

แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลบริเวณรอบเหมืองแร่ทองคำทุ่งคำ จังหวัดเลย

นางสาวเฉลิมพร

พลประสิทธิ์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

GROUNDWATER FLOW MODELING AROUND THE TUNGKUM GOLD MINE AREA,
LOEI PROVINCE, THAILAND

MISS CHALOEMPORN

PONPRASIT

A report submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of the Bachelor of Science in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2017

หัวข้อโครงการ

แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลบริเวณรอบเหมืองแร่ทองคำ
ทุ่งคำ จังหวัดเลย

โดย

นางสาวเฉลิมพร พลประสิทธิ์

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ

โชติพันธุ์รัตน์

วันที่ส่ง.....

วันที่อนุมัติ.....

.....

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธุ์รัตน์)

Project Title GROUNDWATER FLOW MODELING AROUND TUNGKUM GOLD
MINE, LOEI PROVINCE, THAILAND

By Miss Chaloepong Ponprasit

Field of Study Geology

Project Advisor Associate Professor Srilert Chotpantarat, Ph.D.

Submitted date.....

Approval date.....

.....

Project Advisor

(Associate Professor Srilert Chotpantarat, Ph.D.)

เฉลิมพร พลประสิทธิ์ : แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลบริเวณรอบเหมืองแร่ทองคำทุ่งคำ จ.เลย (GROUNDWATER FLOW MODELING AROUND THE TUNGKUM GOLD MINE AREA, LOE PROVINCE, THAILAND) อ.ที่ปรึกษาโครงการ: รศ.ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์

เหมืองแร่ทองคำทุ่งคำ ตั้งอยู่ในเขตบ้านนาหนองบง ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี 2549 แต่เมื่อปี 2555 สันเขื่อนของบ่อกักเก็บกากไซยาไนด์เกิดการทรุดตัวและพังลง จากเหตุการณ์ข้างต้น คุณภาพแหล่งน้ำผิวดินมีโอกาสถูกปนเปื้อนและไม่เหมาะที่นำมาใช้เพื่อการอุปโภค-บริโภค ดังนั้นแหล่งน้ำบาดาลจึงมีความสำคัญมากขึ้นในอนาคต โดยงานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการไหลของน้ำบาดาลและประเมินการใช้น้ำบาดาลในปัจจุบันเพื่อคาดคะเนอัตราการสูบน้ำที่เหมาะสมในอนาคตโดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณกักเก็บของแหล่งน้ำบาดาล (Safe yield) โดยใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ใน Visual MODFLOW เพื่ออธิบายทิศทางการไหลและสมดุลน้ำบาดาลบริเวณรอบเหมืองทองคำทุ่งคำ ข้อมูลต่างๆที่นำเข้าไปในแบบจำลองนำมาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล, สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นต้น ในปี 2539 และ ปี 2555 ภายหลังจากการปรับเทียบแบบจำลองทั้งในสถานะคงที่และสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลา พบว่า ค่า RMS ของแบบจำลอง อยู่ในช่วง 2.00 ถึง 7.13 เมตร, ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในแนวราบอยู่ในช่วง 0.518400 ถึง 0.00001 เมตรต่อวัน, ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 1E-5 ซึ่งสัมพันธ์กับการศึกษาก่อนหน้านี้และทิศทางการไหลของน้ำบาดาลไหลจากทิศตะวันตกลงสู่ทิศตะวันออกเป็นหลัก และชั้นให้น้ำที่มีอัตราการไหลออกของน้ำบาดาลมากที่สุด คือ ชั้นให้น้ำชั้นที่ 1 (Zone 1) ด้วยอัตรา 220.75 ลบ.ม.ต่อวัน

ภาควิชา..... ธรณีวิทยา ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา..... ธรณีวิทยา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาโครงการ.....

ปีการศึกษา.....2560.....

5732711923 : MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS: GROUNDWATER FLOW, NUMERICAL MODEL

CHALOEMPORN PONPRASIT: GROUNDWATER FLOW MODELING AROUND THE TUNGKUM GOLD MINE AREA, LOE PROVINCE, THAILAND. Advisor: Assoc. Prof. Srilert Chotpantararat, Ph.D.

The Tungkum gold mine area is located in the village of Ban Na Nong Bong, Khao Luang Sub-district, Wang Saphung District of Loei Province, Thailand. The mining site started the operation in 2006, but the wall of tailing pond collapsed in 2012 causes the contamination of surface water. Since groundwater resource in this area appears to be l be vital important due to water shortage, particularly in summer season. The objective of this study mainly focused on groundwater flow and estimate water balance of the groundwater system. A numerical model, so-called Visual MODFLOW, is the effective tool to explain groundwater flow direction and water budget around this study area. The input data were mainly derived from previous observed data by many government agencies in 1996 and 2012. The groundwater flow modeling was calibrated in both the steady and transient states with RMS ranging between 2.00 - 7.13 m. According to the calibration and verification results, The horizontal hydraulic conductivity (K) was in the range of $1 \text{ E-}5$ to 0.518 m/day and the specific storage (Ss) was in the range of 0.05 to $1 \text{ E-}5$. The groundwater flow direction is mainly oriented in the western to eastern direction. Finally, Zone 1 appeared to be the most losing water zone at the rate of approx. $220.75 \text{ m}^3/\text{day}$

Department:.....Geology.....Student's Signature.....

Field of Study:Geology.....Advisor's Signature.....

Academic Year:.....2017.....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้คำแนะนำ ความรู้ กำลังใจ ตลอดจนคำปรึกษาให้ในทุกเรื่องตลอดระยะเวลาดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณกรมทรัพยากรน้ำบาดาลที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆในการทำแบบจำลอง

ขอขอบพระคุณภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์และข้อมูลต่างๆในการทำแบบจำลอง

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์และข้อมูลต่างๆในการทำแบบจำลอง

ขอขอบคุณนายวรวิชัย เนื้อไม้และนายณัฐพัชร คารวะ ที่ให้คำปรึกษาทางด้านโปรแกรม

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ธรณีวิทยารุ่น 58 พี่ๆน้องๆชมรมธรณีสัมพันธ์ที่เป็นกำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจตลอดการจัดทำงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 สมมติฐาน	8
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับชลศาสตร์การไหลและสมบัติทางกายภาพของชั้นน้ำ	10
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับโปรแกรม Visual Modflow 2010	19
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 ระเบียบงานวิจัย	
3.1 ระเบียบงานวิจัย	26
บทที่ 4 ผลการศึกษา	
4.1 การจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	29
4.2 จัดทำแบบจำลองเชิงมโนทัศน์	37
4.3 ผลการประมวลผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะคงที่	38
4.4 ผลการประมวลผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา	47
4.5 การวิเคราะห์ทิศทางการไหลผ่านบริเวณบ่อกักเก็บกากแร่ (Tailing ponds)	50
4.6 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางชลศาสตร์ต่างๆ	51
4.7 การวิเคราะห์สมมูลน้ำของแบบจำลอง	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	59

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง

ตารางที่ 2.1	ค่าความพรุน (Porosity) และค่าสัมประสิทธิ์สภาพในการจ่ายน้ำ(Specific yield)	11
ตารางที่ 2.2	ค่าสภาพการนำชลศาสตร์ใน Unconsolidated Sedimentary Materials	13
ตารางที่ 2.3	ค่าสภาพการนำชลศาสตร์ Sedimentary Rocks	13
ตารางที่ 2.4	ค่าสภาพการนำชลศาสตร์ Crystalline Rocks	14
ตารางที่ 2.5	ค่าประสิทธิภาพการจ่ายน้ำของ Heath, 1983	15
ตารางที่ 2.6	ค่าประสิทธิภาพการจ่ายน้ำในวัสดุต่างๆของ Morris and Johnson, 1967	16
ตารางที่ 2.7	ค่าการกักเก็บจำเพาะในวัสดุต่างๆของ Domenico and Miffilin, 1965	16
ตารางที่ 3.1	แสดงรายละเอียดข้อมูลที่นำเข้าแบบจำลอง	27
ตารางที่ 4.1	แสดงข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ ปี 2539	33
ตารางที่ 4.2	แสดงข้อมูลบ่อสังเกตการณ์เดือนกุมภาพันธ์ ปี 2555	33
ตารางที่ 4.3	แสดงข้อมูลบ่อสังเกตการณ์เดือนพฤษภาคม ปี 2555	34
ตารางที่ 4.4	แสดงข้อมูลบ่อสูบ	34
ตารางที่ 4.5	แสดงค่าสภาพการนำชลศาสตร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบ	52
ตารางที่ 4.6	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจากการเปรียบเทียบ	53
ตารางที่ 4.7	แสดงสมมูลน้ำในโซนที่ 1	54
ตารางที่ 4.8	แสดงสมมูลน้ำในโซนที่ 2	54
ตารางที่ 4.9	แสดงสมมูลน้ำในโซนที่ 3	54
ตารางที่ 5.1	แสดงค่าสภาพการนำชลศาสตร์	58

สารบัญรูปรูปภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงขอบเขตบริเวณพื้นที่ศึกษา	2
รูปที่ 1.2 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณรอบเหมืองทองคำทุ่งคำ	6
รูปที่ 1.3 แผนที่อุทกธรณีวิทยาบริเวณรอบเหมืองทองคำทุ่งคำ	9
รูปที่ 2.1 แสดงระดับน้ำและทิศทางการไหล กรณีที่ 1 มีการใช้น้ำเพิ่มขึ้นปีละ 5%ในช่วงเวลา 20 ปี (พ.ศ.2550-2569)	23
รูปที่ 2.2 แสดง Contour Lines หรือแรงดันน้ำและเส้นทางการไหลหลังจากปรับแบบจำลอง	24
รูปที่ 2.3 แสดงสมมูลน้ำบาดาลในรอบ 1 ปี (2553)	25
รูปที่ 3.1 แสดงผังงานของโครงการ	28
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะขอบเขตของบริเวณพื้นที่ศึกษา	29
รูปที่ 4.2 แสดงค่าความสูงต่ำของภูมิประเทศในแบบจำลอง Visual MODFLOW	30
รูปที่ 4.3 แสดงค่าการนำชลศาสตร์ของหินในแต่ละชั้น	31
รูปที่ 4.4 แสดงสัมประสิทธิ์การกักเก็บของหินในแต่ละชั้น	32
รูปที่ 4.5 แสดงบ่อสังเกตการณ์และบ่อสูบ ปี 2539	35
รูปที่ 4.6 แสดงบ่อสังเกตการณ์และบ่อสูบ ปี 2555	35
รูปที่ 4.7 แสดงการเติมน้ำในปี 2539	36
รูปที่ 4.8 แสดงการเติมน้ำในปี 2555	36
รูปที่ 4.9 แสดงทางระบายน้ำในพื้นที่ศึกษา	37
รูปที่ 4.10 แสดงแบบจำลองเชิงมโนทัศน์	37
รูปที่ 4.11 แสดงกราฟผลการจำลองสภาวะคงที่ก่อนการปรับเทียบ ปี 2539	39
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟผลการจำลองสภาวะคงที่หลังการปรับเทียบ ปี 2539	39
รูปที่ 4.13 แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ศึกษาจากผลการจำลองสภาวะคงที่เดือนมีนาคม ปี 2539	40
รูปที่ 4.14 แสดงกราฟผลการจำลองสภาวะคงที่ก่อนการปรับเทียบ เดือนกุมภาพันธ์ ปี 2555	42
รูปที่ 4.15 แสดงกราฟผลการจำลองสภาวะคงที่หลังการปรับเทียบ เดือนกุมภาพันธ์ ปี 2555	42

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.16 แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ศึกษาจากผลการจำลองสถานะคงที่เดือนกุมภาพันธ์ ปี 2555	43
รูปที่ 4.17 แสดงกราฟผลการจำลองสถานะคงที่ก่อนการปรับเทียบ เดือนพฤษภาคม ปี 2555	45
รูปที่ 4.18 แสดงกราฟผลการจำลองสถานะคงที่หลังการปรับเทียบ เดือนพฤษภาคม ปี 2555	45
รูปที่ 4.19 แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ศึกษาจากผลการจำลองสถานะคงที่เดือนพฤษภาคม ปี 2555	46
รูปที่ 4.20 แสดงกราฟผลการจำลองสถานะคงที่ก่อนการปรับเทียบ เวลา 0 วัน ปี 2555	48
รูปที่ 4.21 แสดงกราฟผลการจำลองสถานะคงที่หลังการปรับเทียบ เวลา 90 วัน ปี 2555	48
รูปที่ 4.22 แสดงกราฟผลการจำลองสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลาหลังการปรับเทียบ เวลา 0-90 วัน ปี 2555	49
รูปที่ 4.23 แสดงทิศทางการไหลในสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เวลาต่างๆ	50
รูปที่ 4.24 แสดงทิศทางการไหลบริเวณรอบบ่อกักเก็บกากแร่	51
รูปที่ 4.25 แสดงสมดุลน้ำในโซนที่ 1	55
รูปที่ 4.26 แสดงสมดุลน้ำในโซนที่ 2	55
รูปที่ 4.27 แสดงสมดุลน้ำในโซนที่ 3	56
รูปที่ 5.1 แสดงค่านำชลศาสตร์ของหินในแต่ละชั้น	57

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ

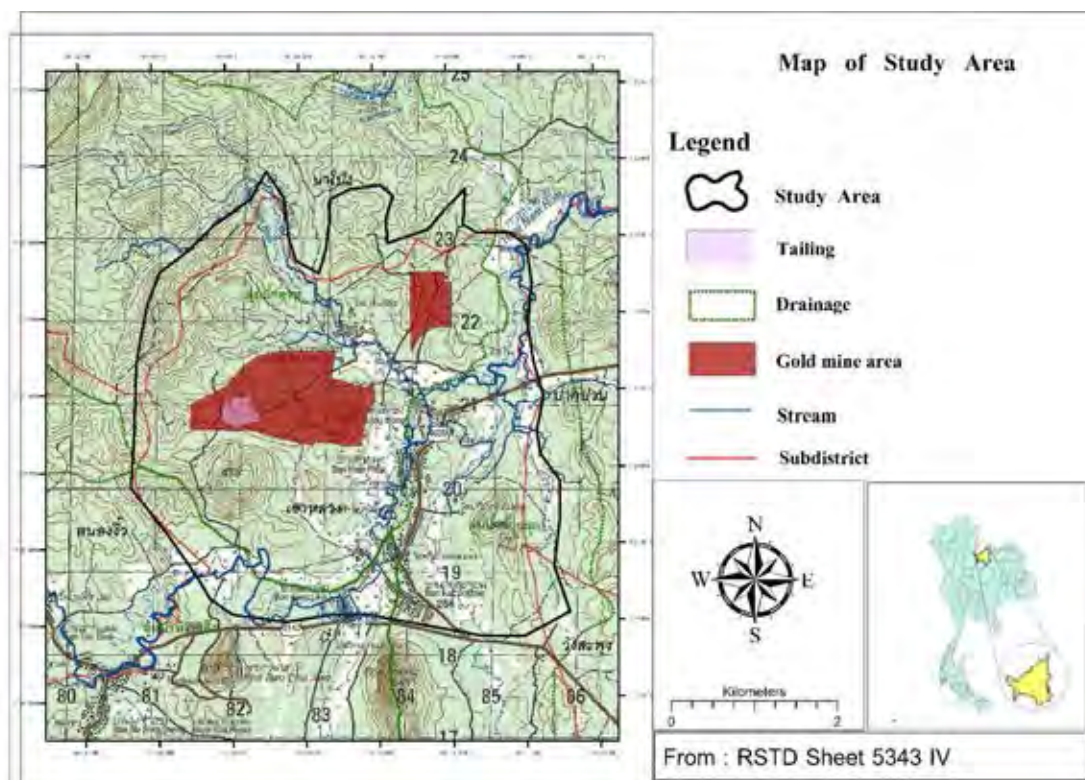
เหมืองแร่ทองคำทุ่งคำ ตั้งอยู่ในเขตบ้านนาหนองบง ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2539) เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี 2549 ซึ่งครอบคลุมหมู่บ้าน 6 หมู่บ้าน คือ ห้วยผุก กกสะท้อน นาหนองบง แก่งหิน โนนผาพุงพัฒนาและภูทับฟ้าพัฒนา ชาวบ้านในบริเวณนั้นมีความจำเป็นต้องใช้น้ำผิวดินและน้ำบาดาลเพื่อการอุปโภค-บริโภค เมื่อเดือนตุลาคม ปี 2555 สันเขื่อนของบ่อกักเก็บกากไฮยาไนด์ของบริษัททุ่งคำ จำกัด เกิดการทรุดตัวและพังลง ทำให้สารพิษในบ่อกักเก็บกากไฮลปนไปกับแหล่งน้ำ (<http://oknation.nationtv.tv/blog/pasalarksee/2014/05/19/entry-2>) จากเหตุการณ์ข้างต้น คุณภาพแหล่งน้ำผิวดินมีความโอกาสถูกปนเปื้อนและไม่เหมาะที่นำมาใช้เพื่อการอุปโภค-บริโภค ดังนั้นแหล่งน้ำบาดาลจึงมีความสำคัญมากขึ้นในอนาคต งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบการไหลของน้ำบาดาลและประเมินสมมูลน้ำรอบพื้นที่เหมืองทองคำทุ่งคำและพื้นที่ใกล้เคียง (อรุณ ลูกจันทร์ และคณะ, 2551) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Visual MODFLOW เพื่อคาดคะเนปริมาณการสูบน้ำที่เหมาะสมในอนาคตโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมมูลน้ำในพื้นที่ (Safe yield) และไม่เสี่ยงต่อการเพิ่มปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักลงไป ในชั้นน้ำบาดาล ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการสร้างแบบจำลองมโนทัศน์ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ปรับเทียบและสอบทานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงในภาคสนามมากที่สุดเพื่อให้สอดคล้องกับระดับน้ำบาดาลที่เปลี่ยนแปลงไปในเชิงฤดูกาล (Saba et al., 2016) ซึ่งแบบจำลองที่ได้จะแสดงค่าที่เหมาะสมที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อประเมินทิศทางการไหลของน้ำบาดาลและสมมูลน้ำในพื้นที่รอบข้าง (Yang et al., 2011) ซึ่งในการศึกษายังได้ประยุกต์ใช้โมดูล (Modules) ที่ชื่อว่า Zone budget ในแบบจำลองสมมูลน้ำบาดาลในเชิงพื้นที่ เพื่อช่วยใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลอย่างเหมาะสมในอนาคตได้อีกด้วย (Koch et al., 2012)

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการไหลของน้ำบาดาลและประเมินการใช้น้ำบาดาลในปัจจุบันเพื่อคาดคะเนอัตราการสูบน้ำที่เหมาะสมในอนาคตโดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณกักเก็บของแหล่งน้ำบาดาล (Safe yield)

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตพื้นที่โครงการศึกษาในครั้งนี้ได้แก่ พื้นที่แหล่งแร่ทองคำทุ่งคำ ต.เขาหลวง อ.วังสะพุง จ.เลย ครอบคลุมพื้นที่กิจกรรมเหมืองและส่วนหนึ่งของพื้นที่ลุ่มน้ำฮวย ลุ่มน้ำห้วยผุก และลุ่มน้ำห้วยเหล็ก รวมประมาณ 22.48 ตารางกิโลเมตร



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงขอบเขตบริเวณพื้นที่ศึกษา

1.3.1 สภาพภูมิประเทศ

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในเขตบ้านนาหนองบง ตำบลเขาหลวง อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 33.76 ตร.กม. สภาพภูมิประเทศทั่วไปเป็นภูเขาเตี้ยๆ ได้แก่ ภูเหล็ก ภูซำป่าควา และภูทับฟ้า สลับกับที่ราบ มีความสูงของพื้นที่ระหว่าง 260-420 เมตรจากระดับน้ำทะเล ลักษณะการระบายน้ำเป็นทางน้ำรูปกิ่งไม้ ทางน้ำส่วนใหญ่มีน้ำไหลเฉพาะช่วงฤดูฝน โดยมีทิศทางการไหลลงสู่ห้วยน้ำฮวยซึ่งปรากฏอยู่บริเวณทิศตะวันออกของโครงการ ซึ่งพื้นที่โครงการประกอบไปด้วยพื้นที่ที่เป็นภูเขาและพื้นที่แบบลูกคลื่นสลับพื้นที่ราบแคบๆ สองข้างทางน้ำที่ตัดผ่านพื้นที่ แนวของทางน้ำที่ตัดผ่านพื้นที่ส่วนใหญ่จะอยู่ในแนวตะวันตก-ตะวันออกและตะวันออกเฉียงเหนือตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นไปตามความลาดเอียงของพื้นที่

1.3.2 ลักษณะทางธรณีวิทยา

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลรายละเอียดทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา (ธงชัย รมณี, 2543; วิชาญ มุงคุณ, 2551) สามารถแบ่งชนิดของหินที่พบในพื้นที่ได้ ดังนี้

1.3.2.1 หินตะกอน (Sedimentary Rocks)

หินตะกอนชุดนี้มีการวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และมีมุมเท ประมาณ 36 -90 องศา ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ หินตะกอนที่พบในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ หินทราย หินทรายแป้ง หินดินดาน และหินปูน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

หินทราย (sandstone) มีลักษณะสีเทาขาวไปจนถึงสีเทาเข้ม ขนาดเม็ดละเอียดไปจนถึงหยาบปานกลาง มีแร่ประกอบหินที่สำคัญ คือ ควอตซ์ และในบางพื้นที่หินทรายจะเปลี่ยนส่วนประกอบเป็นหินทรายอาร์คอส (arkosic sandstone) โดยพบแร่เฟลด์สปาร์ และมัสโคไวต์เกิดรวมอยู่กับแร่ควอตซ์ หินทรายแป้ง (siltstone) และหินดินดาน (shale) ที่พบส่วนใหญ่มีสีเทาไปจนถึงสีเทาเข้มเกิดเป็นชั้นที่ไม่หนานัก

หินปูน (limestone) ที่พบมีสีเทาขาวจนถึงสีเทาโดยเกิดเป็นเลนส์หรือชั้นบางๆ แทรกอยู่ในหินตะกอนชนิดอื่นที่กล่าวมาข้างต้น โดยส่วนใหญ่พบว่าหินปูนเหล่านี้เกิดการตกผลึกใหม่(recrystallization) จากการที่มีลำหินอัคนี (stocks) ดันขึ้นมาบางแห่ง เป็นผลให้ขนาดของเม็ดแร่แคลไซต์หยาบขึ้น นอกจากนี้ในพื้นที่ศึกษายังพบเกิดการแทรกดันของแกรโนไดออไรต์เนื้อดอกเข้ามาในหินตะกอน ทำให้หินเดิมบางส่วนแปรสภาพเป็นหินแปร (metamorphic rocks)

1.3.2.2 หินอัคนี (Igneous Rocks)

หินอัคนีที่พบในพื้นที่เป็นชนิดแกรโนไดออไรต์ (granodiorite) มีอายุยุคเพอร์โม-ไทรแอสซิก (Permo-Triassic) (อดุลย์ เจริญประวัติ และคณะ, 2519) ซึ่งผ่านการฟุ้งจนปรากฏเป็นลักษณะภูมิประเทศแบบเนินเขาเตี้ยคล้ายลูกคลื่น หินชนิดนี้มีสีเทาเขียวไปจนถึงสีเทา ขนาดเม็ดหยาบ ปานกลาง และมีแร่ประกอบหินที่สำคัญคือ ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ ฮอร์นเบลนด์ และในบางครั้ง ยังพบไปโอไทต์ หินแกรโนไดออไรต์เหล่านี้ได้แทรกดันเข้ามาในชั้นหินตะกอนโดยเกิดเป็นลำหินอัคนี (stocks) นอกจากนี้ยังพบหินอัคนีแทรกซอนเนื้อดอก (porphyritic dikes/sills) ขนาดเล็ก แทรกอยู่ในชั้นหินตะกอน หินอัคนีที่พบ มีสีเทาเขียวถึงม่วงปนเขียว มักแสดงลักษณะเนื้อดอก (porphyritic texture) โดยสังเกตได้จากผลึกดอก (phenocryst) ซึ่งประกอบด้วยแร่พลาจิโอเคลส (plagioclase) และฮอร์นเบลนด์ (hornblende) นอกจากนี้ ยังพบหินภูเขาไฟยุคเพอร์โม-ไทรแอสซิก (Permo-Triassic) ได้แก่ หินไรโอไลต์ (rhyolite) หินแอนดิไซด์ (andesite) หินเถ้าภูเขาไฟ (tuff) และหินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ (agglomerate) อยู่ในบริเวณพื้นที่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยวางตัวอยู่

ด้านบนหินตะกอนยุคเพอร์เมียนและถูกปิดทับแบบไม่ต่อเนื่อง (unconformity) ด้วยหมวดหินภูกระดึง (PhuKradung Formation) ของกลุ่มหินโคราช (Khorat Group) หินภูเขาไฟเหล่านี้บางส่วนจะถูกปิดทับด้วยชั้นตะกอนยุคควอเทอร์นารี โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามพื้นที่ราบและที่ราบระหว่างหุบเขา (อดุลย์ เจริญประวัติ และคณะ, 2519; ธงชัย รถมณี, 2543; วิชาญ มุงคุณ, 2551)

1.3.2.3 หินแปร (Metamorphic Rocks)

พบหินแปรเกิดในบริเวณที่หินแกรนิตอโรไรต์สัมผัสอยู่กับหินตะกอน (contact zones) เป็นหินแปรชนิดสการ์น (skarn) มีสีเขียวและน้ำตาล ขนาดเม็ดละเอียดถึงหยาบหนัก และเนื้อแน่น ประกอบด้วยแร่การ์เนต (garnet) และไพรอกซีน (pyroxene) เป็นหลัก บางครั้งแสดงรูปผลึกสมบูรณ์ (euhedral crystal) นอกจากนี้ยังพบหินฮอร์นเฟลส์ (hornfels) ในบริเวณที่มีหินอัคนีแทรกดัน

1.3.2.4 หินกอสแซน(Gossan)

หินกอสแซน ประกอบด้วยแร่ออกไซด์ชนิดลิโมนิต (limonite) ฮีมาไทต์ (hematite) และมีแร่ แมกนีไทต์ (magnetite) ปะปนอยู่เล็กน้อย โดยทั่วไปมีสีน้ำตาลปนเหลือง เหลือง น้ำตาลปนแดงไปจนถึงน้ำตาลดำ เนื้อหินมีลักษณะเนื้อพรุนไปจนถึงเนื้อแน่นละเอียด และพบเศษหินชนิดอื่น (rock fragment) อยู่ในเนื้อหินกอสแซนด้วย หินกอสแซนนี้เกิดจากกระบวนการผุพังทางเคมี (chemical weathering) ของแร่ชนิดซิลิเกตซึ่งเกิดแบบฝังประ (disseminate) และเป็นสายแร่เล็กๆ (vein) ไปจนถึงมวลเนื้อแน่น (massive) อยู่ในหินเดิม (ธงชัย รถมณี, 2543)

ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญในพื้นที่ ได้แก่ รอยชั้นไม่ต่อเนื่อง ชั้นหินคดโค้ง รอยแตก และรอยเลื่อน (วิชาญ มุงคุณ, 2551) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

รอยชั้นไม่ต่อเนื่อง (unconformity) ได้แก่ รอยชั้นไม่ต่อเนื่องระหว่างหมวดหินพาเตียยุคเพอร์เมียน

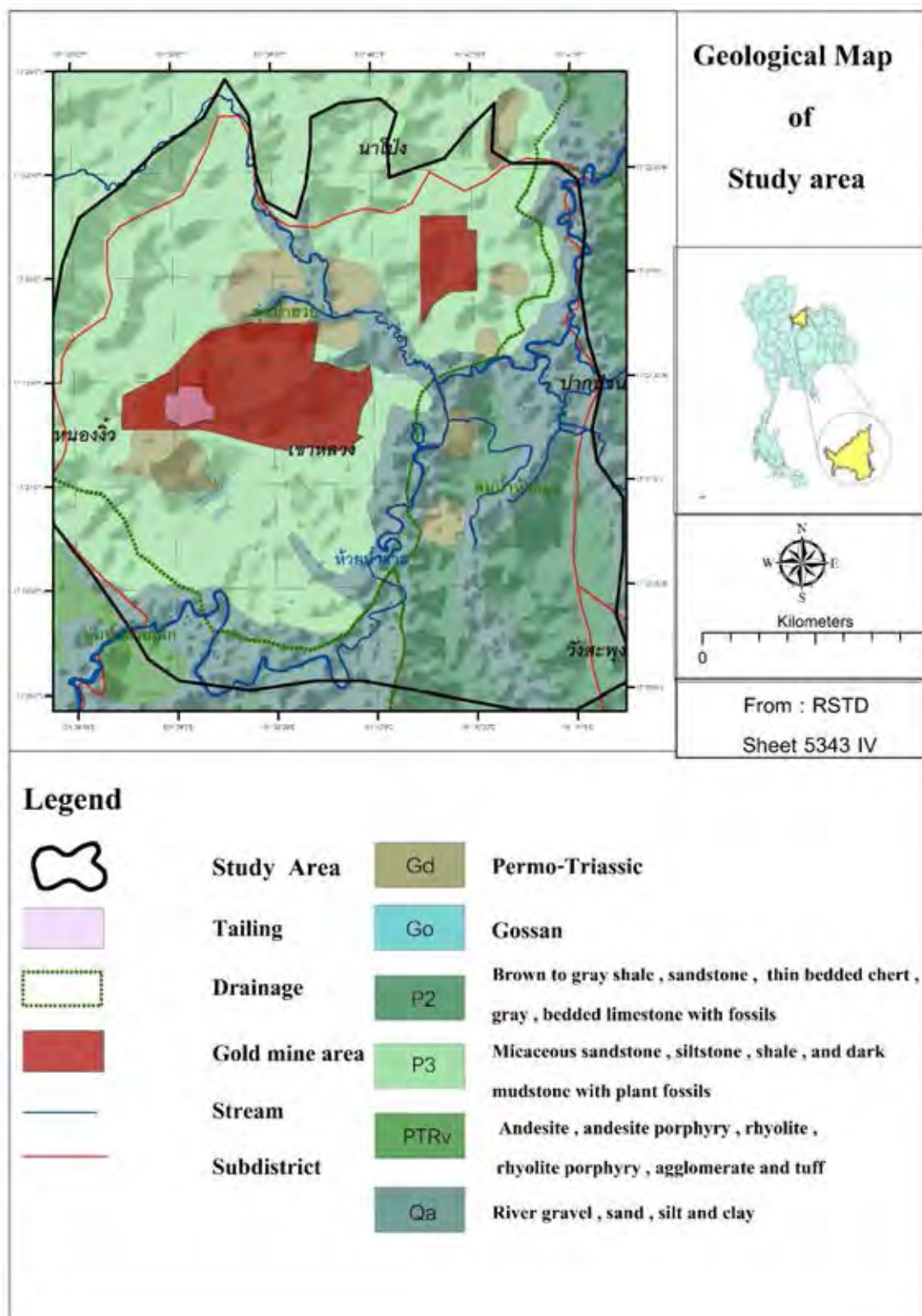
กับหินภูเขาไฟยุคเพอร์โม-ไทรแอสซิก และรอยชั้นไม่ต่อเนื่องระหว่างหินภูเขาไฟเพอร์โม-ไทรแอสซิก กับหมวดหินภูกระดึง

ชั้นหินคดโค้ง (fold) พบทั้งชั้นหินคดโค้งรูประฆังคว่ำ (anticline) และชั้นหินคดโค้งรูประฆังหงาย (syncline) ซึ่งเกิดจากความเค้นและความเครียดของเปลือกโลก รวมไปถึงการแทรกดันของหินอัคนีบาดาล (plutonic rocks)

รอยแตก (fracture) พบเป็นโครงสร้างแนวเส้น (linear structure) ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (NE-SW) แนวเหนือ-ใต้ (N-S) และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ (NW-SE) นอกจากนี้ยังพบโครงสร้างแนวเส้นโค้งหรือวงกลม

(circular feature) ซึ่งคาดว่ามีความสัมพันธ์กับการเกิดของหินภูเขาไฟและการแทรกดันของมวลหินอัคนีบาดาล

รอยเลื่อน (fault) ส่วนใหญ่วางตัวเกือบอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ลักษณะ รอยเลื่อนที่พบ ได้แก่ รอยเลื่อนตามแนวระนาบ (strike-slip fault) รอยเลื่อนย้อน (reverse fault) และรอยเลื่อนปกติ (normal fault)



รูปที่ 1.2 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณรอบเหมืองทองคำทุ่งคำ

1.3.3 ลักษณะอุทกธรณีวิทยา

ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา จากรายงานการศึกษาของบริษัท ทุ่งคำ จำกัด (2540) ได้มีการศึกษาโดยกำหนดขอบเขตของแหล่งน้ำบาดาลตามแนวของสันปันน้ำบาดาล (groundwater divide) โดยขอบเขตด้านทิศตะวันตกและทิศเหนือเป็นแนวสันเขา และขอบเขตด้านทิศตะวันออกและทิศใต้เป็นห้วยน้ำฮวย ครอบคลุมพื้นที่ 13.19 ตารางกิโลเมตร ระดับน้ำบาดาลมีความสัมพันธ์กับความสูงของภูมิประเทศ กล่าวคือบริเวณที่สูงระดับน้ำบาดาลมีความลึกจากผิวดินประมาณ 30-40 เมตร ส่วนบริเวณที่ลึก ระดับน้ำบาดาลมีความลึกไม่เกิน 10 เมตร และบริเวณที่สูงระดับน้ำบาดาลจะมีระดับแรงดันน้ำสูงกว่าระดับน้ำบาดาลในที่ลุ่มที่มีพื้นที่รับน้ำ (recharge area) เป็นพื้นที่ที่อยู่ในภูมิประเทศสูง เช่น ภูเขา เนินเขา เป็นต้น ระดับน้ำบาดาลอยู่ในระดับลึกประมาณ 30-40 เมตร โดยได้รับน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่เข้าสู่ชั้นน้ำแบบเปิด ส่วนพื้นที่สูญเสีย (discharge area) ได้แก่ บริเวณที่มีภูมิประเทศต่ำ เช่น ห้วยน้ำฮวย ห้วยน้ำฝัก และบริเวณพื้นที่ร่องน้ำระหว่างหุบเขา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2539)

บริเวณพื้นที่โครงการส่วนใหญ่เป็นแหล่งน้ำบาดาลในหินแข็ง พบแหล่งน้ำบาดาลในตะกอนหินร่วนบ้าง โดยพบอยู่ในชั้นดินถมหรือดินตะกอนเชิงเขา (Colluvium) จะพบเศษหินของหินทราย (sandstone) ที่มีสีน้ำตาล และสีเทาจนถึงสีเทาดำ หินทรายแป้ง (siltstone) ที่พบมีสีเทาอมน้ำตาล และ พบหินเชิร์ต (chert) มีสีเทาจนถึงสีม่วงเทา โดยที่หินร่วนเหล่านี้มีความหนาเพียง 2-5 เมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำผ่าน (Coefficient of Permeability, K) ประมาณ 0.1-20 เมตรต่อวัน และมีค่าความพรุน (porosity) ค่อนข้างสูง แหล่งน้ำบาดาลในหินแข็ง (consolidated aquifers) ในพื้นที่ศึกษาสามารถจำแนกได้เป็น 4 หน่วยหิน (กรมทรัพยากรธรณี, 2544) ได้แก่

1.3.3.1 ชั้นน้ำบาดาลหินปูน (หินคาร์บอนเนตอายุเพอร์เมียน) (Permian Carbonate Aquifers: Pc) ในพื้นที่ศึกษาพบชั้นน้ำบาดาลที่ได้จากกลุ่มหินราชบุรี โดยชั้นน้ำบาดาลนี้อยู่บริเวณตอนใต้ของพื้นที่ศึกษาบริเวณเขาผาพุง โดยสภาพธรรมชาติน้ำบาดาลมักได้จากโพรงหินใต้ดินโดยทั่วไปปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์ 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

1.3.3.2 ชั้นน้ำบาดาลหินปูน (หินตะกอนมวลเมือตอายุเพอร์เมียน) (Permian Clastic Sediment Aquifer: Pcl) ประกอบด้วยหินในหมวดหินผาเตือ ได้แก่ หินดินดาน หินทรายและหินทรายแป้ง โดยทั่วไป ปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์ 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

1.3.3.3 ชั้นหินบาดาลโคราชตอนล่าง (หมวดหินภูกระดึง) (PhuKradung Aquifer: Pk) ประกอบด้วยหินทรายแป้ง หินทราย และหินดินดาน สีม่วงแดง น้ำตาลแดง และเทาแดง มักพบในบริเวณที่ราบตามฐานเทือกเขาของขอบแอ่งโคราช และแอ่งสกลนคร ลักษณะของหินที่แตกต่างจากหมวดหินทั้งสองข้างต้น คือ เป็นหินที่ง่ายต่อการฟุ้ง หรือมี

ความแข็งไม่มากนัก เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นหินทรายแป้ง และหินดินดาน พบมากในเขต จังหวัดอุดรธานี หนองบัวลำภู ขอนแก่น ชัยภูมิ และเลย มีอายุประมาณยุคจูแรสซิก (Jurassic) โดยทั่วไปปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์ 2-10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

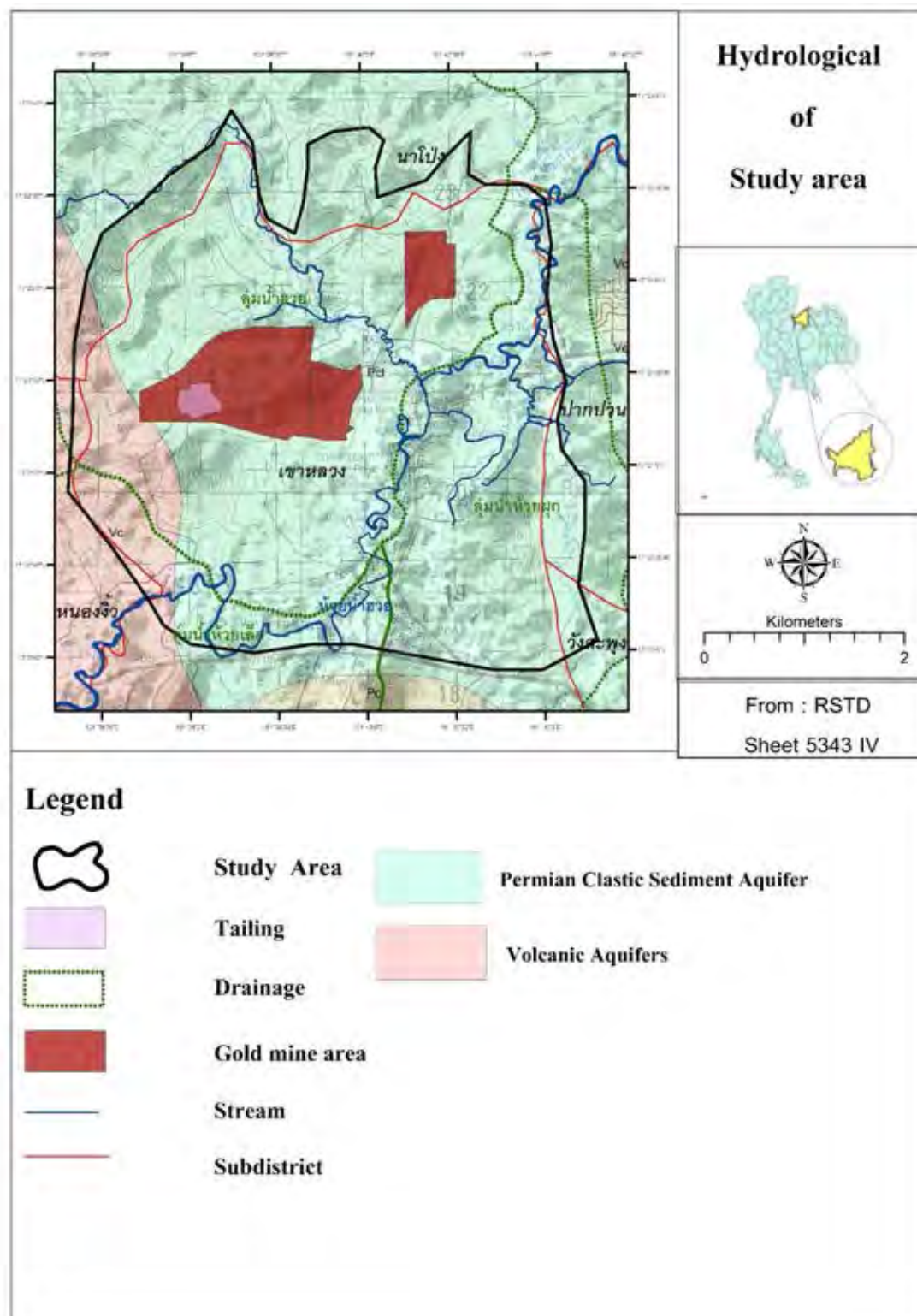
1.3.3.4 ชั้นน้ำบาดาลหินภูเขาไฟ (Volcanic Aquifers: Vc) ในพื้นที่ศึกษาพบว่า ส่วนใหญ่เป็นหินแอนดีไซต์ และหินไรโอไลต์ ปิดทับอยู่บนหินที่มีอายุแก่กว่า โดยทั่วไป ปริมาณน้ำค่อนข้างน้อยอยู่ในเกณฑ์น้อยกว่า 2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

1.4 สมมติฐาน

การไหลของน้ำบาดาลในทุกชั้นน้ำมีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน และ ชั้นน้ำบาดาลหินปูน (หินตะกอนมวลเม็ดอายุเพอร์เมียน) เป็นชั้นน้ำที่ให้น้ำหลักในพื้นที่

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาและประเมินปริมาณการสูบน้ำที่เหมาะสมในพื้นที่ข้างเคียง



รูปที่ 1.3 แผนที่อุทกธรณีวิทยาบริเวณรอบเหมืองทองคำทุ่งคำ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับกลศาสตร์การไหลและสมบัติทางกายภาพของชั้นน้ำ

2.1.1 ความพรุน (Porosity)

ความพรุน หมายถึง ปริมาณช่องว่างในหิน ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ ปริมาณทั้งหมดของหิน (ทวิศศักดิ์ ระมิงค์วงศ์, 2546) โดยอาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$n = \frac{V_v}{V} \dots\dots\dots (2.1)$$

โดย n คือ ความพรุน (%)

V_v คือ ปริมาตรของช่องว่างในหินหนึ่งหน่วย (L^3 ; cm^3 or m^3)

V คือ ปริมาตรทั้งหมดของหิน ซึ่งรวมทั้งส่วนที่เป็นช่องว่างและของแข็ง (L^3 ; cm^3 or m^3)

2.1.2 ประสิทธิภาพในการจ่ายน้ำและประสิทธิภาพในการดูดค้าง (Specific yield and Specific retention)

ประสิทธิภาพในการจ่ายน้ำ (Specific yield, S_y) หมายถึง อัตราส่วนของปริมาตรของน้ำที่จ่ายออกมาจากหินที่อิ่มตัวด้วยน้ำเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกต่อปริมาตรของหินทั้งหมด ปกติโมเลกุลของน้ำจะยึดติดอยู่กับผิวของเม็ดตะกอนด้วยแรงดึงดูดผิว แรงโน้มถ่วงของโลกจะพยายามดึงน้ำนี้ให้เคลื่อนที่ตามแรงโน้มถ่วง ซึ่งทำให้น้ำบางส่วนไหลลงไป อย่างไรก็ตาม น้ำบางส่วนจะคงเหลืออยู่ในช่องว่าง ซึ่งเป็นผลมาจาก แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล (Molecular attraction) 2 แบบด้วยกัน (ทวิศศักดิ์ ระมิงค์วงศ์, 2546) คือ

(1) **Adhesion** ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างผิวของเม็ดตะกอนและโมเลกุลของน้ำ

(2) Cohesion ซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำที่อยู่ใกล้กัน

ประสิทธิภาพในการดูดค้าง (Specific retention, S_r) หมายถึง อัตราส่วนของ ปริมาตรของน้ำที่ตกค้างหรือดูดค้าง จากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงต่อปริมาตรทั้งหมดของหิน เนื่องจากประสิทธิภาพในการจ่ายน้ำ จะแสดงถึงน้ำ ที่จ่ายออกมาโดยแรงโน้มถ่วง ในขณะที่ ประสิทธิภาพในการดูดค้างแสดงถึงน้ำที่ตกค้าง ดังนั้น ผลรวมของประสิทธิภาพ ในการจ่าย น้ำกับประสิทธิภาพในการดูดค้างจึงเท่ากับความพรุนที่มีอยู่ในตัวหินนั้น (ทวิศักดิ์ ระมิงค์วงศ์, 2546) คือ

$$n = S_y + S_r \dots\dots\dots(2.2)$$

ตารางที่ 2.1 ค่าความพรุน (Porosity) และค่าประสิทธิภาพในการจ่ายน้ำ (Specific yield)

Material	Porosity (%)	Specific yield (%)
Coarse gravel	28	23
Medium gravel	32	24
Fine gravel	34	25
Coarse sand	39	27
Medium sand	39	28
Fine sand	43	23
Silt	46	8
Fine-grained sandstone	33	21
Medium-grained sandstone	37	27
Clay	42	3
Limestone	30	14
Dolomite	26	-
Dune sand	45	38
Loess	49	18
Peat	92	44
Schist	38	26
Siltstone	35	12
Claystone	43	-
Shale	6	-
Tuff	41	21
Basalt	17	-
Gabbro (weathered)	43	-
Granite (weathered)	45	-

ที่มา: Brassington (1988)

2.1.3 สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ และสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บน้ำ (Hydraulic conductivity, Transmissivity and Storativity)

ปริมาณของน้ำบาดาลที่ถูกกักเก็บอยู่ในหิน ขึ้นอยู่กับช่องว่างที่มีอยู่ในเนื้อหินนั้นๆ แต่ปริมาณของน้ำที่ถูกกักเก็บนั้น ไม่ได้แสดงถึงปริมาณของน้ำที่เราสามารถสูบน้ำออกมาใช้ในระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง หรือในสภาวะใดสภาวะหนึ่ง ปัจจัยหรือตัวการที่สำคัญที่จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงจำนวนหรือปริมาณของน้ำที่สามารถนำออกมาใช้ที่สำคัญ ได้แก่ สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำและสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติทางชลศาสตร์ (Hydraulic properties) ที่สำคัญ (ทวิศักดิ์ ระมิงค์วงศ์, 2546) ดังนี้

2.1.3.1 สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (Hydraulic conductivity หรือ Coefficient of permeability, K) หมายถึง อัตราการไหลของน้ำผ่านวัตถุตัวกลางที่มีพื้นที่หน้าตัดหนึ่งหน่วย ซึ่งมีทิศทางการตั้งฉากกับการไหลของน้ำภายใต้ลาดชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) หนึ่งหน่วย (ทวิศักดิ์ ระมิงค์วงศ์, 2546) และเขียนในรูปสมการได้ ดังนี้

$$K = \frac{Q}{A(dh/dL)} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

โดย	K	คือ สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (L/T ; m/d or ft/d)
	Q	คือ อัตราการไหล (L/T ³ ; m ³ /d or ft ³ /d)
	A	คือ พื้นที่ (L ² ; m ² or ft ²)
	dh/dL	คือ ลาดชลศาสตร์ (L/L ; m/m or ft/ft)

ตารางที่ 2.2 ค่าสภาพการนำชลศาสตร์ใน Unconsolidated Sedimentary Materials

Unconsolidated Sedimentary Materials	
Material	Hydraulic Conductivity (m/sec)
Gravel	3×10^{-4} to 3×10^{-2}
Coarse sand	9×10^{-7} to 6×10^{-3}
Medium sand	9×10^{-7} to 5×10^{-4}
Fine sand	2×10^{-7} to 2×10^{-4}
Silt, loess	1×10^{-9} to 2×10^{-5}
Till	1×10^{-12} to 2×10^{-6}
Clay	1×10^{-11} to 4.7×10^{-9}
Unweathered marine clay	8×10^{-13} to 2×10^{-9}

ที่มา: Domenico and Schwartz (1990)

ตารางที่ 2.3 ค่าสภาพการนำชลศาสตร์ Sedimentary Rocks

Sedimentary Rocks	
Rock Type	Hydraulic Conductivity (m/sec)
Karst and reef limestone	1×10^{-6} to 2×10^{-2}
Limestone, dolomite	1×10^{-9} to 6×10^{-6}
Sandstone	3×10^{-10} to 6×10^{-6}
Siltstone	1×10^{-11} to 1.4×10^{-8}
Salt	1×10^{-12} to 1×10^{-10}
Anhydrite	4×10^{-13} to 2×10^{-8}
Shale	1×10^{-13} to 2×10^{-9}

ที่มา: Domenico and Schwartz (1990)

ตารางที่ 2.4 ค่าสภาพการนำชลศาสตร์ Crystalline Rocks

Crystalline Rocks	
Material	Hydraulic Conductivity (m/sec)
Permeable basalt	4×10^{-7} to 2×10^{-2}
Fractured igneous and metamorphic rock	8×10^{-9} to 3×10^{-4}
Weathered granite	3.3×10^{-6} to 5.2×10^{-5}
Weathered gabbro	5.5×10^{-7} to 3.8×10^{-6}
Basalt	2×10^{-11} to 4.2×10^{-7}
Unfractured igneous and metamorphic rock	3×10^{-14} to 2×10^{-10}

ที่มา: Domenico and Schwartz (1990)

2.1.3.2 สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (Transmissivity หรือ Coefficient of transmissibility, T) หมายถึง อัตราการไหลของน้ำผ่านชั้นหินอุ้มน้ำที่มีพื้นที่หน้าตัดหนึ่งหน่วย และยาวตลอดความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ ภายใต้ความลาดชลศาสตร์หนึ่งหน่วย (ทวิศกดิ์ ระมิงค์วงศ์, 2546) และเขียนในรูปสมการได้ ดังนี้

$$T = Kb \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

โดย T = สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (L^2/T ; m^2/d or ft^2/d)
 K = สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (L/T ; m/d or ft/d)
 b = ความหนาของชั้นน้ำ (L ; m or ft)

2.1.3.3 สัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ (Storativity หรือ Storage coefficient, S) หมายถึง ปริมาณของน้ำที่ชั้นน้ำสามารถปล่อยออกมาหรือเก็บไว้ในตัวของชั้นหินต่อพื้นที่หน้าตัดหนึ่งหน่วย เมื่อระดับน้ำลดหรือเพิ่มหนึ่งหน่วย (ทวิศกดิ์ ระมิงค์วงศ์, 2546)

ในกรณีของชั้นน้ำมีแรงดัน (Confined aquifer) ถึงแม้ว่าระดับความดันจะลดลง แต่ส่วนที่เป็นชั้นน้ำจะยังคงอึดตัวด้วยน้ำทั้งหมด ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (S) ของชั้นน้ำมีแรงดัน จะมีค่าเท่ากับ

$$S = Ssb \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

ค่า S_s มีมิติ (Dimension) เป็น $1/L$ และ ความหนาของชั้นน้ำ มีมิติเป็น L ดังนั้น ค่า S จึงไม่มีมิติ (หน่วย) น้ำทั้งหมดที่ปล่อยออกมาจากชั้นน้ำมีแรงดันนี้ ได้จากการปรับตัวหรือความยืดหยุ่นของเม็ดตะกอนและโมเลกุลของน้ำ และได้น้ำมาจากตลอดความหนาของชั้นน้ำ ปกติจะมีค่าค่อนข้างน้อย ระหว่าง 0.00001-0.001

ในกรณีของชั้นน้ำแบบไม่มีแรงดัน (Unconfined aquifer) เนื่องจากความหนาของส่วนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ในช่องว่าง เมื่อระดับน้ำลดลง ทำให้น้ำถูกปล่อยออกมาจากช่องว่างโดยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการจ่ายน้ำ (Specific yield, S_y) ของชั้นน้ำเป็นสำคัญ รวมทั้งน้ำบางส่วนก็จะถูกปล่อยออกมาตามค่าของการกักเก็บจำเพาะ (Specific storage, S_s) ดังนั้น ในกรณีของชั้นน้ำแบบไม่มีแรงดัน ค่าสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ (Storativity, S) จะมีค่าเท่ากับ

$$S = S_y + S_s b \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

โดย

b เป็นค่าความหนาของส่วนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ

เนื่องจากค่า S_y จะมีค่ามากกว่า $S_s b$ มาก ในกรณีของชั้นน้ำแบบไม่มีแรงดันนี้ จึงมักถือว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ (S) จะมีค่าเท่ากับค่าประสิทธิภาพในการจ่ายน้ำ (S_y) ค่าสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ (S) สำหรับชั้นน้ำแบบไม่มีแรงดัน จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.02 - 0.30 ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าสูงกว่าในกรณีของชั้นน้ำแบบมีแรงดันมาก

ตารางที่ 2.5 ค่าประสิทธิภาพการจ่ายน้ำหินชนิดต่างๆ

Material	Porosity (%)	Specific Yield (%)	Specific Retention (%)
Soil	55	40	15
Clay	50	2	48
Sand	25	22	3
Gravel	20	19	1
Sandstone (unconsolidated)	11	6	5
Granite	0.1	0.09	0.01
Basalt (young)	11	8	3

ที่มา: Health, 1983

ตารางที่ 2.6 ค่าประสิทธิภาพการจ่ายน้ำในวัสดุต่างๆ

Material	Specific Yield (%)	Material	Specific Yield (%)
Gravel, coarse	21	Limestone	14
Gravel, medium	24	Dune sand	38
Gravel, fine	28	Loess	18
Sand, coarse	30	Peat	44
Sand, medium	32	Schist	26
Sand, fine	33	Siltstone	12
Silt	20	Till, predominantly silt	6
Clay	6	Till, predominantly sand	16
Sandstone, fine grained	21	Till, predominantly gravel	16
Sandstone, medium grained	27	Tuff	21

ที่มา: Morris and Johnson, 1967

ตารางที่ 2.7 ค่าการกักเก็บจำเพาะในวัสดุต่างๆ

Materials	Ss (m ⁻¹)
Plastic clay	1.89E-03 to 2.38E-04
Stiff clay	2.38E-04 to 1.19E-04
Medium hard clay	1.19E-04 to 8.53E-05
Loose sand	4.57E-05 to 9.45E-05
Dense sand	1.19E-05 to 1.89E-05
Dense sandy gravel	4.57E-06 to 9.45E-06
Rock, fissured	3.05E-07 to 9.45E-06
Rock, sound	< 3.05E-07

ที่มา: Domenico and Mifflin, 1965

2.1.4 กฎของดาร์ซี (Darcy's law)

อัตราการไหลของน้ำผ่านวัสดุที่มีรูพรุนจะแปรผันตรงกับการลดลงของความดันชลศาสตร์ (Head) และแปรผกผันกับระยะทางหรือความยาวที่น้ำไหลผ่าน นอกจากนั้นปริมาณการไหลของน้ำจะขึ้นอยู่กับสภาพการนำชลศาสตร์ของวัสดุนั้นๆ (ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์, 2546) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q = -KA\left(\frac{dh}{dL}\right) \dots\dots\dots(2.7)$$

โดย Q คือ อัตราการไหล (L³/T)

K คือ สภาพการนำชลศาสตร์ (L/T)

$\frac{dh}{dL}$ คือ ความลาดชลศาสตร์

2.1.5 งบดุลน้ำบาดาล (Groundwater budget) หรือ สมดุลน้ำบาดาล (Groundwater balance)

การคำนวณปริมาณน้ำไหลเข้าและน้ำไหลออกจากแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลหนึ่งๆ ที่สนใจ ผลต่างระหว่างน้ำไหลเข้าและน้ำไหลออกจากแหล่งกักเก็บน้ำบาดาล คือ การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของน้ำบาดาล (กิจการ พรหมมา, 2555) ดังนี้

$$\Delta S = I - O \dots\dots\dots(2.8)$$

โดย ΔS คือ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกักเก็บ (L³)

I คือ ปริมาณน้ำไหลเข้า (L³)

O คือ ปริมาณน้ำไหลออก (L³)

เมื่อพิจารณาแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลใน 3 มิติ เขียนงบดุลน้ำบาดาลได้ว่า

$$\Delta S_{gw} = P - ET - R - M + G_{lr} - G_d - W$$

$$\Delta S_{gw} = G_{vr} + G_{lr} - G_d - W$$

โดย	ΔS_{gw}	คือ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกักเก็บน้ำบาดาล (L^3)
	P	คือ หยาดน้ำฟ้าหรือน้ำฝน (L^3)
	ET	คือ การคายระเหยของน้ำ (L^3)
	R	คือ น้ำไหลผ่าน (L^3)
	M	คือ น้ำในดินตกค้าง (L^3)
	G_{vr}	คือ น้ำเติมแนวตั้ง (L^3)
	G_{lr}	คือ น้ำเติมแนวราบ (L^3)
	G_d	คือ น้ำบาดาลไหลออก (L^3)
	W	คือ การสูบน้ำบาดาล (L^3)

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรม Visual Modflow 2010

2.2.1 การไหลของน้ำบาดาลใน 3 มิติ (Groundwater Flow)

การไหลของน้ำบาดาลใน 3 มิติผ่านวัสดุที่มีรูพรุนด้วยความหนาแน่นคงที่ สามารถอธิบายได้โดยใช้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial-differential equation) (Harbaugh, 2005) ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = Ss \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{.....(2.9)}$$

โดย K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ ตามแกน x, y, z ตามลำดับ (L/T)

h คือ แรงดันน้ำในดิน (L)

W คือ ปริมาตรของการไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (Volumetric flux) มีค่าเป็นบวกเมื่อมีการเพิ่มน้ำเข้าสู่ ระบบ และมีค่าเป็นลบเมื่อน้ำออกจากระบบ (1/T)

S_s คือ การกักเก็บจำเพาะ (1/L)

t คือ เวลา (T)

2.2.2 สมการผลต่างจำกัด (Finite-Difference Equation)

จากสมการการไหลของน้ำบาดาลในสมการที่ 2.9 สามารถพัฒนามาเป็นสมการผลต่างจำกัด (Finite-Difference Equation) ได้โดยการใช้การไหลของน้ำบาดาลผ่านวัสดุร่วมกับสมการสมดุล (continuity equation) โดยผลรวมของอัตราการไหลเข้าและออกจากเซลล์จะต้องเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของการกักเก็บน้ำภายในเซลล์ (Harbaugh, 2005) โดยแสดงเป็นสมการดังนี้

$$\sum Q_i = Ss \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta V \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

โดย

Q คือ อัตราการไหลเข้าเซลล์ (L^3T^{-1})

SS คือ การกักเก็บจำเพาะ (L^{-1})

Δh คือ ความดันชลศาสตร์ที่เปลี่ยนไปในช่วงเวลา Δt

ΔV คือ ปริมาตรเซลล์ (L^3)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2555) ได้จัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การไหลและการแพร่กระจายมวลสารของน้ำบาดาลซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการสำรวจการกระจายตัวและแหล่งที่มาของการปนเปื้อนโลหะหนักในเขตพื้นที่แหล่งแร่ทองคำภูทับฟ้า ต.เขาหลวง อ.วังสะพุง จ.เลย มีวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาการแพร่กระจายการปนเปื้อนและสาเหตุการปนเปื้อน และบ่งชี้พื้นที่เสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม จากข้อมูลลักษณะภูมิประเทศพบว่า บริเวณพื้นที่โครงการเป็นภูเขาสลับหุบเขา และมีทางน้ำสายสั้นๆ ไหลจากหุบเขาจากทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือลงสู่ทางน้ำ และทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือต่อเนื่องไปจนถึงทิศตะวันออกเฉียงใต้ เป็นที่ราบลุ่มและพื้นที่เกษตรกรรม มีลำห้วยธรรมชาติ 2 สาย ได้แก่ ห้วยผุก ซึ่งอยู่ห่างออกไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือประมาณ 300 เมตร มีทิศทางการไหลจากทิศใต้ลงไปทางทิศเหนือและไหลลงสู่ห้วยน้ำฮวยที่อยู่ห่างออกไปจากพื้นที่ประทานบัตรทางทิศตะวันออกเฉียงประมาณ 700 เมตร โดยมีทิศทางการไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และน้ำใต้ดินในพื้นที่โครงการฯ มีทิศทางการไหลจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และบริเวณพื้นที่โครงการส่วนใหญ่เป็นแหล่งน้ำบาดาลในหินแข็งพบแหล่งน้ำบาดาลในตะกอนหินร่วนบ้าง โดยในพื้นที่ศึกษาสามารถจำแนกได้เป็น 4 หน่วยหิน (กรมทรัพยากรธรณี, 2544) ได้แก่

2.3.1 ชั้นน้ำบาดาลหินปูน (หินคาร์บอนเตอายุเพอร์เมียน) (Permian Carbonate Aquifers: Pc) ในพื้นที่ศึกษาพบชั้นน้ำบาดาลที่ได้จากกลุ่มหินราชบุรี โดยชั้นน้ำบาดาลนี้อยู่บริเวณตอนใต้ของพื้นที่ศึกษาบริเวณเขาผาพุง โดยสภาพธรรมชาติน้ำบาดาลมักได้จากโพรงหินใต้ดิน โดยทั่วไปปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์ 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

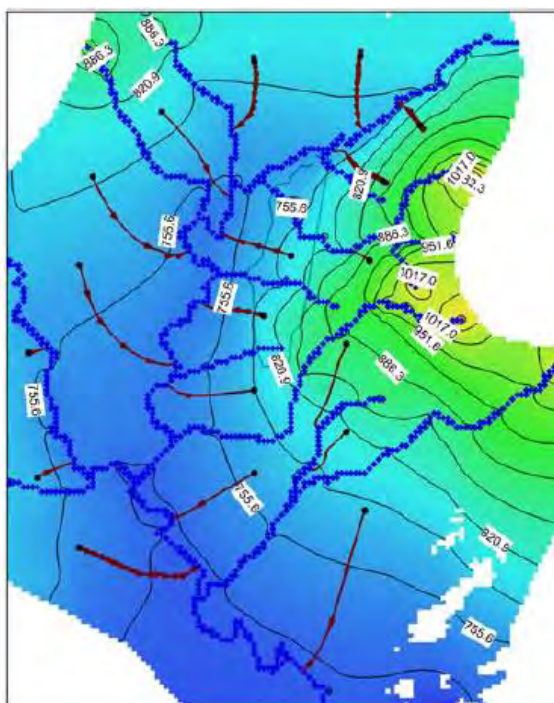
2.3.2 ชั้นน้ำบาดาลหินปูน (หินตะกอนมวลเม็ดอายุเพอร์เมียน) (Permian Clastic Sediment Aquifer: Pcl) ประกอบด้วยหินในหมวดหินผาเตื่อ ได้แก่ หินดินดานหินทรายและหินทรายแป้ง โดยทั่วไปปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์ 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

2.3.3 ชั้นหินบาดาลโคราชตอนล่าง (หมวดหินภูกระดึง) (PhuKradung Aquifer: Pk) ประกอบด้วยหินทรายแป้ง หินทราย และหินดินดาน สีม่วงแดง น้ำตาลแดง และเทาแดง มักพบในบริเวณที่ราบตามฐานเทือกเขาของขอบแอ่งโคราช และแอ่งสกลนคร ลักษณะของหินที่แตกต่างจากหมวดหินทั้งสองข้างต้น คือ เป็นหินที่ง่ายต่อการผุพัง หรือมีความแข็งไม่มากนัก เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นหินทรายแป้งและหินดินดาน พบมากในเขตจังหวัดอุดรธานี หนองบัวลำภู ขอนแก่น ชัยภูมิ และเลย มีอายุประมาณยุคจูแรสซิก (Jurassic) โดยทั่วไปปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์ 2-10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

2.3.4 ชั้นน้ำบาดาลหินภูเขาไฟ (Volcanic Aquifers: Vc) ในพื้นที่ศึกษาพบว่าส่วนใหญ่เป็น หินแอนดีไซต์ และหินไรโอไลต์ ปิดทับอยู่บนหินที่มีอายุแก่กว่า โดยทั่วไปปริมาณน้ำค่อนข้างน้อยอยู่ในเกณฑ์น้อยกว่า 2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

อรุณ ลูกจันทร์ (2551) ได้ประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน 3 มิติ MODFLOW-2000 เพื่อศึกษาระบบการไหล สมดุลน้ำบาดาล และประเมินผลกระทบของการสูบน้ำ กรณีที่มีการใช้น้ำบาดาลเพิ่มขึ้นในช่วง 20 ปี ของแอ่งหาดใหญ่ แบบจำลองถูกปรับเทียบโดยใช้ แรงดันน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ 47 บ่อ ผลการจำลองพบว่า สำหรับแอ่งหาดใหญ่ที่มีอัตราการสูบน้ำ ประมาณ 25 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี มีสมดุลน้ำบาดาลประมาณ 115 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี เมื่อเพิ่ม การใช้น้ำขึ้นปีละ 5% (รูปที่ 2.1) ระดับน้ำบาดาลลดลงอย่างมีนัยสำคัญโดยบริเวณเมืองหาดใหญ่ ลดลงสูงสุด 3.5-10 เมตร ปริมาณน้ำปลอดภัยเท่ากับ 36 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี

ศตวรรษ แสทน (2550) ได้เสนอผลการศึกษาลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของแอ่งเวียงแหง อ.เวียงแหง จ.เชียงใหม่ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากโครงการพัฒนาเหมืองถ่านหินเวียงแหง จากผลการศึกษาพบว่า น้ำบาดาลจะไหลจากขอบแอ่งทางด้านเหนือ ตะวันตก และตะวันออก เข้าสู่ใจกลางแอ่งที่ลำน้ำแม่แตง โดยเส้นทางการไหลของน้ำบาดาล (ลูกศรสีน้ำตาล, รูปที่ 2.2) จะไหลผ่านพื้นที่โครงการฯ เข้าสู่ลำน้ำแตง ดังนั้นแอ่งเวียงแหงจัดเป็นแอ่งที่มีแหล่งน้ำใต้ดินศักยภาพสูง เนื่องจากปริมาณการเติมน้ำบาดาล (recharge) มีมาก และโครงสร้างทางธรณีวิทยาทำให้แอ่งมีเป็นลักษณะแอ่งปิด ส่งผลให้มีปริมาณน้ำใต้ดินสำรองสูง



รูปที่ 2.2 แสดง Contour Lines หรือแรงดันน้ำและเส้นทางการไหลหลังจากปรับแบบจำลองแล้ว

กุลชาติ โกษาแสง (2550) ได้จัดทำแบบจำลองเพื่อศึกษาชลศาสตร์การไหล สมดุลน้ำบาดาล และการประเมินผลจากการดำเนินโครงการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยใช้โปรแกรมจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน 3 มิติ MODFLOW ได้ทำการปรับเทียบแบบจำลองโดยใช้ระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ ผลการประยุกต์แบบจำลองกรณีทำการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำชั้นต่ำ และชั้นน้ำตะกอนตะพักกลุ่มน้ำชั้นสูง ด้วยอัตรา 840 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และ 1,200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ โดยมีการใช้น้ำบาดาลสำหรับการเกษตรกรรมเพิ่มขึ้น 5% และการใช้น้ำบาดาลเพื่อการอุปโภคบริโภคเพิ่มขึ้น 0.28% ในระยะเวลา 20 ปี พบลักษณะการกระจายตัวของน้ำที่ใช้เดิมในชั้นหินให้น้ำ มีทิศทางการกระจายไปในทิศใต้และทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งสอดคล้องกับทิศทางการไหลของแหล่งน้ำผิวดิน ระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่โครงการฯ มีระดับน้ำสูงขึ้น 1 - 2 เมตรจากระดับน้ำปกติ มีสมดุลน้ำบาดาลประมาณ 104 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (รูปที่ 2.3) และปริมาณการสูบน้ำที่ปลอดภัย 49 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

	กรณี	กรณีสถานะปกติ	กรณีขาดน้ำ
ปริมาณน้ำไหลเข้า	Storage	800,893	901,421
	Wells	-	375,360
	Recharge	3,224,625	3,224,625
	River Leakage	31,498,640	31,497,672
	General Head	68,448,912	68,311,792
	รวม (ต่อปี.ม.ลบ)	103,973,070	104,310,871
ปริมาณน้ำไหลออก	Storage	893,968	952,998
	Wells	7,365,986	7,365,986
	Evapotranspiration	38,770	38,771
	River Leakage	13,204,772	13,210,068
	General Head	82,809,536	82,824,672
	รวม (ต่อปี.ม.ลบ)	104,313,032	104,392,496
% Discrepancy	0.50%	0.56%	

รูปที่ 2.3 แสดงสมดุลน้ำบาดาลในรอบ 1 ปี (2553)

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ระเบียบงานวิจัย

3.1.1 แผนการศึกษา

ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ศึกษาและการใช้โปรแกรม Visual MODFLOW เพื่อใช้ในการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยทำแบบจำลองในสภาวะสภาวะคงที่ (Steady stage) และสภาวะเปลี่ยนแปลง (Transient stage)

3.1.2 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการทำแบบจำลอง

- ภาพถ่ายทางอากาศจากดาวเทียม Landsat
- แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข
- ข้อมูลแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual Model)
- ข้อมูลหลุมเจาะน้ำบาดาล
- ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์น้ำบาดาล
- ข้อมูลบ่อสูบน้ำบาดาล
- ข้อมูลการอุทกธรณีและชลศาสตร์การไหล
- เก็บข้อมูลระดับน้ำจากบ่อสูบน้ำจริงในภาคสนาม

3.1.3 สร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual model)

อาศัยข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ, ข้อมูลลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา, ข้อมูลการใช้น้ำบาดาล, แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข และขอบเขตพื้นที่ศึกษา

3.1.4 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

นำเข้าข้อมูลต่างๆ ที่ผ่านการคัดกรองแล้ว เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ยอมให้น้ำซึมผ่าน ค่าระดับน้ำเริ่มต้น ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ เป็นต้น (ตารางที่ 3.1) และประมวลผลโดยโปรแกรม Visual MODFLOW ตามสภาวะต่างๆ จากนั้นทำการปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration) จนกว่าแบบจำลองจะมีความถูกต้อง โดยหาค่าที่ได้จากการปรับเทียบไม่สอดคล้อง จำเป็นต้องกลับไปแก้ไขค่าตัวแปรต่างๆ จนกว่าจะมีความสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากบ่อสังเกตการณ์

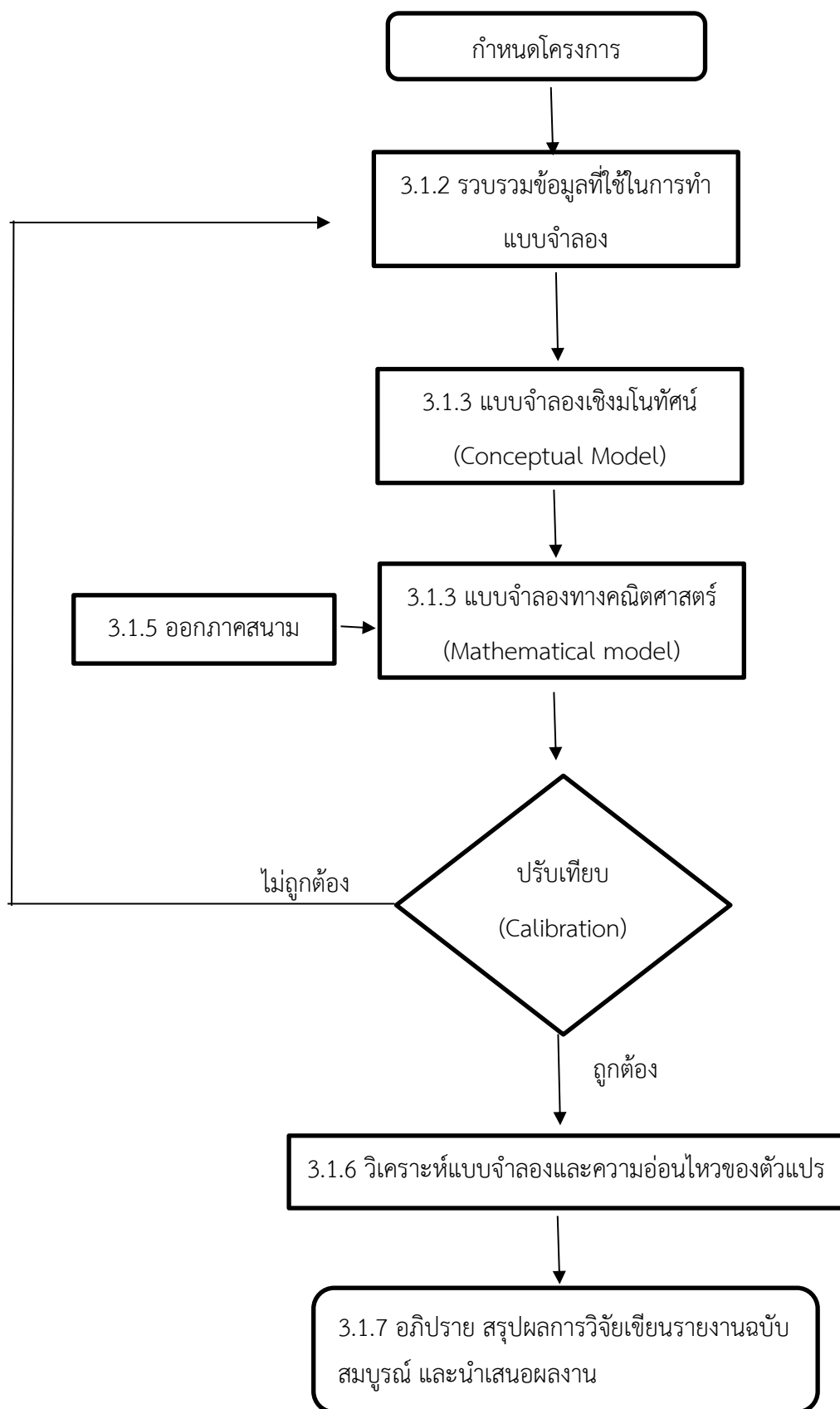
ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลที่น่าสนใจแบบจำลอง

ข้อมูลนำเข้า	รายละเอียด	แหล่งที่มา
แบบจำลองระดับสูง เชิงเลข (DEM)	Digital Elevation Model (DEM) ความ ละเอียด 15x15 เมตร	USGS
ชั้นน้ำต่างๆ (Layer)	ภาพตัดขวางบริเวณพื้นที่ศึกษา (Cross- section)	บริษัทสินธนา รีซอร์ส จำกัด และบริษัททุ่งคำ
	ข้อมูลหลุมเจาะ	
	ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์	
อัตราการเติมน้ำฝน (Recharge)	สถิติปริมาณน้ำฝน ณ สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดเลย พ.ศ.2546 - 2558	สำนักงานสถิติแห่งชาติ (สสช.)
ค่าสัมประสิทธิ์การ ซึมผ่าน (K)	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในวัสดุต่างๆ	Domenico and Schwartz, 1990
ค่าสัมประสิทธิ์การ กักเก็บ (S)	ค่าการกักเก็บจำเพาะในวัสดุต่างๆ	Domenico and Miffilin, 1965
	ค่าประสิทธิภาพการจ่ายน้ำในวัสดุต่างๆ	Morris and Johnson, 1967
	ค่าความพรุนในวัสดุต่างๆ	Morris and Johnson, 1967
บ่อสังเกตการณ์ (Observation wells)	บ่อสังเกตการณ์จำนวน 20 บ่อ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
		สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.5 ปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง

3.1.6 อภิปราย สรุปผลการวิจัยเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์ และนำเสนอผลงาน

รูปที่ 3.1 แสดงผังงานของโครงการ



บทที่ 4

ผลการศึกษา

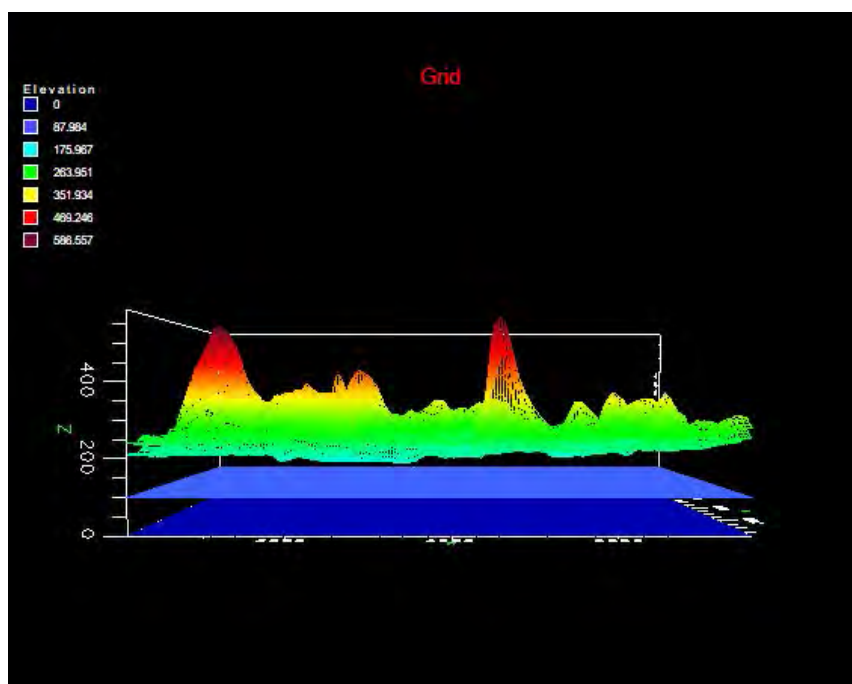
4.1 การจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.1.1 การกำหนดกริดเซลล์

โปรแกรม Visual Modflow จะจำลองกริดเป็นลักษณะสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยมีค่าชลศาสตร์ต่างๆ เท่ากันจากลักษณะขอบเขตของบริเวณพื้นที่ศึกษา จึงกำหนดให้แกน x ซึ่งอยู่ในทิศตะวันออก-ตะวันตก มีความยาว 7,706 เมตร แบ่งเป็นกริดจำนวน 98 คอลัมน์ และในแกน y ซึ่งอยู่ในทิศเหนือ-ใต้ มีความยาว 6,714 เมตร แบ่งเป็นกริดจำนวน 76 แถว และแกน z คือ ความหนาของแบบจำลองอยู่ที่ระดับความสูงตั้งแต่ 0 ถึง 600 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง แบ่งออกเป็น 3 ชั้น โดยความถี่ของกริด บริเวณเหมืองแร่และบ่อกักเก็บกากของเสียจะมีความละเอียดมากกว่าบริเวณอื่นโดยละเอียดมากกว่าบริเวณอื่น 2 เท่า ดังแสดงใน รูปที่ 4.1 ดังนั้นแบบจำลองจะประกอบไปด้วยกริดทั้งหมด 22,344 กริด ($98 \times 76 \times 3$) จำนวนกริดในแนวราบ (x - y) ตามความสูงต่ำของภูมิประเทศแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะขอบเขตของบริเวณพื้นที่ศึกษา



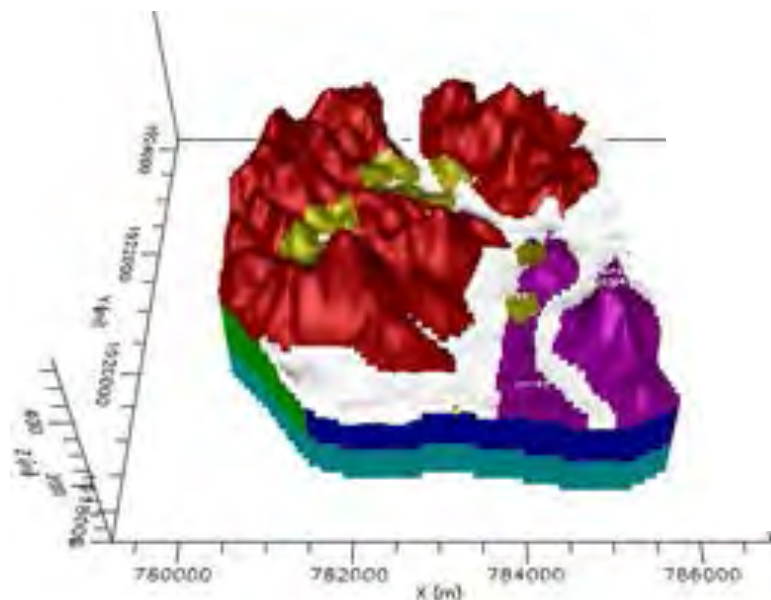
รูปที่ 4.2 แสดงค่าความสูงต่ำของภูมิประเทศในแบบจำลอง Visual MODFLOW







4.1.2 การกำหนดคุณลักษณะ (Properties)

4.1.2.1 สภาพการนำชลศาสตร์ (Hydraulic Conductivity, K)

กำหนดให้ชั้นน้ำที่ 1, 2 และ 3 มีความแตกต่างในการยอมให้น้ำซึมผ่านแตกต่างกัน (Heterogeneous aquifers) และค่าการนำชลศาสตร์ของหินมีค่าแตกต่างกันตามผลที่ได้จากการทดสอบในสนาม (Anisotropic aquifers) โดยในชั้นที่ 1 ได้ทำการแบ่งคุณลักษณะ (Properties) ของหินตามแผนที่ กรมทรัพยากรธรณี (2544) และใส่ค่าพารามิเตอร์ตามข้อมูลที่ได้จาก Domenico and Schwartz (1990) และภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2539) โดยในชั้นที่ 1 มีค่าการนำชลศาสตร์ในแนวราบ (K_x) ประมาณ 8.0 มม.ต่อวัน ถึง 1.0 เมตรต่อวัน (9.259×10^{-8} – 1.157×10^{-5} เมตรต่อวินาที) ค่าการนำชลศาสตร์ของหินในแนวตั้ง (K_y) อยู่ระหว่าง 0.8 มม.ต่อวัน ถึง 10.0 ซม.ต่อวัน (4.629×10^{-8} – 5.785×10^{-6} เมตรต่อวินาที) และในชั้นที่ 2 แบ่งตามลักษณะอุทกธรณีวิทยา ซึ่งได้เป็น 2 โซน คือ ชั้นน้ำบาดาลหินปูน (หินตะกอนมวลเมืออายุเพอร์เมียน) (Permian Clastic Sediment Aquifer: Pcl) ประกอบด้วยหินในหมวดหินผาเตี้อ ได้แก่ หินดินดานหินทรายและหินทรายแป้ง โดยโซนที่ 1 กำหนดให้มีค่าการนำชลศาสตร์ประมาณ 0.02592 มม.ต่อวัน ถึง 0.5184 เมตรต่อวัน

(3.00×10^{-10} - 6.00×10^{-6} เมตรต่อวินาที) และโซนที่ 2 คือ ชั้นน้ำบาดาลหินภูเขาไฟ (Volcanic Aquifers: Vc) ใน พื้นที่ศึกษาพบว่าส่วนใหญ่เป็นหินแอนดีไซต์ และหินไรโอไลต์ ปิดทับอยู่บน หินที่มีอายุแก่กว่า กำหนดให้มีค่าการนำชลศาสตร์ประมาณ 0.28512 ถึง 4.4928 เมตรต่อวัน (3.3×10^{-6} - 5.2×10^{-5} เมตรต่อวินาที) ดังรูปที่ 4.3

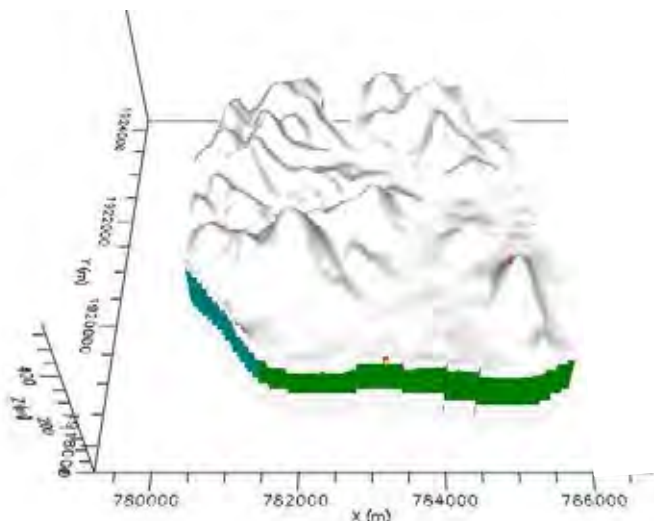





สี	หน่วยหิน	Kx (m/day)	Ky (m/day)	Kz (m/day)
	Qa	0.008	0.0039	0.0008
	Pcl	0.5184	0.5184	0.05184
	Vc	0.0864	0.0864	8.64E-16
	P3	0.5184	0.5184	0.00003
	P2	0.00001	0.00001	0.00001
	PTRv	0.0864	0.0864	0.0864

รูปที่ 4.3 แสดงค่าการนำชลศาสตร์ของหินในแต่ละชั้น

4.1.2.2 สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage)

สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage) ของหินมีค่าแตกต่างกันตามผลที่ได้จากการทดสอบในสนาม (Anisotropic aquifers) ได้มาจากการสูบทดสอบ (Pumping test) โดยได้ทำการใส่ค่าพารามิเตอร์ตามข้อมูลที่ได้จากภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยขอนแก่น (2539) มีค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บตั้งแต่ 1×10^{-5} ถึง 0.1 แสดงในรูปที่ 4.4



สี	Ss	Sy
	0.01 1/m	0.01
	1E-5 1/m	0.2
	0.05 1/m	0.2

รูปที่ 4.4 แสดงสัมประสิทธิ์การกักเก็บของหินในแต่ละชั้น

4.1.2.3 ข้อมูลบ่อสังเกตการณ์และบ่อสูบ (Observation and pumping wells)

บ่อที่ใ้มีอยู่ 2 ประเภท คือ บ่อสังเกตการณ์ (Obsevation wells) สำหรับตรวจวัดระดับน้ำบาดาล โดยนำข้อมูลมาจากภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2539) จำนวน 9 บ่อดังรูปที่ 4.5 และจากสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2555) จำนวน 8 บ่อดังรูปที่ 4.6 และบ่อสูบ (Pumping wells) ซึ่งมีทั้งหมด 10 บ่อ โดยนำข้อมูลมาจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ ปี 2539

Well ID	x	y	depth	elevation	head	time
P0	782956.4	1921238	25.5	269.99	265.2	8000
P1	781536	1920402	25.5	291.22	283.5	8000
P2	781844.4	1920877	37	278.57	276.8	8000
P3	782315.2	1921128	30	283.53	274.2	8000
P4	782712.9	1921209	37	278.39	267.7	8000
P5	782924	1920901	99	307.81	272.8	8000
P6	782972.7	1921031	65	282.86	273	8000
P7	782802.2	1921128	13	270.2	267.5	8000
P8	782501.9	1920909	12	274.76	274.3	8000

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลบ่อสังเกตการณ์เดือนกุมภาพันธ์ ปี 2555

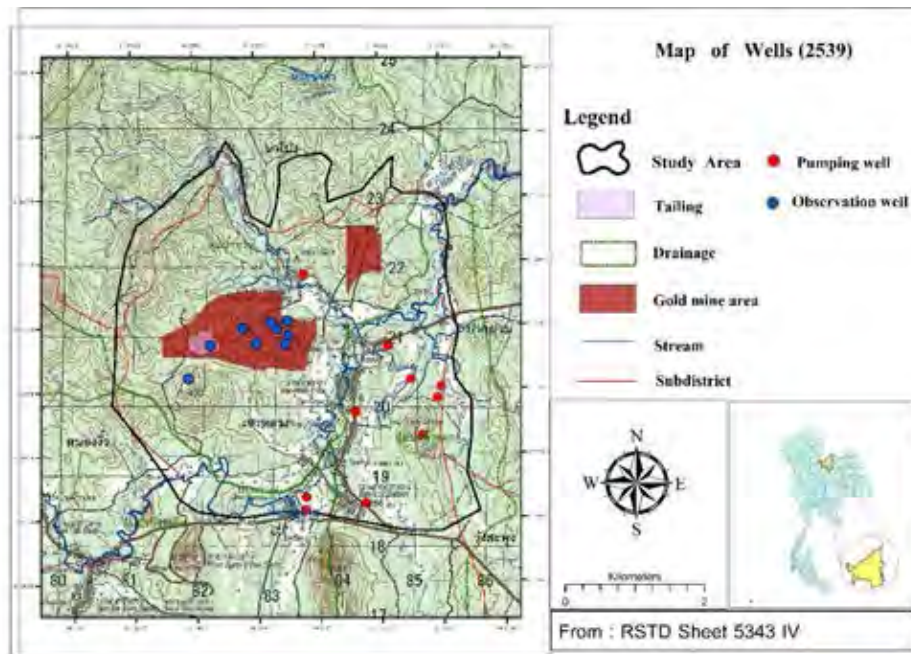
Well ID	x	y	elevation	head	time
CGW-7	781710	1920719	266.285	286.285	2220
CGW-10	782028	1920853	246.97	266.97	2220
CGW-11	781731	1920698	271.26	291.26	2220
CGW-13	782948	1921257	276.64	283.64	2220
CGW-15	783387	1921880	243.84	263.84	2220
CGW-17	783398	1921919	243.54	263.54	2220
CGW-24	784141	1920955	243.52	263.52	2220
CGW-26	781713	1920733	264.051	284.051	2220

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลบ่อสังเกตการณ์เดือนพฤษภาคม ปี 2555

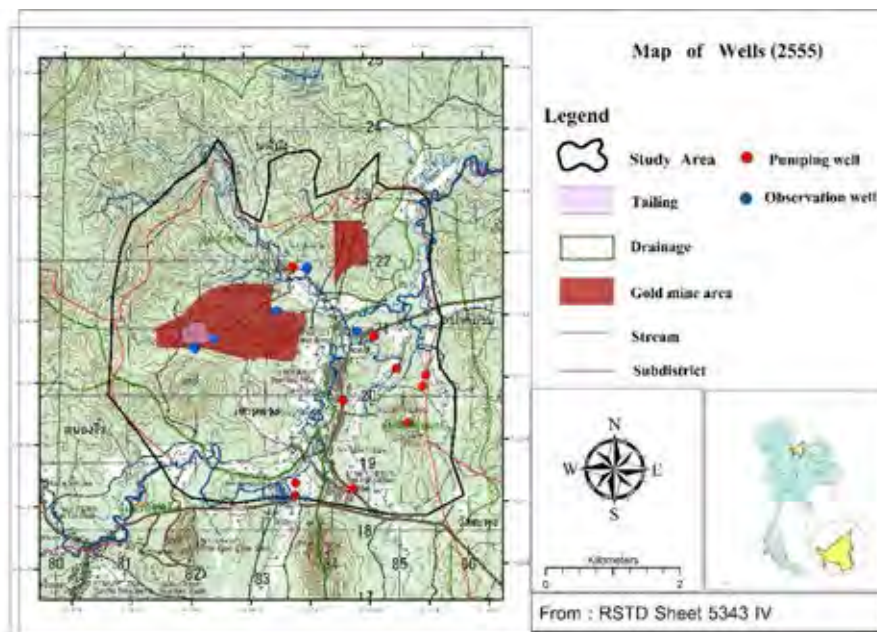
Well ID	x	y	elevation	head	time
CGW-7M	781710	1920719	266.835	286.835	2130
CGW-10M	782028	1920853	246.95	266.95	2130
CGW-11M	781731	1920698	270.44	290.44	2130
CGW-13M	782948	1921257	276.64	283.64	2130
CGW-15M	783387	1921880	244.43	264.43	2130
CGW-17M	783398	1921919	244.14	264.14	2130
CGW-24M	784141	1920955	244.7	264.7	2130
CGW-26M	781713	1920733	266.941	286.941	2130

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลบ่อสูบ

Wellname	X	Y	Z	ระดับน้ำ (m)	BOTTOM (m)	Q (ลบ. ม./day)	screen
JJ283	783933	1919931	244	229.82	194.5	-57.6	196.5
LO110	784890	1919606	358	351	334	-480	336
LO108	785162	1920306	245	241	211	-720	213
5504B077	784396	1920883	246	235	202	-144	204
JJ1053	783186	1921914	245	240.18	215	-218.64	217
A1356	783228	1918701	236	230	206	-38.16	208
A1357	783224	1918519	234	226.5	204	-38.16	206
JJ1193	784080	1918624	251	245.6	221	-54.48	223
5504C068	784724	1920409	231	230	191	-30	193
LO109	785108	1920144	244	240	224	-216	226



รูปที่ 4.5 แสดงบ่อสังเกตการณ์และบ่อสูบ ปี 2539



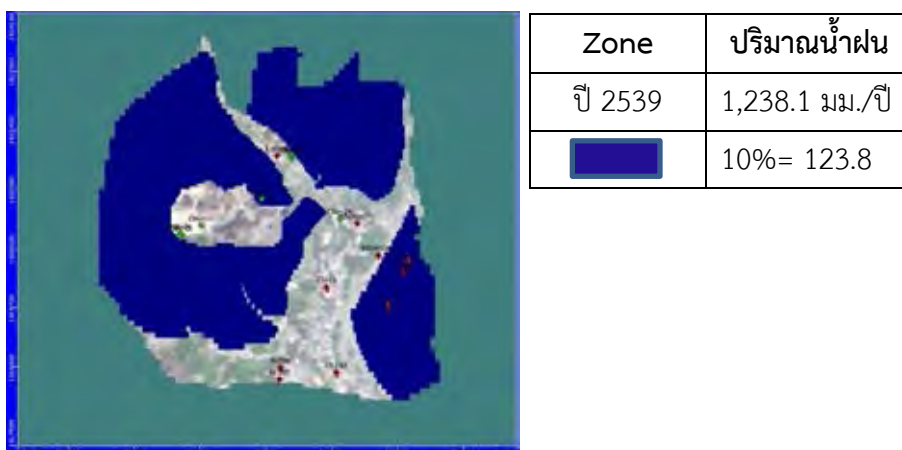
รูปที่ 4.6 แสดงบ่อสังเกตการณ์และบ่อสูบ ปี 2555

4.1.3 การกำหนดสภาวะขอบเขต (Boundary condition)

การกำหนดสภาวะขอบเขต เพื่อให้เหมือนกับสภาวะต่างๆ ในธรรมชาติซึ่งส่งผลต่อทิศทางการไหลและระดับน้ำ

4.1.3.1 การเติมน้ำ (Recharge)

กำหนดให้บริเวณที่เป็นภูเขาสูงเป็นบริเวณที่เติมน้ำเข้าสู่ระบบ โดยคิดเป็นร้อยละ 10 ของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนโดยในปี 2539 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน 1238.1 มม./ปี และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนในเดือน กุมภาพันธ์- มีนาคม, มีนาคม- เมษายน และเมษายน- พฤษภาคม ในปี 2555 คือ 28.8 มม.ต่อปี, 283.2 มม.ต่อปี และ 1084.8 มม.ต่อปี ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.7 แสดงการเติมน้ำในปี 2539



รูปที่ 4.8 แสดงการเติมน้ำในปี 2555

4.1.3.2 ทางระบายน้ำ (Drain)

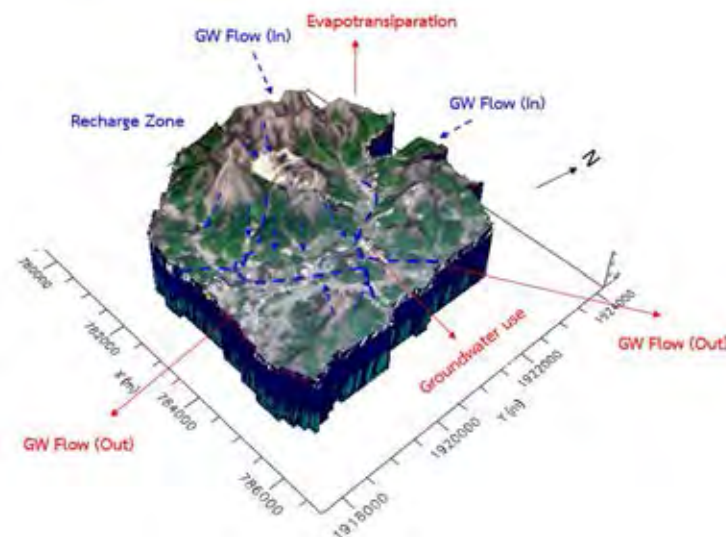
ลักษณะการระบายน้ำเป็นทางน้ำรูปกิ่งไม้ โดยห้วยฝุ่กมีน้ำไหลตลอดปี มีต้นน้ำมาจากบ้านนาหนองบง ไหลผ่านไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือลงสู่ห้วยน้ำฮวยซึ่งเป็นลำธารที่มีน้ำไหลตลอดปี โดยแต่ละกริดเซลล์มีค่าการระบายน้ำ 500 ตารางเมตรต่อวัน



รูปที่ 4.9 แสดงทางระบายน้ำในพื้นที่ศึกษา

4.2 จัดทำแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual model)

กำหนดให้บริเวณสันเขาสูงทางด้านทิศตะวันตกและทิศเหนือ ทิศใต้ เป็นสันปันน้ำ โดยจะไหลลงสู่บริเวณที่มีภูมิประเทศต่ำ

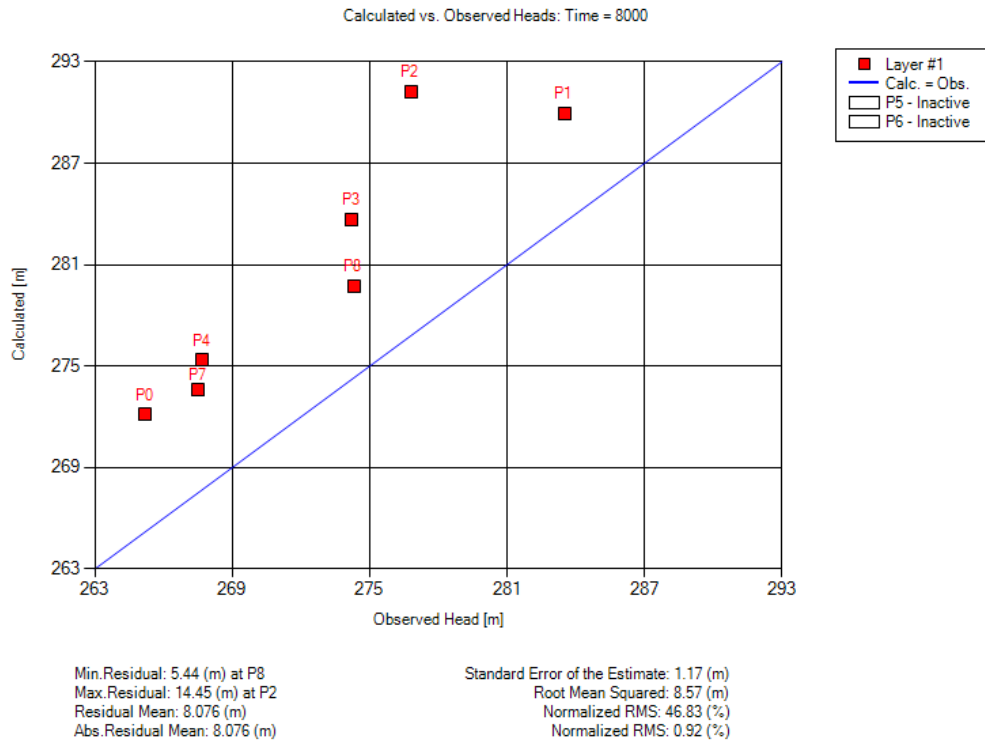


รูปที่ 4.10 แสดงแบบจำลองเชิงมโนทัศน์

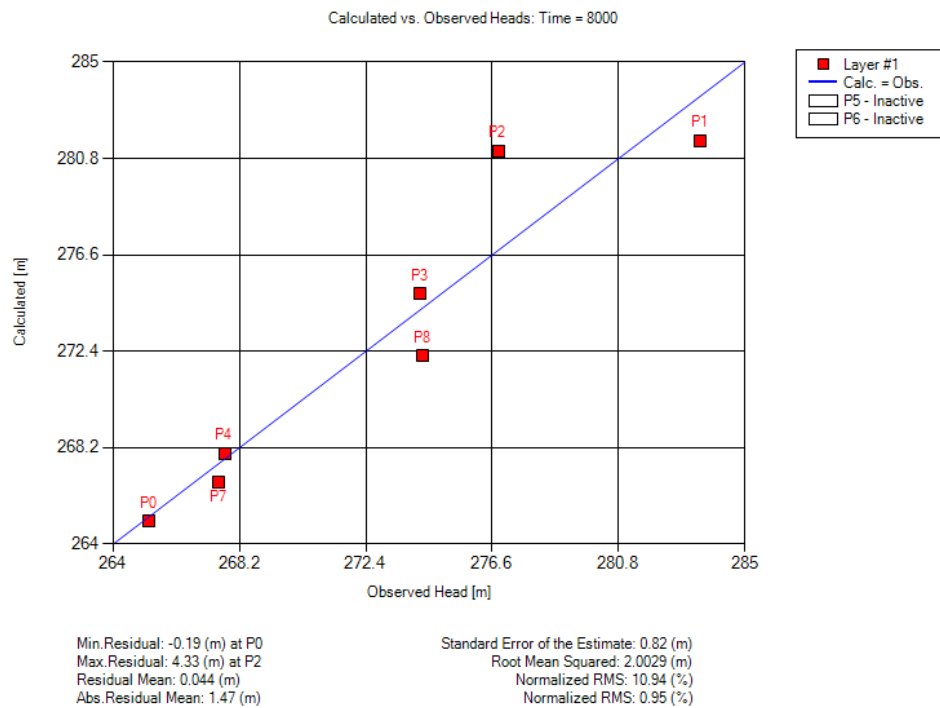
4.3 ผลการประมวลผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะคงที่

4.3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะคงที่ (Steady-state condition) เดือนมีนาคม ปี 2539

กำหนดให้ระดับน้ำคงที่ (Steady-state conditions) ระยะเวลา 8000 วัน (1 มี.ค. 2539 – 1 มี.ค. 2561) และชั้นน้ำมีความแตกต่างในการยอมให้น้ำซึมผ่านแตกต่างกัน (Heterogeneous aquifers) และค่าการนำชลศาสตร์ของหินมีค่าแตกต่างกันตามผลที่ได้จากการทดสอบในสนาม (Anisotropic aquifers) โดยได้ทำการใส่ค่าพารามิเตอร์ตามข้อมูลที่ได้จากการศึกษาของภาควิชา เทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2539) โดยในชั้นที่ 1 มีค่าการนำชลศาสตร์ในแนวราบ (K_x) ประมาณ 8.0 มม.ต่อวัน ถึง 1.0 เมตรต่อวัน (9.259×10^{-8} – 1.157×10^{-5} เมตรต่อวินาที) ค่าการนำชลศาสตร์ของหินในแนวดิ่ง (K_y) อยู่ระหว่าง 0.8 มม.ต่อวัน ถึง 10.0 ซม.ต่อวัน (4.629×10^{-8} – 5.785×10^{-6} เมตรต่อวินาที) และมีค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บตั้งแต่ 1×10^{-5} ถึง 0.1 โดยมีข้อมูลบ่อสูบทั้งหมด 10 บ่อ และบ่อสังเกตการณ์ 9 บ่อ โดยได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงกราฟเส้นตรงเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณระดับน้ำของโปรแกรม ในแกน x และค่าระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ (Observed groundwater level) ในแกน y ทั้งหมด 7 บ่อ พบว่าค่า Root Mean Squared (RMS) ของแบบจำลองอยู่ที่ 8.57 เมตร ดังรูปที่ 4.11 ภายหลังได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์เช่น ค่าการนำชลศาสตร์ของหิน และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ พบว่าค่าพารามิเตอร์จากการปรับเทียบมีความสอดคล้องกับฐานข้อมูลที่ได้จากภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2539) ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่แสดงกราฟเส้นตรงเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณระดับน้ำของโปรแกรม (Calculated groundwater level) ในแกน x และค่าระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ ในแกน y ทั้งหมด 8 บ่อ พบว่าค่า Root Mean Squared ของแบบจำลองอยู่ที่ 2.00 เมตร ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 แสดงกราฟผลการจำลองสถานะคงที่ก่อนการปรับเทียบ ปี 2539



รูปที่ 4.12 แสดงกราฟผลการจำลองสถานะคงที่หลังการปรับเทียบ ปี 2539

4.3.2 ทิศทางการไหลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะคงที่ (Steady-state condition) เดือนมีนาคม ปี 2539

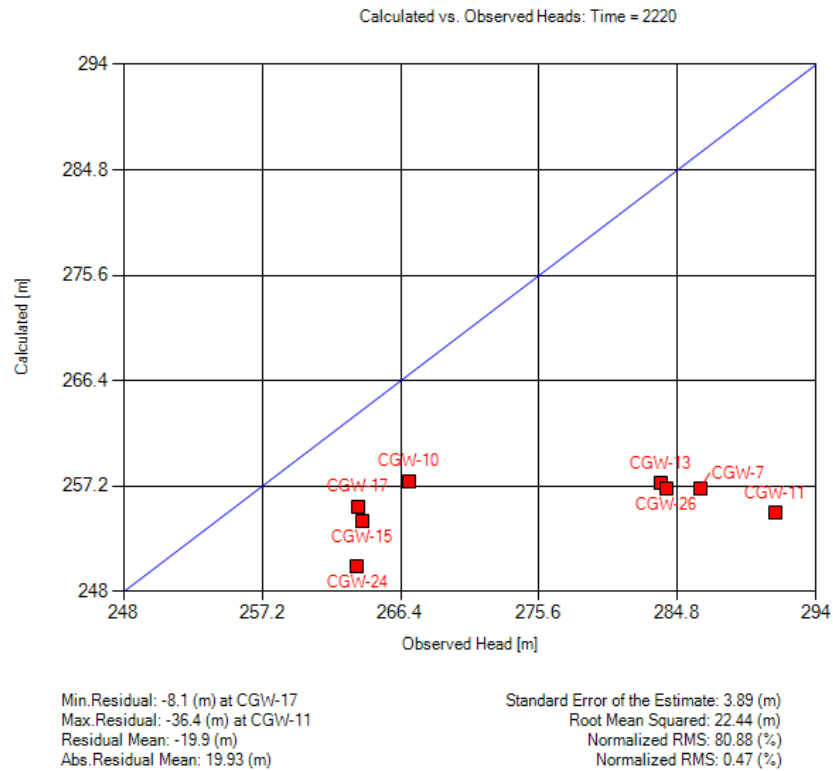
จากฐานข้อมูลภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2539) พบว่า ทิศทางการของน้ำจะมีการเคลื่อนที่ออกจากยอดภูทับฟ้าไปทางด้านทิศตะวันออก ทิศตะวันตกและทิศเหนือ และจากการจำลองในสภาวะคงที่เวลา 8000 วัน แบบจำลองมีทิศทางการไหลที่สอดคล้องกับฐานข้อมูลดังกล่าว คือมีทิศทางการไหลจากทิศตะวันตกสู่ทิศตะวันออกทราบได้จากเส้นระดับน้ำ (Head equipotential line) ที่มีค่าสูงในด้านตะวันตกและไล่ระดับลงทางด้านทิศตะวันออก ดังรูปที่ 4.13 เนื่องจากทางทิศตะวันตกมีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงมากกว่าทางด้านทิศตะวันออก ทำให้น้ำบาดาลมีทิศทางการไหลตามลักษณะดังกล่าว



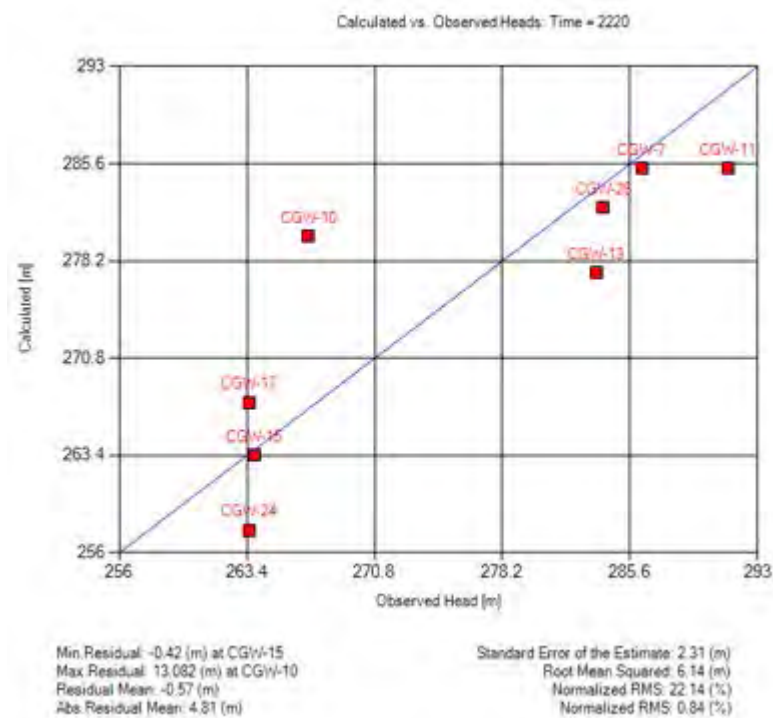
รูปที่ 4.13 แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ศึกษาจากผลการจำลองสภาวะคงที่เดือนมีนาคม ปี 2539

4.3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะคงที่ (Steady-state condition) เดือนกุมภาพันธ์ ปี 2555

กำหนดให้ระดับน้ำคงที่ (Steady-state conditions) ระยะเวลา 2,220 วัน (1 ก.พ. 2555 – 1 มี.ค. 2561) และชั้นน้ำมีความแตกต่างในการยอมให้น้ำซึมผ่านแตกต่างกัน (heterogeneous aquifers) และมีค่าการนำชลศาสตร์ มีค่าแตกต่างกันตามผลที่ได้จากการทดสอบในสนาม (anisotropic aquifers) โดยได้ทำการใส่ค่าพารามิเตอร์ตามข้อมูลที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะคงที่ ปี 2539 โดยมีข้อมูลบ่อสูบทั้งหมด 10 บ่อ และบ่อสังเกตการณ์ 8 บ่อ โดยได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงกราฟเส้นตรงเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณระดับน้ำของโปรแกรม (Calculated) ในแกน x และค่าระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ (Observed) ในแกน y ทั้งหมด 8 บ่อ พบว่าค่า Root Mean Squared ของแบบจำลองอยู่ที่ 22.44 เมตร ดังรูปที่ 4.14 ภายหลังได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์เช่น มีค่าการนำชลศาสตร์ และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่แสดงกราฟเส้นตรงเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณระดับน้ำของโปรแกรม (Calculated groundwater level) ในแกน x และค่าระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ (Observed groundwater level) ในแกน y ทั้งหมด 8 บ่อ พบว่าค่า Root Mean Squared ของแบบจำลองอยู่ที่ 6.14 เมตร ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 แสดงกราฟผลการจำลองสภาวะคงที่ก่อนการปรับเทียบ เดือนกุมภาพันธ์ ปี 2555



รูปที่ 4.15 แสดงกราฟผลการจำลองสภาวะคงที่หลังการปรับเทียบ เดือนกุมภาพันธ์ ปี 2555

4.3.2 ทิศทางการไหลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะคงที่ (Steady-state condition) เดือนกุมภาพันธ์ ปี 2555

จากฐานข้อมูลภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2539) พบว่า ทิศทางการของน้ำจะมีการเคลื่อนที่ออกจากยอดภูทับฟ้าไปทางด้านทิศตะวันออก ทิศตะวันตกและทิศเหนือ จากการจำลองในสภาวะคงที่เวลา 2220 วัน แบบจำลองมีทิศทางการไหลที่สอดคล้องกับฐานข้อมูลดังกล่าว คือมีทิศทางการไหลจากทิศตะวันตกสู่ทิศตะวันออกทราบได้จากเส้นระดับน้ำ (Head equipotential line) ที่มีค่าสูงในด้านตะวันตกและไล่ระดับลงทางด้านทิศตะวันออก ดังรูปที่ 4.16 เนื่องจากทางทิศตะวันตกมีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงมากกว่าทางด้านทิศตะวันออก ทำให้น้ำบาดาลมีทิศทางการไหลตามลักษณะดังกล่าวและมีทิศทางการไหลจากบริเวณที่เป็นสันเขาลงสู่บริเวณที่มีภูมิประเทศต่ำกว่า ซึ่งบริเวณสีเขียวแสดงให้เห็นถึงการเกิดสภาวะเซลล์แห้ง (Dry cell) เนื่องจากบริเวณนั้นมีความลาดชันสูงน้ำจึงไหลออกเร็วจนเกิดการแห้งในชั้นน้ำด้านบน

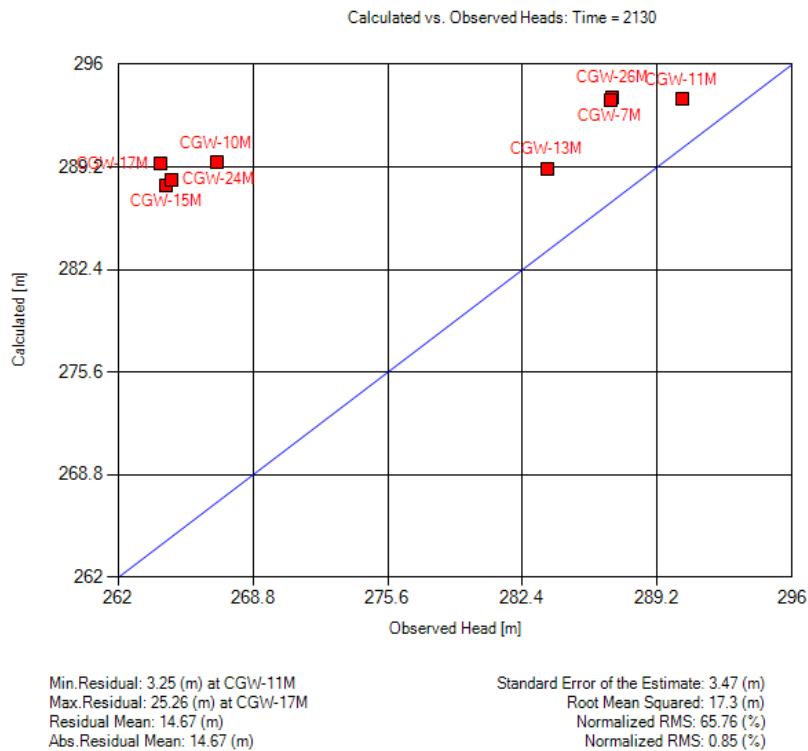


รูปที่ 4.16 แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ศึกษาจากผลการจำลองสภาวะคงที่เดือนกุมภาพันธ์ ปี 2555

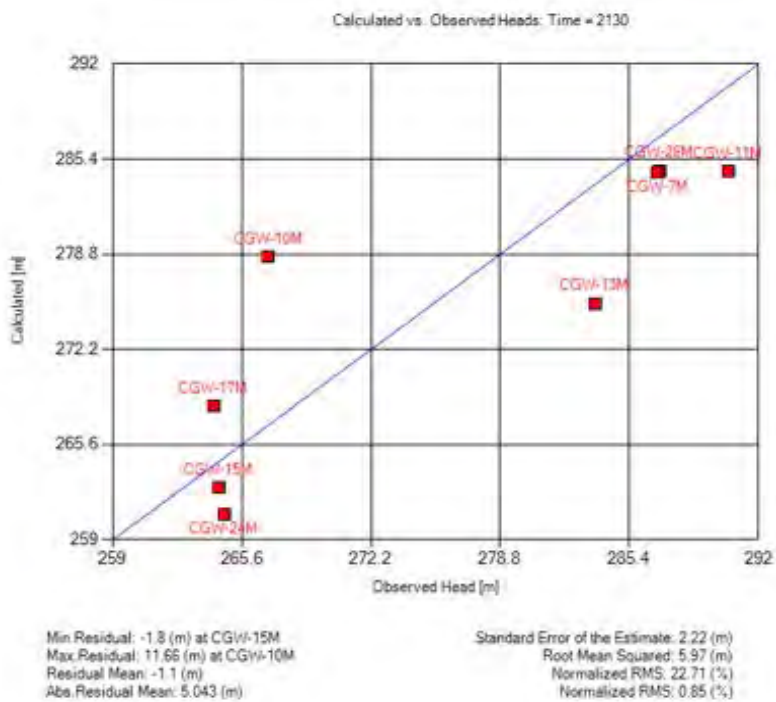
4.3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะคงที่ (Steady-state condition) เดือนพฤษภาคม ปี 2555

กำหนดให้ระดับน้ำคงที่ (Steady-state conditions) ระยะเวลา 2,130 วัน (1 พ.ค. 2555 – 1 มี.ค. 2561) และชั้นน้ำมีความแตกต่างในการยอมให้น้ำซึมผ่านแตกต่างกัน (heterogeneous aquifers) และค่าการซึมผ่านของน้ำบาดาลมีค่าแตกต่างกันตามผลที่ได้จากการทดสอบในสนาม (anisotropic aquifers) โดยได้ทำการใส่ค่าพารามิเตอร์ตามข้อมูลที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะคงที่ ปี 2539 โดยมีข้อมูลบ่อสูบทั้งหมด 10 บ่อ และบ่อสังเกตการณ์ 8 บ่อ โดยได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงกราฟเส้นตรงเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณระดับน้ำของโปรแกรม (Calculated) ในแกน x และค่าระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ (Observed) ในแกน y ทั้งหมด 8 บ่อ พบว่าค่า Root Mean Squared ของแบบจำลองอยู่ที่ 17.3 เมตร ดังรูปที่ 4.17

ภายหลังได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์เช่น มีค่าการนำชลศาสตร์ และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่แสดงกราฟเส้นตรงเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณระดับน้ำของโปรแกรม (Calculated groundwater level) ในแกน x และค่าระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ (Observed groundwater level) ในแกน y ทั้งหมด 8 บ่อ พบว่าค่า Root Mean Squared ของแบบจำลองอยู่ที่ 5.97 เมตร ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 แสดงกราฟผลการจำลองสถานะคงที่ก่อนการปรับเทียบ เดือนพฤษภาคม ปี 2555



รูปที่ 4.18 แสดงกราฟผลการจำลองสถานะคงที่หลังการปรับเทียบ เดือนพฤษภาคม ปี 2555

4.3.5 ทิศทางการไหลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะคงที่ (Steady-state condition) เดือนพฤษภาคม ปี 2555

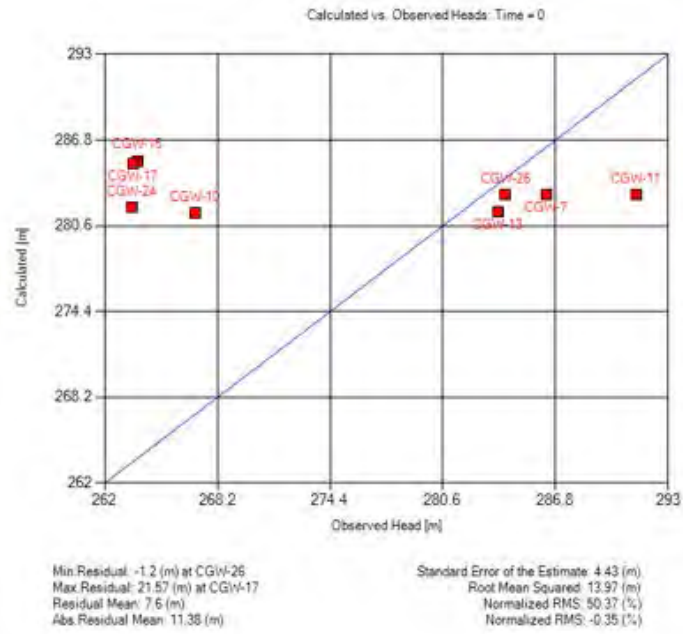
จากฐานข้อมูลภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2539) พบว่า ทิศทางการของน้ำจะมีการเคลื่อนที่ออกจากยอดภูทับฟ้าไปทางด้านทิศตะวันออก ทิศตะวันตกและทิศเหนือ จากการจำลองในสภาวะคงที่เวลา 2130 วัน แบบจำลองมีทิศทางการไหลที่สอดคล้องกับฐานข้อมูลดังกล่าว คือมีทิศทางการไหลจากทิศตะวันตกสู่ทิศตะวันออกทราบได้จากเส้นระดับน้ำ (Head equipotential line) ที่มีค่าสูงในด้านตะวันตกและไล่ระดับลงทางด้านทิศตะวันออก ดังรูปที่ 4.19 เนื่องจากทางทิศตะวันตกมีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงมากกว่าทางด้านทิศตะวันออก ทำให้น้ำบาดาลมีทิศทางการไหลตามลักษณะดังกล่าวและมีทิศทางการไหลจากบริเวณที่เป็นสันเขาลงสู่บริเวณที่มีภูมิประเทศต่ำกว่า ซึ่งบริเวณสีเขียวแสดงให้เห็นถึงการเกิดสภาวะเซลล์แห้ง (Dry cell) เนื่องจากบริเวณนั้นมีความลาดชันสูงน้ำจึงไหลออกเร็วจนเกิดการแห้งในชั้นน้ำด้านบน



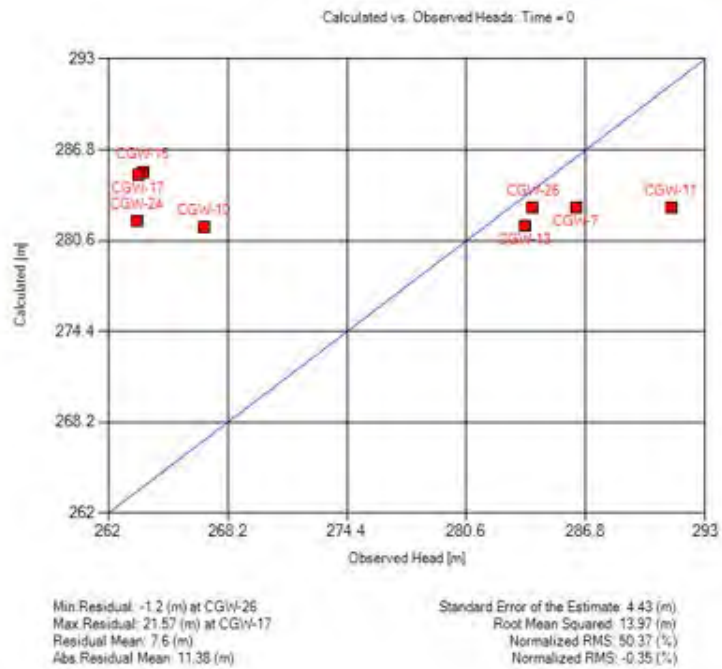
รูปที่ 4.19 แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ศึกษาจากผลการจำลองสภาวะคงที่เดือนพฤษภาคม ปี 2555

4.4 ผลการประมวลผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา

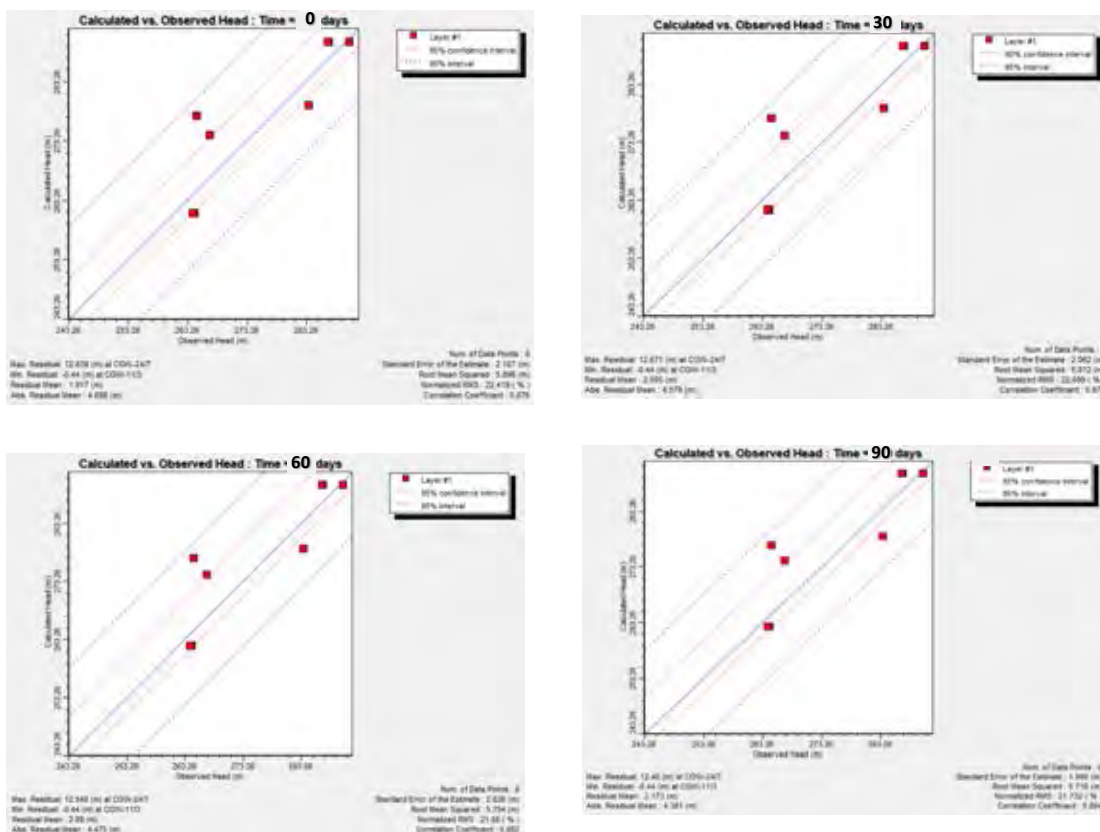
ในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยกำหนดให้แบบจำลองมีระยะเวลา 90 วัน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์จนถึงพฤษภาคม ปี 2555 โดยมีค่าการเติมน้ำ (Recharge) ร้อยละ 10 ของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนและได้ทำการใส่ค่าพารามิเตอร์ตามข้อมูลที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะคงที่ ปี 2555 โดยมีข้อมูลบ่อสูบทั้งหมด 10 บ่อ และบ่อสังเกตการณ์ 8 บ่อ โดยได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงกราฟเส้นตรงเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณระดับน้ำของโปรแกรม (Calculated) ในแกน x และค่าระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ (Observed) ในแกน y ทั้งหมด 8 บ่อ พบว่าค่า Root Mean Squared ของแบบจำลองในวันที่ 0 และ 90 อยู่ที่ 13.97 เมตร ดังรูปที่ 4.20 และดังรูปที่ 4.21 ตามลำดับ ภายหลังจากได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์เช่น มีค่าการนำชลศาสตร์ และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่แสดงกราฟเส้นตรงเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณระดับน้ำของโปรแกรม (Calculated groundwater level) ในแกน x และค่าระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ (Observed groundwater level) ในแกน y ทั้งหมด 8 บ่อ พบว่าค่า Root Mean Squared ของแบบจำลองจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.20 แสดงกราฟผลการจำลองสถานะคงที่ก่อนการปรับเทียบ เวลา 0 วัน ปี 2555



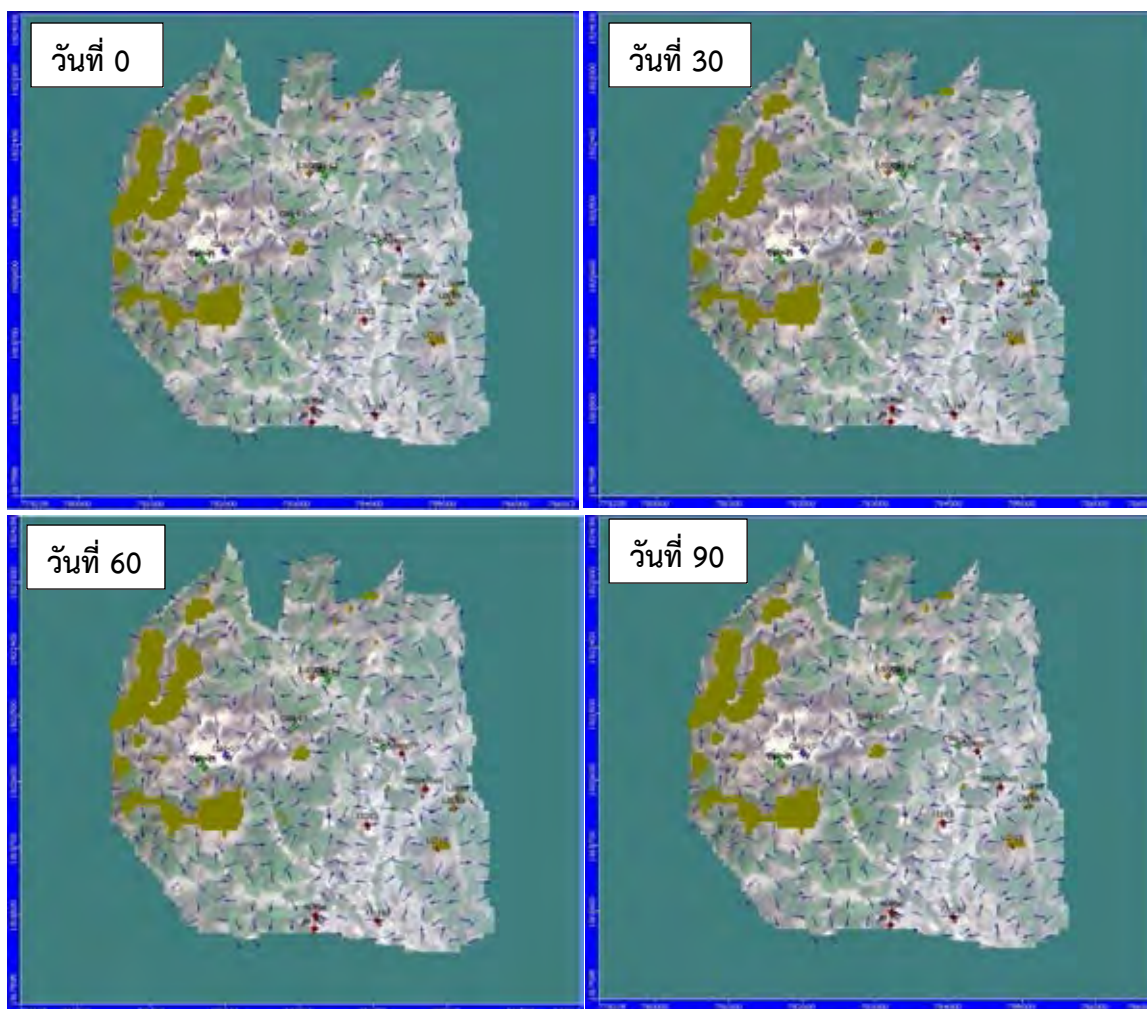
รูปที่ 4.21 แสดงกราฟผลการจำลองสถานะคงที่หลังการปรับเทียบ เวลา 90 วัน ปี 2555



รูปที่ 4.22 แสดงกราฟผลการจำลองสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลาหลังการปรับเทียบ เวลา 0-90 วัน ปี 2555

4.4.1 ทิศทางการไหลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสภาวะเปลี่ยนแปลง

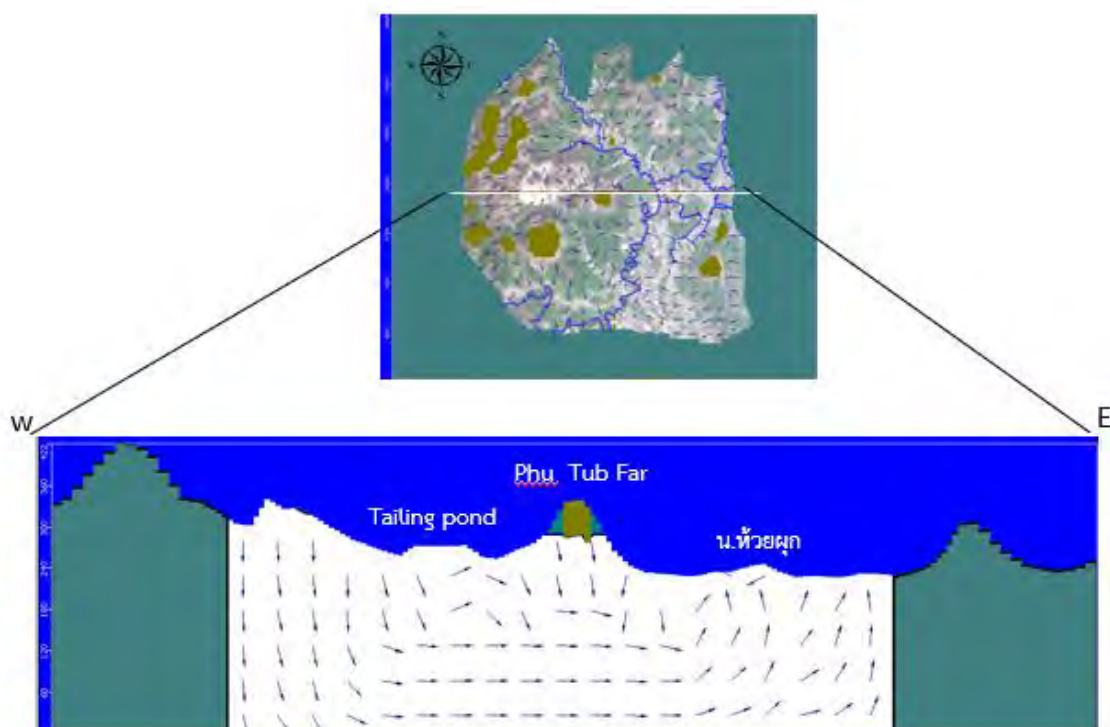
จากฐานข้อมูลภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2539) พบว่า ทิศทางการของน้ำจะมีการเคลื่อนที่ออกจากยอดภูทับฟ้าไปทางด้านทิศตะวันออก ทิศตะวันตกและทิศเหนือ จากการจำลองในสภาวะคงที่เวลา 2130 วัน แบบจำลองมีทิศทางการไหลที่สอดคล้องกับฐานข้อมูลดังกล่าว คือมีทิศทางการไหลจากทิศตะวันตกสู่ทิศตะวันออกทราบได้จากเส้นระดับน้ำ (Head equipotential line) ที่มีค่าสูงในด้านตะวันตกและไล่ระดับลงทางด้านทิศตะวันออก เนื่องจากทางทิศตะวันตกมีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงมากกว่าทางด้านทิศตะวันออก ทำให้น้ำบาดาลมีทิศทางการไหลตามลักษณะดังกล่าวและมีทิศทางการไหลจากบริเวณที่เป็นสันเขาลงสู่บริเวณที่มีภูมิประเทศต่ำกว่า ซึ่งบริเวณสีเขียวแสดงให้เห็นถึงการเกิดสภาวะเซลล์แห้ง (Dry cell) เนื่องจากบริเวณนั้นมีความลาดชันสูงน้ำจึงไหลออกเร็วจนเกิดการแห้งในชั้นน้ำด้านบน ซึ่งมีทิศทางการไหลคล้ายกับในสภาวะคงที่ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 แสดงทิศทางการไหลในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เวลาต่างๆ

4.5 การวิเคราะห์ทิศทางการไหลผ่านบริเวณบ่อกักเก็บกากแร่ (Tailing ponds)

จากแบบจำลองการไหลสภาวะเปลี่ยนแปลงวันที่ 90 พบว่า น้ำที่ไหลผ่านบริเวณบ่อกักเก็บกากแร่ (Tailing Ponds) มีทิศทางการไหลของน้ำจะไหล(ลูกศร) จากบริเวณที่มีความสูงกว่าในทางด้านตะวันตกลงมาสู่ที่ระดับต่ำกว่าในทิศตะวันออก ในทิศทางค่อนข้างขนานไปกับแต่ละชั้นดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แสดงทิศทางการไหลบริเวณรอบบ่อกักเก็บกากแร่

4.6 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางชลศาสตร์ต่างๆ (Hydraulic properties)

4.6.1 ผลการวิเคราะห์สภาพการนำชลศาสตร์ (Hydraulic Conductivity, K)

ค่าสภาพการนำชลศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ พบว่า มีค่าสภาพการนำชลศาสตร์ในแนวราบอยู่ในช่วง 0.518400 ถึง 0.00001 เมตรต่อวัน โดยชั้นที่ 1 เป็นชั้นที่มีค่าสภาพการนำชลศาสตร์มากที่สุด และชั้นที่ 3 เป็นชั้นที่มีค่าสภาพการนำชลศาสตร์น้อยที่สุด ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าสภาพการนำชลศาสตร์ที่ได้จากการปรับเทียบ

ชั้นที่	Zone	พารามิเตอร์ที่ปรับ	ค่าตั้งต้น (m/day)	ค่าจากการปรับเทียบ (m/day)
1	1	K_x	0.01	0.3888 – 0.00864
1	1	K_y	0.004	0.0432 – 0.00432
1	1	K_z	0.0008	0.0432 – 0.000864
2	2	K_x	0.5184	0.0084672 – 0.0864
2	2	K_y	0.5184	0.005184 – 0.00864
2	2	K_z	0.05184	0.005184
2	3	K_x	0.0864	0.3456 – 0.0864
2	3	K_y	0.0864	0.0005184 – 3.456
2	3	K_z	8.64E-16	0.0003456 – 0.005184
3	4	K_x	8.64E-16	0.00000864 -0.864
3	4	K_y	8.64E-16	0.00000864 -0.432
3	4	K_z	8.64E-16	0.00000864 -1.728

ชั้นที่	Zone	พารามิเตอร์ที่ปรับ	ค่าตั้งต้น (m/day)	ค่าจากการปรับเทียบ (m/day)
1	5	K_x	0.51840	0.00006048 – 0.05184
1	5	K_y	0.51840	0.0005184 – 0.005184
1	5	K_z	0.00003	0.005184 – 0.00172
1	6	K_x	0.00001	0.003456 – 0.02592
1	6	K_y	0.00001	0.00864 – 0.00864
1	6	K_z	0.00001	0.0864
1	7	K_x	0.08640	0.000432 – 0.000864
1	7	K_y	0.08640	0.0003456 – 0.3456
1	7	K_z	0.08640	0.00864 – 4.32

4.6.2 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storativity, S)

จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (S_s) และค่าประสิทธิภาพการจ่ายน้ำมีค่าที่เหมาะสมตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจากการปรับเทียบ

ชั้นที่	Zone	พารามิเตอร์ที่ปรับ	ค่าตั้งต้น	ค่าจากการปรับเทียบ
1	1	S_s	1.00E-5 1/m	0.01 1/m
1	1	S_y	1.00E-5	0.2
2	2	S_s	1.00E-5 1/m	1E-5 1/m
2	2	S_y	1.00E-5	0.2
2	3	S_s	1.00E-5 1/m	0.1 1/m
2	3	S_y	1.00E-5	0.05

4.7 การวิเคราะห์สมดุลน้ำของแบบจำลอง (Zone Budget)

จากข้อมูลสมดุลน้ำของทุกโซนดังตารางที่ 4.7-4.9 พบว่า ทุกชั้นน้ำมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างน้ำเข้า-น้ำออกระหว่างชั้น โดยพบว่าโซนที่ 1 (ชั้นที่ 1) เป็นโซนที่มีปริมาณน้ำไหลเข้า-ออกมากที่สุดเนื่องจากเป็นบริเวณที่ได้รับการเติมน้ำจากผิวดินโดยตรง ตามมาด้วยโซนที่ 2 และ 3 (ชั้นที่ 2) ตามลำดับ โดยแสดงรูปโซนสมดุลน้ำตามรูปที่ 4.25-4.27 และโซนที่มีอัตราการไหลออกของน้ำบาดาลเนื่องมาจากการสูบน้ำมากที่สุด คือ โซนที่ 1 ด้วยอัตรา 220.75 ลบ.ม.ต่อวัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าบ่อส่วนมากในพื้นที่สูบน้ำจากโซนที่ 1 เป็นหลัก ตามมาด้วยโซนที่ 2 ด้วยอัตรา 141.65 ลบ.ม.ต่อวัน

ตารางที่ 4.7 แสดงสมดุลน้ำในโซนที่ 1

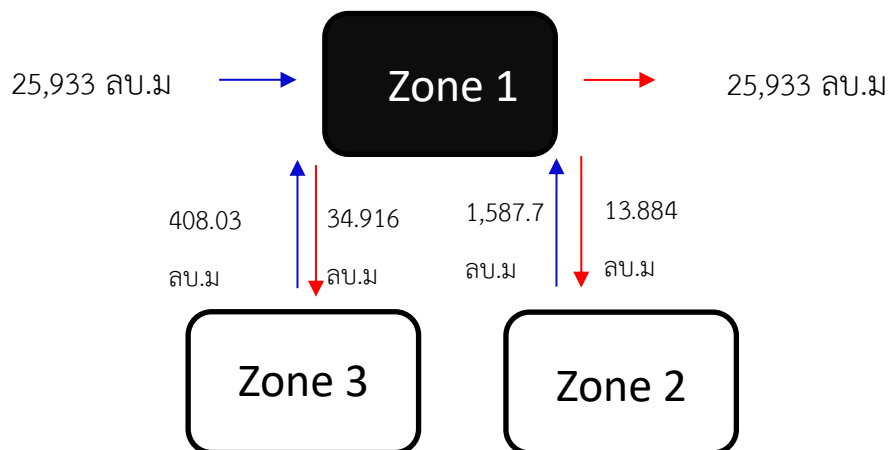
โซนที่ 1	แหล่งกักเก็บ	บ่อ	การเติมน้ำ	โซนที่ 2	โซนที่ 3	รวม
น้ำเข้า (ลบ.ม/วัน)	19,283	-	4,653.6	1,587.7	408.03	25,933
น้ำออก (ลบ.ม/วัน)	25,663	220.75	-	13.884	34.916	25,933

ตารางที่ 4.8 แสดงสมดุลน้ำในโซนที่ 2

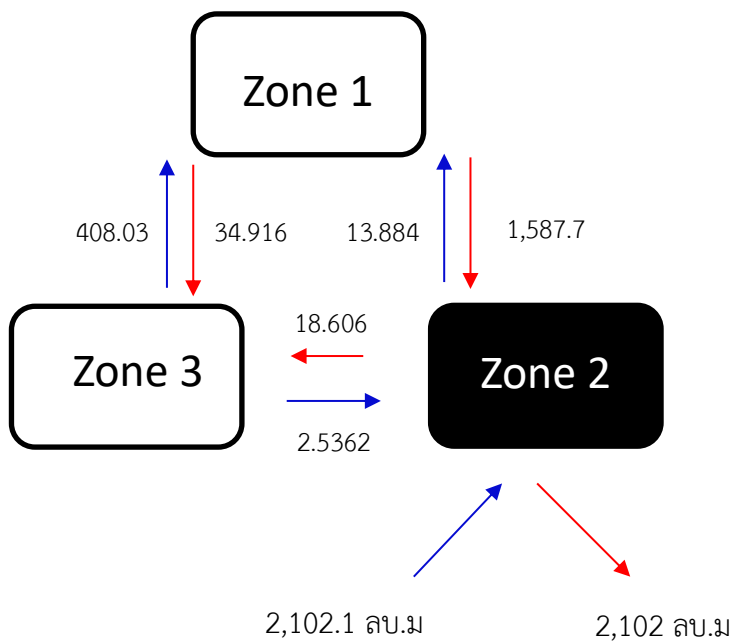
โซนที่ 2	แหล่งกักเก็บ	บ่อ	การเติมน้ำ	โซนที่ 1	โซนที่ 3	รวม
น้ำเข้า (ลบ.ม/วัน)	1,701.8	-	383.95	13.884	2.5362	2,102.1
น้ำออก (ลบ.ม/วัน)	354.02	141.65	-	1,587.7	18.606	2102

ตารางที่ 4.9 แสดงสมดุลน้ำในโซนที่ 3

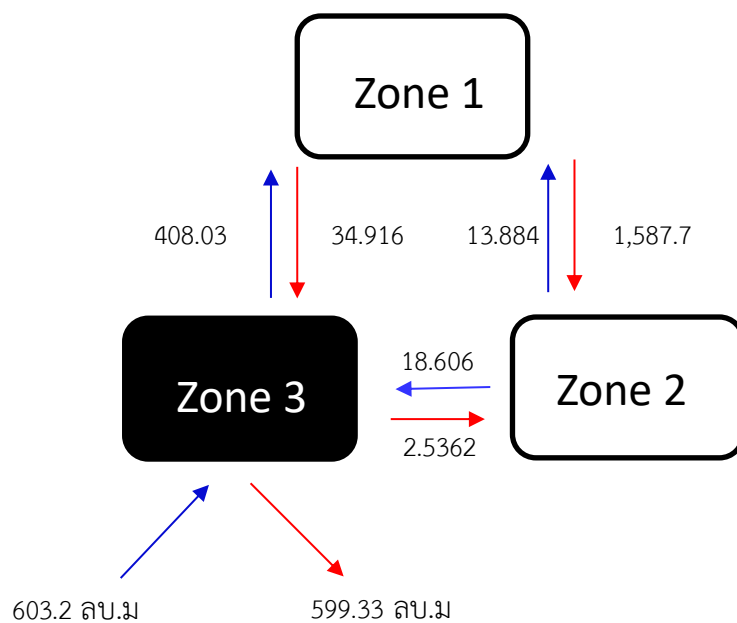
โซนที่ 3	แหล่งกักเก็บ	บ่อ	การเติมน้ำ	โซนที่ 1	โซนที่ 2	รวม
น้ำเข้า (ลบ.ม/วัน)	406.3	-	143.38	34.916	18.606	603.2
น้ำออก (ลบ.ม/วัน)	188.76	-	-	408.03	2.5362	599.33



รูปที่ 4.25 แสดงสมดุลน้ำในโซนที่ 1



รูปที่ 4.26 แสดงสมดุลน้ำในโซนที่ 2



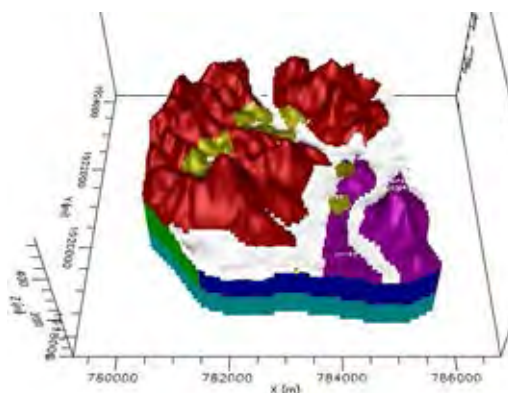
รูปที่ 4.27 แสดงสมดุลน้ำในโซนที่ 3

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ







5.1 สรุปผลการศึกษา

1. น้ำบาดาลบริเวณรอบเหมืองแร่ทองคำทุ่งคำ มีทิศทางการไหลจากทิศตะวันตกสู่ทิศตะวันออกเป็นหลักและมีทิศทางการไหลจากบริเวณที่เป็นสันเขาของสุบริเวณที่มีภูมิประเทศต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual Model)
2. ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในหินแต่ละชนิดในแนวราบอยู่ในช่วง 0.518400 ถึง 0.00001 เมตรต่อวันมีความสอดคล้องกับ Domenico and Schwartz (1990) และการศึกษาของมหาวิทยาลัยขอนแก่น (2539) ตามตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงค่านำชลศาสตร์ของหินในแต่ละชั้น

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าการนำชลศาสตร์

สี	หน่วยหิน	Domenico and Schwartz, 1990 (m/day)	Kx (m/day)
	Qa	0.000000864 – 0.5184	0.008000
	Pcl	0.000000864 - 0.5184	0.518400
	Vc	0.0006192 – 4.4928	0.086400
	P3	2.5E-9 – 0.5184	0.51840
	P2	2.5E-9 – 0.5184	0.00001
	PTRv	0.0006192 – 4.4928	0.08640

3.ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นน้ำต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 1E-5 ถึง 0.05 1/เมตร

4.จากข้อมูลสมดุลน้ำในแต่ละชั้น พบว่า ทุกชั้นน้ำจะมีปฏิสัมพันธ์ของน้ำบาดาลที่เข้าและออกระหว่างชั้น โดยชั้นที่อยู่ด้านบนจะเติมน้ำลงสู่ชั้นล่าง โดยโซนที่มีอัตราการไหลออกของน้ำบาดาลเนื่องมาจากบ่อสูบน้ำมากที่สุด คือ โซนที่ 1 ด้วยอัตรา 220.75 ลบ.ม.ต่อวัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าบ่อส่วนมากในพื้นที่สูบน้ำจากโซนที่ 1 เป็นหลัก ตามมาด้วยโซนที่ 2 ด้วยอัตรา 141.65 ลบ.ม.ต่อวัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1.ควรมีการทดสอบหาค่าการนำชลศาสตร์ในภาคสนามนำมาเปรียบเทียบเพื่อให้แบบจำลองมีความถูกต้องมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

ภาควิชาเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ลักษณะสภาพทางอุทกธรณีวิทยาและแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่เหมืองแร่ทองคำ บ้านนาหนองบง อ.วังสะพุง จ.เลย. บริษัทสินธนา รีซอร์ส จำกัด และบริษัททุ่งคำ, 2539.

10 ปี เหมืองทองคำ บริษัท ทุ่งคำ จังหวัดเลย,
<http://oknation.nationtv.tv/blog/pasalarksee/2014/05/19/entry-2>, accessed November 14, 2017.

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม

อรุณ ลูกจันทร์ และคณะ. 2551. สมดุลน้ำใต้ดินและปริมาณน้ำพลอตภัยในแอ่งหัดใหญ่ จังหวัดสงขลา, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7, หน้า 608-613.

Anderson, M.P., and Woessner, W.W., 2002. Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

Koch, M., P. Arlai, and A. Lukjan (2012) Modeling Investigation on the Future Permissible Yield in Upper Chiang Rai Aquifers System. Procedia Engineering 32(Supplement C). ISEEC: 69–76.

Naseem, U.S. , Umar, R, and Ahmed, S. 2016. Assessment of Groundwater Quality of Major Industrial City of Central Ganga Plain, Western Uttar Pradesh, India through Mass Transport Modeling Using Chloride as Contaminant. Groundwater for Sustainable Development 2–3 (Supplement C): 154–168.

Schlumberger Water Services. Visual MODFLOW Premium Demo Tutorial (2010).