



รายงานการวิจัย

รูปแบบการกักเก็บน้ำใต้ดินเพื่อบรรเทาภาวะแห้งแล้งในลุ่มน้ำมูลตอนบน

Groundwater harvesting patterns for mitigating drought in
the upper Mun River Basin

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-712-60-12-27



รายงานการวิจัย

รูปแบบการกักเก็บน้ำใต้ดินเพื่อบรรเทาภาวะแห้งแล้งในลุ่มน้ำมูลตอนบน

Groundwater harvesting patterns for mitigating drought in
the upper Mun River Basin

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เซาว์น ทิรัญติยะกุล

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณพ.ศ. 2560

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กรกฎาคม 2562

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ศึกษาขอขอบคุณคณาบดีคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่ สถานีทดลองฝึกอบรมเกษตรร้อยเอ็ด ต.โพธิ์สัย อ.ศรีสมเด็จ จ.ร้อยเอ็ด เป็นพื้นที่ศึกษา เจาะสำรวจชั้นดินและติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับน้ำ รอบบ่อเก็บน้ำ และขอบคุณเจ้าหน้าที่ของสถานีทดลองฝึกอบรมเกษตรร้อยเอ็ด ที่อำนวยความสะดวกต่าง ๆ

สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน สำนักงานอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยา

ขอขอบคุณผู้มีส่วนช่วยทำให้งานวิจัยนี้ดำเนินการไปด้วยความเรียบร้อย เช่น ผู้ช่วยวิจัยและนักศึกษาบัณฑิตศึกษา นายชวนากร สีดาชมภู นางสาวหฤทัย มาศโค้ง และบุคลากรของสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บุคลากรของสำนักงานคณบดี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2560



บทคัดย่อ

โครงการธนาคารน้ำใต้ดินที่สถานีทดลองฝึกรวมเกษตรร้อยเอ็ดคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จัดตั้งขึ้นเพื่อบรรเทาภาวะแห้งแล้งในพื้นที่ หลักการทำงานโดยใช้การเติมน้ำผิวดินผ่านสระเก็บน้ำจำนวน 3 สระ ที่ความลึกจากผิวดินไม่มากนักซึ่งเป็นชั้นอุ้มน้ำไร้ความดัน (Unconfined aquifer) เพื่อเพิ่มปริมาณของน้ำใต้ดินให้เพียงพอต่อการสูบขึ้นมาใช้งาน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา สำนวน วิเคราะห์ข้อมูลภูมิประเทศ ชั้นดิน ระดับน้ำใต้ดินเพื่อประมาณทิศทางการไหลปริมาณน้ำที่เติม (Recharge) ให้กับชั้นอุ้มน้ำ และปริมาณน้ำที่ไหลออก (Discharge) จากชั้นอุ้มน้ำไร้แรงดัน โดยใช้หลักการสมดุลของน้ำของสระเก็บน้ำและชั้นอุ้มน้ำ ตรวจสอบสมดุลน้ำของสระน้ำจากการเติมน้ำใต้ดินผ่านสระเติมน้ำ ที่รับน้ำผิวดินมาจากฝน ปริมาณน้ำในสระเก็บน้ำขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างปริมาณน้ำผิวดินที่ไหลลงสู่สระ ความสามารถในการซึมผ่านและ ศักยภาพการระเหย ผลของการศึกษาพบว่าน้ำจากการไหลออกผิวดิน เพิ่มปริมาตรของน้ำในสระเก็บน้ำ แต่พฤติกรรมการไหลของน้ำใต้ดินมีลักษณะรับน้ำใต้ดินเข้ามาในสระน้ำมากกว่า การเติมน้ำผิวดินลงไป ในชั้นอุ้มน้ำของน้ำใต้ดิน



Abstract

Groundwater Bank Project in Roiet Agricultural Training Center, Faculty of Agriculture, Khonkaen University located at Ban Posai, Posai, Seesomdej District, Roiet Province. This project has been implemented to relief drought impact for this area. The project 's principle is to recharging surface water to unconfined aquifer through 3 ponds with shallow depth. , where underlying soil layer is Semipervious Strata or Impervious Strata. Groundwater flow in this layer is driven by gravity. Piezometric level of an observation well is the same level as the level in ponds. Water levels are varying with time depending on the amount of recharge rate and discharge” rate in order to increase enough groundwater storage for pumping utilization . The aims of this study is to explore and analyze of topographic data, soil layer, groundwater level ; to estimate the flow direction and the rate of groundwater recharge and discharge by using balance water concept of the pond and the aquifer. Water balance of the pond is investigated through surface runoff from rainfall, pond water storage, soil-water content, permeability and potential of evaporation. Study results show that water from surface runoff increase the pond storage. However, the amount of groundwater discharge to the pond is higher than storage pond recharge to unconfined aquifer.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
2.1 วิธีการเก็บเกี่ยวน้ำ	4
2.2 คุณสมบัติของชั้นอุ้มน้ำ	6
2.3 การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน.....	7
2.4 แบบจำลองน้ำบาดาล.....	7
2.4.1 แบบจำลอง MODFLOW.....	7
2.4.2 แบบจำลอง Groundwater Modeling System	8
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	14
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	18
3.2.1 ทำแผนที่ลุ่มน้ำของสระเก็บน้ำ.....	19
3.2.2 เจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างชั้นดิน.....	22
3.2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของชั้นดินในห้องปฏิบัติการ.....	23
3.2.4 เก็บข้อมูลระดับน้ำ.....	25
3.2.5 วิเคราะห์ข้อมูลทิศทางและปริมาณการไหล.....	25
3.2.6 สมดุลของน้ำในสระเติมน้ำ.....	25
3.2.7 การใช้แบบจำลองทำนายปริมาณการ Recharge.....	27
บทที่ 4 ผลการวิจัย	

4.1 แผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงของพื้นที่ศึกษา.....	28
4.2 คุณสมบัติของชั้นดิน.....	29
4.3 แผนที่แสดงทิศทางและปริมาณการไหลของน้ำใต้ดิน.....	39
4.4 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity).....	45
4.5 อัตราการไหลของน้ำใต้ดิน.....	47
4.6 สมดุลของน้ำในสระเติมน้ำ.....	48
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยตีพิมพ์ จำนวน 1 บทความ.....	60
ประวัติผู้วิจัย	72



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้าที่
4.1	ชนิดของดินที่ได้จากการจำแนกดินด้วยวิธี Unified soil classification	38
4.2	ค่าความลาดทางชลศาสตร์ บอกลักษณะทางการไหลของน้ำใต้ดิน	39
4.3	สัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ความลึกต่าง ๆ	46
4.4	พื้นที่หน้าตัดของดินที่น้ำไหลผ่าน (A) ระหว่างบ่อสังเกตการณ์ หน่วย: ตารางเมตร	47
4.5	อัตราการไหลเข้าและอัตราการไหลออกของทั้ง 3 บ่อ ที่ระยะต่าง ๆ	48
4.6	สัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (Runoff coefficient)	49
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ พื้นที่ผิวและปริมาณน้ำ สระ W2	49
4.8	สมดุลของน้ำในสระ W2	50
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ พื้นที่ผิวและปริมาณน้ำ สระ W3	51
4.10	สมดุลของน้ำในสระ W3	52
5.1	ปริมาณน้ำที่เติมและไหลออกจากชั้นอุ้มน้ำสระน้ำ W2	54
5.2	ปริมาณน้ำที่เติมและไหลออกจากชั้นอุ้มน้ำสระน้ำ W3	55

สารบัญรูป

รูปที่		หน้าที่
2.1	การเติมน้ำใต้ดินระดับตื้นผ่านสระเติมน้ำ	4
2.2	การเติมน้ำใต้ดินระดับลึกผ่านบ่ออัดน้ำ	5
2.3	การเติมน้ำใต้ดินในพื้นที่ที่มีน้ำน้อยผ่านฝายเติมน้ำ	5
2.4	การเติมน้ำใต้ดินซึ่งมีความลึกมากผ่านสันทราย	6
2.5	การเติมน้ำใต้ดินแบบ Aquifer Storage Recovery	9
2.6	การเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง	10
3.1	(ก) พื้นที่ศึกษาสถานีทดลองและฝักอบกรมเกษตรกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ข) ขอบเขตพื้นที่ศึกษา	14
3.2	บ่อน้ำที่ 1 ในสถานีทดลองและฝักอบกรมเกษตรกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	16
3.3	บ่อน้ำที่ 2 ในสถานีทดลองและฝักอบกรมเกษตรกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	16
3.4	บ่อน้ำที่ 3 ในสถานีทดลองและฝักอบกรมเกษตรกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น	17
3.5	บ่อบาดาลในพื้นที่ศึกษา	17
3.6	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	18
3.7	การทำวงรอบปิดด้วยกล้องวัดมุม (Close or Loop Traverse)	19
3.8	การทำระดับวงรอบ	20
3.9	แผนที่เส้นชั้นความสูงของพื้นที่ศึกษา	22
3.10	การเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างชั้นดิน	22
3.11	ตัวอย่างดินที่ใช้ในการหาปริมาณความชื้นในดิน	23
3.12	Sieve Analysis	23
3.13	เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle size distribution)	23
3.14	เกณฑ์การจำแนกดินด้วยระบบ Unified soil classification	24
3.15	วิธีการเก็บค่าระดับน้ำด้วยเครื่องมือวัดระดับน้ำ	25
3.16	ตัวอย่างแผนที่เส้นชั้นความสูงของระดับน้ำใต้ดิน ค่าไฮโดรลิกเกรเดียนและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน	26
3.17	สมมูลของน้ำในสระเติมน้ำ	26
4.1	พื้นที่ศึกษาและตำแหน่งหลุมเจาะ	28
4.2	แผนที่เส้นชั้นความสูงของพื้นที่ศึกษาและตำแหน่งสระเติมน้ำ W1, W2 และ W3	29

4.3	Grain Size Distribution Curve บ่อ W2 ความลึก 3 เมตร	30
4.4	Grain Size Distribution Curve บ่อ W2 ความลึก 6 เมตร	30
4.5	Particle Size Distribution Curve ของบ่อ W2 ความลึก 9.5 เมตร	31
4.6	Grain Size Distribution Curve บ่อ W2-1 ความลึก 1 เมตร	31
4.7	Grain Size Distribution Curve บ่อ W2-1 ความลึก 4 เมตร	32
4.8	Particle size distribution Curve ของบ่อ W2-1 ความลึก 6.5 เมตร	32
4.9	Grain Size Distribution Curve บ่อ W2-2 ความลึก 2 เมตร	33
4.10	Particle size distribution Curve ของบ่อ W2-2 ความลึก 5.5 เมตร	33
4.11	Grain Size Distribution Curve บ่อ W1 ความลึก 2 เมตร	34
4.12	Particle size distribution Curve ของบ่อ W1 ความลึก 8.5 เมตร	34
4.13	Grain Size Distribution Curve บ่อ W3 ความลึก 1 เมตร	35
4.14	Particle size distribution Curve ของบ่อ W3 ความลึก 5.3 ม	35
4.15	Particle size distribution Curve ของบ่อ W3-1 ความลึก 5.3 เมตร	36
4.16	Grain Size Distribution Curve บ่อ W3-2 ความลึก 2 เมตร	36
4.17	Particle size distribution Curve ของบ่อ W3-2 ความลึก 5.3 เมตร	37
4.18	แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนกรกฎาคม	40
4.19	แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนสิงหาคม	40
4.20	แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนกันยายน	41
4.21	แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนตุลาคม	41
4.22	แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนธันวาคม	42
4.23	แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนมกราคม	42
4.24	แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนกุมภาพันธ์	43
4.25	แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนมีนาคม	43
4.26	แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนเมษายน	44
4.27	พื้นที่หน้าตัดของการไหลของน้ำใต้ดิน	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เมื่อปีพ.ศ. 2558 ได้เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญตลอดแนวมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อนที่มีความรุนแรงมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิของน้ำทะเลสูงขึ้น โดยอุณหภูมิได้เพิ่มขึ้นประมาณ 1.4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นในปี พ.ศ. 2558 ทำให้โลกมีความร้อนสูงขึ้นและปริมาณฝนมีค่าต่ำกว่าค่าปกติ ทำให้เกิดภาวะภัยแล้งขึ้นหลายพื้นที่ บางพื้นที่มีฝนตกน้อยทำให้ต้องมีการบริหารจัดการน้ำเพื่อให้มีน้ำใช้ในช่วงหน้าแล้ง และแก้ไขปัญหาน้ำท่วมในฤดูฝน มีการศึกษาวิธีการแก้ปัญหาภัยแล้งหลายวิธีด้วยกัน เช่น การวางแผนการใช้น้ำอย่างประหยัด การขุดเจาะน้ำใต้ดินมาใช้ การเปลี่ยนน้ำทะเลเป็นน้ำจืด หรือจะเป็นการแก้ปัญหาระยะยาว เช่น การสร้างเขื่อน สร้างฝาย หรือขุดลอกแหล่งน้ำ ซึ่งทั้งหมดนี้ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ จากการประสบปัญหาภัยแล้งและปัญหาน้ำท่วมอย่างรุนแรงทั่วประเทศไทยที่ผ่านมา แนวโน้มของความถี่การเกิดมีบ่อยขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ทำให้การศึกษาวิธีการกักเก็บน้ำในพื้นที่แห้งแล้งได้รับความสนใจมากขึ้น วิธีการเติมน้ำใต้ดินเพื่อกักเก็บไว้ แล้วค่อยสูบเอามาใช้ในช่วงหน้าแล้ง เป็นการจัดระบบน้ำบาดาลให้มีความยั่งยืนมากยิ่งขึ้น เป็นวิธีที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ซึ่งข้อดีของการกักเก็บน้ำไว้ใต้ดินนอกจากจะช่วยลดปัญหาการขาดแคลนน้ำแล้ว ยังสามารถทำให้ไม่สูญเสียน้ำจากการระเหย หลีกเลี่ยงปัญหาจากการกักเก็บน้ำที่ผิวดิน ลดปัญหาจากการสูญเสียพื้นที่ผิวดินจากการสร้างแหล่งกักเก็บน้ำ ลดปัญหาคุณภาพน้ำจากการปนเปื้อนมลพิษ ในพื้นที่ที่ประสบภัยแล้งรุนแรงเช่น รัฐแคลิฟอร์เนียประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นหนึ่งในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์เอลนีโญ ได้นำเทคโนโลยีระบบเก็บกักน้ำใต้ดิน (Underground water storage technology) มาใช้ เพราะเป็นพื้นที่ที่มีดินปนทราย เหมาะสำหรับการเติมน้ำใต้ดินผ่านบ่อซึม ในยุโรปประเทศเบลเยียม เนเธอร์แลนด์ พัฒนาระบบการเก็บกักน้ำในเนินทราย (Sand dunes) หลายสิบปีมาแล้ว ประเทศในภูมิภาคตะวันออกกลางที่แห้งแล้ง มีงานศึกษาวิจัยของ Abdullah University of Science and Technology ใช้ระบบการเก็บกักน้ำใน Sand dunes และ alluvial plain ดังนั้นจึงควรมีการศึกษารูปแบบการกักเก็บน้ำไว้ใต้ดิน เช่น อ่างเก็บน้ำใต้ดิน (Groundwater reservoir) ที่เหมาะสมกับประเทศไทย และความเป็นไปได้ในการนำใช้เป็นทางเลือกของมาตรการเพื่อบรรเทาปัญหาน้ำแล้งและน้ำท่วมในอนาคต

สถานีทดลองฝึกรวมเกษตรร้อยเอ็ด คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ตั้งอยู่ที่บ้านโพธิ์สัย ต.โพธิ์สัย อ.ศรีสมเด็จ จ.ร้อยเอ็ด มีพื้นที่ทั้งหมด 1,600 ไร่ สภาพพื้นที่เป็นที่ราบสูง ทำให้เกิดปัญหาวิกฤติน้ำซึ่งเกิดจากปัญหาหลายสาเหตุ ทั้งปริมาณการใช้น้ำที่เพิ่มมากขึ้น ปัญหาสภาพอากาศขาดการบริหารจัดการน้ำที่ดี และสถานการณ์แหล่งน้ำที่สะอาดถูกคุกคามจากผู้ก่อมลพิษ จึงเป็นที่มา

ของแนวคิดธนาการน้ำใต้ดิน โดยโครงการธนาการน้ำใต้ดินนี้ได้ ริเริ่มขึ้น โดยเริ่มทดลองครั้งแรก ณ วัดบุญเรืองสุวรรณาราม บ้านคำโป่งเป้ง อำเภอเมือง จังหวัดหนองคายและทดลองทำต่อเนื่อง ณ วัดอาสงศิลาवास อำเภอเมือง จังหวัดบึงกาฬ และที่อำเภอน้ำยืน จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ประสบกับภาวะน้ำท่วมในหน้าฝนและเกิดภาวะแห้งแล้งในหน้าแล้ง มีการขุดบ่อลึกเพื่อส่งน้ำกักเก็บไว้ใต้ดิน ทำให้น้ำบาดาลมีปริมาณเพิ่มขึ้นในหน้าแล้ง ชาวนาจึงเริ่มหันมาสูบน้ำบาดาลเพื่อทำการเกษตรในหน้าแล้งมากขึ้น จนทำให้เกษตรกรนอกเขตชลประทานมีน้ำใช้ทำการเกษตรได้ตลอดทั้งปี เป็นการแก้ปัญหาภัยแล้งอย่างยั่งยืน สถานีทดลองและฝักอบรมเกษตรกรรมร้อยเอ็ด ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันน้ำนิเทศศาสตร์คุณ ในการพัฒนาขุดบ่อเก็บน้ำ โดยกำหนดจุดที่ตั้งบ่อน้ำ 3 จุด หลวงพ่อสมานเป็นผู้กำหนดเอง เดิมเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า แต่มีปัญหาจุดที่เลือกขุดได้ยาก จึงขยับย้ายจุด ทำให้ปัจจุบันตำแหน่งบ่อ 3 จุด เป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ขนาดบ่อ 40 x 40 ตารางเมตร ทั้ง 3 บ่อ แต่ความลึกไม่เท่ากัน ผนังบ่อมีความชัน 45 องศา ความลึกของบ่อขึ้นกับความลึกของชั้นน้ำใต้ดิน ขุดให้ทะลุชั้นดินดานจนถึงระดับน้ำใต้ดิน ระหว่างขุดเมื่อพบทางน้ำไหลเข้าจะปิดไว้จนกว่าขุดกันบ่อให้เรียบร้อย ซึ่งแต่ละบ่อมีพื้นที่รับน้ำของตนเอง (Watershed) เพื่อให้ฝนที่ตกลงมาเป็นน้ำไหลผิวดิน ไหลเข้ามาเก็บในบ่อน้ำใต้เอง แหล่งน้ำเดิมของสถานีทดลองและฝักอบรมเกษตรกรรมร้อยเอ็ดมาจาก 2 แหล่งคือ น้ำผิวดินสูบน้ำมาจากอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่ง สูบใส่ถังสูง เป็นน้ำใช้ล้างคอกวัวแต่จะไม่มีในฤดูแล้งบางปี และน้ำบาดาล มีการเจาะ 5 บ่อ ใช้งานในปัจจุบัน 2 บ่อ ความลึกประมาณ 70 เมตร บ่อบาดาลที่ใช้งานมีระดับน้ำลึก 15 เมตร ให้น้ำประมาณ 15 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งไม่เพียงพอในฤดูแล้ง การนำเอาน้ำใต้ดินมาใช้ประโยชน์เพื่อแก้ปัญหาการประสปภัยแล้งและวางแผนการใช้น้ำในช่วงขาดแคลนให้มีน้ำกินน้ำใช้ตลอดปี จึงเป็นการแก้ปัญหาภัยแล้งได้อย่างยั่งยืน (กรรณิการ์ รัตนประเสริฐศรี, 2559)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) สำรววจวิเคราะห์ข้อมูลภูมิประเทศ ชั้นดิน ระดับน้ำใต้ดินเพื่อหาทิศทางการไหล คุณสมบัตินทางศาสตร์ของดินและพื้นที่
- 2) ประมาณปริมาณน้ำผิวดินจากสระเก็บน้ำที่เติม (Recharge) ให้กับชั้นอุ้มน้ำ และปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลออก (Discharge) จากชั้นอุ้มน้ำโดยใช้หลักการสมดุลของน้ำในสระเก็บน้ำและชั้นอุ้มน้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) พื้นที่ศึกษาคือสถานีทดลองและฝักอบรมเกษตรกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น บ้านโพธิ์สัย ตำบลโพธิ์สัย อำเภอศรีสมเด็จ จังหวัดร้อยเอ็ด
- 2) ใช้หลักการสมดุลของน้ำระหว่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน การสำรววจข้อมูลในสนามจะดำเนินการเฉพาะที่จำเป็น เช่น การทดสอบหาค่าการนำทางศาสตร์ของชั้นน้ำ เนื่องจากการประเมินพื้นที่เติมน้ำ ตำแหน่งชั้นน้ำที่ชัดเจน ต้องการข้อมูลหลุมเจาะสำรววจทางธรณีวิทยาที่มีตำแหน่งและความ

ลึกที่มากพอ จึงทำการเจาะสำรวจเพื่อเก็บตัวอย่างดิน และค่าระดับน้ำใต้ดินเพิ่มเติมจำนวน 7 บ่อ เพื่อจัดทำแผนที่การไหลของน้ำใต้ดิน ประมาณปริมาณน้ำที่เติมให้กับชั้นอุ้มน้ำ และ

3) ระยะเวลา 10 เดือน (กรกฎาคม พ.ศ. 2560 – เมษายน พ.ศ. 2561)

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. การเผยแพร่ผลการศึกษาวิจัยในวารสาร และนำเสนอในการประชุมเชิงวิชาการทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติ

2. องค์การบริหารส่วนจังหวัด องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สำนักชลประทานที่ 8 กรมชลประทาน สามารถนำผลการศึกษาไปกำหนดแนวทาง แผนและมาตรการการบรรเทาปัญหาน้ำแล้ง ในลุ่มน้ำมูลตอนบน โดยเป็นการบูรณาการการบริหารจัดการน้ำทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ในภาวะน้ำท่วมและน้ำแล้ง



บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิธีการเก็บเกี่ยวน้ำ (Water harvesting)

วิธีการเก็บเกี่ยวและกักเก็บน้ำ สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ การเก็บเกี่ยวน้ำใต้ดิน การเก็บเกี่ยวน้ำฝน และการเก็บเกี่ยวน้ำท่วม ในส่วนของการวิจัยนี้เป็นการศึกษาในเรื่องการเก็บเกี่ยวน้ำใต้ดิน การเติมน้ำลงสู่ชั้นใต้ดิน เป็นการแก้ปัญหาภัยแล้ง โดยเป็นน้ำไหลผิวดินที่เกิดจากน้ำฝนที่ตกลงมาบนผิวดิน ส่วนของน้ำที่เหลือจากการระเหย หรือจากการไหลออกบนผิวดิน จะซึม (Infiltration) ผ่านชั้นดินไม่อิ่มตัวเข้าสู่ชั้นอุ้มน้ำ (Aquifers) การใช้ประโยชน์จากน้ำใต้ดินทั้งทางด้านเกษตรกรรม การอุปโภค และบริโภค ทำให้น้ำใต้ดินมีปริมาณลดลงอย่างมาก ปริมาณน้ำใต้ดินจะสามารถเพิ่มเติมได้เองโดยธรรมชาติ โดยฝนที่ตกลงมาสู่ผิวดิน น้ำฝนจะซึมลงสู่ใต้ดิน น้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ใต้ดินสะสมตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดกรวดเม็ดทราย หรือสะสมตัวอยู่ตามรอยแตก รอยแยกของชั้นหินที่มีรูพรุน ที่เรียกว่า ชั้นอุ้มน้ำ ซึ่งหินมีความสามารถในการกักเก็บน้ำและเป็นทางผ่านของน้ำที่สามารถสูบขึ้นไปใช้ได้ แต่น้ำใต้ดินนั้นมีปริมาณที่จำกัด หากสูบน้ำใต้ดินมาใช้ในปริมาณที่มากเกินไป อาจจะทำให้เกิดผลเสียต่อแหล่งน้ำใต้ดินนั้นได้ เช่น ทำให้น้ำเค็มไหลเข้ามาผสมกับน้ำจืดเนื่องจากแรงดันที่มากกว่าของน้ำเค็ม ทำให้คุณสมบัติของน้ำบาดาลเปลี่ยนไป จึงไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อีก หรืออาจเกิดจากการสูบน้ำมาใช้อย่างสิ้นเปลือง โดยไม่ได้คำนึงถึงคุณสมบัติการให้น้ำของชั้นหิน ทำให้ขาดแคลนน้ำใช้ในหน้าแล้ง วิธีการเติมน้ำใต้ดิน มีหลายรูปแบบด้วยกัน ส่วนที่ได้รับความนิยมมีด้วยกัน 4 วิธี คือ

1. วิธีการเติมน้ำผ่านสระเติมน้ำ (Recharge pond)

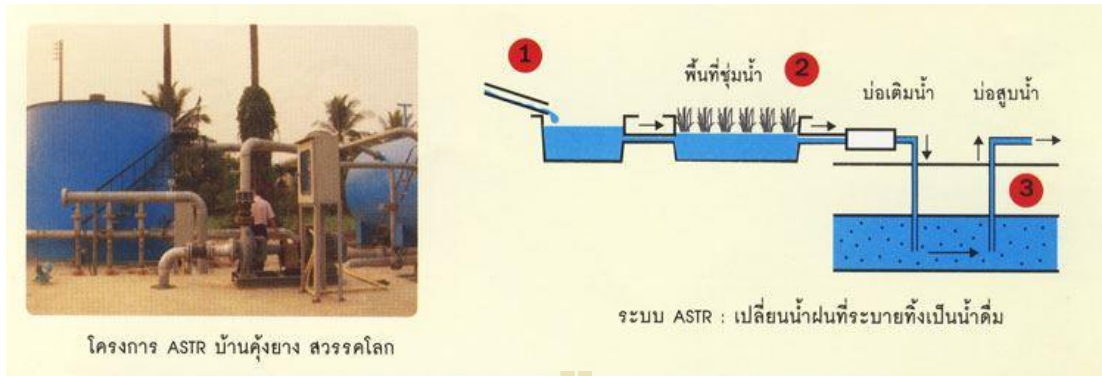
การเติมน้ำใต้ดินระดับต้นในบริเวณที่มีการใช้ระดับลงของน้ำใต้ดิน วิธีการเติมน้ำผ่านสระนี้จะเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสการซึมผ่านผิวดินให้มากขึ้น วิธีนี้จะใช้ได้ผลดีในพื้นที่ที่เป็นตะกอนดินทรายและมีแหล่งน้ำดิบที่มีคุณภาพ แสดงดังรูปที่ 2.1 (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2561)



รูปที่ 2.1 การเติมน้ำใต้ดินระดับต้นผ่านสระเติมน้ำ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2561)

2. วิธีการเติมน้ำใต้ดินระดับลึกเพื่อกักเก็บและสามารถสูบขึ้นมาใช้ Aquifer Storage Recovery (ASR)

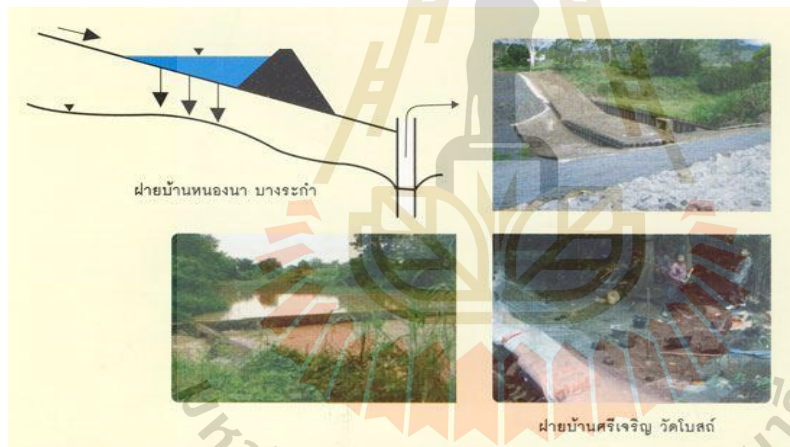
การเติมน้ำผิวดินเพื่อกักเก็บในชั้นใต้ดินในระดับลึก โดยที่บ่ออัดน้ำและบ่อสูบน้ำขึ้นมาใช้เป็นบ่อเดียวกัน เหมาะสำหรับพื้นที่ที่ใช้น้ำบาดาลในระดับลึก (แสดงดังรูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 การเติมน้ำใต้ดินระดับลึกผ่านบ่ออัดน้ำ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2561)

3. ฝายเติมน้ำ (Recharge weirs)

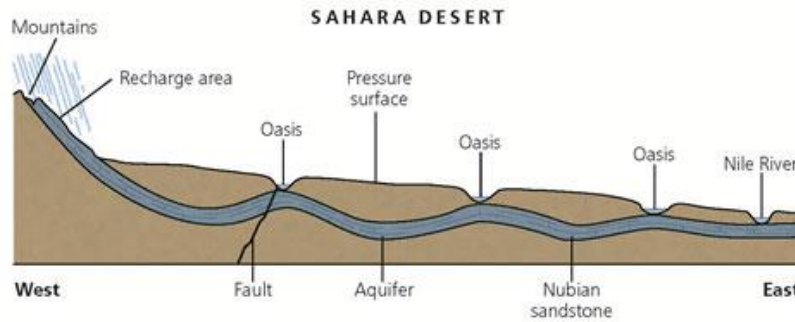
การสร้างฝายในพื้นที่ที่มีน้ำน้อยหรือไม่มีน้ำเลย เพื่อกักเก็บน้ำและเพื่อเพิ่มพื้นที่การซึมของน้ำลงสู่ใต้ดินไปกักเก็บเพื่อสูบมาใช้ต่อไป (แสดงดังรูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 การเติมน้ำใต้ดินในพื้นที่ที่มีน้ำน้อยผ่านฝายเติมน้ำ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2561)

4. การเติมน้ำผ่านสันทราย (Sand dunes)

น้ำจากน้ำฝนจะไหลซึมผ่านผิวทรายและกับเก็บไว้ใต้ดิน ซึ่งจะมีความลึกมาก น้ำใต้ดินที่นำมาใช้จะอยู่ที่บริเวณสันทราย (แสดงดังรูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 การเติมน้ำใต้ดินซึ่งมีความลึกมากผ่านสันทราย (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2561)

2.2 คุณสมบัติของชั้นอุ้มน้ำ (Aquifer)

ลักษณะทางธรณีวิทยาของชั้นหินเช่น ความซึมได้ (Permeability) และความพรุน (Porosity) ของหิน จะบ่งบอกถึงความเพียงพอของการให้น้ำของหิน ซึ่งชั้นหินทุกประเภทอาจจะเป็นได้ทั้งชั้นอุ้มน้ำที่ดีและไม่ดี จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางธรณีวิทยาของชั้นอุ้มน้ำ ชั้นอุ้มน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. ชั้นอุ้มน้ำไร้แรงดัน (Unconfined Aquifer) ชั้นอุ้มน้ำที่อิ่มตัวด้วยน้ำ เป็นชั้นอุ้มน้ำอิสระที่ไม่ได้อยู่ภายใต้แรงดัน ชั้นอุ้มน้ำนี้จะไม่มีชั้นหินกั้นน้ำหรือชั้นที่น้ำปิดทับอยู่ ระดับน้ำสูงสุดของชั้นนี้เรียกว่าระดับน้ำใต้ดิน (Water table) ซึ่งการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นนี้จะไหลไปตามความลาดเอียงของระดับน้ำใต้ดินภายใต้แรงดึงดูดของโลก หากเราเจาะบ่อน้ำใต้ดินลงไป ระดับน้ำในบ่อนั้นจะมีระดับเดียวกับระดับน้ำใต้ดินรอบ ๆ บ่อ ระดับน้ำสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาขึ้นกับปริมาณน้ำ Recharge และ Discharge

2. ชั้นอุ้มน้ำภายใต้แรงดัน (Confined Aquifer) เป็นชั้นอุ้มน้ำที่อิ่มตัวด้วยน้ำมีชั้นที่น้ำปิดทับอยู่ น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้หรือซึมผ่านได้ยาก ทำให้ชั้นอุ้มน้ำนี้มีแรงดัน โดยจะมีแรงดันสถิตเท่ากับ (Hydrostatic pressure) ทุกจุด ถ้าหากเราเจาะบ่อน้ำลงไปถึงชั้นอุ้มน้ำนี้ แรงดันที่มีอยู่ จะดันให้น้ำมีระดับสูงขึ้นไปอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งในบ่อ ซึ่งหากระดับแรงดันของน้ำบาดาลในชั้นอุ้มน้ำนั้นสูงกว่าระดับดิน น้ำในบ่อก็จะขึ้นมาเองโดยไม่ต้องมีการสูบ ในชั้นอุ้มน้ำนี้ จะพบว่าระดับน้ำในบ่อเปลี่ยนแปลงน้อย และระดับน้ำในบ่อจะสูงกว่าชั้นอุ้มน้ำ

3. ชั้นอุ้มน้ำปลอม (Perch Aquifer) เป็นชั้นอุ้มน้ำที่อิ่มตัวด้วยน้ำ มีชั้นดินเหนียวหรือดินดานวางตัวโค้งงอเป็นแอ่งกักเก็บน้ำอยู่ตอนใดตอนหนึ่ง ในส่วนที่สัมผัสอากาศเหนือส่วนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ บางส่วนจะถูกกักเก็บอยู่ในแอ่งนี้เหมือนน้ำบาดาลทั่วไป แต่เมื่อสูบน้ำมาก ๆ นาน ๆ ใช้น้ำก็จะหมดมีลักษณะเป็นกระเปาะ แต่จะกลับมีน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อมีฝนตก ขึ้นอยู่กับขนาดของชั้นดินเนื้อแน่นและแอ่งที่เกิด (กองประปาชนบท กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2561)

2.3 การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน

การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินแบ่งออกเป็น 2 แบบ

1. การไหลตามแนวระดับ ซึ่งเป็นการไหลซึมลงดินตามแนวราบ อัตราการไหลจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับโครงสร้างของชั้นดินและหินว่ามีช่องว่างในเนื้อดินหรือหินและความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่าน

2. การไหลตามแนวตั้ง เป็นการไหลตามแรงโน้มถ่วงของโลก เช่น การไหลจาก ระดับสูงลงไปสู่ระดับที่ต่ำกว่า อัตราการไหลจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ และเนื้อหิน หินเนื้อละเอียดมากอัตราการไหลของน้ำจะไหลได้ช้ามาก ซึ่งอัตราการไหลจะเร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับความพรุนของเนื้อหิน (Porosity) และความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านชั้นหิน (Permeability) นอกจากนี้ การยอมให้น้ำไหลซึมผ่านจะเป็นสัดส่วนกับความลึก เนื่องจากมีแรงกดดันสูง และความลาดชันของพื้นที่ด้วยเช่นกัน (อนุตรา, 2016)

2.4 แบบจำลองน้ำบาดาล

2.4.1 แบบจำลอง MODFLOW (MODFLOW Groundwater models)

แบบจำลองนี้เป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองปริมาณน้ำที่ลงไปเติมใต้ดิน (Recharge) จำลองการไหลเข้าสู่ทางน้ำ (Flow to drain) จำลองการไหลของน้ำใต้ดิน การไหลของน้ำเข้าสู่บ่อบาดาล (Flow to wells) การคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration) เป็นต้น แบบจำลองตระกูล MODFLOW เป็นการจำลองการไหลแบบสามมิติ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับชั้นอุ้มน้ำที่มีแรงดันและไม่มีแรงดัน โดยแยกแต่ละชุดโปรแกรม (Modules) เป็นอิสระต่อกัน ต่อมามีการพัฒนาเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น โดยพัฒนาเป็นโปรแกรม Version 2.1 ซึ่งได้เพิ่มโปรแกรมแสดงผล (Post-Processing) และการเขียนพร้อมทั้งอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการป้อนข้อมูล (Pre-processing) เรียกว่า โปรแกรม Visual MODFLOW รวมเอาทั้งโปรแกรม MODPATH (Pollock, 1989) และโปรแกรม MT3D (Zheng, 1990) ไว้ด้วยกัน โดยโปรแกรม MODPATH เป็นโปรแกรมที่สามารถคำนวณทิศทางการไหล ความเร็วการไหล และเวลาที่ใช้ในการเดินทางของน้ำบาดาล ส่วนโปรแกรม MT3D เป็นโปรแกรมที่สามารถคำนวณความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำบาดาล และสามารถจำลองการแพร่ของสารปนเปื้อนได้ โดยทั่วไปการใช้งานโปรแกรม MODFLOW จะใช้จำลองการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา และใช้โปรแกรม MODPATH ในการจำลองทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (Flow paths) และใช้โปรแกรม MT3D ในการคำนวณความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่แพร่ไปตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (McDonald and Harbaugh, 1988)

2.4.2 แบบจำลอง Groundwater Modeling System (GMS)

เป็นแบบจำลองสำหรับการสร้างและจำลองสถานการณ์น้ำใต้ดิน พัฒนาโดย Aquaveo มีลักษณะ 2D, 3D geostatistics แยกเป็นชั้นน้ำ และแนวทางการจำลองที่เป็นลักษณะเฉพาะ (unique conceptual model approach) Engineering Computer Graphics Laboratory (Owen et al., 1996) เริ่มพัฒนา GMS ในช่วงปลายปีค.ศ. 1980 ถึงต้น 1990 บน Unix workstations ที่ Brigham Young University ต่อมาได้รับทุนจาก United States Army Corps of Engineers จนเป็น version 4.0 ใช้งานในปี ค.ศ.1999 มีชื่อว่า Department of Defense Groundwater Modeling System, หรือ DoD GMS สามารถเชื่อมต่อกับ Microsoft Windows ในกลางปี ค.ศ.1990 การพัฒนา GMS ร่วมกับ Watershed Modeling System (WMS) และ Surface-water Modeling System (SMS) ถูกส่งต่อให้ Aquaveo ที่ก่อตั้งเมื่อปี ค.ศ.2007 การศึกษาตีพิมพ์ใน Journal of Agricultural and Applied Economics เดือนสิงหาคม ค.ศ.2000 กล่าวว่า GMS ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน MODFLOW และแบบจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน (contaminant transport model) MT3D (Morgan, et.al, 2000).

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(1) โครงการเติมน้ำจากน้ำฝนลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (The Artificial-Recharge Pilot System: ASR)

โครงการนี้เป็นการเติมน้ำใต้ดินทั้งแบบ Aquifer Storage Recovery (ASR) ซึ่งหมายถึง บ่ออัดน้ำและบ่อสูบน้ำขึ้นมาใช้เป็นบ่อเดียวกัน สถานที่ตั้งของโครงการคือ เกาะเจจู่ ตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศสาธารณรัฐเกาหลี (เกาหลีใต้) เป็นเกาะภูเขาไฟ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินภูเขาไฟและหินตะกอน มีรูพรุนในชั้นหิน ซึ่งเป็นส่วนที่น้ำ สามารถไหลผ่านหรือเก็บกักได้ในปริมาณมาก ทำให้เกาะเจจู่มีศักยภาพในการกักเก็บน้ำใต้ดินได้มากประกอบกับเกาะเจจู่มีการใช้น้ำบาดาลเป็นส่วนใหญ่ เกาะเจจู่จึงถือเป็นแหล่งการศึกษาที่สำคัญ สำหรับการเรียนรู้เพื่อการพัฒนาทรัพยากรน้ำบาดาลมาใช้ในการบริหารจัดการอย่างยั่งยืน

สภาพทางอุทกธรณีวิทยาของเกาะเจจู่ พบชั้นหินให้น้ำบาดาลที่สามารถพัฒนานำน้ำขึ้นมาใช้ได้ แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท

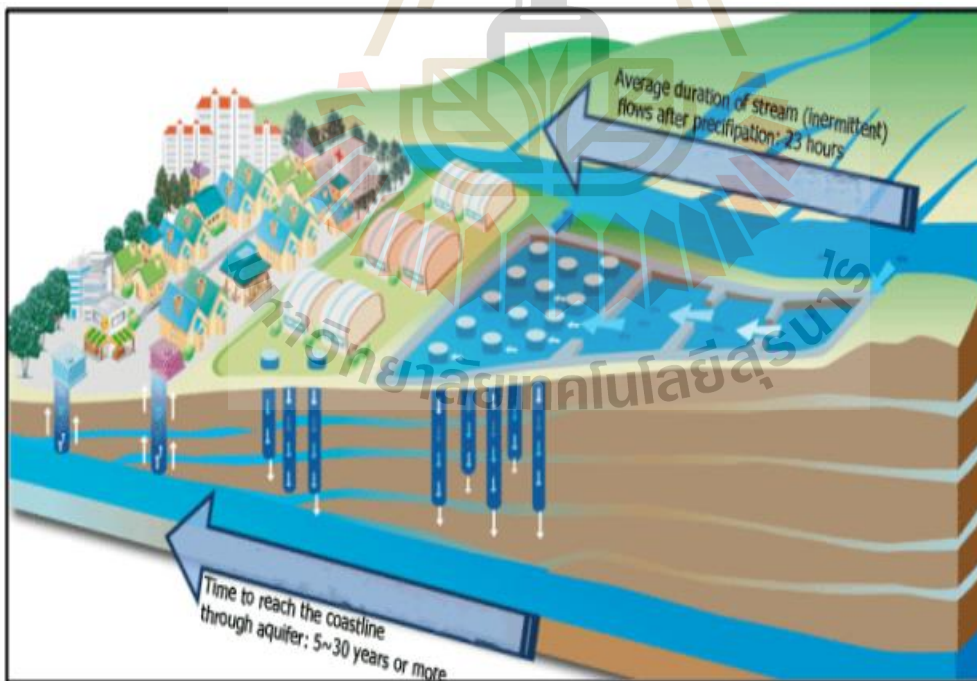
1. ชั้นน้ำบาดาลบะซอลต์ (Basal Groundwater) จะมีลักษณะเหมือนเลนสีน้ำตาลที่ประกบกันอยู่ ชั้นน้ำจืดจะเกิดการขยายหรือเปลี่ยนแปลงของชั้นน้ำ ขึ้นอยู่กับการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ปฏิกิริยาการขึ้น น้ำลง และการสูบน้ำจากชั้นน้ำบาดาล

2. ชั้นน้ำบาดาลพาราบะซอลต์ (Parabasal Groundwater) ซึ่งเป็นชั้นน้ำบาดาลที่อยู่ เหนือชั้นหินที่น้ำผ่านได้ยาก แบ่งออกเป็น ชั้นพาราบะซอลต์ระดับล่าง (Lower Parabasal Groundwater) และ ชั้นพาราบะซอลต์ระดับบน (Upper Parabasal Groundwater)

3. ชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น (High-Level Groundwater) เป็นชั้นที่น้ำสามารถซึมผ่านได้อย่างรวดเร็วตามชั้นหินตะกอน หรือผ่านชั้นหินภูเขาไฟที่อยู่เหนือชั้นอิมตัวด้วยน้ำ ระดับน้ำบาดาลใน ชั้นนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน และมีคุณภาพน้ำบาดาลที่ดีมาก

4. ชั้นน้ำบาดาลระดับฐานราก (Basement Groundwater) เป็นชั้นน้ำบาดาลระดับลึก ที่ชั้นน้ำสามารถแทรกตัวได้ในรูพรุนของหินแกรนิตและหินเก้าภูเขาไฟที่ผุพังแล้ว ปริมาณและคุณภาพน้ำบาดาลที่ได้จากชั้นนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางธรณีวิทยาของชั้นหิน ที่มีรอยเลื่อนหรือรูพรุนในการเก็บกักน้ำได้

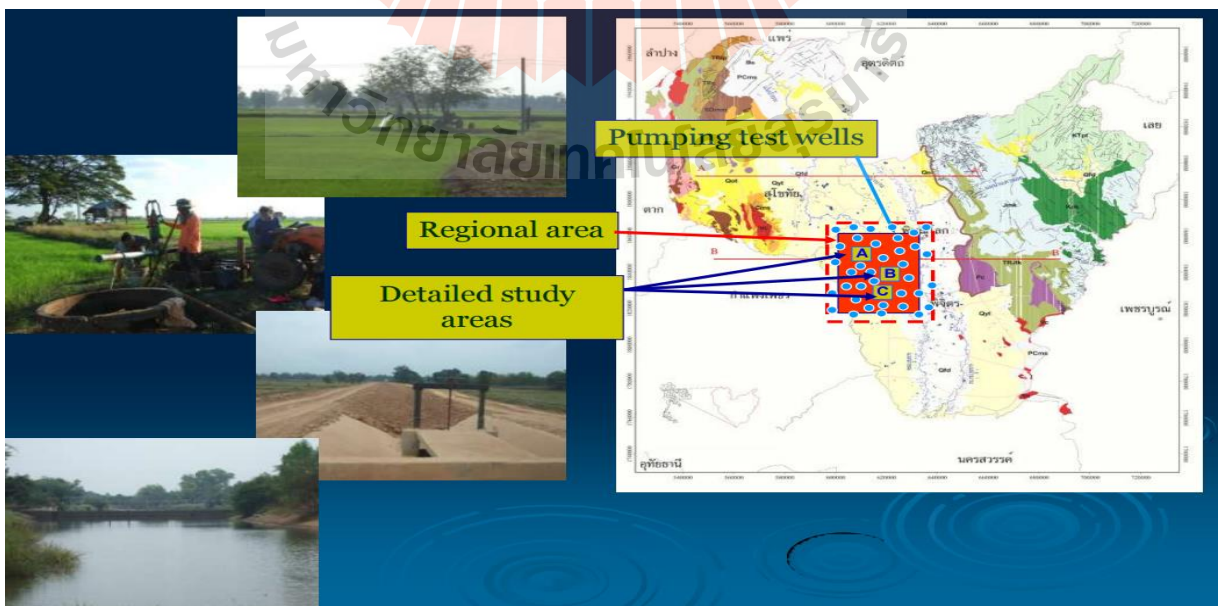
มีการพัฒนาน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เพื่อการอุปโภค-บริโภค เพื่อให้มีการใช้น้ำบาดาลอย่างยั่งยืน สำนักงานจัดการทรัพยากรน้ำของเกาะเจจูจึงมีแนวคิดที่จะนำน้ำในแม่น้ำที่ไหลหลากในฤดูฝนเติมลงไปเก็บกักในชั้นน้ำบาดาลใต้ดิน โดยได้ริเริ่มโครงการเติมน้ำลงสู่ ใต้ดิน โดยคัดเลือกพื้นที่ที่มีแม่น้ำไหลมาจากภูเขาฮอลลา (Holla Mt.) ระบบเติมน้ำนี้ประกอบด้วยสระจำนวน 3 สระ มีบ่อเจาะสำหรับเติมน้ำจำนวน 20 บ่อ ความลึกเจาะ 30 – 50 เมตร และบ่อสังเกตการณ์จำนวน 5 บ่อ เพื่อติดตามดูการเติมน้ำ ความลึกเจาะ 250 – 330 เมตร ระดับน้ำบาดาลอยู่ที่ 150 – 200 เมตรจากระดับผิวดิน จะมีการเติมน้ำในช่วงฤดูฝน โดยผันน้ำเข้าสระทั้ง 3 สระและปล่อยให้น้ำตกตะกอน จากนั้นจึงปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบ โดยแต่ละบ่อสามารถเติมน้ำได้ 15,000-17,000 ลบ.ม.ต่อวันและใช้เวลาอย่างน้อย 5 ปีน้ำที่เติมลงไปจะไหลซึมไปถึงชายฝั่งทะเล (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555)



รูปที่ 2.5 การเติมน้ำใต้ดินแบบ Aquifer Storage Recovery (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555)

(2) โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัยและพิจิตร โดยศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น

โครงการมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำและแก้ไขปัญหาการลดระดับน้ำบาดาลโดยการระบายน้ำผิวดินในช่วงฤดูน้ำหลากลงสู่ชั้นน้ำบาดาลและนำกลับขึ้นมาใช้ในช่วงฤดูแล้ง ทำการเลือกพื้นที่ศึกษาประกอบด้วย 1) พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่างครอบคลุม จ.พิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร 2) พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่บริเวณด้านตะวันตกของแม่น้ำยม 3) พื้นที่ศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองลานบ่า 4) พื้นที่นำร่องบ้านหนองนา และ 5) พื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่บ้านหนองนา ม.8 ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก ซึ่งพื้นที่ทั้งหมดตั้งอยู่บนที่ราบลุ่มแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน พื้นที่นำร่องบ้านหนองนา มีแหล่งน้ำผิวดินสำคัญ ได้แก่ คลองลานบ่า ซึ่งน้ำไหลจากด้านตะวันตกไปตะวันออก และคลองระบายน้ำซึ่งไหลผ่านบริเวณตอนกลางของพื้นที่และไหลลงสู่คลองลานบ่าด้านทิศเหนือ เป็นคลองที่ใช้ระบายน้ำจากนาข้าวในฤดูฝนและระบายน้ำบาดาลที่สูบมาเพื่อเตรียมแปลงในฤดูแล้ง โดยในพื้นที่บ้านหนองนานี้ มีการเจาะบ่อบาดาลระดับตื้นที่ความลึก 4-6 เมตรเพื่อใช้ทำการเกษตร ได้มีการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ตามทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาล 47 บ่อ เป็นบ่อระดับตื้นซึ่งมีความลึกน้อยกว่า 15 เมตร 32 บ่อ และบ่อระดับลึกกว่า 15 เมตร 15 บ่อ จากการศึกษาทางอุทกธรณีวิทยาพื้นที่ดังกล่าวมีชั้นดินเหนียวปิดทับด้านบนหนา ชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้นเป็นชั้นกรวดทรายและทรายแป้งคั่นด้วยชั้นดินเหนียว ถัดลงไปเป็นชั้นหินอุ้มน้ำทรายหยาบที่ความลึก 15-20 เมตร จากผิวดิน น้ำบาดาลมีทิศทางการไหลหลักจากทิศใต้ไปยังทิศเหนือ พื้นที่เติมน้ำบาดาลตามธรรมชาติอยู่บริเวณพื้นที่เนินด้านทิศใต้หรือบริเวณบ้านหนองนาซึ่งมีปริมาณการเติมน้ำร้อยละ 6-21 ของปริมาณน้ำฝน ปัจจุบันระดับน้ำบาดาลอยู่ที่ระดับลึก 7-8 เมตรจากผิวดิน คุณภาพของน้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้ในการบริโภค



รูปที่ 2.6 การเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง

(ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552)

พื้นที่ก่อสร้างระบบสระเติมน้ำ ตั้งอยู่บริเวณกึ่งกลางของพื้นที่นาร่องและอยู่ติดกับคลองระบายน้ำ ประกอบด้วยอาคารสำนักงาน บึงประดิษฐ์จำนวน 4 บึง และสระเติมน้ำจำนวน 2 สระ พื้นที่ได้รับประโยชน์จากการเติมน้ำผ่านสระเป็นพื้นที่นาข้าวบริเวณโดยรอบและบริเวณทิศเหนือของพื้นที่ก่อสร้าง พื้นที่ก่อสร้างรองรับด้วยชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้นซึ่งเป็นตะกอนทรายขนาดละเอียดถึงหยาบหนา 12-15 ม. คั่นด้วยดินเหนียวหนา 1-5 เมตร ส่วนชั้นอุ้มน้ำระดับลึกเป็นตะกอนทรายขนาดปานกลางถึงหยาบ และกรวดแทรกสลับด้วยดินเหนียว น้ำบาดาลมีทิศทางการไหลหลักจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือ แรงดันน้ำบาดาลมีค่าอยู่ระหว่าง 36 - 37 ม.รทก.

จากนั้นทำการจำลองการไหลของน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษารูปแบบการไหลของน้ำใต้ดินและการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาการลดระดับน้ำบาดาลโดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW 4.3 ผลการจำลองการไหลพบว่า น้ำบาดาลในพื้นที่นาร่องบ้านหนองนามีทิศทางการไหลหลักจากพื้นที่ด้านทิศใต้ไปยังด้านทิศเหนือ การสูบน้ำบาดาลในพื้นที่มากเกินสมดุลทำให้เกิดการรายน้ำลดบริเวณทิศเหนือของพื้นที่ มีปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้าและไหลออกจากระบบประมาณ 1.34 ล้าน ลบ.ม. และ 1.57 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ เฉพาะปริมาณการสูบน้ำบาดาลระดับตื้นประมาณ 1.40 ล้าน ลบ. ม. ระบบน้ำบาดาลขาดดุล 0.23 ล้าน ลบ.ม. ระดับน้ำบาดาลลดลงปีละ 25 ซม. ส่วนน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่ มีทิศทางการไหลจากพื้นที่เนินด้านทิศตะวันตกไปยังด้านทิศตะวันออก เกิดการรายน้ำลดบริเวณตอนกลางและทิศตะวันออกของพื้นที่ ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้าและไหลออกจากระบบประมาณ 223 ล้าน ลบ.ม. และ 273 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ เฉพาะปริมาณการสูบน้ำบาดาลระดับตื้นประมาณ 272 ล้าน ลบ.ม. ระบบน้ำบาดาลขาดดุล 51 ล้าน ลบ.ม. ระดับน้ำบาดาลลดลงปีละ 26 ซม. ภายใน 20 ปีข้างหน้าหากไม่มีการเพิ่มเติมน้ำหรือลดปริมาณการใช้น้ำบาดาลชั้นอุ้มน้ำระดับตื้น อาจเสียหายอย่างถาวร จากการทดลองเติมน้ำผ่านสระพบว่า ปริมาณน้ำที่เติมได้ทั้งหมด 25,797 ลบ.ม. และอัตราการเติมน้ำอยู่ในช่วง 0.05 - 2.05 ม./วัน (60-2,460 ลบ.ม./วัน/ตร.ม.) การใช้และไม่ใช้วัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระ มีค่าอัตราการซึมต่างกันน้อยมาก ลักษณะการซึมสามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วง คือ ช่วงวันที่ 1-4, 5-8, 9-15 และ 16-30 มีอัตราการซึม 0.14 ถึง 0.79, 0.78 ถึง 0.28, 0.27 ถึง 0.16 และ 0.15 ถึง 0.07 ม./วัน ตามลำดับ ซึ่ง อัตราการซึมน้อยกว่า 0.15 ม./วัน เป็นช่วงที่เกิดการอุดตัน การประเมินปริมาณการเติมน้ำใต้ดินผ่านสระในช่วงฤดูฝน กรณีน้ำที่ใช้เติมมีความขุ่น จะต้องมีการทำความสะอาดสระเติมน้ำด้วย การเติมน้ำจึงจะมีประสิทธิภาพสูงสุด

แนวทางในการพัฒนาโครงการลักษณะนี้ในอนาคต 3 แบบ

- (1) การออกแบบเป็นบึงประดิษฐ์และสระเติมน้ำในกรณีที่น้ำดิบมีความขุ่นมากกว่า 140 NTU
- (2) การออกแบบเป็นสระตกตะกอนและเติมน้ำในกรณีที่น้ำดิบมีความขุ่นอยู่ในช่วง 101-140

NTU

(3) การออกแบบเป็นสระเติมน้ำทั้งพื้นที่ในกรณีที่น้ำดิบมีความขุ่นน้อยกว่า 100 NTU (ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552)

(3) โครงการการจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินในโครงการเติมน้ำลงสู่ชั้นบาดาลจังหวัดสุโขทัย (Modeling of Groundwater Flow for Aquifer Storage Recovery Project in Sukhothai Province)

การใช้โปรแกรม Visual MODFLOW 4.2 Pro จำลองการไหลของน้ำใต้ดิน 3 มิติ จากการศึกษาพื้นที่จังหวัดสุโขทัยมีการใช้น้ำใต้ดินในการทำเกษตรกรรมแทนการใช้น้ำผิวดินอย่างแพร่หลาย ทำให้ระดับน้ำใต้ดินมีการลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากการซึมของน้ำลงสู่ใต้ดินมีปริมาณต่ำ ชั้นดินบริเวณนี้มีสภาพเป็นชั้นดินเหนียวซึ่งมีความหนาปิดทับด้านบน ในชั้นอุ้มน้ำเป็นชั้นทรายหยาบซึ่งมีความลึกจากผิวดิน 15-20 เมตร ผลจากการใช้โปรแกรม Visual MODFLOW 4.2 Pro จำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ทำให้ทราบทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน มีทิศทางการไหลหลักจากทิศใต้ไปยังทิศเหนือและไหลจากทิศตะวันตกไปยังด้านทิศตะวันออก น้ำใต้ดินไหลไปยังพื้นที่เติมน้ำบาดาลจริง และค่าระดับน้ำบาดาลอยู่ที่ระดับความลึก 7-8 เมตรจากผิวดิน (กุลชาติ โกษาแสง และ ชัยวัฒน์ ชัยนการนา, 2555)

(4) สมดุลของน้ำใต้ดินและปริมาณน้ำปลอดภัยในแอ่งหัดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ใช้โปรแกรม MODFLOW-2014 ในการจำลองการไหลของน้ำใต้ 3 มิติ เพื่อศึกษาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน สมดุลน้ำใต้ดิน และประเมินผลกระทบของการสูบน้ำบาดาลที่เพิ่มขึ้นของแอ่งหัดใหญ่ ในช่วงเวลา 20 ปี เปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้แรงดันน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ 47 บ่อ ผลการจำลองพบว่า สำหรับแอ่งหัดใหญ่ที่มีอัตราการสูบน้ำประมาณ 25 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี มีสมดุลน้ำบาดาลประมาณ 115 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี เพิ่มการใช้น้ำขึ้นปีละ 5% ระดับน้ำบาดาลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยบริเวณเมืองหัดใหญ่ลดลงสูงสุด 3.5-10 เมตร ปริมาณน้ำปลอดภัยเท่ากับ 36 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี (อรุณ ลูกจันทร์ และคณะ, 2551)

(5) แบบจำลองน้ำใต้ดินระดับต้นในเขตเมืองกับการปนเปื้อนมลพิษ : กรณีศึกษา อำเภอเมืองและอำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินโดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW Pro4.1 โดยมีพื้นที่ศึกษาคือ อำเภอเมืองและอำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี มีการสอบเทียบแบบจำลองโดยนำผลที่ได้สอบเทียบกับระดับน้ำใต้ดินกับบ่อดูของหน่วยราชการและบ่อสังเกตการณ์ที่เจาะขึ้นมาเพิ่มเติม ผลจากการจำลองการไหลพบว่า น้ำใต้ดินไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำและไหลลงสู่แม่น้ำมูล โดยระดับน้ำใต้ดินจะขึ้นอยู่กับความสูงของภูมิประเทศและขึ้นอยู่กับชั้นดินอุ้มน้ำ จากการจำลองการแพร่ของ

Benzene พบว่ามีการกระจายเป็นวงกว้างและไหลไปตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินลงสู่แม่น้ำ (ไพทูลย์ นนทการ และคณะ 2554)

(6) การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเพื่อวิเคราะห์การแยกเป็นสองทางของหัวร่องน้ำ (Groundwater Flow Simulation to Analyze Channel Head Bifurcation)

การศึกษาการกักเซาะบริเวณหัวร่องน้ำเนื่องจากน้ำใต้ดินโดยใช้ Matrix Laboratory (MATLAB) ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาอัตราการไหลน้ำใต้ดินและจำลองสนามการไหลของน้ำใต้ดิน หากอัตราการไหลซึมน้ำใต้ดินบริเวณหัวร่องน้ำสูงสุดไม่ได้อยู่ที่แกนสมมาตรของร่องน้ำระหว่างตลิ่งซ้ายและขวา แต่กลับอยู่บนจุด 2 จุด บริเวณตลิ่งซ้ายและขวา จะหมายความว่าร่องน้ำจะถูกกักเซาะบริเวณ 2 จุดนี้อย่างเข้มข้น ทำให้หัวร่องน้ำแยกเป็นสองทาง และจากการศึกษาพบว่ายิ่งสนามการไหลได้รับอิทธิพลจากน้ำฝน จะยิ่งทำให้การแยกเป็นสองทางของร่องน้ำมีโอกาสเกิดขึ้นได้สูง (ธนาชาติ สุทธิธินกุล และ อติชัย พรพรหมินทร์, 2562)

(7) การประเมินเขตศักยภาพน้ำบาดาลในจังหวัดภูเก็ตโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Groundwater Potential Zones Assessment in Phuket Province Using GIS)

การประเมินศักยภาพน้ำบาดาลจังหวัดภูเก็ตโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (GIS) ผลจากการศึกษาพบว่ามีเพียงปัจจัยเดียวที่สามารถใช้อธิบายศักยภาพของน้ำบาดาลได้นั้นคือความลาดชัน ทำให้ไม่สามารถนำแบบจำลองนี้ไปใช้ในการประเมินศักยภาพน้ำบาดาลพื้นที่ทั้งจังหวัดภูเก็ตได้ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในระดับที่ต่ำ แต่สามารถนำวิธีการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อสร้างแบบจำลองการประเมินศักยภาพน้ำบาดาลกับพื้นที่อื่นในอนาคตต่อไปได้ (เสาวนีย์ เจริญพงษ์, 2556)

(8) แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลระดับตื้น และการเคลื่อนตัวของโลหะหนักบริเวณตำบลหัวเรือ จังหวัดอุบลราชธานี (Shallow Groundwater Flow Modeling and Heavy Metal Transport in Tambon Hua Ruea, Changwat Ubon Ratchathani)

การทำเกษตรกรรมในพื้นที่ศึกษามีมาอย่างยาวนาน มีการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลงในปริมาณสูงควบคู่กับการทำเกษตรกรรม และมีการนำน้ำใต้ดินมาใช้ในการเพาะปลูก ทำให้สารเคมีอาจปนเปื้อนกับดินและชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นได้ จากการใช้ Visual MODFLOW พบว่า น้ำใต้ดินระดับตื้น มีทิศทางการไหลจากทิศเหนือไปสู่ทิศใต้ มีการนำข้อมูลต่าง ๆ มาเปรียบเทียบเพื่อให้แบบจำลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากแบบจำลองพบว่าโลหะหนักมีการเคลื่อนตัวตามการไหลของชั้นน้ำใต้ดินระดับตื้น (ธนาชาติ สุทธิธินกุล, 2554)

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

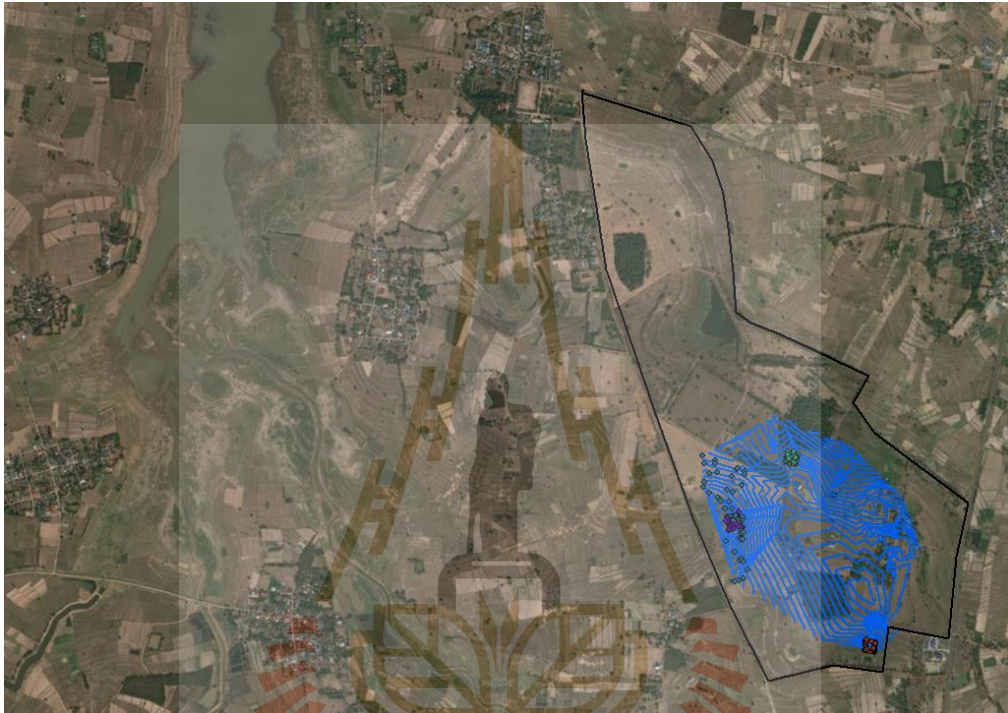
สำหรับการวิจัยเรื่อง รูปแบบการกักเก็บน้ำใต้ดินเพื่อบรรเทาภาวะแห้งแล้งในพื้นที่สถานีทดลองและฝักอบรมเกษตรกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอศรีสมเด็จ จังหวัดร้อยเอ็ด (ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ก และ ข) มีวัตถุประสงค์ศึกษาโครงการรูปแบบการกักเก็บน้ำใต้ดินเพื่อบรรเทาภาวะภัยแล้งที่สร้างขึ้นว่ามีศักยภาพในการกักเก็บน้ำใต้ดินและสามารถบรรเทาภาวะการขาดแคลนน้ำใช้ได้มากน้อยเพียงใด และศึกษาทิศทางการไหลและสมดุลของของน้ำใต้ดินในระยะยาวซึ่งต้องคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Visual MODFLOW Flex 4.1



รูปที่ 3.1 (ก) พื้นที่ศึกษาสถานีทดลองและฝักอบรมเกษตรกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

หลักการทำงานของรูปแบบการกักเก็บน้ำใต้ดิน ใช้การเติมน้ำผิวดินผ่านสระจำนวน 3 สระ (ดังแสดงในรูปที่ 3.2, 3.3, และ 3.4 ตามลำดับ) ที่ความลึกจากผิวดินไม่มากนักซึ่งเป็นชั้นอุ้มน้ำไร้แรงดัน (Unconfined Aquifer) ซึ่งเป็นชั้นอุ้มน้ำที่อ้อมตัวด้วยน้ำและเป็นชั้นอุ้มน้ำอิสระที่ไม่ได้อยู่ภายใต้แรงดันน้ำ ชั้นหินอุ้มน้ำนี้จะไม่มีชั้นหินที่บดอัดแน่นที่ไม่สามารถซึมผ่านได้ (Semi-pervious strata) หรือซึมผ่านได้ยาก (Impervious strata) ปิดทับอยู่ ซึ่งการไหลของน้ำบาดาลในชั้นนี้จะไหลไปตามความลาดเอียงของ

ระดับน้ำบาดาลภายใต้แรงดึงดูดของโลก หากเราเจาะบ่อบาดาลลงไป ระดับน้ำในบ่อนั้นจะมีระดับเดียวกับระดับน้ำบาดาลรอบ ๆ บ่อ ระดับน้ำสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาขึ้นกับสมดุลของการเพิ่มปริมาณน้ำใต้ดิน ให้กับชั้นอุ้มน้ำไร้แรงดัน (Groundwater Recharge) โดยใช้แหล่งน้ำมาจากสระน้ำผิวดิน และการไหลออกของน้ำใต้ดินจากชั้นอุ้มน้ำไร้แรงดัน (Groundwater Discharge) ออกมาสู่สระน้ำผิวดิน ทั้งนี้การเพิ่มปริมาณน้ำใต้ดินให้กับชั้นอุ้มน้ำไร้แรงดัน เพื่อเพิ่มการกักเก็บน้ำใต้ดินและมีปริมาณของน้ำใต้ดินให้เพียงพอต่อการสูบขึ้นมาใช้ประโยชน์



รูปที่ 3.1 (ข) ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

รูปที่ 3.5 เป็นบ่อน้ำบาดาลเดิมที่อยู่ในพื้นที่ สถานีทดลองและฝึกอบรมเกษตรกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ตรวจสอบกับข้อมูลบ่อบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลแล้วไม่พบข้อมูล คาดว่าเป็นการจางเงาะโดยภาคเอกชน



รูปที่ 3.2 บ่อน้ำที่ 1 ในสถานีทดลองและฝึกอบรมเกษตรกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



รูปที่ 3.3 บ่อน้ำที่ 2 ในสถานีทดลองและฝึกอบรมเกษตรกรรม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



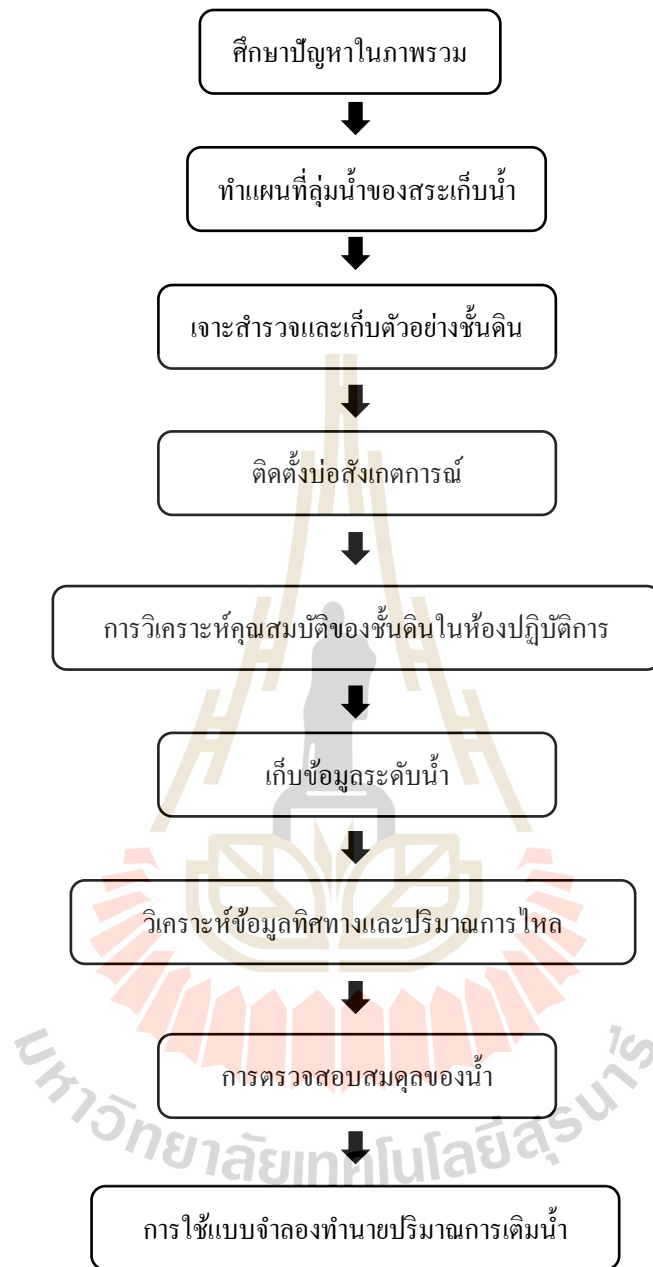
รูปที่ 3.4 บ่อน้ำที่ 3 ในสถานีทดลองและฝึกอบรมเกษตรกรรม คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น



รูปที่ 3.5 บ่อบาดาลในพื้นที่ศึกษา

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ทำแผนที่ลุ่มน้ำของสระเก็บน้ำ

ทำการสำรวจพื้นที่ศึกษาและสร้างข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS: Geographic Information System) โดยจัดทำแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงสำหรับการใช้หาขอบเขตลุ่มน้ำของแต่ละสระเก็บน้ำเพื่อนำไปคำนวณหาสมมูลของน้ำสระเก็บน้ำ ลักษณะของพื้นที่ศึกษาเป็นที่ราบสูงลาดเอียงไปตามสระเตม้น้ำ รอบๆ สระเก็บน้ำมีคันดินสำหรับกั้นน้ำให้ไหลลงสระเตม้น้ำ หลุมเจาะวัดระดับน้ำเป็นบ่อสังเกตการณ์มีทั้งหมด 5 บ่อ และบ่อที่เป็นตัวแทนระดับน้ำในสระเตม้น้ำอีก 2 บ่อตามความลาดเอียงของพื้นที่ (สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์, 2552)

1) การทำวงรอบปิดด้วยกล้องวัดมุม (Close or Loop Traverse) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานได้แก่กล้อง TOTAL STATION และชุดเป้าปริซึมจัดทำวงรอบปิดโดยกำหนดขอบเขตที่ชัดเจนและตรวจสอบผลการรังวัดให้ถูกต้องตามข้อกำหนดของการทำวงรอบ (สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์, 2552)



รูปที่ 3.7 การทำวงรอบปิดด้วยกล้องวัดมุม (Close or Loop Traverse)

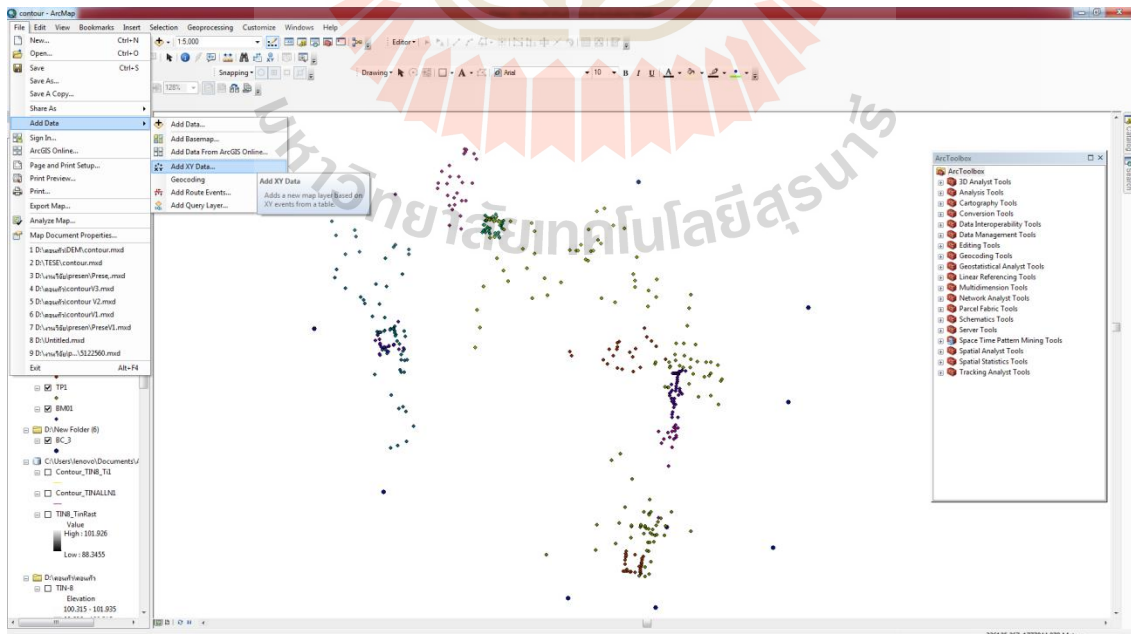
2) งานระดับ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน ได้แก่ กล้องระดับ และไม้สตีฟ ทำการถ่ายระดับจากหมุดรังวัด ไปยังหมุดวงรอบในแผนที่ และตรวจสอบเกณฑ์ชั้นงานและทำการปรับแก้ให้เข้าชั้นงาน (สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์, 2552)



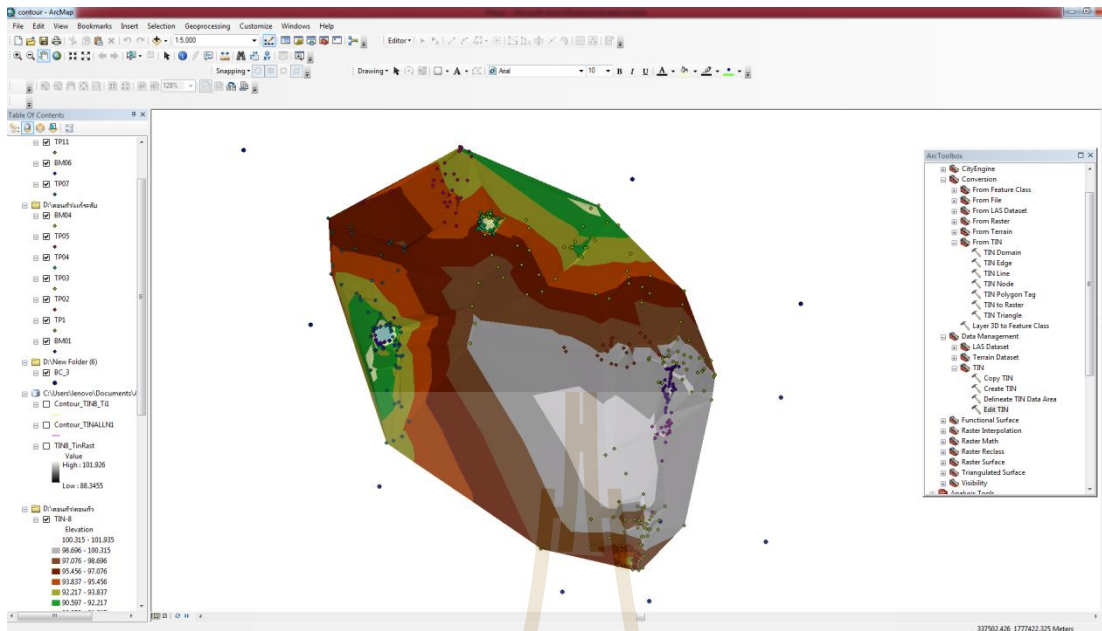
รูปที่ 3.8 การทำระดับวงรอบ

3) ทำแผนที่ที่แสดงเส้นชั้นความสูงโดยใช้โปรแกรม Arc GIS (GIS: Geographic Information System) การทำแผนที่ที่แสดงเส้นชั้นความสูงมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

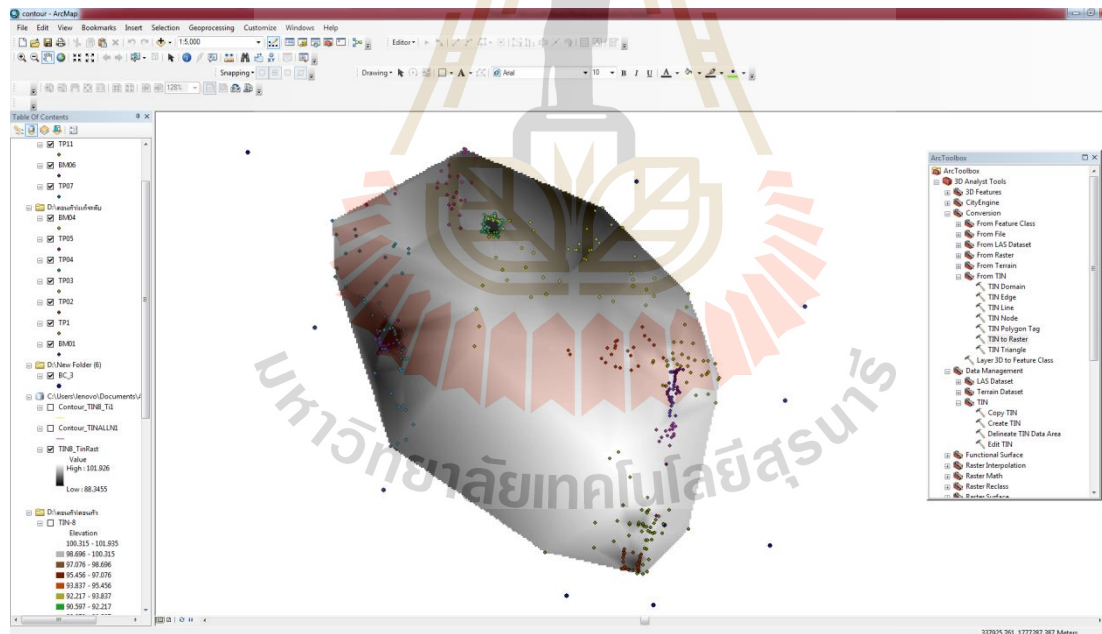
1. Add XY Data



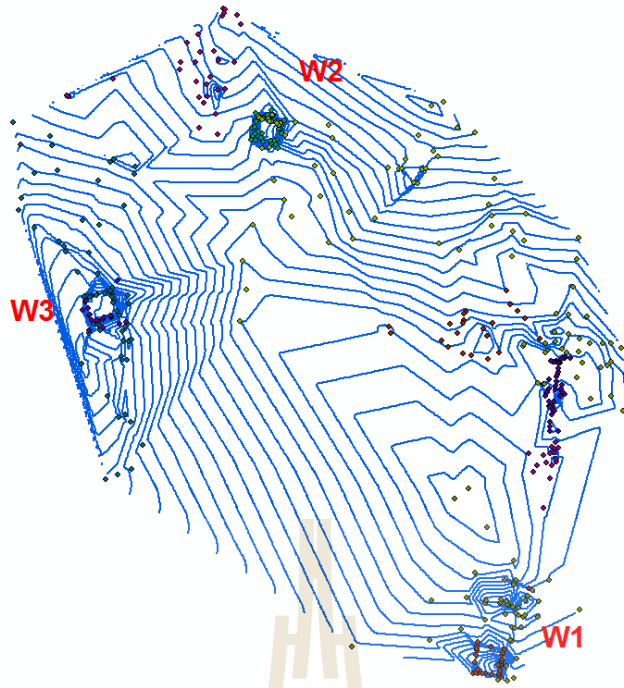
2. Arc Tool Box > 3D Analyst Tools > Data Management > TIN > Create TIN



3. Arc Tool Box > 3D Analyst Tools > Conversion > From TIN > TIN to Raster



4. Arc Tool Box > Spatial Analyst Tools > Surface > Contour



รูปที่ 3.9 แผนที่เส้นชั้นความสูงของพื้นที่ศึกษา

3.2.2 เจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างชั้นดิน

การเลือกตำแหน่งหลุมเจาะ ได้พิจารณาจากแผนที่ลุ่มน้ำของบ่อน้ำ ทำการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างชั้นดินจำนวน 7 หลุม โดยมีบ่อสังเกตการณ์จำนวน 2 บ่อ เส้นผ่าศูนย์กลางของหลุมเจาะมีขนาด 2 นิ้ว ความลึกของหลุมเจาะขึ้นอยู่กับระดับชั้นหินดินดาน ใช้เปรียบเทียบค่าระดับน้ำกับสระเดม น้ำโดยเก็บตัวอย่างดินทุกๆระยะ 1 เมตร



รูปที่ 3.10 การเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างชั้นดิน

3.2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของชั้นดินในห้องปฏิบัติการ

นำตัวอย่างดินที่ได้จากการเจาะสำรวจมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติของชั้นดินในห้องปฏิบัติการ ได้แก่

1) การหาปริมาณความชื้นในดิน (Water Content) ตามมาตรฐาน ASTM D2216-98 ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างดินที่ใช้ในการหาปริมาณความชื้นในดิน

2) การหาขนาดของเม็ดดินด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Sieve Analysis) มาตรฐานอ้างอิง ASTM D422-63 เพื่อหาขนาดและการกระจายของเม็ดดิน ด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ที่มีช่องขนาดต่างๆ กัน การกระจายของขนาดเม็ดดิน แสดงด้วย Grain Size Distribution Curve (ดังแสดงในรูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.12 Sieve Analysis ในห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย

3) วิเคราะห์การกระจายของอนุภาค (Particle size distribution) และนำผลการวิเคราะห์ไปจำแนกเนื้อดิน วิธีการจำแนกดินด้วยระบบ Unified soil classification (Lambe and Whitman 1969)



รูปที่ 3.13 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle size distribution) (ที่มา : www.malvernpanalytical.com)

Major division	Group symbol	Typical name	Laboratory classification criteria	
Coarse grained soils (more than half of material is larger than No. 200 sieve size)	Gravels More than half of coarse fraction is larger than 4 mm sieve size	Clean gravels (little or no fines)	GW Well graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	$C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10}D_{60})$ Greater than 4 Between 1 and 3 Not meeting all gradation requirements for GW Atterberg's limits below "A" line, or <i>PI</i> less than 4 Atterberg's limits above "A" line with <i>PI</i> greater than 7 Above "A" line with <i>PI</i> between 4 and 7 are borderline cases requiring use of dual symbol
		Gravels with fine (appreciable amount of fines)	GP Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	
			GM Silty gravels, poorly graded gravel-sand-silt mixtures	
			GC Clayey gravels, poorly graded gravel-sand-clay mixtures	
	Sands More than half of coarse fraction is smaller than 4 mm sieve size	Clean sands (little or no fines)	SW Well graded sands, gravelly sands, little or no fines	$C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10}D_{60})$ Greater than 6 Between 1 and 3 Not meeting all gradation requirements for SW Atterberg's limits below "A" line, or <i>PI</i> less than 5 Atterberg's limits above "A" line with <i>PI</i> greater than 7 Above "A" line with <i>PI</i> between 4 and 7 are borderline cases requiring use of dual symbol
		Sands with fines (appreciable amount of fines)	SP Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines	
			SM Silty sands, poorly graded sand-silt mixtures	
			SC Clayey sands, poorly graded sand-clay mixtures	
	Fine-grained soils (more than half of material is smaller than No. 200 sieve size)	Silt and clays liquid limit less than 50	ML Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands with slight plasticity	Determine percentage of gravel and sand from grain size curve Depending on percentage of fines (fraction smaller than No. 200 sieve) coarse grained soils are classified as follows: Less than 5% 5% to 12% More than 12% GW, GP, SW, SP GM, GC, SM, SC 5% to 12%: Borderline cases requiring use of dual symbols
			CL Inorganic clay of low to medium plasticity, gravelly clays sandy clays, silty clays, lean clays	
OL Organic silts and organic silt-clays of low plasticity				
Silt and clays liquid limit greater than 50		MH Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts	Plasticity Index vs. Liquid Limit chart showing regions: CL-ML, CH, OH, MH, ML, OL, CH-OH, MH-OH, and A-Line ($I_p = 0.73(w_L - 20)$).	
		CH Inorganic clays of high plasticity, fat clays		
		OH Organic clays of medium to high plasticity		
Highly organic soils	Pt	Peat and other highly organic soils		

รูปที่ 3.14 เกณฑ์การจำแนกดินด้วยระบบ Unified soil classification (พรพจน์ ต้นเสีง, 2554)

3.2.4 เก็บข้อมูลระดับน้ำ

ทำการเก็บค่าระดับน้ำทั้ง 7 บ่อด้วยเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ โดยในระยะแรกเก็บข้อมูลระดับน้ำทุกวัน แต่เนื่องจากระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จึงเก็บข้อมูลระดับน้ำทุก 2 วัน



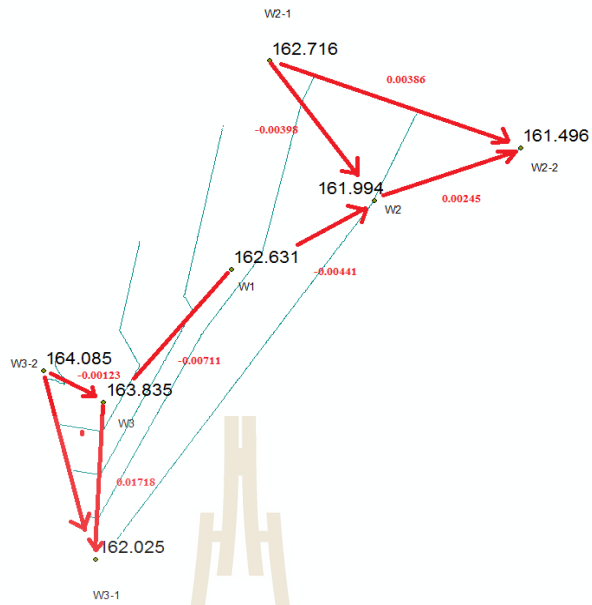
รูปที่ 3.15 วิธีการเก็บค่าระดับน้ำด้วยเครื่องมือวัดระดับน้ำ

3.2.5 วิเคราะห์ข้อมูลทิศทางและปริมาณการไหล

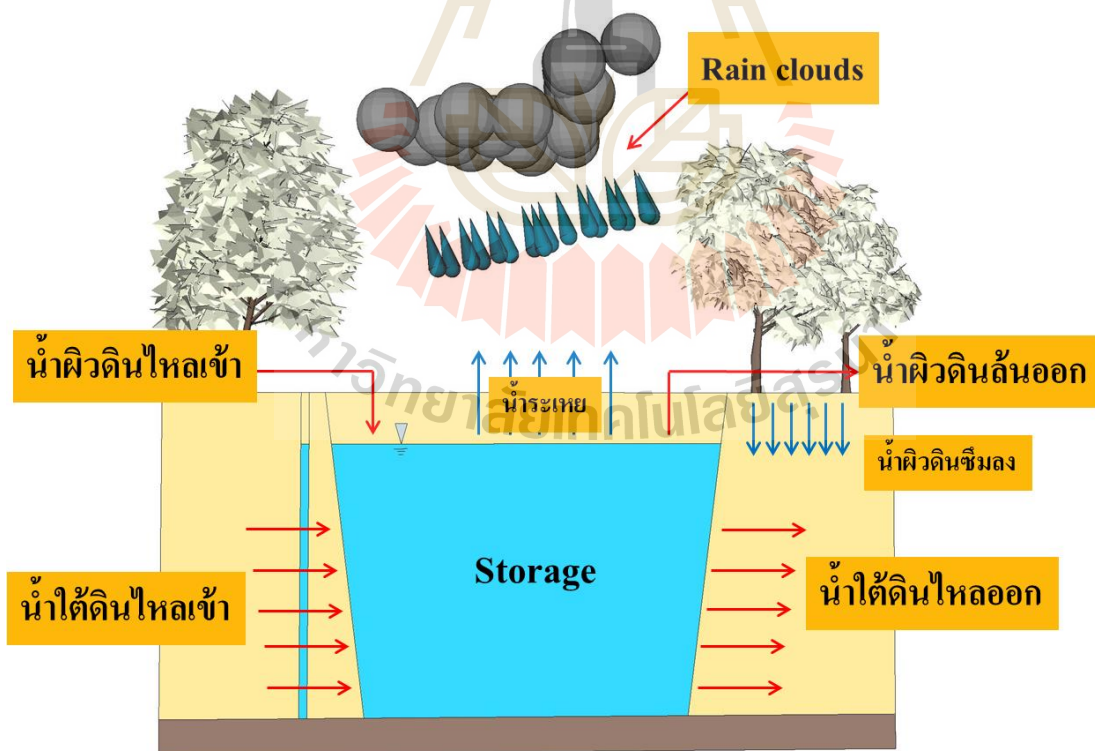
วิเคราะห์ข้อมูลค่าระดับน้ำใต้ดิน โดยการหาแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงของระดับน้ำใต้ดิน หาค่าลาดชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) คือความแตกต่างของเฮดความดันน้ำตามระยะทาง เพื่อหาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน และหาค่าอัตราการไหล (Q) ของน้ำในแต่ละบ่อด้วยวิธีของ Henry Darcy เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบสมดุลของน้ำ (ดังแสดงในรูปที่ 3.16 สัญลักษณ์ \rightarrow แสดงทิศทางการไหลของน้ำ)

3.2.6 สมดุลของน้ำในสระเติมน้ำ

ตรวจสอบสมดุลของน้ำจากการเติมน้ำใต้ดินผ่านสระเติมน้ำ โดยน้ำที่เติมผ่านสระคือน้ำที่มาจากฝนที่ตกลงสู่ผิวดิน และน้ำใต้ดินที่มีทิศทางการไหลมายังสระเติมน้ำ ปริมาณน้ำในดินขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างปริมาณน้ำฝน และ ศักยภาพการระเหย ปัจจัยที่ควบคุมปริมาณน้ำในดินได้แก่ อุณหภูมิ คาบเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์ สิ่งปกคลุมดิน และปริมาณน้ำฝน โดยตรวจสอบปริมาณน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่ศึกษามีว่าการเพิ่มขึ้นหรือไม่ รูปที่ 3.17 แสดงองค์ประกอบสมดุลของน้ำเข้า-ออกสระน้ำ



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างแผนที่เส้นชั้นความสูงของระดับน้ำใต้ดิน ค่าลาดชันและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน



รูปที่ 3.17 สมดุลของน้ำในสระเติมน้ำ

สมดุลของน้ำ (S_{t+1}) = ปริมาตรกักเก็บใช้การเดือนก่อนหน้า(S_t) + ปริมาณน้ำท่าไหลเข้า (I_t) + ปริมาณน้ำฝนในสระ (R_t) + ปริมาณน้ำใต้ดินไหลเข้า - ปริมาณน้ำระเหย - ปริมาณน้ำซึมออก - ปริมาณน้ำใต้ดินไหลออก

3.2.7 การใช้แบบจำลองทำนายปริมาณการ Recharge

ใช้แบบจำลอง Visual MODFLOW Flex4.1 ในการจำลองทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้จากแผนที่เส้นชั้นความสูงของระดับน้ำใต้ดิน และทำนายปริมาณการ Recharge ของน้ำใต้ดินในระยะยาวและทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ



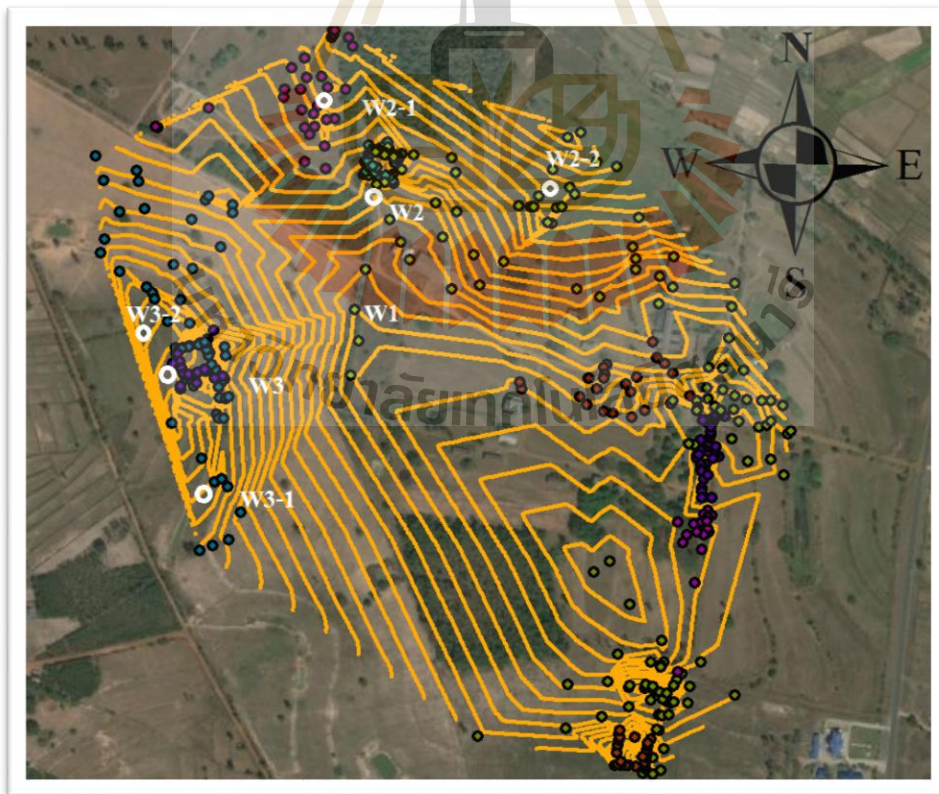
บทที่ 4

ผลการวิจัย

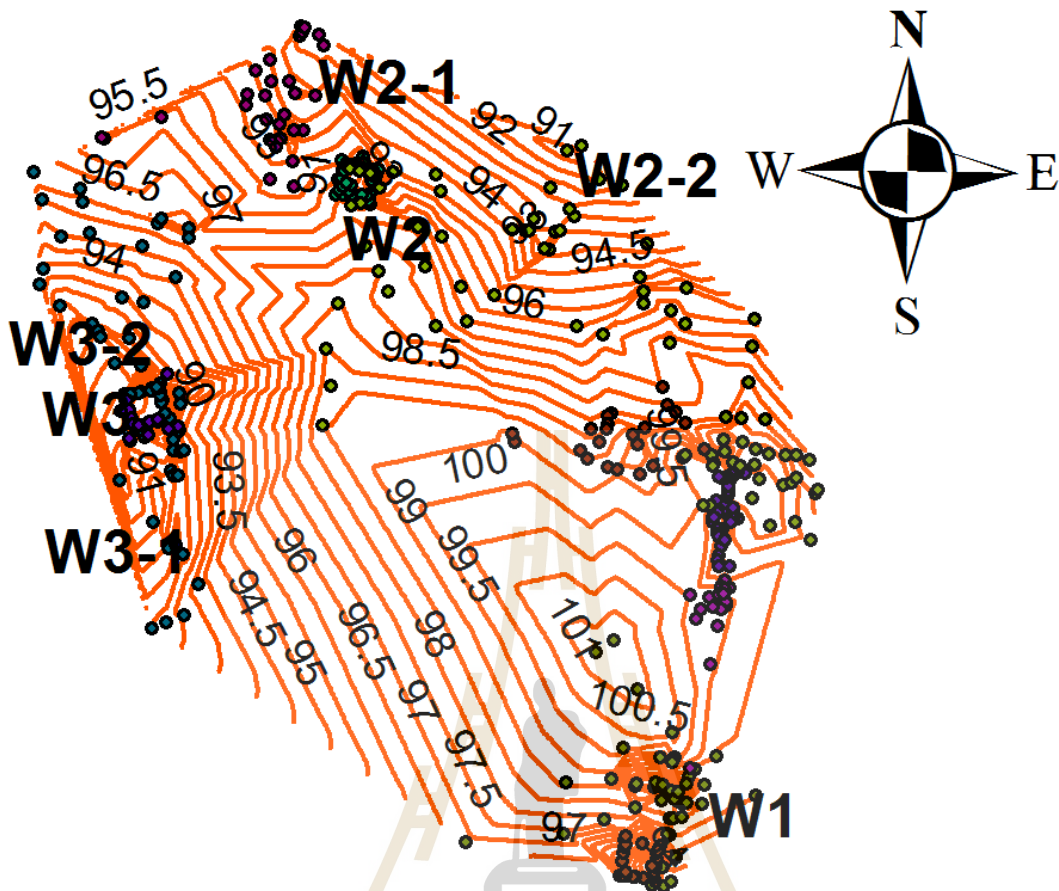
บทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลองผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการสำรวจทำแผนที่ การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของชั้นดิน การทำแผนที่แสดงทิศทางและปริมาณการไหลของน้ำใต้ดิน และตรวจสอบสมดุลของน้ำจากการเติมน้ำใต้ดินผ่านสระเติมน้ำ

4.1 แผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงของพื้นที่ศึกษา

จากการสำรวจโดยกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา ทำการรังวัดทำแผนที่และสร้างข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์(Geographic Information System, GIS) สามารถจัดทำแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง โดยมีค่าช่วงชั้นความสูง (contour interval) เท่ากับ 0.5 ม.สำหรับใช้หาขอบเขตลุ่มน้ำของแต่ละสระน้ำเพื่อนำไปคำนวณหาสมดุลของน้ำในสระน้ำ ลักษณะของพื้นที่ศึกษาเป็นที่ราบสูงลาดเอียงไปตามสระเติมน้ำ รอบๆ สระน้ำมีคันดินสำหรับกั้นน้ำให้ไหลลงสระเติมน้ำ หลุมเจาะวัดระดับน้ำเป็นบ่อสังเกตการณ์มีทั้งหมด 5 บ่อ และบ่อที่เป็นตัวแทนระดับน้ำในสระเติมน้ำอีก 2 บ่อตามความลาดเอียงของพื้นที่ โดยใช้สัญลักษณ์ “ W ” แทนชื่อหลุมเจาะแต่ละหลุม



รูปที่ 4.1 พื้นที่ศึกษาและตำแหน่งหลุมเจาะ



รูปที่ 4.2 แผนที่เส้นชั้นความสูงของพื้นที่ศึกษาและตำแหน่งสระเติมน้ำ W1, W2 และ W3

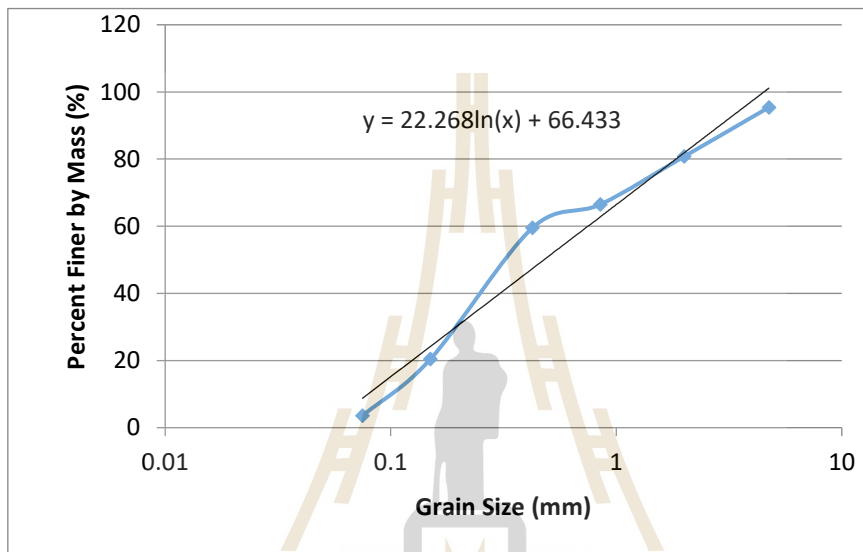
4.2 คุณสมบัติของชั้นดิน

นำตัวอย่างดินที่ได้จากการเจาะสำรวจมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติของชั้นดินและชนิดของดินในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาขนาดของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า 60%, 30%, และ 10% ไปใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านและใช้ในการจำแนกเนื้อดินต่อไป

1. การหาขนาดของเม็ดดินด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Sieve Analysis) และนำค่าที่ได้ไปพล็อต Grain Size Distribution Curve
2. วิเคราะห์การกระจายของอนุภาค (Particle Size Distribution) และนำค่าที่ได้ไปพล็อต Particle Size Distribution Curve

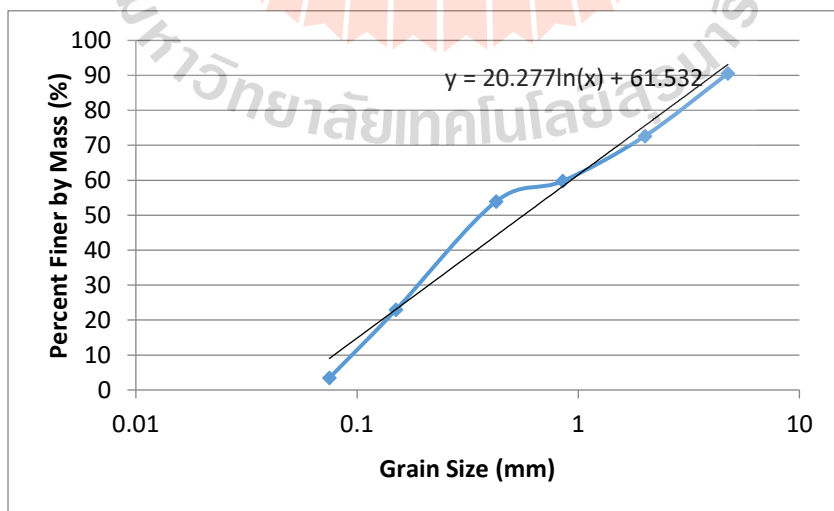
บ่อ W2 ความลึก 3 เมตร

Sieve	Grain Size (mm)	Percent Finer by
Sieve#4	4.75	95.41
Sieve#10	2	77.80
Sieve#20	0.85	49.66
Sieve#40	0.425	50.59
Sieve#100	0.15	42.20
Sieve#200	0.075	54.3



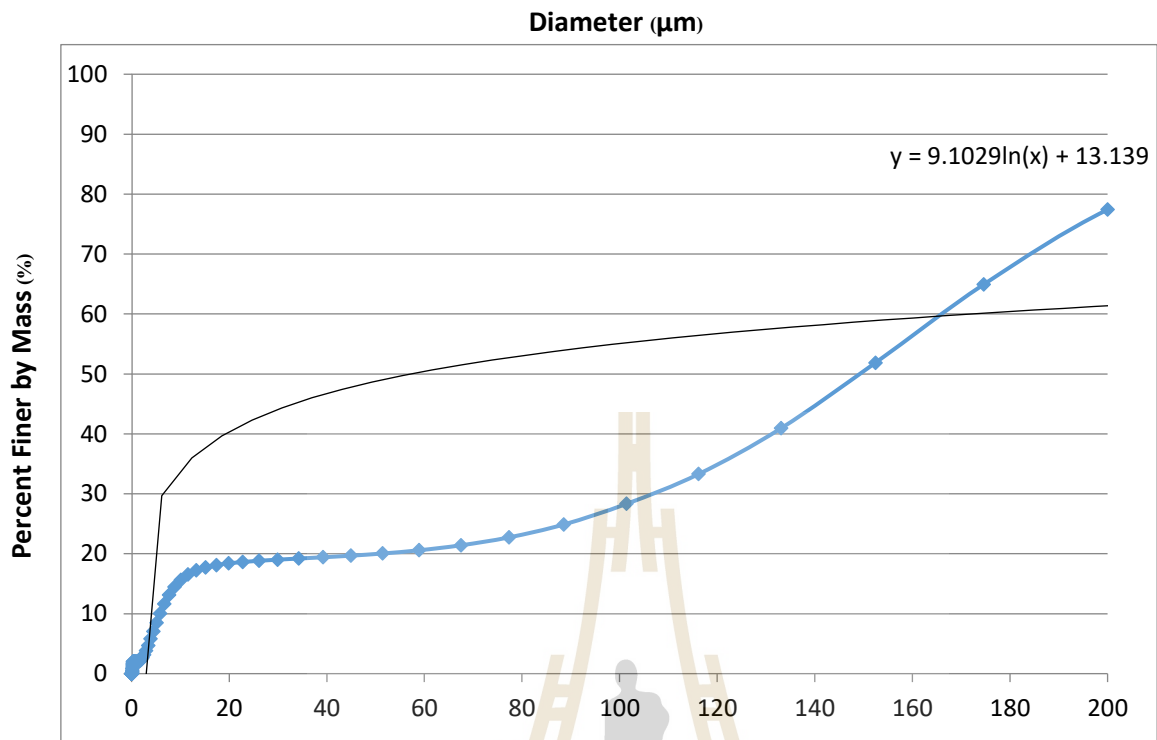
รูปที่ 4.3 Grain Size Distribution Curve บ่อ W2 ความลึก 3 เมตร

บ่อ W2 ความลึก 6 เมตร



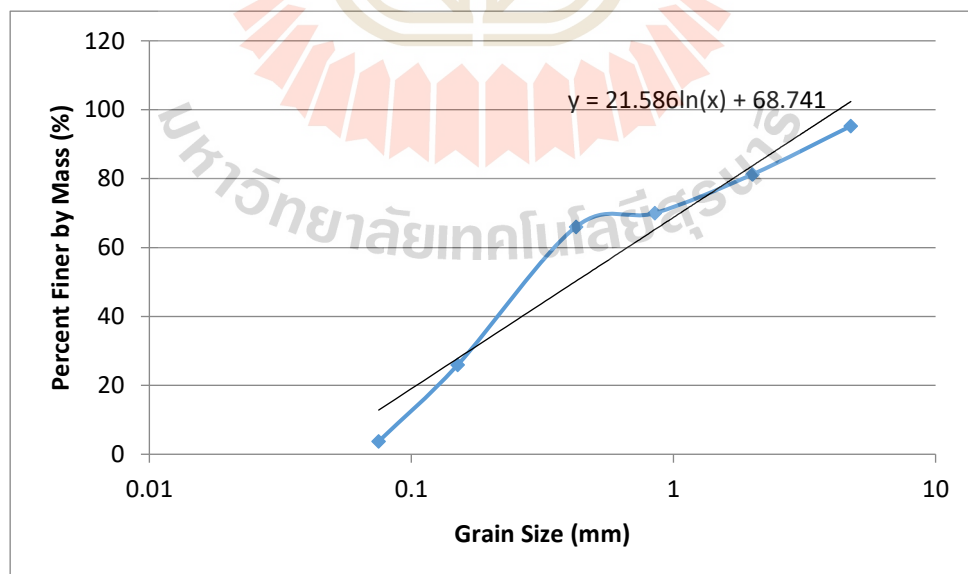
รูปที่ 4.4 Grain Size Distribution Curve บ่อ W2 ความลึก 6 เมตร

บ่อ W2 ความลึก 9.5 เมตร



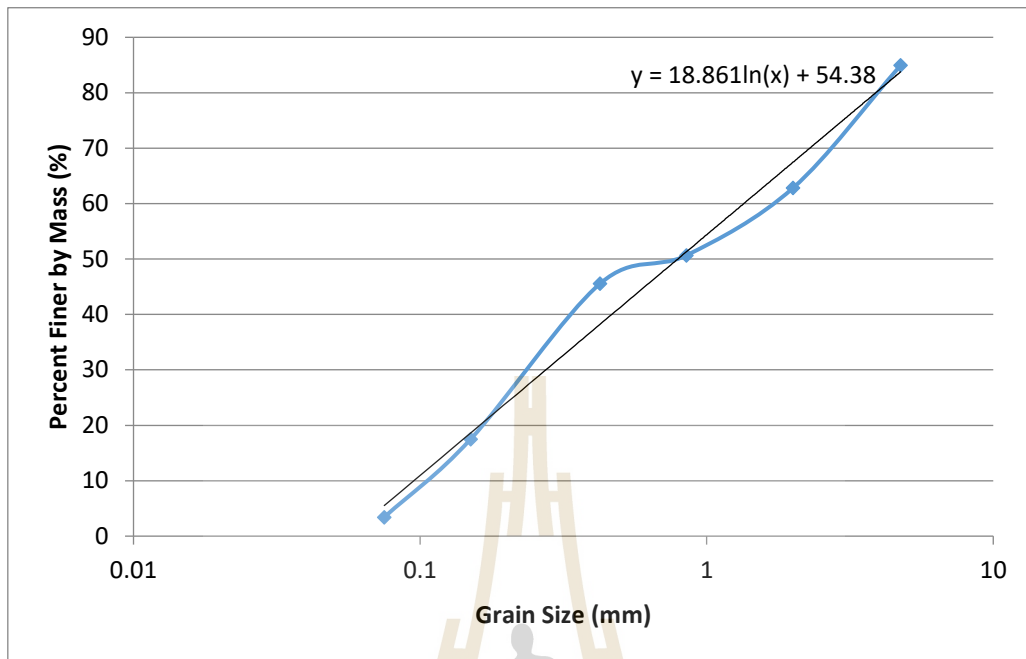
รูปที่ 4.5 Particle Size Distribution Curve ของบ่อ W2ความลึก 9.5เมตร

บ่อ W2-1 ความลึก 1 เมตร



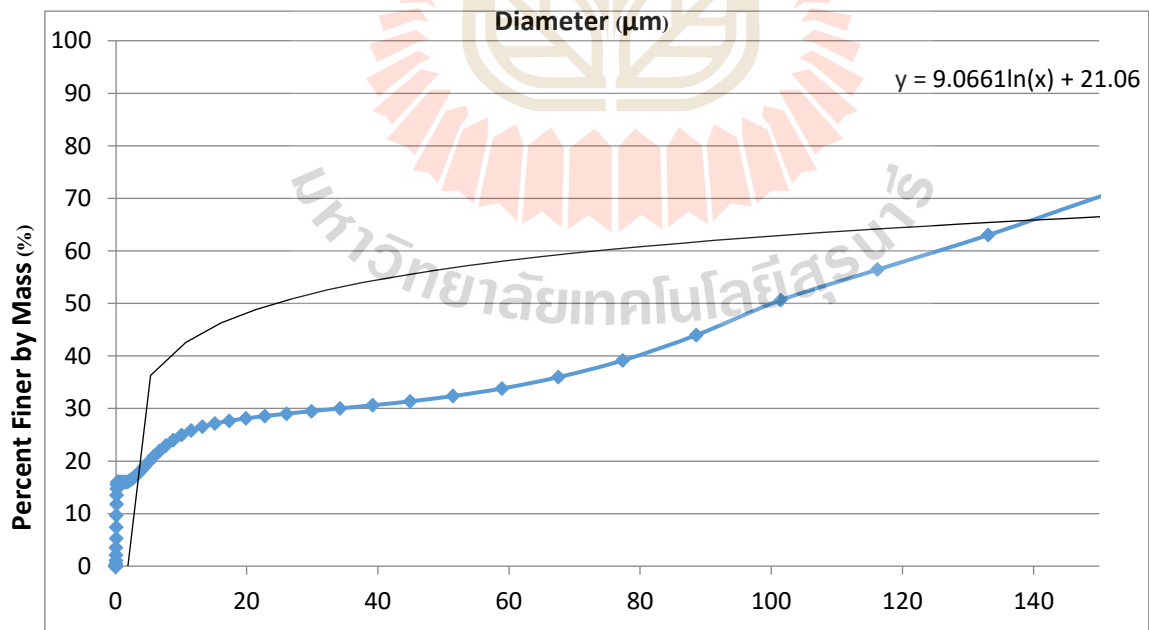
รูปที่ 4.6 Grain Size Distribution Curve บ่อ W2-1 ความลึก 1 เมตร

บ่อ W2-1 ความลึก 4 เมตร



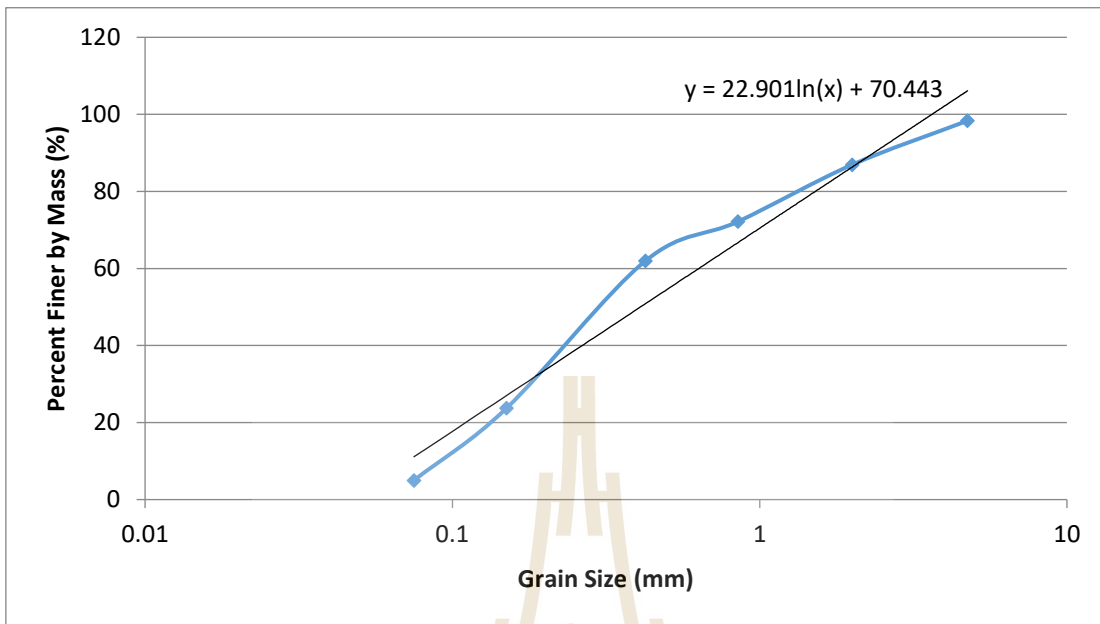
รูปที่ 4.7 Grain Size Distribution Curve บ่อ W2-1 ความลึก 4 เมตร

บ่อ W2-1 ความลึก 6.5 เมตร



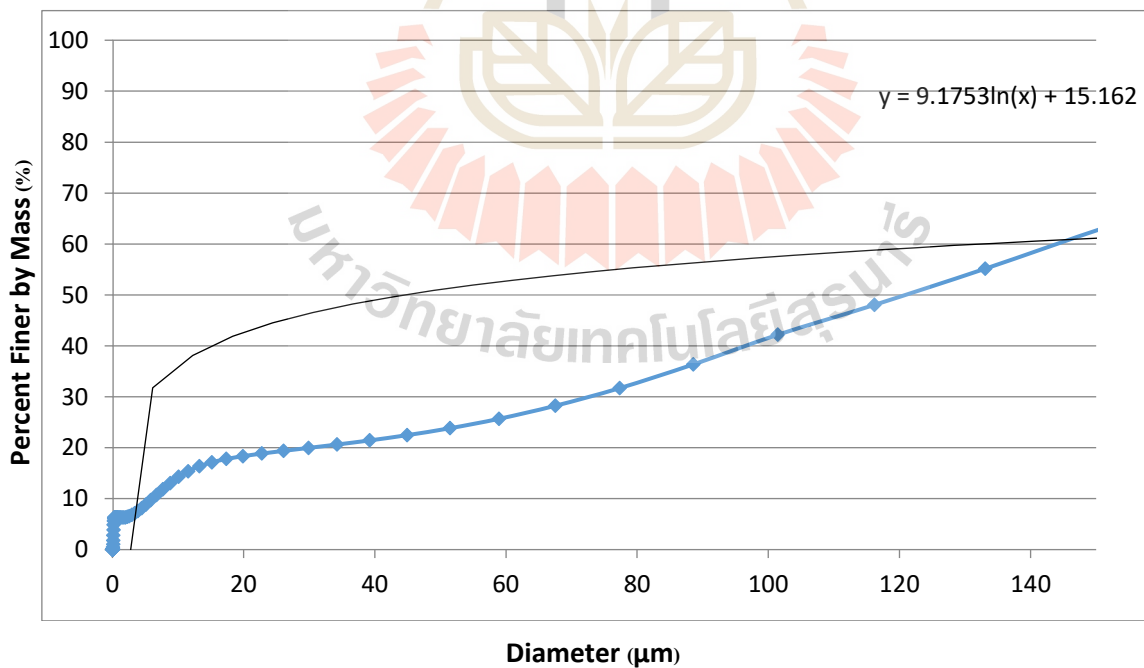
รูปที่ 4.8 Particle size distribution curve ของบ่อ W2-1 ความลึก 6.5 เมตร

บ่อ W2-2 ความลึก 2 เมตร



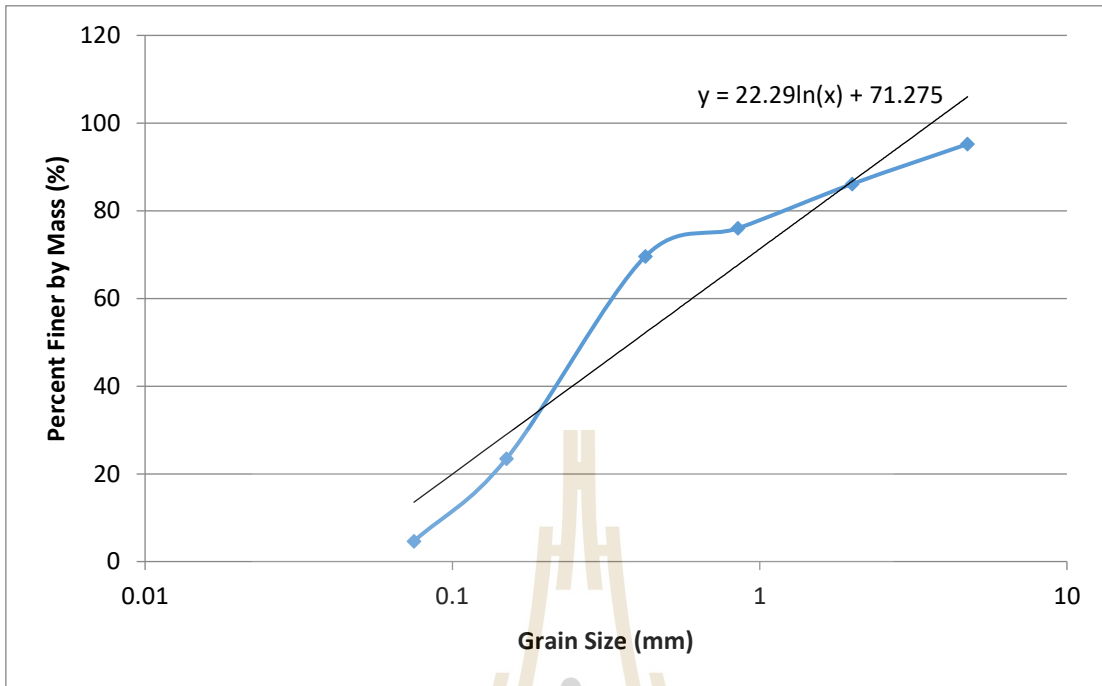
รูปที่ 4.9 Grain Size Distribution Curve บ่อ W2-2 ความลึก 2 เมตร

บ่อ W2-2 ความลึก 5.5 เมตร



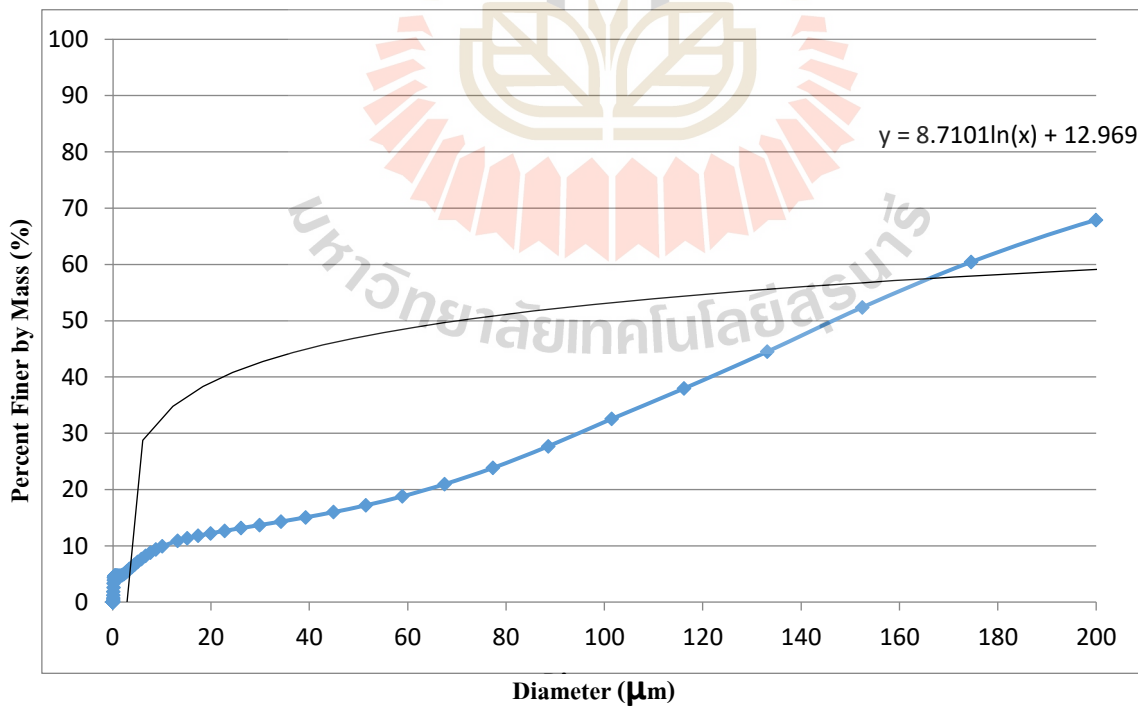
รูปที่ 4.10 Particle size distribution Curve ของบ่อ W2-2 ความลึก 5.5 เมตร

บ่อ W1 ความลึก 2 เมตร



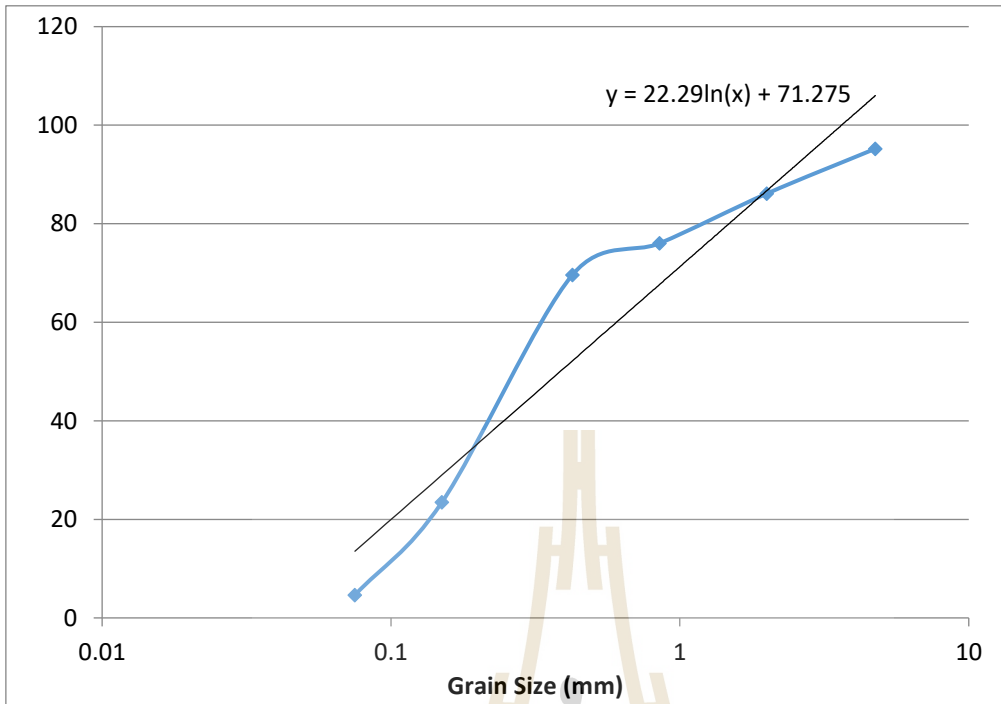
รูปที่ 4.11 Grain Size Distribution Curve บ่อ W1 ความลึก 2 เมตร

บ่อ W1 ความลึก 8.5 เมตร



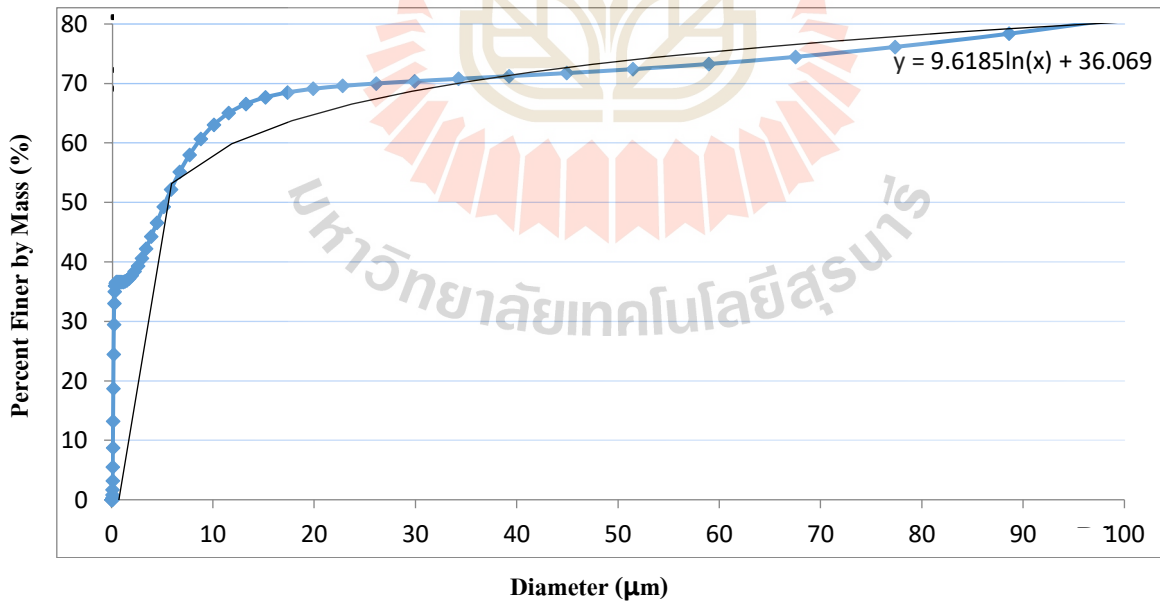
รูปที่ 4.12 Particle size distribution Curve ของบ่อ W1 ความลึก 8.5 เมตร

บ่อ W3 ความลึก 1 เมตร



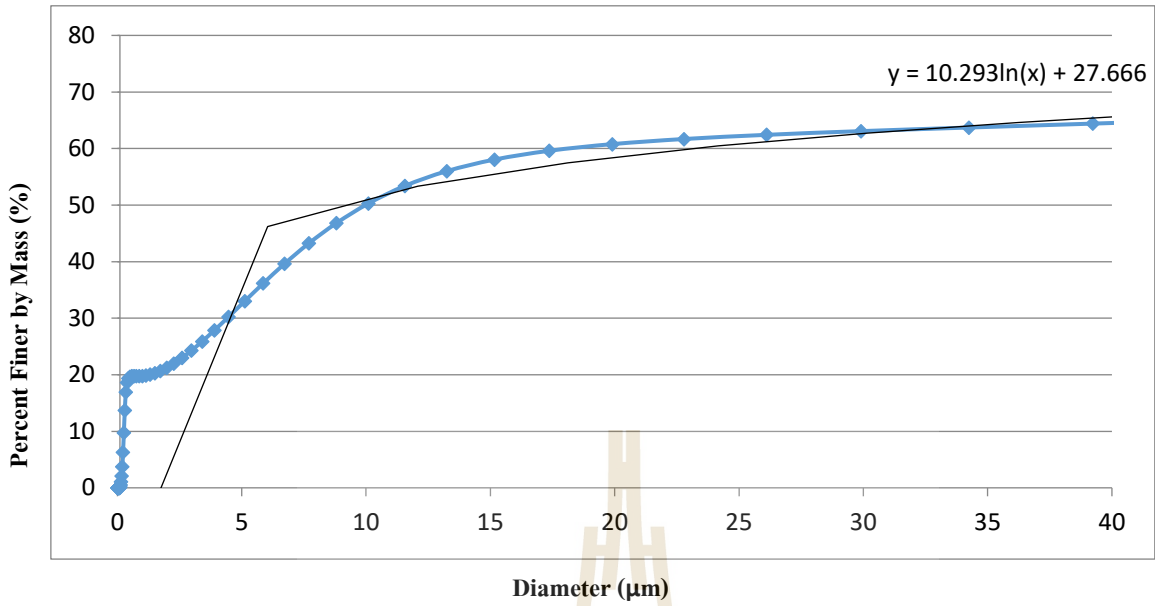
รูปที่ 4.13 Grain Size Distribution Curve บ่อ W3 ความลึก 1 เมตร

บ่อ W3 ความลึก 5.3 เมตร



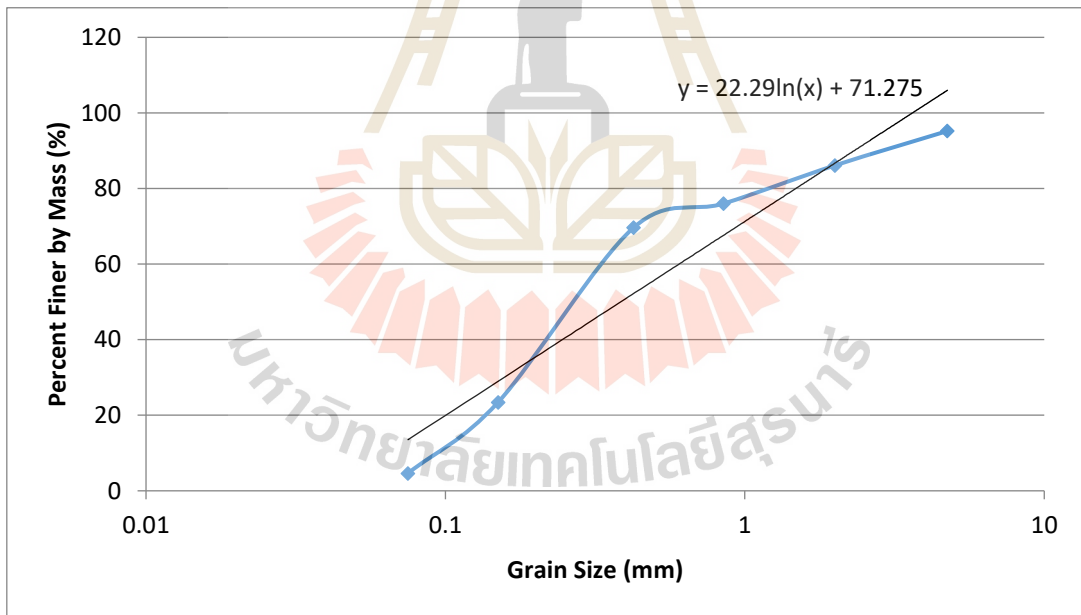
รูปที่ 4.14 Particle size distribution Curve ของบ่อ W3 ความลึก 5.3 ม

บ่อ W3-1 ความลึก 5.3 เมตร

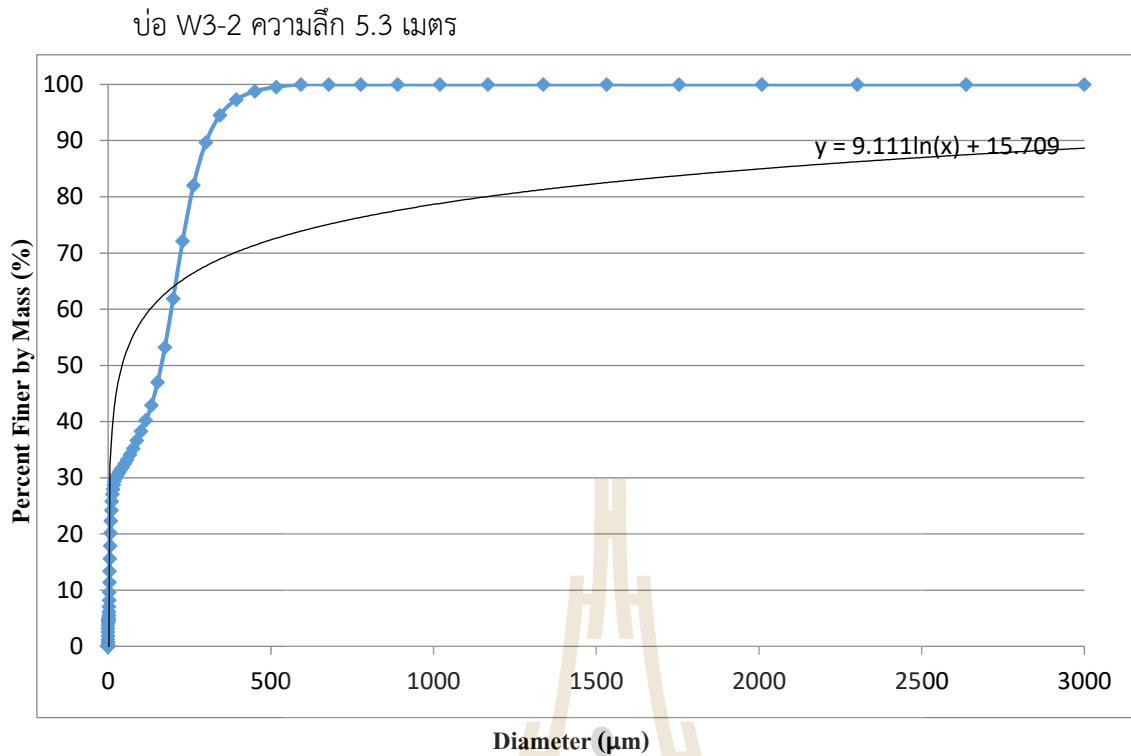


รูปที่ 4.15 Particle size distribution Curve ของบ่อ W3-1 ความลึก 5.3 เมตร

บ่อ W3-2 ความลึก 2 เมตร



รูปที่ 4.16 Grain Size Distribution Curve บ่อ W3-2 ความลึก 2 เมตร



รูปที่ 4.17 Particle size distribution Curve ของบ่อ W3-2 ความลึก 5.3 เมตร

3. นำผลการวิเคราะห์ไปจำแนกเนื้อดิน วิธีการจำแนกดินด้วยระบบ Unified soil classification (พรพจน์ ต้นเส็ง, 2554)

$$\text{Uniformity Coefficient (Cu)} : \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$\text{Coefficient of Concavity (Cc)} : \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

โดย D10 คือ Effective size (mm) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดดินที่ % finer เป็น 10%

D30 คือ Effective size (mm) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดดินที่ % finer เป็น 30%

D60 คือ Effective size (mm) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดดินที่ % finer เป็น 60%

ตารางที่ 4.1 ชนิดของดินที่ได้จากการจำแนกดินด้วยวิธี Unified soil classification

บ่อ W1		บ่อ W2		บ่อ W2-1	
ความลึก	ชนิดของดิน	ความลึก	ชนิดของดิน	ความลึก	ชนิดของดิน
1	ดินทรายเม็ดหยาบ	1	ดินทรายเม็ดหยาบ	0.5	ดินทรายเม็ดหยาบ
2	ดินทรายเม็ดหยาบ	3	ดินทรายเม็ดหยาบ	1	ดินทรายเม็ดหยาบ
8.5	ดินเหนียว	6	ดินทรายเม็ดหยาบ	4	ดินทรายเม็ดหยาบ
		9.5	ดินเหนียว	6.5	ดินเหนียว

บ่อ W2-2		บ่อ W3		บ่อ W3-1	
ความลึก	ชนิดของดิน	ความลึก	ชนิดของดิน	ความลึก	ชนิดของดิน
0.5	ดินทรายเม็ดหยาบ	0.5	ดินทรายเม็ดหยาบ	0.5	ดินทรายเม็ดหยาบ
2	ดินทรายเม็ดหยาบ	2	ดินทรายเม็ดหยาบ	2	ดินทรายเม็ดหยาบ
5.5	ดินเหนียว	3.5	ดินเหนียว	5.3	ดินเหนียว
บ่อ W3-2					
ความลึก	ชนิดของดิน				
0.5	ดินทรายเม็ดหยาบ				
2	ดินทรายเม็ดหยาบ				
5.3	ดินเหนียว				

- บ่อ W1 ที่ความลึก 8.5 ม.จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และที่ความลึก 0-2 ม.จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินทรายเม็ดหยาบ

- บ่อ W2 ที่ความลึก 9.5 ม.จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และที่ความลึก 0-6 ม.จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินทรายเม็ดหยาบ

- บ่อ W2-1 ที่ความลึก 6.5 ม.จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และที่ความลึก 0-4 เมตรจากผิวดินมีลักษณะเป็นดินทรายเม็ดหยาบ

- บ่อ W2-2 ที่ความลึก 5.5 ม.จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และที่ความลึก 0-2 ม.จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินทรายเม็ดหยาบ

- บ่อ W3 ที่ความลึก 5.3 ม.จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และที่ความลึก 1 ม.จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินทรายเม็ดหยาบ

- บ่อ W3-1 ที่ความลึก 5.3 ม.จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และที่ความลึก 0-2 ม.จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินทรายเม็ดหยาบ

- บ่อ W3-2 ที่ความลึก 5.3 ม.จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และที่ความลึก 0-2 ม.จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินทรายเม็ดหยาบ

4.3 แผนที่แสดงทิศทางและปริมาณการไหลของน้ำใต้ดิน

คำนวณค่าลาดชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) และทำแผนที่ทิศทาง การไหลของน้ำใต้ดิน ได้ผลดังนี้

$$\text{Hydraulic Gradient (i)} = \frac{\Delta H}{L} \quad (4.1)$$

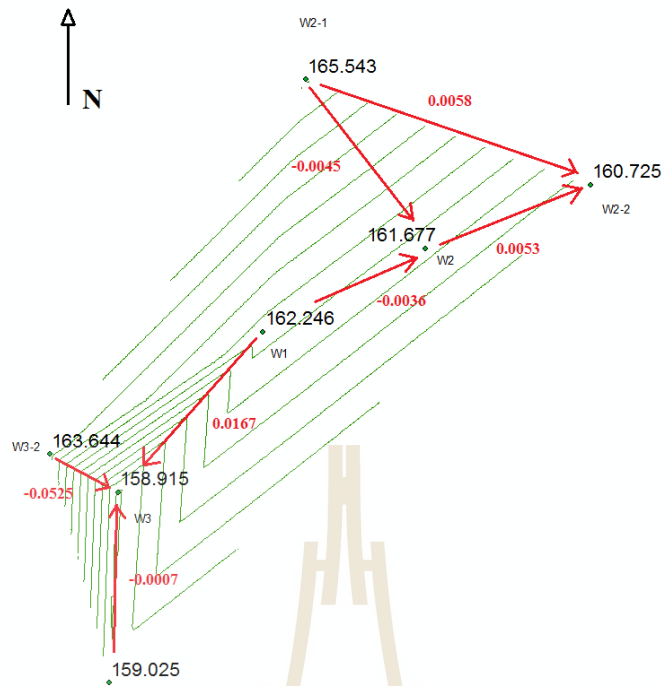
โดย ΔH คือ ความต่างของระดับน้ำ (head difference)

L คือระยะทางของการซึม

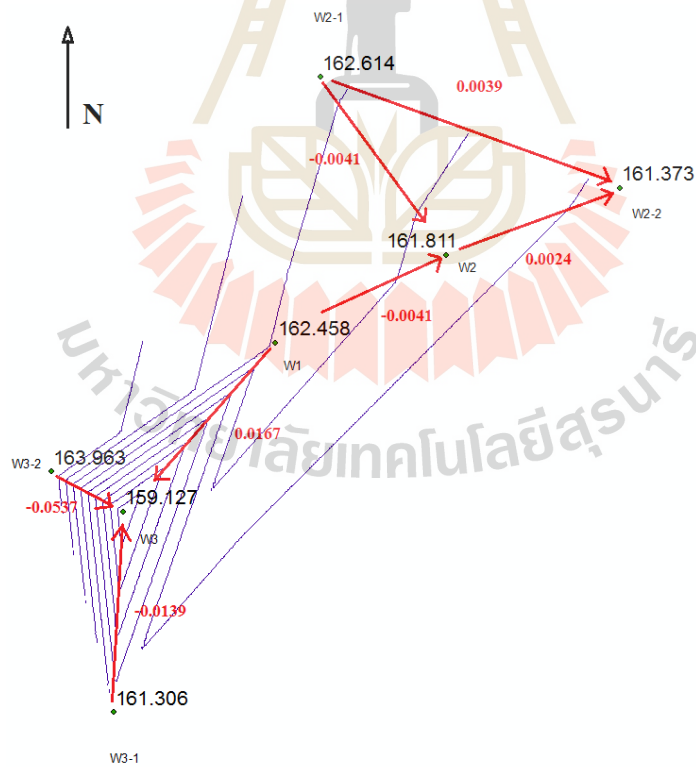
ตารางที่ 4.2 ค่าความลาดทางชลศาสตร์ บอถึงทิศทาง การไหลของน้ำใต้ดิน

เดือน	ความลาดทางชลศาสตร์ (Hydraulic gradient)						
	W2-W22	W2-W21	W21-W20	W2-W1	W1-W3	W3-W31	W31-W32
กรกฎาคม	0.0053	-0.0045	0.0058	-0.0036	-0.0174	-0.0006	-0.0525
สิงหาคม	0.0024	-0.0041	0.0039	-0.0041	-0.0174	-0.0123	-0.0537
กันยายน	0.0025	-0.0040	0.0039	-0.0044	0.0063	0.0102	-0.0030
ตุลาคม	-	-0.0034	0.0021	-0.0062	0.0042	0.0089	-0.0049
ธันวาคม	0.0010	-0.0030	0.0024	-0.0074	0.0008	0.0082	-0.0042
มกราคม	0.0026	-0.0030	0.0033	-0.0076	0.0003	0.0086	-0.0028
กุมภาพันธ์	0.0042	-0.0028	0.0041	-0.0078	-0.0006	0.0088	-0.0017
มีนาคม	0.0059	-0.0035	0.0055	-0.0079	-0.0006	0.0091	-0.0008
เมษายน	0.0068	-0.0042	0.0065	-0.0080	-0.0023	0.0077	-0.0035

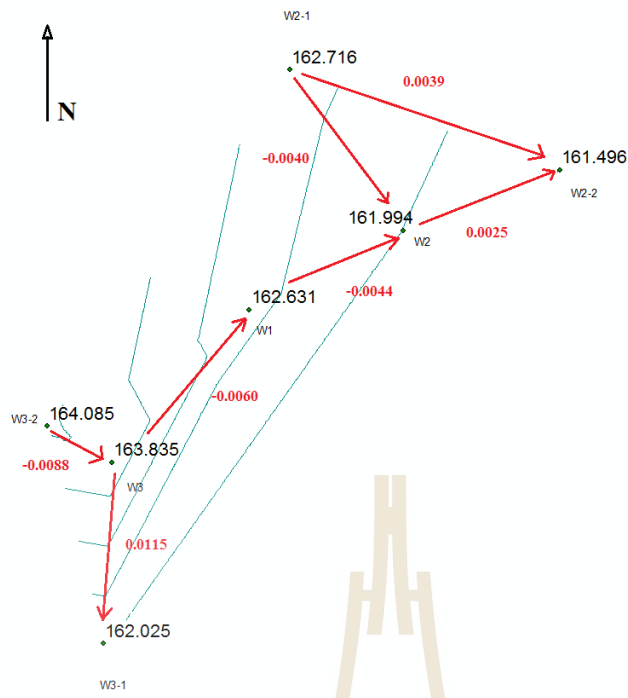
- ความลาดทางชลศาสตร์ บ่อ W2-W22 หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความต่างของระดับน้ำที่บ่อ W2 และ W22 กับระยะทางจากบ่อ W2 ถึง W22 เท่ากับ 0.0053 น้ำจึงมีทิศทาง การไหลจากบ่อ W2 ไปทาง W22; ความลาดทางชลศาสตร์ (i) = $\frac{\Delta H}{L} = \frac{161.677 - 160.725}{180} = 0.0053$



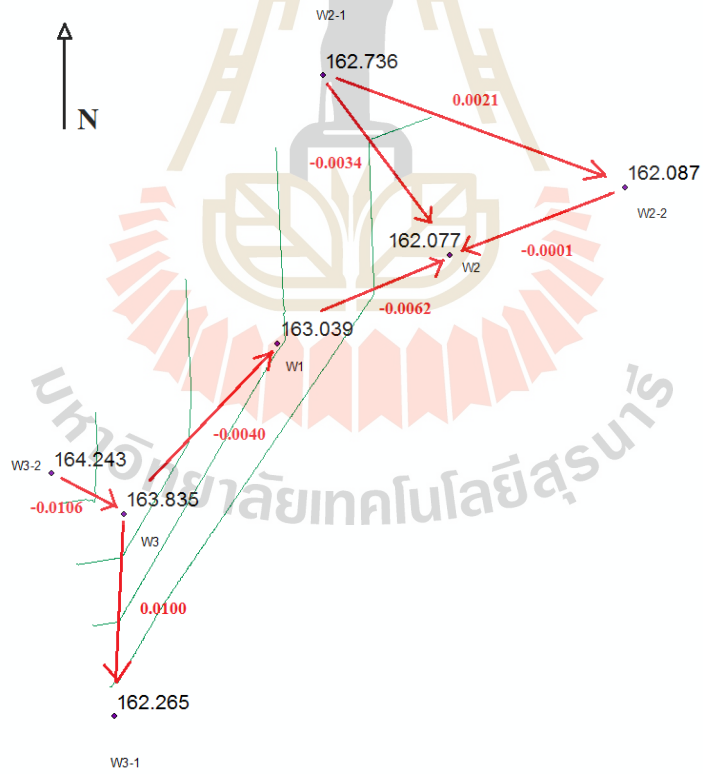
รูปที่ 4.18 แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนกรกฎาคม



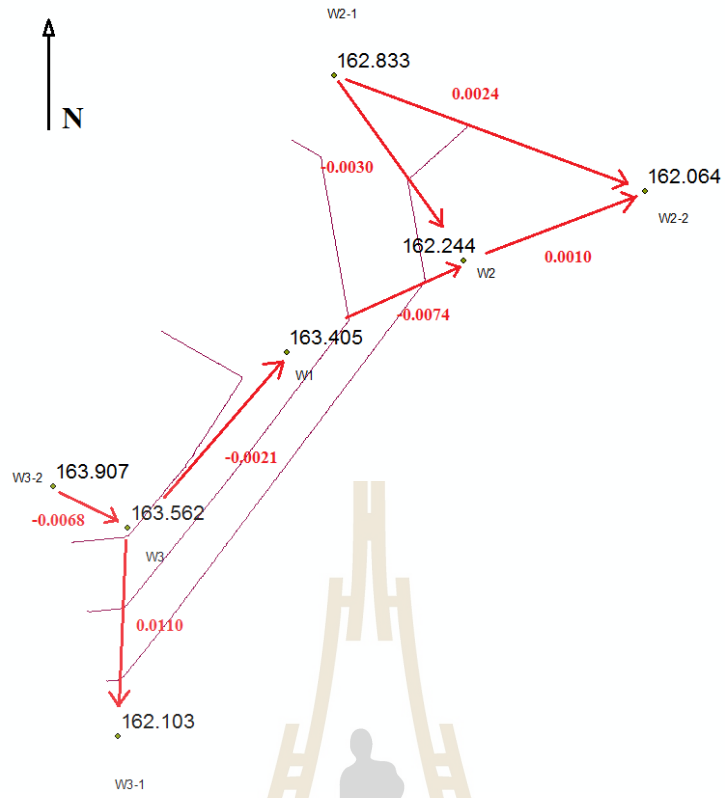
รูปที่ 4.19 แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนสิงหาคม



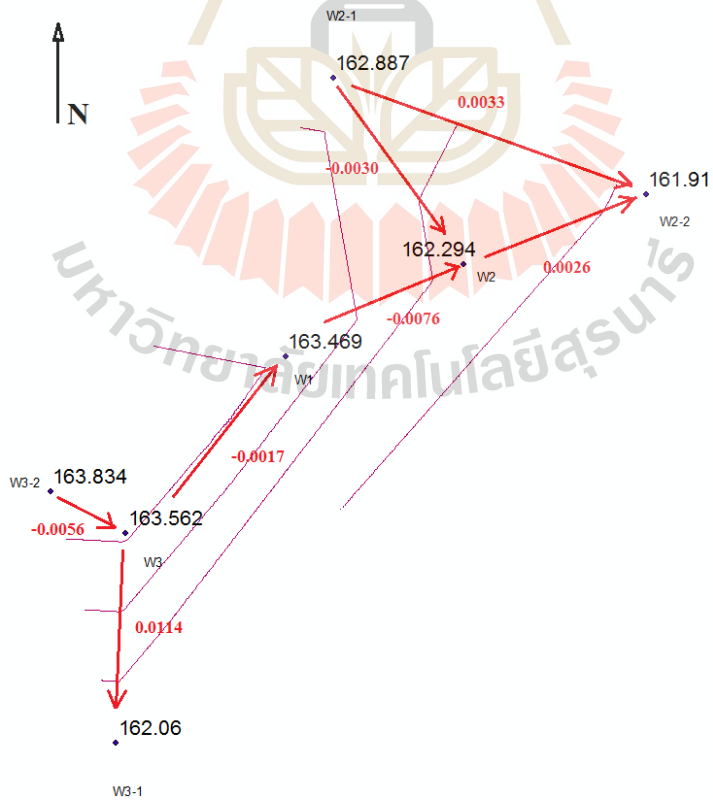
รูปที่ 4.20 แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนกันยายน



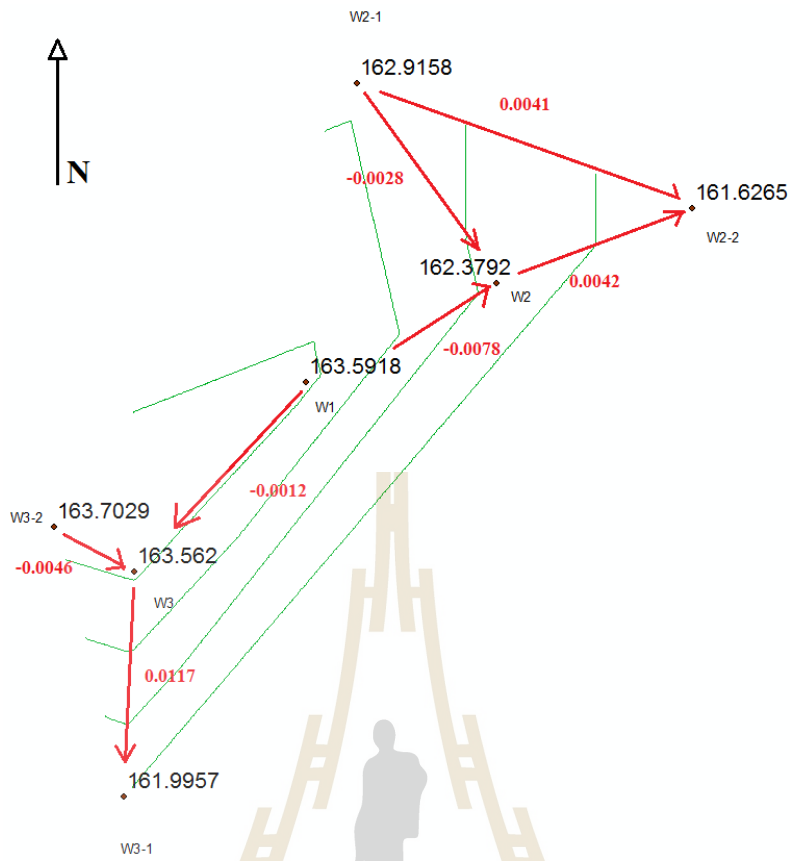
รูปที่ 4.21 แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนตุลาคม



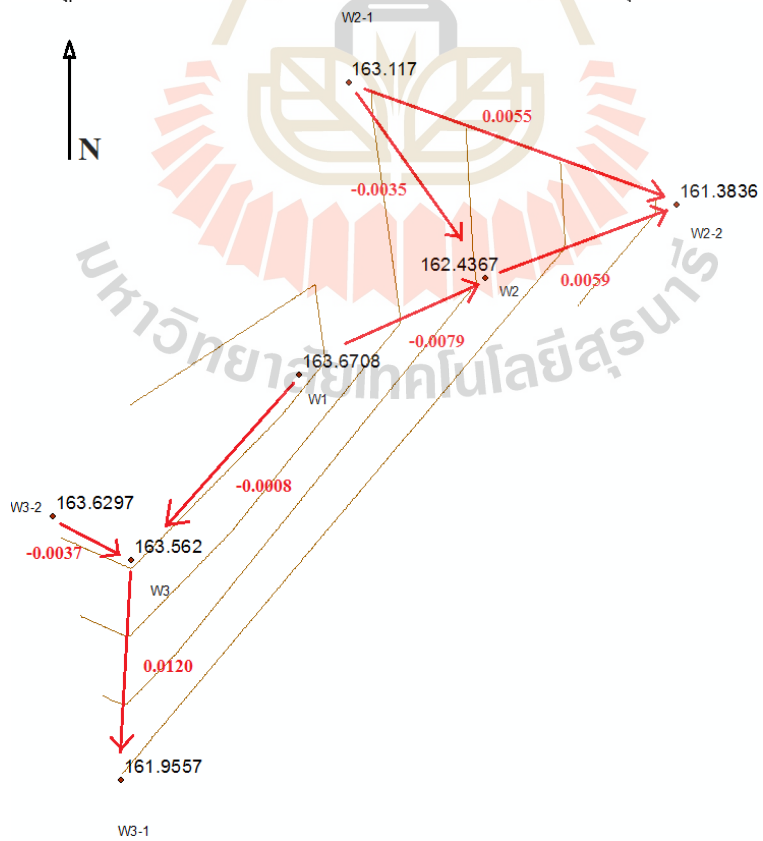
รูปที่ 4.22 แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนธันวาคม



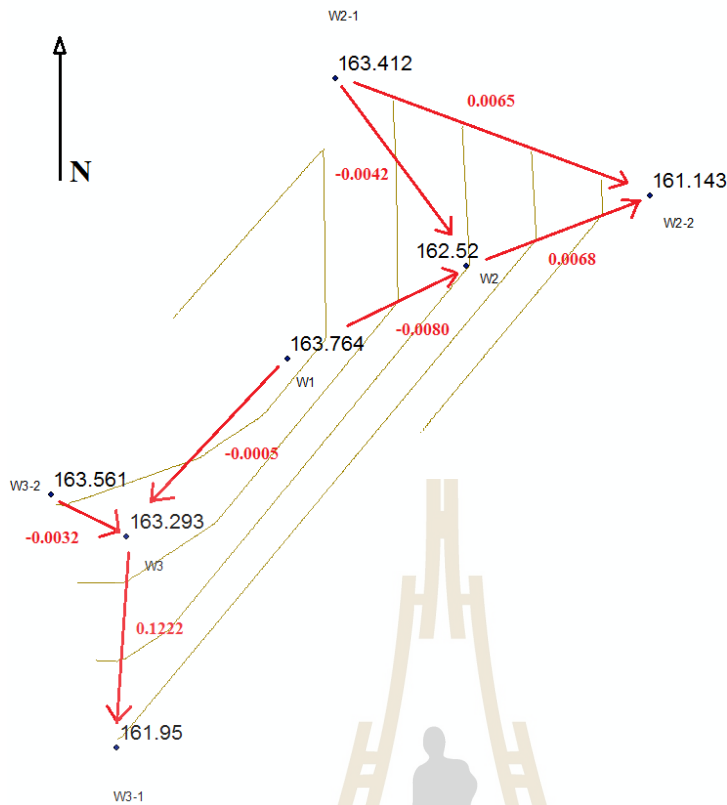
รูปที่ 4.23 แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนมกราคม



รูปที่ 4.24 แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนกุมภาพันธ์



รูปที่ 4.25 แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนมีนาคม



รูปที่ 4.26 แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเดือนเมษายน

- เดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม น้ำใต้ดินไหลเข้าสู่สระเติมน้ำ W2 จากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ ไหลออกจากสระเติมน้ำ W2 ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับสระเติมน้ำ W3 มีน้ำใต้ดินไหลเข้าสู่สระเติมน้ำ W3 จาก 3 ทิศทางคือ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ไม่มีน้ำไหลออก
- เดือนกันยายน น้ำใต้ดินไหลเข้าสู่สระเติมน้ำ W2 จากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ ไหลออกจากสระเติมน้ำ W2 ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับสระเติมน้ำ W3 มีน้ำใต้ดินไหลเข้าสู่สระเติมน้ำ W3 จากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และมีน้ำใต้ดินไหลออกจากสระเติมน้ำ W3 2 ทิศทางคือ ทางทิศใต้และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ
- เดือนตุลาคม น้ำใต้ดินไหลเข้าสู่สระเติมน้ำ W2 จาก 3 ทิศทางคือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับสระเติมน้ำ W3 มีน้ำใต้ดินไหลเข้าสู่สระเติมน้ำ W3 จากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และมีน้ำใต้ดินไหลออกจากสระเติมน้ำ W3 สองทิศทางคือ ทางทิศใต้และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ
- เดือนธันวาคมและเดือนมกราคม น้ำใต้ดินไหลเข้าสู่สระเติมน้ำ W2 จากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ ไหลออกจากสระเติมน้ำ W2 ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับสระเติมน้ำ

น้ำ W3 มีน้ำใต้ดินไหลเข้าสู่สระเติมน้ำ W3 จากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และมีน้ำใต้ดินไหลออกจากสระเติมน้ำ W3 สองทิศทางคือ ทางทิศใต้และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

- เดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน น้ำใต้ดินไหลเข้าสู่สระเติมน้ำ W2 จากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ ไหลออกจากสระเติมน้ำ W2 ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับสระเติมน้ำ W3 มีน้ำใต้ดินไหลเข้าสู่สระเติมน้ำ W3 สองทิศทางคือ จากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือและมีน้ำใต้ดินไหลออกจากสระเติมน้ำ W3 ทางทิศใต้

4.4 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity)

1) วิธีของ Kozeny- Carman ;

$$K = \frac{g}{\nu} \times 8.3 \times 10^{-3} \times \left[\frac{n^3}{(1-n)^2} \right] \times d_{10}^2 \quad (4.2)$$

โดย K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (เมตร /วินาที)

ν คือ ความหนืด (ตารางเมตร /วินาที)

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

n คือ ความพรุน : $0.255 \times (1 + 0.83^U)$: U คือ Uniformity Coefficient $\frac{d_{60}}{d_{10}}$

ชั้นดินส่วนใหญ่เป็นดินทรายมีลักษณะเป็นดินเม็ดหยาบ ที่ความลึกสูงสุดของแต่ละบ่อ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าน้อยมาก เนื่องจากมีลักษณะเป็นดินเหนียวและน้ำซึมผ่านได้ยาก

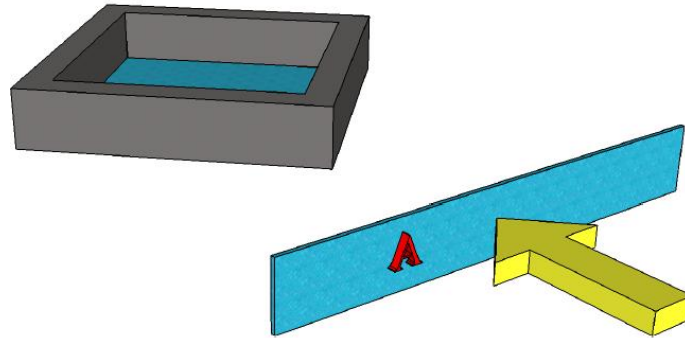
ตารางที่ 4.3 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ความลึกต่าง ๆ

ชื่อบ่อ	ความลึก (เมตร)	สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (เมตร/วินาที)
W1	1	0.0393
	2	0.0018
	5.8	3.3548×10^{-7}
W2	1	0.0129
	3	0.0027
	6	0.000034
	9.5	9.2061×10^{-9}
W2-1	0.5	0.0048
	1	0.0020
	4	0.0062
	6.5	6.2271×10^{-11}
W2-2	0.5	0.0022
	2	0.0021
	5.5	1.0327×10^{-7}
W3	0.5	0.0499
	1	0.000018
	5.3	4.9138×10^{-11}
W3-1	0.5	0.0036
	5.3	1.8057×10^{-10}

ชื่อบ่อ	ความลึก (เมตร)	สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (เมตร/วินาที)
W3-2	5.0	0.0009
	2	0.0018
	3.5	4.2770×10^{-8}

4.5 อัตราการไหลของน้ำใต้ดิน

1 คำนวณหาค่าพื้นที่หน้าตัดของการไหลของน้ำใต้ดิน (A)



รูปที่ 4.27 พื้นที่หน้าตัดของการไหลของน้ำใต้ดิน

ตารางที่ 4.4 พื้นที่หน้าตัดของดินที่น้ำไหลผ่าน (A) ระหว่างบ่อสังเกตการณ์ หน่วย:ตารางเมตร

เดือน /	W2-	W2-W21	W21-W22	W2-W1	W1-W3	W3-W31	W3-W32	W31-
กรกฎาคม	24.81	37.68	50.09	27.80	397.12	307.51	438.16	37.68
สิงหาคม	12.28	44.158	35.10	39.60	404.48	372.03	447.19	44.15
กันยายน	16.35	51.938	39.49	48.23	409.37	397.91	458.19	51.93
ตุลาคม	36.80	57.198	57.56	66.10	423.43	399.16	454.82	57.19
ธันวาคม	40.96	62.7158	57.62	78.89	423.68	386.85	437.88	62.71
มกราคม	36.94	66.44	53.32	83.61	426.40	385.16	434.82	66.44
กุมภาพันธ์	32.41	68.87	47.60	87.99	428.97	383.83	432.11	68.87
มีนาคม	29.78	76.20	49.02	91.87	431.20	382.70	430.06	76.20
เมษายน	36.20	85.22	60.95	95.74	425.72	374.49	420.88	85.22

2 คำนวณหาค่าอัตราการไหลเข้า (Q_{in})และอัตราการไหลออก (Q_{out}) ของทั้ง 3 บ่อ โดยใช้วิธีของ Henry Darcy;

$$Q = KA \frac{\Delta H}{L} \quad (4.3)$$

โดย Q คือ อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)

K คือ สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (เมตร /วินาที)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของดินที่น้ำไหลผ่าน (ตารางเมตร)

$\frac{\Delta H}{L}$ คือ ไฮดรอลิกเกรเดียน (Hydraulic gradient)

ตารางที่ 4.5 อัตราการไหลเข้าและอัตราการไหลออกของทั้ง 3 บ่อ ที่ระยะต่าง ๆ

อัตราการไหลของน้ำใต้ดิน Q (ลบ.ม./ วินาที)						
เฉลี่ย/เดือน	W2-W22	W2-W21	W21-W22	W2-W1	W3-W31	W3-W32
กรกฎาคม	4.46E-06	-5.72E-06	-3.45E-06	-1.25E-04	-3.44E-06	-4.14E-04
สิงหาคม	1.02E-06	-6.21E-06	-5.59E-06	-1.27E-04	-8.24E-05	-4.32E-04
กันยายน	1.38E-06	-7.03E-06	-7.23E-06	4.64E-05	7.32E-05	-2.48E-05
ตุลาคม	-6.74E-08	-6.60E-06	-1.39E-05	3.18E-05	6.37E-05	-4.02E-05
พฤศจิกายน	ไม่ได้เก็บข้อมูลระดับน้ำของแต่ละบ่อ					
ธันวาคม	1.39E-06	-6.47E-06	-2.00E-05	6.26E-06	5.74E-05	-3.28E-05
มกราคม	3.24E-06	-6.74E-06	-2.16E-05	2.45E-06	5.95E-05	-2.23E-05
กุมภาพันธ์	4.61E-06	-6.48E-06	-2.33E-05	-4.40E-06	6.11E-05	-1.32E-05
มีนาคม	5.92E-06	-9.09E-06	-2.47E-05	-4.42E-06	6.25E-05	-6.31E-06
เมษายน	8.37E-06	-1.23E-05	-2.60E-05	-1.74E-05	5.22E-05	-2.63E-05

ค่าอัตราการไหล(Q) ติดลบเนื่องจากใช้ค่าไฮดรอลิกเกรเดียนต์ที่ติดลบ สำหรับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินให้ดูแผนที่แสดงทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเป็นหลัก

4.6 สมดุลของน้ำในสระเติมน้ำ

(1) สมดุลของน้ำในสระเติมน้ำ W2

- พื้นที่สระเก็บน้ำ (A_p) = 1,600 ตร.ม.
- พื้นที่รับน้ำฝน (A_c) = 6,800 ตร.ม.
- สัมประสิทธิ์การไหลซึม = 9.2061×10^{-8} ม./วินาที
- สัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (Runoff coefficient) จาก Runoff Estimation Chart

เลือกสภาพที่ดินแบบ B พื้นที่ค่อนข้างลาดชันเป็นป่าเปิด (สมเกียรติ พุทธธาวิวัฒน์, 2531)

$$C(T) = (5.769 + 0.129 \times P_1(T)) / 100 \quad (4.4)$$

$C(T)$ = Runoff coefficient เดือน T

$P_1(T)$ = ค่าความลึกของน้ำฝนรายเดือน

ตารางที่ 4.6 สัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (Runoff coefficient)

ปี พ.ศ.	เดือน	จำนวนวัน	ปริมาณฝนรายเดือนรวม (มม./	สัมประสิทธิ์น้ำท่า (C)
2560	ก.ค.	31	445.6	0.633
2560	ส.ค.	31	215.4	0.336
2560	ก.ย.	30	340.3	0.497
2560	ต.ค.	31	166.3	0.272
2560	พ.ย.	ไม่ได้เก็บข้อมูลระดับน้ำของแต่ละบ่อ		
2560	ธ.ค.	31	4.8	0.064
2561	ม.ค.	31	0.9	0.059
2561	ก.พ.	28	0.4	0.058
2561	มี.ค.	31	62.6	0.138
2561	เม.ย.	30	29.8	0.096

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ พื้นที่ผิวและปริมาตรน้ำ สระ W2

W2		
ความลึก	พื้นที่ผิว (ตร.ม.)	ปริมาตร (ลบ.ม.)
0.247	918	253
0.381	928	397
0.514	937	539
0.647	947	683
0.885	964	944
0.949	969	1,017
1.007	973	1,080
1.061	977	1,141

ตารางที่ 4.8 สมดุลของน้ำในสระ W2

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
ปี พ.ศ.	เดือน	วัน	ปริมาณฝน รายเดือน (มม./ เดือน)	สัมประสิทธิ์ น้ำท่า (C)	ปริมาณ น้ำท่าไหล เข้า (ลบ.ม./ เดือน)	ปริมาณน้ำฝน ตกในสระ (ลบ.ม./ เดือน)	ปริมาณน้ำ ใต้ดินไหล เข้าสระ (ลบ.ม./ เดือน)	น้ำระเหย จากผา ตื้น (ลบ.ม./ เดือน) Epan	น้ำระเหย ออกเฉลี่ย (ลบ.ม./ เดือน)	ปริมาณ น้ำซึมออก เฉลี่ย (ลบ.ม./ เดือน)	ปริมาณน้ำ ใต้ดินไหล ออกสระ (ลบ.ม./ เดือน)	ปริมาตร เก็บกัก ใช้การ (ลบ.ม.)	ความลึก น้ำใช้การ คงเหลือ (ม.)
2560	ก.ค.	31	6.445	633.0	1,917	96.450	17.88	130	6.145	226.32	11.95	2001.5	1.25
2560	ส.ค.	31	4.215	336.0	491	65.115	22.37	3.139	02.156	228.70	2.72	2243.6	1.40
2560	ก.ย.	30	3.340	497.0	1,149	43.270	26.13	4.93	61.104	223.61	3.58	3357.7	2.10
2560	ต.ค.	31	3.166	272.0	308	43.72	41.12	6.129	15.145	233.44		3400.4	2.13
2560	พ.ย.	30	ไม่ได้เก็บข้อมูลระดับน้ำของแต่ละบ่อ										
2560	ธ.ค.	31	8.4	064.0	2	49.0	56.21	9.114	69.128	236.41	3.72	3090.4	1.93
2561	ม.ค.	31	9.0	059.0	0.36	08.0	60.62	4.136	77.152	237.68	8.68	2752.3	1.72
2561	ก.พ.	28	4.0	058.0	0.16	04.0	58.40	9.125	01.141	215.70	11.15	2443.1	1.53
2561	มี.ค.	31	6.62	138.0	59	87.13	70.52	8.175	9.196	239.84	15.87	2133.8	1.33
2561	เม.ย.	30	8.29	096.0	19	58.4	74.48	2.168	38.188	233.09	21.68	1789.2	1.12

- โดยที่ (4) ข้อมูลน้ำฝนรายเดือน
- (5) สัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff coefficient) ขึ้นอยู่กับปริมาณฝนและลักษณะพื้นที่รับน้ำฝน
- (6) ปริมาณน้ำท่าไหลเข้า = (4) x (5) x พื้นที่รับน้ำฝน/ 1,000
- (7) ปริมาณน้ำฝนตกในสระ = (4) x (5) x พื้นที่ผิวสระเก็บน้ำ/ 1,000
- (9) ปริมาณน้ำระเหยจากผิวน้ำรายเดือน
- (10) ปริมาณการระเหยของน้ำ = $0.7 \times (3) \times (8) \times \frac{\text{พื้นที่ผิวของพื้นที่รับน้ำ}}{1,000}$ โดยที่ สัมประสิทธิ์การปรับแก้ของผิวน้ำเท่ากับ 0.7
- (11) ปริมาณการซึมของน้ำ = อัตราการซึมน้ำผ่านได้ของชั้นดิน x พื้นที่สระเก็บน้ำ x (3)
- (13) สมดุลของน้ำ = ปริมาตรเก็บกักใช้การเดือนก่อนหน้า + (6) + (7) + (8) - (10) - (11) - (12)
- (14) ความลึกน้ำใช้การคงเหลือ = (13) / พื้นที่สระเก็บน้ำ

(2) สมดุลของน้ำในสระเติมน้ำ W3

พื้นที่สระเก็บน้ำ (A_p) = 1,600 ตร.ม.

พื้นที่รับน้ำฝน (A_c) = 60,300 ตร.ม.

สัมประสิทธิ์การไหลซึม = 4.9183×10^{-11} เมตร/วินาที

สัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (Runoff coefficient) จาก Runoff Estimation Chart

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ พื้นที่ผิวและปริมาตรน้ำสระ W3

W3		
ความลึก(ม.)	พื้นที่ผิว (ตร.ม.)	ปริมาตร (ลบ.ม.)
2.921	1123	3,419
3.133	1141	3,701
7.841	1583	11,190
7.841	1583	11,190
7.568	1553	10,758
7.568	1553	10,758
7.568	1553	10,758
7.299	1523	10,263

ตารางที่ 4.10 สมดุลของน้ำในสระ W3

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
ปี พ.ศ.	เดือน	วัน	ปริมาณ ฝนราย เดือน (มม./ เดือน)	สัมประสิทธิ์ น้ำท่า (C)	ปริมาณ น้ำท่าไหล เข้า (ลบ.ม./ เดือน)	ปริมาณ น้ำฝนตกใน สระ (ลบ.ม./ เดือน)	ปริมาณน้ำ ใต้ดินไหล เข้าสระ (ลบ.ม./ เดือน)	น้ำระเหย จากภาค เฉลี่ย (มม.) Epan	น้ำระเหย ออกเฉลี่ย (ลบ.ม./ เดือน)	ปริมาณ น้ำซึม ออกเฉลี่ย (ลบ.ม./ เดือน)	ปริมาณ น้ำใต้ดิน ไหลออก สระ (ลบ. ม./เดือน)	ปริมาตร เก็บกัก ใช้การ (ลบ.ม.)	ปริมาตร น้ำล้น ออก (ลบ.ม.)	ความลึก น้ำใช้ การ คงเหลือ (ม.)
2560	ก.ค.	31	6.445	633.0	16995	713.0	1159	130	21.102	1479.0		12800	09.5965	8
2560	ส.ค.	31	4.215	336.0	4358	344.6	1227	3.139	26.111	150.0		12800	88.5818	8
2560	ก.ย.	30	3.340	497.0	10192	544.5	64.4	4.93	47.103	201.0	792.224	12800	2.10472	8
2560	ต.ค.	31	3.166	272.0	2729.8	266.1	107.68	6.129	58.143	208.0	725.190	12800	01.2769	8
2560	พ.ย.	30	ไม่ได้เก็บข้อมูลระดับน้ำของแต่ละบ่อ											
2560	ธ.ค.	31	8.4	064.0	18.5	7.7	87.77	9.114	89.124	204.0	673.154	1.12634		896.7
2561	ม.ค.	31	9.0	059.0	3.2	1.4	59.73	4.136	26.148	204.0	438.159	6.12390		744.7
2561	ก.พ.	28	4.0	058.0	1.4	0.6	33.67	9.125	85.136	184.0	286.148	0.12141		588.7
2561	มี.ค.	31	6.62	138.0	522.6	100.2	20.65	8.175	09.191	204.0	751.163	3.12429		768.7
2561	เม.ย.	30	8.29	096.0	172.7	47.7	81.75	2.168	38.179	194.0	037.162	9.12389		743.7

โดยที่

- (4) ข้อมูลน้ำฝนรายเดือน
- (5) สัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff coefficient) ขึ้นอยู่กับปริมาณฝนและลักษณะพื้นที่รับน้ำฝน
- (6) ปริมาณน้ำท่าไหลเข้า = (4) \times (5) \times พื้นที่รับน้ำฝน / 1,000
- (7) ปริมาณน้ำฝนตกในสระ = (4) \times (5) \times พื้นที่ผิวสระเก็บน้ำ / 1,000
- (9) ปริมาณน้ำระเหยจากผิวน้ำรายเดือน
- (10) ปริมาณการระเหยของน้ำ = 0.7 \times (3) \times (8) \times พื้นที่ผิวของพื้นที่รับน้ำ / 1,000 โดยที่
สัมประสิทธิ์การปรับแก้ของผิวน้ำเท่ากับ 0.7
- (11) ปริมาณการซึมของน้ำ = อัตราการซึมน้ำผ่านได้ของชั้นดิน \times พื้นที่สระเก็บน้ำ \times (3)
- (13) สมดุลของน้ำ = ปริมาตรเก็บกักใช้การเดือนก่อนหน้า + (6) + (7) + (8) - (10) - (11) -
(12)
- (14) ปริมาณน้ำล้นออก = (13) - ปริมาตรเก็บกักของสระเก็บน้ำ
- (15) ความลึกน้ำใช้การคงเหลือ = (14) / พื้นที่สระเก็บน้ำ



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการสำรวจวิเคราะห์ข้อมูลภูมิประเทศ ชั้นดิน ระดับน้ำใต้ดินพบว่าน้ำมีทิศทางการไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำหรือไหลตามความลาดเอียงของพื้นที่โดยสรุปได้ดังนี้ น้ำใต้ดินที่เติมให้กับสระเติมน้ำ W2 มีทิศทางการไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ของสระเติมน้ำ W2 ไหลออกทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของสระเติมน้ำ W2 ส่วนน้ำใต้ดินที่ไหลเข้า-ออก สระเติมน้ำ W3 มีทิศทางการไหลเข้าสระเติมน้ำจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (5 เดือน) และ ทิศใต้ (2 เดือน) มีทิศทางการไหลจากสระเติมน้ำ W3 คือ ทางทิศใต้ (7 เดือน) และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (4 เดือน) เมื่อทำการใช้หลักการสมดุลของน้ำในบ่อและชั้นอุ้มน้ำ ทำการประมาณปริมาณน้ำที่เติมให้กับชั้นอุ้มน้ำตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2560 ถึงเดือนเมษายน 2561 W2 มีค่าเท่ากับ 427.7 ลบ.ม. มีปริมาณน้ำไหลออก 79.4 ลบ.ม. และทำการประมาณปริมาณน้ำที่เติมให้กับชั้นอุ้มน้ำ W3 มีค่าเท่ากับ 2,842 ลบ.ม. มีปริมาณน้ำไหลออก 1,204 ลบ.ม.

ตารางที่ 5.1 ปริมาณน้ำที่เติมและไหลออกจากชั้นอุ้มน้ำสระน้ำ W2

ปี พ.ศ.	เดือน	Qin (ลบ.ม./เดือน)		Qout (ลบ.ม./เดือน)		St (ลบ.ม./เดือน)	St+1 (ลบ.ม./เดือน)	ความ ลึกน้ำ (ม.)
		น้ำผิวดิน	น้ำใต้ดิน	น้ำผิวดิน	น้ำใต้ดิน			
2560	ก.ค.	2367.525	17.876	371.916	11.946	2001.539	2001.539	1.251
	ส.ค.	607.141	22.371	384.714	2.723	242.076	2243.615	1.402
	ก.ย.	1419.761	26.126	328.215	3.582	1114.090	3357.705	2.098
	ต.ค.	380.265	41.119	378.590		42.794	3400.499	2.125
	ธ.ค.	2.575	56.205	365.095	3.725	-310.039	3090.460	1.931
2561	ม.ค.	0.445	60.619	390.445	8.683	-338.064	2752.396	1.720
	ก.พ.	0.195	58.401	356.709	11.149	-309.262	2443.134	1.527
	มี.ค.	72.799	70.515	436.738	15.869	-309.292	2133.842	1.333
	เม.ย.	24.064	74.475	421.471	21.685	-344.616	1789.225	1.118
	รวม	4874.772	427.710	3433.895	79.362	1440.877		

ตารางที่ 5.2 ปริมาณน้ำที่เติมและไหลออกจากชั้นอุ้มน้ำสระน้ำ W3

ปี พ.ศ.	เดือน	Qin (ลบ.ม./เดือน)		Qout (ลบ.ม./เดือน)		St (ลบ.ม./ เดือน)	St+1 (ลบ.ม./ เดือน)	ความ ลึกน้ำ (ม.)	น้ำสัน ออก (ลบ. ม.)
		น้ำผิวดิน	น้ำใต้ดิน	น้ำผิวดิน	น้ำใต้ดิน				
2560	ก.ค.	17708.408	1159.047	102.359		18765.095	12800	8	5965
	ส.ค.	4703.049	1227.247	111.411		5818.886	12800	8	5819
	ก.ย.	10736.337	64.398	103.674	224.792	10472.269	12800	8	10472
	ต.ค.	2995.842	107.683	143.784	190.726	2769.015	12800	8	2769
	ธ.ค.	26.170	87.769	125.096	154.673	-165.830	12634.170	7.896	
2561	ม.ค.	4.634	59.733	148.465	159.439	-243.537	12390.633	7.744	
	ก.พ.	2.044	33.668	137.033	148.287	-249.607	12141.025	7.588	
	มี.ค.	622.756	20.645	191.292	163.752	288.357	12429.383	7.768	
	เม.ย.	220.423	81.747	179.559	162.037	-39.426	12389.956	7.744	
	รวม	37019.664	2841.937	1242.674	1203.705				

สระน้ำ W2 ลักษณะดินรอบ ๆ สระเก็บน้ำเป็นชั้นดินเหนียวระดับตื้น (5.5-6.5 เมตร) กว่ระดับกันสระเก็บน้ำ (9.5 เมตร) ทำให้ความหนาของชั้นอุ้มน้ำไร้แรงดัน มีค่าน้อย ส่งผลให้มีน้ำใต้ดินไหลเข้า-ออกน้อย ส่วนสระน้ำ W3 ลักษณะดินรอบ ๆ สระเก็บน้ำเป็นชั้นดินเหนียวระดับเดียวกับระดับกันสระเก็บน้ำ W3 ความหนาของชั้นอุ้มน้ำไร้แรงดันมีค่ามากกว่าของสระเก็บน้ำ W2 ทำให้มีน้ำใต้ดินไหลเข้า-ออกได้มากกว่า สระน้ำ W2

ปริมาณน้ำผิวดินที่ไหลเข้ามาสู่บ่อน้ำของสระเก็บน้ำ W3 มีปริมาณมากกว่า ของสระเก็บน้ำ W2 เนื่องจากขนาดลุ่มน้ำของสระ W3 (60,300 ตารางเมตร) มีขนาดใหญ่กว่าขนาดลุ่มน้ำของสระ W2 (6,800 ตารางเมตร) มาก

การใช้สระเติมน้ำ มีน้ำผิวดินไหลลงมาเติมในสระเก็บน้ำ แต่การตรวจสอบการไหลเข้า-ออกของน้ำใต้ดิน พบว่า มีปริมาณน้ำใต้ดินไหลเข้ามาในสระน้ำ มากกว่าปริมาณน้ำในสระไหลออกไปยังชั้นน้ำใต้ดินรอบ ๆ สระ ดังนั้นพฤติกรรมของสระน้ำจึงเป็นการดักน้ำใต้ดิน และน้ำผิวดิน มากกว่าเป็นการเติมน้ำจากสระน้ำลงในชั้นอุ้มน้ำ

ทั้งนี้การสังเกตพบว่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในสระเก็บน้ำ ระดับน้ำสูงขึ้น ลดลงได้ในช่วงที่กว้าง แต่ระดับ water table ในบ่อสังเกตการณ์มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาน้อย ไม่สัมพันธ์กัน อาจเนื่องมาจาก คุณสมบัติของชั้นอุ้มน้ำไร้แรงดันที่น้ำไหลผ่านได้ยาก ถึงแม้สระน้ำและบ่อสังเกตการณ์ ที่อยู่ใกล้กันแต่น้ำใต้ดินไหลถึงกันได้น้อยและช้า

เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์วัดระดับน้ำโดยตรง เช่น staff gauge ในสระเก็บน้ำ เพื่อคำนวณปริมาณ การกักเก็บน้ำในสระเก็บน้ำ แต่ใช้ระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์ที่ใกล้ที่สุดแทน ดังนั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดนี้ ซึ่งภายหลังได้ดำเนินการสำรวจระดับน้ำในสระเก็บน้ำด้วยกล้องระดับในบางช่วงเวลา เพิ่มเติม

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการศึกษาต่อไป จะใช้แบบจำลอง Visual MODFLOW Flex4.1 ในการจำลองทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้จากแผนที่เส้นชั้นความสูงของระดับน้ำใต้ดิน และทำนายปริมาณการ Recharge และ Discharge ของน้ำใต้ดินในระยะยาวและทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ



บรรณานุกรม

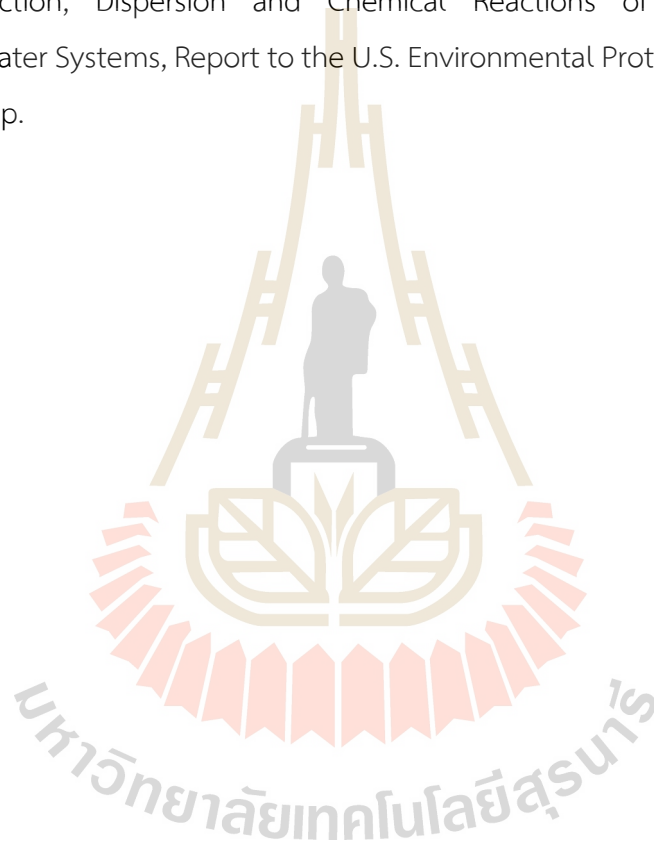
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2561).เติมน้ำเพิ่มต้นทุนชีวิต. สืบค้นจาก<http://202.129.59.73/tn/Water-/water1.htm>
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2555).การดำเนินงานโครงการประชุม ฝักอบรม และการศึกษาดูงาน ณ ต่างประเทศ ด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาล เพื่อส่งเสริมการพัฒนาศักยภาพในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาล(กองทุนพัฒนาน้ำบาดาล) ปีงบประมาณ พ.ศ.2555. โครงการประชุมเรื่อง The second Asia - Pacific Coastal Aquifer Management Meeting. การประชุมสัมมนาจัดโดย Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO),IAH ICGW MLTM และ UNESCAP. สาธารณรัฐเกาหลีใต้.
- กรรณิการ์ รัตนประเสริฐศรี. (2559). ศูนย์การเรียนรู้ธนาคารน้ำใต้ดิน. สืบค้นจาก <https://www.kku.ac.th/news/v.php?l=th&q=0013383>.
- กุลชาติ โภชาแสง และ ชัยวัฒน์ ขยันการนาวิ. (2555). การจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินในโครงการเติมน้ำลงสู่ชั้นบาดาลจังหวัดสุโขทัย,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- กองประปาชนบท กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2561). การศึกษาหาความลึกที่เหมาะสมของการเจาะน้ำบาดาล.สืบค้นจาก <http://202.129.59.73/tn/Waterground/groundwater2.htm>
- ธนชาติ สุทธิธนกุล วรณดี ไทยสยาม และ อติชัย พรพรหมินทร์ (2562) การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเพื่อวิเคราะห์การแยกเป็นสองทางของหัวร่องน้ำ วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 29 (1) หน้า 14-22
- ธนัท ธนาบุรณ์ (2554) แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลระดับตื้น และการเคลื่อนตัวของโลหะหนักบริเวณตำบลหัวเรือ จังหวัดอุบลราชธานี โครงการงานชั้นปี 4 หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ไพฑูรย์ นนทการ, นท แสงเทียน และ สถาพร โภคา. (2554). แบบจำลองน้ำใต้ดินระดับตื้นในเขตเมืองกับการปนเปื้อนมลพิษ กรณีศึกษา อำเภอเมืองและอำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16,18-20 พฤษภาคมมหาวิทยาลัยมหิดล.
- พรพจน์ ต้นเส็ง. (2554, เมษายน). ปรุพีกลศาสตร์ Soil Mechanics. สืบค้นจาก <http://www.gooshared.com/d/MTYyMC0x>
- ฟิสิกส์ราชมงคล. *Ground Water*. สืบค้นจาก http://www.rmutphysics.com/charud/naturemystery/sci3/geology/8/index_ch_8-2.htm.

- ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2552).โครงการศึกษาทดลองเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร. สืบค้นจาก http://www.water1993.com/doc/MAR30May09_3-final.pdf
- สมเกียรติ พุทธาภิวัฒน์ (2531). การวิเคราะห์และออกแบบขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำเขื่อนปรานบุรี สืบค้นจากhttp://www.lib.kps.ku.ac.th/SpecialProject/Irrigation_Engineering/2532/Bs/SomkraitPu/
- สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์. (2552). แนวทางปฏิบัติสำหรับการสำรวจภาคสนาม,ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- เสาวนีย์ เจริญพงษ์ (2556) การประเมินเขตศักยภาพน้ำบาดาลในจังหวัดภูเก็ตโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต หลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- อนุตรา บุญศรี. (2016, 22 พฤศจิกายน). การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน. สืบค้นจาก <https://sites.google.com/site/phumiphatad11/phumiprathes-thi-keid-cak-kark-ra-tha-khxng-na-tidin/kar-kheluxnthi-khxng-na-tidin>
- อรุณ ลูกจันทร์, ธนิต เฉลิมยานนท์, สุเมธ ไชยประพัทธ์ และ ผกามาศ เจษฎาพัฒนานนท์. (2551). สมดุลของน้ำใต้ดินและปริมาณน้ำปลอดภัยในแอ่งหัดใหญ่ จังหวัดสงขลา. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7,21-22 พฤษภาคม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Ali, F.Cand Nurullah, A. (2016). Evaluation of actual and estimated hydraulic conductivity of sands with different gradation and shape. Retrieved from<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4916082>.
- Lambe, T. W. (1969). Soil Mechanics. Retrieved from <https://www.wiley.com/en-us/Soil+Mechanics-p-9780471511922>
- McDonald and Harbangh. (1988). A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model, Techniques of Water-Resources Investigations, U.S. G.P.O.,586 pp.
- Morgan, Cynthia L.; Coggins, Jay S.; Eidman, Vernon R. (2000). "Tradable Permits for Controlling Nitrates in Groundwater at the Farm Level: A Conceptual Model". Journal of Agricultural and Applied Economics. 32 (2): 249–258.
- Owen, Steven J.; Jones, Norman L.; Holland, Jeffery P. (1996). "A comprehensive modeling environment for the simulation of groundwater flow and transport". Engineering with Computers. 12 (3–4): 235–242. doi:10.1007/BF01198737.

Pollock, D.W. (1989). Documentation of Computer Program of Compute and Display Pathlines Using Results from the U.S. Geological Survey Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Model, U.S. Geological Survey Open-File Report, 89-381.

The Engineering Toolbox. Water Vapor and Saturation Pressure in Humid Air. Retrieved from https://www.engineeringtoolbox.com/water-vapor-saturation-pressure-air-d_689.html.

Zheng, C. (1990). MT3D : A Modular Three-Dimensional Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems, Report to the U.S. Environmental Protection Agency, Ada, ok, 170 pp.



ภาคผนวก ก

ผลการวิจัยตีพิมพ์



การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 23
วันที่ 18-20 กรกฎาคม 2561 จ.นครนายก

The 23rd National Convention on Civil Engineering
July 18-20, 2018, Nakhon Nayok, Thailand, THAILAND

การเติมน้ำใต้ดินชั้นอุ้มน้ำแบบเปิดโดยการใช้สระเก็บน้ำผิวดิน

Unconfined Ground Water Recharge Using Surface Ponds

ชวหากร สีดาคมภู* ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร* เซาว์น หริยยุติกุล* และ หฤทัย มาคโค้ง*

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา

*Corresponding author ; E-mail address : chawanakom_sut@hotmail.com

บทคัดย่อ

โครงการธนาคารน้ำใต้ดินที่สถานีทดลองฝึกอบรมเกษตรรอยเอ็ด คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จัดตั้งขึ้นเพื่อบรรเทาภาวะแห้งแล้งในพื้นที่ หลักการทำงานโดยการใช้การเติมน้ำผิวดินผ่านสระจำนวน 3 สระ ที่ความลึกจากผิวดินไม่มากนักซึ่งเป็นชั้นอุ้มน้ำ เพื่อเพิ่มปริมาณของน้ำใต้ดินให้เพียงพอต่อการสูบน้ำใช้งาน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา สারণ วิเคราะห์ข้อมูลภูมิประเทศ ชั้นดินระดับน้ำใต้ดินเพื่อประมาณทิศทางการไหลปริมาณน้ำที่เติม (Recharge) ให้กับชั้นอุ้มน้ำ และปริมาณน้ำที่ไหลออก (Discharge) จากชั้นอุ้มน้ำ โดยใช้หลักการสมดุลของน้ำในบ่อและชั้นอุ้มน้ำ ตรวจสอบสมดุลของสระน้ำจากการเติมน้ำใต้ดินผ่านสระเติมน้ำ ที่รับน้ำผิวดินมาจากฝน ปริมาณน้ำในสระขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างปริมาณน้ำผิวดินที่ไหลลงสู่สระ ความสามารถในการซึมผ่านและศักยภาพการระเหย (Evaporation) ผลของการศึกษาพบว่าจากผิวดินสามารถเพิ่มปริมาณน้ำใต้ดินโดยซึมผ่านบ่อน้ำที่ขุดขึ้นมา ซึ่งเป็นการยืนยันว่าการเติมน้ำใต้ดินนี้โดยใช้น้ำผิวดินเติมน้ำใต้ดิน สามารถแก้ปัญหาภัยแล้งของพื้นที่ศึกษาได้จริง

Abstract

Groundwater Bank Project in Rōlet Agricultural Training Center, Faculty of Agriculture, Khonkaen University, has been implemented to relief drought impact for this area. The project's principle is to recharging surface water to unconfined aquifer through 3 ponds with shallow depth, where underlying soil layer is Semipervious Strata or Impervious Strata. To increase enough groundwater storage for pumping utilization, The aims of this study are ; to explore and analyze of topographic data, soil layer, groundwater level ; to estimate the flow direction and the rate of groundwater recharging and discharging by using balance water concept of the pond and the aquifer. Water balance of the pond is investigated through surface runoff from rainfall, pond water storage, soil-water content, permeability and potential of evaporation . The results of the study is that surface water from

the pond can be recharged to increase the amount of groundwater storage. This confirms that groundwater recharging by using the pond can be a solution to mitigate drought problem in this study area.

1. บทนำ

การเติมน้ำใต้ดิน คือปริมาณน้ำที่ตกลงมาบนผิวดิน ส่วนของน้ำที่เหลือจากการระเหย หรือจากการไหลบนผิวดิน จะซึม (Infiltration) ผ่านชั้นดินไม่อุ้มน้ำเข้าสู่ชั้นอุ้มน้ำ (Aquifers) การใช้ประโยชน์จากน้ำใต้ดินทั้งทางด้านเกษตรกรรม การอุปโภคและบริโภค ทำให้น้ำใต้ดินมีปริมาณลดลงอย่างมาก ปริมาณน้ำใต้ดินจะสามารถเพิ่มเติมได้เองโดยธรรมชาติ โดยฝนที่ตกลงมาสู่ผิวดิน น้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ใต้ดินและสมตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดทรายหรือละสมตัวอยู่ตามรอยแตก รอยแยกของชั้นหินที่มีรูพรุน ซึ่งหินมีความสามารถในการกักเก็บน้ำและเป็นทางผ่านของน้ำที่สามารถสูบน้ำไปใช้ได้ แต่น้ำใต้ดินนั้นก็มีปริมาณที่จำกัด หากสูบน้ำใต้ดินมาใช้ในปริมาณที่มากเกินไป อาจเกิดผลเสียต่อแหล่งน้ำใต้ดินนั้นได้ วิธีการเติมน้ำใต้ดิน มีที่ได้รับความนิยมมีด้วยกัน 4 วิธี ได้แก่

(1) วิธีการเติมน้ำผ่านสระ (Recharge Pond)

เป็นการเติมน้ำใต้ดินระดับตื้น จะเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสการซึมผ่านผิวดินให้มากขึ้น วิธีนี้จะใช้ได้ผลดีในพื้นที่ที่เป็นตะกอนดินทราย และมีแหล่งน้ำดิบที่มีคุณภาพ ขนาดตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 1



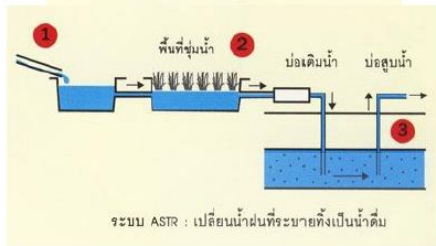
รูปที่ 1 การเติมน้ำผ่านสระ (Recharge Pond) ที่มา : [2]

(2) การเติมน้ำใต้ดินระดับตื้นผ่านบ่อน้ำ (ASR)

เป็นการเติมน้ำผิวดินเพื่อกักเก็บในชั้นใต้ดินในระดับตื้น โดยที่บ่อน้ำและบ่อสูบน้ำขึ้นมาใช้เป็นบ่อเดียวกัน เหมาะสำหรับพื้นที่ที่ใช้น้ำบาดาลในระดับตื้น ดังแสดงในรูปที่ 2



โครงการ ASTR บ้านคิงยาง สวรรคโลก



รูปที่ 2 การเติมน้ำใต้ดินระดับลึกผ่านบ่ออัดน้ำ (ASR) ที่มา : [2]

(3) ฝ่ายเติมน้ำ (Recharge Weirs)

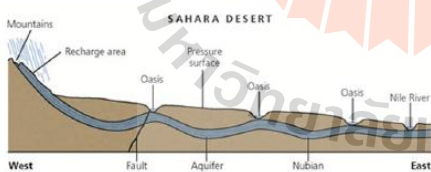
เป็นการสร้างฝายในพื้นที่ที่มีน้ำน้อยหรือไม่มีน้ำเลย เพื่อกักเก็บน้ำ และเพื่อเพิ่มพื้นที่การซึมของน้ำลงสู่ใต้ดินไปกักเก็บเพื่อสูบมาใช้ต่อไป แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การเติมน้ำใต้ดินผ่านฝายเติมน้ำ (Recharge Weirs) ที่มา : [2]

(4) การเติมน้ำผ่านสันทราย (Sand dunes)

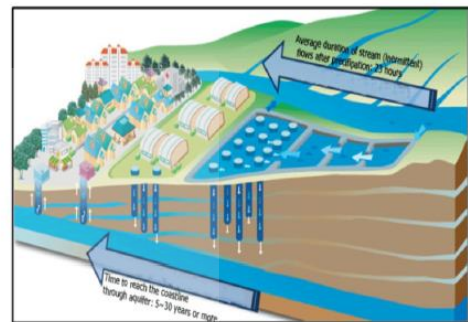
น้ำจากน้ำฝนจะไหลซึมผ่านผิวทรายและกักเก็บไว้ใต้ดิน ซึ่งจะมี ความลึกมาก น้ำใต้ดินที่นำมาใช้จะอยู่ที่บริเวณสันทราย ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเติมน้ำผ่านสันทราย (Sand dunes) ที่มา : [2]

โครงการเติมน้ำจากน้ำฝนลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (The Artificial-Recharge Pilot System: ASR) [8] เป็นการเติมน้ำใต้ดินโดยบ่ออัดน้ำ และบ่อสูบน้ำขึ้นมาใช้เป็นบ่อเดียวกัน สถานที่ตั้งของโครงการคือ เกาะเจจูของประเทศสาธารณรัฐเกาหลี ส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินภูเขาไฟ และหินตะกอน มีรูพรุนในชั้นหิน ซึ่งเป็นส่วนที่น้ำสามารถไหลผ่านหรือ กักเก็บได้ในปริมาณมาก ทำให้เกาะเจจูมีศักยภาพในการกักเก็บน้ำใต้ดินได้มากประกอบกับเกาะเจจูมีการใช้น้ำบาดาลเป็นส่วนใหญ่ เพื่อให้มีการใช้น้ำบาดาลอย่างยั่งยืน สำนักงานจัดการทรัพยากรน้ำของเกาะเจจูจึงมีแนวคิดที่จะนำน้ำในแม่น้ำที่ไหลหลากในฤดูฝนเติมลงไปกับ

เก็บในชั้นน้ำบาดาลใต้ดิน โดยได้ริเริ่มโครงการเติมน้ำลงสู่ใต้ดิน โดยคัดเลือกพื้นที่ที่มีแม่น้ำไหลมาจากภูเขาฮอลลา ระบบเติมน้ำนี้ประกอบด้วยสระจำนวน 3 สระ มีบ่อเจาะสำหรับเติมน้ำจำนวน 20 บ่อ ความลึกเจาะ 30 – 50 ม. และบ่อสังเกตการณ์จำนวน 5 บ่อ เพื่อติดตามดูการเติมน้ำ ความลึกเจาะ 250 – 330 ม. ระดับน้ำบาดาลอยู่ที่ 150 – 200 ม. จากระดับผิวดิน จะมีการเติมน้ำในช่วงฤดูฝน โดยผันน้ำเข้าสระทั้ง 3 สระและปล่อยให้น้ำตกตะกอน จากนั้นจึงปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบ โดยแต่ละบ่อสามารถเติมน้ำได้ 15,000-17,000 ลบ.ม.ต่อวันและใช้เวลายาวนาน 5 ปีที่น้ำที่เติมลงไปจะไหลซึมไปถึงชายฝั่งทะเล ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 โครงการเติมน้ำจากน้ำฝนลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (The Artificial-Recharge Pilot System: ASR) ของเกาะเจจูของประเทศสาธารณรัฐเกาหลี

โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่างจังหวัดพิษณุโลก สุโขทัยและพิจิตร [9] เป็นการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำและแก้ไขปัญหาการลดระดับน้ำบาดาลโดยการระบายน้ำผิวดินในช่วงฤดูน้ำหลากลงสู่ชั้นน้ำบาดาลและน้ำกลับขึ้นมาใช้ในช่วงฤดูแล้ง โดยทำการจำลองการไหลของน้ำบาดาลเพื่อศึกษารูปแบบการไหลของน้ำใต้ดินและการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาการลดระดับน้ำบาดาลโดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW 4.3 ผลการจำลองการไหลพบว่า น้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่ มีทิศทางการไหลจากพื้นที่เนินด้านทิศตะวันตกไปยังด้านทิศตะวันออก เกิดกรวยน้ำล้นบริเวณตอนกลางและทิศตะวันออกของพื้นที่ ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้าและไหลออกจากระบบประมาณ 223 ล้าน ลบ.ม. และ 273 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ เฉพาะปริมาณการสูบน้ำบาดาลระดับตื้นประมาณ 272 ล้าน ลบ.ม. ระบบน้ำบาดาลขาดดุล 51 ล้าน ลบ.ม. ระดับน้ำบาดาลลดลงมีผล 26 ซม. จากการทดลองเติมน้ำผ่านสระพบว่า ปริมาณน้ำที่เติมได้ทั้งหมด 25,797 ลบ.ม. และอัตราการเติมน้ำอยู่ในช่วง 0.05 - 2.05 ม./วัน (60-2,460 ลบ.ม./วัน/ตร.ม.) กรณีน้ำที่ใช้เติมมีความขุ่น จะต้องมีการทำความสะอาดสระเติมน้ำด้วย การเติมน้ำจึงจะมีประสิทธิภาพสูงสุด

โครงการการจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินในโครงการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลจังหวัดสุโขทัย (Modeling of Groundwater Flow for Aquifer Storage Recovery Project in Sukhothai Province) [10] เป็นการใช้โปรแกรม Visual MODFLOW 4.2 Pro จำลองการไหลของน้ำใต้ดิน 3 มิติเพื่อดูทิศทางการไหลของน้ำว่าสามารถไหลไปยังพื้นที่เติมน้ำใต้ดินจริงหรือไม่ ซึ่งผลจากการใช้โปรแกรม Visual

MODFLOW 4.2 Pro จำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ทำให้ทราบทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน มีทิศทางการไหลหลักจากทิศใต้ไปยังทิศเหนือ และไหลจากทิศตะวันตกไปยังด้านทิศตะวันออก น้ำใต้ดินไหลไปยังพื้นที่ที่เติมน้ำบาดาลจริง และค่าระดับน้ำบาดาลอยู่ที่ระดับความลึก 7-8 ม. จากผิวดิน

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจวิเคราะห์ข้อมูลภูมิประเทศชั้นดิน ระดับน้ำใต้ดินเพื่อประมาณทิศทางการไหลปริมาณน้ำที่เติมให้กับชั้นอุ้มน้ำ และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากชั้นอุ้มน้ำโดยใช้หลักการสมดุลของน้ำในบ่อและชั้นอุ้มน้ำ และทำการประมาณปริมาณน้ำที่เติมให้กับชั้นอุ้มน้ำในระยะยาวและของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดต่อไป

2. วิธีการศึกษา

2.1 พื้นที่ศึกษา

สถานีทดลองฝักกอบรมเกษตรร้อยเอ็ด คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ตั้งอยู่ที่บ้านโพธิ์สัย ต.โพธิ์สัย อ.ศรีสมเด็จ จ.ร้อยเอ็ด มีสภาพพื้นที่เป็นที่ราบสูง ทำให้เกิดปัญหาวิกฤติน้ำซึ่งเกิดจากปัญหาหลายสาเหตุ ทั้งปริมาณการใช้น้ำที่เพิ่มมากขึ้น ปัญหาสภาพอากาศ ขาดการบริหารจัดการน้ำที่ดี และสถานการณ์แหล่งน้ำที่สะอาดถูกคุกคามจากผู้ก่อมลพิษ จึงมีการนำแนวคิดธนาคารน้ำใต้ดินมาใช้ มีการทดลองริเริ่ม โครงการธนาคารน้ำใต้ดินนี้ที่จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นพื้นที่ประสบกับภาวะน้ำท่วมในหน้าฝนและเกิดภาวะแห้งแล้งในหน้าแล้ง มีการขุดบ่อลึกเพื่อส่งน้ำกักเก็บไว้ใต้ดิน ทำให้น้ำบาดาลมีปริมาณเพิ่มขึ้นในหน้าแล้ง ทำให้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในหน้าแล้งมากขึ้น เกษตรกรนอกเขตชลประทานมีน้ำใช้ทำการเกษตรได้ตลอดทั้งปี จึงเป็นการแก้ปัญหาภัยแล้งอย่างยั่งยืน สถานีทดลองและฝักกอบรมเกษตรกรรมร้อยเอ็ด ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันน้ำนิเทศศาสตร์ โดย หลวงพ่อสมาน สิริปัญโญ ในการริเริ่มโครงการ โดยกำหนดตำแหน่งที่ตั้งบ่อน้ำ 3 จุด ทำมุมเป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว แต่ละจุดขุดบ่อน้ำขนาด 40 x 40 ตร.ม. แต่ความลึกไม่เท่ากัน หนึ่งบ่อมีความชัน 45 องศา ความลึกของบ่อขึ้นกับความลึกของชั้นน้ำใต้ดิน ขุดให้ทะลุชั้นดินดานจนถึงระดับน้ำใต้ดิน ระหว่างขุดเมื่อพบทางน้ำไหลเข้าจะปิดไว้จนกว่าขุดก้นบ่อให้เรียบร้อย ซึ่งแต่ละบ่อมีพื้นที่รับน้ำของตนเอง (Watershed) เพื่อให้ฝนที่ตกลงมาเป็นน้ำไหลผิวดิน ไหลเข้ามาเก็บในบ่อน้ำได้เอง แหล่งน้ำเดิมของสถานีทดลองและฝักกอบรมเกษตรร้อยเอ็ดมาจาก 2 แหล่งคือ น้ำผิวดินสูบน้ำจากอ่างเก็บน้ำห้วยแอ่ง สูบใส่ถังสูง เป็นน้ำใช้ล้างคอกวัวแต่จะไม่มีในฤดูแล้งบางปี และน้ำบาดาล มีการเจาะ 5 บ่อ ใช้งานในปัจจุบัน 2 บ่อ ความลึกประมาณ 70 ม. บ่อน้ำบาดาลที่ใช้งานมีระดับน้ำลึก 15 ม. ให้น้ำประมาณ 15 ลบ.ม./วัน ซึ่งไม่เพียงพอในฤดูแล้ง การนำเอาน้ำใต้ดินมาใช้ประโยชน์ เพื่อแก้ปัญหาการประมงภัยแล้งและวางแผนการใช้น้ำในช่วงขาดแคลนให้มีน้ำกินน้ำใช้ตลอดปี

2.2 กรอบแนวคิดการวิจัย

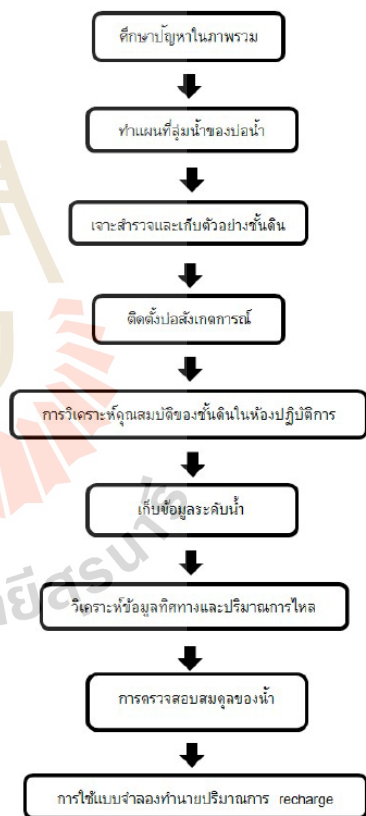
โครงการรูปแบบการกักเก็บน้ำใต้ดินเพื่อบรรเทาภาวะภัยแล้งที่สร้างขึ้น มีศักยภาพในการกักเก็บน้ำใต้ดินและสามารถบรรเทาภาวะการขาดแคลนน้ำได้มีมากน้อยเพียงใด

หลักการการทำงานของรูปแบบการกักเก็บน้ำใต้ดิน ใช้การเติมน้ำผิวดินผ่านสระจำนวน 3 สระ ที่ความลึกจากผิวดินไม่มากนักซึ่งเป็นชั้นน้ำ

ใต้ดินแบบเปิดไร้แรงดัน (Unconfined Aquifer) การไหลของน้ำใต้ดินในชั้นนี้จะไหลไปตามความลาดเอียงของระดับน้ำใต้ดินภายใต้แรงดึงดูดของโลก หากเราเจาะบ่อน้ำบาดาลลงไป ระดับน้ำในบ่อน้ำจะมีระดับเดียวกับระดับน้ำใต้ดินรอบ ๆ บ่อ ระดับน้ำสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาขึ้นกับปริมาณน้ำ Recharge และ Discharge เพื่อเพิ่มปริมาณของน้ำใต้ดินให้เพียงพอต่อการสูบน้ำขึ้นมาใช้งาน



รูปที่ 6 สระเติมน้ำใต้ดินในพื้นที่สถานีทดลองและฝักกอบรมเกษตรกรรม 2.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 7 ขั้นตอนการดำเนินงาน

(1) ทำแผนที่ลุ่มน้ำของบ่อน้ำ

ทำการสำรวจพื้นที่ศึกษา และสร้างข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์(GIS: Geographic Information System) โดยจัดทำแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง เพื่อหาพื้นที่ลุ่มน้ำของแต่ละบ่อ

(2) เจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างชั้นดิน

เลือกตำแหน่งหลุมเจาะจากแผนที่ลุ่มน้ำของบ่อน้ำ ทำการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างชั้นดินจำนวน 7 หลุม โดยมีบ่อสังเกตการณ์จำนวน 2 บ่อ เพื่อใช้เปรียบเทียบค่าระดับน้ำกับสระเติมน้ำ

(3) การวิเคราะห์คุณสมบัติของชั้นดินในห้องปฏิบัติการ

นำตัวอย่างดินที่ได้จากการเจาะสำรวจมาวิเคราะห์หาคูสมบัตินี้ของชั้นดินและชนิดของดินในห้องปฏิบัติการ

- การหาขนาดของเม็ดดินด้วยวิธีผ่านร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Sieve Analysis) มาตรฐานอ้างอิง ASTM D422-63 เพื่อหาขนาดและการกระจายของเม็ดดิน ด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ที่มีช่องขนาดต่างๆ กัน การกระจายของขนาดเม็ดดิน แสดงด้วย Grain Size Distribution Curve



รูปที่ 8 อุปกรณ์วิเคราะห์ Sieve Analysis

- วิเคราะห์การกระจายของอนุภาค (particle size distribution)



รูปที่ 9 เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (particle size distribution)

- นำผลการวิเคราะห์ไปจำแนกเนื้อดิน วิธีการจำแนกดินด้วยระบบ Unified soil classification โดย Wagner, 1957 (Lambe and Whitman 1969)

(4) เก็บข้อมูลระดับน้ำ ทำการเก็บค่าระดับน้ำทั้ง 7 บ่อด้วยเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ

(5) วิเคราะห์ข้อมูลทิศทางและปริมาณการไหล

วิเคราะห์ข้อมูลค่าระดับน้ำใต้ดิน โดยการหาแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงของระดับน้ำใต้ดิน หาค่าความแตกต่างของเฮดความดันน้ำตามระยะทาง (Hydraulic gradient) เพื่อหาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน และหาค่าอัตราการไหลของน้ำในแต่ละบ่อ (Q) เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบสมดุลของน้ำ

(6) การตรวจสอบสมดุลของน้ำ

ทำการตรวจสอบสมดุลของน้ำจากการเติมน้ำใต้ดินผ่านสระเติมน้ำเพื่อประเมินปริมาณน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่ศึกษามีว่าการเพิ่มขึ้นหรือไม่

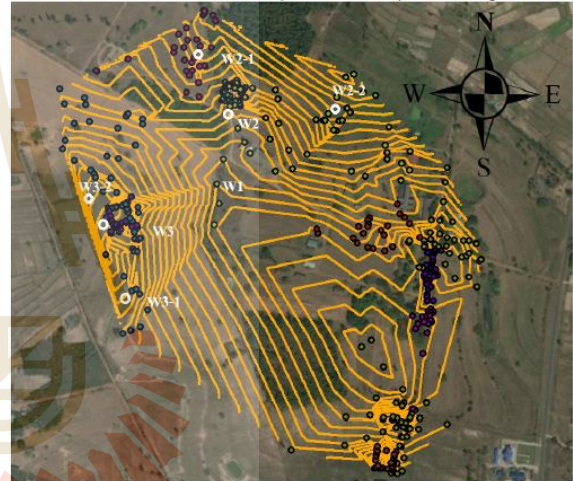
(7) การใช้แบบจำลองทำนายปริมาณการ Recharge

ใช้แบบจำลอง Visual MODFLOW Flex4.1 ในการจำลองทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้จากแผนที่เส้นชั้นความสูงของระดับน้ำใต้ดิน และทำนายปริมาณการ Recharge และ Discharge ของน้ำใต้ดินในระยะยาวและทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ในส่วนของขั้นตอนนี้จะมีการศึกษาต่อไป

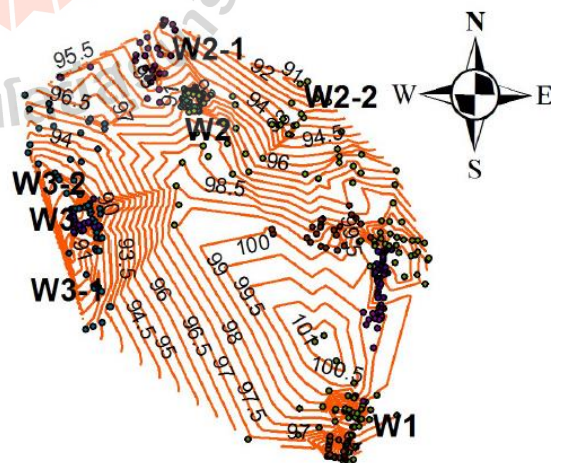
3. ผลการศึกษา

3.1 แผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงของพื้นที่ศึกษา

จากการสำรวจพื้นที่ศึกษาและสร้างข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์(GIS: Geographic Information System) โดยจัดทำแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง ค่าความต่างของเส้น Contour แต่ละเส้นเท่ากับ 0.5 ม.สำหรับใช้หาขอบเขตลุ่มน้ำของแต่ละบ่อ เพื่อนำไปคำนวณหาสมดุลของน้ำในบ่อ ลักษณะของพื้นที่ศึกษาเป็นที่ราบสูงลาดเอียงไปตามสระเติมน้ำ รอบๆ บ่อน้ำมีคันดินสำหรับกั้นน้ำให้ไหลลงสระเติมน้ำ หลุมเจาะวัดระดับน้ำเป็นบ่อสังเกตการณ์ทั้งหมด 5 บ่อ และบ่อที่เป็นตัวแทนระดับน้ำในสระเติมน้ำอีก 2 บ่อตามความลาดเอียงของพื้นที่ โดยใช้สัญลักษณ์ " W " แทนชื่อหลุมเจาะแต่ละหลุม แสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 พื้นที่ศึกษาและตำแหน่งหลุมเจาะ

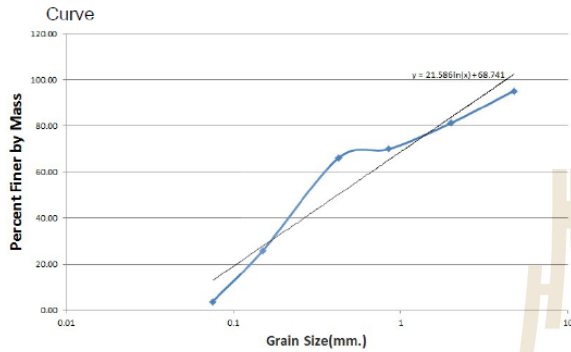


รูปที่ 11 แผนที่เส้นชั้นความสูงของพื้นที่ศึกษาและตำแหน่งสระเติมน้ำ

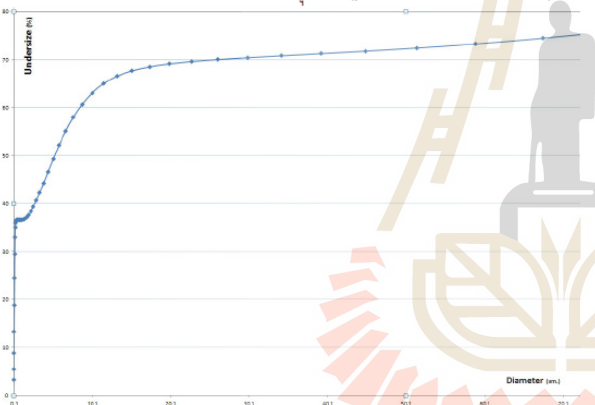
3.2 คุณสมบัติของชั้นดิน

นำตัวอย่างดินที่ได้จากการเจาะสำรวจมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติของชั้นดินและชนิดของดินในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาขนาดของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า 60%, 30%, และ 10% ไปใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านและใช้ในการจำแนกเนื้อดินต่อไป

- การหาขนาดของเม็ดดินด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Sieve Analysis) และนำค่าที่ได้ไปพล็อต Grain Size Distribution Curve



รูปที่ 12 Grain Size Distribution Curve จากปฏิบัติการ Sieve Analysis - วิเคราะห์การกระจายของอนุภาค (particle size distribution)



รูปที่ 13 particle size distribution Curve ของบ่อ W3 ความลึก 5.3 ม.

- นำผลการวิเคราะห์ไปจำแนกเนื้อดิน วิธีการจำแนกดินด้วยระบบ

Unified soil classification โดย Wagner, 1957 [14]

ตารางที่ 1 ชนิดของดินที่ได้จากการจำแนกดินด้วยวิธี Unified soil classification

บ่อ W1		บ่อ W2	
ความลึก (ม.)	ชนิดของดิน	ความลึก (ม.)	ชนิดของดิน
8.5	ดินเหนียว	9.5	ดินเหนียว
2	ดินทรายเม็ดหยาบ	6	ดินทรายเม็ดหยาบ
1	ดินทรายเม็ดหยาบ	3	ดินทรายเม็ดหยาบ
		1	ดินทรายเม็ดหยาบ
บ่อ W2-1		บ่อ W2-2	
ความลึก (ม.)	ชนิดของดิน	ความลึก (ม.)	ชนิดของดิน
6.5	ดินเหนียว	5.5	ดินเหนียว
4	ดินทรายเม็ดหยาบ	2	ดินทรายเม็ดหยาบ
1	ดินทรายเม็ดหยาบ	0.5	ดินทรายเม็ดหยาบ
0.5	ดินทรายเม็ดหยาบ		
บ่อ W3		บ่อ W3-1	

ความลึก (ม.)	ชนิดของดิน	ความลึก (ม.)	ชนิดของดิน
5.3	ดินเหนียว	5.3	ดินเหนียว
1	ดินทรายเม็ดหยาบ	2	ดินทรายเม็ดหยาบ
0.5	ดินทรายเม็ดหยาบ	0.5	ดินทรายเม็ดหยาบ
บ่อ W3-2			
ความลึก (ม.)	ชนิดของดิน		
5.3	ดินเหนียว		
2	ดินทรายเม็ดหยาบ		
0.5	ดินทรายเม็ดหยาบ		

บ่อ W1 ที่ความลึก 8.5 ม. จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และที่ความลึก 0-2 ม. จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินทรายเม็ดหยาบ

บ่อ W2 ที่ความลึก 9.5 ม. จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และที่ความลึก 0-6 ม. จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินทรายเม็ดหยาบ

บ่อ W2-1 ที่ความลึก 6.5 ม. จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และที่ความลึก 0-4 เมตรจากผิวดินมีลักษณะเป็นดินทรายเม็ดหยาบ

บ่อ W2-2 ที่ความลึก 5.5 ม. จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และที่ความลึก 0-2 ม. จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินทรายเม็ดหยาบ

บ่อ W3 ที่ความลึก 5.3 ม. จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และที่ความลึก 1 ม. จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินทรายเม็ดหยาบ

บ่อ W3-1 ที่ความลึก 5.3 ม. จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และที่ความลึก 0-2 ม. จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินทรายเม็ดหยาบ

บ่อ W3-2 ที่ความลึก 5.3 ม. จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินเหนียว และที่ความลึก 0-2 ม. จากผิวดินมีลักษณะเป็นดินทรายเม็ดหยาบ

3.3 แผนที่แสดงทิศทางและปริมาณการไหลของน้ำใต้ดิน

ผลจากการคำนวณค่าไฮดรอลิกเกรเดียนต์ และทำแผนที่ทิศทาง การไหลของน้ำใต้ดินได้ผลดังนี้


ตารางที่ 2 ค่าไฮดรอลิกเกรเดียนต์ บอกลักษณะทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

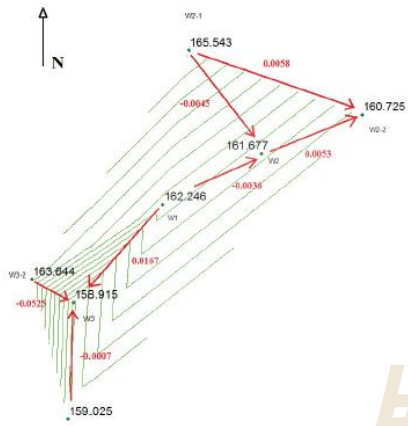
เดือน	ไฮดรอลิกเกรเดียนต์			
	W2-W22	W2-W21	W21-W22	W2-W1
กรกฎาคม	0.0053	-0.0045	0.0058	-0.0036
สิงหาคม	0.0024	-0.0041	0.0039	-0.0041
กันยายน	0.0025	-0.0040	0.0039	-0.0044
ตุลาคม	-0.0001	-0.0034	0.0021	-0.0062
ธันวาคม	0.0010	-0.0030	0.0024	-0.0074
มกราคม	0.0026	-0.0030	0.0033	-0.0076
กุมภาพันธ์	0.0042	-0.0028	0.0041	-0.0078
มีนาคม	0.0059	-0.0035	0.0055	-0.0079
เมษายน	0.0008	-0.0042	0.0065	-0.0080
เดือน	ไฮดรอลิกเกรเดียนต์			
	W1-W3	W3-W31	W31-W32	
กรกฎาคม	-0.0079	0.0306	-0.0039	
สิงหาคม	-0.0069	0.0161	-0.0074	
กันยายน	-0.0060	0.0115	-0.0088	
ตุลาคม	-0.0040	0.0100	-0.0106	
ธันวาคม	-0.0021	0.0110	-0.0068	
มกราคม	-0.0017	0.0114	-0.0056	
กุมภาพันธ์	-0.0012	0.0117	-0.0046	
มีนาคม	-0.0008	0.0120	-0.0037	
เมษายน	-0.0005	0.0122	-0.0032	



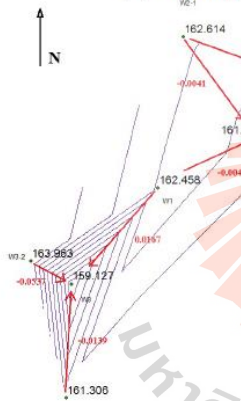
จากตารางที่ 2 ไฮดรอลิกเกรดเดียนบอกทิศทางการไหลของน้ำ ยกตัวอย่างไฮดรอลิกเกรดเดียนที่บ่อ W2-W22 หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความต่างของระดับน้ำที่บ่อ W2 และ W22 กับระยะทางจากบ่อ W2 ถึง W22 เท่ากับ 0.0053 น้ำจึงมีทิศทางการไหลจากบ่อ W2 ไปทาง W22

รูปที่ 14 แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (ก) เดือนกรกฎาคม (ข) สิงหาคม (ค) กันยายน (ง) ตุลาคม (จ) ธันวาคม (ฉ) มกราคม (ช) กุมภาพันธ์ (ซ) มีนาคม และ (ฎ) เมษายน

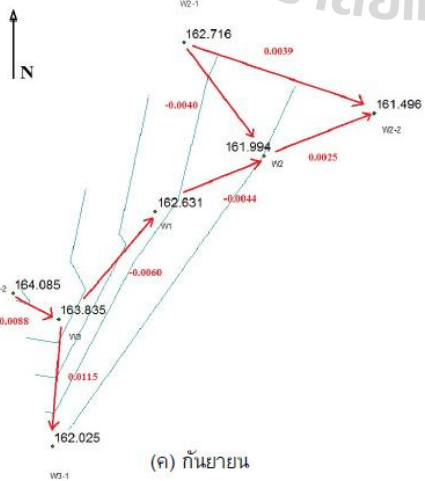
สัญลักษณ์  แสดงทิศทางการไหลของน้ำ



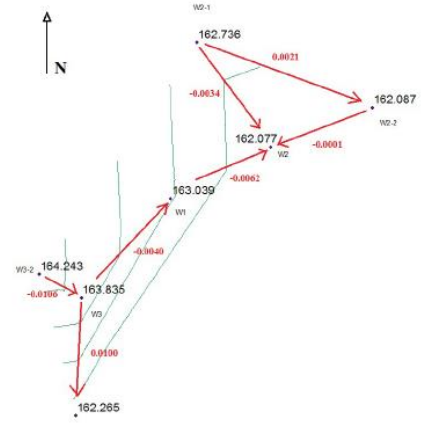
(ก) เดือนกรกฎาคม



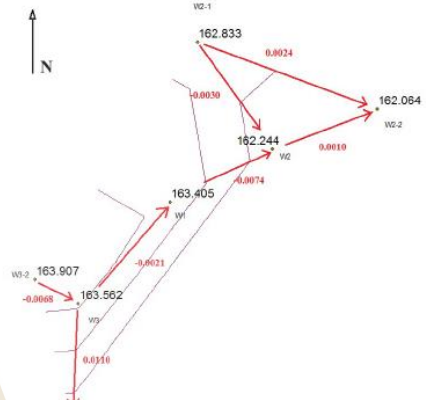
(ข) สิงหาคม



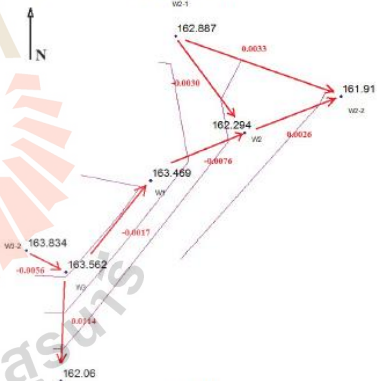
(ค) กันยายน



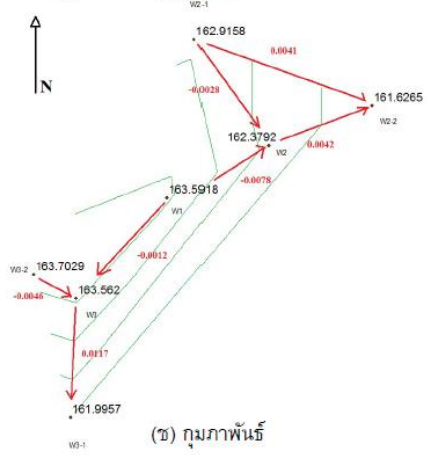
(ง) ตุลาคม



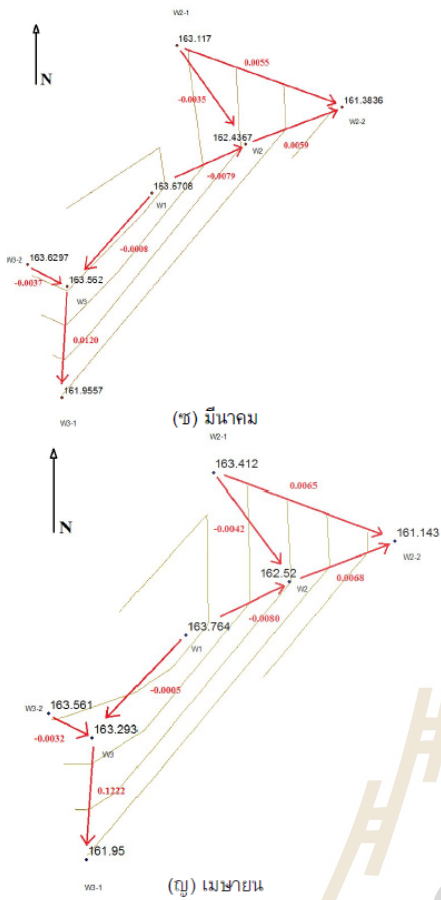
(จ) ธันวาคม



(ฉ) มกราคม



(ช) กุมภาพันธ์



- เดือนกรกฎาคม (ก) เดือนสิงหาคม (ข) น้ำใต้ดินไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ของสระเติมน้ำ W2 ไหลออกทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของสระเติมน้ำ W2 และน้ำใต้ดินไหลจากทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือของสระเติมน้ำ W3
- เดือนกันยายน (ค) น้ำใต้ดินไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ของสระเติมน้ำ W2 ไหลออกทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของสระเติมน้ำ W2 และน้ำใต้ดินไหลจากทิศใต้ของสระเติมน้ำ W3 ไหลออกทางทิศใต้ของสระเติมน้ำ W3
- เดือนตุลาคม (ง) น้ำใต้ดินไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ของสระเติมน้ำ W2 ไหลออกทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของสระเติมน้ำ W2 และน้ำใต้ดินไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือของสระเติมน้ำ W3 ไหลออกทางทิศใต้ของสระเติมน้ำ W3
- เดือนธันวาคม (ฉ) และเดือนมกราคม (ช) น้ำใต้ดินไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ของสระเติมน้ำ W2 ไหลออกทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของสระเติมน้ำ W2 และน้ำใต้ดินไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือของสระเติมน้ำ W3 ไหลออกทางทิศใต้ของสระเติมน้ำ W3
- เดือนกุมภาพันธ์ (ช) น้ำใต้ดินไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ของสระเติมน้ำ W2 ไหลออกทางทิศ

ตะวันออกเฉียงเหนือของสระเติมน้ำ W2 และน้ำใต้ดินไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือของสระเติมน้ำ W3 ไหลออกทางทิศใต้ของสระเติมน้ำ W3

- เดือนมีนาคม (ข) น้ำใต้ดินไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ของสระเติมน้ำ W2 และน้ำใต้ดินไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือของสระเติมน้ำ W3 ไหลออกทางทิศใต้ของสระเติมน้ำ W3

- เดือนเมษายน (ค) น้ำใต้ดินไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ของสระเติมน้ำ W2 ไหลออกทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของสระเติมน้ำ W2 และน้ำใต้ดินไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือของสระเติมน้ำ W3 ไหลออกทางทิศใต้ของสระเติมน้ำ W3

3.4 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity)

(1) วิธีของ Kozeny – Carman ;

$$K = \frac{g}{v} \times 8.3 \times 10^{-3} \times \left[\frac{n^3}{(1-n)^2} \right] d_{10}^2$$

โดย K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (ม./วินาที)

V คือ ความหนืด

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

n คือ ความพรุน

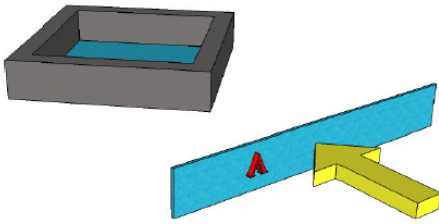
ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ความลึกต่างๆ

ชื่อบ่อ	ความลึก (ม.)	สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (ม./วินาที)
W1	8.5	3.3548 x 10 ⁻⁷
	2	0.0018
	1	0.0393
W2	9.5	9.2081 x 10 ⁻⁸
	6	0.0034
	3	0.0027
W2-1	6.5	8.2271 x 10 ⁻¹¹
	4	0.0062
	1	0.0020
W2-2	0.5	0.0048
	5.5	1.0327 x 10 ⁻⁷
	2	0.0021
W3	0.5	0.0022
	5.3	4.9183 x 10 ⁻¹¹
	1	0.0018
W3-1	0.5	0.0499
	5.3	1.8057 x 10 ⁻¹⁰
	0.5	0.0036
W3-2	5.3	4.2770 x 10 ⁻⁸
	2	0.0018
	0.5	0.0009

ชั้นดินส่วนใหญ่เป็นดินทรายมีลักษณะเป็นดินเม็ดหยาบ ที่ความลึกสูงสุดของแต่ละบ่อ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าน้อยมาก เนื่องจากมีลักษณะเป็นดินเหนียวและน้ำซึมผ่านได้ยาก

3.5 อัตราการไหลของน้ำใต้ดิน

- คำนวณหาค่าพื้นที่หน้าตัดของดินที่น้ำไหลผ่าน (A)



ตารางที่ 4 พื้นที่หน้าตัดของดินที่น้ำไหลผ่าน (A ตร.ม.)

เดือน / บ่อ	W2-W22	W2-W21	W21-W22	W2-W1
กรกฎาคม	56.72	81.63	39.86	78.43
สิงหาคม	78.82	87.42	60.17	88.23
กันยายน	86.07	94.06	66.55	96.88
ตุลาคม	106.56	98.41	83.84	112.2
ธันวาคม	110.63	105.86	85.93	127.26
มกราคม	106.61	109.61	81.62	131.99
กุมภาพันธ์	102.07	112.04	75.9	136.36
มีนาคม	96.83	119.35	74.72	140.22
เมษายน	94.25	126.94	76.66	143.60
เดือน / บ่อ	W1-W3	W3-W31	W3-W32	W31-W32
กรกฎาคม	174.6	194.15	261.85	165.21
สิงหาคม	180.6	258.68	270.9	238.78
กันยายน	185.5	279.00	274.37	262.54
ตุลาคม	197.04	285.79	278.82	273.78
ธันวาคม	207.39	281.20	269.33	259.71
มกราคม	210.11	279.53	266.26	254.96
กุมภาพันธ์	212.67	278.17	263.56	250.90
มีนาคม	214.9	277.04	261.49	247.70
เมษายน	216.74	276.20	260.00	246.37

- คำนวณค่า Q_{in} และ Q_{out} ของทั้ง 3 บ่อ โดยใช้วิธีของ

Henry Darcy ; $Q = k \times A \times \left[\frac{\Delta H}{L} \right]$

โดย Q คือ อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)

K คือ สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

A คือ พื้นที่หน้าตัดของดินที่น้ำไหลผ่าน

$\frac{\Delta H}{L}$ คือ ไฮดรอลิกเกรเดียนต์

ตารางที่ 5 Q_{in} และ Q_{out} ของทั้ง 3 บ่อ ที่ระยะต่างๆ

เฉลี่ย/เดือน	อัตราการไหลของน้ำใต้ดิน Q (10^{-7} ลบ.ม./วินาที)					
	W2-W22 (Kเฉลี่ย)	W2-W21 (Kเฉลี่ย)	W21-W22 (Kเฉลี่ย)	W2-W1 (Kเฉลี่ย)	W3-W31 (Kเฉลี่ย)	W3-W32 (Kเฉลี่ย)
กรกฎาคม	0.2072	-0.1188	0.0837	-0.4321	0.0048	-0.1545
สิงหาคม	0.1330	-0.1178	0.0863	-0.5532	0.0034	-0.3052
กันยายน	0.1478	-0.1210	0.0038	-0.8455	0.0026	-0.3655
ตุลาคม	-0.0040	-0.1089	0.0620	-1.0458	0.0023	-0.4454
ธันวาคม	0.0763	-0.1046	0.0763	-1.4317	0.0025	-0.2782
มกราคม	0.1001	-0.1065	0.0984	-1.5165	0.0026	-0.2284
กุมภาพันธ์	0.2648	-0.1009	0.1131	-1.6022	0.0027	-0.1817
มีนาคม	0.3912	-0.1363	0.1497	-1.6787	0.0027	-0.1481
เมษายน	0.2662	-0.1752	0.1813	-1.7320	0.0027	-0.1259

ค่าอัตราการไหล(Q) ติดลบเนื่องจากใช้ค่าไฮดรอลิกเกรเดียนต์ที่ติดลบ สำหรับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินให้ดูแผนที่แสดงทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเป็นหลัก (รูปที่ 14 แผนที่ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน)

3.6 สมดุลของน้ำในสระเติมน้ำ

(1) สมดุลของน้ำในสระเติมน้ำ W2

- พื้นที่สระเก็บน้ำ (Ap) = 1,600 ตร.ม.

- พื้นที่รับน้ำฝน (Ac) = 6,800 ตร.ม.

- สัมประสิทธิ์การไหลซึม = 9.2061×10^{-8} ม./วินาที

- สัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (Runoff coefficient) [13] จาก Runoff

Estimation Chart เลือกสภาพที่ดินแบบ B พื้นที่ก่อนข้างลาดชันเป็นป่าเปิด

$B(T) = (5.769 + 0.129 \times P1(T)) / 100$

B(T) = Runoff coefficient เดือน T

P1(T) = ค่าความลึกของน้ำฝนรายเดือน

ตารางที่ 6 สัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (Runoff coefficient)

ปี พ.ศ.	เดือน	จำนวนวัน	ปริมาณฝนรายเดือนรวม (มม./เดือน)	สัมประสิทธิ์น้ำท่า (C)
2560	ก.ค.	31	445.6	0.633
	ส.ค.	31	215.4	0.336
	ก.ย.	30	340.3	0.497
	ต.ค.	31	166.3	0.272
2561	ธ.ค.	31	4.8	0.064
	ม.ค.	31	0.9	0.059
	ก.พ.	28	0.4	0.058
มี.ค.	มี.ค.	31	62.6	0.138
	เม.ย.	30	29.8	0.096

ตารางที่ 7 พื้นที่ผิวและปริมาตรที่ความลึกต่างๆ

ความลึก (ม.)	W2		W3		
	พื้นที่ผิว (ตร.ม.)	ปริมาตร (ลบ.ม.)	ความลึก (ม.)	พื้นที่ผิว (ตร.ม.)	ปริมาตร (ลบ.ม.)
0.25	1024	253	2.92	1222	3419
0.38	1048	397	3.13	1237	3701
0.51	1058	539	7.84	1582	11190
0.65	1067	683	7.84	1582	11190
0.81	1077	866	7.57	1574	10758
0.89	1080	944	7.57	1574	10758
0.95	1088	1017	7.57	1574	10758
1.01	1090	1080	7.57	1574	10758
1.06	1094	1141	7.30	1552	10263

- สมดุลของน้ำ (St) = ปริมาตรกักเก็บใช้การเดือนก่อนหน้า + ปริมาณน้ำท่าไหลเข้า (It) + ปริมาณน้ำฝนในสระ (Rt) + ปริมาณน้ำใต้ดินไหลเข้า - ปริมาณน้ำระเหย - ปริมาณน้ำซึมออก - ปริมาณน้ำใต้ดินไหลออก

ตารางที่ 8 ปริมาตรเก็บกักใช้การและความลึกน้ำใช้การ W2

ปี	เดือน	ปริมาณฝนรายเดือนรวม (มม./ เดือน)	ปริมาตรเก็บกักใช้การ (ลบ.ม.)	ความลึกน้ำใช้การ (ม.)
2560	ก.ค.	445.6	2,465	2.41
	ส.ค.	215.4	802	0.77
	ก.ย.	340.3	1,802	1.70
	ต.ค.	166.3	801	0.75
	ธ.ค.	4.8	400	0.37
2561	ม.ค.	0.9	465	0.43
	ก.พ.	0.4	569	0.52
	มี.ค.	62.6	747	0.73
	เม.ย.	29.8	723	0.66

(2) สมดุลของน้ำในสระเติมน้ำ W3

พื้นที่สระเก็บน้ำ (Ap) = 1,600 ตร.ม.

พื้นที่รับน้ำฝน (Ac) = 60,300 ตร.ม.

สัมประสิทธิ์การไหลซึม = 4.9183×10^{-11} ม./วินาที

ตารางที่ 9 ปริมาตรเก็บกักใช้การและความลึกน้ำใช้การ W3

ปี	เดือน	ปริมาณฝนรายเดือนรวม (มม./ เดือน)	ปริมาตรเก็บกักใช้การ (ลบ.ม.)	ความลึกน้ำใช้การ (ม.)
2560	ก.ค.	445.6	21,017	8.00
	ส.ค.	215.4	8,292	6.70
	ก.ย.	340.3	21,783	8.00
	ต.ค.	166.3	14,043	8.00
	ธ.ค.	4.8	10,642	6.76
2561	ม.ค.	0.9	10,621	6.74
	ก.พ.	0.4	10,618	6.74
	มี.ค.	62.6	11,239	7.14
	เม.ย.	29.8	10,342	6.67

4. สรุปผลการวิจัย

จากการสำรวจวิเคราะห์ข้อมูลภูมิประเทศ ชั้นดิน ระดับน้ำใต้ดิน พบว่าน้ำมีทิศทางการไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำหรือไหลตามความลาดเอียงของพื้นที่โดยสรุปได้ดังนี้ น้ำใต้ดินที่เติมให้กับสระเติมน้ำ W2 มีทิศทางการไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงใต้ของสระเติมน้ำ W2 ไหลออกทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของสระเติมน้ำ W2 ส่วนน้ำใต้ดินที่ให้กับสระเติมน้ำ W3 มีทิศทางการไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือของสระเติมน้ำ W3 ไหลออกทางทิศใต้ของสระเติมน้ำ W3 เมื่อทำการใช้หลักการสมดุลของน้ำในบ่อและชั้นอุ้มน้ำ ทำการประมาณปริมาณน้ำที่เติมให้กับชั้นอุ้มน้ำ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2560 ถึงเดือนเมษายน 2561 W2 มีค่าเท่ากับ 0.025 ลบ.ม. มีปริมาณน้ำไหลออก 0.0064 ลบ.ม. และทำการประมาณปริมาณน้ำที่เติมให้กับชั้นอุ้มน้ำ W3 มีค่าเท่ากับ 0.0263 ลบ.ม. มีปริมาณน้ำไหลออก 0.0036 ลบ.ม.

ตารางที่ 10 ปริมาณน้ำที่เติมและไหลออกจากชั้นอุ้มน้ำ

เดือน	ปริมาณน้ำไหลเข้าบ่อ W2 (ลบ.ม.)			
	ปริมาณน้ำใต้ดินไหลเข้า W2-W21	ปริมาณน้ำใต้ดินไหลเข้า W2-W1	ปริมาณน้ำท่าไหลเข้า	ปริมาณน้ำฝนตกในสระ
ก.ค.	0.0009	0.0007	1,917	713
ส.ค.	0.0009	0.0009	491	345
ก.ย.	0.0009	0.0010	1,149	544
ต.ค.	0.0008	0.0017	308	266
ธ.ค.	0.0008	0.0023	2	8
ม.ค.	0.0008	0.0024	0.36	1
ก.พ.	0.0007	0.0025	0.16	1
มี.ค.	0.0010	0.0027	59	100
เม.ย.	0.0013	0.0028	19	48
รวม	0.0081	0.0169	3,946	2,026

น้ำไหลเข้าสระ = 5,972 ลบ.ม.

น้ำไหลออกสระ = 4,113 ลบ.ม.

เดือน	ปริมาณน้ำใต้ดินไหลออกบ่อ W2 (ลบ.ม.)		
	ปริมาณน้ำใต้ดินไหลออก	ปริมาณน้ำระเหยออกเฉลี่ย	ปริมาณน้ำซึมออกเฉลี่ย
ก.ค.	0.00072	23	395
ส.ค.	0.00046	36	395
ก.ย.	0.00051	49	382
ต.ค.	-0.00001	62	395
ธ.ค.	0.00027	78	395
ม.ค.	0.00066	85	395
ก.พ.	0.00103	92	356
มี.ค.	0.00136	98	395
เม.ย.	0.00154	103	382
รวม	0.0064	626	3487

เดือน	ปริมาณน้ำไหลเข้าบ่อ W3 (ลบ.ม.)			
	ปริมาณน้ำใต้ดินไหลเข้า W3-W1	ปริมาณน้ำใต้ดินไหลเข้า W3-W32	ปริมาณน้ำท่าไหลเข้า	ปริมาณน้ำฝนตกในสระ
ก.ค.	0.0018	0.0013	16,995	713
ส.ค.	0.0016	0.0026	4,358	345
ก.ย.	0.0014	0.0031	10,192	544
ต.ค.	0.0010	0.0037	2,730	266
ธ.ค.	0.0006	0.0023	18	8
ม.ค.	0.0004	0.0019	3	1
ก.พ.	0.0003	0.0015	1	1
มี.ค.	0.0002	0.0012	523	100
เม.ย.	0.0001	0.0011	173	48
รวม	0.0075	0.0188	34,993	2026

น้ำไหลเข้าสระ = 37,019 ลบ.ม.

น้ำไหลออกสระ = 23,766 ลบ.ม.

เดือน	ปริมาณน้ำใต้ดินไหลออกบ่อ W3 (ลบ.ม.)			
	ปริมาณน้ำใต้ดินไหลออก	ปริมาณน้ำระเหยออกเฉลี่ย	ปริมาณน้ำซึมออกเฉลี่ย	ปริมาณน้ำล้นออก
ก.ค.	0.0076	111	0.211	9,890
ส.ค.	0.0053	112	0.211	



ก.ย.	0.0041	143	0.204	12,655
ต.ค.	0.0036	143	0.211	
ธ.ค.	0.0039	142	0.211	
ม.ค.	0.0041	142	0.211	
ก.พ.	0.0041	142	0.190	
มี.ค.	0.0042	142	0.211	
เม.ย.	0.0043	140.4	0.204	
รวม	0.0413	1219	2	22,545

สำหรับการศึกษาเพิ่มเติมจะใช้แบบจำลอง Visual MODFLOW Flex4.1 ในการจำลองทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้จากแผนที่เส้นชั้นความสูงของระดับน้ำใต้ดิน และทำนายปริมาณการ Recharge และ Discharge ของน้ำใต้ดินในระยะยาวและทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนางสาวเบญจมาพร สุขตน ,เจ้าหน้าที่สถานีทดลองฝักอบรมเกษตรร้อยเอ็ด คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น , เจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ,เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาทั้งด้านการดำเนินงานวิจัย ด้านวิชาการ และให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการศึกษาเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรรณิการ์ รัตนประเสริฐศรี. (2559, 7 ธันวาคม). ศูนย์เรียนรู้ธนาคารน้ำใต้ดิน. สืบค้นจาก <https://www.kku.ac.th/news/v.php?l=th&q=0013383>
- [2] กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. เติมน้ำเพิ่มต้นทุนชีวิต. สืบค้นจาก <http://202.129.59.73/tn/Water-water1.htm>
- [3] Ali, F.C and Nurullah, A. (2016). Evaluation of actual and estimated hydraulic conductivity of sands with different gradation and shape. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4916082>
- [4] The Engineering Toolbox. Water Vapor and Saturation Pressure in Humid Air. Retrieved from https://www.engineeringtoolbox.com/water-vapor-saturation-pressure-air-d_689.html
- [5] กองประสานบท กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. การศึกษาหาความลึกที่เหมาะสมของการเจาะน้ำบาดาล. สืบค้นจาก <http://202.129.59.73/tn/Waterground/groundwater2.htm>
- [6] พิสิกส์ราชวมงคล. Ground Water. สืบค้นจาก http://www.rmutphysics.com/charud/naturemystery/sci3/geology/8/index_ch_8-2.htm
- [7] Anuttra, B. (2016, 22 พฤศจิกายน). การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน. สืบค้นจาก https://sites.google.com/site/phumiphata1_1/phumiprathes-thi-keid-cak-kark-ra-tha-khxng-na-tidin/kar-khelunxthi-khxng-na-tidin
- [8] กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2555). การดำเนินงานโครงการประชุม ฝักอบรม และศึกษาดูงาน ณ ต่างประเทศ ด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาล เพื่อส่งเสริมการพัฒนาศักยภาพในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาล (กองทุนพัฒนา้ำบาดาล) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555. โครงการประชุมเรื่อง The second Asia -Pacific Coastal Aquifer Management Meeting. การประชุมสัมมนาจัดโดย Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), IAH ICGW MLTM และ UNESCAP. สาธารณรัฐเกาหลีใต้.
- [9] ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2552, 30 พฤษภาคม). โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร. สืบค้นจาก http://www.water1993.com/doc/MAR30May09_3-final.pdf
- [10] กุลชาติ โภชาแสง และ ชัยวัฒน์ ชัยนกรนาวิ. (2555). การจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินในโครงการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลจังหวัดสุโขทัย. สืบค้นจาก <http://newtdc.thailis.or.th/docview.aspx?tdcid=213881>
- [11] อรุณ ลุกจันทร์, ธนิต เฉลิมยานนท์, สุมเมช ไชยประพัทธ์ และ ผกา มาต เจริญพัฒนานนท์. (2551). สมดุลของน้ำใต้ดินและปริมาณน้ำปลอตกภัยในแอ่งหัดใหญ่ จังหวัดสงขลา. สืบค้นจาก <http://phoenix.eng.psu.ac.th/qa/KPR/Thesis/>
- [12] ไพฑูรย์ เนทการ, นท แสงเทียน, สภาพร โภคา, ทวีศักดิ์ วังไพศาล และกฤษณ์ ศรีรวมมาต. (2554). แบบจำลองน้ำใต้ดินระดับต้นในเขตเมืองกับการปนเปื้อนมลพิษ กรณีศึกษา อำเภอเมืองและอำเภอมารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี. สืบค้นจาก http://app.eng.ubu.ac.th/~app/resproject/upload/p1/3.paper_1_note.pdf
- [13] สมเกียรติ พุทธาภิวัฒน์. (2531). การวิเคราะห์และออกแบบขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำเขื่อนปรางค์บุรี. สืบค้นจาก http://www.lib.kps.ku.ac.th/SpecialProject/Irrigation_Engineering/2532/Bs/SomkrattPu/
- [14] พรพจน์ ต้นแสง. (2554). ปฐพีกลศาสตร์ Soil Mechanics. สืบค้นจาก <http://www.gooshared.com/d/MTYyMC0x>

ประวัติผู้วิจัย

รศ. ดร.ฉัตรชัย โขติษฐียงกูร

ที่ทำงานปัจจุบัน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ (044) 224426 โทรสาร (044) 224607 Email: cjothit@sut.ac.th

ประวัติการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2528 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ปี พ.ศ. 2534 ปริญญาเอก วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (อุทกวิทยา) , The University of Western Australia ประเทศออสเตรเลีย ปี พ.ศ. 2544

ประสบการณ์และผลงานทางวิชาการ ทำโครงการวิจัยและบริการวิชาการ 12 โครงการ มีผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ 13 บทความ ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ 3 บทความ ผลงานตีพิมพ์ในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 8 บทความ และมีผลงานตีพิมพ์ในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ 8 บทความ

ผศ. เขาวน หิรัญติยะกุล

ที่ทำงานปัจจุบัน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ (044) 224325 โทรสาร (044) 224607 Email: chow@sut.ac.th

ประวัติการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปี พ.ศ. 2541 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี พ.ศ. 2544 กำลังศึกษาในระดับปริญญาเอก Monash University ประเทศออสเตรเลีย ปี พ.ศ.2553-ปัจจุบัน

ประสบการณ์และผลงานทางวิชาการ ทำโครงการวิจัยและบริการวิชาการ 3 โครงการ มีผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ 1 บทความ ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ 1 บทความ ผลงานตีพิมพ์ในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 2 บทความ และมีผลงานตีพิมพ์ในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ 2 บทความ