



โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาบริเวณรอบเหมือง

ชื่อนิสิต นายรัชชัย แสงดี

ภาควิชา ธรณีวิทยา

ปีการศึกษา 2558

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ซึ่งกรุณาสละเวลามาให้ความรู้และคำแนะนำตลอดการทำโครงการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ที่กรุณาอนุเคราะห์ข้อมูลรายงานการสำรวจ และแผนที่ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณอาจารย์และพี่บุคลากร ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ทำการประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมถึงประสบการณ์ต่างๆ และให้ความช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตธรณีวิทยา จุฬาฯ รุ่นที่ 56 และพี่ๆ น้องๆ ธรณีวิทยา จุฬาฯ ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้

ท้ายที่สุดขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ผู้ให้กำลังใจและเป็นทุนในการศึกษาอันมีค่ายิ่ง

หัวข้องานวิจัย: ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาบริเวณรอบเหมืองทอง จังหวัดพิจิตร
ผู้ทำการวิจัย: นายธวัชชัย แสงดี รหัสประจำตัวนิสิต: 5532721023
อาจารย์ที่ปรึกษา: รศ.ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์
ภาควิชา: ธรณีวิทยา
ปีการศึกษา: 2558

บทคัดย่อ

การทำเหมืองมักจะส่งผลกระทบต่อลักษณะการไหลของน้ำใต้ดิน เนื่องจากการเจาะบ่อสูบน้ำออกจากบริเวณเหมือง (dewatering) เพื่อป้องกันการถล่มลงมาของผนังเหมือง ดังนั้นการศึกษาเพื่อจะอธิบายลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินบริเวณรอบๆ เหมืองจึงเป็นวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาในครั้งนี้ โดยพื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่รอบเหมืองทอง บริเวณอำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร และอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งข้อมูลที่น่ามาใช้จะประกอบไปด้วย ข้อมูลหลุมเจาะในบริเวณพื้นที่ศึกษา และข้อมูลระดับน้ำในบ่อบาดาลจากการสำรวจ เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ และเส้นชั้นน้ำแสดงทิศทางการไหลในบริเวณพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ศึกษามีหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาทั้งสิ้น 5 หน่วย ได้แก่ 1. ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง ยุคควอเทอร์นารี (Qfd) 2. ตะกอนตะพักยุคควอเทอร์นารี (Qt) 3. หินอัคนีฟูที่ผุพัง (Vw) 4. หินอัคนีฟูที่มีรอยแตก (Vf) และ 5. หินอัคนีฟูเนื้อแน่น (Vm) จากข้อมูลการสำรวจทางด้านธรณีวิทยาทั้งผิวดิน และใต้ดิน รวมถึงผลการสำรวจการสูบทดสอบจากบ่อสูบทดสอบในพื้นที่ศึกษา ได้สรุปข้อมูลออกมาเป็นแผนที่อุทกธรณีวิทยา และภาคตัดขวาง จากนั้นนำมาสร้างเป็นแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual model) ทางอุทกธรณีวิทยา ซึ่งเป็นการจำลองสภาพอุทกธรณีวิทยาเชิงแนวคิดของลักษณะรูปร่างและการกระจายตัวของชั้นหินและชั้นดิน และทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน และเป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับการจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จะทำให้การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินมีความน่าเชื่อถือ ส่วนคุณสมบัติทางชลศาสตร์นั้น ได้มีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) ในเบื้องต้น โดยพิจารณาจากข้อมูลแผนที่น้ำบาดาลและภาคตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของกอนน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี ผลของการดำเนินงานได้แก่แผนที่ระดับน้ำใต้ดินและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน และภาคตัดขวางแสดงระดับน้ำและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (เป็นแนวที่มีทิศทางขนานกับทิศทางของการไหล) จากนั้นจึงจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการไหลของน้ำใต้ดิน เพื่อสร้างแบบจำลองในระดับภูมิภาคซึ่งครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 928 ตารางกิโลเมตร มีความกว้าง 29 กิโลเมตร และยาว 32 กิโลเมตร ที่สามารถแสดงการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาได้อย่างถูกต้อง พบว่าผลการคำนวณของแบบจำลองมีความน่าพอใจในระดับปานกลาง โดยมีระดับน้ำที่คำนวณได้ส่วนใหญ่อยู่ในความเชื่อมั่น 95% และมี Normalized Root Mean Square (RMS) ที่ 8.51% ซึ่งแสดงถึงความผิดพลาดที่พอยอมรับได้

คำสำคัญ: เหมืองทอง, แบบจำลองเชิงมโนทัศน์, อุทกธรณีวิทยา, การสูบทดสอบ, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Project title: HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS AROUND GOLD MINE,
CHANGWAT PHICHIT

Researcher: Mr. Thawatchai Sangdee **Student ID:** 5532721023

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Srilert Chotpantararat

Department: Geology

Academic year: 2015

Abstract

Mining affects the long-term nature of groundwater flow due to pumping out (dewatering) of groundwater to prevent mine's wall from collapsing. Therefore, characterization of groundwater flow around the mine area is the primary objective of this study. The study area is located around the gold mine, Thap Khlo district, Changwat Phichit and Wang Pong district, Changwat Phetchabun. The data used include borehole data and groundwater level data to create a hydrogeological conceptual model and groundwater contour map that shows the direction of groundwater flow in the study area. The result found that the study area contains five hydrogeological rock units: 1) Quaternary Floodplain Deposits (Qfd), 2) Quaternary Terrace Deposits (Qt), 3) Volcanic Weathered Rocks (Vw), 4) Volcanic Fractured Rocks (Vf) and 5) Volcanic Massive Rocks (Vm). From the survey data on both surface and subsurface geology and the results of pumping test in the study area, the data was integrated as the hydrogeological map and cross sections, explaining hydrogeological formation, distribution of aquifer types and groundwater flow direction. A hydrogeological conceptual model is an important step in the further preparation of the numerical model, which makes it more reliable. The numerical model of groundwater flow covering area of 928 km² with 29 km wide and 32 km long shows that the groundwater flow in the study area agrees with the hydrogeological conceptual model with a satisfactory level. The groundwater level was calculated mainly in the confidence interval of 95% with normalized root mean square (RMS) at 8.51%, representing an acceptable error.

Keywords: Gold mine, Conceptual model, Hydrogeology, Pumping test, Numerical model

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 สมมติฐาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การสำรวจลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา	5
2.2 ทฤษฎีของการจำลองทางคณิตศาสตร์	9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการด้านอุทกธรณีวิทยา	11
3.2 การจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการไหลของน้ำบาดาล	11
บทที่ 4 ผลและการแปลความหมายข้อมูล	
4.1 ธรณีวิทยาระดับท้องถิ่น	19
4.2 ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา	22
4.3 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์	27
4.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	27
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผล ปัญหาและอุปสรรค ข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย	44
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	44
5.3 ข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก	

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตาราง 4.1 สรุปผลการสุบทดสอบบ่อบาดาล	25
ตาราง 4.2 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดินชั้นบน	26
ตาราง 4.3 การแบ่งชั้น (Layer) ในแบบจำลอง	34
ตาราง 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่กำหนดในแบบจำลองก่อนทำการปรับแก้	34
ตาราง 4.5 คุณสมบัติการกักเก็บ (Storage) ที่กำหนดในแบบจำลองก่อนทำการปรับแก้	34
ตาราง 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษา	35
ตาราง 4.7 ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ Parameter Optimization และผลการวิเคราะห์	40

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูป 1.1 แผนที่ลักษณะภูมิประเทศ บริเวณพื้นที่โครงการ	4
รูป 2.1 ตัวอย่างบ่อสังเกตการณ์และติดตามคุณภาพน้ำบาดาล	8
รูป 3.1 จุดสำรวจบ่อบาดาล และบ่อน้ำตื้นในบริเวณรอบๆ พื้นที่โครงการ รวมถึงค่าระดับความสูงของแต่ละบ่อสังเกตการณ์	12
รูป 3.2 ลักษณะการแบ่งกริดและเซลล์ของแบบจำลอง	13
รูป 4.1 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา	21
รูป 4.2 ภาพตัดขวางในพื้นที่ศึกษาแนวตะวันออก-ตะวันตก	23
รูป 4.3 ภาพตัดขวางในพื้นที่ศึกษาแนวเหนือ-ใต้	24
รูป 4.4 แผนที่หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	28
รูป 4.5 ภาพตัดขวางของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาในแนว D-D'	29
รูป 4.6 ภาพตัดขวางของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาในแนว G-G'	30
รูป 4.7 ขอบเขตสันปันน้ำของพื้นที่ศึกษา	31
รูป 4.8 ระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล	32
รูป 4.9 ภาพตัดขวางแสดงระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในแนว D-D'	33
รูป 4.10 ภาพตัดขวางแสดงลักษณะการแบ่งกริดตามแนวตั้งและชั้น (Layer) ทั้งหมด 4 ชั้น แบบความหนาไม่คงที่	34
รูป 4.11 ระดับน้ำบาดาลคงที่ในพื้นที่ศึกษา (MSL, m) และขอบเขตความดันน้ำคงที่ (Constant head) ที่กำหนดในแบบจำลอง	37
รูป 4.12 เส้นทางการระบายน้ำ (กริดสี่เทา) ที่กำหนดในแบบจำลอง	38
รูป 4.13 พื้นที่เติมน้ำ (Recharge) ลงสู่ชั้นน้ำบาดาลที่กำหนดในแบบจำลอง	39
รูป 4.14 ความเชื่อมั่นในแบบจำลอง	41
รูป 4.15 ภาพตัดขวางแสดงระดับน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในแบบจำลองระดับภูมิภาค	41
รูป 4.16 ระดับน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในแบบจำลองระดับภูมิภาค	42
รูป 4.17 แบบจำลองสามมิติ	43

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

การศึกษาผลกระทบจากการทำเหมืองโดยเฉพาะผลกระทบที่มีต่อแหล่งน้ำบาดาลเป็นเรื่องที่นักวิชาการหลายท่านกำลังให้ความสนใจ สังเกตได้จากผลงานการวิจัยที่ถูกตีพิมพ์ออกมาอย่างต่อเนื่อง (May et al., 2001; Stamatis et al., 2001; Younger et al., 2002; Lee, 2003; Smolders et al., 2003; Ashley et al., 2004; Razo et al., 2004; Rodríguez and Candela, 2004; Sánchez-España et al., 2005; Gomes and Favas, 2006; Moreno et al., 2007) ซึ่งการทำเหมืองมักจะส่งผลกระทบในระยะยาวต่อลักษณะการไหลของน้ำบาดาลและอาจจะส่งผลให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของแหล่งน้ำบาดาลได้ (Iribar et al., 2000; Lee et al., 2001; Heikkinen et al., 2002; Aykol et al., 2003; Olias et al., 2004; Cidu, 2007; Pérez-López et al., 2007) โดยผลกระทบทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่งภายในเหมือง คือ การเจาะบ่อสูบน้ำออกจากบริเวณเหมือง (dewatering) เพื่อป้องกันการถล่มลงมาของผนังเหมือง ส่งผลให้ระดับน้ำบาดาลลดระดับลง เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลของน้ำบาดาล และหากหยุดการสูบน้ำออกในภายหลัง จะทำให้ระดับน้ำบาดาลเกิดการคืนตัวกลับขึ้นมาและเข้าไปท่วมในบริเวณช่องว่างของเหมือง ก่อให้เกิดการละลายของแร่ในบริเวณนั้น (Appelo and Postma, 2006) กรณีที่สังเกตได้ชัดเจนคือกรณีของเหมืองที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบซัลไฟด์ (sulphide) เช่น เหมืองทอง เนื่องจากสารประกอบในกลุ่มนี้จะตอบสนองต่อสภาวะออกซิเดชัน (oxidising conditions) ได้ง่าย ซึ่งนำไปสู่ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นกับพื้นที่ใกล้เคียง (Younger et al., 2002) และหากระดับน้ำที่คืนตัวนี้ขึ้นมาถึงระดับของพื้นผิว ก็อาจจะไหลซึมออกมาผ่านทางอุโมงค์ระบายน้ำของเหมือง การผุดขึ้นมาตามพื้นผิว (spring หรือ seepage), หรือแม้กระทั่งไหลลงสู่แม่น้ำ ดังนั้นการศึกษาเพื่อจะอธิบายลักษณะการไหลของน้ำบาดาลบริเวณรอบๆ เหมืองจึงเป็นวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาในครั้งนี้

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเนื่องจากการทำเหมืองเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจจากนักวิชาการ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ เช่น ความสูง-ต่ำ อาจจะส่งผลต่อระบบทางอุทกธรณีวิทยา ของพื้นที่นั้นๆ ได้ (DeFries and Eshleman, 2004) เช่น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในบริเวณที่มีการเติมน้ำ และปริมาณน้ำท่า ตามที่แสดงใน Negley and Eshleman (2006) ในบางกรณีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลอาจจะทำให้เกิด

เป็นแอ่งน้ำแห่งใหม่ขึ้นได้ ถึงแม้ว่าในบริเวณเหมืองจะพบลักษณะการไหลของน้ำบาดาลในรูปแบบของการซึมออกมา (seepage) เป็นส่วนใหญ่ แต่กิจกรรมที่เกิดขึ้น เช่น กระบวนการแยกแร่ภายในเหมืองก็มีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำในบริเวณใกล้เคียง และมีการกำจัดน้ำเสียในส่วนนี้ออกเช่นกัน ดังนั้น กระบวนการทางเหมืองจึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ใกล้เคียง

ตัวแปรทางอุทกนิยามวิทยา เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อกระบวนการต่างๆ ภายในเหมือง เช่น กระบวนการผุพัง (weathering), การเกิดแร่ทุติยภูมิ (secondary minerals formation) และการละลายออกมาของแร่ต่างๆ เป็นต้น โดยรูปแบบของการเกิดฝนเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการวางแผนสำหรับการทำเหมือง เนื่องจากส่งผลต่อกระบวนการในการสูบน้ำออกจากเหมืองและส่งผลกระทบต่อระบบทางอุทกธรณีวิทยาภายหลังจากที่เหมืองถูกปิดไป

ปัจจุบัน พื้นที่ศึกษามีแหล่งแร่ทองคำที่สำคัญคือ แหล่งแร่เขาพนมพา ซึ่งเป็นแหล่งแร่ทองคำชนิดปฐมภูมิที่เกิดในสายแร่ควอร์ตซ์-คาร์บอเนต (Quartz-Carbonate) (กรมทรัพยากรธรณี, 2544) ทำให้พื้นที่บริเวณนี้เกิดอุตสาหกรรมเหมืองขึ้น ผลผลิตทางด้านแร่เป็นเพียงวัตถุดิบประสมค์เดียวในการทำเหมือง แต่ในอีกด้านหนึ่งการศึกษาและการทำความเข้าใจถึงลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (conceptual model) เพื่อช่วยอธิบายลักษณะการไหลของน้ำบาดาลบริเวณรอบๆ เหมือง ยังไม่มีการศึกษามากนัก จึงเป็นมูลเหตุจูงใจในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการทำเหมือง โดยใช้ข้อมูลจากหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา และระบบการไหลของน้ำบาดาล

1.2 วัตถุประสงค์

สร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของชั้นน้ำและสร้างเส้นชั้นน้ำแสดงทิศทางการไหลในพื้นที่เหมืองทองคำอำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร และอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

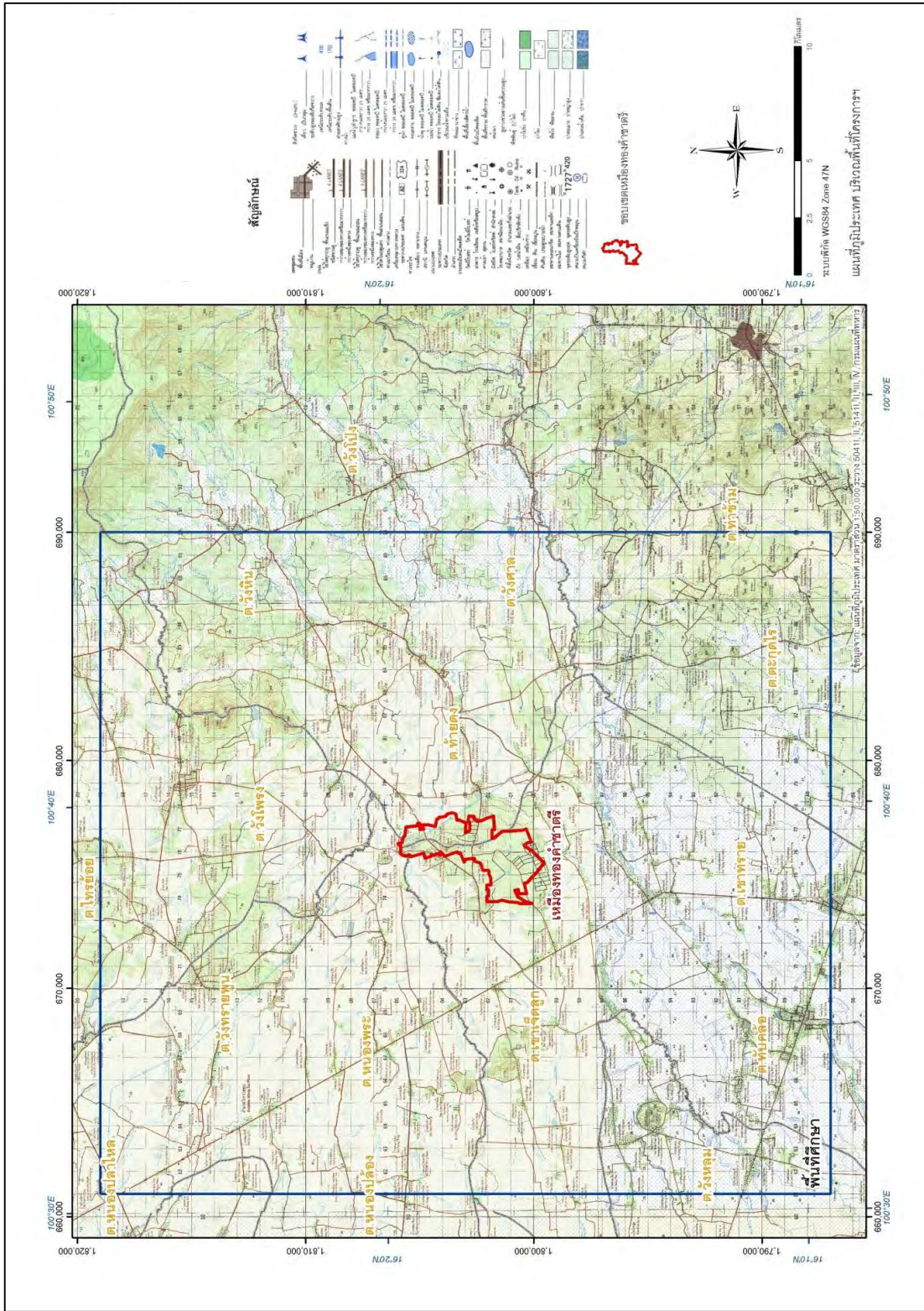
1. พื้นที่ศึกษาวิจัยภาคสนามคือ พื้นที่เหมืองทอง บริเวณอำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร และอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์
2. ข้อมูลที่ต้องใช้
 - 2.1 ข้อมูลหลุมเจาะในบริเวณพื้นที่ศึกษาสำหรับสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์
 - 2.2 ข้อมูลระดับน้ำในบ่อบาดาลจากการสำรวจเพื่อนำมาสร้างเส้นชั้นน้ำแสดงทิศทางการไหลในบริเวณพื้นที่ศึกษา

1.4 สมมติฐาน

การทำเหมืองส่งผลกระทบต่อทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในบริเวณใกล้เคียง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เส้นชั้นน้ำแสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาล บริเวณพื้นที่เหมืองทอง บริเวณอำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร และอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์
2. แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของชั้นน้ำในพื้นที่เหมืองทอง บริเวณอำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร และอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์



รูป 1.1 แผนที่ลักษณะภูมิประเทศ บริเวณพื้นที่โครงการ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสำรวจลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา

2.1.1 การสูบทดสอบชั้นหินอุ้มน้ำ

การดำเนินการทดสอบคุณสมบัติทาง ชลศาสตร์ของหินอุ้มน้ำ (Pumping Test) ที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อให้เป็นตัวแทนของหินอุ้มน้ำของบริเวณพื้นที่ศึกษา การสูบทดสอบเป็นการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรทางชลศาสตร์ของชั้นดินหรือหินอุ้มน้ำในภาคสนาม โดยจะทำการสูบทดสอบแบบอัตราคงที่ (Constant pumping test) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการวัดระดับน้ำลดของบ่อสังเกตการณ์จากการสูบน้ำจนกระทั่งระดับน้ำลดคงที่หรือไม่สามารถลดได้อีก ทำการวัดและบันทึกข้อมูลระดับน้ำลดตามเวลาที่กำหนดตลอดการสูบทดสอบ จากนั้นข้อมูลที่ได้มาจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Aquifer test เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของหลุมเจาะแต่ละหลุม

ในการศึกษาทางอุทกธรณีวิทยา การสูบทดสอบเป็นวิธีการศึกษาที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับ คุณสมบัติทางชลศาสตร์ คุณสมบัติ ในการจ่ายน้ำ ของชั้นหินอุ้มน้ำ หรือของบ่อน้ำบาดาลได้เป็นอย่างดี โดยหลักการกว้างๆ แล้ว การสูบทดสอบจะให้ข้อมูลทางอุทกธรณีที่สำคัญต่อไปนี้

1. คุณสมบัติทางชลศาสตร์ที่สำคัญของชั้นหินอุ้มน้ำ ได้แก่ สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (K) สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (T) และสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ (S) เพื่อประโยชน์ในการทำนายวางแผน และจัดการการใช้ประโยชน์จากชั้นหินอุ้มน้ำต่อไป
2. ประสิทธิภาพในการทำงานของบ่อที่ทำการทดสอบ ซึ่งปกติจะรายงานอยู่ในรูปของคุณลักษณะในการให้น้ำกับระยะน้ำลด เพื่อประโยชน์ในการเลือกใช้เครื่องสูบที่เหมาะสมต่อไป
3. ผลกระทบสืบเนื่องจากระบบการสูบน้ำบาดาลที่มีต่อระบบน้ำบาดาลในพื้นที่ที่มีการสูบน้ำ การสูบทดสอบจึงสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการสูบทดสอบ กล่าวคือ (1) การสูบทดสอบชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer test) และ (2) การสูบทดสอบประสิทธิภาพของบ่อน้ำบาดาล (Step Drawdown test)

หลักการทั่วไปของการสูบทดสอบชั้นหินอุ้มน้ำ

(1) การไหลคงที่แบบรัศมีเข้าสู่บ่อในชั้นหินอุ้มน้ำไม่มีแรงดัน (Steady radial flow to a well in an unconfined aquifer) การไหลคงที่แบบรัศมีเข้าสู่บ่อ เมื่อมีการสูบทดสอบน้ำบาดาลด้วยอัตราคงที่ ระดับน้ำลดจะลดลงและคงที่ที่ระดับใดระดับหนึ่ง ซึ่งจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการสูบน้ำ วิธีการคำนวณของ Theis จะได้สูตรแบบสมดุลย์ (Theis Equation or Equilibrium Equation) ซึ่งในชั้นหินอุ้มน้ำไม่มีแรงดัน หรือไหลแบบมีแรงดัน อัตราการสูบน้ำออกจากบ่อ หรือปริมาณน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่ทรงกระบอกรอบๆ บ่อ ดังสมการ 2.1-1

$$K = \frac{Q \ln(r_2/r_1)}{\pi(S_2^2 - S_1^2)} \quad \dots(2.1-1)$$

สมการที่ (2.1-1) สมการการไหลของน้ำบาดาลในชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน (Unconfined Aquifer)

โดยมี K = สัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ (Hydraulic Conductivity; m/d)

Q = อัตราการสูบน้ำ (m^3/d)

r_1 = ระยะห่างจากบ่อสังเกตการณ์บ่อที่ 1 จากบ่อสูบทดสอบ (m)

r_2 = ระยะห่างจากบ่อสังเกตการณ์บ่อที่ 2 จากบ่อสูบทดสอบ (m)

s_1 = ค่าระยะน้ำลดของบ่อสังเกตการณ์บ่อที่ 1 (m)

s_2 = ค่าระยะน้ำลดของบ่อสังเกตการณ์บ่อที่ 2 (m)

$$T = \frac{Q \ln(r_2/r_1)}{2\pi (s_2^2 - s_1^2)} \quad \dots(2.1-2)$$

สมการที่ (2.1-2) สมการการไหลของน้ำบาดาลในชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน (Unconfined Aquifer)

โดยมี T = ความสามารถในการให้น้ำซึมผ่าน (Transmissivity; m^2/d)

Q = อัตราการสูบน้ำ (m^3/d)

r_1 = ระยะห่างจากบ่อสังเกตการณ์บ่อที่ 1 จากบ่อสูบทดสอบ (m)

r_2 = ระยะห่างจากบ่อสังเกตการณ์บ่อที่ 2 จากบ่อสูบทดสอบ (m)

s_1 = ค่าระยะน้ำลดของบ่อสังเกตการณ์บ่อที่ 1 (m)

s_2 = ค่าระยะน้ำลดของบ่อสังเกตการณ์บ่อที่ 2 (m)

(2) การไหลไม่คงที่แบบรัศมีเข้าสู่บ่อในชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดันที่มีการรั่วซึม (Non-steady radial flow to a well in a leaky confined aquifer) ซึ่งบ่อน้ำบาดาลเจาะอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดันโดยที่มีชั้นหินอุ้มน้ำปิดกั้น (Confining bed) เป็นชั้นหินที่ไม่ได้กั้นน้ำร้อยเปอร์เซ็นต์ แต่มีลักษณะเป็นชั้นหินที่ปล่อยให้ให้น้ำซึมผ่านได้ หรือเรียกว่าชั้นหินต้านน้ำ (Aquitard) น้ำจะรั่วซึม (Leakage) จากชั้นหินอุ้มน้ำไม่มีแรงดันที่วางตัวอยู่ด้านบนบนผ่านลงไปสู่ชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดันด้านล่าง ในขณะที่ทำการสูบน้ำระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทำให้เกิดการขยายของรัศมีกรวยน้ำลด การไหลของน้ำบาดาลจึงไม่เข้าสู่สภาวะสมดุลย์

วิธีของ Jacob

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta s} \quad \dots(2.1-3)$$

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2} \quad \dots(2.1-4)$$

สมการที่ (2.1-3) และ (2.1-4) สมการการไหลของน้ำบาดาลในสภาวะการไหลไม่คงที่ คำนวณโดยวิธีของ Jacob

โดยมี T = ความสามารถในการให้น้ำซึมผ่าน (Transmissivity; m²/d)

Q = อัตราการสูบน้ำ (m³/d)

S = สัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำ (Storage Coefficient)

r = ระยะห่างจากบ่อสังเกตการณ์จากบ่อสูบทดสอบ (m)

Δs = ผลต่างของระยะน้ำลด 1 ช่วงเวลาที่เขียนบนแกนกราฟ logarithm (m)

t₀ = จุดตัดแกนเวลา เมื่อระยะน้ำลดเท่ากับศูนย์ (day)

วิธีคำนวณแบบวัดระดับน้ำคืนตัว (Recovery)

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta S^2} \quad \dots(2.1-5)$$

สมการที่ (2.1-4) และ (2.1-5) สมการการไหลของน้ำบาดาลในสภาวะการไหลไม่คงที่ โดยวิธีคำนวณแบบวัดระดับน้ำคืนตัว (Recovery)

โดยมี T = ความสามารถในการให้น้ำซึมผ่าน (Transmissivity; m²/d)

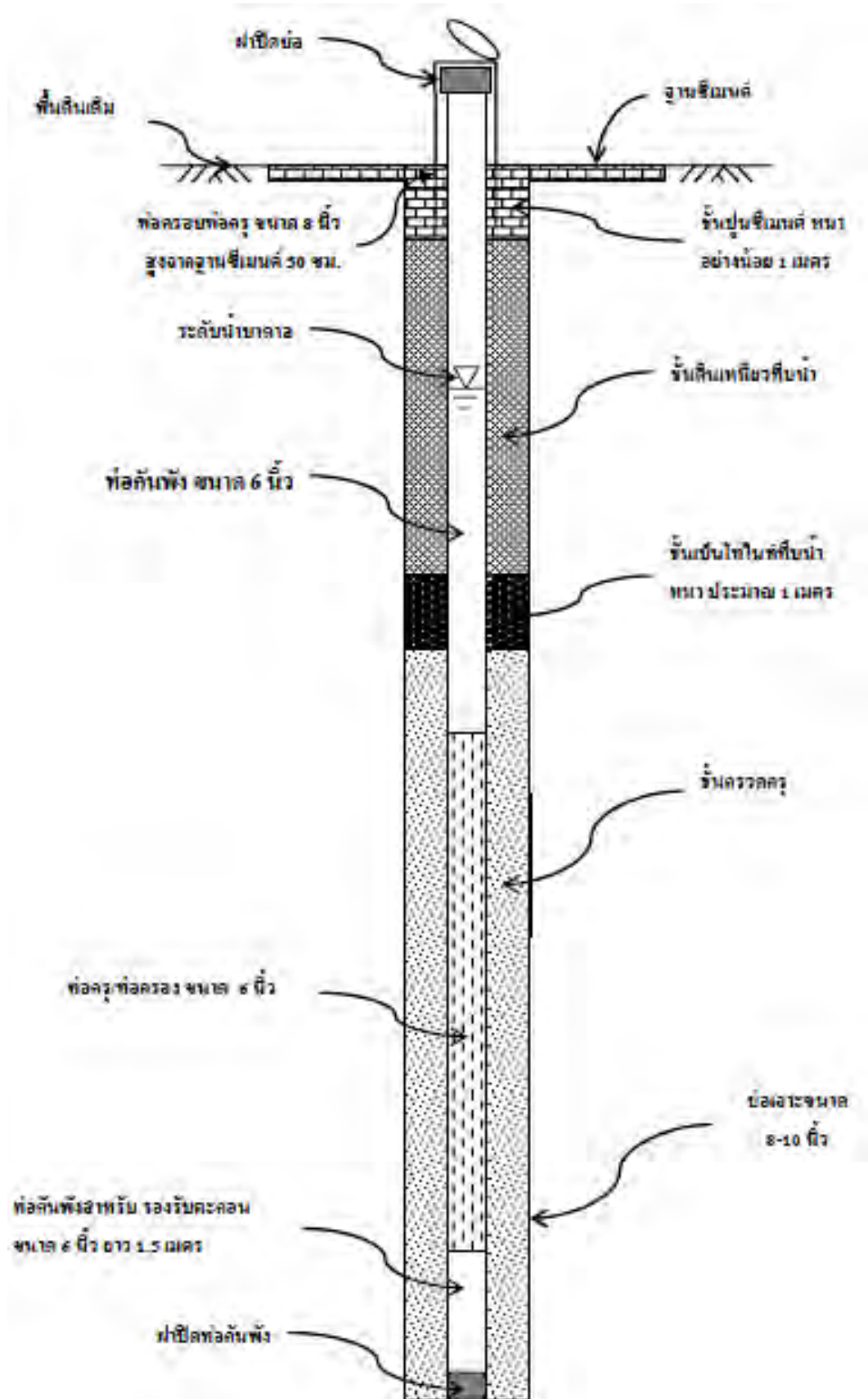
Q = อัตราการสูบน้ำ (m³/d)

S = สัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำ (Storage Coefficient)

r = ระยะห่างจากบ่อสังเกตการณ์จากบ่อสูบทดสอบ (m)

Δs = ผลต่างของระยะน้ำลด 1 ช่วงเวลาที่เขียนบนแกนกราฟ logarithm (m)

t₀ = จุดตัดแกนเวลา เมื่อระยะน้ำลดเท่ากับศูนย์ (day)



รูป 2.1 ตัวอย่างบ่อสังเกตการณ์และติดตามคุณภาพน้ำบาดาล

2.2 ทฤษฎีของการจำลองทางคณิตศาสตร์

โปรแกรม MODFLOW เป็นโปรแกรมที่ใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์แบบไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite difference method) เพื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์และหาค่าตัวแปรที่ต้องการ โดยมีวิธีการประมาณค่าตัวแปรให้เลือกหลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น Block-Centered flow (BCF) ซึ่งเป็นการประมาณค่าตัวแปร ณ จุดกึ่งกลางของบล็อก (หมายถึงหน่วยย่อยรูปทรงสี่เหลี่ยมสำหรับคำนวณซึ่งเกิดจากการแบ่งกริด) หรือ Horizontal flow barrier (HFB) ซึ่งใช้ในการประมาณค่าตัวแปรสำหรับกรณีที่มีสิ่งกีดขวางการไหลของน้ำบาดาล เป็นต้น

สมการเชิงอนุพันธ์ที่นำมาทำการประมาณค่านั้นประกอบด้วยสมการที่กำหนดพฤติกรรมของตัวแปร (Constitutive equations) และสมการที่ควบคุมสมดุลของระบบ (Balance equations) สำหรับสมการที่กำหนดพฤติกรรมการไหลของน้ำบาดาลนั้นเป็นไปตามกฎของดาร์ซี (Darcy's Law) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการแสดงการไหลในสามมิติ ได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mathbf{K}_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mathbf{K}_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mathbf{K}_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + Q = Ss \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.2-1)$$

โดยที่ \mathbf{K}_{xx} , \mathbf{K}_{yy} , \mathbf{K}_{zz}	คือ	เมตริกซ์ของสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) มีหน่วยเป็นระยะทางต่อเวลา (L/t)
h	คือ	แรงดันน้ำได้ผิวดิน (Potentiometric head) มีหน่วยเป็นระยะทาง (L)
Q	คือ	ปริมาตรของการไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (Volumetric flux) มีหน่วยเป็นหนึ่งส่วนเวลา (1/t) ซึ่งมีค่าเป็นบวกสำหรับการไหลที่เพิ่มน้ำเข้าสู่ระบบ และมีค่าเป็นลบสำหรับการไหลของน้ำออกจากระบบ
Ss	คือ	การกักเก็บจำเพาะ (Specific storage) มีหน่วยเป็นหนึ่งส่วนระยะทาง (1/L)
t	คือ	เวลา (t)

สำหรับสมการที่ควบคุมสมดุลของระบบ (Balance equations) นั้นใช้หลักของสมดุลมวล (Mass balance) โดยนำไปใช้สำหรับการพิจารณาทั้งมวลของน้ำและมวลของสาร

ทั้งนี้ เมื่อนำสมการ (2.2-1) ประกอบกับการควบคุมสมดุลของระบบ มาประเมินค่าอนุพันธ์แบบ Backward-difference โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามเวลา เราจะได้สมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite-difference equation) สำหรับแต่ละเซลล์ (หน่วยย่อยสำหรับคำนวณ) ดังนี้ (McDonald and Harbaugh, 1988)

$$\begin{aligned}
& CR_{i,j-\frac{1}{2},k} (h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} (h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m) \\
& + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} (h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} (h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) \\
& + CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} (h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} (h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m) \\
& + P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k} (WR_j \times WC_i \times T_{i,j,k}) \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t^m - t^{m-1}}
\end{aligned} \tag{2.2-2}$$

- โดยที่ $h_{i,j,k}^m$ คือ Head ที่เซลล์ i, j, k ณ ตำแหน่งเวลา (Time step) m มีหน่วยเป็นระยะทาง (L)
- CV, CR และ CC คือ Hydraulic conductivity ระหว่างโนด (Node) i, j, k และโนดข้างเคียง มีหน่วยเป็นระยะทางกำลังสองต่อเวลา (L^2/t)
- $P_{i,j,k}$ คือ ผลรวมของสัมประสิทธิ์ของ Head จากพจน์จ่ายน้ำ (Source term) และพจน์รับน้ำ (Sink term) มีหน่วยเป็นระยะทางกำลังสองต่อเวลา (L^2/t)
- $Q_{i,j,k}$ คือ ผลรวมของค่าคงที่ (Constant) จากพจน์จ่ายน้ำ (Source term) และพจน์รับน้ำ (Sink term) โดยที่ $Q_{i,j,k}$ มีค่าเป็นลบสำหรับการไหลออกจากระบบและมีค่าเป็นบวกสำหรับการไหลเข้าระบบ และมีหน่วยเป็นระยะทางกำลังสองต่อเวลา (L^2/t)
- $SS_{i,j,k}$ คือ Specific storage มีหน่วยเป็นส่วนหนึ่งของระยะทาง ($1/L$)
- WR_j คือ ความกว้างของเซลล์ในสตรัม j ของทุกๆ แถว มีหน่วยเป็นระยะทาง (L)
- WC_i คือ ความกว้างของเซลล์ในแถว i ของทุกๆ สตรัม มีหน่วยเป็นระยะทาง (L)
- $T_{i,j,k}$ คือ ความหนาในแนวตั้งของเซลล์ i, j, k มีหน่วยเป็นระยะทาง (L)
- t^m คือ เวลา ณ ตำแหน่งเวลา (Time step) m มีหน่วยเป็นเวลา (t)

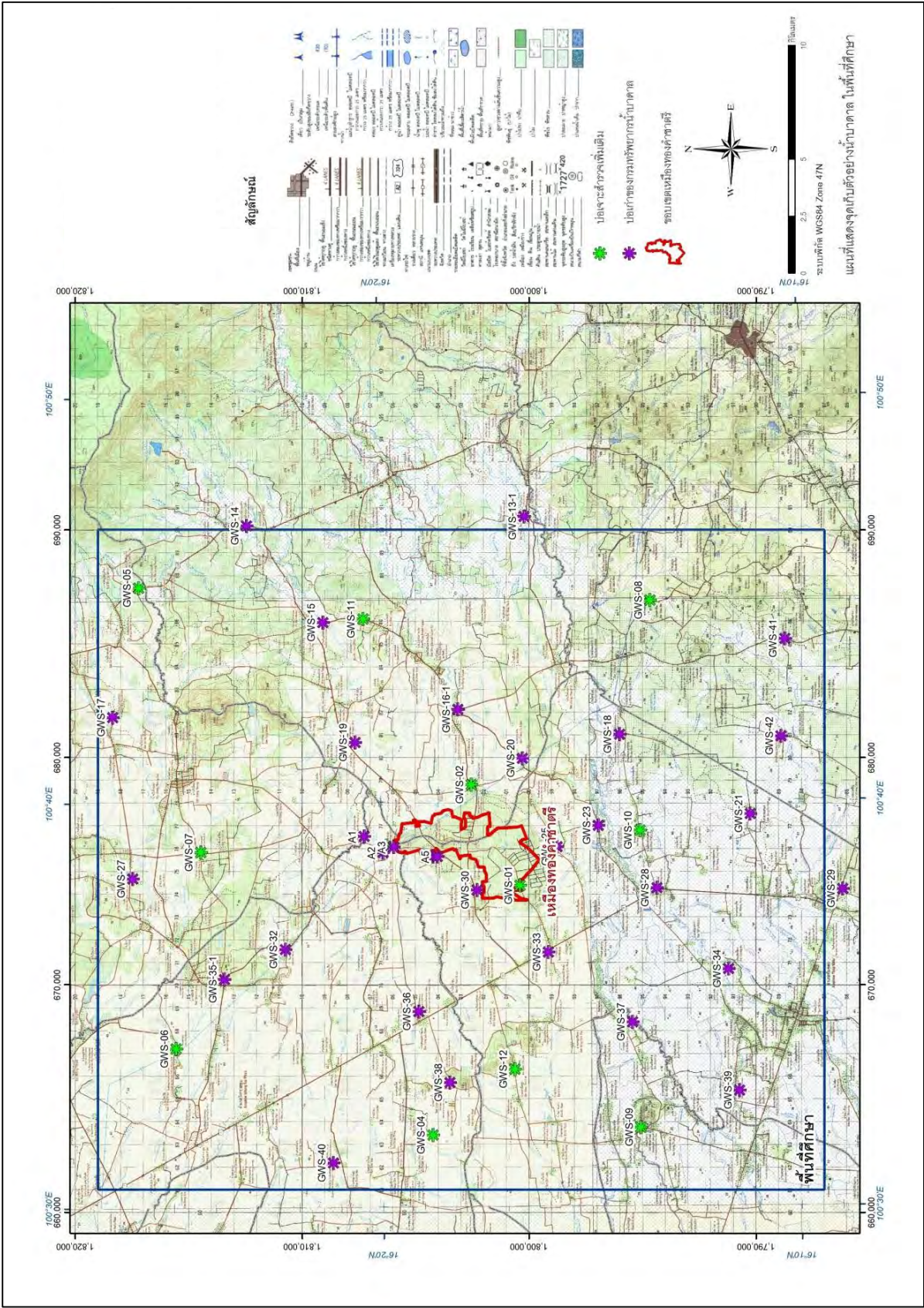
สมการ (2.2-2) นี้ จะใช้ในการคำนวณและสามารถอธิบายพฤติกรรมของการไหลของน้ำบาดาลในตัวกลางที่ไม่เป็นเนื้อเดียว (Heterogeneous) และไม่เท่ากันทุกทิศทาง (Anisotropic) ในสามมิติ

3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการด้านอุทกธรณีวิทยา

- 1) ศึกษาวิเคราะห์รายงานที่เกี่ยวข้องในบริเวณพื้นที่ศึกษา
- 2) รวบรวมข้อมูลและศึกษาสภาพปัจจุบันของพื้นที่โครงการสำหรับเป็นข้อมูลพื้นฐาน จะต้องรวบรวมข้อมูลดังต่อไปนี้
 - แผนที่ภูมิประเทศบริเวณพื้นที่โครงการ มาตรฐาน 1:50,000
 - ภาพถ่ายทางอากาศ มาตรฐาน 1:25,000
 - แผนที่การใช้ที่ดิน
 - แผนที่ทางธรณีวิทยา
 - สภาพอุทกวิทยาและอุทกธรณีวิทยา
 - ข้อมูลบ่อน้ำบาดาลและตำแหน่งบ่อในพื้นที่
 - ข้อมูลระดับน้ำบาดาล
 - ข้อมูลการสูบทดสอบบ่อน้ำบาดาล
 - ข้อมูลด้านอุตุวิทยามหาวิทยาลัย
- 3) ศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นที่โครงการและพื้นที่ใกล้เคียง เพื่อศึกษาลักษณะภูมิศาสตร์และภูมิสังคม และลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา และอุทกธรณีวิทยา
- 4) ศึกษาลักษณะอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่และบริเวณใกล้เคียงทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ การเพิ่มเติมน้ำ การสูญเสีย น้ำ สมดุลน้ำบาดาล และแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่
- 5) ศึกษาและประมาณค่าตัวแปรต่างๆ ที่ควบคุมการไหลของน้ำบาดาล
- 6) จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม Visual Modflow เพื่อวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

3.2 การจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการไหลของน้ำบาดาล

การจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการไหลของน้ำบาดาล มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองในระดับภูมิภาคซึ่งครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 928 ตารางกิโลเมตร ซึ่งมีความกว้าง 29 กิโลเมตร และยาว 32 กิโลเมตร ที่สามารถแสดงการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้ข้อมูลที่ใช้ในทุกขั้นตอนเป็นค่าเฉลี่ยตลอดรายปี ดังนั้นข้อจำกัดของแบบจำลองนี้คือไม่สามารถจะแสดงลักษณะการไหลของน้ำบาดาลแยกสำหรับแต่ละฤดูกาลได้



รูป 3.1 จุดสำรวจบ่อน้ำบาดาล และบ่อน้ำดื่มในบริเวณรอบๆ พื้นที่โครงการ รวมถึงตำแหน่งของแต่ละบ่อสังเกตการณ์

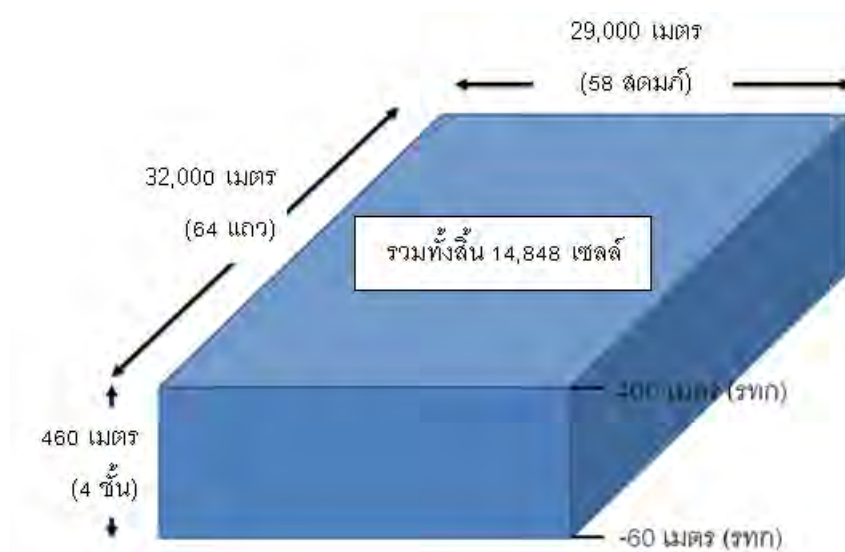
การจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการไหลของน้ำบาดาลประกอบด้วยขั้นตอนหลักทั้งสิ้น 4 ขั้นตอน ได้แก่ การออกแบบและการจัดทำแบบจำลอง การปรับแก้ค่า การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง และการจำลองการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

3.2.1 การออกแบบและสร้างแบบจำลอง

เนื้อหาในหัวข้อนี้ แสดงถึงขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วย การเตรียมข้อมูลและการนำข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม การเตรียมข้อมูลนี้มีความจำเป็นสำหรับการปรับข้อมูลดิบที่ได้มาให้มีความเหมาะสมกับความต้องการของโปรแกรม ส่วนการนำข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมนี้ จะอธิบายถึงวิธีการหรือเทคนิคที่ใช้ซึ่งมีผลต่อการประมวลผลของโปรแกรม

(1) กริด (Grid)

แบบจำลองถูกสร้างขึ้นบนระบบพิกัด UTM (ใช้ตัวเลือก World co-ordinate system ในโปรแกรม) เพื่อความสะดวกในการเชื่อมโยงกับข้อมูลที่นำเข้าซึ่งถูกจัดเก็บในระบบพิกัดนี้ทั้งสิ้น พื้นที่ศึกษาได้ถูกแบ่งให้มีความละเอียดของกริดหรือขนาดของเซลล์ (Cell) เท่ากับ 500 x 500 เมตร ตามแนวนอนและแนวตั้ง ส่วนกริดในแนวตั้งนั้นได้แบ่งไว้ทั้งสิ้น 4 ชั้น ดังนั้น แบบจำลองนี้มี 58 สดมภ์ และ 64 แถว เมื่อรวมกริดในแนวตั้งแบบจำลองมีเซลล์รวมทั้งสิ้น 14,848 เซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูป 3.2 ลักษณะการแบ่งกริดและเซลล์ของแบบจำลอง

การแบ่งกริดในแนวตั้งนั้นจะแบ่งตามหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาที่ได้จากแบบจำลองเชิงมนทัศน์ (Conceptual model) โดยแบ่งเป็น 4 ชั้น

นอกจากนี้ ความหนาของแต่ละชั้นจะถูกกำหนดให้มีค่าไม่คงที่ (Variable thickness) โดยขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างการกระจายตัวของหน่วยหินตามที่กำหนดไว้ในแบบจำลองเชิงมนทัศน์

(2) ความสูงของระดับพื้นผิวดิน (Surface elevation)

ค่าความสูงของระดับพื้นผิวดินนั้นได้จากการนำข้อมูลดิบซึ่งเป็น Digital Elevation Model (DEM) ของกรมแผนที่ทหาร ที่มีความละเอียดของข้อมูล 50 เมตร โดยใช้วิธีการประมวลผลข้อมูลนำเข้าแบบ Kriging

(3) สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic conductivity, K)

การบรรยายถึงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในรายงานส่วนนี้จะแทนคำว่า “สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน” ด้วยสัญลักษณ์ K เพื่อความสะดวกสำหรับผู้อ่านรายงาน

1) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของหน่วยหิน Vw, Vf, และ Vm

ค่า K ของหน่วยหิน Vw, Vf, และ Vm ได้จากผลการสูบทดสอบ (Pumping test) จากบ่อสูบทดสอบจำนวน 12 บ่อ ทั้งนี้ผู้ที่ทำการสูบทดสอบไม่ได้รายงานระยะ (เริ่มต้นและสิ้นสุด) ของท่อกรูหรือระยะของท่อกรอง ดังนั้นผู้ดำเนินงานจัดทำแบบจำลองจึงยึดความลึกที่มีการทำธรณีฟิสิกส์หลุมเจาะ (Borehole geophysical logging) เป็นความลึกที่สิ้นสุดระยะท่อกรูและเป็นความลึกที่เริ่มทำการสูบทดสอบ และยึดความลึกของก้นบ่อเป็นความลึกที่สิ้นสุดการสูบทดสอบ จากการพิจารณาตามสมมติฐานดังกล่าวพบว่าการสูบทดสอบของบ่อส่วนใหญ่ไม่ได้ดำเนินการสูบจากหน่วยหินเพียงหน่วยเดียว ดังนั้น ค่า K ที่ได้จึงต้องนำมาทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทนของหน่วยหินแต่ละหน่วย โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1

ขั้นแรกคือพิจารณาค่า K ที่ได้จากการสูบทดสอบที่สามารถใช้เป็นตัวแทนของค่า K ของหน่วยหินในบ่อบ่อหนึ่ง ในกรณีนี้คือทำการกำหนดให้หน่วยหินที่มีความหนามากกว่า 90% เมื่อเทียบกับความหนาของการสูบทดสอบรวม เป็นหน่วยหินหลักซึ่งสามารถใช้ค่า K ของบ่อเป็นตัวแทนได้ ในที่นี้จะเห็นว่าบ่อที่ 2, 3, 5, 10, 11 และ 12 เป็นบ่อที่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าค่า K ที่ได้จากการสูบทดสอบสามารถใช้เป็นตัวแทนของค่า K ในหน่วยใด

ขั้นตอนที่ 2

จากนั้นจึงพิจารณาหาค่า K ซึ่งจะใช้เป็นตัวแทนของหน่วยหิน Vf ในพื้นที่ศึกษาทั้งพื้นที่ สาเหตุที่พิจารณาหน่วยหินนี้เป็นลำดับแรกเนื่องจากหน่วยหินนี้นับเป็นชั้นที่ให้น้ำหลักรวมทั้งมีค่า K ที่ได้จากการสูบทดสอบที่เชื่อถือได้เป็นจำนวนมากกว่าหน่วยหินอื่น ดังนั้นเมื่อนำค่า K ของ บ่อที่ 2, 10 และ 11 มาทำการเฉลี่ย จะพบว่าหน่วยหิน Vf มีค่า K เท่ากับ 1.82E-05 เมตร/วินาที

ขั้นตอนที่ 3

ขั้นถัดไป คือนำค่า K ของหน่วยหิน Vf ที่ได้นี้ ไปประเมินหาค่า K ของหน่วยหินอื่น ในที่นี้ได้แก่หน่วยหิน Vw ของบ่อที่ 3, 4 และ 8 โดยการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted average) โดยใช้ความหนาของชั้นหินเป็นน้ำหนักถ่วง ตามสมการข้างล่างนี้

$$\frac{(\log A) X_i + (\log B_i) Y_i}{X_i + Y_i} = \log K_i \quad (3-1)$$

โดยที่	A	คือ	ค่า K ที่เป็นตัวแทนของหน่วยหิน V_f ในพื้นที่ศึกษา (L/t)
	B_i	คือ	ค่า K ของหน่วยหิน V_w ในบ่อ i ซึ่งไม่ทราบค่า (L/t)
	X_i	คือ	ความหนาของหน่วยหิน V_f ที่ผ่านท่อกรูในบ่อ i (L)
	Y_i	คือ	ความหนาของหน่วยหิน V_w ที่ผ่านท่อกรูในบ่อ i (L)
	K_i	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ได้จากการสุบทดสอบของบ่อ i (L/t)

จากการคำนวณด้วยสมการ (3-1) พบว่าค่า K ของหน่วยหิน V_w ของบ่อที่ 3, บ่อที่ 4 และบ่อที่ 8 เท่ากับ $2.77E-07$, $2.92E-06$ และ $6.52E-10$ เมตร/วินาทีตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 4

เมื่อนำค่าทั้งสามที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 มาเฉลี่ยรวมกับค่า K ของหน่วยหิน V_w ที่ได้จากการสุบทดสอบในบ่อที่ 5 ($1.56E-05$ เมตร/วินาที) เราจะได้ค่า K ซึ่งเป็นตัวแทนของหน่วยหิน V_w ในพื้นที่ศึกษา เท่ากับ $3.00E-07$ เมตร/วินาที

ขั้นตอนที่ 5

สุดท้าย คือพิจารณาว่าค่า K ของหน่วยหิน V_m ของบ่อที่ 1, 6, 7 และ 9 โดยการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted average) เช่นเดียวกัน ดังสมการด้านล่าง

$$\frac{(\log A) X_i + (\log B) Y_i + (\log C_i) Z_i}{X_i + Y_i + Z_i} = \log K_i \quad (3-2)$$

โดยที่	A	คือ	ค่า K ที่เป็นตัวแทนของหน่วยหิน V_f ในพื้นที่ศึกษา (L/t)
	B	คือ	ค่า K ที่เป็นตัวแทนของหน่วยหิน V_w ในพื้นที่ศึกษา (L/t)
	C_i	คือ	ค่า K ของหน่วยหิน V_m ในบ่อ i ซึ่งไม่ทราบค่า (L/t)
	X_i	คือ	ความหนาของหน่วยหิน V_f ที่ผ่านท่อกรูในบ่อ i (L)
	Y_i	คือ	ความหนาของหน่วยหิน V_w ที่ผ่านท่อกรูในบ่อ i (L)
	Z_i	คือ	ความหนาของหน่วยหิน V_m ที่ผ่านท่อกรูในบ่อ i (L)
	K_i	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ได้จากการสุบทดสอบของบ่อ i (L/t)

จากการคำนวณพบว่าค่า K ของหน่วยหิน V_m ของบ่อที่ 1, 6, 7 และ 9 เท่ากับ $1.22E-06$, $7.80E-09$, $1.60E-10$ และ $7.84E-05$ เมตร/วินาทีตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 6

นำค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 5 มาเฉลี่ย ทั้งนี้ ผู้ดำเนินงานไม่นำค่า K ของ Vm ในบ่อที่ 9 และ 12 มาคำนวณ เนื่องจากเป็นค่า K ที่สูงเฉพาะพื้นที่ (Local) เพราะแบบจำลองเชิงมน็อตส์ได้วิเคราะห์ไว้ตามหลักฐานทางศิลาบรรณประกอบกับหลักฐานทางธรณีฟิสิกส์ รวมทั้งหลักฐานการใช้น้ำและข้อมูลจากฐานข้อมูลพสุธาฯ ซึ่งสรุปไว้ว่าหน่วย Vm เป็นหินแข็งที่ไม่มีรอยแตกหรือมีน้อยมาก ดังนั้นค่า K จึงน้อยกว่าหน่วย Vf เพราะฉะนั้นค่า K ของ Vm ในบ่อที่ 9 และ 12 จึงถือว่าไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษาได้ และเมื่อนำค่า K ของ Vm ในบ่อที่ 1, 6, และ 7 มาเฉลี่ย จะได้ค่า K ซึ่งเป็นตัวแทนของหน่วยหิน Vm ในพื้นที่ศึกษา เท่ากับ $1.15E-08$ เมตร/วินาที

เมื่อได้ค่า K ของแต่ละหน่วยหินซึ่งถือว่าเป็นค่า K ในแนวนอน (K_x และ K_y) แล้ว จึงทำการประมาณให้ K ในแนวตั้ง (K_z) มีค่าน้อยกว่าค่าในแนวนอน 10 เท่า

2) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของหน่วยหิน Qdf และ Qt

ค่า K ของชั้นที่ 1 ในแบบจำลอง (หน่วยหิน Qfd และ Qt) ได้มาจากรายงานผลการทดสอบตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษาจำนวน 50 ตัวอย่าง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3.75E-05$ เมตร/วินาที ดังนั้นแบบจำลองจึงกำหนดให้ค่า K ในทุกแกน (x, y และ z) มีค่าดังกล่าวเท่ากัน

(4) คุณสมบัติการกักเก็บ (Storage)

คุณสมบัติการกักเก็บที่กำหนดในแบบจำลองประกอบด้วย ค่าการกักเก็บจำเพาะ (Specific storage, S_s) ปริมาณน้ำจำเพาะ (Specific yield, S_y) และ ความพรุนประสิทธิผล (Effective porosity, n_e)

คุณสมบัติการกักเก็บที่กำหนดในแบบจำลองก่อนทำการปรับแก้ ทุกค่าที่กำหนดได้มาจากการประมาณ ยกเว้นค่า S_s ของหน่วยหิน Vf นั้นได้จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storativity, S) ซึ่งได้มากจากผลการสุบทดสอบ ด้วยสมการ

$$S = S_s \times b \quad (3-3)$$

โดยที่	S	คือ	การกักเก็บ (-)
	S_s	คือ	การกักเก็บจำเพาะ (1/L)
	b	คือ	ความหนาของชั้นหิน (L)

(5) ขอบเขตความดันน้ำคงที่ (Constant head)

แบบจำลองได้ถูกกำหนดให้มีขอบเขตความดันน้ำคงที่ (Constant head) บริเวณทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์ระดับน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล โดยกำหนดให้มีขนาดลดลงจากเหนือไปใต้ตามลักษณะของระดับน้ำบาดาลที่ปรากฏจริง

การกำหนดขอบเขตความดันน้ำคงที่ดังกล่าวนี้ เป็นการตั้งสมมติฐานว่าน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาได้รับการเติมอย่างต่อเนื่องจากทิศตะวันออกและระดับน้ำที่บริเวณนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

(6) การระบายน้ำ (Drain)

แบบจำลองได้มีการกำหนดให้มีการระบายน้ำตามลักษณะเส้นทางของลำห้วยซึ่งปรากฏในแผนที่ภูมิประเทศ โดยแต่ละกริดจะมีค่าการระบายน้ำ (Conductance) 1000 ตารางเมตร/วัน ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณพื้นที่ผิวของลำน้ำประกอบกับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดิน

(7) การเติมน้ำ (Recharge)

ปริมาณการเติมน้ำของพื้นที่ศึกษาประเมินจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนซึ่งจัดเก็บโดยกรมอุตุนิยมวิทยา ในช่วงปี พ.ศ. 2522 ถึง พ.ศ. 2551 (กรมชลประทาน, 2551) ข้อมูลน้ำฝนที่นำมาใช้นี้ครอบคลุมพื้นที่จำนวน 9 อำเภอของ 3 จังหวัด ได้แก่ อำเภอเมืองพิจิตร อำเภอบางมูลนาก อำเภอโพทะเล อำเภอตะพานหิน อำเภอโพธิ์ประทับช้าง อำเภอวังทรายพูน โรงเรียนเขาทราย อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร อำเภอชนแดน และอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์ จากการเฉลี่ยพบว่าพื้นที่ศึกษามีน้ำฝน 1173.81 มิลลิเมตร/ปี หรือคิดเป็น 1,200 มิลลิเมตร/ปี โดยประมาณ

การเติมน้ำ (Recharge) ในแบบจำลองถูกกำหนดให้มีสองพื้นที่หลัก ได้แก่ พื้นที่หินโคลงซึ่งเป็นหน่วยหิน Vw และพื้นที่ตะกอนตะกั่วน้ำซึ่งเป็นหน่วยหิน Qt ตามที่ปรากฏในแผนที่ธรณีวิทยา โดยกำหนดให้มีค่าเป็น 5% และ 10% ของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ซึ่งได้แก่ 60 และ 120 มิลลิเมตร/ปี ตามลำดับ

(8) การสูบน้ำ

1) การสูบน้ำเพื่อการเกษตร

การสูบน้ำเพื่อการเกษตรที่กำหนดในแบบจำลองจะเป็นการสูบน้ำเพื่อการทำนอกรักษาพื้นที่ แต่จะกำหนดให้สูบน้ำเป็นปริมาณเฉลี่ยตลอดทั้งปี โดยบ่อน้ำบาดาลหนึ่งบ่อถูกกำหนดให้มีการสูบน้ำ 120 ลูกบาศก์เมตร/วัน (ตลอดทั้งปี) ซึ่งเป็นค่าการให้น้ำเฉลี่ยที่ได้จากการศึกษาบ่อในฐานข้อมูลพสุธารา

ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณการสูบน้ำหรือจำนวนและตำแหน่งของบ่อสูบน้ำบาดาลเพื่อการทำนอกรักษาพื้นที่ไม่ทราบอย่างแน่ชัด ดังนั้นปริมาณการสูบน้ำในพื้นที่ศึกษาจึงถูกประเมินจากจากความหนาแน่นของบ่อน้ำบาดาลของหน่วยงานราชการซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลพสุธารา โดยนำตำแหน่งของบ่อน้ำบาดาลจากฐานข้อมูลพสุธาราซึ่งครอบคลุมพื้นที่ศึกษาและพื้นที่รอบนอก มาลงพิกัดตำแหน่งในแผนที่และคำนวณหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density) ซึ่งแบ่งออกเป็น 9 ระดับ จากนั้นจึงกำหนดให้บ่อน้ำบาดาลในแบบจำลองมีความหนาแน่นที่สอดคล้อง

เหมืองทองคำ ของบริษัท อัคราไมนิ่ง จำกัด ไม่มีการใช้น้ำจากชั้นหินอุ้มน้ำบาดาล ดังนั้นแบบจำลองจึงไม่มีการกำหนดการสูบน้ำของเหมือง

เหตุผลที่สรุปว่าเหมืองไม่ได้ใช้น้ำบาดาล เพราะเหมืองไม่มีบ่อน้ำบาดาลที่สูบน้ำ และน้ำที่ใช้ในกระบวนการทำเหมืองทั้งหมดเป็นปริมาณ 160 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง นั้น มาจากสองแหล่ง คือ 1) น้ำจากบ่อเก็บกากแร่ที่นำกลับมาใช้ซ้ำ (Reuse) เป็นปริมาณ 82 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง และ 2) น้ำที่อยู่ในบ่อเหมืองเก่าทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ เป็นปริมาณ 78 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

ทั้งนี้ น้ำที่อยู่ในบ่อเหมืองเก่า นั้น จัดเป็นน้ำผิวดินที่ไม่มีความเชื่อมโยงกับระบบน้ำบาดาล เพราะ 1) คุณภาพของน้ำที่อยู่ในบ่อเหมือง (ซึ่งมีคุณภาพไม่ดี) ไม่สอดคล้องกับคุณภาพน้ำบาดาลที่ตรวจสอบได้จากบ่อน้ำบาดาลบริเวณใกล้เคียงโดยรอบ (ซึ่งมีคุณภาพดี) และ 2) ระดับน้ำบริเวณเหมืองที่ตรวจวัดได้ไม่บ่งบอกถึงการใช้น้ำในปริมาณที่มากตามที่เหมืองมีความจำเป็นต้องใช้

3.2.2 การปรับแก้ค่าในแบบจำลอง (Calibration)

การปรับแก้ค่าในแบบจำลองนั้นทำโดยยึดค่าระดับน้ำคงที่ (Static groundwater level) ที่ตรวจสอบได้ในพื้นที่เป็นหลัก

เมื่อทำการจำลองการไหลของน้ำบาดาลในเบื้องต้นก่อนการปรับแก้ค่า พบว่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับระดับน้ำที่ตรวจวัดได้ และแสดงความแตกต่างไม่เกิน 10% อย่างไรก็ตาม เพื่อให้แบบจำลองมีความสามารถในการจำลองสภาพจริงได้ดีที่สุด จึงมีการทำการปรับแก้ค่าในแบบจำลองโดยการวิเคราะห์ตัวแปรที่ควรปรับแก้โดยใช้ฟังก์ชัน Parameter optimization ที่มีอยู่ในโปรแกรม

ผลและการแปลความหมายข้อมูล

4.1 ธรณีวิทยาในระดับท้องถิ่น

จากการศึกษาจากรายงานที่ผ่านมา การแปลความหมายจากภาพดาวเทียม และภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลการเจาะบ่อสำรวจ ข้อมูลการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ ในพื้นที่ศึกษา สามารถวิเคราะห์และแปลความหมายลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่บริเวณนี้ออกมาทั้งในระดับพื้นผิว และได้พื้นผิวได้ดังต่อไปนี้

4.1.1 สภาพธรณีวิทยาพื้นผิว

พื้นที่ศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลาง ในช่วงตะวันออกของที่ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนบน โดยสภาพภูมิประเทศของพื้นที่เป็นที่ราบลุ่มทางด้านตะวันตกติดกับแม่น้ำมูล ลาดชันไปทางเทือกเขาเพชรบูรณ์ทางฝั่งตะวันออกของพื้นที่ ทางน้ำทั้งหมดของพื้นที่ไหลจากทางเทือกเขาเพชรบูรณ์ฝั่งตะวันตกไปยังแม่น้ำน่านฝั่งตะวันออก มีลักษณะทางน้ำโดยทั่วไปเป็นแบบกิ่งขนาน (Sub-parallel drainage system) จากแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:50,000 จากกรมทรัพยากรธรณี สามารถแบ่งกลุ่มหินในพื้นที่ศึกษาได้เพียง 2 กลุ่มใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ ตะกอนยุคใหม่ (Quaternary sediments) และกลุ่มหินภูเขาไฟที่ไม่สามารถแยกได้ (Undifferentiated volcanic rocks) แต่เนื่องจากในบริเวณพื้นที่ศึกษาฝั่งตะวันตกในบริเวณต้นน้ำ ยังพบหินอีกหลากหลายชนิด และอาจมีผลต่อการศึกษาน้ำใต้ดินในบริเวณนี้ จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาน้ำที่อยู่นอกพื้นที่บริเวณนี้ด้วย โดยการลำดับชั้นหินจะกล่าวได้ดังต่อไปนี้

(1) หินตะกอนและหินแปร

- ตะกอนน้ำพายุคใหม่ ประกอบด้วยพื้นที่ซึ่งเป็นแหล่งสะสมของตะกอนลานตะพักที่สะสมตัวในยุคหลังไพลสโตซีนประกอบด้วยตะกอนของดินเหนียวเป็นส่วนใหญ่สลับด้วยตะกอนทราย หรือกรวดในอัตราส่วนน้อยกว่าหรือวางตัวในรูปของกระจาปะ (lens) ภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่ม ซึ่งเป็นแหล่งทำการเกษตรมีระดับความสูง 50-60 เมตร ปกคลุมพื้นที่มากกว่า 70%

- ตะกอนตะพักยุคเก่า ประกอบด้วยตะกอนกรวดทรายและเศษหินที่มีการคัดขนาดค่อนข้างดี และสะสมตัวอยู่ที่ราบเชิงเขา เช่น แถบขอบแอ่งด้านตะวันออก มีระดับความสูงที่ระดับ 70-100 เมตร กับพื้นที่ราบที่เกิดจากการสะสมตัวของตะกอนในหุบเขา

(2) กลุ่มหินโคราช จากแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:50,000 โดยกรมทรัพยากรธรณี พบกลุ่มหินโคราชเพียงหมวดหินเดียว คือ หมวดหินภูกระดึง ซึ่งมีลักษณะเป็นหินตะกอนจำพวกหินทรายแป้ง หินทราย หินเคลย์ และหินกรวดมน สีเทา ถึงเทาปนม่วง หมวดหินภูกระดึงนี้อยู่นอกพื้นที่ศึกษาออกไปทางตะวันออกสุด

(3) กลุ่มหินสระบุรี คือ หินปูนยุคเพอร์เมียน ประกอบด้วยหินปูนสีเทาถึงเทาเข้ม ลักษณะเป็นชั้นค่อนข้างหนา มีหินดินดานสีเทา ลักษณะชั้นบางแทรกสลับ พบซากดึกดำบรรพ์จำพวกหอยสองฝา ไคนอยด์

ปะการัง และฟอสซิลเฟอรา พบลักษณะเป็นเทือกเขาในเขตด้านตะวันออก นอกพื้นที่ศึกษา บริเวณตำบล บ้านมุง อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก เริ่มตั้งแต่เขาป่าแดงร่างกาย ยาวไปในแนวตะวันออกเฉียงใต้ ประมาณ 30 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังมีเขาหินปูนโดดๆ อีกหลายลูกกระจาย อยู่ในเขตอำเภอเนินมะปราง เช่น เขาผาหมาตาย เขาคอกควาย เขาผาท่าพล เป็นต้น

(4) หินชั้นกึ่งแปร ยุคเพอร์เมียนถึงคาร์บอนิเฟอรัส (Permian to carboniferous) ประกอบด้วยหินทรายกึ่งหินควอร์ตไซต์ (Quartzitic sandstone) หินดินดาน หินชนวน (Phyllitic to slaty shale) แปรสภาพไปเนื่องจากอิทธิพลของหินภูเขาไฟที่เกิดขึ้นมาภายหลัง ทำให้เนื้อหินค่อนข้างแข็ง แนวการวางตัวเป็นแนว ตะเข็บติดต่อกับจังหวัดเพชรบูรณ์ บริเวณตะวันออกของกิ่งอำเภอสากเหล็ก อำเภอวังทรายพูน อำเภอทับคล้อ และกิ่งอำเภอดงเจริญ

(5) หินอัคนี ที่พบมี 2 ชนิดดังนี้

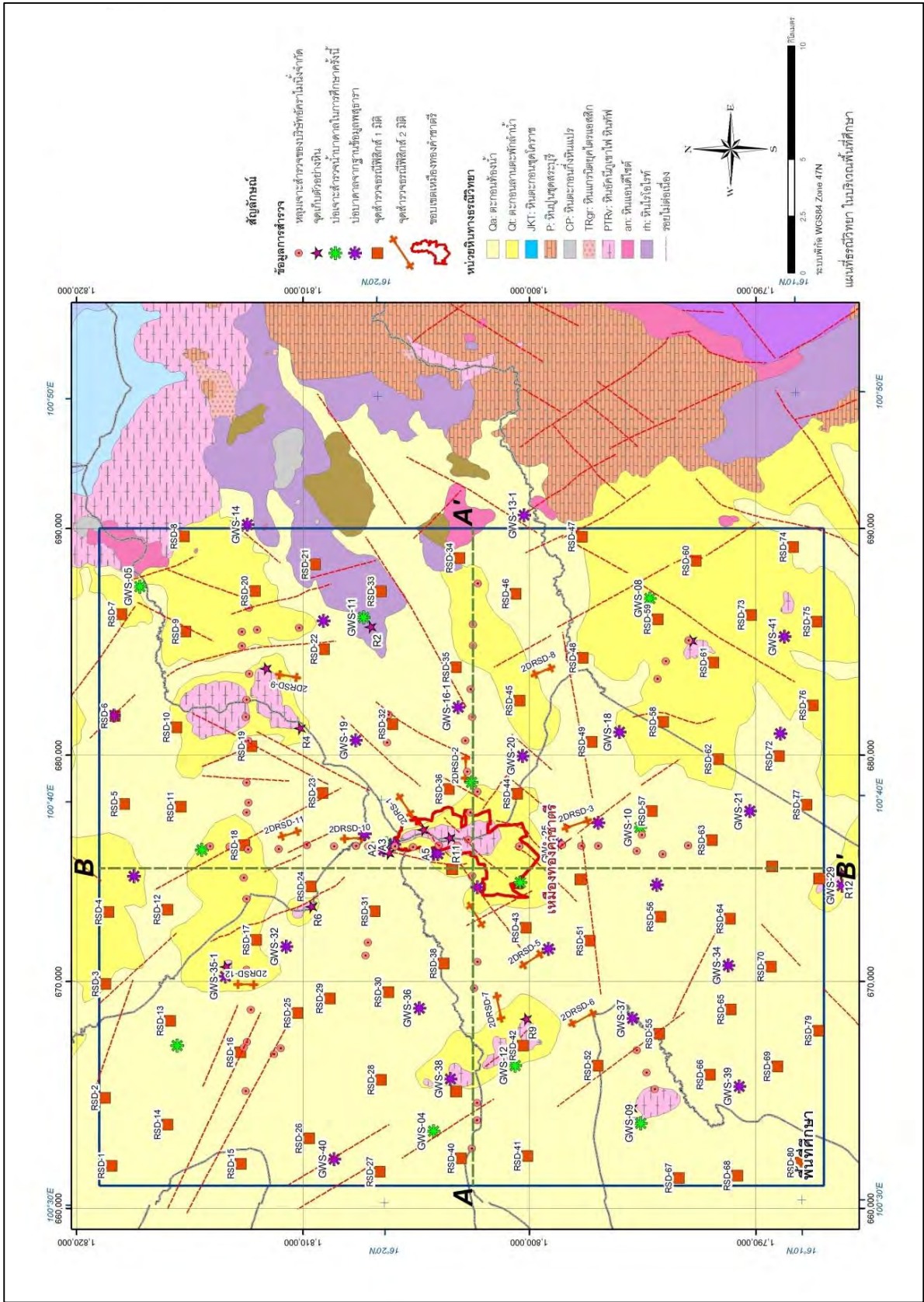
- หินภูเขาไฟยุคเพอร์โม-ไทรแอสซิก (Permo-Triassic volcanic rocks) พบเป็นหินภูเขาไฟ ประเภท แอนดีไซต์ (Andesite) ไรโอไลต์ (Rhyolite) และหินทัฟฟ์ (Tuff) มีหินกรวดภูเขาไฟ (Agglomerate) และหิน ชั้นภูเขาไฟ (Phyroclastic rock) แทรกอยู่เป็นบางแห่ง มักพบเป็นเนินเขาโดดๆ แทรกอยู่ประปรายในหินยุค เพอร์เมียน-คาร์บอนิเฟอรัสและหินยุคไทรแอสซิกตอนบน-จูแรสซิกตอนล่าง กระจายตัวแทรกอยู่ระหว่างหิน ยุคเพอร์เมียน-คาร์บอนิเฟอรัส และหินยุคไทรแอสซิกตอนบน-จูแรสซิกตอนล่างบางส่วน พบแทรกอยู่ในหินยุค เพอร์เมียน-คาร์บอนิเฟอรัส ในบริเวณอำเภอวังโป่ง อำเภอชนแดน และอำเภอหนองไผ่ ที่พบแทรกในหินยุค เพอร์เมียน-คาร์บอนิเฟอรัส และหินยุคไทรแอสซิกตอนบน-จูแรสซิกตอนล่าง พบในบริเวณอำเภอบึงสามพัน และอำเภอวิเชียรบุรี

- หินแกรนิตยุคไทรแอสซิก (Triassic granite) พบเป็นหินแกรนิต (Granite) แกรโนไดโอไรต์ (Grano-Diorite) และไดโอไรต์ (Diorite) หินแกรนิตชุดนี้จัดอยู่ในยุคไทรแอสซิก เป็นหินที่ตัดเข้ามาในหินไรโอไรท์ แอนดีไซต์ และทัฟฟ์ในยุคเพอร์โม-ไทรแอสซิก

อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถแบ่งรอยต่อระหว่างหินอัคนีทั้งสองชนิดออกจากกันโดยสิ้นเชิง ในการศึกษา ในครั้งนี้ เนื่องจากหินดังกล่าวมีการวางตัวที่ซับซ้อน ซึ่งต้องใช้ข้อมูลที่จะนำมาพิจารณามาก ในการศึกษาครั้งนี้ จึงทำการรวมกลุ่มหินดังกล่าวเป็นกลุ่มเดียวกัน แต่ยังคงพอที่จะแยกแยะกลุ่มหินดังกล่าวออกได้ทางตะวันตก นอกพื้นที่ศึกษา

4.1.2 ลักษณะธรณีวิทยาใต้พื้นผิวของพื้นที่ศึกษา

จากการรวบรวมข้อมูลการศึกษาธรณีวิทยาพื้นผิว รวมถึงข้อมูลหลุมเจาะจากบริษัท อัคราไมนิ่ง จำกัด และข้อมูลพสุธาตามที่ได้อ้างอิงไว้ สามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ทางธรณีวิทยาได้ออกมาเป็นธรณีวิทยา ใต้พื้นผิวในบริเวณพื้นที่ศึกษาได้ โดยทำการสร้างภาพตัดขวางในพื้นที่ศึกษาออกมาเป็นสองแนวด้วยกัน คือ แนวตะวันออก-ตะวันตก และแนวเหนือ-ใต้



รูป 4.1 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษา

จากข้อมูลภาพตัดขวาง สามารถแบ่งชนิดหินออกมาได้ 5 ชนิดด้วยกัน คือ

- ตะกอนน้ำพายุคใหม่ ประกอบด้วยพื้นที่ซึ่งเป็นแหล่งสะสมของตะกอนลานตะพักที่สะสมตัวในยุคหลังไพลสโตซีน บริเวณที่ราบถึงที่ราบลุ่ม ประกอบด้วยตะกอนของดินเหนียวเป็นส่วนใหญ่สลับด้วยตะกอนทราย หรือกรวดในอัตราส่วนน้อยกว่าหรือวางตัวในรูปของกระจาปะ (Lens) มีความหนาประมาณ 5-20 เมตร ตามลักษณะภูมิประเทศ

- ตะกอนลานตะพักลำน้ำ เป็นตะกอนกึ่งแข็งประกอบด้วยตะกอน กรวดทรายและเศษหินที่มีการกัดขนาดค่อนข้างดี และสะสมตัวอยู่ที่ราบเชิงเขา มีความหนาประมาณ 10-30 เมตร

- หินภูเขาไฟฟู (Saporite, PTRv1) เป็นหินภูเขาไฟจำพวก หินไรโอไรท์ หินแอนดิไซต์และหินทัฟฟ์ที่มีความสูง มีความหนาประมาณ 10-30 เมตร

- หินภูเขาไฟมีรอยแตกสูง (PTRv2) เป็นหินภูเขาไฟจำพวก หินไรโอไรท์ หินแอนดิไซต์และหินทัฟฟ์ที่มีรอยแตกมาก มีความหนาประมาณ 20-60 เมตร

- หินภูเขาไฟไม่มีรอยแตก หรือมีรอยแตกน้อย (PTRv3) เป็นหินอัคนีจำพวก หินไรโอไรท์ หินแอนดิไซต์ และอาจพบหินไดโอไรท์บ้างในบางบริเวณ ที่มีรอยแตกมีรอยแตกน้อย มักเป็นหินที่ไม่มีความผุเลย วางตัวอยู่ชั้นล่างสุดในพื้นที่ศึกษา

4.2 ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา

จากการศึกษาการเจาะบ่อสำรวจและบ่อสุบทดสอบ จำนวน 12 บ่อ โดยหาหลักการไหลของน้ำบาดาล โดยความลึกของหลุมเจาะรวม 600 เมตร รวมทั้งศึกษาการหยั่งธรณีหลุมเจาะ และข้อมูลการสุบทดสอบบ่อแบบ Long Term (ระยะเวลาสุบ 72 ชั่วโมงต่อบ่อ) ได้ผลดังนี้

4.2.1 ผลการสุบทดสอบน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

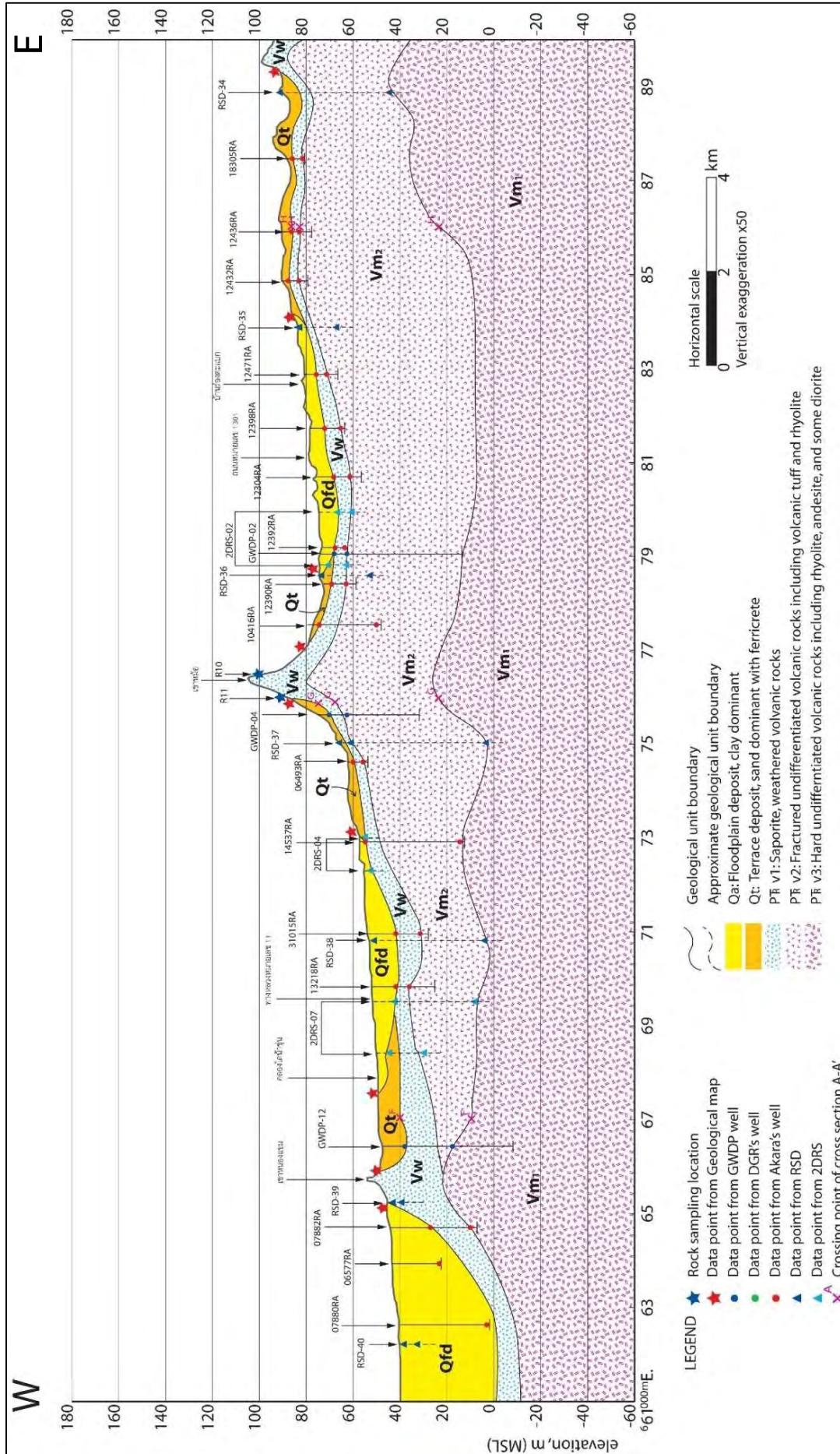
จากการศึกษาการสุบทดสอบน้ำบาดาล จำนวน 12 บ่อ ในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร และอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์ สรุปผลการทดสอบดังตาราง 4.1 เพิ่มค่า K สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน T สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน และ S สัมประสิทธิ์การกักเก็บ

4.2.2 ค่าการซึมผ่านของน้ำในดินชั้นบน

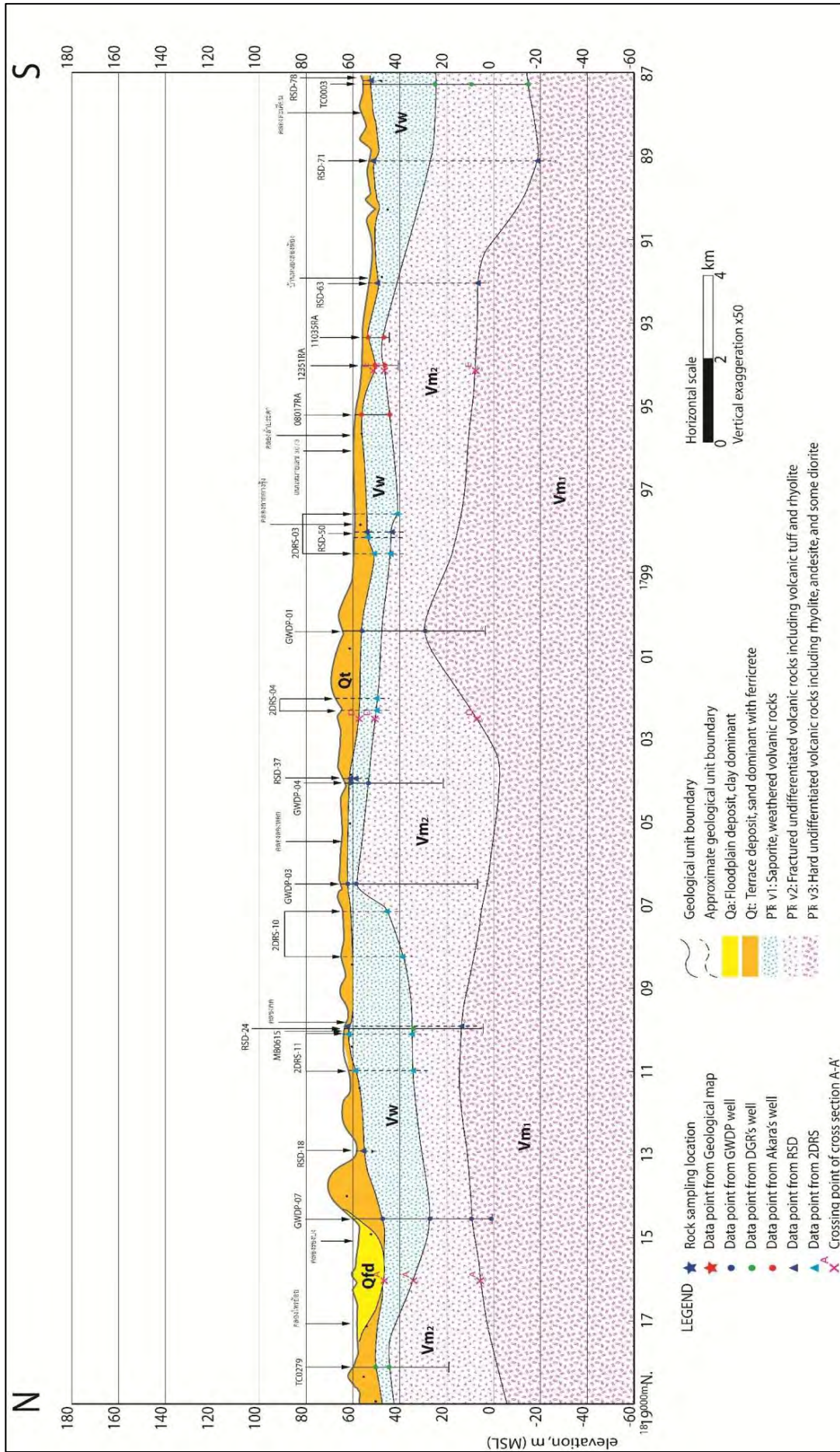
จากข้อมูลการขุดเจาะสำรวจ และข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน เพื่อศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดิน ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตาราง 4.2

4.2.3 หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา

ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ศึกษามีหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาทั้งสิ้น 5 หน่วย ได้แก่ Qfd, Qt, Vw, Vf และ Vm โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูป 4.2 ภาพตัดขวางในแผนที่ศึกษาแนวตะวั่นออก-ตะวั่นตก



รูป 4.3 ภาพตัดขวางในพื้นที่ศึกษาแนวเหนือ-ใต้

ตาราง 4.1 สรุปผลการสุบทดสอบบ่อบาดาล

เลขที่บ่อ	สถานที่	ความลึกบ่อ (เมตร)	ระดับน้ำปกติ ก่อนสูบ (เมตร)	อัตราการสูบ (ลูกบาศก์เมตร/ ชั่วโมง)	ระยะน้ำ ลด (เมตร)
GWDP-01	บ้านนิคม ม.8 ต.เขาทราย อ.ทับคล้อ จ.พิจิตร (บ่อเหมือง)	62	3.700	4.00	11.10
GWDP-02	3 บ้านดงหลง ม.8 ต.ท้ายดง อ.วังโป่ง จ.เพชรบูรณ์ (นางทองแดง ทรงพระสุวรรณ)	62	3.700	4.00	12.60
GWDP-03	บ้านคลองตาลัด ม.6 ต.วังโพรง อ.เนินมะปราง จ.พิษณุโลก (บ่อเหมือง)	58	5.000	5.00	14.40
GWDP-04	บ้านเขาหม้อ ม.9 ต.เขาเจ็ดยอด อ.ทับคล้อ จ.พิจิตร (โรงเรียนบ้านเขาหม้อ)	42	6.950	7.00	14.55
GWDP-05	37 บ้านใหม่วังตะเคียน ม.10 ต.วังหิน อ.วังโป่ง จ.เพชรบูรณ์ (นายประดิษฐ์ อุ่นแก้ว)	24	3.198	7.00	11.474
GWDP-06	37 บ้านบึงมะกรูด ม.3 ต.วังทรายพูน อ.วังทรายพูน จ.พิจิตร (นายวงศ์ บุญสุข)	38	9.15	0.60	29.53
GWDP-07	บ้านหนองคู ม.3 ต.วังโพรง อ.เนินมะปราง จ.พิษณุโลก (วัดหนองคูสามัคคีธรรม)	59	6.402	2.00	19.385
GWDP-08	273 บ้านเขาดิน ม.11 ต.ท่าข้าม อ.ชนแดน จ.เพชรบูรณ์ (นายสมศักดิ์ ทับทัน)	65	6.402	0.50	38.05
GWDP-09	บ้านเขาบรเพ็ด ม.8 ต.วังหลุม อ.ตะพานหิน จ.พิจิตร (นายสุดใจ คุริพันธ์)	56	29.136	5.04	8.800
GWDP-10	275/2 บ้านหนองพงษ์ ม.9 ต.เขาทราย อ.ทับคล้อ จ.พิจิตร (นายประเสริฐ จันทร์วงษ์)	44	4.824	10.00	13.215
GWDP-11	1 บ้านบ่อทองพัฒนา ม.11 ต.ท้ายดง อ.วังโป่ง จ.เพชรบูรณ์ (นางสมทรง ชานูวัตร์)	24	10.980	5.00	6.854
GWDP-12	408 บ้านเนินพลวง ม.11 ต.เขาเจ็ดยอด อ.ทับคล้อ จ.พิจิตร	38	8.526	5.00	8.922

(1) ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง ยุคควอเทอร์นารี (Quaternary Floodplain Deposits, Qfd) เป็นหน่วยหินร่วน (Unconsolidated) ที่เกิดจากตะกอนน้ำพา (Alluvium deposits) ประกอบด้วยดินเหนียวเป็นหลัก และมีตะกอนขนาดทราย และทรายแป้งเป็นองค์ประกอบรอง

(2) ตะกอนตะพักยุคควอเทอร์นารี (Quaternary Terrace Deposits, Qt) เป็นหน่วยหินร่วน (Unconsolidated) ที่เกิดจากตะกอนตะพักลำน้ำ (Terrace deposits) ประกอบด้วยตะกอนศิลาแลง กรวด ทราย ทรายแป้งและดินเหนียว

(3) หินอัคนีพุที่ผุพัง (Volcanic Weathered Rocks, Vw) เป็นหน่วยหินที่เกิดจากการผุพังของหินฐาน (Basement rock) ซึ่งประกอบด้วยหินภูเขาไฟเป็นหลัก ในบางบริเวณเกิดจากการผุพังของหินตะกอนกึ่งแปร มักพบปะปนกับตะกอนยุคควอเทอร์นารี

ตาราง 4.2 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดินชั้นบน

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (เซนติเมตร/วินาที)	จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (เซนติเมตร/วินาที)
SS-01.1	8.923×10^{-7}	SS-26	1.481×10^{-8}
SS-02	2.455×10^{-7}	SS-27	1.147×10^{-7}
SS-03	2.143×10^{-8}	SS-28	8.034×10^{-8}
SS-04	4.111×10^{-7}	SS-29	4.016×10^{-8}
SS-05	4.307×10^{-7}	SS-30	6.679×10^{-8}
SS-06	9.948×10^{-8}	SS-31	1.561×10^{-8}
SS-7.1	2.885×10^{-8}	SS-32	2.554×10^{-7}
SS-8.1	7.395×10^{-7}	SS-33	3.405×10^{-7}
SS-09	2.639×10^{-5}	SS-34	1.208×10^{-7}
SS-10	2.625×10^{-7}	SS-35.2	8.929×10^{-8}
SS-11	2.330×10^{-8}	SS-36.2	9.248×10^{-8}
SS-12.2	5.862×10^{-7}	SS-37	7.386×10^{-6}
SS-13	1.051×10^{-7}	SS-38	6.820×10^{-8}
SS-14	2.202×10^{-8}	SS-39.2	2.438×10^{-7}
SS-15	1.839×10^{-7}	SS-40	5.308×10^{-7}
SS-16	8.371×10^{-8}	SS-41.2	3.594×10^{-8}
SS-17-3	3.195×10^{-7}	SS-42	1.574×10^{-5}
SS-18	9.888×10^{-6}	SS-43.2	1.414×10^{-5}
SS-19-1	8.630×10^{-8}	SS-44	7.412×10^{-9}
SS-20	2.909×10^{-7}	SS-45.2	6.715×10^{-8}
SS-21	1.270×10^{-7}	SS-46	1.250×10^{-7}
SS-22	6.810×10^{-8}	SS-47	1.738×10^{-7}
SS-23	2.299×10^{-7}	SS-48	9.123×10^{-8}
SS-24	5.651×10^{-7}	SS-49	6.061×10^{-6}
SS-25	2.273×10^{-7}	SS-50	1.608×10^{-8}

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2552)

(4) หินอัคนีพุดที่มีรอยแตก (Volcanic Fractured Rocks, Vf) เป็นหน่วยหินแข็งที่มีการผุพังเล็กน้อย มีรอยแตกและให้น้ำเฉพาะบริเวณ (Local aquifer) ประกอบด้วยหินภูเขาไฟประเภทไรโอไลต์ (Rhyolite) และแอนดีซิดิกทัฟฟ์ (Andesitic tuff)

(5) หินอัคนีพุดเนื้อแน่น (Volcanic Massive Rocks, Vm) เป็นหน่วยหินแข็งชั้นหินทิบน้ำ (Aquifuge) ประกอบด้วยหินภูเขาไฟประเภทไรโอไลต์ (Rhyolite) และแอนดีไซต์ (Andesite) เป็นหลัก ในบางบริเวณพบหินแกรนิต (Granite) และแกรโนไดโอไรต์ (Granodiorite)

4.2.4 แผนที่อุทกธรณีวิทยา

ผลการแปลข้อมูลอุทกธรณีวิทยาสามารถจัดทำเป็นแผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาในมาตราส่วน 1:50,000 แผนที่ดังกล่าวได้ถูกย่อส่วนเพื่อนำเสนอในรายงานนี้ นอกจากนี้ผู้ดำเนินงานยังได้จัดทำภาพถ่ายทาง

ซึ่งมีมาตราส่วน 1:50,000 ตามแนวนอนและมาตราส่วน 1:1,000 ตามแนวตั้ง (ขยายแนวตั้ง 50 เท่า) และมีลักษณะรูปร่างของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา

4.3 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์

แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual model) ของอุทกธรณีวิทยา เป็นการจำลองสภาพอุทกธรณีวิทยาเชิงแนวคิดของลักษณะรูปร่างและการกระจายตัวของชั้นหินและชั้นดิน และทิศทางการไหลของน้ำบาดาล การจัดทำแบบจำลองเชิงมโนทัศน์นี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับการจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพราะแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ที่สามารถเสนอสภาพอุทกธรณีวิทยาที่ใกล้เคียงความเป็นจริงจะทำให้การจำลองการไหลของน้ำบาดาลมีความน่าเชื่อถือ

หน่วยหินและคุณสมบัติทางชลศาสตร์

ลักษณะรูปร่างของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยานั้น ได้จากการดำเนินงานในส่วนก่อนหน้า ส่วนคุณสมบัติทางชลศาสตร์นั้น ได้มีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) ในเบื้องต้นโดยพิจารณาจากข้อมูลแผนที่น้ำบาดาลและภาพถ่ายทางอุทกธรณีวิทยาของกองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี (กองน้ำบาดาล 2544ก, 2544ข, 2544ค; บริษัท เสน (ประเทศไทย) จำกัด 2544ก, 2544ข; บริษัท เอ ทอปเทคโนโลยี จำกัด, 2544)

ระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

ระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลได้จากการแปลความหมายข้อมูลดังต่อไปนี้

- (1) ข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่ ซึ่งได้จากแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร (กรมแผนที่ทหาร, 2526ก, 2526ข, 2526ค, 2529, 2533, 2534)
- (2) ขอบเขตสันปันน้ำ ซึ่งได้จากการประมวลข้อมูลระดับความสูงของภูมิประเทศ
- (3) ข้อมูลระดับน้ำบาดาล

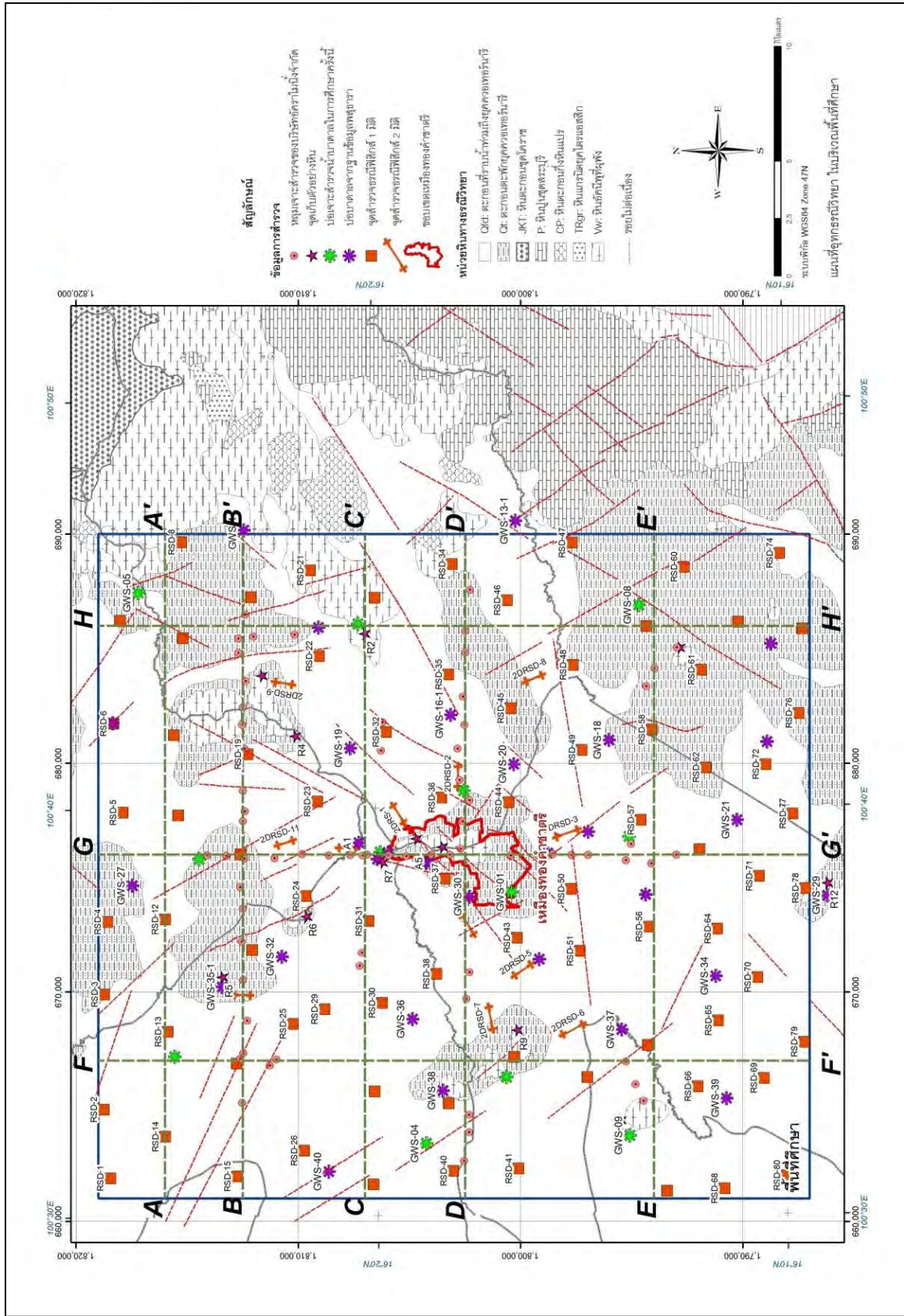
ผลของการดำเนินงานได้แก่แผนที่ระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล และภาพถ่ายทางแสดงระดับน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล (เป็นแนวที่มีทิศทางขนานกับทิศทางของการไหล)

4.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

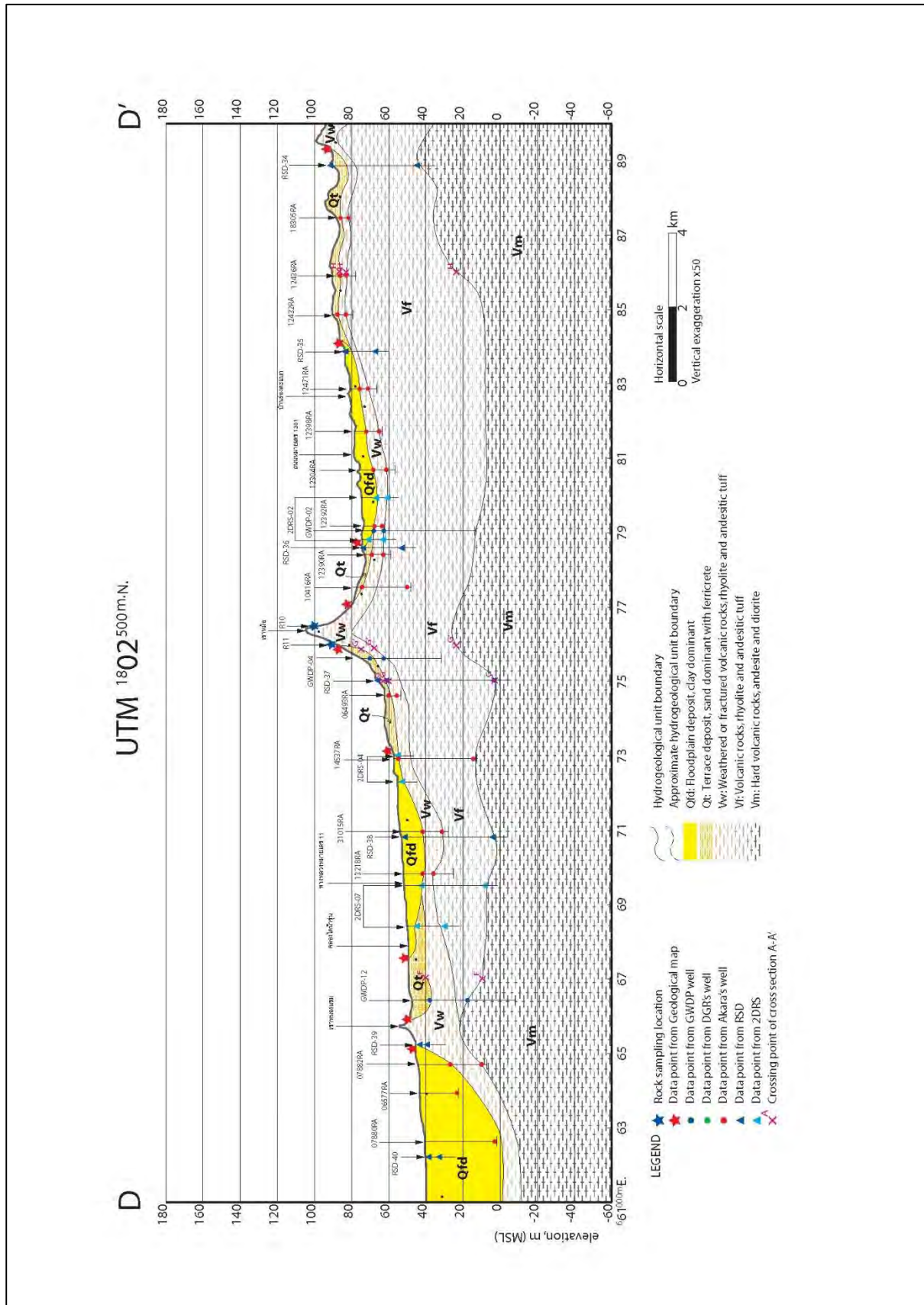
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ จัดทำขึ้นด้วยโปรแกรม Visual MODFLOW 2010.1 ของบริษัท Schlumberger Water Services

การแบ่งชั้น (Layer) และการกำหนดหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาในแบบจำลอง

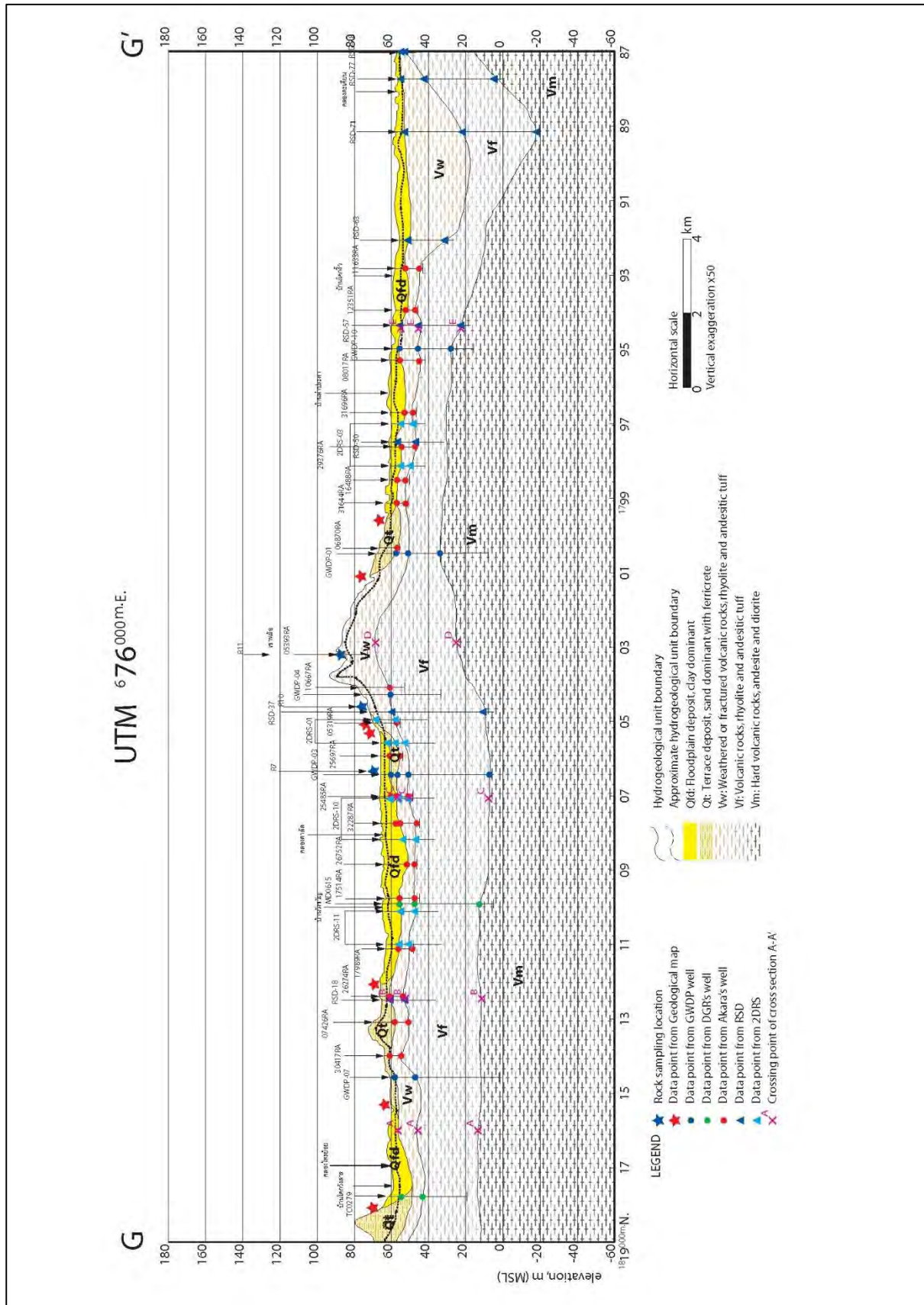
ความหนาของแต่ละชั้นจะถูกกำหนดให้มีค่าไม่คงที่ (Variable thickness) โดยขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างการกระจายตัวของหน่วยหินตามที่กำหนดไว้ในแบบจำลองเชิงมโนทัศน์



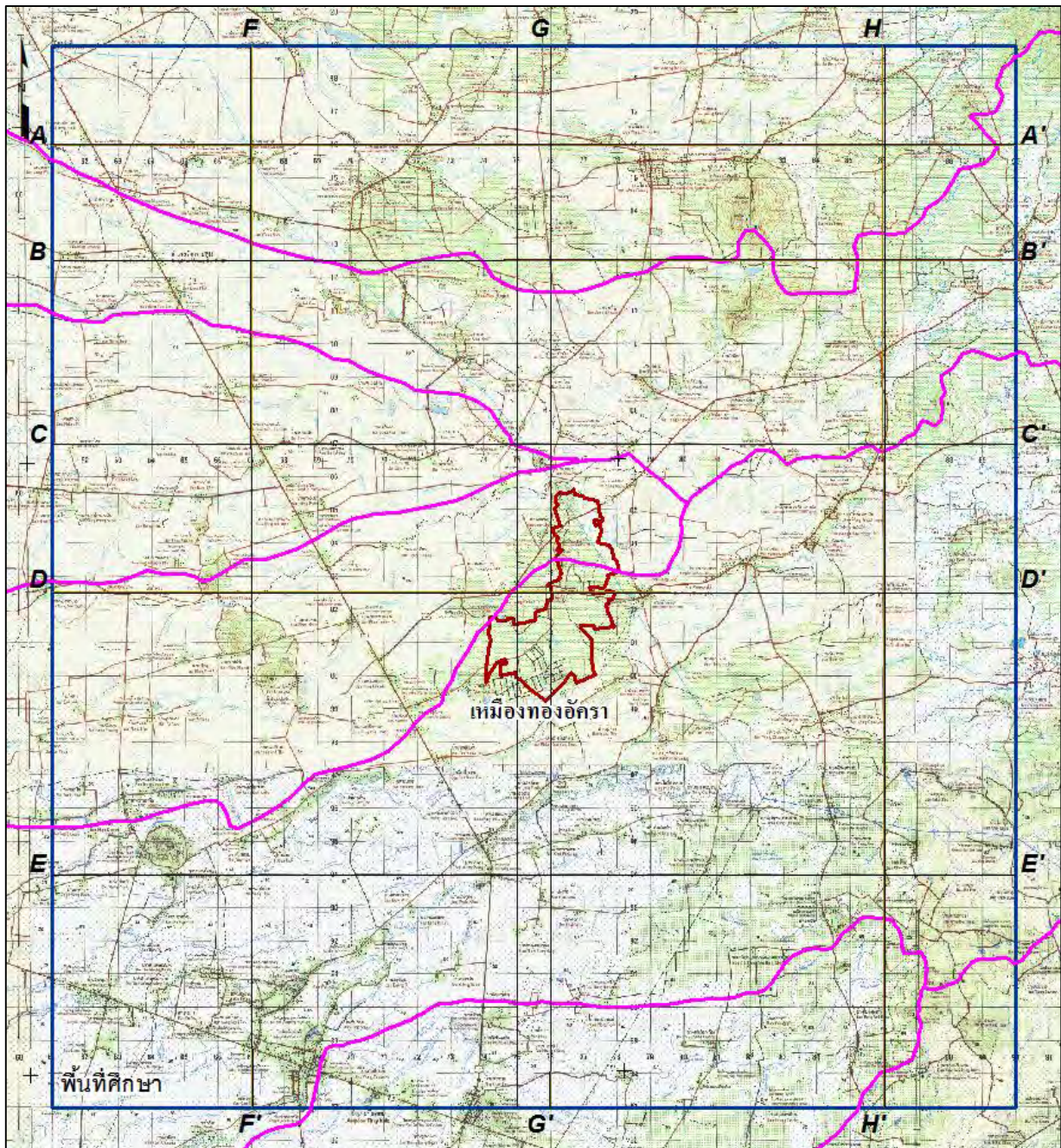
รูป 4.4 แผนที่หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา



รูป 4.5 ภาพตัดขวางของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาในแนว D-D'

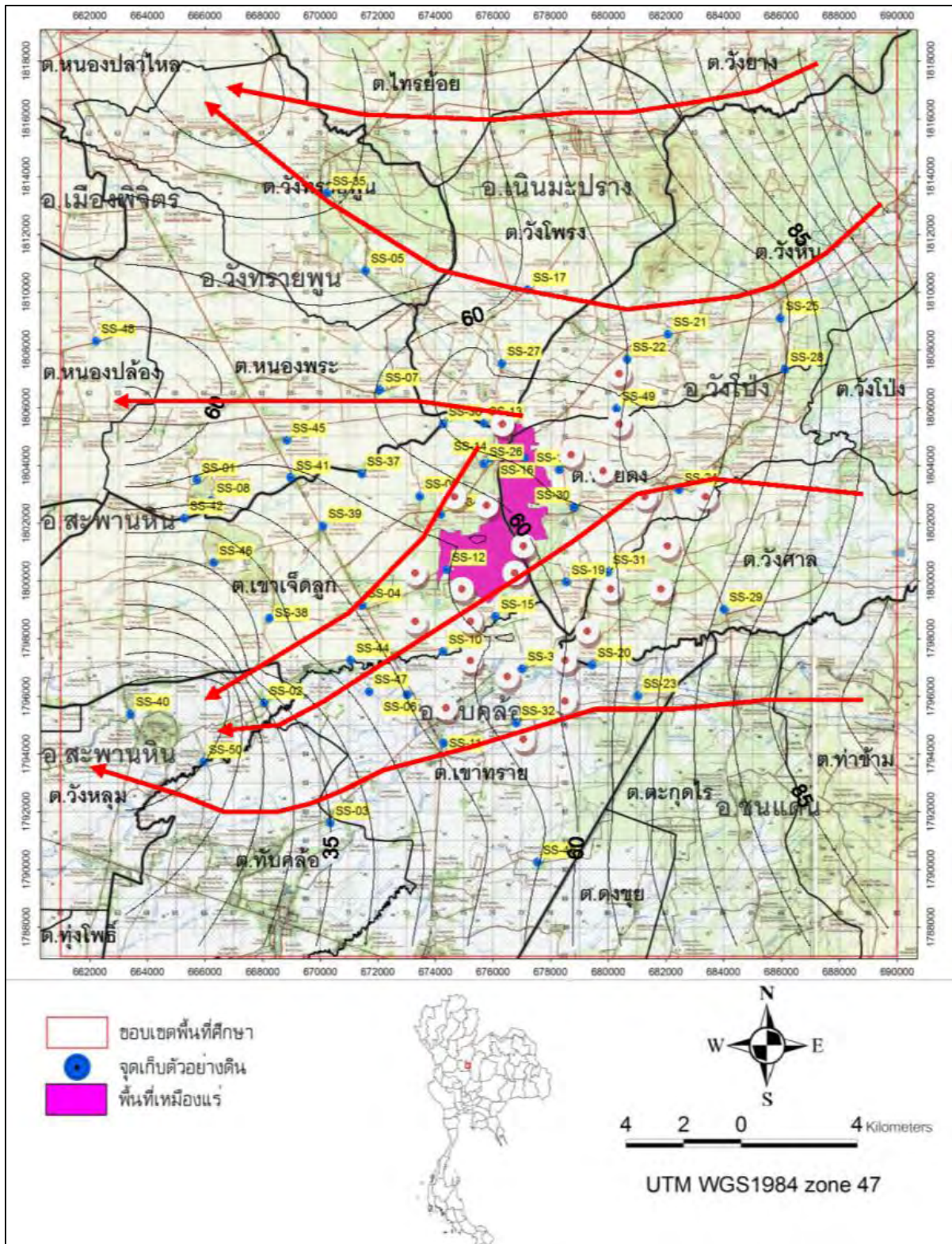


รูป 4.6 ภาพตัดขวางของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาในแนว G-G'

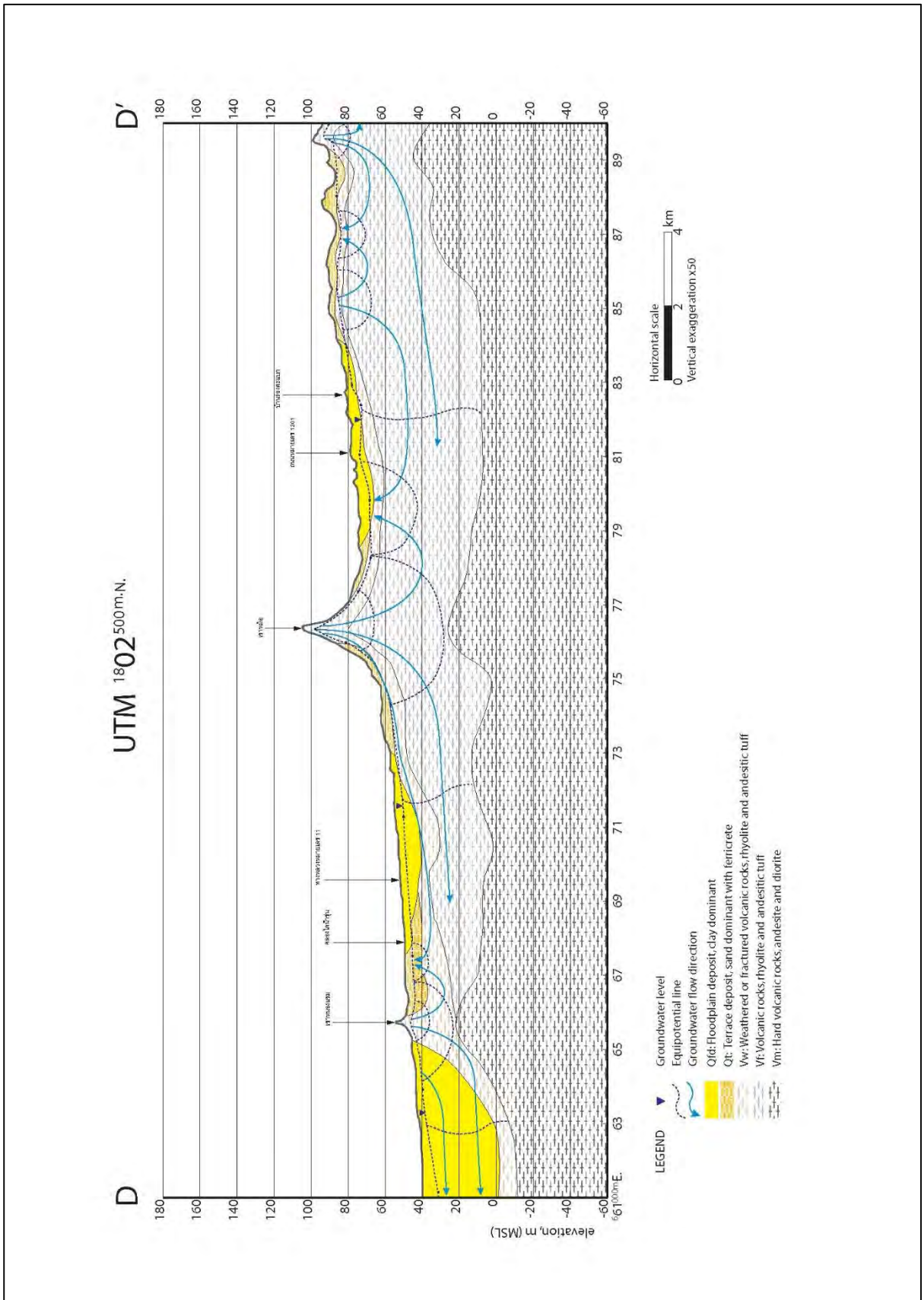


รูป 4.7 ขอบเขตสันปันน้ำของพื้นที่ศึกษา

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2552)



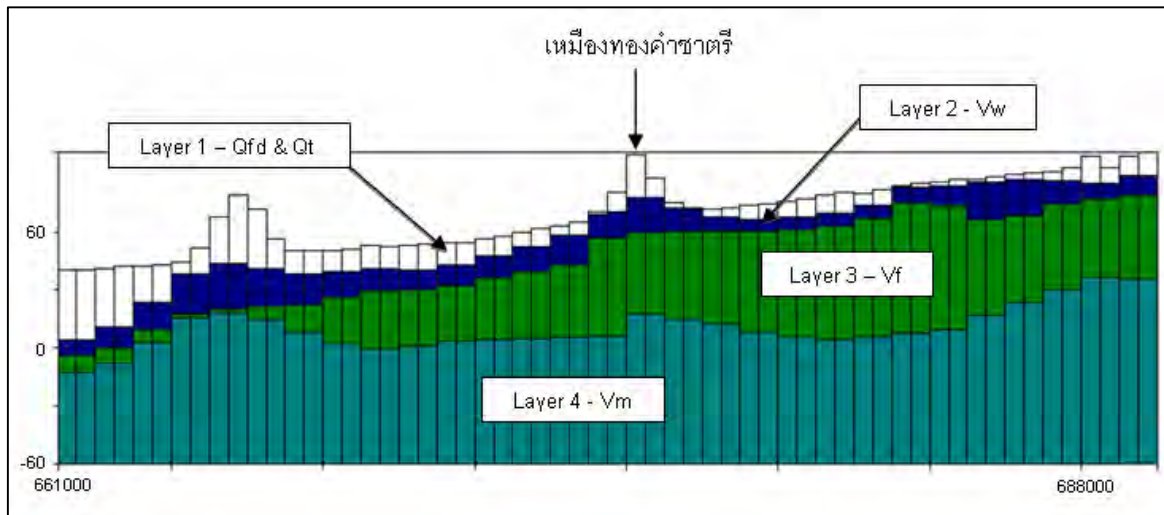
รูป 4.8 ระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล



รูป 4.9 ภาพตัดขวางแสดงระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในแนว D-D'

ตาราง 4.3 การแบ่งชั้น (Layer) ในแบบจำลอง

ชั้นที่ (layer)	หน่วยหินในแบบจำลอง
1	Qfd (Quaternary floodplain deposits) และ Qt (Quaternary terrace deposits)
2	Vw (Volcanic weathered rock)
3	Vf (Volcanic fractured rock)
4	Vm (Volcanic massive rock)



รูป 4.10 ภาพตัดขวางแสดงลักษณะการแบ่งกิตตามแนวตั้งและชั้น (Layer) ทั้งหมด 4 ชั้นแบบความหนาไม่คงที่

ตาราง 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่กำหนดในแบบจำลองก่อนทำการปรับแก้

ชั้น	หน่วยหิน	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic conductivity, K, m/s)		
		Kx	Ky	Kz
1	Qfd & Qt	3.75E-05	3.75E-05	3.75E-05
2	Vw	3.00E-07	3.00E-07	3.00E-09
3	Vf	1.82E-05	1.82E-05	1.82E-06
4	Vm	1.15E-08	1.15E-08	1.15E-09

ตาราง 4.5 คุณสมบัติการกักเก็บ (Storage) ที่กำหนดในแบบจำลองก่อนทำการปรับแก้

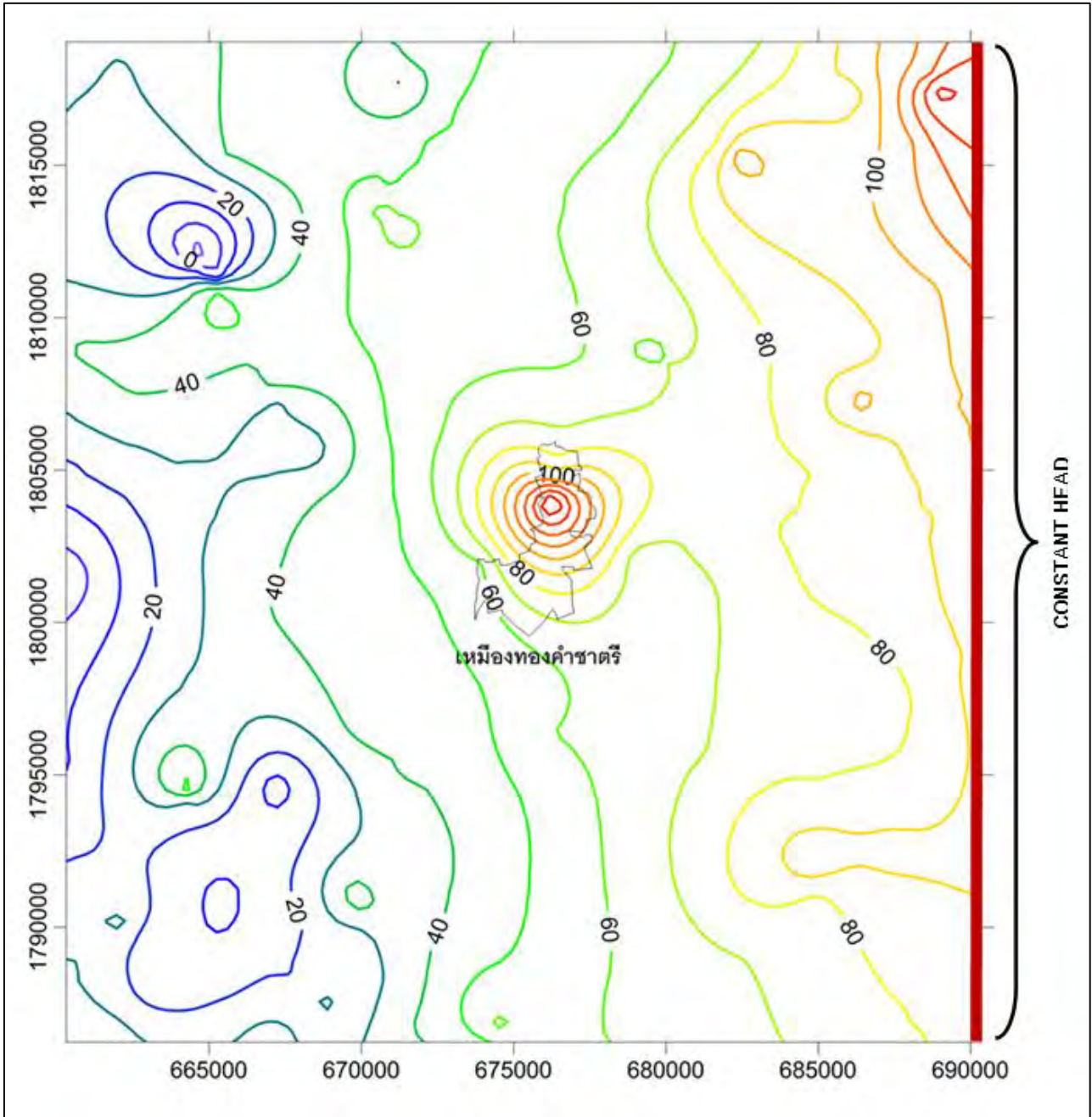
ชั้น	หน่วยหิน	การกักเก็บจำเพาะ (Specific Storage, Ss, 1/m)	ปริมาณน้ำจำเพาะ (Specific Yield, Sy, [-])	ความพรุนประสิทธิผล (Effective Porosity, n, [-])
1	Qfd & Qt	0.2	0.1	0.3
2	Vw	0.1	0.1	0.2
3	Vf	0.296	0.2	0.3
4	Vm	0.001	0.001	0.05

ตาราง 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษา

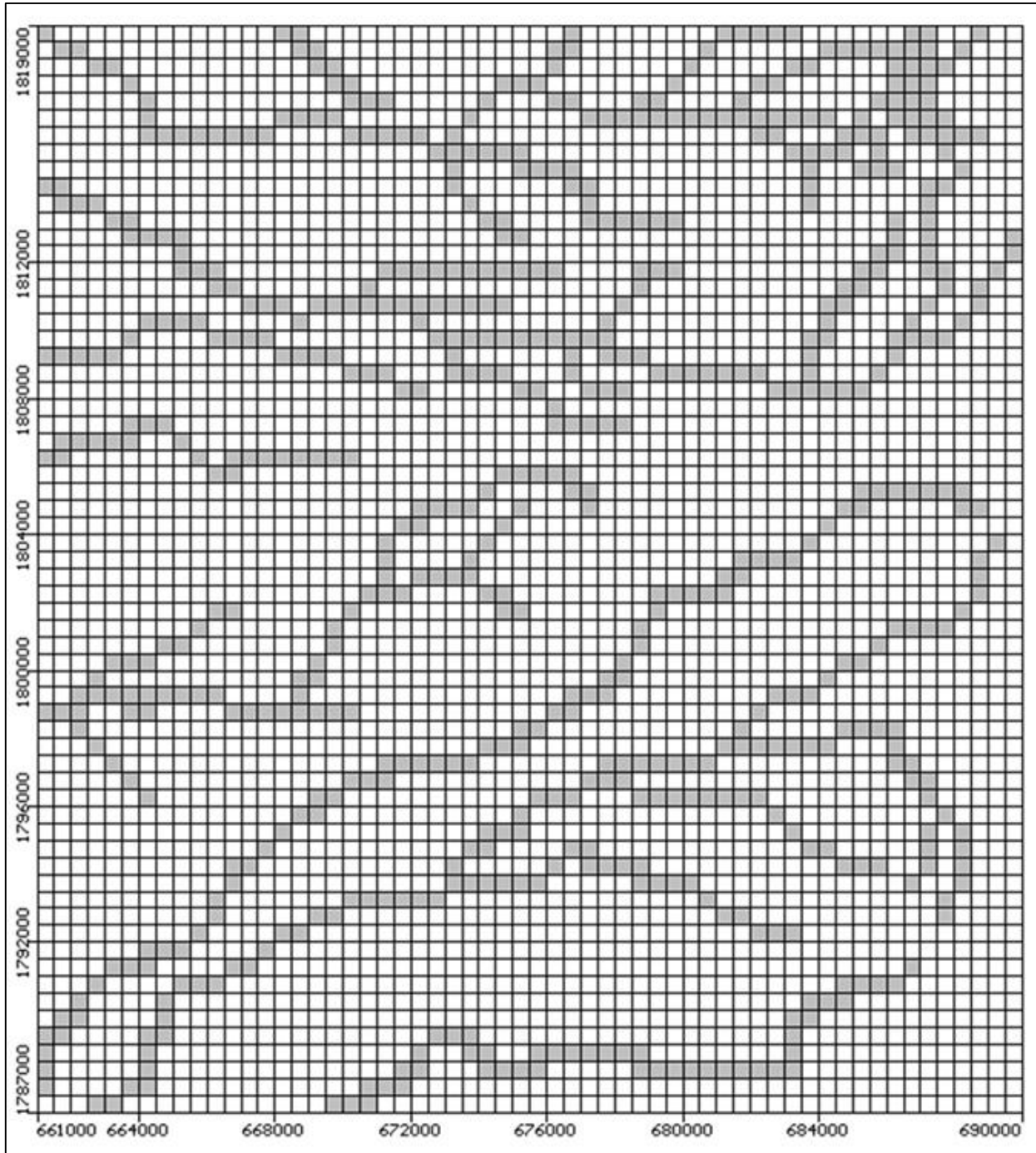
	หมายเลข ตัวอย่างดิน	พิกัด ตะวันออก	พิกัดเหนือ	ความลึก (m)	ระดับพื้นดิน (MSL, m)	ค่าสัมประสิทธิ์การ ซึมผ่าน (m/s)
1	SS-01.1	665669	1803385	1.28	55	9.12E-05
2	SS-02	668157	1795677	2.70	47	2.46E-05
3	SS-03	670319	1731655	3.12	53	2.14E-05
4	SS-04	671446	1799148	4.08	58	4.11E-05
5	SS-05	671656	1810906	3.75	55	4.31E-05
6	SS-06	672955	1796018	2.96	63	1.09E-05
7	SS-07.1	672065	1806640	1.31	55	4.11E-06
8	SS-08.1	666059	1802549	1.52	57	7.40E-05
9	SS-09	673452	1802977	3.79	60	2.64E-03
10	SS-10	674239	1797567	3.65	60	6.70E-04
11	SS-11	674438	1794404	3.80	60	3.33E-05
12	SS-12.2	674397	1800382	1.05	60	5.86E-05
13	SS-13	675968	1805577	3.90	60	1.05E-05
14	SS-14.1	675891	1804243	0.60	75	2.20E-06
15	SS-15	676135	1798814	4.03	61	1.84E-05
16	SS-16.2	677178	1804267	3.50	70	5.77E-04
17	SS-17.2	677130	1810040	1.48	68	3.20E-05
18	SS-18	678351	1803808	3.35	80	7.89E-04
19	SS-19.1	678564	1799920	0.65	70	1.26E-05
20	SS-20	679422	1797036	2.35	54	2.91E-05
21	SS-21	682147	1808560	4.12	75	1.27E-05
22	SS-22	680531	1807786	4.05	77	6.81E-06
23	SS-23.1	681075	1795972	0.80	79	2.30E-05
24	SS-24	682461	1803181	3.20	86	5.65E-05
25	SS-25	685950	1809100	3.70	65	2.27E-05
26	SS-26	678450	1808200	3.83	71	1.58E-06
27	SS-27	678522	1806777	2.37	78	1.15E-05
28	SS-28	674625	1806676	3.79	64	8.03E-06
29	SS-29	676964	1805786	3.70	76	4.02E-05
30	SS-30	678111	1805494	4.05	77	2.40E-05

ตาราง 4.6 (ต่อ)

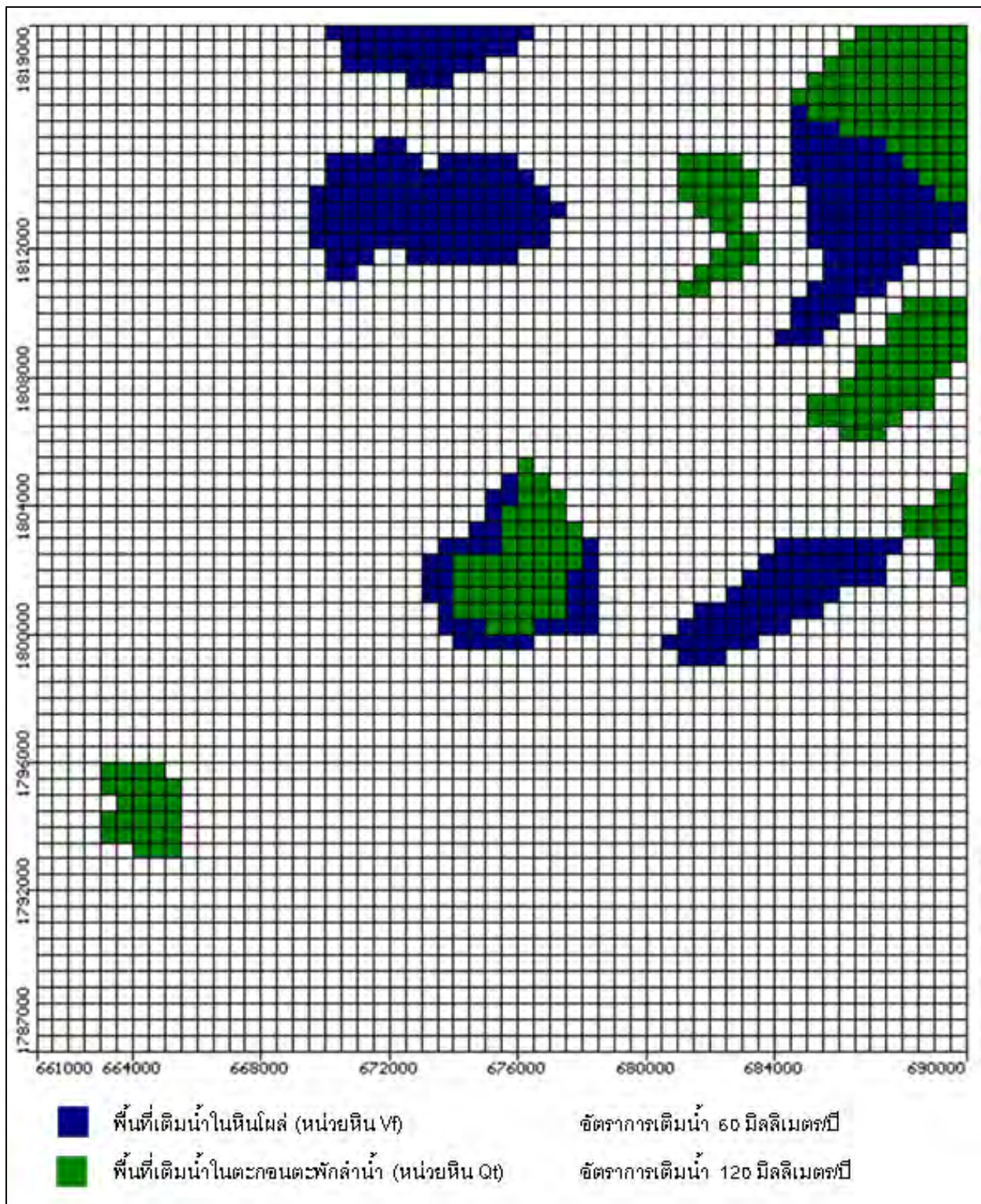
	หมายเลข ตัวอย่างดิน	พิกัด ตะวันออก	พิกัดเหนือ	ความลึก (m)	ระดับพื้นดิน (MSL, m)	ค่าสัมประสิทธิ์การ ซึมผ่าน (m/s)
31	SS-31	681097	1804535	3.60	81	1.56E-03
32	SS-32	673026	1804551	3.74	58	2.55E-05
33	SS-33	675059	1805197	4.18	66	3.41E-05
34	SS-34	679139	1804631	3.70	74	1.21E-05
35	SS-35.2	680233	1802814	1.58	73	8.93E-06
36	SS-36.2	675206	1803088	1.23	75	9.25E-06
37	SS-37	672471	1801981	3.48	58	7.61E-04
38	SS-38	674169	1802309	4.09	62	6.82E-06
39	SS-39.2	678446	1801929	1.12	75	2.44E-05
40	SS-40	678966	1801411	3.65	74	5.97E-04
41	SS-41.2	673274	1802055	0.64	55	1.26E-05
42	SS-42	673416	1801391	1.57	56	1.57E-03
43	SS-43.2	673466	1800779	0.52	53	1.41E-03
44	SS-44.2	677589	1799638	0.80	65	7.41E-07
45	SS-45.2	673726	1799385	0.79	57	6.90E-05
46	SS-46	675683	1798626	4.02	62	1.25E-05
47	SS-47	676852	1766171	3.97	64	1.74E-05
48	SS-48	676870	1798075	2.98	62	1.31E-05
49	SS-49	672848	1797747	3.93	57	6.06E-04
50	SS-50	675874	1799638	3.86	61	2.61E-05
					เฉลี่ย (log scale)	3.75E-05



รูป 4.11 ระดับน้ำบาดาลคงที่ในพื้นที่ศึกษา (MSL, m) และขอบเขตความดันน้ำคงที่ (Constant head) ที่กำหนดในแบบจำลอง



รูป 4.12 เส้นทางการระบายน้ำ (กริดสี่เหลี่ยม) ที่กำหนดในแบบจำลอง



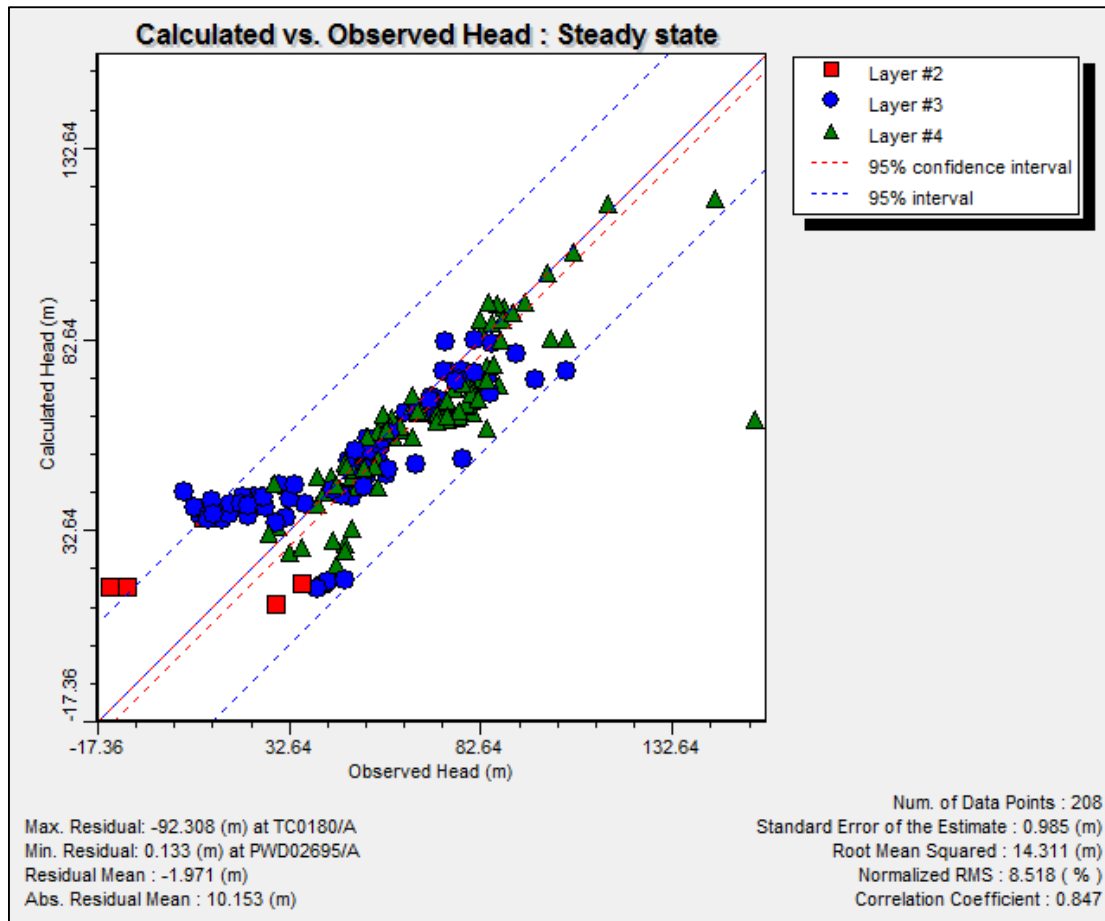
รูป 4.13 พื้นที่เติมน้ำ (Recharge) ลงสู่ชั้นน้ำบาดาลที่กำหนดในแบบจำลอง

ตาราง 4.7 ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ Parameter Optimization และผลการวิเคราะห์

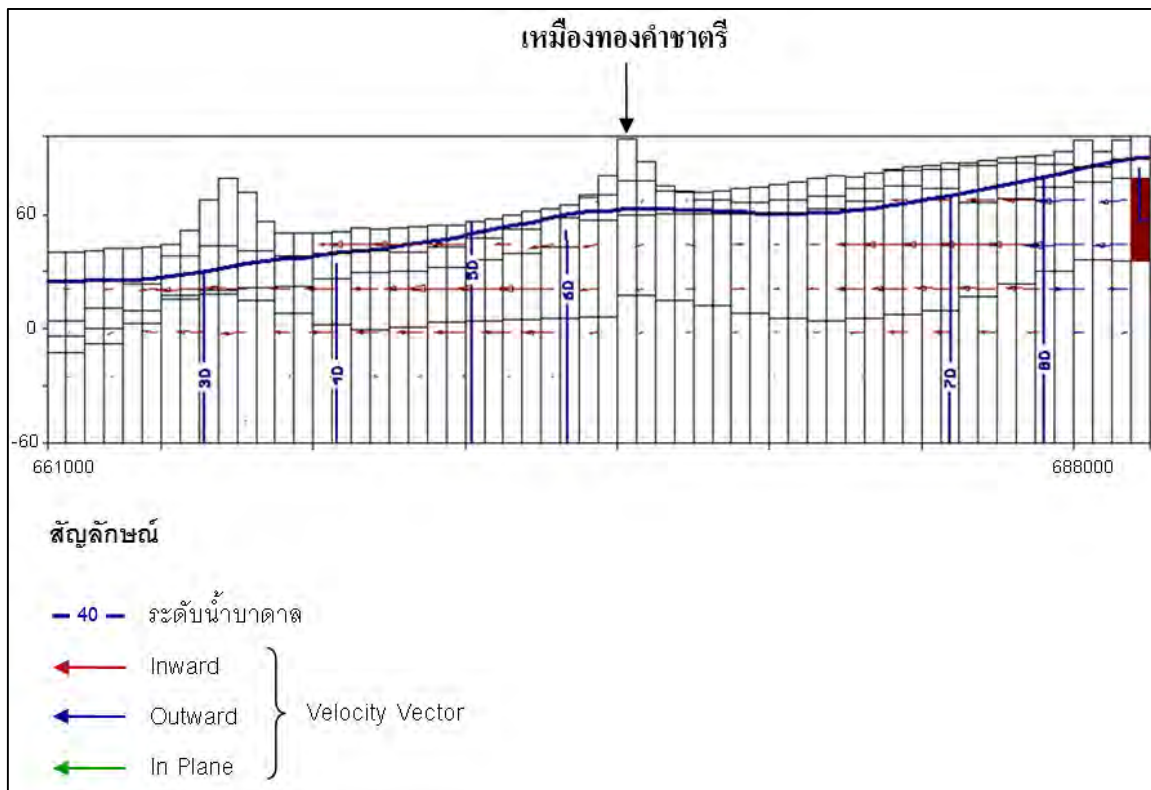
ลำดับ	ตัวแปร	คำอธิบายตัวแปร	หน่วยหิน	ค่าตั้งต้นที่ใช้	ผลการวิเคราะห์
1	kx_1	ค่า K ในแกน x ของชั้นที่ 1	Qfd และ Qt	3.75E-05	8.09E-06
2	ky_1	ค่า K ในแกน y ของชั้นที่ 1	Qfd และ Qt	3.75E-05	8.09E-06
3	kz_1	ค่า K ในแกน z ของชั้นที่ 1	Qfd และ Qt	3.75E-05	8.09E-06
4	kx_2	ค่า K ในแกน x ของชั้นที่ 2	Vw	3.00E-07	3.00E-06
5	ky_2	ค่า K ในแกน y ของชั้นที่ 2	Vw	3.00E-07	3.00E-06
6	kz_2	ค่า K ในแกน z ของชั้นที่ 2	Vw	3.00E-08	3.00E-07
7	kx_3	ค่า K ในแกน x ของชั้นที่ 3	Vf	1.82E-05	2.14E-05
8	ky_3	ค่า K ในแกน y ของชั้นที่ 3	Vf	1.82E-05	2.14E-05
9	kz_3	ค่า K ในแกน z ของชั้นที่ 3	Vf	1.82E-06	2.14E-06
10	kx_4	ค่า K ในแกน x ของชั้นที่ 4	Vm	1.15E-08	1.01E-08
11	ky_4	ค่า K ในแกน y ของชั้นที่ 4	Vm	1.15E-08	1.01E-08
12	kz_4	ค่า K ในแกน z ของชั้นที่ 4	Vm	1.15E-09	1.01E-09
13	par001	อัตราการเติมน้ำใน พื้นที่ตะกอนตะพักลำน้ำ	Qt	120	119.98
14	par002	อัตราการเติมน้ำในพื้นที่หินโผล่	Vw	60	59.98
15	ss_1	ค่าการกักเก็บจำเพาะของชั้นที่ 2	Vw	0.1	0.1
16	ss_2	ค่าการกักเก็บจำเพาะของชั้นที่ 3	Vf	0.296	0.296
17	ss_3	ค่าการกักเก็บจำเพาะของชั้นที่ 4	Vm	1E-03	1E-03
18	ss_4	ค่าการกักเก็บจำเพาะของชั้นที่ 1	Qfd & Qt	0.2	0.2
19	sy_1	ปริมาณน้ำจำเพาะของชั้นที่ 2	Vw	0.1	0.1
20	sy_2	ปริมาณน้ำจำเพาะของชั้นที่ 3	Vf	0.2	0.2
21	sy_3	ปริมาณน้ำจำเพาะของชั้นที่ 4	Vm	1E-03	1E-03
22	sy_4	ปริมาณน้ำจำเพาะของชั้นที่ 1	Qfd & Qt	0.1	0.1

ความเชื่อมั่นในแบบจำลอง

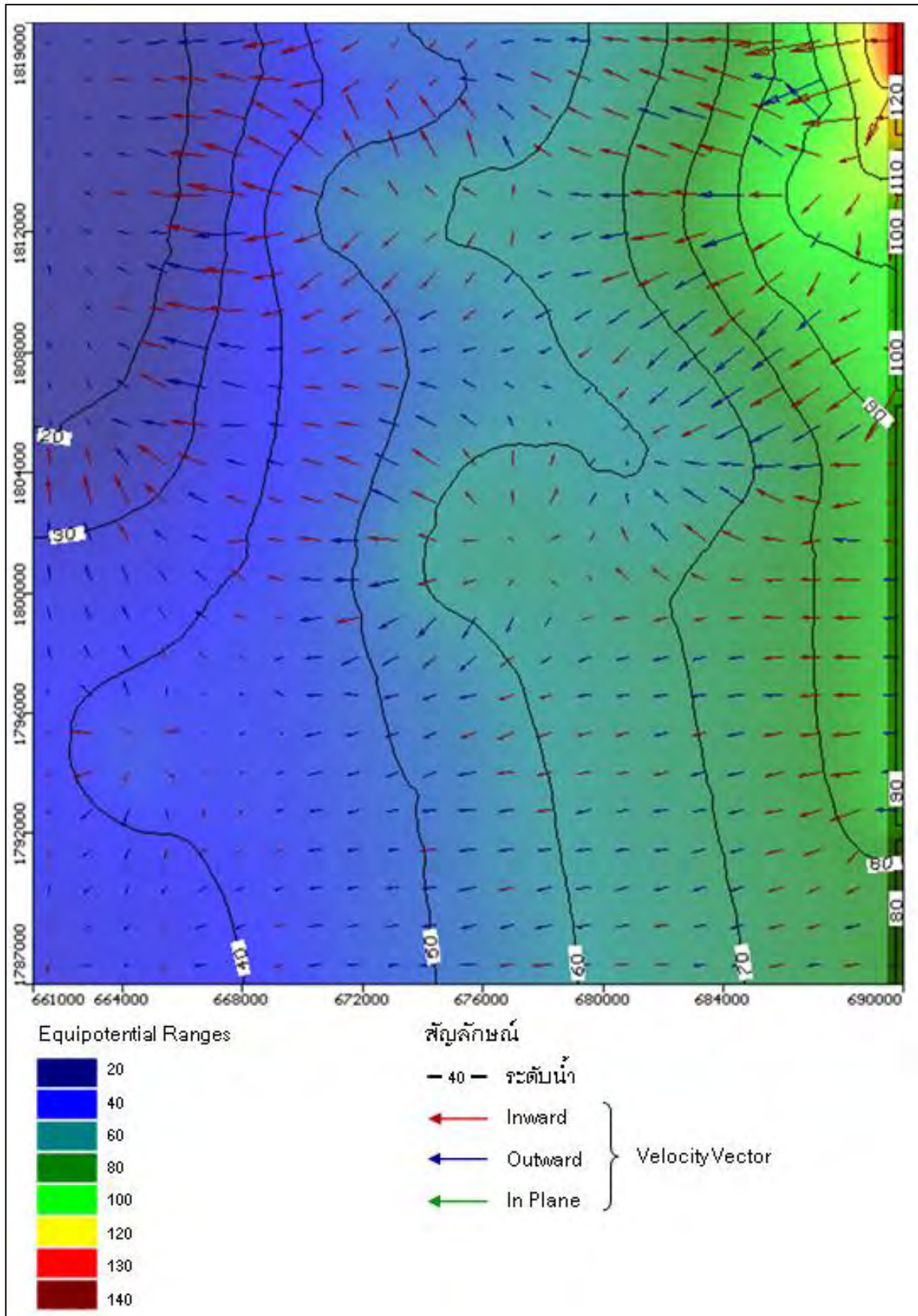
ภายหลังจากปรับแก้ค่าตามที่วิเคราะห์ด้วย Parameter optimization แล้วนั้น เมื่อทำการลงตำแหน่งค่าระหว่างระดับน้ำที่คำนวณได้กับระดับน้ำที่ตรวจวัด จะเห็นว่าผลการคำนวณของแบบจำลองมีความน่าพอใจในระดับปานกลาง โดยมีระดับน้ำที่คำนวณได้ส่วนใหญ่อยู่ในความเชื่อมั่น 95% และมี Normalized Root Mean Square (RMS) ที่ 8.518% ซึ่งแสดงถึงความผิดพลาดที่พอยอมรับได้



รูป 4.14 ความเชื่อมั่นในแบบจำลอง

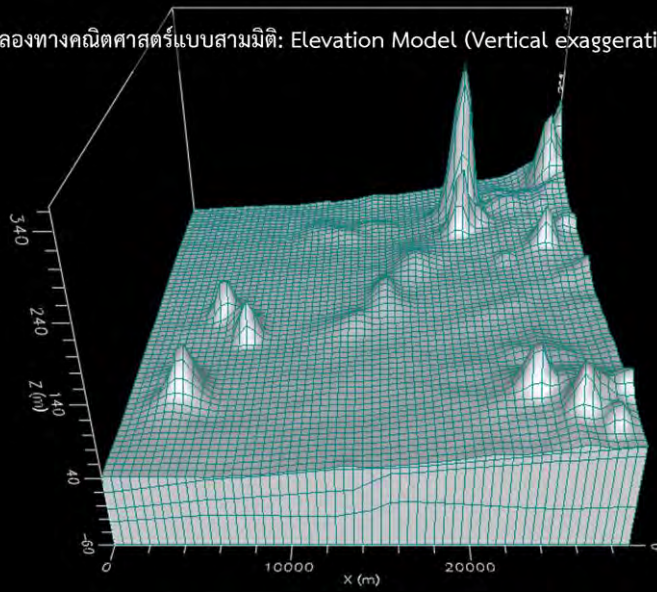


รูป 4.15 ภาพตัดขวางแสดงระดับน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในแบบจำลองระดับภูมิภาค



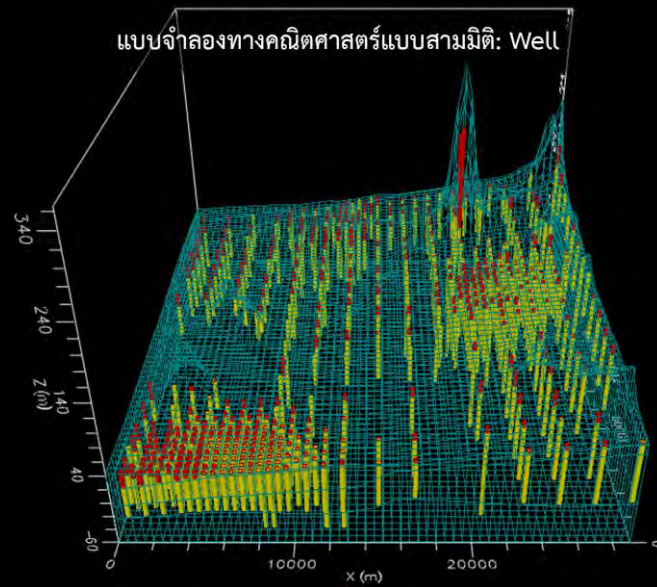
รูป 4.16 ระดับน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในแบบจำลองระดับภูมิภาค

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบสามมิติ: Elevation Model (Vertical exaggeration x 50)



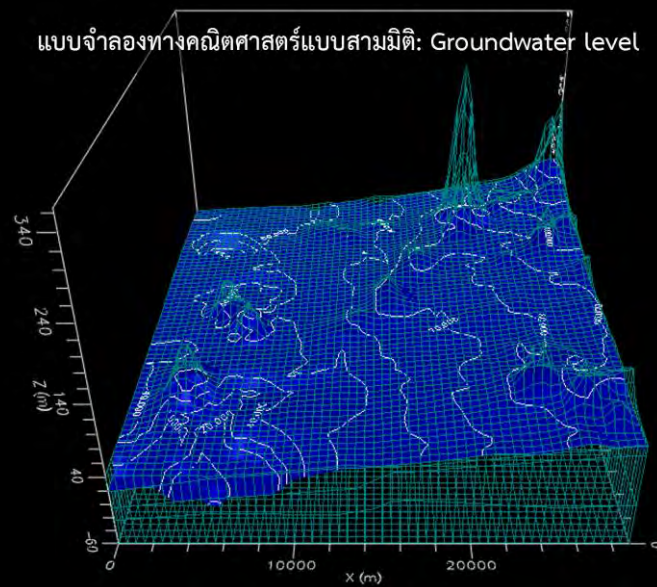
ก

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบสามมิติ: Well



ข

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบสามมิติ: Groundwater level



ค

รูป 4.17 แบบจำลองสามมิติ

สรุปและอภิปรายผล ปัญหาและอุปสรรค ข้อเสนอแนะ

ในการดำเนินงานวิจัยศึกษาลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา บริเวณรอบเหมืองทอง จังหวัดพิจิตร สามารถบรรลุวัตถุประสงค์และเป้าหมายของงานวิจัยได้เป็นอย่างดี โดยสามารถสรุปผลการวิจัย ปัญหาและอุปสรรค และข้อเสนอแนะได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

พื้นที่ศึกษามีหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาทั้งสิ้น 5 หน่วย ได้แก่ 1. ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง ยุคควอเทอร์นารี (Qfd) 2. ตะกอนตะพักยุคควอเทอร์นารี (Qt) 3. หินอัคนีฟูที่ผุพัง (Vw) 4. หินอัคนีฟูที่มีรอยแตก (Vf) และ 5. หินอัคนีฟูเนื้อแน่น (Vm)

จากสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ พบว่าชั้นน้ำที่มีศักยภาพให้น้ำบาดาลมากที่สุด คือ ชั้นหินอุ้มน้ำในชั้นหินอัคนีฟูที่มีรอยแตก (Vf) เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity, T) ที่สูง และจากแบบจำลองเชิงแนวคิดทางอุทกธรณีวิทยา (Conceptual model) พบว่าชั้นหินอุ้มน้ำทุกชั้น มีทิศทางการไหลส่วนใหญ่ (Intermediate flow system) ไหลจากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก และผลการคำนวณของแบบจำลองมีความน่าพอใจในระดับปานกลาง โดยมีระดับน้ำที่คำนวณได้ส่วนใหญ่อยู่ในความเชื่อมั่น 95% และมี Normalized Root Mean Square (RMS) ที่ 8.51% ซึ่งแสดงถึงความผิดพลาดที่พออนุมารับได้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

ปัญหาและอุปสรรคที่นับว่ามีความสำคัญ และมีผลต่องานวิจัยในขั้นตอนการวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลเป็นอย่างมาก ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ความถูกต้องสมบูรณ์ของข้อมูลรายงานชั้นดิน-ชั้นหินของหลุมเจาะบ่อบาดาล และจำนวนจำกัดของบ่อบาดาลที่ทำการสุบทดสอบจากชั้นหินอุ้มน้ำในบางชั้นหินดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2.1 ปัญหาด้านความถูกต้องสมบูรณ์ของข้อมูลรายงานชั้นดิน-ชั้นหินของหลุมเจาะบ่อบาดาล

ข้อมูลรายงานชั้นดิน-ชั้นหินของหลุมเจาะบ่อบาดาล ของหน่วยราชการต่างๆ ที่รวบรวมได้ถึงแม้จะมีจำนวนมาก แต่ข้อมูลเหล่านี้ส่วนใหญ่ยังไม่ถูกต้องและชัดเจน ในเรื่องของคำอธิบาย รายละเอียด และความลึกหรือความหนา ของหน่วยหินหรือชั้นหินแต่ละชั้นที่เจาะพบ

5.2.2 ปัญหาด้านข้อจำกัดของจำนวนบ่อบาดาลที่ทำการสุบทดสอบ

การมีบ่อบาดาลที่ทำการสุบทดสอบค่อนข้างจำกัดในบางชั้นหินอุ้มน้ำ ส่งผลให้การกระจายตัวของข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำมีลักษณะจำกัดอยู่แต่ในบางพื้นที่เท่านั้น ในขณะที่พื้นที่หลายๆ แห่งไม่มีข้อมูลอยู่เลย การกระจายตัวของข้อมูลที่มีลักษณะจำกัดดังกล่าวนับเป็นอุปสรรคที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการ

วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลในแง่ต่างๆ เป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะไม่สามารถลงความเห็นได้โดยตรงบนพื้นฐานของข้อมูลที่มีอยู่อย่างจำกัด

5.3 ข้อเสนอแนะ

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ถือได้ว่าประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ในเรื่องของการอธิบายลักษณะการไหลของน้ำบาดาลในบริเวณพื้นที่ศึกษาได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามจากการดำเนินงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งหมด ผู้วิจัยพบว่างานวิจัยนี้ควรมีการดำเนินการศึกษาต่อยอด เพื่อให้งานวิจัยมีความละเอียดมากขึ้น และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้สมบูรณ์ ดังนี้

5.3.1 ควรศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการกระจายตัวของมวลสารในน้ำบาดาล

5.3.2 ควรศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการประเมินการกำหนดขอบเขตศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ

5.3.3 ควรศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของลักษณะการไหลของน้ำบาดาลในระดับท้องถิ่น หรือในบริเวณตัวเหมือง โดยใช้ข้อมูลที่มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2554. **โครงการศึกษาการปนเปื้อนและการวางเครือข่ายเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร และอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์.**
- กองน้ำบาดาล. 2552. **ฐานข้อมูลพสุธารา [ข้อมูลดิจิทัล]:** กองน้ำบาดาลกรมทรัพยากรธรณี.
- บริษัท เอส.พี.เอส คอนซัลติ้งเซอร์วิส จำกัด. 2548. **รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการเหมืองแร่ทองคำ “ชาตรีเหนือ” ของบริษัท อัคราไมนิ่ง จำกัด.**
- วจี รามณรงค์ และ สมชัย วงศ์สวัสดิ์. 2541. **ทรัพยากรน้ำใต้ดินในประเทศไทย.** วารสารชมรมนักอุทกวิทยา.
- Anderson, M.P., and W. W. Woessner. 1992. **Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport.** Academic Press, Inc., San Diego, CA.
- Collins, R. E. 1961. **Flow of Fluids Through Porous Materials.** Reinhold Publishing Corp.: New York.
- Commonwealth of Australia. 1998. **Report on Environmental Impact Assessment “CHATREE GOLD PROJECT”.** Volume 2 Report Text. September, 1999.
- Faye, R. E. and G. C. Mayer. 1990. **Ground-water flow and stream-aquifer relations in the northern coastal plain of Georgia and adjacent parts of Alabama and South Carolina:** USGS Water-Resources Investigations Report 88-4143.
- Jiang, Y., Yuan, D., Zhang, C., Zhang, G., He, R. 2008. **Impact of land use change on groundwater quality in a typical karst watershed of southwest China:** Hydrogeology Journal, v. 16 (4) p. 727–735.

ภาคผนวก ก

การเจาะบ่อสังเกตการณ์

โครงการศึกษาการปนเปื้อนและวางเครือข่ายเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน
ในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตรและอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์

Well No. : GWDP-01

Location : บ้านนิคม หมู่ 8

Amphoe : ทับคล้อ

Province : พิจิตร

Tambon : เขาททราย

Well Depth : 62.00 เมตร

UTME : 674389

UTMN : 1800396

Date : 24-29 เม.ย. 2553

Logged By :

Depth (m.)	Electric Log		Graphic	Description	Well Elevation (m.)	Remarks
	SP	R				
0				Top Soil, Reddish brown to brown, high weathered, consists of rock fragments of rhyolite, composed of quartz, feldspar.		
10			9	Rhyolite, Light gray to gray, porphyritic texture, composed of quartz, feldspar.		
20						
30						
40			37	Andesite, Dark gray, aphanitic texture, composed of quartz, feldspar, mica (muscovite), pyrite.		
50						
60			62			

รูปผนวก ก-1 ข้อมูลชั้นดิน-ชั้นหินจากการเจาะสำรวจ บ่อ GWDP-01

โครงการศึกษาการปนเปื้อนและวางเครือข่ายเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน
ในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตรและอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์

Well No. : GWDP-02

UTME : 678818

Location : เลขที่ 3 นายวิชัย ทรงพระสุวรรณ หมู่ 8

Tambon : ห้วยคต

UTMN : 1802553

Amphoe : วังโป่ง

Date : 20 -23 เมษายน 2553

Province : เพชรบูรณ์

Well Depth : 62.00 เมตร

Logged By : >

Depth (m.)	Electric Log		Graphic	Description	Well Elevation (m.)	Remarks
	SP	R				
0				Lateritic soil, Reddish brown to brown, consists of mostly clay, coarse sand.		
4				Lateritic soil, Reddish brown to brown, consists of mostly clay, 10% silt.		
9				Andesitic tuff, greenish blue, semi-consolidated, grained sizes range fine grained, mixture with lateritic soil.		
12						
20						
30						
40				Andesitic tuff, greenish blue, semi-consolidated, grained sizes range coarse grained.		
50						
60						
62						

รูปผนวก ก-2 ข้อมูลชั้นดิน-ชั้นหินจากการเจาะสำรวจ บ่อ GWDP-02

โครงการศึกษาการปนเปื้อนและวางเครือข่ายเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน
ในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตรและอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์

Well No. : GWDP-03

UTME : 676132

Location : บ้านคลองตาลัด หมู่ 6

Tambon : วังโพรง

UTMN : 1806131

Amphoe : เนินมะปราง

Date : 20 - 24 เมษายน 2553

Province : พิษณุโลก

Well Depth : 60 เมตร

Logged By :

Depth (m.)	Electric Log		Graphic	Description	Well Elevation (m.)	Remarks
	SP	R				
0				Sandy Clay, Dark brown, very fine grained, consists of 40% sand, 60% clay, composed of quartz, feldspar, dark minerals.		
10				Sand, Brown to greenish brown, fine grained, sub-rounded, moderated to sorted, composed of quartz, feldspar, weathering products of rocks.		
20						
30						
40				Rhyorite / Andesite?, Greenish grey, medium grained, hard, composed of mostly quartz, feldspar, pyrite.		
50						
60						

รูปผนวก ก-3 ข้อมูลชั้นดิน-ชั้นหินจากการเจาะสำรวจ บ่อ GWDP-03

โครงการศึกษาการปนเปื้อนและวางเครือข่ายเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน
ในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตรและอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์

Well No. : GWDP-04

UTME : 675897

Location : โรงเรียนบ้านเขาหม้อ หมู่ 9

Tambon : เขาเจ็ดลูก

UTMN : 1804245

Amphoe : ทับคล้อ

Date : 30 เม.ย. - 3 พ.ค. 53

Province : พิจิตร

Well Depth : 42.00 เมตร

Logged By :

Depth (m.)	Electric Log		Graphic	Description	Well Elevation (m.)	Remarks
	SP	R				
0				Top Soil, Dark reddish brown, high weathered, consists of rock fragments of rhyolite, composed of quartz, feldspar, mica.		
4				Rhyolite, Yellowish brown, moderately weathered, composed of quartz, feldspar.		
12				Rhyolite, light gray to gray, porphyritic texture, composed of quartz, feldspar.		
20						
30						
40						
42						
50						
60						

รูปผนวก ก-4 ข้อมูลชั้นดิน-ชั้นหินจากการเจาะสำรวจ บ่อ GWDP-04

โครงการศึกษาการปนเปื้อนและวางเครือข่ายเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน
ในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตรและอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์

Well No. : GWDP-05

UTME : 687600

Location : 37 นายประดิษฐ์ อู่แก้ว บ้านใหม่วังตะเคียน หมู่ 10 Tambon : รังหิน

UTMN : 1816077

Amphoe : รังโป่ง

Date : 15-19 เมษายน 2553

Province : เพชรบูรณ์

Well Depth : 28.00 เมตร

Logged By :

Depth (m.)	Electric Log		Graphic	Description	Well Elevation (m.)	Remarks
	SP	R				
0				Clay, light yellowish brown.		
10				Andesitic tuff, dark greenish gray, reddish brown at 25 - 28 meters		
20						
30						
40						
50						
60						

รูปผนวก ก-5 ข้อมูลชั้นดิน-ชั้นหินจากการเจาะสำรวจ บ่อ GWDP-05

โครงการศึกษาการปนเปื้อนและวางเครือข่ายเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน
ในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตรและอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์

Well No. : GWDP-06

UTME : 667198

Location : บ้านเลขที่ 32 นายวงศ์ บุญสุข บ้านนุ่งมะกรูด หมู่ 3 Tambon : วังทรายพูน

UTMN : 1815565

Amphoe : วังทรายพูน

Date : 29 เม.ย. - 7 พ.ค. 53

Province : พิจิตร

Well Depth : 68.00 เมตร

Logged By :

Depth (m.)	Electric Log		Graphic	Description	Well Elevation (m.)	Remarks
	SP	R				
0						
10				Clay+sand, Orangish brown, consists of 40% sand, 60% clay, weathered from diorite.		
20				Sand+Clay, Yellowish brown, consists of 30%clay, 70%sand, weathered from diorite.		
30				Diorite, brown, high weathered, composed of quartz, feldspar, biotite.		
40				Diorite, Black-white and pink, slightly weathered, composed of quartz, feldspar, biotite.		
50						
60				Diorite, Black-white and pink, fresh, composed of quartz, feldspar, biotite.		
70						

รูปผนวก ก-6 ข้อมูลชั้นดิน-ชั้นหินจากการเจาะสำรวจ บ่อ GWDP-06

โครงการศึกษาการปนเปื้อนและวางเครือข่ายเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน
ในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตรและอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์

Well No. : GWDP-07

UTME : 675841

Location : วัดหนองดู่สามัคคีธรรม บ้านหนองดู่ หมู่ 3

Tambon : รังโพรง

UTMN : 1814488

Amphoe : เนินมะปราง

Date : 19-26 เมษายน 2553

Province : พิษณุโลก

Well Depth : 59.00 เมตร

Logged By :

Depth (m.)	Electric Log		Graphic	Description	Well Elevation (m.)	Remarks
	SP	R				
0						
10				Silty clay, light yellow to light reddish brown, consists of 20% silt.		
20						
30				Andesitic tuff, dark gray reddish brown at 13-15 m. Greenish gray at 15-50 m. Reddish purple at 50-59 m., some pyrite presented.		
40						
50						
60						

รูปผนวก ก-7 ข้อมูลชั้นดิน-ชั้นหินจากการเจาะสำรวจ บ่อ GWDP-07

โครงการศึกษาการปนเปื้อนและวางเครือข่ายเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน
ในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตรและอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์

Well No. : GWDP-09
 Location : นายสุดใจ คุริพันธ์ บ้านเขابرเพ็ด หมู่ 8 Tambon : รังหลุม
 Amphoe : ตะพานหิน Date : 26 มีนาคม - 1 เมษายน 2553
 Province : พิจิตร Well Depth : 56 เมตร Logged By :

Depth (m.)	Electric Log		Graphic	Description	Well Elevation (m.)	Remarks
	SP	R				
0				Clay, Grayish black, slightly plastic.		
3						
10				Sand, Reddish brown, very fine grained, composed of quartz, feldspar, laterite, dark minerals.		
14						
20				Andesite, Reddish brown to light brown, composed of feldspar.		
27						
30				Weathered Basalt, Reddish brown, fine grained, moderately weathered.		
40						
43						
50				Basalt, Greenish gray, very fine grained, dense, hard.		
56						

รูปผนวก ก-8 ข้อมูลชั้นดิน-ชั้นหินจากการเจาะสำรวจ บ่อ GWDP-08

โครงการศึกษาการปนเปื้อนและวางเครือข่ายเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน
ในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตรและอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์

Well No. : GWDP-08

UTME : 686931

Location : เลขที่ 237 นายสมศักดิ์ ตำบลบ้านเขาหิน หมู่ 11 Tambon : ท่าข้าม

UTMN : 1794671

Amphoe : ชนแดน

Date : 5 - 8 เมษายน 2553

Province : เพชรบูรณ์

Well Depth : 65 เมตร

Logged By :

Depth (m.)	Electric Log		Graphic	Description	Well Elevation (m.)	Remarks
	SP	R				
0						
			2	Top Soil, Yellowish brown, clayey, sandy, composed of rock fragments.		
10				Basalt, Dark greenish black, fine grained, hard.		
20			20			
30				Rhyoritic Tuff, Light grey to greenish grey, fine grained.		
40						
50						
60						
			35			

รูปผนวก ก-9 ข้อมูลชั้นดิน-ชั้นหินจากการเจาะสำรวจ บ่อ GWDP-09

โครงการศึกษาการปนเปื้อนและวางเครือข่ายเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน
ในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตรและอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์

Well No. : GWDP-10

UTME : 676835

Location : 275/2 นายประเสริฐ จันทษ์ บ้านหนองพงษ์ หมู่ 9 Tambon : เขาททราย

UTMN : 1795133

Amphoe : ทับคล้อ

Date : 8 -13 เมษายน 2553

Province : พิจิตร

Well Depth : 44.00 เมตร

Logged By :

Depth (m.)	Electric Log		Graphic	Description	Well Elevation (m.)	Remarks
	SP	R				
0						
				Lateritic soil, Reddish brown to brown, consists of mostly clay, coarse sand.		
10				Lateritic soil, light brown to brown, coarse sand, very angular, consists of 40% clay.		
20						
30				Rhyolite, light greenish gray, consists of 5%clay, composed of quartz, feldspar, pyroxene, pyrite.		
40				Andesite, Dark gray, composed of laterite, pyrite.		
50						
60						

รูปผนวก ก-10 ข้อมูลชั้นดิน-ชั้นหินจากการเจาะสำรวจ บ่อ GWDP-10

โครงการศึกษาการปนเปื้อนและวางเครือข่ายเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน
ในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตรและอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์

Well No. : GWDP-11

UTME : 674389

Location : เลขที่ 1 นางสมทรง ชาญวัตร บ้านบ่อทองพัฒนา หมู่ 11 Tambon : ท้ายดง

UTMN : 1800396

Amphoe : วังโป่ง

Date : 9-12 เมษายน 2553

Province : เพชรบูรณ์

Well Depth : 24.00 เมตร

Logged By :

Depth (m.)	Electric Log		Graphic	Description	Well Elevation (m.)	Remarks
	SP	R				
0				Top soil, dark brown, silt to granule grained size.		
				Silt to pebble, light brown, fine to coarse grained, consist of 30% clay.		
10				Rhyolitic tuff, greenish gray.		
20				Andesitic tuff, dark greenish gray, composed of pyrite.		
30						
40						
50						
60						

รูปผนวก ก-11 ข้อมูลชั้นดิน-ชั้นหินจากการเจาะสำรวจ บ่อ GWDP-11

โครงการศึกษาการปนเปื้อนและวางเครือข่ายเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน
ในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตรและอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์

Well No. : GWDP-12

UTME : 666318

Location : 408 นายทอง บุญศรี บ้านเนินพลวง หมู่ 11

Tambon : เขาเจ็ดลูก

UTMN : 1800638

Amphoe : ทับคล้อ

Date : 2 -7 เมษายน 2553

Province : พิจิตร

Well Depth : 56.00 เมตร

Logged By :

Depth (m.)	Electric Log		Graphic	Description	Well Elevation (m.)	Remarks
	SP	R				
0				Clay, light yellowish brown to brown		
10			11	Sandy clay, light brown to yellowish brown, coarse to pebble grained, angular, consists of 40% sand, 60% clay.		
20			20	Gravel, brown, rounded to angular, consists of 20% clay, composed of mostly quartz, laterite.		
30			28			
40				Andesite, maroon, composed of pyrite.		
50						
60			56			

รูปผนวก ก-12 ข้อมูลชั้นดิน-ชั้นหินจากการเจาะสำรวจ บ่อ GWDP-12

ภาคผนวก ข

ข้อมูลหลุมเจาะของบริษัท อัคราไมน์นิ่ง จำกัด
ที่ใช้ในการแปลความหมายธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
แนว B-B'	1	17820RA	665181	1812524	59.7061	0	5	sol	top soil
						5	15	alv	alluvium
						15	16	cla	clay (for regional)
						16	17	olt	laterite
						17	24	cla	clay (for regional)
						24	30	olt	laterite
						30	31	cla	clay (for regional)
						31	33	fdu	ferricrete
33	34	osp	saprolite						
34	35	gan	andesitic dyke						
	2	17803RA	667348	1812466	61.8404	0	1	sol	top soil
						1	6	alv	alluvium
						6	19	cla	clay (for regional)
						19	20	olt	laterite
						20	25	osp	saprolite
	3	30594RA	668780	1812300	66.1986	0	5	sol	top soil
						5	10	alv	alluvium
						10	12	cla	clay (for regional)
						12	15	olt	laterite
						15	16	osp	saprolite
	4	15679RA	670550	1812500	68.2651	0	3	fdu	ferricrete
						3	8	osp	saprolite
						8	9	trh	rhyolite tuff

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
	5	19405RA	672228	1812536	79.0445	0 4 6 9	4 6 9 11	olt cla osp and	laterite clay (for regional) saprolite andesite
	6	30732RA	673671	1812500	88.7376	0 5 10 20	5 10 20 30	olt cla osp trh	laterite clay (for regional) saprolite rhyolitic tuff
	7	30370RA	674600	1812608	74.0864	0 1 2 9	1 2 9 12	sol olt osp and	top soil laterite saprolite andesite
	8	26274RA	675844	1812417	78.6588	0 3 11	3 11 12	olt osp dio	laterite saprolite diorite
	9	30444RA	677485	1812500	81.2894	0 1 10	1 10 12	sol osp dio	top soil saprolite diorite
	10	05934RA	677906	1812412	85.687	0 1 3 4 7	1 3 4 7 8	sol fdu usp cla and	top soil ferricrete serpentinite clay (for regional) andesite

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
	11	15778RA	678795	1812500	86.2769	0 1 2 3 7	1 2 3 7 8	sol olt cla osp dio	top soil laterite clay (for regional) saprolite diorite
	12	05974RA	680661	1812425	93.1873	0 1 7	1 7 8	col cla rhy	colluvium clay (for regional) rhyolite
	13	07179RA	681694	1812521	114.455	0 4 8 9	4 8 9 10	fdu usp osp rhy	ferricrete serpentinite saprolite rhyolite
	14	23072RA	682461	1812487	116.581	0 3 13	3 13 18	olt osp tan	laterite saprolite andesitic tuff
	15	07216RA	683601	1812369	106.518	0 1 2 6	1 2 6 7	fdu usp lsp tan	ferricrete serpentinite lower saprolite andesitic tuff
	16	23085RA	684839	1812696	109.424	0 2 6 7	2 6 7 9	olt osp tsm tan	laterite saprolite tuffaceous siltstone andesitic tuff

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
	17	13057RA	685454	1812691	132.531	0 1 3 17 19	1 3 17 19 20	sol olt osp gdu tlp	top soil laterite saprolite undifferentiated dyke (weathered only) lapilli tuff (accretionary)
	18	13055RA	686522	1812384	121.326	0 1 2 6	1 2 6 7	sol olt osp tlp	top soil laterite saprolite lapilli tuff (accretionary)
แนว C-C'	1	18958RA	671171	1807229	70.5775	0 3 14 18 26	3 14 17 25 27	sol alv olt osp flb	top soil alluvium laterite saprolite lithic-rich fiamme breccia
	2	18959RA	671738	1807128	71.2837	0 3 14 15 23	3 14 15 23 25	sol alv olt osp flb	top soil alluvium laterite saprolite lithic-rich fiamme breccia
	3	25768RA	675979	1807107	79.1507	0 3 11 18	3 11 18 19	sol alv osp flb	top soil alluvium saprolite lithic-rich fiamme breccia

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
	4	12576RA	680564	1806290	90.3797	0 1 6 7 8 11	1 6 7 8 11 12	sol alv usp lsp tlp tan	top soil alluvium serpentinite lower saprolite lapilli tuff (accretionary) andesitic tuff
	5	12497RA	681791	1806211	93.1297	0 1 2 5 8 12	1 2 5 8 12 13	sol fdv cla osp tlp vcb	top soil ferricrete clay (for regional) saprolite lapilli tuff (accretionary) massive carbonate vein
	6	25785RA	676020	1806907	78.9892	0 6 10 15	6 10 15 18	cla alv osp tlp	clay (for regional) alluvium saprolite lapilli tuff
แนว D-D'	1	07880RA	662652	1802537	56.0693	0 3 15 18 24 27 34 35	3 15 18 24 27 34 35 36	sol cla dur cla alv cla alv cla	top soil clay (for regional) duricrust clay (for regional) alluvium clay (for regional) alluvium clay (for regional)

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
	2	06577RA	663908	1802314	59.8516	0 3 6 13 19	3 6 13 19 20	sol cla alv cla alv	top soil clay (for regional) alluvium clay (for regional) alluvium
	3	07882RA	664655	1802311	59.4179	0 3 5 18 27 34	3 5 18 27 34 36	sol dur cla usp lsp hnf	top soil duricrust clay (for regional) serpentinite lower saprolite hornfels
	4	13218RA	669728	1802436	68.8151	0 3 12 18 21	3 12 18 21 27	sol alv osp tsm tan	top soil alluvium saprolite tuffaceous siltstone andesitic tuff
	5	31015RA	670885	1802300	67.871	0 9 11 12 22	9 11 12 22 24	sol alv cla osp ssn	top soil alluvium clay (for regional) saprolite sandstone
	6	14537RA	665267	1794447	57.7905	0 3 5 43	3 5 43 44	sol cla alv grd	top soil clay (for regional) alluvium granodiorite

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
	7	06493RA	674690	1802511	76.8063	0 1 2 8	1 2 8 9	sol fdu cla apb	top soil ferricrete clay (for regional) polymictic andesitic breccia
	8	10416RA	677476	1802601	90.6583	0 3 5 22 27 29	3 5 22 27 29 30	fdu cla usp lsp tan flb	ferricrete clay (for regional) serpentinite lower saprolite andesitic tuff lithic-rich fiamme breccia
	9	12390RA	678397	1802297	87.5726	0 1 3 5 8 12 14	1 3 5 8 12 14 15	sol fdu cla usp lsp tlp flb	top soil ferricrete clay (for regional) serpentinite lower saprolite lapilli tuff (accretionary) lithic-rich fiamme breccia
	10	12392RA	679290	1802752	86.5822	0 1 5 7 11	1 5 7 11 13	sol fdu cla osp tan	top soil ferricrete clay (for regional) saprolite andesitic tuff

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
	11	12394RA	680660	1802828	93.3785	0 2 5 10 13 14	2 5 10 13 14 18	sol fdu alv osp lsp dio	top soil ferricrete alluvium saprolite lower saprolite diorite
	12	12398RA	681688	1802524	91.1253	0 3 7 12 14	3 7 12 14 15	sol alv osp lsp tan	top soil alluvium saprolite lower saprolite andesitic tuff
	13	12471RA	682928	1802581	93.9752	0 2 3 6 10 12	2 3 6 9 12 14	sol fdu cla osp tan vqc	top soil ferricrete clay (for regional) saprolite andesitic tuff massive quartz-carbonate vein
	14	12452RA	684851	1802485	104.252	0 1 2 3 7 8	1 2 3 7 8 11	sol fdu vqz osp lsp dio	top soil ferricrete massive quartz vein saprolite lower saprolite diorite

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
	15	12436RA	685794	1802479	102.009	0 2 3 4 6 8 11	2 3 4 6 8 11 12	sol fd cla usp lsp tan and	top soil ferricrete clay (for regional) serpentinite lower saprolite andesitic tuff andesite
	16	18305RA	687586	1802279	105.9	0 1 2 4 7	1 2 4 7 9	sol olt cla osp sms	top soil laterite clay (for regional) saprolite mudstone
แนว E-E'	1	12497RA	681791	1806211	93.1297	0 1 2 5 8 12	1 2 5 8 12 13	sol fd cla osp tlp vcb	top soil ferricrete clay (for regional) saprolite lapilli tuff (accretionary) massive carbonate vein
	2	14533RA	666004	1794813	57.0901	0 1 8 29	1 8 29 43	sol cla alv gra	top soil clay (for regional) alluvium granite

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
	3	12351RA	675632	1794110	68.9232	0 2 3 4 5 9	2 3 4 5 9 12	sol fdu cla alv cla osp	top soil ferricrete clay (for regional) alluvium clay (for regional) saprolite
	4	08018RA	676488	1795019	75.5965	0 1 3 13 14	1 2 13 14 15	sol fdu usp lsp grd	top soil ferricrete serpentinite lower saprolite granodiorite
	5	23211RA	683378	1794341	95.5717	0 1 2 3 11	1 2 3 11 12	sol fdu cla osp tan	top soil ferricrete clay (for regional) saprolite andesitic tuff
	6	23170RA	684159	1793962	96.257	0 3 5	3 5 8	sol osp tlp	top soil saprolite lapilli tuff (accretionary)

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
แนว F-F'	1	17802RA	667100	1812610	62.1243	0	1	sol	top soil
						1	4	alv	alluvium
						4	6	cla	clay (for regional)
						6	10	alv	alluvium
						10	18	cla	clay (for regional)
						18	20	olt	laterite
						20	23	osp	saprolite
						23	29	and	andesite
	2	17831RA	666809	1811274	63.9261	0	4	sol	top soil
						4	6	cla	clay (for regional)
						6	9	alv	alluvium
						9	18	cla	clay (for regional)
						18	21	olt	laterite
						21	27	osp	saprolite
						27	28	tsc	tuffaceous sandstone
	3	17833RA	667081	1810989	64.8881	0	5	sol	top soil
						5	9	alv	alluvium
						9	12	cla	clay (for regional)
						12	14	alv	alluvium
						14	17	cla	clay (for regional)
						17	18	olt	laterite
						18	29	osp	saprolite
						29	30	tsc	tuffaceous sandstone
	4	14527RA	666995	1795245	59.5097	0	3	cla	clay (for regional)
						3	34	alv	alluvium
						34	29	dio	diorite

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
แนว G-G'	1	30417RA	675987	1814100	77.0698	0 2 9	2 9 10	olt osp dio	laterite saprolite diorite
	2	07426RA	675971	1813231	87.0402	0 2 6 11 17 18	2 6 11 17 18 19	fdu cla usp osp lsp dio	ferricrete clay (for regional) serpentinite saprolite lower saprolite diorite
	3	26274RA	675844	1812417	78.6588	0 3 11	3 11 12	olt osp dio	laterite saprolite diorite
	4	17989RA	675870	1811078	76.6211	0 3 5 7 13	3 5 7 13 16	sol olt cla osp fqb	top soil laterite clay (for regional) saprolite quartz-rich fiamme breccia
	5	17514RA	676038	1809827	77.1613	0 3 5 6 8 16	3 5 6 8 16 17	sol alv olt cla osp dio	top soil alluvium laterite clay (for regional) saprolite diorite

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
	6	26752RA	675993	1808616	78.1103	0 4 6 9 10 13 14 17	4 6 9 10 13 14 17 18	sol cla alv cla alv cla osp dio	top soil clay (for regional) alluvium clay (for regional) alluvium clay (for regional) saprolite diorite
	7	32287RA	676000	1807655	79.1819	0 3 9 18	3 9 18 21	sol alv osp flb	top soil alluvium saprolite lithic-rich fiamme breccia
	8	25785RA	676020	1806907	78.9892	0 6 10 15	6 10 15 18	cla alv osp tlp	clay (for regional) alluvium saprolite lapilli tuff (accretionary)
	9	25697RA	675995	1805938	79.1578	0 2 4	2 4 11	sol cla alv	top soil clay (for regional) alluvium
	10	05319RA	675951	1805134	81.7171	0 1 3 12 13	1 3 12 13 14	osu fdu usp cla flb	residual soil with fragments ferricrete serpentinite clay (for regional) lithic-rich fiamme breccia

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
	11	10667RA	676021	1803997	102.438	0 2 6 7 16 17 23	2 6 7 16 17 23 24	sol fdu cla usp lsp tlp flb	top soil ferricrete clay (for regional) serpentinite lower saprolite lapilli tuff (accretionary) lithic-rich fiamme breccia
	12	05393RA	676020	1803186	98.5338	0 4 7	4 7 12	fdu usp cla	ferricrete serpentinite clay (for regional)
	13	06870RA	675986	1800435	81.6254	0 1 4 7 10	1 4 7 10 11	sol fdu usp cla ssn	top soil ferricrete serpentinite clay (for regional) sandstone
	14	31644RA	676000	1799200	73.8353	0 3 6 11	3 6 11 12	sol alv osp dio	top soil alluvium saprolite diorite
	15	31648RA	676050	1798550	73.5343	0 4 6 10	4 6 10 11	sol alv osp dio	top soil alluvium saprolite diorite
	16	29376RA	676000	1797700	72.8151	0 5 7	5 7 14	sol col osp	top soil colluvium saprolite

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
	17	31696RA	676000	1796950	71.5678	0 4 10 12	4 10 12 14	sol alv osp grd	top soil alluvium saprolite granodiorite
	18	08017RA	675781	1795261	72.1724	0 1 5 18	1 5 18 19	sol fdu usp dio	top soil ferricrete serpentinite diorite
	19	12351RA	675632	1794110	68.9232	0 2 3 4 5 9 12	2 3 4 5 9 12 13	sol fdu cla alv cla osp dio	top soil ferricrete clay (for regional) alluvium clay (for regional) saprolite diorite
	20	11633RA	676017	1792986	71.9272	0 2 3 4 13	2 3 4 13 15	sol fdu col usp cbs	top soil ferricrete colluvium serpentinite carbonaceous shale
แนว H-H'	1	13057RA	685454	1812691	132.531	0 1 3 17 19	1 3 17 19 20	sol olt osp gdu tlp	top soil laterite saprolite undifferentiated dyke (weathered only) lapilli tuff (accretionary)

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลข หลุม	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้	ระดับความสูง (เมตร)	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	สัญลักษณ์	ชื่อหิน
	2	13054RA	685537	1812022	111.553	0 1 4	1 4 6	sol osp tlp	top soil saprolite lapilli tuff (accretionary)
	3	13042RA	685624	1810175	120.934	0 3 14	3 14 15	sol usp tan	top soil serpentinite andesitic tuff
	4	12436RA	685794	1802479	102.009	0 2 3 4 6 8 11	2 3 4 6 8 11 12	sol fd cla usp lsp tan and	top soil ferricrete clay (for regional) serpentinite lower saprolite andesitic tuff andesite
	5	23641RA	685071	1792963	112.773	0 1	1 3	sol tan	top soil andesitic tuff

ข้อมูลหลุมเจาะจากฐานข้อมูลพสุธารา
ที่ใช้ในการแปลความหมายธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา

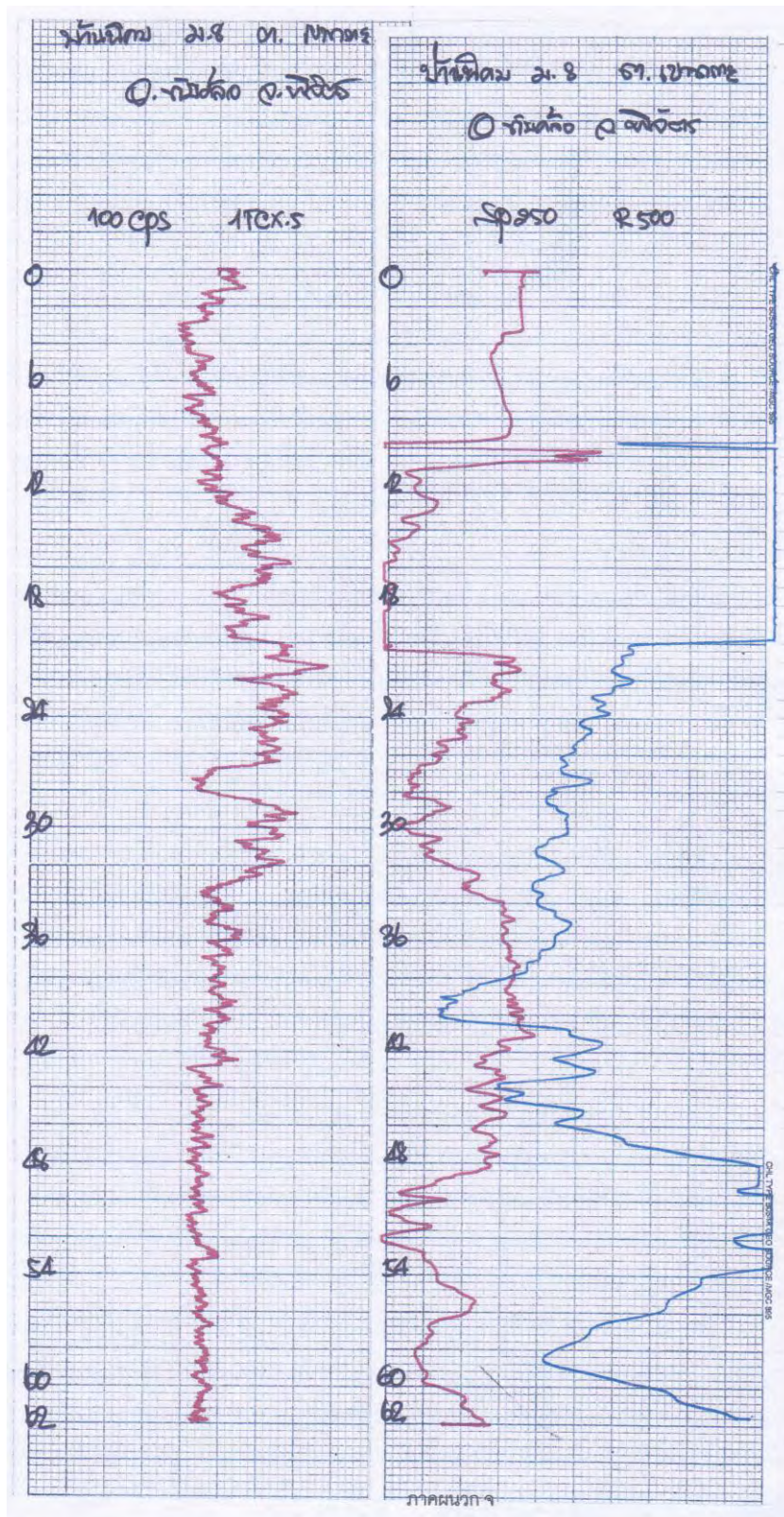
แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลขหลุม	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	ชื่อหิน
แนว A-A'	1	MB0260	0 30	30 80	SILTSTONE, reddish brown, brittle, highly weathered. TUFF, gray, hard.
แนว C-C'	1	N1139	0 10 35	10 35 60	CLAY, yellowish brown, plastic SAND, yellowish brown, fine sand to coarse sand, subangular to subrounded, well sorted to very well sorted, composed of quartz, dark minerals, feldspars. SANDSTONE, greenish black, medium grained, siliceous cemented, slightly weathered to moderately weathered, hard.
	2	N1097	0 6	6 27	CLAY, dark yellowish brown, slightly sandy, slightly plastic. GRANITE, gray, composed of quartz , feldspars , dark minerals, moderately weathered to completely weathered, stiff to hard, completely weathered at the upper parts.
แนว D-D'	1	N1094	0 5 35 55	0 35 55 120	blackish black reddish black, very fine sand to coarse sand, angular to subrounded, moderately sorted to well sorted, consists of 60% , 40% , composed of quartz, feldspars , rock fragments with dark minerals. very light gray, slightly sandy, very coarse sand to fine gravel, angular to subangular, moderately sorted to well sorted, composed of quartz, feldspars , rock fragments with dark minerals, size increased with depth. dark gray, slightly gravelly, very fine sand to very coarse sand, subangular to subrounded, well sorted to very well sorted, composed of quartz , feldspars , rock fragments.

แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลขหลุม	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	ชื่อหิน
	2	TZ0064	0 3	3 12	dark brown, clayey, sandy, coarse sand to very coarse sand, well sorted to very well sorted, 60% clay, 40% sand dark brown, clayey, sandy, fine sand to medium sand, subrounded to subrounded to rounded, well sorted to very well sorted, consists of 70% clay, 30% sand
แนว E-E'	1	MD0699	0 6 15 18 26 29 51 51 57 59	6 15 18 26 29 51 57 59 63	Laterite, grayish brown, slightly plastic to plastic. CLAY, grayish brown and dark yellowish brown, plastic. SAPORITE, dark yellowish brown, slightly clayey, very fine sand to medium sand, CLAY, yellowish brown, plastic RK, yellowish brown. CLAY, yellowish brown, highly sandy, plastic CLAY, orangish red, plastic Volcanic Andesitic, orangish red, slightly clayey Volcanic Andesitic, dark yellowish brown, composed of quartz , sandstone , sand with angular, poorly sorted to moderately sorted, composed of quartz ,chert feldspars , dark minerals with clay

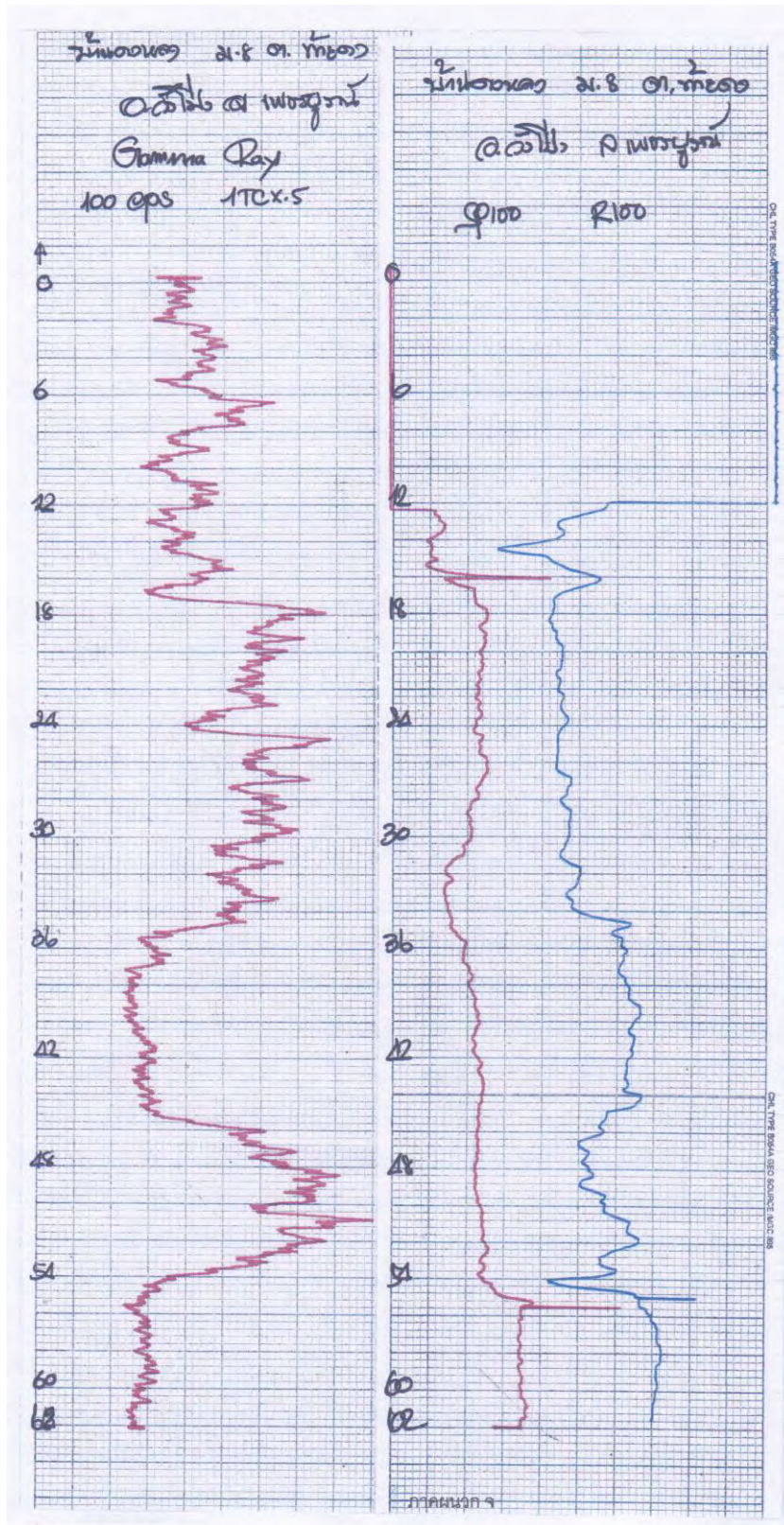
แนวภาพตัดขวาง	ลำดับ	หมายเลขหลุม	ชั้นบน (เมตร)	ชั้นล่าง (เมตร)	ชื่อหิน
แนว G-G'	1	TC0279	0	3	GRAVEL, very light olive, gravelly, very fine gravel to fine gravel, subangular to subrounded, well sorted to very well sorted, composed of quartz , feldspars , granite with sandstone, slightly plastic to plastic, loose.
			3	12	CLAY, dark pink, clayey, composed of clay, nonplastic to slightly plastic, stiff
			12	18	SAND, grayish brown, sandy, coarse sand to very coarse sand, subangular to subrounded, well sorted to very well sorted, composed of quartz , feldspars, slightly plastic to plastic, loose.
			18	44	TUFFACEOUS SANDSTONE, grayish green, tuffaceous, fine grained to medium grained, subrounded to rounded, well sorted to very well sorted, composed of quartz, feldspars , dark minerals, strongly siliceous cemented, slightly plastic to plastic, fresh to slightly weathered, hard
	2	MB0615	0	30	CLAY, brown and light yellowish brown, sandy, slightly plastic.
			30	60	Andesitic Tuff, grayish green, limonite stained, moderately weathered to slightly weathered, hard.
	3	TC0003	0	35	Laterite, orangish red, very coarse sand to very fine gravel, iron oxide light yellowish orange, slightly clayey, loose
			35	50	Silt
			50	75	Sample lost
			75	200	IG, blackish, fresh to slightly weathered, hard to very hard cemented.

ภาคผนวก ค

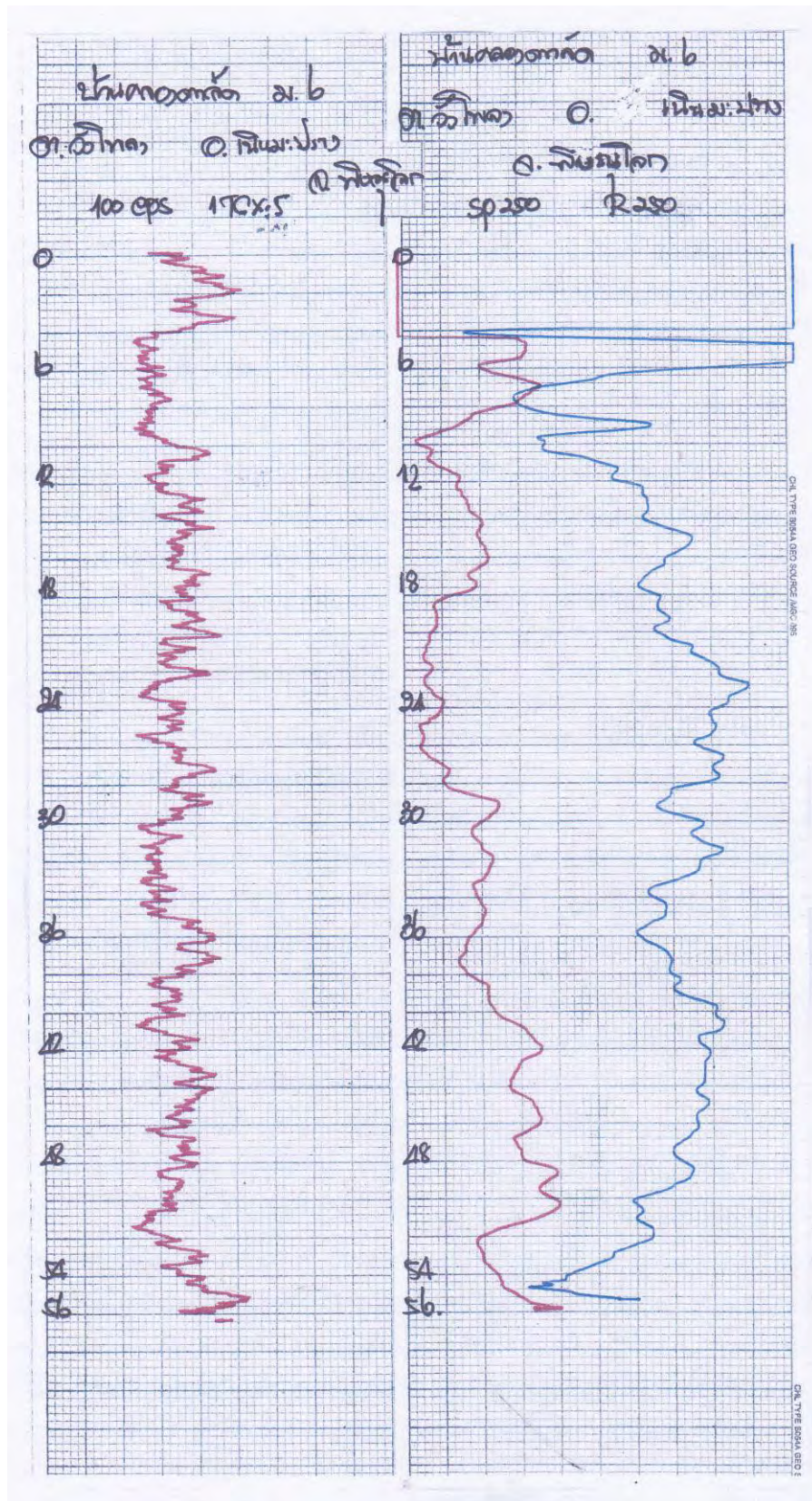
ข้อมูลยั้งธรณีหลุมเจาะ



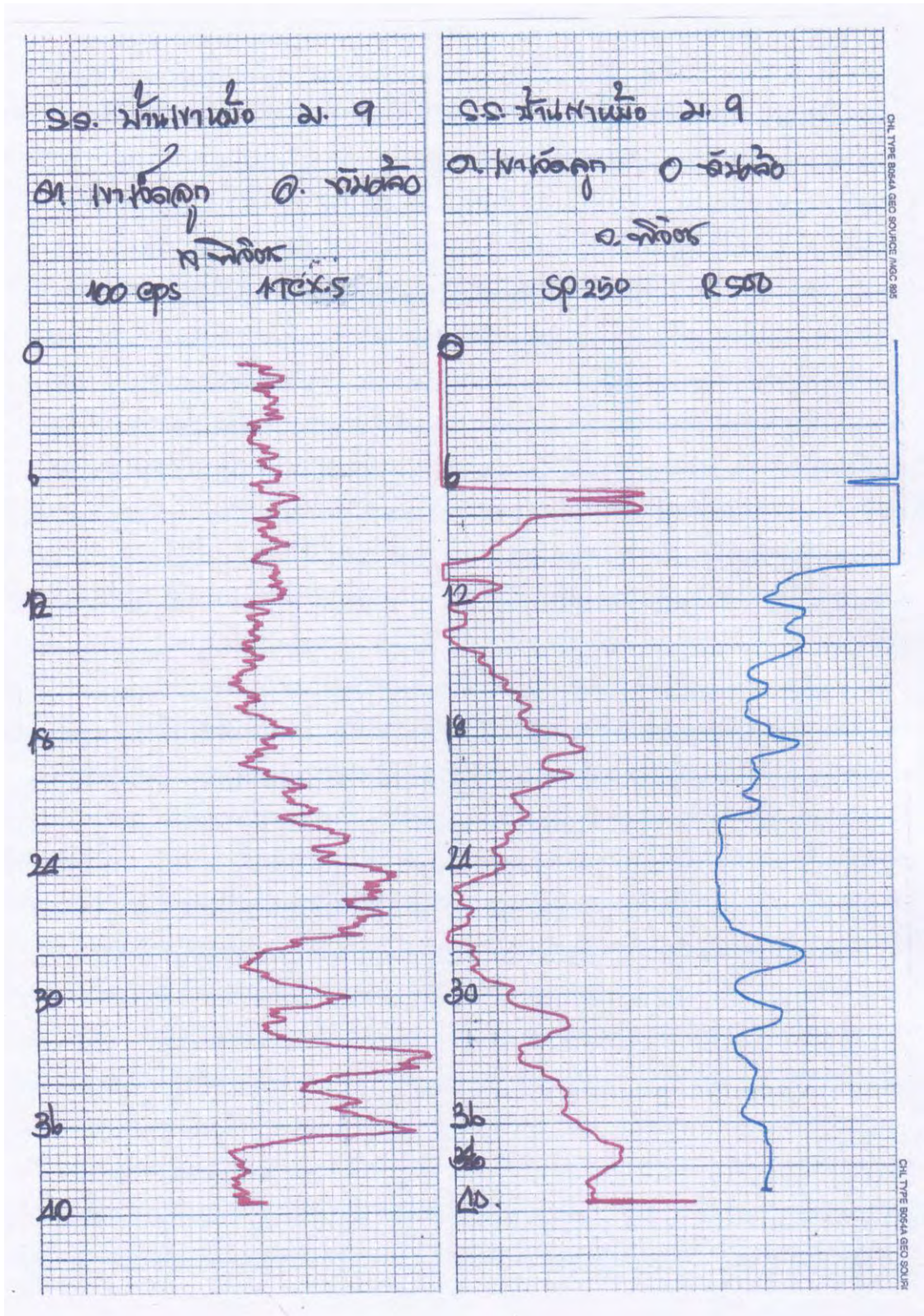
รูปผนวก ค-1 ผลการตรวจวัดค่า Gamma ray และค่าความต้านทานคัลยไฟฟ้า
ของบ่อสังเกตการณ์ GWDP-01



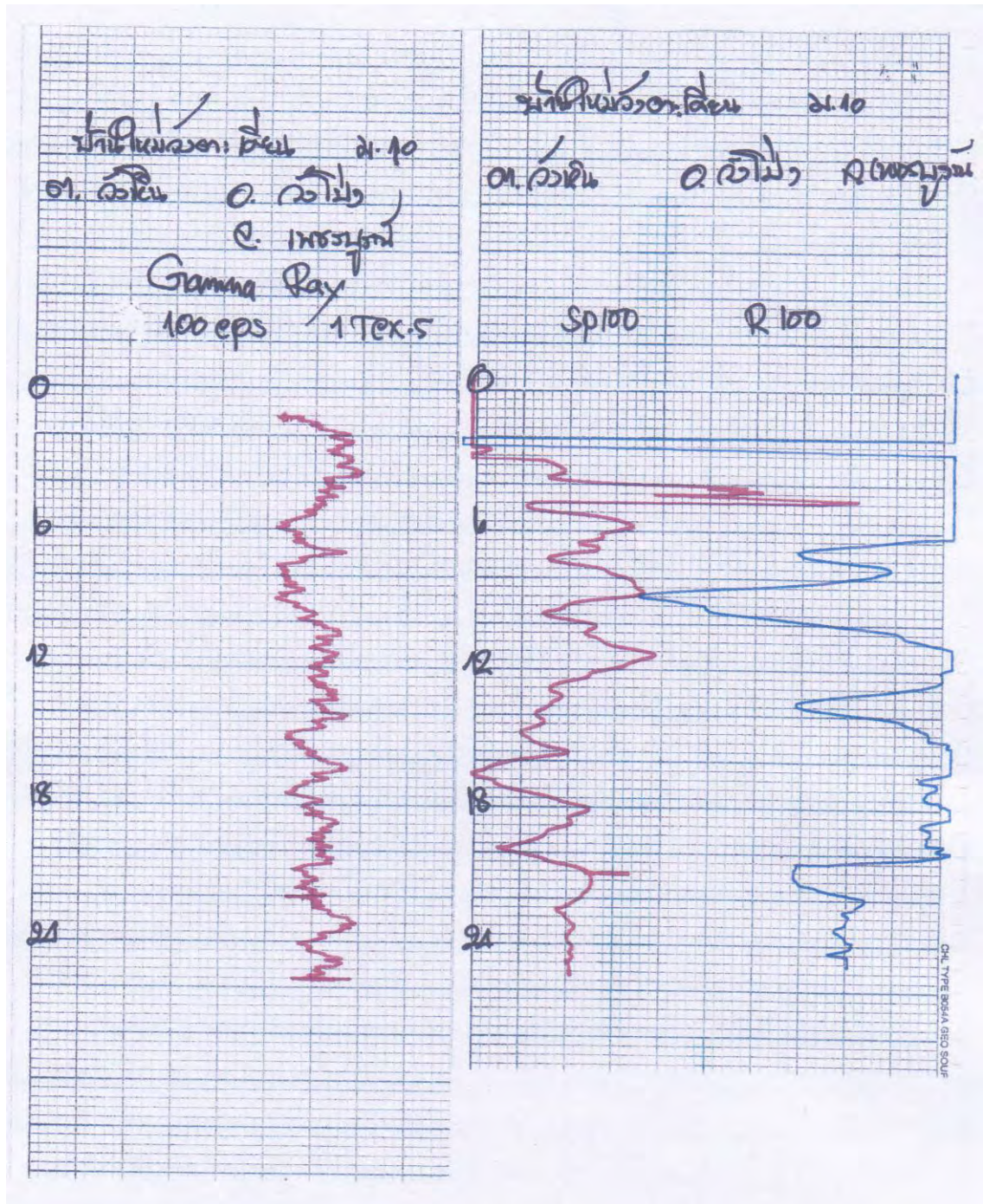
รูปผนวก ค-2 ผลการตรวจวัดค่า Gamma ray และค่าความต้านทานคัลย์ไฟฟ้า
 ของบ่อสังเฏการณ์ GWDP-02



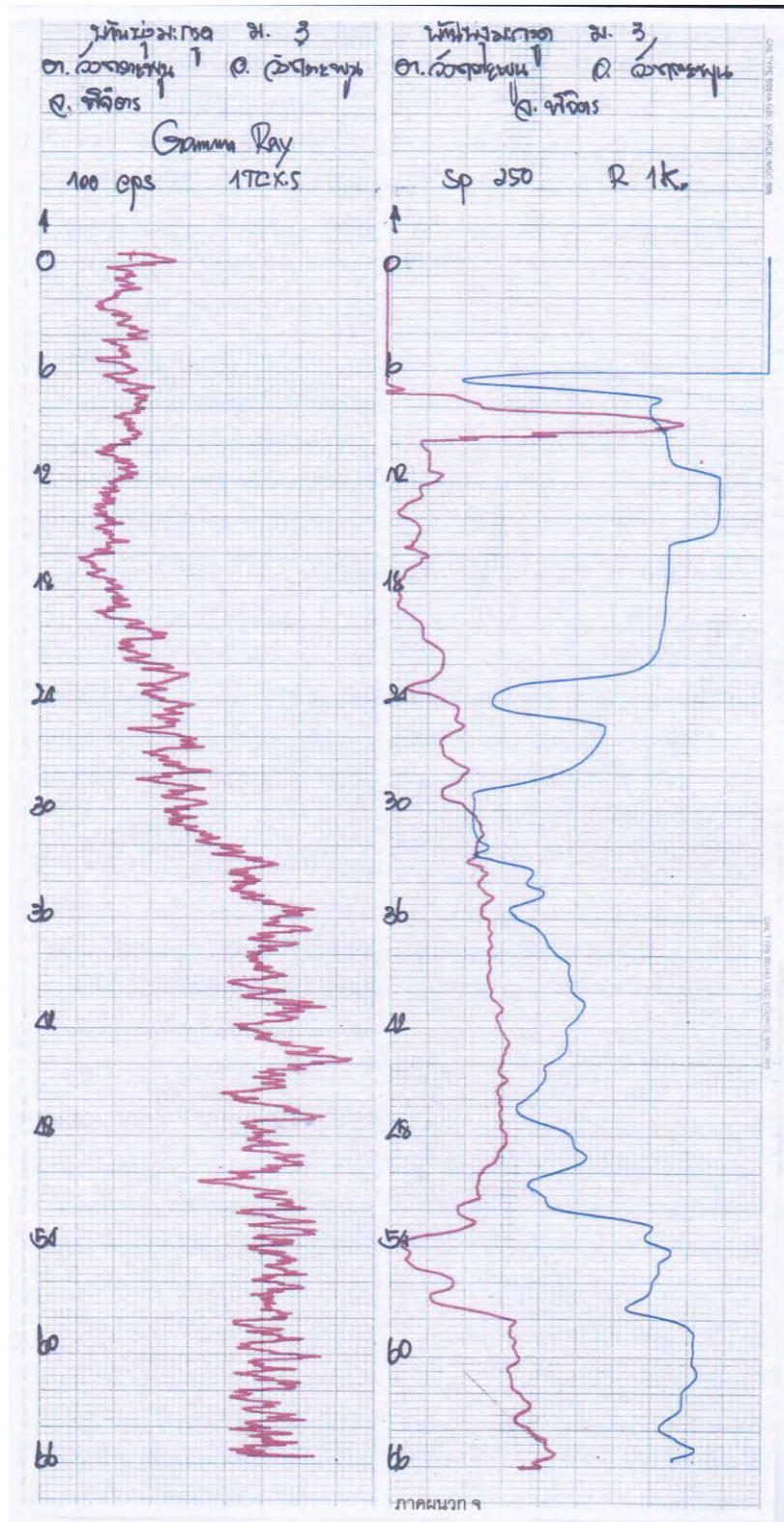
รูปผนวก ค-3 ผลการตรวจวัดค่า Gamma ray และค่าความต้านทานศักย์ไฟฟ้า
 ของบ่อสังเกตการณ์ GWDP-03



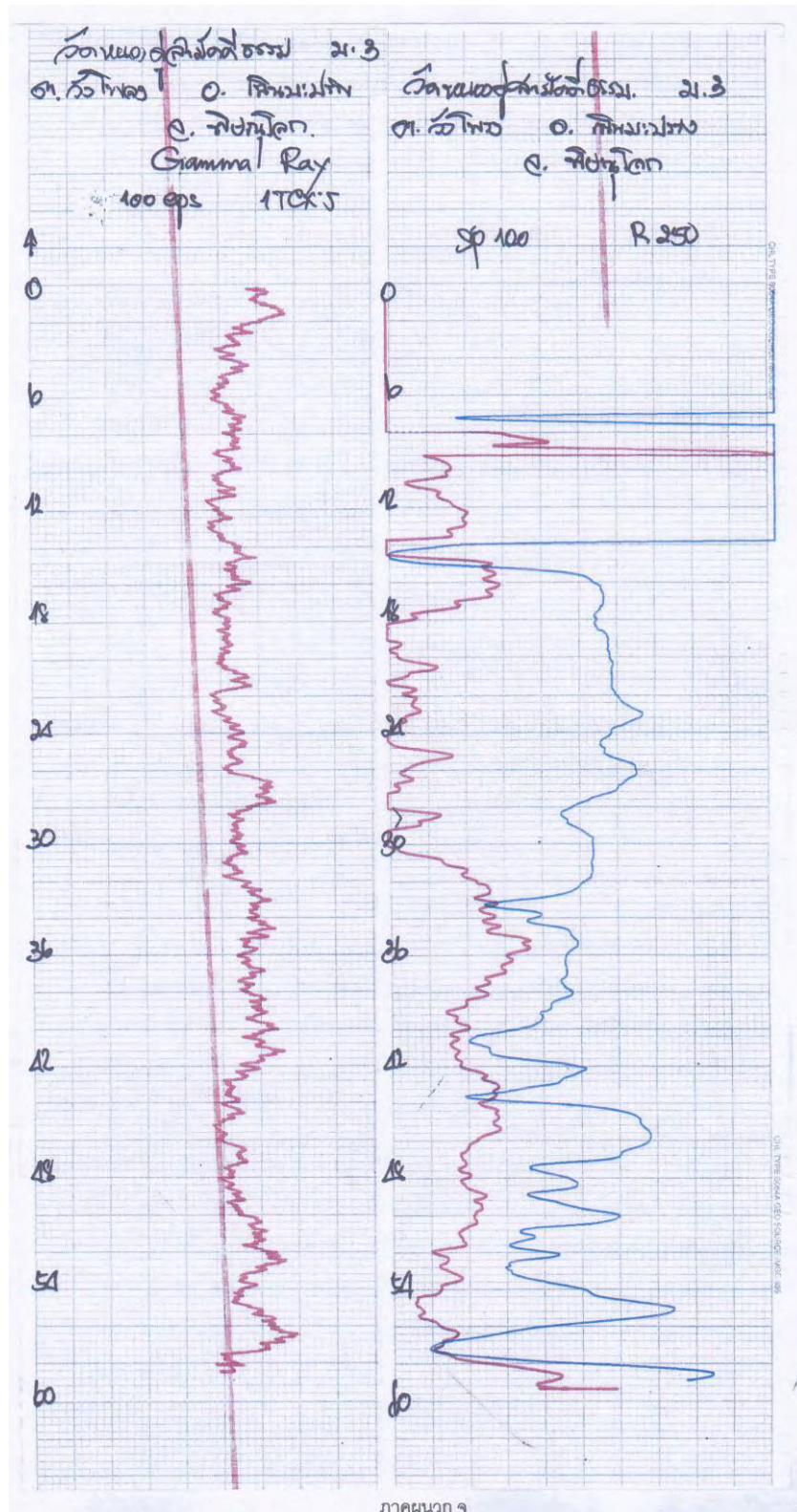
รูปผนวก ค-4 ผลการตรวจวัดค่า Gamma ray และค่าความต้านทานศักย์ไฟฟ้า
 ของบ่อสังเกตการณ์ GWDP-04



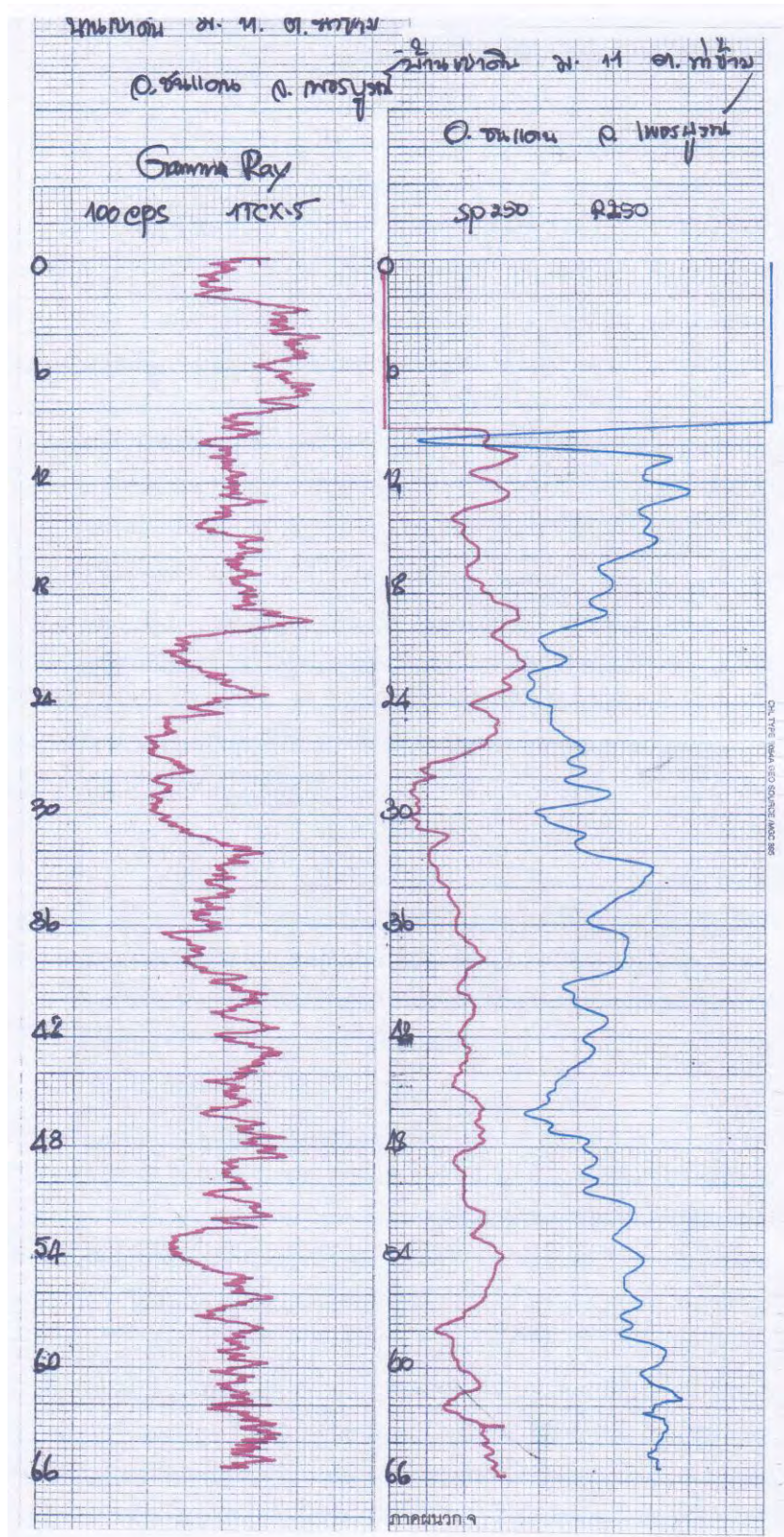
รูปผนวก ค-5 ผลการตรวจวัดค่า Gamma ray และค่าความต้านทานศักย์ไฟฟ้า
ของบ่อสังเกตการณ์ GWDP-05



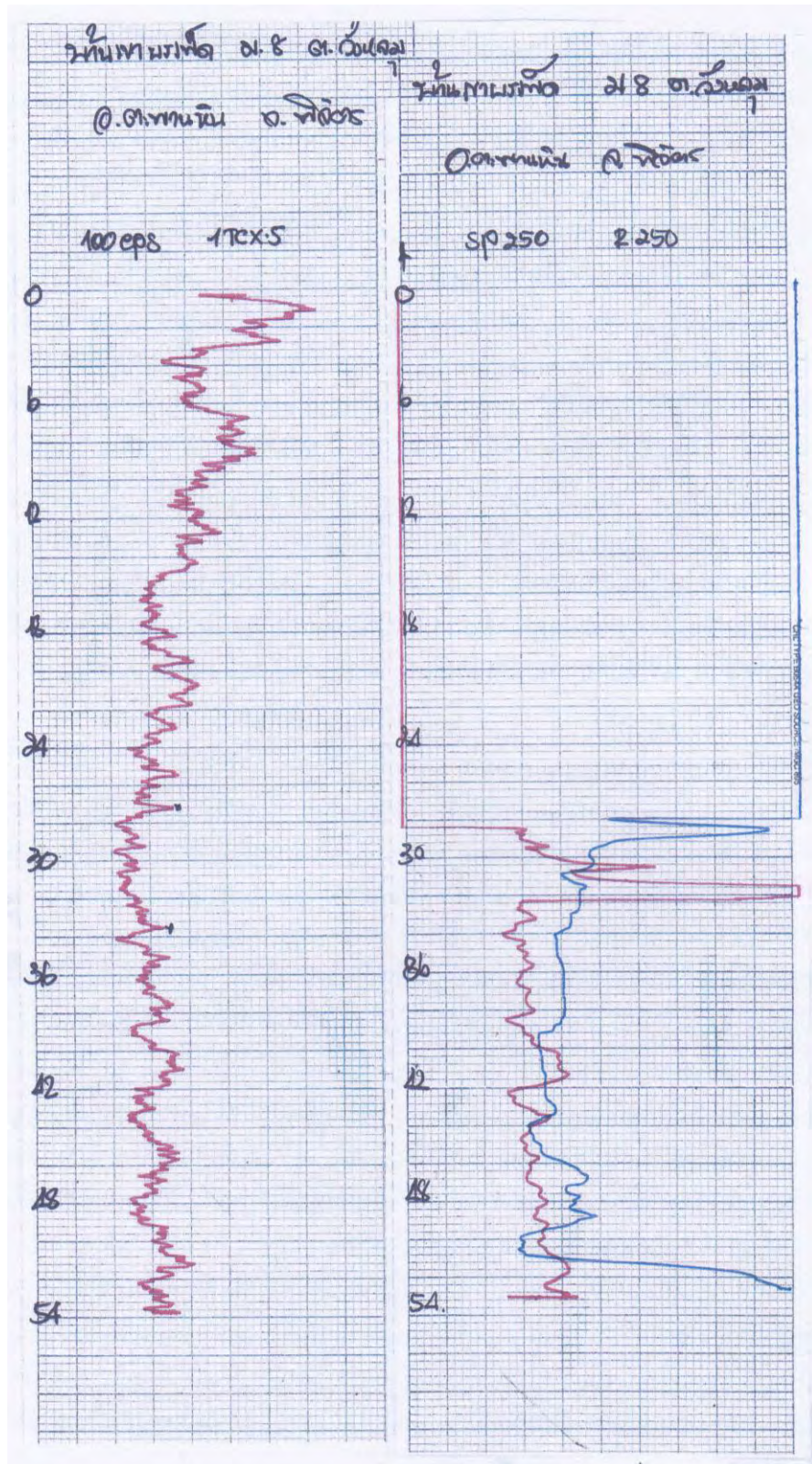
รูปผนวก ค-6 ผลการตรวจวัดค่า Gamma ray และค่าความต้านทานศักย์ไฟฟ้า
 ของบ่อสังเกตการณ์ GWDP-06



รูปผนวก ค-7 ผลการตรวจวัดค่า Gamma ray และค่าความต้านทานศักย์ไฟฟ้า
 ของบ่อสังเกตการณ์ GWDP-07



รูปผนวก ค-8 ผลการตรวจวัดค่า Gamma ray และค่าความต้านทานศักย์ไฟฟ้า
ของบ่อสังเกตการณ์ GWDP-08



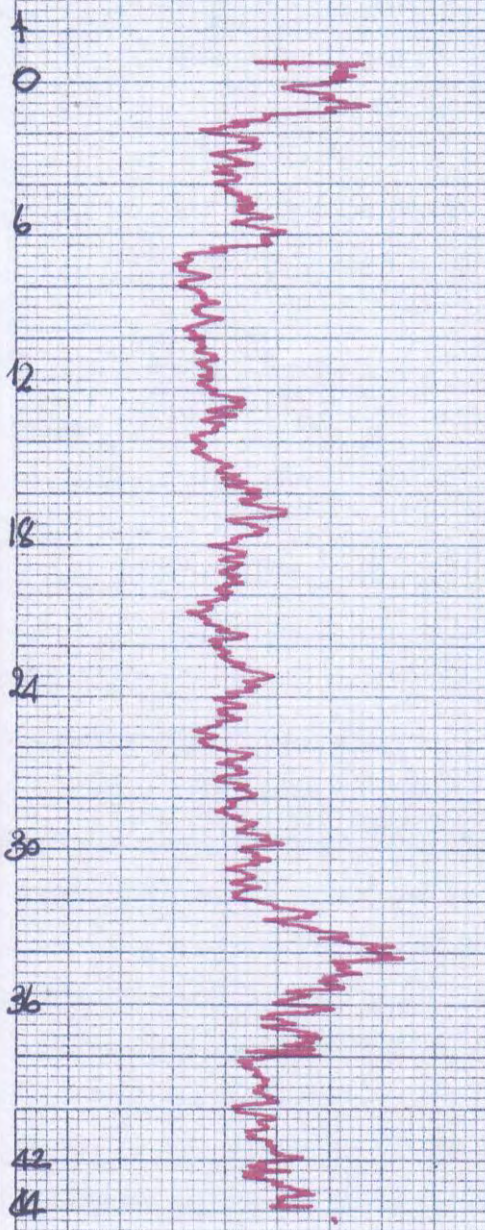
รูปผนวก ค-9 ผลการตรวจวัดค่า Gamma ray และค่าความต้านทานคีย์ไฟฟ้า
ของบ่อสังเกตการณ์ GWDP-09

บ้านหนองหวาย ม.9 ต.เทพารักษ์

๑. กัมมันตภาพรังสี

Gamma Ray

100 CPS 1TEX5



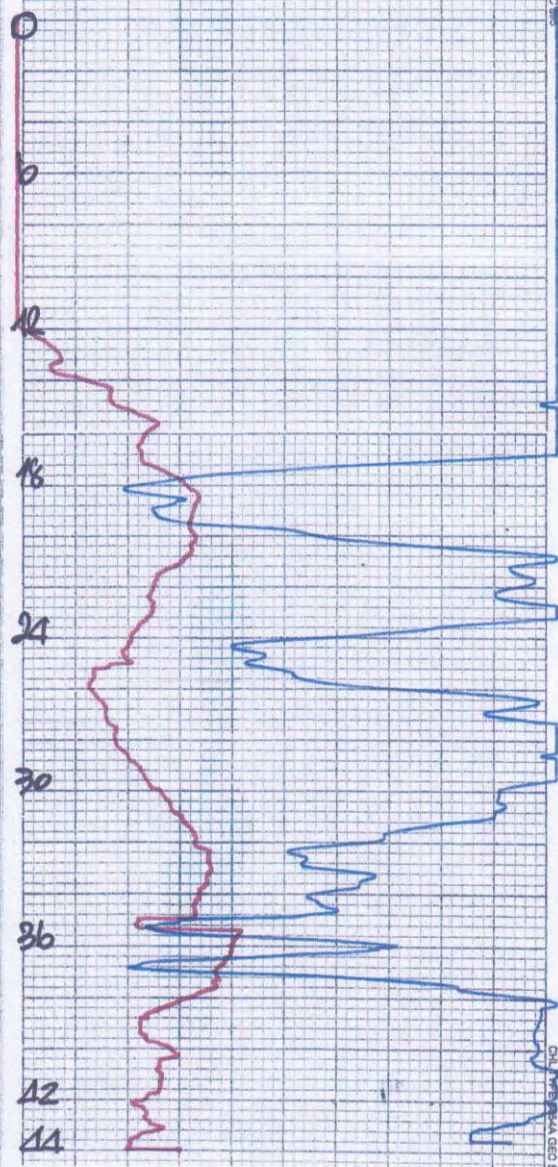
บ้านหนองหวาย ม.9 ต.เทพารักษ์

๑. รังสีคอสมิก

๑. รังสีคอสมิก

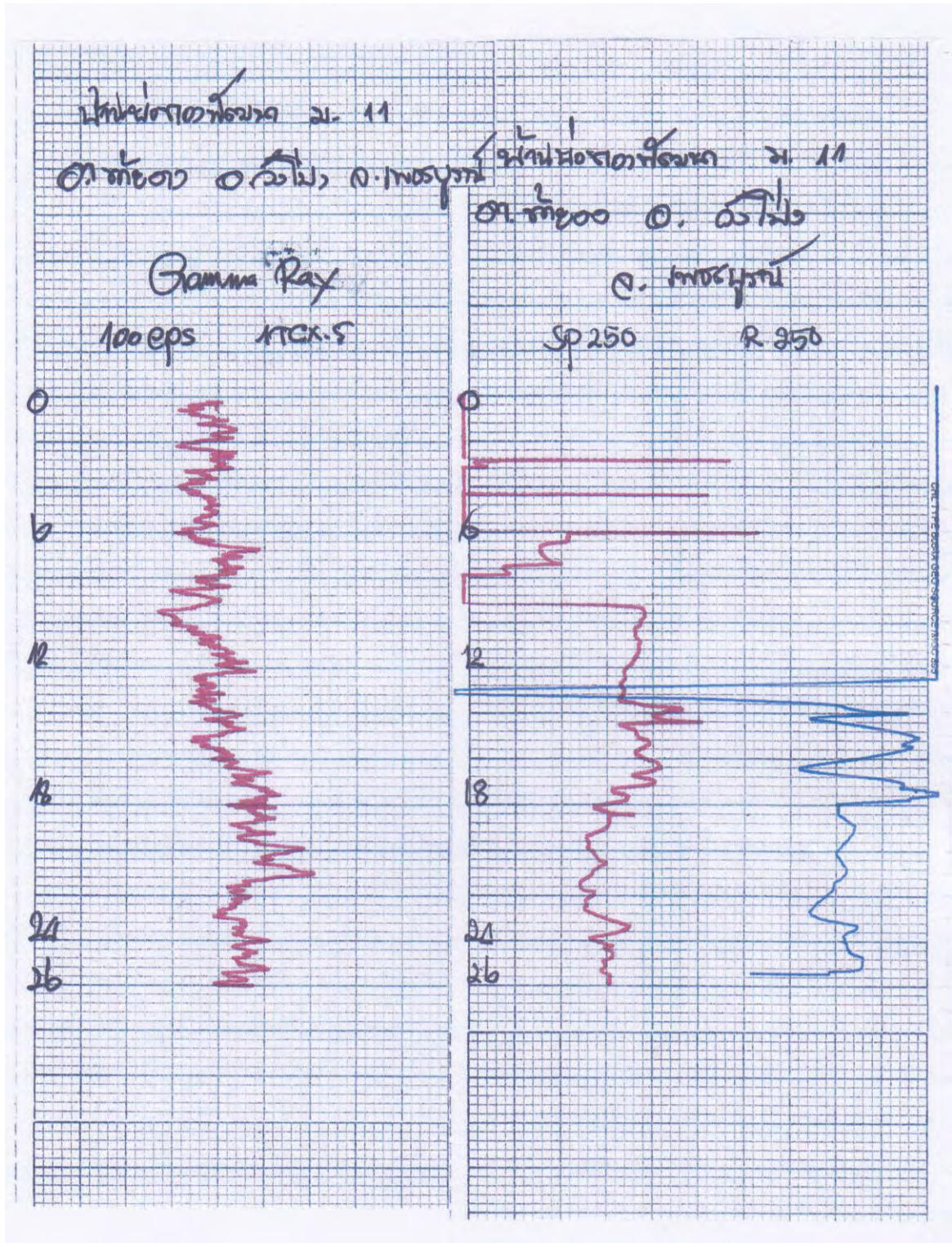
sp100

rs20

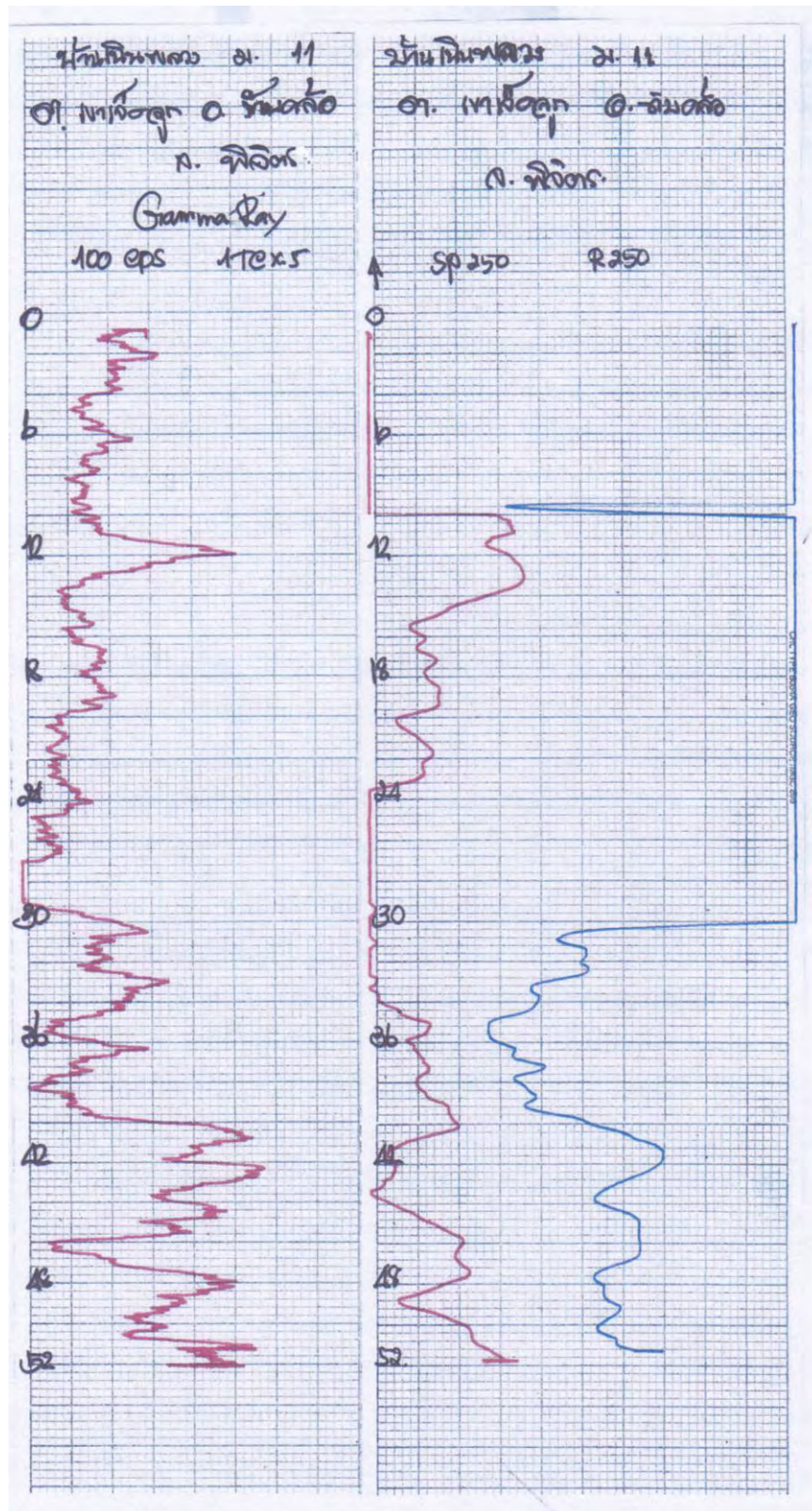


รูปผนวก ค-10 ผลการตรวจวัดค่า Gamma ray และค่าความต้านทานศักย์ไฟฟ้า

ของบ่อสังเกตการณ์ GWDP-10



รูปผนวก ค-11 ผลการตรวจวัดค่า Gamma ray และค่าความต้านทานศักย์ไฟฟ้า
 ของบ่อสังเกตการณ์ GWDP-11



รูปผนวก ค-12 ผลการตรวจวัดค่า Gamma ray และค่าความต้านทานศักย์ไฟฟ้า
 ของบ่อสังเกตการณ์ GWDP-12