

บทที่ 4

การจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน

การศึกษาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินบริเวณบ่อเหมืองแม่เมาะครั้งนี้เป็นการศึกษาต่อจากข้อมูลที่ได้มีการศึกษาไว้แล้วก่อนหน้านี้ การศึกษาจะเป็นการจำลองแบบ 3 มิติ ซึ่งทำการออกแบบจำลอง การไหลของน้ำใต้ดิน การป้อนข้อมูล การคำนวณผล และการแสดงผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW Pro, Version 4.1 พัฒนาโดยบริษัท Waterloo Hydrogeologic Inc.

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้มีขั้นตอนหลักๆในการดำเนินงานดังแสดงใน รูปที่ 4.1 สรุปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่หนึ่ง เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ศึกษามาแล้ว ทั้งทางด้านธรณีวิทยา และด้านอุทกธรณีวิทยา เช่นการแบ่งประเภทและชนิดของชั้นหินอุ้มน้ำใต้ดิน ข้อมูลหลุมเจาะ และภาพถ่ายทางแสดงลำดับชั้นหิน ซึ่งในขั้นตอนนี้จะได้ลักษณะการวางตัวของชั้นหิน

ขั้นตอนที่สอง วิเคราะห์ผลทดสอบคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำใต้ดิน ซึ่งได้แก่การทดสอบหาคุณสมบัติการซึมผ่าน (Permeability test) โดยการสูบทดสอบ (Pumping Test) การเป่าน้ำด้วยอากาศ (Airlift Test) และการเติมน้ำ (Falling Head Test) ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จะนำไปใช้ในการกำหนดค่าเริ่มต้นของการจำลองสถานะการไหลแบบคงที่ (Steady-State flow) และผลการสูบทดสอบนี้ยังนำมาใช้ในการปรับแก้แบบจำลองการไหลในสถานะไม่คงที่ (Transient Flow)

ขั้นตอนที่สาม สร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเชิงมโนทัศน์ (Conceptual Model) จากข้อมูลที่มี เป้าหมายเพื่อรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน และการออกแบบกริดของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ และนอกจากนั้นยังทำให้ทราบถึงรูปแบบและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาเบื้องต้น

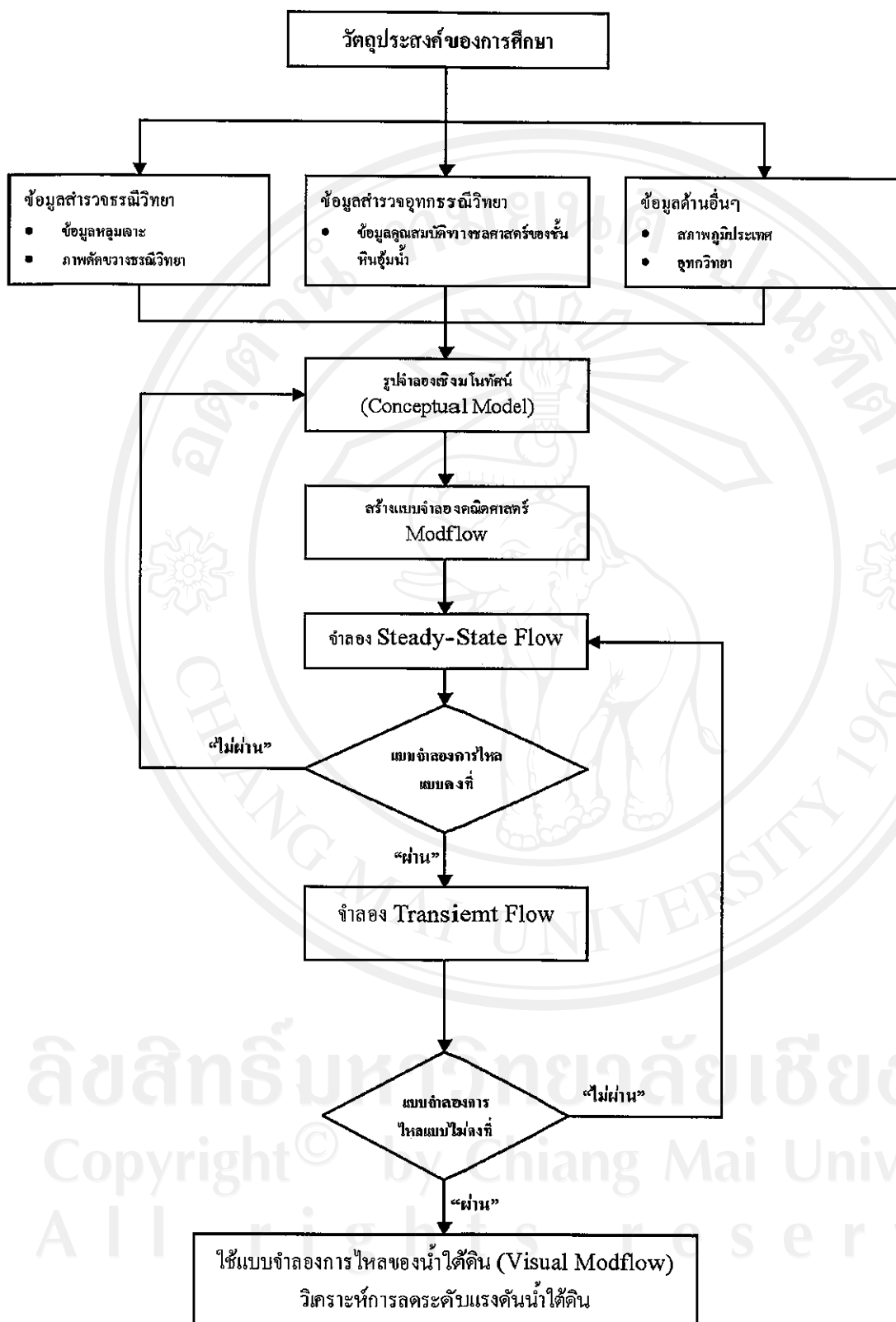
ขั้นตอนที่สี่ หลังจากได้แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเชิงมโนทัศน์ทำการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์ และนำแบบจำลองสร้างขึ้นมาทำการจำลองการไหลในสถานะการไหลแบบคงที่ (Steady state flow) และ สถานะการไหลแบบไม่คงที่ (Transient flow) ในระหว่างนี้มีการปรับแก้แบบจำลองการไหลเพื่อให้ได้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับข้อมูลระดับน้ำที่ตรวจวัดได้จริง ในสนามมากที่สุด

ขั้นตอนที่ห้า ทำการปรับแก้วิเคราะห์หาค่าความอ่อนไหวของแบบจำลอง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นการหาค่าตัวแปรที่มีผลต่อความถูกต้องของการจำลองเมื่อมีการเปลี่ยนค่าไปเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นค่าที่ต้องให้ความสำคัญในการปรับเปลี่ยนค่า

ขั้นตอนที่หก วางแผนการระบายน้ำล่วงหน้าเพื่อลดระดับแรงดันน้ำใต้ดินในพื้นที่วิกฤติอันเนื่องมาจากแรงดันน้ำใต้ดิน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4. 1 แสดงขั้นตอนการศึกษาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน

4.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาครั้งนี้ตั้งอยู่บริเวณพื้นที่การทำเหมืองแม่เมาะดังแสดงในรูปที่ 4.2 ได้กำหนดพื้นที่การศึกษา ขนาด 3,500 x 2,000 ตารางเมตร ครอบคลุมพื้นที่บ่อเหมือง C1 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เนื่องจากแผนการทำเหมืองสำหรับโรงไฟฟ้า 40 ปี แบบปี พ.ศ.2550 และ แบบปี พ.ศ. 2555 พื้นที่ศึกษานี้เป็นจุดลึกที่สุดของการเปิดหน้าดินขุดขนดินและถ่าน ตามแผนดังกล่าว ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันแก้ไขปัญหาเสถียรภาพผนังบ่อเหมืองเนื่องจากแรงดันน้ำใต้ดินที่จะเกิดจึงเลือกทำการศึกษาในพื้นที่นี้



รูป 4. 2 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของเหมืองแม่เมาะ (คัดลอกจาก Google Earth)



รูป 4.3 พื้นที่ศึกษาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน (แบบบ่อเหมืองปี 1998)

4.2 ข้อมูลด้านอุทกธรณีวิทยาแอ่งแม่เมาะและในชั้นหินที่ศึกษา

การศึกษาลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาแอ่งแม่เมาะ จังหวัดลำปางนั้น ได้มีการศึกษามาบ้างแล้วครอบคลุมพื้นที่แอ่งแม่เมาะ ซึ่งได้ทำการเจาะสำรวจติดตั้งบ่อทดสอบคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำใต้ดิน บ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำใต้ดิน การทดสอบคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้ม

น้ำใต้ดิน และจัดลำดับหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (Hydrostratigraphic Unit) ออกเป็น 5 หน่วย (Dames&Moore,1998) แสดงในตารางที่ 4.1 โดยเรียงลำดับจากล่างขึ้นมาด้านบน ดังนี้

หน่วยหินฐานราก ประกอบด้วย หินปูน สีเทา สีน้ำตาลหินอาร์จิลไลต์ และหินทรายสีเทา ถึงเทาอมเขียว ความหนาแน่นโดยประมาณ 10-1,000 เมตร เป็นชั้นหินอุ้มน้ำหลัก โดยเฉพาะหินปูน มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านอยู่ระหว่าง 1.74×10^{-3} ถึง 4.63×10^{-4} เมตรต่อวินาที มีค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ 6.94×10^{-9} ถึง 1.74×10^{-8} หินอาร์จิลไลต์มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน 7.40×10^{-9} ถึง 3.47×10^{-4} เมตรต่อวินาที และหินทรายมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน 1.16×10^{-9} ถึง 1.16×10^{-5} เมตรต่อวินาที โดยที่ หินอาร์จิลไลต์และหินทรายมีค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ 1.08×10^{-7}

หน่วยหินห้วยคิง ประกอบด้วย ดินเหนียว ดินเหนียวปนทราย ทรายปนดินเหนียว ทรายปนทรายแป้ง สีน้ำตาลแดง น้ำตาลเหลืองและสีเทา ความหนาแน่นประมาณ 40-230 เมตร เป็นชั้นหินอุ้มน้ำเฉพาะที่ (Local Aquifer) มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านอยู่ระหว่าง 1.16×10^{-11} ถึง 1.16×10^{-6} เมตรต่อวินาที และมีค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ 2.08×10^{-10} ถึง 2.78×10^{-8}

หน่วยหินนาแหม ประกอบด้วยหินเคลย์ ถ่านหินลิกไนต์ (K, Q, R และ S) หินเคลย์ปนทรายแป้ง ความหนาแน่นโดยประมาณ 5-1,000 เมตร ลักษณะเป็นชั้นหินดานน้ำ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวตั้งของหินเคลย์ที่อยู่ใต้ชั้นถ่านหินลิกไนต์อยู่ในช่วง 1.16×10^{-11} ถึง 1.16×10^{-8} เมตรต่อวินาที

หน่วยหินห้วยหลวง ประกอบด้วยดินเหนียวปนทรายแป้ง ทรายปนทรายแป้ง สีน้ำตาลแดง ความหนาแน่นประมาณ 170 เมตร ลักษณะเป็นชั้นหินดานน้ำ

หน่วยหินควอเทอร์นารี ประกอบด้วย ดินเหนียวปนทรายแป้ง ทรายปนทรายแป้ง สีน้ำตาล และสีน้ำตาลเหลืองความหนาแน่นโดยประมาณ 20 เมตร ลักษณะเป็นชั้นหินดานน้ำ โดยมีชั้นหินอุ้มน้ำในบางพื้นที่

ตาราง 4. 1 ลำดับหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา

Formation		Permeability (m/s)			Storativity (-)
		Vertical	Horizontal		
			K eff	K max	
Quaternary		-	-	-	-
Huai Luang		-	-	-	-
Na Kham	UB Claystone	10E-08 - 10E-11	-	-	-
Huai Kng	Semi-consolidated	10E-08 - 10E-11	1.15E-07 - 6.25E-08	1.15E-06 - 3.81E-07	2.4E-03 - 1.8E-05
Basement	Limestone	-	5.78E-05 - 1.73E-08	4.62E-04 - 2.66E-07	7.00E-04
	Sandstone	-	8.56E-09	1.73-07 - 2.89E-08	9.30E-03
	Argillite	-	2.31E-08 - 7.41E-09	9.25E-06 - 4.28E-08	-

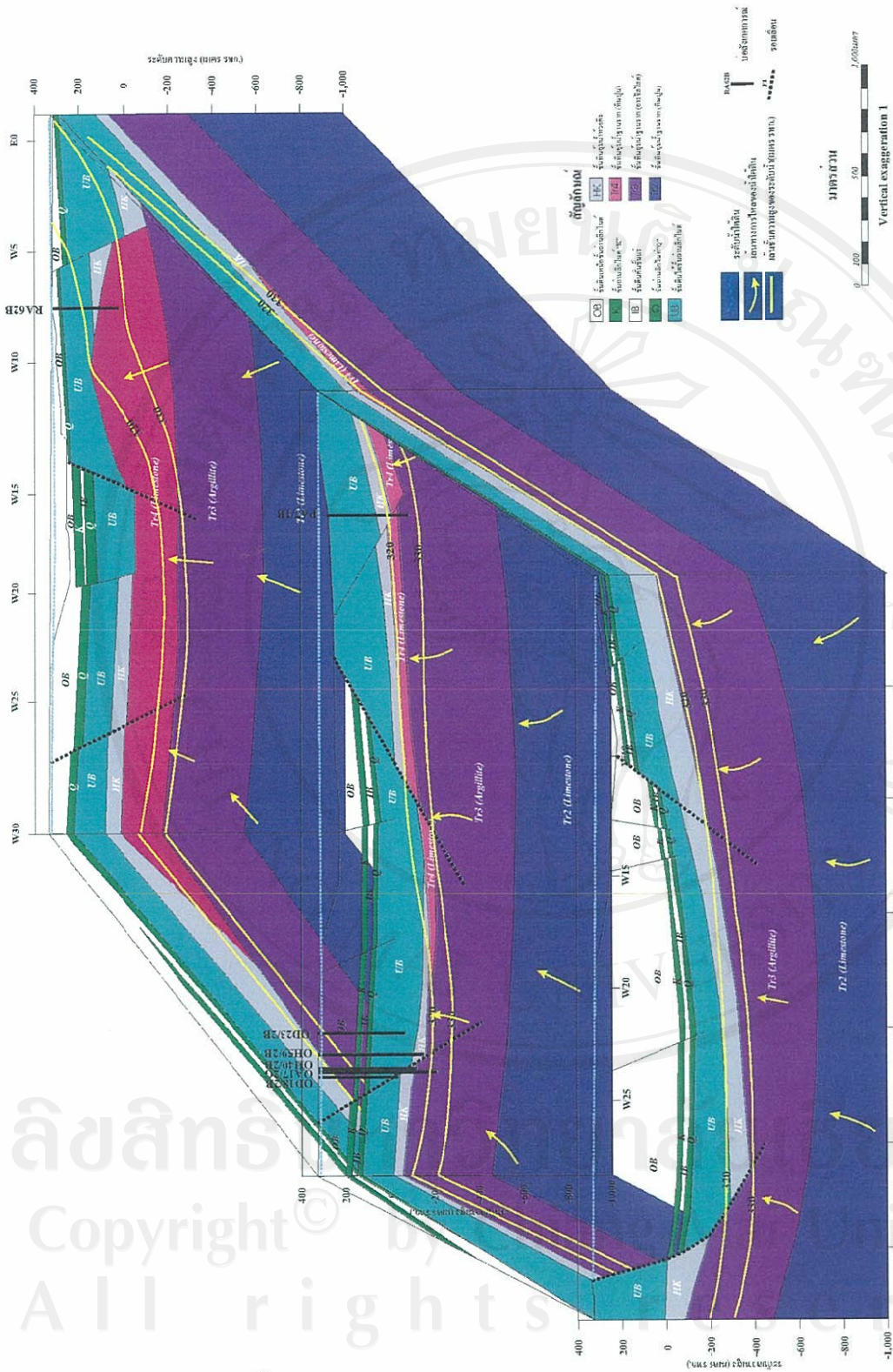
4.3 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของแอ่งแม่เมาะ

ในการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินจะเป็น การสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเชิงมโนทัศน์ (Conceptual Model) ทั้งนี้เพื่อใช้ประกอบการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับ ระบบและรูปแบบการไหลของน้ำใต้ดินที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของแอ่งแม่เมาะ และเพื่อใช้ในการตรวจสอบรวบรวมข้อมูลที่จะต้องใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ว่าครบถ้วนหรือไม่

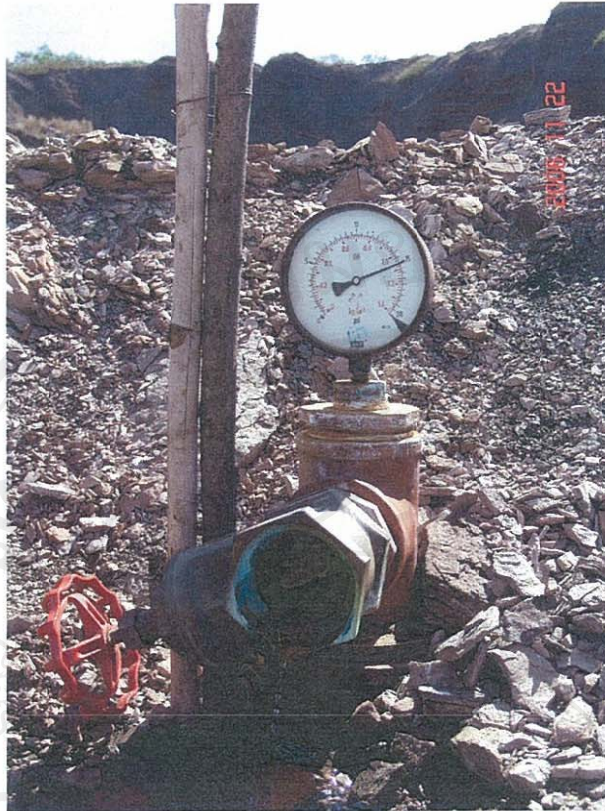
ซึ่งในการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเชิงมโนทัศน์ของแอ่งแม่เมาะนี้ ใช้วิธีการรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่แล้วหลายๆ ด้านประกอบกัน ได้แก่

- 1) ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ และการวางตัวของชั้นหิน
- 2) ขนาดของพื้นที่รับน้ำ
- 3) ระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์
- 4) ข้อมูลหลุมเจาะ

แบบจำลองการไหลเชิงมโนทัศน์ ตามภาพ 3 มิติที่สร้างขึ้น แสดงในรูป 4.4 พบว่าระดับแรงดันน้ำใต้ดินในชั้นหินอุ้มน้ำรากฐาน อยู่ระหว่าง +190 ถึง +325 เมตร รทก. โดยมีทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินจากด้านล่างไหลขึ้นสู่ด้านบน ซึ่งพื้นที่สูญเสียน้ำอยู่ตอนกลางของบ่อเหมือง และจากสภาพหน้างานชุดขุดดินและถ่านตามแผนการทำเหมืองทำให้พื้นที่บ่อเหมืองอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับแรงดันน้ำใต้ดิน จึงพบว่าระดับแรงดันน้ำใต้ดินอยู่สูงกว่าพื้นที่บ่อเหมือง ดังแสดงในรูป 4.5 และพื้นที่เติมน้ำ (Recharge area) จะอยู่ทางขอบแอ่งที่เป็นภูเขาทั้งสองด้าน



รูป 4. 4 ภาพตัดขวาง 3 มิติ พื้นที่ศึกษา



รูป 4. 5 ระดับแรงดันน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์สูงเหนือพื้นดิน 13 เมตร

4.4 แนวโน้มเส้นทางการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งแม่เมาะ

จากการศึกษาและแนวโน้มเส้นทางการไหลของน้ำใต้ดิน มีหลายปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่สภาพภูมิอากาศ ภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน หรือลักษณะทางธรณีวิทยาในแต่ละพื้นที่เป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลให้ค่าพยากรณ์การไหลของน้ำใต้ดินมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทิศทาง ความเร็ว ตลอดจนปริมาณน้ำบาดาล รูป 4.4 แสดงภาพตัดขวาง 3 มิติของพื้นที่ศึกษาโดยใช้ข้อมูลแรงดันน้ำใต้ดินจากชั้นหินอุ้มน้ำแต่ละชั้น ซึ่งสามารถเรียงลำดับแนวโน้มเส้นทางการไหลของน้ำใต้ดินได้ดังนี้

หน่วยหินฐานราก (หินปูน หินทราย หิน อาร์จิลไลต์) มีเสคน้ำของน้ำใต้ดินอยู่ที่ +318 ถึง +326 เมตร รทก. ซึ่งสูงกว่าผิวดินโดยเฉพาะบริเวณกลางบ่อเหมือง ลักษณะของการไหลเป็นการไหลในระดับลึก ใช้ระยะทางไกล มีทิศทางการไหลขึ้นสู่ผิวดินในบริเวณบ่อเหมือง เป็นพื้นที่สูญเสียน้ำ (Discharge Area) โดยมีภูเขาสูงที่อยู่รอบๆแอ่งเป็นพื้นที่เติมน้ำ (Recharge area)

หน่วยหินห้วยคิง (ตะกอนธารน้ำ เช่นดินเหนียว ทราย ทรายแป้ง) เสคน้ำของน้ำใต้ดินในชั้นนี้อยู่ระหว่าง +306 ถึง +324 เมตร รทก. อยู่ต่ำกว่าผิวดินเล็กน้อย ลักษณะการไหลจะคล้ายกับหน่วยหินฐานราก คือน้ำใต้ดินมีการไหลในระดับลึก และใช้ระยะเวลาในการไหลนาน มีทิศ

ทางการไหลของน้ำใต้ดินไหลขึ้นสู่ผิวดิน สำหรับพื้นที่เติมน้ำ และพื้นที่สูญเสียน้ำอยู่ในลักษณะเดียวกับของหน่วยหินฐานราก และนอกจากนี้ยังมีน้ำใต้ดินบางส่วนเพิ่มเติมเข้ามาจากหน่วยหินฐานรากด้วย

หน่วยหินนาแยม หน่วยหินห้วยหลวง และหน่วยหินควอเทอร์นารี ในการศึกษาครั้งนี้ ไม่ได้พิจารณาหน่วยหินเหล่านี้ในรายละเอียด แต่จากลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาคาดว่าน้ำใต้ดินในหน่วยหินมี มีรูปแบบการไหลในระดับความลึกปานกลาง ถึงระดับตื้น ระยะทางการไหลไม่มาก และทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินมีทั้งไหลขึ้นสู่ด้านบน และ ลงสู่ด้านล่าง



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

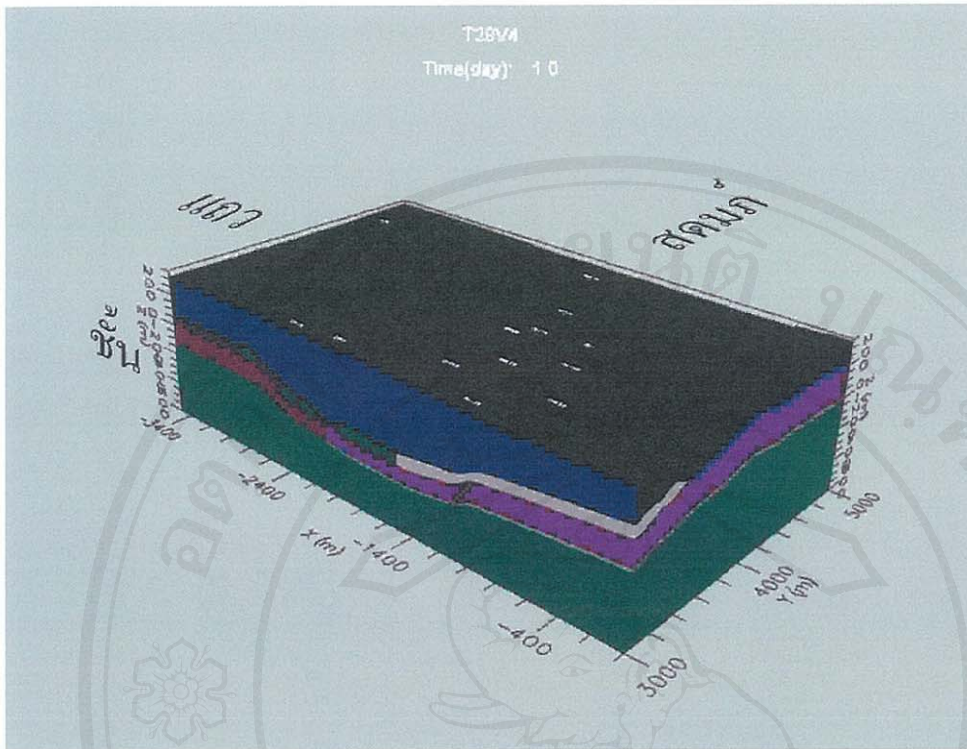
4.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.5.1 การออกแบบกริด

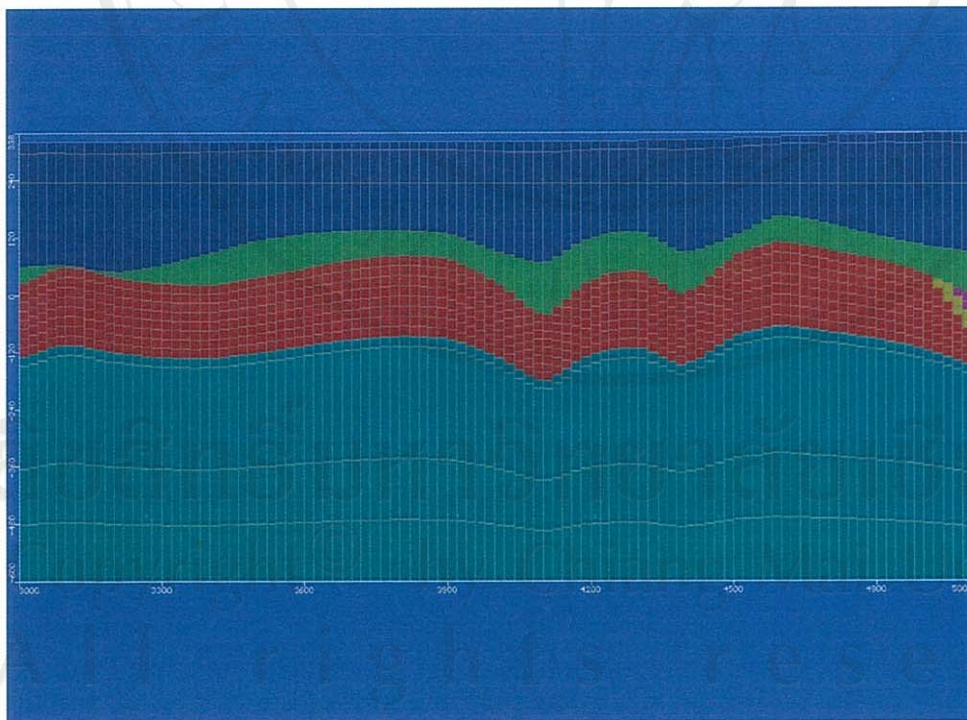
ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากรูปแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ กำหนดพื้นที่ศึกษาเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 3,500 เมตร (แนว ตะวันออก-ตะวันตก) ตามพิกัดเหมือง W35 ถึง W0 ยาว 2,000 เมตร (ตามแนว เหนือ-ใต้) ตามพิกัดเหมือง N30 ถึง N50 ความสูงของภูมิประเทศตั้งแต่ +137 ถึง +320 เมตร รทก. แบ่งพื้นที่ศึกษาเป็นกริดทรงลูกบาศก์ ตามแนวตะวันออก-ตะวันตก และตามแนวเหนือ-ใต้ รายละเอียด ดังนี้

- ❖ แนวตะวันออก – ตะวันตก แบ่งออกเป็น 190 สดมภ์ความกว้าง สดมภ์ละ 20 เมตร
- ❖ แนวเหนือ – ใต้ แบ่งออกเป็น 100 แถว ความกว้างแถวละ 20 เมตร
- ❖ แนวตั้ง แบ่งออกเป็น 15 ชั้น แบ่งเป็นหน่วยชั้นหินต่างๆ ดังนี้
 - ชั้นที่ 1 ถึง 2 กำหนดให้เป็น หน่วยหินนาแฆม หน่วยหินห้วยหลวง และหน่วยหินควอเทอร์นารี ประกอบไปด้วย ชั้นถ่านลิกไนต์ K, Q และชั้นหินเคลย์
 - ชั้นที่ 3 กำหนดให้เป็น หน่วยหินห้วยดิง ประกอบด้วย ชั้นดินเหนียว ดินเหนียวปนทราย และชั้นกระเปาะทราย และบางส่วนกำหนดให้เป็นหน่วยหินนาแฆม
 - ชั้นที่ 4 ถึง 15 กำหนดให้เป็น หน่วยหินฐานราก ประกอบด้วย ชั้นหินปูน, หินอาซิลไลท์ และ หินทราย

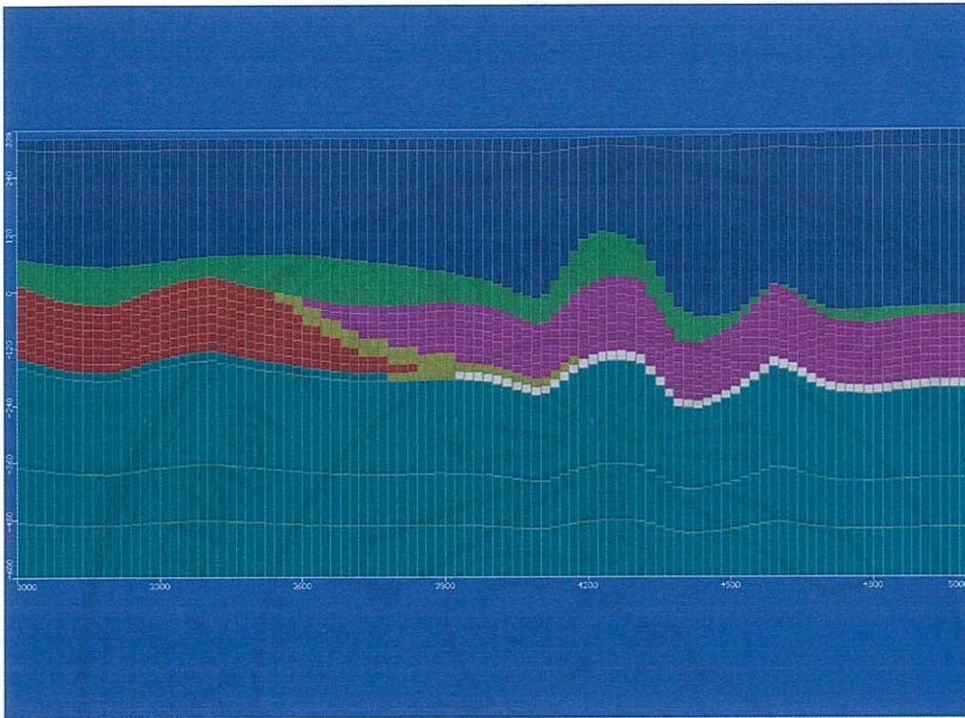
หลังจากได้กำหนดและออกแบบกริดดังกล่าวแล้วจึงได้ใส่ข้อมูล ค่าคุณสมบัติทางศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำในหน่วยหินต่างๆ พร้อมทั้งเงื่อนไขขอบเขตแบบจำลอง (Boundary Condition) ข้อมูลการสูบทดสอบ และข้อมูลการตรวจติดตามระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์ ข้อมูลดังกล่าวทำให้สามารถออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ดังแสดงในรูป 4.7 และภาพตัดขวางตามแนวแถว และ สดมภ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.8-4.13



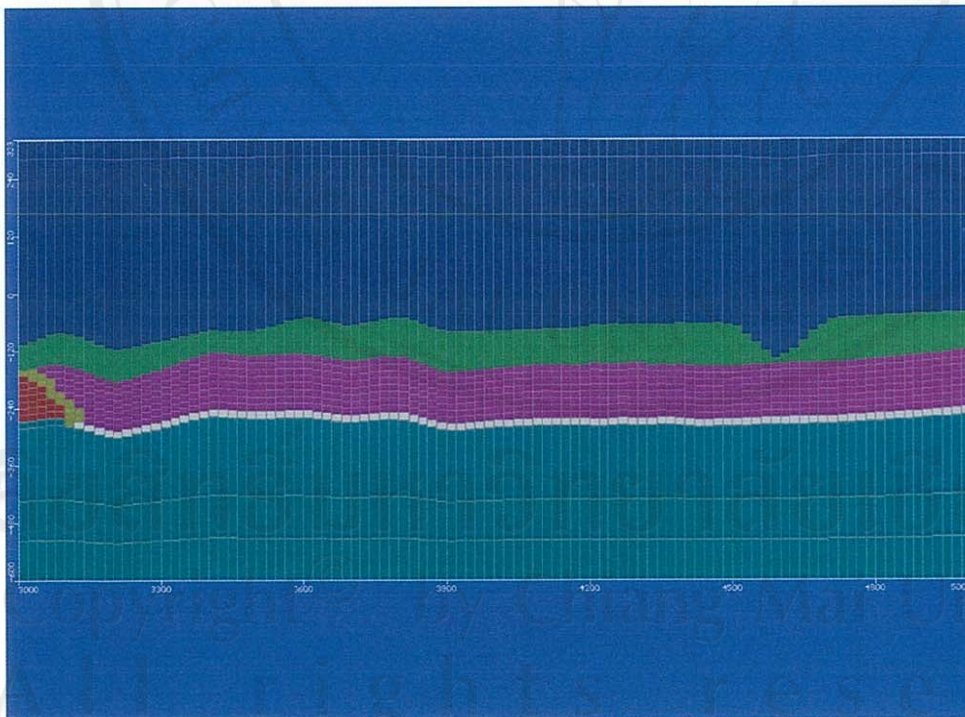
รูป 4. 7 แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินทางคณิตศาสตร์



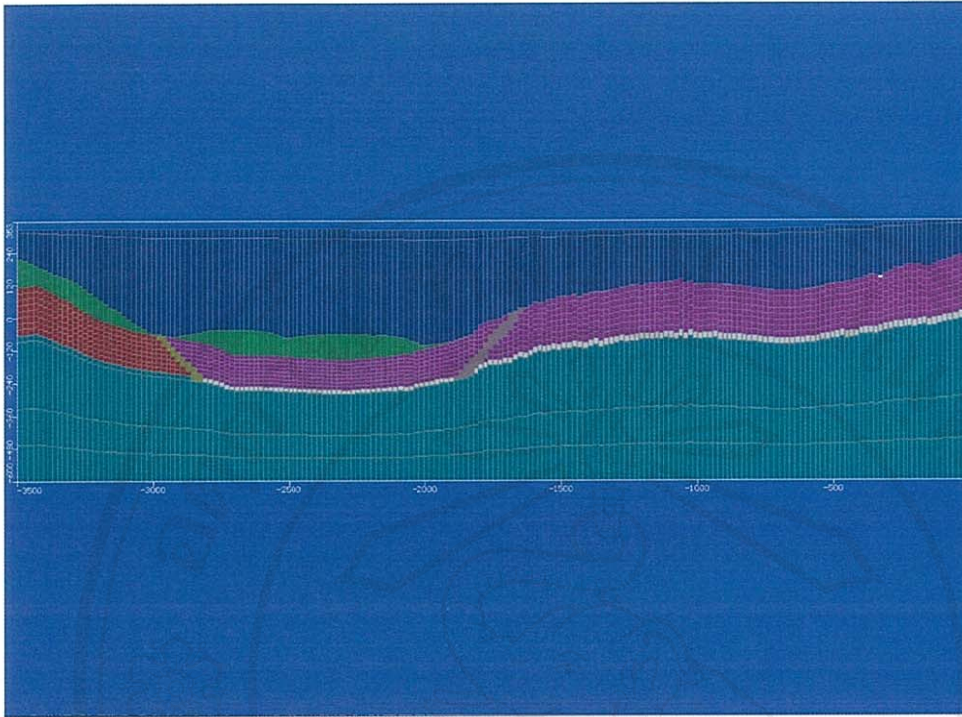
รูป 4. 8 ภาพตัดขวางตามแนวสคมภ์ที่ 15



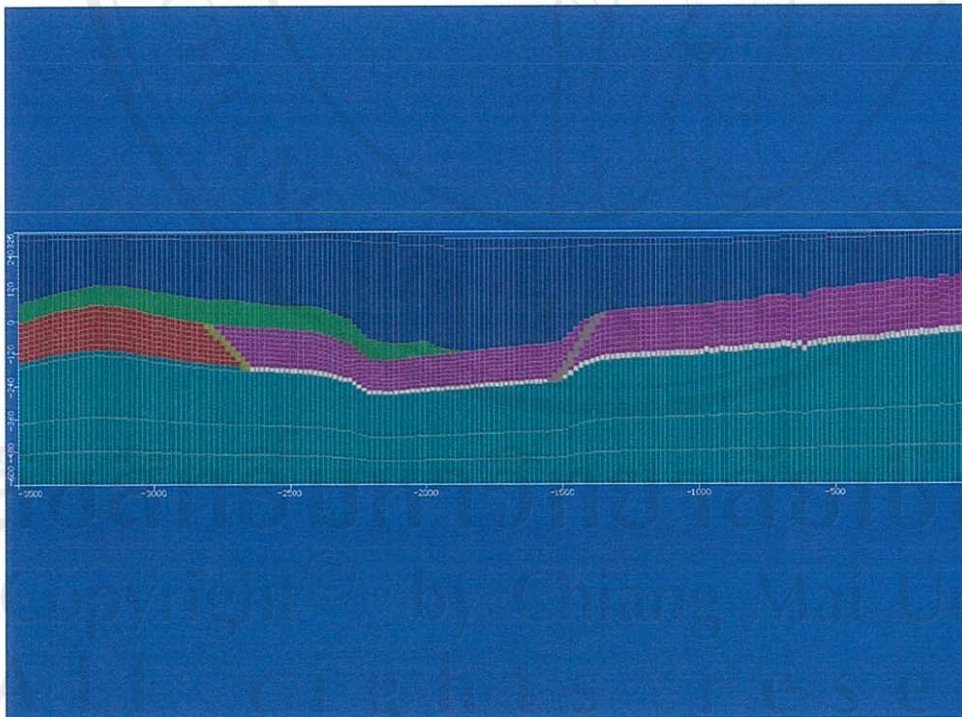
รูป 4. 9 ภาพตัดขวางตามแนวสมมติที่ 40



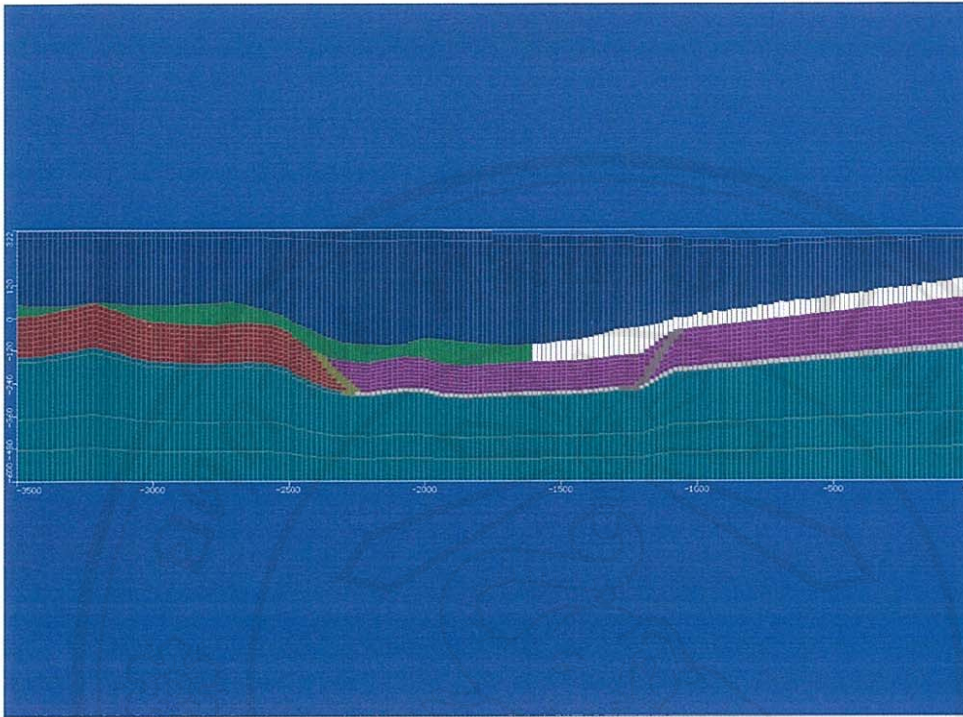
รูป 4. 10 ภาพตัดขวางตามแนวสมมติที่ 70



รูป 4. 11 ภาพตัดขวางตามแนวแถวที่ 30



รูป 4. 12 ภาพตัดขวางตามแนวแถวที่ 70



รูป 4. 13 ภาพตัดขวางตามแนวแถวที่ 93

4.6 การปรับแก้แบบจำลอง (Calibration)

เพื่อปรับเทียบค่าตัวแปรทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง ตัวแปรค่าการซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำใต้ดิน และหาสมมูลน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

4.6.1 การจำลองในสถานะคงที่ Steady state

เมื่อได้ทำการใส่ข้อมูลตัวแปรต่างๆในแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการจำลองการไหลในสถานะคงที่ (Steady State Flow) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เพราะจะต้องนำค่า head ที่ได้ไปใช้เป็นค่าแรงดันน้ำเริ่มต้น (Initial Head Distribution) สำหรับการจำลองการไหลในสถานะไม่คงที่ (Transient Simulation) ต่อไป

สำหรับเงื่อนไขที่ใช้ในการปรับแก้แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสถานะคงที่มีดังนี้

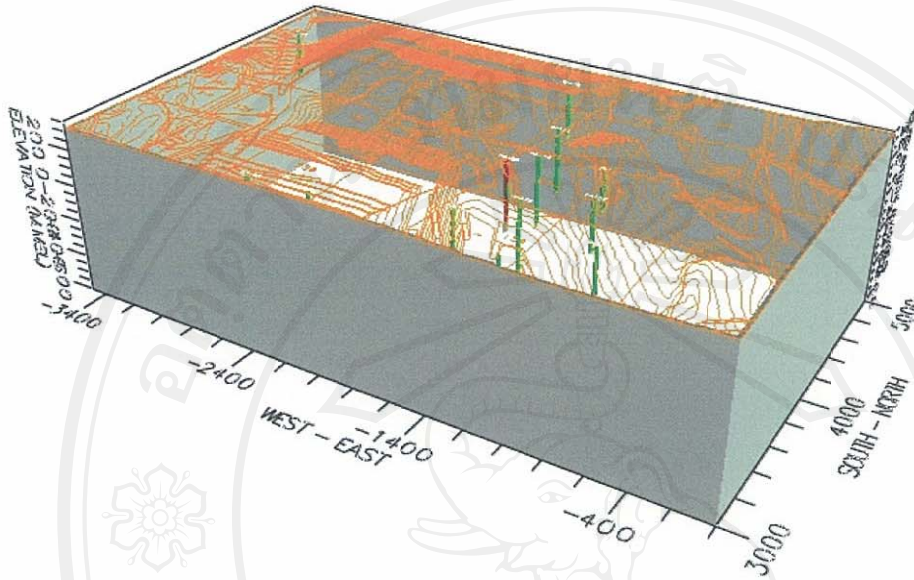
- กำหนดเงื่อนไขขอบนอกของแบบจำลองการไหลเป็นแบบ General Head Boundary เฉพาะในชั้น หน่วยหินฐานราก และ หน่วยหินห้วยคิง ดังแสดงในรูปที่ 4.14
- กำหนดให้มีการไหลอิสระที่หลุม PA12B

- กำหนดตำแหน่งหลุมสังเกตการณ์ระดับน้ำ แสดงในรูปที่ 4.15
- กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในหน่วยหินฐานราก และหน่วยหินห้วยคิง ที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติทางชลศาสตร์ แสดงในตารางที่ 4.2 ยกเว้นใน หน่วยหินห้วยหลวง หน่วยหินนาแถม และหน่วยหินคอเทอร์นารี ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ประเมินจากตัวอย่างชั้นดิน เปรียบเทียบกับการศึกษาของ Freeze and Cherry(1979) แสดงในตารางที่ 4.3

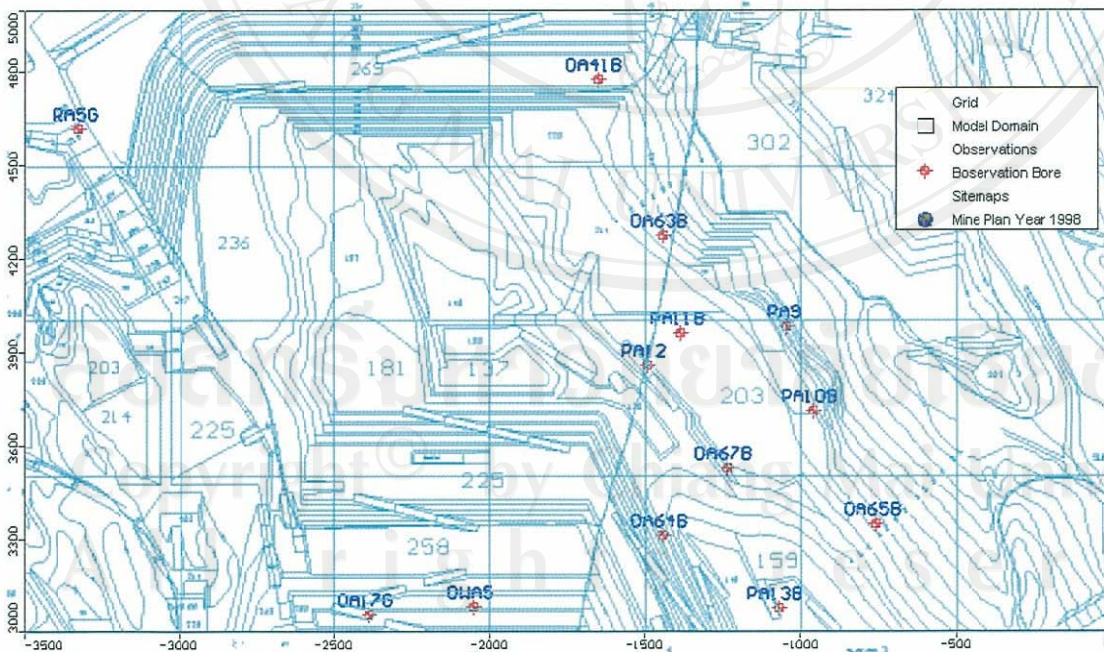
ตาราง 4. 2 ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในชั้นหินฐานราก

No.	Well No.	Permeability, K		Formations	Method of Test	Remarks
		m./day	cm./sec			
1	PA9B	5	5.78×10^{-5}	หินปูน	Specific Capacity Data	Flowing Bore
2	PA10B	6	6.94×10^{-5}	หินปูน	Specific Capacity Data	Flowing Bore
3	PA11B	4	4.62×10^{-5}	หินปูน	Specific Capacity Data	Flowing Bore
4	PA12B	4	4.62×10^{-5}	หินปูน	Specific Capacity Data	Flowing Bore
5	PA13B	0.10	1.15×10^{-6}	หินปูน	Specific Capacity Data	Flowing Bore
6	OWA5	3	3.47×10^{-5}	หินปูน	Pumping Test	
7	RA5G	0.03	3.47×10^{-7}	หินอาร์จิลไลต์	Pumping Test	
8	OAI7/2G	0.80	9.25×10^{-6}	หินอาร์จิลไลต์/หินทราย	Pumping Test	
9	OA64B	0.30	3.47×10^{-6}	หินปูน	Specific Capacity Data	Flowing Bore

GENERAL HEAD BOUNDARY



รูป 4. 14 ขอบเขตเงื่อนไขที่กำหนดในแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน



รูป 4. 15 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำใต้ดิน

รูปที่ 4.16 แสดงผลการปรับแบบจำลองที่ได้ (Model Calibration) เป็นกราฟระหว่างผลของแรงดันน้ำใต้ดินที่คำนวณได้จากแบบจำลอง กับการวัดแรงดันน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์จากรูปจะเห็นว่า ค่าของแรงดันน้ำในแบบจำลองที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ มีค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน (Root mean square error) 5.437%

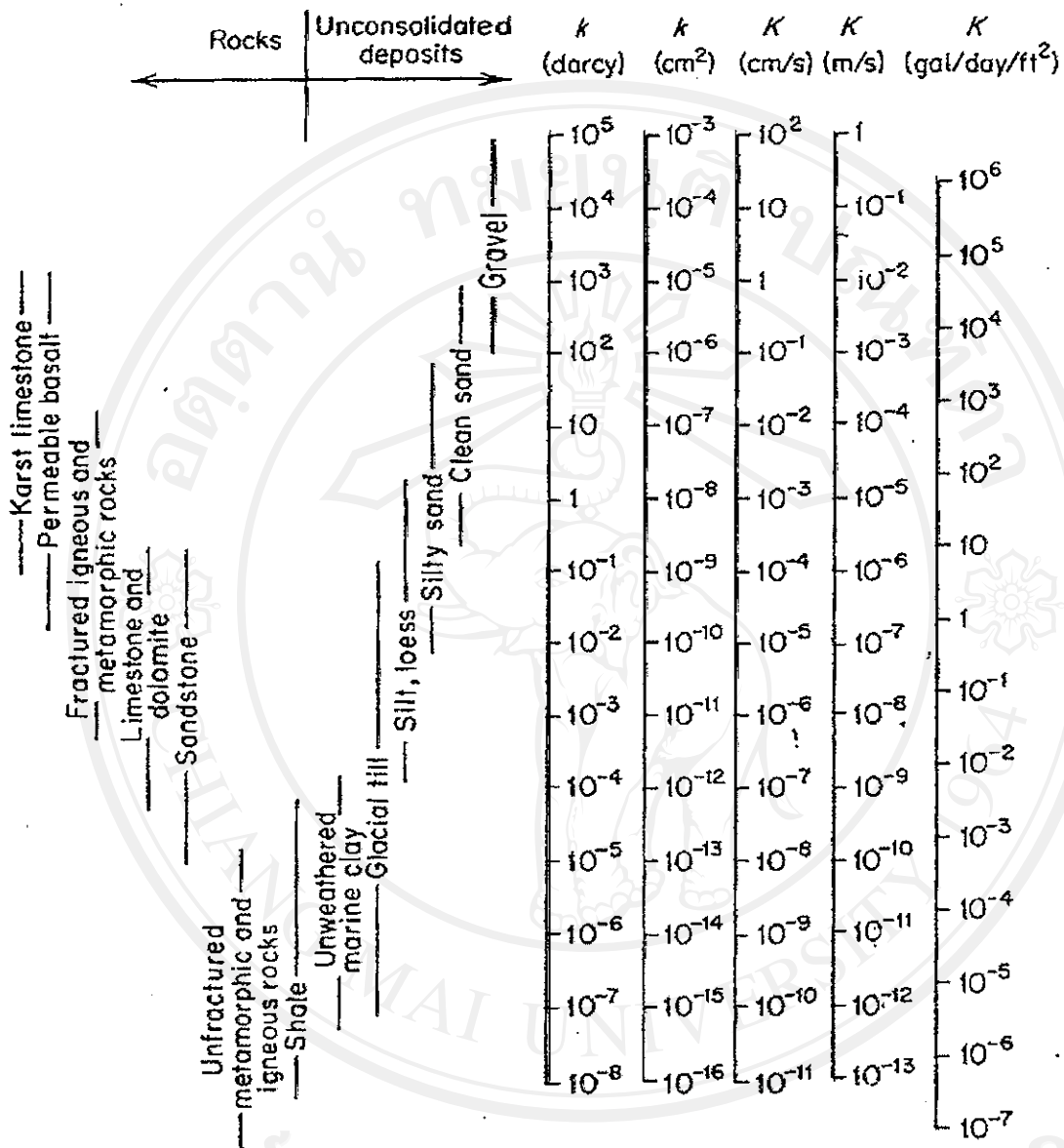
หลังจากแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสภาวะการไหลคงที่ที่ได้รับการปรับแก้แล้ว พบว่าเส้นการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาใกล้เคียงกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ที่ได้สร้างไว้คือ น้ำใต้ดินจะไหลจากขอบทางด้านเหนือ ตะวันตก และตะวันออก เข้าสู่กลางพื้นที่ศึกษา แล้วไหลออกทางด้านใต้ของพื้นที่ศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.17 ค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านของแต่ละหน่วยหินที่ได้หลังจากการปรับแก้แบบจำลองในสภาวะการไหลคงที่ แสดงในรูปที่ 4.18

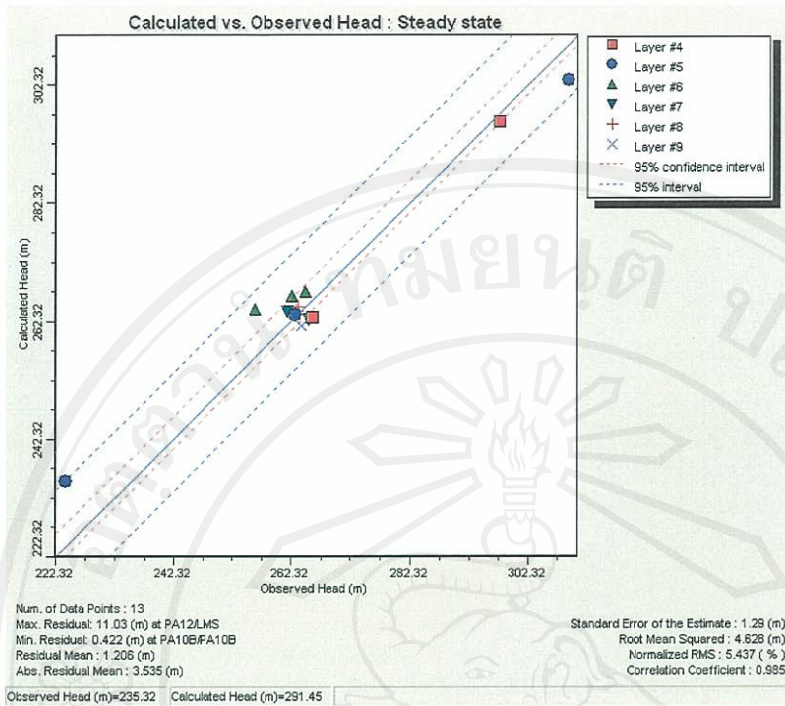
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

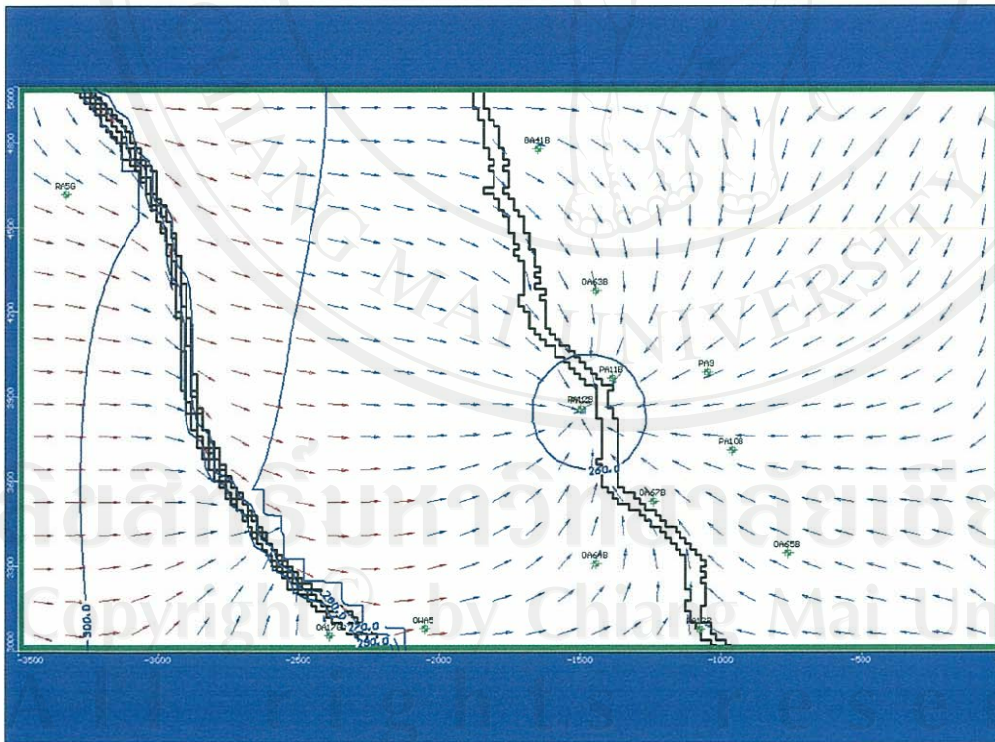
All rights reserved

ตาราง 4.3 ช่วงของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านได้ (Freeze and Cherry, 1979)





รูป 4. 16 กราฟเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลแบบสภาวะคงที่



รูป 4. 17 เส้นทางการไหลของน้ำใต้ดินจากการจำลองการไหลแบบสภาวะคงที่

Zone	Kx [m/s]	Ky [m/s]	Kz [m/s]	Active	Distribution Array
1	2E-8	2E-8	2E-10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	1E-7	1E-7	1E-8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	1.157E-6	1.157E-6	1.157E-7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	9.25E-6	9.25E-6	9.25E-7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	9.25E-6	9.25E-6	9.25E-7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	2E-5	2E-5	2E-6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	2E-10	2E-10	2E-10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	1.7E-7	1.7E-7	1.7E-8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	0.0001	0.0001	1E-5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Hydraulic conductivity in X-direction Value = 2E-8

รูป 4. 18 ค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านของแต่ละหน่วยหินหลังการปรับแก้

4.6.2 การจำลองในสภาวะไม่คงที่ Transient Flow

เมื่อได้ทำการจำลองในสภาวะคงที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการเปลี่ยนการจำลองไปเป็นแบบสภาวะการไหลไม่คงที่ (Transient flow, สภาวะการไหลที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา) เช่นการปล่อยไหลอิสระ โดยจะต้องใช้ค่าตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบทางชลศาสตร์ในที่นี้คือค่า Storage Parameter ในการจำลองการไหลในสภาวะการไหลไม่คงที่ ขั้นตอนการจำลองแบบเดียวกับการจำลองในสภาวะการไหลคงที่ คือ ต้องมีการปรับแก้แบบจำลองเพื่อให้มั่นใจว่าแบบจำลองที่ได้ สามารถนำไปใช้ทำนายผลการลดระดับแรงดันน้ำใต้ดินเปรียบเทียบกับเวลาได้ใกล้เคียงที่สุด

การปรับแก้แบบจำลองสภาวะการไหลไม่คงที่ นั้นจะทำการปรับค่าของ Storage Parameter ได้แก่ สัมประสิทธิ์การให้น้ำ (Specific Yield, Sy) และ สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Specific Storage, Ss) ของแต่ละหน่วยหินในแบบจำลอง ซึ่งการปรับแบบจำลองสภาวะการไหลไม่คงที่นี้ค่อนข้างซับซ้อนและยุ่งยากพอสมควร เนื่องจากค่าตัวแปรหลายๆ ตัวขึ้นกับเวลาในที่นี้ได้กำหนด เส้นไขที่ใช้ในการปรับแก้แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสภาวะการไหลไม่คงที่ ดังนี้

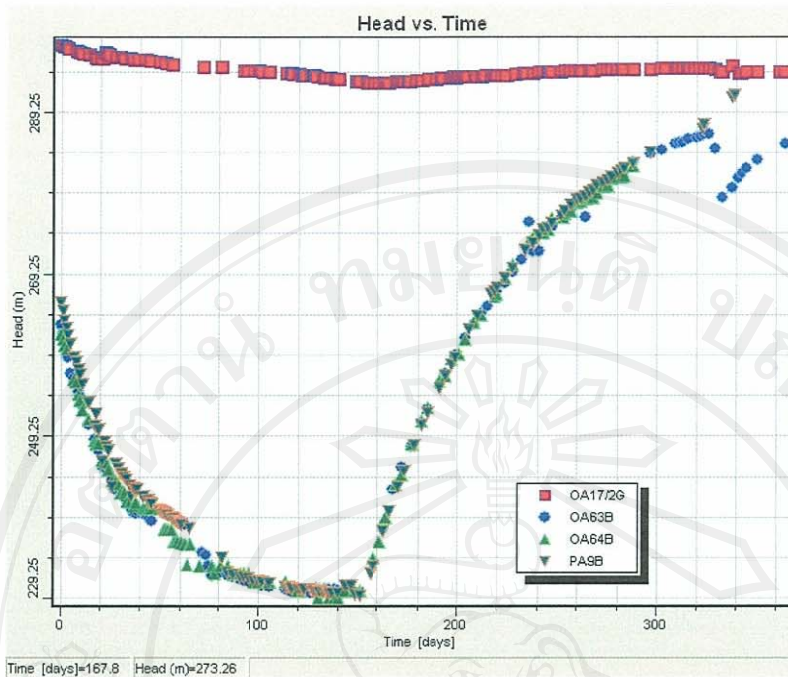
- 1) กำหนดให้ขอบเขตของแบบจำลองเป็นแบบ General Head Boundary ในชั้น หินฐานราก (Basement Limestone, Argillite) และชั้นห้วยคิง
- 2) กำหนดระยะเวลาในการจำลอง 365 วัน ในสภาวะการไหลไม่คงที่
- 3) ให้มีการไหลอิสระที่หลุม PA12B และการคืนตัวของระดับน้ำหลังจากการหยุดปล่อยไหลอิสระจากหลุม PA12B
- 4) กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ค่าสัมประสิทธิ์ในการกักเก็บน้ำ แสดงในรูปที่ 4.19 ในหน่วยหินฐานราก และหน่วยหินห้วยคิง ที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติทางชลศาสตร์ ยกเว้นใน หน่วยหินห้วยหลวง หน่วยหินนาแวม และหน่วยหินควอเทอร์นารี ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ประเมินจากตัวอย่างชั้นดินเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Freeze and Cherry(1979) แสดงในตารางที่ 4.2

Zone	Ss [1/m]	Sy []	Eff. Por. []	Tot. Por. []	Active	Distribution Array
1	0.0093	0.1	0.1	0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	0.0024	0.001	0.1	0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	0.0024	0.2	0.1	0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	0.0093	0.1	0.1	0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	0.0007	0.25	0.25	0.25	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	1E-5	0.1	0.1	0.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	1E-6	0.2	0.2	0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Specific storage Value = 0.0093

Clean Up Advanced >> OK Cancel

รูป 4. 19 ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำ (S_s)และการจ่ายน้ำ (S_y)

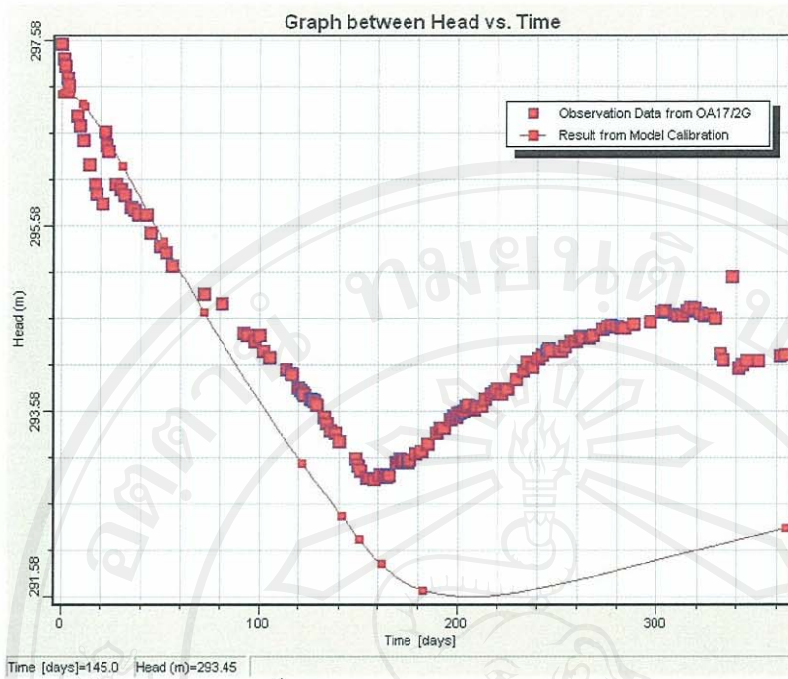


รูป 4. 20 ระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์ในชั้นหินฐานราก

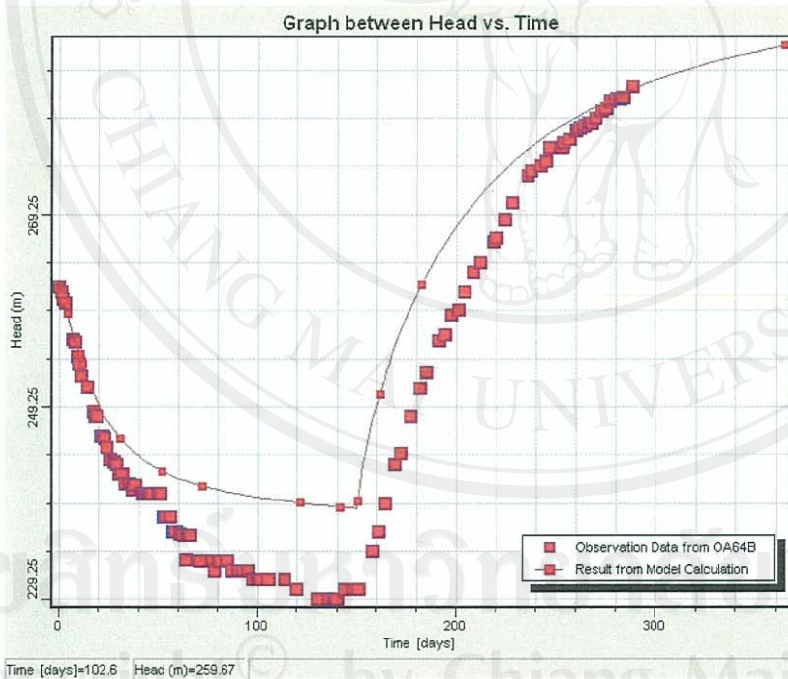
รูป 4.20 เห็นว่าระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์ที่ติดตั้งอยู่ในชั้นหินฐานรากที่เป็นหินปูน มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำลดลงระหว่างที่มีการปล่อยน้ำไหลอิสระที่บ่อ PA12B และมีการคืนตัว หลังจากการหยุดปล่อยไหลอิสระในขณะที่บ่อสังเกตการณ์ที่ติดตั้งอยู่ในชั้นหินฐานรากที่เป็นหิน อาร์จิลไลต์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ผลของการปรับแก้แบบจำลองแสดงไว้ในรูป 4.21 และรูป 4.22

รูปที่ 4.23 แสดงผลการปรับแบบจำลองที่ได้ (Model Calibration) เป็นกราฟ ระหว่างผลของแรงดันน้ำใต้ดินที่คำนวณได้จากแบบจำลอง กับการวัดแรงดันน้ำใต้ดินในบ่อ สังเกตการณ์จากรูปจะเห็นว่า ค่าของแรงดันน้ำในแบบจำลองที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัด ได้ มีค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน (Root mean square error) 10.237%

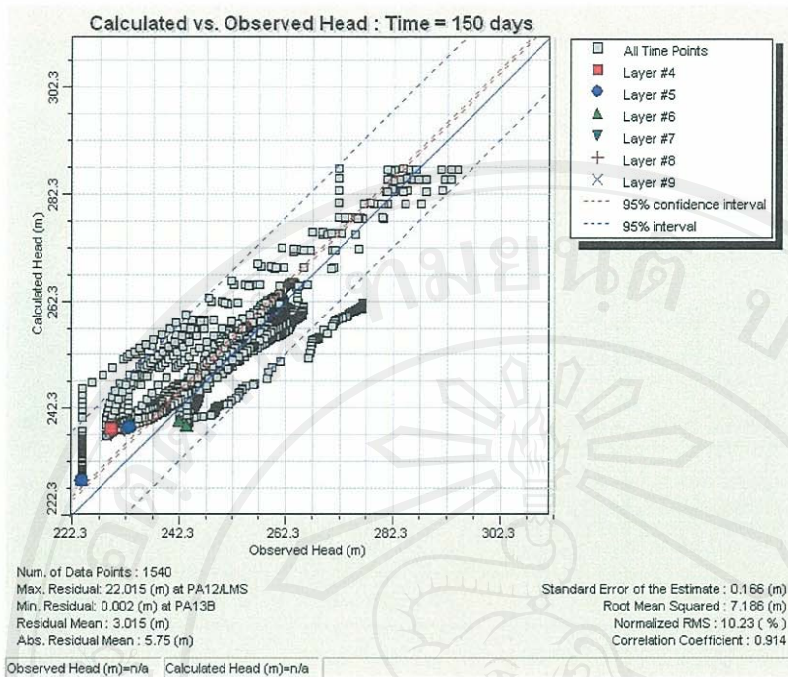
หลังจากแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสถานะการไหลไม่คงที่ที่ได้รับการปรับแก้ แล้ว พบว่าเส้นการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาใกล้เคียงกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ที่ได้สร้างไว้คือ น้ำใต้ดินจะไหลจากขอบทางด้านเหนือ ตะวันตก และตะวันออก เข้าสู่กลางพื้นที่ๆ มีการ ปล่อยน้ำให้ไหลอิสระที่บ่อ PA12B ในบริเวณพื้นที่ศึกษาแล้วไหลออกทางด้านใต้ของพื้นที่ศึกษา



รูป 4. 21 กราฟเปรียบเทียบแรงดันน้ำกับเวลา ของหินอาร์จีไลต์ (OA17/2G)

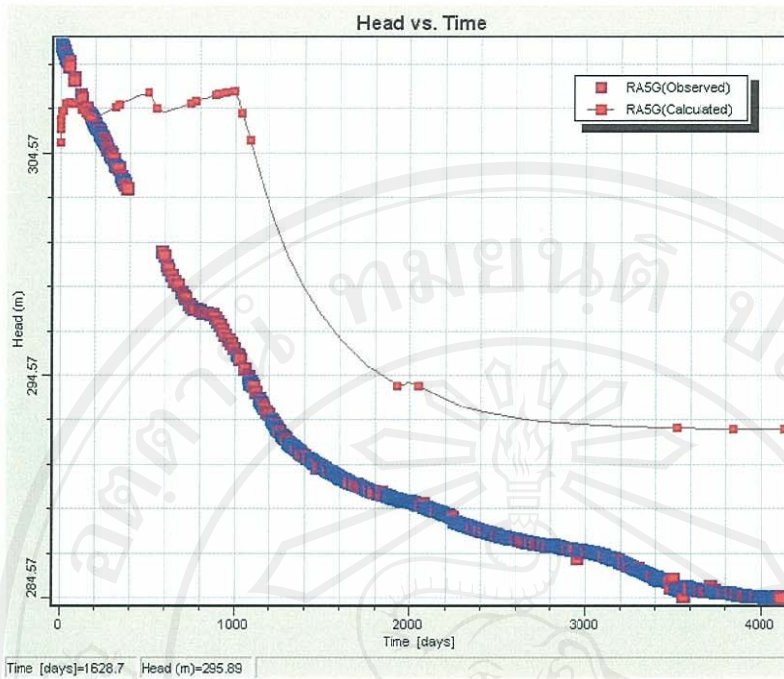


รูป 4. 22 กราฟเปรียบเทียบแรงดันน้ำกับเวลา ของหินหินปูน (OA64B)

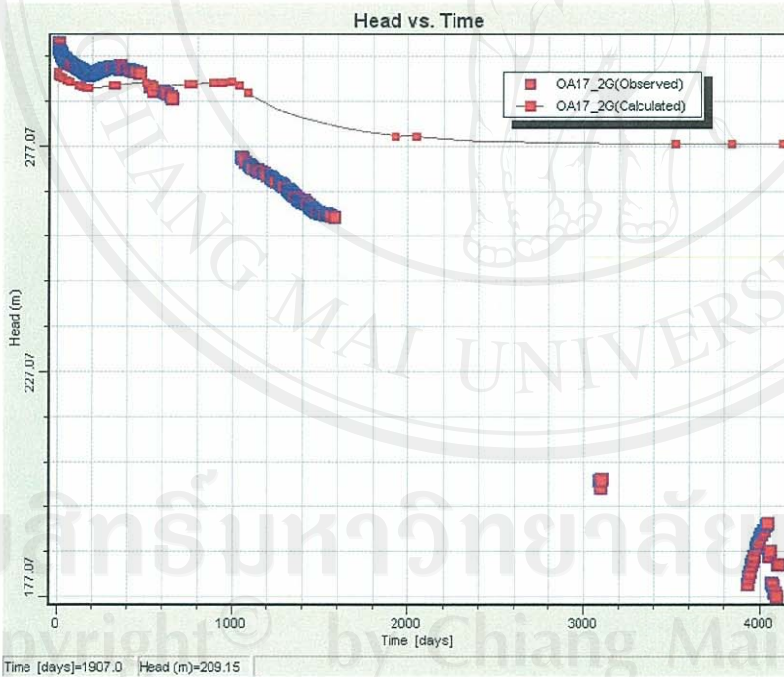


รูป 4. 23 กราฟเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลสภาวะการไหลไม่คงที่

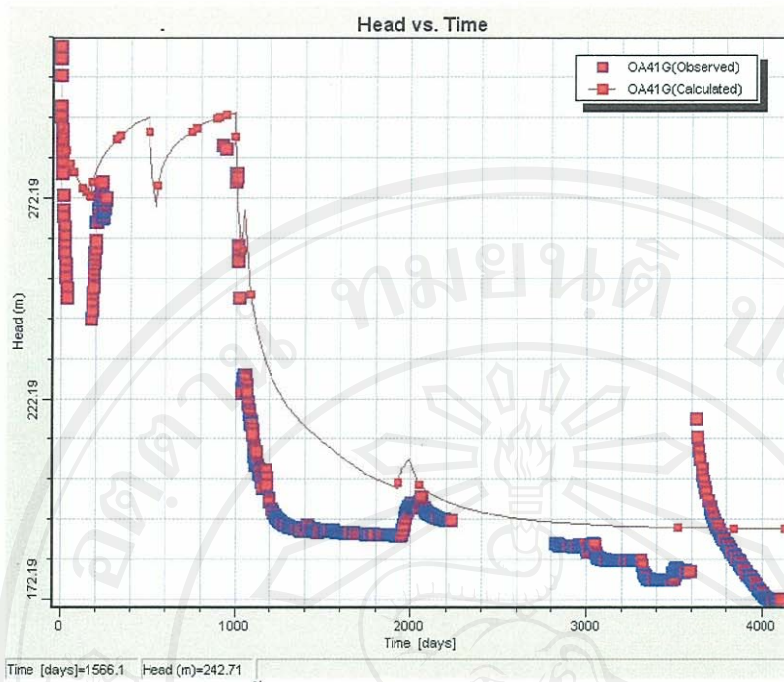
หลังจากได้ทำการปรับแก้แบบจำลองการไหลแบบไม่คงที่เรียบร้อยแล้วได้ ค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน (Root mean square error) 10.24% ดังแสดงในรูปที่ 4.23 ขึ้นต่อไปคือการทำการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเปรียบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดระดับน้ำที่มีอยู่ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกจำนวนข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบจำนวน 4,134 วัน ผลของการจำลองการเปรียบเทียบผลการจำลองกับข้อมูลการตรวจวัดที่ได้มีแนวโน้มและทิศทางไปในทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ถึง 4.33 .พบว่าในชั้นหินอุ้มน้ำรากฐานที่เป็นหินปูนเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้ในสนาม ส่วนหลุมที่ติดตั้งในชั้นหินอุ้มน้ำรากฐานที่เป็นหินอาร์จิลไลต์ การเปลี่ยนแปลงไม่สอดคล้องกับค่าที่ตรวจวัดได้ เนื่องจากตำแหน่งหลุมสังเกตการณ์ดังกล่าวอยู่ใกล้กับขอบของแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อน (Root mean square error) 15.658% แสดงในรูปที่ 4.34



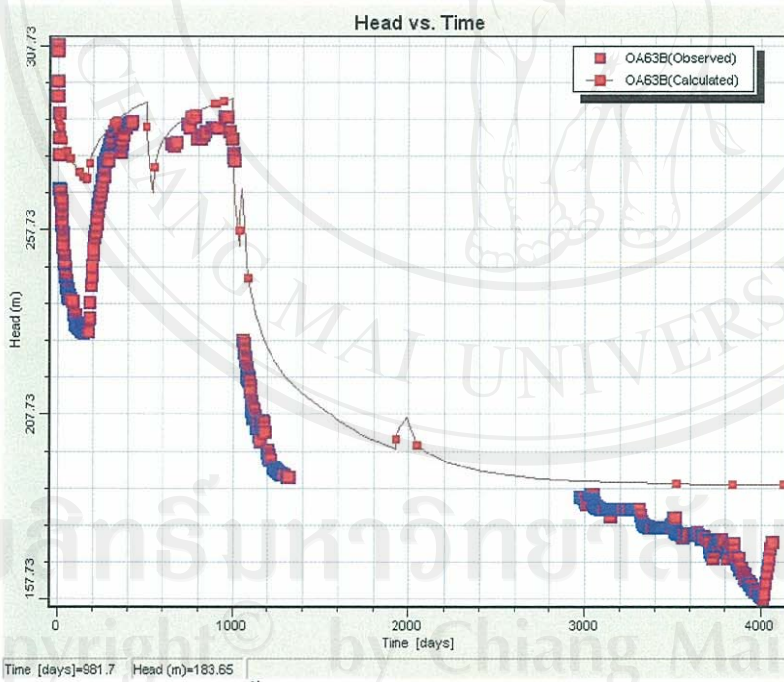
รูป 4. 24 กราฟเปรียบเทียบแรงดันน้ำกับเวลา ของหินอาร์จีไลต์ (RA5G)



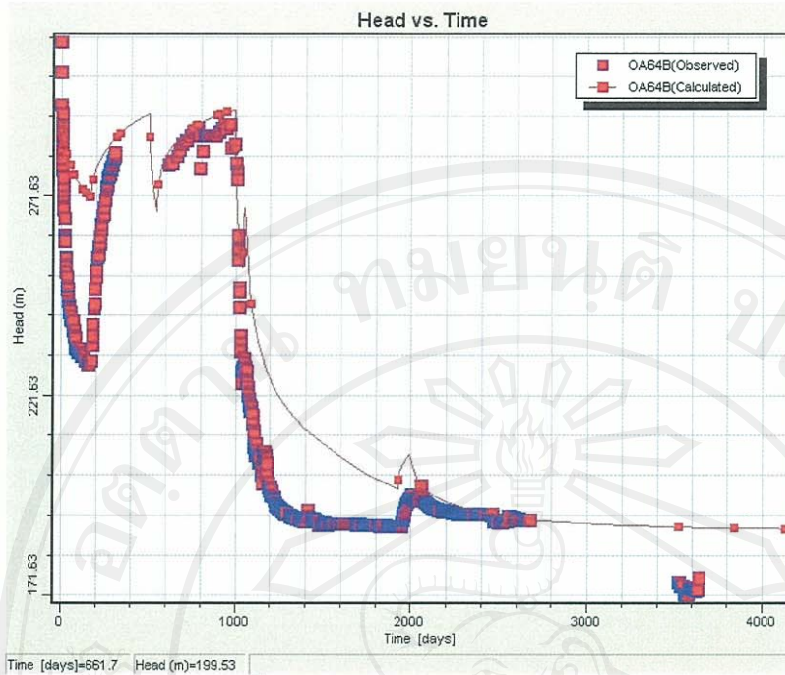
รูป 4. 25 กราฟเปรียบเทียบแรงดันน้ำกับเวลา ของหินอาร์จีไลต์ (OA17/2G)



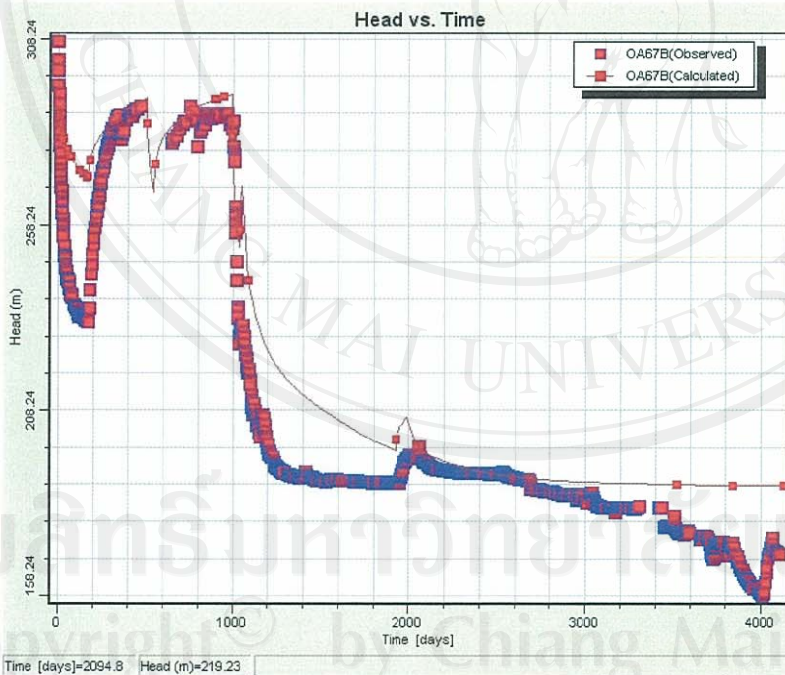
รูป 4. 26 กราฟเปรียบเทียบแรงดันน้ำกับเวลา ของหินปูน (OA41/4G)



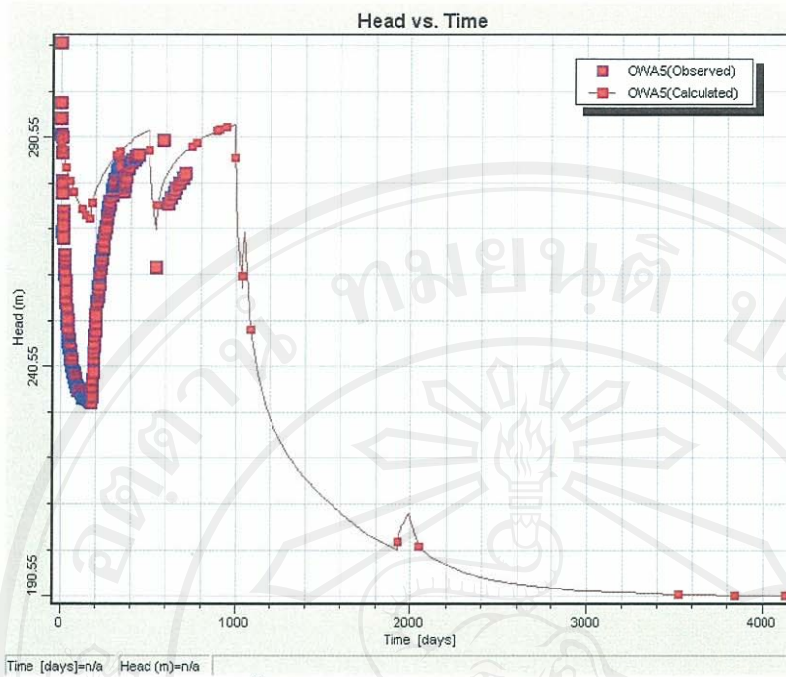
รูป 4. 27 กราฟเปรียบเทียบแรงดันน้ำกับเวลา ของหินปูน (OA63B)



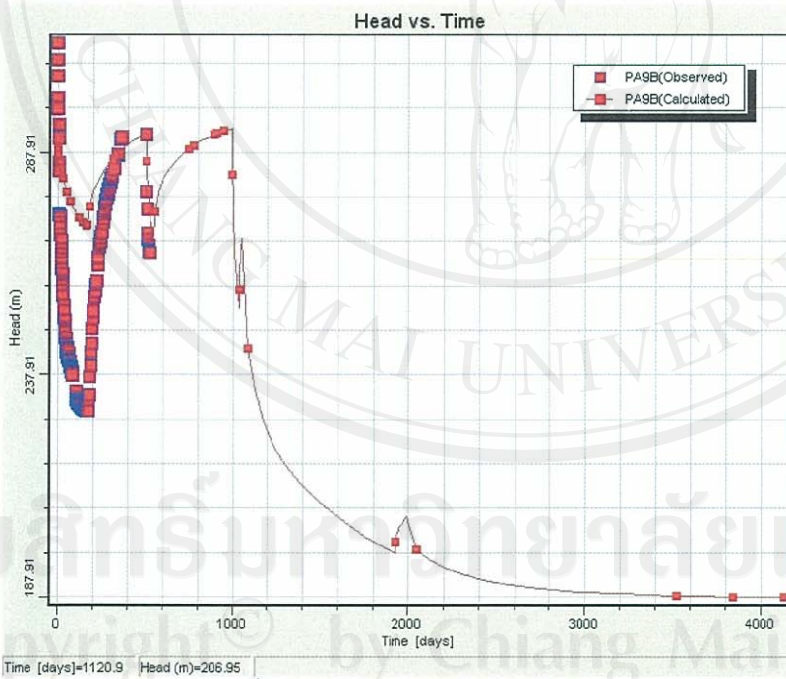
รูป 4. 28 กราฟเปรียบเทียบแรงดันน้ำกับเวลา ของหินปูน (OA64B)



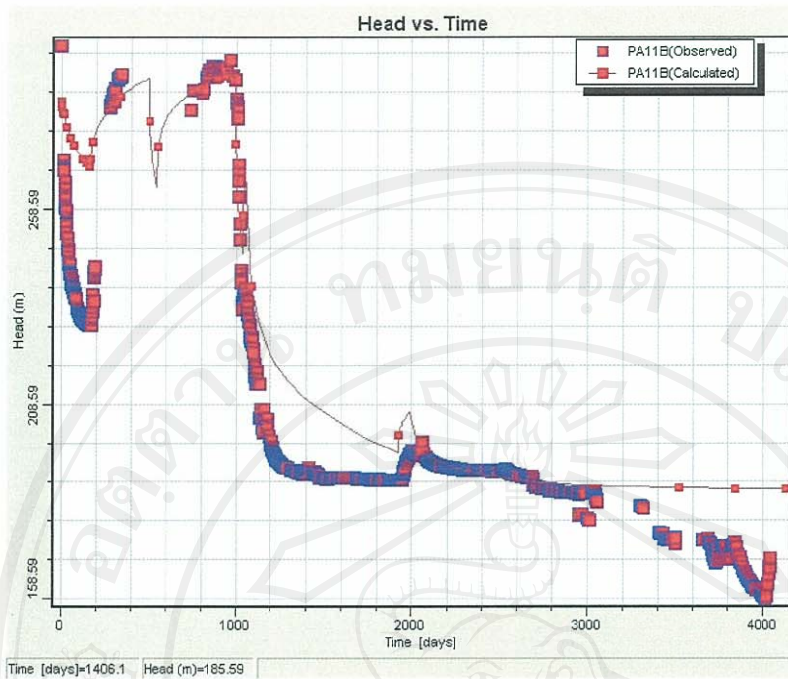
รูป 4. 29 กราฟเปรียบเทียบแรงดันน้ำกับเวลา ของหินปูน (OA67B)



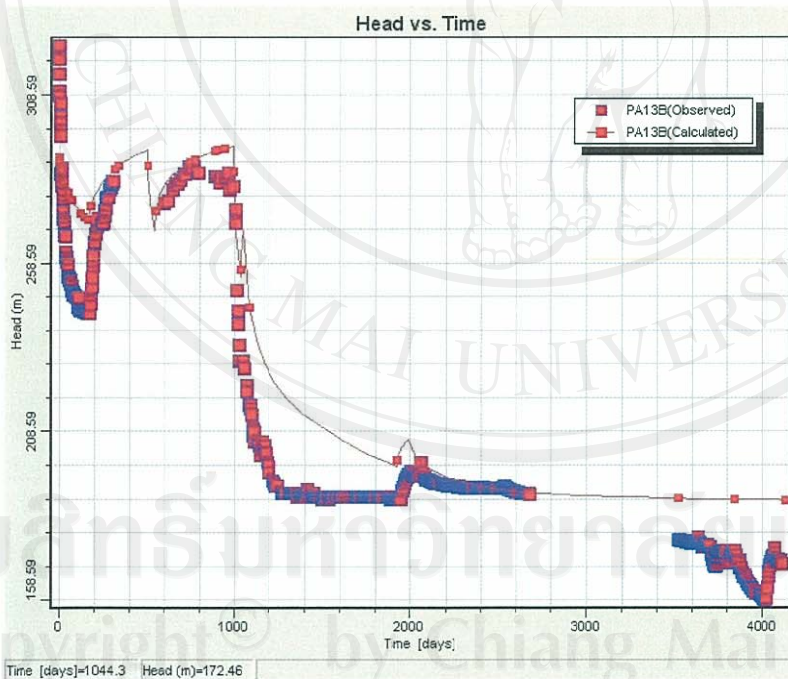
รูป 4. 30 กราฟเปรียบเทียบแรงดันน้ำกับเวลา ของหินปูน (OWA5)



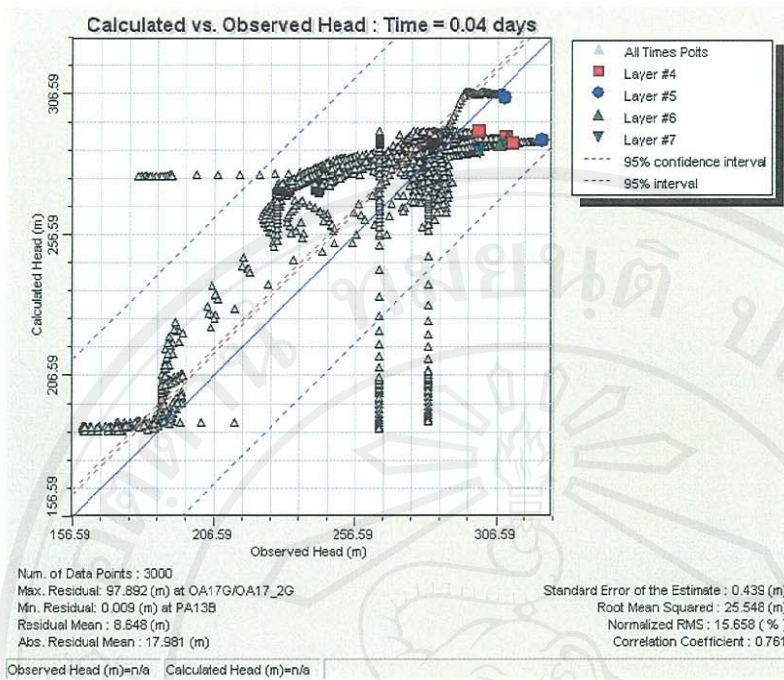
รูป 4. 31 กราฟเปรียบเทียบแรงดันน้ำกับเวลา ของหินปูน (PA9B)



รูป 4. 32 กราฟเปรียบเทียบแรงดันน้ำกับเวลา ของหินปูน (PA11B)



รูป 4. 33 กราฟเปรียบเทียบแรงดันน้ำกับเวลา ของหินปูน (PA13B)



รูป 4. 34 กราฟเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลในสภาวะการไหลไม่คงที่กับข้อมูลที่ตรวจวัดในสนาม 4,134 วัน

4.7 การวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวของแบบจำลอง

จากการวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวของค่าตัวแปรในแบบจำลองด้วยโปรแกรม WinPEST ของ Waterloo Hydrogeologic, Inc. กำหนด Object Function ขึ้นมาเปรียบเทียบผลการจำลองโดยใช้วิธีการคำนวณแบบ Central Derivative ซึ่งในการหาค่าความอ่อนไหวของตัวแปรต่างๆจะมีการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรมีทั้งแบบเพิ่มขึ้น และลดลง เพื่อคำนวณผลการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำที่คำนวณได้เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำของค่าที่ตรวจวัดได้ มาคำนวณเป็นค่าความอ่อนไหวของ ตัวแปร ซึ่งในผลการศึกษาครั้งนี้ได้ผลการวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวของตัวแปรดังนี้

4.7.1 การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Permeability;k)

ในการศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวของตัวแปรในแบบจำลองของ ค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินปูน และหินอาร์จิลไลต์ ซึ่งได้ผล ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าค่าความอ่อนไหวของการยอมให้น้ำซึมผ่านในชั้นหินปูน ตามแนวแกน x มีค่าความอ่อนไหวมากกว่าค่าตามแกน y และ แกน z ซึ่งแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านชั้นหินปูนในแกน x มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ มากกว่าการเปลี่ยนแปลงค่าในแกน y และ z ส่วนในชั้นหินอาร์จิลไลต์นั้น พบว่า ชั้นหินอาร์จิลไลต์ทั้งชั้นบนและชั้นล่างมีค่าความอ่อนไหวของการยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวแกน z มากกว่าในแกน x และแกน y อย่างไรก็ตามค่าความอ่อนไหวของการยอม

ให้น้ำซึมผ่านที่พบในชั้นหินอาร์จิลไลต์ มีค่าน้อยกว่าค่าความอ่อนไหวของการยอมให้น้ำซึมผ่านในชั้นหินปูน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านในชั้นหินปูนในแบบจำลองจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ มากกว่าในหินอาร์จิลไลต์ โดยการเปลี่ยนแปลงค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านชั้นหินปูนในแกน x มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ มากกว่าการเปลี่ยนแปลงค่าในแกน y และ z ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ตาราง 4. 4 เปรียบเทียบค่าความอ่อนไหวของการยอมให้น้ำซึมผ่านในแบบจำลอง

Parameter Name	Aquifer	Permeability (m/sec)	Sensitivity
kx_4	Argillite bottom	5.78E-06	0.0584
ky_4	Argillite bottom	5.78E-06	0.0000
kz_4	Argillite bottom	5.78E-07	0.1380
kx_5	Argillite top	1.57E-06	0.0054
ky_5	Argillite top	1.57E-06	0.0000
kz_5	Argillite top	1.57E-07	0.0303
kx_6	Limestone	5.79E-05	0.3142
ky_6	Limestone	5.79E-05	0.0000
kz_6	Limestone	5.79E-06	0.0091

4.7.2 การกักเก็บน้ำ (Specific Storage, S_s)

การศึกษาความอ่อนไหวของ ค่าการกักเก็บน้ำ นั้นได้ทำการศึกษาทั้งความอ่อนไหวของ ค่าการกักเก็บน้ำ ในหินปูนและหินอาร์จิลไลต์ เช่นกัน ซึ่งจากผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าค่าการกักเก็บน้ำในชั้นหินปูนมีความอ่อนไหวมากกว่า ค่าการกักเก็บน้ำในชั้นหินอาร์จิลไลต์ ชั้นล่างและชั้นหินอาร์จิลไลต์ ชั้นบน ซึ่งแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงค่าการกักเก็บน้ำในชั้นหินปูนเพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ แรงดันน้ำมาก ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงค่าการกักเก็บน้ำในชั้นหินอาร์จิลไลต์ขนาดที่เท่ากันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง แรงดันน้ำน้อยกว่า

ตาราง 4. 5 เปรียบเทียบค่าความอ่อนไหวของการกักเก็บน้ำในแบบจำลอง

Parameter Name	Aquifer	Specific storage (-)	Sensitivity
ss_1	Argillite bottom	9.30E-03	0.0640
ss_4	Argillite top	5.30E-08	0.0209
ss_5	Limestone	7.00E-06	0.2436

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านในชั้นหินปูนตามแนวแกน x กับค่าการกักเก็บน้ำในชั้นหินปูน พบว่าค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านในชั้นหินปูนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในแบบจำลอง มากกว่าการเปลี่ยนแปลงค่าการกักเก็บน้ำ



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved