

การปนเปื้อนน้ำใต้ดินของน้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ

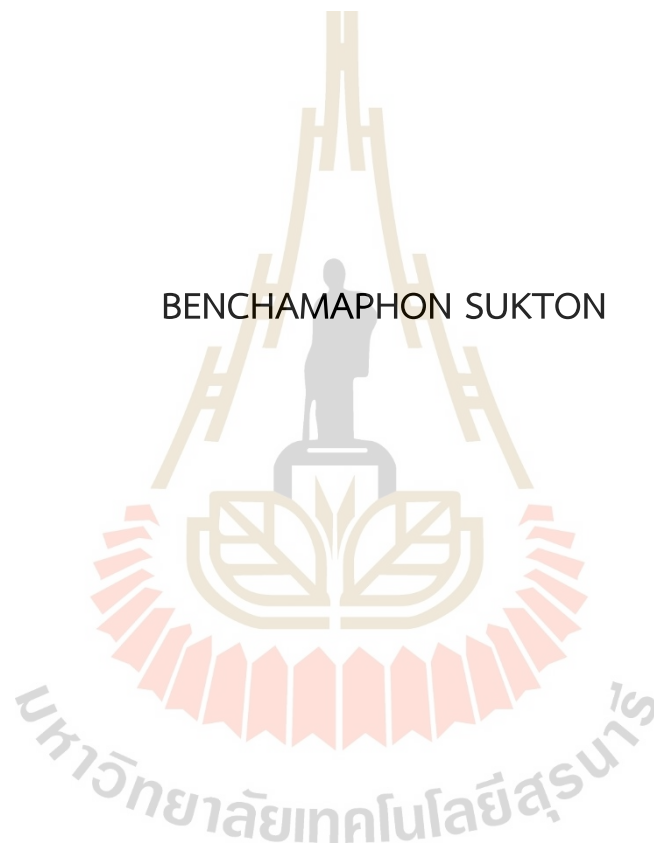
นางสาวเบญจมาภรณ์ สุขตน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชามลพิษสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2559

GROUNDWATER CONTAMINATION FROM LEACHATE
AT MUNICIPAL LANDFILL

BENCHAMAPHON SUKTON



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
of Master of Science in Environmental Pollution and Safety
Suranaree University of Technology
Academic Year 2016

การปนเปื้อนน้ำใต้ดินของน้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร)

ประธานกรรมการ



(รศ. ดร.นเรศ เชื้อสุวรรณ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร.สิราภรณ์ โพธิวิชานนท์)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ



(ผศ. ดร. ชลาลัย หาญเจนลักษณ์)

คณบดีสำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์

เบญจมาภรณ์ สุขตน : การปนเปื้อนน้ำใต้ดินของน้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ
(GROUNDWATER CONTAMINATION FROM LEACHATE AT MUNICIPAL LANDFILL)
อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. นเรศ เชื้อสุวรรณ, 213 หน้า

คำสำคัญ: การปนเปื้อนน้ำใต้ดิน/น้ำชะขยะมูลฝอย/แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการปนเปื้อนน้ำใต้ดินของน้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบโดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำใต้ดิน 10 ดัชนี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้า ของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายน้ำ คลอไรด์ ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) และปรอท (Hg) ทำการศึกษารายเดือนเป็นระยะเวลา 12 เดือน จากบ่อน้ำใต้ดินในพื้นที่ 17 บ่อ และศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (MODFLOW) เพื่อคาดการณ์ผลกระทบต่ออ่างเก็บน้ำลำตะคองจากการปนเปื้อนของน้ำชะขยะมูลฝอย ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำใต้ดินในแต่ละบ่อเก็บตัวอย่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค ยกเว้นปริมาณของแข็งละลายน้ำ ในตำแหน่งที่ 3, 6, 8, 9, 15 และ 17 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำใต้ดินร่วมกับความแตกต่างของฤดูกาลในช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) และช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย.) พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ ของแข็งแขวนลอย ตะกั่ว และนิกเกิล ในช่วงหน้าฝนและหน้าแล้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ ความเข้มข้นของตะกั่ว นิกเกิล และปรอทในช่วงหน้าฝนอยู่ที่ 1.0-3.7 $\mu\text{g/L}$, 1.3-8.1 $\mu\text{g/L}$ และ 0.7-2.5 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ ส่วนหน้าแล้งมีค่า $\leq 1.0-3.2$ $\mu\text{g/L}$, $\leq 0.2-6.7$ $\mu\text{g/L}$ และ 0.9-1.3 $\mu\text{g/L}$ และความเข้มข้นของแคดเมียมต่ำกว่าระดับที่เครื่องสามารถวิเคราะห์ได้ หรือความเข้มข้นต่ำกว่า 1 $\mu\text{g/L}$ ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของตะกั่ว นิกเกิล และปรอทอยู่ในเกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก แต่เมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค และมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน พบว่าปรอทมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1.0 $\mu\text{g/L}$ ส่วนผลการจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน พบว่าทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นที่ตั้งของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 จากการจำลองการแพร่กระจายของโลหะหนัก เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำใต้ดินมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนการคาดการณ์ผลกระทบต่ออ่างเก็บน้ำลำตะคอง พบว่าทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินไม่อยู่ในทิศที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำลำตะคองโดยตรง

สาขาวิชา มลพิษสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย
ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนักศึกษา เบญจมาภรณ์ สุขตน
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

BENCHAMAPHON SUKTON : GROUNDWATER CONTAMINATION FROM LEACHATE
AT MUNICIPAL LANDFILL. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. NARES CHUERSUWAN,
Ph.D. 213 PP.

Keyword: Groundwater contamination/Leachate/Computer model

This research aims to study possible contamination of groundwater from a municipal waste landfill. Ten parameters were measured on-site and in a laboratory; pH, temperature, conductivity, suspended solids, dissolved solids, chloride, lead, cadmium, nickel, and mercury. The measurements based on a monthly basis for 12 months from 17 wells. The evaluation of flow and impact to Lamtakhong reservoir were performed using a computer model (MODFLOW). The results showed that monthly averages of groundwater were within the drinking water standard of groundwater, except total dissolved solids at wells 3, 6, 8, 9, 15, and 17. Groundwater quality between wet (May-October) and dry (November-April) seasons were statistically different for temperature, suspended solids, lead, and nickel when they were tested with a t-test. Monthly concentrations of lead, nickel, and mercury during wet season were 1.0, 3.7, 1.3-8.1, and 0.7-2.5 $\mu\text{g}/\text{l}$, respectively, while dry season were ≤ 1.0 -3.2, ≤ 0.2 -6.7, and 0.9-1.3 $\mu\text{g}/\text{l}$, respectively. Cadmium in all samples were lower than the detection limit of 1 $\mu\text{g}/\text{l}$. The concentrations of lead, nickel, and mercury were within WHO's Guidelines for Drinking Water. However, mercury was higher than Thai's standards, the Standard of Groundwater Quality for Consumption and Groundwater Standard (≤ 1.0 $\mu\text{g}/\text{l}$). Groundwater direction was determined from triangular methods and showed the directional flow to the east-west direction of the landfill toward the wells 13, 14, and 15. Computer scenario simulations showed that the movement of the heavy metals associated with time and the direction of groundwater flow was not directly discharged into the Lamtakhong reservoir.

School of Environmental Pollution and Safety
Academic Year 2016

Student's Signature 
Advisor's Signature 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์และหน่วยงานต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลือ ทั้งทางด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.นเรศ เชื้อสุวรรณ อาจารย์ประจำสาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์ยังต่องานวิจัย รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร (ประธานกรรมการ) อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริภรณ์ โพธิวิษยานนท์ (กรรมการ) อาจารย์ประจำสาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางการวิจัย ตลอดจนตรวจสอบแก้ไข จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

อาจารย์ประจำสาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งตลอดมา รวมถึงสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย และบุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือและเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆในการทำวิจัยนี้

สำนักทรัพยากรน้ำบาดาล เขต 5 จังหวัดนครราชสีมา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม) และผู้นำชุมชนในเขตตำบลจันทึก และตำบลหนองสาหร่าย ที่ได้ให้ข้อมูลซึ่งเป็นประโยชน์กับงานวิจัย และได้ให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยอย่างยิ่ง จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และญาติที่เคารพทุกท่าน ที่สนับสนุนและอุปถัมภ์ให้ข้าพเจ้ามีโอกาสทางการศึกษาตลอดมา รวมทั้งยังเป็นกำลังใจและแรงผลักดันให้สามารถดำเนินการวิจัยวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วง

เบญจมาภรณ์ สุขตน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฒ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 กรอบการทำวิจัย.....	3
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สภาพโดยทั่วไปของพื้นที่โครงการ.....	4
2.1.1 ที่ตั้งและอาณาเขต.....	4
2.1.2 ลักษณะภูมิประเทศ.....	6
2.1.3 คุณภาพน้ำ.....	6
2.2 น้ำชะขยะมูลฝอย.....	7
2.2.1 การเกิดน้ำชะขยะมูลฝอย.....	7
2.2.2 องค์ประกอบของน้ำชะขยะมูลฝอย.....	9
2.2.3 ผลกระทบของน้ำชะขยะมูลฝอย.....	10
2.2.4 การปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจากน้ำชะขยะมูลฝอย.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับน้ำใต้ดินและสารปนเปื้อน.....	13
2.3.1 ชั้นอุ้มน้ำ (Aquifers).....	13
2.3.2 คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ.....	14
2.3.3 การไหลของน้ำใต้ดิน.....	16
2.3.4 การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน.....	19
2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์น้ำใต้ดิน (Numerical Groundwater Model).....	20
2.4.1 MODFLOW model.....	25
2.4.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำใต้ดิน.....	28
2.4.3 ขั้นตอนการจำลองการไหล และการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในดิน	29
2.4.4 แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง.....	39
2.5 ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems).....	41
2.5.1 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.....	41
2.5.2 ขั้นตอนการทำงานของ GIS.....	42
2.5.3 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS).....	43
2.5.4 ข้อจำกัดของเทคโนโลยี GIS.....	44
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	45
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	48
3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น.....	48
3.2 การสำรวจทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน.....	50
3.3 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน.....	51
3.4 การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน.....	55
3.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำตื้น ที่มีความลึกน้อยกว่า 30 เมตร.....	55
3.4.2 การเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อใต้ดิน ที่มีความลึกมากกว่า 30 เมตร.....	56
3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดิน.....	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน.....	58
3.6.1 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง.....	58
3.6.2 การสร้างแบบจำลอง.....	60
4 ผลการทดลอง และการอภิปรายผล.....	64
4.1 การสำรวจทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน.....	64
4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดิน.....	71
4.2.1 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH).....	71
4.2.2 การวิเคราะห์อุณหภูมิ.....	77
4.2.3 การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า.....	83
4.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS).....	89
4.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งละลายน้ำ (TDS).....	95
4.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์.....	101
4.2.7 การวิเคราะห์โลหะหนัก.....	107
4.3 การจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินและการแพร่กระจายของมลสารโดยใช้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	126
4.3.1 ข้อมูลในพื้นที่ศึกษาซึ่งใช้ในแบบจำลอง.....	126
4.3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	133
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	152
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	152
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	155
รายการอ้างอิง.....	157
ภาคผนวก.....	165
ประวัติผู้เขียน.....	213

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำลำตะคองตอนบน พ.ศ. 2554.....	6
2.2 องค์ประกอบของน้ำชะขยะมูลฝอยในประเทศไทย.....	9
2.3 องค์ประกอบของน้ำชะขยะมูลฝอยในต่างประเทศ.....	10
2.4 ช่วงค่าการกักเก็บจำเพาะของชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดัน (S_s) (Domenico, 1972).....	13
2.5 ช่วงค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน (S_y) (Morris and Johnson, 1967).....	14
2.6 ช่วงค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของหินอุ้มน้ำ (Brassington, 1988).....	15
2.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของน้ำใต้ดิน.....	21
2.8 สรุปคุณสมบัติของแบบจำลองในตระกูล MODFLOW ที่มีความเหมาะสม ต่อการศึกษา.....	24
2.9 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดิน และสารปนเปื้อน.....	39
3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดิน และแหล่งที่มาของข้อมูล.....	49
3.2 ตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดิน ความลึกในการเจาะ และระดับน้ำใต้ดิน.....	53
3.3 วิธีการรักษาสภาพตัวอย่างน้ำ และวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดิน.....	57
4.1 ตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดิน ความลึกในการเจาะ และระยะจากปากบ่อถึงผิวน้ำ.....	65
4.2 ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน.....	67
4.3 ปริมาณฝนรายเดือนในพื้นที่ศึกษาระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.2558.....	126
4.4 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของแม่น้ำลำตะคอง.....	128
4.5 ลักษณะธรณีวิทยาอำเภอปากช่อง.....	129
4.6 ลักษณะชั้นหินอุ้มน้ำในพื้นที่อำเภอปากช่อง.....	131
4.7 ชุดดินในพื้นที่ศึกษา.....	132
ข.1 ค่าความเป็นกรด - ด่าง ของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558.....	176
ข.2 ค่าทางสถิติของความเป็นกรด - ด่าง ในช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย.).....	177
ข.3 อุณหภูมิ ของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558.....	179

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.4	ค่าทางสถิติของอุณหภูมิ ในช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)	180
ข.5	ค่าการนำไฟฟ้า ของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558.....	182
ข.6	ค่าทางสถิติของค่าการไฟฟ้า ในช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	183
ข.7	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558.....	185
ข.8	ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ในช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	186
ข.9	ปริมาณของแข็งละลายน้ำ (TDS) ของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558.....	188
ข.10	ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งละลายน้ำ (TDS) ในช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	189
ข.11	ปริมาณคลอไรด์ของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558.....	191
ข.12	ค่าทางสถิติของปริมาณคลอไรด์เฉลี่ยของช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	192
ข.13	ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) ของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558.....	194
ข.14	ค่าทางสถิติของปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) เฉลี่ยในช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	195
ข.15	ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558.....	197
ข.16	ค่าทางสถิติของปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) เฉลี่ยในช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	198
ข.17	ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (Hg) ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558.....	200
ข.18	ค่าทางสถิติของปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (Hg) เฉลี่ยในช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	201

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ขอบเขต จ.นครราชสีมา และอำเภอปากช่อง (กรมพัฒนาที่ดิน 5, 2553).....	5
2.2	การเกิดน้ำชะมูลฝอย (Christensen et al., 1992).....	8
2.3	แผนภาพแสดงการทดลองของดาร์ซี่ (Dominico and Schwatz, 1998).....	16
2.4	แผนภาพแสดงระบบการไหลของน้ำใต้ดิน (Toth, 1963).....	18
2.5	แผนภาพแสดงลักษณะการไหลและระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่รับน้ำ พื้นที่ปนน้ำ และพื้นที่สูญเสีย (เกรียงศักดิ์, 2543).....	19
2.6	การแพร่กระจายเชิงอุทกพลศาสตร์ (Moss, 1990).....	20
2.7	ขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของมลสาร (Anderson and Woessner, 1992).....	32
2.8	ขั้นตอนการทำงานของ GIS (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2556).....	43
3.1	ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในพื้นที่อำเภอปากช่อง.....	52
3.2	ภาพถ่ายดาวเทียมตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน.....	53
3.4	ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลอง.....	62
4.1	ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินภายในพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอยเทศบาลเมืองปากช่อง....	66
4.2	ค่าความเป็นกรด-ด่างของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558).....	72
4.3	ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ.....	75
4.4	ความเป็นกรด – ด่าง ของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	76
4.5	อุณหภูมิของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558).....	77
4.6	อุณหภูมิเฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ.....	80

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7	อดุลยภูมิของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง ช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)..... 82
4.8	ค่าการนำไฟฟ้าของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 – เดือน เมษายน พ.ศ. 2558)..... 83
4.9	ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ..... 87
4.10	ค่าการนำไฟฟ้าของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบ ระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)..... 88
4.11	ปริมาณของแข็งแขวนลอยของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558)..... 91
4.12	ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557–เดือน เมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ..... 92
4.13	ปริมาณของแข็งแขวนลอย ของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษา เปรียบเทียบ ระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)..... 94
4.14	ปริมาณของแข็งละลายน้ำของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558)..... 95
4.15	ปริมาณของแข็งละลายน้ำเฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557–เดือน เมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ..... 99
4.16	ปริมาณของแข็งละลายน้ำของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษา เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)..... 100
4.17	ปริมาณคลอไรด์ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 – เดือน เมษายน พ.ศ. 2558)..... 101
4.18	ปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์เฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557– เดือน เมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ..... 105
4.19	ปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์ของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษา เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)..... 106

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558).....	108
4.21 ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) เฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2557 – พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ.....	111
4.22 ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษา เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	113
4.23 ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558).....	115
4.24 ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลเฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ.....	118
4.25 ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษา เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	119
4.26 ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (Hg) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558).....	120
4.27 ปริมาณของแข็งละลายน้ำเฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือน เมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ.....	124
4.28 ปริมาณของแข็งแขวนลอย ของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษา เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	125
4.29 ลักษณะธรณีวิทยาของจังหวัดนครราชสีมา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550).....	129
4.30 สภาพอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550)...	131
4.31 พื้นที่ศึกษาในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	134
4.32 ผลการปรับเทียบแบบจำลองที่สภาวะคงที่ (Steady – State).....	135
4.33 การแพร่กระจายของสารตะกั่ว ณ เวลา 5 ปี (พ.ศ. 2562) จากหลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอย.....	136
4.34 การแพร่กระจายของสารตะกั่ว ณ เวลา 10 ปี (พ.ศ. 2567) จากหลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอย.....	137

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.35 การแพร่กระจายของสารตะกั่ว ณ เวลา 15 ปี (พ.ศ. 2572) จากหลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอย.....	138
4.36 การแพร่กระจายของสารตะกั่ว ณ เวลา 20 ปี (พ.ศ. 2577) จากหลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอย.....	139
4.37 การแพร่กระจายของแคดเมียม ณ เวลา 5 ปี (พ.ศ. 2562) จากหลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอย.....	140
4.38 การแพร่กระจายของแคดเมียม ณ เวลา 10 ปี (พ.ศ. 2567) จากหลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอย.....	141
4.39 การแพร่กระจายของแคดเมียม ณ เวลา 15 ปี (พ.ศ. 2572) จากหลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอย.....	142
4.40 การแพร่กระจายของแคดเมียม ณ เวลา 20 ปี (พ.ศ. 2577) จากหลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอย.....	143
4.41 การแพร่กระจายของนิกเกิล ณ เวลา 5 ปี (พ.ศ. 2562) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย.	144
4.42 การแพร่กระจายของนิกเกิล ณ เวลา 10 ปี (พ.ศ. 2567) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย	145
4.43 การแพร่กระจายของนิกเกิล ณ เวลา 15 ปี (พ.ศ. 2572) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย	146
4.44 การแพร่กระจายของนิกเกิล ณ เวลา 20 ปี (พ.ศ. 2577) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย	147
4.45 การแพร่กระจายของสารปรอท ณ เวลา 5 ปี (พ.ศ. 2577) จากหลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอย.....	148
4.46 การแพร่กระจายของสารปรอท ณ เวลา 10 ปี (พ.ศ. 2567) จากหลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอย.....	149
4.47 การแพร่กระจายของสารปรอท ณ เวลา 15 ปี (พ.ศ. 2572) จากหลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอย.....	150
4.48 การแพร่กระจายของสารปรอท ณ เวลา 20 ปี (พ.ศ. 2577) จากหลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอย.....	151
ก.1 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 1 (หมู่บ้านท่าออย ซอย 2 ต.จันทิก).....	166
ก.2 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 2 (หมู่บ้านท่าออย ซอย 5 ต.จันทิก).....	166
ก.3 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 3 (หมู่บ้านท่าออย ซอย 7 ต.จันทิก).....	167
ก.4 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 4 (บ้านท่าออย สวนสุขภาพบ้านท่าออย ต.จันทิก)	167

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.5 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 5 (แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านพักทหาร)....	168
ก.6 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 6 (แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านซับบ่มวง หมู่ 4 ต.จันทึก จุด 1).....	168
ก.7 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 7 (แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านซับบ่มวง หมู่ 4 ต.จันทึก จุด 2).....	169
ก.8 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 8 (วัดหนองไผ่ล้อม บ้านหนองไผ่ล้อม หมู่ 14 ต.หนองสาหร่าย).....	169
ก.9 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 9 (หมู่บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 1)	170
ก.10 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 10 (หมู่บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 2)	170
ก.11 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 11 (หมู่บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 3)	171
ก.12 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 12 (กลุ่มโคกเพชรพัฒนา บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย)	171
ก.13 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13 (หมู่บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 1)	172
ก.14 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 14 (หมู่บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 2)	172
ก.15 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 15 (หมู่บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 3)	173
ก.16 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 16 (วัดไตรรัตน์ บ้านหนองคู หมู่ 4 ต.หนองสาหร่าย).....	173
ก.17 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 17 (โรงเรียนไตรรัตน์วิทยาคาร บ้านหนองคู หมู่ 4 ต.หนองสาหร่าย)	174
ข.1 ความเป็นกรด – ด่าง ของแต่ละบ่อเก็บน้ำตัวอย่าง เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	178
ข.2 อุณหภูมิของแต่ละจุดเก็บน้ำตัวอย่าง เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	181
ข.3 ค่าการนำไฟฟ้าของเปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	184

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอยเปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	187
ข.5 ปริมาณแข็งละลายน้ำเปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วง หน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	190
ข.6 ปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์ เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	193
ข.7 ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	196
ข.8 ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	199
ข.9 ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.).....	202
ค.1 Microwave Digestion (Anton Paar Multiwave 3000).....	204
ค.2 Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer (PerkinElmer - PinAAcle 900Z).....	204
ค.3 Hydride Generation Atomic Absorption Spectroscopy (PerkinElmer - PinAAcle 900F).....	205

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

เมตร (รทก.)	= เมตร (ระดับน้ำทะเลปานกลาง)
BOD	= ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (Biochemical Oxygen Demand)
COD	= ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (Chemical Oxygen Demand)
Cd	= แคดเมียม (Cadmium)
DEM	= ข้อมูลที่ใช้แสดงลักษณะความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model)
DO	= ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)
FCB	= แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลลีฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)
G	= ภาชนะเก็บตัวอย่างน้ำชนิดแก้ว (Glass)
GFAAS	= Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer
GIS	= ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems: GIS)
Hg	= ปรอท (Mercury)
HGAAS	= Hydride Generation Atomic Absorption Spectroscopy
HNO ₃	= กรดไนตริก (Nitric acid)
K	= ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity)
m/sec	= เมตรต่อวินาที
m ² /sec	= ตารางเมตรต่อวินาที
m ³ /sec	= ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
mg/l	= มิลลิกรัมต่อลิตร
mm/year	= มิลลิเมตรต่อปี
MPN	= Most Probable Number
mS/cm	= มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
Ni	= นิกเกิล (Nickel)
P	= ภาชนะเก็บตัวอย่างน้ำชนิดพลาสติก (Polyethylene)
P(A)	= ภาชนะเก็บตัวอย่างน้ำชนิดพลาสติก (Polyamide)
Pb	= สารตะกั่ว (Lead)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

pH	=	ความเป็นกรด-ด่าง
Q	=	อัตราการสูบน้ำ
S	=	ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage Coefficient)
s	=	ระยะน้ำลดที่เกิดขึ้นในบ่อ
S_s	=	ค่าการกักเก็บเฉพาะ (Specific Storage)
SS	=	ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)
T	=	ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity)
TCB	=	แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)
TCE	=	ไตรคลอโรเอทีลีน (Trichloroethylene)
TDS	=	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids)
TOC	=	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำ (Total Organic Carbon)
Total P	=	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)
TSS	=	ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Soluble Solid)
WQI	=	ดัชนีคุณภาพน้ำ (Water Quality Index)
$\mu\text{g/l}$	=	ไมโครกรัมต่อลิตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัญหามลพิษจากขยะมูลฝอยในประเทศไทยเป็นปัญหาที่สำคัญจากการเพิ่มจำนวนประชากร ความไม่เข้าใจในปัญหา ความยากง่าย ขาดระบบจัดการขยะมูลฝอยที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงการขยายตัวของเมืองและเศรษฐกิจที่ไม่มีระบบ ส่งผลทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ พบว่าปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนทั่วประเทศในระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2540 – 2549) เพิ่มขึ้นประมาณ 1.1 ล้านตัน เป็นต้น การดำเนินงานของหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน ยังไม่สามารถดำเนินการเก็บขนขยะมูลฝอยไปกำจัดได้หมดในแต่ละวัน จึงเกิดปัญหาขยะมูลฝอยตกค้างจากการเก็บขน ตลอดจนยังดำเนินการกำจัดด้วยวิธีการที่ไม่ถูกต้อง ประเทศไทยมักใช้วิธีการฝังกลบ แต่วิธีการฝังกลบจำนวนมาก ยังไม่ใช้การฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล เช่น ไม่มีพลาสติกชนิดเหนียวพิเศษ หรือชั้นดินเหนียวรองรับกันหลุมฝังกลบและกลบทับบนชั้นขยะมูลฝอย ซึ่งเมื่อเกิดฝนตกจะทำให้ น้ำไหลซึม ลงไปในหลุมฝังกลบ ผ่านขยะมูลฝอยและนำพาสารมลพิษออกมาพร้อมกับน้ำฝนและไหลซึมลงสู่ น้ำใต้ดิน ซึ่งจะก่อให้เกิดการปนเปื้อนและก่อให้เกิดความเสี่ยงทางสุขภาพต่อผู้ที่ใช้น้ำใต้ดินในการอุปโภคและบริโภค

ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาอำเภอบางบัวทองเป็นแหล่งท่องเที่ยว และมีประชากรเป็นลำดับที่ 2 ของจังหวัด (สำนักบริหารทะเบียน, 2553) พื้นที่อำเภอบางบัวทองมีการจัดการขยะมูลฝอย โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นด้วยการเก็บขนขยะมูลฝอยชุมชนไปทำการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบ ซึ่งหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองอำเภอบางบัวทองมีอายุการใช้งานมานานกว่า 10 ปี มีพื้นที่ประมาณ 104,000 ตารางเมตร สามารถรองรับขยะได้ถึง 150-180 ตันต่อวัน (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11, 2555) แม้ว่าเทศบาลมีระบบการจัดการหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเป็นอย่างดี แต่ด้วยเนื่องจากระยะเวลาการฝังกลบที่ยาวนานเต็มพื้นที่ของหลุมฝังกลบ ประกอบกับการที่มีพื้นที่ใกล้เคียงกับอ่างเก็บน้ำลำตะคอง และอยู่ใกล้พื้นที่ชุมชน จึงอาจทำให้เกิดความเสี่ยงทางสุขภาพของประชาชนในพื้นที่จากการไหลซึมของน้ำชะขยะมูลฝอยลงสู่ น้ำใต้ดิน และอ่างเก็บน้ำลำตะคอง ซึ่งประชากรส่วนใหญ่ในพื้นที่จะมีการใช้น้ำจากทั้งสองแหล่งเพื่อการอุปโภคและบริโภค

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางการประเมินการแพร่กระจายของสารมลพิษจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยในน้ำใต้ดินด้วยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และคาดการณ์ผลกระทบที่อาจจะ

เกิดขึ้นจากการปนเปื้อนของสารมลพิษลงสู่น้ำใต้ดินและอ่างเก็บน้ำลำตะคอง ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงผลเสียและการหามาตรการในการจัดการต่อไป

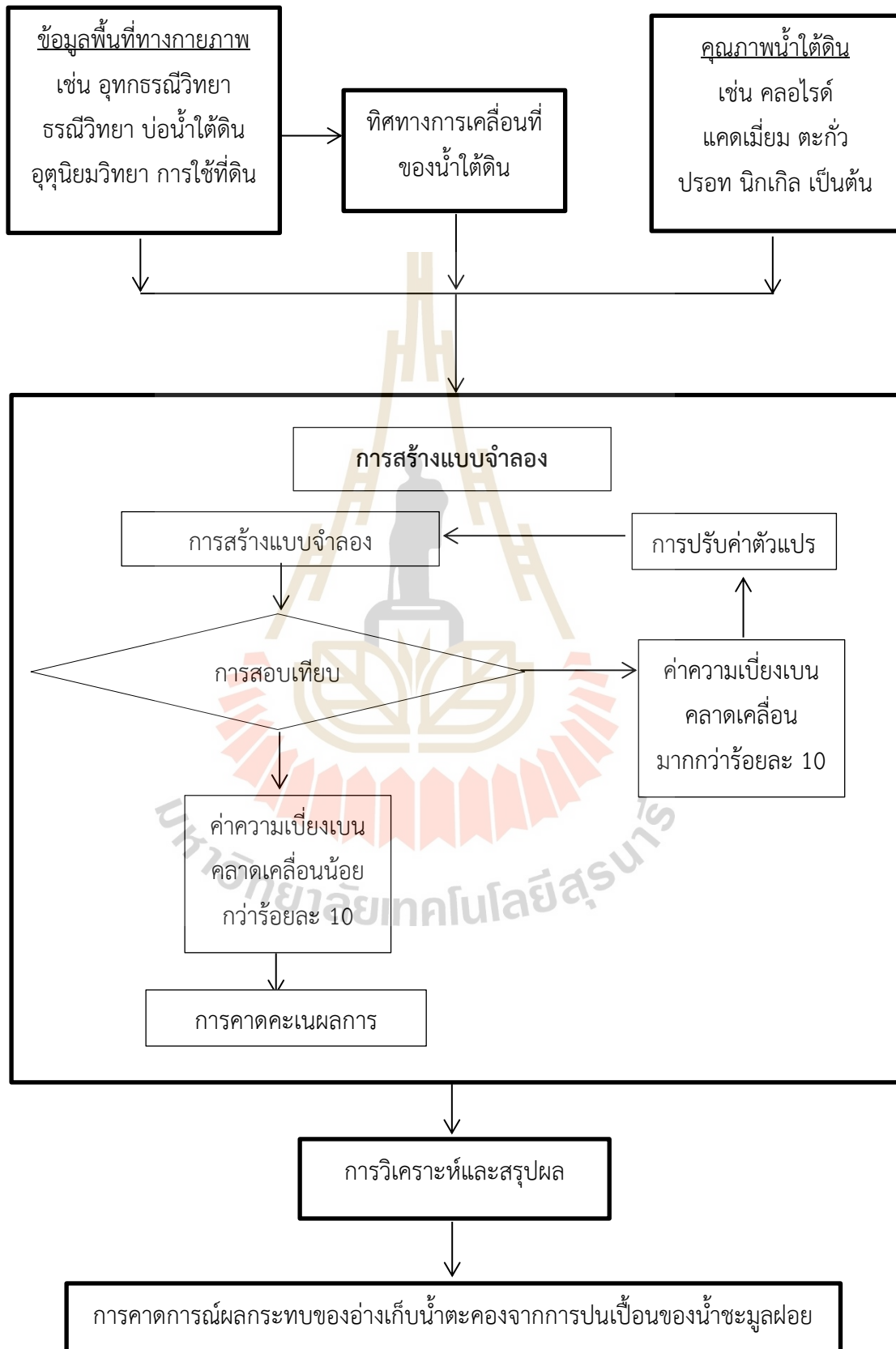
1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะการปนเปื้อนน้ำใต้ดินของน้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 1.2.3 เพื่อคาดการณ์ผลกระทบต่ออ่างเก็บน้ำลำตะคองจากการปนเปื้อนของน้ำชะขยะมูลฝอย และลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาลักษณะการปนเปื้อน และการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองปากช่อง บริเวณหมู่บ้านท่าออย ตำบลจันทน์ทิพย์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา และบริเวณพื้นที่ซึ่งมีการขุดเจาะบ่อน้ำบาดาลใกล้เคียงกับพื้นที่หลุมฝังกลบเทศบาล โดยใช้บ่อน้ำใต้ดินในพื้นที่ 17 บ่อ และทำการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินเพื่อทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำใต้ดิน 10 ดัชนี ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้า ของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายน้ำ คลอไรด์ ตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล และปรอท ทำการศึกษารายเดือนเป็นระยะเวลา 12 เดือนร่วมกับข้อมูลทุติยภูมิประกอบด้วย ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ภูมิศาสตร์ และการใช้ที่ดิน เป็นข้อมูลนำเข้าใช้โปรแกรม Visual MODFLOW Flex Version 2015.1 ซึ่งมี MODFLOW และ MT3DMS เป็นโมดูลในการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน เพื่อคาดการณ์ผลกระทบต่ออ่างเก็บน้ำลำตะคองจากการปนเปื้อนของน้ำชะขยะมูลฝอย และลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน

1.4 กรอบการทำวิจัย



บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

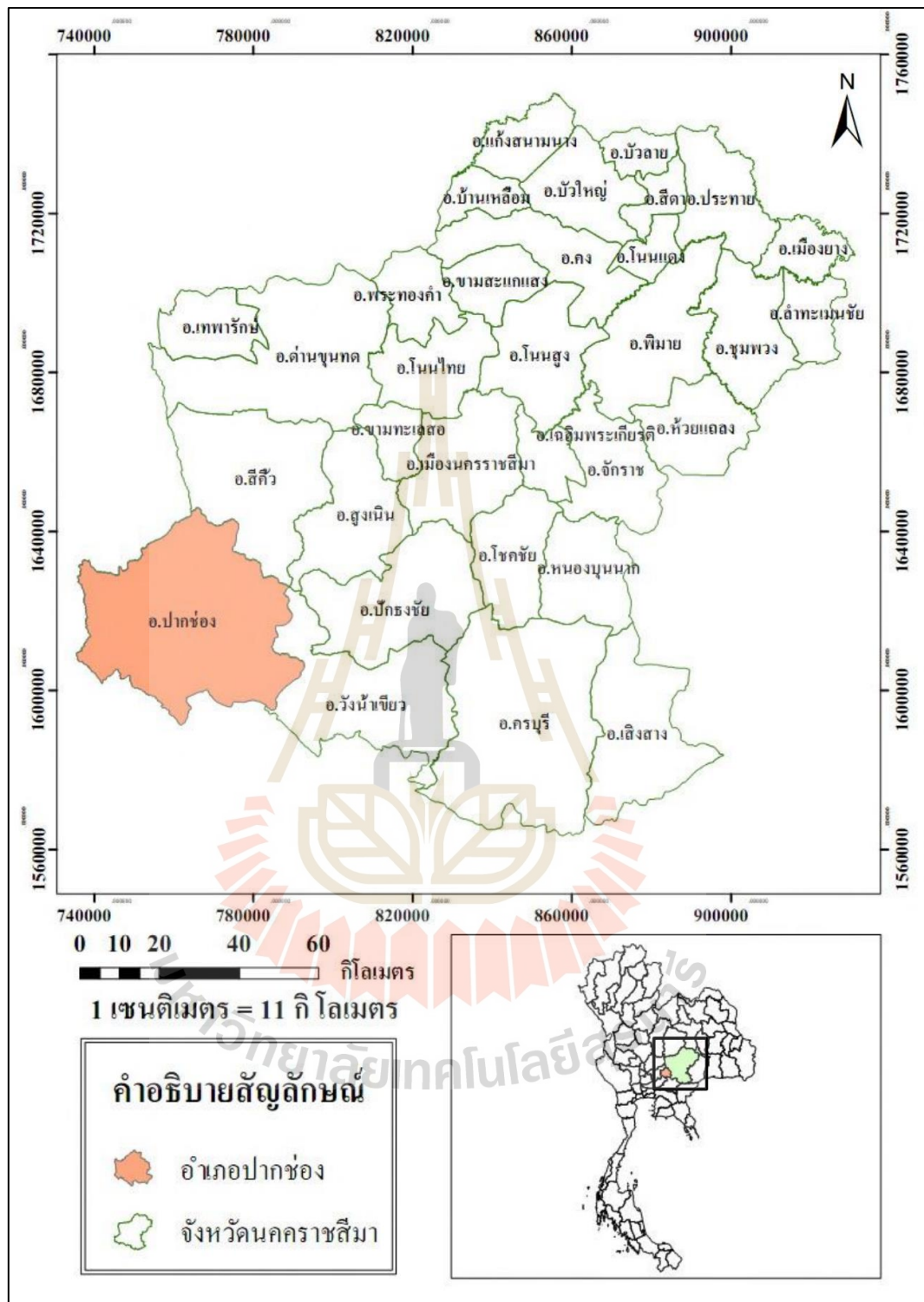
2.1 สภาพโดยทั่วไปของพื้นที่โครงการ

2.1.1 ที่ตั้งและอาณาเขต

จังหวัดนครราชสีมาตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีเนื้อที่ประมาณ 20,493 ตารางกิโลเมตร แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 26 อำเภอและ 6 กิ่งอำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองนครราชสีมา อำเภอครบุรี อำเภอเสิงสาง อำเภอดง อำเภอบ้านเหลื่อม อำเภอจักราช อำเภอโชคชัย อำเภอคำนูนต อำเภอโนนไทย อำเภอโนนสูง อำเภอขามสะแกแสง อำเภอบัวใหญ่ อำเภอประทาย อำเภอปักธงชัย อำเภอพิมาย อำเภอห้วยแถลง อำเภอชุมพวง อำเภอสูงเนิน อำเภอขามทะเลสอ อำเภอสีคิ้ว อำเภอปากช่อง อำเภอหนองบุญนาค อำเภอแก้งสนามนาง อำเภอโนนแดง อำเภอวังน้ำเขียว อำเภอเฉลิมพระเกียรติ กิ่งอำเภอเทพารักษ์ กิ่งอำเภอเมืองยาง กิ่งอำเภอพระทองคำ กิ่งอำเภอลำทะเมนชัย กิ่งอำเภอบัวลาย และกิ่งอำเภอสีดา (สำนักงานจังหวัดนครราชสีมา, 2556)

อำเภอปากช่องมีเนื้อที่ประมาณ 1,883.98 ตารางกิโลเมตร หรือ 1,177,487.50 ไร่ ระยะทางจากเหนือสุด-ใต้สุดประมาณ 58 กิโลเมตร และระยะทางจากตะวันออก-ตะวันตกประมาณ 51 กิโลเมตร (สำนักงานจังหวัดนครราชสีมา, 2556) (รูปที่ 2.1) มีอาณาเขตติดต่อกันดังนี้

- ด้านเหนือ ติดต่อกับอำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดสระบุรี
- ด้านตะวันออก ติดต่อกับอำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา
- ด้านตะวันตก ติดต่อกับจังหวัดสระบุรี
- ด้านทิศใต้ ติดต่อกับจังหวัดนครนายก และจังหวัดปราจีนบุรี



รูปที่ 2.1 ขอบเขต จ.นครราชสีมา และอำเภอปากช่อง (กรมพัฒนาที่ดิน 5, 2553)

2.1.2 ลักษณะภูมิประเทศ

จังหวัดนครราชสีมาตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของแอ่งโคราช ลักษณะภูมิประเทศประกอบด้วยเทือกเขาสูง ซึ่งวางตัวเป็นขอบแอ่งแผ่กระจายในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ บริเวณพื้นที่ด้านทิศตะวันตกของอำเภอด่านขุนทด อำเภอปากช่อง อำเภอปักธงชัยและวกลงด้านทิศใต้ของอำเภอโชคชัย อำเภอครบุรี นอกจากนี้ มีพื้นที่ราบลุ่มอยู่สองข้างฝั่งลำน้ำมูล ส่วนบริเวณอื่นเป็นพื้นที่เนินมีความสูงต่ำแตกต่างกัน วางตัวอยู่บริเวณเชิงเขา ที่ราบ และอยู่ระหว่างหุบเขา ความสูงเฉลี่ยของพื้นที่ประมาณ 174 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยบริเวณที่สูงสุดของพื้นที่ประมาณ 949 เมตร ได้แก่ ยอดเขาภูสามง่ามอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอครบุรี บริเวณที่ต่ำสุดประมาณ 131 เมตร ได้แก่ พื้นที่ราบสองฝั่งลำน้ำมูล มีแม่น้ำสำคัญ คือแม่น้ำมูลและลำเชียงไกร

2.1.3 คุณภาพน้ำ

อำเภอปากช่องมีลำน้ำสายหลักไหลผ่านอำเภอ คือ คลองมวกเหล็กที่ไหลลงแม่น้ำป่าสักในด้านทิศตะวันตก และคลองลำตะคองที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำลำตะคองในด้านทิศตะวันตก โดยในช่วงที่ลำตะคองไหลผ่านอำเภอปากช่อง กรมควบคุมมลพิษ และสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 ได้ทำการสำรวจข้อมูลคุณภาพน้ำโดยมีสถานีเก็บตัวอย่างน้ำ และรายงานผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำผิวดิน รวม 5 สถานี ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยพิจารณาจากค่าดัชนีคุณภาพน้ำ (WQI) พบว่าคุณภาพน้ำปี พ.ศ. 2554 อยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรม แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำลำตะคองตอนบน พ.ศ.2554

สถานี	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	TCB (MPN/100ml)	FCB (MPN/100ml)	ประเภท คุณภาพน้ำ	WQI	แนวโน้มคุณภาพ แหล่งน้ำ*
LTK01 สะพานไม้ จันทร์สถิตย์บ้าน โปร่งประทุน	2.4	7.0	1,200	<200	5	11 (เสื่อมโทรมมาก)	เลวลง
LTK02 สะพานเหล็กบ้าน ท่ามะนาว	0.9	7.87	>1,600,000	>1,600,000	5	9 (เสื่อมโทรมมาก)	ไม่เปลี่ยนแปลงมาก
LT05 สะพานกรม สรรพาวุธ ทหารบก	5.0	1.7	120	20	3	39 (เสื่อมโทรม)	ไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำลำตะคองตอนบน (ต่อ)

สถานี	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	TCB (MPN/100ml)	FCB (MPN/100ml)	ประเภท คุณภาพน้ำ	WQI	แนวโน้มคุณภาพ แหล่งน้ำ*
LT06 สะพานหนอง สาหร่าย	5.7	2.8	2,500	110	4	39 (เสื่อมโทรม)	ไม่เปลี่ยนแปลง
LT07 บ้านบุงกระเจด	6.4	2.0	1,750	250	3	47 (เสื่อมโทรม)	ดีขึ้น

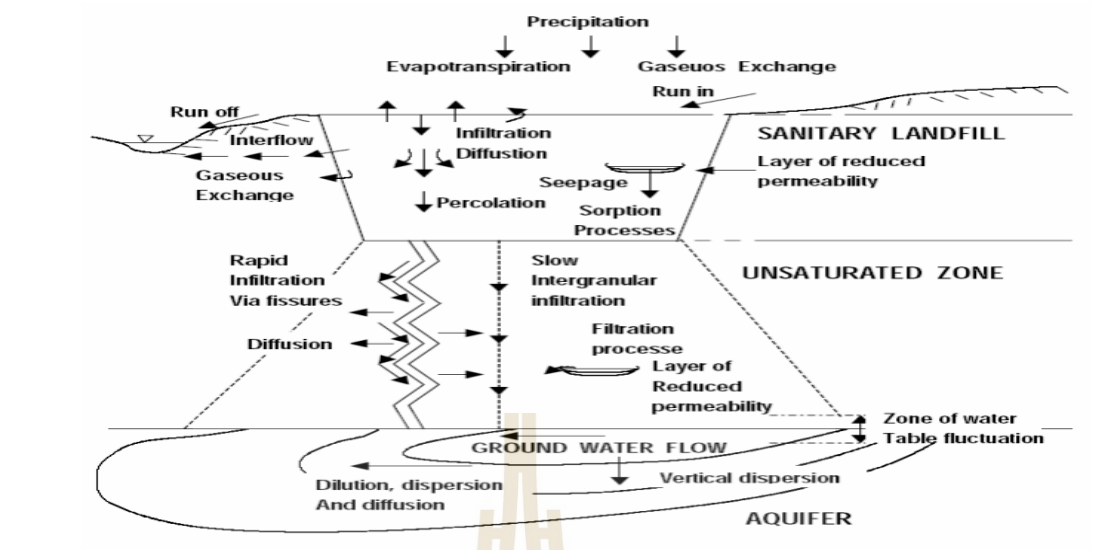
หมายเหตุ : * ผลการเปรียบเทียบคุณภาพแหล่งน้ำครั้งที่ 2 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 กับคุณภาพแหล่งน้ำครั้งที่ 2 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553 (เปรียบเทียบในช่วงเวลาเดียวกัน) ที่มา: สถานการณ์คุณภาพน้ำบริเวณลำตะคองครั้งที่ 2 กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2554

2.2 น้ำชะขยะมูลฝอย

น้ำชะขยะมูลฝอยเกิดจากของเหลวที่ซึมผ่านชั้นขยะมูลฝอยในหลุมฝังกลบแล้วชะละลายเอาสารละลาย หรือสารแขวนลอยต่าง ๆ ออกมากับของเหลวนั้น ในกรณีของหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยที่ไม่มีการออกแบบที่ดี ไม่มี Liner หรือการสร้างชั้นป้องกันของหลุมฝังกลบที่อาจเกิดการรั่วไหล ซึ่งน้ำชะขยะมูลฝอยที่ซึมผ่านลงมาส่วนใหญ่มาจากน้ำฝนที่ตกลงมาบริเวณหลุมฝังกลบ โดยน้ำฝนส่วนที่เหลือจากการไหลบ่าบนผิวดิน (Surface runoff) การระเหยและการคายน้ำของดินและพืชจะถูกกักเก็บในชั้นดินจนกระทั่งความชื้นที่สะสมในชั้นดินเกินความจุสนาม (Field capacity) ของดิน น้ำจะซึมลงสู่ชั้นของขยะมูลฝอย และซึมลงไปสะสมตัวที่พื้นข้างใต้หลุมฝังกลบ กลายเป็นน้ำชะขยะมูลฝอย (Dass et al., 1977)

2.2.1 การเกิดน้ำชะขยะมูลฝอย

น้ำชะขยะมูลฝอยเป็นผลจากกระบวนการเปลี่ยนรูปขยะมูลฝอยทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยมีน้ำเป็นตัวร่วมในปฏิกิริยา (รูปที่ 2.2) กระบวนการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดกลไกทางกายภาพ 3 ระยะ ได้แก่ การย่อยสลายของแข็ง (Solid phase) การเกิดของเหลว (Liquid phase) และการเกิดก๊าซ (Gas phase) ของเหลวที่เกิดขึ้นมีปริมาณของสารอินทรีย์ทั้งในรูปของสารละลาย สารแขวนลอย และอออน ในปริมาณค่อนข้างสูง (Christensen et al., 1992)



รูปที่ 2.2 การเกิดน้ำชะมูลฝอย (Christensen et al., 1992)

น้ำชะขยะมูลฝอยเกิดจากความแตกต่างของปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงในหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยสุทธิกับความสามารถในการเก็บกักน้ำของชั้นขยะมูลฝอย หากปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงในหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยสุทธิมีค่ามากกว่าความสามารถในการเก็บกักน้ำชะขยะมูลฝอย จะเกิดน้ำชะขยะมูลฝอยขึ้น (Tchobanoglous et al., 1993) สำหรับความสามารถในการกักเก็บน้ำของชั้นขยะมูลฝอยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของขยะมูลฝอย ดินที่ใช้ปิดทับ และการบดอัดขยะมูลฝอยซึ่งหาได้จากการทดลอง ในขั้นตอนของการฝังกลบขยะมูลฝอย ขยะมูลฝอยจะถูกบดอัดทำให้บางชั้นส่วนมีขนาดลดลง เมื่อเวลาผ่านไปจุลินทรีย์ที่มีอยู่จะย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างช้า ๆ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพอยู่ตลอดเวลา ซึ่งการย่อยสลายจะใช้เวลาในการย่อยสลายนานหลายปี ในระหว่างการย่อยสลาย น้ำเป็นองค์ประกอบของขยะมูลฝอยในรูปความชื้น รวมถึงน้ำจากภายนอก เช่น น้ำฝน น้ำใต้ดิน จะละลายเอาสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยและไหลลงสู่ด้านล่างกลายเป็นน้ำชะขยะมูลฝอย ซึ่งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดินบริเวณใกล้เคียง

คุณสมบัติของน้ำชะขยะมูลฝอยจะแปรผันตามชนิดของขยะมูลฝอย สภาพอากาศ ฤดูกาล อายุของหลุมฝังกลบ ความสูงของชั้นขยะมูลฝอยและความชื้นที่มาจากขยะมูลฝอย (David, 1981) ซึ่งลักษณะทั่วไปของน้ำชะขยะมูลฝอยจากชุมชนจะมีความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ละลายอยู่สูง การควบคุมความชื้นในขยะมูลฝอยให้มีปริมาณน้อย จะทำให้เกิดน้ำชะขยะมูลฝอยในปริมาณที่น้อยตามไปด้วยซึ่งส่งผลต่อปฏิบัติการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยทำให้อัตราการเกิดปฏิกริยาย่อยสลายช้าลง (Townsend et al., 1996) นอกจากนี้ ยังพบว่าการหมุนเวียนน้ำชะขยะมูลฝอยจะเพิ่มอัตราการทรุดตัวของหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย (Leckie et al., 1979)

2.2.2 องค์ประกอบของน้ำชะขยะมูลฝอย

น้ำชะขยะมูลฝอยจากการฝังกลบประกอบไปด้วยสารละลายต่างๆ บางชนิดก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งน้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนจะมีการย่อยสลายอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลให้คุณภาพของน้ำชะขยะมูลฝอยมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลา โดยทั่วไปจะแบ่งกระบวนการย่อยสลายออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะใช้ออกซิเจน (Aerobic phase) ระยะการผลิตกรด (Acidogenic phase) และระยะสร้างมีเทน (Methanogenic phase) จากการศึกษาคุณสมบัติของน้ำชะขยะมูลฝอยของในประเทศไทย และการศึกษาองค์ประกอบของน้ำชะขยะมูลฝอยในต่างประเทศ พบว่าน้ำชะขยะมูลฝอยมีค่า BOD COD และโลหะค่อนข้างสูง ตารางที่ 2.2 และ 2.3 แสดงถึงองค์ประกอบของน้ำชะขยะมูลฝอยและช่วงความเข้มข้น โดยมีช่วงที่กว้างเนื่องจากความแตกต่างทางองค์ประกอบ และแหล่งกำจัดขยะมูลฝอย รวมทั้งการถูกเจือจางด้วยน้ำใต้ดิน

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของน้ำชะขยะมูลฝอยในประเทศไทย

คุณลักษณะ	หน่วย	ผลการวิเคราะห์น้ำชะขยะมูลฝอยของกรมควบคุมมลพิษ	ผลการวิเคราะห์น้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบในพื้นที่ จ.พิษณุโลก
pH	-	6.3 – 8.2	5.8 – 8.9
COD	mg/l	250 – 17,900	1,280 – 25,440
BOD ₅ /COD	-	0.06 – 0.88	0.07 – 1.00
BOD ₅	mg/l	47 – 10,900	100 – 18,600
Total solids	mg/l	2,700 – 20,800	3,800 – 20,900
Total dissolved solids	mg/l	2,120 – 19,400	2,160 – 13,380
Total Kjeldahl Nitrogen	mg/l	ตรวจไม่พบ	195 – 1,405
Ammonia nitrogen	mg/l	23 – 806	85 – 1,250
Sulfide	mg/l	0.3 – 5.76	ตรวจไม่พบ
Cadmium	mg/l	0 – 0.021	0.037 – 1.020
Lead	mg/l	0.100 – 0.258	0.022 – 0.480
Mercury	mg/l	0.400 – 9.500	0.370 – 2.600
Nickel	mg/l	0 – 0.649	0.007 – 1.563

ที่มา Trankler et al. (2001).

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของน้ำชะขยะมูลฝอยในต่างประเทศ

คุณลักษณะ	น้ำทิ้งจากเทศบาลซึ่งไม่ผ่านการบำบัด (Liu and Liptak, 2000; Tchobanoglous and Kreith, 2002)			น้ำชะขยะมูลฝอย (Lu et al., 1985; Andreottola and Cannas, 1992; Qasim and Chiang, 1994; Tchobanoglous and Kreith, 2002)	
	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่	หลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอยใหม่	หลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอยเก่า
	pH	-	-	-	4.5 - 7.5
COD (mg/L)	250	500	1000	3000 - 60000	100 - 500
BOD ₅ /COD	N/A	N/A	N/A	0.6 - 1.0	0 - 0.3
TOC (mg/L)	80	160	290	1500 - 20000	80 - 160
TSS (mg/L)	100	220	350	200 - 2000	100 - 400
TDS (mg/L)	250	500	850	3900 - 44900	-
Hardness (mg/L as CaCO ₃)	-	-	-	300 - 10000	200 - 500
Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	50	100	200	470 - 57850	-
Ammonia nitrogen (mg/L)	12	25	50	10 - 800	20 - 40
Total P (mg/L)	4	8	15	5 - 100	5 - 10
Chloride (mg/L)	30	50	100	200 - 3000	100 - 400
Sulfate (mg/L)	20	30	50	8 - 1400	-
Arsenic (mg/L)	-	-	-	0.0002 - 1.6	-
Barium (mg/L)	-	-	-	0.08 - 5	-
Cadmium (mg/L)	-	-	-	0.0007 - 0.15	-
Lead (mg/L)	-	-	-	0.005 - 1.6	-
Mercury (mg/L)	-	-	-	0.0002 - 0.05	-
Nickel (mg/L)	-	-	-	0.02 - 2.227	-
Copper (mg/L)	-	-	-	0.004 - 9	-

2.2.3 ผลกระทบของน้ำชะขยะมูลฝอย

จากการศึกษาของ Edil (2003) พบว่าหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชนส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำใต้ดินในบริเวณใกล้เคียง เนื่องจากน้ำชะขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีองค์ประกอบของสารพิษ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์หลายชนิด เมื่อน้ำชะขยะมูลฝอยปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินจะเกิดการแพร่กระจายไปตามทิศทางกรไหลของน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นแหล่งน้ำสำหรับการอุปโภคและบริโภคของชุมชน หากได้รับสัมผัสเป็นเวลานานอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรในชุมชนได้

การกำจัดขยะมูลฝอยในประเทศก่อให้เกิดปัญหาทางด้านการจัดการน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากขยะมูลฝอย เนื่องจากส่วนใหญ่ยังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย หรือมีการใช้บ่อฝังในการบำบัดน้ำเสีย แต่ไม่ได้มีการออกแบบอย่างถูกต้อง ให้เพียงพอกับปริมาณ และลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้น ทำให้ไม่สามารถลดความสกปรกในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ การปล่อยน้ำชะขยะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัด ยังไม่ได้มาตรฐานออกสู่สิ่งแวดล้อม เป็นการแพร่กระจายความสกปรกและสารพิษที่มีอยู่ในขยะมูลฝอยสู่แหล่งน้ำผิวดินและใต้ดิน ซึ่งเป็นแหล่งน้ำสำคัญในการนำไปใช้ประโยชน์ด้านอุปโภคบริโภค และเกษตรกรรมจึงอาจก่อให้เกิดผลกระทบด้านต่างๆ ดังนี้

1) ผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากน้ำชะขยะมูลฝอยมีองค์ประกอบของสารต่าง ๆ ทั้งสารเป็นพิษ และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่สูง ดังนั้นอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม ได้แก่

1.1) การลดลงของออกซิเจนในแหล่งน้ำ (Oxygen depletion in stream water) น้ำชะขยะมูลฝอยมีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง จากการศึกษาของ Ou (1989) พบว่า น้ำชะขยะมูลฝอยจากสถานีฝังกลบขยะมูลฝอยอ่อนนุชที่ผ่านบ่อหมักไร้อากาศมีค่า BOD₅ ประมาณ 286-555 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะมีผลอย่างยิ่งต่อปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลงเนื่องจากถูกนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Metcalf & Eddy, 1991)

1.2) ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (Toxic to stream life) น้ำชะจากระบบฝังกลบขยะมูลฝอยมักมีสารที่เป็นพิษซึ่งเกิดจากการชะเอาสารพิษจากขยะมูลฝอยที่นำมากำจัด ได้แก่ ขยะมูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาล ขยะมูลฝอยอันตรายจากบ้าน เช่น กระจงฆ่าสารแมลง หลอดไฟฟ้าและถ่านไฟฉาย เป็นต้น จากการสำรวจขยะมูลฝอยเทศบาลในพื้นที่ภาคเหนือ และภาคกลาง (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) พบว่าสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยอันตรายและขยะมูลฝอยติดเชื้อ ก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

1.3) ทักษะคุณภาพในแหล่งน้ำ เนื่องจากน้ำชะขยะมูลฝอยส่วนใหญ่มีสีน้ำตาลเข้มหรือดำ และการบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยโดยวิธีทางชีววิทยาเพียงอย่างเดียวไม่สามารถลดความเข้มข้นของสีลงได้มากนัก เนื่องจากน้ำชะขยะมูลฝอยมีองค์ประกอบของสารฮิวมิก และกรดฟัลวิก ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากทางชีวภาพอยู่ด้วย (Tchobanoglous et al., 1993)

2) ผลกระทบต่อดิน น้ำชะขยะมูลฝอยสามารถเคลื่อนที่นำพาสารมลพิษ และโลหะหนักลงสู่ชั้นดินได้ ซึ่งดินที่มีความสามารถดูดซับจะกักเก็บสารมลพิษไว้ในชั้นดินได้ จากการศึกษาการแพร่กระจายจากหลุมฝังกลบมูลฝอย Borden Landfill ของเมือง Borden รัฐ Indiana ประเทศสหรัฐอเมริกา ของ Nicholson et al. (1983) พบว่ามีการแพร่กระจายของเหล็ก แอมโมเนียม

โปแทสเซียม คลอไรด์ ซัลเฟต แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และความเป็นต่างจากไบคาร์บอเนต ในระยะ 100-300 เมตรในแนวราบและระยะ 14-18 เมตร ในแนวตั้ง

3) ผลกระทบต่อมนุษย์ น้ำชะขยะมูลฝอยที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน อาจก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อมนุษย์ หากนำน้ำไปอุปโภค บริโภค จากการศึกษาของ U.S.EPA. (1971) ระหว่างปี ค.ศ.1971-1970 พบว่ามีผู้ป่วยมากกว่า 31,000 คน ที่ป่วยด้วยสาเหตุจากการปนเปื้อนสารอินทรีย์เคมีที่เป็นพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน เนื่องจากน้ำชะขยะมูลฝอยมีองค์ประกอบของสารต่าง ๆ ในปริมาณสูง และอาจตกค้างในแหล่งทรัพยากรธรรมชาติต่าง ๆ ได้แก่ ดิน น้ำ ซึ่งมีผลต่อการนำทรัพยากรธรรมชาติเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ เช่น เพื่อการเพาะปลูก การประมง เป็นต้น

2.2.4 การปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจากน้ำชะขยะมูลฝอย

ในอดีตนั้นพื้นที่ที่ทิ้งขยะส่วนใหญ่จะนิยมใช้ดิน โดยเฉพาะดินเหนียว กรวด และทราย เป็นวัสดุปูพื้น ดังนั้นเมื่อขยะมูลฝอยในพื้นที่ที่ทิ้งขยะมูลฝอยเกิดการย่อยสลาย และน้ำฝนไหลแทรกซึมเข้าไปในกองขยะมูลฝอยจะทำให้เกิดการชะหรือละลายสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายของขยะมูลฝอยไปด้วย ซึ่งน้ำชะขยะมูลฝอยจะสามารถไหลซึมผ่านวัสดุปูพื้นที่เป็นดินเหนียว ลงสู่ชั้นหินและแพร่กระจายลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินในบริเวณชั้นหินอุ้มน้ำอิสระ (Unconfined aquifer) ได้ทำให้น้ำใต้ดินเกิดการปนเปื้อนและเน่าเสีย

ถึงแม้ว่าการเคลื่อนที่ของน้ำชะขยะมูลฝอยผ่านชั้นดินและหิน ทำให้น้ำชะขยะมูลฝอยถูกลดความเข้มข้นลงได้บางส่วน แต่ก็ยังไม่สามารถลดความเข้มข้นของสารปนเปื้อนลงได้หมด จึงทำให้น้ำชะขยะมูลฝอยสามารถปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินได้

น้ำชะขยะมูลฝอยสามารถไหลลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินได้ ในกรณีที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยไม่มีระบบป้องกันการไหลซึมออกสู่ชั้นน้ำใต้ดิน สารมลพิษจะแพร่กระจายลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งกระบวนการทางธรรมชาติบางกระบวนการอาจมีผลต่อการแพร่กระจายของสารมลพิษได้ เช่น การกรอง การเจือจาง การดูดซับ การทำปฏิกิริยากับสารมลพิษอื่น หรือสารอินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ และความหนาของชั้นดินจะมีผลต่อระยะเวลาการแพร่กระจาย หรือการเคลื่อนที่ของน้ำชะขยะมูลฝอยได้ (Alloway, 1995)

การเคลื่อนที่ และการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน เกิดขึ้นได้ด้วยกระบวนการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

- 1) กระบวนการทางกายภาพ เช่น การกระจาย (Dispersion) การพา (Advection) และการแพร่ (Diffusion)
- 2) กระบวนการทางชีวภาพ เช่น การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์
- 3) กระบวนการทางเคมี เช่น การทำปฏิกิริยาของสารเคมีในน้ำใต้ดิน เช่น การละลาย การตกตะกอนของสาร และความเป็นกรด-ด่าง เป็นต้น

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับน้ำใต้ดินและสารปนเปื้อน

2.3.1 ชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifers)

ชั้นอุ้มน้ำ หมายถึง ชั้นดินหรือหินที่มีน้ำแทรกอยู่ในช่องระหว่างเม็ดดินหรือรอยแตกในชั้นหิน และสามารถให้น้ำในปริมาณมากพอที่จะสูบขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ ชั้นหินอุ้มน้ำมีความสามารถในการกักเก็บน้ำ และให้น้ำแตกต่างกันตามลักษณะการเกิดของชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดันและชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน

1) ชั้นหินอุ้มน้ำแบบปิดหรือแบบจำกัด (Confined aquifers) เป็นชั้นให้น้ำที่ถูกปิดกั้นด้วยชั้นหินทึบน้ำ (Aquitard) ทั้งด้านบนและด้านล่าง ในธรรมชาติไม่มีชั้นทึบน้ำที่แท้จริง ชั้นหินทึบน้ำส่วนใหญ่จะยอมให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำหรือต่ำมาก ซึ่งเรียกว่าชั้นหินที่มีการรั่วซึม (Leaky aquifers) ความดันน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำจะมีค่าสูงกว่าความดันบรรยากาศ น้ำจะถูกเติมเข้าจนทำให้ความดันของน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำสูงขึ้น เรียกว่า Piezometric head และระดับผิวน้ำนี้จะเรียกว่า Piezometric surface ภายใต้เงื่อนไขนี้จะทำให้เกิดการอัดตัวของหินและการขยายตัวของชั้นน้ำในช่องว่าง เมื่อระดับของน้ำลดลงแรงดันของน้ำจะลดลงด้วย แต่ชั้นหินอุ้มน้ำยังคงอึดตัว ปริมาณของน้ำที่ถูกปล่อยออกมาจากหนึ่งหน่วยปริมาตรของชั้นหินอุ้มน้ำเมื่อระดับของน้ำลดลงหนึ่งหน่วย เรียกว่า การกักเก็บจำเพาะ (Specific storage, S_s) ซึ่งมีหน่วยต่อระยะทาง (m^{-1}) ช่วงค่าการกักเก็บจำเพาะของชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดันดังแสดงในตารางที่ 2.4

2) ชั้นหินอุ้มน้ำแบบเปิดหรือแบบไม่จำกัด (Unconfined Aquifers) เป็นชั้นหินอุ้มน้ำที่อยู่ใต้เขตสัมผัสอากาศ เมื่อน้ำถูกปล่อยออกมาจากชั้นหินอุ้มน้ำจะทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลงเนื่องจากแรงดันลดลง ปริมาตรของน้ำที่ปล่อยออกจากชั้นหินให้น้ำภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของชั้นให้น้ำ เรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน (Specific yield, S_y) ช่วงค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดันดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 ช่วงค่าการกักเก็บจำเพาะของชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดัน (S_s) (Domenico, 1972)

Material	Specific storage (S_s) (m^{-1})
Plastic clay	$2.6 \times 10^{-3} - 2.0 \times 10^{-2}$
Stiff clay	$1.3 \times 10^{-3} - 2.6 \times 10^{-3}$
Medium-hard clay	$9.2 \times 10^{-4} - 1.3 \times 10^{-3}$
Loose sand	$4.9 \times 10^{-4} - 1.0 \times 10^{-3}$
Dense sand	$1.3 \times 10^{-4} - 2.0 \times 10^{-4}$
Dense sand gravel	$4.9 \times 10^{-5} - 1.0 \times 10^{-4}$
Rock, fissured, jointed	$3.3 \times 10^{-6} - 6.9 \times 10^{-5}$
Rock, sound	Less than 3.3×10^{-6}

ตารางที่ 2.5 ช่วงค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน (S_y) (Morris and Johnson, 1967)

Material	Range of values of %	Arithmetic mean of %
Sandstone (Fine)	0.02 – 0.40	0.21
Sandstone (Medium)	0.12 – 0.41	0.27
Siltstone	0.01 – 0.33	0.12
Sand (Fine)	0.01 – 0.46	0.33
Sand (Medium)	0.16 – 0.46	0.32
Sand (Coarse)	0.18 – 0.40	0.30
Gravel (Fine)	0.13 – 0.403	0.28
Gravel (Medium)	0.17 – 0.44	0.24
Gravel (Coarse)	0.13 – 0.25	0.21
Silt	0.01 – 0.39	0.20
Clay	0.01 – 0.18	0.06
Limestone	0.00 – 0.36	0.14
Schist	0.22 – 0.33	0.26
Tuff	0.02 – 0.47	0.21

2.3.2 คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ

คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำที่สำคัญประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน สัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ และสัมประสิทธิ์การกักเก็บ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity, K)

ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำคือ อัตราการไหลของน้ำผ่านวัตถุตัวกลางผ่านพื้นที่หน้าตัดหนึ่งหน่วยพื้นที่ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับการไหลภายใต้ความลาดชันทางชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) 1 หน่วย ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำไหลซึมผ่านในหินชนิดเดียวกันมีความแตกต่างกันในตำแหน่งและทิศทางโดยแบ่งได้ดังนี้

1.1) กรณีที่ค่า K ของชั้นให้น้ำไม่เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งต่างๆ จะเรียกว่าเป็นชั้นหินอุ้มน้ำแบบ Homogeneous แต่ถ้าค่า K แปรเปลี่ยนไปตามตำแหน่ง จะเรียกว่าเป็นชั้นหินอุ้มน้ำแบบ Heterogeneous

1.2) กรณีค่า K ของชั้นให้น้ำไม่เปลี่ยนแปลงตามทิศทางจะเรียกว่าเป็นชั้นหินอุ้มน้ำแบบ Isotropic แต่ถ้าค่า K แปรเปลี่ยนไปตามทิศทาง จะเรียกว่าเป็นชั้นหินอุ้มน้ำแบบ Anisotropic

ในสภาพความเป็นจริงแล้วตามธรรมชาติหินอุ้มน้ำจะเป็นแบบ Heterogeneous และ Anisotropic กล่าวคือจะมีค่า K แปรเปลี่ยนทั้งตำแหน่งและทิศทาง ซึ่งจากการแปรเปลี่ยนดังกล่าว ทำให้เป็นอุปสรรคในการวิเคราะห์ปัญหาการไหลของน้ำใต้ดิน ดังนั้น จึงสมมุติให้เป็น Homogeneous และ Isotropic ตลอดชั้นความหนาของชั้นน้ำ ช่วงค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ช่วงค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ (Brassington, 1988)

Material	Hydraulic conductivity (m/sec)	Material	Hydraulic conductivity (m/sec)
Sedimentary		Sedimentary Rock	
Gravel	$3.0 \times 10^{-4} - 3.0 \times 10^{-2}$	Karst and reef limestone	$1.0 \times 10^{-6} - 2.0 \times 10^{-2}$
Sand (coarse)	$9.0 \times 10^{-7} - 6.0 \times 10^{-3}$	Limestone, dolomite	$1.0 \times 10^{-9} - 6.0 \times 10^{-6}$
Sand (medium)	$9.0 \times 10^{-7} - 5.0 \times 10^{-4}$	Sandstone	$3.0 \times 10^{-10} - 6.0 \times 10^{-6}$
Sand (fine)	$2.0 \times 10^{-7} - 2.0 \times 10^{-4}$	Siltstone	$1.0 \times 10^{-11} - 1.4 \times 10^{-8}$
Silt, loess	$1.0 \times 10^{-9} - 2.0 \times 10^{-5}$	Salt	$1.0 \times 10^{-12} - 1.0 \times 10^{-10}$
Till	$1.0 \times 10^{-12} - 2.0 \times 10^{-6}$	Anhydrite	$4.0 \times 10^{-13} - 2.0 \times 10^{-8}$
Clay	$1.0 \times 10^{-11} - 4.7 \times 10^{-9}$	Shale	$1.0 \times 10^{-15} - 2.0 \times 10^{-9}$

2) สัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity, T)

ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำของชั้นหินอุ้มน้ำคือ อัตราการไหลของน้ำผ่านตลอดความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำภายใต้ความลาดชันทางชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) 1 หน่วย สำหรับชั้นหินอุ้มน้ำที่มีความหนา b จะมีค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ ดังนี้

$$T = K \times b \quad (2-1)$$

เมื่อ T = ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ, (m^2/sec)

K = ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน, (m/sec)

b = ความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ, (m)

3) สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage coefficient, S)

ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำคือ ปริมาตรของน้ำที่กักเก็บในชั้นหินที่อิมตัวไปด้วยน้ำ สามารถกักเก็บหรือปล่อยออกมาจากชั้นหินต่อพื้นที่หน้าตัด 1 หน่วยและต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (Head) 1 หน่วย สำหรับชั้นหินอุ้มน้ำที่มีความหนา b จะมีค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ ดังนี้

$$\text{ชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดัน : } S = S_x b \quad (2-2)$$

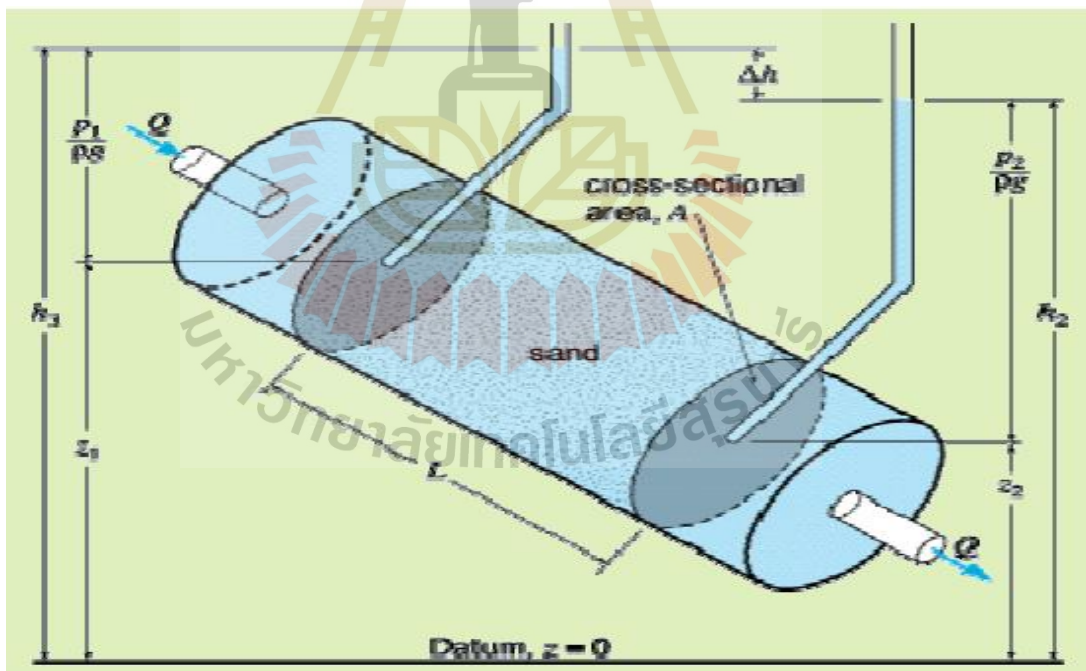
$$\text{ชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน : } S = S_y + S_x b \quad (2-3)$$

เมื่อ S = ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำ
 S_x = ค่าการกักเก็บจำเพาะ, (m^{-1})
 S_y = ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน
 b = ความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ, (m)

2.3.3 การไหลของน้ำใต้ดิน

1) กฎของดาร์ซี (Darcy's law)

ในปีค.ศ 1856 Henry Darcy วิศวกรชาวฝรั่งเศสได้ทดลองหาอัตราการไหลของน้ำผ่านวัสดุที่มีความพรุน (รูปที่ 2.3) พบว่า อัตราการไหลของน้ำ (Q) ผ่านพื้นที่หน้าตัด (A) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของระดับน้ำ (h_2-h_1) แต่เป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางของการไหล (l_2-l_1) (Wang and Anderson, 1982) ดังสมการ (2-4) และ (2-5) ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงการทดลองของดาร์ซี (Dominico and Schwatz, 1998)

$$Q = -KA \frac{h_2 - h_1}{l_2 - l_1} \quad (2-4)$$

$$Q = -KA \frac{dh}{dl} \quad (2-5)$$

สมการ (2-5) อาจเขียนในรูปของอัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งเป็นอัตราการไหลจำเพาะ หรือเรียกว่า ความเร็วดาร์ซี (Darcy velocity) ดังสมการ (2-6) ความเร็วในการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ (v) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความลาดชันชลศาสตร์ (Hydraulic gradient; $\frac{dh}{dl}$) หรือความแตกต่างของแรงดันของน้ำต่อหน่วยระยะทาง

$$v = -K \frac{dh}{dl} \quad (2-6)$$

เมื่อ v = ความเร็วการไหลของน้ำในวัตถุพูน, (m/sec)

K = สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน, (m/sec)

$\frac{dh}{dl}$ = การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำระหว่างจุด 2 จุดที่น้ำไหลผ่าน

สมการ (2-6) ใช้ได้ในกรณีที่เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) และความเร็วของการไหลนี้ไม่ใช่ค่าความเร็วการไหลจริง เนื่องจากในการคำนวณหาความเร็วที่แท้จริงต้องใช้ความเร็วของการไหลซึม (Seepage velocity) ซึ่งเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยที่ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ไหลผ่านช่องว่างที่อยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำ ช่องว่างหรือพูนจะมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นความเร็วของการไหลซึมและความเร็วดาร์ซีเขียนได้ดังนี้

$$V_s = \frac{V_{darcy}}{n_e} \quad (2-7)$$

เมื่อ V_s = ความเร็วของการไหลซึม (Seepage velocity)

V_{darcy} = ความเร็วดาร์ซี

n_e = ค่าความพูนประสิทธิผลของหิน (Effective porosity)

2) กฎทรงมวล (Conservation of fluid mass)

ตามกฎทรงมวล มวลสารที่อยู่ในปริมาตรหน่วยเล็กๆของชั้นน้ำจะไม่หายไปไหน ถ้าหากไม่มีการเปลี่ยนแปลงของมวลสารในปริมาตรหน่วยเล็กๆนั้น ปริมาณของมวลสารที่ไหลเข้า (Inflow) จะสมดุลกับปริมาณของมวลสารที่ไหลออก (Outflow) ดังสมการ (2-8)

$$\text{Inflow} = \text{Outflow} \quad (2-8)$$

ถ้าการไหลออกน้อยกว่าการไหลเข้า จะเกิดการกักเก็บ (Storage) ของมวลสารของเหลวในปริมาตรหน่วยเล็กๆนั้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณของมวลสารที่ถูกกักเก็บจะมีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและปริมาณน้ำที่ไหลออก ดังสมการ (2-9)

$$\text{Inflow} - \text{Outflow} = \text{Storage} \quad (2-9)$$

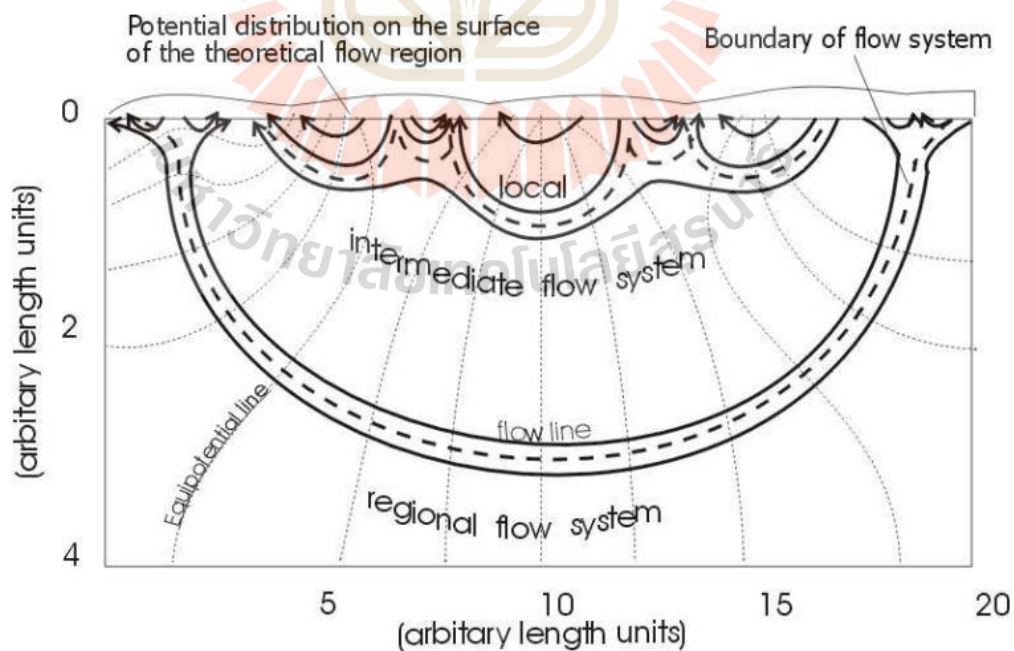
3) ระบบการไหลของน้ำใต้ดิน

ระบบการไหลของน้ำใต้ดินขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมทางอุทกธรณี (Hydrogeologic environments) ซึ่งประกอบด้วย สภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ สภาพธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา และข้อมูลที่เป็นองค์ประกอบของวัฏจักรของน้ำในระบบอุทกวิทยาอื่นๆ การวิเคราะห์ระบบการไหลของน้ำใต้ดินจะต้องใช้ข้อมูลเหล่านี้ร่วมกับข้อมูลศาสตร์การไหลของน้ำใต้ดินในแอ่งกักเก็บ หากพิจารณาในเชิงคณิตศาสตร์ สามารถจำแนกระบบการไหลของน้ำใต้ดินในแอ่งกักเก็บได้เป็น 3 ระบบ (รูปที่ 2.4) (Toth, 1963) ดังนี้

3.1) ระบบการไหลเฉพาะแห่ง (Local flow system) เป็นการไหลของน้ำในระดับต้นของพื้นที่รับน้ำ และพื้นที่สูญเสียน้ำซึ่งอยู่ในระยะใกล้กันทำให้ระยะทางและระยะเวลาการไหลสำหรับการเปลี่ยนแปลงทิศทางและอัตราการไหลของน้ำไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับความเร็วของน้ำเข้าสู่ระบบน้ำใต้ดินและการคายระเหยที่ผิว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำจะเปลี่ยนแปลงในแนวตั้ง

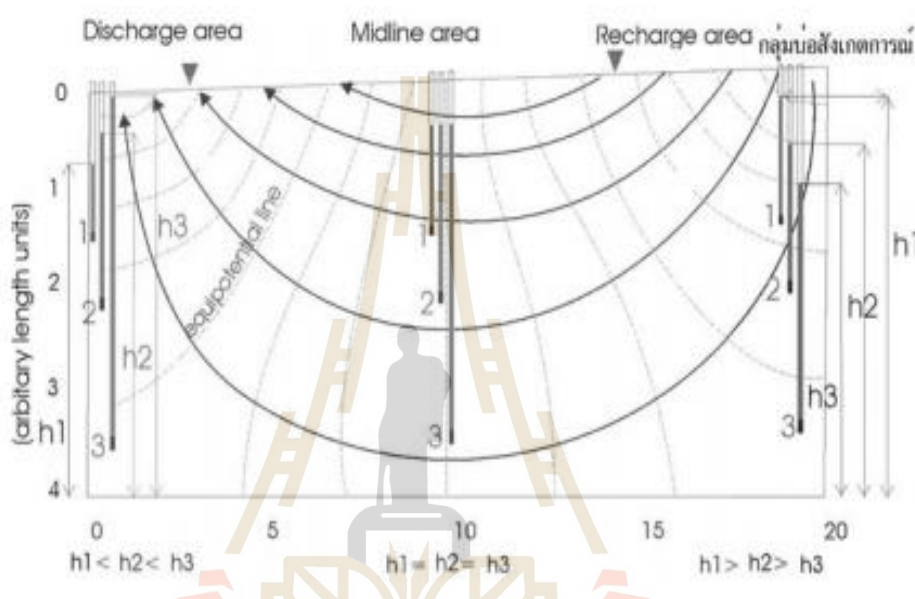
3.2) ระบบการไหลขนาดกลาง (Intermediate flow system) เป็นการไหลของน้ำใต้ดินที่เกิดเป็นบริเวณกว้างขึ้น ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลน้อย

3.3) ระบบการไหลบริเวณกว้าง (Regional flow system) มีพื้นที่รองรับน้ำเป็นส่วนใหญ่ของแอ่งกักเก็บและพื้นที่สูญเสียน้ำเป็นบริเวณที่มีระดับภูมิประเทศต่ำที่สุดของแอ่งน้ำใต้ดิน มีระยะการไหลที่ไกลและลึก อัตราการไหลช้า อุณหภูมิของน้ำค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงระบบการไหลของน้ำใต้ดิน (Toth, 1963)

ระบบการไหลของน้ำใต้ดินในแต่ละระบบประกอบด้วยพื้นที่ 3 ส่วน คือ พื้นที่รับน้ำ (Recharge area) เป็นพื้นที่ที่น้ำใต้ดินไหลลง พื้นที่ปันน้ำ (Midline flow) เป็นพื้นที่ที่น้ำใต้ดินไหลในแนวราบ และพื้นที่สูญเสียน้ำ (Discharge area) เป็นพื้นที่ที่น้ำใต้ดินไหลขึ้น แต่ละระบบการไหลของน้ำใต้ดินมีความสัมพันธ์กับพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำ (รูปที่ 2.5) ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลหรือเวลา



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงลักษณะการไหลและระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่รับน้ำ พื้นที่ปันน้ำ และพื้นที่สูญเสีย (เกรียงศักดิ์, 2543)

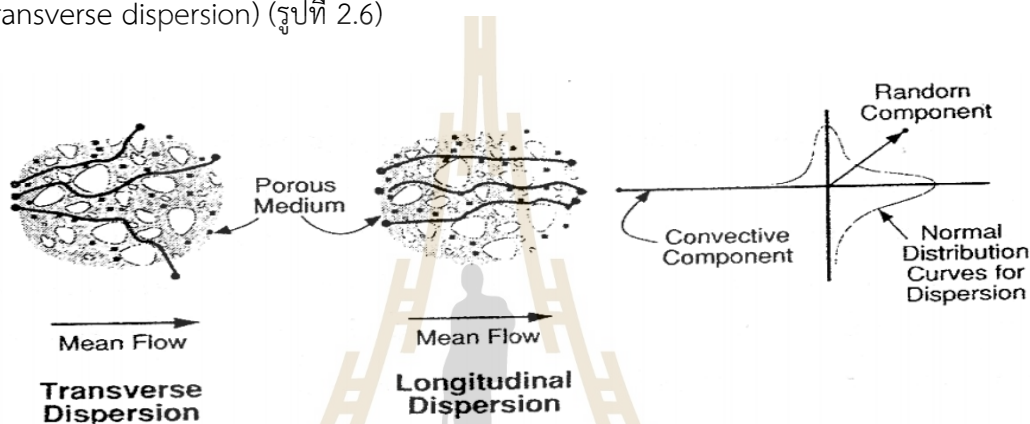
2.3.4 การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินประกอบด้วย 3 กระบวนการที่สำคัญคือ การเคลื่อนที่แบบการพา (Advection) การเคลื่อนที่แบบการแพร่ (Diffusion) และการแพร่กระจายเชิงอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic dispersion)

1) การเคลื่อนที่แบบการพา (Advective transport) เป็นกระบวนการที่สารปนเปื้อนเคลื่อนที่ไปพร้อมกับการไหลซึมของน้ำอันเนื่องมาจากความแตกต่างของระดับน้ำ (Head) โดยผ่านไปตามรูพรุนของชั้นหินที่น้ำมีการไหลผ่าน ชั้นหินอุ้มน้ำที่มีค่าการซึมผ่านได้สูง เช่น ทราย หรือกรวด เป็นต้น สารปนเปื้อนที่เป็นสารละลายแบบ Non-reactive ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับประจุลบในดิน ได้แก่ คลอไรด์ โดยจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยเท่ากับความเร็วในการไหลซึมของน้ำใต้ดิน (Seepage velocity)

2) การเคลื่อนที่แบบการแพร่ (Diffusion) เกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสารปนเปื้อนระหว่างจุดสองจุดในดินต่อหน่วยระยะทาง (Concentration gradient) มลสารแพร่โดยไม่มีกรไหลของน้ำจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำจนกว่าความเข้มข้นสองข้างทั้งสองข้างเท่ากันจึงจะหยุดการแพร่

3) การแพร่กระจายเชิงอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic dispersion) เป็นสภาพการไหลของน้ำใต้ดินแบบไม่คงตัว (Transient state) ที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวโดยแนวทิศทางการไหล (Longitudinal dispersion) และการกระจายตัวในแนวทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหล (Transverse dispersion) (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 การแพร่กระจายเชิงอุทกพลศาสตร์ (Moss, 1990)

2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์น้ำใต้ดิน (Numerical Groundwater Model)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์น้ำใต้ดิน (Numerical Groundwater Model) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา และประเมินสภาพของแหล่งน้ำใต้ดินทั้งด้านคุณภาพ และปริมาณ จำลองและคาดคะเนสภาพการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ สามารถนำมาเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำใต้ดิน อีกทั้งยังเป็นวิธีการที่มีบทบาท และสร้างความชัดเจนทางด้านวิชาการ รวมถึงสามารถตอบคำถามทางด้านน้ำใต้ดินที่อาจเกิดขึ้นทั้งปัจจุบัน และอนาคตได้

ปัจจุบันแบบจำลองทางคณิตศาสตร์น้ำใต้ดินได้ถูกพัฒนาให้ใช้ได้ง่าย สามารถนำเข้าข้อมูลด้วยตัวแปรที่หลากหลายมากขึ้น รวมถึงสามารถนำข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองอื่น ๆ มาประยุกต์ใช้ได้โดยตรง และสามารถแสดงผลที่ได้จากการจำลองทั้งในรูปแบบของกราฟ และแผนที่หลายมุมมองด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์น้ำใต้ดินอย่างแพร่หลายดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของน้ำใต้ดิน

แบบจำลอง	คำอธิบาย	ผลลัพธ์	คุณสมบัติ / ลักษณะ / เงื่อนไข / ข้อจำกัด	อ้างอิง/ แหล่งที่มา
Disperse	การประมาณในการคำนวณขนาดและระยะเวลาของการเคลื่อนที่โดยใช้สมการการเคลื่อนที่ในแนวนอนและการกระจายตัว	การกระจายตัวของสารประกอบในน้ำใต้ดิน	จำลองการไหลในแนวนอนเหมือนกับการไหลของน้ำใต้ดิน โดยมีความเร็วคงที่ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเป็นส่วนหนึ่งของความเร็ว เพื่อใช้ในการปล่อยสารที่เป็นองค์ประกอบในน้ำใต้ดิน	Bauer, 1998
SOLUTE	เป็นชุดโปรแกรม 5 ตัวบนพื้นฐานของวิธีการวิเคราะห์ในสมการที่ผสมผสานกันระหว่างการเคลื่อนที่ในแนวนอนและการกระจายตัว	การกระจายตัวของสารประกอบในน้ำใต้ดิน	จำลองผลกระทบแบบ 1 มิติ จากแหล่งกำเนิดเดียว และการจำลองผลกระทบแบบ 2 และ 3 มิติจากแหล่งกำเนิดหลายๆจุดโดยใช้การคำนวณผลกระทบสะสม หรือเป็นตัวแทนแหล่งกำเนิดแบบเส้นหรือแบบพื้นที่	IGWMC
AT123D	การเคลื่อนที่โดยมวลซึ่งมีรูปแบบการไหลแบบคงที่มี การกระจายตัวแบบ 3 มิติ และการย่อยสลายลำดับที่หนึ่ง	การกระจายตัวของสารประกอบในน้ำใต้ดิน	การจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินแบบขนานกับแหล่งกำเนิด โดยแหล่งกำเนิดอาจจะปล่อยสารปนเปื้อนออกมาแบบทันทีทันใด หรือปล่อยแบบต่อเนื่องหรือปล่อยเป็นช่วงเวลา และมีปริมาณการกระจายในพื้นที่แหล่งกำเนิดเท่ากัน	Yeh, 1981 and IGWMC
Domenico	การกระจายตัวในรูปแบบ 3 มิติเมื่อเวลาผ่านไป	ความเข้มข้นปกติในพื้นที่	การเคลื่อนที่เป็นแบบ 1 มิติ ซึ่งจะอยู่ตรงกลางระหว่างแหล่งกำเนิดกับตัวรับสัมผัส 3 มิติ เนื่องจากมีการกระจายตัวและการเคลื่อนที่ในพื้นที่ ต้องมีการป้อนข้อมูลในส่วนของคุณสมบัติในการไหล การกระจายตัว และความเข้มข้น แหล่งกำเนิด สามารถรองรับการย่อยสลายทางชีวภาพ	Domenico, 1987 and ASTM RBCA
MODFLOW	การไหลแบบคงที่หรือแบบชั่วคราวของน้ำใต้ดินในชั้นน้ำอึดตัว	ความดันชลศาสตร์ (Hydraulic head)	สมมุติให้ชั้นน้ำอึดตัวอาจมีความแตกต่างกันและมีทิศทางการไหลต่างกัน สามารถใช้งานได้เฉพาะการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน	McDonald and Harbaugh, 1988 and IGWMC
FATE5	การกำหนดอัตราการลดลงของสารละลายอินทรีย์ในน้ำใต้ดินของพื้นที่ธรรมชาติ (เพิ่มประสิทธิภาพจากแบบจำลอง Domenico)	ความเข้มข้นปกติในพื้นที่	ลักษณะแบบจำลองจะคล้ายกับ Domenico มีการเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อให้ตรงกับผลการจำลองการวัดความเข้มข้นในพื้นที่ (ฐานข้อมูลคุณสมบัติทางเคมี การคำนวณระยะเวลาที่จำเป็นสำหรับการเคลื่อนที่ที่จะเข้าสู่สภาวะคงตัว)	Nevin, 1997

ตารางที่ 2.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของน้ำใต้ดิน (ต่อ)

แบบจำลอง	คำอธิบาย	ผลลัพธ์	คุณสมบัติ / ลักษณะ / เงื่อนไข / ข้อจำกัด	อ้างอิง/ แหล่งที่มา
MULTIMED	จำลองการกระจายตัว 1 มิติของชั้นน้ำไม่อิ่มตัว ด้วยการระเหย การย่อย สลายทางชีวภาพและการ ดูดซับ และจำลองการ กระจายตัว 3 มิติของ ชั้นน้ำอิ่มตัว	การไหลของน้ำชะขยะ มูลฝอย	สมมติให้ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่ แหล่งกำเนิดคงที่มีสภาพแวดล้อมและ ทิศทางเหมือนกัน แบบจำลองนี้พัฒนาขึ้น มาสำหรับหลุมฝังกลบขยะ โดยจำลองการ ตกของฝน การไหลบ่า การซึม การ ระเหย สิ่งกีดขวาง และการระบายน้ำออก ทางด้านข้าง ซึ่งจะใช้ขอบเขตความหนา ของชั้นน้ำอิ่มตัวและอัตราการซึมผ่าน ต้อง ระบุการกระจายตัวในแนวตั้งและ แนวขนานของการไหล	U.S.EPA, 1990
Summers	จำลองการเคลื่อนที่ของ มวลแบบไม่กระจายตัวใน ชั้นของดินเพียงชั้นเดียว จากแหล่งกำเนิด มี เงื่อนไขของการเคลื่อนที่ แบบคงที่และมีความ สมดุลกันระหว่างขั้นตอน การดูดซึมและการละลาย	ความเข้มข้นของสาร ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่ ลดลงจากแหล่งกำเนิด	สมมติให้โซนของชั้นน้ำมีการผสมกันอย่าง สมบูรณ์ มีการพัฒนาแบบจำลองเพื่อให้มี การประมาณความเข้มข้นของสาร ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินได้โดยตรง แต่มี ข้อจำกัดอยู่ที่จะไม่มีการพิจารณาการย่อย สลายทางชีวภาพ หรือการระเหย	IGWMC
BIOSCREEN	การกระจายตัวใน 2 มิติ การชะลอตัวในการ เคลื่อนที่ และการย่อย สลายทางชีวภาพ	ความเข้มข้นของสาร ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินที่ ลดลงจากแหล่งกำเนิด	สามารถทำงานในโหมดที่กำหนดในการ คำนวณความเข้มข้นเปรียบเทียบกับเวลา ณ สถานที่ที่กำหนด หรือใช้การคาดการณ์ แบบ Monte Carlo ในการคำนวณความ น่าจะเป็นของความเข้มข้นที่จะเกิดขึ้น โดย การจำลองต้องมีฐานข้อมูลเกี่ยวกับ คุณสมบัติทางเคมีของดินและระนาบของ การไหล	American Petroleum Institute (API), 1989
PLASM	การไหลแบบคงที่ หรือ แบบชั่วคราวของน้ำใต้ดิน ในชั้นน้ำอิ่มตัว	ความดันชลศาสตร์ (Hydraulic head)	สมมติให้ชั้นน้ำอิ่มตัวอาจมีความ แตกต่างกันและมีทิศทางการไหลต่างกัน สามารถใช้งานได้เฉพาะการจำลอง การไหลของน้ำใต้ดิน แต่จะไม่พิจารณา การเคลื่อนที่ในแนวนอน การแพร่และการ กระจายตัว	Prickett and Lonnquist, 1971

ตารางที่ 2.7 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของน้ำใต้ดิน (ต่อ)

แบบจำลอง	คำอธิบาย	ผลลัพธ์	คุณสมบัติ / ลักษณะ / เงื่อนไข / ข้อจำกัด	อ้างอิง/ แหล่งที่มา
VADSAT	การเคลื่อนที่ของสารเคมีจากแหล่งกำเนิดในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวหรือใต้ชั้นน้ำซึ่งจะพิจารณาการระเหยของ VOCs การชะล้างของสารปนเปื้อน ระบายการไหลของน้ำใต้ดิน การกระจายตัว การดูดซับ และการสลายตัวลำดับแรก	ความเข้มข้นสูงสุดของสารปนเปื้อนในน้ำ ใต้ดิน (ระยะเวลาที่ทำให้ความเข้มข้นมีค่าสูงสุดและระยะเวลาที่ทำให้ความเข้มข้นลดลงจากแหล่งกำเนิด)	สามารถจำลองการเคลื่อนที่ในแนวนอน การกระจาย การดูดซับ การย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนได้ โดยสมมติให้น้ำใต้ดินมีทิศทางการไหลทางเดียว อัตราไหลคงที่ แต่ไม่สามารถใช้กับสถานที่ที่มีระบบสูบน้ำและมีการไหลที่ซับซ้อนได้	American Petroleum Institute (API), 1989
MOC	แบบจำลองการไหลและการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน พิจารณาการเคลื่อนที่ในแนวนอน การแพร่ และการกระจายตัว	การกระจายตัวของสารประกอบในน้ำ ใต้ดิน	สมมติให้ชั้นน้ำอุ่มตัวอาจมีความแตกต่างกันและมีทิศทางการไหลต่างกัน	Konikow and Bredehoeft, 1994, IGWMC and USGS
BIOPLUME	การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนภายใต้การย่อยสลายทางชีวภาพซึ่งประกอบด้วยออกซิเจน ไนเตรต เหล็ก ซัลเฟต และการผลิตก๊าซชีวภาพ	การกระจายตัวของสารประกอบในน้ำ ใต้ดิน	สามารถจำลองการเคลื่อนที่ในแนวนอน การกระจาย การดูดซับ การย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนได้	American Petroleum Institute (API), 1989
Random Walk	แบบจำลองการไหลและการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน พิจารณาการเคลื่อนที่ในแนวนอน การแพร่ และการกระจายตัว	ความดันชลศาสตร์ (Hydraulic head), การกระจายตัวของสารประกอบในน้ำ ใต้ดิน	สมมติให้ชั้นน้ำอุ่มตัวอาจมีความแตกต่างกันและมีทิศทางการไหลต่างกัน	Prickett et al., 1981 and IGWMC
MT3D	การเคลื่อนที่ของมวลในชั้นน้ำอุ่มตัว	จำลองการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น	สมมติให้ชั้นน้ำอุ่มตัวอาจมีความแตกต่างกันและมีทิศทางการไหลต่างกัน มีการจัดการความหลากหลายของรูปแบบที่ไม่ต่อเนื่องและขอบเขตของเงื่อนไขต่างๆ	Zheng ,1990 and IGWMC
MODPATH	การวิเคราะห์การติดตามอนุภาคในการไหลแบบคงที่ในชั้นหินอุ้มน้ำ	การคำนวณเส้นทางการไหลแบบ 3 มิติ	สมมติให้ชั้นน้ำอุ่มตัวอาจมีความแตกต่างกันและมีทิศทางการไหลต่างกัน สามารถจัดการกับช่วงเวลาในการปล่อยสารปนเปื้อนได้หลายช่วง และสามารถสร้างกริดตัดขวางที่แท้จริงได้ในการแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่	Pollock, 1989 and IGWMC

คุณสมบัติของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความเหมาะสมสำหรับศึกษาการเคลื่อนตัวของมลสารหรือน้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย ได้แก่ แบบจำลองในตระกูล MODFLOW เป็นแบบจำลองที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน และการเคลื่อนตัวของมลสารต่างๆ พร้อมกับน้ำชะขยะมูลฝอย ซึ่งสามารถสรุปคุณสมบัติของแบบจำลองในตระกูล MODFLOW ได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 สรุปคุณสมบัติของแบบจำลองในตระกูล MODFLOW ที่มีความเหมาะสมต่อการศึกษา

ลักษณะ/เงื่อนไข	คุณสมบัติของแบบจำลองในตระกูล MODFLOW
1. ผลลัพธ์ของแบบจำลอง	แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ แบบจำลอง MODFLOW และ MT3DMS มีผลลัพธ์ในการแสดงที่เหมาะสมและตรงตามวัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้ โดยแบบจำลอง MODFLOW นำมาใช้เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน และ แบบจำลอง MT3DMS นำมาใช้เพื่อวิเคราะห์การแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน
2. การแสดงผล	สามารถแสดงผลในรูปแบบของ 3 มิติ ทำให้สะดวกและง่ายต่อการทำความเข้าใจ
3. ความเหมาะสมของแบบจำลองในพื้นที่ศึกษา	แบบจำลองในตระกูล MODFLOW มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการศึกษา เนื่องจากในปัจจุบันงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินในพื้นที่ประเทศไทยส่วนใหญ่ได้มีการใช้แบบจำลองในตระกูล MODFLOW มาทำการศึกษา ประกอบกับพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลนำเข้าในการสร้างแบบจำลองนั้น สามารถหาข้อมูลได้จากหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องได้ง่ายกว่าในอดีต
4. การปรับปรุงแบบจำลอง	แบบจำลองในตระกูล MODFLOW เป็นแบบจำลองที่มีการปรับปรุงและพัฒนาให้มีความทันสมัยในการนำเข้าข้อมูลและการนำเสนอข้อมูลออกมาในรูปแบบต่างๆ ให้มีความเข้าใจง่ายกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่นๆที่ไม่ได้มีการพัฒนาหรือทำการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ผู้ใช้งานส่วนใหญ่เลือกนำแบบจำลองในตระกูล MODFLOW มาใช้ในปัจจุบัน

ตารางที่ 2.8 สรุปคุณสมบัติของแบบจำลองในตระกูล MODFLOW ที่มีความเหมาะสมต่อการศึกษา (ต่อ)

ลักษณะ/เงื่อนไข	คุณสมบัติของแบบจำลองในตระกูล MODFLOW
5. ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อหรือติดตั้งโปรแกรม	ไม่เสียค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อและติดตั้งโปรแกรม เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่สามารถดาวน์โหลดโปรแกรมจากเว็บไซต์ออนไลน์ได้

2.4.1 MODFLOW model

MODFLOW เป็นโปรแกรมที่จำลองการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินแบบ 3 มิติ ผ่านตัวกลางที่เป็นวัสดุพรุน โดยการใช้วิธี Finite difference method (McDonald and Harbaugh, 1988) MODFLOW ถูกออกแบบมาให้มีโครงสร้างที่อิสระสามารถทำงานด้วยตัวเองได้ (Modular structure) ซึ่งสนับสนุนวัตถุประสงค์เบื้องต้น 2 ประการคือ ง่ายต่อการทำความเข้าใจ และง่ายต่อการปรับปรุง โปรแกรม MODFLOW ได้รวบรวมเป็นรูปเล่มครั้งแรกโดย McDonald and Harbaugh (1984) โปรแกรมได้ถูกใช้ และปรับปรุงเป็นเวอร์ชันที่ 2 ซึ่งถูกรวบรวมโดย McDonald and Harbaugh (1988) เวอร์ชันนี้มักจะถูกเรียกว่า MODFLOW-88 สำหรับเวอร์ชันที่ 3 เรียกว่า MODFLOW-96 (Harbaugh and McDonald, 1996)

โปรแกรม MODFLOW สามารถป้อนค่าเป็นแบบพารามิเตอร์ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับการป้อนค่ากริดเซลล์จำนวนมาก ร่วมกับวิธีการคูณ เพื่อเพิ่มค่าพารามิเตอร์ และความสามารถพิเศษที่ช่วยในการป้อนค่าแบบ Zone array สำหรับป้อนค่าพารามิเตอร์ ทั้งนี้จะทำให้ง่ายต่อการปรับเปลี่ยนค่าข้อมูล Input ส่วนใหญ่ของโมเดล ค่าพารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดจะทำการคำนวณร่วมกับการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivities) และจะถูกปรับค่า เพื่อให้ได้ค่าที่จำลองได้เข้าใกล้ต่อค่าระดับน้ำ และค่าอัตราการไหลจากที่วัดได้ให้มากที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ Observation, Sensitivity และ Parameter estimation processes ของโปรแกรม MODFLOW

1) แบบจำลองน้ำใต้ดินในตระกูล MODFLOW (MODFLOW Groundwater models)

แบบจำลองในตระกูล MODFLOW ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาโปรแกรมให้มีความสามารถในการประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เพื่อให้เกิดความสะดวก และง่ายต่อการใช้งาน โดยโปรแกรม MODFLOW ประกอบด้วยโปรแกรมน้อย ได้แก่ MOC3D, MT3DMS, RT3D, PEST, UOCDE และ PMPATH ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการศึกษาการปนเปื้อน และการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

MT3DMS เป็นโปรแกรมซึ่งใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน และสามารถจำลองสถานการณ์ของการนำพาสารปนเปื้อน ตลอดจนการละลายของสารปนเปื้อนในสถานการณ์ต่างๆได้ ดังนั้น ในการสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินที่สมบูรณ์ จะใช้โปรแกรม MODFLOW จำลองการไหลของน้ำใต้ดินสำหรับพื้นที่ศึกษา ตามด้วยการใช้โปรแกรม MT3DMS เพื่อ

การคำนวณความเข้มข้นของสารปนเปื้อนต่างๆที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

2) แนวความคิดการออกแบบ (Design Concept)

โปรแกรม MODFLOW ได้ถูกแบ่งเป็นส่วนๆ ไปตามแต่ละลักษณะทางอุทกวิทยา เรียกว่า Package เช่น การรั่วซึมของแม่น้ำ (Rivers package) ปริมาณ Recharge ของน้ำใต้ดิน (Recharge package) การคายระเหย (Evapotranspiration package) เป็นต้น Package ต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกรวบรวมอยู่ในสมการการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดิน เป็น package แยกจากกัน นอกจากนี้ ยังมีหลายวิธีที่จะเลือกใช้สำหรับแก้ปัญหาสมการดังกล่าว โดยแยกเป็น Package ต่างๆ เช่น วิธี Preconditioned Conjugate Gradient (Hill, 1990) และวิธี Strongly Implicit Procedure (SIP) เป็นต้น ทั้งนี้ Package สุดท้าย คือ Basic package ซึ่งไม่ได้รวมอยู่ใน Package ทางด้านอุทกวิทยา หรือ Package ทางด้านการคำนวณ แต่เป็น Package ที่ควบคุมโปรแกรมทั้งหมด ซึ่งกระบวนการในการทำงานของโปรแกรม MODFLOW ใช้วิธี Finite difference ประกอบไปด้วย 4 กระบวนการ ได้แก่ Groundwater Flow (GWF) Process, Observation (OBS) Process, Sensitivity (SEN) Process และ Parameter-Estimation (PES) Process

3) การทำงานร่วมกันของ Groundwater Flow, Observation, Sensitivity และ Parameter-Estimation Process

การเชื่อมโยงกันของ Groundwater Flow, Observation, Sensitivity และ Parameter-Estimation process ในขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งโปรแกรม MODFLOW เริ่มต้นโดยการอ่านค่าข้อมูล Input จากไฟล์ต่าง ๆ ดังนี้

3.1) Input files ของ GWF process ซึ่งกำหนดวิธีการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน และค่าพารามิเตอร์

3.2) Input files ของ OBS process ซึ่งกำหนดค่าจากการสังเกต เช่น Hydraulic head (HOB files) จากบ่อสังเกตต่าง ๆ ค่าระดับน้ำจากแม่น้ำ (RVOB files) เป็นต้น

3.3) Input files ของ SEN process ซึ่งกำหนดค่าพารามิเตอร์เบื้องต้น และค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นจะถูกควบคุมโดย SEN process ซึ่งจะทำการคำนวณความอ่อนไหวของพารามิเตอร์และค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นจะถูกประมาณค่าผ่านทาง PES process

3.4) Input files ของ PES process ซึ่งจะมีค่าตัวแปรที่ควบคุมการทำงานของวิธี Modified Gauss-Newton nonlinear regression

4) การกำหนดช่วงเวลา (Time Discretization)

องค์ประกอบเบื้องต้นของการกำหนดเวลาในโปรแกรม MODFLOW คือ ช่วงเวลา (Time step) และหลายๆ ช่วงเวลารวมกันเป็น Stress periods ข้อมูล Input ที่แปรเปลี่ยนไปตามเวลาสามารถเปลี่ยนได้ทุกๆ Stress periods

สำหรับแต่ละ Stress periods ผู้ใช้โปรแกรมต้องกำหนดระยะเวลาโดยรวม (PERLEN) จำนวนช่วงเวลา (NSTP) และตัวคูณของระยะเวลาของช่วงเวลา (Time step) ที่ต่อเนื่อง (TSMULT) ซึ่งความยาวของช่วงเวลาแรก (Δt_1) สามารถหาได้จากสมการ และความยาวช่วงเวลาต่อมา เพิ่มขึ้นเป็นแบบอนุกรมเรขาคณิต

$$\Delta t_1 = PERLEN \left(\frac{TSMULT-1}{TSMULT^{NSTP}-1} \right) \quad (2-10)$$

โปรแกรม MODFLOW ถูกออกแบบให้สามารถใช้งานได้ทั้งสภาพ Steady state และ Unsteady state

5) สมการการไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater Flow Equation)

สมการ Partial – differential ของการไหลของน้ำใต้ดิน ซึ่งใช้โปรแกรม MODFLOW (McDonold and Harbaugh, 1988) ดังแสดงในสมการ (2-11)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2-11)$$

เมื่อ K_{xx} K_{yy} และ K_{zz} คือค่า Hydraulic conductivity ตามแกน x, y และ z (m/sec)

h คือ ระดับความสูงของน้ำ (m)

W คือ ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของมวล (Volumetric flux) ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของค่าเป็น Sources หรือ Sinks ถ้า $W < 0$ แสดงว่ามีการไหลออกจากระบบ (Sinks) ถ้า $W > 0$ สำหรับการไหลเข้าระบบ (Sources) (sec^{-1})

S_s คือ Specific storage ของตัวกลางพอรุน (m^{-1})

t คือ เวลา (sec)

สำหรับโปรแกรม MT3DMS คือโมเดลการเคลื่อนที่สำหรับสารปนเปื้อนในระบบการไหลของน้ำใต้ดินในระบบสามมิติ (ความกว้าง ความยาว และ ความลึก) ขึ้นอยู่กับการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเป็นหลัก ร่วมกับลักษณะการเคลื่อนที่ของสาร โดยอาศัยกระบวนการ advection, dispersion และปฏิกิริยาเคมีของสารนั้น ๆ โดยจะใช้หาค่าของสมการการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนเมื่อทราบค่าของการไหลของน้ำใต้ดินแบบไม่คงที่ (Transient groundwater flow systems) จากโมเดล MODFLOW ก่อน สมการ advection-dispersion โดยทั่วไปจะอธิบายถึงความเป็นไปได้ใน

การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน k ดังนั้น ความเข้มข้นของสารที่เคลื่อนที่ไปในเวลาต่าง ๆ สามารถคำนวณได้จาก Partial differential equation (Zheng et al., 1996) ดังสมการที่ (2-12)

$$\frac{\partial(nc^k)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[nD_{ij} \frac{\partial c^k}{\partial x_j} \right] - \frac{\partial}{\partial x_i} (nv_i C^k) + q_s C_s^k + \sum R_n \quad (2-12)$$

Dispersion-term Advection-term Sink/Source term Reaction-term

เมื่อ	C^k	คือ ความเข้มข้นของมวลสาร k ที่ละลายในน้ำ (Mol/m ³)
	n	คือ ความพรุนทั้งหมดของตัวกลางในชั้นน้ำใต้ดิน (<1.0)
	t	คือ เวลา (sec)
	x_i	คือ ระยะทางที่วัดตามแนวแกนในระบบพิกัด Cartesian (m)
	D_{ij}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Hydrodynamic dispersion coefficient) (m ² /sec)
	v_i	คือ ความซึมหรือความเร็วของน้ำที่ผ่านช่องว่างแบบเชิงเส้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลจำเพาะ (Specific discharge) หรือ Darcy flux คือ ($v_i = q_i / n$) (m/sec)
	q_i	คือ อัตราการไหลของน้ำผ่านพื้นที่หน้าตัดของระบบ (m ³ /sec)
	q_s	คือ Volumetric flow rate ต่อ หน่วยปริมาตรของชั้นน้ำ ถ้าเป็น sources มีค่าเป็นบวก แต่ถ้าเป็น Sink จะมีค่าเป็นลบ (sec ⁻¹)
	C_s^k	คือ ความเข้มข้นของมวลสาร ณ จุดที่เข้าสู่แหล่งน้ำ, (sourcesหรือ sink) ของสาร k (Mol/m ³)
	$\sum R_n$	คือ เป็นมวลที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี (m ⁻³ sec ⁻¹)

2.4.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองน้ำใต้ดิน

แบบจำลองน้ำใต้ดินเป็นแบบจำลองทางกายภาพที่ทดลองในห้องปฏิบัติการเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแสดง และประมวลผลโดยประมาณของข้อมูลภาคสนาม ส่วนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นแบบจำลองที่นำคณิตศาสตร์มาคำนวณทิศทาง ขนาดการไหลของน้ำใต้ดิน และการเคลื่อนที่ของมวลสารในน้ำ โดยนำวิธีการทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้คำนวณ และวิเคราะห์ระบบน้ำใต้ดินแทนแบบจำลองทางกายภาพ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ตามวัตถุประสงค์ของงาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม (Konikow and Reilly, 1998) ได้แก่

1) แบบจำลองเพื่อใช้ในการคาดคะเน หรือพยากรณ์ (Predictive Model) ใช้ในการคาดคะเนระดับน้ำ คุณภาพน้ำ ปริมาณน้ำ หรือการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำ จึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้ค่าตัวแปรต่าง ๆ และเปรียบเทียบผลการคำนวณกับข้อมูลภาคสนาม

2) แบบจำลองเพื่อใช้ศึกษาโครงสร้างของพื้นที่ (Interpretive Model) ใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนระบบเก็บข้อมูล วิเคราะห์ระบบ หรือความสัมพันธ์ของข้อมูลต่าง ๆ ของพื้นที่นั้น ๆ จึงไม่มีความจำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบผลการจำลองกับข้อมูลภาคสนาม

3) แบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์ระบบการไหลในกรณีสมมุติในทางทฤษฎี (Hypothetical Approach) และใช้ในการตรวจสอบแนวทางในการศึกษาของสภาพพื้นที่นั้น ๆ (Generic Model) ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเปรียบเทียบผลการจำลองกับข้อมูลภาคสนามเช่นกัน การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์การไหลและการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ส่วนใหญ่จะมุ่งไปยังแบบจำลองที่ต้องการใช้เป็นเครื่องมือในการพยากรณ์ หรือคาดคะเนเหตุการณ์ต่าง ๆ ในอนาคต ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ต้องการข้อมูลภาคสนามจำนวน พร้อมทั้งต้องมีการติดตามข้อมูลที่ใช้เวลาติดต่อกันหลายปี

2.4.3 ขั้นตอนการจำลองการไหล และการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในดิน

การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสนาม และระบบอุทกวิทยา ตรวจสอบการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน เป็นวิธีการประมวผลที่รวดเร็วและได้ผลดีที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนและความแม่นยำของข้อมูลภาคสนามซึ่งใช้ในการปรับแก้ตัวแปรในแบบจำลอง ขั้นตอนของแบบจำลองการไหล (รูปที่ 2.7) มีขั้นตอนดังนี้ (กิจการ, 2555)

1) การกำหนดวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง (Define purpose) ซึ่งจะแตกต่างกันไป เช่น เพื่อใช้ในการวางแผนงานหรือคำนวณการไหล ปริมาณและการออกแบบผลกระทบ ดังนั้น ขั้นตอนของการจำลองไม่จำเป็นต้องครบทุกขั้นตอน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงาน

2) แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual model) เป็นการจำลองเชิงกายภาพที่แสดงถึงแนวคิดที่เกิดขึ้นจากข้อมูลภาคสนามแล้วนำมาประมวผล เช่น ข้อมูลอุทกวิทยาร่วมกับข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ ข้อมูลทางธรณีวิทยา อุทกวิทยาและสภาพดินฟ้าอากาศ ข้อมูลเหล่านี้เป็นตัวแปรที่ควบคุมการไหลของน้ำ สามารถนำมาวิเคราะห์เชิงตัวเลขของพื้นที่แต่ละแหล่ง และระบบของน้ำใต้ดินก่อนทำการวิเคราะห์โดยละเอียดในเชิงตัวเลข (Numerical analysis) ดังนั้นพื้นที่ที่มีแผนที่อุทกธรณีวิทยาในมาตราส่วนที่ต่างกัน จะช่วยในการสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ได้ง่ายและดีขึ้น หรือถ้าไม่สามารถหาข้อมูลได้จากแผนที่อุทกธรณีวิทยาก็มีความจำเป็นต้องจัดเตรียมข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อม เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ระบบอุทกวิทยา เสนอผลการศึกษา และการประยุกต์ใช้ในการป้องกันแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน รวมทั้งการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำใต้ดิน

3) ขั้นตอนในการเลือกโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Program selection) โปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้มีการทดสอบหรือแก้ไข (Verify) จากการเปรียบเทียบผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม ประกอบกับลักษณะของโปรแกรมการป้อนข้อมูล (Pre-processing) และโปรแกรม

แสดงผล (Post-processing) ที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้น การเลือกใช้โปรแกรมที่นำมาสร้างแบบจำลอง จึงมีความสำคัญต่อวัตถุประสงค์ของการจำลองนั้น ๆ

4) การออกแบบจำลอง (Model design) การจำลองจากสภาพทางกายภาพต่างๆ สามารถแบ่งพื้นที่ออกเป็นหน่วยเล็ก ๆ (Discretization) โดยการออกแบบขนาดของพื้นที่ และชั้นหิน (Boundary condition) และค่าตัวแปรเบื้องต้นในการเริ่มจำลองหรือคำนวณการกระจายค่าแรงดันน้ำ (Hydraulic head) แบ่งเป็น 11 ขั้นตอน ดังนี้

4.1) การแบ่งส่วนพื้นที่

การแบ่งส่วนพื้นที่ (Spatial discretization) คือ การแบ่งโดเมนออกเป็นส่วน ๆ แต่ละส่วนเรียกว่า เซลล์ (Cell) เส้นที่แบ่งโดเมน เรียกว่า กริด (Grid) โดเมนและเซลล์อยู่ในระบบแกนคาร์ทีเซียนซึ่งแกน x , y และ z ตั้งฉากต่อกัน โดเมนและเซลล์เป็น 3 มิติเสมอ แต่สามารถกำหนดให้เป็น 1 หรือ 2 มิติได้เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการออกแบบ และประมวลผล

ถ้าทุกเซลล์มีสมบัติของชั้นน้ำเท่ากัน โดเมนนี้เรียกว่า โฮโมจีเนียส (Homogeneous) แต่ถ้าแต่ละเซลล์มีสมบัติของชั้นน้ำแตกต่างกัน โดเมนนี้ที่เรียกว่า เฮเทอโรจีเนียส (Heterogeneous) แต่โดยธรรมชาติแล้วจะมีสมบัติเป็นเฮเทอโรจีเนียส แต่บางครั้งถ้าจะทำให้ง่ายโดยสมมุติให้มีสมบัติเป็นโฮโมจีเนียส

โปรแกรม MODFLOW ใช้กริดชนิด ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite difference) ซึ่งคือ กริด 3 มิติที่เกิดจากการวาดจุดของเส้นตรงจำนวน 3 ทิศทางที่วางตัวตั้งฉากต่อกัน เส้นตรงในทิศทางหนึ่งๆวางตัวขนานกันเป็นชุด จุดของเส้นตรงทั้ง 3 ทิศทางจะตัดกันเป็นตาข่าย รูปร่างของเซลล์จะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมที่มี 6 ด้าน กริดไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ที่มีโนดตั้งอยู่ตรงกลางของเซลล์เรียกว่า บล็อก-เซ็นเตอร์ ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Block-centered finite difference) สมบัติชั้นน้ำหรือสมบัติมวลสารภายในเซลล์จะมีค่าเดียว โดยให้โนดเป็นตัวแทนที่ถือค่าสมบัตินี้

4.2) การสร้างกริด

4.2.1) ขนานทิศทางการไหลของน้ำ

การสร้างกริดต้องวางขนานกับทิศทางหลักการไหลของน้ำใต้ดินเพราะจะทำให้เกิดการลดรูปของเทนเซอร์นอกทิศทางหลักให้เป็นศูนย์ แล้วการทำงานของโปรแกรมจะเป็นไปตามทฤษฎี เช่น โปรแกรม MODFLOW ใช้ทิศทางหลักแสดงโดยใช้แกน x และแกน y ซึ่งขนานกับระนาบชั้นน้ำ ส่วนทิศทางที่ตั้งฉากกับระนาบชั้นน้ำจะเป็นแกน z

4.2.2) ขนานรอยแตก

การวางกริดต้องวางขนานกับทิศหลักทางของรอยแตก เนื่องจากน้ำใต้ดินมีทิศทางการไหลได้ดีกับรอยแตก

4.2.3) สร้างกริดถี่ขึ้นเมื่อใกล้บ่อสูบน้ำหรือแม่น้ำ

การสร้างกริดในกรณีที่มีการสูบน้ำหรือมีแม่น้ำจะต้องให้ถี่มากขึ้นเมื่อเข้าใกล้ เนื่องจากระดับน้ำใต้ดินจะลดลงอย่างรวดเร็วในบริเวณใกล้กับบ่อและแม่น้ำ ถ้าแบ่งโดเมนให้เซลล์มีความกว้างเท่ากัน ระดับน้ำใต้ดินที่ได้จะไม่เป็นเส้นโค้งตามทฤษฎี ซึ่งการเพิ่มหรือลดระยะห่างระหว่างเส้นกริดที่อยู่ติดกันต้องไม่เกิน 1.5 เท่า

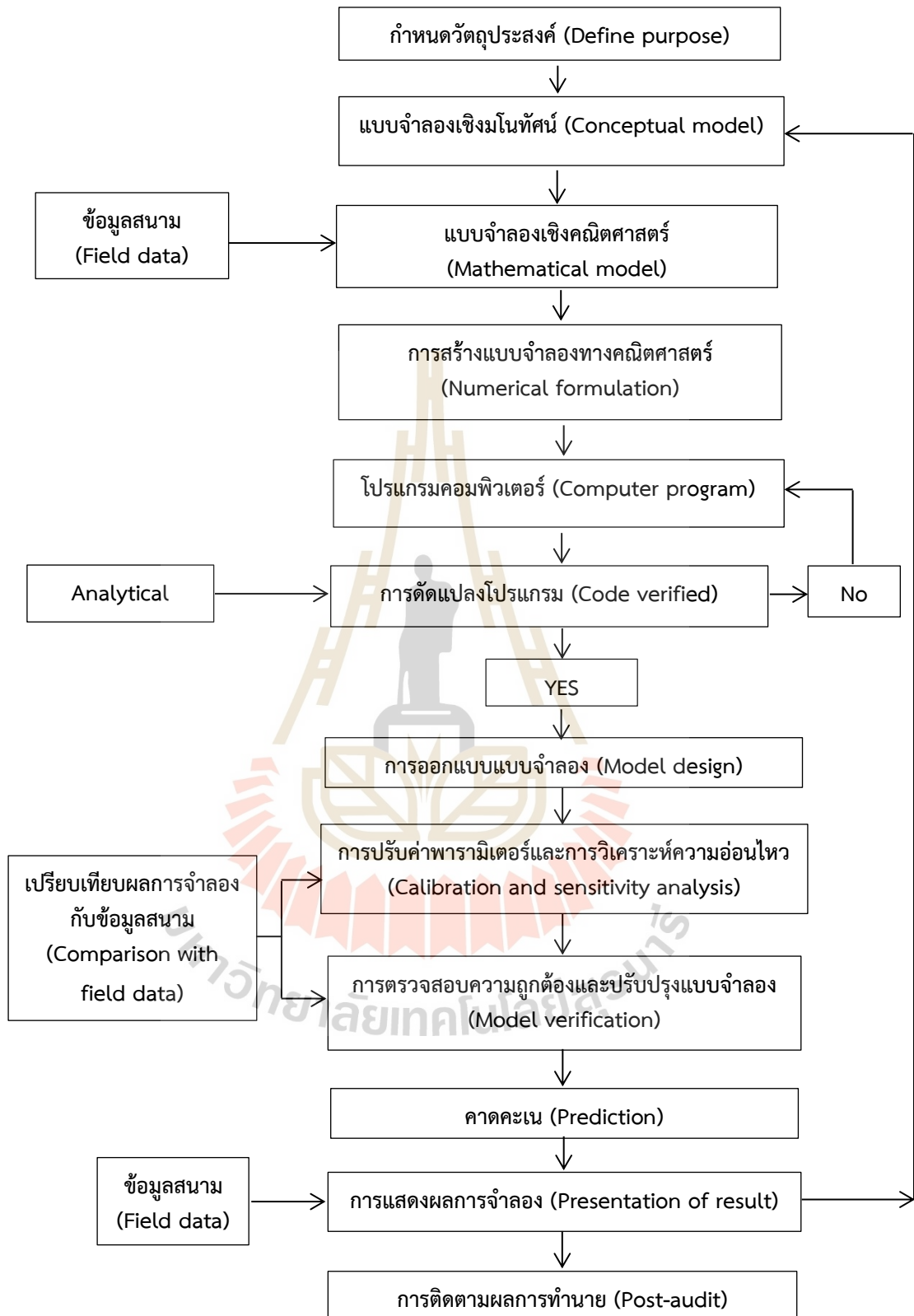
4.2.4) สร้างกริดตามชนิดของชั้นน้ำ

การแบ่งโดเมนของชั้นน้ำมีแรงดันจะมีความหนาของชั้นน้ำคงที่แต่การแบ่งโดเมนของชั้นน้ำไม่มีแรงดันนั้น ความหนาของชั้นน้ำขึ้นอยู่กับระดับน้ำใต้ดิน ถ้าจำลองแบบตามเวลาที่ผิวน้ำมีการเปลี่ยนแปลง ต้องใช้ผิวน้ำที่จำลองได้ใหม่นี้เป็นค่าเริ่มต้นของการประมวลผลรอบต่อไป

4.2.5) การวางกริดให้เหมาะสมกับขอบเขต

ในโปรแกรม MODFLOW จะวางขอบเขตฟลักซ์ให้ตรงกับขอบเขตโดเมนหรือเซลล์ และวางขอบเขตระดับน้ำให้ตรงกับโนด ถ้าเป็นไปได้ขอบเขตระดับน้ำจะวางอยู่ด้านนอกสุดของโดเมน





รูปที่ 2.7 ขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินและการเคลื่อนที่ของมลสาร (Anderson and Woessner, 1992)

4.3) การแบ่งส่วนเวลา

การแบ่งส่วนเวลา คือ การแบ่งระยะเวลาของการจำลองออกเป็นช่วงๆ แต่ละช่วงเรียกว่า ระยะเวลาจำลอง ในแต่ละระยะเวลาจำลองอาจแบ่งออกเป็นช่วงๆได้อีกเรียกว่า ชั้นเวลา เช่น การจำลองใช้เวลาทั้งหมดเท่ากับ T โดยแบ่งออกเป็นระยะเวลาจำลองจำนวน 3 ช่วง สำหรับระยะเวลาจำลองที่ 1 แบ่งออกเป็นชั้นเวลาอีก 2 ช่วง ระยะเวลาที่ 2 ไม่แบ่งชั้นเวลา และระยะเวลาจำลองที่ 3 แบ่งออกเป็นชั้นเวลาอีกจำนวน 3 ช่วง

การแบ่งส่วนเวลามีหลักการดังนี้

4.3.1) แบ่งให้พอดี การแบ่งส่วนระยะเวลาจำลองให้มีชั้นเวลาที่พอดีจะทำให้การประมวลผลสำเร็จได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยที่มีผลลัพธ์ถูกต้อง เป็นการประหยัดเวลา ถ้าหากแบ่งหยาบเกินไป ค่าที่ได้จะห่างจากค่าที่แท้จริงมากเกินไป แต่ถ้าแบ่งละเอียดเกินไป แม้จะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง แต่เสียเวลาในการประมวลผล

4.3.2) ใช้วิธีลองถูกลองผิด สมมุติค่าขึ้นก่อนแล้วทำการปรับเปลี่ยนค่าในภายหลังทีละน้อยจนกระทั่งแบบจำลองให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับค่าจริง เพื่อหาจำนวนชั้นเวลามากที่สุดที่ไม่ทำให้ผลลัพธ์ผิดพลาด แล้วจึงใช้จำนวนชั้นเวลานั้นในการจำลองอื่นๆ ต่อไป

4.3.3) ใช้ตัวคูณกับการสูบน้ำ การจำลองการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำหลังเริ่มต้นสูบน้ำนิยมนิยามเพิ่มช่วงเวลาของแต่ละชั้นเวลาให้มากขึ้น

4.4) ขอบเขตและเซลล์ทำงาน

ขอบเขตหรือเงื่อนไขขอบเขต คือ ผิววนอกสุดของโดเมน เป็นเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ที่ต้องถูกกำหนดขึ้นก่อนการประมวลผลแบบจำลอง เนื่องจากเป็นการกำกวมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ซึ่งจะระบุลักษณะของตัวแปรที่ขอบเขตโดเมน ตัวแปรในที่นี้คือ ระดับน้ำใต้ดิน เซลล์ที่ถูกเลือกให้เป็นขอบเขต เรียกว่า เซลล์ขอบเขต เซลล์ที่ไม่ใช่ขอบเขตและใช้คำนวณค่าระดับน้ำใต้ดิน เรียกว่า เซลล์ทำงาน ถ้าเซลล์อยู่นอกโดเมนจะเรียกว่า เซลล์ไม่ทำงาน

ขอบเขตมี 3 ชนิดดังนี้

4.4.1) ขอบเขตระบุระดับน้ำ (Specified head boundary) คือเงื่อนไขขอบเขตที่ระบุตัวเลขค่าระดับน้ำใต้ดินลงไปโปรแกรม หรือเรียกว่า เงื่อนไขดิริคเลต (Dirichlet condition) หรือขอบเขตระดับน้ำคงที่ (Constant – head boundary) เป็นขอบเขตที่มีการให้น้ำหรือการรับน้ำ อยู่เสมอจนระดับน้ำมีค่าคงที่ ขอบเขตชนิดนี้จะทำให้ระดับน้ำใต้ดินที่ขอบเขตของโดเมนไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาที่มีการประมวลผล

4.4.2) ขอบเขตระบุเกรเดียนต์ (Specified gradient boundary) คือเงื่อนไขขอบเขตที่ระบุเกรเดียนต์ข้ามเส้นขอบเขตนั้น บางครั้งเรียกว่า เงื่อนไขนอยมันน์ (Neumann

condition) ขอบเขตชนิดนี้จะระบุเกรดเดียนต์ของระดับน้ำ h ข้ามเส้นขอบเขต มีน้ำไหลเข้าหรือไหลออกในทิศทางตั้งฉากกับระนาบของขอบเขต ซึ่งการระบุเกรดเดียนต์มี 3 ชนิดดังนี้

(1) เกรดเดียนต์มีค่าเท่ากับศูนย์ คือ ขอบเขตที่น้ำใต้ดินไหลผ่านไม่ได้ น้ำใต้ดินจึงไหลขนานไปกับขอบเขต ขอบเขตที่บ่งชี้ในธรรมชาติ ได้แก่ ชั้นดินเหนียว หินดินดาน หินแข็งเนื้อแน่นทุกชนิดที่ไม่มีรอยแตก รอยเลื่อนที่บ่งชี้ ส่วนขอบเขตที่บ่งชี้ทางศาสตร์ได้แก่ เส้นการไหลของน้ำ เส้นแบ่งระหว่างน้ำจืดกับน้ำเค็ม และสันปันน้ำบาดาล

(2) เกรดเดียนต์มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ แบ่งย่อยได้ 3 ชนิด ดังนี้

(2.1) การไหลสู่แหล่งน้ำผิวดิน น้ำใต้ดินที่ไหลออกจากชั้นน้ำไปยังแหล่งน้ำผิวดินที่มีระดับแรงดันน้ำต่ำกว่าจะถูกกำหนดว่าไหลออกตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของโดเมน

(2.2) การไหลด้านล่าง ขอบเขตชนิดนี้วางอยู่ด้านล่างและด้านข้างของโดเมน มีการไหลเข้าและออกจากโดเมนในแนวราบและเกิดขึ้นในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวโดเมน

(2.3) การไหลจากหินพื้น ขอบเขตชนิดนี้วางอยู่ด้านล่างของโดเมน มีการไหลถ่ายเทระหว่างชั้นน้ำ และชั้นหินที่รองรับชั้นน้ำ เช่น หินพื้นที่มีรอยแตกหรือเป็นหินทราย โดยที่ชั้นน้ำเป็นตะกอนกรวดทราย

(3) ขอบเขตผสม (Mixed boundary condition) คือเงื่อนไขขอบเขตที่ผสมกันระหว่างขอบเขตระดับน้ำและระบุเกรดเดียนต์ ในกรณีนี้ เกรดเดียนต์ของการไหลข้ามขอบเขตมีค่าขึ้นกับระดับน้ำ ค่าด้านหนึ่งของขอบเขตได้มาจากการระบุค่าระดับน้ำไว้เบื้องต้น และค่าอีกด้านหนึ่งเกิดจากการคำนวณของแบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ ดังนี้

(3.1) การรั่วซึมไปยังหรือมาจากแม่น้ำ ทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำ

(3.2) การรั่วซึมไปยังหรือมาจากชั้นที่มี K_z น้อยกว่า

(3.3) การระบายน้ำออกจากหลุมฝังกลบขยะ

(3.4) การระเหยของน้ำจากพืชที่ดูดใช้น้ำบาดาลโดยตรง

4.5) น้ำเติม

น้ำเติมเป็นตัวแปรในโปรแกรม MODFLOW ที่ไหลตั้งฉากเข้าสู่ผิวบนสุดของเซลล์ในชั้นแรก อัตราการเติมน้ำจึงมีค่าเท่ากับ ผลคูณระหว่างความเร็วของการเติมน้ำกับพื้นที่หน้าตัดของเซลล์ แม้ว่าการเติมจะไหลผ่านจากผิวดินลงสู่น้ำใต้ดิน แต่ในการจำลองทำได้แต่เพียงการสมมติให้ไม่มีเขตไม่อิมมูน น้ำเติมจึงเกิดขึ้นทันทีที่ระดับน้ำใต้ดิน ตั้งแต่ชั้นที่ 2 ลงไปจะไม่ได้รับน้ำเติมและเป็นชั้นน้ำมีแรงดันทั้งสิ้น กรณีชั้นน้ำไม่มีแรงดัน 2 มิติ ระดับน้ำใต้ดินจะเป็นขอบเขตบนสุด แต่การจำลองให้เกิดน้ำเติมเฉพาะส่วนที่ให้ชั้นน้ำไหลถึงผิวดิน เซลล์ที่ไม่ไหลถึงผิวดินจะถูกกำหนดเป็นเซลล์ไม่ทำงาน โดยมีขอบเขตระดับน้ำอยู่ทั้ง 2 ด้านของโดเมน กรณีชั้นน้ำมีแรงดัน น้ำเติมเกิดขึ้นทันทีที่

ส่วนบนสุดของชั้นน้ำ ไม่ใช่ที่ระดับแรงดันน้ำ ถ้าชั้นน้ำเทอเยียง น้ำเติมจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณที่ชั้นน้ำไหลถึงผิวดิน

4.6) แหล่งให้น้ำและแหล่งรับน้ำ

4.6.1) แหล่งให้น้ำ คือ แหล่งที่ให้น้ำไหลเข้าสู่โดเมน ได้แก่ ขอบเขตระดับน้ำที่มีระดับน้ำสูงกว่าภายในโดเมน น้ำเติม และบ่ออัดน้ำ

4.6.2) แหล่งรับน้ำ คือ แหล่งที่รับน้ำไหลออกจากโดเมน ได้แก่ ขอบเขตระดับน้ำที่มีระดับน้ำต่ำกว่าภายในโดเมน ทะเล แม่น้ำ และบ่อสูบน้ำ

4.7) เซลล์ที่ใช้เปรียบเทียบกับของจริง

เมื่อวางกริดลงบนแผนที่หรือภาพตัดขวางที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแล้วให้พิจารณาว่าเซลล์ใดตรงกับจุดที่มีข้อมูล ให้เซลล์เป็นจุดสำหรับการประมวลผลเปรียบเทียบกับค่าจริง

4.8) การป้อนตัวแปร

ตัวแปร คือ สมบัติของชั้นน้ำ ได้แก่ สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ ความพรุน ประสิทธิภาพในการจ่ายน้ำ การกักเก็บจำเพาะ การรั่วซึม อัตราการสูบน้ำ อัตราการเติมน้ำ ความหนาของชั้นน้ำ และส่วนบนสุดและล่างสุดของชั้นน้ำ

4.9) การสมมติค่าตัวแปรตรงจุดที่ไม่มีข้อมูล

เป็นการกำหนดค่าในเซลล์จากข้อมูลที่จริงที่มีอยู่อย่างจำกัด เช่น เซลล์ทั้งหมดมีจำนวน 100 เซลล์ แต่มีข้อมูลจริง 10 เซลล์ซึ่งเหลืออีก 90 เซลล์ ต้องสมมติค่าโดยใช้วิธีนี้

4.9.1) วิธีลองผิดลองถูก (Trial – and – error method) กำหนดโดยการป้อนค่าเริ่มต้นที่เป็นไปได้ก่อนแล้วจึงปรับเปลี่ยนค่าให้มากขึ้นหรือน้อยลงจนกระทั่งผลลัพธ์จากการจำลองมีค่าใกล้เคียงกับความจริง

4.9.2) วิธีกำหนดทวิคูณ 10 เท่า (Order of magnitude method) กำหนดให้มากขึ้นหรือน้อยลงครั้งละ 10 เท่า เรียกว่า One order of magnitude หรือถ้ามากขึ้นหรือน้อยลง 100 เท่า จะเรียกว่า Two order of magnitude

4.9.3) วิธีเฉลี่ยค่าระหว่างจุด (Average method) เมื่อตัวแปรปรากฏเป็นจุดในโดเมน ให้วาดเส้นชั้น ค่าตัวแปรที่อยู่ระหว่างแถบเส้นชั้นคู่หนึ่งๆจะมีค่าเท่ากันทั้งหมด เมื่อเซลล์ใดอยู่ในแถบนี้ก็จะจัดเป็นเขตเดียวกันและมีค่าเท่ากัน

4.9.4) วิธีอัตโนมัติ (Automated parameter estimation) ปัจจุบันมีโปรแกรมช่วยคำนวณค่าตัวแปรลงในเซลล์ต่างๆในโดเมนทั้งหมดอย่างเป็นระบบ วิธีนี้ยังไม่นิยมใช้กันมากนัก ซึ่งต้องมีการตรวจสอบความเป็นไปได้ของค่าตัวแปรต่างๆก่อนเสมอ

4.10) ค่าเริ่มต้น

ค่าเริ่มต้น (Initial value) คือ ค่าของระดับน้ำบาดาลที่ป้อนลงไปโปรแกรมเป็นครั้งแรก โปรแกรมจะไม่ประมวลผลถ้าไม่มีค่าเริ่มต้น เพราะการคำนวณค่าตอบโดยประมาณจะเริ่มตรวจสอบค่าความแตกต่างระหว่างค่าเริ่มต้นกับค่าที่คำนวณได้ในรอบที่ 1 ถ้าเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ จะทำการประมวลผลครั้งที่ 2 แล้วนำค่าระดับน้ำใต้ดินที่ได้ไปเปรียบเทียบกับครั้งที่ 1 ทำซ้ำจนมีความแตกต่างไม่เกินกว่าค่าที่ตั้งไว้

4.11) ค่าลู่

การประมวลผลจะยุติก็ต่อเมื่อเซลล์หนึ่งๆมีผลต่างของระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณในครั้งในครั้งปัจจุบันแตกต่างจากผลครั้งก่อนไม่เกินค่าที่กำหนดขึ้น เรียกค่าที่ตั้งไว้นี้ว่า ค่าลู่ (Convergence criterion, error criterion, error tolerance)

5) การปรับค่าตัวแปร (Calibration) ในการจำลองของแต่ละขั้นตอนในระบบอุทกวิทยา ผู้จำลองไม่สามารถทราบความถูกต้องของข้อมูลภาคสนามที่ใช้ป้อนเข้าไปในแบบจำลองได้ทั้งหมด ดังนั้นผลการคำนวณจากการจำลอง เช่น ระดับน้ำหรือแรงดันของน้ำควรมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่วัดได้จริงในภาคสนามเมื่อผลการคำนวณไม่ตรง จึงมีความจำเป็นจะต้องปรับค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าแน่นอน เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน สภาพขอบเขตของแบบจำลองที่เหมาะสม เพื่อให้ผลการคำนวณสามารถเปรียบเทียบข้อมูลในภาคสนามได้ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ต้องใช้ความเข้าใจระบบไหลเวียนของน้ำใต้ดิน ณ แล่งนั้นๆ ซึ่งบางครั้งต้องใช้วิธีการลองผิดลองถูกจนกระทั่งทราบขอบเขตและช่วงค่าของตัวแปรต่างๆ ถ้าผลการคำนวณต่างจากข้อมูลภาคสนามมาก อาจมีความจำเป็นต้องกลับไปตรวจสอบข้อมูลภาคสนามอีกครั้ง และจึงทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรที่มีความไม่แน่นอน (sensitivity analysis) เช่น ขอบเขตของพื้นที่ การซึมของน้ำจากน้ำฝนสู่แหล่งน้ำใต้ดิน

5.1) การประมวลผล (Processing) คือ การสั่งให้โปรแกรมทำงาน งานที่ทำก่อนการประมวลผลเรียกว่า ก่อนประมวลผล (Pre-processing) เช่น การวางแผน การเก็บข้อมูลภาคสนาม หรือการป้อนข้อมูล เป็นต้น และงานที่ทำหลังการประมวลผลเรียกว่า หลังประมวลผล (Post-processing) เช่น การบันทึกผล พิมพ์งาน และเขียนรายงาน

5.2) ปุ่มสั่งโปรแกรมทำงาน ขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบปฏิบัติการ และการเขียนโปรแกรม

5.3) การปรับเทียบ (Calibration) คือ การสั่งให้โปรแกรมทำงานแล้วนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง และทำการแก้ไขปรับปรุงแบบจำลองจนกระทั่งได้ผลใกล้เคียงค่าจริง จึงหยุดประมวลผล ซึ่งวิธีเปรียบเทียบกับค่าจริงมีดังนี้

5.3.1) แบบลองผิดลองถูก (Trial-and-error calibration) กำหนดตัวแปรหรือขอบเขตและปรับค่าเมื่อประมวลผลให้ใกล้เคียงกับค่าจริง

5.3.2) แบบอัตโนมัติ (Automated calibration) โปรแกรมจะเป็นผู้ปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรเมื่อประมวลผลแล้วได้ผลไม่ใกล้เคียงค่าจริง ช่วยลดอคติของมนุษย์ได้ ซึ่งยังอยู่ในระหว่างการวิจัยและทดลองใช้ เช่น โปรแกรม MODFLOWP (Hill, 1991)

5.4) ผลต่างเฉลี่ย (Average residual) คือ ความแตกต่างเฉลี่ยระหว่างแบบจำลองและค่าจริง ซึ่งในแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ใช้ผลต่างเฉลี่ยของระดับน้ำใต้ดิน ส่วนแบบจำลองการเคลื่อนที่ของมลสารใช้ผลต่างเฉลี่ยของความเข้มข้นของมลสาร การคำนวณค่าที่เซลล์แล้วจึงหาค่าเฉลี่ย วิธีนี้ทำให้ได้ตัวเลขที่แน่นอน จึงจัดเป็นวิธีเชิงปริมาณ

5.4.1) ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของผลต่าง (Residual mean, RM) คำนวณโดยใช้ความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าจำลอง ณ เซลล์ที่ตรงกับจุดที่มีข้อมูล นำความต่างนั้นมาบวกรวมกันทั้งหมด แล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบ เขียนสูตรได้ว่า

$$RM = \frac{\sum_{i=1}^n (x_m - x_s)_i}{n} \quad (2-13)$$

โดยที่ x_m = ค่าจริง (Actual value, measured value, observed value)
 x_s = ค่าจำลอง (Simulated value, computed value, modeled value)

n = จำนวนข้อมูล

5.4.2) ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของผลต่างสัมบูรณ์ (Absolute residual mean, ARM) คำนวณโดยใช้ความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าจำลอง ณ เซลล์ที่ตรงกับจุดที่มีข้อมูล นำความแตกต่างแต่ละค่ามาคิดเป็นค่าสัมบูรณ์ แล้วจึงบวกรวมกันทั้งหมด หารด้วยจำนวนข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบ เขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$ARM = \frac{\sum_{i=1}^n |x_m - x_s|_i}{n} \quad (2-14)$$

5.4.3) รากที่สองของค่าเฉลี่ยเลขคณิตของผลต่าง (Root-mean-squared residual, RMS) คำนวณโดยใช้ความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าจำลอง ณ เซลล์ที่ตรงกับจุดที่มีข้อมูล นำความแตกต่างแต่ละค่านั้นมายกกำลังสอง แล้วจึงบวกกันทั้งหมด หารด้วยจำนวนข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบ และถอดรากที่สอง เขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_m - x_s)^2_i}{n}} \quad (2-15)$$

5.5) แผนภูมิด้านเท่า (1:1 plot) คือแผนภูมิเส้นตรงที่มีแกนนอนยาวเท่ากับแกนตั้ง แกนนอนเป็นค่าที่ได้จากการตรวจวัด ส่วนแกนตั้งเป็นค่าที่ได้จากแบบจำลอง แกนทั้งสองแกนต้องมีความยาวและมีมาตราส่วนเดียวกัน มีเส้นทแยงมุมลากเป็นเส้นตรงจากมุมล่างซ้ายไปยังมุมบนขวา จำนวนจุดบนแผนภูมิจะมีจำนวนเท่ากับข้อมูลจริงที่ใช้เปรียบเทียบ ซึ่งในการทำงานอาจต้องมีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, r^2) ของเส้นตรงที่เกิดขึ้น หากมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าการจำลองแบบให้ผลลัพธ์ที่ดี ก็ยิ่งแสดงว่าการจำลองแบบทำได้ดี วิธีนี้ทำให้ได้ตัวเลขที่แน่นอน จึงจัดเป็นวิธีเชิงปริมาณ

6) การแก้ไขปรับปรุงโปรแกรม (Model verification) ในบางโปรแกรมต้องมีการปรับปรุงเพื่อให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น โดยใช้ข้อมูลที่ทราบหรือมีการปรับแก้แล้ว โดยปกติโปรแกรมสำเร็จรูปได้ผ่านการตรวจสอบและเป็นโปรแกรมที่ได้รับการยอมรับหรือเป็นโปรแกรมมาตรฐาน เช่น โปรแกรมในตระกูล MODFLOW ดังนั้นการใช้โปรแกรม MODFLOW จึงไม่จำเป็นต้องปรับแก้ไขโปรแกรม ยกเว้นมีการเขียนเพิ่มเติมเพื่อให้สะดวกในการทำงานมากขึ้น

7) การคาดคะเนและการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Prediction and sensitivity analysis) ในการคาดคะเนในผลของการคำนวณต่างๆ เช่น แรงแดันน้ำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต ในขณะที่มีการเพิ่มเติมน้ำเข้าหรือการสูบออก หรือมีแหล่งกำเนิดมลพิษเข้าไปปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดิน ต้องมีการวางแผนการใช้ข้อมูลในอนาคตร่วมกับการวิเคราะห์และการตรวจสอบความอ่อนไหวของตัวแปรบางชนิด ซึ่งความอ่อนไหวของตัวแปรของแบบจำลองเป็นคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละพื้นที่ ดังนั้นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร ทำให้ทราบถึงช่วงของตัวแปรที่เป็นไปได้ และเตรียมการเฝ้าระวังของข้อมูลในการศึกษาและวิเคราะห์ในระยะยาว (Monitoring program)

8) แสดงผลการจำลอง (Presentation of results) เป็นการสื่อสารต่อผู้ที่นำไปใช้ เพื่อให้เข้าใจถึงวิธีการและข้อจำกัดต่างๆรวมทั้งข้อผิดพลาดและความถูกต้องในแบบจำลอง ซึ่งจะแสดงผลทั้งการนำมาซึ่งข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การออกแบบ การปรับแก้ค่า การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร ผลการคำนวณเชิงตัวเลข รูปภาพและคำอธิบาย

9) การปรับปรุงแบบจำลองในระยะยาว (Post audit) สำหรับการศึกษาในหลายกรณี จะไม่สามารถพิสูจน์ความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง เพราะเหตุการณ์ที่พยากรณ์ไว้ยังไม่เกิดขึ้น ในการศึกษาในบางกรณี เช่น การกักเก็บของแหล่งน้ำใต้ดิน การปนเปื้อนของสารอันตราย จึงต้องมีการวางแผนการเก็บข้อมูลใหม่หลังจากเสร็จสิ้นการศึกษาไปแล้ว เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงแบบจำลอง โดยกลับไปยังขั้นตอนแรกเพื่อให้แบบจำลอง ใช้งานได้ถูกต้องและชัดเจนขึ้น ดังนั้นการวางแผนติดตามผลการสำรวจข้อมูลในระยะเวลายาวๆ ปีติดต่อกัน จึงมีความสำคัญต่อผลรวมความถูกต้องของแบบจำลอง

2.4.4 แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองมีทั้งข้อมูลที่ได้จากหน่วยงานต่างๆ ข้อมูลจากภาคสนาม รวมทั้งข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้มากำหนดเงื่อนไข และค่าตัวแปรในแบบจำลอง สามารถจำแนกออกเป็น 4 ประเภท (ตารางที่ 2.9) ได้แก่

- 1) ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับภูมิประเทศ
- 2) ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา และอุทกวิทยาผิวดิน
- 3) ข้อมูลด้านธรณีวิทยา และอุทกวิทยาน้ำใต้ดิน
- 4) ข้อมูลคุณสมบัติของสารปนเปื้อน

ตารางที่ 2.9 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดิน และสารปนเปื้อน

ลำดับ	รายการข้อมูล	ที่มา
1. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับภูมิประเทศ		
1.1	แผนที่ภูมิประเทศ	กรมแผนที่ทหาร
2. ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา และอุทกวิทยาผิวดิน		
2.1	ข้อมูลฝนรายเดือน รายสถานี	กรมอุตุนิยมวิทยา
2.2	ข้อมูลชนิดของดิน และแผนที่ดิน	กรมพัฒนาที่ดิน
3. ข้อมูลด้านธรณีวิทยา และอุทกวิทยาน้ำใต้ดิน		
3.1	คุณสมบัติของชั้นน้ำ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
3.2	ผลการสุบทดสอบ และค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำ	ข้อมูลจากภาคสนาม และกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
3.3	การติดตามระดับน้ำรายเดือน	การศึกษาภาคสนาม
4. ข้อมูลคุณสมบัติของสารปนเปื้อน		
4.1	คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสารปนเปื้อน	การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และการศึกษาที่ผ่านมา

1) ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับภูมิประเทศ

ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับภูมิประเทศ ได้แก่ ข้อมูลสภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ระดับความสูงของพื้นที่ ข้อมูลเหล่านี้ได้จาก กรมแผนที่ทหาร

การศึกษาข้อมูลในส่วนนี้เพื่อนำไปใช้กำหนด boundary condition ของแบบจำลอง เช่น ขอบเขตที่มีอัตราการไหลเข้า ขอบเขตที่มีอัตราการไหลออก และขอบเขตที่ไม่มี การไหล

2) ข้อมูลด้านอุตุนิยมิวิทยา และอุทกวิทยาผิวดิน

ข้อมูลด้านอุตุนิยมิวิทยา และอุทกวิทยาผิวดินรวบรวมข้อมูลได้จากกรมอุตุนิยมิวิทยา กรมชลประทาน และกรมพัฒนาที่ดิน ได้แก่ ข้อมูลฝน อัตราการระเหย คุณสมบัติของดิน

ข้อมูลฝนและอัตราการระเหย เป็นข้อมูลพื้นฐานทางอุตุนิยมิวิทยาจากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมิวิทยาทั้งที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา และสถานีใกล้เคียง เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการกำหนดค่า recharge ของแบบจำลอง

คุณสมบัติของดิน และแผนที่ชุดดินในพื้นที่ศึกษา นำมาใช้พิจารณาปริมาณการซึมได้ของน้ำซึ่งเป็นการเติมน้ำโดยธรรมชาติให้กับระบบน้ำใต้ดิน จากการศึกษาของสุจริตและปณต (2545) พบว่า อัตราการซึมผ่านของปริมาณฝน (r) และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในชุดดินต่างๆ (K) และปริมาณฝนเฉลี่ยต่อปีในพื้นที่ (p) มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$R = p \times r \quad (2-16)$$

$$r = 0.24K + 3.2 \quad (2-17)$$

เมื่อ R = อัตราการเติมน้ำ, (mm/year)

p = ปริมาณฝนเฉลี่ยต่อปีในพื้นที่, (mm/year)

K = ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน, (m/year)

r = อัตราการซึมผ่านของน้ำในชุดดิน

ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำมาประกอบการกำหนดค่า recharge ของแบบจำลอง

3) ข้อมูลด้านธรณีวิทยาและอุทกวิทยาน้ำใต้ดิน

ข้อมูลด้านธรณีวิทยาและอุทกวิทยาน้ำใต้ดินที่ใช้ในการศึกษา เป็นการวิเคราะห์จากข้อมูลบ่อน้ำใต้ดิน การแบ่งชั้นน้ำใต้ดิน และการทดสอบทางอุทกธรณีวิทยา ซึ่งข้อมูลได้จากกรมทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรน้ำบาดาล รวมทั้งการศึกษาจากภาคสนาม

ข้อมูลด้านธรณีวิทยา ชนิดของดิน (Soil Type) แต่ละประเภทจะมีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำไม่เท่ากัน ดังนั้นชนิดของดินจึงมีส่วนในการพิจารณาแหล่งเติมน้ำให้กับชั้นน้ำใต้ดิน จึงมีผลต่อค่า recharge ในแบบจำลอง

ข้อมูลด้านอุทกวิทยาน้ำใต้ดิน ได้แก่ ระดับน้ำใต้ดิน คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำใต้ดิน เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ รวมถึงอัตราให้น้ำของบ่อน้ำใต้ดินตามส่วนต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา

4) ข้อมูลคุณสมบัติของสารปนเปื้อน

ได้แก่ข้อมูลคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสารปนเปื้อนและส่วนประกอบต่างๆ เช่น viscosity, density, dispersivity, sorption parameter ค่าตัวแปรคุณสมบัติเหล่านี้ได้มาจากการสำรวจภาคสนาม การวิเคราะห์จากปฏิบัติการ และค่าอ้างอิงมาตรฐานจากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้

2.5 ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems: GIS)

ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Information System : GIS เป็นระบบสารสนเทศที่รวบรวม จัดเก็บ สืบค้นและวิเคราะห์ประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ซึ่งเป็นข้อมูลตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ และข้อมูลเชิงอรรถ (Non-spatial Data) ซึ่งจะอธิบายพิกัดของลักษณะนั้นๆ โดยระบบจะจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน (Burrough, 1986) ผ่านระบบคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมด้าน GIS โดยบุคลากรผู้เชี่ยวชาญ และสามารถสื่อความหมายข้อมูลที่ซับซ้อนให้มีความง่ายในการเข้าใจด้วยรูปภาพ ซึ่งจะปรากฏอยู่ในรูปของแผนที่ หรือแผนภาพทางภูมิศาสตร์ (Kuehn et al., 1994)

2.5.1 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

การจัดทำแผนที่ภูมิศาสตร์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems : GIS) โดยปกติจะต้องใช้เทคโนโลยีหรือศาสตร์อื่นๆ เข้ามาทำงานร่วมกันเพื่อให้ได้คำตอบที่ถูกต้องและมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ในบางครั้งการผสมผสานเทคโนโลยี ระหว่าง ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ การสำรวจระยะไกล และการสำรวจพิกัดเชิงภูมิศาสตร์ เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ เรียกว่า เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-informatics หรือ Geomatics) หรือ เทคโนโลยี 3S ซึ่งมีศาสตร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ได้แก่

1) วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ (Computer Science) เทคโนโลยี และองค์ความรู้คอมพิวเตอร์ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพสูง สามารถทำงานได้รวดเร็วมากขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ อุปกรณ์ และโปรแกรมในการนำเข้าข้อมูล ระบบการบันทึกหรือสำรองข้อมูล ตลอดจนการส่งออกข้อมูล GIS ซึ่งความก้าวหน้าเทคโนโลยีมีผลโดยตรงต่อการพัฒนา และการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

2) การสำรวจ และการจัดทำแผนที่ (Surveying and Mapping) เป็นกระบวนการจัดทำแผนที่โดยใช้ข้อมูลจริงจากสำรวจภาคสนาม โดยใช้เครื่องมือ และความรู้ด้านวิศวกรรมในการจัดทำข้อมูล เช่น การจัดทำขอบเขตของพื้นที่ศึกษาโดยใช้กล้องวัดมุม การจัดทำระดับความสูงโดยใช้กล้องวัดระดับ การเก็บข้อมูลค่าพิกัดหมุดหลักฐานอ้างอิง การกำหนดสัญลักษณ์ และคำอธิบาย เป็นต้น

ดังนั้นความรู้ด้านการสำรวจ และความรู้ด้านการจัดทำแผนที่จึงมีความสำคัญในการพัฒนาระบบการสร้างแผนที่ GIS

3) ระบบการจัดการฐานข้อมูล (Database Management System : DBMS) เป็นการศึกษาโครงสร้าง การออกแบบ และการจัดการฐานข้อมูล ซึ่งทำให้การนำเข้าข้อมูล และควบคุมการประมวลผลข้อมูลเป็นไปได้อย่างเป็นระบบ ความสัมพันธ์ในฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ รวมถึงการจัดเก็บข้อมูล ซึ่งทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ และทำให้การบันทึกและจัดการกับข้อมูล GIS เป็นไปได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น

4) การสำรวจระยะไกล (Remote Sensing : RS) เป็นการสำรวจข้อมูลพื้นที่ผิวโลก โดยใช้อุปกรณ์ในการบันทึกภาพ (Sensor) ในการตรวจวัดการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ ให้ไปกระทบอุปกรณ์ในการบันทึกภาพ โดยไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุโดยตรง ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์และแปลภาพที่ได้ออกเป็นลักษณะการใช้ที่ดินบนพื้นผิวโลก หรือทรัพยากรต่างๆ ในโลก ข้อมูลที่ได้เหล่านี้จะเป็นข้อมูลนำเข้าที่สำคัญในระบบ GIS

5) การสำรวจพิกัดเชิงภูมิศาสตร์ (Global Positioning System : GPS) เป็นระบบการค้นหาค่าแห่งและนำทางด้วยดาวเทียมที่มีความเที่ยงตรงสูง เนื่องจากใช้คลื่นความยาวสั้น ความถี่สูง และทำการระบุพิกัดบนพื้นโลกโดยใช้สัญญาณดาวเทียม GPS ซึ่งข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมสามารถนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือใช้ในการจัดทำแผนที่ และการสำรวจบนพื้นโลกได้

ระบบ GIS เป็นระบบที่ออกแบบเพื่อแสดงลักษณะของข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งสรุปได้ดังนี้คือ

1) ข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร (Environmental Information) ได้แก่ ข้อมูลทางด้านทรัพยากรดิน น้ำ และป่าไม้ รวมถึงข้อมูลทางด้านสัตว์ป่า และความหลากหลายทางชีวภาพ รวมถึงการติดตามและจัดการมลพิษที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

2) ข้อมูลทางด้านสาธารณูปโภค (Infrastructure Information) ได้แก่ สิ่งอำนวยความสะดวกต่อมนุษย์ โทรศัพท์ ไฟฟ้า น้ำประปา และเครือข่ายสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น

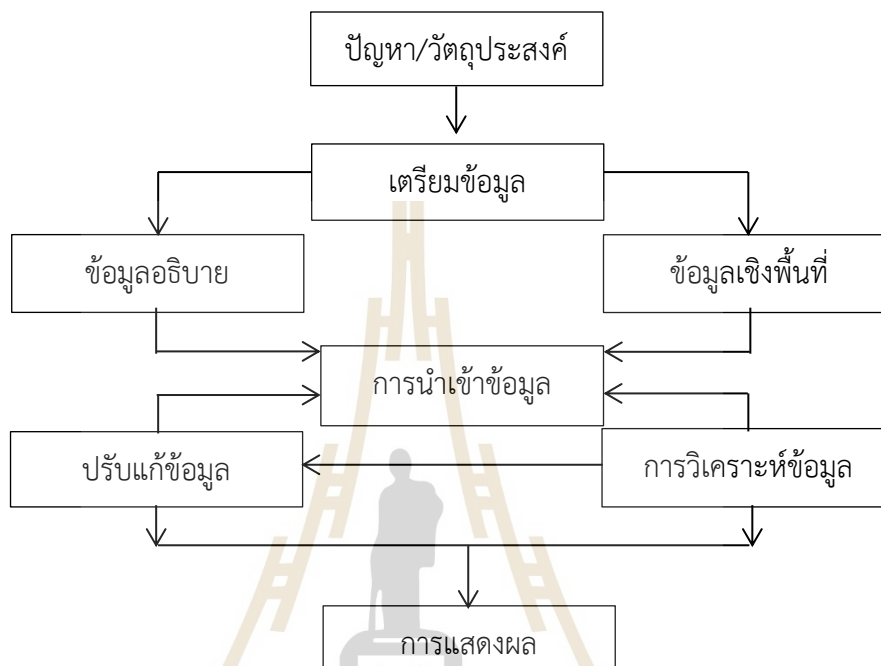
3) ข้อมูลที่ดินหรือสิทธิบนที่ดิน (Cadastral Information) ได้แก่ ขอบเขตความเป็นเจ้าของในที่ดิน หรือกรรมสิทธิ์ที่ดิน และการควบคุมการใช้ที่ดิน เป็นต้น

4) ข้อมูลเศรษฐกิจและสังคม (Economic and social Information) ได้แก่ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับประชาชน หรือเศรษฐกิจการประกอบอาชีพ การทำกิน การกระจายตัวของประชากร รายได้ประชากร เป็นต้น

2.5.2 ขั้นตอนการทำงานของ GIS

ขั้นตอนการทำงานของ GIS ขั้นตอนแรกคือ การตั้งปัญหาและกำหนดวัตถุประสงค์ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการดำเนินงาน แล้วทำการการจัดเตรียมข้อมูล ซึ่งจะประกอบด้วยข้อมูล

อธิบาย และข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยการนำข้อมูลที่ได้ จัดเก็บในระบบ GIS ซึ่งประกอบด้วย 3 ประเภท ได้แก่ จุด เส้น พื้นที่ และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดย GIS สามารถนำข้อมูลเชิงพื้นที่หลายๆชั้นข้อมูลมาซ้อนทับกันเพื่อวิเคราะห์เงื่อนไขต่างๆได้โดยใช้คอมพิวเตอร์ตามวัตถุประสงค์ ซึ่งสรุปเป็นขั้นตอนการทำงาน GIS ได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการทำงานของ GIS (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2556)

2.5.3 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) มีส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วน คือ

1) Data หรือข้อมูล ได้แก่

1.1) ข้อมูลที่เป็นจุด Point Feature คือ ตำแหน่งพิกัดที่ไม่มีขนาดและทิศทาง

1.2) ข้อมูลเชิงเส้น Vector Data คือ ข้อมูลจุดพิกัดทางแนวราบ (X, Y) และ แนวตั้ง (Z)

หรือ Cartesian Coordinate System

1.3) ข้อมูลเชิงพื้นที่ Raster Data คือ ข้อมูลพิกัดที่อยู่ในรูปแบบตาราง ซึ่งแสดงรายละเอียดของพิกัดที่นำเข้ามาเป็นฐานข้อมูลในตำแหน่งนั้น และสามารถเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลเป็น Vector Data ได้

1.4) ข้อมูลรูปภาพ Image เป็น Raster Data ประเภทหนึ่ง ซึ่งมีค่าระบุสีของแต่ละพิกัดเซลล์ เมื่อได้รับการแปลความหมาย จากกระบวนการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ ความหมายจากค่าสีเหล่านี้สามารถนำไปสร้างคุณสมบัติเชิงอธิบาย (Attribute) สำหรับชั้นข้อมูล

2) Software คือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจัดการข้อมูลในระบบ GIS เช่น Arc View เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการ Display ข้อมูลทั้งที่เป็น Graphic และข้อมูลเชิงบรรยาย โปรแกรมนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์เบื้องต้นได้ R2V เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการนำเข้าข้อมูล โดยวิธีการ Scan/Vectorize ERDAS เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแปลและวิเคราะห์ข้อมูล Raster PAMAP เป็นโปรแกรมที่ใช้งานได้กับข้อมูล Vector เป็นต้น

3) Hardware เป็นอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้กับโปรแกรม GIS อุปกรณ์นี้รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการนำเข้า การประมวลผล การแสดงข้อมูล และผลิตผลของการทำงาน

4) Procedure คือ ขั้นตอนการทำงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ข้อมูลนำเข้าต้องมีความถูกต้อง เพื่อให้การนำผลลัพธ์ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการสร้างฐานข้อมูลที่ดียิ่งต้องมีขั้นตอนการทำงานที่ละเอียดถูกต้อง

2.5.4 ข้อจำกัดของเทคโนโลยี GIS

1) เมื่อนำข้อมูล GIS จากหลายๆแหล่งมาเปรียบเทียบ ข้อมูลต่างๆจะไม่สอดคล้องกัน เนื่องจากเป้าหมายและวัตถุประสงค์ในการทำ GIS ต่างกัน จากกระบวนการป้อนข้อมูลที่ไม่สอดคล้องกับรูปแบบการจัดการ (Graeff and Loui, 2008) จึงต้องมีการศึกษาเรื่องดังกล่าวเพิ่มเติม เพื่อจัดทำแผนที่ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมในการนำไปใช้งาน (Bracke et al., 2008)

2) การถ่ายภาพทางอากาศและ Remote Sensing ยังไม่สามารถเก็บภาพที่มีความละเอียดสูงได้เนื่องจากระยะห่างจากพื้นที่ดังกล่าว ทำให้ภาพในแผนที่มีความละเอียดน้อยลง (Graeff and Loui, 2008) เพราะระดับคุณภาพของข้อมูลที่น้อยไปทำให้ไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน บางอย่าง (Bracke et al., 2008)

3) จรรยาบรรณของผู้ใช้ GIS มีกฎเกณฑ์มากกว่าการทำแผนที่กระดาษ เช่น ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลให้ต่อเนืองและมีความทันสมัยได้ (Real-time) เพื่อเป็นการป้องกันความมั่นคงของประเทศ และการละเมิดสิทธิความเป็นส่วนตัวของผู้อื่น (Graeff and Loui, 2008)

4) ค่าใช้จ่ายโปรแกรม GIS มีระดับราคาที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งาน สำหรับองค์กรใหญ่ มักให้บริษัทที่เชี่ยวชาญเป็นผู้พัฒนาโปรแกรมให้ ซึ่งต้นทุนดังกล่าวรวมตั้งแต่ซอฟต์แวร์ ค่าลิขสิทธิ์ ค่าบำรุงรายปี ค่าปรับปรุงข้อมูลขึ้นอยู่กับความละเอียดของมาตราส่วนแผนที่ ข้อมูลพื้นฐานที่จะใช้ (FU, 2007) ส่วนโปรแกรมที่ไม่เสียค่าใช้จ่าย หรือมีราคาไม่สูง และหาใช้ได้ทั่วไป อย่างเช่น Google Earth ก็ไม่สามารถแสดงข้อมูลที่ทันสมัยได้ และข้อมูลที่มีอยู่ไม่สามารถตอบสนองจุดประสงค์ของการทำงานทั้งหมด (Miller, 2006)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุจริต (2550) ทำการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา รวมถึงการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในพื้นที่ทิ้งสารและพื้นที่ใกล้เคียง พร้อมทั้งเสนอแนวทางการป้องกันและแผนการจัดการสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน โดยรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย สภาพธรณีวิทยา สภาพอุทกวิทยาและอุทกธรณีวิทยา การตรวจสอบสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน เพื่อวิเคราะห์พื้นที่สารปนเปื้อน รวมทั้งการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินโดยใช้แบบจำลอง MODFLOW และการจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนซึ่งใช้แบบจำลอง UTCHEM โดยสรุปผลการศึกษาพบว่า น้ำใต้ดินในพื้นที่ที่มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายเกินระดับมาตรฐานจำนวน 7 ชนิด เช่น TCE, PCE, Benzene และ cis-DDE เป็นต้น จากข้อมูลการปนเปื้อนนี้สามารถสร้าง Iso-Concentration ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำ พบว่า ขอบเขตการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดินด้วยสาร TCE มีการขยายขอบเขตออกไปกว้างขึ้นจากเดิม 225,000 ตร.ม. เป็น 300,000 ตร.ม.

อรุณ (2552) ศึกษากระบวนการไหลของน้ำใต้ดินและขอบเขตการแพร่กระจายของคลอไรด์ในสภาวะการสูบน้ำใช้ในปัจจุบัน โดยใช้แบบจำลอง (MODFLOW) ในการคาดการณ์การแพร่กระจายของน้ำเค็มสู่ชั้นน้ำใต้ดินในกรณีที่มีการสูบน้ำเพิ่มขึ้นในอนาคต โดยทำการปรับค่าตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ระดับน้ำและคุณภาพน้ำใต้ดินจากบ่อสังเกตการณ์ 47 บ่อ ซึ่งพบว่า การไหลของน้ำใต้ดินมีทิศทางการไหลจากพื้นที่เติมน้ำตะวันออก ทิศตะวันตกและทิศใต้ ไปยังที่ราบตอนกลางของพื้นที่ศึกษาแล้วไหลออกสู่ทะเลสาบสงขลา มีปริมาณน้ำไหลเข้าระบบทั้งหมด 115 ล้านลูกบาศก์ต่อปี และปริมาณน้ำไหลออกจากบ่อน้ำใต้ดินที่มีการสูบน้ำอยู่ที่ 25.03 ล้านลูกบาศก์ต่อปี มีการกระจายตัวของคลอไรด์สูงกว่ามาตรฐาน ถูกจำกัดขอบเขตอยู่ในพื้นที่ใกล้ทะเลสาบสงขลาและริมทะเลอ่าวไทยของชั้นน้ำบาดาลใหญ่

สุเทพ (2552) ศึกษาความอ่อนไหวของชั้นน้ำใต้ดินต่อการเกิดมลภาวะและการประเมินศักยภาพแหล่งมลสารเกษตรกรรมทำให้สามารถประเมินความเสี่ยงของชั้นน้ำใต้ดิน โดยแบ่งระดับความเสี่ยงออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ต่ำมาก ต่ำ ปานกลาง และสูง ซึ่งทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางเคมีและโลหะหนักและสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ในตัวอย่างดินและน้ำใต้ดินพบว่า ตัวอย่างน้ำใต้ดินมีการปนเปื้อนในเตรตเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้เพื่อการบริโภค และใช้แบบจำลอง Visual MODFLOW ในการประเมินความรุนแรงของการปนเปื้อนมลสารด้วยการจำลองปริมาณการไหล และใช้โปรแกรมโปรแกรม MT3DMS ในการวิเคราะห์การแพร่กระจายของมลสารสู่แหล่งน้ำใต้ดินพบว่า มลสารมีทิศทางการไหลลงสู่แหล่งรองรับน้ำในแต่ละพื้นที่ และความเข้มข้นของมลสารลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

พรรณนิภา (2551) ศึกษาการปนเปื้อนสารมลพิษในน้ำใต้ดินจากนาุ้งและนาข้าวบริเวณ อ.ระโนด จ.สงขลา โดยใช้แบบจำลอง Visual MODFLOW จำลองการไหลของน้ำใต้ดินและ MT3D จำลองการเคลื่อนที่ของมลสาร โดยทำการจำลองในชั้นน้ำตะกอนทรายชายหาด (ชั้นน้ำไม่มีแรงดัน) ซึ่งเป็นชั้นบนสุดของพื้นที่ที่มีโอกาสปนเปื้อนสูงและเป็นชั้นที่มีการซึมผ่านของน้ำได้ดี เนื่องจากเป็น ชั้นที่ประกอบด้วยทรายทับถมกัน และทำการจำลองชั้นน้ำหาดใหญ่ (ชั้นน้ำมีแรงดัน) ซึ่งเป็นชั้นน้ำที่มี ดินเหนียวทับอยู่ด้านบน โดยได้จำลองการแพร่กระจายของคลอไรด์ ไนเตรต ดีดีที กรณีที่ไม่มีการ รั่วไหล และมีการรั่วไหลลงสู่ชั้นน้ำหาดใหญ่ที่เวลา 20 ปี และ 30 ปี ในสภาวะการปล่อยมลสารคงที่ ผลการศึกษาพบว่า น้ำใต้ดินมีทิศทางการไหลไปทางทิศตะวันออกและตะวันตก ผลการเปรียบเทียบ ระดับน้ำในแบบจำลองและระดับน้ำจริง กรณีไม่มีการรั่วไหลและมีการรั่วไหลลงสู่ชั้นน้ำหาดใหญ่ มีค่า ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ± 1.94 เมตรและ ± 3.08 เมตรตามลำดับ ผลจากการจำลองการแพร่กระจาย คลอไรด์จากนาุ้ง มีการแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดผ่านชั้นน้ำใต้ดิน ส่วนไนเตรต ดีดีที และเมทธิล พาราไรออนไม่มีการแพร่กระจายทุกกรณี และเมื่อเพิ่มค่าความเข้มข้นของสารละลายทุกชนิดมากขึ้น ความเข้มข้นที่ปนเปื้อนก็มากขึ้นเช่นกัน แต่อัตราสูบที่กำหนดไม่มีผลต่อการแพร่กระจาย และเมื่อทำ การปรับค่าพารามิเตอร์ในการจำลองการแพร่กระจาย พบว่า longitudinal dispersivity มีผลต่อการ แพร่กระจายของคลอไรด์เท่านั้น ซึ่งจะทำให้แพร่กระจายไปได้ไกลขึ้น

บรรจบ (2555) ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยองด้วยโปรแกรม Visual MODFLOW PREMIUM 2009 ทั้งในสภาวะคงที่และสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาโดยใช้ข้อมูลอัตราการเติมน้ำใต้ดินที่แปรผันตามข้อมูลปริมาณฝน ที่ ระยะเวลา 1 ปี และระยะเวลา 10 ปี ต่างกัน 3 สภาวะ พร้อมทั้งจำลองสถานการณ์การปนเปื้อนจาก พื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5, 5 และ 9 ตารางกิโลเมตรของสารมลพิษสมมติ 3 กลุ่ม พบว่าปริมาณฝน ไม่ส่งผลต่อการไหลของน้ำใต้ดินในทุกกรณีการศึกษา และการเคลื่อนที่ของสารมลพิษที่ไม่มีการดูดติด ผิวและการย่อยสลาย จะเป็นกรณีการศึกษาในสภาวะคงที่ ที่ระยะเวลา 10 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิด ขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร ส่วนการเคลื่อนที่ของสารมลพิษที่มีการดูดติดผิวแต่ไม่มีการย่อยสลาย ใน สภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร และใน กรณีการเคลื่อนที่ของสารพิษที่เคลื่อนที่โดยมีการดูดติดผิวและมีการย่อยสลายจะเป็นไปได้ทุกกรณี การศึกษา

Laura and Donald (2006) ใช้แบบจำลอง MODFLOW ศึกษาการปนเปื้อนของสารมลพิษที่ แทรกอยู่ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน (Hypothetic zone) บริเวณเขื่อนและแม่น้ำที่มีลักษณะ คดเคี้ยว และทำการศึกษาการเคลื่อนที่ด้วยกระบวนการพัดพา (Advective) และการเข้าออกของ สารละลาย (Sink and source) โดยใช้แบบจำลอง MT3D ซึ่งกำหนดว่าพื้นที่ศึกษานั้นมีสารเคมี

รั่วไหลจากแม่น้ำลงยังใต้ดินประมาณร้อยละ 10 ของน้ำผิวดินที่ระยะ 10 วัน ผลการจำลอง พบว่าการเคลื่อนที่มีกระบวนการหลักคือการพัดพา

Arlai (2007) ศึกษาการจำลองสภาพระบบชั้นน้ำใต้ดินบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างโดยใช้แบบจำลอง MODFLOW เพื่อหาอัตราการลดลงของน้ำใต้ดิน รวมทั้งการรุกคืบของน้ำเกลือในระบบชั้นน้ำกรุงเทพฯ พบว่าแหล่งน้ำเกลือหลักที่ปนเปื้อนระบบชั้นน้ำกรุงเทพฯ มาจากอ่าวไทย นอกจากนั้นได้ทำการประยุกต์แนวทางในการบริหารจัดการน้ำใต้ดินในระบบชั้นน้ำใต้ดินนี้ ทั้งคุณภาพและปริมาณ โดยใช้วิธี ลองผิดลองถูก และเทคนิคทางคณิตศาสตร์ในการหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการบริหารจัดการน้ำใต้ดิน

Khan *et al.* (2007) ประยุกต์แบบจำลองน้ำใต้ดินจำลองการใช้ที่ดิน 3 แบบและการจัดการน้ำในด้านการประหยัดน้ำและผลกระทบต่อน้ำใต้ดินใน Liuyuankou Irrigation System (LIS) ในประเทศจีน โดยใช้แบบจำลอง MODFLOW ในการคำนวณปริมาณน้ำใต้ดินในพื้นที่ย่อย ๆ การเปลี่ยนการไหลระหว่างพื้นที่ย่อยและคำนวณปริมาตรน้ำที่เข้าไปในแบบจำลองแต่ละ time step ผลการจำลอง พบว่าการระเหยลดลงระหว่าง 14.2 และ 45.3% ซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่ศึกษามีแหล่งน้ำผิวดินอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำใต้ดินและมีอัตราการสูบน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น

Seyed Reza SaghraVani and Sa'ari Mustapha (2011) ศึกษาการเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสในน้ำใต้ดินซึ่งเกิดจากการปนเปื้อนของน้ำชะขยะมูลฝอยในพื้นที่หลุมฝังกลบ Seri Petalling ในประเทศมาเลเซีย โดยใช้แบบจำลอง Visual MODFLOW ในการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของมลสารในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินในระยะเวลา 10 ปี พบว่า ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยอยู่ที่ 2.38 mg/l ซึ่งค่ามาตรฐานของฟอสฟอรัสในน้ำใต้ดิน Class IIA/IIB และ III อยู่ที่ 0.1 และ 0.2 mg/l ตามลำดับซึ่งเกินค่ามาตรฐานสูง นั้นแสดงว่าฟอสฟอรัสที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำใต้ดินสามารถเคลื่อนที่และแพร่กระจายออกไปได้ไกลยิ่งขึ้น และสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมนุษย์และสัตว์ได้

Da An *et al.* (2013) ศึกษาการไหลของน้ำใต้ดิน และการเคลื่อนที่ของสารหนูโดยใช้แบบจำลอง Visual Modflow เพื่อคาดการณ์การปนเปื้อน และประเมินผลกระทบจากการปนเปื้อนน้ำใต้ดินของน้ำชะขยะมูลฝอยในพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยทางตะวันออกของประเทศจีน พบว่าสารหนูสามารถเคลื่อนที่ไปยังระบบสูบน้ำในพื้นที่เกษตรที่อยู่ต่ำกว่าได้แต่ต้องใช้เวลามากกว่า 8 ปี และสารหนูสามารถเคลื่อนที่ถึงสูบน้ำใต้ดินได้ลึกที่สุดอยู่ที่ 260 เมตร และสามารถแพร่กระจายออกไปทางด้านข้างได้สูงสุด 200 เมตร ซึ่งวิธีที่ดีที่สุดในการป้องกันการปนเปื้อนน้ำใต้ดินจากน้ำชะขยะมูลฝอยเมื่อเกิดการรั่วไหลออกมาจากหลุมฝังกลบคือ การสร้างพื้นที่รองรับขยะมูลฝอยโดยใช้ดินที่มีความแข็งและเหนียวร่วมกับการสร้างร่องระบายน้ำในพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอย

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาลักษณะการปนเปื้อนน้ำใต้ดินจากน้ำชะขยะมูลฝอย และศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการคาดการณ์ผลกระทบของอ่างเก็บน้ำลำตะคองจากการปนเปื้อนของน้ำชะขยะมูลฝอย และลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน ซึ่งมีวิธีการดำเนินงานเพื่อให้ได้มา ซึ่งข้อมูล ดังนี้

- 3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น
- 3.2 การสำรวจทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน
- 3.3 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน
- 3.4 การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน
- 3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดิน
- 3.6 การจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

ทำการรวบรวมเอกสาร และรายงานที่เกี่ยวข้องทั้งด้านการจัดการขยะมูลฝอย และการจัดการสิ่งแวดล้อม ซึ่งหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน ได้ดำเนินการไปแล้วในอดีต และกำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน สำหรับข้อมูลบางส่วนที่ไม่สามารถรวบรวมได้ จะทำการสำรวจภาคสนามต่อไป โดยข้อมูลต่าง ๆ ที่จะทำการศึกษารวบรวมมีดังนี้ (ตารางที่ 3.1)

- 1) สถานการณ์การจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองปากช่อง
- 2) ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับภูมิประเทศ
- 3) สภาพทางอุทุนิยมวิทยา
- 4) สภาพทางธรณีวิทยา และอุทกธรณีวิทยาทั่วไป
- 5) ตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดิน

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดิน และแหล่งที่มาของข้อมูล

ลำดับ	รายการข้อมูล	ที่มา
1.	สถานการณ์การจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองปากซ่อง	
1.1	ข้อมูลทั่วไปในการจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองปากซ่อง	เทศบาลเมืองปากซ่อง
2.	ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับภูมิประเทศ	
2.1	แผนที่ภูมิประเทศ	กรมแผนที่ทหาร
3.	ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา	
3.1	ข้อมูลฝนรายเดือน รายสถานี	กรมอุตุนิยมวิทยา
4.	ข้อมูลด้านธรณีวิทยา และอุทกวิทยาน้ำใต้ดิน	
4.1	ข้อมูลชนิดของดิน และแผนที่ดิน	กรมพัฒนาที่ดิน
4.2	คุณสมบัติของชั้นน้ำ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
4.3	ผลการสุบทดสอบ และค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำ	ข้อมูลจากภาคสนาม และกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
5.	ตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดิน	
5.1	ข้อมูลตำแหน่ง และระดับน้ำใต้ดิน	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

1) สถานการณ์การจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองปากซ่อง

ข้อมูลทั่วไปในการจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองปากซ่อง ได้แก่ ข้อมูลที่ตั้ง ขนาดพื้นที่ ก่อสร้าง โครงสร้างและการออกแบบหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย ปริมาณขยะมูลฝอยที่รับเข้ามากำจัด จำนวนประชากรที่อยู่ในพื้นที่เขตเทศบาลเมืองปากซ่อง มีการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมและการสำรวจภาคสนามในการจัดทำแผนที่แสดงตำแหน่ง และขอบเขตของหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย

2) ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับภูมิประเทศ

ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับภูมิประเทศ ได้แก่ ข้อมูลสภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ระดับความสูงของพื้นที่ ข้อมูลเหล่านี้ได้จาก กรมแผนที่ทหาร (แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000)

การศึกษาข้อมูลในส่วนนี้เพื่อจะนำไปใช้กำหนด Boundary condition ของแบบจำลอง เช่น ขอบเขตที่มีอัตราการไหลเข้า ขอบเขตที่มีอัตราการไหลออก และขอบเขตที่ไม่มีการไหล

3) ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา และอุทกวิทยาผิวดิน

ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา และอุทกวิทยาผิวดินรวบรวมข้อมูลได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา และกรมชลประทาน ได้แก่ ข้อมูลฝน อัตรการระเหย

ข้อมูลฝนและอัตรการระเหย เป็นข้อมูลพื้นฐานทางอุตุนิยมวิทยาที่ได้จากสถานีตรวจวัดของกรมชลประทานทั้งที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา หรือสถานีใกล้เคียง เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการกำหนดค่า Recharge ของแบบจำลอง

4) ข้อมูลด้านธรณีวิทยาและอุทกวิทยาน้ำใต้ดิน

ข้อมูลด้านธรณีวิทยาและอุทกวิทยาน้ำใต้ดินที่ใช้ในการศึกษา เป็นการวิเคราะห์จากข้อมูลบ่อน้ำใต้ดิน การแบ่งชั้นน้ำใต้ดิน และการทดสอบทางอุทกธรณีวิทยา ซึ่งข้อมูลได้จากกรมทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรน้ำบาดาล รวมทั้งข้อมูลการศึกษาจากภาคสนามของหน่วยงานอื่น

ข้อมูลด้านธรณีวิทยา ได้แก่ ชนิดของดิน คุณสมบัติของดิน และแผนที่ชุดดินในพื้นที่ศึกษานำมาใช้พิจารณาปริมาณการซึมได้ของน้ำซึ่งเป็นการเติมน้ำโดยธรรมชาติให้กับระบบน้ำใต้ดิน ข้อมูลที่ได้จะนำมาประกอบการกำหนดค่า Recharge ของแบบจำลอง

ข้อมูลด้านอุทกวิทยาน้ำใต้ดินรวบรวมได้จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ได้แก่ ระดับน้ำใต้ดิน คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำใต้ดิน เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำรวมถึงอัตราให้น้ำของบ่อน้ำใต้ดินตามส่วนต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา

5) ข้อมูลตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดิน

ข้อมูลตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดินรวบรวมได้จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ได้แก่ ตำแหน่งพิกัดของบ่อน้ำใต้ดิน ระดับน้ำใต้ดิน และผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดินเบื้องต้น

ข้อมูลในข้อ 2) - 5) จะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา

3.2 การสำรวจทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

ข้อมูลที่ใช้ในการหาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินจะประกอบไปด้วย ข้อมูลของพิกัดตำแหน่งที่ถูกต้องแน่นอนของบ่อน้ำใต้ดิน และข้อมูลระดับน้ำใต้ดินในบ่อน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (อย่างน้อย 3 บ่อ ซึ่งมีตำแหน่งจัดตัวเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยมีตำแหน่งของหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยอยู่ในกรอบสามเหลี่ยม) รวมทั้งข้อมูลระยะห่างระหว่างบ่อทั้ง 3 บ่อ ซึ่งได้จากภาพถ่ายเป็นระยะทางบนแผนที่ในโปรแกรม Google Earth

เมื่อมีข้อมูลที่ต้องการทั้งหมดแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาทำการหาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน ในบริเวณพื้นที่ศึกษาตามขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดตำแหน่งของบ่อทั้ง 3 ลงในแผนที่บริเวณสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยให้ถูกต้อง

2) กำหนดระดับน้ำใต้ดินในบ่อ (หน่วยเป็นเมตรเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง; ม.รทก) จากข้อมูลที่วัดได้ให้ถูกต้อง

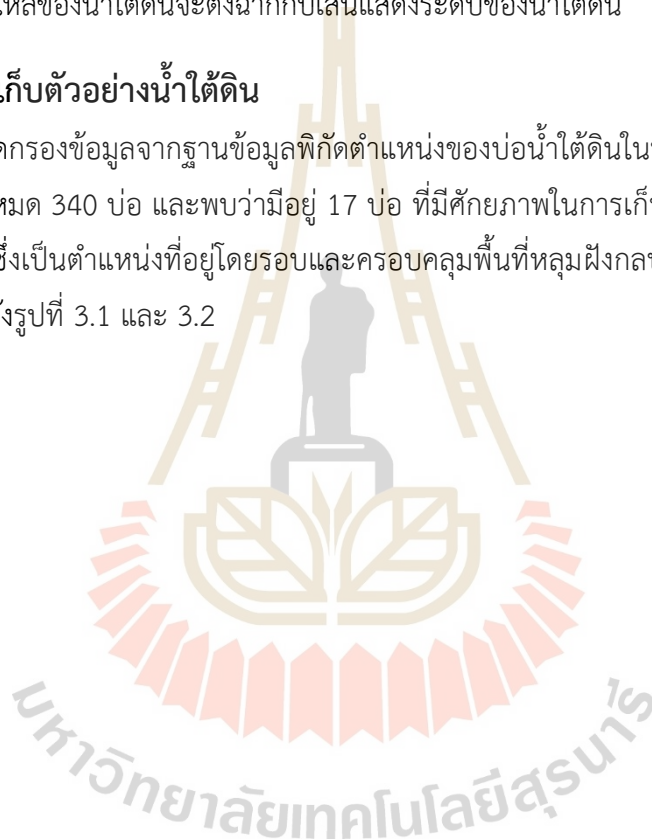
3) จากสมมติฐานที่ว่าน้ำใต้ดินไหลโดยมีค่า Hydraulic Gradient คงที่ ดังนั้นสามารถกำหนดระดับน้ำใต้ดินบนเส้นที่ลากเชื่อมบ่อทั้ง 3 ได้

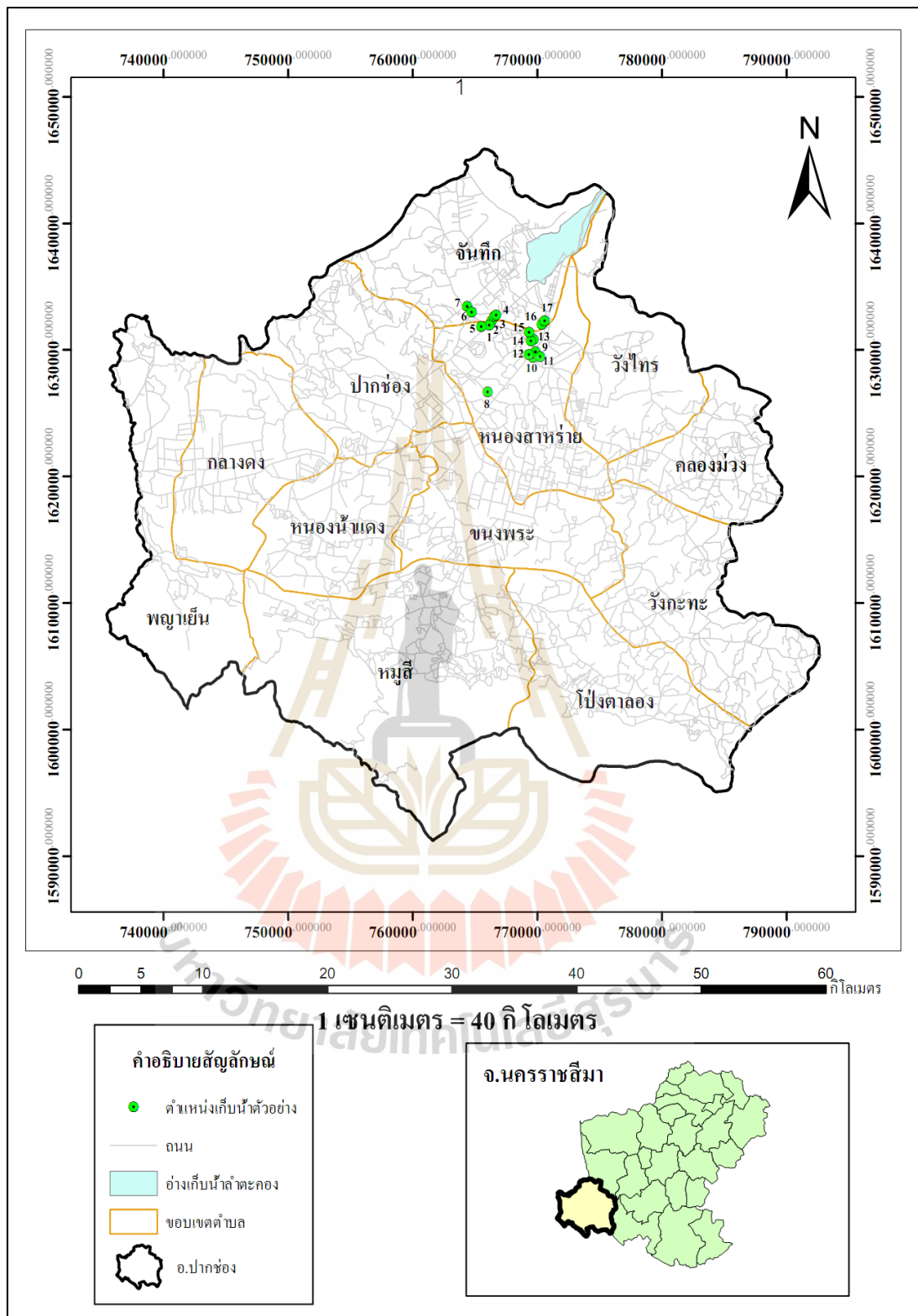
4) ลากเส้นเชื่อมต่อบ่อที่มีระดับน้ำใต้ดินเท่ากัน จะแสดงระดับ (Contour) ของน้ำใต้ดินได้ โดยทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

5) ลากเส้นแนวระดับของน้ำใต้ดินในข้อ 4) จะสามารถกำหนดหาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินได้ โดยทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินจะตั้งฉากกับเส้นแสดงระดับของน้ำใต้ดิน

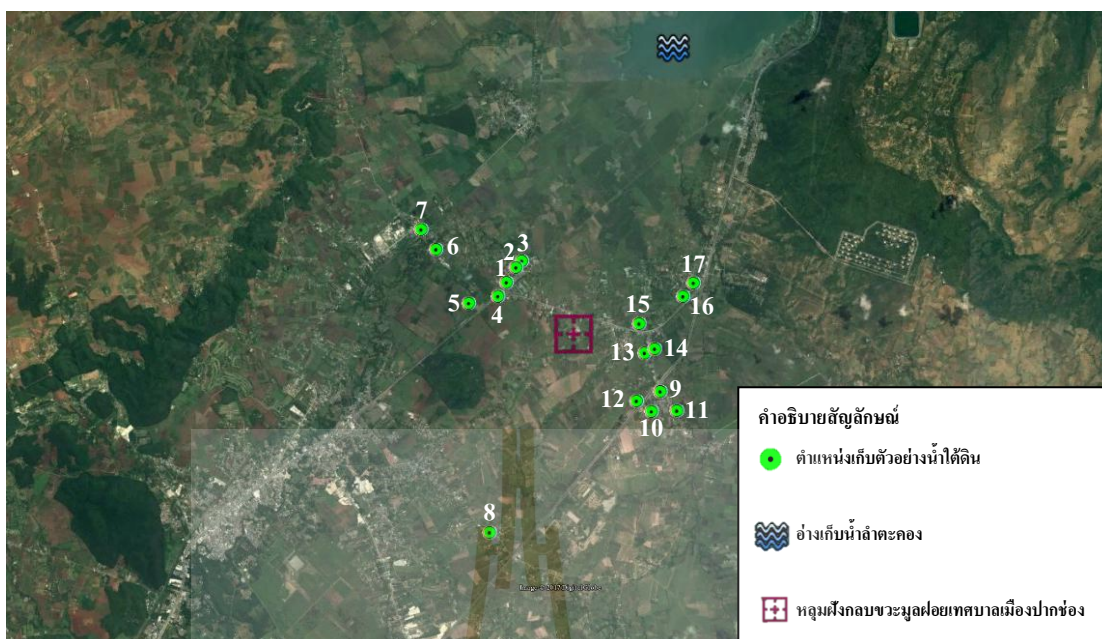
3.3 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน

จากการคัดกรองข้อมูลจากฐานข้อมูลพิกัดตำแหน่งของบ่อน้ำใต้ดินในพื้นที่อำเภอปากช่อง ซึ่งมีบ่อน้ำใต้ดินทั้งหมด 340 บ่อ และพบว่ามียู่ 17 บ่อ ที่มีศักยภาพในการเก็บข้อมูลมาใช้ในการศึกษา (ตารางที่ 3.2) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่โดยรอบและครอบคลุมพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองปากช่อง ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2





รูปที่ 3.1 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในพื้นที่อำเภอปากช่อง



รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายดาวเทียมตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน

ตารางที่ 3.2 ตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดิน ความลึกในการเจาะ และระดับน้ำใต้ดิน

ลำดับ	สถานที่	ความลึกเจาะ (เมตร)	ระดับน้ำใต้ดิน (เมตร)	เครื่องสูบ
1	บ้านท่าออย ซอย 2 ต.จันทึก	18	12	สูบน้ำไฟฟ้า (ปั๊มเมิสซิเบิ้ล)
2	บ้านท่าออย ซอย 5 ต.จันทึก	18	12	สูบน้ำไฟฟ้า (ปั๊มเมิสซิเบิ้ล)
3	บ้านท่าออย ซอย 7 ต.จันทึก	18	12	สูบน้ำไฟฟ้า (ปั๊มเมิสซิเบิ้ล)
4	บ้านท่าออย สวนสุขภาพบ้านท่าออย ต.จันทึก	30	12	สูบน้ำไฟฟ้า (ปั๊มเมิสซิเบิ้ล)
5	แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านพักทหาร	24	11	สูบน้ำไฟฟ้า (ปั๊มเมิสซิเบิ้ล)
6	แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านซั่มม่วง หมู่ 4 ต.จันทึก จุด 1	48	4	สูบน้ำไฟฟ้า (ปั๊มเมิสซิเบิ้ล)

ตารางที่ 3.2 ตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดิน ความลึกในการเจาะ และระดับน้ำใต้ดิน (ต่อ)

ลำดับ	สถานที่	ความลึก เจาะ (เมตร)	ระดับน้ำใต้ดิน (เมตร)	เครื่องสูบ
7	แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านซั่มม่วง หมู่ 4 ต.จันทัก จุด 2	36	4	สูบไฟฟ้า (ซั่มเมิสซิเบิ้ล)
8	วัดหนองไผ่ล้อม บ้านหนองไผ่ล้อม หมู่ 14 ต.หนองสาหร่าย	70	8	สูบไฟฟ้า (ซั่มเมิสซิเบิ้ล)
9	บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 1	54	19	สูบไฟฟ้า (ซั่มเมิสซิเบิ้ล)
10	บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 2	54	19	สูบไฟฟ้า (ซั่มเมิสซิเบิ้ล)
11	บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 3	54	19	สูบไฟฟ้า (ซั่มเมิสซิเบิ้ล)
12	กลุ่มโคกเพชรพัฒนา บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย	54	19	สูบไฟฟ้า (ซั่มเมิสซิเบิ้ล)
13	บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 1	24	10	สูบไฟฟ้า (ซั่มเมิสซิเบิ้ล)
14	บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 2	24	10	สูบไฟฟ้า (ซั่มเมิสซิเบิ้ล)
15	บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 3	20	9	สูบไฟฟ้า (ซั่มเมิสซิเบิ้ล)
16	วัดไตรรัตน์ บ้านหนองคู หมู่ 4 ต.หนองสาหร่าย	28	7	สูบไฟฟ้า (ซั่มเมิสซิเบิ้ล)
17	โรงเรียนไตรรัตน์วิทยาคาร บ้านหนองคู หมู่ 4 ต.หนองสาหร่าย	30	6	สูบไฟฟ้า (ซั่มเมิสซิเบิ้ล)

3.4 การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน

การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินเพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณมลสารที่ปนเปื้อนในตัวอย่างน้ำใต้ดิน จะทำการเก็บตัวอย่างเดือนละ 1 ครั้ง ตลอดระยะเวลา 1 ปี (พฤษภาคม พ.ศ.2557 – เมษายน พ.ศ. 2558) เพื่อพิจารณาแนวโน้มความเข้มข้นของมลสารปนเปื้อนในตัวอย่างน้ำใต้ดิน โดยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างฤดูฝนกับฤดูแล้ง และนำข้อมูลเข้าสู่การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อคาดการณ์ผลกระทบของอ่างเก็บน้ำลำตะคอง จากการปนเปื้อนของน้ำชะขยะมูลฝอย โดยตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินได้ทำการเก็บจากบ่อน้ำใต้ดินที่มีความลึกน้อยกว่า 30 เมตร และบ่อบาดาลที่มีความลึกมากกว่า 30 เมตร ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

3.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำตื้น ที่มีความลึกน้อยกว่า 30 เมตร

มีขั้นตอนการเก็บ ดังนี้

1) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำตื้นของประชาชนที่ได้สำรวจไว้ก่อนแล้ว โดยใช้ Bailer ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 1 เมตร ค่อยๆ หย่อนลงไปใบบ่อ จนกระทั่ง Bailer สัมผัสกับผิวน้ำ รอจนกระทั่งน้ำเต็ม Bailer จึงดึง Bailer ขึ้นมาจากบ่อน้ำตื้น

2) รินตัวอย่างน้ำลงในขวดเก็บตัวอย่างจนระดับน้ำถึงคอขวดไม่ให้มีฟองอากาศ ทำการรักษาสภาพน้ำตัวอย่าง โดยการเติมกรดไนตริก (Nitric acid 65%; HNO_3) 1.5 mL ต่อตัวอย่างน้ำ 1 ลิตรสำหรับใช้วิเคราะห์หาโลหะหนัก (Cadmium, lead, mercury, nickel) เป็นการป้องกันการดูดซับไอออนที่ผิวภาชนะบรรจุและการตกตะกอน และรินตัวอย่างน้ำใส่ขวดเก็บตัวอย่าง ขนาด 1 ลิตร จนระดับน้ำเต็มขวด เพื่อวิเคราะห์หาพารามิเตอร์อื่นๆ (ของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายน้ำ และคลอไรด์) โดยตัวอย่างน้ำทุกตัวอย่างต้องปิดฝาให้สนิท

3) บรรจุตัวอย่างน้ำ ลงในกล่องโฟม เติมน้ำแข็งเพื่อรักษาสภาพน้ำตัวอย่าง แล้วนำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อดำเนินการวิเคราะห์ต่อไป เพื่อลดการทำงานของจุลินทรีย์ และลดอัตราเร็วของการเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี

4) ตัวอย่างน้ำสำหรับการวิเคราะห์ภาคสนาม (ความเป็นกรดต่าง ค่าการนำไฟฟ้า และอุณหภูมิ) รินตัวอย่างน้ำจาก Bailer ใส่ลงในขวดเก็บตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์ทันที โดยใช้เครื่อง Multi-parameter analyzer

3.4.2 การเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำใต้ดินที่มีความลึกมากกว่า 30 เมตร

มีขั้นตอนการเก็บ ดังนี้

1) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำใต้ดินโดยเปิดปั๊มให้ทำงานทิ้งไว้ก่อน จากนั้นเปิดก๊อกให้ไหลออกมาประมาณ 5 นาที แล้วทำการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินลงในขวดเก็บตัวอย่าง

2) ค่อยๆ รินตัวอย่างน้ำใส่ลงในขวดเก็บตัวอย่างจนระดับน้ำถึงคอขวด ไม่ให้มีฟองอากาศ ทำการรักษาสภาพน้ำตัวอย่าง โดยการเติมกรดไนตริก (Nitric acid 65%; HNO_3) 1.5 mL ต่อตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร เพื่อวิเคราะห์หาโลหะหนัก (Cadmium, Lead, Mercury, Nickel) เป็นการป้องกันการดูดซับไอออนที่ผิวภาชนะบรรจุและการตกตะกอน จากนั้นรินตัวอย่างน้ำใส่ขวดเก็บตัวอย่าง ขนาด 1 ลิตร จนระดับน้ำเต็มขวด เพื่อวิเคราะห์หาพารามิเตอร์อื่นๆ (Total solids, total dissolved solids, chloride) โดยตัวอย่างน้ำทุกตัวอย่างต้องปิดฝาให้สนิทและแช่เย็นด้วยน้ำแข็ง เพื่อลดการทำงานของจุลินทรีย์ และลดอัตราเร็วของการเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี

3) บรรจุตัวอย่างน้ำลงในกล่องโฟม เติมน้ำแข็งเพื่อรักษาสภาพน้ำ แล้วนำส่งห้องปฏิบัติการเพื่อดำเนินการวิเคราะห์ต่อไป

4) ตัวอย่างน้ำสำหรับการวิเคราะห์ภาคสนาม (pH, conductivity) รินตัวอย่างน้ำ ใส่ลงในขวดเก็บตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์ทันที โดยใช้เครื่อง Multi-parameter analyzer

3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดิน

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดินจะทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 10 พารามิเตอร์ ดังตารางที่ 3.3 ซึ่งแต่ละพารามิเตอร์จะเป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำใต้ดินโดยอ้างอิงมาจากมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 12, 2542) รวมถึงคุณสมบัติและองค์ประกอบหลักของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบมูลฝอยในประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) เพื่อเป็นตัวชี้วัดคุณลักษณะของการปนเปื้อนน้ำใต้ดินของน้ำชะขยะมูลฝอย

ตารางที่ 3.3 วิธีการรักษาสภาพตัวอย่างน้ำ และวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดิน

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ภาชนะบรรจุ	ปริมาตรที่ใช้ (ml)	การรักษาสภาพตัวอย่าง	ระยะเวลาเก็บรักษาตัวอย่าง	วิธีวิเคราะห์	หน่วย
pH	P,G	50	-	-	วิเคราะห์ทันที Electrometric Method (4500-H ⁺ -B)	-
Conductivity	P,G	50	-	-	วิเคราะห์ทันที Electrometric Method (4500-H ⁺ -B)	μs/cm
Suspended solid	P,G	200	แช่เย็นที่ 4°C	7 วัน	Total Solids Dried at 103-105°C (2540-D)	mg/L
Total dissolved solids	P,G	200	แช่เย็นที่ 4°C	7 วัน	Total Dissolved Solids Dried at 180 °C (2540-C)	mg/L
Chloride	P,G	100	แช่เย็นที่ 4°C	28 วัน	Argentometric Method (4500-Cl ⁻ -B)	mg/L
Lead	P(A)	500	เติม HNO ₃ ให้ได้ pH <2 และแช่เย็นที่ 4°C	6 เดือน	Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer (GFAAS) (3113-B)	mg/L
Cadmium	P(A)	500	เติม HNO ₃ ให้ได้ pH <2 และแช่เย็นที่ 4°C	6 เดือน	Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer (GFAAS) (3113-B)	mg/L
Nickel	P(A)	500	เติม HNO ₃ ให้ได้ pH <2 และแช่เย็นที่ 4°C	6 เดือน	Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer (GFAAS) (3113-B)	mg/L
Mercury	P(A)	500	เติม HNO ₃ ให้ได้ pH <2 และแช่เย็นที่ 4°C	28 วัน	Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometer (HGAAS) (3114-C)	mg/L

ที่มา: Standard method for the examination of water and wastewater 21st Edition, 2005

หมายเหตุ : P = Plastic (Polyethylene or equivalent)

G = Glass

P(A) = ล้างด้วย 1+1 HNO₃

3.6 การจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน

3.6.1 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง

การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวม ศึกษาและสำรวจเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้เข้าใจถึงระบบทางกายภาพและกระบวนการทางอุทกธรณีวิทยาของแหล่งน้ำใต้ดินนั้นๆ ข้อมูลที่ใช้ในการทำแบบจำลองน้ำใต้ดินประกอบด้วยข้อมูลที่แสดงถึงลักษณะทางกายภาพและพารามิเตอร์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ได้แก่

1) ข้อมูลระดับพื้นผิวของพื้นที่ศึกษา (Ground surface elevation) ใช้ข้อมูลเส้นชั้นระดับภูมิประเทศ (Topographic Contour) ซึ่งได้จากค่าโมเดลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (DEM) ของกรมแผนที่ทหาร

2) ระดับความลึกของชั้นหินแข็ง (Base elevation) ใช้ข้อมูลชั้นดินและชั้นหิน จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

3) ลักษณะขอบเขตการแผ่กระจายของชั้นหินอุ้มน้ำ ใช้ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมและวิเคราะห์จากแผนที่ธรณีวิทยา แผนที่อุทกธรณีวิทยา การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์และข้อมูลจากการเจาะสำรวจจากบ่อน้ำใต้ดินและบ่อสังเกตการณ์

4) คุณสมบัติด้านชลศาสตร์ของชั้นน้ำใต้ดิน (Hydraulic Properties of Aquifer) ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity, K) ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity, T) ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage Coefficient, S) ค่าการกักเก็บเฉพาะ (Specific Storage, S_s) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆสามารถวิเคราะห์และคำนวณได้ดังนี้

4.1) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity, K) ค่าความนำชลศาสตร์สามารถหาค่าได้จากการสูบทดสอบ (Pumping test) ซึ่งวิธีการสูบทดสอบสามารถกระทำได้ในระบบบ่อน้ำใต้ดินเดี่ยวหรือหลายบ่อ หลักการสูบทดสอบคือ บ่อสูบจะถูกสูบด้วยอัตราสูบที่สม่ำเสมอ และทำการวัดระดับที่ลดลงในบ่อน้ำใต้ดินใกล้เคียง โดยจะทำการสูบทดสอบจนกว่าระดับในบ่อจะถึงภาวะคงตัวของระดับน้ำ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ผลของการสูบทดสอบจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity, T) แล้วนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity, K) ในสมการของ Logan (1964) ดังนี้

$$T = 1.22 \frac{Q}{S}$$

$$S = Q/s$$

เมื่อ T = ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ, (m^2/sec)

S = ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำ

Q = อัตราการสูบน้ำ, (m^3/sec)

s = ระยะน้ำลาดที่เกิดขึ้นในบ่อ, (m)

$$T = Kb = \frac{Q \ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)}{2\pi(h_0 - h_i)}$$

$$Q = \frac{2\pi Kb(h_0 - h_i)}{\ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)}$$

เมื่อ T = ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ, (m^2/sec)

K = ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน, (m/sec)

b = ความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ, (m)

Q = อัตราการสูบน้ำ, (m^3/sec)

r_i = ระยะห่างของบ่อสูบ (m)

h_i = ระดับน้ำ (m)

4.2) ค่าการกักเก็บเฉพาะ (Specific Storage, S_s) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$S_s = S/bP$$

เมื่อ S_s = ค่าการกักเก็บเฉพาะ (m^{-1})

S = ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ

b = ความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ, (m)

P = ความพรุน

5) ระดับน้ำใต้ดินเริ่มต้น (Initial Head) ค่าระดับน้ำเริ่มต้นของทุกชั้นน้ำ จะใช้ค่าระดับน้ำใต้ดินที่วัดได้ในภาคสนามในปี พ.ศ. 2556 ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ซึ่งค่าที่ได้จะนำไปใช้ในแบบจำลองในสถานะที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และสถานะที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

6) อัตราการเติมน้ำ (Recharge Rate) การเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินเป็นการเติมน้ำจากปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ผ่านชั้นดินลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน อัตราการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินพิจารณาจากปริมาณฝนเฉลี่ยและอัตราการซึมผ่านของน้ำฝนตามชนิดของกลุ่มชุดดิน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$R = p \times r$$

$$r = 0.24K + 3.2$$

เมื่อ R = อัตราการเติมน้ำ, (mm/year)

p = ปริมาณฝนเฉลี่ยต่อปีในพื้นที่, (mm/year)

K = ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน, (m/year)

r = อัตราการซึมผ่านของน้ำในชุดดิน

7) อัตราการใช้น้ำใต้ดิน (Pumping rate) ข้อมูลการใช้น้ำใต้ดินได้จากข้อมูลการเจาะบ่อบาดาลบ่อน้ำใต้ดินของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลท้องถิ่น ข้อมูลที่ต้องใช้ในแบบจำลองรวมถึงตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดิน ระดับและช่วงความลึกของท่อกรองปริมาณน้ำที่สูบและช่วงวันเวลาที่สูบน้ำขึ้นมาใช้

8) การประเมินอัตราการใช้น้ำใต้ดิน การศึกษาปริมาณการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา ได้พิจารณาลักษณะและพฤติกรรม ของการใช้น้ำแต่ละประเภทจากแบบสอบถามในภาคสนาม เพื่อสรุปเป็นอัตราการใช้น้ำในพื้นที่ศึกษาแต่ละช่วงเวลา ซึ่งรูปแบบการใช้น้ำที่ได้จากการศึกษานี้จะถูกพัฒนาไปเป็นชุดการคำนวณการสูบน้ำ (Well package) ในแบบจำลอง MODFLOW การใช้น้ำใต้ดินที่ได้จึงเป็นตัวกำหนดการดึงน้ำจากชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา จากบ่อน้ำใต้ดินจำนวน 17 บ่อ โดยพฤติกรรมการใช้น้ำใต้ดินในแต่ละบ่อ จำแนกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ การใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค และการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรม ในแต่ละส่วนจะมีวิธีการพิจารณาที่แตกต่างกัน โดยการประเมินด้านการใช้น้ำใต้ดินทั้ง 2 ส่วน ดังนี้

8.1) การใช้น้ำใต้ดินเพื่อการอุปโภค บริโภค การศึกษาการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค จำแนกเป็น 2 ส่วน คือการใช้น้ำในเขตชุมชนซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่บริการของการประปาภูมิภาค ประปาเทศบาล หรือระบบประปาสัมปทาน และส่วนที่สองคือพื้นที่นอกเขตชุมชนซึ่งใช้น้ำฝน ระบบประปาหมู่บ้าน และบ่อน้ำใต้ดินส่วนตัวเป็นแหล่งน้ำ

8.2) การใช้น้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรม การประเมินปริมาณการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรมเป็นส่วนที่มีความสำคัญมาก และการสืบค้นข้อมูลมีความยากอย่างยิ่ง เนื่องจากไม่มีระบบข้อมูลใดที่จะใช้เป็นฐานในการพิจารณาได้ อีกทั้งการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรมก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ หลายประการ เช่น ปริมาณฝน น้ำชลประทานความสำคัญของการศึกษาในส่วนนี้จึงอยู่ที่การกำหนดกรอบการพิจารณา ให้มีความสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงภายใต้ข้อจำกัดของการรวบรวมข้อมูล

3.6.2 การสร้างแบบจำลอง

การจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาเป็นการประมวลผลข้อมูลทั้งหมดด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะทำการคำนวณและจำลองการไหลของน้ำใต้ดินโดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW วิธีการการจัดทำแบบจำลอง มีขั้นตอนการจัดทำทั้งหมด 6 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 7.4 ดังต่อไปนี้

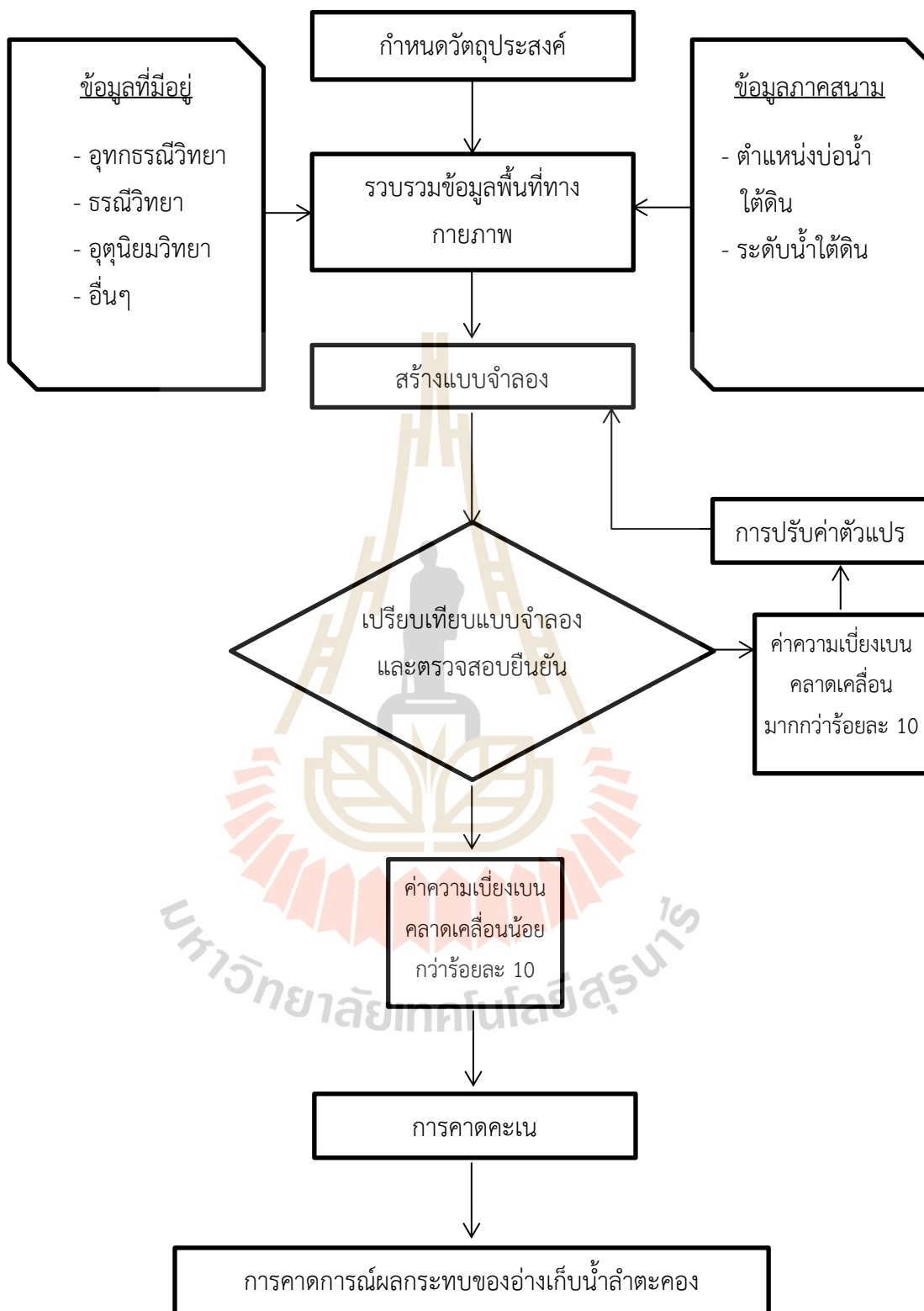
1) กำหนดวัตถุประสงค์ วัตถุประสงค์ของแบบจำลองในการศึกษานี้ เพื่อจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินบริเวณโดยรอบของพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองปากช่อง

2) รวบรวมข้อมูลพื้นที่ทางกายภาพ ได้แก่ ข้อมูลทางธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา คุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยา สภาพการไหลของน้ำใต้ดิน ขอบเขตแหล่งน้ำใต้ดิน

3) การสร้างแบบจำลอง จะดำเนินการโดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นหน่วยเล็ก ๆ (Discretization) ออกแบบขนาดของพื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือกริดเซลล์ (Grid cell) เลือกขั้นตอนของเวลา (Time Step) ขอบเขตของพื้นที่และชั้นหิน (Boundary conditions) และค่าตัวแปรเบื้องต้นในการเริ่มจำลองหรือคำนวณการกระจายค่าแรงดันของน้ำ (Hydraulic heads) โดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW หลังจากนั้นนำแบบจำลองของ MODFLOW มาดำเนินการจำลองการแพร่กระจายของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน ซึ่งได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล และปรอท โดยใช้โปรแกรม MT3DMS เป็นเครื่องมือในการจำลอง

การจำลองการแพร่กระจายโลหะหนักในน้ำใต้ดินโดยใช้โปรแกรม MT3DMS จะดำเนินการโดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Distribution coefficient, K_d) เท่ากับ 1×10^{-6} ลิตรต่อมิลลิกรัม เนื่องจากโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด มีคุณสมบัติของสารมลพิษจัดอยู่ในกลุ่มในกลุ่มที่ค้ำจนถึงคุณสมบัติการเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ (Advective – dispersive transport) และกำหนดค่าปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด โดยนำข้อมูลมาจากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดิน

4) การเปรียบเทียบแบบจำลองและตรวจสอบยืนยัน การปรับค่าตัวแปรในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถให้ผลการคำนวณสอดคล้องกับค่าระดับน้ำที่วัดได้ ระหว่างการปรับเทียบตั้งค่าพารามิเตอร์ และปริมาณการสูบน้ำ จะทำการปรับค่าจนแบบจำลองคณิตศาสตร์นี้สามารถบรรลุเป้าหมายในการให้ผลการคำนวณระดับน้ำได้สอดคล้องกับค่าระดับน้ำที่วัดได้อย่างสมเหตุสมผล ตัวแปรหลักของการปรับค่าตัวแปรในแบบจำลอง ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน อัตราการเติมน้ำ และสัมประสิทธิ์การกักเก็บ ซึ่งการปรับเทียบสามารถกระทำได้โดยการสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าระดับน้ำใต้ดินที่วัดได้ กับค่าระดับน้ำใต้ดินที่คำนวณได้จากแบบจำลอง ในการศึกษาครั้งนี้ถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การปรับเทียบแบบไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Steady State Calibration) และการปรับเทียบเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Transient Calibration) การปรับเทียบได้ดำเนินการโดยใช้วิธีลองถูกลองผิด (Trial and Error Method) และพิจารณาค่าผิดพลาดจากการปรับเทียบแบบจำลองในรูปแบบของค่าความเบี่ยงเบนคลาดเคลื่อน (Normalized RMS) ซึ่งเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับต้องน้อยกว่าร้อยละ 10



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลอง

การไหลในสภาวะไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ใช้ข้อมูลระดับน้ำใต้ดินที่เป็นตัวแทนของสภาวะคงตัว ซึ่งอาจใช้ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยรายปี หรือค่าเฉลี่ยระดับน้ำเดือนใดเดือนหนึ่ง จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาลได้

เมื่อแบบจำลองผ่านการปรับเทียบและตรวจสอบยืนยันได้ตามเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้แล้ว ค่าของระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองจะถูกนำไปใช้ในการคาดคะเนทิศทางและระยะทางการเคลื่อนที่ของโลหะหนัก ส่วนค่าความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลองจะถูกนำไปใช้ในการคาดคะเนการแพร่กระจายของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ในระยะเวลาที่กำหนด ต่อไป

5) การคาดคะเน เป็นขั้นตอนของการคำนวณหาทิศทาง ระยะทางการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน และการแพร่กระจายของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน จากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองปากช่องเมื่อระยะเวลาผ่านไป โดยกำหนดระยะเวลาของการคาดคะเนผลที่จะเกิดขึ้นในกรณีที่มีการใช้หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยต่อเป็นระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2562) 10 ปี (พ.ศ. 2567) 15 ปี (พ.ศ. 2572) และ 20 ปี (พ.ศ. 2577)

6) การคาดการณ์ผลกระทบของอ่างเก็บน้ำลำตะคอง เป็นการนำผลการจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินบริเวณหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองปากช่อง โดยพิจารณาจากทิศทาง และระยะทางการเคลื่อนที่ของโลหะหนักไปสู่อ่างเก็บน้ำลำตะคองหรือบ่อน้ำใต้ดินที่ตั้งอยู่บริเวณใกล้เคียง

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการอภิปรายผล

การศึกษาคุณลักษณะการปนเปื้อนน้ำใต้ดินของน้ำชะขยะมูลฝอย และศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการคาดการณ์ผลกระทบของอ่างเก็บน้ำลำตะคองจากการปนเปื้อนของน้ำชะขยะมูลฝอย และลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน

4.1 การสำรวจทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

พื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองปากช่องเป็นพื้นที่ซึ่งทำการศึกษาลักษณะการปนเปื้อนและลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน จากการลงพื้นที่สำรวจบ่อน้ำใต้ดิน พบว่ามีอยู่ 17 บ่อ ที่มีศักยภาพในการเก็บข้อมูลมาใช้ในการศึกษา (ตารางที่ 4.1) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่โดยรอบและครอบคลุมพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองปากช่อง

พื้นที่ศึกษามีขนาดประมาณ 10,400 ตารางเมตร บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในพื้นที่ครอบคลุมโดยรอบหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย ดังนี้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือจำนวน 7 บ่อ ทิศใต้จำนวน 1 บ่อ ทิศตะวันออกเฉียงใต้จำนวน 4 บ่อ ทิศตะวันออกจำนวน 2 บ่อ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 3 บ่อ ทั้งนี้บ่อที่ 4, 10 และ 16 อยู่ในเกณฑ์การหาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน โดยมีตำแหน่งของหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยอยู่ในกรอบสามเหลี่ยม นำมาคำนวณหาระดับน้ำที่ได้เทียบกับระดับน้ำทะเลเพื่อหาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินภายในพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองปากช่อง ดังแสดงในรูปที่ 4.1

การคำนวณหาระดับน้ำที่ได้เทียบกับระดับน้ำทะเล
ระดับน้ำที่ได้เทียบกับระดับน้ำทะเล (เมตร) = ความสูงจากระดับน้ำทะเล (เมตร) - ระยะจากปากบ่อถึงผิวน้ำ (เมตร)

ตำแหน่งที่ 5

$$\text{ระดับน้ำที่ได้เทียบกับระดับน้ำทะเล (เมตร)} = 296 - 11 = 285 \text{ เมตร (รทก.)}$$

ตำแหน่งที่ 10

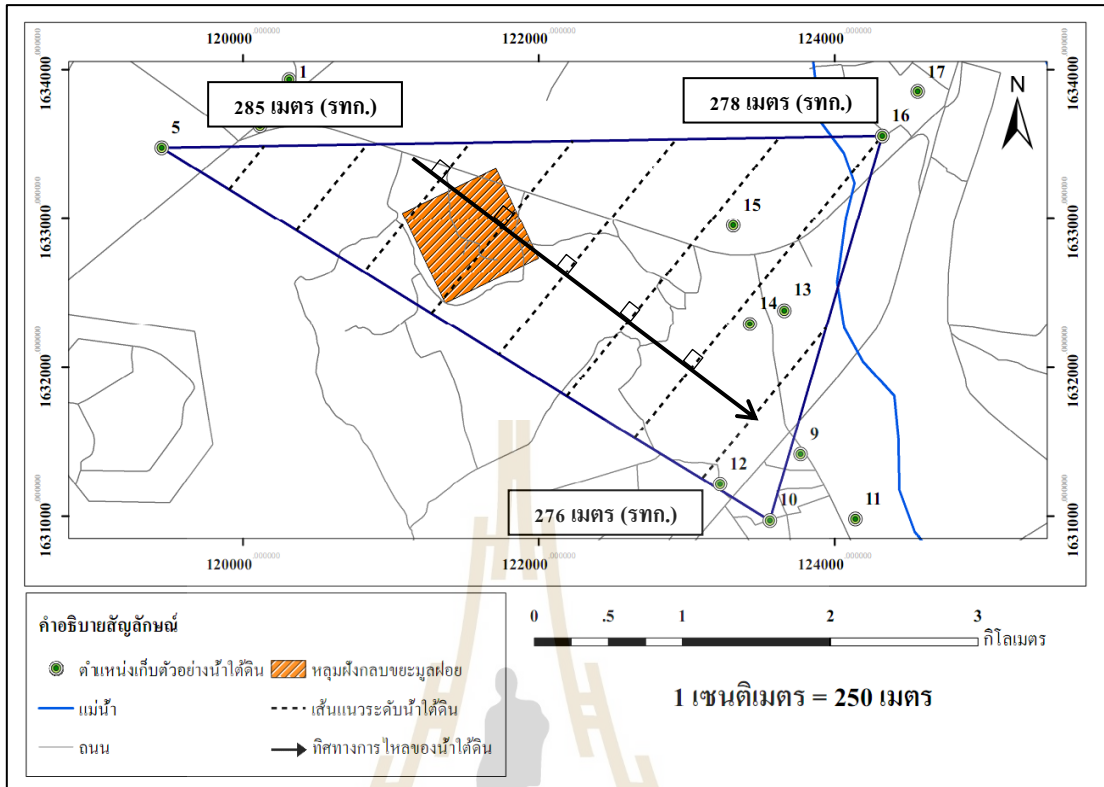
$$\text{ระดับน้ำที่ได้เทียบกับระดับน้ำทะเล (เมตร)} = 295 - 19 = 276 \text{ เมตร (รทก.)}$$

ตำแหน่งที่ 16

$$\text{ระดับน้ำที่ได้เทียบกับระดับน้ำทะเล (เมตร)} = 285 - 7 = 278 \text{ เมตร (รทก.)}$$

ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดิน ความลึกในการเจาะ และระยะจากปากบ่อถึงผิวน้ำ

ตำแหน่ง	พิกัด X	พิกัด Y	สถานที่	ความลึกเจาะ (เมตร)	ระยะจากปากบ่อถึงผิวน้ำ (เมตร)	ความสูงจากระดับน้ำทะเล (เมตร)
1	766375	1632424	บ้านท่างอย ซอย 2 ต.จันทิก	18	12	293
2	766589	1632764	บ้านท่างอย ซอย 5 ต.จันทิก	18	12	290
3	766717	1632912	บ้านท่างอย ซอย 7 ต.จันทิก	18	12	283
4	766188	1632110	บ้านท่างอย สวนสุขภาพบ้านท่างอย ต.จันทิก	30	12	293
5	765527	1631946	แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านพักทหาร	24	11	296
6	764426	1633594	แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านซั่มม่วง หมู่ 4 ต.จันทิก จุด 1	48	4	290
7	764769	1633150	แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านซั่มม่วง หมู่ 4 ต.จันทิก จุด 2	36	4	287
8	766056	1626797	วัดหนองไผ่ล้อม บ้านหนองไผ่ล้อม หมู่ 14 ต.หนองสาหร่าย	70	8	324
9	769894	1630005	บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 1	54	19	292
10	769699	1629555	บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 2	54	19	295
11	770275	1629579	บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 3	54	19	289
12	769356	1629788	กลุ่มโคกเพชรพัฒนา บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย	54	19	290
13	769757	1630966	บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 1	24	10	285
14	769529	1630869	บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 2	24	10	283
15	769399	1631528	บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 3	20	9	282
16	770388	1632154	วัดไตรรัตน์ บ้านหนองคู หมู่ 4 ต.หนองสาหร่าย	28	7	285
17	770620	1632459	โรงเรียนไตรรัตน์วิทยาคาร บ้านหนองคู หมู่ 4 ต.หนองสาหร่าย	30	6	286

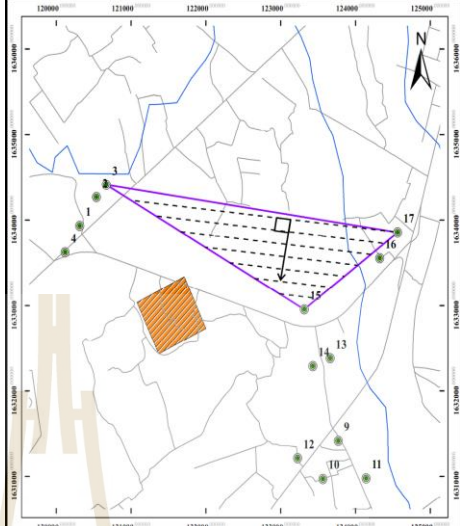
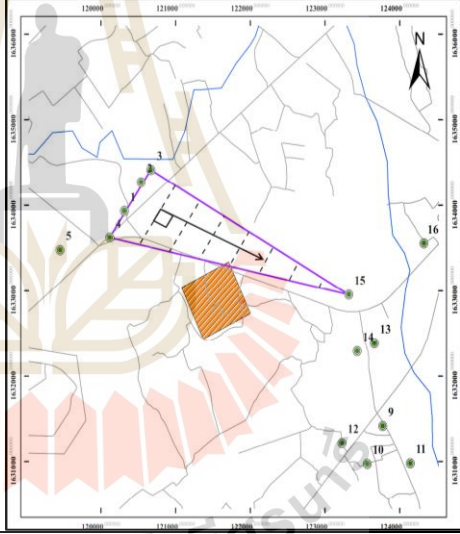
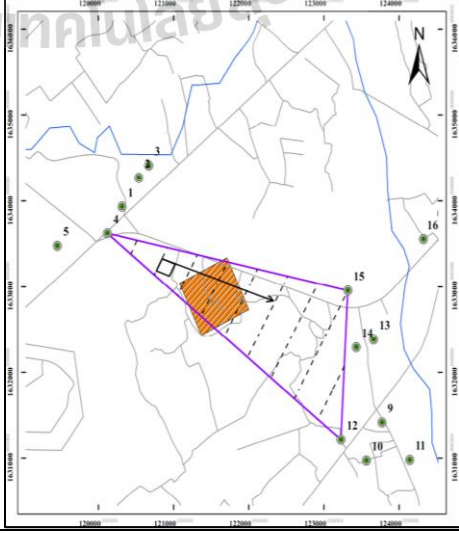


รูปที่ 4.1 ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินภายในพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองปากช่อง

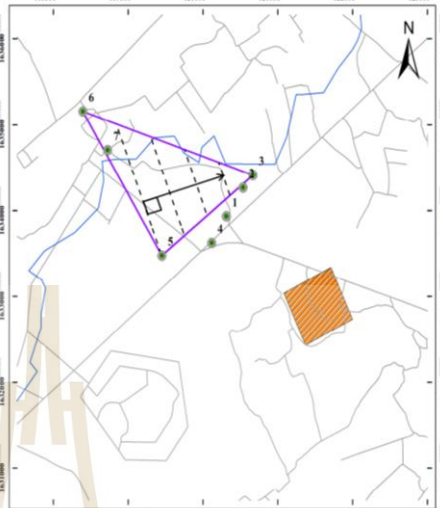
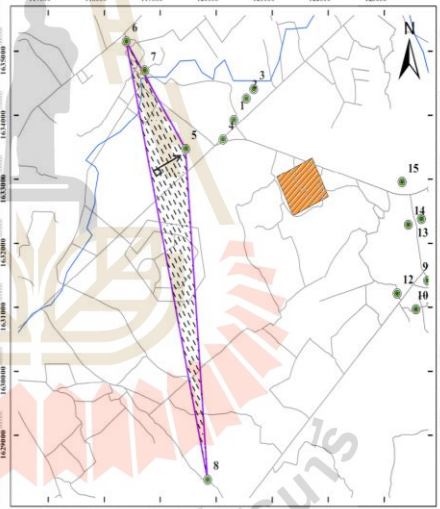
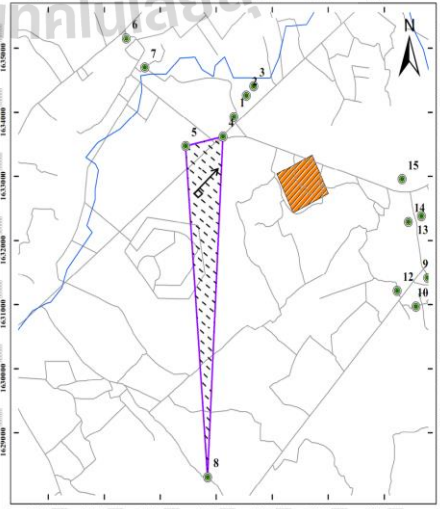
การวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน พบว่าการไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งอยู่ในแนวที่ตั้งของบ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 9, 10, 11 และ 12 โดยมีบ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 ตั้งอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอย

การหาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินโดยใช้ตำแหน่งของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 11 บ่อ เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ใช้วิธีการสร้างแผนที่ระดับน้ำใต้ดินแบบสามเหลี่ยม ซึ่งสามารถสร้างรูปสามเหลี่ยมได้ทั้งหมด 12 รูป ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

ลำดับ	ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน	แผนที่ระดับน้ำใต้ดิน	ทิศทางการไหล
1	3, 15 และ 17		ทิศใต้
2	3,4 และ 15		ทิศตะวันออก เฉียงใต้
3	4, 12 และ 15		ทิศตะวันออก เฉียงใต้

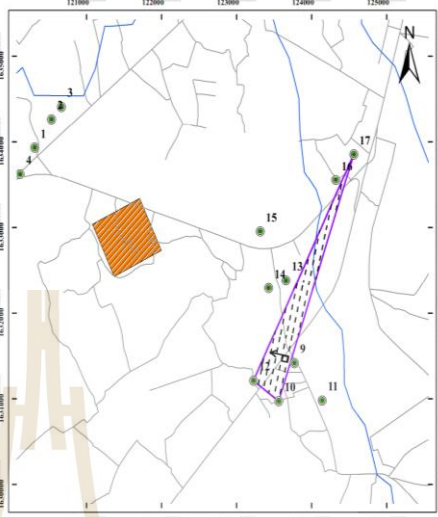
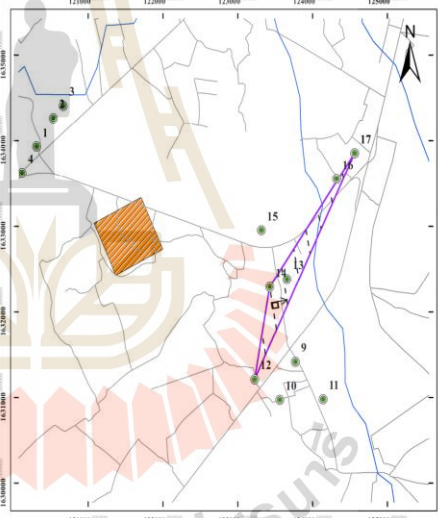
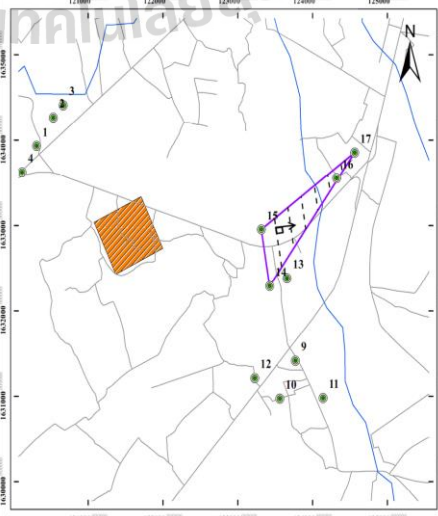
ตารางที่ 4.2 ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (ต่อ)

ลำดับ	ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน	แผนที่ระดับน้ำใต้ดิน	ทิศทางการไหล
4	3, 5 และ 6		ทิศตะวันออก เฉียงเหนือ
5	5, 6 และ 8		ทิศตะวันออก เฉียงเหนือ
6	4, 5 และ 8		ทิศตะวันออก เฉียงเหนือ

ตารางที่ 4.2 ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (ต่อ)

ลำดับ	ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน	แผนที่ระดับน้ำใต้ดิน	ทิศทางการไหล
7	4, 8 และ 12		ทิศตะวันออก เฉียงเหนือ
8	8, 11 และ 12		ทิศตะวันออก เฉียงเหนือ
9	10, 11 และ 17		ทิศตะวันออก เฉียงใต้

ตารางที่ 4.2 ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (ต่อ)

ลำดับ	ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน	แผนที่ระดับน้ำใต้ดิน	ทิศทางการไหล
10	10, 12 และ 17		ทิศตะวันตก
11	12, 14 และ 17		ทิศตะวันออก
12	14, 15 และ 17		ทิศตะวันออก

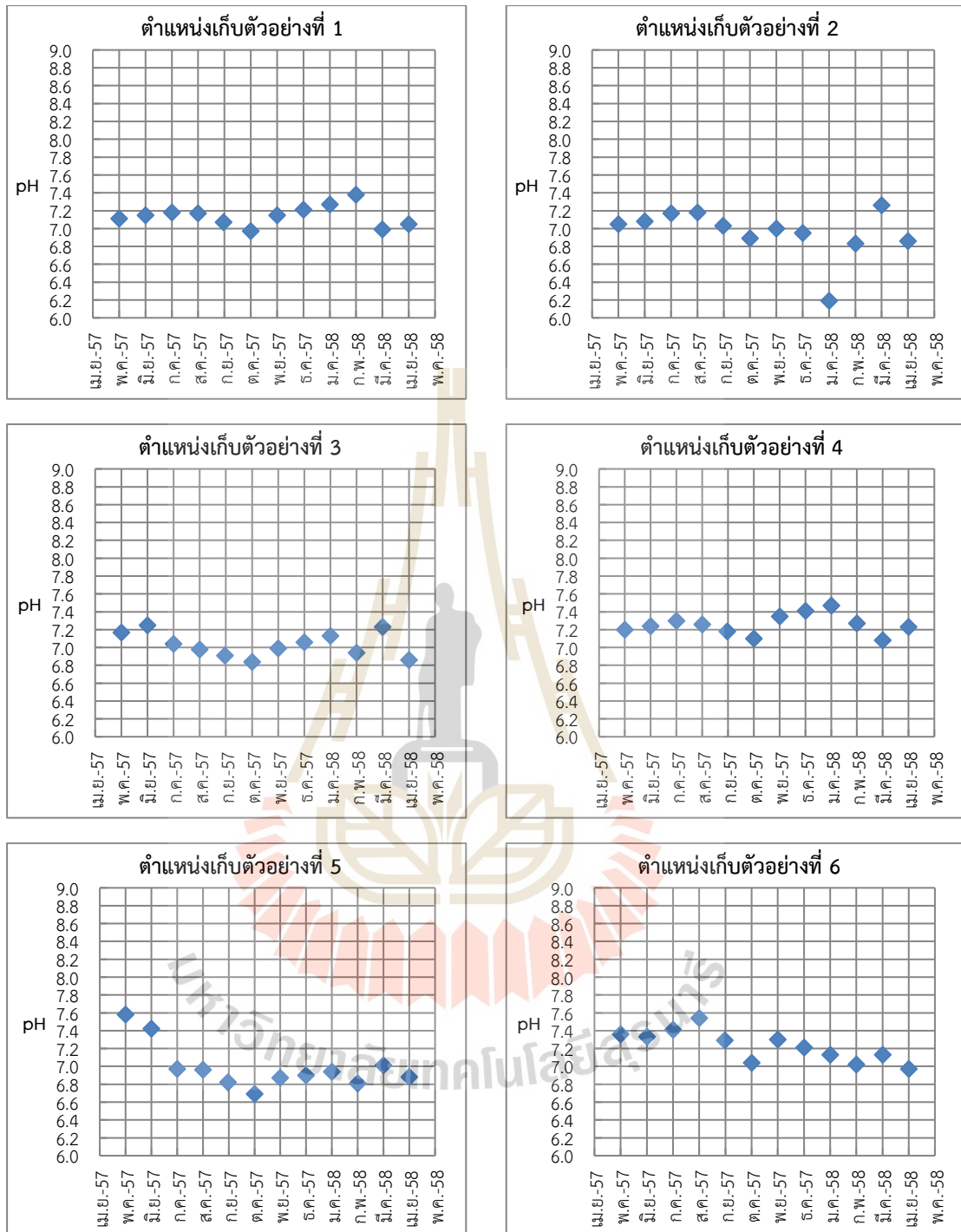
พบว่า แผนที่ระดับน้ำใต้ดินในลำดับที่ 1, 4, 5, 6, 7 และ 8 มีทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเข้าสู่พื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอย ซึ่งแผนที่ระดับน้ำใต้ดินที่ตั้งอยู่บริเวณหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย (ลำดับที่ 2 และ 3) มีทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับแผนที่ระดับน้ำใต้ดินรูปที่ 4.1 ส่วนแผนที่ระดับน้ำใต้ดินลำดับที่ 11 และ 12 เป็นส่วนต่อเนื่องจากการไหลของน้ำใต้ดินซึ่งมาจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยโดยมีทิศทางการไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงของพื้นที่ศึกษา ส่วนแผนที่ระดับน้ำใต้ดินลำดับที่ 10 นั้นมีทิศทางการไหลสวนทางกับทิศทางการไหลที่มาจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย โดยมีทิศทางการไหลในทิศตะวันตก ซึ่งอาจทำให้ทิศทางการไหลมีการเปลี่ยนแปลงไปทางทิศเหนือได้ แต่เนื่องจากแผนที่ระดับน้ำใต้ดินลำดับที่ 9 ซึ่งเป็นส่วนต่อเนื่องมีทิศทางการไหลทางทิศตะวันออกเฉียงใต้จึงอาจส่งผลให้ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินอยู่ในทางทิศตะวันออกเฉียงซึ่งเป็นตำแหน่งที่ตั้งของบ่อน้ำใต้ดินในตำแหน่งที่ 9, 10, 11, 12, 13, 14 และ 15

4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดิน

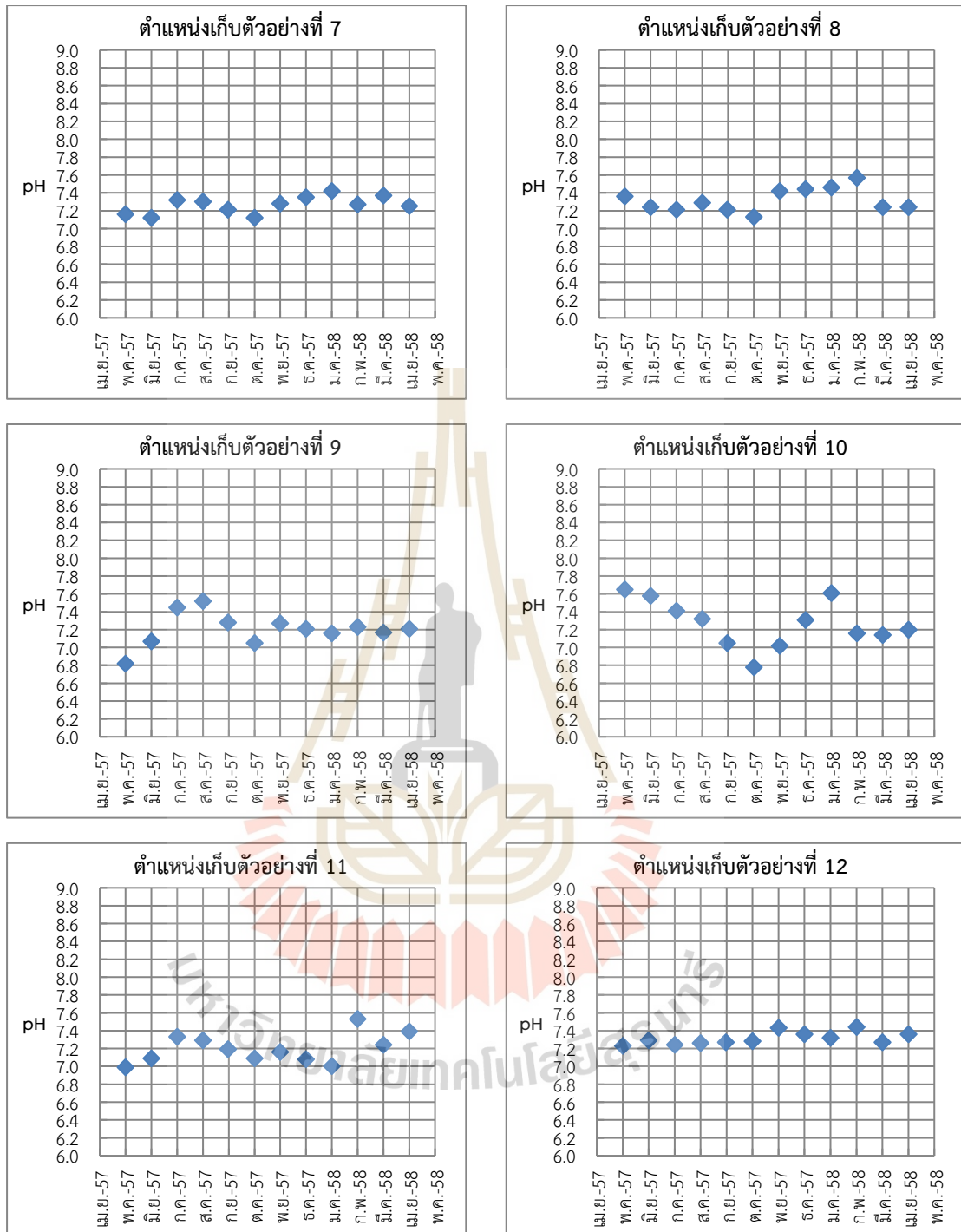
การวิเคราะห์คุณภาพตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำใต้ดินทั้งหมด 17 บ่อ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุกเดือนเพื่อทำการวิเคราะห์รวม 12 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ซึ่งทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 9 พารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) อุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้า ของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายน้ำ คลอไรด์ นิกเกิล แคดเมียม ตะกั่ว และปรอท ซึ่งการวิเคราะห์ธาตุโลหะหนัก โดยใช้เครื่อง Microwave Digestion (Multiwave 3000) ในการเตรียมตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer (PinAAcle 900Z) สำหรับนิกเกิล แคดเมียม และตะกั่ว และเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer – Hydride Generator (PinAAcle 900F) สำหรับวิเคราะห์สารปรอท

4.2.1 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด - ต่าง (pH)

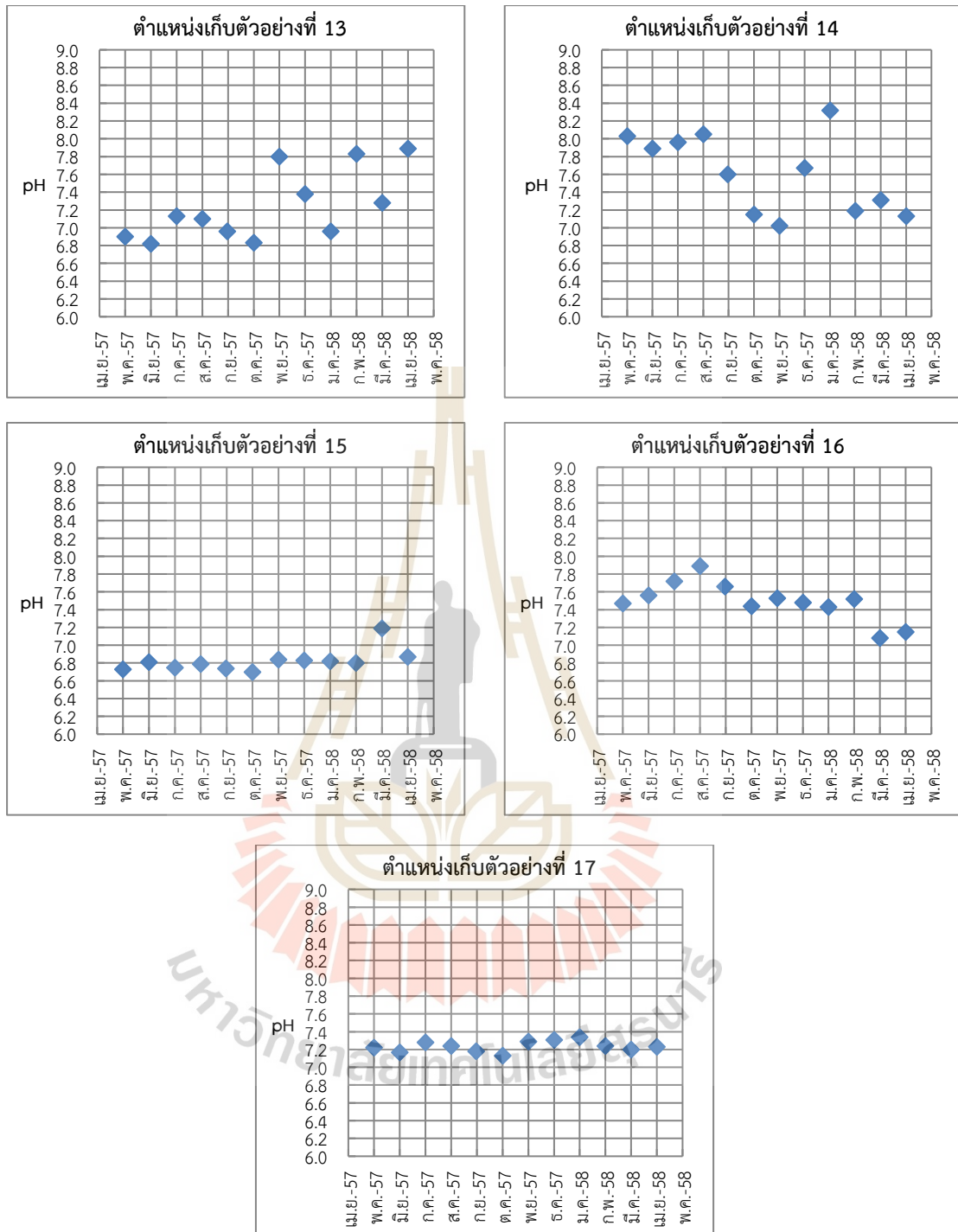
ค่าความเป็นกรด-ต่าง (pH) เป็นการทดสอบภาคสนามด้วยเครื่อง Multi-parameter analyzer พบว่า ค่าความเป็นกรด-ต่าง (pH) ทั้ง 17 บ่อเก็บตัวอย่าง อยู่ในช่วง 6.2 – 8.3 ค่าต่ำสุดพบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 2 (บ้านท่าออย ซอย 5 ต.จันทึก) ในเดือนมกราคม พ.ศ.2558 และค่าสูงสุดพบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 14 (บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 2) ในเดือนมกราคม พ.ศ.2558 (ตารางที่ ข.1) ซึ่งค่าความเป็นกรด-ต่างในแต่ละบ่อเก็บตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยในตลอดช่วงเก็บตัวอย่าง 12 เดือน (รูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 - เดือนเมษายน พ.ศ. 2558)



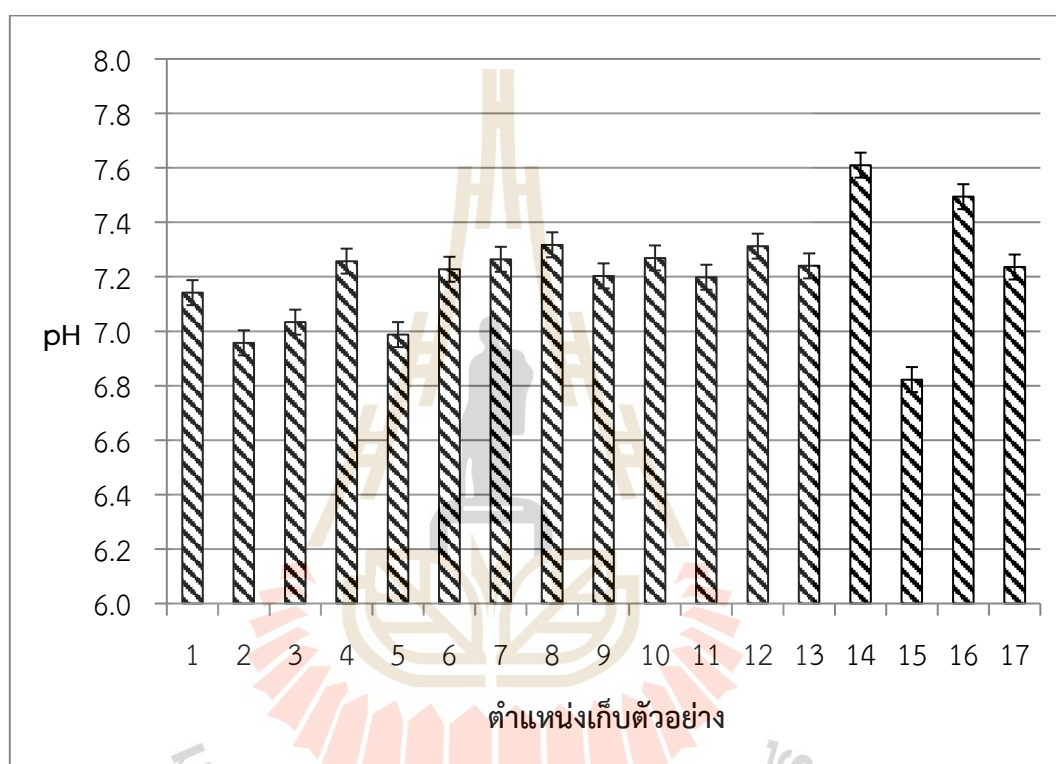
รูปที่ 4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)



รูปที่ 4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)

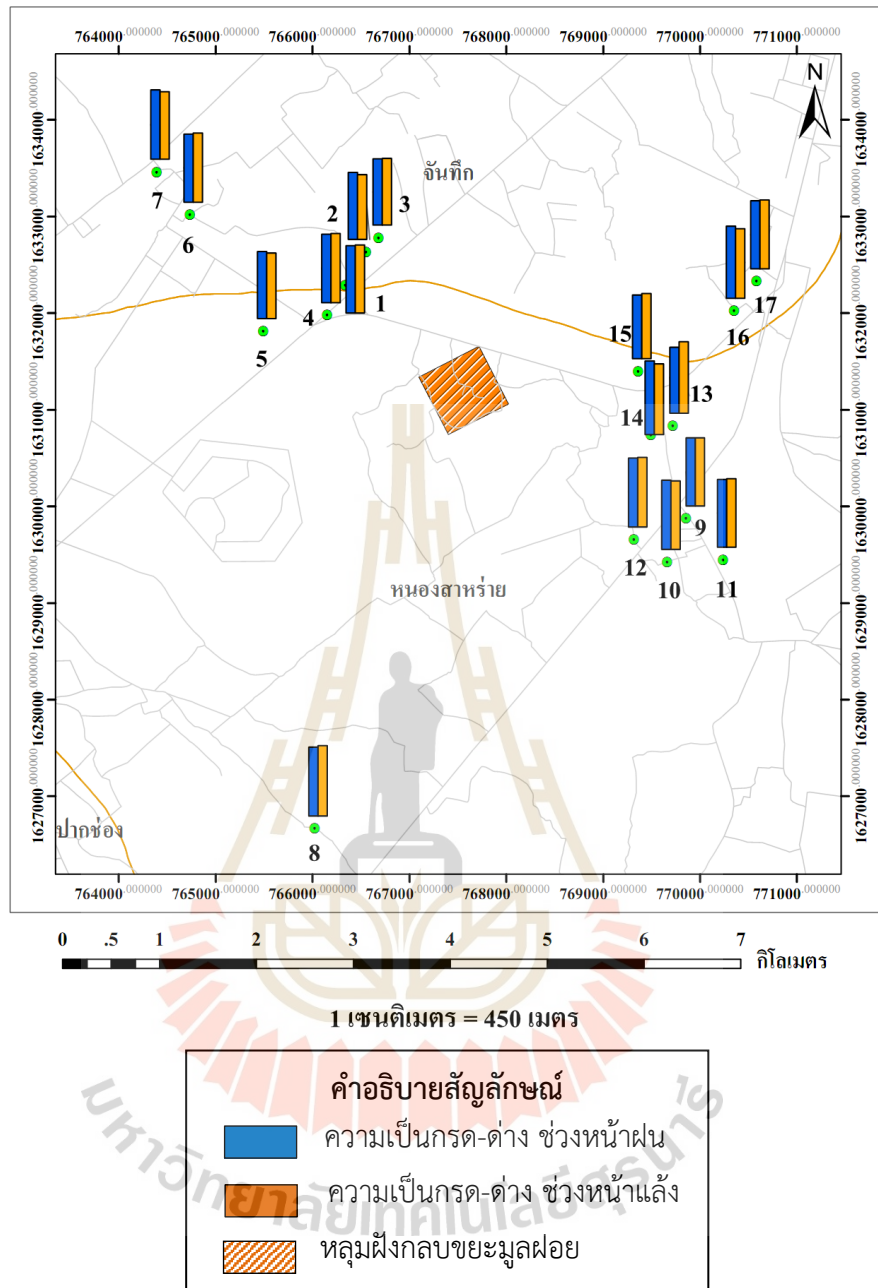
ค่าเฉลี่ยของความเป็นกรด-ด่าง (pH) จากการตรวจวัดตัวอย่างน้ำจากบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแต่ละบ่อทั้ง 12 บ่อ อยู่ในช่วง 6.8 – 7.6 (ตารางที่ ข.1) ค่าเฉลี่ยต่ำสุด (6.8 ± 0.1) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 15 (บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 3) และค่าเฉลี่ยสูงสุด

(7.6 ± 0.4) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 14 (บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 2) (รูปที่ 4.3) ซึ่งค่าเฉลี่ยของความเป็นกรด-ด่างในพื้นที่ศึกษาทั้ง 17 บ่ออยู่ที่ 7.2 ± 0.2 มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของบ่อน้ำใต้ดินในพื้นที่ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา (pH 7.6) (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2556) แต่สูงกว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของการศึกษาคุณภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ใกล้กับหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยของเทศบาลนครนครราชสีมาที่มีค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง (pH 6.7) (จุฑาทิพย์ อ้อมกิ่ง, 2557) และเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2554) (เกณฑ์ที่เหมาะสม pH 7.0-8.5 และเกณฑ์อนุโลม pH 6.5-9.2)



รูปที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557-เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าความเป็นกรดต่าง (pH) แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ฤดูกาล ได้แก่ ช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) และช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย.) พบว่า ในช่วงหน้าฝนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.8 - 7.8 ค่าเฉลี่ยสูงสุด 7.8 ± 0.3 (ตารางที่ ข.2) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 14 (บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 2) ในช่วงหน้าแล้งค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.8 - 7.5 ค่าเฉลี่ยสูงสุด 7.5 ± 0.4 พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 13 (บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 1) (รูปที่ 4.4) (รูปที่ ข.1) ซึ่งค่าเฉลี่ยความเป็นกรดต่างในช่วงหน้าฝนไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยความเป็นกรดต่างในช่วงหน้าแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($t = 0.080$, $p = 0.937$) เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2554) พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานฯ (เกณฑ์อนุโลม pH 6.5-9.2)

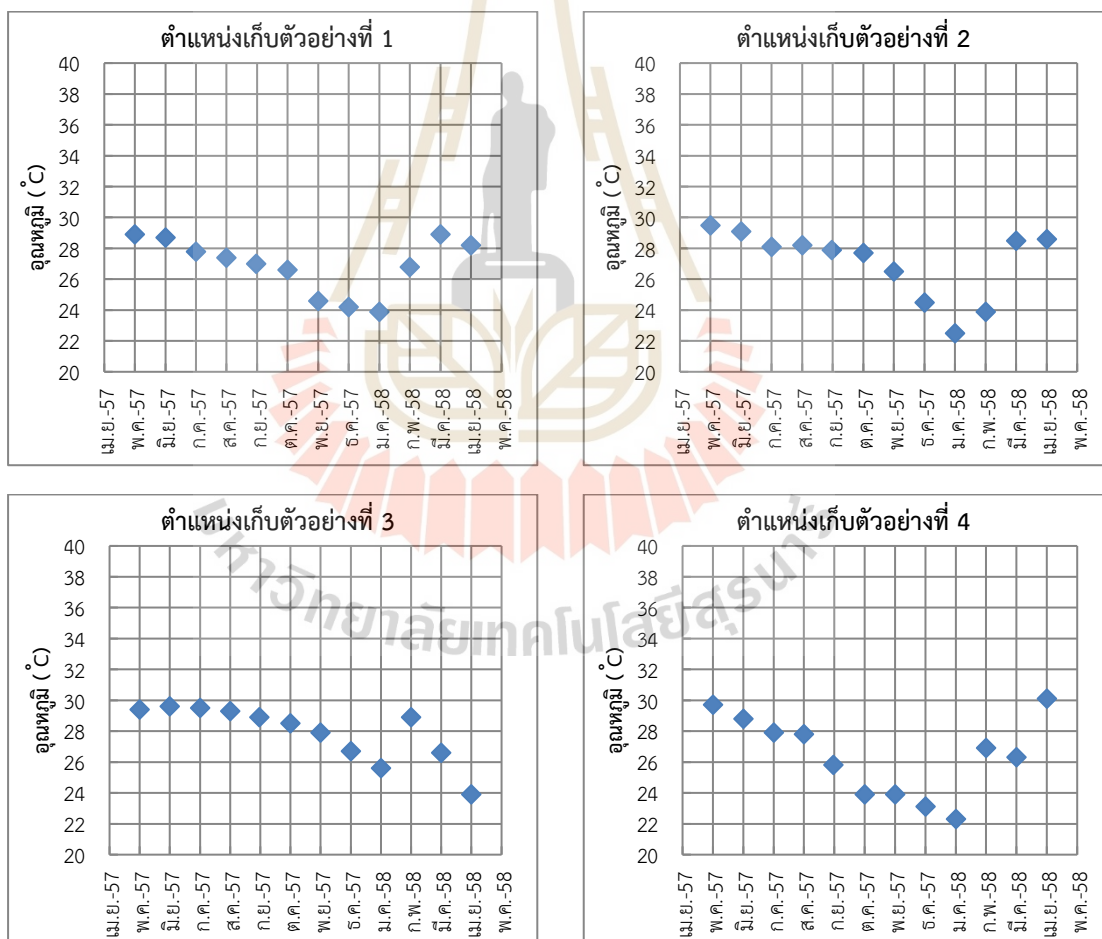


รูปที่ 4.4 ความเป็นกรด - ด่าง ของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบกับระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)

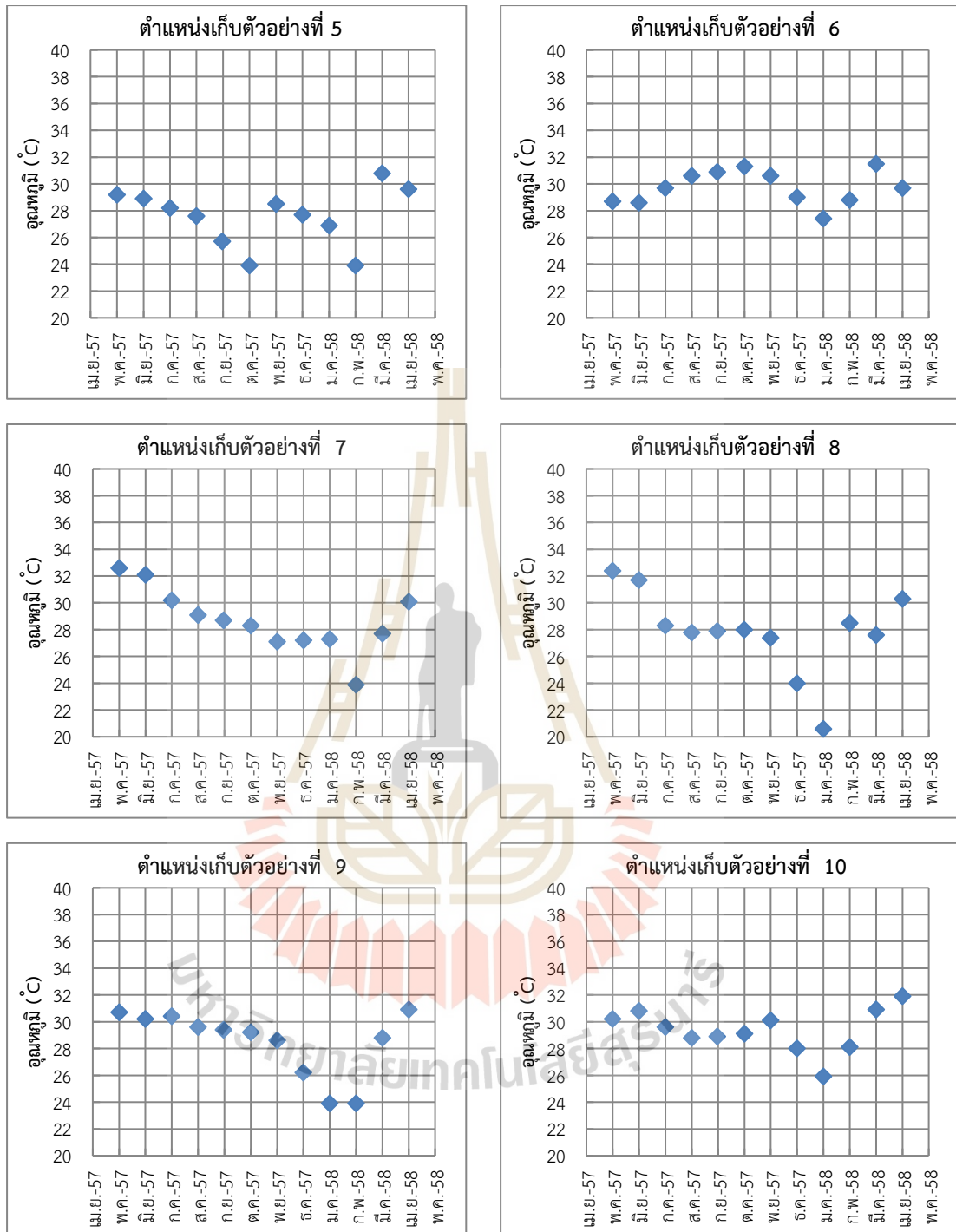
การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของแต่ละบ่อเก็บตัวอย่างตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (รูปที่ 4.1) พบว่า ค่าความเป็นกรดต่างเฉลี่ยของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินซึ่งตั้งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 9, 10, 11 และ 12) ไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งอื่น ซึ่งไม่ได้ตั้งอยู่ในตำแหน่งเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

4.2.2 การวิเคราะห์อุณหภูมิ

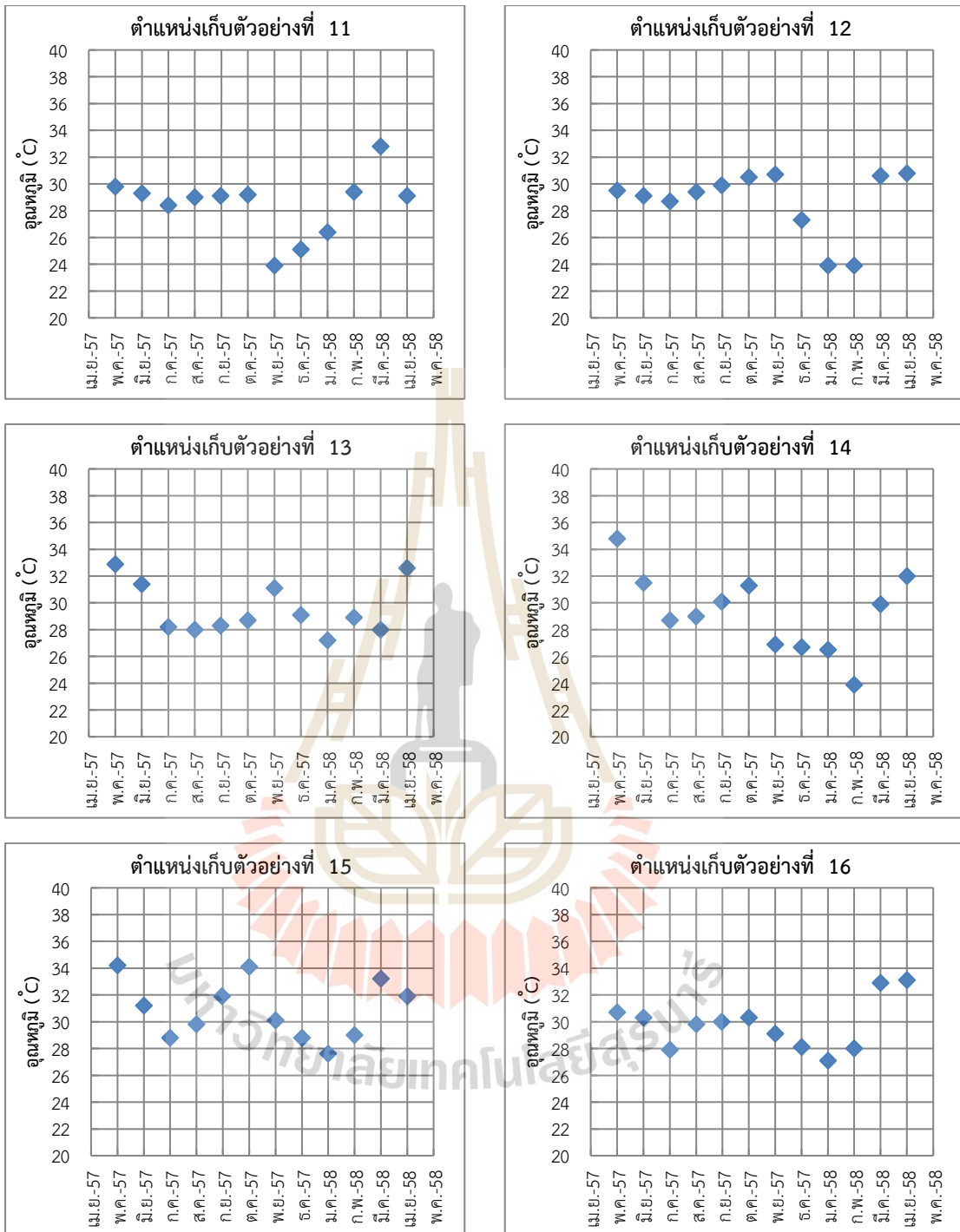
การตรวจวัดอุณหภูมิ เป็นการตรวจวัดภาคสนามด้วยเครื่อง Multi-parameter analyzer พบว่า อุณหภูมิทั้ง 17 บ่อเก็บตัวอย่าง อยู่ในช่วง 20.2 – 34.8°C ค่าต่ำสุดพบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 17 (โรงเรียนไตรรัตน์วิทยาคาร บ้านหนองคู หมู่ 4 ต.หนองสาหร่าย) ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 และค่าสูงสุดพบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 14 (บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 2) ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 (ตารางที่ ข.3) ซึ่งอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างในแต่ละบ่อ มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย (รูปที่ 4.5)



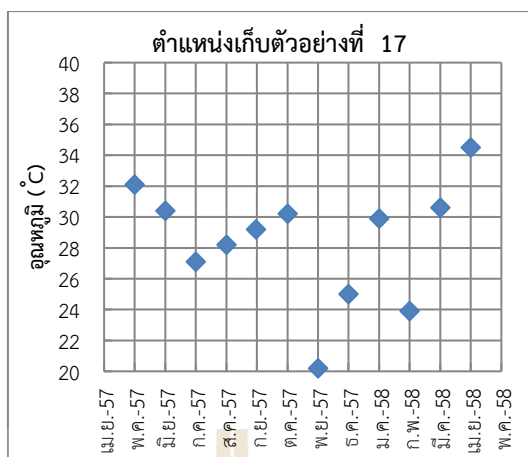
รูปที่ 4.5 อุณหภูมิของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558)



รูปที่ 4.5 อุณหภูมิของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 – เดือนเมษายน พ.ศ.2558) (ต่อ)

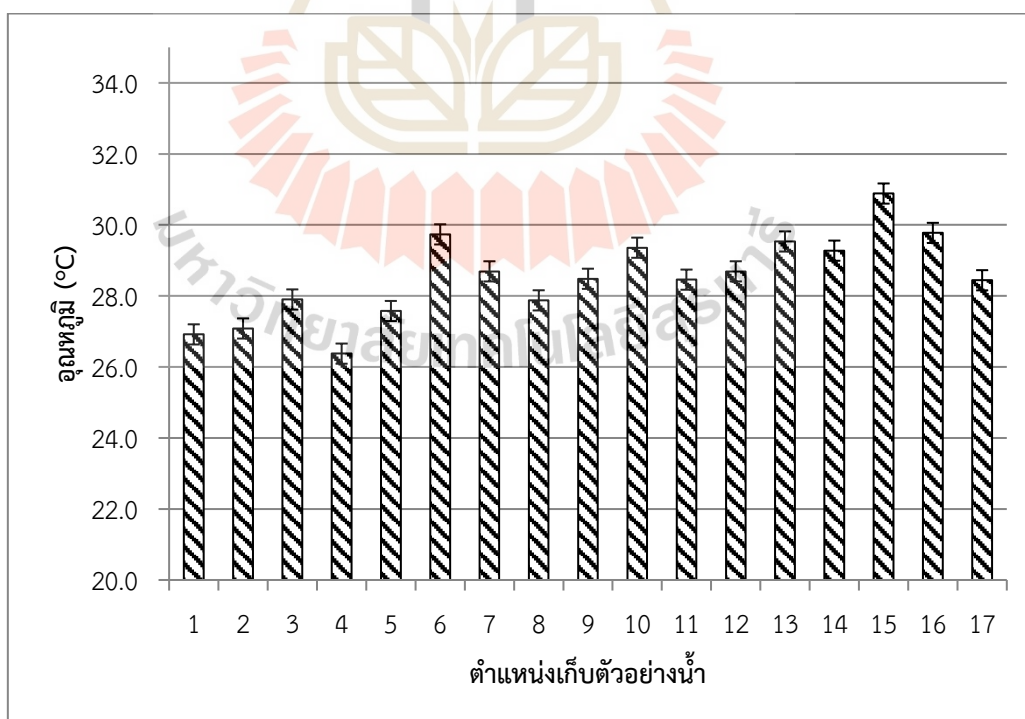


รูปที่ 4.5 อุณหภูมิของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 - เดือนเมษายน พ.ศ.2558) (ต่อ)



รูปที่ 4.5 อุณหภูมิของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 (ต่อ)

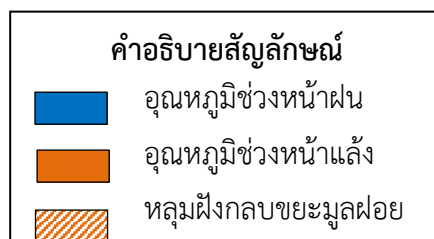
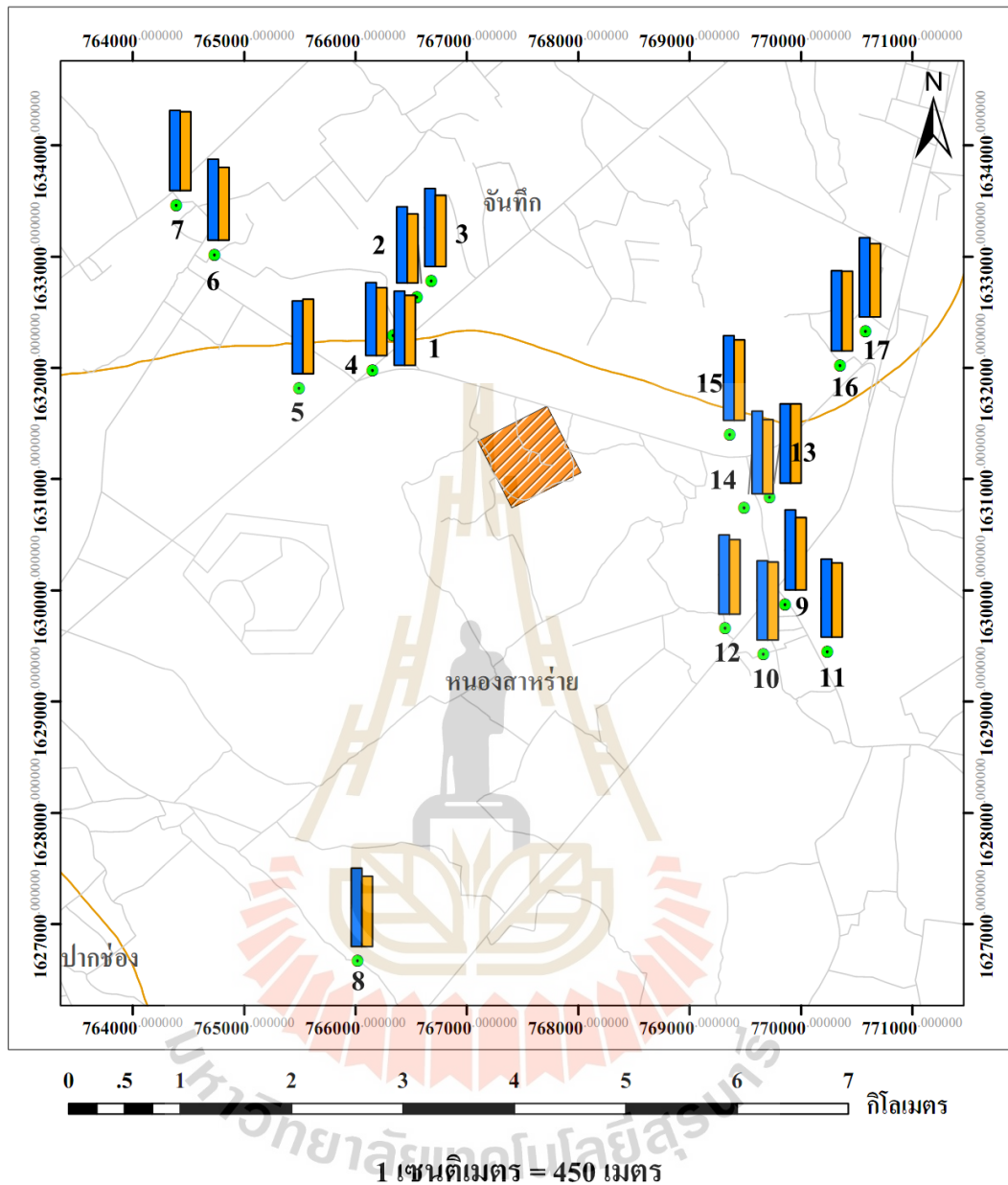
อุณหภูมิเฉลี่ยจากการตรวจวัดตัวอย่างน้ำจากบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแต่ละบ่อทั้ง 12 เดือน อยู่ในช่วง 26.4 – 30.9°C (ตารางที่ ข.3) ค่าเฉลี่ยต่ำสุด ($26.4 \pm 2.6^{\circ}\text{C}$) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 4 (บ้านท่าออย สวนสุขภาพบ้านท่าออย ต.จันทิก) และค่าเฉลี่ยสูงสุด ($30.9 \pm 2.2^{\circ}\text{C}$) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 15 (บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 3) (รูปที่ 4.6) ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในพื้นที่ศึกษาทั้ง 17 บ่ออยู่ที่ $28.5 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำใต้ดินในการศึกษาคุณภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ใกล้กับหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยของเทศบาลนครราชสีมามีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.3°C (จุฑาทิพย์ อ้อมกิ่ง , 2557)



รูปที่ 4.6 อุณหภูมิเฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของอุณหภูมิ แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ฤดูกาล ได้แก่ ช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) และช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.) พบว่าในช่วงหน้าฝนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง $27.3 - 31.7^{\circ}\text{C}$ ค่าเฉลี่ยสูงสุด $31.7 \pm 2.2^{\circ}\text{C}$ (ตารางที่ ข.4) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 15 (บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 3) ในช่วงหน้าแล้งค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง $25.4 - 30.1^{\circ}\text{C}$ ค่าเฉลี่ยสูงสุด $30.1 \pm 2.1^{\circ}\text{C}$ พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 15 (บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 3) (ตารางที่ ข.4) เนื่องจากการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินนั้นอยู่ในช่วงกลางวัน และดำเนินการเก็บน้ำตัวอย่างโดยเปิดน้ำจากบ่อน้ำใต้ดินทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที ทำให้อุณหภูมิของน้ำที่วัดได้เป็นอุณหภูมิของน้ำที่อยู่ใต้ดินซึ่งไม่ได้มีการสัมผัสกับอุณหภูมิเหนือพื้นดิน จึงทำให้อุณหภูมิของตัวอย่างน้ำใต้ดิน ในทั้ง 2 ฤดูมีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.7) (รูปที่ ข.2) แต่การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้ t-test พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในช่วงหน้าฝนแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในช่วงหน้าแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($t = 3.620, p = 0.001$) อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงหน้าฝนมีค่าสูงกว่าในช่วงหน้าแล้งในทุกบ่อเก็บตัวอย่าง ยกเว้นบ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 5 ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงหน้าฝนมีค่าต่ำกว่าในช่วงหน้าแล้ง



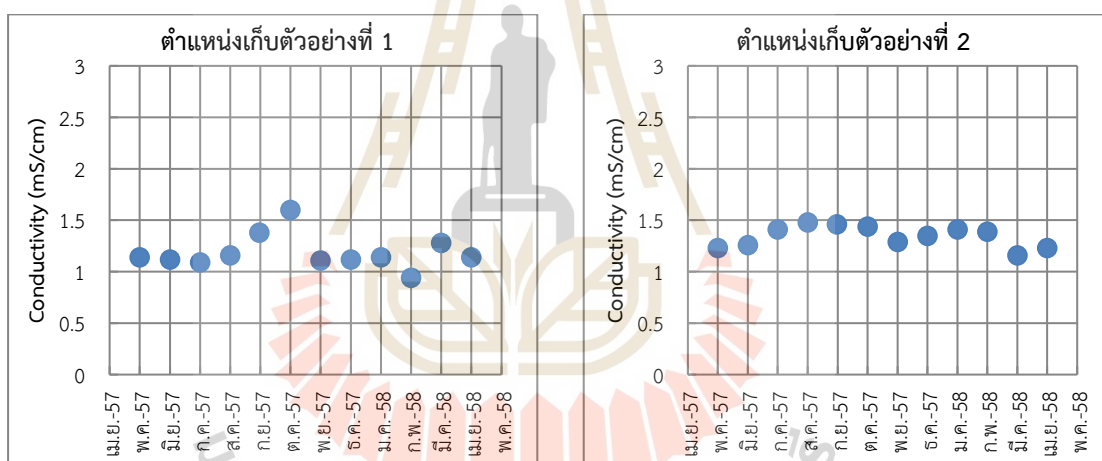


รูปที่ 4.7 อุณหภูมิของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)

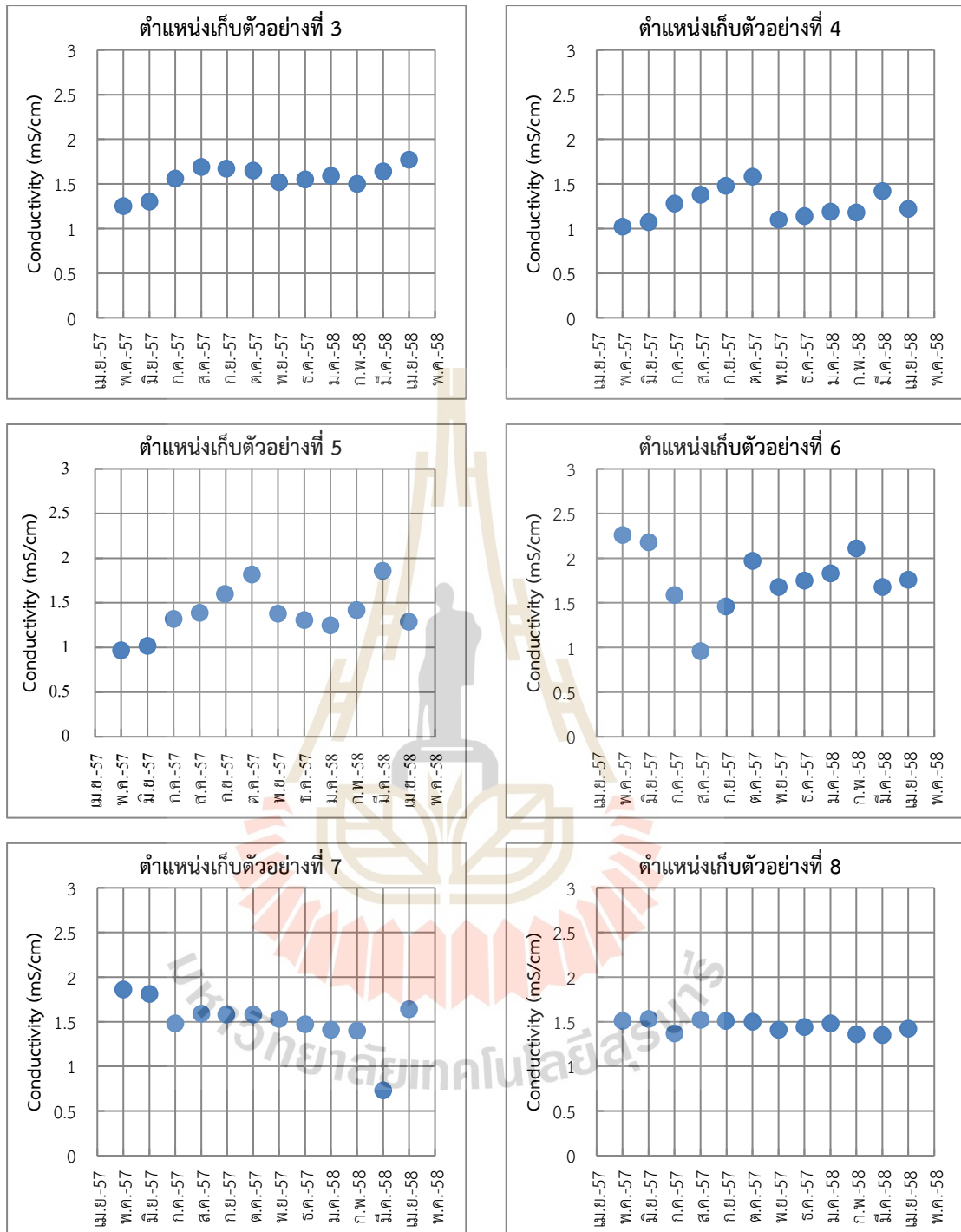
การวิเคราะห์อุณหภูมิของแต่ละบ่อเก็บตัวอย่างตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (รูปที่ 4.1) พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินซึ่งตั้งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 9, 10, 11 และ 12) ไม่แตกต่างจากอุณหภูมิเฉลี่ยของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งอื่น ซึ่งไม่ได้ตั้งอยู่ในตำแหน่งเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

4.2.3 การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า

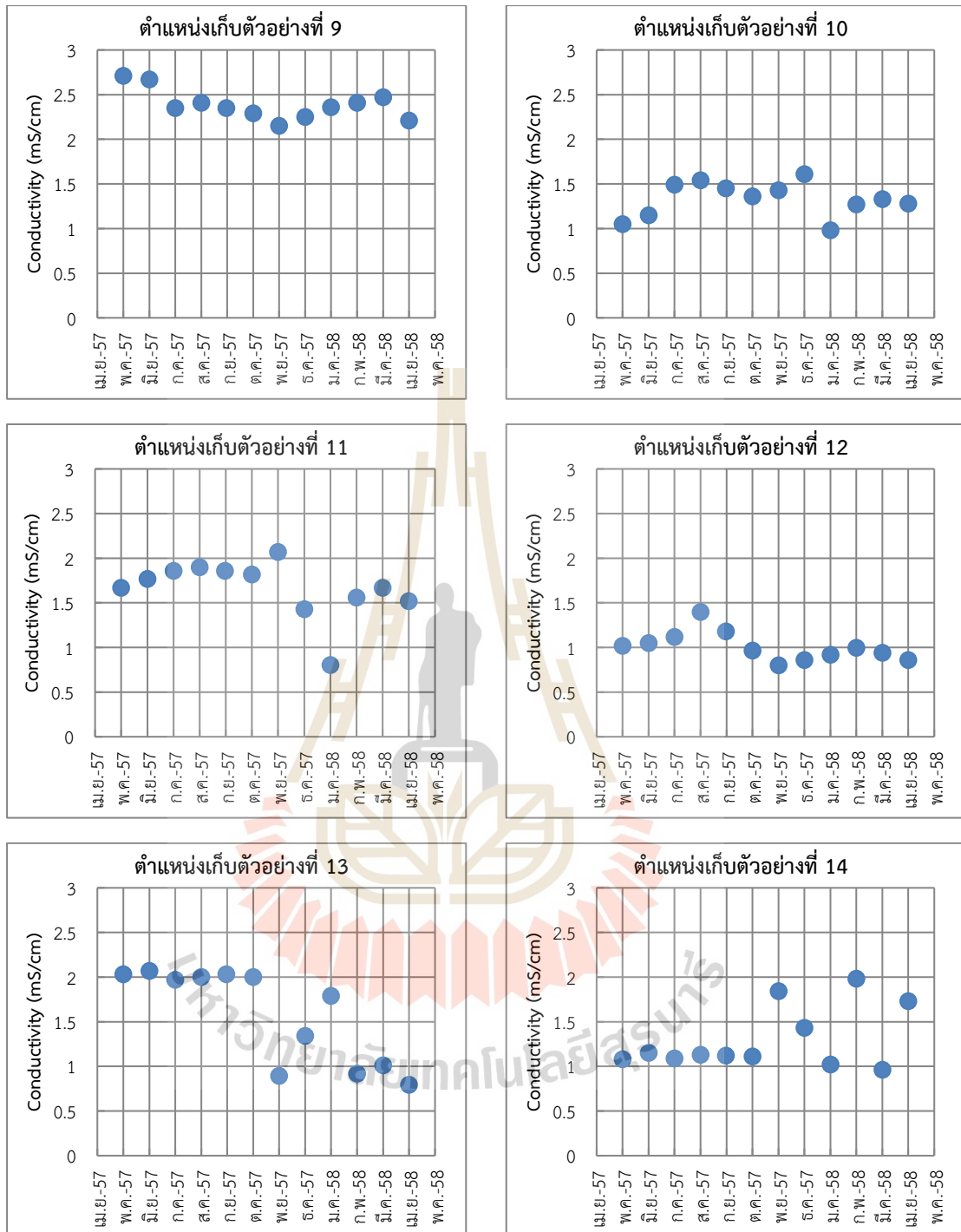
ค่าการนำไฟฟ้า เป็นการทดสอบภาคสนามด้วยเครื่อง Multi-parameter analyzer พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าทั้ง 17 บ่อเก็บตัวอย่าง อยู่ในช่วง 0.7 – 3.1 mS/cm ค่าต่ำสุดพบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 7 (แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านซั่มม่วง หมู่ 4 ต.จันทิก จุด 2) ในเดือนมีนาคม พ.ศ.2558 และค่าสูงสุดพบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 15 (บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 3) ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 (ตารางที่ ข.5) ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าของน้ำตัวอย่างในแต่ละบ่อ มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยในตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 12 เดือน (รูปที่ 4.8)



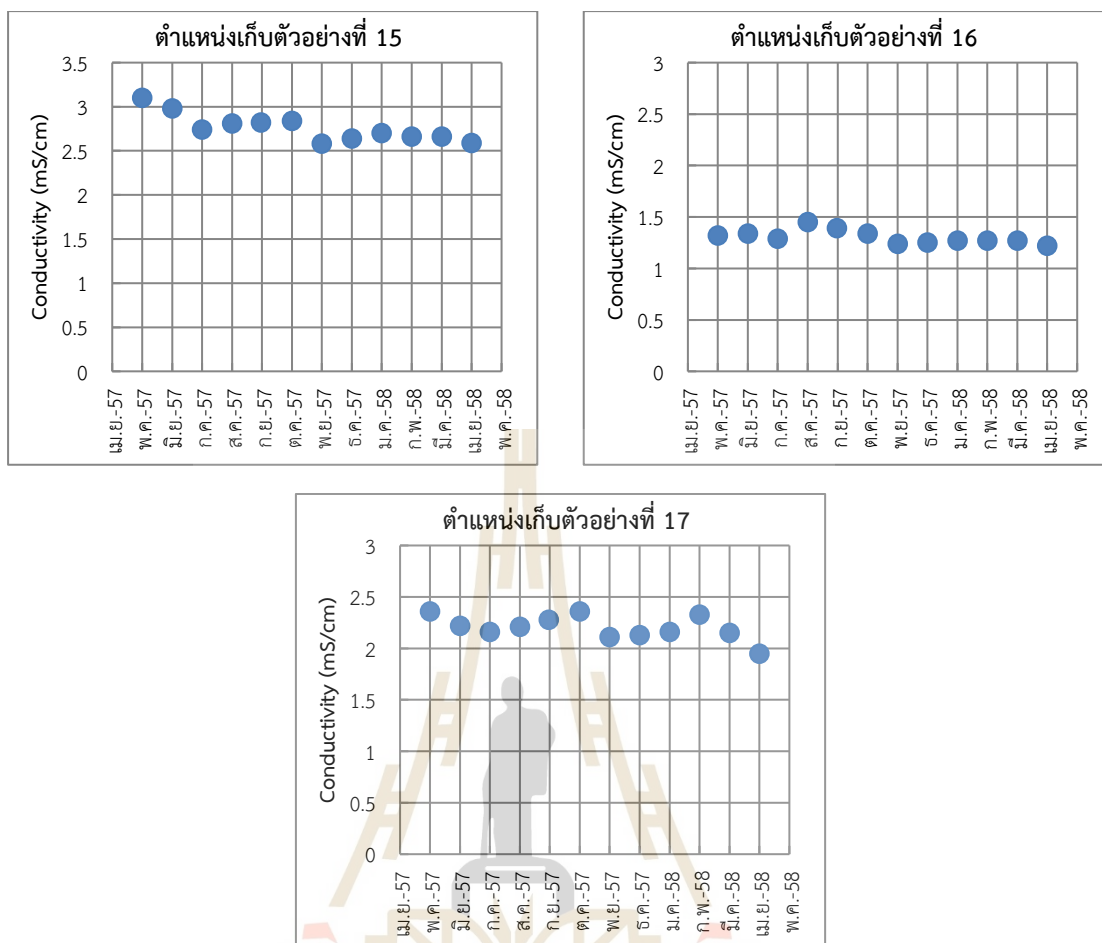
รูปที่ 4.8 ค่าการนำไฟฟ้าของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558)



รูปที่ 4.8 ค่าการนำไฟฟ้าของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 – เดือนเมษายน พ.ศ.2558) (ต่อ)

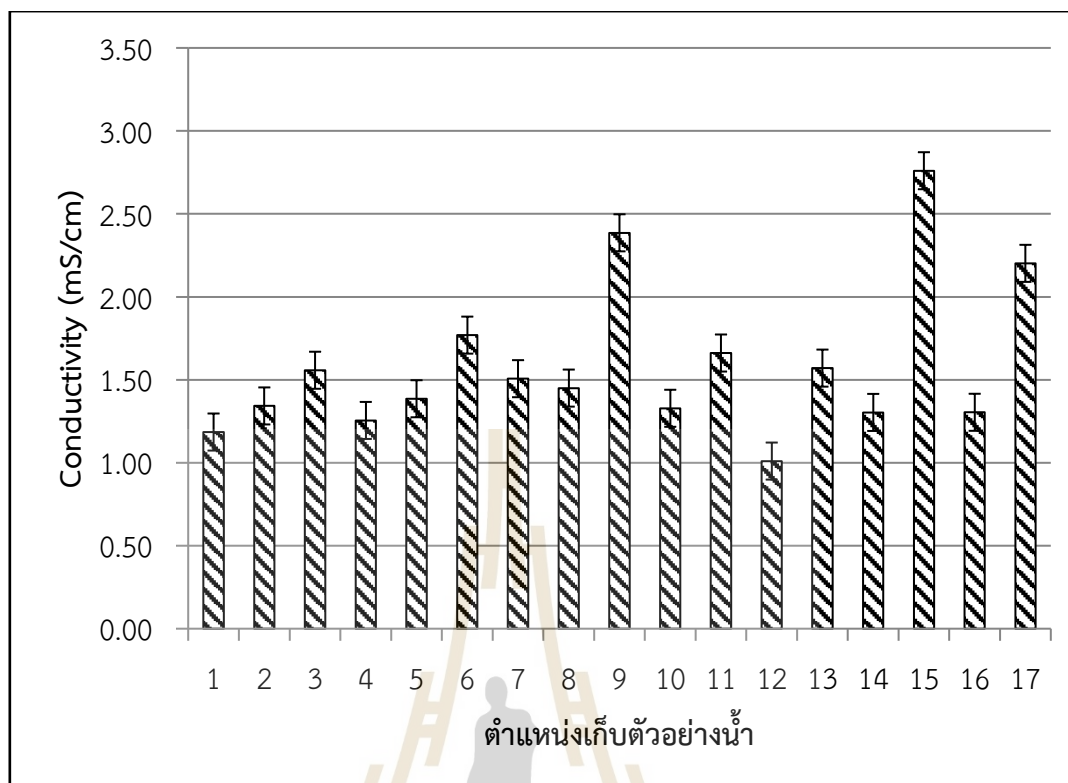


รูปที่ 4.8 ค่าการนำไฟฟ้าของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)



รูปที่ 4.8 ค่าการนำไฟฟ้าของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)

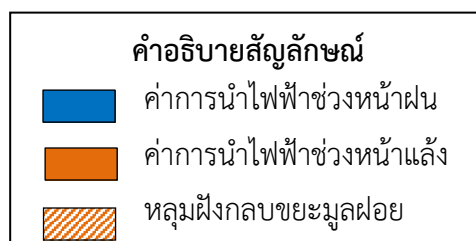
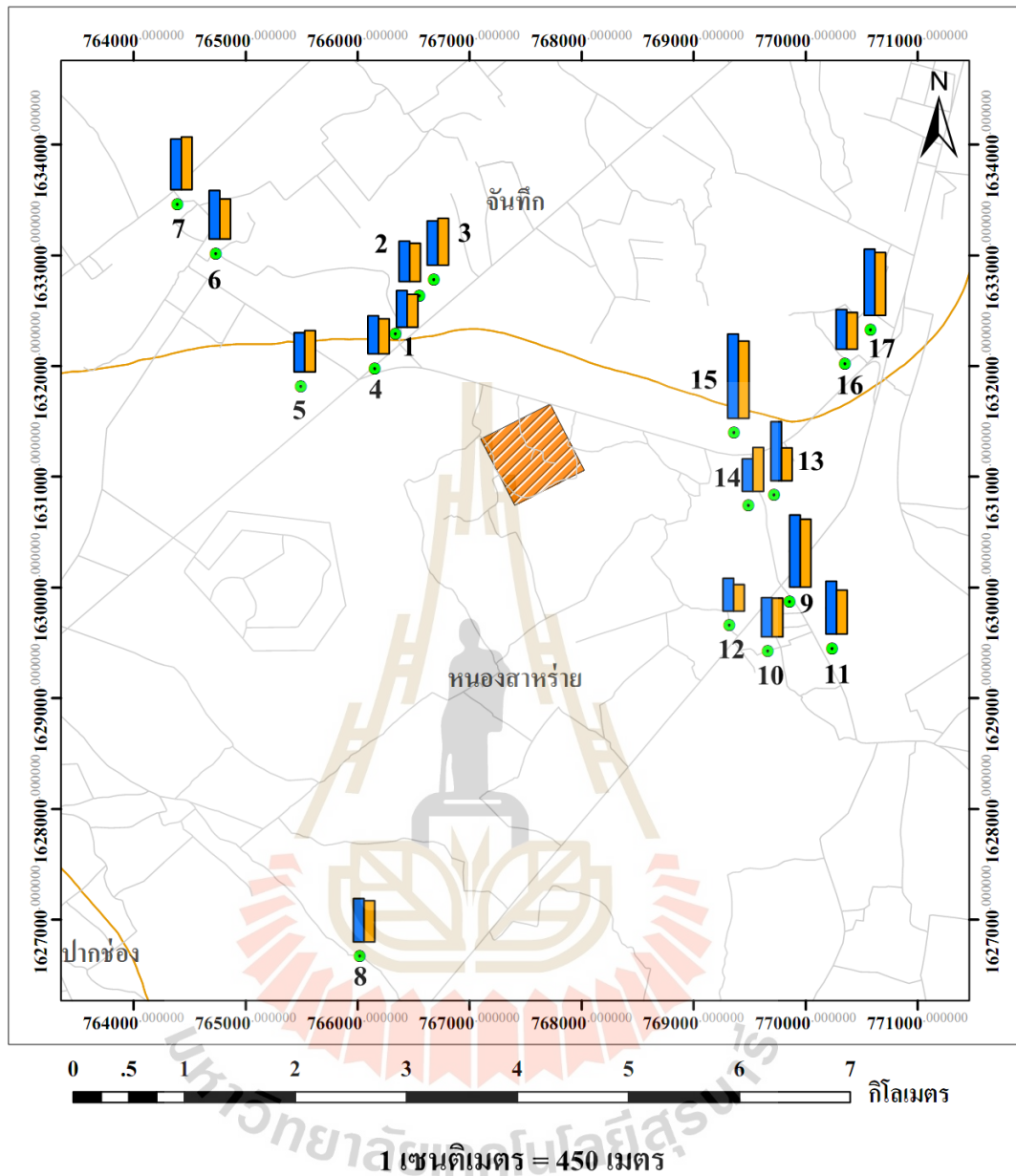
ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยจากการตรวจวัดตัวอย่างน้ำจากบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแต่ละบ่อ ทั้ง 12 บ่อ อยู่ในช่วง 1.0 – 2.8 mS/cm (ตารางที่ ข.5) ค่าเฉลี่ยต่ำสุด (1.0 ± 0.2 mS/cm) พบที่ บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 15 (บ้านหนองจวน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 3) และค่าเฉลี่ยสูงสุด (2.8 ± 0.2 mS/cm) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 12 (กลุ่มโคกเพชรพัฒนา บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย) (รูปที่ 4.9) ซึ่งค่าเฉลี่ยค่าการนำไฟฟ้าในพื้นที่ศึกษาทั้ง 17 บ่ออยู่ที่ 1.6 ± 0.5 mS/cm มีค่าสูงกว่าค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยของบ่อน้ำใต้ดินในพื้นที่ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา (0.8 mS/cm) (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2556) และสูงกว่าการศึกษาคุณภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ใกล้ กับหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยของเทศบาลนครนครราชสีมาที่มีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 0.7 mS/cm (จุฑาทิพย์ อ้อมกิ่ง, 2557)



รูปที่ 4.9 ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าการนำไฟฟ้า (ตารางที่ ข.6) แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ฤดูกาล ได้แก่ ช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) และช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.) พบว่าในช่วงหน้าฝนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.1 – 2.9 mS/cm ค่าเฉลี่ยสูงสุด 2.9 ± 0.1 mS/cm พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 15 (บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 3) ในช่วงหน้าแล้งค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.9 – 2.6 mS/cm ค่าเฉลี่ยสูงสุด 2.6 ± 0.0 mS/cm พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 15 (บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 3) (รูปที่ 4.10) (รูปที่ ข.3) ซึ่งค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าในช่วงหน้าฝนไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้าในช่วงหน้าแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($t = 0.822$, $p = 0.417$)

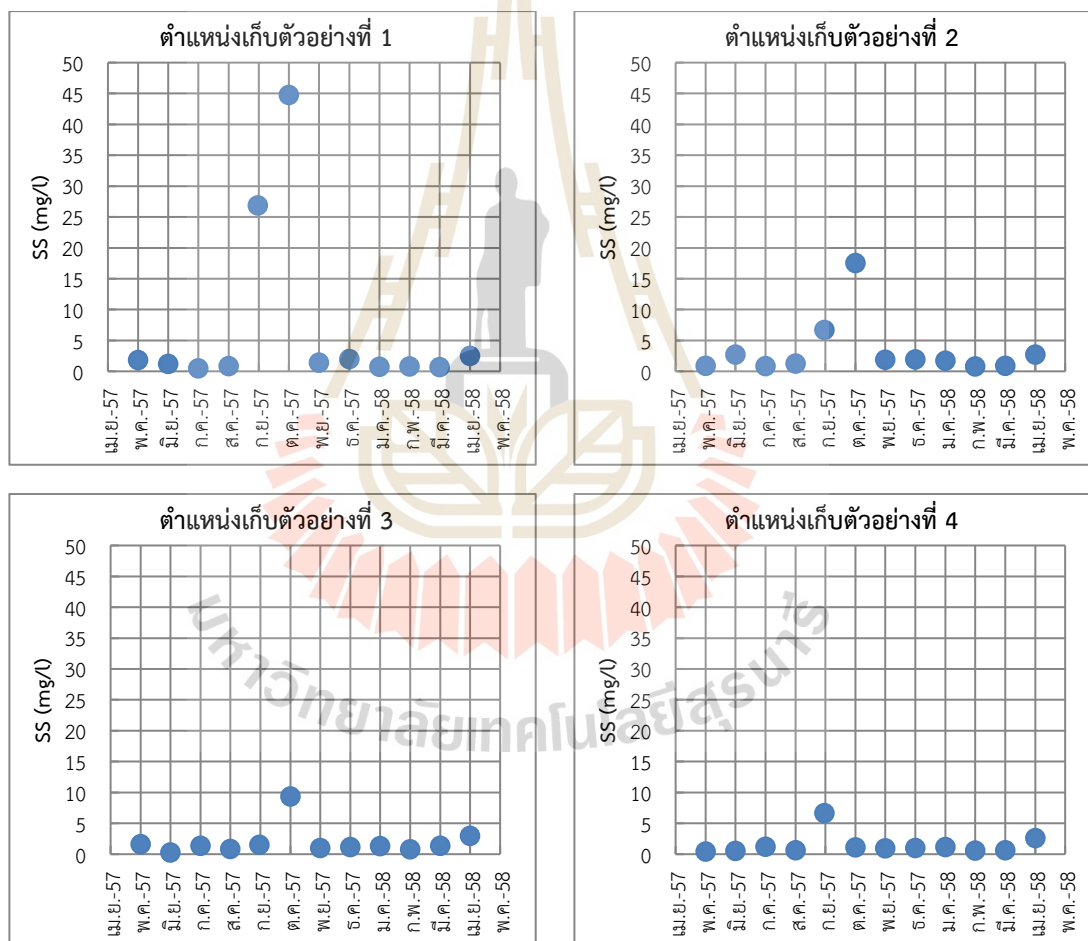
การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของแต่ละบ่อเก็บตัวอย่างตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (รูปที่ 4.1) พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินซึ่งตั้งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 9, 10, 11 และ 12) ในตำแหน่งบ่อเก็บตัวอย่างที่ 9 มีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยค่อนข้างสูงกว่าค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งอื่น แต่น้อยกว่าค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยในตำแหน่งที่ 15



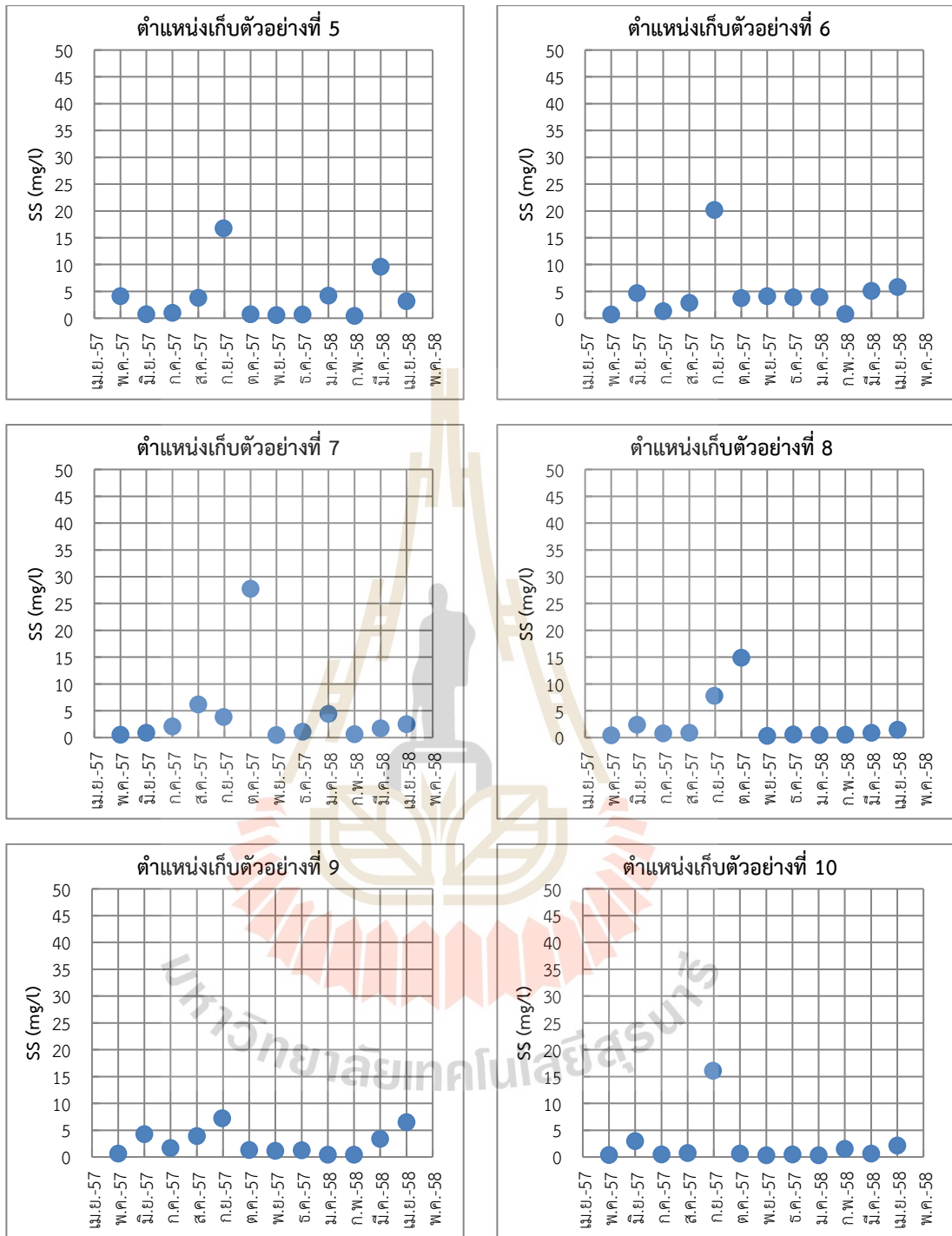
รูปที่ 4.10 ค่าการนำไฟฟ้าของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)

4.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS)

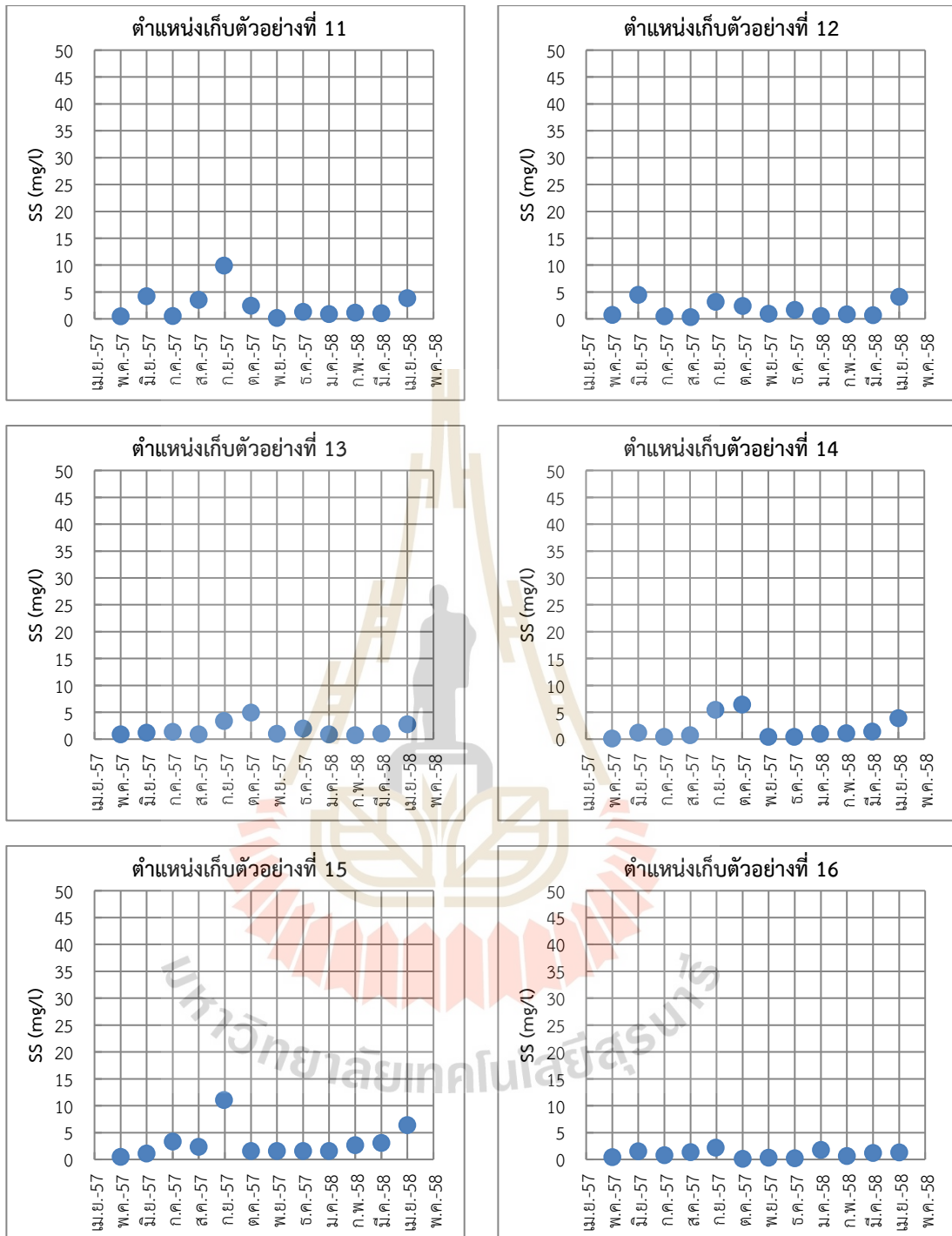
ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้ง 17 บ่อเก็บตัวอย่าง อยู่ในช่วง 0.1 – 44.8 mg/l ค่าต่ำสุดพบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 16 (วัดไทรรัตน์ บ้านหนองคู หมู่ 4 ต.หนองสาหร่าย) ในเดือนตุลาคม พ.ศ.2557 และค่าสูงสุดพบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 1 (บ้านท่างอย ซอย 2 ต.จันทิก) ในเดือนตุลาคม พ.ศ.2557 (ตารางที่ ข.7) ซึ่งตัวอย่างน้ำใต้ดินของบ่อเก็บตัวอย่างที่ 1 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยในเดือนกันยายน และเดือนตุลาคมสูงกว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยในเดือนอื่นค่อนข้างมาก อาจเป็นผลเนื่องมาจากในเดือนกันยายน พ.ศ. 2557 นั้นมีปริมาณฝนตกสูงสุดในช่วงการเก็บข้อมูล อยู่ที่ 119.8 มิลลิเมตร (ศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง, 2557) ส่วนในบ่อเก็บน้ำตัวอย่างอื่น ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำตัวอย่าง มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยในตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 12 เดือน (รูปที่ 4.11)



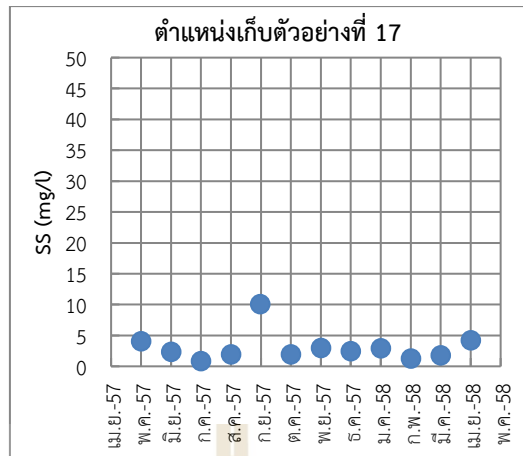
รูปที่ 4.11 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557–เดือน เมษายน พ.ศ.2558)



รูปที่ 4.11 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557–เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)

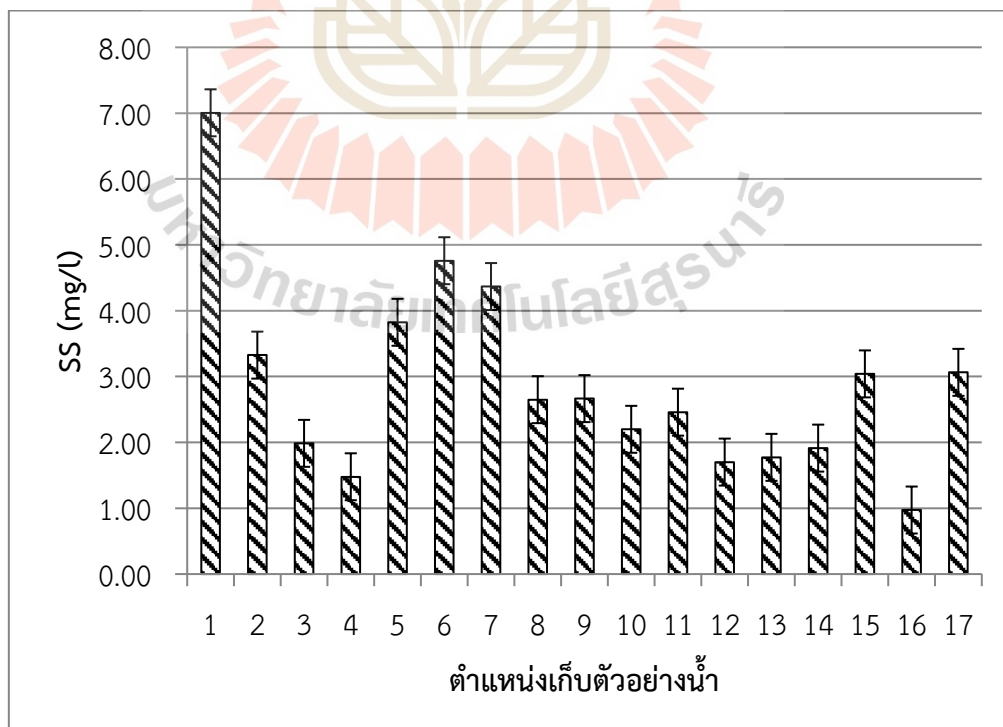


รูปที่ 4.11 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557–เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)



รูปที่ 4.11 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)

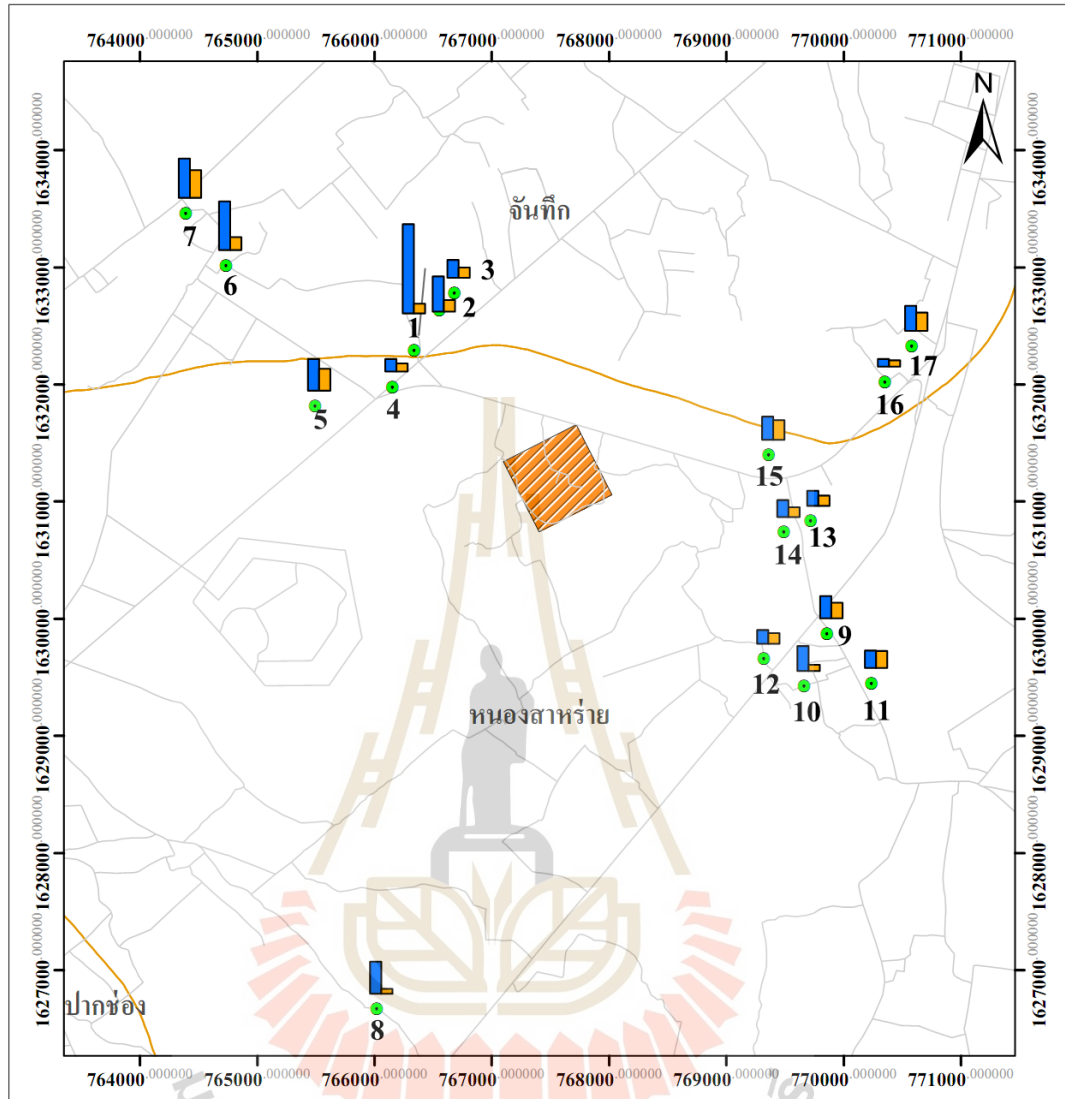
ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยจากการตรวจวัดตัวอย่างน้ำจากบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแต่ละบ่อทั้ง 12 บ่อ อยู่ในช่วง 0.97 – 7.01 mg/l (ตารางที่ ข.7) ค่าเฉลี่ยต่ำสุด (0.97 ± 0.7 mg/l) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 16 (วัดไตรรัตน์ บ้านหนองคู หมู่ 4 ต.หนองสาหร่าย) และค่าเฉลี่ยสูงสุด (7.01 ± 14.0 mg/l) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 1 (บ้านท่าออย ซอย 2 ต.จันทึก) (รูปที่ 4.12) (รูปที่ ข.4) ซึ่งปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาทั้ง 17 บ่ออยู่ที่ 2.89 ± 1.5 mg/l



รูปที่ 4.12 ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ

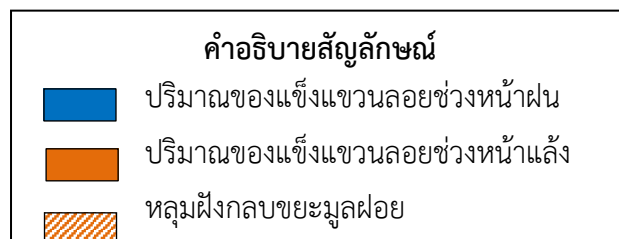
จากกราฟเปรียบเทียบผลของปริมาณแข็งแวนลอย (ตารางที่ ข.8) ระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.) (รูปที่ 4.13) พบว่า ปริมาณของแข็งแวนลอยมีค่าไม่คงที่ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.) พบว่า ปริมาณแข็งแวนลอยมีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยที่อยู่ในช่วงหน้าฝนสูงกว่าช่วงหน้าแล้ง เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้ t-test พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณแข็งแวนลอยในช่วงหน้าฝนแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของปริมาณแข็งแวนลอยในช่วงหน้าแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($t = 3.016$, $p = 0.007$) ปริมาณของแข็งแวนลอยสูงสุดพบในตำแหน่งที่ 1 (บ้านท่าออย ซอย 2 ต.จันทิก) มีค่าเฉลี่ยในหน้าฝนเท่ากับ 12.66 mg/l





0 .5 1 2 3 4 5 6 7 กิโลเมตร

1 เซนติเมตร = 450 เมตร

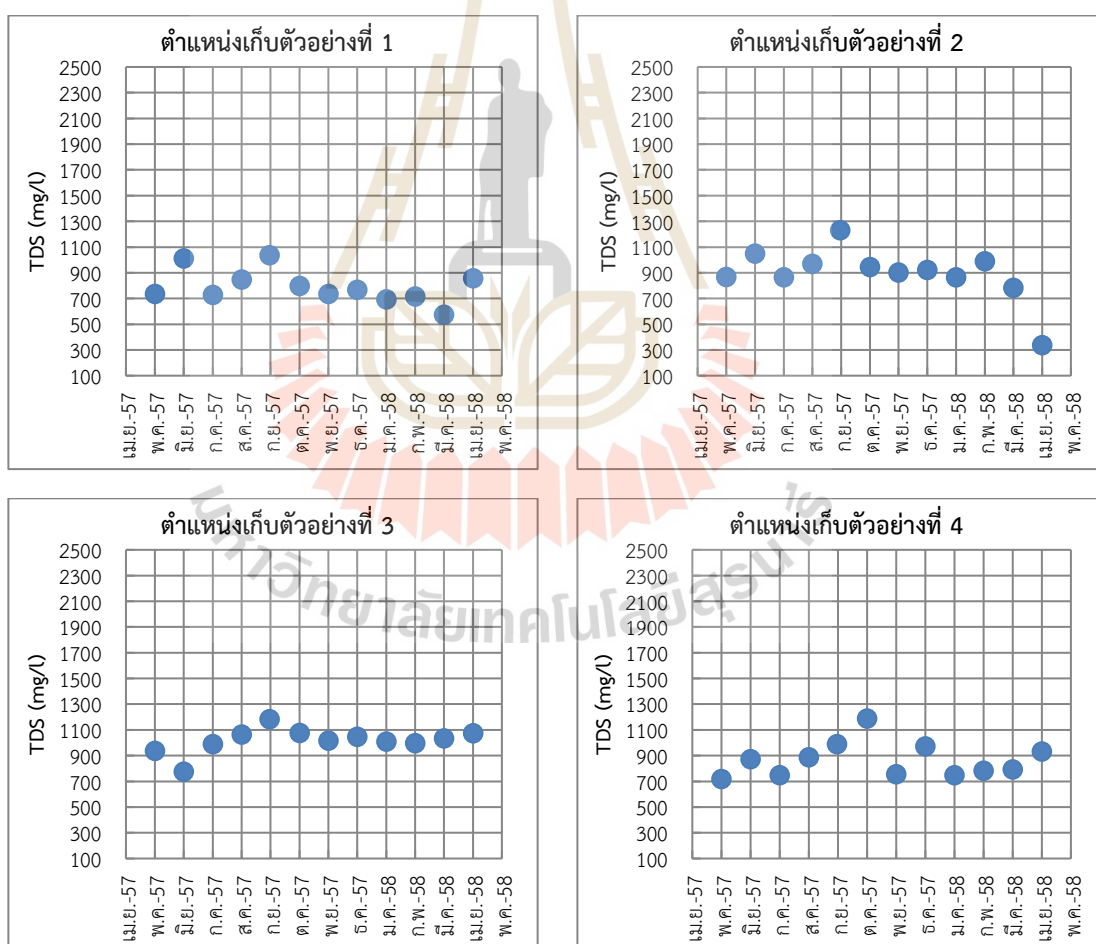


รูปที่ 4.13 ปริมาณของแข็งแขวนลอย ของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษา เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)

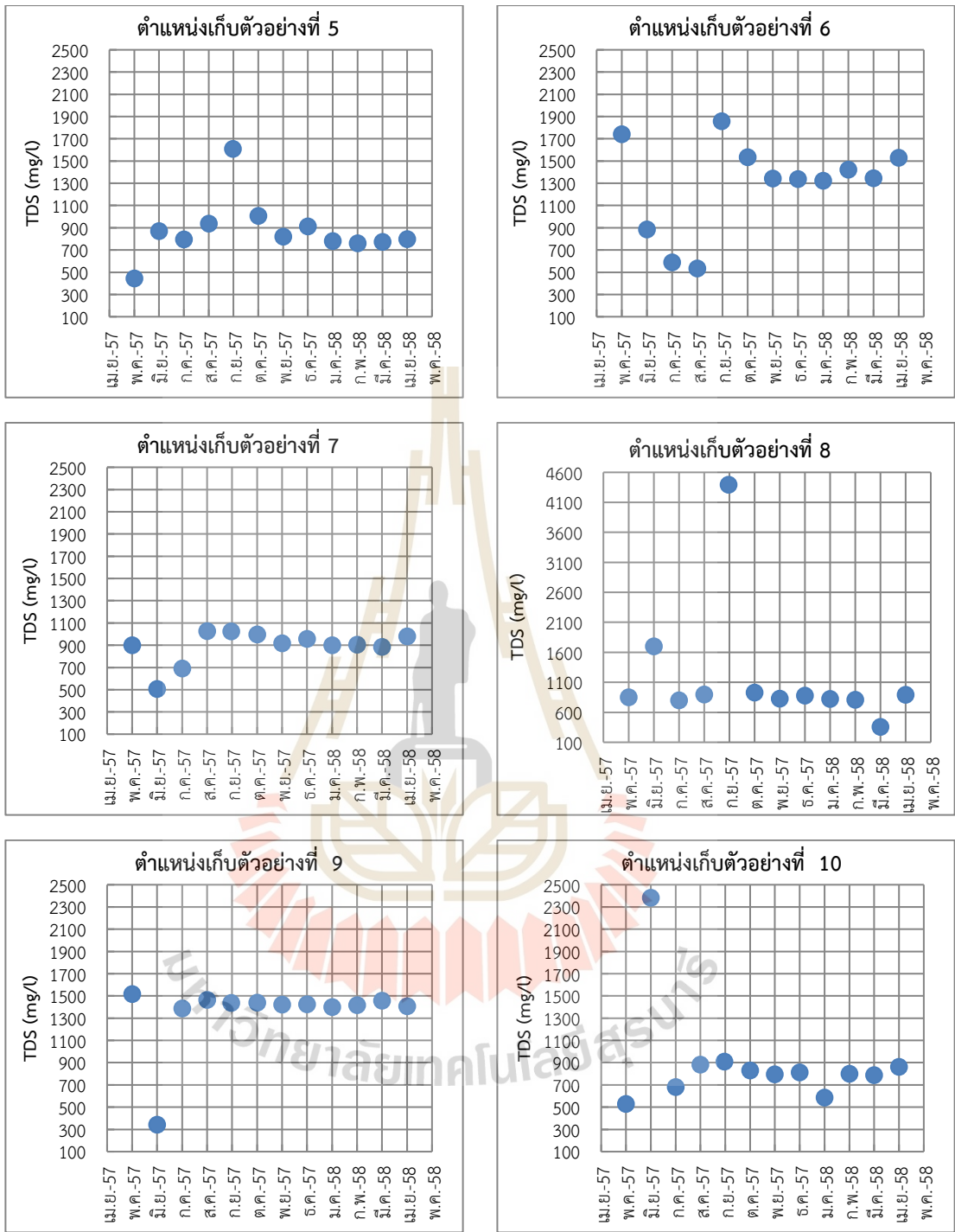
การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอย ของแต่ละบ่อเก็บตัวอย่างตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (รูปที่ 4.1) พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน ซึ่งตั้งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 9, 10, 11 และ 12) มีปริมาณค่อนข้างน้อย แต่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งแขวนลอย ของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งอื่น ซึ่งไม่ได้ตั้งอยู่ในตำแหน่งเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

4.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งละลายน้ำ (TDS)

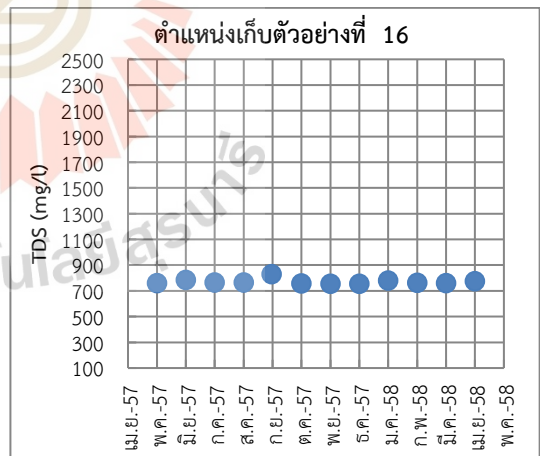
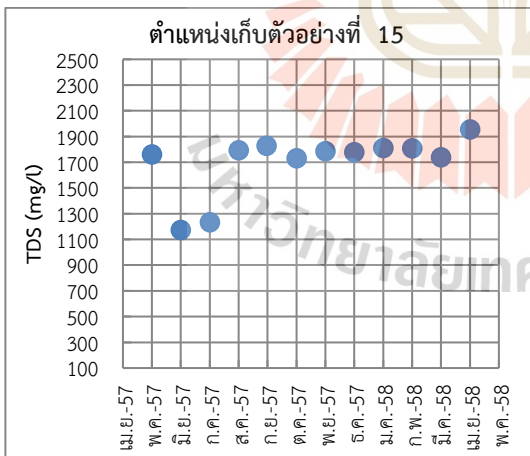
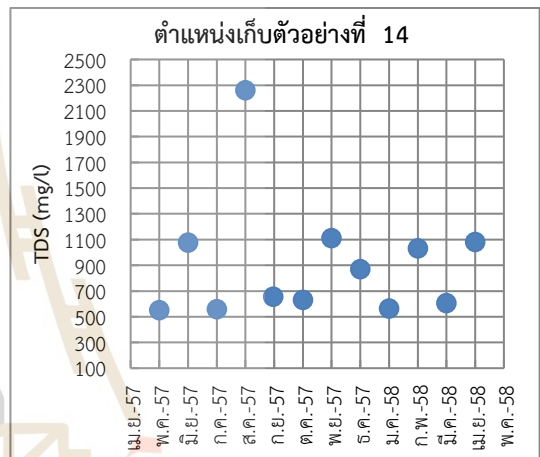
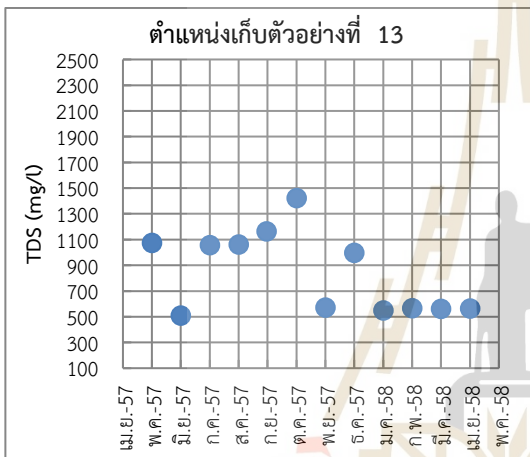
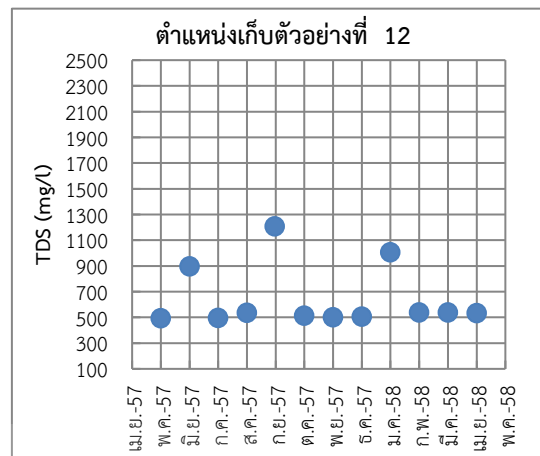
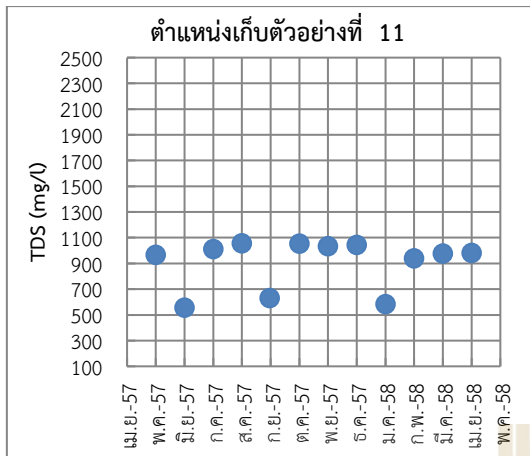
ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้ง 17 บ่อเก็บตัวอย่าง อยู่ในช่วง 338.4 – 4393.7 (ตารางที่ ข.9) ค่าต่ำสุดพบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 2 (บ้านท่างอย ซอย 5 ต.จันทิก) ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2558 และค่าสูงสุดพบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 8 (วัดหนองไผ่ล้อม บ้านหนองไผ่ล้อม หมู่ 14 ต.หนองสาหร่าย) ในเดือนกันยายน พ.ศ.2557 (รูปที่ 4.14)



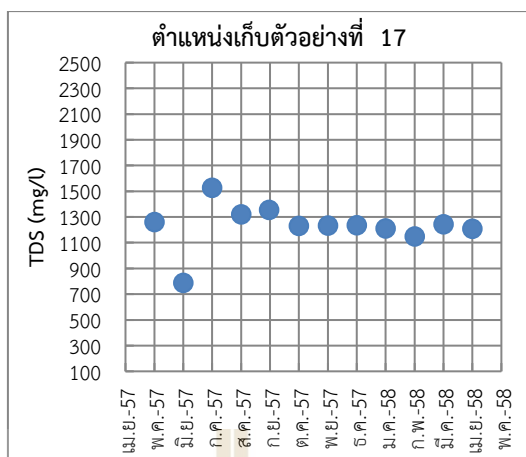
รูปที่ 4.14 ปริมาณของแข็งละลายน้ำของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558)



รูปที่ 4.14 ปริมาณของแข็งละลายน้ำของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)

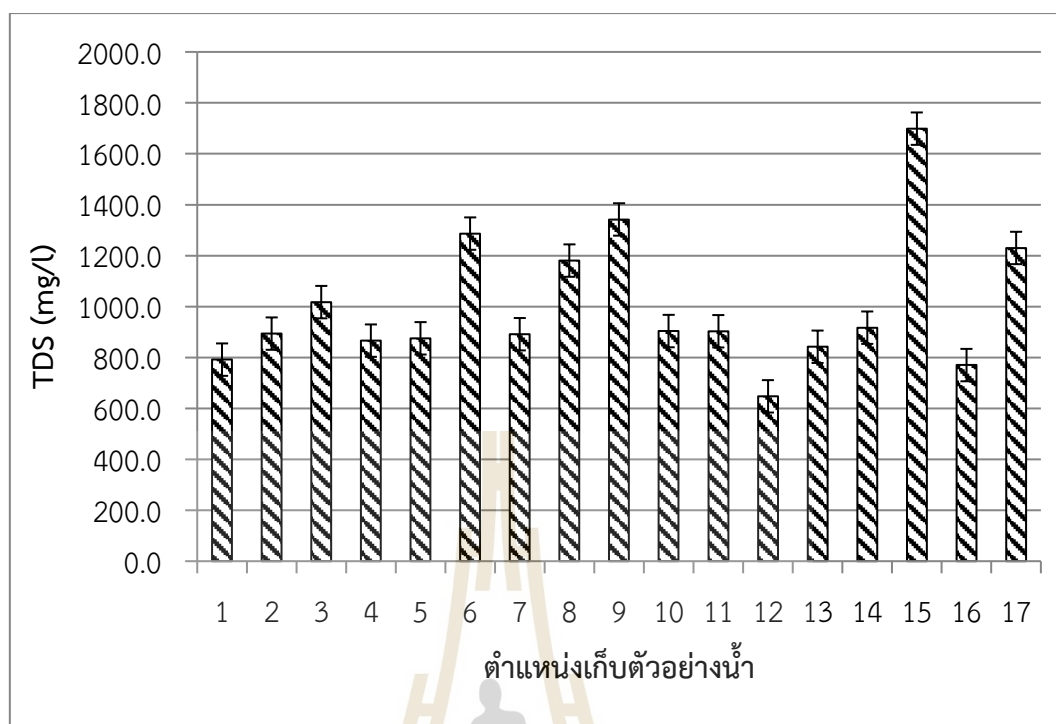


รูปที่ 4.14 ปริมาณของแข็งละลายน้ำของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)



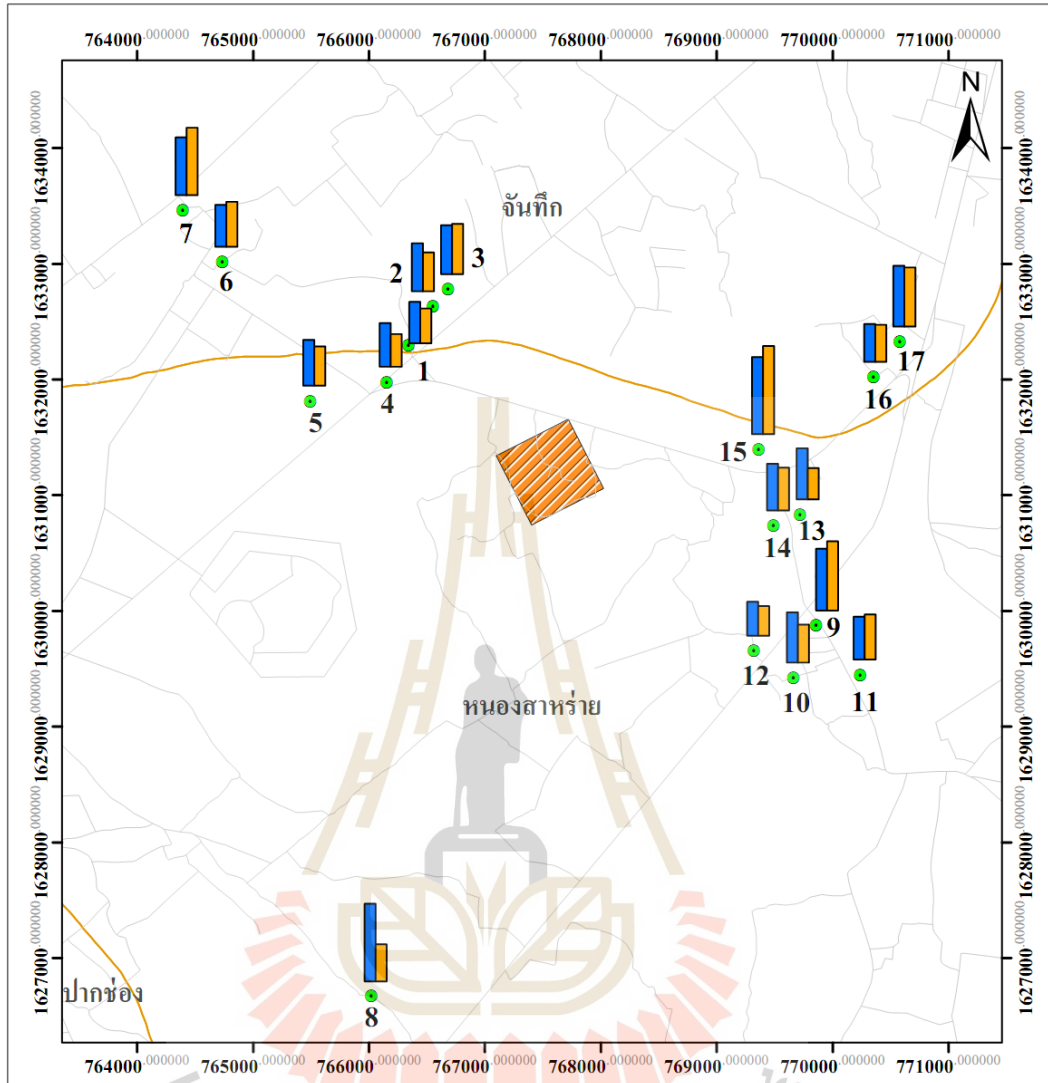
รูปที่ 4.14 ปริมาณของแข็งละลายน้ำของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)

ปริมาณของแข็งละลายน้ำเฉลี่ยจากการตรวจวัดตัวอย่างน้ำจากบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแต่ละบ่อทั้ง 12 บ่อ อยู่ในช่วง 647.5 – 1698.6 mg/l (ตารางที่ ข.9) ค่าเฉลี่ยต่ำสุด (647.5 mg/l) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 12 (กลุ่มโคกเพชรพัฒนา บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย) และค่าเฉลี่ยสูงสุด (1698.6 mg/l) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 15 (บ้านหนองจานหมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 3) (รูปที่ 4.15) ซึ่งค่าเฉลี่ยของความเป็นกรด-ด่างในพื้นที่ศึกษาทั้ง 17 บ่ออยู่ที่ 1003.4 mg/l มีค่าสูงกว่าปริมาณของแข็งละลายน้ำเฉลี่ยของบ่อน้ำใต้ดินในพื้นที่ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา (486.7 mg/l) (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2556) และสูงกว่าปริมาณของแข็งละลายน้ำเฉลี่ยในการศึกษาคุณภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ใกล้กับหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยของเทศบาลนครนครราชสีมาที่ (430.0 mg/l) (จุฑาทิพย์ อ้อมกิ่ง, 2557) เมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2542) ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่เหมาะสมคือ น้อยกว่า 600 mg/l หรือ น้อยกว่า 1200 mg/l (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด) พบว่า มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมน้อยกว่า 600 mg/l) แต่อยู่ในเกณฑ์อนุโลมสูงสุด (น้อยกว่า 1200 mg/l) และสูงกว่าเกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2011) ซึ่งกำหนดมาตรฐานปริมาณของแข็งละลายน้ำไว้ไม่เกิน 1,000 mg/l



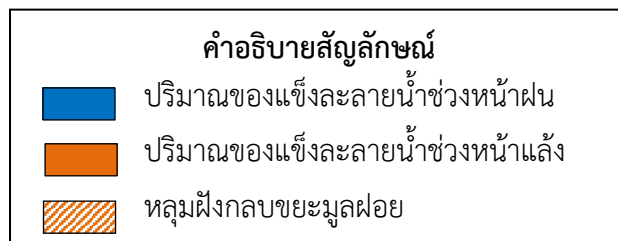
รูปที่ 4.15 ปริมาณของแข็งละลายน้ำเฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ

จากกราฟเปรียบเทียบผลของปริมาณของแข็งละลายน้ำ (ตารางที่ ข.10) ระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.) (รูปที่ 4.16) (รูปที่ ข.5) พบว่า ปริมาณของแข็งละลายน้ำมีค่าต่างกัน ปริมาณของแข็งละลายน้ำมีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยที่อยู่ในช่วงหน้าฝนสูงกว่าช่วงหน้าแล้ง แต่จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้ t-test พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งละลายน้ำในช่วงหน้าฝนไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งละลายน้ำในช่วงหน้าแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($t = 0.982$, $p = 0.334$) ปริมาณของแข็งละลายน้ำเฉลี่ยสูงสุดพบในตำแหน่งที่ 15 (บ้านหนองจาม หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 3) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1811.9 mg/L ตามด้วยปริมาณของแข็งละลายน้ำเฉลี่ยในตำแหน่งที่ 8 (วัดหนองไผ่ล้อม บ้านหนองไผ่ล้อม หมู่ 14 ต.หนองสาหร่าย) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1595.4 mg/L เนื่องจากเดือนกันยายน พ.ศ.2557 มีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูงเป็นค่าโดดเพียงค่าเดียวจึงทำให้ค่าเฉลี่ยในตำแหน่งที่ 8 มีแนวโน้มค่อนข้างสูง ซึ่งเมื่อนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2542) ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่เหมาะสมคือ น้อยกว่า 600 mg/L หรือ น้อยกว่า 1200 mg/L (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด) พบว่ามีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค และสูงกว่าเกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2011) ซึ่งกำหนดมาตรฐานปริมาณของแข็งละลายน้ำไว้ไม่เกิน 1,000 mg/L



0 .5 1 2 3 4 5 6 7 กิโลเมตร

1 เซนติเมตร = 450 เมตร

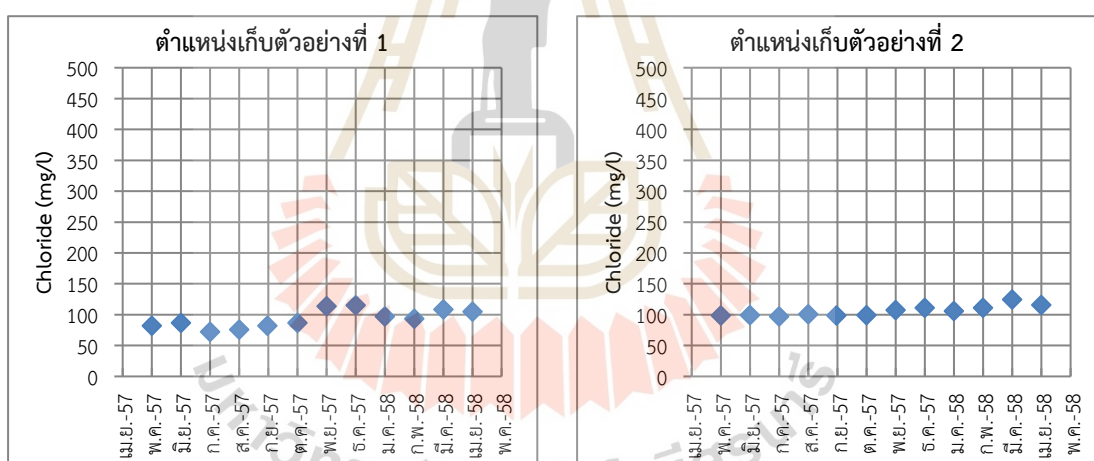


รูปที่ 4.16 ปริมาณของแข็งละลายน้ำของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)

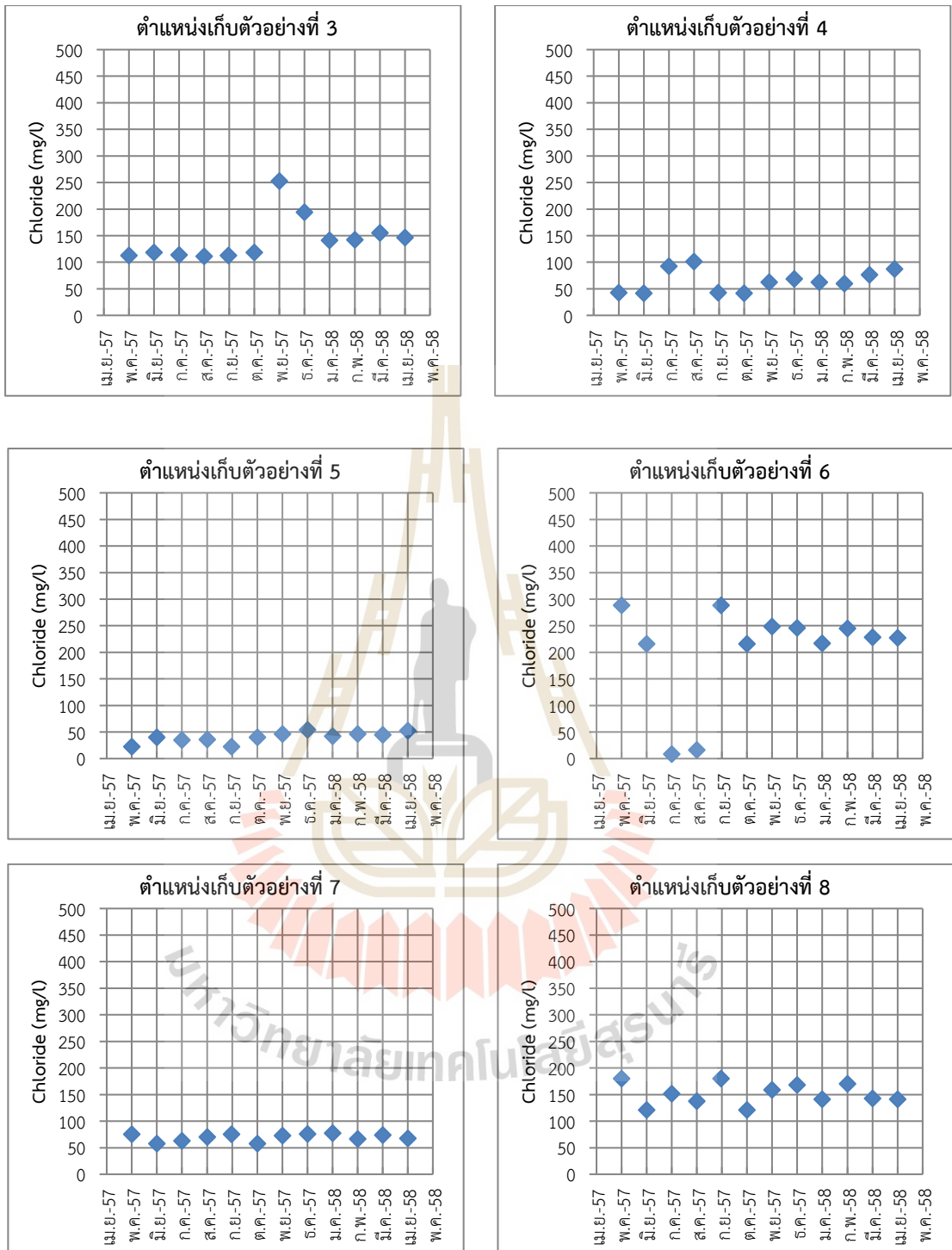
การวิเคราะห์ปริมาณแข็งละลายน้ำในแต่ละบ่อเก็บตัวอย่าง ตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (รูปที่ 4.1) พบว่า ปริมาณแข็งละลายน้ำเฉลี่ยของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินซึ่งตั้งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 9, 10, 11 และ 12) ไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยปริมาณแข็งละลายน้ำ ของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งอื่น ซึ่งไม่ได้ตั้งอยู่ในตำแหน่งเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

4.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์

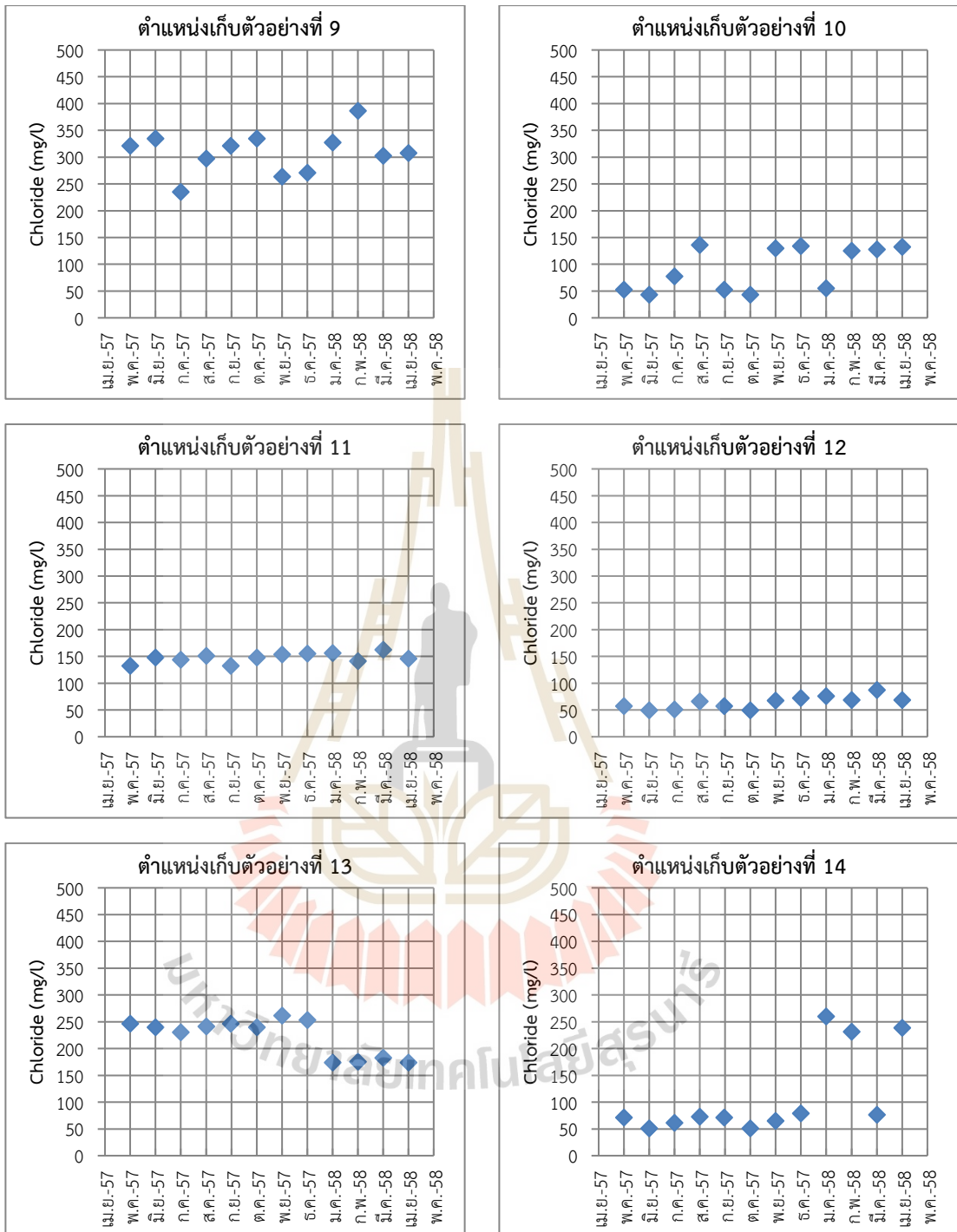
ปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์ ทั้ง 17 บ่อเก็บตัวอย่าง อยู่ในช่วง 8.8 – 386.2 mg/l (ตารางที่ ข.11) ค่าต่ำสุดพบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 6 (แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านซบม่วง หมู่ 4 ต.จันทิภ จุด 1) ในเดือนกรกฎาคม 2557 และค่าสูงสุดพบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 9 (บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 1) ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2558 (ภาคผนวก ข ตารางที่ 9) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์ ในแต่ละบ่อเก็บตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยในตลอดช่วงเก็บตัวอย่าง 12 เดือน (รูปที่ 4.17)



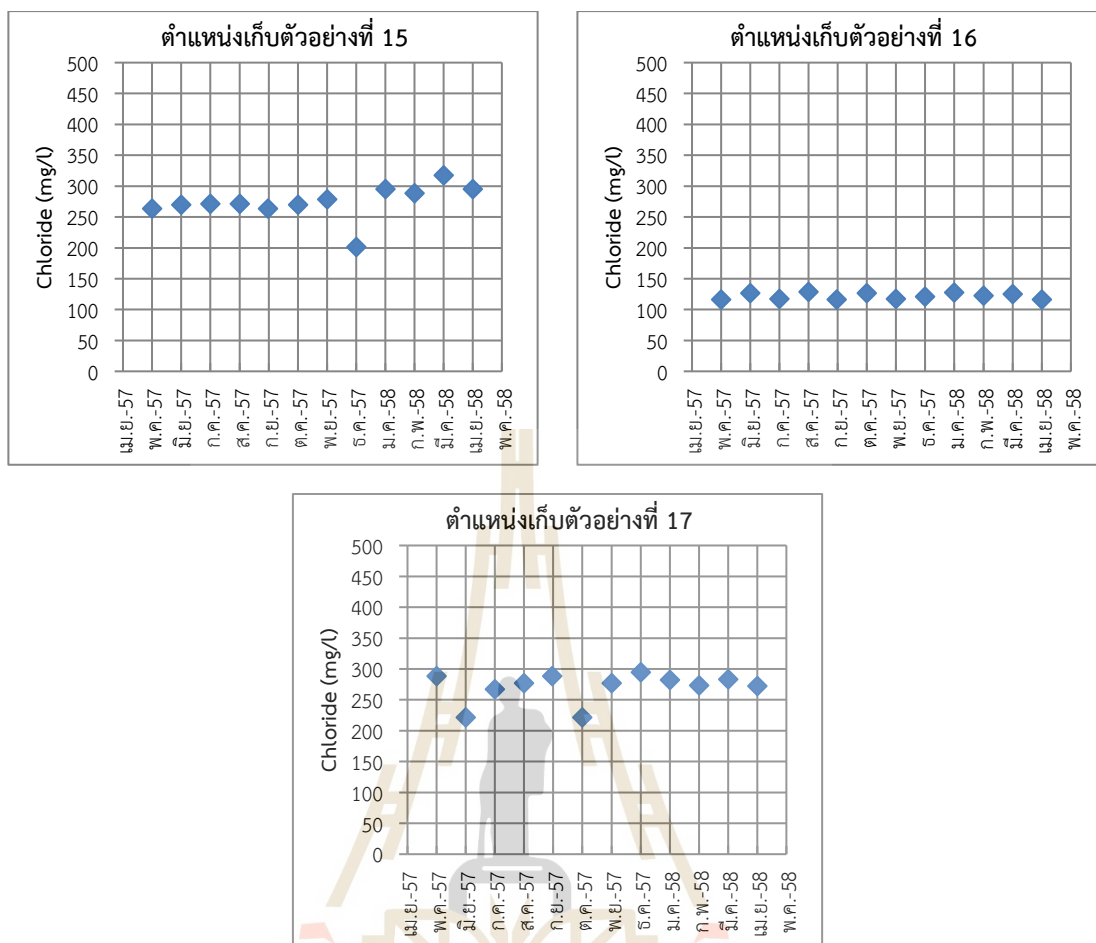
รูปที่ 4.17 ปริมาณคลอไรด์ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558)



รูปที่ 4.17 ปริมาณคลอไรด์ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)

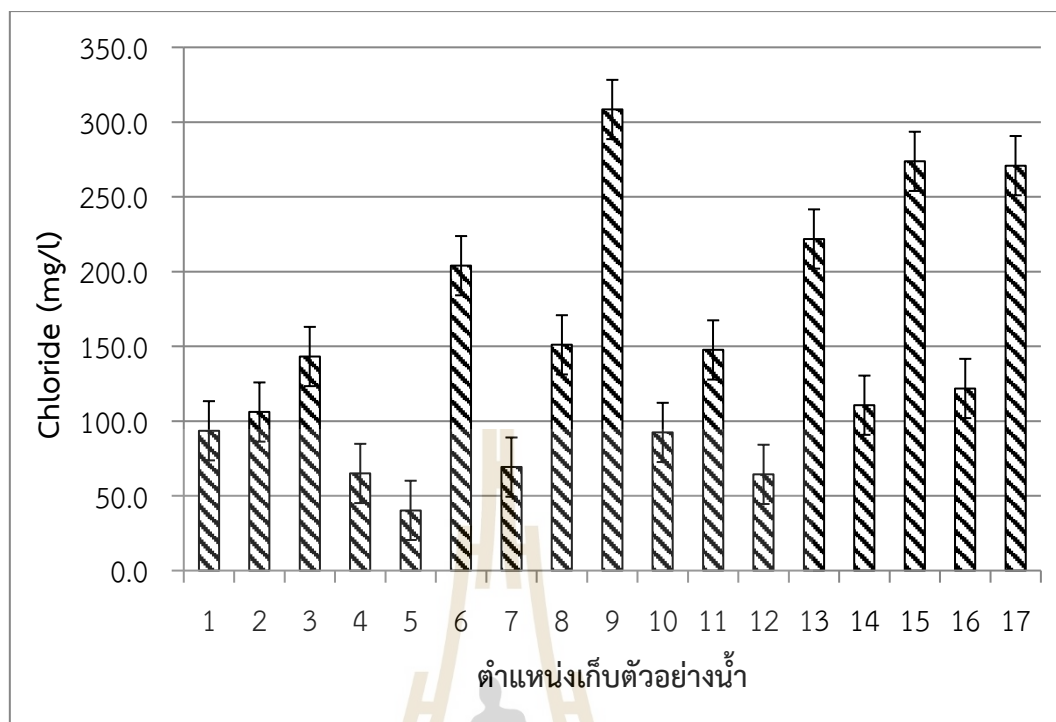


รูปที่ 4.17 ปริมาณคลอไรด์ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)



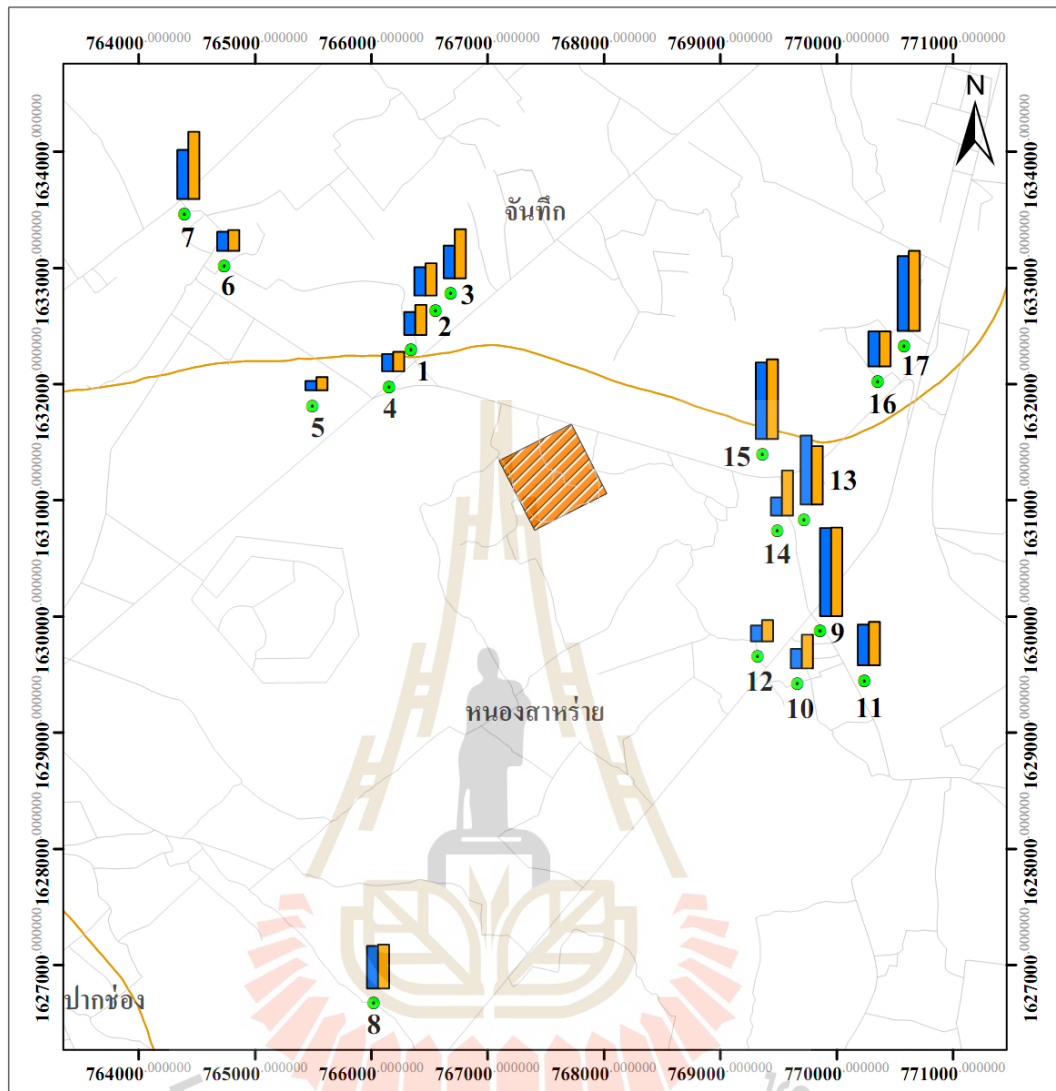
รูปที่ 4.17 ปริมาณคลอไรด์ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือน เมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)

ปริมาณคลอไรด์เฉลี่ยจากการตรวจวัดตัวอย่างน้ำจากบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแต่ละบ่อ ทั้ง 12 บ่อ อยู่ในช่วง 40.3-308.4 mg/l (ตารางที่ ข.11) ค่าเฉลี่ยต่ำสุด (40.3 ± 10.1 mg/l) พบที่ บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 5 (แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านพักทหาร) และค่าเฉลี่ยสูงสุด (308.4 ± 39.4 mg/l) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 9 (บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 1) (รูปที่ 4.18) ซึ่งปริมาณคลอไรด์เฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาทั้ง 17 บ่ออยู่ที่ 146.1 ± 81.7 mg/l มีค่าสูงกว่า ปริมาณคลอไรด์เฉลี่ยของบ่อน้ำใต้ดินในพื้นที่ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา (59.6 mg/l) (กรมทรัพยากร น้ำบาดาล, 2556) และสูงกว่าในการศึกษาคุณภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ใกล้กับหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย ของเทศบาลนครนครราชสีมา (56.25 mg/l) (จุฑาทิพย์ อ้อมกิ่ง, 2557) เมื่อเทียบกับมาตรฐานพบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2542) (เกณฑ์ กำหนดที่เหมาะสม น้อยกว่า 250 mg/l หรือเกณฑ์อนุโลมสูงสุด น้อยกว่า 600 mg/l) และเกณฑ์ แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2011) ซึ่งกำหนด มาตรฐานปริมาณคลอไรด์ไว้ไม่เกิน 250 mg/l



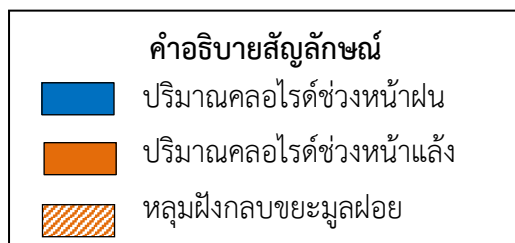
รูปที่ 4.18 ปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์เฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์ (ตารางที่ ข.12) แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ฤดูกาล ได้แก่ ช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) และช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.) พบว่า ในช่วงหน้าฝนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 32.8– 307.2 mg/l ค่าเฉลี่ยสูงสุด 307.2 ± 37.9 mg/l พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 9 (บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 1) ในช่วงหน้าแล้งค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 47.8 – 309.6 mg/l ค่าเฉลี่ยสูงสุด 309.6 ± 44.4 mg/l พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 9 (บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 1) (รูปที่ 4.19) (รูปที่ ข.6) แต่ค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์ในช่วงหน้าฝนไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์ในช่วงหน้าแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($t = 0.749$, $p = 0.459$) ซึ่งเมื่อนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2542) พบว่ามีค่าสูงกว่าเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม (250 mg/l) แต่อยู่ในเกณฑ์อนุโลมสูงสุด (600 mg/l) และสูงกว่าเกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2011) ปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหมาะสมกำหนดไว้ไม่เกิน 250 mg/l



0 .5 1 2 3 4 5 6 7 กิโลเมตร

1 เซนติเมตร = 450 เมตร



รูปที่ 4.19 ปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลด์ของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษา เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)

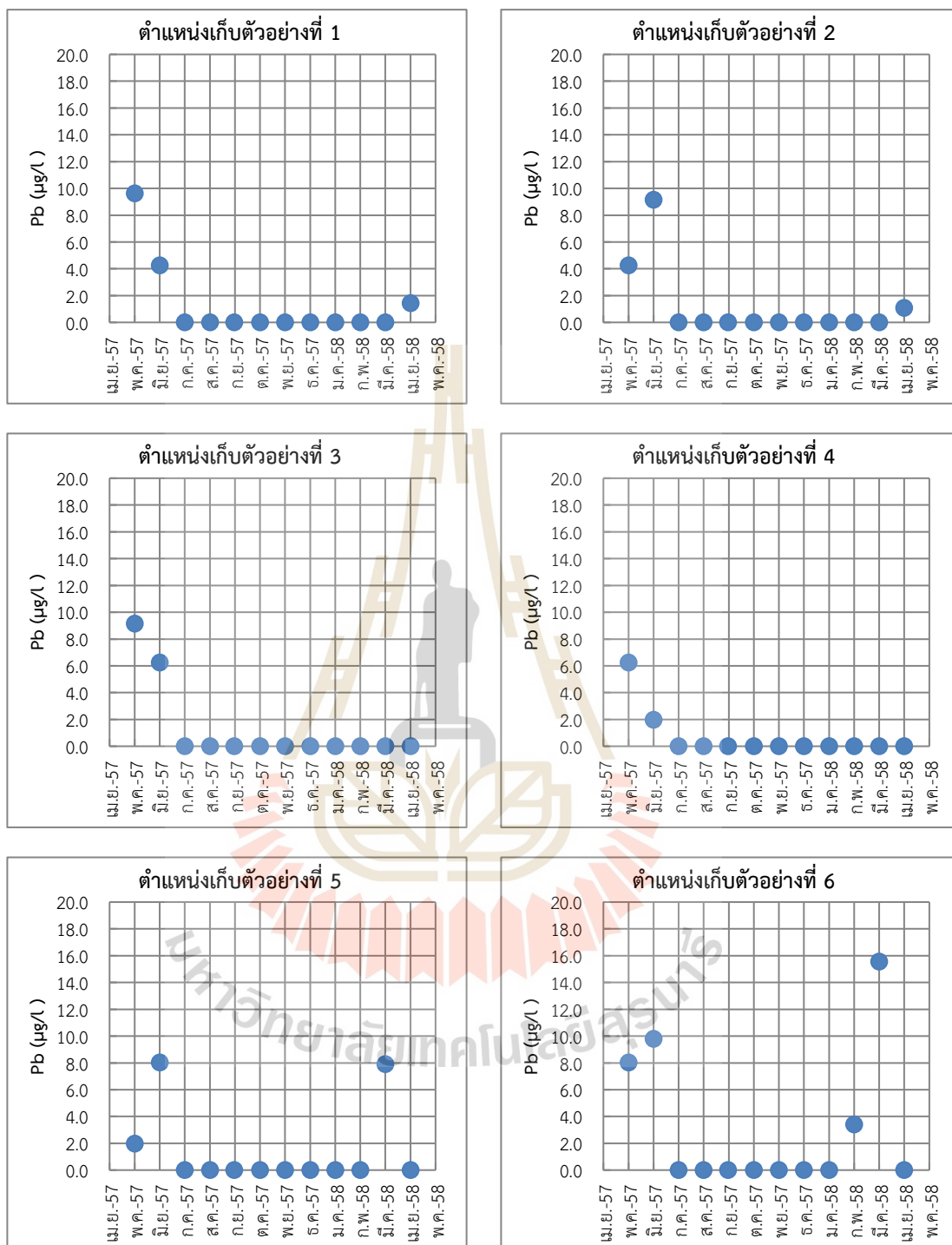
การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์ของแต่ละบ่อเก็บตัวอย่างตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (รูปที่ 4.1) พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์เฉลี่ยของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 9, 10, 11 และ 12) ในตำแหน่งบ่อเก็บตัวอย่างที่ 9 มีปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์ เฉลี่ยค่อนข้างสูงกว่า ปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์เฉลี่ยของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งอื่นซึ่งไม่ได้ตั้งอยู่ในตำแหน่งเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

4.2.7 การวิเคราะห์โลหะหนัก

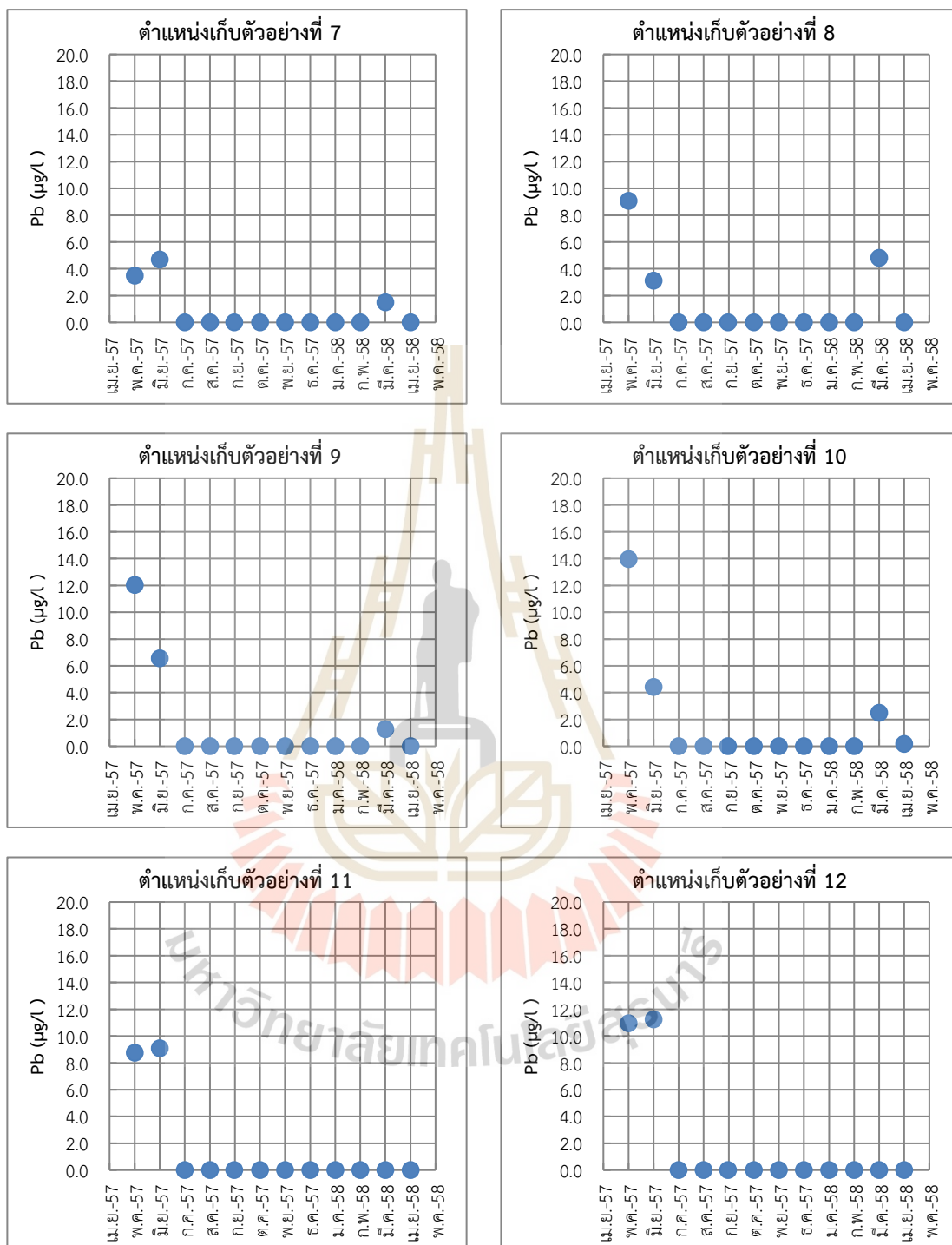
ในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์โลหะหนักทั้งหมด 4 ชนิดได้แก่ ตะกั่ว นิกเกิล แคดเมียม และปรอท ซึ่งโลหะหนักเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ เนื่องจากสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ในระยะยาวหากได้รับอย่างต่อเนื่อง

4.2.7.1 สารตะกั่ว (Lead)

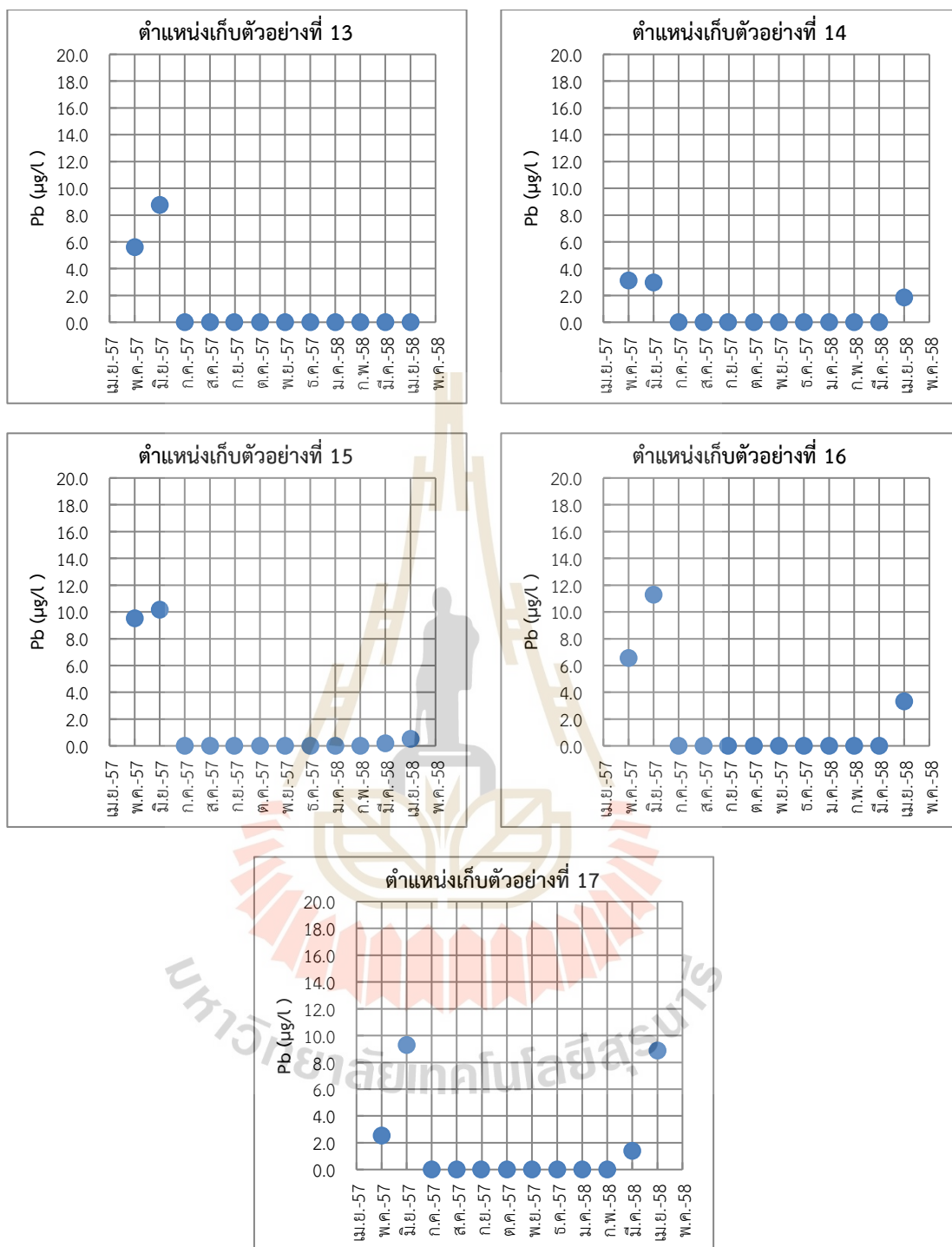
สารตะกั่วเป็นสารพิษที่ก่อให้เกิดโรคพิษตะกั่ว เมื่อสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายแล้ว จะเข้าไปจับกับเม็ดเลือดแดง และหมุนเวียนตามกระแสโลหิต กระจายเข้าสู่เนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยจะไปสะสมที่ไต ซึ่งจะทำให้ไตทำงานผิดปกติ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อตับ หัวใจ และระบบสืบพันธุ์ ทำให้โครโมโซมผิดปกตินำไปสู่ความผิดปกติตั้งแต่กำเนิด และชักนำให้เกิดโรคมะเร็ง ผลการวิเคราะห์สารตะกั่วในตัวอย่างน้ำใต้ดิน (ตารางที่ ข.13) พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วทั้ง 17 บ่อเก็บตัวอย่าง อยู่ในช่วง $\leq 1.0 - 15.6 \mu\text{g/l}$ ค่าต่ำสุดอยู่ในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2557 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2558 ในทุกบ่อเก็บตัวอย่าง และค่าสูงสุดพบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 6 (แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านซิมม่วง หมู่ 4 ต.จันทัก จุด 1) ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 (รูปที่ 4.20)



รูปที่ 4.20 ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558)

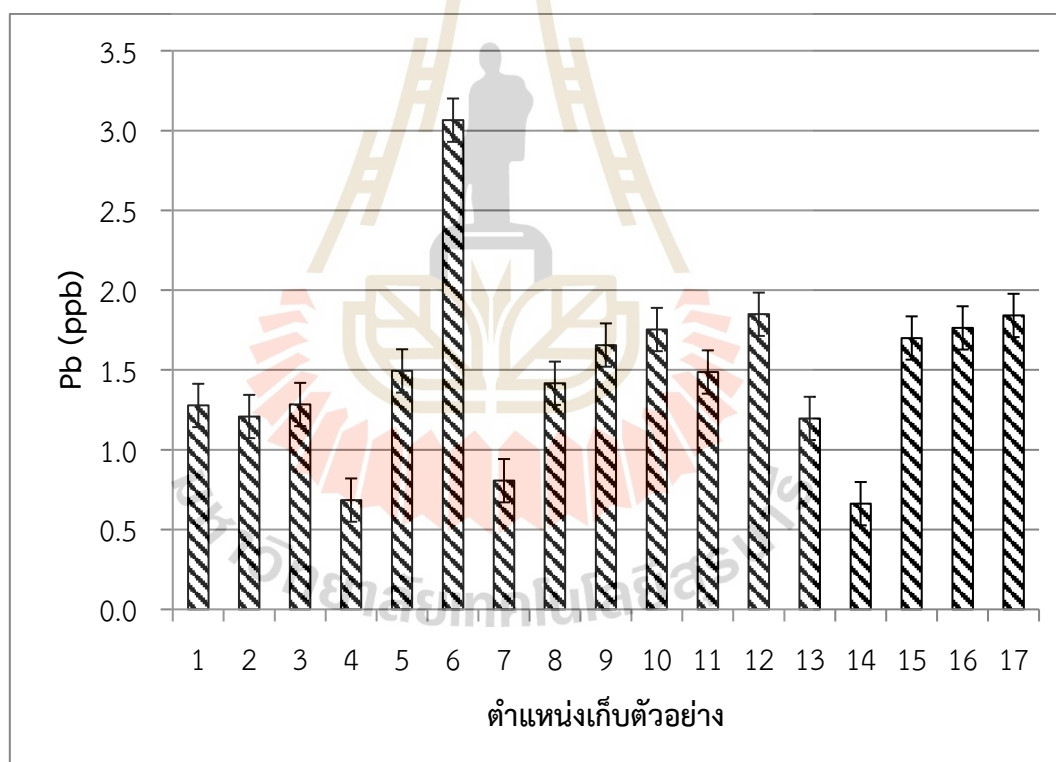


รูปที่ 4.20 ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)



รูปที่ 4.20 ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)

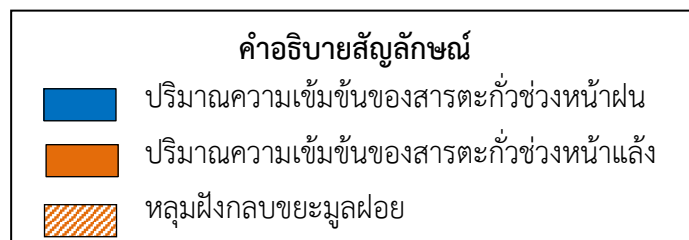
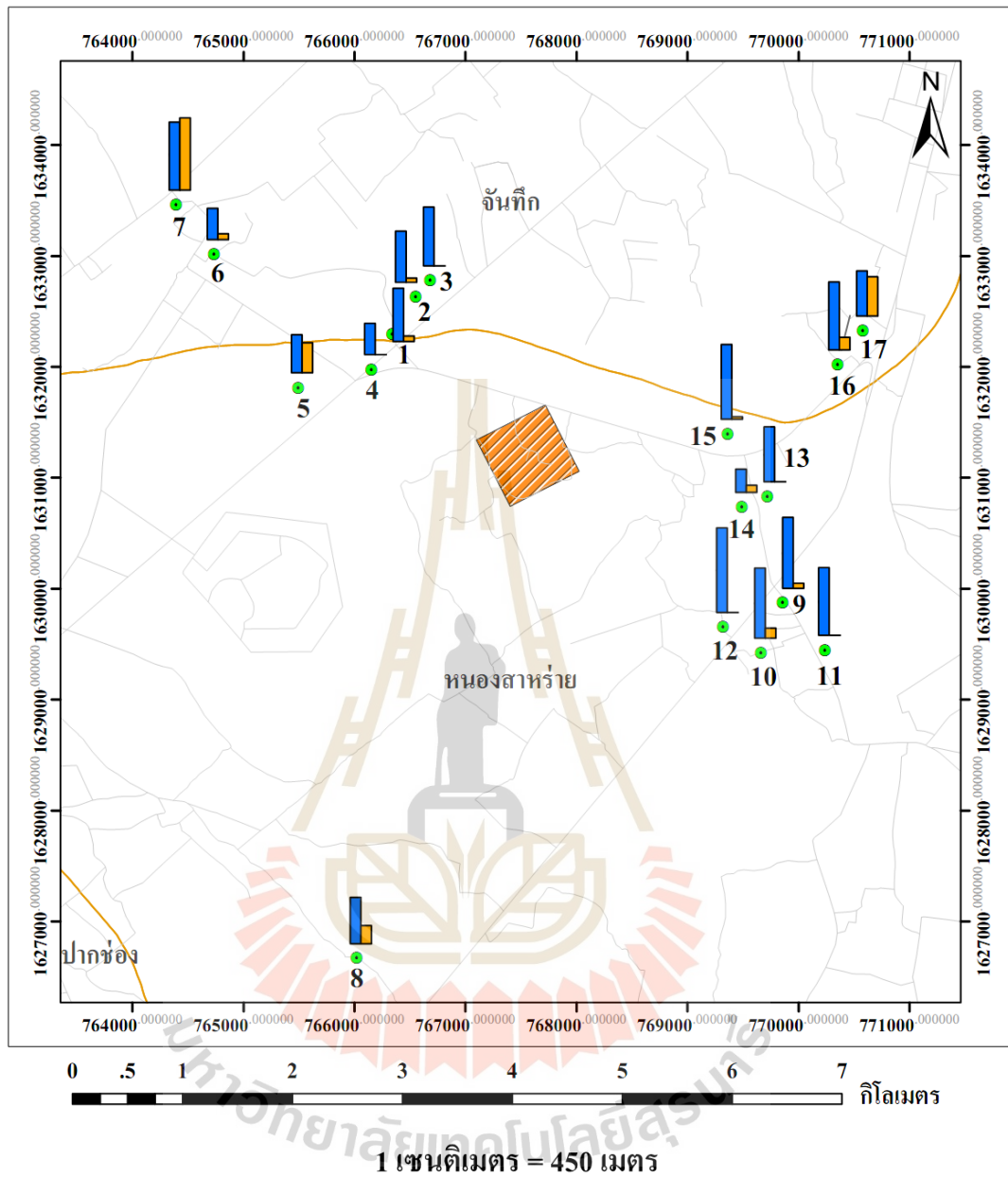
ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) เฉลี่ยจากการตรวจวัดตัวอย่างน้ำจากบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแต่ละบ่อทั้ง 12 บ่อ อยู่ในช่วง 0.7-3.1 $\mu\text{g}/\text{l}$ (ตารางที่ ข.13) ค่าเฉลี่ยต่ำสุด ($0.7 \pm 1.8 \mu\text{g}/\text{l}$) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 4 (บ้านท่าออย สวนสุขภาพบ้านท่าออย ต.จันทิก) และค่าเฉลี่ยสูงสุด ($3.1 \pm 0.6 \mu\text{g}/\text{l}$) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 6 (แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านซำม่วง หมู่ 4 ต.จันทิก จุด 1) (รูปที่ 4.21) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาทั้ง 17 บ่ออยู่ที่ $1.5 \pm 0.6 \mu\text{g}/\text{l}$ มีค่าต่ำกว่าปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วในการศึกษาคุณภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ใกล้กับหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยของเทศบาลนครราชสีมามีปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วเฉลี่ยอยู่ที่ $2.1 \mu\text{g}/\text{l}$ (จุฑาทิพย์ อ้อมกิ่ง, 2557) และเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค ($50 \mu\text{g}/\text{l}$) (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2542) เกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก ($10 \mu\text{g}/\text{l}$) (World Health Organization, 2011) และมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ($10 \mu\text{g}/\text{l}$) (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2543)



รูปที่ 4.21 ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) เฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (ตารางที่ ข.14) แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ฤดูกาล ได้แก่ ช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) และช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.) พบว่า ในช่วงหน้าฝนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.0 – 3.7 $\mu\text{g/l}$ ค่าเฉลี่ยสูงสุด $3.7 \pm 5.7 \mu\text{g/l}$ พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 12 (กลุ่มโคกเพชรพัฒนา บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย) ในช่วงหน้าแล้งค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง $\leq 1 - 3.2 \mu\text{g/l}$ ค่าเฉลี่ยสูงสุด $3.2 \pm 6.2 \mu\text{g/l}$ พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 6 (แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านซั่มม่วง หมู่ 4 ต.จันทิก จุด 1) (รูปที่ 4.22) (รูปที่ ข.7) ซึ่งค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วในช่วงหน้าฝนมีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยในช่วงหน้าแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($t = 6.828, p = 0.0$) ซึ่งเมื่อนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2543) มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2542) และเกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2011) ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วที่เหมาะสมกำหนดไว้ไม่เกิน 10, 50 และ 10 $\mu\text{g/l}$ ตามลำดับ พบว่า ค่าสูงสุดของปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (3.7 $\mu\text{g/l}$) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน





รูปที่ 4.22 ปริมาณความชื้นชั้นของสารตะกั่วบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษา เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)

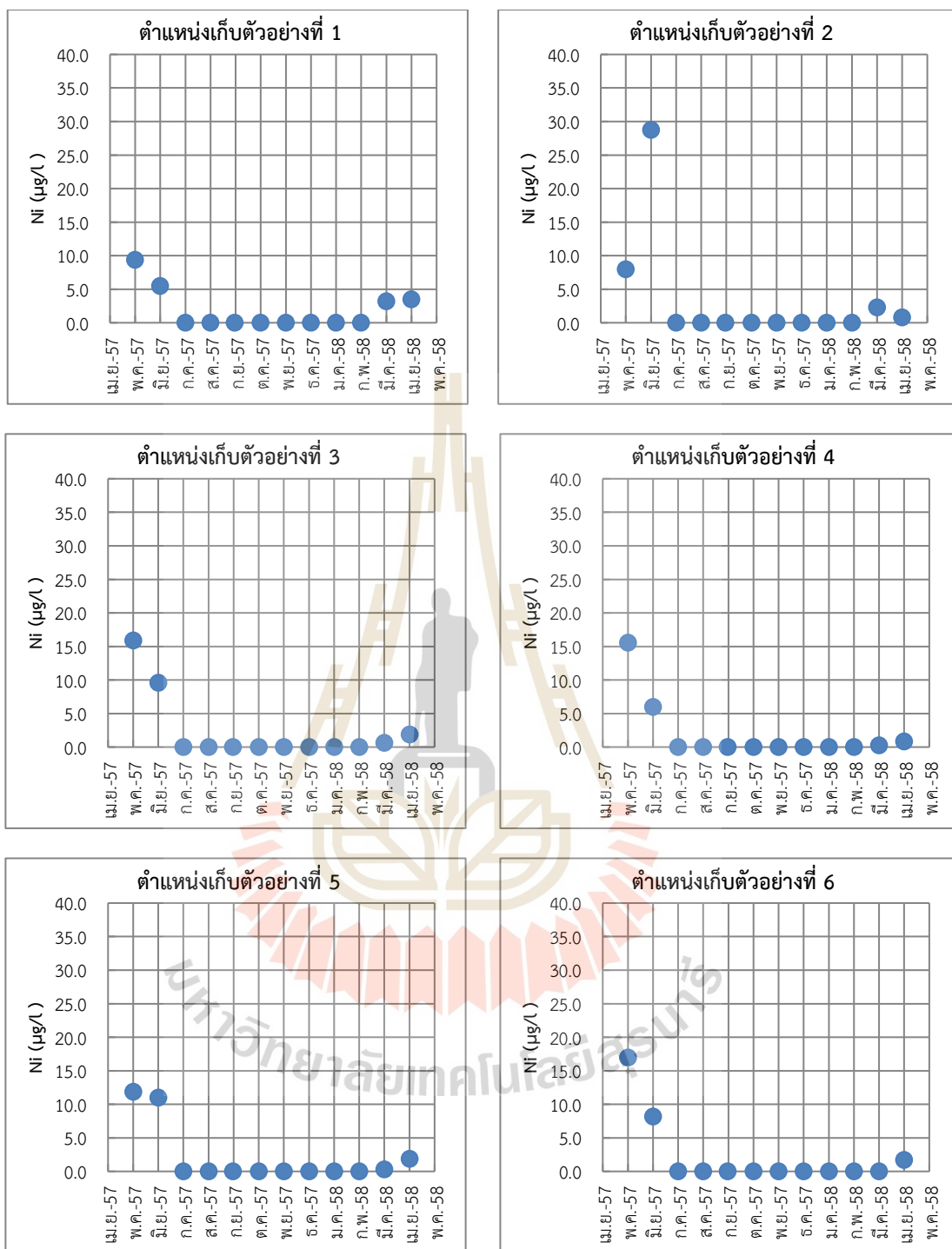
การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วของแต่ละบ่อเก็บตัวอย่างตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (รูปที่ 4.1) พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วเฉลี่ยของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินซึ่งตั้งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 9, 10, 11 และ 12) มีปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วเฉลี่ยค่อนข้างสูงในช่วงหน้าฝน โดยบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 12 มีปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วเฉลี่ยสูงสุด ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วสูงกว่าบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งอื่น ซึ่งไม่ได้ตั้งอยู่ในตำแหน่งเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

4.2.7.2 แคดเมียม (Cadmium)

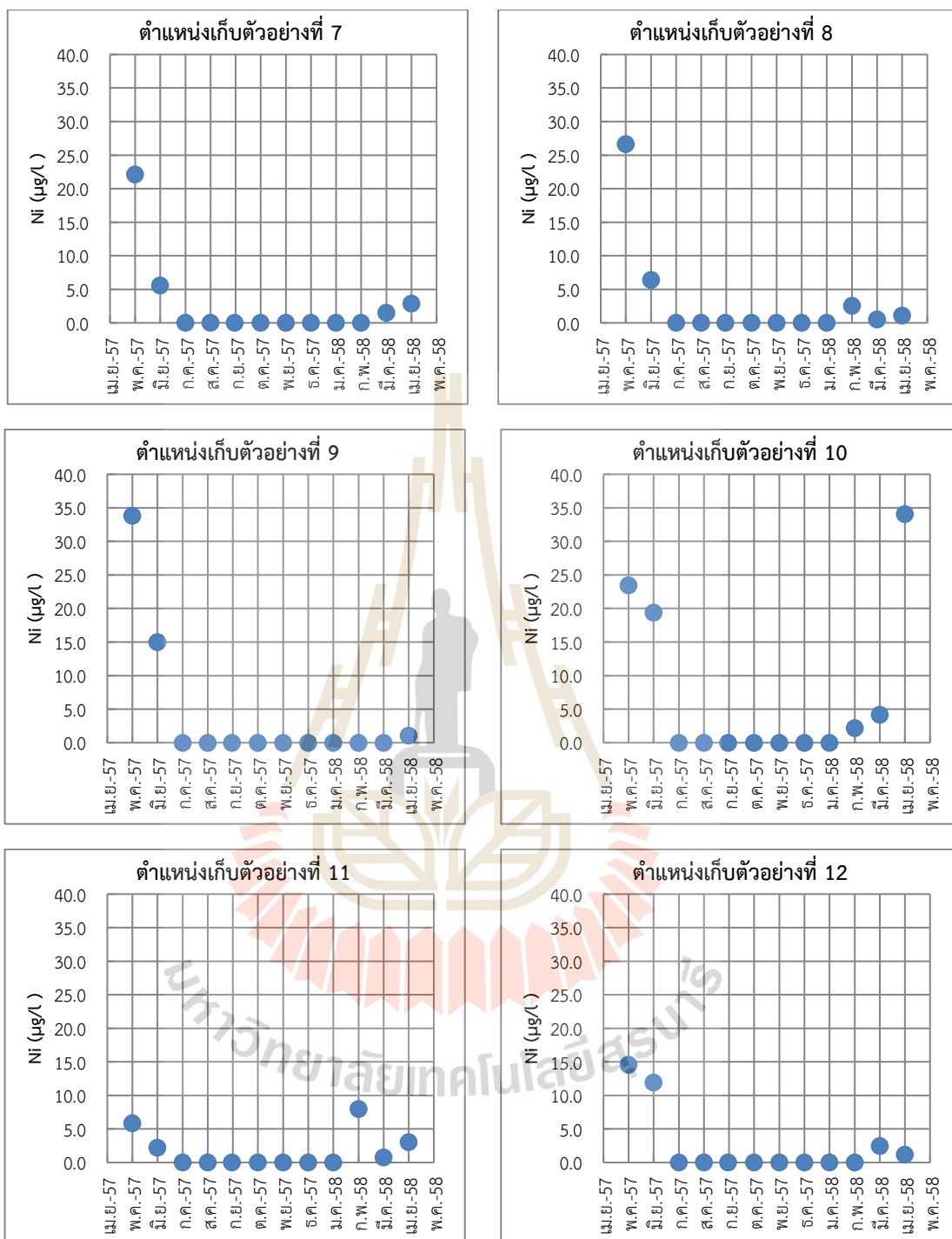
แคดเมียมเป็นสารพิษที่ก่อให้เกิดโรคอไตอไต เมื่อแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจะส่งผลก่อให้เกิดการการอาเจียน ท้องร่วง และหากได้รับแคดเมียมแบบเรื้อรังจะทำให้เกิดโรคอไตอไต โดยจะทำให้เกิดความผิดปกติที่กระดูก และไตพิการ ซึ่งผลการวิเคราะห์แคดเมียมในตัวอย่างน้ำใต้ดินพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมทั้ง 17 บ่อเก็บตัวอย่างมีความเข้มข้นน้อยกว่าค่าต่ำสุดที่เครื่องสามารถวิเคราะห์ได้ (Detection limit) หรือมีปริมาณความเข้มข้นต่ำกว่า $1 \mu\text{g/l}$ ซึ่งเมื่อนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2543) มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2542) และเกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2011) ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วที่เหมาะสมกำหนดไว้ไม่เกิน 3, 10 และ $3 \mu\text{g/l}$ ตามลำดับ พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของสารแคดเมียมในน้ำใต้ดินอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานฯ ทั้ง 17 บ่อ

4.2.7.3 นิกเกิล (Nickel)

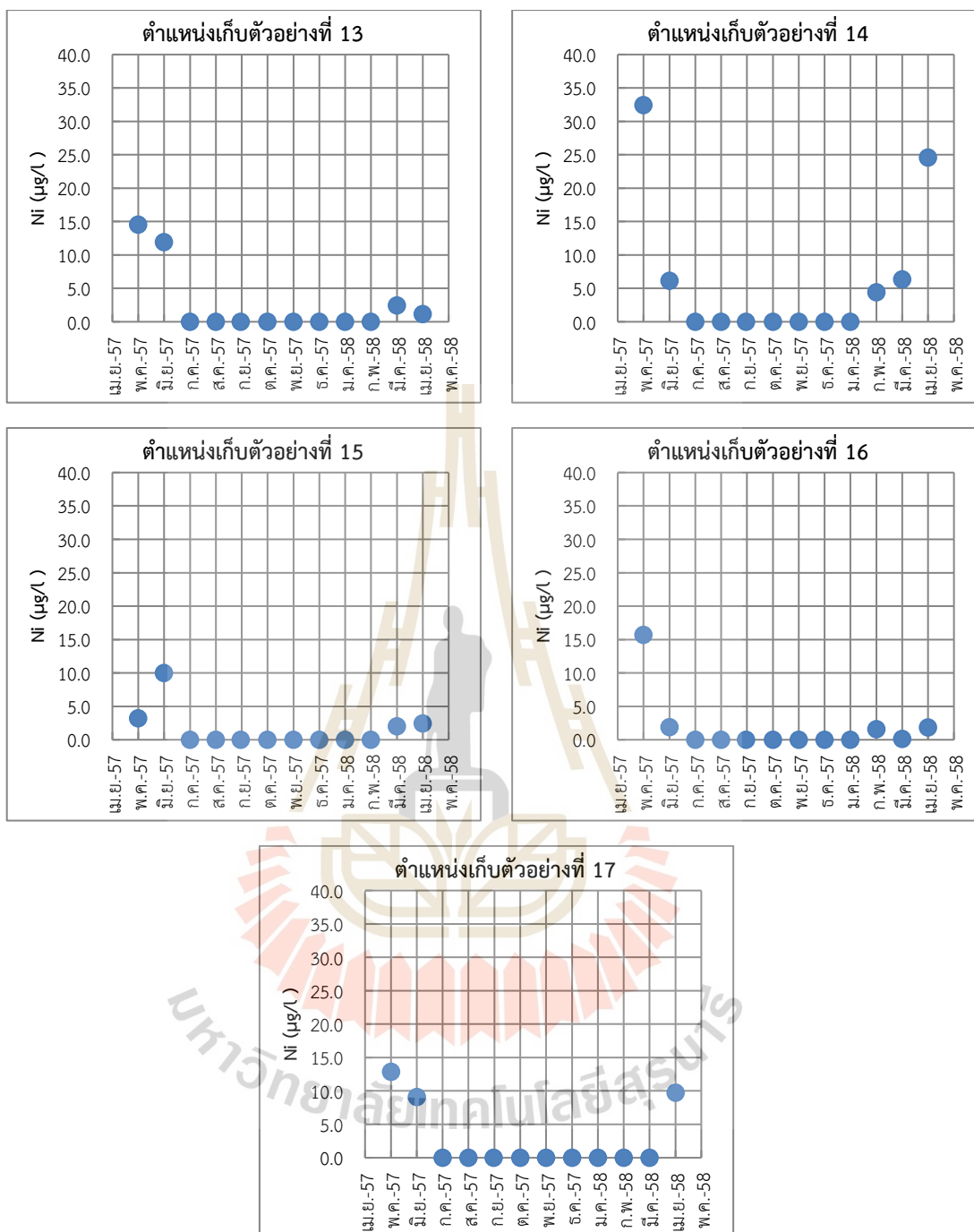
ปริมาณความเข้มข้นนิกเกิลทั้ง 17 บ่อเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ ข.15) อยู่ในช่วง $\leq 1 - 34.1 \mu\text{g/l}$ ค่าต่ำสุดอยู่ในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2557 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ.2558 ในทุกบ่อเก็บตัวอย่าง และค่าสูงสุดพบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 10 (บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 2) ในเดือนเมษายน พ.ศ.2558 (รูปที่ 4.23)



รูปที่ 4.23 ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558)



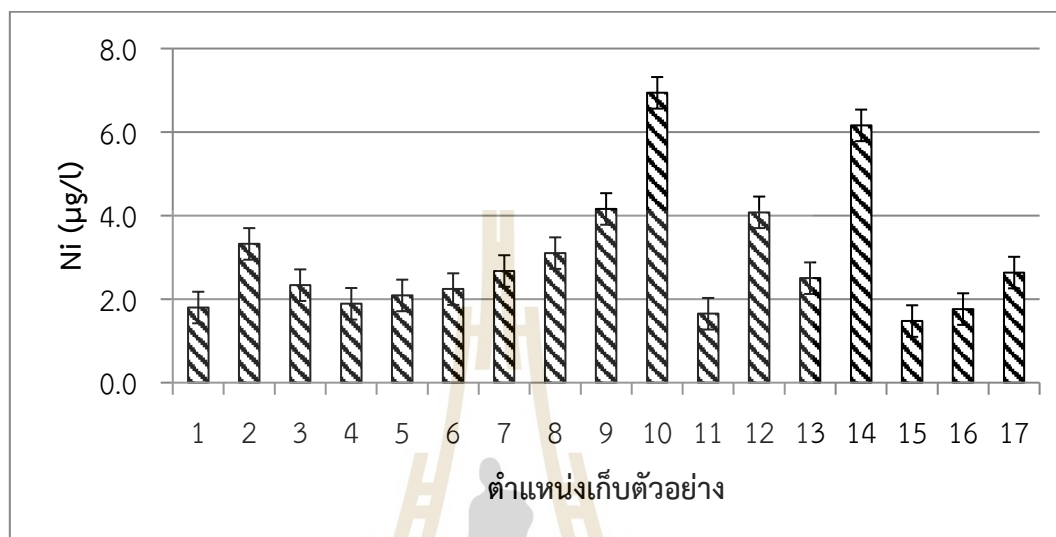
รูปที่ 4.23 ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 (ต่อ))



รูปที่ 4.23 ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 (ต่อ))

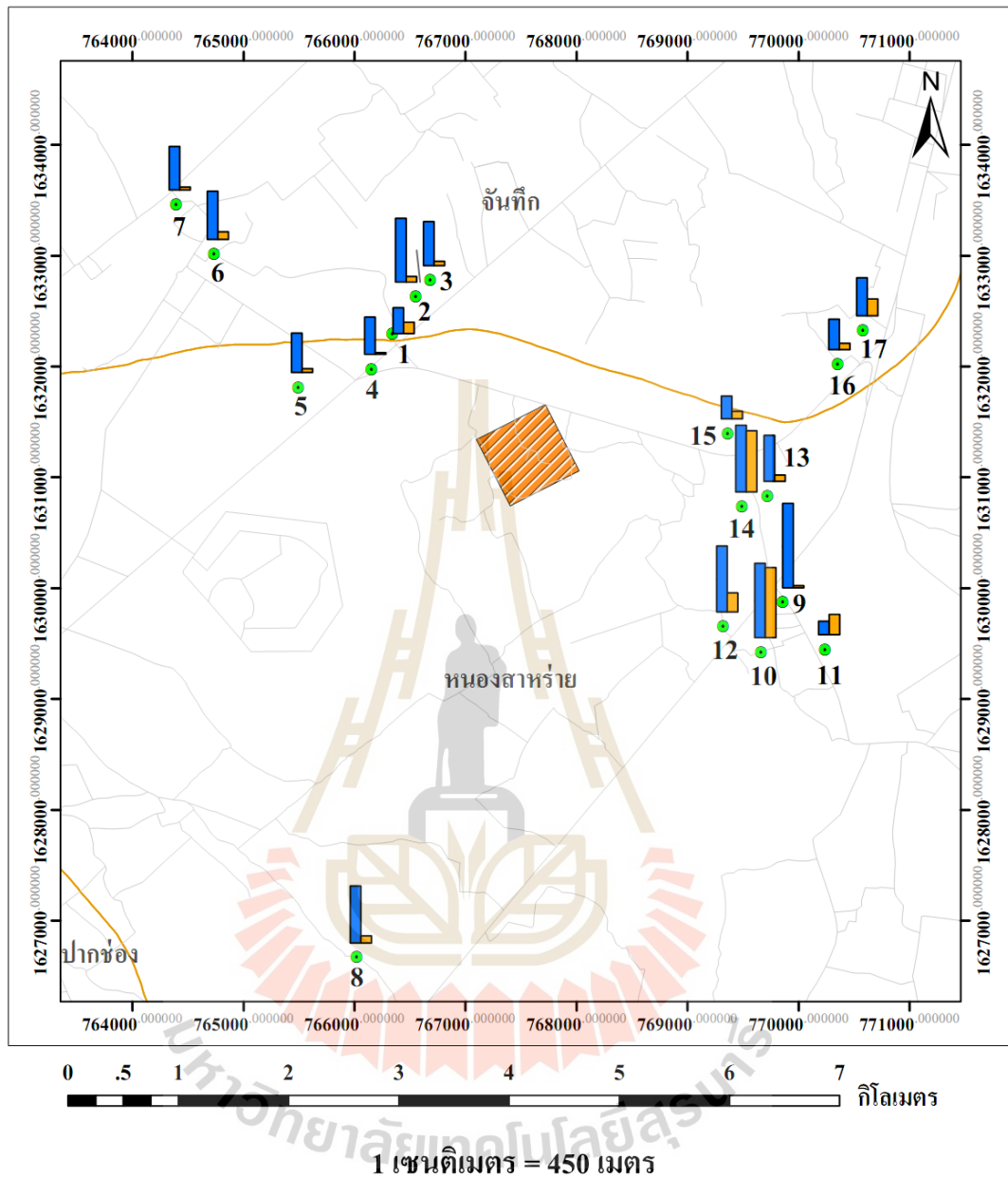
ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) เฉลี่ยจากการตรวจวัดตัวอย่างน้ำจากบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแต่ละบ่อทั้ง 12 บ่อ อยู่ในช่วง 1.5-6.9 µg/l (ตารางที่ ข.15) ค่าเฉลี่ยต่ำสุด (1.5 ± 2.9 µg/l) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 15 (บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 3) และค่าเฉลี่ยสูงสุด (6.9 ± 11.8 µg/l) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 10 (บ้านบ่อทอง หมู่ 15

ต.หนองสาหร่าย จุด 2) (รูปที่ 4.24) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาทั้ง 17 บ่อ อยู่ที่ $3.0 \pm 1.6 \mu\text{g/l}$ เป็นไปตามเกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก ($70 \mu\text{g/l}$) (World Health Organization, 2011) และมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ($20 \mu\text{g/l}$) (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2543)



รูปที่ 4.24 ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลเฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (ตารางที่ ข.16) แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ฤดูกาล ได้แก่ ช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) และช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.) พบว่า ในช่วงหน้าฝนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง $1.3 - 8.1 \mu\text{g/l}$ ค่าเฉลี่ยสูงสุด $8.1 \pm 14.0 \mu\text{g/l}$ พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 9 (บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 1) ในช่วงหน้าแล้ง ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง $0.2 - 6.7 \mu\text{g/l}$ ค่าเฉลี่ยสูงสุด $6.7 \pm 13.5 \mu\text{g/l}$ พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 10 (บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 2) (รูปที่ 4.25) (รูปที่ ข.8) ซึ่งค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลในช่วงหน้าฝนมีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลในช่วงหน้าแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($t = 4.793, p = 0.0$) ซึ่งเมื่อนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) และเกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2011) ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลที่เหมาะสมกำหนดไว้ไม่เกิน $20 \mu\text{g/l}$ พบว่า ค่าสูงสุดของปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล ($8.1 \mu\text{g/l}$) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

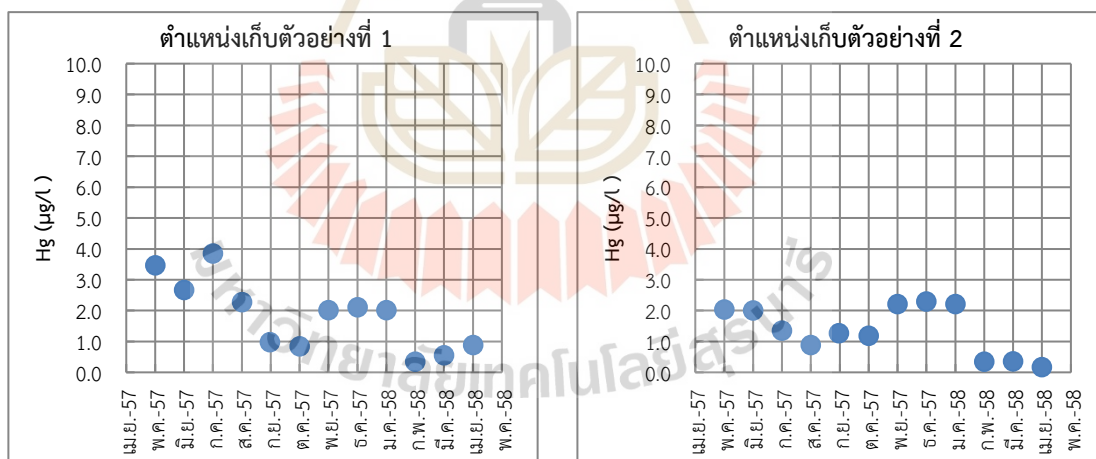


รูปที่ 4.25 ปริมาณความชื้นของนิกเกิลของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษา เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)

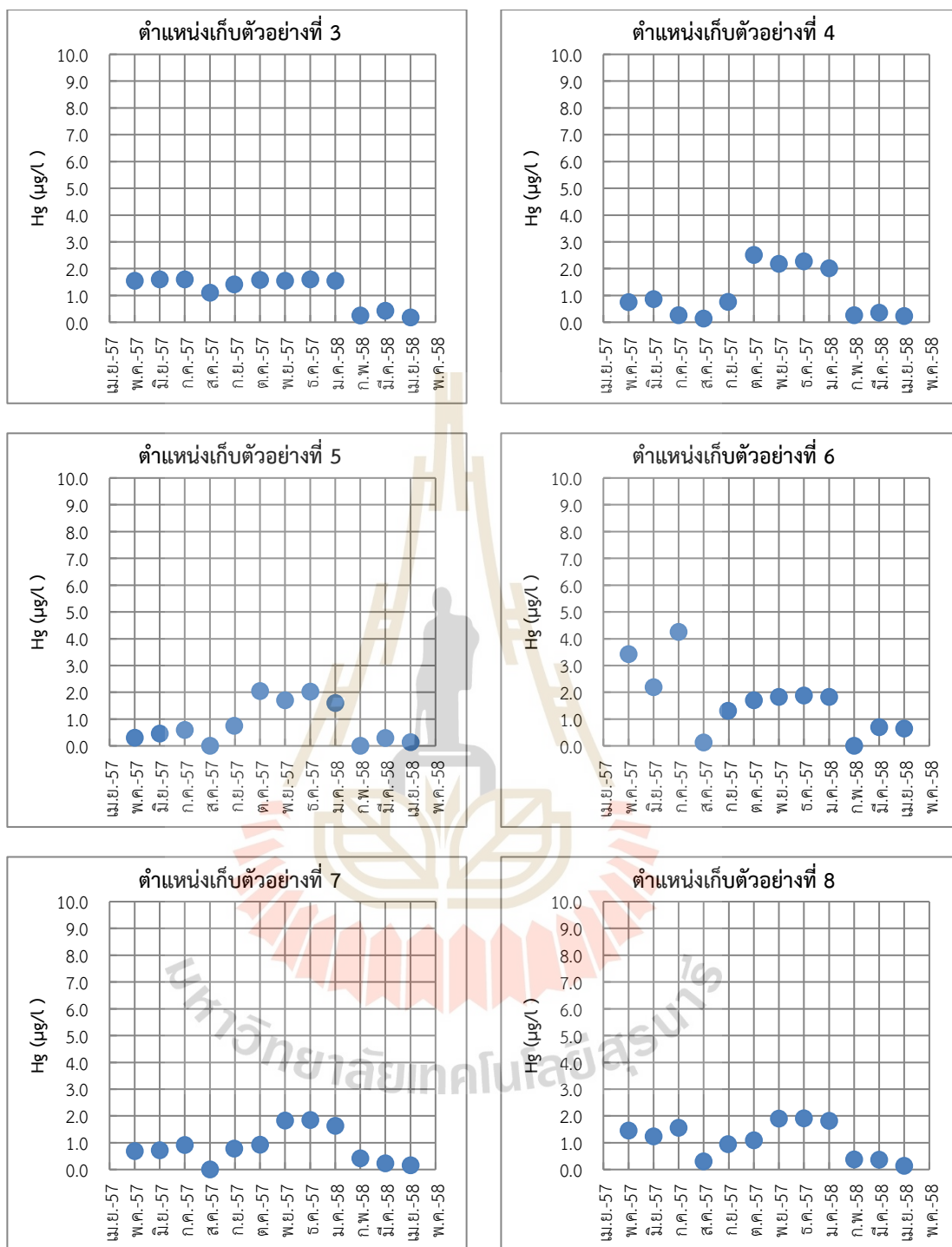
การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลของแต่ละบ่อเก็บตัวอย่างตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (รูปที่ 4.1) พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลเฉลี่ยของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินซึ่งตั้งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 9, 10, 11 และ 12) มีปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลเฉลี่ยค่อนข้างสูงในช่วงหน้าฝน โดยบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 9 มีปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลเฉลี่ยสูงที่สุด ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลสูงกว่าบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งอื่น ซึ่งไม่ได้ตั้งอยู่ในตำแหน่งเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน แต่บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 11 มีปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลในช่วงหน้าฝนน้อยกว่าบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งอื่น

4.2.7.4 สารปรอท (Mercury)

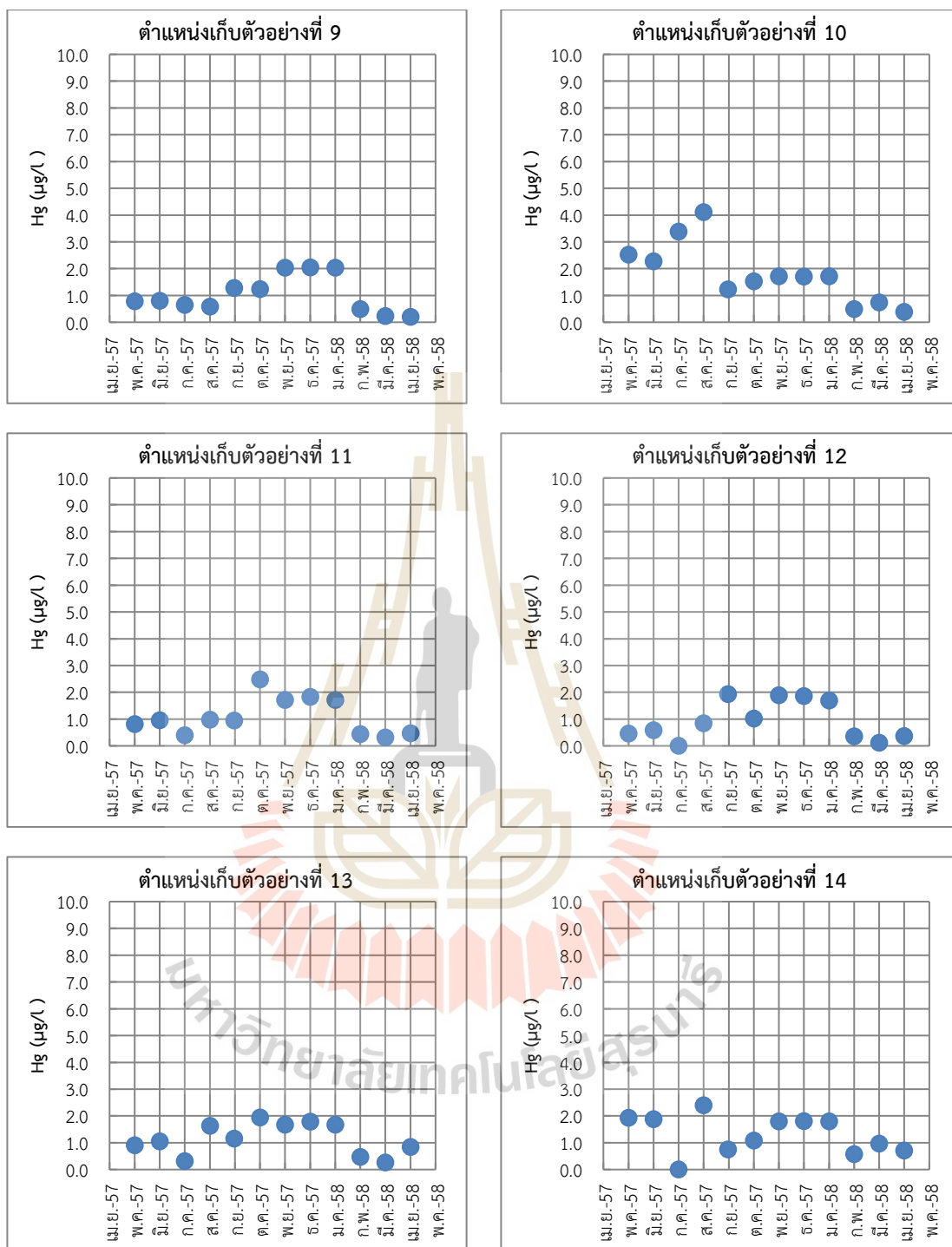
สารปรอทเป็นสารพิษที่ก่อให้เกิดโรคมินามาตะ เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะเข้าไปจับกับเม็ดเลือดแดง และกระจายไปยังทั่วทุกส่วนของร่างกาย และยังส่งผลกระทบต่อสมองส่วนการควบคุมการมองเห็นและส่วนของความรู้สึกนึกคิด ซึ่งผลการวิเคราะห์สารปรอทในตัวอย่างน้ำใต้ดิน (ตารางที่ ข.17) พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอททั้ง 17 บ่อเก็บตัวอย่าง อยู่ในช่วง $\leq 1 - 4.3 \mu\text{g/l}$ ค่าสูงสุดพบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 6 (แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านซัชม่วง หมู่ 4 ต.จันทิก จุด 1) ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2557 (รูปที่ 4.26)



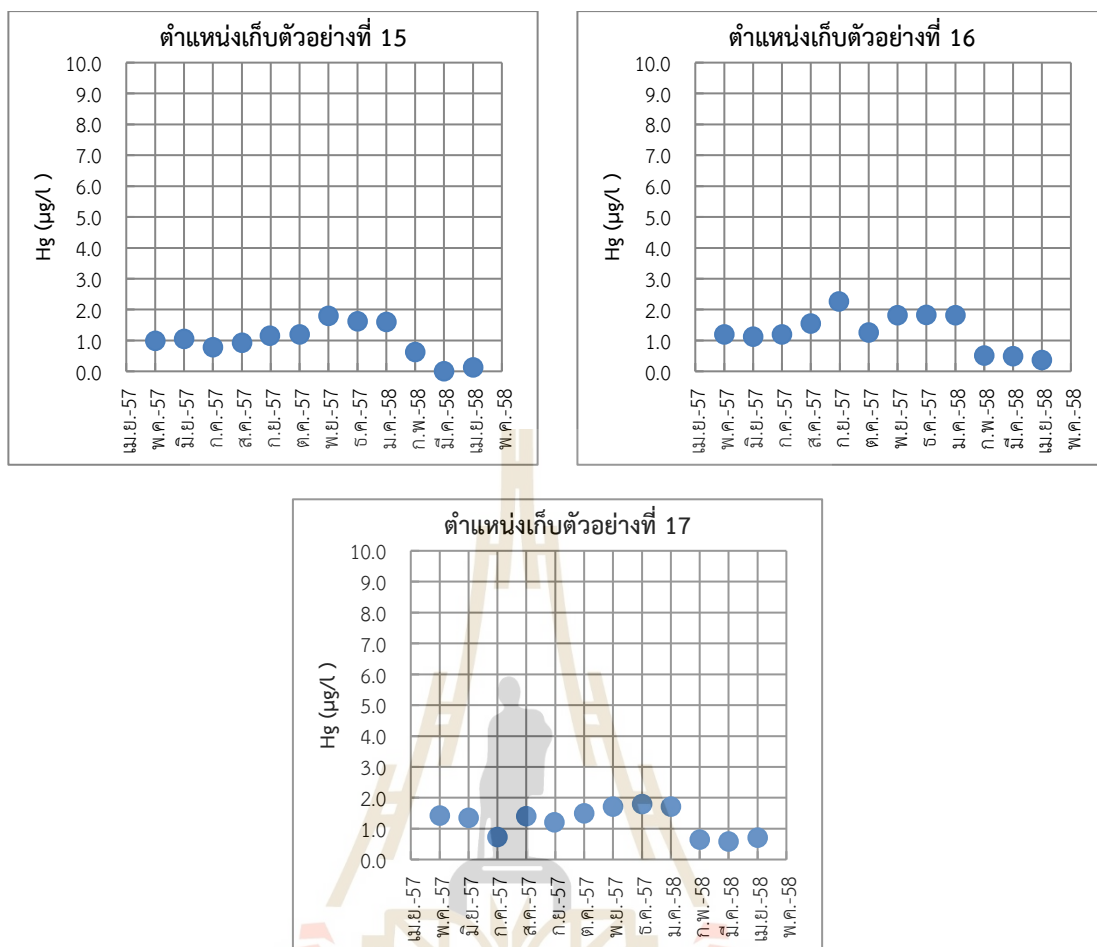
รูปที่ 4.26 ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (Hg) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558)



รูปที่ 4.26 ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (Hg) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)

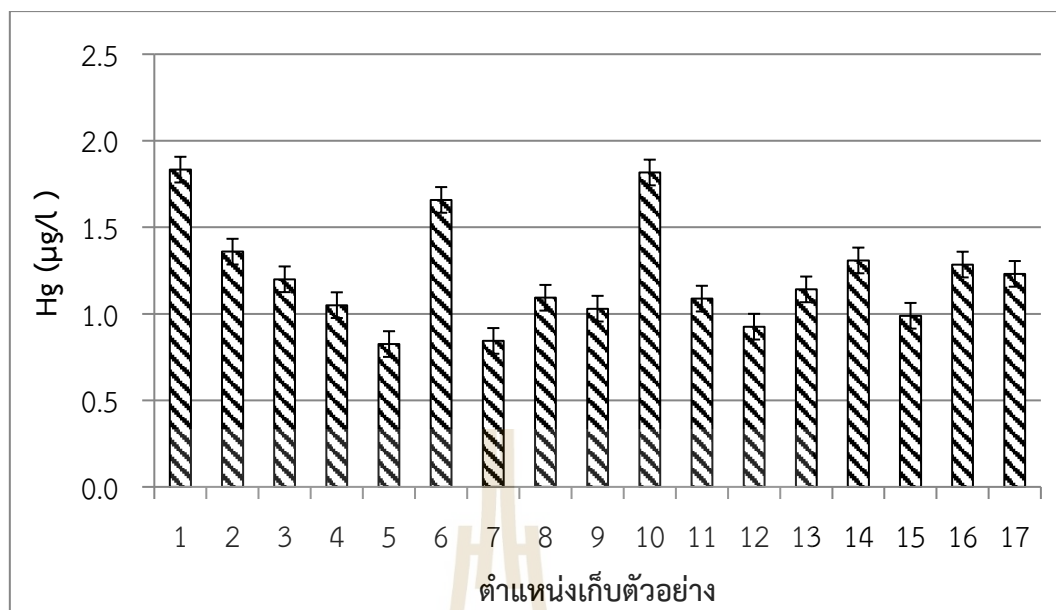


รูปที่ 4.26 ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (Hg) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)



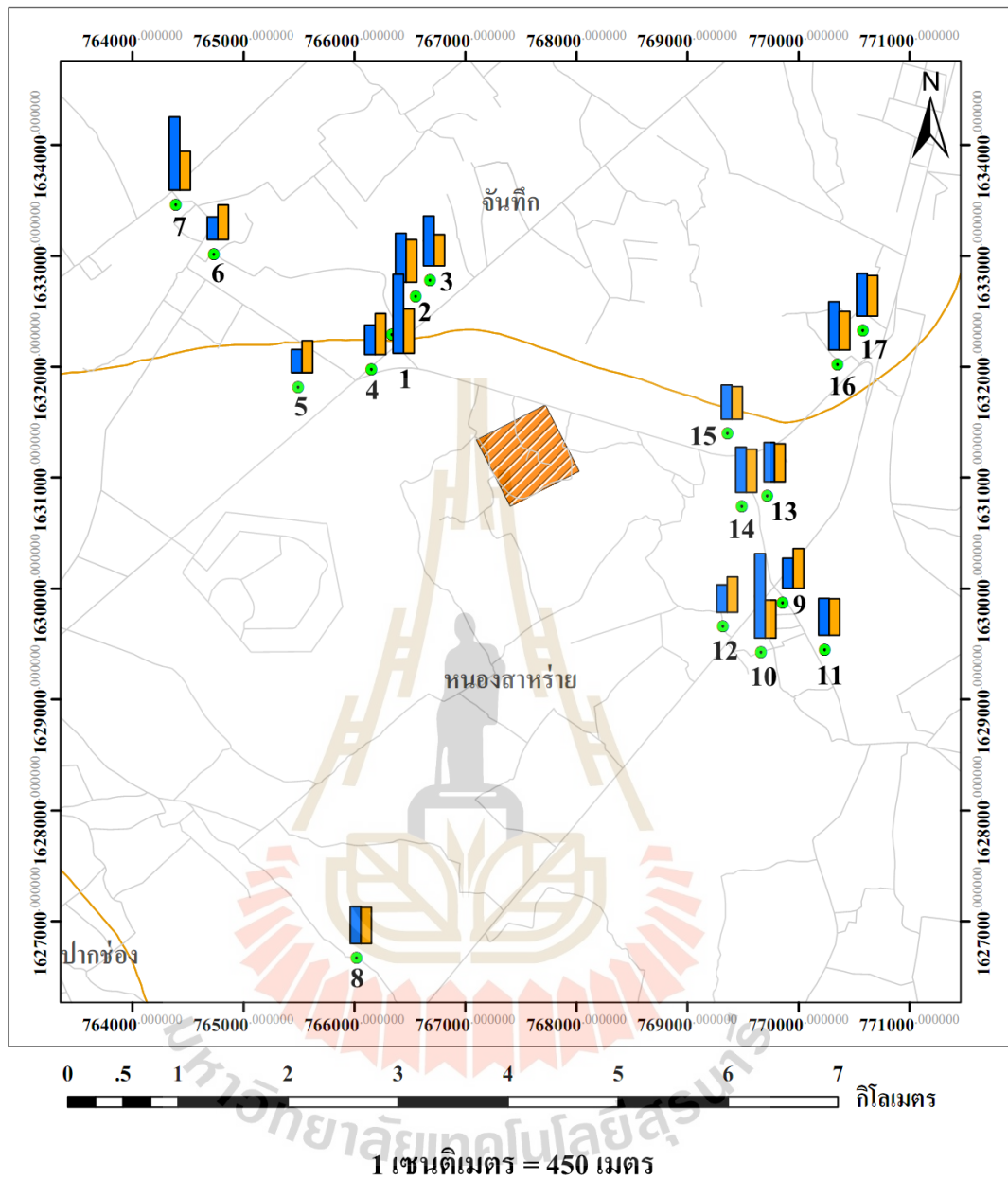
รูปที่ 4.26 ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (Hg) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) (ต่อ)

ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (Hg) เฉลี่ยจากการตรวจวัดตัวอย่างน้ำจากบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินแต่ละบ่อทั้ง 12 บ่อ อยู่ในช่วง 0.8-1.8 µg/L (ตารางที่ ข.17) ค่าเฉลี่ยต่ำสุด (0.8 ± 0.8 µg/L) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 5 (แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านพักทหาร) และค่าเฉลี่ยสูงสุด (1.8 ± 1.1 µg/L) พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 1 (บ้านท่าออย ซอย 2 ต.จันทิก) (รูปที่ 4.27) และตำแหน่งที่ 10 (บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 2) ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาทั้ง 17 บ่ออยู่ที่ 1.2 ± 0.3 µg/L มีค่าต่ำกว่าปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทในการศึกษาคุณภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ใกล้กับหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยของเทศบาลนครราชสีมามีปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วเฉลี่ยอยู่ที่ 2.6 µg/L (จุฑาทิพย์ อ้อมกิ่ง, 2557) และเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (1.0 µg/L) (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2542) เกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (6.0 µg/L) (World Health Organization, 2011) และมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน (10.0 µg/L) (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2543)



รูปที่ 4.27 ปริมาณของแข็งละลายน้ำเฉลี่ย 12 เดือน (เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2558) ของบ่อเก็บตัวอย่าง 17 บ่อ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (ตารางที่ ข.18) แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ฤดูกาล ได้แก่ ช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) และช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.) พบว่า ในช่วงหน้าฝนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.7 – 2.5 µg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุด 2.5 ± 1.1 µg/L พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 10 (บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 2) ในช่วงหน้าแล้ง ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.9 – 1.3 µg/L ค่าเฉลี่ยสูงสุด 1.3 ± 0.6 µg/L พบที่บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 10 (บ้านหนองจาง หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 2) (รูปที่ 4.26) (รูปที่ ข.9) ซึ่งค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทในช่วงหน้าฝนไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทในช่วงหน้าแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ($t = 1.471$, $p = 0.159$) ซึ่งเมื่อนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) และมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภคกรมทรัพยากรน้ำบาดาลปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทที่เหมาะสมกำหนดไว้ไม่เกิน 1.0 µg/L พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (2.5 µg/L) สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานฯ แต่อยู่ต่ำกว่าเกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2011) ซึ่งกำหนดปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทที่เหมาะสมกำหนดไว้ไม่เกิน 6 µg/L



รูปที่ 4.28 ปริมาณของแข็งแขวนลอย ของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 17 บ่อในพื้นที่ศึกษา เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)

การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทของแต่ละบ่อเก็บตัวอย่างตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (รูปที่ 4.1) พบว่า สารปรอทเฉลี่ยของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินซึ่งตั้งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (บ่อเก็บตัวอย่างตำแหน่งที่ 9, 10, 11 และ 12) ในตำแหน่งบ่อเก็บตัวอย่างที่ 10 มีปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทเฉลี่ยสูงกว่าปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทเฉลี่ยของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งอื่นซึ่งไม่ได้ตั้งอยู่ในตำแหน่งเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

4.3 การจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินและการแพร่กระจายของมลสารโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์น้ำใต้ดินเป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาแหล่งน้ำใต้ดินทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยใช้ข้อมูลอุทกนิยามวิทยา อุทกวิทยา ธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา ปฐพีวิทยาของพื้นที่ศึกษารวมทั้งข้อมูลปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอย ซึ่งใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.3.1 ข้อมูลในพื้นที่ศึกษาซึ่งใช้ในแบบจำลอง

4.3.1.1 อุทกนิยามวิทยา

สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศของกรมอุทกนิยามวิทยาที่ตั้งอยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษามีทั้งสิ้น 2 สถานี คือ สถานีบ้านคลองยาง และสถานีบ้านบ่อทอง ซึ่งมีปริมาณฝนเฉลี่ยทั้ง 2 สถานีในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2558 เท่ากับ 47.4 มิลลิเมตรต่อปี (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณฝนรายเดือนในพื้นที่ศึกษาระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2558

เดือน/ปี	ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)	
	สถานีบ้านบ่อทอง	สถานีบ้านคลองยาง
พฤษภาคม 2557	50.0	94.4
มิถุนายน 2557	21.0	75.0
กรกฎาคม 2557	24.5	33.1
สิงหาคม 2557	73.4	141.4
กันยายน 2557	119.8	92.4

ตารางที่ 4.3 ปริมาณฝนรายเดือนในพื้นที่ศึกษาระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2558 (ต่อ)

เดือน/ปี	ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)	
	สถานีบ้านบ่อทอง	สถานีบ้านคลองยาง
ตุลาคม 2557	56.5	102.0
พฤศจิกายน 2557	8.0	17.9
ธันวาคม 2557	11.0	7.8
มกราคม 2558	0.0	22.1
กุมภาพันธ์ 2558	57.0	18.7
มีนาคม 2558	15.7	21.9
เมษายน 2558	12.4	60.6
ปริมาณฝนรวม	486.2	687.3
ปริมาณฝนรวม 2 สถานี	1173.5	

4.3.1.2 ลักษณะอุทกวิทยา

1) ลุ่มน้ำ

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในลุ่มน้ำสาขาลำตะคองที่เป็นส่วนหนึ่งของลุ่มน้ำมูล (มีขนาดพื้นที่เท่ากับ 69,700 ตารางกิโลเมตร) ซึ่งมีลุ่มน้ำสาขาลำตะคอง มีขนาดพื้นที่เท่ากับ 3,310.64 ตารางกิโลเมตร ไหลผ่านบริเวณพื้นที่ศึกษา

2) ปริมาณน้ำท่า

ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของลำตะคอง (เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2557 - เมษายน พ.ศ. 2558) มีค่าเท่ากับ 5.64 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ 177,977,249 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีความสูงของระดับน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 2.1 เมตร ความกว้างของผิวน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 16.5 เมตร และความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 0.3 เมตรต่อวินาที (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของแม่น้ำลำตะคอง

เดือน/ปี	ระดับน้ำ (เมตร)	ความกว้างผิวน้ำ (เมตร)	ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/วินาที)	ปริมาณน้ำ (ลบ.ม./วินาที)
พฤษภาคม 2557	1.9	15.8	0.1	1.6
มิถุนายน 2557	2.2	17.3	0.3	6.3
กรกฎาคม 2557	2.3	17.6	0.4	7.9
สิงหาคม 2557	2.3	18.1	0.4	9.8
กันยายน 2557	2.3	17.5	0.4	7.9
ตุลาคม 2557	2.8	20.0	0.7	22.5
พฤศจิกายน 2557	2.0	16.1	0.2	3.8
ธันวาคม 2557	1.9	15.9	0.1	1.8
มกราคม 2558	1.8	15.0	0.1	1.5
กุมภาพันธ์ 2558	1.8	14.9	0.1	1.4
มีนาคม 2558	1.9	15.4	0.1	1.9
เมษายน 2558	1.8	14.5	0.1	1.5
เฉลี่ย	2.1	16.5	0.3	5.64

4.3.1.2 ลักษณะธรณีวิทยา

ลักษณะธรณีวิทยาของจังหวัดนครราชสีมาประกอบด้วยหินตะกอน หินแปร หินอัคนี และตะกอนร่วน (รูปที่ 4.29) ซึ่งบริเวณพื้นที่อำเภอปากช่องพบชั้นหินประเภทหินทราย หินปูน หินดินดาน หินภูเขาไฟ และตะกอน ซึ่งมีความหนาของชั้นหินช่วง 366 – 1,812 เมตร (ตารางที่ 4.5)

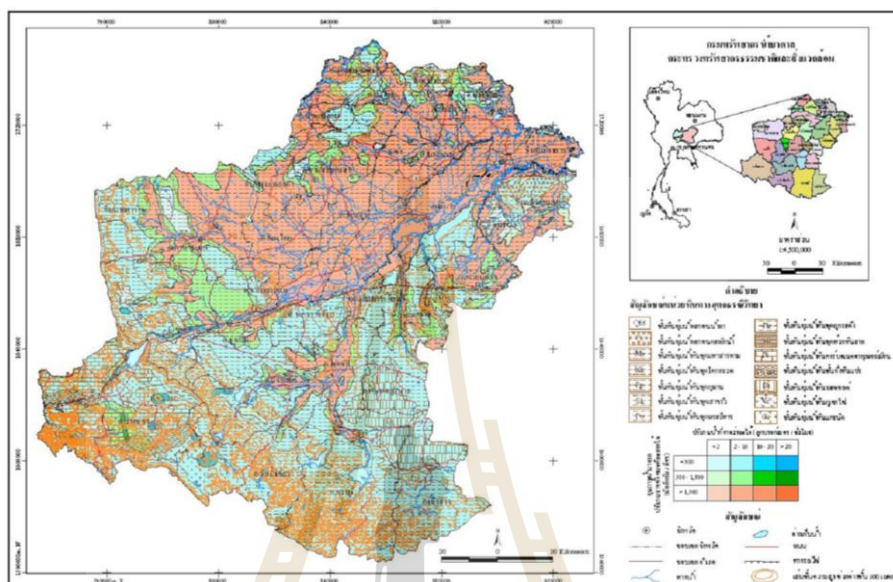
ตารางที่ 4.5 ลักษณะธรณีวิทยาอำเภอปากช่อง (ต่อ)

ลำดับ	หมวดหิน	ประเภทชั้นหิน	คุณลักษณะชั้นหิน	ความหนาชั้นหิน
4	หินซับบอน	หินดินดาน, หินทราย, หินปูน (Ps)	ประกอบด้วยหินดินดานสลับกับหินทรายแป้งรวมทั้งหินทรายแทรกสลับกับหินปูน บางแห่งพบหินเชิร์ตซึ่งมีเนื้อเป็นซิลิกา	1,103 เมตร
5	หินภูกระดึง	หินทรายแป้ง (Jpk)	ประกอบด้วยหินทรายแป้ง มีลักษณะร่วนสลับด้วยหินทรายเม็ดละเอียด หินโคลนและหินกรวดมนเนื้อปูน	1001 เมตร
6	-	ตะกอนตะกอนน้ำ (Qt)	ประกอบด้วยตะกอนทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว และเศษหินขนาดต่างๆของชั้นกรวดและชั้นดินลูกรัง	-
7	กลุ่มเขาพระงาม	หินไดโอไรต์ (PTrp)	ประกอบด้วยหินไดโอไรต์ เนื้อหินเป็นผลึกแร่แพลซิโอเครส ฮอร์นเบลนด์ไอออปไซด์ และออบไซด์ขนาดเล็ก มีขนาดเท่ากัน	-
8	กลุ่มเขาใหญ่	หินภูเขาไฟ (PTrku)	ประกอบด้วยหินไรโอไลต์ หินแอนดีไซต์ หินทัฟฟ์ หินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ	-
9	กลุ่มเขาสอยวอย	หินแกรนโนไดโอไรต์ (Trs)	ประกอบด้วยหินแกรนโนไดโอไรต์ มีแร่ควอตซ์ ไมโครไคลน์ ออร์โทเคลส และแพลจิโอแคลสเป็นส่วนประกอบ	-

4.3.1.3 ลักษณะอุทกธรณีวิทยา

ปริมาณน้ำใต้ดินและคุณภาพน้ำใต้ดินมีความสัมพันธ์กับชนิดของหินอุ้มน้ำใต้ดินสภาพอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาพบเป็นแหล่งน้ำใต้ดินในหินร่วน และแหล่งน้ำใต้ดินในหินแข็ง (รูปที่ 4.30) ซึ่งบริเวณพื้นที่อำเภอปากช่องพบเป็นหินแข็งทั้งหมด ประกอบด้วยหินปูนสลับกับหินดินดาน นอกจากนี้ยังพบหินทราย และหินภูเขาไฟหรือหินอัคนีในส่วนพื้นที่ด้านตะวันออกเฉียงเหนือของอำเภอปากช่องจะเป็นหินทรายของหมวดหินพระวิหาร และหินดินดาน หินทรายแป้งของหมวดภูกระดึง ซึ่งจะมีคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity, K) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.2×10^{-3} เมตรต่อวินาที และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Specific yield, S_y) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.16 % (ตารางที่ 4.5) ส่วนใหญ่จะพบน้ำใต้ดินในโพรงของชั้นหิน รอยแตก รอยเลื่อน รอยต่อระหว่างชั้นหิน บริเวณที่มีปริมาณน้ำใต้ดินสูงมากกว่า 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ได้แก่ ตำบลกลางดง ตำบลหนองน้ำแดง ตำบลปากช่อง และตำบลหมูสี น้ำใต้ดินจะพบในโพรงของหินปูนหรือพบในรอยต่อระหว่างชั้นหินปูนกับหินดินดาน แหล่งน้ำที่มีปริมาณน้ำใต้ดินอยู่ในช่วง 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ได้แก่ ตำบลพญาเย็น ตำบลคลองม่วง และตำบลจันทน์ทิพย์ ส่วนแหล่งน้ำที่มีปริมาณน้ำใต้ดินอยู่ในช่วง 2-10 ลูกบาศก์

เมตรต่อชั่วโมง ได้แก่ ตำบลวังกะทะ ตำบลหนองสาหร่าย ตำบลขนงพระ ตำบลโป่งตาลอง และ ตำบล วังไทร ความลึกของชั้นน้ำบาดาลอยู่ในช่วง 4 - 130 เมตร พื้นที่ที่คุณภาพน้ำบาดาลมีความ กระจ่างค่อนข้างมาก ได้แก่ บริเวณตำบลจันทึก ตำบลปากช่อง ตำบลกลางดง ตำบลหนองแดง ตำบล วังไทร ตำบลคลองม่วง และตำบลขนงพระ



รูปที่ 4.30 สภาพอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550)

ตารางที่ 4.6 ลักษณะชั้นหินอุ้มน้ำในพื้นที่อำเภอปากช่อง

ลำดับ	ชั้นหินอุ้มน้ำ	สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity, K) (เมตร/วินาที) (Brassington, 1988)	สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Specific yield, S _y) (%) (Morris and Johnson, 1967)
1	หินปูน (Limestone)	$1.1 \times 10^{-9} - 1.1 \times 10^{-2}$	0.01-0.25
2	หินทราย (Sandstone)	$8.4 \times 10^{-10} - 2.5 \times 10^{-5}$	0.02-0.41
3	หินทรายแป้ง (Siltstone)	$1.0 \times 10^{-11} - 1.4 \times 10^{-8}$	0.01-0.35
4	หินดินดาน (Shale)	$7.1 \times 10^{-12} - 7.1 \times 10^{-8}$	0.01-0.40
5	หินภูเขาไฟ (Tuff)	$3.5 \times 10^{-12} - 1.0 \times 10^{-3}$	0.02-0.47

4.3.1.3 ลักษณะปฐพีวิทยา

ลักษณะปฐพีวิทยาในบริเวณพื้นที่ศึกษา (อ.จันทิก และอ.หนองสำห่วย) จำแนกประเภทดินตามเกณฑ์แบ่งกลุ่มชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งในพื้นที่ศึกษาพบชุดดินทั้งหมด 21 ประเภท (ตารางที่ 4.7) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว

ตารางที่ 4.7 ชุดดินในพื้นที่ศึกษา

ลำดับ	กลุ่มชุดดิน	ชื่อชุดดิน	คำอธิบายลักษณะชุดดิน
1	1	บ้านหมี่	ดินเหนียวสีดำนี้อมาก มีรอยแตกกระแหงกว้างและลึก เจอบุนมาร์ลอยู่ในดินส่วนล่าง ปฏิกริยาดินเป็นต่าง
2	7	โนนไทย	ดินเหนียวสีดำนี้อมาก เกิดจากวัสดุตกค้างจากหินทรายแป้งเนื้อปูน ดินมีชั้นเศษหินอยู่ดินส่วนล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงต่าง
3	22	สีทน	ดินร่วนหยาบลีกลีมาก เกิดจากตะกอนลำน้ำเนื้อหยาบ มักมีน้ำแช่ขัง ปฏิกริยาดินเป็นกรดสูง
4	28	ลพบุรี	ดินเหนียวสีดำนี้อมาก มีรอยแตกกระแหงกว้างและลึกในดินล่าง มีก้อนปูนมาร์ลปะปนอยู่ ปฏิกริยาดินเป็นต่าง
5	29	บ้านจ้อง	ดินเหนียวสีดำนี้อมาก เกิดจากวัสดุต้นกำเนิดเนื้อละเอียด ปฏิกริยาดินเป็นกรดสูง
6	29	ปากช่อง	ดินเหนียวสีดำนี้อมาก เกิดจากวัสดุต้นกำเนิดเนื้อละเอียดจากหินปูน ปฏิกริยาเป็นกรดสูง
7	29	หนองมด	ดินร่วนหรือดินร่วนปนดินเหนียวสีน้ำตาลเข้มปนเทาเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกรดสูงถึงกรดปานกลาง
8	31	เลย	ดินเหนียวหรือดินร่วนปนดินเหนียวสีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาลปนแดง ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง
9	31	ภูผาม่าน	ดินเหนียวสีดำนี้อมากสีแดง เกิดจากวัสดุต้นกำเนิดดินเนื้อละเอียดจากหินปูน ปฏิกริยาเป็นกลางหรือเป็นต่าง
10	31	วังไธ	ดินเหนียวสีดำนี้อมากสีแดง เกิดจากวัสดุต้นกำเนิดเนื้อละเอียด ปฏิกริยาดินเป็นกลาง
11	33	ลำสนธิ	ดินทรายแป้งละเอียดหรือดินร่วนละเอียดลีกลีมาก เกิดจากตะกอนแม่น้ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง

ตารางที่ 4.6 ชุดดินในพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

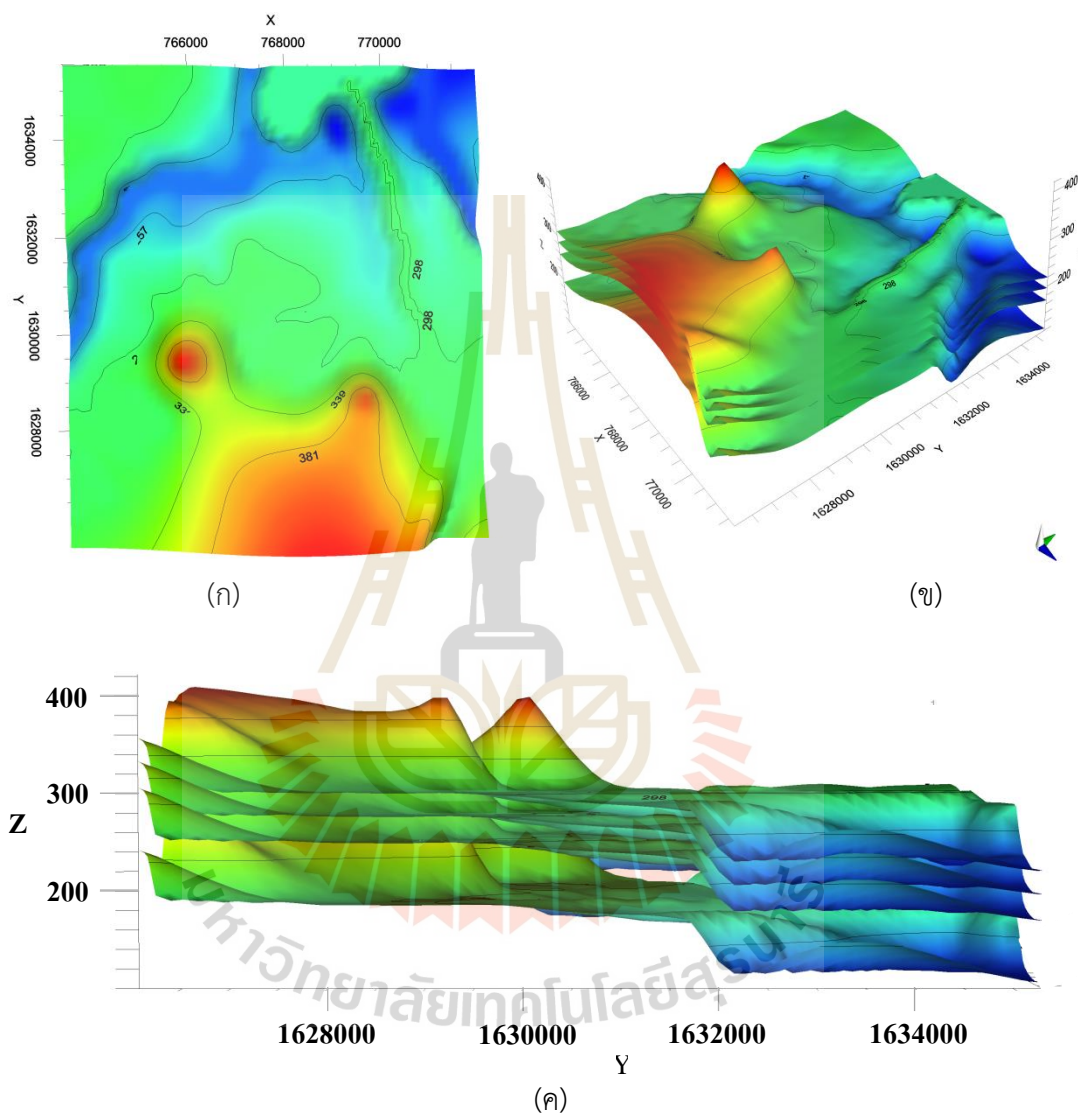
ลำดับ	กลุ่มชุดดิน	ชื่อชุดดิน	คำอธิบายลักษณะชุดดิน
12	35	มาบบอน	ดินร่วนละเอียดถึงลึกมาก เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดิน เนื้อหยาบพวกหินแกรนิต ปฏิกริยาดินเป็นกรดสูง
13	44	ด้านขุนทด	ดินทรายหนา เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือตะกอนเนื้อหยาบ ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อย
14	44	จันทัก	มีเนื้อดินเป็นทรายปนดินร่วน อาจพบก้อนกรวดปะปนในดิน และอาจพบจุดประสี ในชั้นหินต้นกำเนิดที่กำลังสลายตัว ปฏิกริยาดินเป็นกรดถึงเป็นกลาง
15	47	เขาหิน ซ้อน	ดินเหนียวสีน้ำตาล ดินต้นถึงชั้นหินพื้น ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลาง
16	47	ลี่	ดินเหนียวสีน้ำตาลปนแดง ดินต้นถึงชั้นหินพื้น ปฏิกริยาดินเป็นกลาง
17	47	มวกเหล็ก	ดินเหนียวสีน้ำตาลปนแดง ดินต้นถึงชั้นหินพื้น ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลาง
18	48	วังน้ำเขียว	ดินร่วนสีน้ำตาล ดินต้นถึงชั้นหินพื้น ปฏิกริยาเป็นกรดเล็กน้อย
19	52	ตาคลี	ดินเหนียวสีดำ ดินต้นที่มีก้อนปูนมาร์ลปะปนอยู่ ปฏิกริยาดินเป็นต่าง
20	55	จตุรัส	ดินเหนียวสีแดง ลึกปานกลางถึงชั้นเศษหิน ก้อนหินลูกรัง มีก้อนมาร์กปะปนอยู่ ปฏิกริยาดินเป็นต่าง
21	56	บ่อไทย	ดินร่วนสีน้ำตาล หรือสีแดง ดินลึกปานกลางถึงชั้นหินพื้น เศษหินหรือลูกรัง ปฏิกริยาดินเป็นกรดสูง

4.3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.3.2.1 การจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน

พื้นที่ของแบบจำลองมีขนาดเท่ากับ 74,746 ตารางเมตร โดยมีพิกัดในแนวแกน
นอน (x) ระหว่าง 763670.509-771753.546 เมตร (UTME) และพิกัดในแนวแกนตั้ง (y) ระหว่าง
1626035.191-1635282.397 เมตร (UTMN) ซึ่งมีพื้นที่ครอบคลุมหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย
และบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน ระบบชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยชั้นน้ำใต้ดิน 3 ชั้น (รูปที่
4.31) โดยระดับความสูงของพื้นผิวดินอยู่ระหว่าง 214.32 – 422.11 เมตร รทก. ชั้นน้ำใต้ดินชั้นแรก

มีความลึกจากผิวดิน 24 เมตร หรือมีความสูงอยู่ระหว่าง 191.07 – 398.62 เมตร รทก. ชั้นน้ำใต้ดิน ชั้นที่สองมีความลึกจากผิวดิน 50 เมตร หรือมีความสูงอยู่ระหว่าง 163.80 – 374.33 เมตร รทก. และ ชั้นน้ำใต้ดินชั้นที่สามมีความลึกจากผิวดิน 115 เมตร หรือมีความสูงอยู่ระหว่าง เมตร 98.64 – 331.99 รทก. (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550)



รูปที่ 4.31 พื้นที่ศึกษาในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

(ก) มุมมองด้านบน

(ข) มุมมองด้านทะแยง 45 องศา

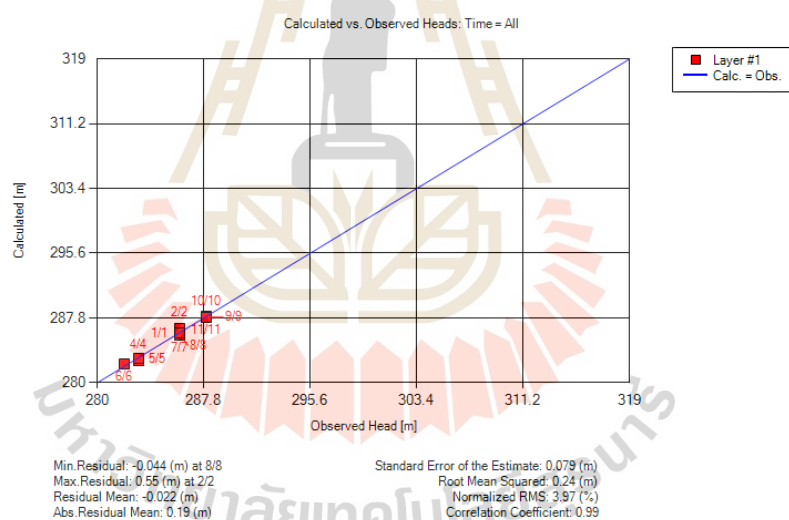
(ค) มุมมองด้านข้าง

การสร้างแบบจำลองสภาพการเคลื่อนของน้ำใต้ดินดำเนินการจำลองในสภาวะคงที่ (Steady-State condition) โดยมีสภาวะคงที่ในปี พ.ศ. 2557 ซึ่งผลการจำลองการเคลื่อนที่

ของน้ำใต้ดินเพื่อคาดการณ์การแพร่กระจายของโลหะหนักจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอย ในระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2562) 10 ปี (พ.ศ. 2567) 15 ปี (พ.ศ. 2572) และ 20 ปี (พ.ศ. 2577)

1) การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ในแบบจำลอง

การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ในแบบจำลองที่สถานะคงที่ (Steady-State) เปรียบเทียบกับข้อมูลระดับน้ำจากบ่อน้ำใต้ดินของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลจำนวน 11 บ่อ ทำการปรับปรุงแบบจำลองระดับน้ำใต้ดินให้สอดคล้องกับสภาพสภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ ด้วยการปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (K_x) ตามช่วงค่าที่กำหนดตามลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของชั้นน้ำใต้ดิน ระดับน้ำใต้ดินที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลองนี้ มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Residual mean) 0.022 เมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสมบูรณ์ (Absolute residual mean) 0.19 เมตร มีค่ารากกำลังสองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root mean squared) 0.24 เมตร (รูปที่ 4.32) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (K_x) ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลองอยู่ในช่วง 0.0011-0.0014 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.32 ผลการปรับเทียบแบบจำลองที่สถานะคงที่ (Steady – State)

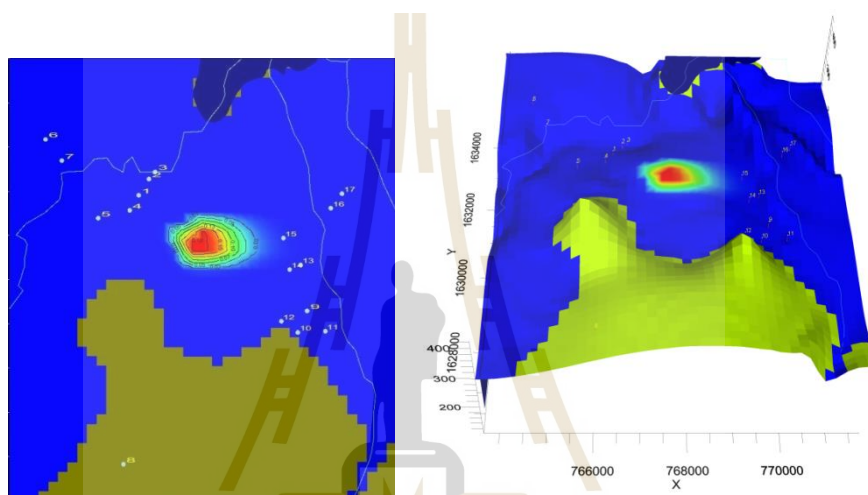
2) การจำลองการแพร่กระจายของโลหะหนักในชั้นน้ำใต้ดิน

การจำลองการแพร่กระจายของโลหะหนักในชั้นน้ำใต้ดิน กำหนดความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) และสารปรอท (Hg) ในน้ำใต้ดินให้มีความเข้มข้นคงที่ โดยใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยจากกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วอยู่ที่ $1.8 \times 10^2 \mu\text{g/l}$ ความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ที่ $10.5 \mu\text{g/l}$ ความเข้มข้นของนิกเกิลอยู่ที่ $3.2 \times 10^2 \mu\text{g/l}$ และ ความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ที่ $5.0 \times 10^3 \mu\text{g/l}$ จากสภาพการไหลของน้ำใต้ดินที่สถานะคงที่

มีทิศทางการไหลจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยไปสู่ทางทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นที่ตั้งของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15

2.1) การจำลองการแพร่กระจายของสารตะกั่ว (Pb)

ผลการจำลองการแพร่กระจายของสารตะกั่ว (Pb) พบว่า ณ เวลา 5 ปี (พ.ศ. 2562) มวลน้ำใต้ดินที่เคลื่อนที่ผ่านหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยสามารถพัดพาน้ำชะขยะซึ่งมีสารตะกั่ว (Pb) ปนเปื้อนอยู่เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยได้ระยะทาง 2.52 กิโลเมตร และมีปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) อยู่ที่ $0.1 \mu\text{g/l}$ (รูปที่ 4.33)

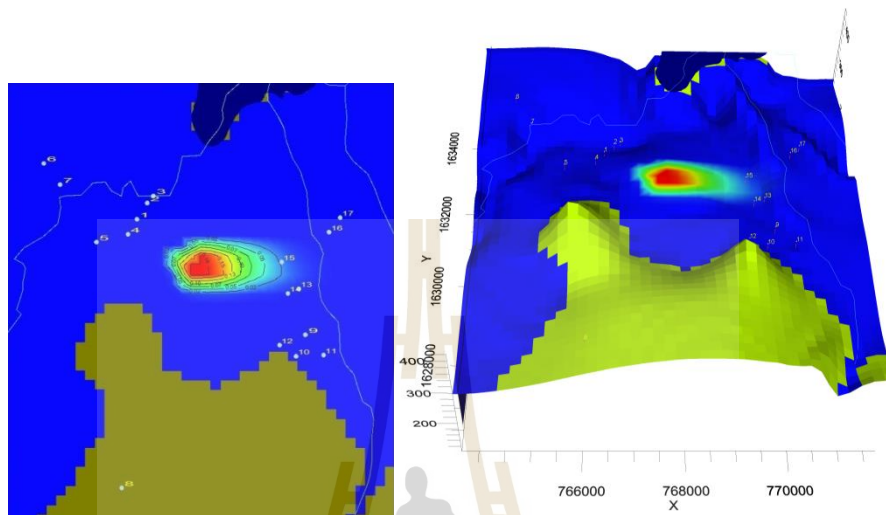


คำอธิบายสัญลักษณ์




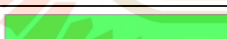




สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)
	-5.82×10^{-23}
	0.26×10^2
	0.51×10^2
	0.76×10^2
	1.02×10^2
	1.28×10^2
	1.53×10^2
	1.79×10^2

รูปที่ 4.33 การแพร่กระจายของสารตะกั่ว ณ เวลา 5 ปี (พ.ศ. 2562) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย การแพร่กระจายของสารตะกั่ว (Pb) ณ เวลา 10 ปี (พ.ศ. 2567) สารตะกั่ว (Pb) สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยได้ระยะทาง 3.29 กิโลเมตร และมีความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) อยู่ที่ $0.1 \mu\text{g/l}$ (รูปที่ 4.34) ซึ่งทิศทางการแพร่กระจายของสารตะกั่ว เข้าใกล้กับบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 ส่งผลให้น้ำใต้ดินบริเวณนั้นมีปริมาณ

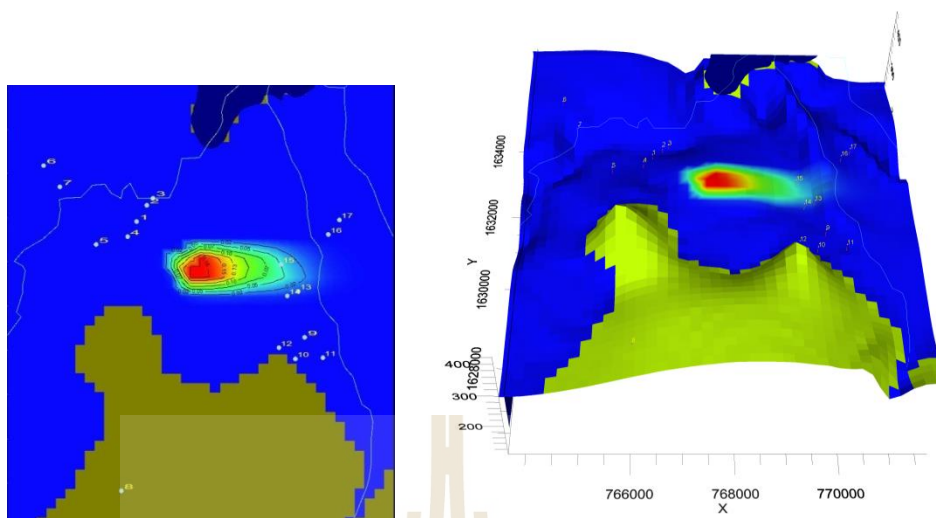
ความเข้มข้นของสารตะกั่วเพิ่มขึ้น โดยบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13 พบปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วอยู่ที่ 5.7 $\mu\text{g/l}$ ตำแหน่งที่ 14 พบปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วอยู่ที่ 2.9 $\mu\text{g/l}$ และตำแหน่งที่ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วอยู่ที่ 13.7 $\mu\text{g/l}$











คำอธิบายสัญลักษณ์

สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)
	-5.82×10^{-23}
	0.26×10^2
	0.51×10^2
	0.76×10^2
	1.02×10^2
	1.28×10^2
	1.53×10^2
	1.79×10^2

รูปที่ 4.34 การแพร่กระจายของสารตะกั่ว ณ เวลา 10 ปี (พ.ศ. 2567) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย การแพร่กระจายของสารตะกั่ว (Pb) ณ 15 ปี (พ.ศ. 2572) สารตะกั่ว (Pb) สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยได้ระยะทาง 3.9 กิโลเมตร และมีปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) เท่ากับ 0.2 $\mu\text{g/l}$ (รูปที่ 4.35) ซึ่งทิศทางการแพร่กระจายของสารตะกั่ว เข้าใกล้กับบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 ส่งผลให้น้ำใต้ดินบริเวณนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วเพิ่มขึ้น โดยบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13 พบปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วอยู่ที่ 5.7 $\mu\text{g/l}$ ตำแหน่งที่ 14 พบปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วอยู่ที่ 8.4 $\mu\text{g/l}$ และตำแหน่งที่ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วอยู่ที่ 34.6 $\mu\text{g/l}$

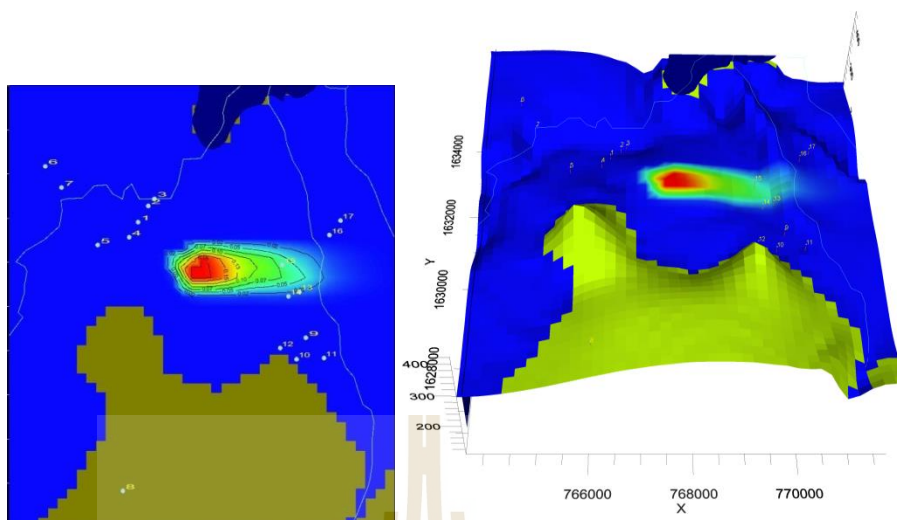


คำอธิบายสัญลักษณ์

สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)
	-5.82×10^{-23}
	0.26×10^2
	0.51×10^2
	0.76×10^2
	1.02×10^2
	1.28×10^2
	1.53×10^2
	1.79×10^2

รูปที่ 4.35 การแพร่กระจายของสารตะกั่ว ณ เวลา 15 ปี (พ.ศ. 2572) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย

การแพร่กระจายของสารตะกั่ว (Pb) ณ 20 ปี (พ.ศ. 2577) สารตะกั่ว (Pb) สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอยได้ระยะทาง 4.1 กิโลเมตร และมีความปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) เท่ากับ $0.6 \mu\text{g/l}$ (รูปที่ 4.36) ซึ่งทิศทางการแพร่กระจายของสารตะกั่ว เข้าใกล้กับบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 ส่งผลให้น้ำใต้ดินบริเวณนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วเพิ่มขึ้น โดยบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13 พบปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วอยู่ที่ $12.4 \mu\text{g/l}$ ตำแหน่งที่ 14 พบปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วอยู่ที่ $17.1 \mu\text{g/l}$ และตำแหน่งที่ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วอยู่ที่ $49.38 \mu\text{g/l}$



คำอธิบายสัญลักษณ์

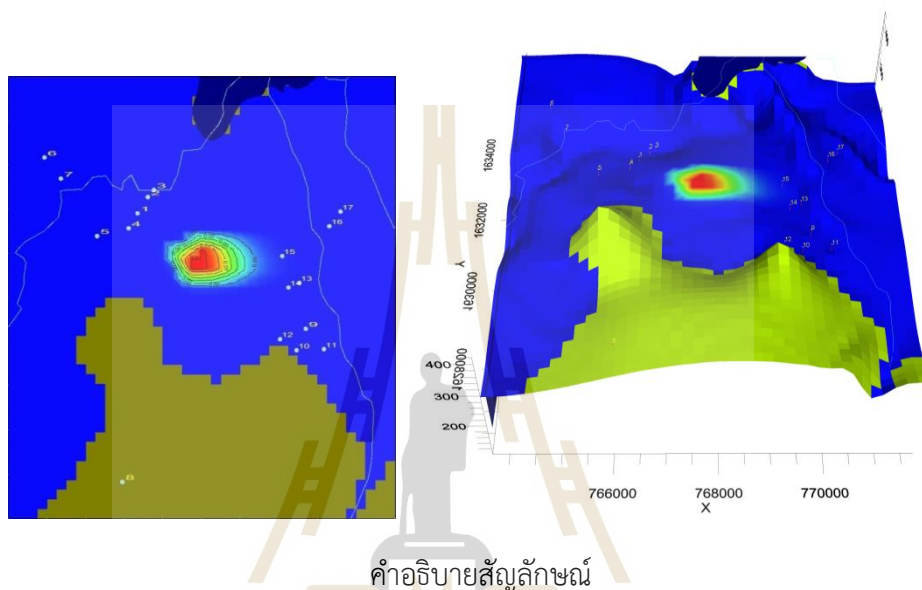
สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)
	-5.82×10^{-23}
	0.26×10^2
	0.51×10^2
	0.76×10^2
	1.02×10^2
	1.28×10^2
	1.53×10^2
	1.79×10^2

รูปที่ 4.36 การแพร่กระจายของสารตะกั่ว ณ เวลา 20 ปี (พ.ศ. 2577) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย









ทิศทางการแพร่กระจายของสารตะกั่วตามการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ต่างจากการสำรวจทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินด้วยวิธีการสร้างแผนที่ระดับน้ำบาดาล (รูปที่ 4.1) โดยผลการจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วในห้องปฏิบัติการ พบว่า ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารตะกั่ว (รูปที่ ข.14) ของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งที่ 13 และ 15 ในช่วงหน้าฝน มีปริมาณความเข้มข้นค่อนข้างสูง แต่น้อยกว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารตะกั่วในตำแหน่งที่ 12 ซึ่งไม่ได้ตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับทิศทางการไหลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.2) การจำลองการแพร่กระจายของแคดเมียม (Cd)

ผลการจำลองการแพร่กระจายของแคดเมียม (Cd) พบว่า ณ เวลา 5 ปี (พ.ศ. 2562) มวลน้ำใต้ดินที่เคลื่อนที่ผ่านหลุมฝังกลบสามารถพัดพาน้ำชะขยะมูลฝอยซึ่งมีแคดเมียม (Cd)ปนเปื้อนอยู่ สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยได้ระยะทาง 1.91 กิโลเมตร และมีความปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd) เท่ากับ 0.2 $\mu\text{g/l}$ (รูปที่ 4.37)



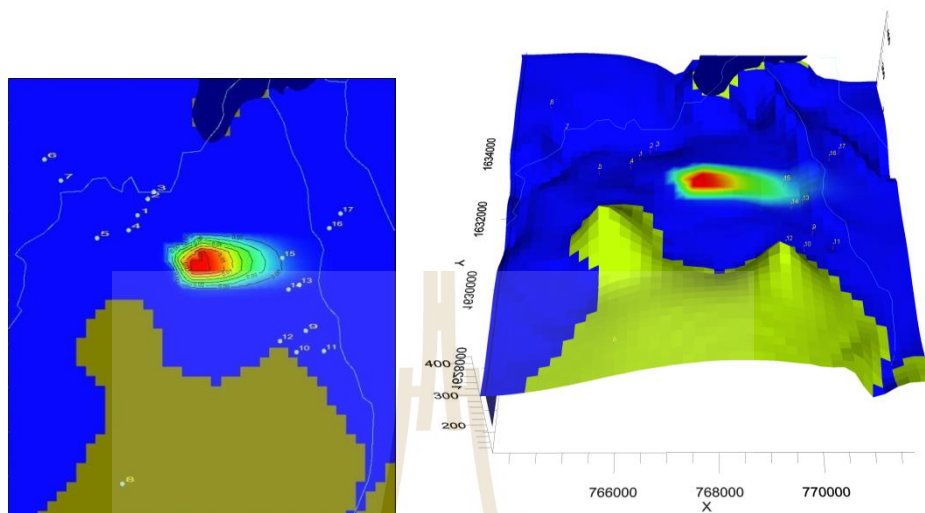
คำอธิบายสัญลักษณ์

สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)
	-1.29×10^{-8}
	1.50
	3.00
	4.50
	6.00
	7.50
	9.00
	10.50


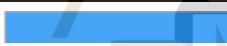






รูปที่ 4.37 การแพร่กระจายของแคดเมียม ณ เวลา 5 ปี (พ.ศ. 2562) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย

การแพร่กระจายของแคดเมียม (Cd) ณ เวลา 10 ปี (พ.ศ. 2567) แคดเมียม (Cd) สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยได้ระยะทาง 2.7 กิโลเมตร และมีความปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd) เท่ากับ 0.1 $\mu\text{g/l}$ (รูปที่ 4.38) ซึ่งทิศทางการแพร่กระจายของแคดเมียมเข้าใกล้กับบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 14 และ 15 ส่งผลให้น้ำใต้ดินบริเวณนั้นมีปริมาณ

ความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มขึ้น โดยบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 14 พบปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ที่ 0.1 $\mu\text{g/l}$ และตำแหน่งที่ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ที่ 0.8 $\mu\text{g/l}$

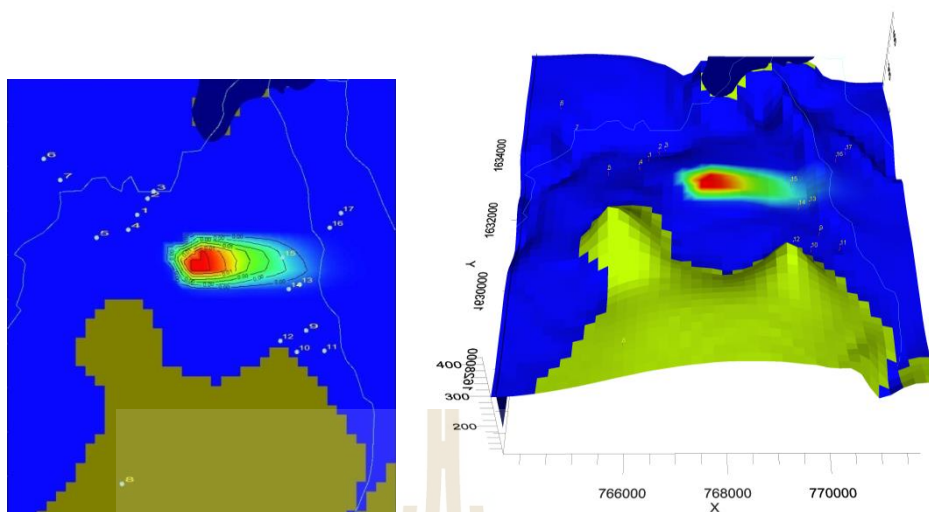


คำอธิบายสัญลักษณ์









สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)
	-1.29×10^{-8}
	1.50
	3.00
	4.50
	6.00
	7.50
	9.00
	10.50

รูปที่ 4.38 การแพร่กระจายของแคดเมียม ณ เวลา 10 ปี (พ.ศ. 2567) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย

การแพร่กระจายของแคดเมียม (Cd) ณ เวลา 15 ปี (พ.ศ. 2572) แคดเมียม (Cd) สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยได้ระยะทาง 3.3 กิโลเมตร และมีความปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd) เท่ากับ 0.1 $\mu\text{g/l}$ (รูปที่ 4.39) ซึ่งทิศทางการแพร่กระจายของแคดเมียม เข้าใกล้กับบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 ส่งผลให้น้ำใต้ดินบริเวณนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มขึ้น โดยบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13 พบปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ที่ 0.3 $\mu\text{g/l}$ ตำแหน่งที่ 14 พบปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ที่ 0.6 $\mu\text{g/l}$ และตำแหน่งที่ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ที่ 2.0 $\mu\text{g/l}$

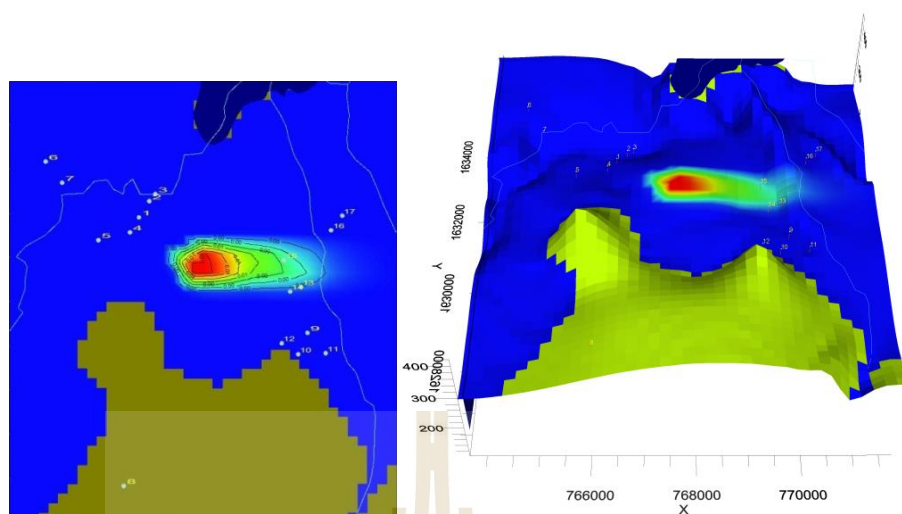


คำอธิบายสัญลักษณ์









สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)
	-1.29×10^{-3}
	1.50
	3.00
	4.50
	6.00
	7.50
	9.00
	10.50

รูปที่ 4.39 การแพร่กระจายของแคดเมียม ณ เวลา 15 ปี (พ.ศ. 2572) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย

การแพร่กระจายของแคดเมียม (Cd) ณ เวลา 20 ปี (พ.ศ. 2577) แคดเมียม (Cd) สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยได้ระยะทาง 3.9 กิโลเมตร และมีความปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd) อยู่ที่ 0.1 (รูปที่ 4.40) ซึ่งทิศทางการแพร่กระจายของแคดเมียม เข้าใกล้กับบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 ส่งผลให้น้ำใต้ดินบริเวณนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มขึ้น โดยบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13 พบปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ที่ $0.7 \mu\text{g/l}$ ตำแหน่งที่ 14 พบปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ที่ $0.9 \mu\text{g/l}$ และตำแหน่งที่ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ที่ $2.9 \mu\text{g/l}$



คำอธิบายสัญลักษณ์

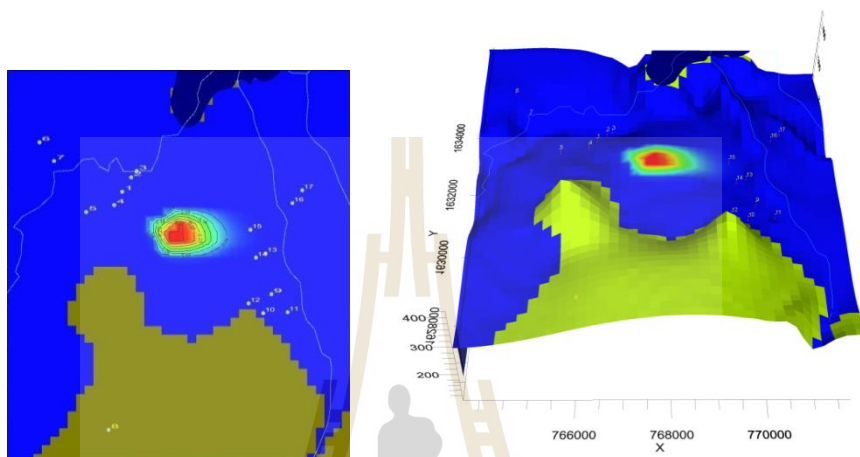
สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/L}$)
	-1.29×10^{-3}
	1.50
	3.00
	4.50
	6.00
	7.50
	9.00
	10.50

รูปที่ 4.40 การแพร่กระจายของแคดเมียม ณ เวลา 20 ปี (พ.ศ. 2572) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย






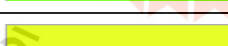


ทิศทางการแพร่กระจายของแคดเมียมตามการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ต่างจากการสำรวจทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินด้วยวิธีการสร้างแผนที่ระดับน้ำบาดาล (รูปที่ 4.1) โดยผลการจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในห้องปฏิบัติการ พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินน้อยกว่าค่าปริมาณต่ำสุดที่เครื่องสามารถวิเคราะห์ได้ (Detection limit) หรือมีค่าน้อยกว่า $1 \mu\text{g/L}$ ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าเท่ากับปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินซึ่งไม่ได้ตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับทิศทางการไหลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.3) การจำลองการแพร่กระจายของนิกเกิล (Ni)

ผลการจำลองการแพร่กระจายของนิกเกิล (Ni) พบว่า ณ เวลา 5 ปี (พ.ศ. 2562) มวลน้ำใต้ดินที่เคลื่อนที่ผ่านหลุมฝังกลบมูลฝอยสามารถพัดพาน้ำชะขยะมูลฝอยซึ่งมีนิกเกิล (Ni) ปนเปื้อนอยู่ สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยได้ระยะทาง 2.5 กิโลเมตร และมีความปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) เท่ากับ $0.1 \mu\text{g/l}$ (รูปที่ 4.41)



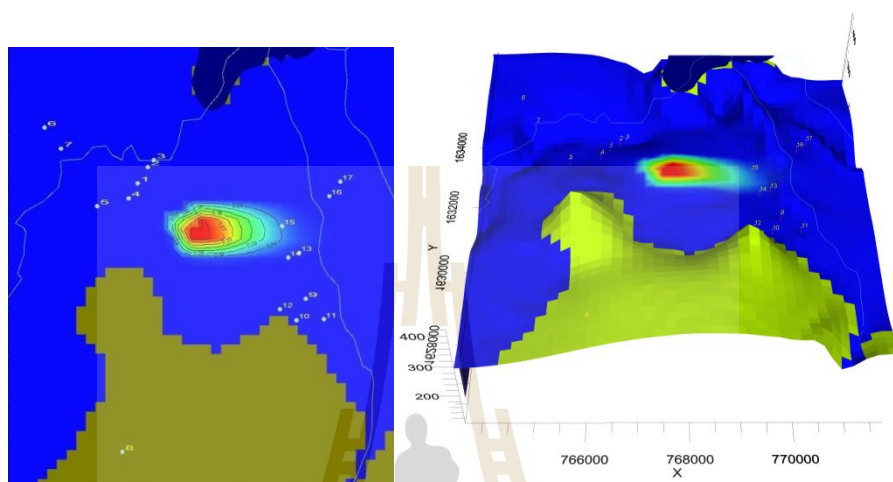
คำอธิบายสัญลักษณ์

สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)
	-1.06×10^{-22}
	0.46×10^2
	0.93×10^2
	1.39×10^2
	1.85×10^2
	2.32×10^2
	2.78×10^2
	3.25×10^2




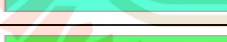




รูปที่ 4.41 การแพร่กระจายของนิกเกิล ณ เวลา 5 ปี (พ.ศ. 2562) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย ทิศทางการแพร่กระจายของนิกเกิลเข้าใกล้กับบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 15 ส่งผลให้น้ำใต้ดินบริเวณนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลเพิ่มขึ้น โดยบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ที่ $2.0 \mu\text{g/l}$

การแพร่กระจายของนิกเกิล ณ เวลา 10 ปี (พ.ศ. 2567) นิกเกิล (Ni) สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยได้ระยะทาง 3.5 เมตร และมีความปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) เท่ากับ $0.1 \mu\text{g/l}$ (รูปที่ 4.42) ซึ่งทิศทางการแพร่กระจายของนิกเกิลเข้า

ใกล้กับบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 ส่งผลให้น้ำใต้ดินบริเวณนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลเพิ่มขึ้น โดยบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13 พบปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลอยู่ที่ 2.0 $\mu\text{g/l}$ ตำแหน่งที่ 14 พบปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลอยู่ที่ 0.2 $\mu\text{g/l}$ และตำแหน่งที่ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ที่ 2.5 $\mu\text{g/l}$

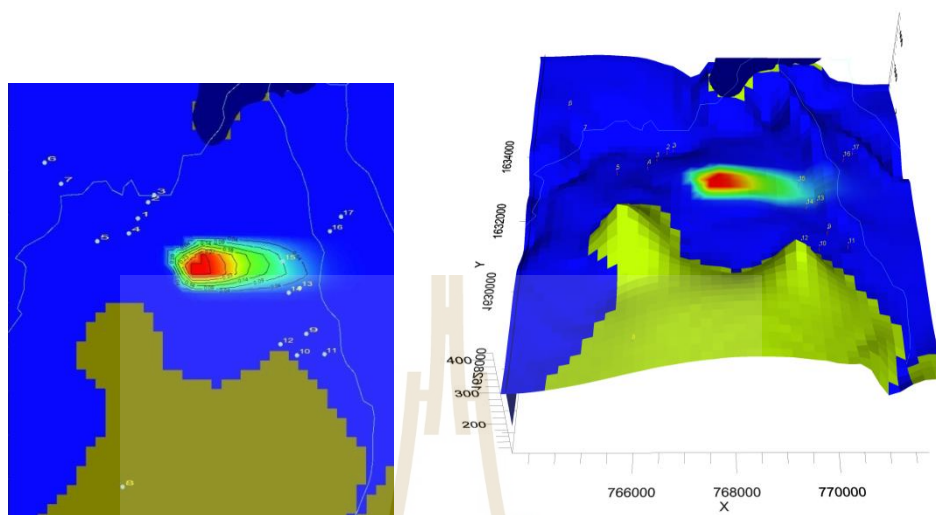


คำอธิบายสัญลักษณ์








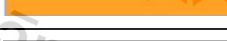
สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)
	-1.06×10^{-22}
	0.46×10^2
	0.93×10^2
	1.39×10^2
	1.85×10^2
	2.32×10^2
	2.78×10^2
	3.25×10^2

รูปที่ 4.42 การแพร่กระจายของนิกเกิล ณ เวลา 10 ปี (พ.ศ. 2567) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย การแพร่กระจายของนิกเกิล ณ 15 ปี (พ.ศ. 2572) นิกเกิล (Ni) สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยได้ระยะทาง 3.9 กิโลเมตร และมีความปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) เท่ากับ 1.0 $\mu\text{g/l}$ (รูปที่ 4.43) ซึ่งทิศทางการแพร่กระจายของนิกเกิลเข้าใกล้กับบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 ส่งผลให้น้ำใต้ดินบริเวณนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลเพิ่มขึ้น โดยบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13 พบปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลอยู่ที่ 10.4 $\mu\text{g/l}$

ตำแหน่งที่ 14 พบปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลอยู่ที่ 15.2 $\mu\text{g/l}$ และตำแหน่งที่ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมอยู่ที่ 62.7 $\mu\text{g/l}$

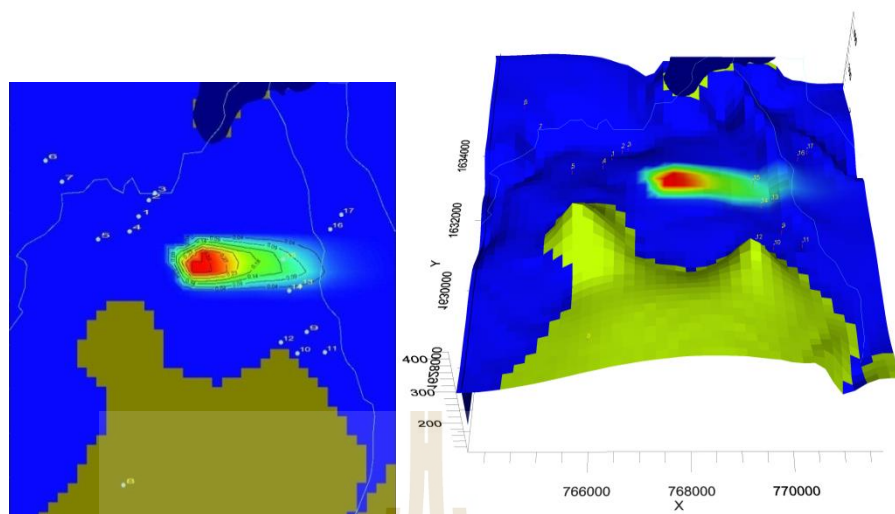


คำอธิบายสัญลักษณ์









สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)
	-1.06×10^{-22}
	0.46×10^2
	0.93×10^2
	1.39×10^2
	1.85×10^2
	2.32×10^2
	2.78×10^2
	3.25×10^2

รูปที่ 4.43 การแพร่กระจายของนิกเกิล ณ เวลา 15 ปี (พ.ศ. 2572) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย

การแพร่กระจายของนิกเกิล ณ 20 ปี (พ.ศ. 2577) นิกเกิล (Ni) สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยได้ระยะทาง 4.1 กิโลเมตร และมีความปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) เท่ากับ 1.2 $\mu\text{g/l}$ (รูปที่ 4.44) ซึ่งทิศทางการแพร่กระจายของนิกเกิลเข้าใกล้กับบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 ส่งผลให้น้ำใต้ดินบริเวณนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลเพิ่มขึ้น โดยบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13 พบปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลอยู่ที่ 22.6 $\mu\text{g/l}$ ตำแหน่งที่ 14 พบปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลอยู่ที่ 28.9 $\mu\text{g/l}$ และตำแหน่งที่ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลอยู่ที่ 85.5 $\mu\text{g/l}$



คำอธิบายสัญลักษณ์

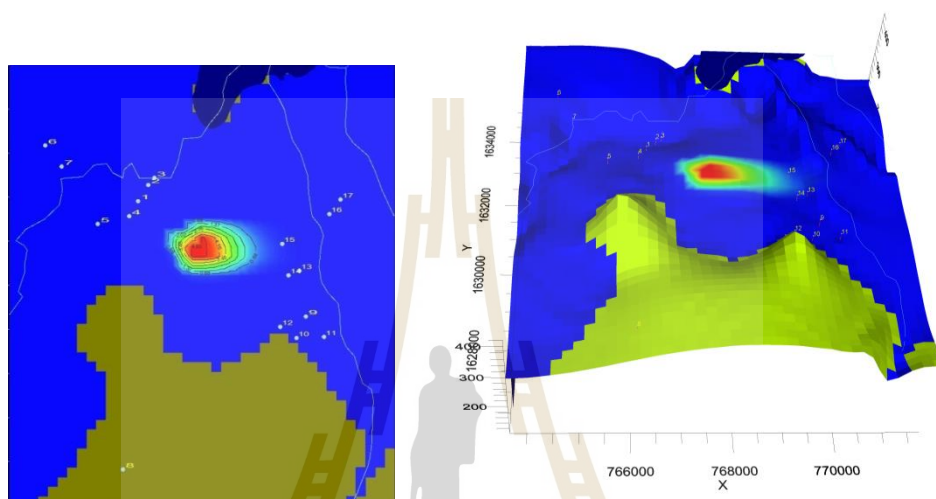
สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)
	-1.06×10^{-22}
	0.46×10^2
	0.93×10^2
	1.39×10^2
	1.85×10^2
	2.32×10^2
	2.78×10^2
	3.25×10^2

รูปที่ 4.44 การแพร่กระจายของนิกเกิล ณ เวลา 20 ปี (พ.ศ. 2577) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย

ทิศทางการแพร่กระจายของนิกเกิลตามการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ต่างจากการสำรวจทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินด้วยวิธีการสร้างแผนที่ระดับน้ำบาดาล (รูปที่ 4.1) โดยผลการจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิลในห้องปฏิบัติการ พบว่า ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของนิกเกิล (รูปที่ ข.16) ของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งที่ 13 และ 14 ในช่วงหน้าฝนมีปริมาณความเข้มข้นค่อนข้างสูง แต่มีค่าใกล้เคียงกับบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งอื่นซึ่งไม่ได้ตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับทิศทางการไหลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.4) การจำลองการแพร่กระจายของสารปรอท (Hg)

ผลการจำลองการแพร่กระจายของสารปรอท (Hg) พบว่า ณ เวลา 5 ปี (พ.ศ. 2562) มวลน้ำใต้ดินที่เคลื่อนที่ผ่านหลุมฝังกลบสามารถพัดพาน้ำชะขยะมูลฝอยซึ่งมีสารปรอท (Hg) ปนเปื้อนอยู่ สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอยได้ระยะทาง 2.9 กิโลเมตร และมีความปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (Hg) เท่ากับ $0.3 \mu\text{g/l}$ (รูปที่ 4.45)

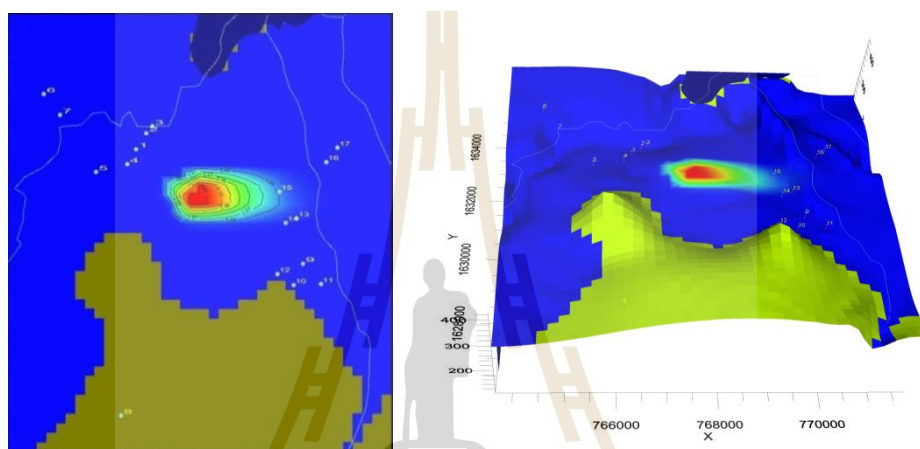


คำอธิบายสัญลักษณ์









สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)
น้ำเงิน	-1.08×10^{-5}
ฟ้า	7.07×10^2
เขียวอ่อน	1.41×10^3
เขียว	2.12×10^3
เขียวเข้ม	2.83×10^3
เหลือง	3.54×10^3
ส้ม	4.24×10^3
แดง	4.95×10^3

รูปที่ 4.45 การแพร่กระจายของสารปรอท ณ เวลา 5 ปี (พ.ศ. 2577) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย
ทิศทางการแพร่กระจายของสารปรอทเข้าใกล้กับบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 ส่งผลให้น้ำใต้ดินบริเวณนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทเพิ่มขึ้น โดยบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13 พบปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ที่ $0.7 \mu\text{g/l}$ ตำแหน่งที่ 14 พบปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ที่ $1.9 \mu\text{g/l}$ และตำแหน่งที่ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ที่ $30.9 \mu\text{g/l}$

การแพร่กระจายของของสารปรอท ณ เวลา 10 ปี (พ.ศ. 2567) สารปรอท (Hg) สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอยได้ระยะทาง 3.9 กิโลเมตร และมีปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (Hg) อยู่ที่ 0.3 $\mu\text{g/l}$ (รูปที่ 4.46) ซึ่งทิศทางการแพร่กระจายของสารปรอทเข้าใกล้กับบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 ส่งผลให้น้ำใต้ดินบริเวณนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทเพิ่มขึ้น โดยบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13 พบปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ที่ 30.7 $\mu\text{g/l}$ ตำแหน่งที่ 14 พบปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ที่ 4.1 $\mu\text{g/l}$ และตำแหน่งที่ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ที่ 378.9 $\mu\text{g/l}$

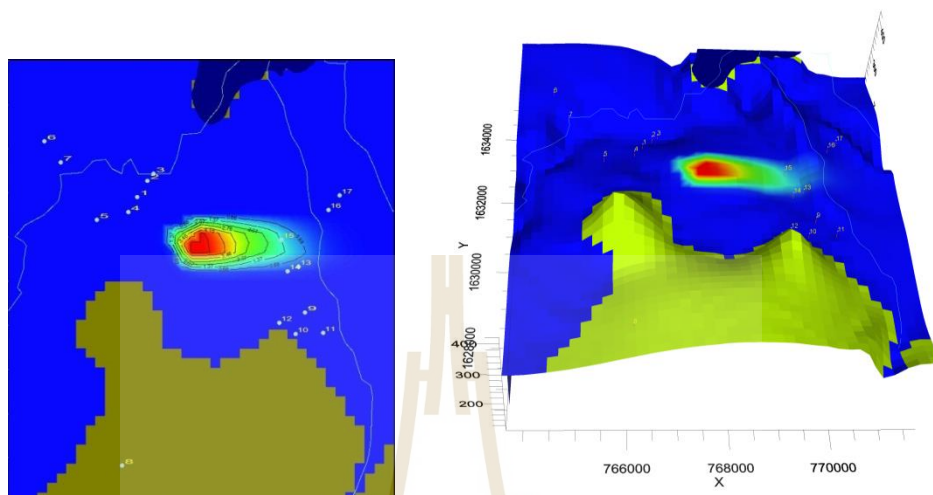


คำอธิบายสัญลักษณ์

สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)
	-1.08×10^{-5}
	7.07×10^2
	1.41×10^3
	2.12×10^3
	2.83×10^3
	3.54×10^3
	4.24×10^3
	4.95×10^3

รูปที่ 4.46 การแพร่กระจายของสารปรอท ณ เวลา 10 ปี (พ.ศ. 2567) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย การแพร่กระจายของของสารปรอท ณ เวลา 15 ปี (พ.ศ. 2572) สารปรอท (Hg) สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยได้ระยะทาง 4.1 กิโลเมตร และมีความปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (Hg) อยู่ที่ 2.1 $\mu\text{g/l}$ (รูปที่ 4.47) ซึ่งทิศทางการแพร่กระจายของสารปรอทเข้าใกล้กับบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13, 14, 15 และ 16 ส่งผลให้น้ำใต้ดินบริเวณนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทเพิ่มขึ้น โดยบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13 พบปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ที่ 158.3 $\mu\text{g/l}$ ตำแหน่งที่ 14 พบปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ที่

20.4 $\mu\text{g/l}$ ตำแหน่งที่ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ที่ 956.3 $\mu\text{g/l}$ และตำแหน่งที่ 16 พบปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ที่ 0.1 $\mu\text{g/l}$

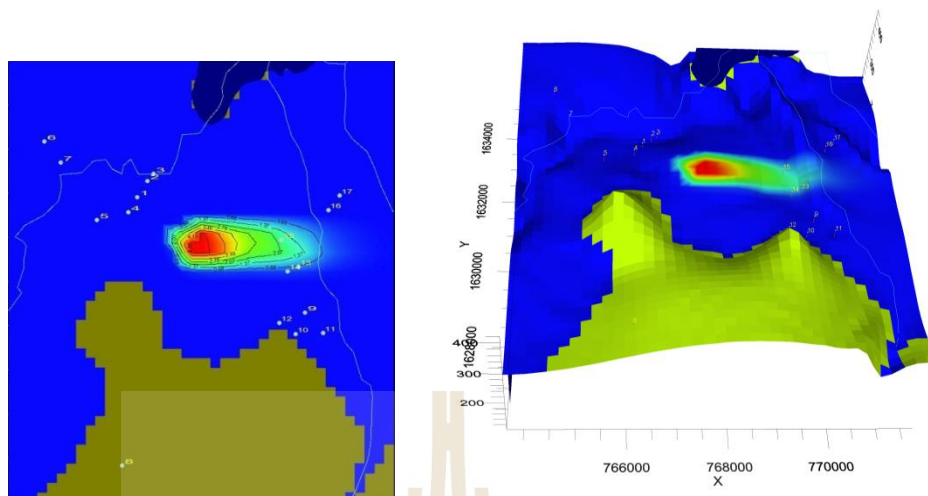


คำอธิบายสัญลักษณ์

สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)
	-1.08×10^{-5}
	7.07×10^2
	1.41×10^3
	2.12×10^3
	2.83×10^3
	3.54×10^3
	4.24×10^3
	4.95×10^3

รูปที่ 4.47 การแพร่กระจายของสารปรอท ณ เวลา 15 ปี (พ.ศ. 2572) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย

การแพร่กระจายของของสารปรอท ณ เวลา 20 ปี (พ.ศ. 2577) สารปรอท (Hg) สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยได้ระยะทาง 4.1 เมตร และมีความปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (Hg) เท่ากับ 15.4 $\mu\text{g/l}$ (รูปที่ 4.48) ซึ่งทิศทางการแพร่กระจายของสารปรอทเข้าใกล้กับบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13, 14, 15 และ 16 ส่งผลให้น้ำใต้ดินบริเวณนั้นมีปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทเพิ่มขึ้น โดยบ่อเก็บน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13 พบปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ที่ 344.1 $\mu\text{g/l}$ ตำแหน่งที่ 14 พบปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ที่ 47.4 $\mu\text{g/l}$ ตำแหน่งที่ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ที่ 1.4×10^3 $\mu\text{g/l}$ และตำแหน่งที่ 16 พบปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ที่ 0.5 $\mu\text{g/l}$



คำอธิบายสัญลักษณ์

สี	ความเข้มข้น ($\mu\text{g/l}$)
	-1.08×10^{-5}
	7.07×10^2
	1.41×10^3
	2.12×10^3
	2.83×10^3
	3.54×10^3
	4.24×10^3
	4.95×10^3

รูปที่ 4.48 การแพร่กระจายของสารปรอท ณ เวลา 20 ปี (พ.ศ. 2577) จากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย

ทิศทางการแพร่กระจายของสารปรอทตามการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ต่างจากการสำรวจทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินด้วยวิธีการสร้างแผนที่ระดับน้ำบาดาล (รูปที่ 4.1) โดยผลการจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทในห้องปฏิบัติการ พบว่า ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของสารปรอท (รูปที่ ข.18) ในบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งที่ 13, 14, 15 และ 16 มีค่าใกล้เคียงกับบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งอื่นซึ่งไม่ได้ตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับทิศทางการไหลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาลักษณะการปนเปื้อนน้ำใต้ดินของน้ำชะขยะมูลฝอยบริเวณหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองปากช่อง ประกอบด้วย การวิเคราะห์ทั้งหมด 10 พารามิเตอร์ ทั้งการวิเคราะห์ในภาคสนาม และในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้า ของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายน้ำ คลอไรด์ นิกเกิล แคดเมียม ตะกั่ว และปรอท และการศึกษา ลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน และการแพร่กระจายของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน

5.1.1 ลักษณะการปนเปื้อนน้ำใต้ดินของน้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ

การศึกษาลักษณะการปนเปื้อนน้ำใต้ดินของน้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินทั้งหมด 17 บ่อ ทุกเดือนเพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำรวม 12 เดือน โดยทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่เกี่ยวข้องได้แก่ มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2542) เกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2011) และมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2543) พบว่า ค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์คุณภาพน้ำใต้ดินในแต่ละบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานฯ ยกเว้นปริมาณของแข็งละลายน้ำ ในตำแหน่งที่ 3, 6, 8, 9, 15 และ 17 มีปริมาณของแข็งละลายน้ำอยู่ที่ 1017.4, 1286.5, 1180.6, 1342.0, 1698.6 และ 1230.1 mg/l ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2011) กำหนดมาตรฐานปริมาณของแข็งละลายน้ำไว้ไม่เกิน 1,000 mg/l และสูงกว่าปริมาณของแข็งละลายน้ำตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมน้อยกว่า 600 mg/l หรือเกณฑ์อนุโลมสูงสุด น้อยกว่า 1200 mg/l) ในตำแหน่งที่ 6, 9, 15 และ 17

เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำใต้ดินร่วมกับความแตกต่างของฤดูกาล ซึ่งแบ่งเป็น 2 ช่วงได้แก่ ช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) และช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.) พบว่าความแตกต่างของ 2 ช่วงฤดูกาล ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำใต้ดิน ซึ่งทำให้ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ในช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) และช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.) มีความแตกต่างกันในทางสถิติ (t-test) ได้แก่ อุณหภูมิ (อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงหน้าฝนมีค่าต่ำกว่าในช่วงหน้าแล้ง) ของแข็งแขวนลอย

(ปริมาณของแข็งแขวนลอยในช่วงหน้าฝนมีค่าสูงกว่าในช่วงหน้าแล้ง) สารตะกั่ว (Pb) (ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วในช่วงหน้าฝนมีค่าสูงกว่าในช่วงหน้าแล้ง) และ นิกเกิล (Ni) (ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล ในช่วงหน้าฝนมีค่าสูงกว่าในช่วงหน้าแล้ง) ส่วนพารามิเตอร์อื่นไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติระหว่างช่วงหน้าฝนกับช่วงหน้าแล้ง แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานฯ พบว่า ค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำใต้ดินในช่วงหน้าฝน และหน้าแล้ง ซึ่งไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานฯ ได้แก่ ปริมาณของแข็งแขวนลอยในช่วงหน้าฝนตำแหน่งที่ 3, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 15 และ 17 ส่วนในช่วงหน้าแล้งพบในตำแหน่งที่ 3, 6, 7, 9, 15 และ 17 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (ไม่เกิน 1,000 mg/l) (World Health Organization, 2011) และสูงกว่าปริมาณของแข็งละลายน้ำตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมน้อยกว่า 600 mg/l หรือเกณฑ์อนุโลมสูงสุด น้อยกว่า 1200 mg/l) ในช่วงหน้าฝนพบในตำแหน่งที่ 8, 9, 15 และ 17 ส่วนในช่วงหน้าแล้งพบในตำแหน่งที่ 6, 9, 15 และ 17 นอกจากนี้ ยังพบปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (ไม่เกิน 250 mg/l) (World Health Organization, 2011) ทั้งในช่วงหน้าฝนและหน้าแล้งพบในตำแหน่งที่ 9, 15 และ 17 และปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทซึ่งพบว่ามีปริมาณสูงเกินกว่าเกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (ไม่เกิน 1.0 µg/l) (World Health Organization, 2011) ทั้ง 2 ฤดูกาล ในทุกบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินยกเว้นในตำแหน่งที่ 4, 5, 7, 9 และ 12 ในช่วงหน้าฝน และในตำแหน่งที่ 3 ในช่วงหน้าแล้งเท่านั้นที่พบปริมาณความเข้มข้นของสารปรอทอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานฯ

ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินภายในพื้นที่ศึกษาจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอย วิเคราะห์จากการสร้างแผนที่ระดับน้ำบาดาล มีทิศทางการไหลจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งจะไหลผ่านบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 เป็นพื้นที่ในหมู่บ้านหนองจาง และมีทิศทางการไหลเข้าสู่บริเวณพื้นที่ของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 9, 10, 11 และ 12 ในบริเวณนั้นเป็นที่ตั้งของชุมชนบ้านบ่อทอง ซึ่งทั้ง 2 พื้นที่อยู่ในเขต ต.หนองสาหร่าย อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา จากทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินที่เคลื่อนที่ผ่านหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย อาจมีการชะหรือนำพาสิ่งปนเปื้อนจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน และเคลื่อนที่ไปยังแหล่งน้ำชุมชน อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาวของคนในชุมชนบ้านบ่อทองที่ซึ่งใช้น้ำใต้ดินเพื่อการอุปโภค และบริโภคเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำใต้ดินร่วมกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน พบว่าคุณภาพน้ำใต้ดินในตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในทิศทางเดียวกับการไหลของน้ำใต้ดินมีค่าไม่ต่างจากคุณภาพน้ำใต้ดินในบ่อเก็บตัวอย่างน้ำในตำแหน่งอื่น ยกเว้นค่าการนำไฟฟ้า ของแข็งละลายน้ำ คลอไรด์ สารตะกั่ว และ นิกเกิล ซึ่งพบว่าบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินที่ตั้งอยู่ในตำแหน่งเดียวกับการไหลของน้ำใต้ดินมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างสูงกว่าบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในบริเวณอื่น

5.1.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา เพื่อจำลองลักษณะการเคลื่อนที่ ทิศทางการไหล และการแพร่กระจายของสารโลหะหนัก (สารตะกั่ว แคดเมียม นิกเกิล และสารปรอท) จากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยในระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 ปี โดยเริ่มต้นจากปี พ.ศ. 2557 พบว่า ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นที่ตั้งของบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน ตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 เป็นพื้นที่ของชุมชนบ้านหนองจาน ต.หนองสาหร่าย อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากความเป็นพิษของสารโลหะหนักที่มีการปนเปื้อนจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน

ผลการจำลองการแพร่กระจายของสารตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) และสารปรอท (Hg) ในพื้นที่ศึกษาพบว่า เมื่อโลหะหนักแพร่กระจายในระบบการไหลของน้ำใต้ดินเป็นระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2562) ส่งผลให้บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 พบปริมาณสารปรอทเพิ่มสูงขึ้น การแพร่กระจาย ณ เวลาที่ 10 ปี (พ.ศ. 2567) การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินไกลมากขึ้น ส่งผลให้บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 พบปริมาณสารตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) และสารปรอท (Hg) เพิ่มสูงขึ้น แต่ไม่พบแคดเมียมในตำแหน่งที่ 13 การแพร่กระจาย ณ เวลา 15 ปี (พ.ศ. 2572) ส่งผลให้บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 พบปริมาณสารตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) และสารปรอท (Hg) เพิ่มสูงขึ้น และยังพบสารปรอท (Hg) ในตำแหน่งที่ 16 เพิ่มสูงขึ้น และการแพร่กระจาย ณ เวลา ที่ 20 ปี (พ.ศ. 2577) พบว่า สารตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) และสารปรอท (Hg) สามารถเคลื่อนที่ได้ไกลที่สุดจากพื้นที่หลุมฝังกลบมูลฝอยด้วยระยะทาง 4.1, 3.9, 4.1 และ 4.1 กิโลเมตร ตามลำดับ ซึ่งส่งผลให้บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 พบปริมาณสารตะกั่ว (Pb) (12.4, 17.1 และ 49.38 $\mu\text{g/l}$ ตามลำดับ) แคดเมียม (Cd) (0.7, 0.9 และ 2.9 $\mu\text{g/l}$ ตามลำดับ) นิกเกิล (Ni) (22.6, 28.9 และ 85.5 $\mu\text{g/l}$ ตามลำดับ) และสารปรอท (Hg) (3.4×10^2 , 47.4 และ 1.4×10^3 $\mu\text{g/l}$ ตามลำดับ) เพิ่มสูงขึ้น และในตำแหน่งที่ 16 พบสารปรอท (Hg) เพิ่มสูงขึ้นเป็น 0.5 $\mu\text{g/l}$

เมื่อเทียบกับมาตรฐานฯ พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท ณ เวลา 5 ปี (พ.ศ. 2562) ในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 14 และ 15 มีค่าสูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (ไม่เกิน 1 $\mu\text{g/l}$) (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2542) เกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (ไม่เกิน 6 $\mu\text{g/l}$) (World Health Organization, 2011) และมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน (ไม่เกิน 1 $\mu\text{g/l}$) (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2543) ณ เวลา 10 ปี (พ.ศ. 2567) และ 15 ปี (พ.ศ. 2572) ในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่วสูงกว่า

เกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (ไม่เกิน 10 $\mu\text{g/l}$) (World Health Organization, 2011) และมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน (ไม่เกิน 10 $\mu\text{g/l}$) และการแพร่กระจาย ณ เวลา 20 ปี (พ.ศ.2577) ในตำแหน่งที่ 13, 14 และ 15 พบปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว นิกเกิล และสารปรอท มีค่าสูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2542) เกณฑ์แนะนำคุณภาพน้ำบริโภคขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2011) และมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2543)

5.1.3 การคาดการณ์ผลกระทบต่ออ่างเก็บน้ำลำตะคองจากการปนเปื้อนของน้ำชะขยะมูลฝอย

การศึกษาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินจากการทำแผนที่ระดับน้ำใต้ดิน และจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินจากทั้ง 2 วิธี มีทิศทางการไหลจากพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยไปทางทิศตะวันออก และตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา เป็นบริเวณพื้นที่ของชุมชนบ้านหนองจาง และบ้านบ่อทอง ต.หนองสาหร่าย อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา เป็นพื้นที่เสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากความเป็นพิษของสารโลหะหนักที่มีการปนเปื้อนจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน ซึ่งอ่างเก็บน้ำลำตะคองตั้งอยู่ในทางทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา เป็นทิศทางที่ไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินภายในขอบเขตของพื้นที่ศึกษา ซึ่งการปนเปื้อนน้ำใต้ดินของน้ำชะขยะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยในการศึกษาครั้งนี้ยังไม่พบการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่ศึกษาไหลไปในทิศทางที่กระทบต่ออ่างเก็บน้ำลำตะคอง แต่เนื่องจากในพื้นที่ทางด้านทิศตะวันออกซึ่งอยู่นอกขอบเขตพื้นที่ศึกษา เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะทางภูมิศาสตร์เป็นภูเขา และมีระดับความสูงของพื้นดินสูงกว่าในพื้นที่ศึกษา ซึ่งอาจส่งผลให้ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินมีการเปลี่ยนแปลง และส่งผลกระทบต่ออ่างเก็บน้ำลำตะคองได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัดทางด้านข้อมูลนำเข้า ซึ่งใช้เป็นค่าคงที่จากการศึกษาในงานวิจัยที่ผ่านมา การรวบรวมข้อมูลในพื้นที่ศึกษาอาจไม่เพียงพอหรือเหมาะสมกับพื้นที่จริงมากนัก ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของแบบจำลองได้ ดังนั้น จึงควรมีการศึกษา และเก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านอุทกวิทยา ธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา และปฐพีวิทยา จากพื้นที่จริง เพื่อให้ได้ข้อมูลนำเข้าที่เหมาะสมกับพื้นที่ และเพิ่มความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

5.2.2 ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดิน โดยการเพิ่มจำนวนบ่อสังเกตการณ์ให้กระจายครอบคลุมพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอย และการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำชะขยะภายในพื้นที่หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยของพื้นที่ศึกษาจริง เพื่อให้ได้คุณลักษณะของน้ำชะขยะที่แท้จริงซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

5.2.3 เพิ่มขนาดพื้นที่ศึกษาในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อติดตามลักษณะการเคลื่อนที่และทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเมื่อมีการเคลื่อนที่ไปในพื้นที่ที่มีลักษณะทางภูมิศาสตร์เป็นภูเขา

5.2.4 ขอข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับพื้นที่หลุมฝังกลบ และการจัดการขยะมูลฝอยในพื้นที่ศึกษา เพื่อให้สามารถระบุลักษณะการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน และกำหนดขอบเขตพื้นที่ของหลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอยได้แม่นยำยิ่งขึ้น



รายการอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2543). *โครงการสำรวจและวิเคราะห์เพื่อจัดทำแนวทางการจัดการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยที่ส่งสู่แหล่งน้ำผิวดินและใต้ดิน บริเวณสถานที่กำจัดมูลฝอยเทศบาลในพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันตก*. กรุงเทพฯ. 314 หน้า.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2548). *สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2547*. กรุงเทพฯ.
- กรมชลประทาน. (2557). *ข้อมูลปริมาณฝน ศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนล่าง*. สืบค้นจาก <http://hydro-4.rid.go.th/>. เมื่อวันที่ 8 มกราคม 2558
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2550). *โครงการสำรวจและจัดทำแผนที่น้ำบาดาลในชั้นหินปูน พื้นที่ 2 จังหวัดนครราชสีมา*. กรุงเทพฯ. 235 หน้า.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2553). *คู่มือการสำรวจและตรวจสอบการปนเปื้อนดินและน้ำใต้ดิน*. กรุงเทพฯ.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2553). *คู่มือแนวทางการปฏิบัติที่ดีด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อป้องกันการปนเปื้อนดินและน้ำใต้ดินสำหรับสถานประกอบการหลุมฝังกลบของเสียอันตราย*. กรุงเทพฯ.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2543). *กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน*. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2551). *กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ*. ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2551.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2542). *กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ*. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 12 ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520. กรุงเทพฯ.
- กิจการ พรหมมา. (2555). *อุทกธรณีวิทยา*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกรียงศักดิ์ ศรีสุข. (2543). *น้ำใต้ดิน-แบบจำลอง-การปนเปื้อน*. ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี, คณะเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- จุฑาทิพย์ อ้อมกิ่ง. (2557). *การปนเปื้อนสารมลพิษในน้ำบาดาลบริเวณเขตอุตสาหกรรมและสถานที่ฝังกลบมูลฝอยอำเภอมะเอย่ง จังหวัดนครราชสีมา*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

- บรรจบ กิติกาศ. (2555). อิทธิพลของความเข้มข้นต่อการคาดการณ์การปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดินโดยใช้แบบจำลอง Visual MODFLOW premium 2009. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรรณนิภา นาคไพศาล. (2551). การศึกษาการปนเปื้อนสารมลพิษในน้ำใต้ดินจากนาุ้งและนาข้าวบริเวณ อ.ระโนด จ.สงขลา โดยใช้แบบจำลอง MODFLOW. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุจิริต คุณธนกุลวงศ์ และปณต ศิริพุทธิชัยกุล. (2545). การจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง. วิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุจิริต คุณธนกุลวงศ์ และคณะ. (2550). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาวิจัยการประเมินความเสี่ยงของการปนเปื้อนของสารเคมีในน้ำใต้ดินบริเวณ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา. วิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 620 หน้า.
- สุเทพ ศิลปานันทกุล และคณะ. (2552). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนของมลสารทางเกษตรลงสู่แหล่งน้ำบาดาล และออกแบบแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล ในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดสุพรรณบุรี. บริษัทเมทริกซ์แอสโซซิเอทส์ จำกัด. 558 หน้า.
- สำนักงานจังหวัดนครราชสีมา. (2556). ข้อมูลทั่วไปจังหวัดนครราชสีมา. สืบค้นจาก <http://www.nakhonratchasima.go.th/>. เมื่อวันที่ 29 กันยายน 2556.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11. (2555). รายงานการสนับสนุนและเสริมสร้างสมรรถนะให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการบริหารจัดการมูลฝอย. สืบค้นจาก http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:w0I2oVnOkzMJ:infofile.pcd.go.th/waste/1314FEB2012_SumUp.pdf%3FCFID%3D18458093%26CFID%3D33853746+&cd=2&hl=th&ct=clnk&gl=th. เมื่อวันที่ 16 ธันวาคม 2556
- สำนักทรัพยากรน้ำบาดาลเขต 5 . (2556). ข้อมูลแผนที่จังหวัดนครราชสีมา. นครราชสีมา
- สำนักบริหารทะเบียน. (2553). จำนวนประชากรและบ้าน จำแนกเป็นรายอำเภอ และรายตำบล จังหวัดนครราชสีมา ณ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553. สืบค้นจาก <http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/districtList/S010107/th/47.htm>. เมื่อวันที่ 19 ธันวาคม 2556
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงมหาดไทย. (2544). การทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. สืบค้นจาก http://www.mahadthai.com/gis/basic_d.htm. เมื่อวันที่ 20 มกราคม 2557
- อรุณ ลูกจันทร์. (2552). การศึกษาการรุกของน้ำเค็มในชั้นน้ำใต้ดินในแอ่งน้ำบาดาลใหญ่โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- Alloway B.J. (1995). *Heavy Metals in Soil*. 2nded. Blackie Academic & Professional, London. 368 p.
- American petroleum institute (API). (1989). *Hydrogeologic Database for Groundwater Modeling*. API Publication No.4476, American Petroleum Institute.
- Anderson M. P. and Woessner W. W. (1992). *Applied Groundwater Modeling*. Academic Press, San Diego.
- Andreottola G., and Cannas P. (1992). *Chemical and Biological Characteristics of Landfill Leachate*. chapter 2.4, Landfilling of Waste: Leachate, Elsevier Applied Science, London and New York.
- Arlai P. (2007). *Numerical Modeling of possible Saltwater Intrusion Mechanisms in the Greuel, Multiple-Layer Coastal Aquifer System of the Gulf of Thailand*. Faculty of Civil Engineering, University of Kassel. Republic of Germany.
- ASTM. *RBCA Fate and Transport Models: Compendium and Selection Guidance*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- Bauer P. (1998). *Disperse: Advection/Dispersion Model for MTBE and TBA*. New Jersey Department of Environmental Protection.
- Bracke M.S., Miller C.C., Kim J. (2008). *Adding value to digitizing with GIS*. Library Hi Tech, 26(2), 201-212.
- Brassington F.C. (1988). *Errors in hydraulic conductivity and groundwater level measurements and their significance in groundwater pollution control*. In: Gronow JR, Schofield AN & Jain RK (Eds.) *Land Disposal of Hazardous Waste*. Published by Ellis Horwood Limited, Chichester, Pages 49-58.
- Burrough P.A. (1986). *Principle of Geographical Information Systems for Land Resource Assessment*. Oxford University Press, Oxford.
- Christensen T.H., Cossu R. and Stegmann R. (1992). *Landfilling of Waste: Leachate*. Elsevier Science Publ. Ltd., England. 520 p.
- Da An, Yonghai Jiang, Beidou Xi, Zhifei Ma, Yu Yang, Queping Yang, Mingxiao Li, Jinbao Zhang, Shunguo Bai, and Lei Jiang. (2013). *Analysis for remedial alternatives of unregulated municipal solid waste landfills leachate-contaminated groundwater*. Front. Earth Sci., 7(3), 310–319

- Dass P., Tamke G.R. and Stoffel C.M. (1977). *Leachate production at sanitary landfill sites*. Environ. Eng. 103: 981-988.
- David W.G. (1981). *Biology and chemical treatment of landfill leachate*. Master thesis, The University of British Columbia Vancouver.
- Domenico, P. A. (1972), *Concepts and models in groundwater hydrology*. McGraw-Hill, New York, 405p.
- Domenico P.A. (1987). *An Analytical Model for Multidimensional Transport of a Decaying Contaminant Species*. Journal of Hydrology, Vol. 9, 49-58.
- Domenico P.A. and Schwartz F.W. (1998). *Physical and Chemical Hydrogeology*. 2nd ed, John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Edil T.B. (2003). *A review of aqueous-phase VOC transport in modern landfill liners*. Waste Management. Volume 23, Issue 7, 561-571.
- Fu Y. (2007). *Managing customer services using GIS in Banks: A case in Chinese Competitive Environment*. Linkopings University, Sweden.
- Goode D.J. and Appel C.E. (1992). *Finite-difference interblock transmissivity for unconfined aquifers and for aquifers having smoothly varying transmissivity*. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 92-4124. 79 p.
- Graeff C. and Loui M.C. (2008). *Ethical implication of technical limitations in GIS*. IEEE Technology and Society Magazine, 27(4), 27-36.
- Harbaugh A.W. (1992). *A generalized finite-difference formulation for the U.S. Geological Survey modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model*. U.S. Geological Survey Open-File Report 91-494. 60 p.
- Harbaugh A.W. and McDonald M.G. (1996). *User's documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model*. U.S. Geological Survey Open-File Report 96-485. 56 p.
- Hill M.C. (1990). *Preconditioned Conjugate-Gradient 2 (PCG2), A computer program for solving ground-water flow equations*. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 90-4048, 43 p.
- International Ground Water Modeling Center (IGWMC), *Groundwater Contamination: Use of Models*. Holcomb Research Institute, Butler University. U.S.

- Khan S., Hafeez M.M., Rana T. and Mushtaq S. (2007). *Enhancing water productivity at the irrigation system level: A geospatial hydrology application in the Yellow River Basin*. *Journal of Arid Environments*, 1-18.
- Konikow L.F., Gregory E. Granato, and George Z. Hornberger (1994). *User's Guide to Revised Method-of-Characteristics Solute- Transport Model (MOC-Version 3.1)*. U.S. Geological Survey Earth Science Information Center, Denver CO.
- Konikow L.F. and Reilly T.E. (1998). *Groundwater Modelling*. In: *The Handbook of Groundwater Engineering* [J.W. Delleur, ed.], CRC Press, Boca Raton 20:1-20.40.
- Kueh, A.A., Pennint V.R., McGuire T.W. and Melone N.P. (1994). *In High-value PC-based GIS application in business*. Paper presented at the System Sciences, Vol.4: Information System: Collaboration Technology Organizational Systema and Technology, Proceedings of Twenty-Seventh Hawaii International Conference on.
- Laura, Lautz K. and Siegel Donald I. (2006). *Modeling surface and groundwater mixing in the hyporheic zone using MODFLOW and MT3D*. *Advances in Water Resource* (29): 1618-1633.
- Leake S.A., and Prudic D.E. (1991). *Documentation of a computer program to simulate aquifer-system compaction using the modular finite-difference ground-water flow model*. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations. book 6, chap. A2, 68 p.
- Leckie J.O., Pacey J.G. and Halvadakis C. (1979). *Landfill Management with Moisture Control*. *Environ. Eng.* 105: 337-355.
- Liu D.H.F. and Liptak B.G. (2000). *Groundwater and surface water pollution*. New York: CRC Press.
- Logan J. (1964). *Estimating transmissibility from routine production tests of water wells*. *Hydrogeology Journal*, 8, 177-187.
- Lu J.C.S., Eichenberger B., and Stearns R.J. (1985). *Leachate from Municipal Landfills: Production and Management*. Noyes Publications, Park Ridge, NJ.
- McDonald M.G. and Harbaugh A.W. (1984). *A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model*. U.S. Geological Survey Open-File Report 83-875. 528 p.

- McDonald M.G. and Harbaugh A.W. (1988). *A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model*. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations. Book 6, Chapter A1, 548 p.
- McDonald M.G., Harbaugh A.W., Orr B.R. and Ackerman D.J. (1992). *A method of converting no-flow cells to variable-head cells for the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model*. U.S. Geological Survey Open-File Report 91-536. 99 p.
- Metcalf and Eddy. (1991). *Wastewater Engineering Treatment Disposal and Reuse*. 3rd ed., McGraw-Hill, Inc., New York.
- Miller C.C. (2006). *A beast in the field: The Google Maps mashup as GIS/2*. *Cartographica*, 41(3), 187-199.
- Moss R. and Moss G.E. (1990). *Handbook of Ground Water Development*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Morris D.A. and A.I. Johnson. (1967). *Summary of hydrologic and physical properties of rock and soil materials as analyzed by the Hydrologic Laboratory of the U.S. Geological Survey 1948-1960*. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1839-D. 42 p.
- Nevin J.P. (1997). "FATE5: A Natural Attenuation Calibration Tool for Groundwater Fate and Transport Modeling". 1996 Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Detection, and Remediation Conference, National Ground Water Association Catalog #T539.
- Nicolson R.V., J.A. Cherry and Reardon E.J. (1983). Migration of contaminants in ground water at A landfill: A Case Study 6. Hydrogeochemistry. *Journal of Hydrology*. 63, 76-131.
- Ou W. (1989). *Soil Column Process for Landfill Leachate Treatment*. M.S. Thesis Asia Institute of Technology. Patumtanee.
- Pollock D. (1989). *A Graphical Kernel System (gks) Version of Computer Program Modpath- Pilot for Displaying Pathlines Generated from the U.S. Geological Survey Modular Threedimensional Ground-water Flow Model*. U.S. Geological Survey

- Prickett T.A. and C. G. Lonquist, (1981). *Selected Digital Computer techniques for Groundwater Resource Evaluation*. Illinois State Water Survey, Bulletin 55.
- Prudic D.E. (1989). *Documentation of a computer program to simulate stream-aquifer relations using a modular, finite-difference, ground-water flow model*. U.S. Geological Survey Open-File Report 88-729, 113 p.
- Qasim R.S. and Chiang W. (1994). "Leachate characterization," chapter 6, *Sanitary Landfill: Leachate: Generation, Control and Treatment*. Technomic Publication, Lancaster, PA, USA.
- Saghravani S.R. and Mustapha S.A. (2011). *Prediction of Phosphorus Migration in an Unconfined Aquifer with Visual MODFLOW in Landfill Area*. *World Applied Sciences Journal*, 15(3), 438-442.
- Tchobanoglous G., and Kreith F. (2002). *Handbook of Solid Waste Management*. 2nd ed. McGraw-Hill.
- Tchobanoglous, G., Theisen H. and Vigil S. (1993). *Integrated Solid Waste Management; Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill Inc, Singapore.
- Townsend T.G., Miller W.L., Lee M.J. and Earle J.F.K. (1996). *Acceleration of Landfill Stabilization using Leachate Recycle*. *Environ. Eng.* 122: 263-268.
- Toth J. (1963). *A theoretical analysis of groundwater flow small drainage basin*. *Geophysic Research*. 68, 4795 – 4812.

- Trankler J., Manandhar D. R., Xiaoning Q., Sivapornpun V. and Scholl W. (2001). *“Effects of monsooning conditions on the management of landfill leachate in tropical countries.”* Proc., 8th Int. Waste Management and Landfill Symp. International Waste Working Group (IWWG), Padova, Italy, Vol. 2 , 59–68.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1990). *Background Document for EPA's Composite Model for Landfills (EPACML)*. U.S. EPA, Office of Solid Waste, Washington, D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency. (1971). *Pollution of Subsurface Water by Sanitary Landfills*. U.S. EPA, Office of Solid Waste, Washington, D.C.
- Wang, H.F. and Anderson, M. (1982), *Introduction to Groundwater Modeling: Finite Difference and Finite Element Methods*. San Francisco: W.H. Freeman and Company.
- World Health Organization. (2011). *Guidelines for Drinking Water Quality*. 4th Edition World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Yeh G.T. (1981). *AT123D: Analytical Transient One-, Two-, and Three-Dimensional Simulation of Waste Transport in the Aquifer System*. Oak Ridge National Laboratory Publication No. 1439.
- Zheng C. (1990). *A Modular Three-Dimensional Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems*. S.S. Papadopoulos & Associates, Inc.
- Zhang T., Holden H., Øksendal B. and Ubøe J. (1996). *Applications to stochastic ordinary differential equations. In: Stochastic Partial Differential Equations. Probability and its Applications*. Birkhäuser Boston. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-9215-6_3.



ภาคผนวก ก

บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน



รูปที่ ก.1 ปอเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 1 (หมู่บ้านท่างอย ซอย 2 ต.จันทิก)



รูปที่ ก.2 ปอเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 2 (หมู่บ้านท่างอย ซอย 5 ต.จันทิก)



รูปที่ ก.3 ป่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 3 (หมู่บ้านท่างอย ซอย 7 ต.จันทิก)



รูปที่ ก.4 ป่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 4 (บ้านท่างอย สวนสุขภาพบ้านท่างอย ต.จันทิก)



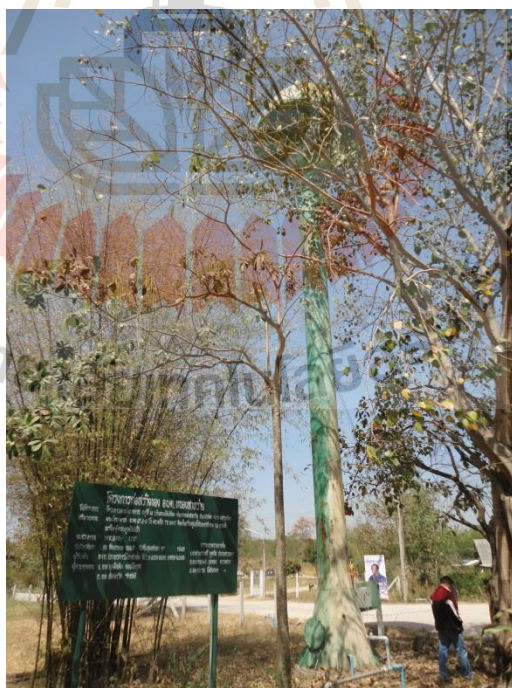
รูปที่ ก.5 ป่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 5 (แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านพักทหาร)



รูปที่ ก.6 ป่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 6 (แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านซั่มม่วง หมู่ 4 ต.จันทิก จุด 1)



รูปที่ ก.7 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 7 (แผนกผลิตเสบียงอาหารสัตว์ บ้านซับม่วง หมู่ 4 ต.จันทิก จุด 2)



รูปที่ ก.8 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 8 (วัดหนองไผ่ล้อม บ้านหนองไผ่ล้อม หมู่ 14 ต.หนองสาหร่าย)



รูปที่ ก.9 ป่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 9 (หมู่บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 1)



รูปที่ ก.10 ป่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 10 (หมู่บ้านบ่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 2)



รูปที่ ก.11 ปอเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 11 (หมู่บ้านป่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย จุด 3)



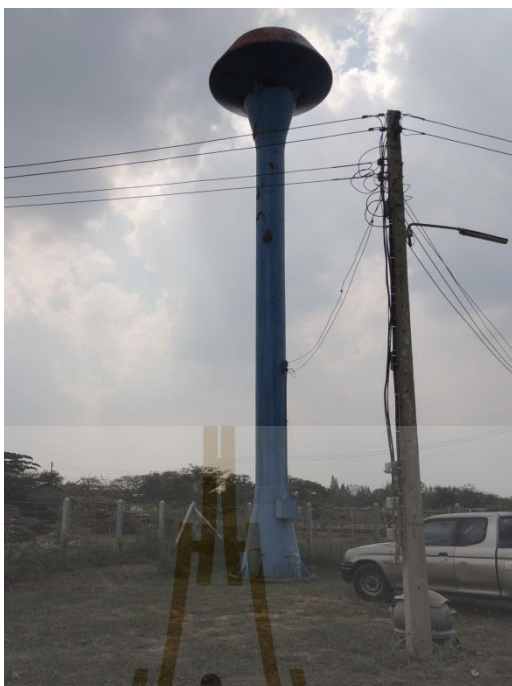
รูปที่ ก.12 ปอเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 12 (กลุ่มโคกเพชรพัฒนา บ้านป่อทอง หมู่ 15 ต.หนองสาหร่าย)



รูปที่ ก.13 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 13 (หมู่บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 1)



รูปที่ ก.14 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 14 (หมู่บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 2)



รูปที่ ก.15 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 15 (หมู่บ้านหนองจาน หมู่ 6 ต.หนองสาหร่าย จุด 3)



รูปที่ ก.16 บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 16 (วัดไตรรัตน์ บ้านหนองคู หมู่ 4 ต.หนองสาหร่าย)



รูปที่ ก.17 ปอเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินตำแหน่งที่ 17 (โรงเรียนไตรรัตน์วิทยาคาร บ้านหนองคู หมู่ 4 ต.หนองสาหร่าย)

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำใต้ดิน



ตารางที่ ข.1 ค่าความเป็นกรด – ด่าง ของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558

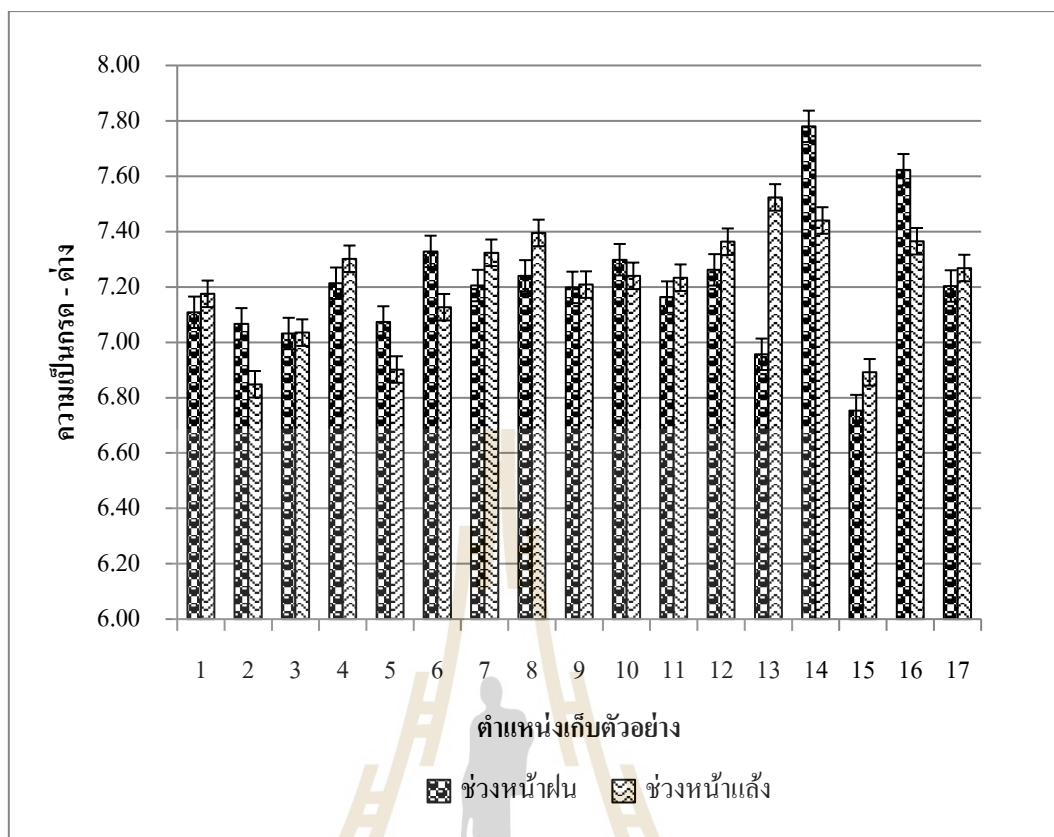
บ่อเก็บ ตัวอย่าง	พ.ค. 57	มิ.ย. 57	ก.ค. 57	ส.ค. 57	ก.ย. 57	ต.ค. 57	พ.ย. 57	ธ.ค. 57	ม.ค. 58	ก.พ. 58	มี.ค. 58	เม.ย. 58	เฉลี่ย (Average)
1	7.1	7.2	7.2	7.2	7.1	7.0	7.2	7.2	7.3	7.4	7.0	7.1	7.1±0.1
2	7.1	7.1	7.2	7.2	7.0	6.9	7.0	7.0	6.2	6.8	7.3	6.9	7.0±0.3
3	7.2	7.3	7.0	7.0	6.9	6.8	7.0	7.1	7.1	6.9	7.2	6.9	7.0±0.1
4	7.2	7.2	7.3	7.3	7.2	7.1	7.4	7.4	7.5	7.3	7.1	7.2	7.3±0.1
5	7.6	7.4	7.0	7.0	6.8	6.7	6.9	6.9	6.9	6.8	7.0	6.9	7.0±0.3
6	7.4	7.3	7.4	7.5	7.3	7.0	7.3	7.2	7.1	7.0	7.1	7.0	7.2±0.2
7	7.2	7.1	7.3	7.3	7.2	7.1	7.3	7.4	7.4	7.3	7.4	7.3	7.3±0.1
8	7.4	7.2	7.2	7.3	7.2	7.1	7.4	7.4	7.5	7.6	7.2	7.2	7.3±0.1
9	6.8	7.1	7.5	7.5	7.3	7.1	7.3	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2±0.2
10	7.7	7.6	7.4	7.3	7.1	6.8	7.0	7.3	7.6	7.2	7.1	7.2	7.3±0.3
11	7.0	7.1	7.3	7.3	7.2	7.1	7.2	7.1	7.0	7.5	7.2	7.4	7.2±0.2
12	7.2	7.3	7.2	7.3	7.3	7.3	7.4	7.4	7.3	7.4	7.3	7.4	7.3±0.1
13	6.9	6.8	7.1	7.1	7.0	6.8	7.8	7.4	7.0	7.8	7.3	7.9	7.2±0.4
14	8.0	7.9	8.0	8.1	7.6	7.2	7.0	7.7	8.3	7.2	7.3	7.1	7.6±0.4
15	6.7	6.8	6.8	6.8	6.7	6.7	6.8	6.8	6.8	6.8	7.2	6.9	6.8±0.1
16	7.5	7.6	7.7	7.9	7.7	7.4	7.5	7.5	7.4	7.5	7.1	7.2	7.5±0.2
17	7.2	7.2	7.3	7.2	7.2	7.1	7.3	7.3	7.3	7.2	7.2	7.2	7.2±0.1

หมายเหตุ มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภคกรมทรัพยากรน้ำบาดาลกำหนดค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.5 – 9.2

ตารางที่ ข.2 ค่าทางสถิติของความเป็นกรด - ด่าง ในช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)

บ่อเก็บ ตัวอย่าง	ช่วงหน้าฝน			ช่วงหน้าแล้ง		
	พิสัย (Range)	เฉลี่ย (Average)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)	พิสัย (Range)	เฉลี่ย (Average)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)
1	7.0 - 7.2	7.1	0.1	7.0 - 7.4	7.2	0.1
2	6.9 - 7.2	7.1	0.1	6.2 - 7.3	6.8	0.4
3	6.8 - 7.3	7.0	0.2	6.9 - 7.2	7.0	0.1
4	7.1 - 7.3	7.2	0.1	7.1 - 7.5	7.3	0.1
5	6.7 - 7.6	7.1	0.3	6.8 - 7.0	6.9	0.1
6	7.0 - 7.5	7.3	0.2	7.0 - 7.3	7.1	0.1
7	7.1 - 7.3	7.2	0.1	7.3 - 7.4	7.3	0.1
8	7.1 - 7.4	7.2	0.1	7.2 - 7.6	7.4	0.1
9	6.8 - 7.5	7.2	0.3	7.2 - 7.3	7.2	0.0
10	6.8 - 7.7	7.3	0.3	7.1 - 7.6	7.2	0.2
11	7.0 - 7.3	7.2	0.1	7.0 - 7.5	7.2	0.2
12	7.2 - 7.3	7.3	0.0	7.3 - 7.4	7.4	0.1
13	6.8 - 7.1	7.0	0.1	7.0 - 7.9	7.5	0.4
14	7.2 - 8.1	7.8	0.3	7.0 - 8.3	7.4	0.5
15	6.7 - 6.8	6.8	0.0	6.8 - 7.2	6.9	0.1
16	7.4 - 7.9	7.6	0.2	7.1 - 7.5	7.4	0.2
17	7.1 - 7.3	7.2	0.1	7.2 - 7.3	7.3	0.1

หมายเหตุ มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภคกรมทรัพยากรน้ำบาดาลกำหนดค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.5 - 9.2



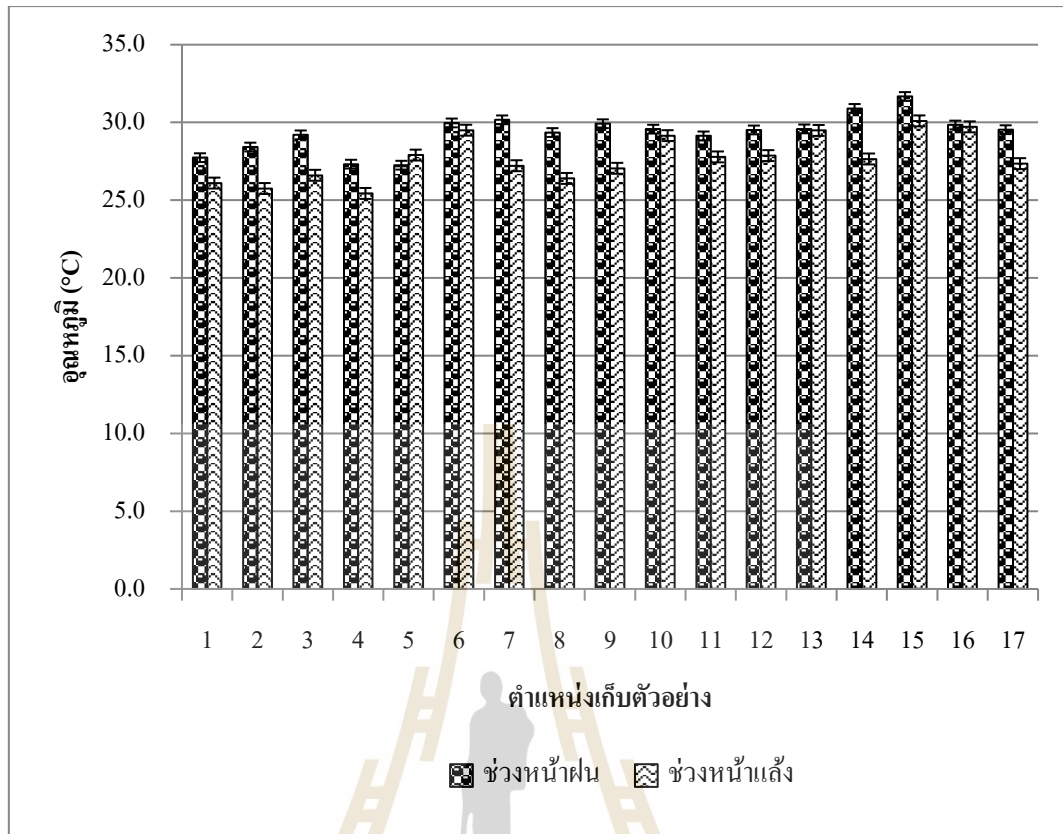
รูปที่ ข.1 ความเป็นกรด - ต่าง ของแต่ละบ่อเก็บน้ำตัวอย่าง เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)

ตารางที่ ข.3 อุณหภูมิ ของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558

บ่อเก็บ ตัวอย่าง	พ.ค. 57 (°C)	มิ.ย. 57 (°C)	ก.ค. 57 (°C)	ส.ค. 57 (°C)	ก.ย. 57 (°C)	ต.ค. 57 (°C)	พ.ย. 57 (°C)	ธ.ค. 57 (°C)	ม.ค. 58 (°C)	ก.พ. 58 (°C)	มี.ค. 58 (°C)	เม.ย. 58 (°C)	เฉลี่ย (Average) (°C)
1	28.9	28.7	27.8	27.4	27.0	26.6	24.6	24.2	23.9	26.8	28.9	28.2	26.9±1.8
2	29.5	29.1	28.1	28.2	27.9	27.7	26.5	24.5	22.5	23.9	28.5	28.6	27.1±2.3
3	29.4	29.6	29.5	29.3	28.9	28.5	27.9	26.7	25.6	28.9	26.6	23.9	27.9±1.8
4	29.7	28.8	27.9	27.8	25.8	23.9	23.9	23.1	22.3	26.9	26.3	30.1	26.4±2.6
5	29.2	28.9	28.2	27.6	25.7	23.9	28.5	27.7	26.9	23.6	30.8	29.6	27.6±2.2
6	28.7	28.6	29.7	30.6	30.9	31.3	30.6	29.0	27.4	28.8	31.5	29.7	29.7±1.3
7	32.6	32.1	30.2	29.1	28.7	28.3	27.1	27.2	27.3	23.9	27.7	30.1	28.7±2.4
8	32.4	31.7	28.3	27.8	27.9	28.0	27.4	24.0	20.6	28.5	27.6	30.3	27.9±3.2
9	30.7	30.2	30.4	29.6	29.4	29.2	28.6	26.2	23.9	23.9	28.8	30.9	28.5±2.5
10	30.2	30.8	29.6	28.8	28.9	29.1	30.1	28.0	25.9	28.1	30.9	31.9	29.4±1.6
11	29.8	29.3	28.4	29.0	29.1	29.2	23.9	25.1	26.4	29.4	32.8	29.1	28.5±2.3
12	29.5	29.1	28.7	29.4	29.9	30.5	30.7	27.3	23.9	23.9	30.6	30.8	28.7±2.5
13	32.9	31.4	28.2	28.0	28.3	28.7	31.1	29.1	27.2	28.9	28.0	32.6	29.5±1.9
14	34.8	31.5	28.7	29.0	30.1	31.3	26.9	26.7	26.5	23.9	29.9	32.0	29.3±3.0
15	34.2	31.2	28.8	29.8	31.9	34.1	30.1	28.8	27.6	29.0	33.2	31.9	30.9±2.2
16	30.7	30.3	27.9	29.8	30.0	30.3	29.1	28.1	27.1	28.0	32.9	33.1	29.8±1.9
17	32.1	30.4	27.1	28.2	29.2	30.2	20.2	25.0	29.9	23.9	30.6	34.5	28.4±3.9

ตารางที่ ข.4 ค่าทางสถิติของอุณหภูมิ ในช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)

บ่อเก็บ ตัวอย่าง	ช่วงหน้าฝน			ช่วงหน้าแล้ง		
	พิสัย (Range) (°C)	เฉลี่ย (Average) (°C)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)	พิสัย (Range) (°C)	เฉลี่ย (Average) (°C)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)
1	26.6 - 28.9	27.7	0.9	23.9 - 28.9	26.1	2.2
2	27.7 - 29.5	28.4	0.7	22.5 - 28.6	25.8	2.5
3	28.5 - 29.6	29.2	0.4	23.9 - 25.6	26.6	1.7
4	23.9 - 29.7	27.3	2.1	22.3 - 30.1	25.4	2.9
5	23.9 - 29.9	27.3	2.1	23.9 - 30.8	27.9	2.4
6	28.6 - 31.3	30.0	1.1	27.4 - 31.5	29.5	1.4
7	28.3 - 32.6	30.2	1.8	23.9 - 30.1	27.2	2.0
8	27.8 - 32.4	29.4	2.1	20.6 - 30.3	26.4	3.5
9	29.2 - 30.7	29.9	0.6	23.9 - 30.9	27.1	2.9
10	28.8 - 30.8	29.6	0.8	25.9 - 31.9	29.2	2.2
11	28.4 - 29.8	29.1	0.5	23.9 - 32.8	27.8	3.3
12	28.7 - 30.5	29.5	0.6	23.9 - 30.8	27.9	3.3
13	28.0 - 32.9	29.6	2.1	27.2 - 32.6	29.5	2.0
14	28.7 - 34.8	30.9	2.2	23.9 - 32.0	27.7	2.9
15	28.8 - 34.2	31.7	2.2	27.6 - 33.2	30.1	2.1
16	27.9 - 30.7	29.8	1.0	27.1 - 33.1	29.7	2.6
17	27.1 - 32.1	29.5	1.8	20.2 - 34.5	27.4	5.2



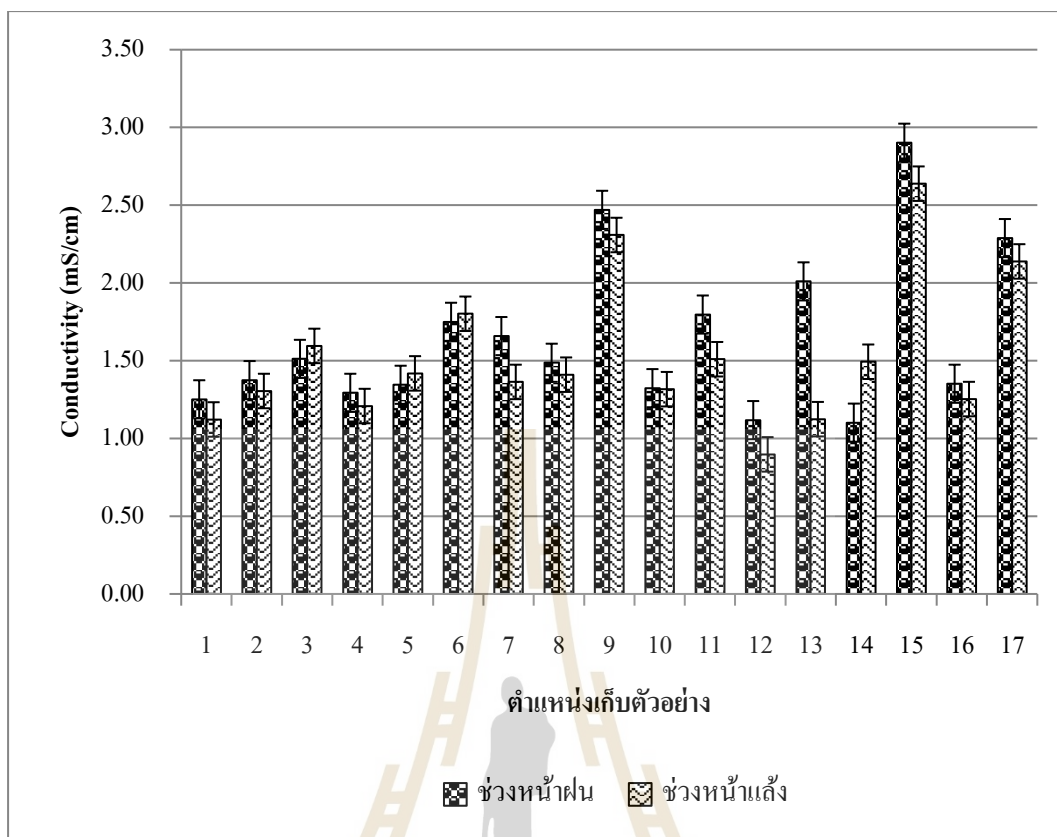
รูปที่ ข.2 อุณหภูมิของแต่ละจุดเก็บน้ำตัวอย่าง เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) กับ ช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)

ตารางที่ ข.5 ค่าการนำไฟฟ้า ของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558

บ่อเก็บ ตัวอย่าง	พ.ค. 57 (mS/cm)	มิ.ย. 57 (mS/cm)	ก.ค. 57 (mS/cm)	ส.ค. 57 (mS/cm)	ก.ย. 57 (mS/cm)	ต.ค. 57 (mS/cm)	พ.ย. 57 (mS/cm)	ธ.ค. 57 (mS/cm)	ม.ค. 58 (mS/cm)	ก.พ. 58 (mS/cm)	มี.ค. 58 (mS/cm)	เม.ย. 58 (mS/cm)	เฉลี่ย (Average) (mS/cm)
1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.4	1.6	1.1	1.1	1.1	0.9	1.3	1.1	1.2±0.2
2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.2	1.2	1.3±0.1
3	1.3	1.3	1.6	1.7	1.7	1.7	1.5	1.6	1.6	1.5	1.6	1.8	1.6±0.2
4	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.6	1.1	1.1	1.2	1.2	1.4	1.2	1.3±0.2
5	1.0	1.0	1.3	1.4	1.6	1.8	1.4	1.3	1.3	1.4	1.9	1.3	1.4±0.3
6	2.3	2.2	1.6	1.0	1.5	2.0	1.7	1.8	1.8	2.1	1.7	1.8	1.8±0.4
7	1.9	1.8	1.5	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	0.7	1.6	1.5±0.3
8	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5±0.1
9	2.7	2.7	2.4	2.4	2.4	2.3	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	2.2	2.4±0.2
10	1.1	1.2	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.6	1.0	1.3	1.3	1.3	1.3±0.2
11	1.7	1.8	1.9	1.9	1.9	1.8	2.1	1.4	0.8	1.6	1.7	1.5	1.7±0.3
12	1.0	1.1	1.1	1.4	1.2	1.0	0.8	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0±0.2
13	2.0	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	0.9	1.3	1.8	0.9	1.0	0.8	1.6±0.5
14	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.8	1.4	1.0	2.0	1.0	1.7	1.3±0.4
15	3.1	3.0	2.7	2.8	2.8	2.8	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.6	2.8±0.2
16	1.3	1.3	1.3	1.5	1.4	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3±0.1
17	2.4	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.1	2.1	2.2	2.3	2.2	2.0	2.2±0.1

ตารางที่ ข.6 ค่าทางสถิติของค่าการไฟฟ้า ในช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)

บ่อเก็บ ตัวอย่าง	ช่วงหน้าฝน			ช่วงหน้าแล้ง		
	พิสัย (Range) (mS/cm)	เฉลี่ย (Average) (mS/cm)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)	พิสัย (Range) (mS/cm)	เฉลี่ย (Average) (mS/cm)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)
1	1.1 - 1.6	1.2	0.2	0.9 - 1.3	1.1	0.1
2	1.2 - 1.5	1.4	0.1	1.2 - 1.4	1.3	0.1
3	1.3 - 1.7	1.5	0.2	1.5 - 1.8	1.6	0.1
4	1.0 - 1.6	1.3	0.2	1.1 - 1.4	1.2	0.1
5	1.0 - 1.8	1.4	0.3	1.3 - 1.9	1.4	0.2
6	1.0 - 2.3	1.7	0.5	1.7 - 2.1	1.8	0.2
7	1.5 - 1.9	1.7	0.1	0.7 - 1.6	1.4	0.3
8	1.4 - 1.5	1.5	0.1	1.4 - 1.5	1.4	0.0
9	2.3 - 2.7	2.5	0.2	2.2 - 2.5	2.3	0.1
10	1.1 - 1.5	1.3	0.2	1.0 - 1.6	1.3	0.2
11	1.7 - 1.9	1.8	0.1	0.8 - 1.7	1.5	0.4
12	1.0 - 1.4	1.1	0.2	0.9 - 1.0	0.9	0.1
13	2.0 - 2.1	2.0	0.0	0.8 - 1.8	1.1	0.4
14	1.1 - 1.2	1.1	0.0	1.0 - 2.0	1.5	0.4
15	2.7 - 3.1	2.9	0.1	2.6 - 2.7	2.6	0.0
16	1.3 - 1.5	1.4	0.1	1.2 - 1.3	1.3	0.0
17	2.2 - 2.4	2.3	0.1	2.0 - 2.3	2.1	0.1



รูปที่ ข.3 ค่าการนำไฟฟ้าของเปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)

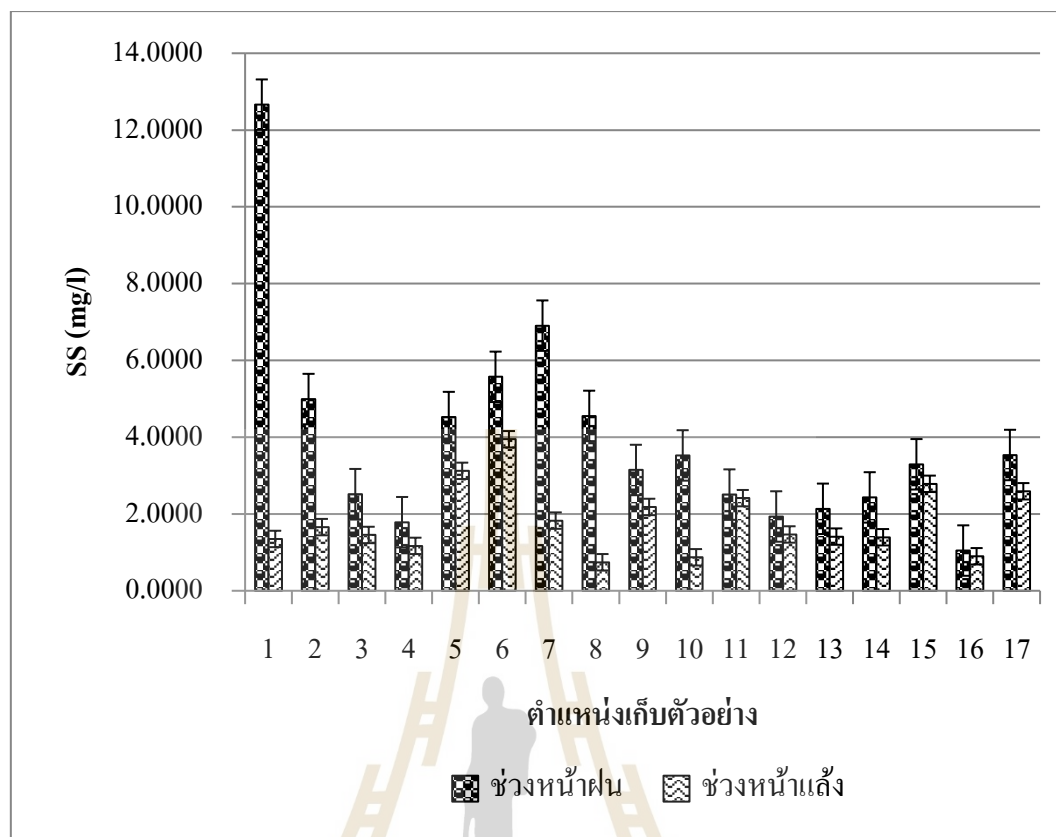
ตารางที่ ข.7 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558

บ่อเก็บตัวอย่าง	พ.ค. 57 (mg/l)	มิ.ย. 57 (mg/l)	ก.ค. 57 (mg/l)	ส.ค. 57 (mg/l)	ก.ย. 57 (mg/l)	ต.ค. 57 (mg/l)	พ.ย. 57 (mg/l)	ธ.ค. 57 (mg/l)	ม.ค. 58 (mg/l)	ก.พ. 58 (mg/l)	มี.ค. 58 (mg/l)	เม.ย. 58 (mg/l)	เฉลี่ย (Average) (mg/l)
1	1.8	1.2	0.5	0.8	26.9	44.8	1.4	2.0	0.7	0.8	0.7	2.5	7.0±14.0
2	0.9	2.7	0.9	1.3	6.7	17.5	1.9	1.9	1.7	0.8	0.9	2.7	3.3±4.8
3	1.6	0.3	1.4	0.9	1.5	9.4	1.0	1.2	1.4	0.8	1.4	3.0	2.0±2.4
4	0.5	0.6	1.3	0.7	6.7	1.1	1.0	1.0	1.2	0.6	0.7	2.6	1.5±1.7
5	4.1	0.8	1.0	3.8	16.8	0.8	0.6	0.7	4.2	0.4	9.6	3.2	3.8±4.9
6	0.7	4.7	1.3	2.9	20.2	3.7	4.1	3.9	4.0	0.8	5.1	5.8	4.8±5.1
7	0.6	0.9	2.1	6.2	3.9	27.8	0.5	1.1	4.4	0.7	1.8	2.5	4.4±7.6
8	0.5	2.4	0.8	0.9	7.8	14.9	0.4	0.6	0.5	0.6	0.9	1.5	2.7±4.4
9	0.6	4.2	1.7	3.9	7.2	1.3	1.2	1.2	0.4	0.4	3.4	6.5	2.7±2.4
10	0.4	3.0	0.5	0.7	16.1	0.6	0.3	0.5	0.3	1.5	0.6	2.1	2.2±4.4
11	0.5	4.2	0.6	3.5	3.9	2.4	0.2	1.3	0.9	1.2	1.1	9.9	2.5±2.7
12	0.7	4.5	0.5	0.4	3.2	2.4	1.0	1.7	0.5	0.9	0.7	4.1	1.7±1.5
13	0.9	1.2	1.4	0.9	3.4	5.0	1.0	2.0	0.9	0.7	1.1	2.8	1.8±1.3
14	0.2	1.3	0.5	0.8	5.5	6.5	0.5	0.5	1.0	1.1	1.5	3.9	1.9±2.1
15	0.4	1.1	3.3	2.3	11.1	1.6	1.6	1.6	1.6	2.6	3.1	6.4	3.0±2.9
16	0.4	1.5	0.8	1.4	2.2	0.1	0.3	0.2	1.8	0.6	1.2	1.3	1.0±0.7
17	4.0	2.4	0.9	1.9	10.1	2.0	3.0	2.5	2.9	1.3	1.8	4.2	3.1±2.4

หมายเหตุ มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภคกรมทรัพยากรน้ำบาดาล กำหนดปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เหมาะสมคือ น้อยกว่า 600 mg/l หรือ น้อยกว่า 1200 mg/l (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)

ตารางที่ ข.8 ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ในช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)

บ่อเก็บ ตัวอย่าง	ช่วงหน้าฝน			ช่วงหน้าแล้ง		
	พิสัย (Range) (mg/l)	เฉลี่ย (Average) (mg/l)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)	พิสัย (Range) (mg/l)	เฉลี่ย (Average) (mg/l)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)
1	0.5 - 44.8	12.7	18.8	0.7 - 2.5	1.3	0.8
2	0.9 - 17.5	5.0	6.5	0.8 - 2.7	1.7	0.7
3	0.3 - 9.4	2.5	3.4	0.8 - 3.0	1.5	0.8
4	0.5 - 6.7	1.8	2.4	0.6 - 2.6	1.2	0.7
5	0.8 - 16.8	4.5	6.2	0.4 - 9.6	3.1	3.5
6	0.7 - 20.2	5.6	7.3	0.8 - 5.8	3.9	1.7
7	0.6 - 27.8	6.9	10.4	0.5 - 4.4	1.8	1.5
8	0.5 - 14.9	4.6	5.8	0.4 - 1.5	0.7	0.4
9	0.6 - 7.2	3.1	2.4	0.4 - 6.5	2.2	2.4
10	0.4 - 16.1	3.5	6.2	0.3 - 2.1	0.9	0.7
11	0.5 - 4.2	2.5	1.7	0.2 - 9.9	2.4	3.7
12	0.4 - 4.5	1.9	1.7	0.5 - 4.1	1.5	1.3
13	0.9 - 5.0	2.1	1.7	0.7 - 2.8	1.4	0.8
14	0.2 - 6.5	2.4	2.8	0.5 - 3.9	1.4	1.3
15	0.4 - 11.1	3.3	3.9	1.6 - 6.4	2.8	1.9
16	0.1 - 2.2	1.0	0.8	0.2 - 1.8	0.9	0.6
17	0.9 - 10.1	3.5	3.4	1.3 - 4.2	2.6	1.0



รูปที่ ข.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอยเปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)

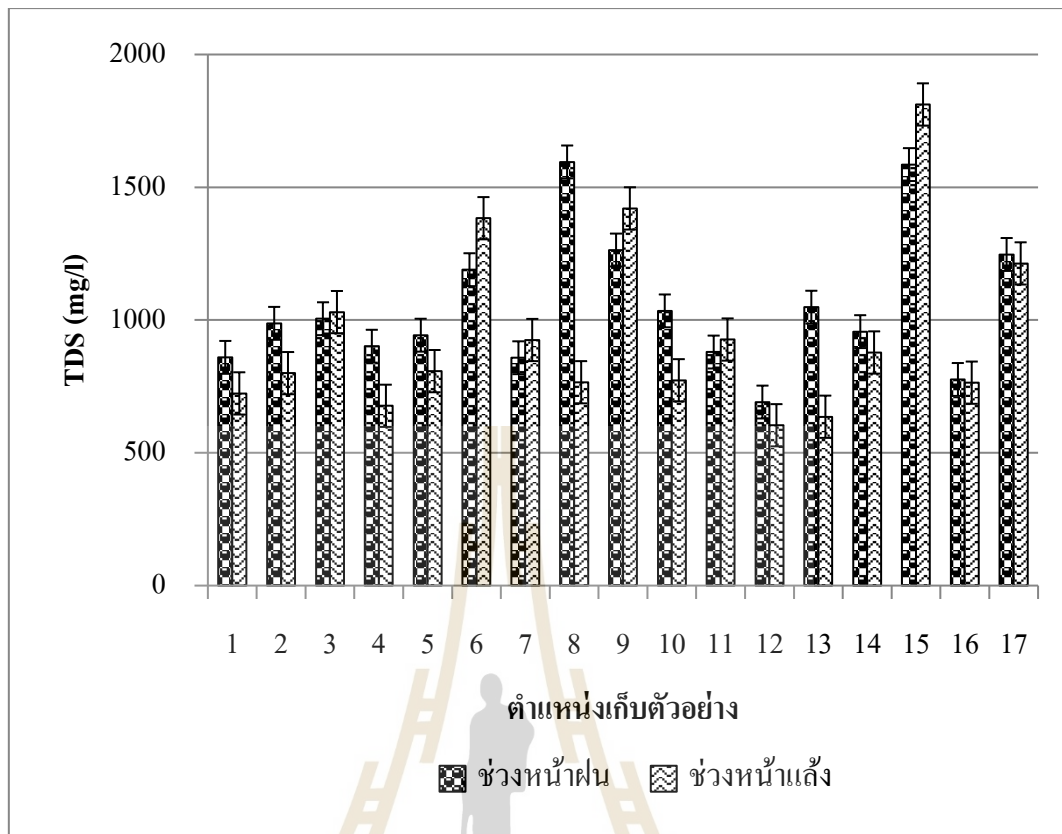
ตารางที่ ข.9 ปริมาณของแข็งละลายน้ำ (TDS) ของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558

บ่อเก็บ ตัวอย่าง	พ.ค. 57 (mg/l)	มิ.ย. 57 (mg/l)	ก.ค. 57 (mg/l)	ส.ค. 57 (mg/l)	ก.ย. 57 (mg/l)	ต.ค. 57 (mg/l)	พ.ย. 57 (mg/l)	ธ.ค. 57 (mg/l)	ม.ค. 58 (mg/l)	ก.พ. 58 (mg/l)	มี.ค. 58 (mg/l)	เม.ย. 58 (mg/l)	เฉลี่ย (Average) (mg/l)
1	734.5	1012.0	727.2	848.7	1036.2	798.0	735.5	766.8	694.2	714.5	573.2	858.0	791.5
2	867.3	1049.7	864.2	968.8	1230.8	944.5	901.3	922.9	865.0	989.0	783.5	338.4	893.8
3	937.8	776.3	990.5	1065.1	1183.7	1076.7	1016.9	1046.8	1010.7	997.0	1033.8	1074.0	1017.4
4	719.2	874.3	748.2	887.3	990.7	1189.0	755.3	972.1	749.3	783.3	792.8	9.3	866.2
5	443.8	868.5	794.3	936.3	1609.0	1005.8	820.0	912.9	781.3	761.0	773.2	797.0	875.3
6	1740.3	883.7	587.7	533.7	1858.3	1533.8	1343.3	1338.5	1322.7	1421.5	1344.7	1530.0	1286.5
7	900.7	506.8	691.0	1026.8	1025.7	997.1	918.0	957.5	900.5	906.3	885.7	980.5	891.4
8	850.8	1702.3	799.5	896.6	4393.7	929.3	829.2	879.3	824.2	810.2	358.7	893.0	1180.6
9	1516.7	341.2	1385.5	1464.8	1435.7	1438.2	1421.1	1422.6	1400.2	1416.2	1455.3	1407.0	1342.0
10	528.7	2380.8	680.2	881.5	907.5	827.8	795.1	811.5	584.2	799.7	787.3	861.0	903.8
11	967.0	557.0	1010.7	1057.0	631.8	1053.2	1033.8	1043.5	584.2	940.3	975.8	982.0	903.8
12	494.3	897.8	497.0	537.2	1207.8	512.7	500.2	506.4	1005.3	538.8	538.2	534.0	903.0
13	1073.7	509.3	1057.0	1061.8	1164.5	1424.2	572.2	998.2	550.3	567.7	561.3	565.0	647.5
14	553.0	1078.3	559.0	2260.9	655.5	631.2	1111.6	871.4	564.7	1031.5	606.8	1081.0	842.1
15	1760.3	1172.8	1232.7	1791.0	1826.2	1729.5	1785.2	1777.3	1810.8	1806.8	1737.0	1954.0	1698.6
16	758.7	784.0	763.5	765.1	830.0	756.0	754.4	755.2	779.0	762.7	758.3	775.0	770.2
17	1261.2	788.3	1526.7	1321.2	1354.2	1230.2	1234.0	1235.1	1210.8	1149.3	1242.8	1207.0	1230.1

หมายเหตุ มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภคกรมทรัพยากรน้ำบาดาล กำหนดปริมาณของแข็งละลายน้ำที่เหมาะสมคือ น้อยกว่า 600 mg/l หรือ น้อยกว่า 1200 mg/l (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)

ตารางที่ ข.10 ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งละลายน้ำ (TDS) ในช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)

บ่อเก็บ ตัวอย่าง	ช่วงหน้าฝน			ช่วงหน้าแล้ง		
	พิสัย (Range) (mg/l)	เฉลี่ย (Average) (mg/l)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)	พิสัย (Range) (mg/l)	เฉลี่ย (Average) (mg/l)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)
1	727.2 - 1036.2	859.4	135.3	858.0 - 573.2	723.7	93.4
2	864.2 - 1230.8	987.5	137.8	338.4 - 989.0	800.0	236.1
3	776.3 - 1183.7	1005.0	139.8	997.0 - 1074.0	1029.9	27.8
4	719.2 - 1189.0	901.4	172.2	9.3 - 972.1	677.0	337.3
5	443.8 - 1609.0	943.0	380.6	761.0 - 912.9	807.6	55.5
6	533.7 - 1858.3	1189.6	592.5	1322.7 - 1530.0	1383.4	79.7
7	506.8 - 1026.8	858.0	214.0	885.7 - 980.5	924.8	36.6
8	799.5 - 4393.7	1595.4	1411.5	358.7 - 893.0	765.7	202.1
9	341.2 - 1516.7	1263.7	454.0	1400.2 - 1455.3	1420.4	19.1
10	528.7 - 2380.8	1034.4	674.7	584.2 - 861.0	773.1	96.2
11	557.0 - 1057.0	879.4	224.4	584.2 - 1043.5	926.6	172.1
12	494.3 - 1207.0	691.1	297.2	500.2 - 1005.3	603.8	197.4
13	509.3 - 1424.2	1048.4	298.7	550.3 - 998.2	635.8	177.7
14	553.0 - 2260.9	956.3	668.4	564.7 - 1111.6	877.8	241.3
15	1172.8 - 1826.2	1585.4	298.7	1737.0 - 1954.0	1811.9	74.5
16	756.0 - 830.0	776.2	28.1	754.4 - 779.0	764.1	10.5
17	788.3 - 1526.7	1246.9	247.4	1149.3 - 1242.8	1213.2	34.4



รูปที่ ข.5 ปริมาณแข็งละลายน้ำเปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)

ตารางที่ ข.11 ปริมาณคลอไรด์ของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558

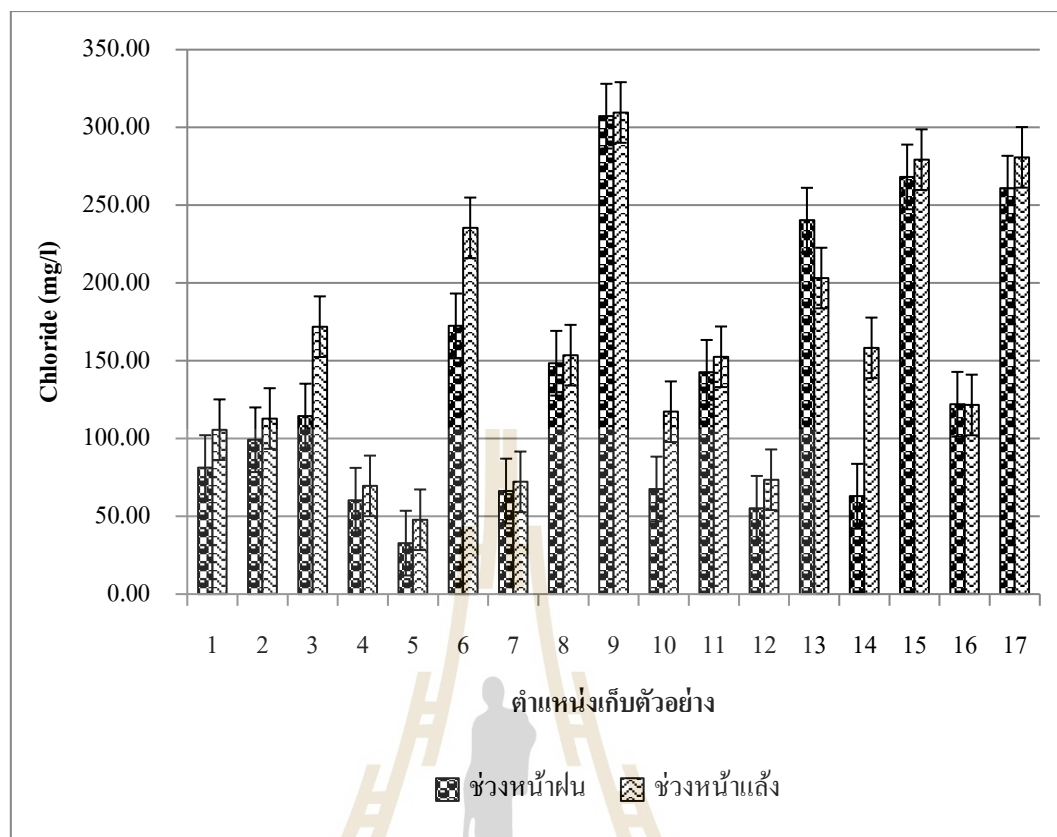
บ่อเก็บ ตัวอย่าง	พ.ค. 57 (mg/l)	มิ.ย. 57 (mg/l)	ก.ค. 57 (mg/l)	ส.ค. 57 (mg/l)	ก.ย. 57 (mg/l)	ต.ค. 57 (mg/l)	พ.ย. 57 (mg/l)	ธ.ค. 57 (mg/l)	ม.ค. 58 (mg/l)	ก.พ. 58 (mg/l)	มี.ค. 58 (mg/l)	เม.ย. 58 (mg/l)	เฉลี่ย (Average) (mg/l)
1	82.5	87.2	72.5	76.2	82.5	87.2	113.7	115.6	97.5	93.7	108.7	105.0	93.5±14.6
2	98.7	99.6	97.5	101.2	98.7	99.6	107.5	111.2	106.2	111.2	125.0	116.2	106.1±8.6
3	112.5	118.5	113.7	111.2	112.5	118.5	252.4	194.3	141.2	142.5	155.0	146.2	143.2±42.3
4	42.5	41.7	92.5	101.2	42.5	41.7	62.5	68.7	62.5	60.0	76.2	87.5	65.0±21.0
5	22.5	40.2	35.0	36.2	22.5	40.2	46.2	54.4	42.5	46.2	45.0	52.5	40.3±10.1
6	288.7	216.2	8.8	16.2	288.7	216.2	248.7	246.2	216.8	244.9	228.7	227.4	203.9±92.8
7	75.0	57.6	62.5	70.0	75.0	57.6	72.5	75.6	77.5	66.2	73.7	67.5	69.2±7.0
8	179.9	121.0	151.2	137.5	179.9	121.0	158.7	168.1	141.2	170.0	142.5	141.2	151.0±20.5
9	321.2	334.4	235.0	297.4	321.2	334.4	263.7	270.5	327.4	386.2	302.4	307.4	308.4±39.4
10	52.5	43.4	77.5	136.2	52.5	43.4	130.0	133.7	55.0	125.0	127.5	132.5	92.4±41.1
11	132.5	147.9	143.7	151.2	132.5	147.9	153.7	155.6	156.2	141.2	162.5	146.2	147.6±9.2
12	57.5	49.3	51.2	66.2	57.5	49.3	67.5	72.5	76.2	68.7	87.5	68.7	64.4±41.1
13	246.2	239.4	229.9	241.2	246.2	239.4	261.2	253.1	173.7	175.0	182.5	173.7	221.8±34.6
14	71.2	50.7	61.2	72.5	71.2	50.7	65.0	78.7	259.9	231.2	76.2	238.7	110.6±80.7
15	263.7	269.7	271.2	271.2	263.7	269.7	278.7	201.2	294.9	288.7	317.4	294.9	273.7±27.9
16	116.2	126.9	117.5	128.7	116.2	126.9	117.5	120.9	127.5	122.5	125.0	116.2	121.8±5.0
17	288.7	221.8	267.4	277.4	288.7	221.8	277.4	294.9	282.4	273.7	283.7	272.4	270.9±24.2

หมายเหตุ มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภคกรมทรัพยากรน้ำบาดาล และมาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภคโดยองค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2549กำหนดไว้ไม่เกิน 250 mg/l

ตารางที่ ข.12 ค่าทางสถิติของปริมาณคลอไรด์เฉลี่ยของช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)

บ่อเก็บ ตัวอย่าง	ช่วงหน้าฝน			ช่วงหน้าแล้ง		
	พิสัย (Range) (mg/l)	เฉลี่ย (Average) (mg/l)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)	พิสัย (Range) (mg/l)	เฉลี่ย (Average) (mg/l)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)
1	72.5 - 87.2	81.3	5.9	93.7 - 115.6	105.7	8.8
2	97.5 - 101.2	99.2	1.3	106.2 - 125.0	112.9	6.9
3	111.2 - 118.5	114.5	3.2	141.2 - 252.4	171.9	44.1
4	41.7 - 101.2	60.4	28.4	60.0 - 87.5	69.6	10.6
5	22.5 - 40.2	32.8	8.2	42.5 - 54.4	47.8	4.6
6	8.8 - 288.7	172.4	128.1	216.8 - 248.7	235.4	12.9
7	57.6 - 75.0	66.3	8.1	66.2 - 77.5	72.2	4.5
8	121.0 - 179.9	148.4	26.9	141.2 - 170.0	153.6	13.7
9	235.0 - 334.4	307.2	37.9	263.7 - 386.2	309.6	44.4
10	43.4 - 136.2	67.6	35.9	55.0 - 133.7	117.3	30.7
11	132.5 - 151.2	142.6	8.2	141.2 - 162.5	152.6	7.6
12	49.3 - 66.2	55.2	6.6	67.5 - 87.5	73.5	7.6
13	229.9 - 246.2	240.4	6.0	173.7 - 261.2	203.2	42.0
14	50.7 - 72.5	62.9	10.3	65.0 - 259.9	158.3	93.7
15	263.7 - 271.2	268.2	3.5	201.2 - 317.4	279.3	40.3
16	116.2 - 128.7	122.1	6.0	116.2 - 127.5	121.6	4.3
17	221.8 - 288.7	261.0	31.3	272.4 - 294.9	280.7	8.3

หมายเหตุ มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการบริโภคกรมทรัพยากรน้ำบาดาล และมาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภค โดยองค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2549 กำหนดไว้ไม่เกิน 250 mg/l



รูปที่ ข.6 ปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์ เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. - ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. - เม.ย)

ตารางที่ ข.13 ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) ของเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558

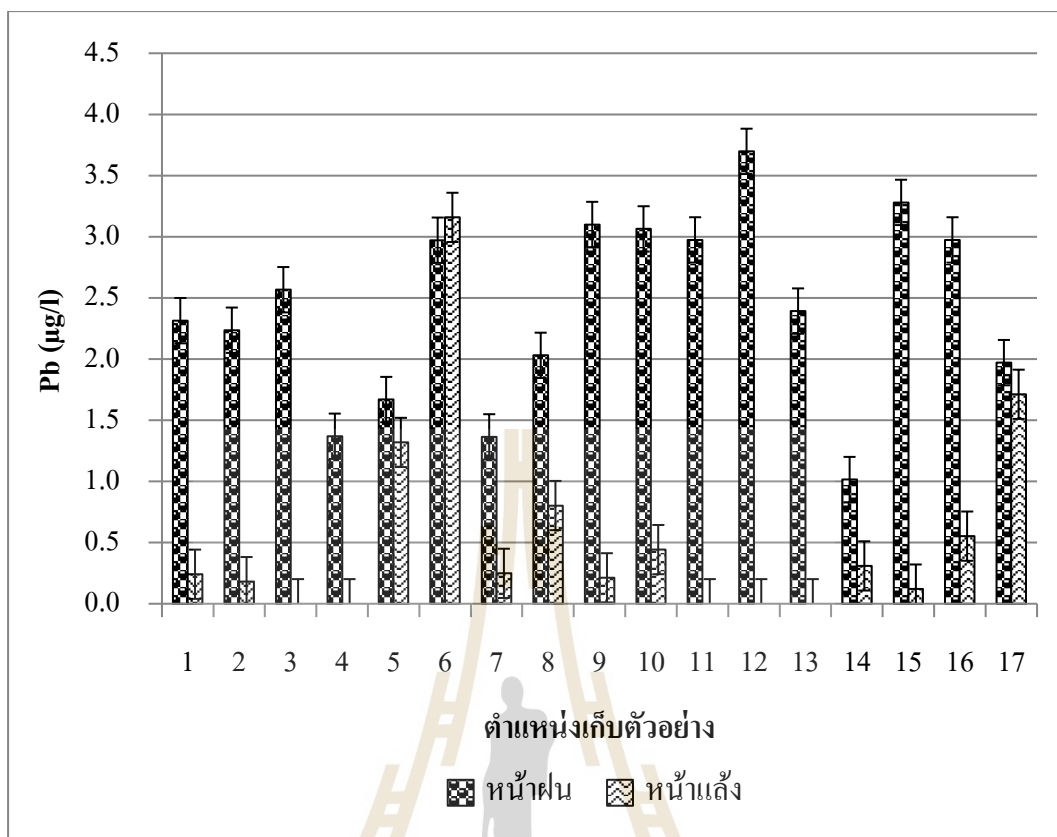
บ่อเก็บตัวอย่าง	พ.ค. 57 (µg/l)	มิ.ย. 57 (µg/l)	ก.ค. 57 (µg/l)	ส.ค. 57 (µg/l)	ก.ย. 57 (µg/l)	ต.ค. 57 (µg/l)	พ.ย. 57 (µg/l)	ธ.ค. 57 (µg/l)	ม.ค. 58 (µg/l)	ก.พ. 58 (µg/l)	มี.ค. 58 (µg/l)	เม.ย. 58 (µg/l)	เฉลี่ย (Average) (µg/l)
1	9.6	4.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.4	1.3±2.9
2	4.3	9.2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.1	1.2±2.8
3	9.2	6.2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.3±3.1
4	6.2	2.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.7±1.8
5	2.0	8.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7.9	N.D.	1.5±3.1
6	8.0	9.8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.4	15.6	N.D.	3.1±5.2
7	3.5	4.7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.5	N.D.	0.8±1.6
8	9.1	3.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4.8	N.D.	1.4±2.9
9	12.0	6.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.3	N.D.	1.7±3.8
10	14.0	4.4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.5	0.2	1.8±4.1
11	8.8	9.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.5±3.5
12	11.0	11.2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.8±4.3
13	5.6	8.8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.2±2.9
14	3.1	3.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.9	0.7±1.2
15	9.5	10.2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.2	0.5	1.7±3.8
16	6.6	11.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.3	1.8±3.6
17	2.5	9.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.4	8.9	1.8±3.5

หมายเหตุ ND = not detected Detection limit สำหรับ Pb $\leq 1 \mu\text{g/l}$

ตารางที่ ข.14 ค่าทางสถิติของปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว (Pb) เฉลี่ยในช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)

บ่อเก็บ ตัวอย่าง	ช่วงหน้าฝน			ช่วงหน้าแล้ง		
	พิสัย (Range) ($\mu\text{g/l}$)	เฉลี่ย (Average) ($\mu\text{g/l}$)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)	พิสัย (Range) ($\mu\text{g/l}$)	เฉลี่ย (Average) ($\mu\text{g/l}$)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)
1	0 - 9.6	2.3	4.0	0 - 1.4	0.2	0.6
2	0 - 9.2	2.2	3.8	0 - 1.1	0.2	0.4
3	0 - 9.2	2.6	4.1	ND	0.0	0.0
4	0 - 6.2	1.4	2.5	ND	0.0	0.0
5	0 - 8.0	1.7	3.2	0 - 7.9	1.3	3.2
6	0 - 9.8	3.0	4.6	0 - 15.6	3.2	6.2
7	0 - 4.7	1.4	2.1	0 - 1.5	0.2	0.6
8	0 - 9.1	2.0	3.7	0 - 4.8	0.8	2.0
9	0 - 12.0	3.1	5.1	0 - 1.3	0.2	0.5
10	0 - 14.0	3.1	5.6	0 - 2.5	0.4	1.0
11	0 - 9.1	3.0	4.6	ND	0.0	0.0
12	0 - 11.2	3.7	5.7	ND	0.0	0.0
13	0 - 8.8	2.4	3.8	ND	0.0	0.0
14	0 - 3.1	1.0	1.6	0 - 1.9	0.3	0.8
15	0 - 10.2	3.3	5.1	0 - 0.5	0.1	0.2
16	0 - 11.3	3.0	4.8	0 - 3.3	0.6	1.4
17	0 - 9.3	2.0	3.7	0 - 8.9	1.7	3.6

หมายเหตุ ND = not detected Detection limit สำหรับ Pb $\leq 1 \mu\text{g/l}$



รูปที่ ข.7 ปริมาณความเข้มข้นของสารตะกั่ว เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)

ตารางที่ ข.15 ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558

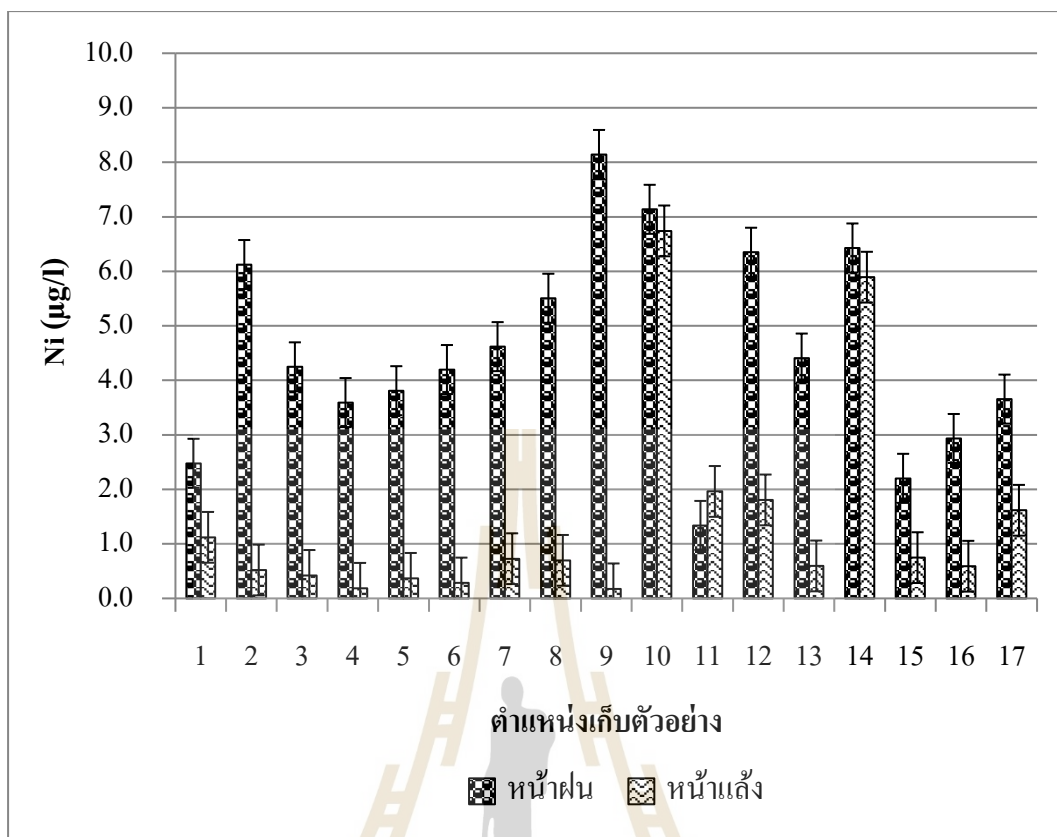
บ่อเก็บ ตัวอย่าง	พ.ค. 57 (µg/l)	มิ.ย. 57 (µg/l)	ก.ค. 57 (µg/l)	ส.ค. 57 (µg/l)	ก.ย. 57 (µg/l)	ต.ค. 57 (µg/l)	พ.ย. 57 (µg/l)	ธ.ค. 57 (µg/l)	ม.ค. 58 (µg/l)	ก.พ. 58 (µg/l)	มี.ค. 58 (µg/l)	เม.ย. 58 (µg/l)	เฉลี่ย (Average) (µg/l)
1	9.4	5.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.2	3.5	1.8±3.0
2	8.0	28.8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.3	0.8	3.3±8.3
3	15.9	9.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.6	1.9	2.3±5.1
4	15.6	6.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.3	0.8	1.9±4.6
5	11.9	11.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.3	1.9	2.1±4.4
6	17.0	8.2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.7	2.2±5.2
7	22.1	5.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.5	2.9	2.7±6.4
8	26.6	6.4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.6	0.5	1.1	3.1±7.6
9	33.9	15.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.1	4.2±0.3
10	23.4	19.4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.2	4.2	34.1	6.9±11.8
11	5.9	2.2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	8.0	0.8	3.0	1.7±2.7
12	20.0	18.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7.2	3.6	4.1±7.3
13	14.5	11.9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.4	1.1	2.5±5.1
14	32.5	6.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4.4	6.4	24.6	6.2±10.9
15	3.2	10.0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.0	2.4	1.5±2.9
16	15.7	1.9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.6	0.1	1.8	1.8±4.5
17	12.9	9.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.7	2.6±4.8

หมายเหตุ ND = not detected Detection limit สำหรับ Ni $\leq 1 \mu\text{g/l}$

ตารางที่ ข.16 ค่าทางสถิติของปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล (Ni) เฉลี่ยในช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)

บ่อเก็บ ตัวอย่าง	ช่วงหน้าฝน			ช่วงหน้าแล้ง		
	พิสัย (Range) (µg/l)	เฉลี่ย (Average) (µg/l)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)	พิสัย (Range) (µg/l)	เฉลี่ย (Average) (µg/l)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)
1	0 - 9.4	2.5	4.0	0 - 3.5	1.1	1.7
2	0 - 28.8	6.1	11.5	0 - 2.3	0.5	0.9
3	0 - 15.9	4.2	6.9	0 - 1.9	0.4	0.8
4	0 - 15.6	3.6	6.3	0 - 0.8	0.2	0.3
5	0 - 11.9	3.8	5.9	0 - 1.9	0.4	0.8
6	0 - 17.0	4.2	7.1	0 - 1.7	0.3	0.7
7	0 - 22.1	4.6	8.9	0 - 2.9	0.7	1.2
8	0 - 26.6	5.5	10.7	0 - 2.6	0.7	1.0
9	0 - 33.9	8.1	14.0	0 - 1.1	0.2	0.4
10	0 - 23.4	7.1	11.1	0 - 34.1	6.7	13.5
11	0 - 5.9	1.3	2.4	0 - 8.0	2.0	3.2
12	0 - 20.0	6.4	9.9	0 - 7.2	1.8	3.0
13	0 - 14.5	4.4	6.9	0 - 2.4	0.6	1.0
14	0 - 32.5	6.4	13.0	0 - 24.6	5.9	9.6
15	0 - 10.0	2.2	4.0	0 - 2.4	0.7	1.2
16	0 - 15.7	2.9	6.3	0 - 1.8	0.6	0.9
17	0 - 12.9	3.7	5.8	0 - 9.7	1.6	4.0

หมายเหตุ ND = not detected Detection limit สำหรับ Ni ≤ 1 µg/l



รูปที่ ข.8 ปริมาณความเข้มข้นของนิกเกิล เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)

ตารางที่ ข.17 ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (Hg) ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558

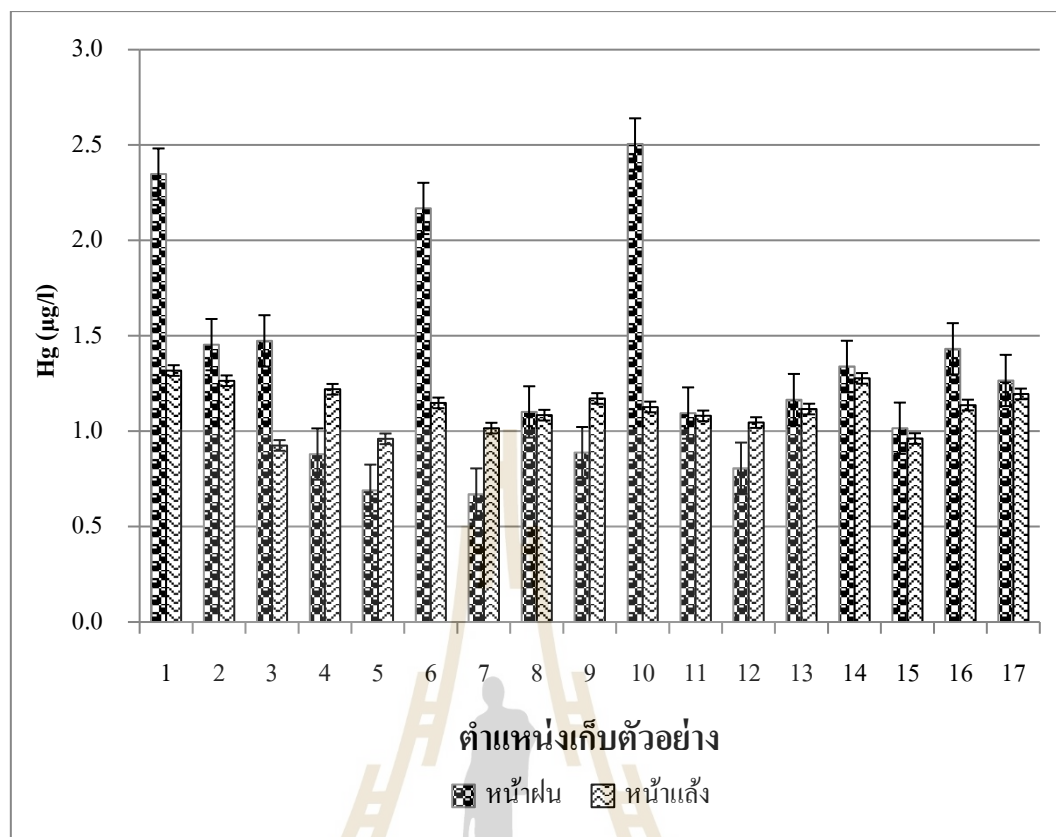
บ่อเก็บ ตัวอย่าง	พ.ค. 57 (µg/l)	มิ.ย. 57 (µg/l)	ก.ค. 57 (µg/l)	ส.ค. 57 (µg/l)	ก.ย. 57 (µg/l)	ต.ค. 57 (µg/l)	พ.ย. 57 (µg/l)	ธ.ค. 57 (µg/l)	ม.ค. 58 (µg/l)	ก.พ. 58 (µg/l)	มี.ค. 58 (µg/l)	เม.ย. 58 (µg/l)	เฉลี่ย (Average) (µg/l)
1	3.5	2.7	3.9	2.3	1.0	0.8	2.0	2.1	2.0	0.3	0.6	0.9	1.8±1.1
2	2.0	2.0	1.3	0.9	1.3	1.2	2.2	2.3	2.2	0.3	0.4	0.2	1.4±0.8
3	1.6	1.6	1.6	1.1	1.4	1.6	1.5	1.6	1.5	0.3	0.4	0.2	1.2±0.6
4	0.7	0.9	0.3	0.1	0.8	2.5	2.2	2.3	2.0	0.3	0.4	0.2	1.1±0.9
5	0.3	0.5	0.6	0.0	0.7	2.0	1.7	2.0	1.6	0.0	0.3	0.1	0.8±0.8
6	3.4	2.2	4.3	0.1	1.3	1.7	1.8	1.9	1.8	0.0	0.7	0.6	1.7±1.3
7	0.7	0.7	0.9	0.0	0.8	0.9	1.8	1.8	1.6	0.4	0.2	0.2	0.8±0.6
8	1.5	1.2	1.6	0.3	0.9	1.1	1.9	1.9	1.8	0.4	0.4	0.1	1.1±0.7
9	0.8	0.8	0.6	0.6	1.3	1.2	2.0	2.0	2.0	0.5	0.2	0.2	1.0±0.7
10	2.5	2.3	3.4	4.1	1.2	1.5	1.7	1.7	1.7	0.5	0.7	0.4	1.8±1.1
11	0.8	1.0	0.4	1.0	0.9	2.5	1.7	1.8	1.7	0.4	0.3	0.5	1.1±0.7
12	0.5	0.6	0.0	0.8	1.9	1.0	1.9	1.9	1.7	0.4	0.1	0.4	0.9±0.7
13	0.9	1.1	0.3	1.6	1.1	1.9	1.7	1.8	1.7	0.5	0.3	0.8	1.1±0.6
14	1.9	1.9	0.0	2.4	0.7	1.1	1.8	1.8	1.8	0.6	1.0	0.7	1.3±0.7
15	1.0	1.1	0.8	0.9	1.2	1.2	1.8	1.6	1.6	0.6	0.0	0.1	1.0±0.6
16	1.2	1.1	1.2	1.6	2.3	1.3	1.8	1.8	1.8	0.5	0.5	0.4	1.3±0.6
17	1.4	1.3	0.7	1.4	1.2	1.5	1.7	1.8	1.7	0.6	0.6	0.7	1.2±0.4

หมายเหตุ ND = not detected Detection limit สำหรับ Hg ≤ 0.1 µg/l

ตารางที่ ข.18 ค่าทางสถิติของปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท (Hg) เฉลี่ยในช่วงน้ำฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับช่วงน้ำแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)

บ่อเก็บ ตัวอย่าง	ช่วงน้ำฝน			ช่วงน้ำแล้ง		
	พิสัย (Range) ($\mu\text{g/l}$)	เฉลี่ย (Average) ($\mu\text{g/l}$)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)	พิสัย (Range) ($\mu\text{g/l}$)	เฉลี่ย (Average) ($\mu\text{g/l}$)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (Standard Deviation)
1	0.8 - 3.9	2.3	1.2	0.3 - 2.1	1.3	0.8
2	0.9 - 2.0	1.5	0.5	0.2 - 2.3	1.3	1.1
3	1.1 - 1.6	1.5	0.2	0.2 - 1.6	0.9	0.7
4	0.1 - 2.5	0.9	0.9	0.2 - 2.3	1.2	1.0
5	0 - 2.0	0.7	0.7	0 - 2.0	1.0	0.9
6	0.1 - 4.3	2.2	1.5	0 - 1.9	1.1	0.8
7	0 - 0.9	0.7	0.3	0.2 - 1.8	1.0	0.8
8	0.3 - 1.6	1.1	0.5	0.1 - 1.9	1.1	0.9
9	0.6 - 1.3	0.9	0.3	0.2 - 2.0	1.2	1.0
10	1.2 - 4.1	2.5	1.1	0.4 - 1.7	1.1	0.7
11	0.4 - 2.5	1.1	0.7	0.3 - 1.8	1.1	0.7
12	0 - 1.9	0.8	0.7	0.1 - 1.9	1.0	0.8
13	0.3 - 1.9	1.2	0.6	0.3 - 1.8	1.1	0.7
14	0 - 2.4	1.3	0.9	0.6 - 1.8	1.3	0.6
15	0.8 - 1.2	1.0	0.2	0 - 1.8	1.0	0.8
16	1.1 - 2.3	1.4	0.4	0.4 - 1.8	1.1	0.7
17	0.7 - 1.5	1.3	0.3	0.6 - 1.8	1.2	0.6

หมายเหตุ ND = not detected Detection limit สำหรับ Hg $\leq 0.1 \mu\text{g/l}$



รูปที่ ข.9 ปริมาณความเข้มข้นของสารปรอท เปรียบเทียบระหว่างช่วงหน้าฝน (พ.ค. – ต.ค.) กับ ช่วงหน้าแล้ง (พ.ย. – เม.ย.)

ภาคผนวก ค

เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ





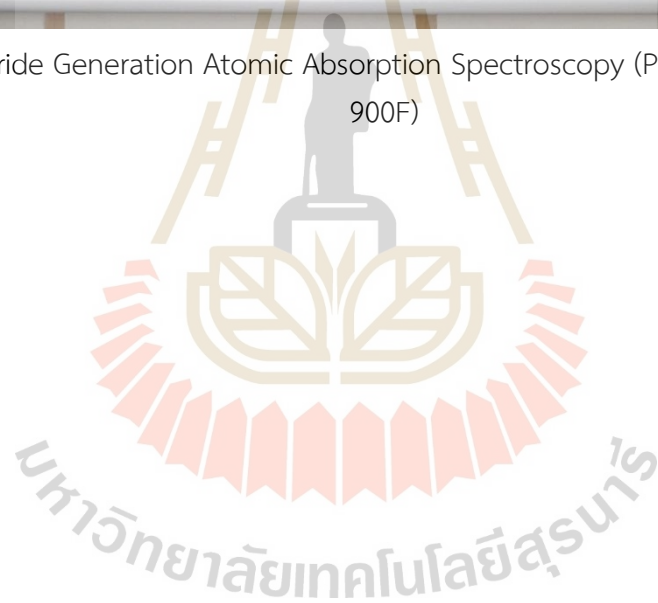
รูปที่ ค.1 Microwave Digestion (Anton Paar Multiwave 3000)



รูปที่ ค.2 Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer (PerkinElmer - PinAAcle 900Z)



รูปที่ ค.3 Hydride Generation Atomic Absorption Spectroscopy (PerkinElmer - PinAAcle 900F)



ภาคผนวก ง

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่



รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับตีพิมพ์เผยแพร่

Benchamaphon Sukton and Nares Chuersuwan. (2017). **Evaluating Heavy Metals in Groundwater around a Waste Dumping Site**. 5th International Conference on Advances in Chemical, Biological & Environmental Engineering (ACBEE17), Singapore, March 29-30, 2017. Available: <https://doi.org/10.17758/EAP.U0317209>



Evaluating Heavy Metals in Groundwater around a Waste Dumping Site

Benchamaphon Sukton and Nares Chuersuwat

Abstract— This study evaluates levels of four toxic metals, lead (Pb), nickel (Ni), cadmium (Cd), and mercury (Hg), in groundwater near a waste dumping site in the northeastern region, Thailand. Groundwater samples were collected from 17 wells, located around the dumping site, on a monthly basis during 2014 and 2015. The results indicated seasonal relationships of toxic metals concentration in groundwater. The average concentrations of lead, nickel, and mercury in rainy season were ranged from 1.0 to 3.7 ppb, 1.3 to 8.1 ppb and 0.7 to 2.5 ppb, respectively. During dry season, the average concentrations were ranged from ≤ 1.0 to 3.2 ppb, ≤ 0.2 to 6.7 ppb and 0.9 to 1.3 ppb, respectively. All cadmium concentrations were below the detection limits of ≤ 1.0 ppb. The average concentrations of lead, nickel and mercury were found within the World Health Organization (WHO) limits for consumption in the both season. The average concentrations of toxic metals in groundwater were higher in the rainy season. The concentration of metals contaminants in groundwater was influenced by leachate. Groundwater flow direction from waste dumping site to southeast of study area which is the location of the sampling point no. 13, 14 and 15. Toxic metals contaminations in groundwater were of concern for the people who use it.

Keywords— groundwater, contamination, toxic metals, northeast Thailand

I. INTRODUCTION

One of the major problems for waste dumping sites is leachate contamination in groundwater. Waste dumping sites contaminate groundwater when rain water leaks into disposal sites and down through the aquifers below the waste dumping sites. The percolating leachate toxic chemicals from batteries, broken fluorescent bulbs, electronic equipment, discarded household chemicals, and paints and solvents. Although landfills now are carefully regulated to prevent leakage to groundwater, but many older sites are unlined and leak. Leachate from waste dumping sites have concentration of contaminants, such as ammonium, calcium, magnesium, sodium, potassium, iron, sulphates, chlorides and heavy metals (cadmium, chromium, copper, lead, zinc, nickel, etc.) [1]. Leachate contains toxic and carcinogenic chemicals, which may cause harm to both humans and the environment. In addition, leachate contaminated groundwater can have an

effect on human and agricultural activities that use groundwater. The use of contaminated water for irrigation can decrease soil productivity, contaminate crops, and move possibly toxic pollutants up the food chain as animals and humans consume crops grown in an area irrigated with contaminated water [2]. Leachate varies in composition depending on the type of waste at the waste disposal sites, waste characteristics (age, permeability, particle size, density and initial moisture content), climatic and hydrogeological conditions (rainfall, groundwater intrusion), site operation and management, decomposition of organic material and biodegradation processes [3]. This research aims to assess a potential impact of a waste dumping site on groundwater quality in terms of toxic metals (Pb, Ni, Cd and Hg) concentrations found in wells around the waste dumping site.

II. MATERIALS AND METHOD

A. Site Description

A waste dumping site is located in Pak Chong District, Nakhon Ratchasima province, Thailand. The waste dumping site covers an area of 104,000 square meters (Fig. 1), receiving about 150–180 tons of mixed waste per day. The site has been operated for more than ten years accepting solid waste from Pak Chong municipality as well its surrounding villages. The dumping site is located southwest of the Lam Takhong Reservoir, a source of surface water for more than 200,000 people. Over 5,000 people depend on groundwater in the area. Geographically, the area has elevations ranged from 282 m to 324 m above Mean Sea Level (MSL). The annual average rainfall (May, 2014 – April, 2015) was 57.3 mm [4].

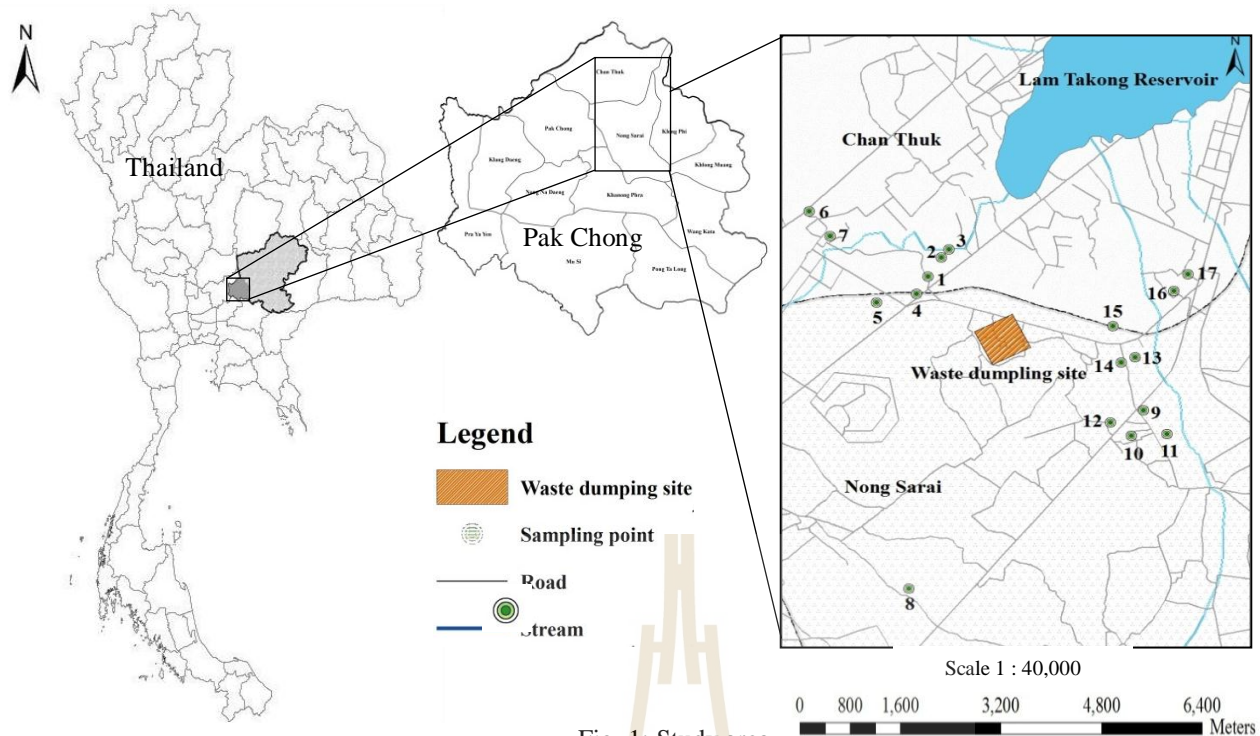


Fig. 1: Study area

B. Water sampling

Groundwater around the waste dumping was collected and analyzed monthly between May 2014 and April 2015. All accessible wells around the dumping site were surveyed and monitored, with the total of 17 wells (Fig. 1). Groundwater was withdrawn by the electronic pumps. Groundwater samples were collected in 1 L polyethylene bottles (pre-washed with 20% HNO₃ and 20% HCl) and added the 1.5 ml of conc. HNO₃ in the samples, transported in ice, and preserved at 4 °C until analyzed. The depth of the water level varied from 4 to 19 meters and the wells located between 1,000 and 5,000 m from the dumping site.

C. Water quality analysis

Groundwater samples were analyzed for Pb, Ni, Cd and Hg in laboratory. All samples were digested using microwave assisted acid digestion according to the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 3030K [5]. The concentration of the toxic metals were analyzed by a Graphite furnace atomic absorption spectrophotometry (GFAAS) followed U.S. EPA Method 7010 [6], whereas Hg was analyzed by hydride generation atomic absorption spectroscopy (HGAAS) with reference to Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 3114C [7].

D. Spatial data analysis

Results of toxic metals concentrations were analyzed spatially with a Geographic Information System (GIS) to

derive profiles of study area, groundwater sampling points and sampling points distant. The results were overlaid in GIS layers and an attribute table was constructed to represent the average toxic metal concentrations.

E. Determination of Groundwater Direction

The direct method of determining the direction of groundwater flow was by measuring the elevation of groundwater around the waste dumping site. Measurements were plotted on a map of the area and lines were drawn to connect water sampling points and location of waste dumping site in the middle. The groundwater flows from higher elevations to lower elevations. Direction of groundwater flow included coordinates of 3 water sampling points, depth of water table from surface elevation and distance between three water sampling points.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The average concentrations of lead, nickel, cadmium, and mercury in groundwater around the waste dumping site during the rainy and dry seasons were presented in Table 1. Average concentrations of cadmium were below the detection limits, ≤ 1 ppb, in both seasons. The average concentrations of lead, nickel, and mercury in rainy season ranged from 1.0 to 3.7 ppb, 1.3 to 8.1 ppb, and 0.7 to 2.5 ppb, respectively. The highest levels of lead, nickel, and mercury were 3.7, 8.1 and 2.5 ppb, respectively. They were found at wells number 12, 9 and 10, respectively. The average concentrations of lead, nickel and mercury in rainy season were within the safe limits set by World Health

Organization (2011), lead <10 ppb nickel <70 ppb and mercury <6 ppb [8].

TABLE I:
AVERAGE CONCENTRATIONS OF TOXIC METALS IN
GROUNDWATER DURING THE RAINY AND DRY SEASONS (2014-
2015)

Sampling point	Rainy season				Dry season			
	Pb (µg/l)	Cd (µg/l)	Ni (µg/l)	Hg (µg/l)	Pb (µg/l)	Cd (µg/l)	Ni (µg/l)	Hg (µg/l)
1	2.3±4.0	N.D.	2.5±4.0	2.3±1.2	0.2±0.6	N.D.	1.1±1.7	1.3±0.8
2	2.2±3.8	N.D.	6.1±11.5	1.5±0.5	0.2±0.4	N.D.	0.5±0.9	1.3±1.1
3	2.6±4.1	N.D.	4.2±6.9	1.5±0.2	N.D.	N.D.	0.4±0.8	0.9±0.7
4	1.4±2.5	N.D.	3.6±6.3	0.9±0.9	N.D.	N.D.	0.2±0.3	1.2±1.0
5	1.7±3.2	N.D.	3.8±5.9	0.7±0.7	1.3±3.2	N.D.	0.4±0.8	1.0±0.9
6	3.0±4.6	N.D.	4.2±7.1	2.2±1.5	3.2±6.2	N.D.	0.3±0.7	1.1±0.8
7	1.4±2.1	N.D.	4.6±8.9	0.7±0.3	0.2±0.6	N.D.	0.7±1.2	1.0±0.8
8	2.0±3.7	N.D.	5.5±10.7	1.1±0.5	0.8±2.0	N.D.	0.7±1.0	1.1±0.9
9	3.1±5.1	N.D.	8.1±14.0	0.9±0.3	0.2±0.5	N.D.	0.2±0.4	1.2±1.0
10	3.1±5.6	N.D.	7.1±11.1	2.5±1.1	0.4±1.0	N.D.	6.7±13.5	1.1±0.7
11	3.0±4.6	N.D.	1.3±2.4	1.1±0.7	N.D.	N.D.	2.0±3.2	1.1±0.7
12	3.7±5.7	N.D.	6.4±9.9	0.8±0.7	N.D.	N.D.	1.8±3.0	1.0±0.8
13	2.4±3.8	N.D.	4.4±6.9	1.2±0.6	N.D.	N.D.	0.6±1.0	1.1±0.7
14	1.0±1.6	N.D.	6.4±13.0	1.3±0.9	0.3±0.8	N.D.	5.9±9.6	1.3±0.6
15	3.3±5.1	N.D.	2.2±4.0	1.0±0.2	0.1±0.2	N.D.	0.7±1.2	1.0±0.8
16	3.0±4.8	N.D.	2.9±6.3	1.4±0.4	0.6±1.4	N.D.	0.6±0.9	1.1±0.7
17	2.0±3.7	N.D.	3.7±5.8	1.3±0.3	1.7±3.6	N.D.	1.6±4.0	1.2±0.6

Noted: N.D. represent not detected.

During dry season, the average concentrations of lead, nickel, and mercury ranged from not detected to 3.2 ppb, <0.2 to 6.7 ppb, and 0.9 to 1.3 ppb, respectively. The highest concentrations of lead, nickel, and mercury were 3.2, 6.7 and 1.3 ppb, respectively. These were found at the wells numbers 6, 10 and 1, respectively. The average concentrations of lead, nickel and mercury in dry season were within the limits set by World Health Organization (2006). Seasonal variations of lead, nickel, and mercury were different (Fig. 2-4), higher in rainy season.

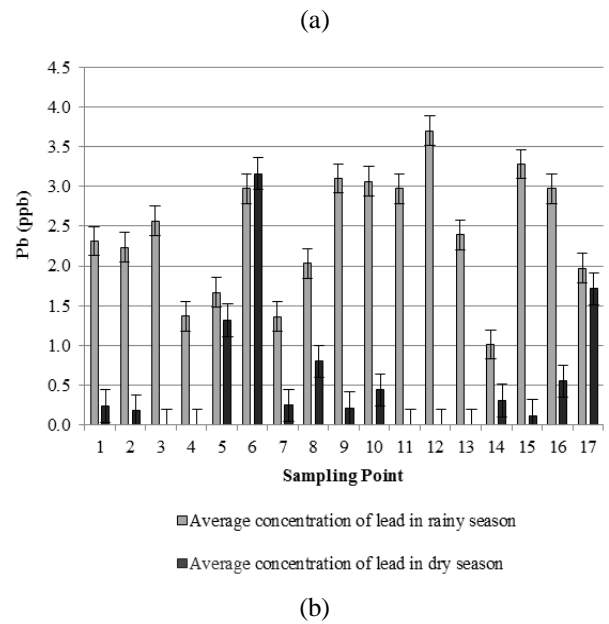
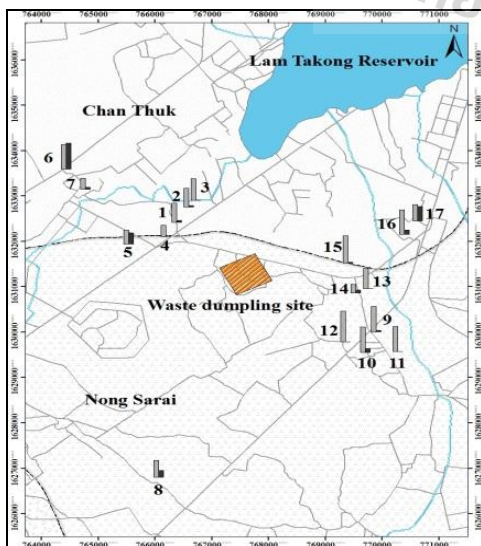


Fig. 2: Average lead concentrations of each sampling point between rainy and dry seasons. (a) Seasonal variations of lead concentrations, (b) Average concentration of lead in rainy and dry seasons

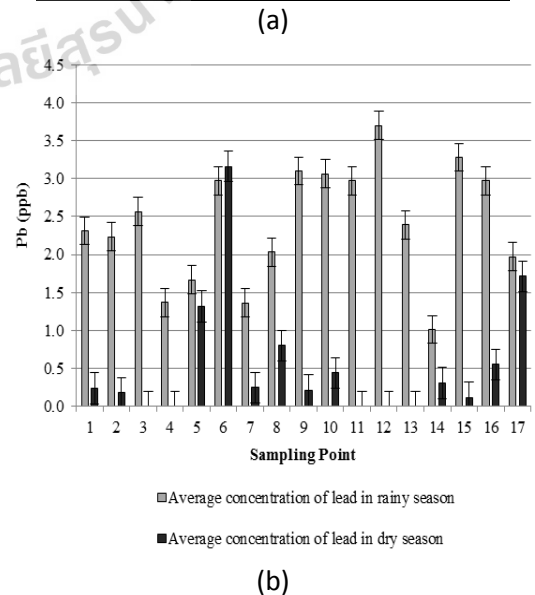
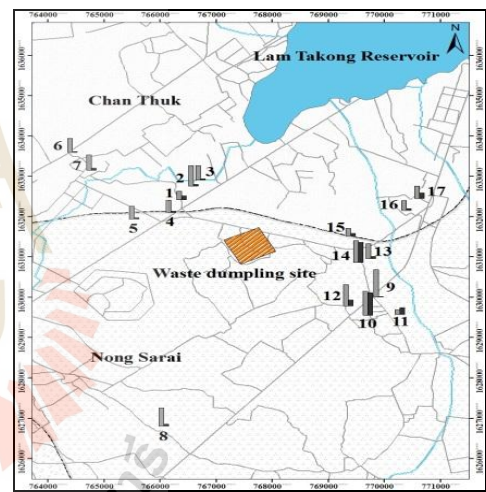
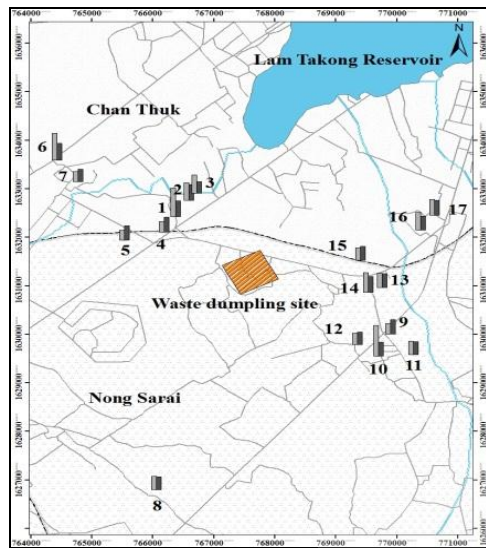
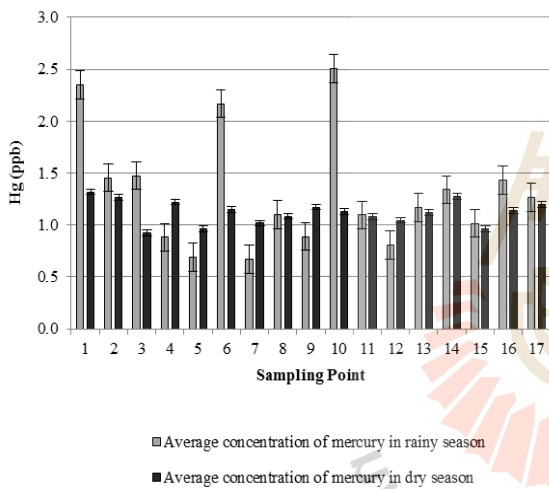


Fig. 3: Average nickel concentrations of each sampling point between rainy and dry seasons. (a) Seasonal variations of nickel concentrations, (b) Average concentrations of nickel in rainy and dry seasons



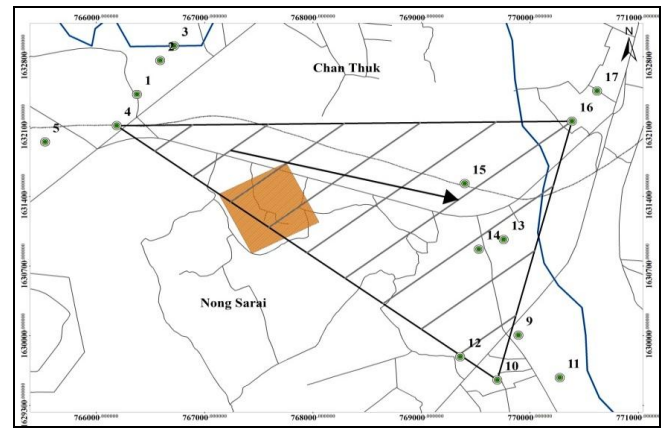
(a)



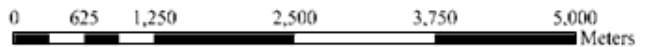
(b)

Fig. 4: Average mercury concentrations of each sampling point between rainy and dry seasons. (a) Seasonal variations of mercury concentrations, (b) Average concentrations of mercury in rainy and dry seasons

The analysis of groundwater direction in the study area showed that groundwater flows from higher water level in the northwest to the lower level in the southeast. If the dumping site causes contamination to groundwater, the wells in the east to southeast are at risk. The contaminations may seep through soil and discharge into the small stream located to the east and may cause contamination in the reservoir downstream.



Scale 1: 5,000



Legend

- Waste dumping site
- Sampling point
- Road
- Stream
- Flow Direction

Fig. 5: Groundwater direction

IV. CONCLUSION

Rainfall had potential to influence the average concentrations of lead, nickel, and mercury in groundwater in the study area. Groundwater samples obtained during rainy season clearly showed higher levels of lead, nickel, and mercury than those found in dry season. Cadmium was not detected. Location of the waste dumping site posed environmental and health risk to the wells nearby, especially the wells located in the east and southeast direction of the site. The reservoir is subjected to contamination in the long-term if groundwater is contaminated from leachate of the dump site.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand for financial support of the study, School of Environmental Health and the Center for Scientific and Technological Equipment for laboratory works and equipment.

REFERENCES

[1] TH. Christensen, P. Kjeldsen, PL. Bjerg, DL. Jensen, JB. Christensen and A. Baun. (June 2001). Biogeochemistry of Landfill Leachate Plumes. Sciencedirect. Applied Geochemistry. [Online]. 16(7). pp. 659–718. Available:

[https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(00\)00082-](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(00)00082-)

<https://doi.org/10.4209/aaqr.2011.02.0016>

- [2] K. Jagloo, "Groundwater Risk Analysis in the Vicinity of a Landfill, a Case Study in Mauritius", M.S. thesis, Environmental Engineering and Sustainable Infrastructure, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2002.
- [3] S. Al-Khadi, "Assessment of Groundwater Contamination Vulnerability in the Vicinity of Abqaiq Landfill-A GIS Approach", Dissertation, Dept. Accounting and MIS, King Fahd University of Petroleum and Minerals. Dhahran, Saudi Arabia, 2006.
- [4] Office of Water Management and Hydrology. The Annual Rainfall Report. Royal Irrigation Department, Bangkok, Thailand, 2015.
- [5] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: Method 3030K, 22nd ed., APHA-AWWA-WEF., Washington, DC, 2012.
- [6] Test Method for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Method: EPA Method 7010, 3rd ed., United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA), Washington, DC, 1994.
- [7] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: Method 3114C, 22nd ed., APHA-AWWA-WEF., Washington, DC, 2012.
- [8] Guidelines for Drinking Water Quality, 4th ed, World Health Organization (WHO), Switzerland, 2011, pp. 327 – 397.



ประวัติผู้เขียน

นางสาวเบญจมาภรณ์ สุขตน เกิดเมื่อวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2533 ณ จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จ การศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบุญเหลือวิทยานุสรณ์ อำเภอมือง จังหวัดนครราชสีมา ในปี การศึกษา 2550 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี เกียรตินิยมอันดับ 1 สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2554 โดยขณะศึกษาได้รับทุนการศึกษา สำหรับผู้มีศักยภาพระดับปริญญาตรีจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชามลพิษสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดย ขณะศึกษาได้รับทุนการศึกษาสำหรับผู้มีศักยภาพระดับบัณฑิตศึกษา และทุนในการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัย : ได้นำเสนอผลงานวิจัยในหัวข้อ Evaluating Heavy Metals in Groundwater around a Waste Dumping Site ในการประชุมวิชาการ 5th International Conference on Advances in Chemical, Biological and Environmental Engineering (ACBEE-17) ณ ประเทศสิงคโปร์



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี