชั้นหินแข็งในบริเวณตอนกลางทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษานี้ ก็ได้รับการแปลความหมายไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์กว่าเป็นมวลตะกอนเนื้อหยาบที่มีเนื้อตะกอนส่วนใหญ่เป็นกรวดทราย (และมีตะกอนเนื้อละเอียดจำพวกดินเหนียวปนบ้าง) เช่นเดียวกัน

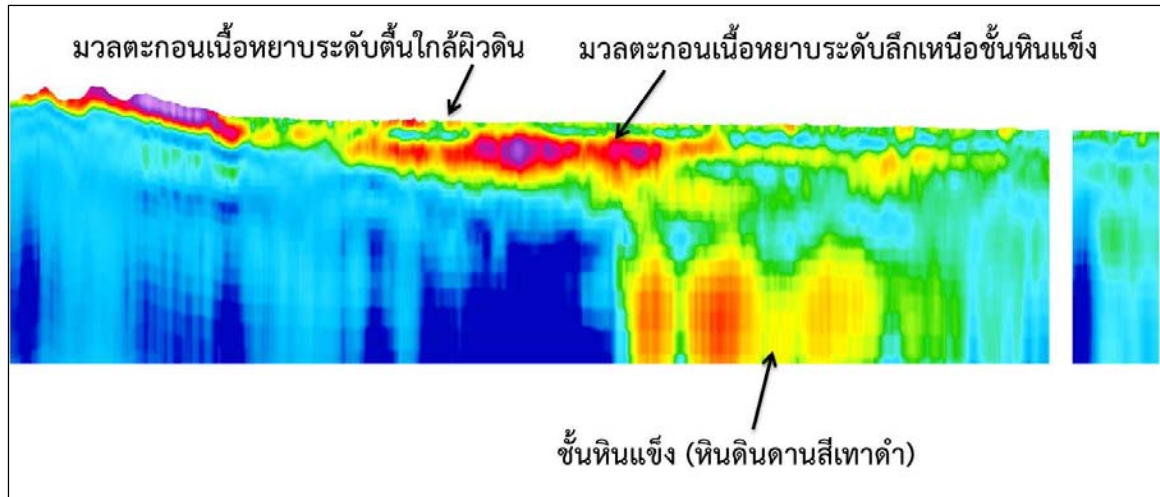
โซนมวลตะกอนเนื้อหยาบโซนนี้นอกจากจะมีการแผ่ขยายตัวอยู่ในบริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษาแล้ว (ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ หมายเลข 3DGrid3-710 ถึงหมายเลข 3DGrid3-719 ในรูปที่ ๕.๖.๑ ถึงรูปที่ ๕.๖.๔ ยังพบว่าการแผ่ขยายตัวต่อเนื่องลงไปยังบริเวณตอนล่างทางด้านทิศใต้ของพื้นที่ศึกษาด้วย แม้จะไม่มีเทือกเขาหินแกรนิตใต้ดินรองรับอยู่ข้างใต้แล้วก็ตาม (ดูภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ หมายเลข 3DGrid3-692 ถึงหมายเลข 3DGrid3-701 ในรูปที่ ๕.๖.๕ ถึงรูปที่ ๕.๖.๑๒ แต่จะมีความหนาลดลงเช่นเดียวกันกับบริเวณตอนบนของพื้นที่ศึกษาดังกล่าวแล้ว นอกจากนี้ยังพบด้วยว่า ในบริเวณด้านทิศตะวันตกสุดของแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ หมายเลข 3DGrid3-710 ถึงหมายเลข 3DGrid3-692 ก็มีลักษณะปรากฏเป็นมวลสีแดงเข้มถึงสีม่วงชั้นบางๆ (เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาของโซนมวลตะกอนเนื้อหยาบระดับตื้นเหนือชั้นหินแข็ง) ปรากฏอยู่ด้วย มวลสีแดงเข้มถึงสีม่วงดังกล่าว (ซึ่งตามแผนภูมิสีมาตรฐานของพื้นที่ศึกษาแสดงว่าเป็นมวลตะกอนเนื้อหยาบที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงสูงที่สุด) ได้รับการแปลความหมายไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์กว่าเป็นชั้นศิลาแลงที่มีกรวดทรายปน



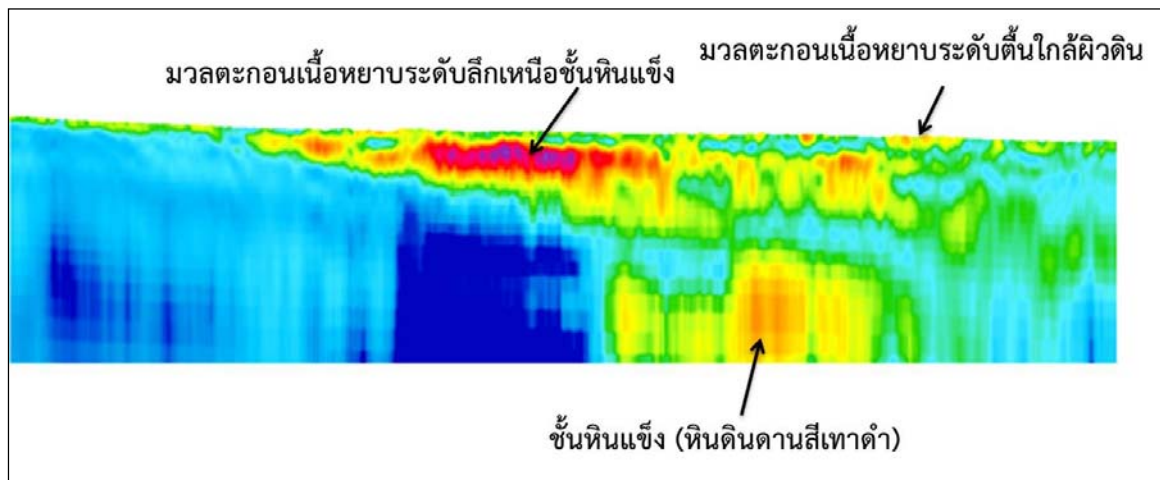
รูปที่ ๕.๖-๙ แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-692 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของมวลตะกอนเนื้อหยาบที่รองรับอยู่ข้างใต้พื้นที่ศึกษา ในจอแสดงภาพตัดขวางของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D



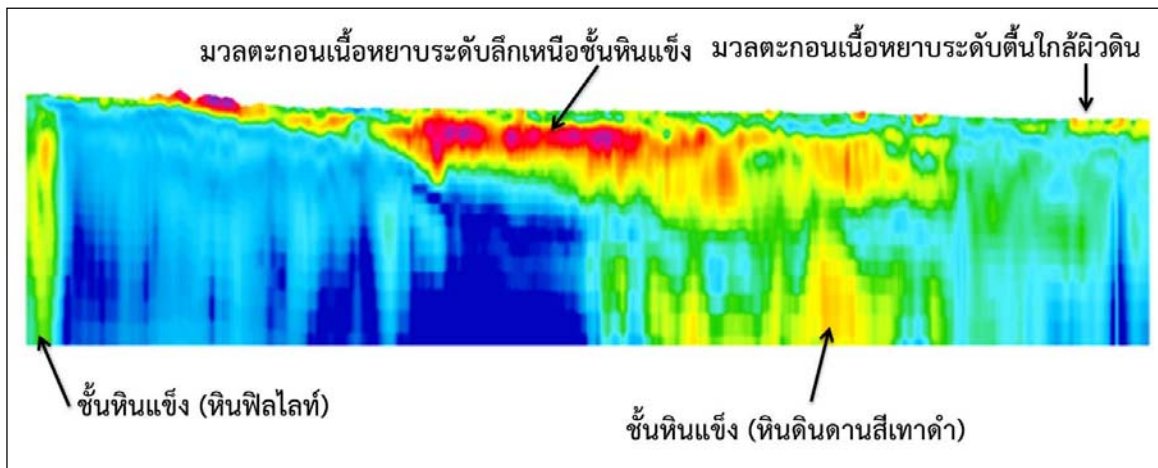
รูปที่ ๕.๖-๑๐ แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-695 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของมวลตะกอนเนื้อหยาบที่รองรับอยู่ข้างใต้พื้นที่ศึกษา ในจอแสดงภาพตัดขวางของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D



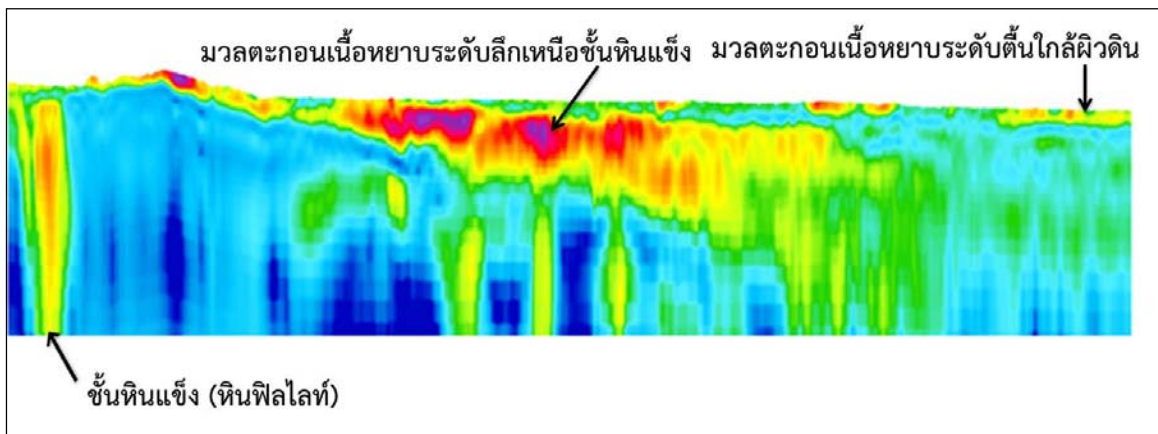
รูปที่ ๕.๖-๑๑ แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-698 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของมวลตะกอนเนื้อหยาบที่รองรับอยู่ข้างใต้พื้นที่ศึกษา ในจอแสดงภาพตัดขวาง ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D



รูปที่ ๕.๖-๑๒ แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-701 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของมวลตะกอนเนื้อหยาบที่รองรับอยู่ข้างใต้พื้นที่ศึกษา ในจอแสดงภาพตัดขวาง ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D



รูปที่ ๕.๖-๑๓ แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-704 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของมวลตะกอนเนื้อหยาบที่รองรับอยู่ข้างใต้พื้นที่ศึกษา ในจอแสดงภาพตัดขวาง ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D



รูปที่ ๕.๖-๑๔ แบบจำลองภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงในแบบ ๒ มิติ หมายเลข 3DGrid3-707 ที่จัดทำไว้โดยผู้เชี่ยวชาญชาวเดนมาร์ก แสดงการแผ่ขยายตัวของมวลตะกอนเนื้อหยาบที่รองรับอยู่ข้างใต้พื้นที่ศึกษา ในจอแสดงภาพตัดขวาง ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป GeoScene3D

(๒) โชนมวลดะกอนเนื้อหยาบระดับต้นใกล้ผิวดิน

โชนมวลดะกอนเนื้อหยาบโชนนี้มีลักษณะปรากฏเป็นมวลสีแดงปนเหลืองที่เป็นแถบหรือชั้นบางๆ (ซึ่งตามแผนภูมิสีของพื้นที่ศึกษาแสดงว่าเป็นมวลดะกอนเนื้อหยาบจำพวกกรวดทรายที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงค่อนข้างสูงถึงสูงมาก) โดยปรากฏอยู่ในแนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ของพื้นที่ศึกษาทั้ง ๑๐ แนว (รูปที่ ๕.๖-๑ ถึงรูปที่ ๕.๖-๔ และ รูปที่ ๖.๗-๙ ถึงรูปที่ ๕.๖-๑๔) ซึ่งการปรากฏอยู่ของโชนมวลดะกอนเนื้อหยาบโชนนี้มีลักษณะดังกล่าวย่อมเป็นเครื่องแสดงว่า โชนมวลดะกอนเนื้อหยาบโชนนี้มีการแผ่ขยายตัวทั่วทั้งบริเวณพื้นที่ศึกษานับตั้งแต่บริเวณตอนบนสุดลงจนถึงบริเวณตอนล่างสุด เช่นเดียวกันกับโชนมวลดะกอนเนื้อหยาบโชนแรก แต่อย่างไรก็ตาม จากการพิจารณาแผนที่ทางธรณีฟิสิกส์ในช่วงชั้นความลึก ๒๔๕-๒๕๐ เมตร (รูปที่ ๕.๖-๖) ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง ขึ้นมาจนถึงระดับผิวดิน พบว่า โชนมวลดะกอนเนื้อหยาบระดับต้นใกล้ผิวดินมีการแผ่ขยายตัวที่ไม่ต่อเนื่องถึงกันตลอดทั้งพื้นที่ (แม้จะมีการแผ่ขยายตัวอยู่ทั่วทั้งพื้นที่ดังกล่าวแล้วก็ตาม) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง มีการแผ่ขยายตัวต่อเนื่องกันเป็นแห่งๆ สลับกับบริเวณที่มีมวลดะกอนเนื้อละเอียดจำพวกดินเหนียวแผ่ขยายตัวอยู่ ทั้งนี้เพราะมวลสีแดงปนเหลืองที่มีลักษณะเป็นแถบหรือชั้นบางๆ ดังกล่าวไม่มีความต่อเนื่องกันตลอด แต่ถูกคั่นแยกด้วยมวลสีน้ำเงินเป็นแห่งๆ (ซึ่งตามแผนภูมิสีของพื้นที่ศึกษาแสดงว่าเป็นมวลดะกอนเนื้อละเอียดจำพวกดินเหนียวที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงค่อนข้างต่ำถึงต่ำมาก)

๕.๖.๑.๒ ลำดับการตกสะสมตัวของตะกอนในช่วงความลึกต่างๆ

จากการพิจารณาข้อมูลแผนที่ทางธรณีฟิสิกส์ ตั้งแต่ช่วงความลึก ๒๔๕-๒๕๐ เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง ขึ้นมาจนถึงระดับผิวดิน ทำให้สามารถสรุปภาพรวมของการแผ่ขยายตัวและลำดับการตกสะสมตัวของมวลดะกอนเนื้อหยาบของพื้นที่ศึกษา ที่จำแนกออกเป็นโชนต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น ได้ดังต่อไปนี้

ที่ช่วงความลึก ๗๐-๗๕ เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง ในบริเวณตอนล่าง (ทางด้านทิศใต้ของพื้นที่ศึกษา) เหนือชั้นหินแข็งระดับลึก จะเริ่มมีมวลดะกอนเนื้อละเอียดมาตกสะสมตัว ในขณะที่บริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษาที่อยู่ถัดจากบริเวณการแผ่ขยายตัวของชั้นหินแข็งระดับลึกขึ้นไป ที่เดิมมีมวลดะกอนเนื้อละเอียดมาตกสะสมตัวเป็นส่วนใหญ่กลับเริ่มเปลี่ยนเป็นการตกสะสมตัวของมวลดะกอนเนื้อหยาบมากขึ้น ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว (การเริ่มตกสะสมตัวของมวลดะกอนเนื้อหยาบ) ได้เริ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงความลึก ๙๐-๙๕ เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลางขึ้นมา ซึ่งเป็นช่วงชั้นความลึกก่อนที่การแผ่ขยายตัวของชั้นหินแข็งระดับลึกในบริเวณตอนล่าง (ทางด้านทิศใต้) ของพื้นที่ศึกษาสิ้นสุดลง

ถัดขึ้นมาจากช่วงความลึก ๙๐-๙๕ เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง ในบริเวณตอนบนทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษามีมวลดะกอนเนื้อหยาบมาตกสะสมตัวเพิ่มมากขึ้น พร้อมทั้งมีการแผ่ขยายตัวกว้างออกไปทั้งทางด้านทิศตะวันออกและตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา (ยกเว้นบริเวณตอนล่างสุดของพื้นที่ศึกษาที่มีชั้นหินแข็งระดับลึกรองรับอยู่แต่เดิม จะมีมวลดะกอนเนื้อละเอียดมาตกสะสมตัวเพิ่มมากขึ้นแทน ดังกล่าวแล้วข้างต้น) ดังจะเห็นได้อย่างชัดเจนในภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ หมายเลข 3DGrid3-692 ในรูปที่ ๕.๖-๙ ที่ชั้นหินแข็งระดับลึกมีมวลดะกอนเนื้อหยาบระดับลึกและระดับต้นมีมวลดะกอนเนื้อละเอียดคั่นแยกอยู่ตรงกลาง

มวลตะกอนเนื้อหยาบระดับลึกลึกนี้ นอกจากจะแผ่ขยายการตกสะสมตัวออกไปทางด้านทิศตะวันออกและตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษาแล้ว ยังแผ่ขยายการตกสะสมตัวออกไปทางด้านทิศใต้ของพื้นที่ศึกษาด้วย โดยอยู่ถัดจากบริเวณการแผ่ขยายตัวของชั้นหินแข็งระดับลึกลึก (ที่ภายหลังมีมวลตะกอนเนื้อละเอียดมาตกสะสมตัวปิดทับอยู่ข้างบน) ไปทางทิศตะวันตก โดยมีขอบเขตการตกสะสมตัวทางด้านทิศตะวันตกที่มีลักษณะเกือบเป็นแนวเส้นตรง และมีทิศทางการวางตัวในแนวประมาณเหนือ – ใต้ (เช่นเดียวกันกับขอบเขตการแผ่ขยายตัวทางด้านทิศตะวันตกของชั้นหินแข็งระดับลึกลึก ดังกล่าวแล้วในข้อ ๑) ของหัวข้อ ๕.๖.๑.๑) และตรงกับแนวขอบเขตการแผ่ขยายตัวด้านทิศตะวันตกของเทือกเขาหินแกรนิตด้วย

นอกจากนี้ มวลตะกอนเนื้อหยาบระดับลึกลึกดังกล่าวส่วนที่แผ่ขยายตัวอยู่ทางด้านทิศตะวันออกของเทือกเขาหินแกรนิตยังมีการแผ่ขยายการตกสะสมตัวเชื่อมต่อกับมวลตะกอนเนื้อหยาบระดับลึกลึกที่แผ่ขยายการตกสะสมตัวอยู่ในแอ่งย่อยทางด้านทิศตะวันตกของเทือกเขาหินแกรนิตด้วย ส่งผลให้เกิดลักษณะที่ปรากฏเด่นชัดประการหนึ่งคือ มีมวลตะกอนเนื้อหยาบระดับลึกลึกตกสะสมตัวหนาแน่นมากที่สุดตั้งแต่ช่วงความลึก ๐-๕ เมตร ถึงช่วงชั้นความลึก ๓๐-๓๕ เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยสังเกตได้จากมวลตะกอนมีสีแดงเข้มมากที่สุดในระหว่างช่วงความลึกดังกล่าว

ถัดขึ้นมาจากช่วงความลึก ๓๐-๓๕ เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง การตกสะสมตัวของมวลตะกอนเนื้อหยาบระดับลึกลึกเหนือชั้นหินแข็งเริ่มลดปริมาณลง และเริ่มมีมวลตะกอนเนื้อละเอียดระดับตื้นใกล้ผิวดินมาตกสะสมตัวเพิ่มมากขึ้นแทน แต่การตกสะสมตัวของมวลตะกอนเนื้อละเอียดระดับตื้นดังกล่าวดำเนินต่อเนื่องได้ไม่นานก็มีมวลตะกอนเนื้อหยาบระดับตื้นใกล้ผิวดินมาตกสะสมตัวร่วมด้วยจนถึงระดับผิวดิน

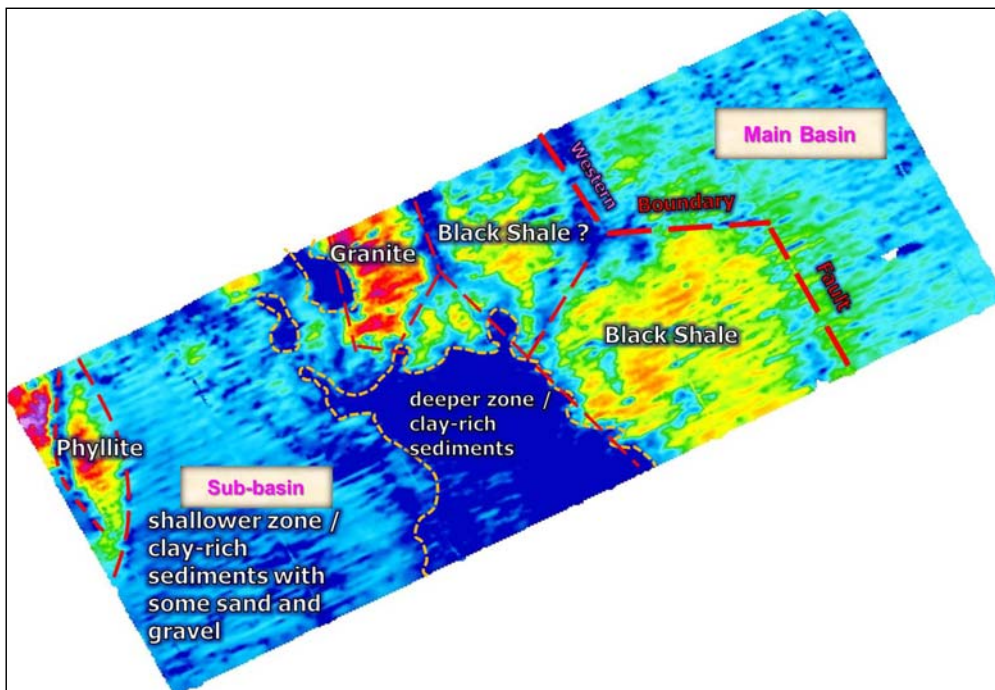
แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีสิ่งที่น่าสังเกตอีกประการหนึ่งเกี่ยวกับการตกสะสมตัวของมวลตะกอนที่อยู่ทางด้านทิศตะวันตกของเทือกเขาหินแกรนิต กล่าวคือ ที่ช่วงความลึก ๒๔๕-๒๕๐ เมตร ใต้ระดับน้ำทะเลปานกลาง ซึ่งเป็นช่วงความลึกต่ำสุดตามข้อมูลที่มีอยู่นั้น ในบริเวณตอนล่างทางด้านทิศใต้ของพื้นที่ศึกษาส่วนที่อยู่ทางด้านทิศตะวันตกของแนวเทือกเขาหินแกรนิต (ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ติดต่อกับบริเวณตอนล่างทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษาและทางด้านทิศตะวันออกของเทือกเขาหินแกรนิต ที่มีชั้นหินแข็งระดับลึกลึกรองรับอยู่) มีมวลตะกอนเนื้อละเอียดจำพวกดินเหนียว (ที่อาจมีชิ้นหรือกระเปาะของมวลตะกอนเนื้อหยาบจำพวกกรวดทรายปนอยู่บ้างในบางช่วงความลึก) ตกสะสมตัวอยู่เป็นส่วนใหญ่ - บริเวณที่มีสีน้ำเงินอ่อนและสีน้ำเงินเข้ม - บริเวณการตกสะสมตัวของมวลตะกอนเนื้อละเอียดนี้มีการแผ่ขยายตัวอย่างกว้างขวางจนสุดขอบเขตพื้นที่ศึกษาทางด้านทิศตะวันตก (รูปที่ ๕.๖-๖) แต่เมื่อเวลาผ่านไป หรือเมื่อมีมวลตะกอนมาตกสะสมตัวกันมากขึ้นและตื้นขึ้นบริเวณการตกสะสมตัวของมวลตะกอนเนื้อละเอียดดังกล่าวในส่วนที่เป็นสีน้ำเงินเข้มจะมีขนาดลดลงอย่างต่อเนื่อง และหมดไปในช่วงความลึกประมาณ ๑๕-๒๐ เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยกลายเป็นมวลตะกอนเนื้อละเอียดที่เป็นสีน้ำเงินอ่อนแทนทั้งหมด ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวน่าจะเป็นเครื่องบ่งชี้ประการหนึ่งว่า เมื่อเวลาผ่านไป หรือเมื่อมีการตกสะสมตัวของตะกอนตื้นขึ้น ในบริเวณที่เคยมีมวลตะกอนเนื้อละเอียดตกสะสมตัวอยู่เป็นส่วนใหญ่จะมีมวลตะกอนเนื้อหยาบจากขอบแอ่ง (พื้นที่ศึกษา) ทางด้านทิศตะวันตกและทิศเหนือมาตกสะสมตัวในสัดส่วนที่เพิ่มมากขึ้น

นอกจากข้อมูลแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ ทั้งในรูปของภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์และแผนที่ทางธรณีฟิสิกส์ ที่ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่ง ขอบเขตการแผ่ขยายตัว ความลึกและความหนาในเบื้องต้นของโซนมวลตะกอนเนื้อหยาบทั้ง ๒ โซน ของพื้นที่ศึกษาได้แล้ว ข้อมูลหลุมเจาะของบ่อเจาะสำรวจต่างๆ ที่เจาะขึ้นใหม่ในระหว่างการค้าเนินการโครงการในเวลาต่อมาก็เป็นข้อมูลอีกด้านหนึ่งที่ช่วยตรวจสอบ หรือยืนยันถึงการปรากฏอยู่จริงของโซนมวลตะกอนเนื้อหยาบเหล่านี้ของพื้นที่ศึกษาได้ด้วย กล่าวคือ ข้อมูลหลุมเจาะของบ่อเจาะสำรวจหมายเลข 5541A011 (B02) แสดงหลักฐานว่าเจาะพบชั้นหินหินแกรนิตที่ระดับลึกประมาณ ๕๙ เมตร จากผิวดิน นอกจากนี้ข้อมูลหลุมเจาะดังกล่าวยังแสดงว่ามีตะกอนเนื้อหยาบจำพวกกรวดทรายที่มีดินเหนียวปน (โซนมวลตะกอนเนื้อหยาบด้านบนของชั้นหินแข็งในบริเวณตอนกลางทางด้านทิศเหนือ (ตอนบน) ของพื้นที่ศึกษา) ปิดทับต่อเนื่องขึ้นมาจากชั้นหินแกรนิตจนถึงระดับผิวดินอีกด้วย อีกทั้งข้อมูลหลุมเจาะของบ่อเจาะสำรวจหมายเลข 5541A09 (A02) ที่บริเวณโรงเรียนบ้านท่าเสากระโดง บ้านท่าเสากระโดง หมู่ ๒ ตำบลท่าเสากระโดง อำเภอเมืองกำแพงเพชร (พิกัด ๕๕๗๖๓๓ ตะวันออก/๑๘๐๒๘๙๑ เหนือ) ซึ่งอยู่ใกล้แนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ หมายเลข 3DGrid3-710 (รูปที่ ๕.๕-๗ และรูปที่ ๕.๖-๑) และข้อมูลหลุมเจาะของบ่อเจาะสำรวจหมายเลข 5541A001 (A03) ที่บริเวณโรงเรียนบ้านวังประดา บ้านวังประดา หมู่ ๑๒ ตำบลไตรตรึงษ์ อำเภอเมืองกำแพงเพชร (พิกัด ๕๕๘๒๑๑ ตะวันออก/๑๘๐๒๘๙๑ เหนือ) ซึ่งอยู่ใกล้แนวภาพตัดขวางทางธรณีฟิสิกส์ หมายเลข 3DGrid3-698 และหมายเลข 3DGrid3-710 (รูปที่ ๕.๕-๗ รูปที่ ๕.๖-๑๑ และรูปที่ ๕.๖-๑) ก็แสดงหลักฐานว่ามีการเจาะพบชั้นศิลาแลงทางด้านทิศตะวันตกของโซนมวลตะกอนเนื้อหยาบด้านบนของชั้นหินแข็งในบริเวณตอนกลางทางด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา หนา ๗ เมตร และ ๒๑ เมตร ตามลำดับ

๕.๖.๒ โครงสร้างทางธรณีวิทยา

ลักษณะขอบเขตการแผ่ขยายตัวของชั้นหินแข็งทั้งสามบริเวณ (อันได้แก่ เทือกเขาหินฟิลไลต์ในบริเวณด้านทิศตะวันตก เทือกเขาหินแกรนิตในบริเวณตอนกลางทางด้านทิศเหนือ และมวลหินแอนดีซิดิกทัฟฟ์และหินดินดานสีเทาทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของเทือกเขาหินแกรนิต) และขอบเขตการแผ่ขยายตัวของมวลตะกอนเนื้อหยาบระดับลึกเหนือชั้นหินแข็งทางด้านทิศตะวันตกของเทือกเขาหินแกรนิตที่มีลักษณะเป็นแนวค่อนข้างตรง โดยมีทิศทางการวางตัวอยู่ในแนวประมาณเหนือ - ใต้ ถึงตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ (รูปที่ ๕.๖-๑๕) นับได้ว่าเป็นเครื่องบ่งชี้ที่ค่อนข้างชัดเจนถึงการปรากฏอยู่ของโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญในลักษณะของรอยเลื่อนปกติ (normal faults) ในบริเวณขอบเขตด้านทิศตะวันออกของเทือกเขาหินฟิลไลต์ บริเวณขอบเขตทั้งทางด้านทิศตะวันตกและตะวันออกของเทือกเขาหินแกรนิต รอยเลื่อนปกติดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งรอยเลื่อนปกติบริเวณขอบเขตด้านทิศตะวันออกของเทือกเขาหินแกรนิตที่ต่อเนื่องลงมายังขอบเขตด้านทิศตะวันออกของมวลหินแอนดีซิดิกทัฟฟ์และหินดินดานสีเทาดำ น่าจะมีแนวต่อเนื่องลงไปในพื้นที่ตอนล่างทางด้านทิศใต้ของพื้นที่ศึกษาด้วย และอาจตัดกับแนวของกลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิงที่เป็นกลุ่มรอยเลื่อนตามแนวระดับขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นก่อนแล้วในมหายุคมีโซโซอิก (กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. ๒๕๔๒) ในบริเวณที่อยู่ถัดจากพื้นที่ศึกษาลงไปทางด้านทิศใต้ตามแนวแม่น้ำปิง รอยเลื่อนปกติที่น่าจะถือได้ว่าเป็นรอยเลื่อนบริเวณขอบแอ่งด้านทิศตะวันตก (western boundary fault) ของแอ่งหลัก (main basin) ของแอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน (หรือแอ่งพิษณุโลกในแง่ของการศึกษาด้านแอ่งยุคเทอร์เชียรีของประเทศไทย) ในขณะที่รอยเลื่อนปกติบริเวณขอบเขตการแผ่ขยายตัวด้านทิศ

ตะวันตกของเทือกเขาหินแกรนิตและรอยเลื่อนปกติบริเวณขอบเขตการแผ่ขยายตัวด้านทิศตะวันออกของเทือกเขาหินฟิลโลไลต์น่าจะเป็นรอยเลื่อนปกติที่เป็นตัวกำหนดขอบเขตของแอ่งย่อย (sub-basin) ของแอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง เทือกเขาหินแกรนิตและมวลขนาดใหญ่ของหินแอนดีซิดิกทัฟฟ์และหินดินดานสีเทาดำน่าจะเป็นตัวแบ่งระหว่างแอ่งย่อยทางด้านทิศตะวันตกและแอ่งหลักทางด้านทิศตะวันออกของแอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน โดยมีรอยเลื่อนปกติแนวต่างๆ เป็นตัวกำหนดขอบเขตของแอ่งย่อยและแอ่งหลักดังกล่าวแล้ว นอกจากนี้ ในบริเวณรอยต่อระหว่างมวลหินแกรนิตและมวลหินขนาดใหญ่ของหินแอนดีซิดิกทัฟฟ์และหินดินดานสีเทาดำข้อมูล SkyTEM ยังมีลักษณะที่น่าจะเป็นเครื่องบ่งชี้ได้ว่ามีรอยเลื่อนปกติปรากฏอยู่ โดยมีทิศทางการวางตัวทั้งในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ทั้งนี้ โดยสามารถสังเกตได้จากลักษณะโทนสีที่เป็นแนวค่อนข้างตรง ซึ่งแนวรอยเลื่อนดังกล่าวน่าจะเป็นโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เป็นเหตุให้เกิดร่องลึกพาดผ่านบริเวณตอนบนของมวลหินแอนดีซิดิกทัฟฟ์และหินดินดานสีเทาดำ (ข้อมูลจากการเจาะสำรวจของหลุมเจาะสำรวจหมายเลข 5541A013 (C02) และหมายเลข 5541A12 (C05) ก็แสดงด้วยว่า ชั้นตะกอนที่สะสมตัวอยู่ในบริเวณนี้มีความหนาแน่นมากกว่าชั้นตะกอนที่สะสมตัวอยู่เหนือมวลหินแอนดีซิดิกทัฟฟ์และหินดินดานสีเทาดำ)



รูปที่ ๕.๖-๑๕ แบบจำลองแผนที่ทางธรณีวิทยาแบบ ๒ มิติ จากข้อมูล SkyTEM ในรูปของแบบจำลองทางธรณีฟิสิกส์ของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษา ตามแผนที่ทางธรณีฟิสิกส์แสดงการแปรเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริงของชั้นธรณีในแบบ ๒ มิติ ในช่วงความลึก ๒๔๕-๒๕๐ เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง แสดงการแผ่ขยายตัวของชั้นหินแข็งและโครงสร้างหลักทางธรณีวิทยา (รอยเลื่อนปกติบริเวณขอบเขตแอ่งย่อยและแอ่งหลักของแอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน)

๕.๖.๓ ธรณีวิทยาแปรสัณฐานที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยาของการตกสะสมตัวของตะกอน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับ (๑) ลักษณะการแผ่ขยายตัวของหินแข็งและตะกอน (๒) ลำดับการตกสะสมตัวของตะกอนในช่วงความลึกต่างๆ และ (๓) โครงสร้างทางธรณีวิทยา ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น พอจะทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ได้เกิดเหตุการณ์ธรณีวิทยาแปรสัณฐานขึ้นในพื้นที่ศึกษา (ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน) อย่างน้อย ๓ ครั้ง ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

๕.๖.๓.๑ การเกิดเหตุการณ์ธรณีวิทยาแปรสัณฐานครั้งที่ ๑

จากข้อสันนิษฐานเกี่ยวกับการเกิดรอยเลื่อนปกติที่มีลักษณะเป็นแนวตรงขึ้นในบริเวณแนวขอบเขตการแผ่ขยายตัวทางด้านทิศตะวันออกของเทือกเขาหินแกรนิตและมวลขนาดใหญ่ระดับลึกของหินแอนดีไซต์กัทพ์ และหินดินดานสีเทาดำในบริเวณตอนล่างของพื้นที่ศึกษา (รอยเลื่อนปกติบริเวณขอบด้านทิศตะวันตกของแอ่งหลักของแอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน) ดังกล่าวข้างต้นนั้น รอยเลื่อนปกติดังกล่าวน่าจะเป็นผลมาจากการเกิดเหตุการณ์ธรณีวิทยาแปรสัณฐานในช่วงตอนปลายมหายุคมีโซโซอิกต่อกับช่วงตอนต้นมหายุคซีโนโซอิก (ปลายยุคครีเทเชียสต่อกับต้นยุคเทอร์เชียรี) หรือกระบวนการก่อเทือกเขาหิมาลัย (Himalayan orogeny) โดยเป็นการชนปะทะกันของแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นสมุทรอินเดียและแผ่นเปลือกโลกภาคพื้นทวีปยูเรเชีย เมื่อประมาณสมัยอีโอซีนตอนต้น หรือประมาณ ๕๐ ล้านปีมาแล้ว และต่อมาเกิดการผ่อนคลายแรงลงและเกิดการขยายตัวของแผ่นดินในแนวตะวันออก - ตะวันตก ที่ส่งผลทำให้เกิดร่องทรุดตามแนวตะเข็บ หรือรอยต่อธรณีเดิม (แนวเปราะบางเดิม) ระหว่างแผ่นเปลือกโลกชานไทยและแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน จนเกิดเป็นแอ่งเทอร์เชียรีต่างๆ ขึ้น โดยร่องทรุดหรือแอ่งเทอร์เชียรีดังกล่าวเกิดขึ้นพร้อมกับการเกิดรอยเลื่อนปกติบริเวณขอบแอ่งที่วางตัวในแนวประมาณเหนือ - ใต้ (กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. ๒๕๔๒)

อนึ่ง รอยเลื่อนปกติบริเวณแนวขอบเขตการแผ่ขยายตัวทางด้านทิศตะวันตกของเทือกเขาหินแกรนิตและบริเวณแนวขอบเขตการแผ่ขยายตัวทางด้านทิศตะวันออกของเทือกเขาหินฟิลโลต์ ที่ก่อให้เกิดแอ่งย่อยในบริเวณตอนบนของพื้นที่ศึกษา ก็น่าจะเป็นผลมาจากการเกิดเหตุการณ์ธรณีวิทยาแปรสัณฐานครั้งนี้ด้วย

๕.๖.๓.๒ เหตุการณ์ธรณีวิทยาแปรสัณฐานครั้งที่ ๒

การตกทับถมของมวลตะกอนเนื้อหยาบระดับลึกเหนือชั้นหินแข็ง ที่มีแนวขอบเขตการแผ่ขยายตัวทางด้านทิศตะวันตกในลักษณะเกือบเป็นแนวเส้นตรง และมีทิศทางการวางตัวในแนวประมาณตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ (เช่นเดียวกันกับแนวขอบเขตการแผ่ขยายตัวด้านทิศตะวันตกของมวลตะกอนเนื้อหยาบระดับลึก แต่อยู่ถัดไปทางทิศตะวันตกมากกว่า) น่าจะเป็นผลมาจากการเกิดเหตุการณ์ธรณีวิทยาแปรสัณฐานในครั้งต่อมา ในลักษณะที่เกิดการยกตัวขึ้นอย่างค่อนข้างรุนแรงและรวดเร็วของบริเวณขอบแอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบนด้านทิศตะวันตก ร่วมกับการเกิดรอยเลื่อนปกติและร่องทรุดขึ้นในแนวประมาณเหนือ - ใต้ ในบริเวณใกล้ขอบแอ่งก่อนที่จะเกิดการผุพังทำลายของชั้นหินแข็งในบริเวณขอบแอ่งที่ยกตัวสูงขึ้น กลายเป็นตะกอนต่างๆ ที่ถูกพัดพามาตกทับถมกันภายในแอ่งในเวลาต่อมา อนึ่ง สิ่งที่น่าจะเป็นเครื่องบ่งชี้ หรือยืนยันได้ถึงการเกิดเหตุการณ์ธรณีวิทยาแปรสัณฐานที่ค่อนข้างรุนแรงและรวดเร็วคือ มวลตะกอนเนื้อหยาบระดับลึก

ดังกล่าวประกอบด้วยตะกอนจำพวกกรวดใหญ่ (cobble) ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดถึงกว่า ๑๐ มิลลิเมตร และมีการตกสะสมตัวกันค่อนข้างหนาแน่น โดยสิ่งที่น่าสนใจจะเป็นเครื่องบ่งชี้ หรือยืนยันได้ถึงการเกิดร่องรอยตามแนวรอยเลื่อนปกติใกล้ขอบแอ่งก็คือ แนวขอบเขตการแผ่ขยายตัวทางด้านทิศตะวันตกของมวลตะกอนเนื้อหยาบระดับลึกเหนือชั้นหินแข็งที่มีลักษณะเกือบเป็นแนวเส้นตรงดังกล่าว

๕.๖.๓.๓ เหตุการณ์ธรณีวิทยาแปรสัณฐานครั้งที่ ๓

การตกทับถมของมวลตะกอนเนื้อหยาบระดับตื้นใกล้ผิวดินที่ไม่หนาแน่นนัก แต่มีการแผ่ขยายตัวครอบคลุมพื้นที่ค่อนข้างกว้างขวางอย่างไม่ต่อเนื่องกันตลอดในเขตจังหวัดกำแพงเพชร (แผ่ขยายตัวสลับกับบริเวณที่มีตะกอนเนื้อละเอียดจำพวกดินเหนียวตกสะสมตัวอยู่) น่าจะเป็นผลมาจากการเกิดเหตุการณ์ธรณีวิทยาแปรสัณฐานครั้งหลังสุด ในลักษณะที่เกิดการยกตัวขึ้นของพื้นที่ขอบแอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบนด้านทิศตะวันตกที่ค่อนข้างรวดเร็วแต่ไม่รุนแรงมากนัก ร่วมกับการเกิดรอยเลื่อนปกติขึ้นในแนวประมาณเหนือ - ใต้ ในบริเวณใกล้ขอบแอ่ง ก่อนที่จะเกิดการยุบตัวทำลายของชั้นหินแข็งในบริเวณขอบแอ่งที่ยกตัวสูงขึ้น กลายเป็นตะกอนต่างๆ ที่ถูกพัดพามาตกทับถมกันภายในแอ่งในเวลาต่อมา สิ่งที่น่าสนใจจะเป็นเครื่องบ่งชี้ หรือยืนยันได้ถึงการเกิดเหตุการณ์ธรณีวิทยาแปรสัณฐานที่ค่อนข้างรวดเร็วแต่ไม่รุนแรงมากนักคือ มวลตะกอนเนื้อหยาบระดับตื้นดังกล่าวประกอบด้วยตะกอนจำพวกกรวดเล็ก (gravel and pebble) และทรายหยาบ ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดไม่เกิน ๘-๑๐ มิลลิเมตร และมีการตกสะสมตัวกันค่อนข้างบาง (เมื่อเปรียบเทียบกับมวลตะกอนเนื้อหยาบระดับลึกหน่วยแรกที่กำลังกล่าวแล้วข้างต้น)

๕.๖.๔ สภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยาของการตกสะสมตัวของตะกอน

จากข้อมูลผลการวิเคราะห์เกี่ยวกับ (๑) ลักษณะการแผ่ขยายตัวของหินแข็งและตะกอน (๒) ลำดับการตกสะสมตัวของตะกอนในช่วงความลึกต่างๆ (๓) โครงสร้างทางธรณีวิทยาและธรณีวิทยาแปรสัณฐานที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยาของการตกสะสมตัวของตะกอนของพื้นที่ศึกษา ดังกล่าวแล้วข้างต้น พอจะทำให้สามารถสรุปสภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยาของการตกสะสมตัวของตะกอนในพื้นที่ศึกษาได้ว่า เป็นแบบธารน้ำพา โดยมีทางน้ำสายหลักพัดพาตะกอนมาตกสะสมตัวกันในบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

๑) บริเวณร่องหุบระดับลึกทางด้านทิศตะวันออกของแนวรอยเลื่อนปกติที่ต่อเนื่องมาจากแนวขอบเขตด้านทิศตะวันออกของเทือกเขาหินแกรนิต (แอ่งหลักของแอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนบน)

๒) บริเวณแอ่งย่อยทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา

๓) บริเวณเนินตะกอนน้ำพารูปพัดที่ระดับบนสุดของพื้นที่ศึกษา

บทที่ ๖

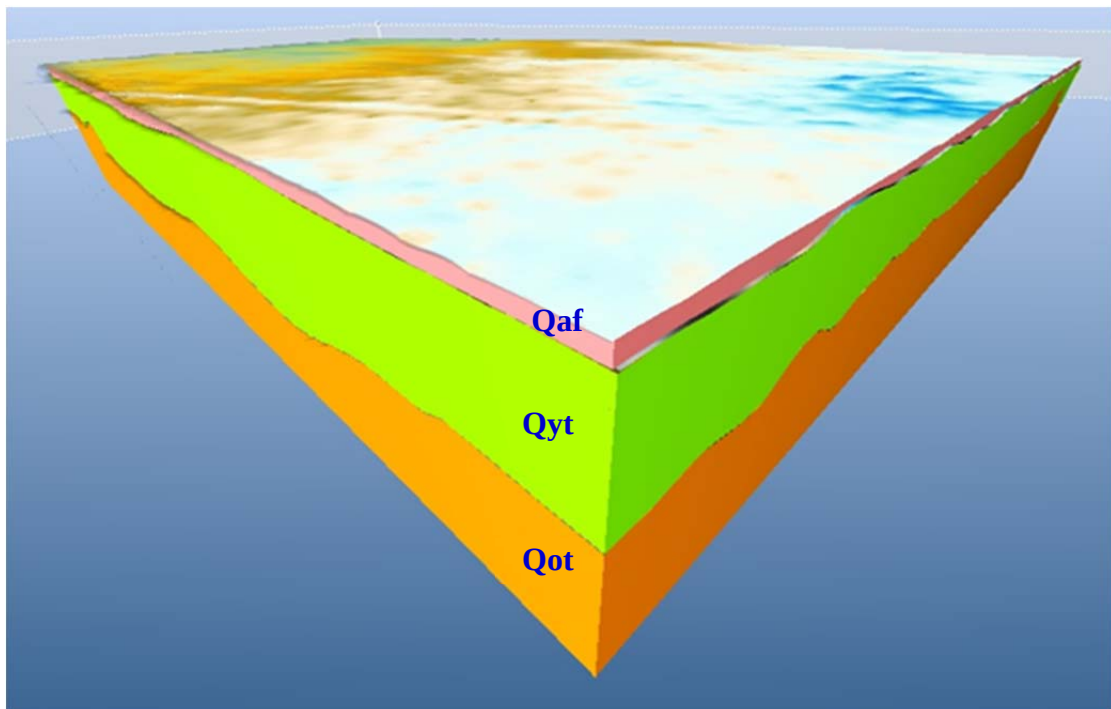
การประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบินสำรวจ เชิงอุทกธรณีวิทยา: รายละเอียดและคุณสมบัติทางศาสตร์ของชั้นหินให้น้ำบาดาล

การประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบินสำรวจเชิงอุทกธรณีวิทยา เป็นการดำเนินการแปลง (transform) ข้อมูล SkyTEM ที่เป็นผลลัพธ์จากขั้นตอนการประมวลผล วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลการบินสำรวจเชิงธรณีวิทยา ซึ่งอยู่ในรูปของแบบจำลองทางธรณีวิทยา (Geological model) ให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางอุทกธรณีวิทยา (Hydrogeological model) ด้วยการจำแนกหรือผนวกรวมหน่วยหินทางธรณีวิทยาที่มีคุณสมบัติในการเป็นแหล่งกักเก็บ น้ำบาดาลที่ใกล้เคียงกันเข้าเป็นหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาหน่วยเดียวกัน

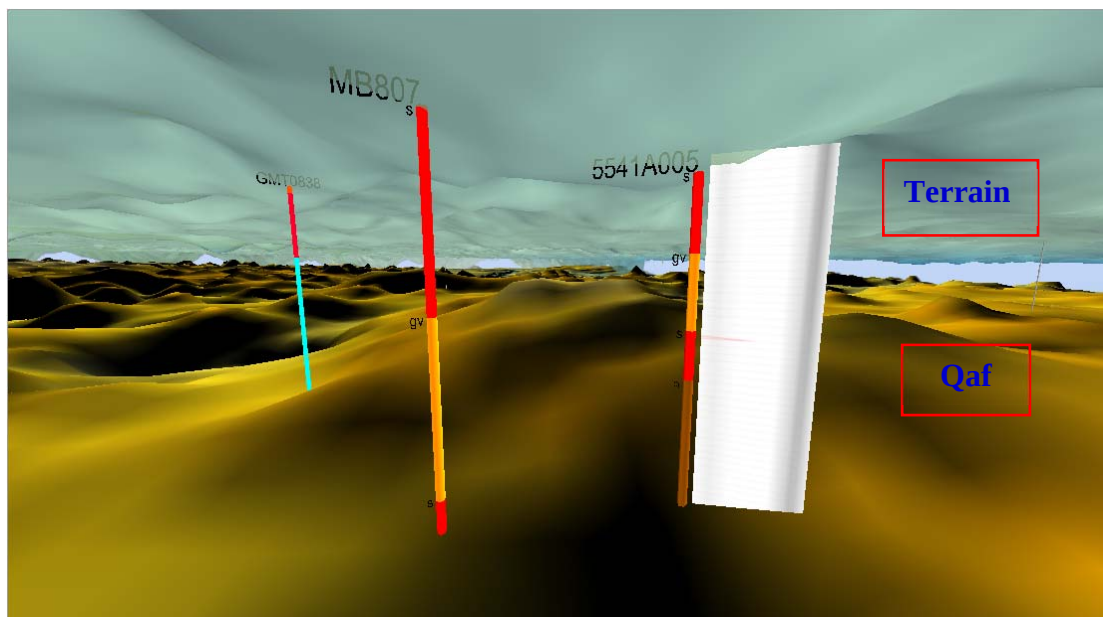
๖.๑ การจัดทำแบบจำลองด้านอุทกธรณีวิทยา

การจัดทำแบบจำลองด้านอุทกธรณีวิทยาถือได้ว่าเป็นขั้นตอนการดำเนินงานที่มีพื้นฐานอยู่บนแบบจำลองด้านธรณีวิทยาที่ได้จัดทำขึ้นแล้ว หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งเป็นการดำเนินการต่อยอดจากแบบจำลองด้านธรณีวิทยา ด้วยการปรับเปลี่ยนการจำแนกหน่วยหินทางธรณีวิทยาเป็นการจำแนกหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งเป็นการผนวกรวมหน่วยหินทางธรณีวิทยาที่มีคุณลักษณะในการเป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันเข้าเป็นหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาหน่วยเดียวกัน โดยยังคงสามารถแสดงขอบเขตและการแผ่ขยายตัวของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาได้ทั้งในรูปแบบ ๒ มิติ และในรูปแบบ ๓ มิติทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาได้เช่นเดียวกับหน่วยหินทางธรณีวิทยา

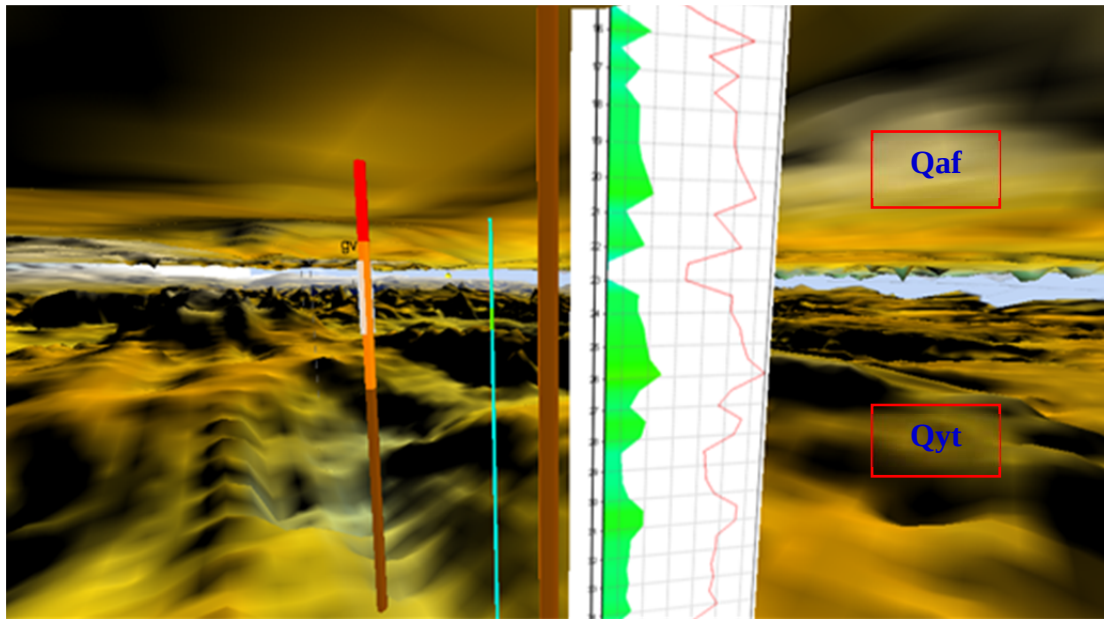
ผลการดำเนินการจัดทำแบบจำลองด้านอุทกธรณีวิทยาแบบ ๓ มิติ ของพื้นที่ศึกษาซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะของพื้นผิวของขอบเขตการแผ่ขยายตัวและความหนาของชั้นหินให้น้ำบาดาลแต่ละชั้น หรือหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาแต่ละหน่วย มีตัวอย่างดังแสดงอยู่ในรูปที่ ๖.๑-๑ ถึง รูปที่ ๖.๑-๔ ทั้งนี้สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมผลของการจัดทำแบบจำลองด้านอุทกธรณีวิทยาแบบ ๓ มิติ ในมุมมองต่างๆ และรายละเอียดการแสดงผลข้อมูลต่างๆ ในโปรแกรมสำเร็จรูป GeoScene3D โดยเปิดข้อมูล project file ของโปรแกรมที่ได้บรรจุข้อมูลไว้ในแผ่นวีซีดีของโครงการ



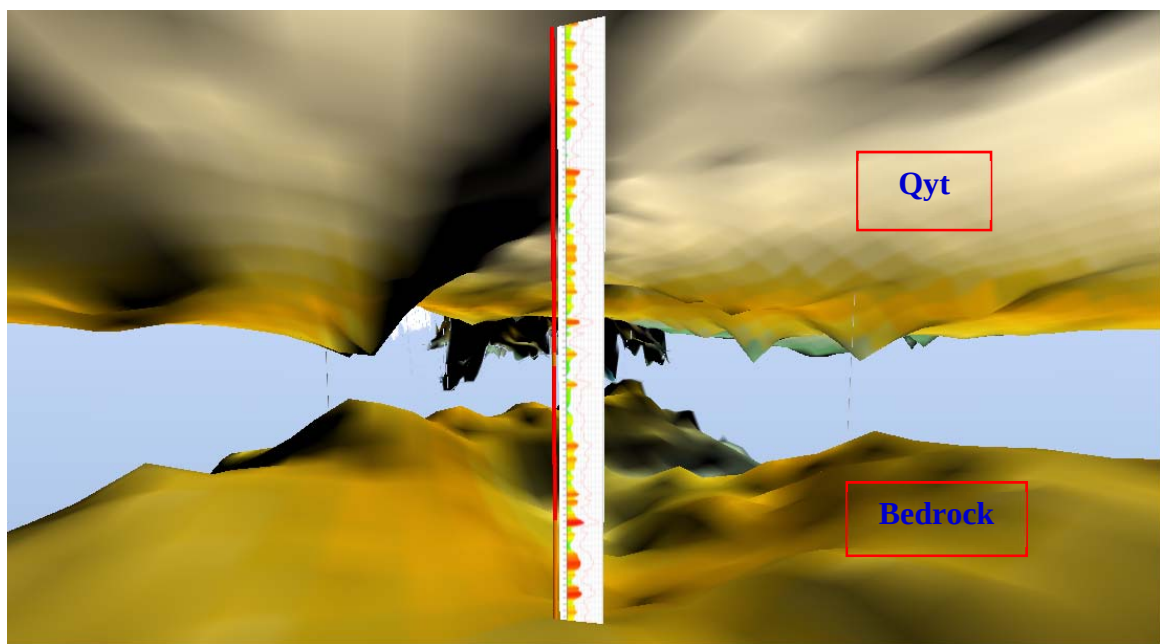
รูปที่ ๖.๑-๑ ภาพ ๓ มิติแสดงพื้นผิวขอบเขตการแผ่ขยายตัว (boundary surface) ของหน่วยหินหลักทางอุทกธรณีวิทยาในลักษณะของ solid layers



รูปที่ ๖.๑-๒ ภาพ ๓ มิติ แสดงพื้นผิวขอบเขตการแผ่ขยายตัว ของพื้นผิวภูมิประเทศ (Terrain) และพื้นผิวของชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัด (Alluvial Fan Aquifer; Qaf)



รูปที่ ๖.๑-๓ ภาพ ๓ มิติ แสดงพื้นผิวขอบเขตการแผ่ขยายตัว ของชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูป
พัค และชั้นหินให้น้ำตะพักลำนํายุคใหม่ (Younger Terrace Aquifer; Qyt)



รูปที่ ๖.๑-๔ ภาพ ๓ มิติ แสดงพื้นผิวขอบเขตการแผ่ขยายตัว ของชั้นหินให้น้ำตะพักลำนํายุคใหม่
และชั้นหินแข็ง (Bedrock)

๖.๒ รายละเอียดของชั้นหินให้น้ำบาดาล

พื้นที่ศึกษาประกอบขึ้นด้วยหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาหรือชั้นหินให้น้ำบาดาลทั้งในหินร่วน
และหินแข็ง โดยมีรายละเอียดของชั้นหินให้น้ำบาดาลที่เรียงลำดับอายุจากอ่อนสุดไปหาแก่สุด (จาก
ด้านบนลงสู่ด้านล่าง) ดังต่อไปนี้

๖.๒.๑ ชั้นหินให้น้ำบาดาลในหินร่วน (Unconsolidated-rocks aquifers)

๑) ชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา (Alluvial and/or flood-plain aquifer; Qa/Qfd) เป็นชั้นหินให้น้ำบาดาลที่มีอายุน้อยสุด (ประมาณ ๑,๐๐๐-๑๐,๐๐๐ ปีก่อนปัจจุบัน) และวางตัวปิดทับอยู่ด้านบนสุดของบรรดาชั้นหินให้น้ำบาดาลในหินร่วนทั้งหมด โดยแผ่ขยายตัวครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา กล่าวคือ ในบริเวณที่มีระดับภูมิประเทศค่อนข้างสูงและ/หรือรองรับด้วยชั้นหินดาน (bedrock) ระดับต้น ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ทางด้านตะวันตกตอนบนของพื้นที่ศึกษา ชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้มีความหนาไม่มากนักเฉลี่ยประมาณ ๖-๑๕ เมตร แต่เมื่อเข้าสู่บริเวณที่ราบลุ่มจะมีความหนาเพิ่มมากขึ้นถึง ๑๕-๓๕ เมตร และยิ่งกว่านั้นเมื่อเข้าสู่บริเวณที่ราบลุ่มน้ำหลาก (flood plain) ของทางน้ำสายหลัก (แม่น้ำปิง แม่น้ำยม และแม่น้ำน่าน) และทางน้ำสาขาต่างๆ จะมีความหนามากที่สุดถึงกว่า ๔๘ เมตร ที่ราบลุ่มน้ำหลากของแม่น้ำปิง ในเขตท้องที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอคลองขลุง และอำเภอขาณุวรลักษบุรี จังหวัดกำแพงเพชร มีความกว้างประมาณ ๐.๕-๑ กิโลเมตร รองรับด้วยชั้นตะกอนกรวดทรายท้องน้ำที่มีความหนาถึง ๕-๒๐ เมตร ที่บริเวณท้องน้ำแม่น้ำปิง โดยตะกอนกรวดทรายดังกล่าวมีขนาดของเม็ดตะกอนตั้งแต่ทรายเม็ดละเอียดถึงกรวดขนาด ๕ มิลลิเมตร ที่มีความกลมมนถึงกลมมนดีและมีการคัดขนาดปานกลางถึงดี

๒) ชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัด (Alluvial fan aquifers; Qaf1 และ Qaf2) เป็นชั้นหินให้น้ำบาดาลที่มีอายุแก่ถัดขึ้นมาจากชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา และรองรับอยู่ข้างใต้ชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพาที่มีส่วนล่างสุดเป็นชั้นดินเหนียวที่ค่อนข้างหนา มีการแผ่ขยายตัวครอบคลุมพื้นที่ศึกษาในส่วนที่เป็นแอ่งที่ราบลุ่มทั้งสองฝั่งของแม่น้ำปิง ชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้แบ่งออกได้เป็น ๒ หน่วยย่อย ได้แก่ ชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดยุคใหม่ (Younger alluvial fan aquifer; Qaf1) และชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดยุคเก่า (Older alluvial fan aquifer; Qaf2) ซึ่งมีรายละเอียดโดยสังเขปที่พอจะแยกกล่าวได้ตามลำดับดังต่อไปนี้

๒.๑) ชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดยุคใหม่ (Younger alluvial fan aquifer; Qaf1) มีอายุการเกิดอยู่ในช่วงสมัยไพลสโตซีนตอนกลางถึงตอนปลาย ประกอบด้วยตะกอนจำพวกทรายหยาบและกรวดที่มีขนาดเม็ดตะกอนตั้งแต่ทรายหยาบถึงกว่า ๒๐ มิลลิเมตร มีความกลมมนเป็นเหลี่ยมถึงกลมมนดี มีการคัดขนาดไม่ดีถึงดี แผ่ขยายตัวครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ด้านตะวันออกของอำเภอพรานกระต่าย และอำเภอเมืองกำแพงเพชรไปจนถึงขอบพื้นที่ศึกษาด้านตะวันออก ในท้องที่อำเภอพรานกระต่าย อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอลานกระบือ อำเภอไทรงาม มีชั้นให้น้ำอยู่ในช่วงความลึกประมาณ ๕-๓๕ เมตร จากผิวดิน

๒.๒) ชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดยุคเก่า (Older alluvial fan aquifer; Qaf2) มีช่วงอายุการเกิดอยู่ในไพลสโตซีนตอนกลาง ประกอบด้วยตะกอนจำพวกทรายหยาบและกรวดที่มีขนาดเม็ดตะกอนตั้งแต่ทรายหยาบถึงกว่า ๒๐ มิลลิเมตร มีความกลมมนแบบเป็นเหลี่ยมถึงกลมมนดี มีการคัดขนาดไม่ดีถึงดี แผ่ขยายตัวครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ตอนล่างทางด้านตะวันตกของอำเภอเมืองกำแพงเพชร ลงไปจนถึงบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำปิงฝั่งตะวันตก ในท้องที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอคลองขลุง อำเภอปางศิลาทอง อำเภอขาณุวรลักษบุรี จังหวัดกำแพงเพชร โดยมีชั้นให้น้ำอยู่ในช่วงความลึกประมาณ ๑๐-๔๕ เมตร จากผิวดิน ชั้นหินให้น้ำบาดาลทั้งสองหน่วยนี้มีลักษณะทางด้านอุทกธรณีวิทยาที่คล้ายคลึงกันมาก เพียงแต่มีช่วงอายุการเกิดและแหล่งต้นกำเนิด

ตะกอนที่ต่างกันเท่านั้น นอกจากนี้ชั้นหินให้น้ำบาดาลทั้งสองหน่วยนี้นับได้ว่าเป็นแหล่งน้ำบาดาลระดับต้นที่สำคัญของพื้นที่ศึกษาอีกด้วย

๓) ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ (Younger terrace deposits aquifer: Qyt) ประกอบด้วยตะกอนจำพวกกรวดและทรายปนดินเหนียว ตะกอนกรวดและทราย มีความกลมมนถึงกลมมนดี มีการคัดขนาดไม่ดีถึงดี ส่วนใหญ่มีชั้นดินเหนียวและ/หรือชั้นดินเหนียวปนทรายค่อนข้างหนา แทรกสลับด้วยกระเปาะกรวดปนทราย บางแห่งอาจมีชั้นกรวดปนทรายหนาพอสมควร ชั้นหินให้น้ำนี้แผ่ขยายทั่วทั้งพื้นที่ของแอ่งที่ราบลุ่ม โดยถูกปิดทับด้วยชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดและชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพาสสมัยปัจจุบัน จากภาพตัดขวางแสดงชั้นน้ำพบว่า ชั้นหินให้น้ำชั้นนี้แผ่ขยายตัวอยู่ในช่วงความลึกประมาณ ๒๕-๑๒๐ เมตร ความหนาของชั้นน้ำแตกต่างกันไปแล้วแต่พื้นที่ มีความหนาเฉลี่ยประมาณ ๑๕-๑๐๐ เมตร ชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้แบ่งออกได้เป็น ๒ ชั้น โดยมีชั้นดินเหนียวเป็นตัวคั่นแยก ดังนี้

๓.๑) ชั้นแรกเป็นชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ช่วงตอนบน (Qyt1) ซึ่งมีอายุน้อยกว่า มีการแผ่ขยายตัวอยู่ในช่วงความลึกประมาณ ๒๕-๗๐ เมตรจากผิวดิน มีความหนาประมาณ ๑๕-๕๐ เมตร

๓.๒) ชั้นที่สองเป็นชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ช่วงตอนล่าง (Qyt2) ซึ่งมีอายุแก่กว่า มีการแผ่ขยายตัวอยู่ในช่วงความลึกประมาณ ๗๐-๑๒๐ เมตร มีความหนาประมาณ ๑๐-๗๐ เมตร

๔) ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่า (Older terrace deposits aquifer: Qot) ประกอบด้วยตะกอนจำพวกทรายหยาบและกรวดหยาบปนดินเหนียว มีความกลมมนถึงเหลี่ยมถึงกลมมนดี มีการคัดขนาดไม่ดีถึงดี แผ่ขยายตัวทั่วทั้งพื้นที่ของแอ่งที่ราบลุ่ม โดยถูกปิดทับด้วยชั้นหินให้น้ำตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ในพื้นที่บริเวณขอบแอ่งน้ำบาดาล แผ่ขยายตัวครอบคลุมพื้นที่ตอนบนด้านตะวันตกและตอนล่างด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเป็นตะพักกลุ่มน้ำขั้นสูง คุณลักษณะในการกักเก็บน้ำค่อนข้างดี เกณฑ์การให้น้ำต่างกันไปแล้วแต่พื้นที่ กล่าวคือบริเวณใจกลางแอ่งให้น้ำมากกว่าบริเวณขอบแอ่ง ชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้แบ่งออกได้เป็น ๔ ชั้น โดยมีชั้นดินเหนียวเป็นตัวคั่นแยก ดังนี้

๔.๑) ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่าช่วงตอนบน (Qot1) พบแผ่ขยายตัวอยู่ในช่วงความลึกประมาณ ๑๕-๗๕ เมตรจากผิวดิน มีความหนาประมาณ ๒๐-๑๕๐ เมตร คุณลักษณะในการกักเก็บน้ำค่อนข้างดี ให้น้ำปานกลางถึงดี

๔.๒) ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่าช่วงตอนกลาง (Qot2) แผ่ขยายตัวอยู่ในช่วงความลึกประมาณ ๑๓๐-๒๒๐ เมตรจากผิวดิน คุณลักษณะในการกักเก็บน้ำค่อนข้างดี ให้น้ำปานกลางถึงดี

๔.๓) ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่าช่วงตอนล่าง (Qot3) แผ่ขยายตัวอยู่ในช่วงความลึกประมาณ ๒๐๕-๒๔๐ เมตรจากผิวดิน (ในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลการพัฒนาจากชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้)

๔.๔) ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่าช่วงตอนล่างสุด (Qot4) แผ่ขยายตัวอยู่ในช่วงความลึกตั้งแต่ประมาณ ๒๕๐ เมตรจากผิวดิน (ในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลการพัฒนาจากชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้)

นอกจากนี้ยังพบว่าชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกอนตะกอนน้ำยุคเก่านี้ มีส่วนที่ปรากฏบนผิวดินอยู่ในบริเวณทางด้านตะวันตกและตอนบนของพื้นที่ศึกษาในท้องที่เขตอำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอปางศิลาทอง อำเภอชาลวาลักษณ์บุรี จังหวัดกำแพงเพชร มีความหนาและความลึกเปลี่ยนแปลงไปตามพื้นที่ ซึ่งความหนาโดยประมาณของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกอนน้ำยุคเก่าส่วนที่ปรากฏบนผิวดินนั้นหนาประมาณ ๒๐-๑๕๐ เมตร

๕) ชั้นหินให้น้ำตะกอนเศษหินเชิงเขา (Colluvial deposits aquifers; Qcl) ประกอบด้วยตะกอนจำพวกทรายแป้ง ทราย กรวด และเศษหิน มีลักษณะเป็นเหลี่ยมและมีการคัดขนาดไม่ดีถึงปานกลาง แฉะขยายตัวครอบคลุมบริเวณเชิงเขาตามขอบแอ่งน้ำบาดาลหรือพื้นที่ศึกษาโดยแผ่ขยายตัวอยู่ในช่วงความลึกประมาณ ๑๐-๒๐ เมตรจากผิวดิน แต่พบว่าในบางพื้นที่มีความหนาไม่มากนักเนื่องจากมีหินแข็งรองรับอยู่

๖.๒.๒ ชั้นหินให้น้ำบาดาลในหินแข็ง (Consolidated-rocks aquifers)

น้ำบาดาลในหินแข็ง ประกอบด้วยชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยต่างๆ ที่เรียงลำดับอายุจากอ่อนสุดไปหาแก่สุด (จากด้านบนลงสู่ด้านล่าง) ดังนี้

๑) ชั้นหินให้น้ำบาดาลในหินชั้นและหินแปร (Sedimentary and metamorphic aquifers)

๑.๑) ชั้นหินให้น้ำหินแปรยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน (Silurian-Devonian metamorphic aquifer; SDmm) ประกอบด้วยหินฟิลไลต์ หินควอร์ตไซต์ หินชีสต์ และหินควอร์ตไซต์ยุคไซลูเรียนถึงดีโวเนียน น้ำบาดาลถูกกักเก็บอยู่ในรอยแตกและรอยเลื่อน (ชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้มีค่าความพรุนปฐมภูมิ (Primary effective porosity) ๖.๓๕ เปอร์เซ็นต์) เป็นชั้นหินให้น้ำบาดาลของกลุ่มหินที่มีการแปรสภาพไปเป็นหินแปร แฉะขยายตัวในลักษณะเป็นแนวภูเขาขนาดเล็กที่ไม่สูงชัน ที่มีทิศทางการวางตัวในแนวประมาณเหนือ-ใต้ ในบริเวณตอนบนด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษาในท้องที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร มีความลึกถึงชั้นให้น้ำประมาณ ๕-๕๐ เมตรจากผิวดิน มีน้ำบาดาลกักเก็บอยู่ในชั้นหินผุและรอยแตก/รอยแยก มีความลึกถึงชั้นหินให้น้ำประมาณ ๖๐ เมตรจากผิวดิน

๖.๓ คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินให้น้ำบาดาล

ค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินให้น้ำบาดาลได้จากการดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลการสุบทดสอบปริมาณน้ำของบ่อน้ำบาดาลแต่ละบ่อด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (software package) ชื่อ Aquifer Test, Version 2.57 ที่พัฒนาโดยบริษัท Waterloo Hydrogeologic Inc. ดังผลการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของบ่อน้ำบาดาลที่เจาะและพัฒนาขึ้นใหม่ในพื้นที่ศึกษาที่แสดงอยู่ในตารางที่ ๖.๓-๑

อย่างไรก็ตาม ในการดำเนินการประมวลผลวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลด้านคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินให้น้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา มีแนวคิดในการดำเนินการดังนี้

ชั้นหินให้น้ำบาดาลแต่ละชั้นหรือหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาแต่ละหน่วยย่อมมีค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ที่จำเพาะอยู่ในช่วงค่าหนึ่งซึ่งอาจเป็นช่วงค่าที่แคบหรือกว้างและอาจใกล้เคียงหรือแตกต่างจากช่วงค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินให้น้ำบาดาลชั้นอื่นๆ หรือหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาหน่วยอื่นๆ โดยค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์จะเป็นเครื่องบ่งชี้ที่สำคัญถึงลักษณะทางกายภาพโดยรวมของเนื้อหินหรือเนื้อตะกอน (lithology) ที่ประกอบกันเป็นชั้นหินให้น้ำบาดาล

ชั้นหนึ่งๆ รวมทั้งยังเป็นเครื่องบ่งชี้ที่สำคัญถึงความแตกต่างกันในลักษณะทางกายภาพของเนื้อหินหรือตะกอนในส่วนต่างๆ ของชั้นหินให้น้ำบาดาลแต่ละชั้นด้วย (หากส่วนต่างๆ ของชั้นหินให้น้ำบาดาลนั้นมีค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกันออกไป) นอกจากนี้ค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินให้น้ำบาดาลยังมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติด้านอื่นๆ ของชั้นหินให้น้ำบาดาลและสามารถใช้เป็นเครื่องช่วยสนับสนุนในการดำเนินการประมวลผลวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลอุทกธรณีวิทยา ด้านอื่นๆ ของชั้นหินให้น้ำบาดาลได้ด้วย

ตารางที่ ๖.๓-๑ ผลการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของบ่อน้ำบาดาลที่เจาะและพัฒนาขึ้นใหม่ในพื้นที่ศึกษา

หมายเลขบ่อ	พิกัดตะวันออก	พิกัดเหนือ	สถานที่	ความลึกพัฒนา (ม)	ระยะท่อกรอง	อัตราการสูบ (ลบ.ม./ชม.)	ระดับน้ำลด(ม.)	T(m2/d)	K(m/d)	ชั้นน้ำบาดาล
5541A001	558209	1802898	โรงเรียนบ้านวังประดา	81.00	69 - 78	11	19.97	21.7	2.41	Qot
5541A002	580301	1807689	วัดธรรมโศภณวนาราม	98.00	86-95	10	24.48	10	1.11	Qot
5541A003	580657	1827251	วัดพรหมสถิตย์	144.00	132-141	4.19	18.4	4.53	0.503	Qot2
5541A004	569206	1809954	วัดกาทั้งสามัคคีธรรม	118.00	106-115	1.7	53.1	1.49	0.166	Qot
5541A005	593787	1816064	โรงเรียนบ้านท้ายวัง	152.00	143-149	30	13.13	56	9.34	Qot
5541A006	591973	1830560	สำนักสงฆ์คุยมะม่วง	230.00	215-227	1.02	28.69	9.57	0.797	Qot
5541A007	595690	1825453	โรงเรียนบ้านเนินสำราญราษฎร์พัฒนา	197.00	185-194	1.04	29.72	0.692	0.0769	Qot
5541A008	549696	1813719	วัดคลองละแวก	-	-	-	-	-	-	-
5541A009	557633	1810841	โรงเรียนบ้านท่าเสากระโดง	217.00	202-214	32.8	9.19	57.3	4.77	Qot
5541A010	570381	1804874	วัดคลองสุวรรณ	137.00	125-134	4.24	17.42	6.88	0.764	Qot
5541A011	566616	1818904	วัดมะกอกหวาน	60.00	40-58	32	12.56	54.4	3.02	Qot
5541A012	576053	1816257	วัดใหม่โคกเจริญ	170.00	145-157	34	34.56	40.9	3.41	Qot
5541A013	581274	1812736	โรงเรียนบ้านโนนใหญ่	142.00	116-134	15	21.89	20.2	1.12	Qot
5541A014	560053	1818237	โรงเรียนบ้านวังโบสถ์	92.00	77-89	10	25.98	9.66	0.805	Qot
5541A015	582824	1816433	วัดจั่วสองนาง (วัดบ้านหนองทอง)	169.00	154-166	14	23.15	9.99	0.832	Qot
5541A016	563238	1817001	วัดไทรย้อย	91.00	73-88	14	26.75	10.3	0.92	Qot
5541A017	591408	1828144	โรงเรียนอินทราวุธ	73.00	58-70	5.50	20	97.1	8.09	Qyt2
5541A018	585423	1830218	วัดเพชรไพรวัลย์	79.00	70-76	5.00	20.21	6.76	1.12	Qyt2

๖.๔ ระบบการไหลของน้ำบาดาล

จากข้อมูลค่าระดับน้ำบาดาลของบ่อน้ำบาดาลที่กระจายตัวอยู่ในพื้นที่ศึกษา นำมาจัดทำเป็นแผนที่แสดงค่าระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในบริเวณพื้นที่ส่วนต่างๆ ของชั้นหินให้น้ำบาดาลแต่ละชั้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

๑) ระดับและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา/ตะกอนลุ่มน้ำหลาก (Groundwater level of Quaternary alluvial and/or flood-plain deposits aquifer: Qa/Qfd)

การดำเนินการจัดทำแผนที่แสดงระดับและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้ในบริเวณพื้นที่ศึกษา บริเวณที่ราบลุ่มน้ำหลากของแม่น้ำปิง ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่แคบๆ ขนาบทั้งสองฝั่งตลอดความยาวของแม่น้ำปิง ไม่สามารถจัดทำเป็นแผนที่แสดงระดับและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลได้

๒) ระดับและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดยุคใหม่ (Groundwater level of Quaternary younger alluvial fan deposits aquifer: Qaf1)

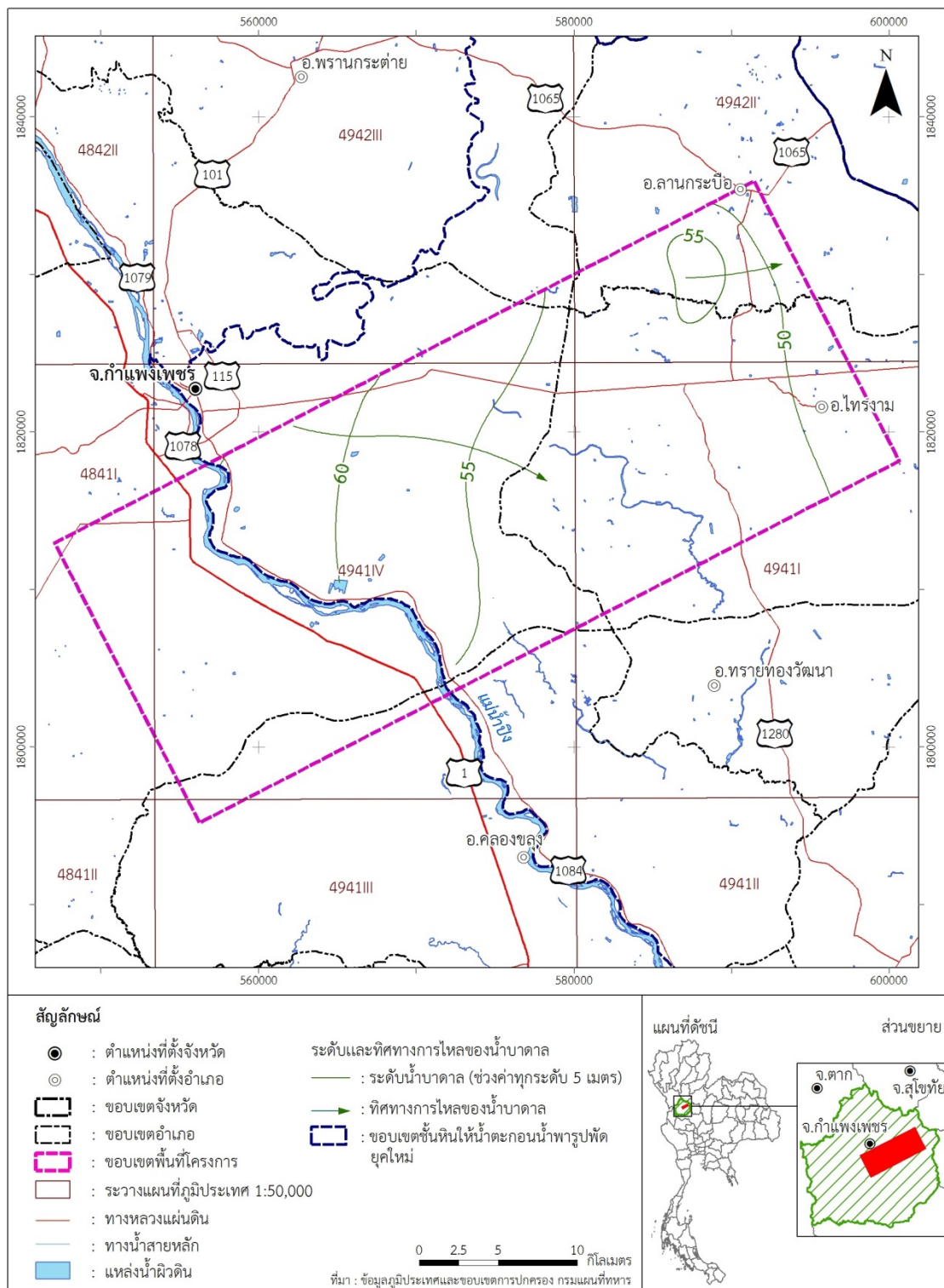
ลักษณะการกระจายตัวของเส้นชั้นระดับและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล ในบริเวณพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอลานกระบือ อำเภอไทรงาม แสดงในรูปที่ ๖.๔-๑ ซึ่งจากแผนที่ดังกล่าว ทำให้พิจารณาได้ว่า น้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดยุคใหม่มีค่าระดับน้ำบาดาลเฉลี่ยประมาณ ๕๕ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง) โดยมีค่าระดับน้ำบาดาลสูงสุด ประมาณ ๖๕ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง) อยู่ในเขตพื้นที่ตำบลเทพนคร อำเภอเมืองกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร โดยน้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้มีทิศทางการไหลจากบริเวณใกล้จุดเริ่มต้นของเนินตะกอนน้ำพารูปพัดทางด้านทิศตะวันตก ซึ่งอยู่ใกล้ริมฝั่งด้านตะวันออกของแม่น้ำปิง ในเขตพื้นที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร ไปยังบริเวณตอนปลายของเนินตะกอนน้ำพารูปพัดทางด้านทิศตะวันออก ในเขตพื้นที่อำเภอลานกระบือ อำเภอไทรงาม จังหวัดกำแพงเพชร

๓) ระดับและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ช่วงตอนบน (Groundwater level of Quaternary younger terrace deposits aquifer-upper part: Qyt1)

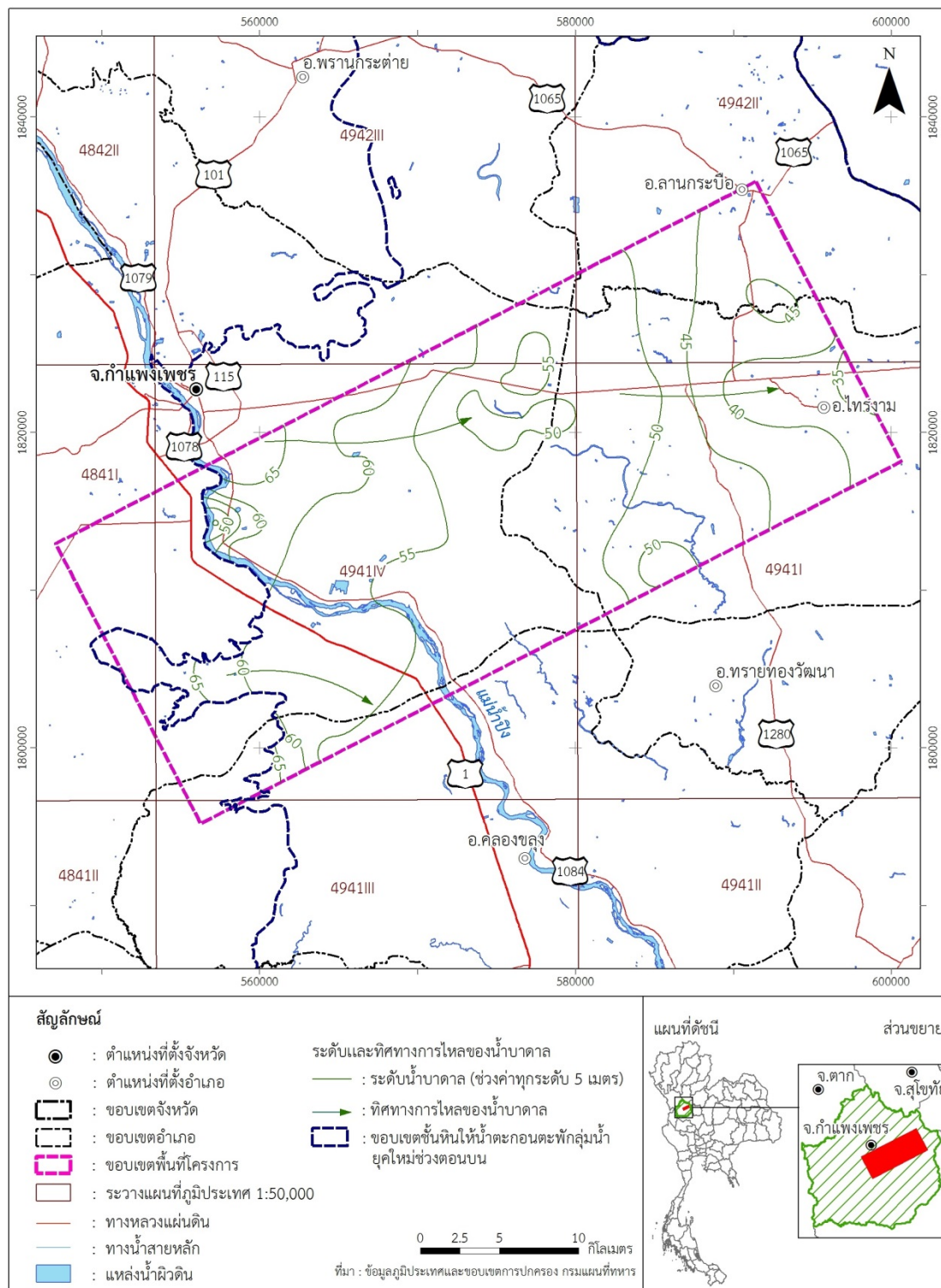
ลักษณะการกระจายตัวของเส้นชั้นระดับและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอไทรงาม อำเภอลานกระบือ แสดงดังรูปในที่ ๖.๔-๒ จากแผนที่ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่าระดับน้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ตอนบน ในบริเวณพื้นที่ศึกษา ระดับน้ำบาดาลเฉลี่ยประมาณ ๕๐ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง) โดยมีค่าระดับน้ำบาดาลสูงสุด ประมาณ ๖๕ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง) โดยน้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้มีทิศทางการไหลที่สอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศ มีทิศทางการไหลจากบริเวณขอบแอ่งทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษาไปยังบริเวณใจกลางแอ่งทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา

๔) ระดับและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ช่วงตอนล่าง (Groundwater level of Quaternary younger terrace deposits aquifer-lower part: Qyt2)

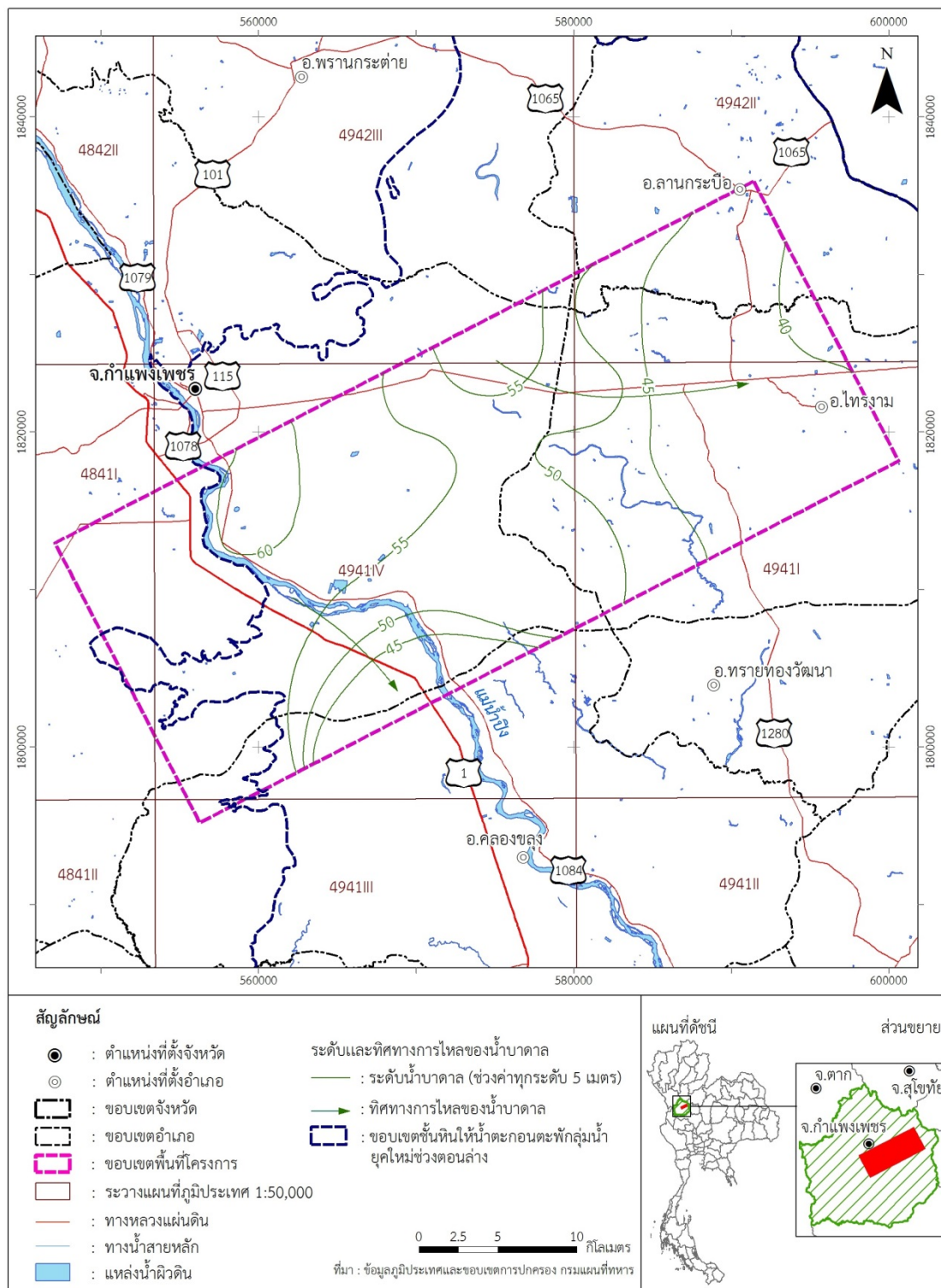
ลักษณะการกระจายตัวของเส้นชั้นระดับและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอไทรงาม อำเภอลานกระบือ ดังแสดงในรูปในที่ ๖.๔-๓ จากแผนที่ดังกล่าว ทำให้พิจารณาได้ว่า ค่าระดับน้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคใหม่ตอนล่างในบริเวณพื้นที่ศึกษา ระดับน้ำบาดาลเฉลี่ยประมาณ ๕๐ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง) โดยมีค่าระดับน้ำบาดาลสูงสุด ประมาณ ๖๐ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง) โดยน้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้มีทิศทางการไหลที่สอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศ กล่าวคือ ในเขตพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร มีทิศทางการไหลจากบริเวณขอบแอ่งทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษาไปยังบริเวณใจกลางแอ่งทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา



รูปที่ ๖.๔-๑ แผนที่แสดงค่าระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลของชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปตัวยุกใหม่ (Qaf1)



รูปที่ ๖.๔-๒ แผนที่แสดงค่าระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัณน้ำยุคใหม่ช่วงตอนบน (Qyt1)



รูปที่ ๖.๔-๓ แผนที่แสดงค่าระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกั่วกลุ่มน้ำยุคใหม่ช่วงตอนล่าง (Qyt2)

๕) ระดับและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่า ช่วงตอนบน (Groundwater level of Quaternary older terrace deposits aquifer-upper part: Qot1)

ลักษณะการกระจายตัวของเส้นชั้นระดับและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอไทรงาม อำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร ดังแสดงในรูปที่ ๖.๔-๔ จากแผนที่ดังกล่าว ทำให้พิจารณาได้ว่า น้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่าช่วงตอนบนมีค่าระดับน้ำบาดาลค่อนข้างสูง โดยมีค่าระดับน้ำบาดาลเฉลี่ยประมาณ ๕๕ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง) และมีค่าระดับน้ำบาดาลสูงสุดไม่ต่ำกว่า ๘๐ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง) ในเขตพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดกำแพงเพชร โดยน้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้มีทิศทางการไหลที่สอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศกล่าวคือ มีทิศทางการไหลจากบริเวณขอบแอ่งทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษาไปยังบริเวณใจกลางแอ่งทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา

๖) ระดับและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่า ช่วงตอนกลาง (Groundwater level of Quaternary older terrace deposits aquifer-middle part: Qot2)

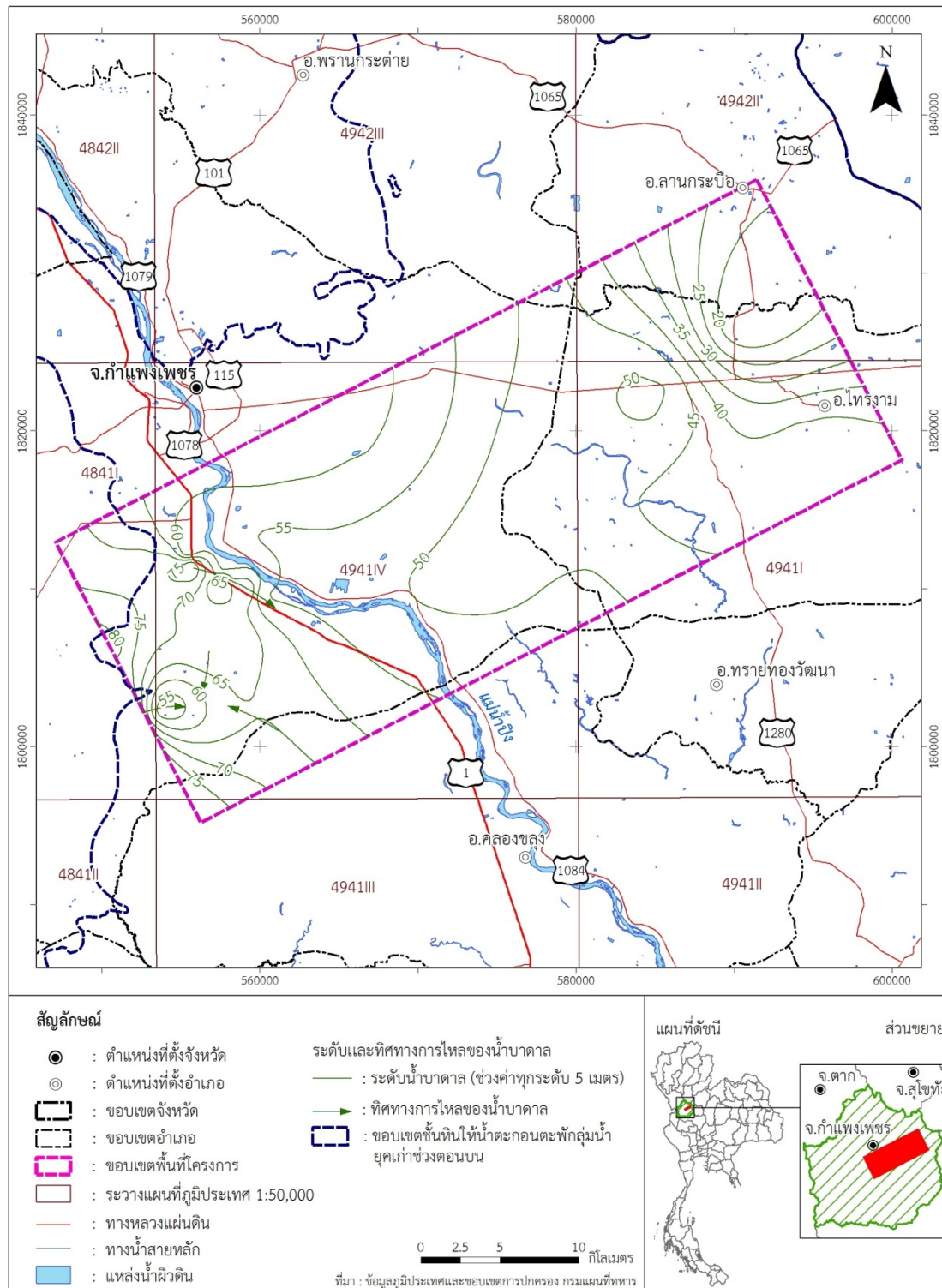
ลักษณะการกระจายตัวของเส้นชั้นระดับและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมืองกำแพงเพชร อำเภอไทรงาม อำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร ดังแสดงในรูปที่ ๖.๔-๕ จากแผนที่ดังกล่าว ทำให้พิจารณาได้ว่า น้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำยุคเก่าช่วงตอนบนมีค่าระดับน้ำบาดาลค่อนข้างสูง โดยมีค่าระดับน้ำบาดาลเฉลี่ยประมาณ ๖๐ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง) และมีค่าระดับน้ำบาดาลสูงสุดไม่ต่ำกว่า ๘๐ เมตร (เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง) ในเขตพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดกำแพงเพชร โดยน้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยนี้มีทิศทางการไหลที่สอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศกล่าวคือ มีทิศทางการไหลจากบริเวณขอบแอ่งทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษาไปยังบริเวณใจกลางแอ่งทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา

๖.๕ การแผ่ขยายตัวของพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำ

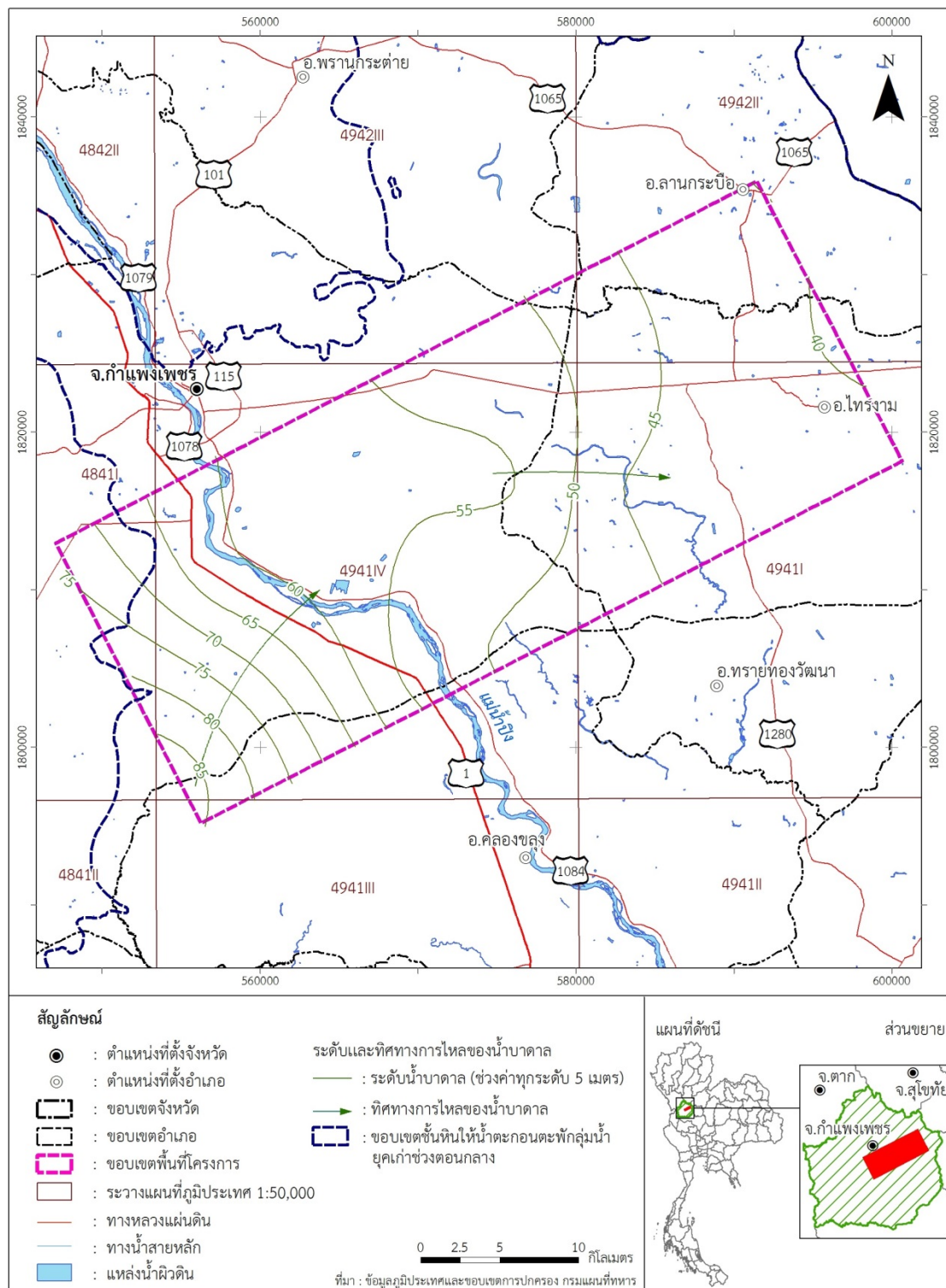
การดำเนินการวิเคราะห์ แปลความหมายและประมวลผลข้อมูลด้านการแผ่ขยายตัวของพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำในพื้นที่ศึกษา ดำเนินการโดยอาศัยข้อบ่งชี้หรือปัจจัยขั้นพื้นฐาน ๔ ประการ ได้แก่ (๑) สภาพภูมิประเทศ (topography) (๒) ดินและลักษณะสำคัญของพื้นผิวดิน (soil and land features) (๓) แนวโน้ม (การเปลี่ยนแปลง) ของลักษณะทางอุทกเคมี (hydrochemical trends) (๔) รูปแบบของระดับแรงดันน้ำบาดาล (piezometric pattern)

ได้ผลลัพธ์เป็นการแผ่ขยายตัวของพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำในพื้นที่ศึกษา แสดงดังรูปที่

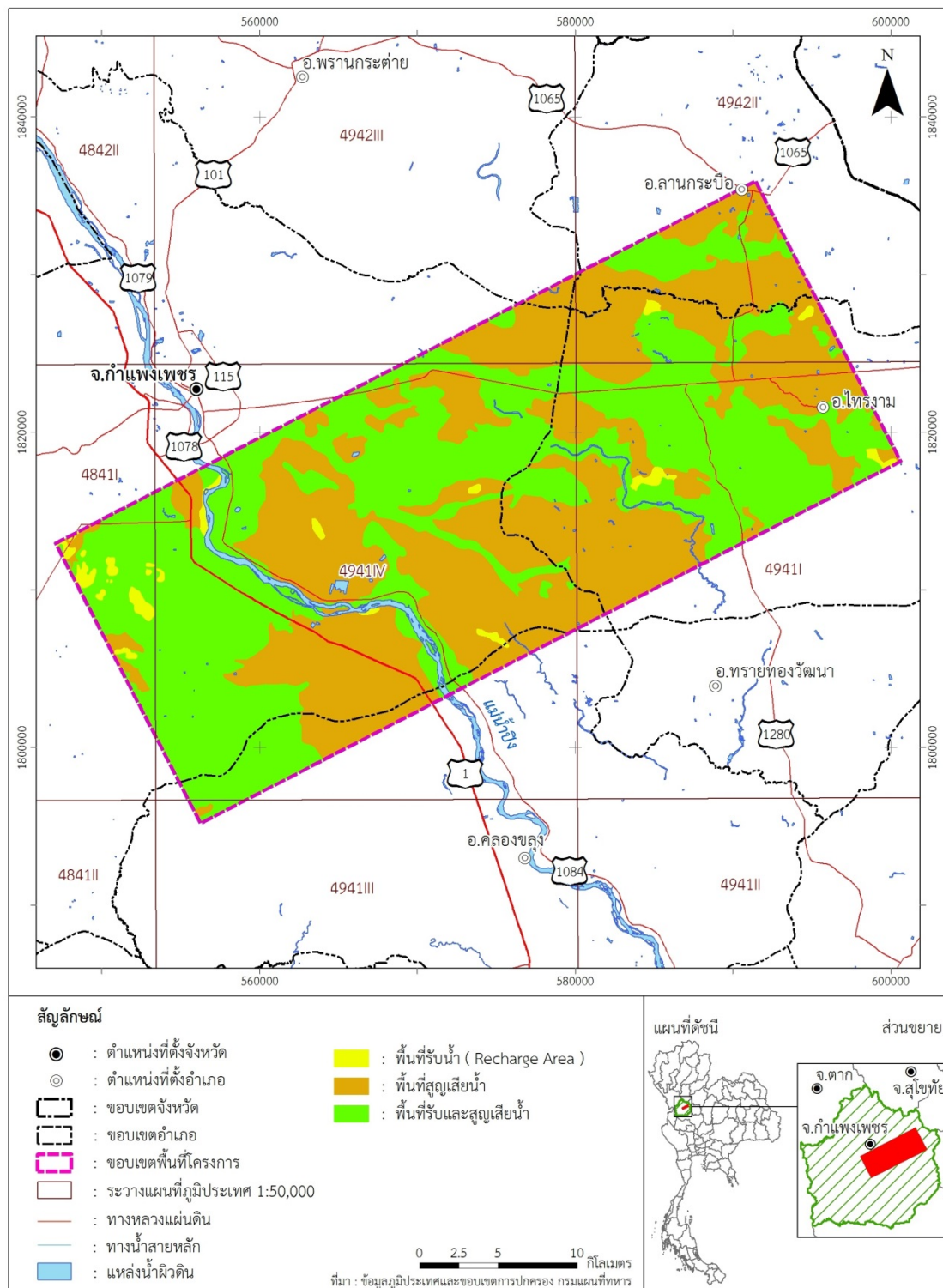
๖.๕-๑



รูปที่ ๖.๔-๔ แผนที่แสดงค่าระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกั่วกลุ่มน้ำยุคเก่าช่วงตอนบน (Qot1)



รูปที่ ๖.๔-๕ แผนที่แสดงค่าระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกั่วกลุ่มน้ำยุคเก่าช่วงตอนกลาง (Qot2)



รูปที่ ๖.๕-๑ แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่รับน้ำ ขอบเขตพื้นที่สูญเสียน้ำ และขอบเขตพื้นที่ที่เป็นได้ทั้งพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำ

๖.๖ ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล

การศึกษาศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลในเชิงปริมาณและคุณภาพน้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษา สรุปได้ดังนี้

๖.๖.๑ ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลในเชิงปริมาณ

ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลในเชิงปริมาณน้ำในภาพรวม ในรูปของปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ (Permissible yield) ของพื้นที่ศึกษาสำหรับชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยต่างๆ แสดงในรูปแบบของแผนที่ได้ดังนี้

๑) แผนที่แสดงขอบเขตปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดยุคใหม่ (Qaf1) แสดงในรูปที่ ๖.๖-๑

๒) แผนที่แสดงขอบเขตปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัณน้ำยุคใหม่ตอนบน (Qyt1) แสดงในรูปที่ ๖.๖-๒

๓) แผนที่แสดงขอบเขตปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัณน้ำยุคใหม่ตอนล่าง (Qyt2) แสดงในรูปที่ ๖.๖-๓

๔) แผนที่แสดงขอบเขตปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัณน้ำยุคเก่าตอนบน (Qot1) แสดงในรูปที่ ๖.๖-๔

๕) แผนที่แสดงขอบเขตปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัณน้ำยุคเก่าตอนกลาง (Qot2) แสดงในรูปที่ ๖.๖-๕

๖.๖.๒ ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลเชิงคุณภาพน้ำ

การศึกษาศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลเชิงคุณภาพ แบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ๑) ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลเชิงคุณภาพน้ำโดยรวม ๒) ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลเชิงคุณภาพน้ำที่เป็นองค์ประกอบย่อย และ ๓) ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลเชิงคุณภาพน้ำด้านชนิดน้ำและลักษณะปรากฏ (ชุดลักษณะ) ทางอุทกเคมี โดยในส่วนที่ ๓ จะไม่นำเสนอในรายงานนี้

๑) ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลเชิงคุณภาพน้ำโดยรวม

ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลในเชิงคุณภาพน้ำโดยรวม ในรูปของปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ (Total Dissolved Solids, TDS) ของพื้นที่ศึกษาสำหรับชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยต่างๆ แสดงในรูปแบบของแผนที่ได้ดังนี้

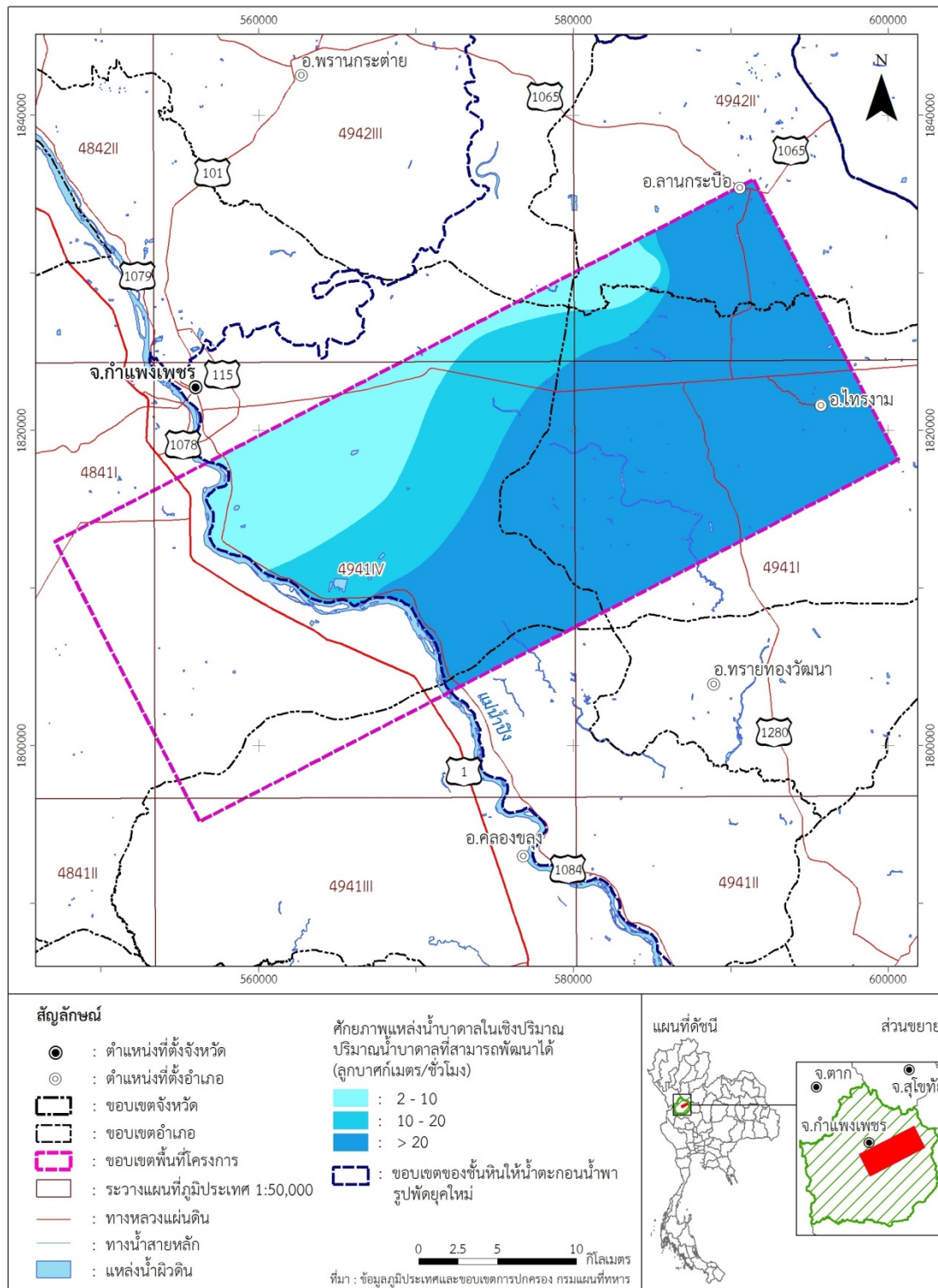
๑.๑) แผนที่แสดงปริมาณ TDS ของชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดยุคใหม่ (Qaf1) แสดงในรูปที่ ๖.๖-๖

๑.๒) แผนที่แสดงปริมาณ TDS ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัณน้ำยุคใหม่ตอนบน (Qyt1) แสดงในรูปที่ ๖.๖-๗

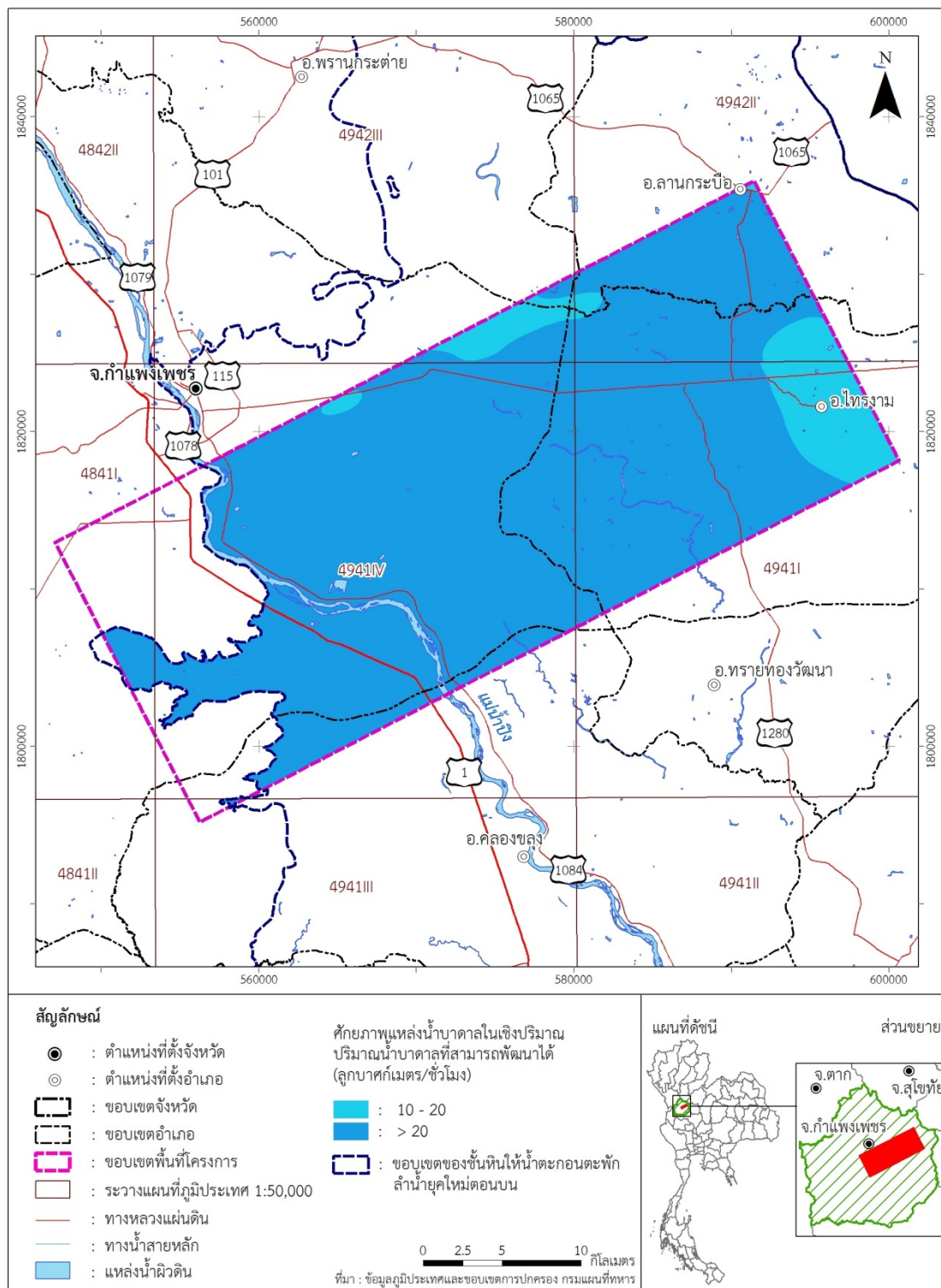
๑.๓) แผนที่แสดงปริมาณ TDS ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัณน้ำยุคใหม่ตอนล่าง (Qyt2) แสดงในรูปที่ ๖.๖-๘

๑.๔) แผนที่แสดงปริมาณ TDS ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัณน้ำยุคเก่าตอนบน (Qot1) แสดงในรูปที่ ๖.๖-๙

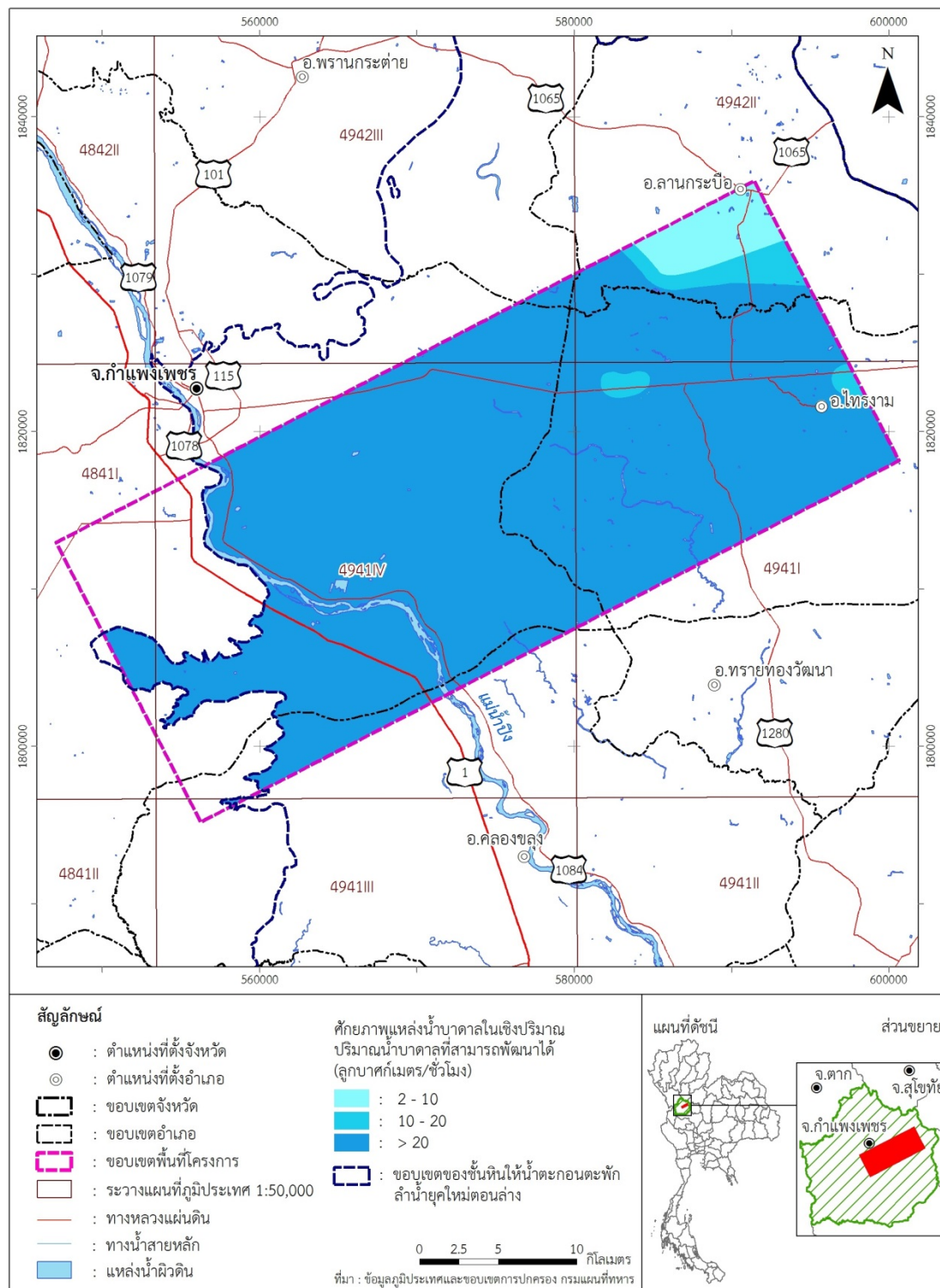
๑.๕) แผนที่แสดงปริมาณ TDS ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัณน้ำยุคเก่าตอนกลาง (Qot2) แสดงในรูปที่ ๖.๖-๑๐



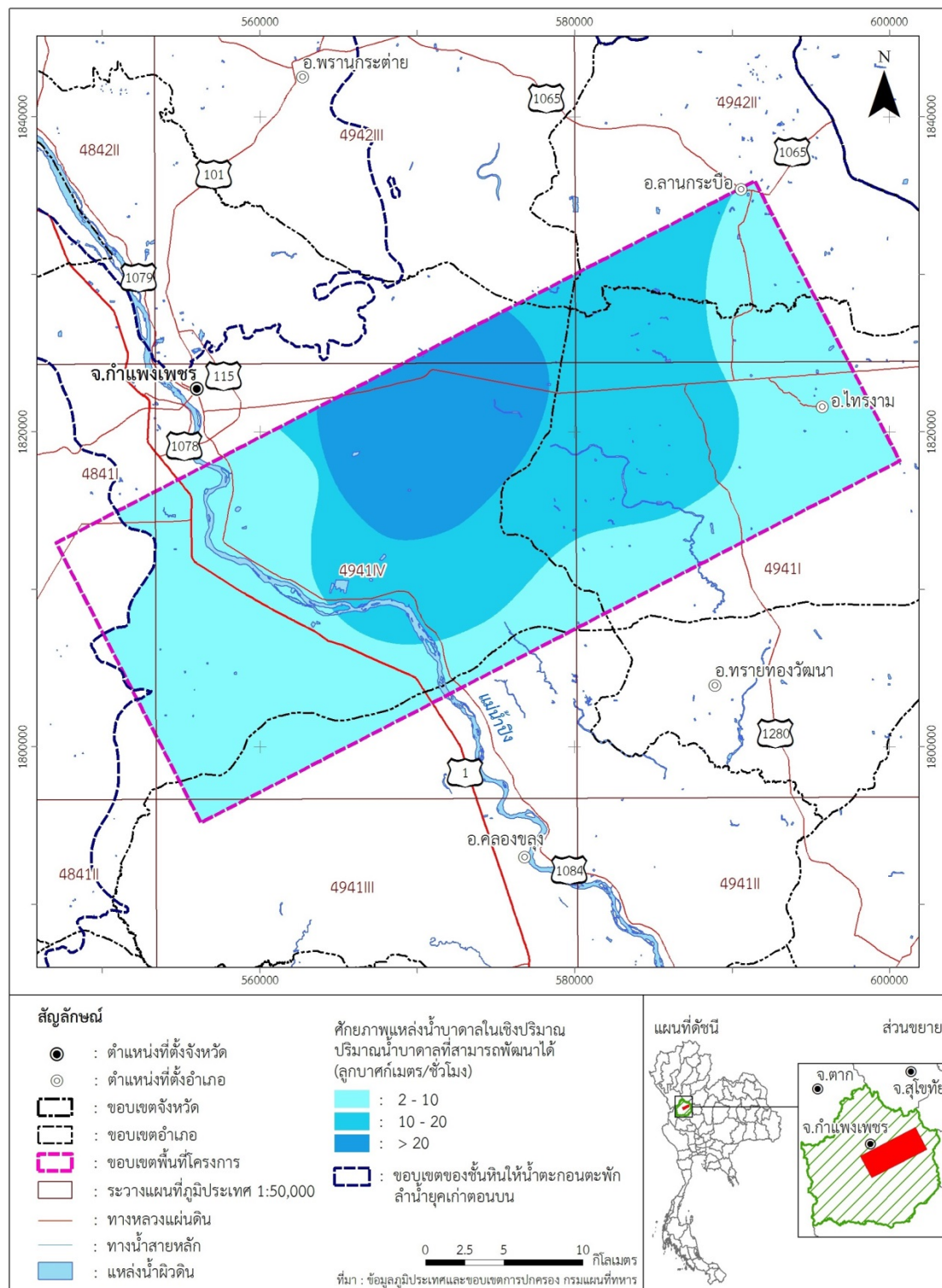
รูปที่ ๖.๖-๑ แผนที่แสดงขอบเขตปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา
รูปตัดยุคใหม่ (Qaf1)



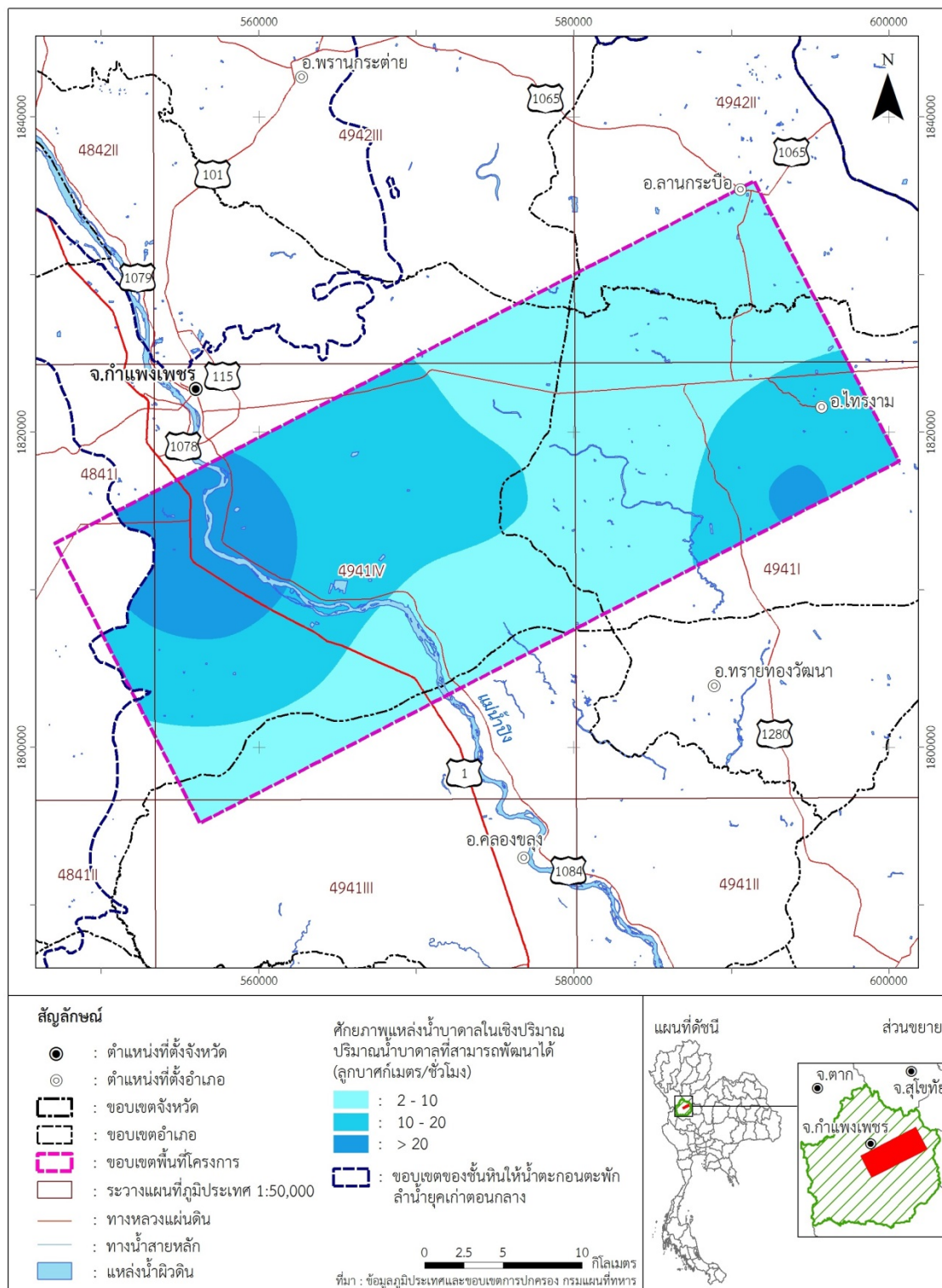
รูปที่ ๖.๖-๒ แผนที่แสดงขอบเขตปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักลำนํายุคใหม่ตอนบน (Qyt1)



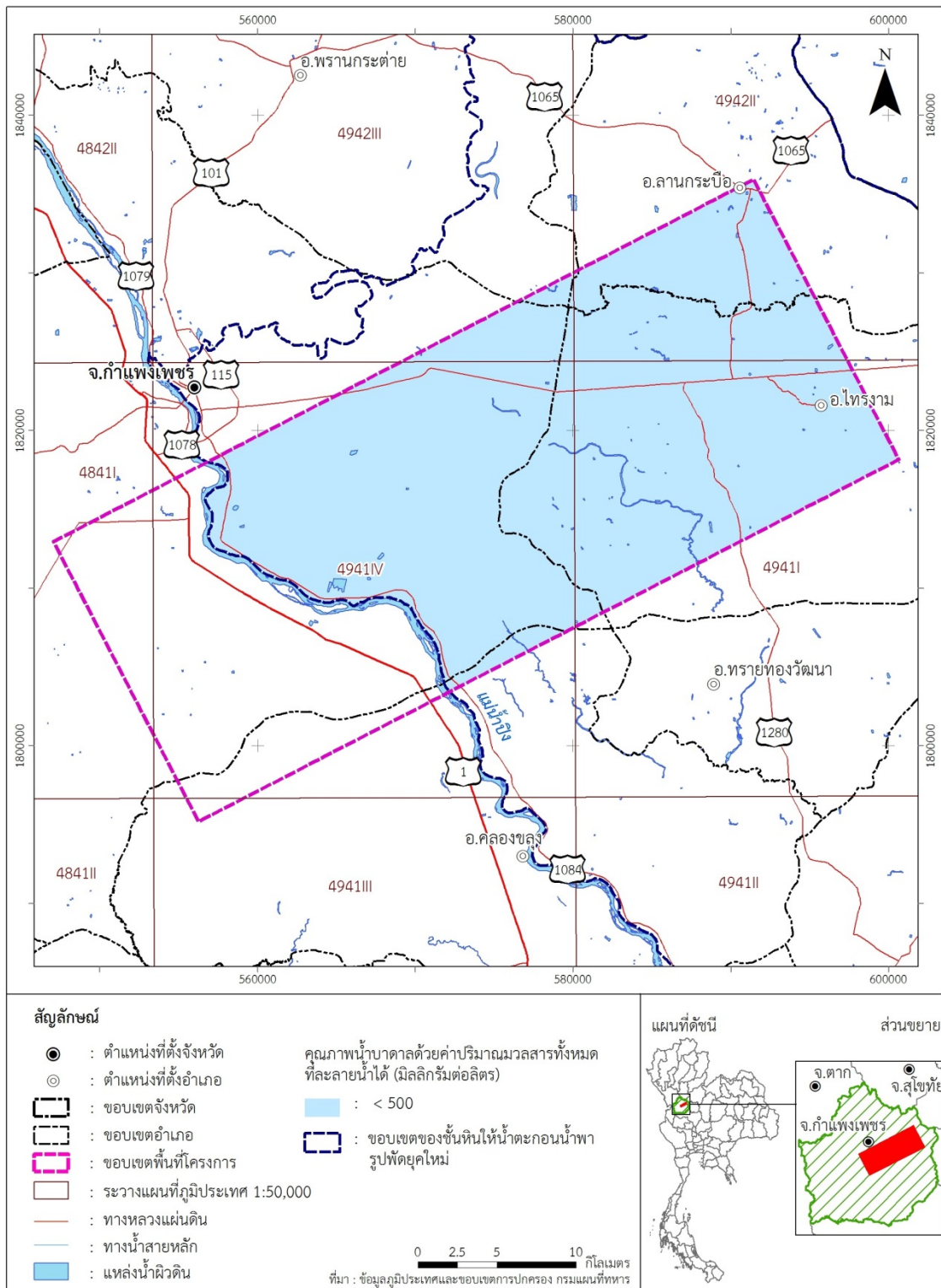
รูปที่ ๖.๖-๓ แผนที่แสดงขอบเขตปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัปลำน้ำยุคใหม่ตอนล่าง (Qyt2)



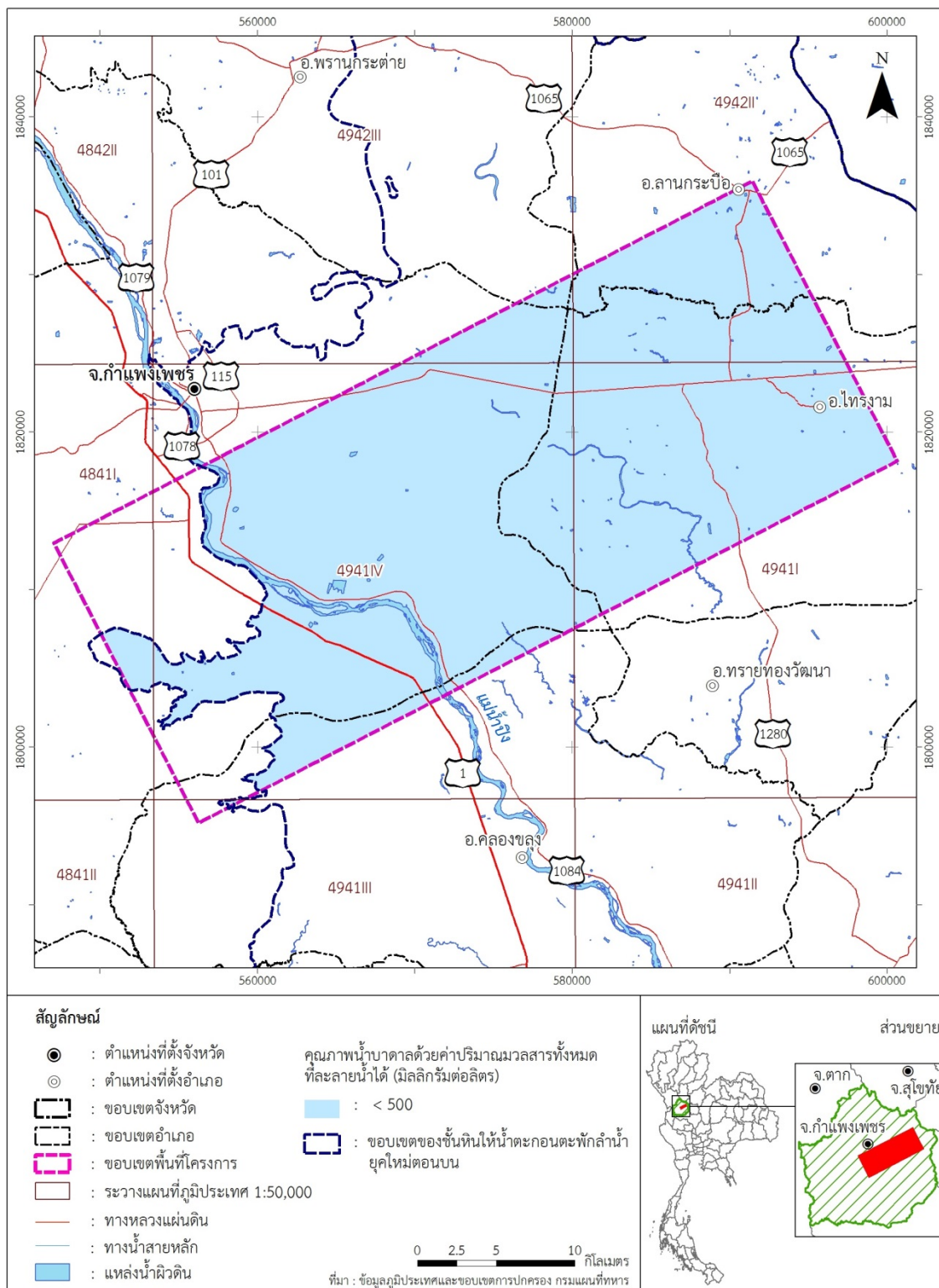
รูปที่ ๖.๖-๔ แผนที่แสดงขอบเขตปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ ของพื้นที่ให้น้ำตะกอนตะกั่วลำน้ำยุคเก่าตอนบน (Qot1)



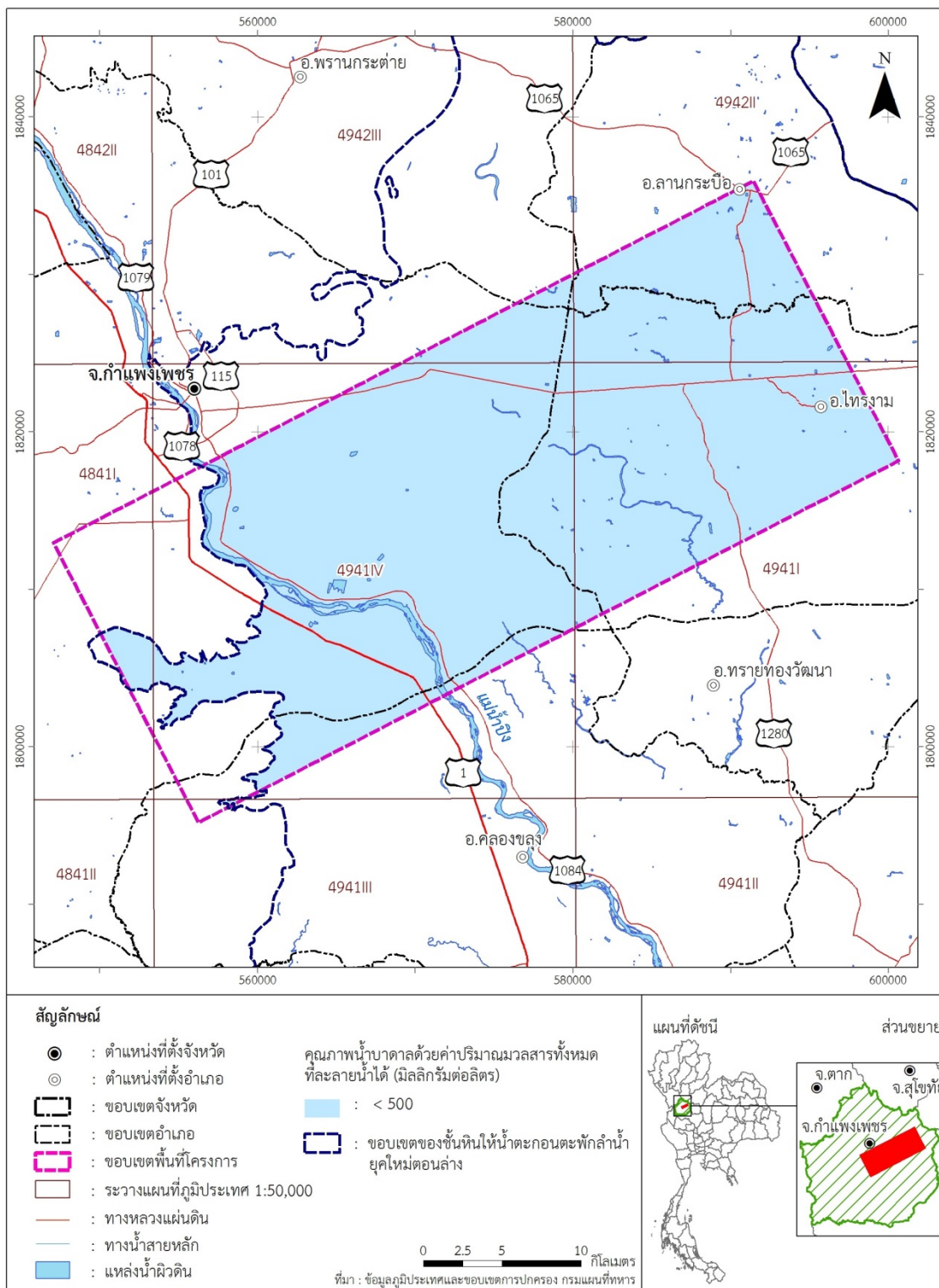
รูปที่ ๖.๖-๕ แผนที่แสดงขอบเขตปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักลำนํายุคเก่าตอนกลาง (Qot2)



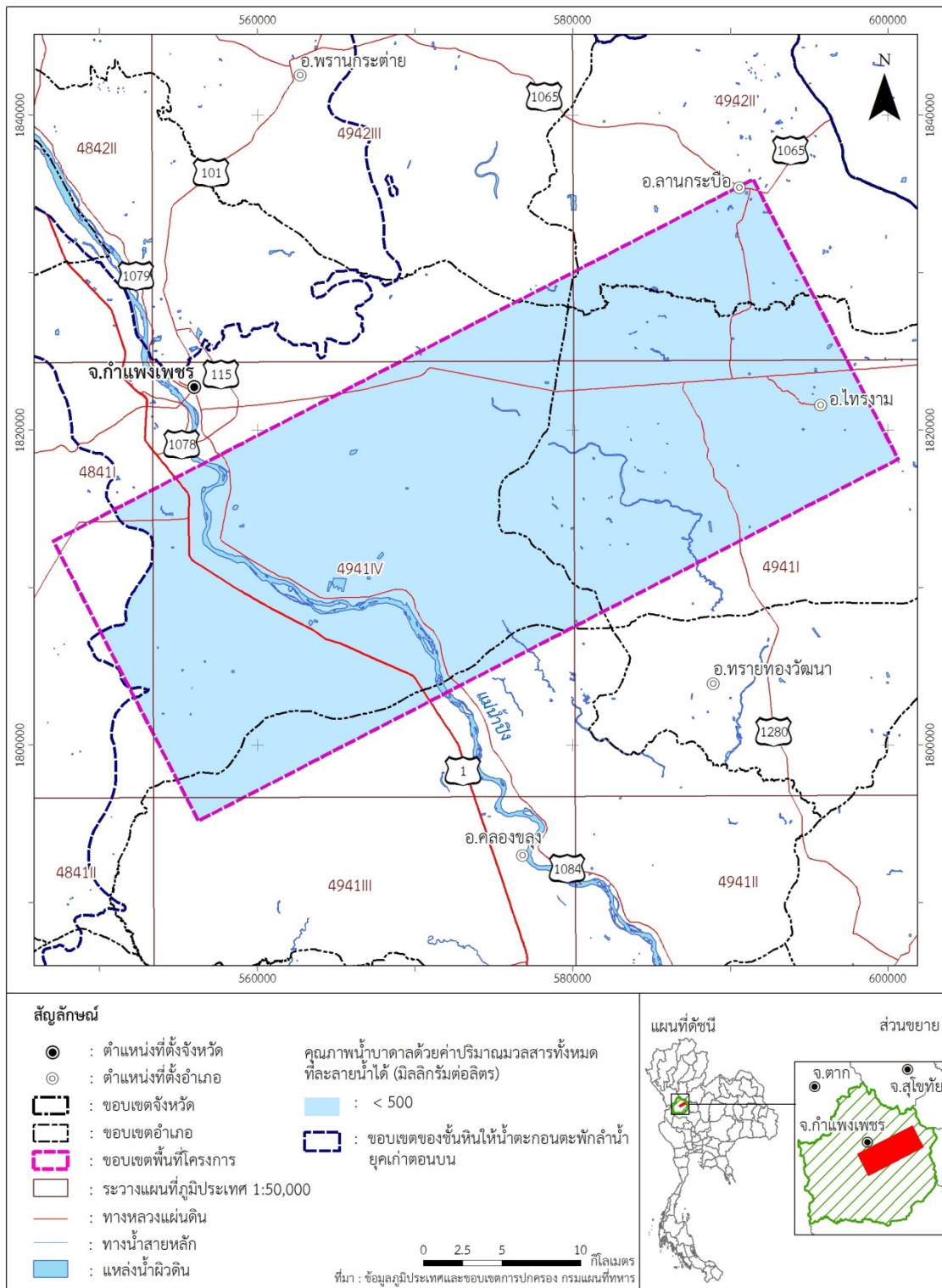
รูปที่ ๖.๖-๖ แผนที่แสดงปริมาณ TDS ของชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปตัวยุกใหม่ (Qaf1)



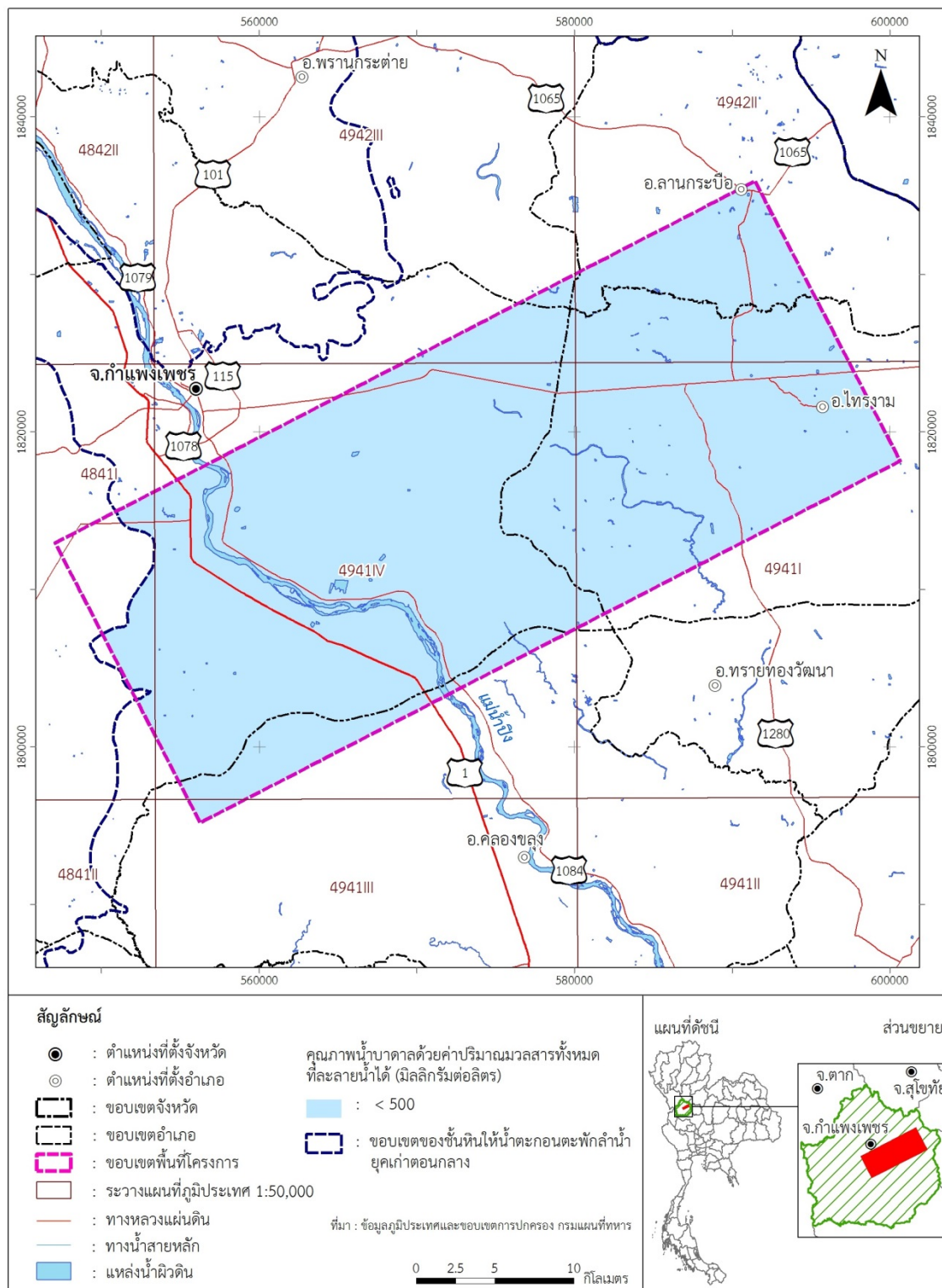
รูปที่ ๖.๖-๗ แผนที่แสดงปริมาณ TDS ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกั่วลันเตาในยุคใหม่ตอนบน (Qyt1)



รูปที่ ๖.๖-๘ แผนที่แสดงปริมาณ TDS ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกอนน้ำยุคใหม่ตอนล่าง (Qyt2)



รูปที่ ๖.๖-๙ แผนที่แสดงปริมาณ TDS ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกั่วลำนน้ำยุคเก่าตอนบน (Qot1)



รูปที่ ๖.๖-๑๐ แผนที่แสดงปริมาณ TDS ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกอนน้ำยุคเก่าตอนกลาง (Qot2)

๒) ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลเชิงคุณภาพน้ำที่เป็นองค์ประกอบย่อย

ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลเชิงคุณภาพน้ำที่เป็นองค์ประกอบย่อย เป็นการศึกษาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำบาดาลทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาในรูปของปริมาณเหล็ก (Iron, Fe) ความกระด้าง (Total Hardness as Calcium Carbonate, CaCO₃) และคลอไรด์ (Chloride, Cl) ในการดำเนินการได้แบ่งการดำเนินการออกเป็น ส่วนย่อย ได้แก่ ๑) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณเหล็ก ๒) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความกระด้าง และ ๓) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอไรด์

ส่วนย่อยที่ ๑ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณเหล็ก แสดงในรูปแบบของแผนที่ขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลในเชิงคุณภาพน้ำที่เป็นองค์ประกอบย่อย ของปริมาณเหล็ก (Iron, Fe) ของพื้นที่ศึกษาสำหรับชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยต่างๆ

ส่วนย่อยที่ ๒ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความกระด้าง แสดงในรูปแบบของแผนที่ขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลในเชิงคุณภาพน้ำที่เป็นองค์ประกอบย่อย ของปริมาณ Hardness ของพื้นที่ศึกษาสำหรับชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยต่างๆ

ส่วนย่อยที่ ๓ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอไรด์ แสดงในรูปแบบของแผนที่ขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลในเชิงคุณภาพน้ำที่เป็นองค์ประกอบย่อย ของปริมาณ Cl ของพื้นที่ศึกษาสำหรับชั้นหินให้น้ำบาดาลหน่วยต่างๆ

๖.๗ ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้

แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ในภาพรวมของชั้นหินให้น้ำบาดาลในหินแข็งและในหินร่วนหน่วยต่างๆ มีดังนี้

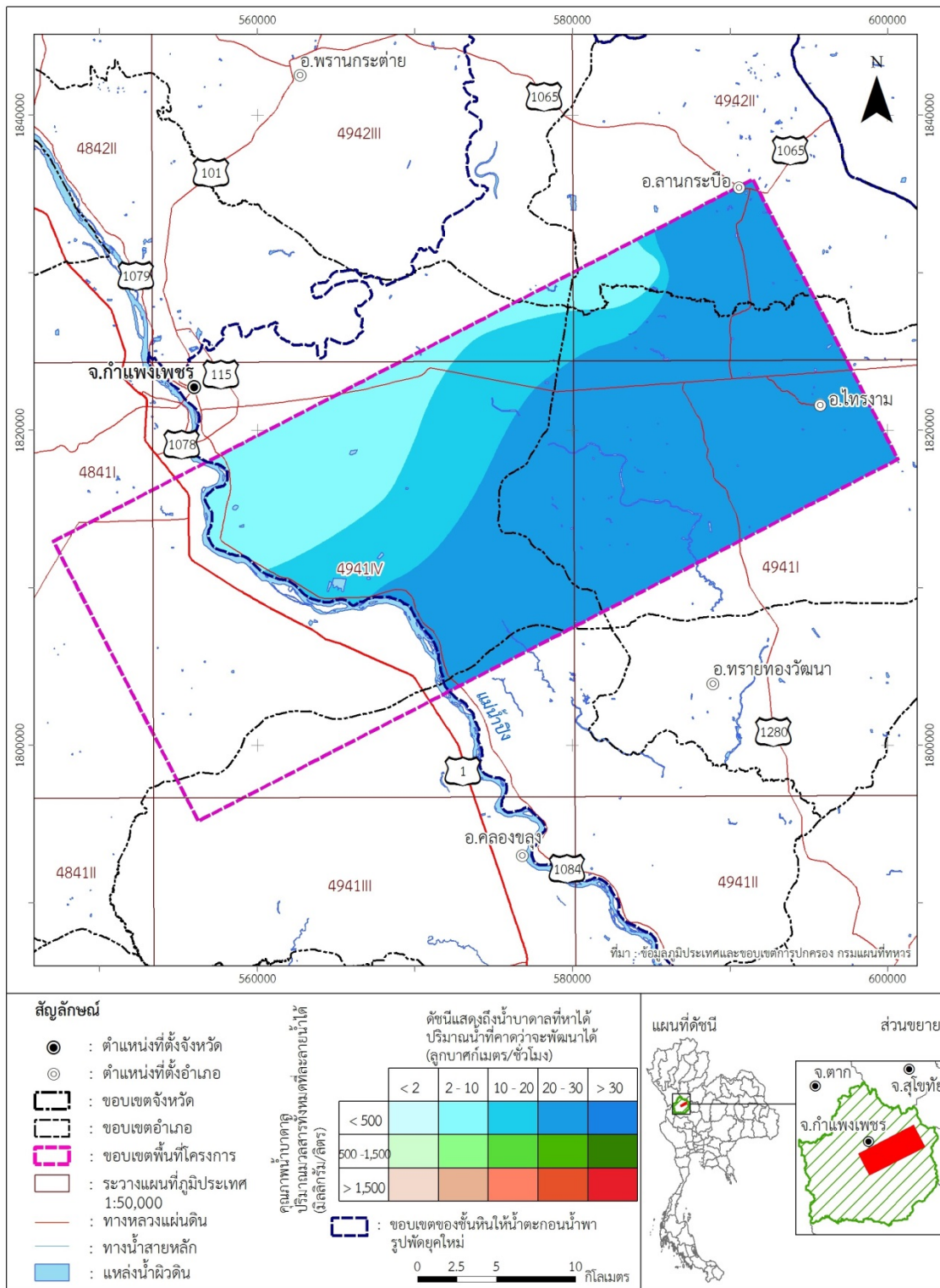
๑) แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดยุคใหม่ (Qaf1) แสดงในรูปที่ ๖.๗-๑

๒) แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัปลำน้ำยุคใหม่ตอนบน (Qyt1) แสดงในรูปที่ ๖.๗-๒

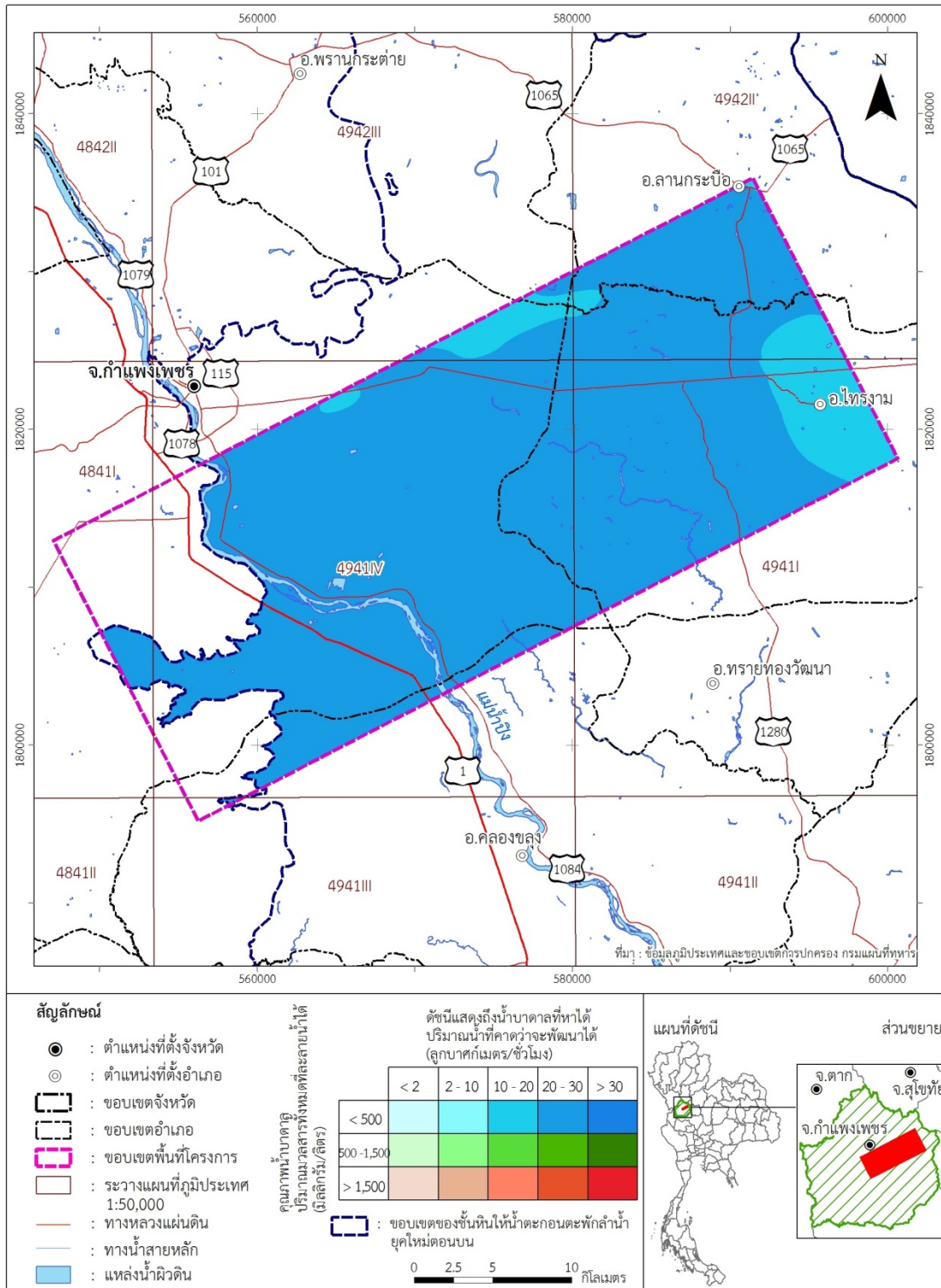
๓) แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัปลำน้ำยุคใหม่ตอนล่าง (Qyt2) แสดงในรูปที่ ๖.๗-๓

๔) แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัปลำน้ำยุคเก่าตอนบน (Qot1) แสดงในรูปที่ ๖.๗-๔

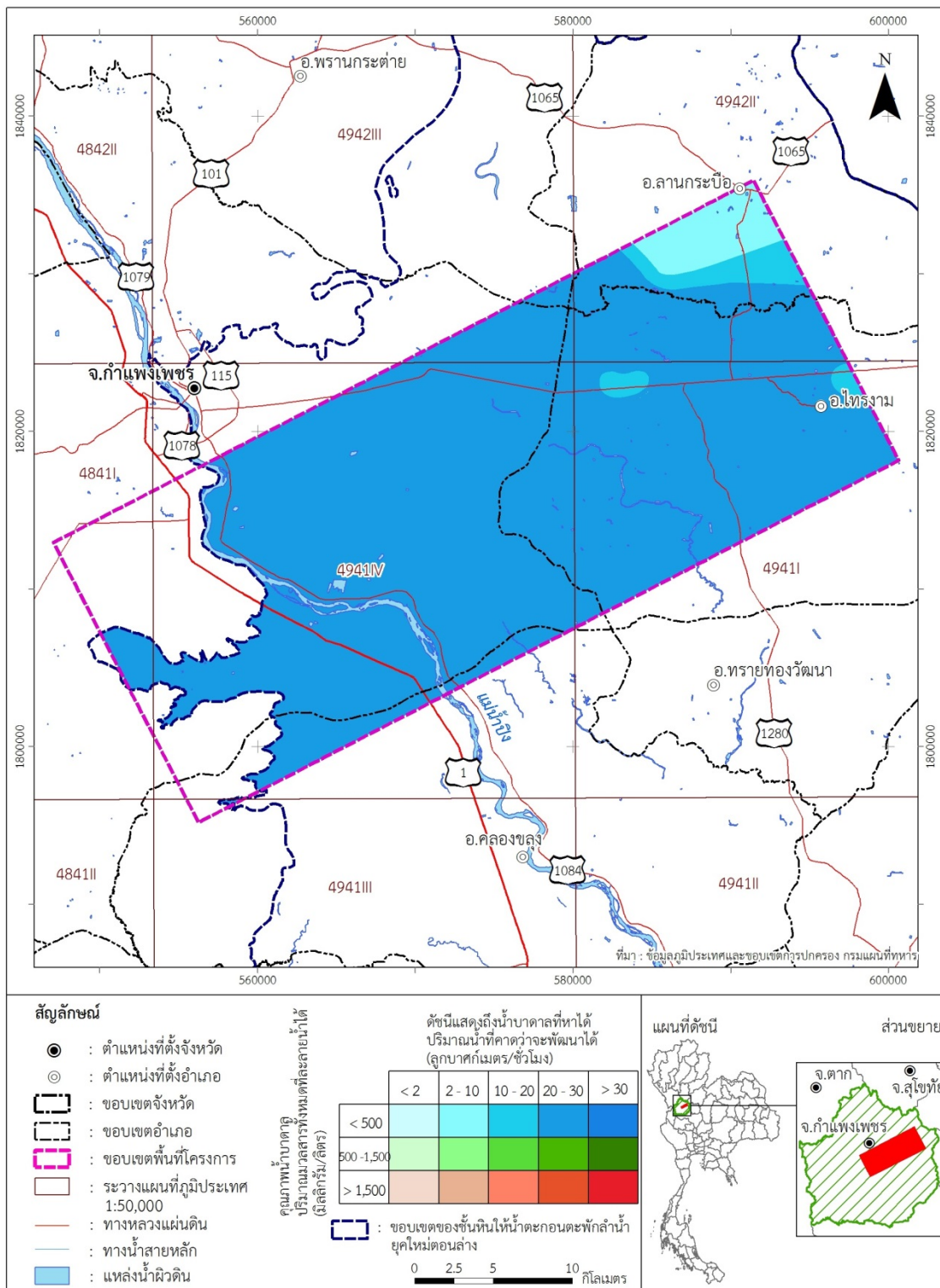
๕) แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัปลำน้ำยุคเก่าตอนกลาง (Qot2) แสดงในรูปที่ ๖.๗-๕



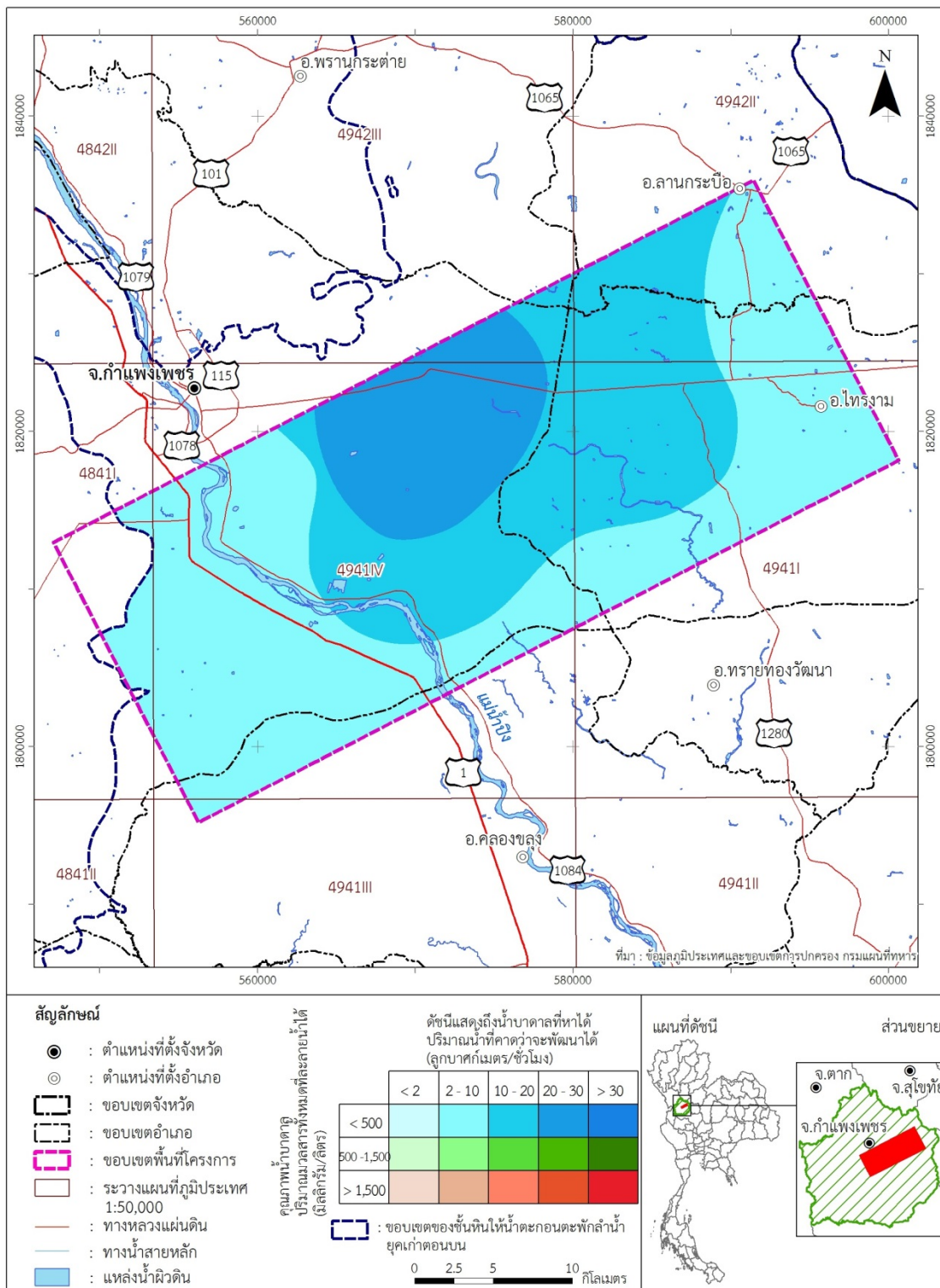
รูปที่ ๖.๗-๑ แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพารูปพัดยุคใหม่ (Qaf1)



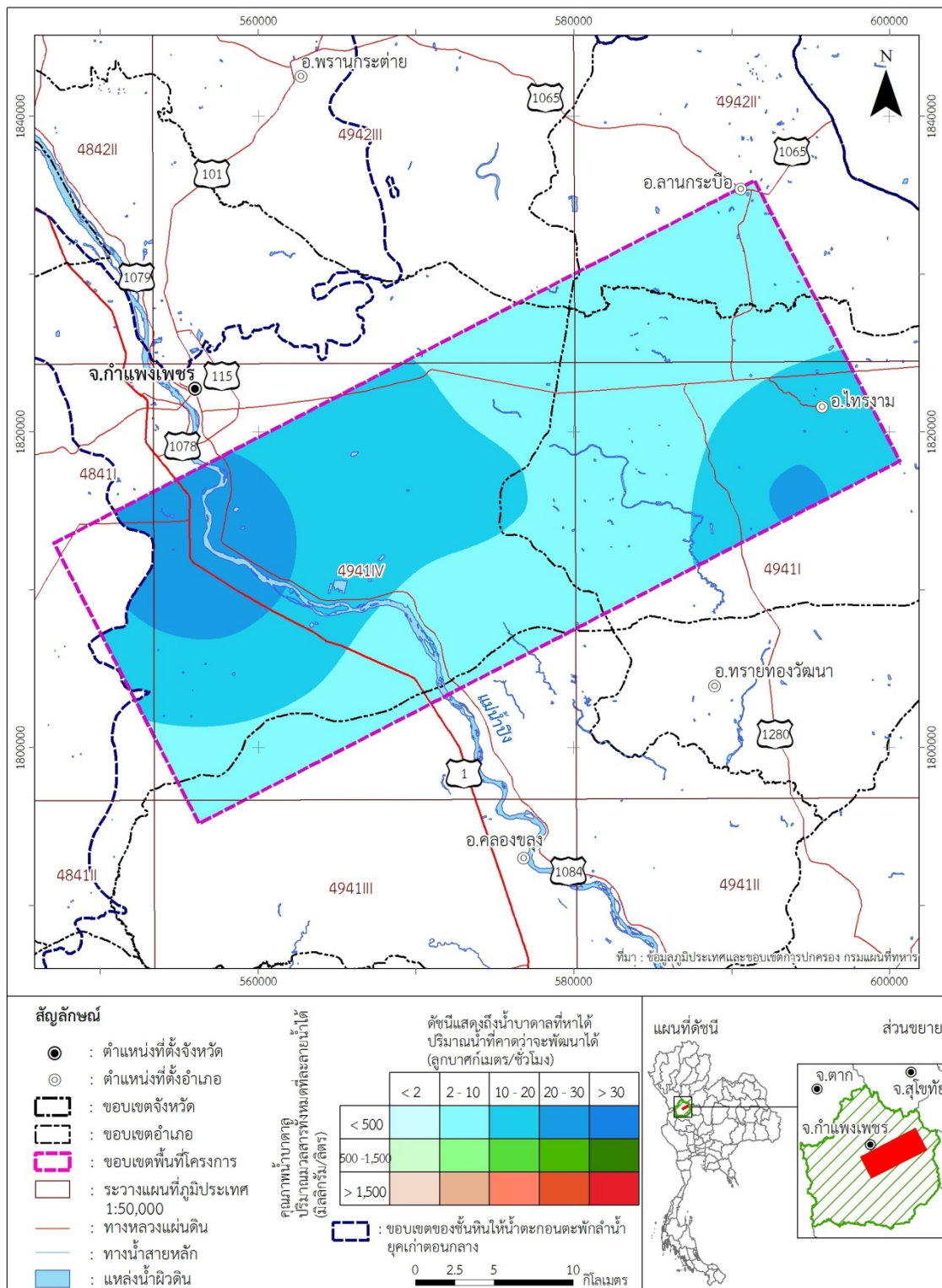
รูปที่ ๖.๗-๒ แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกัณ้ำยุคใหม่ตอนบน (Qyt1)



รูปที่ ๖.๗-๓ แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกอนน้ำยุคใหม่ตอนล่าง (Qyt2)



รูปที่ ๖.๗-๔ แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกอนน้ำยุคเก่าตอนบน (Qot1)



รูปที่ ๖.๗-๕ แผนที่แสดงขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาได้ ของชั้นหินให้น้ำตะกอนตะกักลำน้ำยุคเก่าตอนกลาง (Qot2)