



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

การประเมินการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำบาดาล
อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี

โดย

นางสาวพิมพ์ชญา เจริญโรจน์ยิ่ง
เลขประจำตัวนิต 5832729323

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561

การประเมินการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำบาดาล

อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี

นางสาวพิมพ์ชญา เจริญโรจน์ยิ่ง

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

THE ASSESSMENT OF NITRATE CONTAMINATION IN GROUNDWATER IN SONG
PHI NONG DISTRICT, SUPHAN BURI PROVINCE

PIMCHAYA CHAROENROJYING

A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Science Program in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2018

หัวข้อโครงการ

การประเมินการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำบาดาล

อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี

โดย

นางสาวพิมพ์ชญา เจริญโรจน์ยิ่ง

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

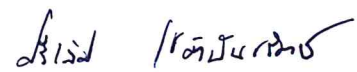
รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม

เกียรติพงษ์ คำดี

วันที่ส่ง.....13/05/62.....

วันที่อนุมัติ.....13/05/62.....



อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์)

Project Title THE ASSESSMENT OF NITRATE CONTAMINATION
IN GROUNDWATER IN SONG PHI NONG DISTRICT,
SUPHAN BURI PROVINCE

By Miss PIMCHAYA CHAROENROJYING

Field of Study Geology

Project Advisor ASSOC.PROF.SRILERT CHOTPANTARAT

Project Co-advisor KIATTIPONG KAMDEE

Submitted date.....13/05/62.....

Approval date.....13/05/62.....



Project Advisor

(ASSOC.PROF.SRILERT CHOTPANTARAT)

พิมพ์ชญา เจริญโรจน์ยิ่ง: การประเมินการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำบาดาลอำเภอสองพี่น้อง จังหวัด
สุพรรณบุรี. (THE ASSESSMENT OF NITRATE CONTAMINATION IN GROUNDWATER IN SONG
PHI NONG DISTRICT, SUPHAN BURI PROVINCE) อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก: รองศาสตราจารย์
ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์, 44 หน้า

พื้นที่อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรีมีการใช้ประโยชน์พื้นที่ส่วนใหญ่ในด้านเกษตรกรรม นอกจากนี้
ยังมีการขยายตัวของพื้นที่เมืองเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการใช้ผลิตภัณฑ์และสารเคมีในการพัฒนาดังกล่าว โดยกิจกรรม
เหล่านี้ล้วนมีส่วนในการปลดปล่อยไนเตรทลงสู่สิ่งแวดล้อมแล้วเกิดการชะหน้าดินทำให้ซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล แม้ว่า
องค์การอนามัยโลกได้กำหนดค่ามาตรฐานของไนเตรทในน้ำบาดาลเพื่อการบริโภคให้มีปริมาณไม่เกิน 45 มิลลิกรัม
ต่อลิตร การบริโภคน้ำที่มีปริมาณไนเตรทปนเปื้อนสูงในระยะยาว มีโอกาสทำให้ทารกในครรภ์เกิด โรคนิบลูเบบี้
(blue baby syndrome) ได้ การแก้ปัญหาดังกล่าวจึงควรเริ่มตั้งแต่การหาแหล่งกำเนิดของไนเตรท ดังนั้น
จุดประสงค์ของการศึกษานี้คือการประเมินแหล่งที่มาของไนเตรทอำเภอสองพี่น้อง โดยพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยชั้น
น้ำ 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นตะกอนตะกอนน้ำ (Qt) ชั้นหินปูนหมวดหินทองผาภูมิ (SD) ซึ่งการระบุแหล่งที่มาของไนเตรท
สามารถระบุได้ด้วยข้อมูลอุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาล ในการศึกษาทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจำนวน 13 บ่อ
(W1-W13) ระหว่างวันที่ 26-27 มกราคม 2562 เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไอออนบวก (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+) ปริมาณ
ไอออนลบ ($F^-, Cl^-, NO_3^-, NO_2^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}$) และความกระด้างในน้ำตัวอย่าง นอกจากนี้ยังใช้ข้อมูลค่าไอโซโทป
เสถียรได้แก่ $\delta^{18}O$, δ^2H และ $\delta^{15}N$ ซึ่งเป็นข้อมูลสนับสนุนในการระบุแหล่งที่มาของไนเตรทในน้ำบาดาล

จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาลมีค่าตั้งแต่ 1.91 - 96.01 มิลลิกรัมต่อลิตร มี
ค่าเฉลี่ย 18.73 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าบ่อบาดาล W10 ที่มีปริมาณไนเตรทเกินค่ามาตรฐานที่องค์การอนามัยโลก
กำหนด สำหรับค่าไอโซโทปเสถียรในน้ำบาดาลพบว่าค่า $\delta^{18}O$ ตั้งแต่ -7.96 ‰ ถึง -3.44 ‰ สำหรับ δ^2H
ตั้งแต่ -53.66 ‰ ถึง -25.63 ‰ และ $\delta^{15}N$ ตั้งแต่ 3.51 ‰ ถึง 28.42 ‰ จากแผนภูมิไปป์เปอร์แสดงให้เห็นว่า
น้ำส่วนใหญ่เป็นชนิด Ca-Na-Cl ซึ่งมีคลอไรด์ไอออนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีสาเหตุมาจากการชะล้างบนผิวดิน
ลงสู่ชั้นน้ำบาดาล และจากผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนไอโซโทปพบว่าการปนเปื้อนของไนเตรทเกิดจากการปล่อยน้ำ
เสียจากครัวเรือนเป็นหลัก ซึ่งกลไกของการปนเปื้อนไนเตรทที่พบในพื้นที่เกิดจากการกระบวนการสร้างไนเตรท
(nitrification)

ภาควิชา.....ธรณีวิทยา.....ลายมือชื่อนิสิต.....พิมพ์ชญา เจริญโรจน์ยิ่ง
สาขาวิชา.....ธรณีวิทยา.....ลายมือชื่อที่ปรึกษาโครงการหลัก.....ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์
ปีการศึกษา.....2561.....

5832729323: MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS: NITRATE CONTAMINATION / HYDROLOGY STABLE ISOTOPES / HYDROGEOLOGY / HYDROGEOCHEMISTRY

PIMCHAYA CHAROENROJYING: THE ASSESSMENT OF NITRATE CONTAMINATION IN GROUNDWATER IN SONG PHI NONG DISTRICT, SUPHAN BURI PROVINCE. ADVISOR: ASSOR.PROF. SRILERT CHOTPANTARAT, Ph.D., 44 pp.

Land use in Song Phi Nong District, Suphan Buri province are mainly used for agricultural purpose. In the recent years, there has been a growth of urban areas. As a result, this area used a lot of products and agrochemicals. This may lead to nitrate (NO_3^-) concentration in groundwater, which must not be over the drinking water standard ($> 45 \text{ mg/l}$) issued by World Health Organization (WHO). A consumption of high NO_3^- concentrated water for a long period of time causes the blue baby syndrome. To solve this problem, the source of nitrate should be firstly identified. This study aimed to evaluate the sources of NO_3^- contamination in Song Phi Nong district, Suphan Buri province. In the study area, there are 2 aquifers consisting of Quaternary Terrace aquifer (Qt), limestone aquifer Thong Pha Phum (SD). This study began with collecting water 13 samples (W1-W13) between 26-27 January, 2019. The identification of sources can be used hydrogeochemistry data, consisting of cations (e.g., Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+), anions (e.g., F^- , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) and alkalinity in water sample. Furthermore, stable isotopes, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{15}\text{N}$, were analyzed to identification of NO_3^- sources.

The study found that NO_3^- concentration in groundwater ranged from 1.91 – 96.01 mg/l with an average of 18.73 mg/l. There was only 1 station (W10), where NO_3^- concentration exceeding the drinking water standard. Furthermore, isotopes compositions of groundwater included $\delta^{18}\text{O}$ values ranging from -7.96 ‰ to -3.44 ‰, $\delta^2\text{H}$ values ranging from -53.66 ‰ to -25.63 ‰ and $\delta^{15}\text{N}$ values ranging from 3.51 ‰ to 28.42 ‰. According to piper diagram, the major water types was Ca-Na-Cl, which chloride (Cl^-) might contaminated from surface water to the groundwater system. The nitrogen isotope results showed that the sources of NO_3^- were mainly from wasted water of household. The mechanism of NO_3^- contamination in this area were a nitrification process.

Department.....Geology.....Student's Signature.....*Pimchaya Charoenrojying*
 Field of Study.....Geology.....Advisor's Signature.....*Srilert Chotpantarot*
 Academic Year.....2018.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนให้การดูแลในทุกเรื่องจนจบระยะเวลาในการทำโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณคุณเกียรติพงษ์ คำดี ที่ได้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการ

ขอขอบคุณกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนสนับสนุนหน่วยปฏิบัติการวิจัย Research Unit Control of Emerging Micropollutants in Environment จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ขอบคุณนางสาววัลลภา วิศิษฐ์ธรรมศรี และนายศุภวิชญ์ เฟื่องฟู ที่ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ระหว่างการดำเนินงานจนสามารถสำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ ๆ และเพื่อน ๆ ที่ช่วยเหลือในการสำรวจภาคสนามและทุก ๆ กำลังใจที่ช่วยให้การทำงานในครั้งนี้ประสบความสำเร็จ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 นิยามปัญหา	1
1.3 วัตถุประสงค์	2
1.4 พื้นที่ศึกษา	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่	12
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	15
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	15
3.2 ขั้นตอนงานวิจัย	16
3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	17
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปราย	21
4.1 ระดับน้ำบาดาล	23
4.2 ค่าความเป็นกรด - เบส	24
4.3 อุณหภูมิ	24
4.4 ค่าความนำไฟฟ้า	25
4.5 ค่าปริมาณของแข็งในน้ำ	26

4.6 ค่าศักย์รีดอกซ์	26
4.7 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	27
4.8 ความเข้มข้นของโลหะ ไอออนบวก ไอออนลบ และค่าไอโซโทปเสถียร	28
4.9 การกระจายตัวของไนเตรท	29
4.10 ชนิดของน้ำ	30
4.11 อัตราส่วนไอโซโทปเสถียร	32
4.12 แหล่งที่มาของไนเตรท	34
4.13 การแปลความ	35
4.14 กระบวนการที่เกี่ยวข้อง	36
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุปผลการศึกษา	37
5.2 ข้อเสนอแนะ	37
รายการอ้างอิง	38
ภาคผนวก	39

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 แสดงพื้นที่ศึกษาอำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี	2
รูปที่ 2.1 วัฏจักรไนโตรเจนบริเวณชั้นดิน	3
รูปที่ 2.2 วัฏจักรไนโตรเจน	4
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างไอโซโทปเสถียร ^{18}O และ ^{16}O มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน 2 ตัว	4
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงการแยกลำดับส่วนของไอโซโทปจากน้ำทะเลสู่น้ำฝน	6
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงกระบวนการทางอุทกวิทยาที่มีผลต่อค่า $\delta^{18}\text{O}$ กับ $\delta^2\text{H}$ ของน้ำฝน	7
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{18}\text{O}$ กับ $\delta^2\text{H}$ ของเส้นน้ำฝนกรุงเทพ	8
รูปที่ 2.7 แสดงการเผา (combustion) และนำตัวอย่างเข้าสู่ช่องว่าง	9
รูปที่ 2.8 แสดงการตรวจวัดการคายพลังงาน (Ringdown)	9
รูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง AAS	10
รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของเครื่อง Ion Chromatography	11
รูปที่ 2.11 Piper Diagram	12
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน	16
รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อน้ำบาดาลที่ทำการตรวจวัดระดับน้ำและ ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล	18
รูปที่ 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการออกภาคสนาม (A) Temperature meter (B) EC meter (C) pH-ORP meter	19
รูปที่ 3.4 การเก็บน้ำตัวอย่างน้ำบาดาลโดยใช้ Boiler	19
รูปที่ 3.5 การเตรียมตัวอย่างน้ำเพื่อส่งไปวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน	19
รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งบ่อในการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล	22
รูปที่ 4.2 แสดงทิศทางการไหลของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	23
รูปที่ 4.3 แผนที่แสดงค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำบาดาล	24
รูปที่ 4.4 แผนที่แสดงอุณหภูมิของน้ำบาดาล	25
รูปที่ 4.5 แผนที่แสดงค่าความนำไฟฟ้าของน้ำบาดาล	25
รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงค่าปริมาณของแข็งในน้ำของน้ำบาดาล	26

รูปที่ 4.7 แผนที่แสดงค่าศักย์รีดอกซีในน้ำบาดาล	27
รูปที่ 4.8 แผนที่แสดงค่าออกซิเจนละลายในน้ำบาดาล	28
รูปที่ 4.9 การกระจายตัวของไนเตรทในพื้นที่ศึกษา	30
รูปที่ 4.10 แผนภูมิวงกลมแสดงเปอร์เซ็นต์ชนิดของน้ำ	31
รูปที่ 4.11 piper diagram	31
รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^2\text{H}$ (‰) กับ $\delta^{18}\text{O}$ (‰)	33
รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{15}\text{N}_{\text{Air}}$ (‰) และ $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰)	34
รูปที่ 4.14 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณจุดศึกษาที่ W10	35
รูปที่ 4.15 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณจุดศึกษาที่ W5	35

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 รายการข้อมูลที่ใช้ศึกษา	17
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล	21
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพและเคมีในภาคสนาม	23
ตารางที่ 4.3 รายละเอียดการวิเคราะห์ปริมาณไอออน	29
ตารางที่ 4.4 รายละเอียดชนิดของน้ำแต่ละจุดศึกษา	32
ตารางที่ 4.5 รายละเอียดค่าไอโซโทปเสถียรแต่ละจุดศึกษา	32
ตารางที่ 4.6 รายละเอียดค่าไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนแต่ละจุดศึกษา	34
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/L) และค่าศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (mg/L)	36

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำสำรองที่สำคัญในประเทศไทย ในปัจจุบันถูกนำขึ้นมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เพื่ออุปโภคบริโภคในครัวเรือน เกษตรกรรม หรืออุตสาหกรรม สำหรับพื้นที่อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี มีการใช้พื้นที่เพื่อทำเกษตรกรรมเป็นหลัก ซึ่งพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ทำให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรทที่เป็นสารองค์ประกอบหลักของปุ๋ยเคมีลงสู่แหล่งน้ำบาดาล (Wisittammasri, 2016; Juntakut, 2018; Hansen, 2018) และนอกจากนี้การขยายตัวของพื้นที่เมืองยังส่งผลต่อการปล่อยน้ำเสียที่มีสารไนเตรทเป็นองค์ประกอบออกสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ (Zhang et al., 2014; Bu, 2016; Ogrinc, 2018) นอกจากกิจกรรมดังกล่าวข้างต้น ในพื้นที่อำเภอสองพี่น้องมีหลุมฝังกลบขยะซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรทซึ่งในพื้นที่ที่มีกิจกรรมดังกล่าวจึงมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของไนเตรทลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (El-Salam, 2015) จากการศึกษาการปนเปื้อนในพื้นที่ตำบลศรีสำราญ อำเภอสองพี่น้อง สุพรรณบุรี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2009) รายงานว่ามีการตรวจพบปริมาณไนเตรทปนเปื้อนในน้ำบาดาลสูงเกินมาตรฐานน้ำบาดาลสำหรับการบริโภคที่ 45 mg/l กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก ซึ่งสูงเกินกว่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคได้ หากมีการบริโภคน้ำที่มีปริมาณไนเตรทสูงเป็นระยะเวลานานจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์โดยเฉพาะในเด็กทารก เรียกว่า blue baby syndrome (Tirado, 2007; Dr. Wei Liu, 2016) และยังเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งต่างๆ ในผู้ใหญ่ (Shukla, 2018; Schullehner et al., 2018) การแก้ปัญหาดังกล่าวในระยะยาวจึงควรเริ่มจากการศึกษาหาแหล่งกำเนิดของไนเตรท ซึ่งเป็นสิ่งที่ช่วยอธิบายแหล่งที่มาของไนเตรทที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาล เนื่องจากต้นกำเนิดของไนเตรทเป็นได้ทั้งแหล่งกำเนิดธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ดังได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนเตรทที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาลสามารถระบุได้ด้วย ข้อมูลอุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาล และมีการประยุกต์ใช้ข้อมูลไอโซโทปเสถียรของน้ำประกอบ ซึ่งใช้ในการพิจารณาร่วมกันในการระบุแหล่งที่มาของไนเตรทในน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี

1.2 นิยามปัญหา

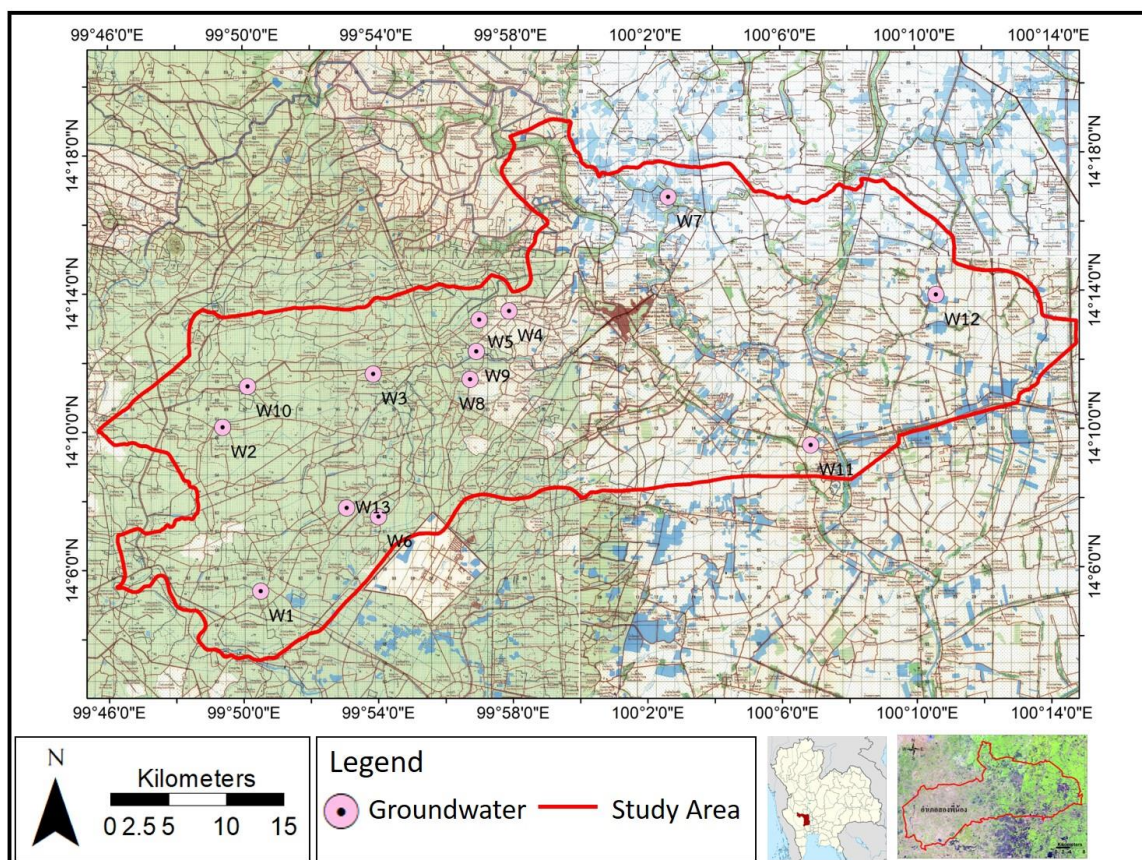
พื้นที่อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรีมีการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำบาดาลเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนดไว้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผู้ที่บริโภคเข้าไปเป็นเวลานานได้

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อหาแหล่งกำเนิดของไนเตรทในน้ำบาดาลพื้นที่อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี

1.4 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมทั้งอำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรีมีพื้นที่ประมาณ 750 ตารางกิโลเมตร แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1: 50,000 ลำดับชุด L 7018 ระวัง 4937I ชื่อระวาง อำเภออู่ทอง ระวัง 4937II ชื่อระวาง บ้านทุ่งคอก ระวัง 5037III ชื่อระวาง อำเภอบางเลน ระวัง 5037IV ชื่อระวาง จังหวัดสุพรรณบุรี



รูปที่ 1.1 แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 แสดงพื้นที่ศึกษาอำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

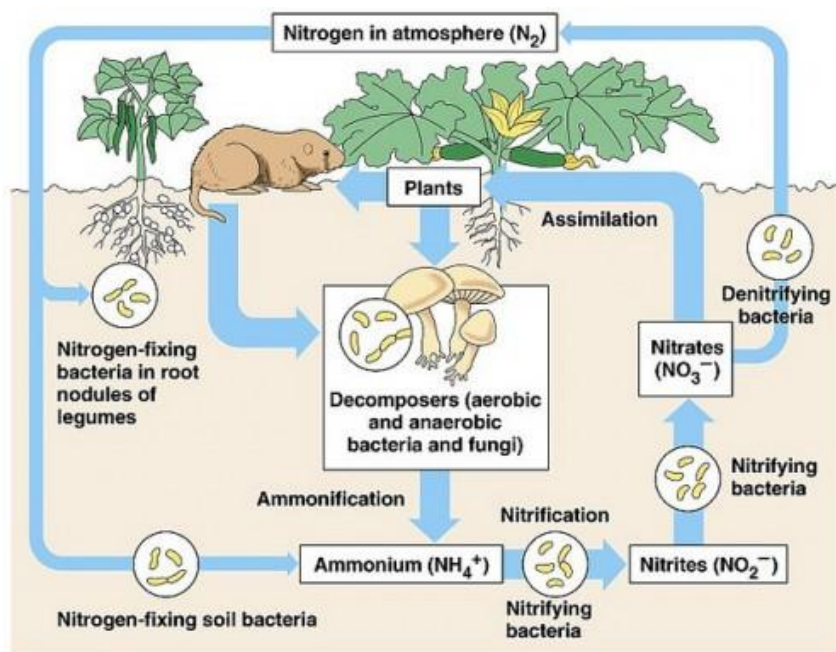
สามารถหาแหล่งกำเนิดของไนเตรทในพื้นที่อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรีได้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 วัฏจักรไนโตรเจน

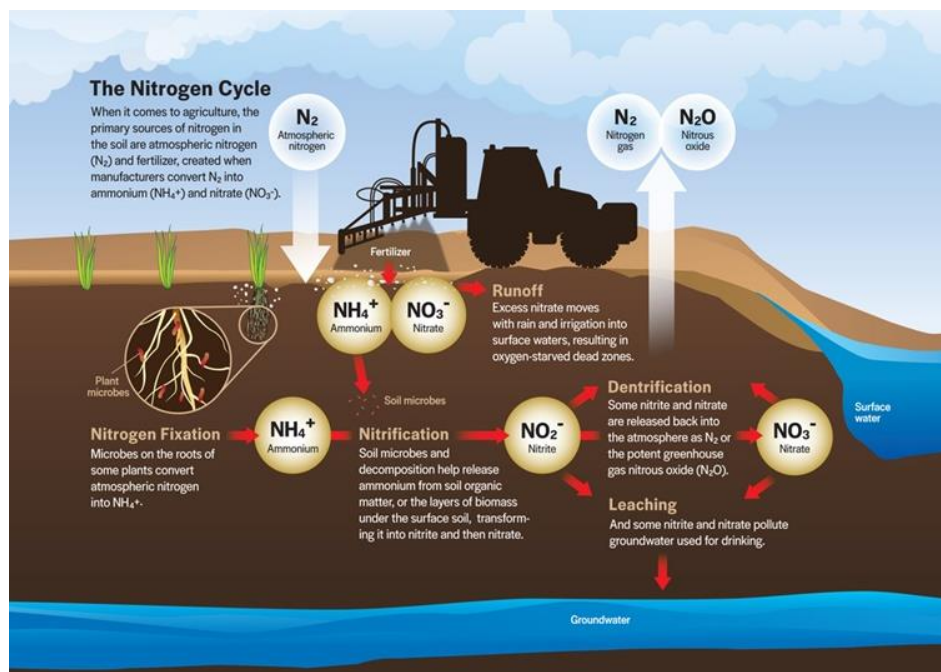
ในชั้นบรรยากาศมีก๊าซไนโตรเจน (N_2) เป็นองค์ประกอบ แต่พืชไม่สามารถนำมาใช้ได้จึงต้องทำการเปลี่ยนรูปโดยการตรึงลงสู่ดินด้วยกระบวนการตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation) โดยแบคทีเรีย (nitrogenfixing bacteria) ที่อาศัยอยู่ในดินหรือกระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรียและรา ซึ่งเปลี่ยนรูปกลายเป็นแอมโมเนียมไอออน (ammonium ion: NH_4^+) ด้วยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) และเกิดกระบวนการสร้างไนเตรท (nitrification) โดยแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) ให้กลายเป็นไนเตรทไอออน (nitrite ion: NO_2^-) และไนเตรทไอออน (nitrate ion: NO_3^-) ตามลำดับ หลังจากนั้นไนเตรทที่อยู่ในรูปของไนเตรทไอออนจะถูกนำไปใช้เพื่อเป็นสารอาหารสำหรับพืช และไนเตรทไอออนที่เหลืออยู่จะถูกเปลี่ยนรูปกลับสู่ชั้นบรรยากาศผ่านกระบวนการสลายไนเตรท (denitrification) ของแบคทีเรีย (denitrifying bacteria) ในรูปของก๊าซไนโตรเจนดั้งเดิม



รูปที่ 2.1 วัฏจักรไนโตรเจนบริเวณชั้นดิน

(ที่มา: <http://marfapublicradio.org/blog/nature-notes/the-nitrogen-cycle>)

หากเกิดการรบกวนวัฏจักรไนโตรเจน เช่น ในดินมีปริมาณของไนเตรทไอออนมากเกินไป ส่งผลให้วัฏจักรเสียสมดุลและสามารถไหลลงสู่ชั้นน้ำบาดาลตามหลักสมดุลไดนามิก (dynamic equilibrium) กล่าวคือ สารละลายในพื้นที่ที่มีความเข้มข้นสูงจะไหลสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ



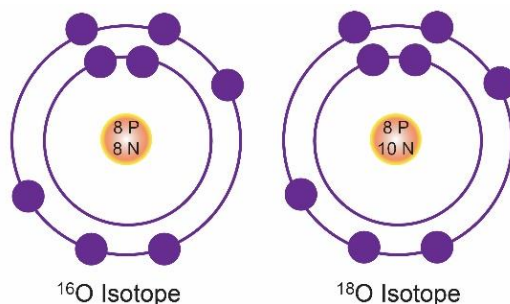
รูปที่ 2.2 วัฏจักรไนโตรเจน

(ที่มา: <http://discovermagazine.com/2013/julyaug/11>)

2.1.2 ไอโซโทปเสถียร

ธาตุไอโซโทป หมายถึง ธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากันแต่มีเลขมวลต่างกัน กล่าวคือมีจำนวนโปรตอนเท่ากันแต่จำนวนนิวตรอนต่างกัน

ธาตุไอโซโทปเสถียร คือ ธาตุที่ไอโซโทปที่ไม่เกิดการสลายตัวของธาตุที่เบากว่า



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างไอโซโทปเสถียร ^{18}O และ ^{16}O มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน 2 ตัว

(ที่มา: <https://timescavengers.blog/introductory-material/what-is-paleoclimatology/isotopes/>)

2.1.3 อัตราส่วนไอโซโทป (Isotope ratio)

การแสดงค่าอัตราส่วนไอโซโทปจะแสดงด้วยค่า เดลตา (delta, δ) ซึ่งเป็นค่าเศษส่วนในพันส่วน มีหน่วยเปอร์มิล (per mill, ‰) โดยเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานว่ามีค่าที่มากกว่า (enrichment) หรือน้อยกว่า (depletion) โดยคำนวณ δ ได้จาก

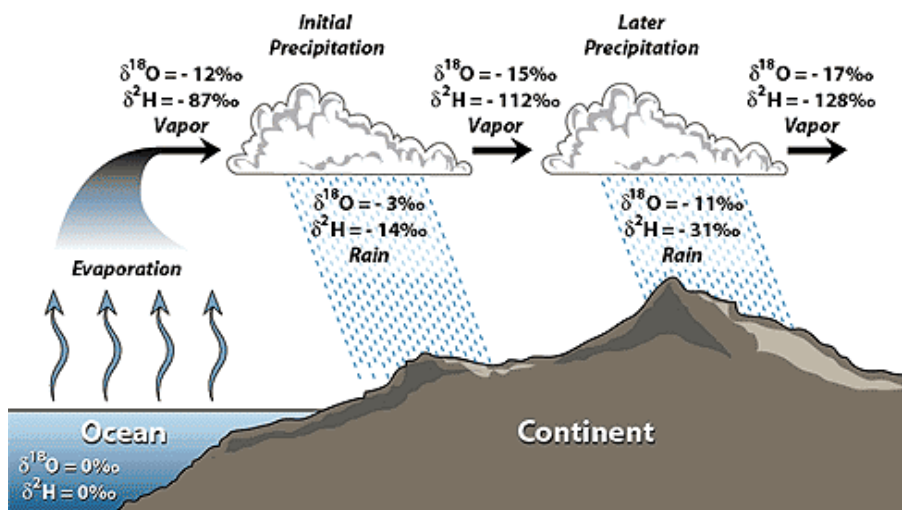
$$\delta(\text{‰}) = \frac{(R_{\text{Sample}} - R_{\text{Standard}})}{R_{\text{Standard}}} \times 1000$$

เมื่อ R เป็นอัตราส่วนระหว่างไอโซโทปหนัก (heavy isotope) กับไอโซโทปเบา (light isotope) เช่น ธาตุออกซิเจนมีไอโซโทป 3 ตัว ได้แก่ ^{18}O , ^{17}O , ^{16}O ดังนั้นไอโซโทปหนักของธาตุออกซิเจนคือ ^{18}O และไอโซโทปเบาคือ ^{16}O

2.1.4 การเปลี่ยนแปลงการแยกลำดับส่วนของไอโซโทป (Isotope fractionation)

กระบวนการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของธาตุหนักกับธาตุเบาจากกระบวนการทางเคมี เช่น การระเหย (evaporation) หรือกระบวนการควบแน่น (condensation) จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าในมหาสมุทรมีการกำหนดค่า $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ ให้เท่ากับ 0‰ เมื่อเกิดกระบวนการระเหยทำให้อัตราส่วนมีการเปลี่ยนแปลงโดยที่ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ เป็น -12‰ และ 78‰ ตามลำดับ เนื่องจากพลังงานในการเปลี่ยนสถานะของไอโซโทปของธาตุที่เบากว่ามีค่าน้อยกว่าพลังงานในการเปลี่ยนสถานะของไอโซโทปของธาตุที่หนักกว่า ส่งผลให้อัตราส่วนของไอโซโทปธาตุหนักกับไอโซโทปธาตุเบาหรือ R มีค่าน้อยกว่า 1 และเมื่อคำนวณตามสูตรในหัวข้อ 2.1.3 จะได้ค่า δ ออกมาติดลบ ทำให้ในไอน้ำประกอบด้วยไอโซโทปเบาเป็นหลัก

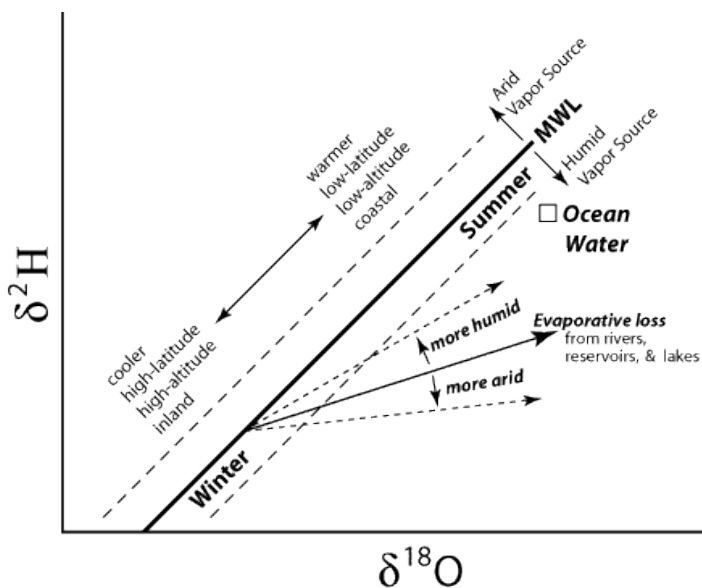
หลังจากนั้นเมื่อไอน้ำที่ระเหยขึ้นมาถูกพัดเข้าสู่แผ่นดิน ทำให้เกิดการควบแน่นกลายเป็นน้ำฝน จะเห็นว่าภายในน้ำฝนมีค่า $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ เป็น -3‰ และ -14‰ ตามลำดับ เนื่องจากพลังงานในการเปลี่ยนสถานะของไอโซโทปของธาตุที่หนักกว่ามีค่าน้อยกว่าพลังงานในการเปลี่ยนสถานะของไอโซโทปของธาตุที่เบากว่า ทำให้ในน้ำฝนประกอบด้วยไอโซโทปของธาตุหนักเป็นหลัก ค่า δ ที่คำนวณออกมาจึงมีค่าติดลบมากกว่าของไอน้ำ ในขณะที่เดียวกันเมื่อพิจารณาเชิงเปรียบเทียบ ในไอน้ำหลังจากการควบแน่นส่งผลให้มีไอโซโทปเบามากขึ้น ค่า δ ติดลบมากขึ้นดังภาพ



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงการแยกลำดับส่วนของไอโซโทปจากน้ำทะเลสู่น้ำฝน
(ที่มา: <http://web.sahra.arizona.edu/programs/isotopes/oxygen.html>)

2.1.5 เส้นน้ำฝน (Meteoric Water Line, MWL)

เกิดจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ ของน้ำฝนที่เก็บเป็นข้อมูลเฉลี่ยมาตรฐานในรูปแบบของกราฟเส้นตรง และแสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ $\delta^{18}\text{O}$ กับ $\delta^2\text{H}$ ของน้ำฝน เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ระดับความสูง (altitude) เป็นต้น ออกมาในรูปที่ 2.5 โดยสามารถใช้กราฟดังกล่าวอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา โดยนำค่า $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ ของน้ำบาดาลแต่ละจุดศึกษามาหาความสัมพันธ์ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง แล้วเทียบกับเส้นน้ำฝน หากจุดศึกษาตกอยู่บนเส้นน้ำฝนหมายถึงน้ำที่อยู่ในชั้นบาดาลเกิดจากการซึมจากผิวดินลงสู่ชั้นน้ำบาดาลโดยตรง ไม่ใช่ น้ำที่ไหลมาจากบริเวณอื่นก่อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาล แต่หากตกห่างจากเส้นน้ำฝนนั้นหมายถึงก่อนจะซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ได้มีการระเหยก่อนหรืออาจไหลจากบริเวณอื่นก่อนที่จะซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

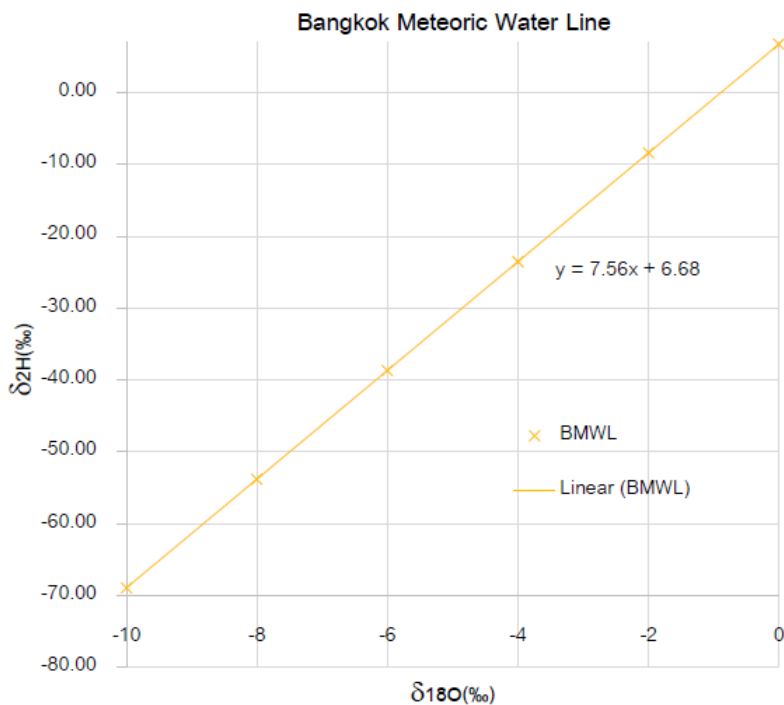


รูปที่ 2.5 กราฟแสดงกระบวนการทางอุทกวิทยาที่มีผลต่อค่า $\delta^{18}\text{O}$ กับ $\delta^2\text{H}$ ของน้ำฝน
(ที่มา: <http://web.sahra.arizona.edu/programs/isotopes/oxygen.html>)

สำหรับพื้นที่สุพรรณบุรีจะใช้ค่าเส้นน้ำฝนกรุงเทพ (Bangkok Meteoric Water Line, BMWL) ในการเปรียบเทียบโดยเส้นน้ำฝนกรุงเทพ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 มีค่าความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงดังสมการ

$$\delta^{18}\text{O} = 7.56\delta^2\text{H} + 6.68$$

เส้นน้ำฝนกรุงเทพนี้สามารถนำมาใช้กับพื้นที่สุพรรณบุรีได้เนื่องจากสุพรรณบุรีมีระดับความสูงและระยะห่างจากทะเลแตกต่างจากกรุงเทพเพียงเล็กน้อย ดังนั้นผลกระทบของระดับความสูงและระยะห่างจากทะเลจึงแทบไม่มีผลต่อความแตกต่างของค่าไอโซโทป

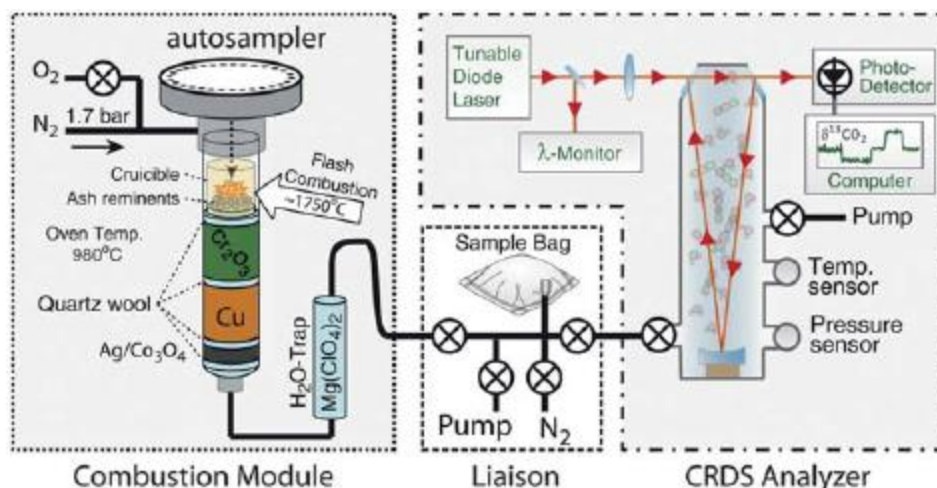


รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{18}\text{O}$ กับ $\delta^2\text{H}$ ของเส้นน้ำฝนกรุงเทพ

2.1.6 Cavity Ringdown Spectrometer (CRDS)

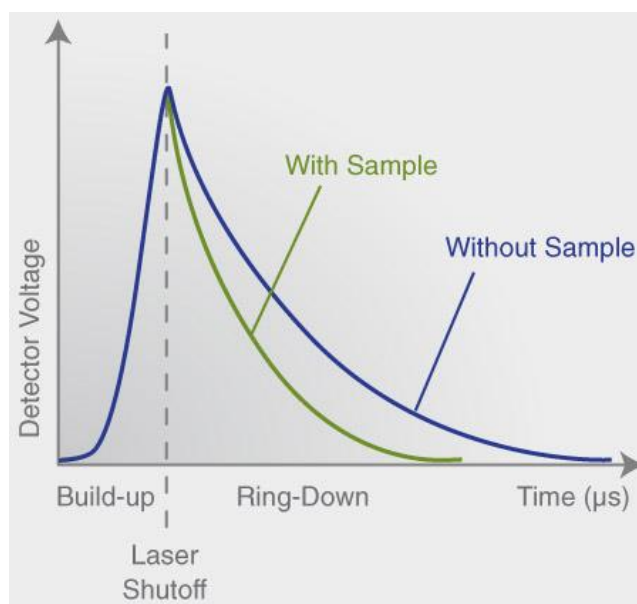
เครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ กับ $\delta^2\text{H}$ โดยอาศัยหลักการสั่นพ้อง (Resonance) ของพันธะระหว่าง O กับ H ซึ่งจะเริ่มวัดพลังงานที่คายออกมาเทียบกับเวลาหลังจากอิมพัลส์ด้วยแสงเลเซอร์ซึ่งเวลาหลังจากอิมพัลส์จะมีค่าแตกต่างกันออกไป เนื่องจากไอโซโทปที่มีน้ำหนักต่างกันทำให้มีความยาวพันธะที่แตกต่างกันจึงมีจุดอิมพัลส์ด้วยแสงที่แตกต่างเช่นกัน ทำให้เราสามารถระบุปริมาณพันธะของ $^{18}\text{O}-^2\text{H}$, $^{18}\text{O}-^1\text{H}$, $^{16}\text{O}-^2\text{H}$, $^{16}\text{O}-^1\text{H}$ และนำไปคำนวณค่า $\delta^{18}\text{O}$ กับ $\delta^2\text{H}$ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.7

หลักการของเครื่อง CRDS นั้นเริ่มจากนำตัวอย่างผ่านกระบวนการเผา (combustion) ให้กลายเป็นสถานะก๊าซจากนั้นใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาเข้าสู่ช่องว่าง (cavity) จากนั้นเครื่องจะทำการยิงเลเซอร์จนถึงจุดอิมพัลส์ของพันธะที่ต้องการตรวจวัดจึงหยุดการยิงแสงเลเซอร์ ตรวจวัดการคายพลังงานจนเข้าสู่สภาวะปกติ (ringdown) เทียบกับเวลาโดยมีตัวตรวจวัด (detector) ดังรูปที่ 2.8 สำหรับการเตรียมตัวอย่างน้ำนั้น ก่อนทำการวิเคราะห์จำเป็นต้องกรองน้ำด้วยฟิลเตอร์ก่อน และการวิเคราะห์ควรทำหลังจากเก็บตัวอย่างมาเร็วที่สุดเท่าที่เป็นไปได้และต้องแช่ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสตลอดเวลา



รูปที่ 2.7 แสดงการเผา (combustion) และนำตัวอย่างเข้าสู่ช่องว่าง

(ที่มา: https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-the-CM-CRDS-system-The-high-sensitivity-of-cavity-ring-down-optical_fig1_255760484)



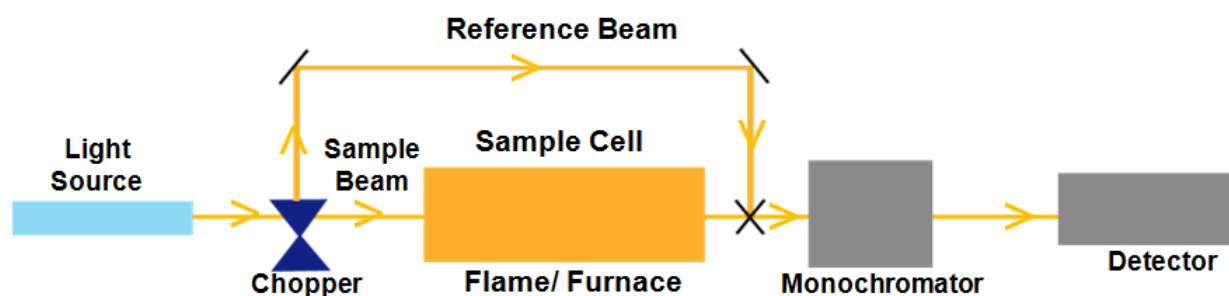
รูปที่ 2.8 แสดงการตรวจวัดการคายพลังงาน (Ringdown)

(ที่มา: <https://www.picarro.com/company/technology/crds>)

2.1.7 Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เครื่อง AAS ใช้ในการหาปริมาณไอออนบวกในตัวอย่าง ได้แก่ โซเดียมไอออน (Na^+) แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) โดยเครื่อง AAS เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ (metal element) ที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบ ด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy ซึ่งเป็นกระบวนการที่อะตอมอิสระ (free

atom) ของธาตุ ดูดกลืน (absorb) แสงที่ความยาวคลื่นระดับหนึ่งโดยเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับธาตุแต่ละธาตุเนื่องจากธาตุแต่ละชนิดมีระดับของพลังงานแตกต่างกันจึงมีการดูดกลืนพลังงานได้แตกต่างกัน พลังงานที่พอดีกับคุณสมบัติเฉพาะของธาตุจะทำให้อิเล็กตรอนของธาตุนั้นๆ เปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น (ground state) ไปเป็นสถานะกระตุ้น (excited state) สำหรับเครื่อง AAS นั้นสามารถวิเคราะห์ได้ครั้งละ 1 ธาตุเท่านั้น และจำเป็นต้องมีการเตรียมสารมาตรฐานตามที่คู่มือได้ระบุความเข้มข้นไว้ นอกจากนี้หากตัวอย่างมีความเข้มข้นสูงกว่าสารมาตรฐานจะเป็นต้องเจือจางตัวอย่างก่อนวิเคราะห์



รูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง AAS

(ที่มา: <https://stic.mfu.ac.th/stic-analysis-tools/stic-tool-detail/8.html>)

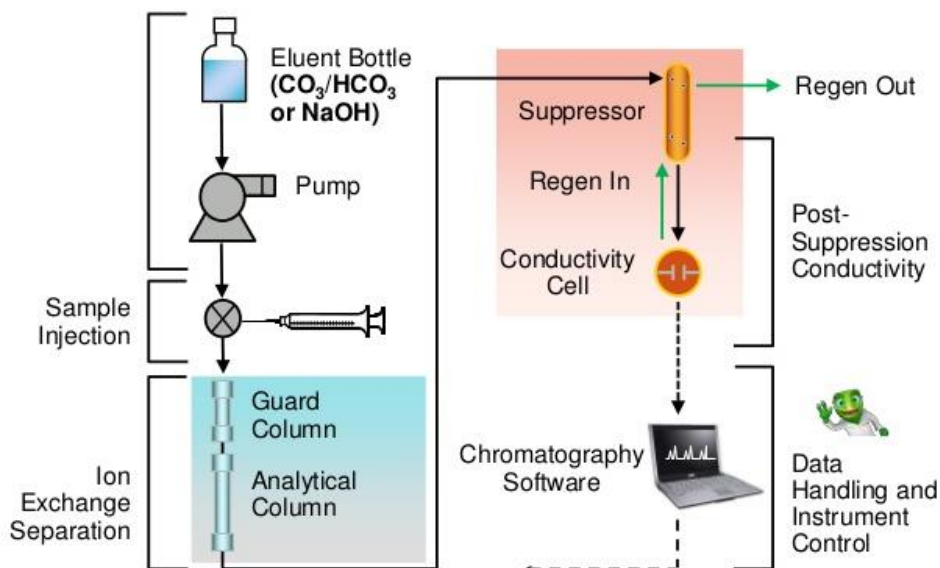
2.1.8 Ion Chromatography (IC)

เครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณไอออนลบ (anions) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นไอออน ได้แก่ ฟลูออไรด์ไอออน (F^-) คลอไรด์ไอออน (Cl^-) ไนเตรทไอออน (NO_3^-) ไนไตรท์ไอออน (NO_2^-) ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-})

หลักการทำงานของเครื่อง IC อาศัยความแตกต่างของขนาดประจุ และน้ำหนักในการหาปริมาณซึ่งภายในประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่

1. Column ทำหน้าที่ตรวจวัดปริมาณไอออนตามขนาดประจุ
2. Eluent เป็นสารตัวกลางในการพาตัวอย่างสู่ column และ detector
3. Suppressor ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ
4. Detector ตัวรับสัญญาณ

โดยไอออนแต่ละชนิดที่มีขนาดประจุและน้ำหนักต่างกัน จะตรวจพบโดย column ที่เวลาแตกต่างกัน ซึ่ง ไอออนแต่ละชนิดก็จะมีเวลาจำเพาะของไอออนนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของเครื่อง Ion Chromatography

(ที่มา: https://www.slideshare.net/Chrom_Solutions/analysis-of-disinfection-byproducts-by-ion-chromatography)

2.1.9 แผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram)

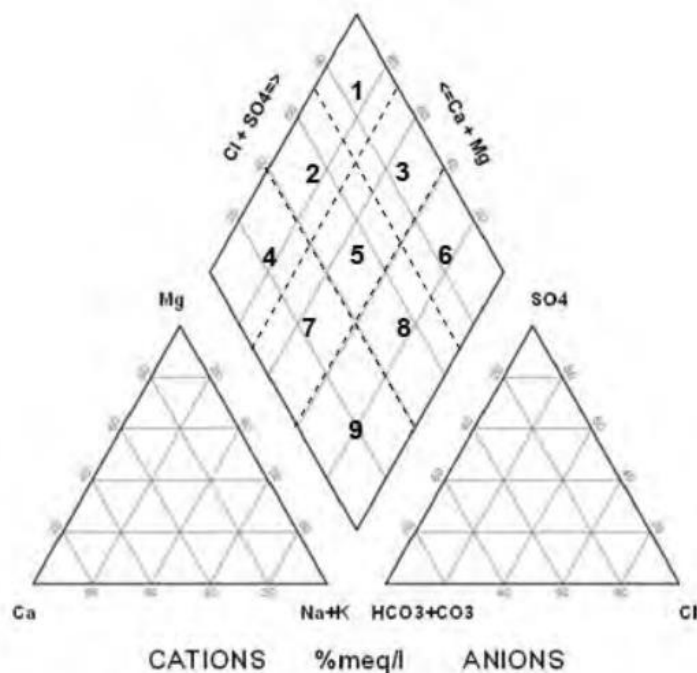
แผนภูมิแสดงลักษณะเฉพาะทางอุทกธรณีเคมีเพื่อระบุชนิดของน้ำตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา โดยมีการวัดค่าตัวแปรดังต่อไปนี้ โซเดียมไอออน (Na^+) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) คลอไรด์ไอออน (Cl^-) ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ไนเตรทไอออน (NO_3^-) ไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) และคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) โดยปริมาณความเข้มข้นของไอออนแต่ละชนิดได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือที่ได้กล่าวมาข้างต้น หลังจากนั้นจึงนำค่าตัวแปรต่างๆ ไปสร้างแผนภูมิ ภายในแผนภูมิประกอบด้วย 9 พื้นที่ดังรูปที่ 2.11 (Galloway and Kaiser, 1980)

- 1= Calcium Chloride (CaCl)
- 2=Calcium Bicarbonate Chloride (CaHCO_3Cl)
- 3=Calcium-Sodium Chloride (CaNaCl)
- 4=Calcium Bicarbonate (CaHCO_3)
- 5=Calcium-Sodium Bicarbonate Chloride ($\text{CaNaHCO}_3\text{Cl}$)
- 6=Sodium Chloride (NaCl)

7=Calcium-Sodium Bicarbonate (CaNaHCO_3)

8=Sodium Bicarbonate Chloride (NaHCO_3Cl)

9=Sodium Bicarbonate (NaHCO_3)



รูปที่ 2.11 Piper Diagram

(ที่มา: Galloway and Kaiser, 1980)

2.2 ลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่

ธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษามีการกระจายตัวของหินดังต่อไปนี้ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2009)

1. ตะกอนมหายุคซีโนโซอิก (ตะกอนยุคควอร์เทอร์นารี) ประกอบด้วยตะกอนชายฝั่งทะเล (Qmc) โดยอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ดินเหนียว ทรายแป้ง และทรายละเอียดของที่ลุ่มราบน้ำขึ้นถึงที่ลุ่มชื้นแฉะที่ลุ่มน้ำน้ำขังป่าชายเลนและชะวากทะเล ตะกอนน้ำพารูปพัด (Qaf)
2. หินยุคออร์โดวิเซียน (SD) หินปูนเนื้อดินและหินปูน สีเทาและสีชมพู หินปูนเนื้อโคลโลไมต์และหินอ่อน แทรกสลับด้วยหินดินดาน เนื้อปูนผสม หินดินดานปนทราย มีซากหอยวงช้าง หอยแบรคิโอพอด และ ไทรโลไบต์

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Tirado (2007) ทำการศึกษาปริมาณไนเตรทในน้ำดื่มในพื้นที่เกษตรกรรมในประเทศไทย และฟิลิปปินส์ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล และน้ำผิวดิน ผลการศึกษาพบว่าปริมาณไนเตรทในน้ำดื่มที่มาจากบ่อลึกในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศฟิลิปปินส์ และประเทศไทยมีการปนเปื้อนของไนเตรทสูง ซึ่งสอดคล้องกับการใช้ปุ๋ยในปริมาณมากในพื้นที่ศึกษา สำหรับประเทศไทยพบการปนเปื้อนของไนเตรทสูงในบริเวณที่ราบภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรีและสุพรรณบุรี โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ปลูกหน่อไม้ฝรั่ง มีปริมาณไนเตรทสูงกว่ามาตรฐานความปลอดภัยของน้ำดื่มตามที่องค์การอนามัยโลกกำหนดถึงสามเท่าจึงเป็นเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดโรคบลูเบบี้ (blue baby syndrome) ในเด็กทารก

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2009) ทำการประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนของมลสารทางเกษตรลงสู่แหล่งน้ำบาดาลและออกแบบแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดสุพรรณบุรี พบว่า ตัวอย่างน้ำใต้ดินมีการปนเปื้อนไนเตรทเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้เพื่อการบริโภค ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2008) และเมื่อประเมินความรุนแรงของการปนเปื้อนมลสารด้วยการจำลองปริมาณการไหลและการแพร่กระจายของมลสารลงสู่แหล่งน้ำบาดาล พบว่า มลสารมีทิศทางการไหลลงสู่แหล่งน้ำผิวดินที่เป็นแหล่งรองรับน้ำในแต่ละพื้นที่ และความเข้มข้นของมลสารลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

Bu (2016) ทำการศึกษาแหล่งที่มาของไนเตรทบริเวณพื้นที่แอ่งแม่ น้ำ Haicheng ซึ่งอยู่ด้านตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจีน โดยใช้ไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน โดยทำการศึกษาแต่ละฤดูกาลพบว่า ช่วงฤดูใบไม้ผลิแหล่งที่มาของไนเตรทนั้นมาจากปุ๋ยคอก มูลสัตว์ และน้ำทิ้งจากกิจกรรมครัวเรือน ช่วงต้นของฤดูร้อนแหล่งที่มาของไนเตรทมาจากกระบวนการสร้างไนเตรทจากการใช้ปุ๋ยเคมี และสำหรับช่วงปลายฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วงแหล่งที่มาของไนเตรทมาจากอินทรีย์สารในดินและปุ๋ยคอก มูลสัตว์ และน้ำทิ้งจากกิจกรรมครัวเรือน โดยกระบวนการหลักคือกระบวนการสร้างไนเตรท (nitrification) และการสลายไนเตรท (denitrification)

วัลลภา วิศิษฐ์ธรรมศรี และศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ (2016) ได้ใช้หลักการของไอโซโทปเสถียรของธาตุออกซิเจนและไฮโดรเจนเพื่อระบุพื้นที่รับน้ำ (recharge area) ที่ได้รับน้ำฝนโดยตรงจากการซึมของน้ำฝนสู่ น้ำบาดาลในอำเภอแก่งคอย จังหวัดสุพรรณบุรี โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำบาดาล น้ำผิวดิน และน้ำฝน ผลจากการวิเคราะห์พบว่า น้ำบาดาลในบริเวณนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ น้ำบาดาลที่มีสัมพันธ์กับน้ำฝน และน้ำบาดาลที่สัมพันธ์กับน้ำผิวดิน

Ogrinc (2018) ทำการศึกษาวิวัฒนาการของกระบวนการธรณีเคมีและแหล่งที่มาของไนเตรทในพื้นที่สโลวีเนียโดยใช้ผลไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน เนื่องจากในพื้นที่มีการใช้น้ำบาดาลเพื่ออุปโภคและบริโภคเป็นหลัก โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 7 จุดศึกษา ผลการวิเคราะห์พบว่า ตัวอย่างน้ำบาดาลมีปริมาณความ

เข้มข้นของไนเตรตตั้งแต่ 5.32 ถึง 50.1 mg/l ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานของกิจกรรมของมนุษย์ที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (3 mg/l) โดยแต่ละพื้นที่มีแหล่งที่มาของไนเตรตแตกต่างกันออกไป แต่แหล่งที่มาหลักนั้นมาจากการใช้ปุ๋ยเคมี และน้ำทิ้งจากกิจกรรมครัวเรือน จากการใช้อิโซโทปเสถียรของไนโตรเจนสามารถระบุแหล่งที่มาของไนเตรตโดยใช้ความสัมพันธ์ของอิโซโทปเสถียรของไนโตรเจนและออกซิเจน

บทที่ 3 ระเบียบวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 รวบรวมและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงในรูปที่ 3.1

- ศึกษาและหาข้อมูลพื้นที่ศึกษาจากงานวิจัยเดิม เช่น ลักษณะทางธรณีวิทยา ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา ลักษณะทางอุทกเคมี ตำแหน่งบ่อบาดาล เป็นต้น
- ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์ วิธีการเก็บตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ และศึกษาทฤษฎีพื้นฐานก่อนปฏิบัติจริง
- รวบรวมข้อมูลทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น ภาพถ่ายดาวเทียม ชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชั้นข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยา ชั้นข้อมูลแผนที่อุทกธรณี
- ค้นห ปริมาณบ่อบาดาลที่จัดทะเบียนกรมทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

3.1.2 วิเคราะห์ข้อมูลโทรสัมผัส

- สร้างแผนที่ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM)
- สร้างแผนที่ธรณีวิทยา และอุทกธรณีวิทยา
- สร้างแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน
- สร้างแผนที่ที่ใช้ในการออกภาคสนาม ประกอบด้วยชั้นข้อมูล แผนที่ภูมิประเทศ ตำแหน่งบ่อบาดาล ถนน ทางน้ำ ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

3.1.3 สํารวจภาคสนามและเก็บตัวอย่าง

- วัดระดับน้ำบาดาลในพื้นที่
- วัดพารามิเตอร์ทางกายภาพและเคมีต่างๆในสนาม ได้แก่ พิกัดบ่อน้ำบาดาล ระดับความสูงของพื้นที่จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (รทก.) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ค่าศักย์ภาพในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (oxidation reduction potential, ORP) อุณหภูมิ ค่าความนำไฟฟ้า (electric conductivity, EC) ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (dissolved oxygen, DO) และค่าปริมาณของแข็งในน้ำ (total dissolved solid, TDS)

- เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาหาค่า $\delta^{18}\text{O}$ ค่า $\delta^2\text{H}$ ค่า $\delta^{15}\text{N}$ ปริมาณไอออนบวกในน้ำตัวอย่าง (cations) ปริมาณไอออนลบในน้ำตัวอย่าง (anions)

3.1.4 วิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล

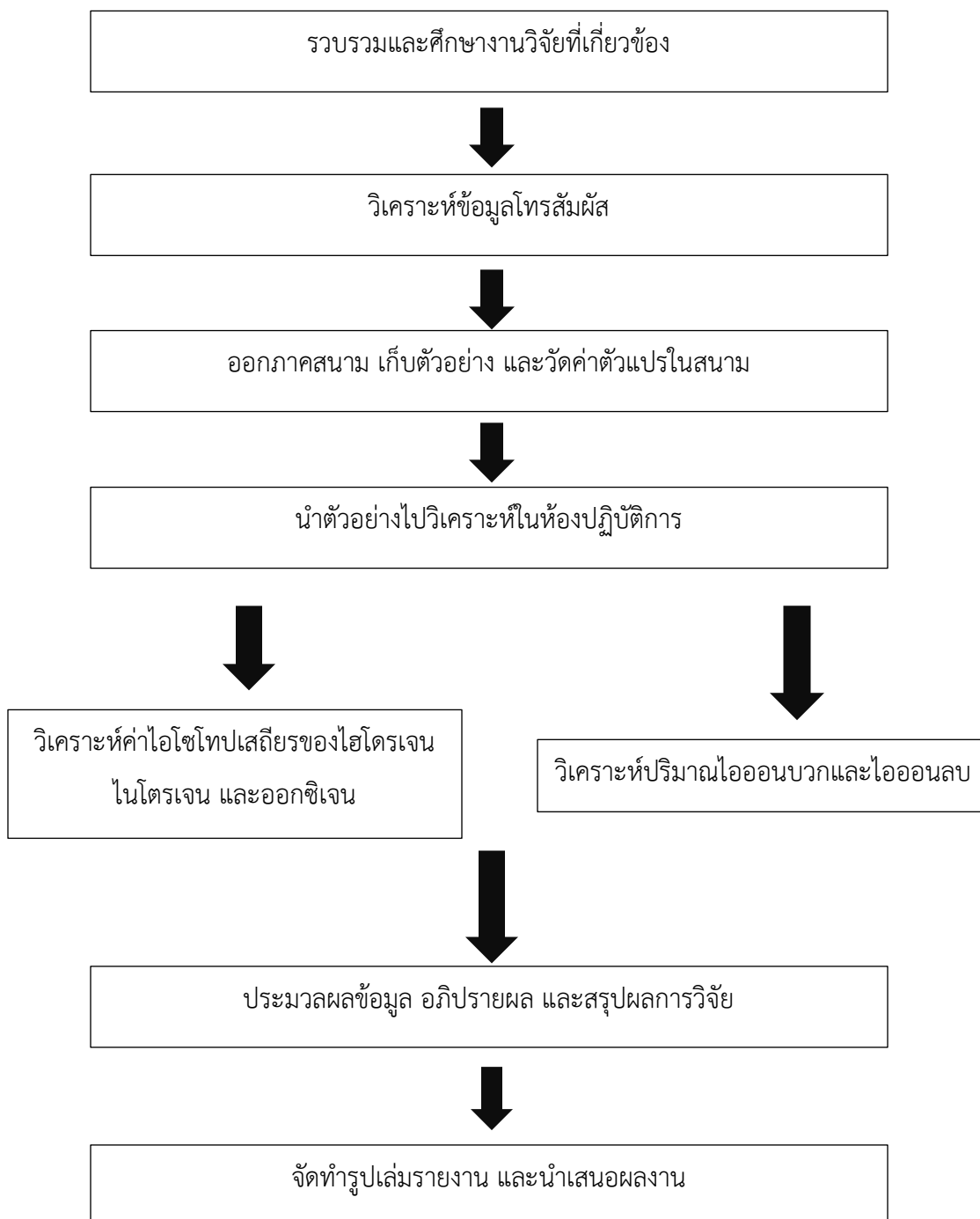
- วิเคราะห์ข้อมูลไอโซโทปเสถียรและแปลความข้อมูล

- วิเคราะห์ข้อมูลอุทกธรณีเคมีและแปลความข้อมูล

3.1.5 อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

3.1.6 จัดทำรูปเล่มรายงานและนำเสนอผลงาน

3.2 ขั้นตอนงานวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน

3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

3.3.1 การรวบรวมข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 3.1

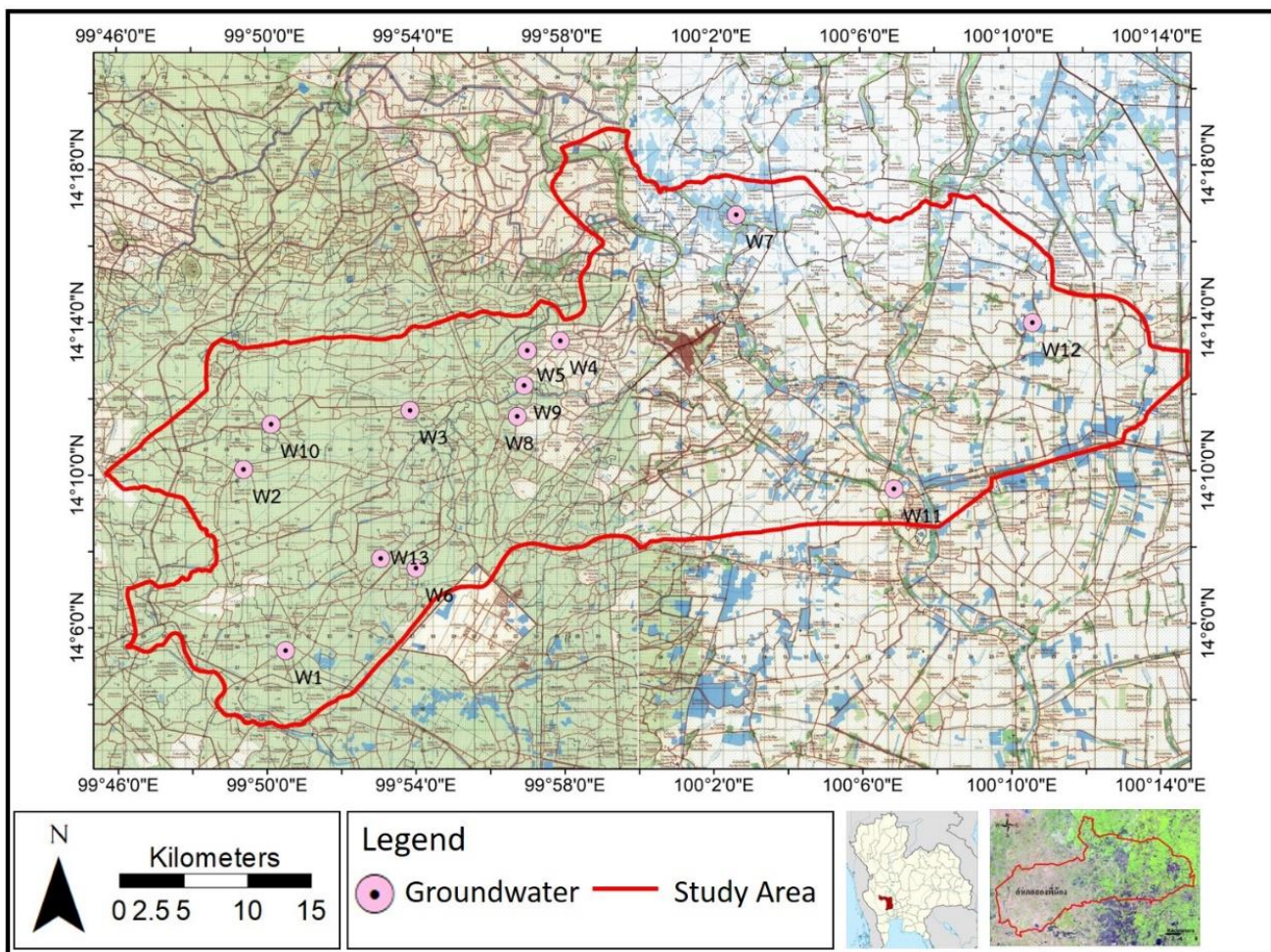
ตารางที่ 3.1 รายการข้อมูลที่ใช้ศึกษา

ลำดับ	รายการข้อมูล	ที่มา	ปี	รายละเอียด
1.	แผนที่ภูมิประเทศ	กรมแผนที่ทหาร	2550	.JPEG
2.	ข้อมูลขอบเขตพื้นที่ศึกษา	ระบุตามลุ่มน้ำ	2561	.shp
3.	ข้อมูลหน่วยหินทางธรณีวิทยา	กรมทรัพยากรธรณี	2555	.shp
4.	ข้อมูลชั้นน้ำ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2555	.shp
5.	ข้อมูลบ่อน้ำบาดาลที่จดทะเบียน	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2561	.JPEG
6.	ข้อมูลระดับความสูงเชิงตัวเลข (DEM)	ปรับแก้ข้อมูลจากกรมแผนที่ทหาร	2550	raster
7.	ข้อมูลโครงสร้างเชิงเส้น	กรมทรัพยากรธรณี	2555	.shp
8.	ข้อมูลลำน้ำ	กรมทรัพยากรธรณี	2555	.shp
9.	ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน	กรมพัฒนาที่ดิน	2552	.shp
10.	ข้อมูลขอบเขตจังหวัด อำเภอลำปาง และตำบล	กรมพัฒนาที่ดิน	2552	.shp
11.	ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8	เว็บไซต์ earthexplorer	2561	.TIFF

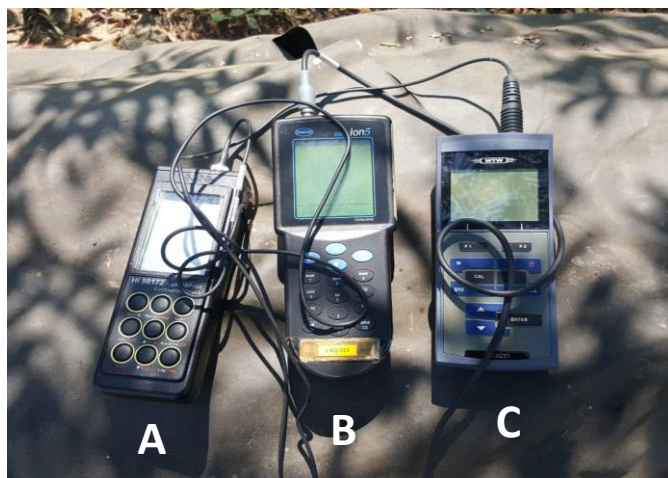
3.3.2 การสำรวจและการเก็บตัวอย่าง

ผู้วิจัยดำเนินการออกภาคสนามเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลตั้งแต่วันที่ 26-27 มกราคม พ.ศ.2562 โดยได้ศึกษาตามตำแหน่งเดิมของรายงานกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ทำการเก็บข้อมูลดังนี้ ชื่อบ่อน้ำบาดาล พิกัดตำแหน่งน้ำบาดาล ระดับความสูงของพื้นที่จากระดับน้ำทะเล ค่าระดับน้ำบาดาล ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ค่าศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (oxidation reduction potential, ORP) อุณหภูมิ ค่าความนำไฟฟ้า (electric conductivity, EC) ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (dissolved oxygen, DO) และค่าปริมาณของแข็งในน้ำ (total dissolved, TDS)

แต่เนื่องจากการปิดกั้นบ่อและสาเหตุอื่นๆ เช่น บ่อบาดาลอยู่ระหว่างการสูบน้ำ บ่อบาดาลบางบ่อไม่มีช่องเปิดให้สำหรับเครื่องมือวัดระดับน้ำ เป็นต้น ทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลในบางตำแหน่งได้ อย่างไรก็ตาม ตำแหน่งบ่อบาดาลที่ตรวจวัดค่าระดับน้ำบาดาลได้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา โดยสำรวจทั้งหมด 13 บ่อ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อบาดาลที่ทำการตรวจวัดระดับน้ำและตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล



รูปที่ 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการออกภาคสนาม (A) Temperature meter (B) EC meter (C) pH-ORP meter



รูปที่ 3.4 การเก็บน้ำตัวอย่างน้ำบาดาลโดยใช้ Boiler



รูปที่ 3.5 การเตรียมตัวอย่างน้ำเพื่อส่งไปวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน

3.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากทำการเก็บตัวอย่างแล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจหาปริมาณไอออนบวก ได้แก่ โซเดียมไอออน (Na^+) แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ไอออนลบ ได้แก่ ฟลูออไรด์ไอออน (F^-) คลอไรด์ไอออน (Cl^-) ไนไตรท์ไอออน (NO_2^-) ไนเตรทไอออน (NO_3^-) ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-}) ไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) และคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) ค่าอัตราส่วนไอโซโทปเสถียรของ ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน

สำหรับการวิเคราะห์ไอออนบวก นำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาธรณีวิทยา สำหรับไอโซโทปเสถียรไฮโดรเจนและออกซิเจนวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS) และไอออนลบใช้เครื่อง Ion Chromatography (IC) ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) แต่เนื่องจากความจำกัดทางเครื่องมือทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) และคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) ได้จึงทำการหาโดยการวิเคราะห์ Alkalinity แทน สำหรับไอโซโทปเสถียรไนโตรเจนนั้นทำการส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ stable isotope facility ของ university of California ซึ่งใช้วิธีการสลายไนโตรเจนด้วยแบคทีเรีย

เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลจึงต้องทำการหาความคลาดเคลื่อนของข้อมูลปริมาณไอออนต่างๆ เนื่องจากใช้คนละวิธีการตรวจสอบ ซึ่งการคำนวณดังกล่าวเรียกว่า สมดุลประจุ (charge balance) และหลังจากคำนวณแล้วหากมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 30% จะเป็นที่สามารถยอมรับได้ (แสดงในภาคผนวก ข)

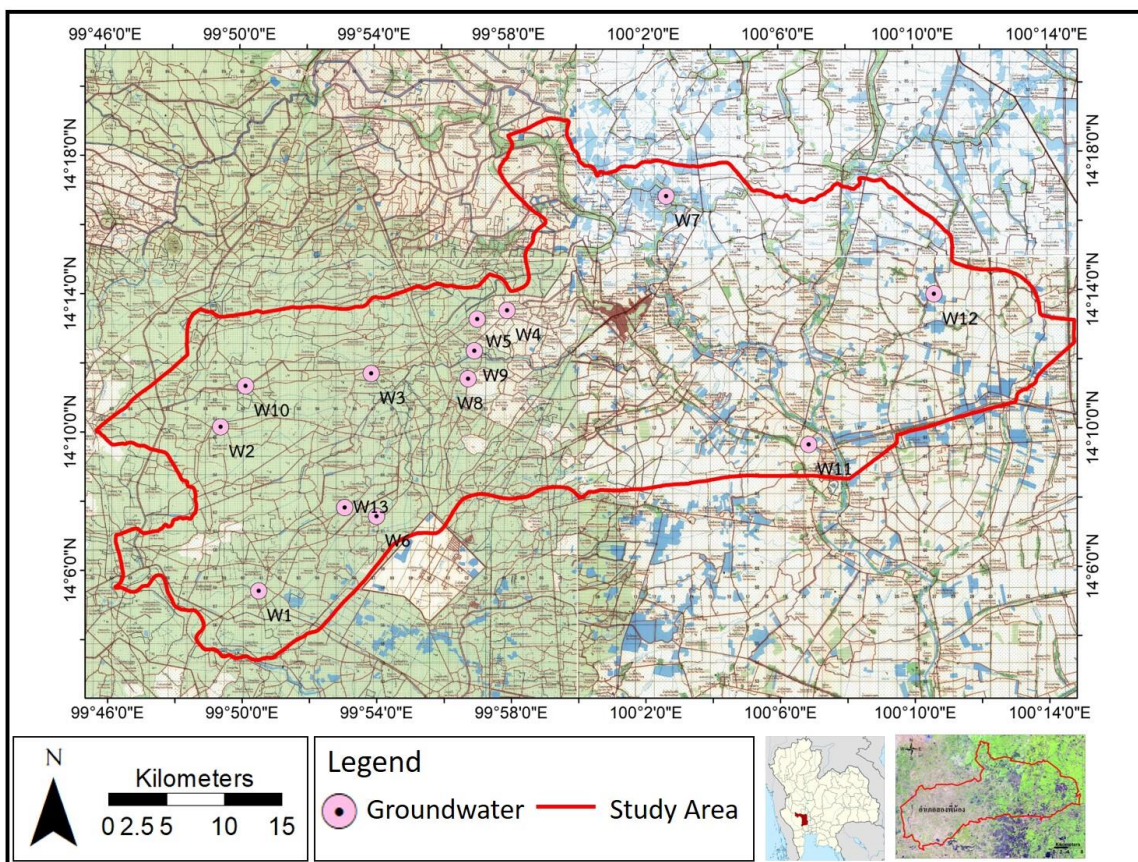
หลังจากนั้นจะทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างไนเตรทไอออนและไอออนอื่นในน้ำบาดาล จำแนกชนิดของน้ำด้วยแผนภูมิไปเปอร์ (Piper diagram) จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากบริเวณที่เก็บตัวอย่าง สร้างกราฟความสัมพันธ์ของไอโซโทปเสถียร แผนทีแสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาล โดยข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นจะนำไปใช้ในการประเมินแหล่งที่มาของไนเตรทไอออนในพื้นที่ศึกษา

บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปราย

จากการศึกษาข้อมูลงานวิจัย สํารวจและเก็บตัวอย่าง วิเคราะห์ข้อมูล แสดงรายละเอียดตำแหน่งเก็บตัวอย่าง น้ำบาดาล ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล

Sample	Location	Easting	Northing	Sample type
W1	หลังบ้าน ตำบลบ่อสุพรรณ อำเภอสองพี่น้อง สุพรรณบุรี	590867	1557814	Groundwater
W2	หลังบ้าน ช้างสระซุด ตำบลบ่อสุพรรณ อำเภอสองพี่น้อง สุพรรณบุรี	588830	1566559	Groundwater
W3	หน้าบ้านชาวบ้าน ตำบลบ่อสุพรรณ อำเภอสองพี่น้อง สุพรรณบุรี	596885	1569409	Groundwater
W4	หน้าบ้านใกล้ศาลพระภูมิ ตำบลศรีสำราญ อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี	604151	1572762	Groundwater
W5	บ่อน้ำบ้าน บ้านหลังสี่ฟ้า ตำบลศรีสำราญ อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี	602559	1572294	Groundwater
W6	หลังบ้านที่เลี้ยงสุกร ตำบลบ่อสุพรรณ อำเภอสองพี่น้อง สุพรรณบุรี	597172	1561791	Groundwater
W7	โรงเรียนวัดบางบอน ตำบลหัวโพธิ์ อำเภอสองพี่น้อง จังหวัด สุพรรณบุรี	612656	1578850	Groundwater
W8	หลังบ้าน (ขายขนมจีน) ตำบลทุ่งคอก อำเภอสองพี่น้อง จังหวัด สุพรรณบุรี	602064	1569122	Groundwater
W9	บ่อกุ่ม ตำบลศรีสำราญ อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี	602405	1570609	Groundwater
W10	หลังบ้านเกษตรกร ตำบลหนองบ่อ อำเภอสองพี่น้อง จังหวัด สุพรรณบุรี	590166	1568742	Groundwater
W11	ปั๊มน้ตพ. ตำบลบางเลน อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี	620284	1565620	Groundwater
W12	ฟาร์มลูกกึ่งกนกพล ตำบล บางตาเถร อำเภอ สองพี่น้อง สุพรรณบุรี	626980	1573643	Groundwater
W13	บ่อน้ำบ้าน ช้างศาลพระภูมิ ตำบลบ่อสุพรรณ อำเภอสองพี่น้อง สุพรรณบุรี	595469	1562262	Groundwater



รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งบ่อในการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล

4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีภาคสนาม

จากการวัดพารามิเตอร์ทางกายภาพและเคมีในสนามทั้งหมด 13 จุดศึกษา ได้แก่ ระดับความสูงของพื้นที่จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (รทก.) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ค่าศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (oxidation reduction potential, ORP) อุณหภูมิ ค่าความนำไฟฟ้า (electric conductivity, EC) ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (dissolved oxygen, DO) และค่าปริมาณของแข็งในน้ำ (total dissolved solid, TDS) ได้ผลดังตารางที่ 4.2

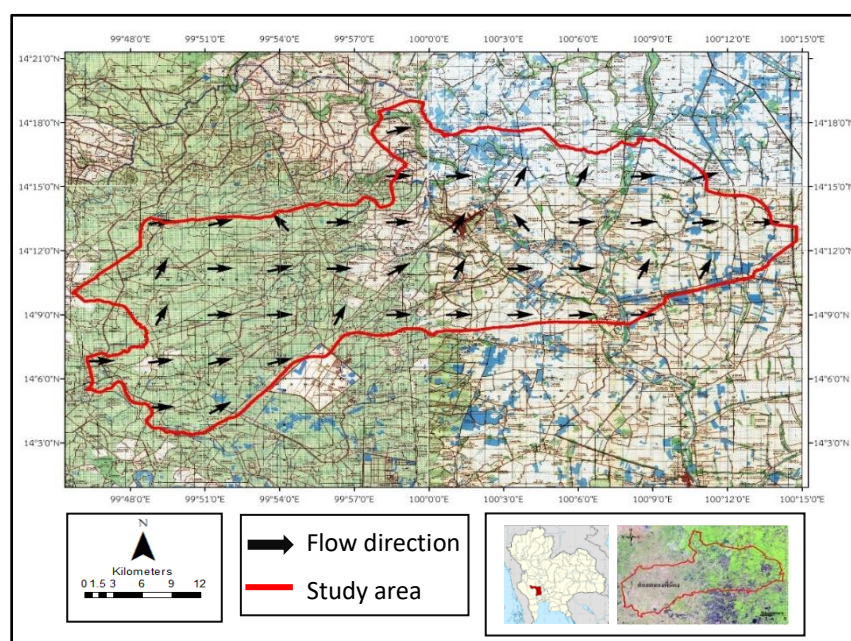
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพและเคมีในภาคสนาม

Sample	water table from surface (m.)	pH	Temp@	EC (uS/cm.)	TDS (mg/L)	ORP (mV.)	DO (mg/L)	Alkalinity (mg/L)
W1	0.90	7.80	27.00	356	268	46.3	5.3	305.10
W2	0.84	8.30	27.00	540	270	10.8	7.1	329.51
W3	0.93	7.20	n.a.	887	443	11.8	4.8	433.24
W4	1.50	8.30	29.80	1453	728	-49.1	7.1	317.30
W5	0.72	7.60	28.80	1089	545	-20.1	6.2	360.02
W6	1.11	7.30	28.40	1307	654	59.7	5.7	311.20
W7	2.57	8.40	n.a.	908	454	-1.7	6.0	469.85
W8	4.30	7.10	29.40	4700	2350	-156.0	4.8	793.26
W9	n.a.	8.10	30.80	577	289	-4.7	6.4	256.28
W10	1.22	7.50	28.20	596	298	41.6	6.3	311.20
W11	24.10	8.40	n.a.	569	285	-46.8	6.4	323.41
W12	n.a.	7.50	29.10	4850	2430	-289.6	6.3	884.79
W13	2.00	7.50	29.20	3640	1818	32.9	4.7	555.28

n.a. = not available

4.1.1 ระดับน้ำบาดาล (Groundwater level)

จากการเก็บข้อมูลระดับน้ำบาดาลทำการเก็บระดับน้ำบาดาลทั้งหมด 13 บ่อ แต่สามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งหมด 11 บ่อ ได้ผลดังที่แสดงไปแล้วข้างต้น จากนั้นได้จัดทำแผนที่เพื่อดูทิศทางการไหลของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษาได้ดังรูปที่ 4.2

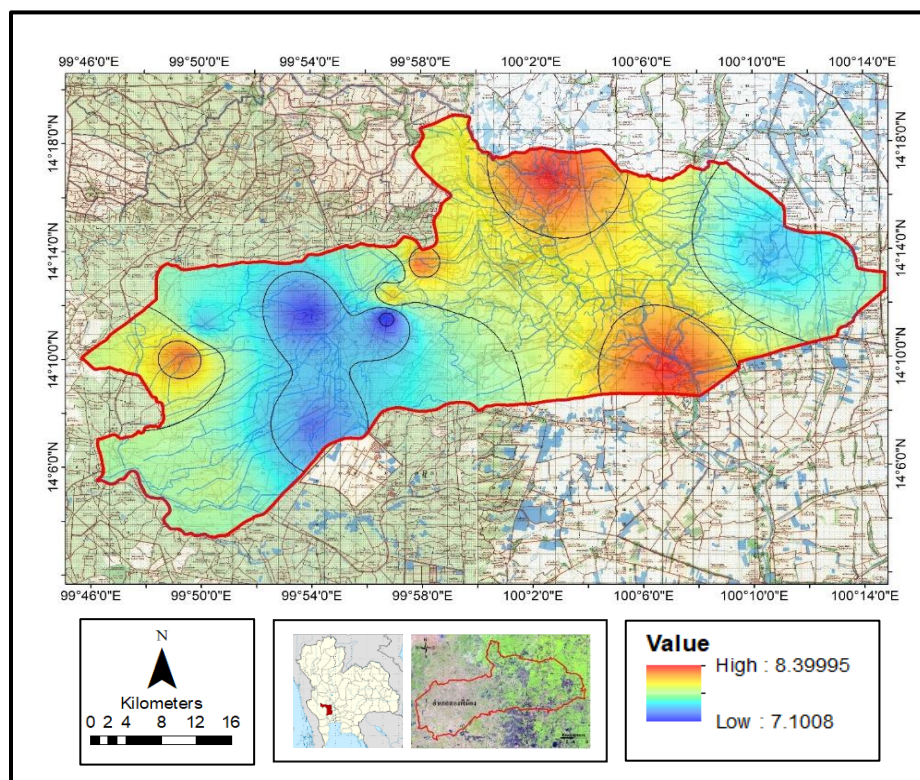


รูปที่ 4.2 แสดงทิศทางการไหลของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา

4.1.2 ความเป็นกรด-เบส (pH)

ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของน้ำบาดาลที่ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนมกราคมพบว่า มีค่าตั้งแต่ 7.10 ถึง 8.40 ซึ่งไม่ปรากฏลักษณะของน้ำกระด้าง โดยมีค่าความเป็นกรด-เบสเฉลี่ย 7.77 ดังรูปที่

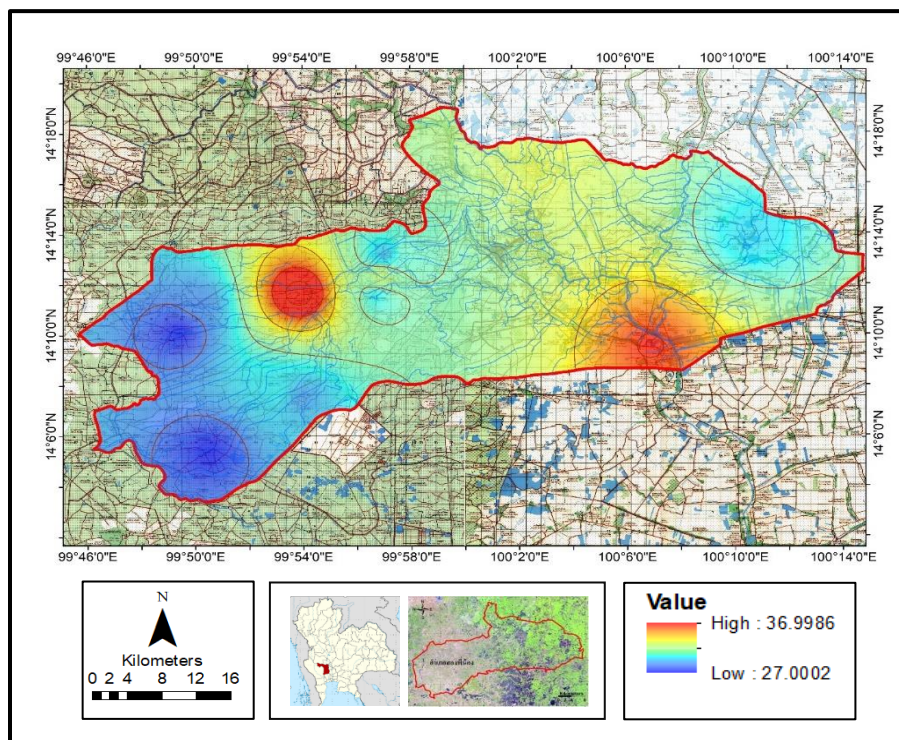
4.3



รูปที่ 4.3 แผนที่แสดงค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำบาดาล

4.1.3 อุณหภูมิ

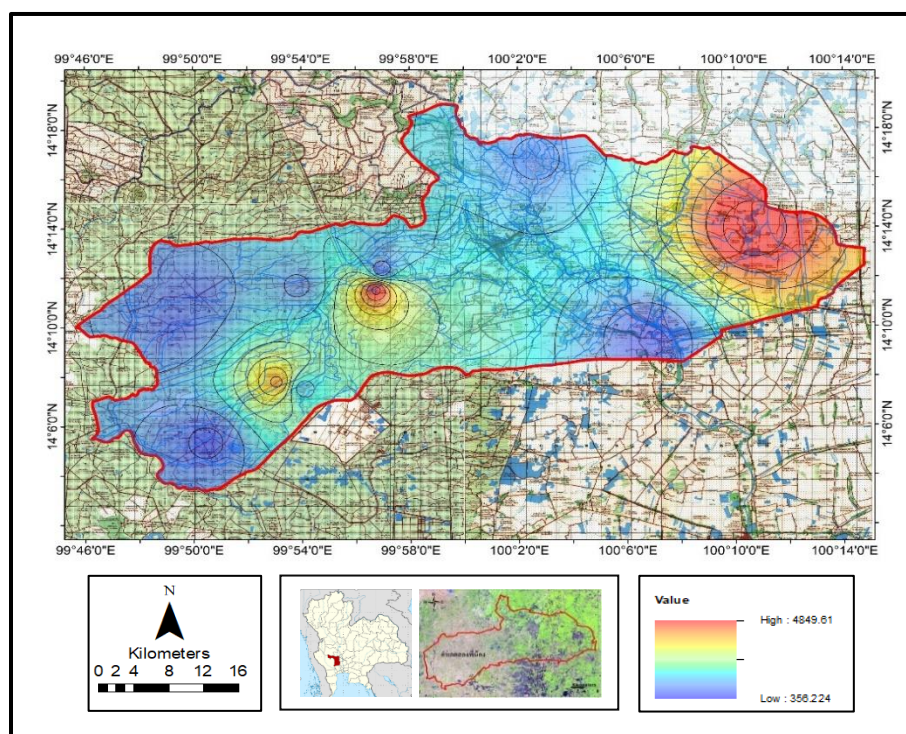
อุณหภูมิของน้ำบาดาลมีค่าตั้งแต่ 27 ถึง 30.8 องศาเซลเซียส (°C) โดยมีข้อมูลบางจุดศึกษาที่ไม่สามารถนำมาใช้ได้ เนื่องจากน้ำที่เก็บมานั้นไม่ได้เก็บจากบ่อโดยตรง ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 แผนที่แสดงอุณหภูมิของน้ำบาดาล

4.1.4 ค่าความนำไฟฟ้า (electric conductivity)

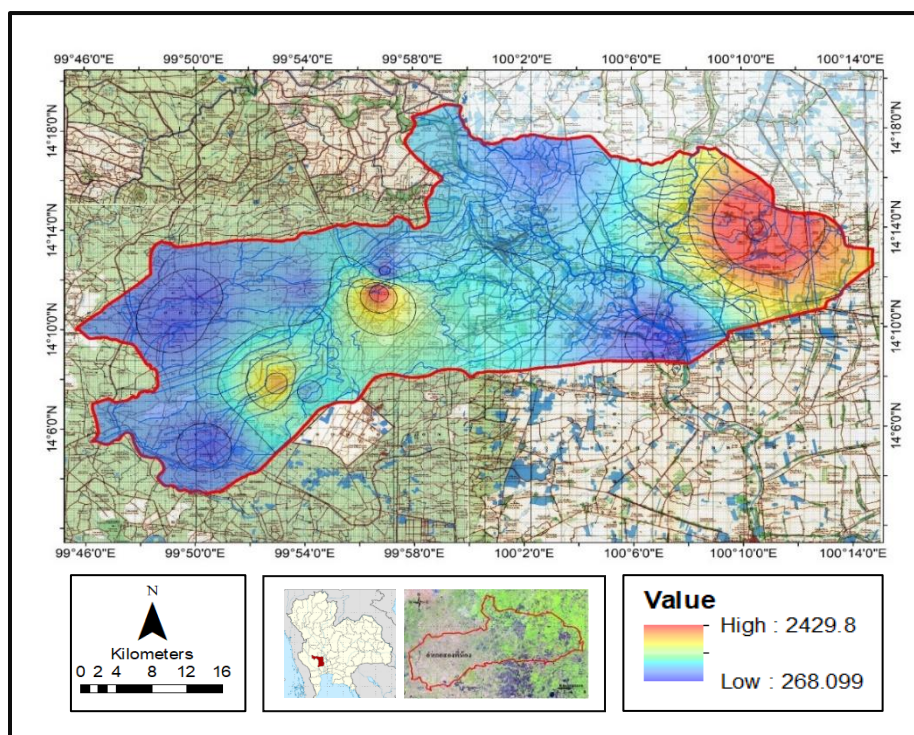
ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำบาดาลมีค่าตั้งแต่ 356 ถึง 4849 ไมโครซีเมนต์ (μS) ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แผนที่แสดงค่าความนำไฟฟ้าของน้ำบาดาล

4.1.5 ค่าปริมาณของแข็งในน้ำ (total dissolved solid)

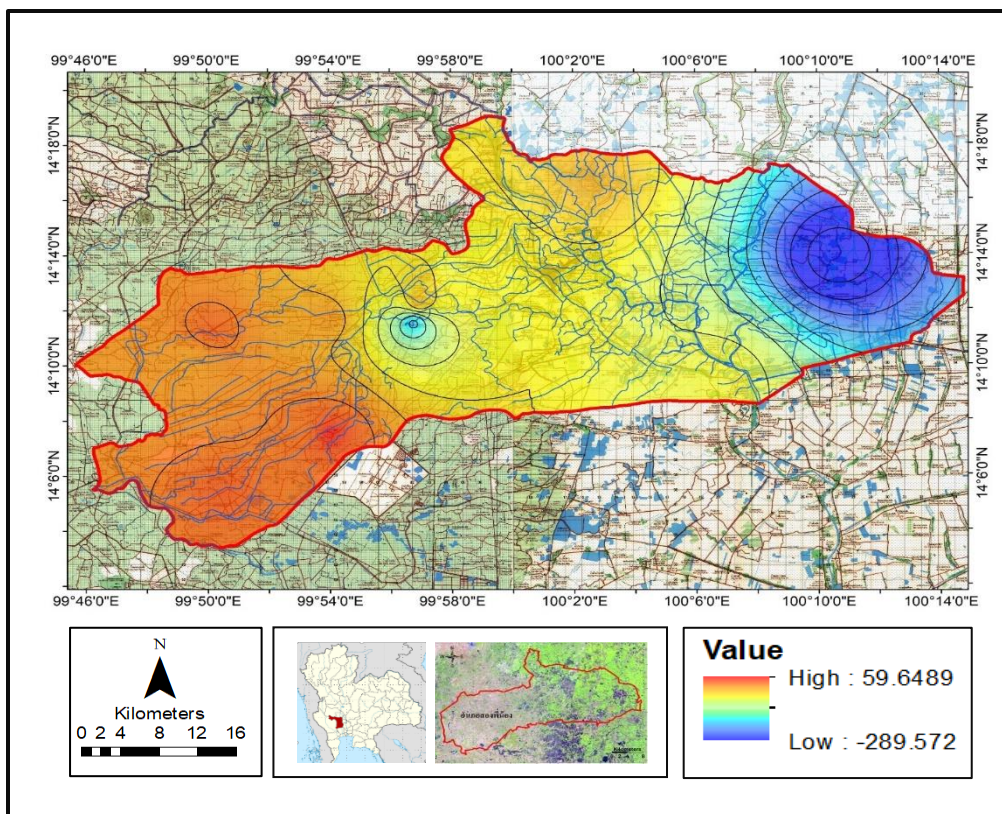
ค่าปริมาณของแข็งในน้ำของน้ำบาดาลมีค่าตั้งแต่ 268 ถึง 2430 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) และค่าปริมาณของแข็งในน้ำในแต่ละจุดศึกษามีค่าสอดคล้องกับค่าความนำไฟฟ้าในหัวข้อ 4.2.4 โดยค่าปริมาณของแข็งในน้ำหากมีค่าเกิน 1000 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้นถือว่าไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ใน ชีวิตประจำวันเนื่องจากการปนเปื้อนสูง ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงค่าปริมาณของแข็งในน้ำของน้ำบาดาล

4.1.6 ค่าศักย์รีดอกซ์ (oxidation reduction potential)

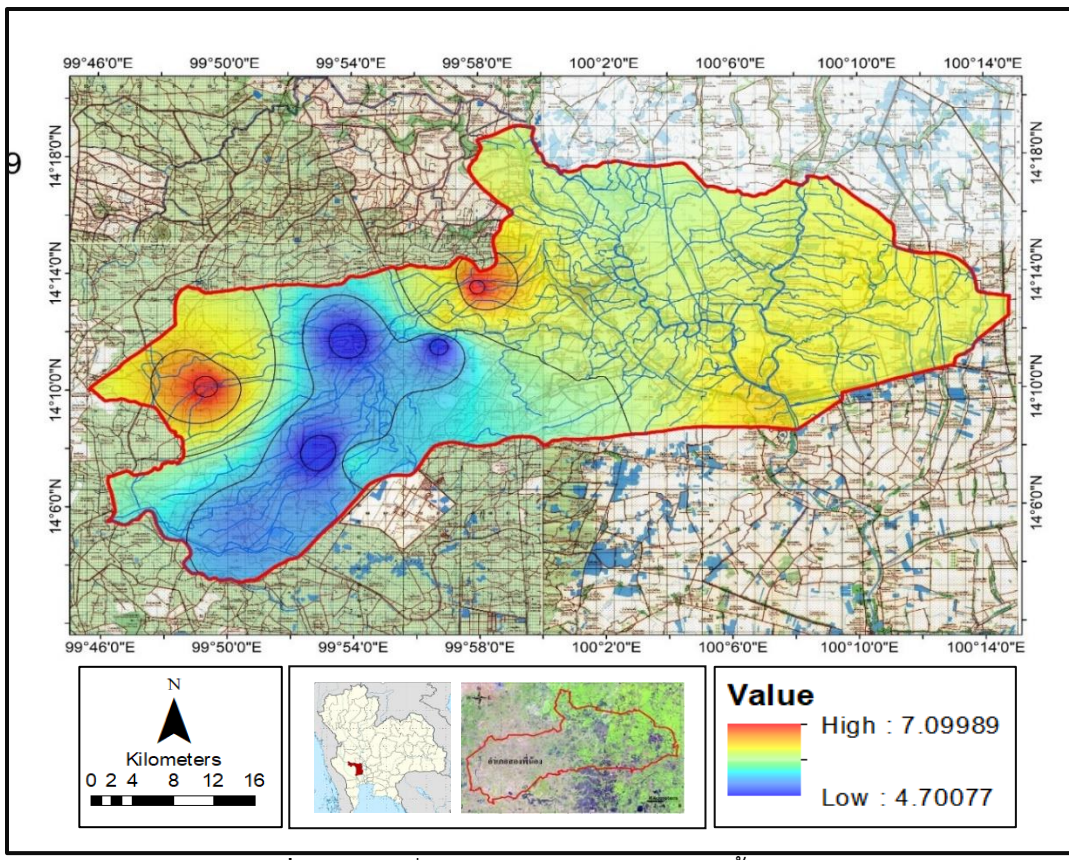
ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์มีค่าเป็นลบ 7 จุดศึกษา และมีค่าเป็นบวก 6 จุดศึกษา โดยมีค่าตั้งแต่ -289.6 ถึง 59.7 มิลลิโวลต์ (mV) สำหรับค่าศักย์รีดอกซ์แสดงถึงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาหากมีค่าติดลบมากแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้ง่าย ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แผนที่แสดงค่าศักยภาพรีดอกซีในน้ำบาดาล

4.1.7 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen)

ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำบาดาลมีค่าตั้งแต่ 4.7 ถึง 7.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) โดยหากมีค่าต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตรแสดงว่าน้ำในบริเวณนั้นมีคุณภาพต่ำ หากมีค่าเกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตรถือว่าน้ำมีคุณภาพดี ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แผนที่แสดงค่าออกซิเจนละลายในน้ำบาดาล

4.2 ความเข้มข้นของไอออนบวกและไอออนลบ (concentrations of cations and anions values)

คุณลักษณะทางอุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาลจากการวิเคราะห์ โดยมีผลการวิเคราะห์ค่าของไอออนบวก (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+) และไอออนลบ ($F^-, Cl^-, NO_3^-, NO_2^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}$) ดังตารางที่ 4.3

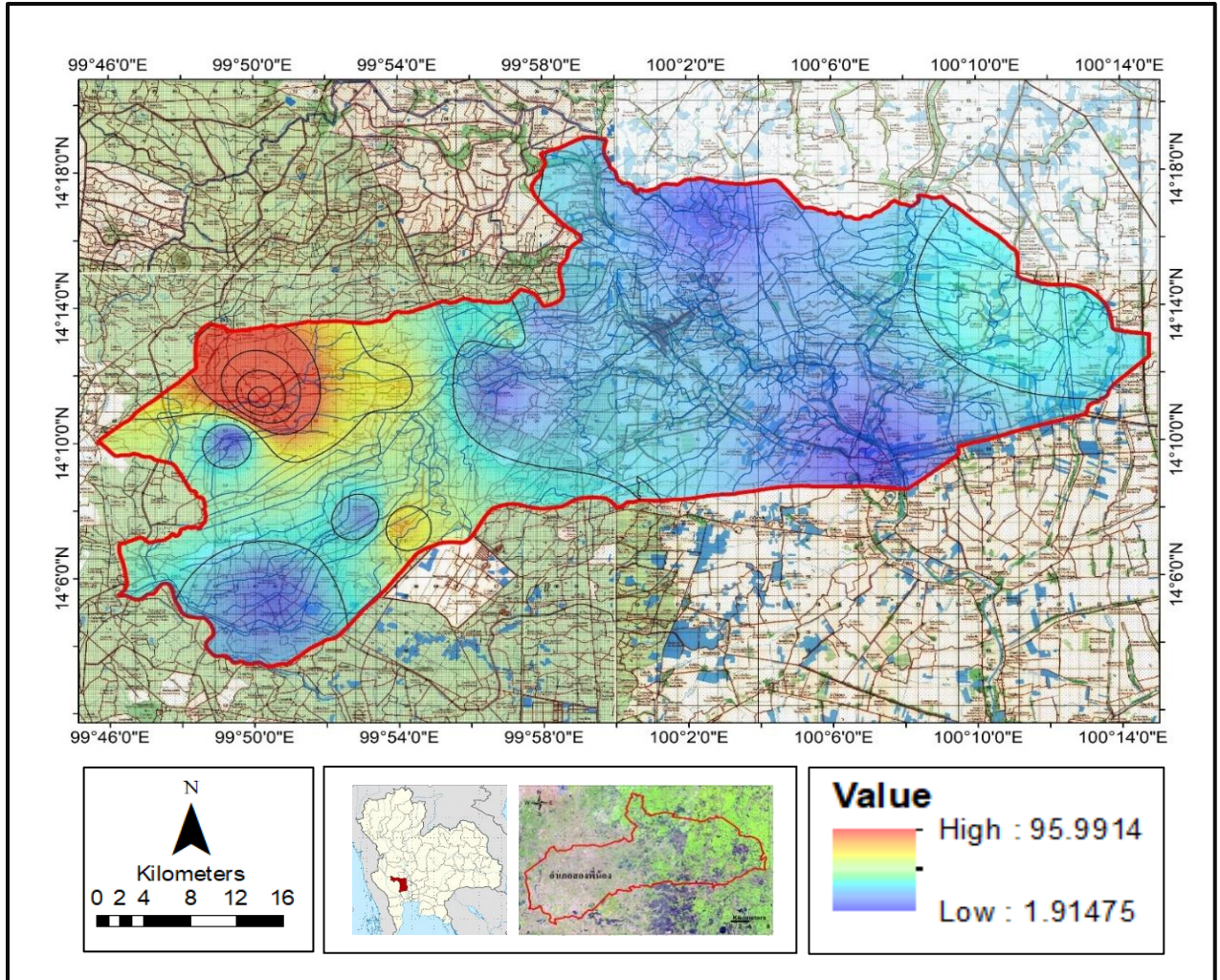
ตารางที่ 4.3 รายละเอียดการวิเคราะห์ปริมาณไอออน (mg/l)

Sample	Cl ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)
W1	269.22	1.97	2.62	273.40	n.a.	44.60	6.20	19.20
W2	241.38	7.22	2.15	294.42	n.a.	26.70	15.10	24.00
W3	577.67	9.72	32.42	641.08	n.a.	40.90	13.80	61.80
W4	842.97	6.43	8.68	n.a.	n.a.	110.80	40.70	70.60
W5	291.25	3.89	22.29	n.a.	n.a.	104.40	23.70	57.80
W6	1.00	4.04	37.53	1297.00	3439.28	86.20	19.00	198.00
W7	726.99	20.58	2.79	368.21	n.a.	3.50	1.90	93.00
W8	2105.70	8.01	4.67	n.a.	n.a.	204.40	91.00	477.00
W9	463.86	10.38	6.65	56.13	n.a.	7.26	3.80	89.80
W10	59.43	5.21	96.01	364.58	n.a.	40.40	7.50	4.50
W11	160.14	18.23	1.91	64.00	n.a.	2.70	1.50	104.20
W12	1.00	3.92	18.44	n.a.	15769.92	95.40	102.00	441.00
W13	1.00	5.18	7.30	n.a.	9329.57	171.10	71.00	269.00

n.a. = not available

4.3 การกระจายตัวของไนเตรท

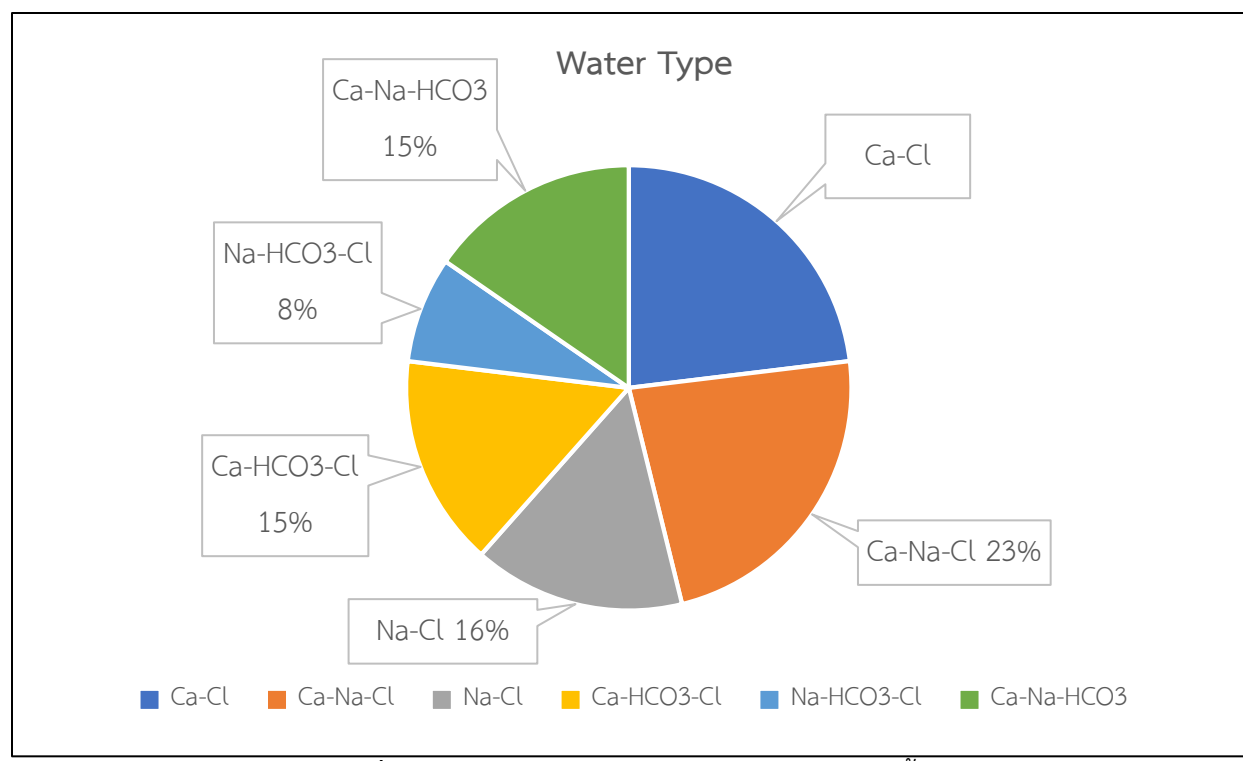
ปริมาณของไนเตรทในน้ำบาดาลนั้นบางบริเวณมีค่าสูงได้แก่ W3 W5 W6 และW10 มีค่าตั้งแต่ 22.29 ถึง 96.01 mg/l ซึ่งแหล่งที่มาของไนเตรทเป็นได้ทั้งธรรมชาติหรือจากการกระทำของมนุษย์ โดยความเข้มข้นไนเตรทนั้นพบว่ามีค่ามากบริเวณฝั่งตะวันตกของพื้นที่อำเภอสองพี่น้อง และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 96.01 mg/l ที่บ่อ W10 ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การกระจายตัวของไนเตรทในพื้นที่ศึกษา

4.4 ชนิดของน้ำ (water type)

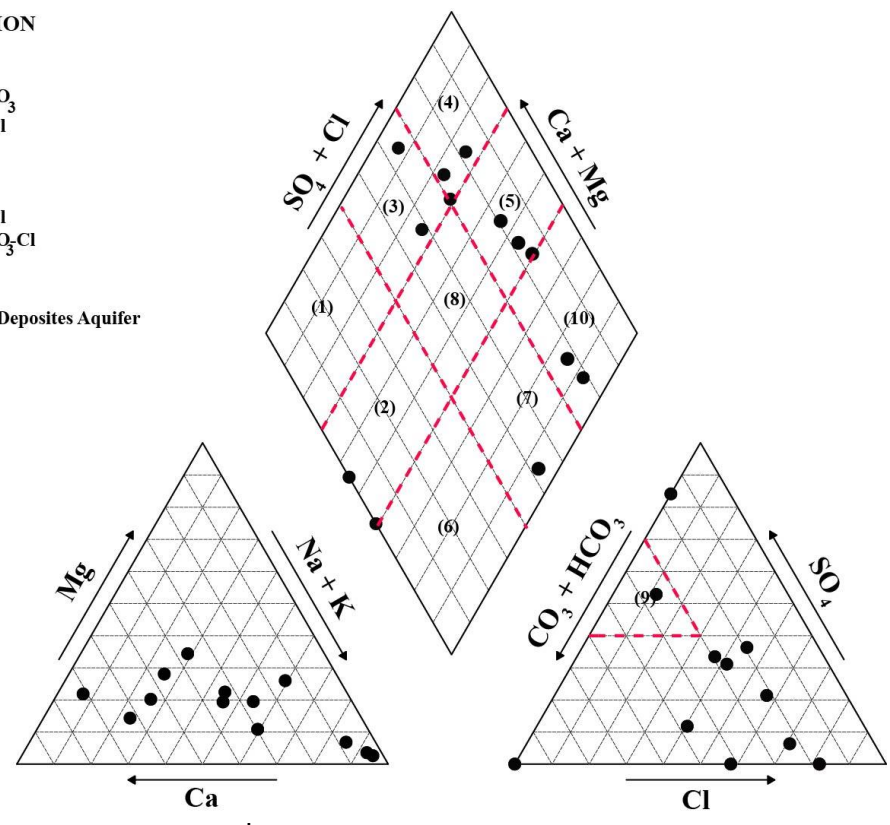
การระบุชนิดของน้ำสามารถแบ่งโดยใช้แผนภูมิไปเปอร์ (piper diagram) (Galloway & Kaiser,1980) ซึ่งทำการสร้างแผนภูมิจากลักษณะทางอุทกธรณีเคมีที่ทำการตรวจวัดได้ โดยภายในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยน้ำทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ Ca-Cl 23%, Ca-Na-Cl 23%, Na-Cl 16%, Ca-Na-HCO₃⁻, Ca- HCO₃⁻Cl 15%, Na-HCO₃⁻Cl 8% ดังรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 แผนภูมิวงกลมแสดงเปอร์เซ็นต์ชนิดของน้ำ

EXPLANATION

- 1 = Ca-HCO₃
- 2 = Ca-Na-HCO₃
- 3 = Ca-HCO₃-Cl
- 4 = Ca-Cl
- 5 = Ca-Na-Cl
- 6 = Na-HCO₃
- 7 = Na-HCO₃-Cl
- 8 = Ca₂Na-HCO₃-Cl
- 9 = SO₄
- 10 = Na-Cl
- Floodplain Deposites Aquifer



รูปที่ 4.11 piper diagram

ตารางที่ 4.4 รายละเอียดชนิดของน้ำแต่ละจุดศึกษา

Sample	Water Type	Sample	Water Type
W1	Ca-Cl	W8	Ca-Na-Cl
W2	Ca-Cl	W9	Na-Cl
W3	Ca-Na-Cl	W10	Ca-HCO ₃ -Cl
W4	Ca-Cl	W11	Na-HCO ₃ -Cl
W5	Ca-HCO ₃ -Cl	W12	Ca-Na-HCO ₃
W6	Ca-Na-Cl	W13	Ca-Na-HCO ₃
W7	Na-Cl		

การศึกษาชนิดของน้ำสามารถใช้ในการระบุได้ว่าหากน้ำคนละชนิดกัน สันนิษฐานได้ว่าแคทไอออนและแอนไอออนในน้ำแต่ละจุดศึกษานั้นก็มาจากแหล่งที่มาคนละแหล่งกัน

จากข้อมูลเราจะเห็นว่าตัวอย่างน้ำส่วนใหญ่มีปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl⁻) เป็นหลัก ทำให้ทราบได้ว่าน่าจะเกิดจากการกระทำของมนุษย์

4.5 อัตราส่วนไอโซโทปเสถียร (stable isotope ratio)

นอกจากการแปลผลจากไอออนต่างๆแล้ว ยังใช้ผลวิเคราะห์ค่าไอโซโทปเสถียรมาช่วยในการอธิบายได้ โดยผลการวิเคราะห์ไอโซโทปนี้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาลได้สำหรับค่าไอโซโทปเสถียรที่ทำการวิเคราะห์ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าไอโซโทปเสถียรแต่ละจุดศึกษา

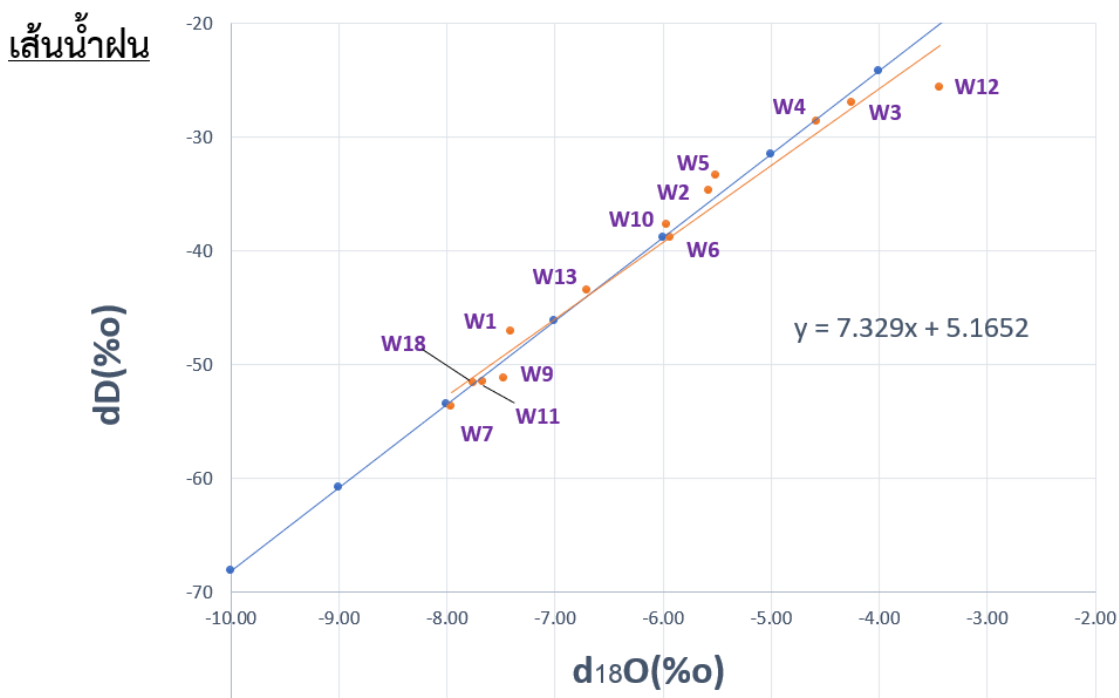
Sample	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	Sample	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)
W1	-7.40	-47.13	W8	-7.75	-51.64
W2	-5.58	-34.73	W9	-7.47	-51.15
W3	-4.25	-26.93	W10	-5.96	-37.72
W4	-4.57	-28.66	W11	-7.66	-51.55
W5	-5.51	-33.35	W12	-3.44	-25.63
W6	-5.94	-38.88	W13	-6.71	-43.50
W7	-7.96	-53.66			

ผลของค่า $\delta^2\text{H}$ ในน้ำบาดาลมีค่าตั้งแต่ -53.66‰ ถึง -25.63‰ ส่วน $\delta^{18}\text{O}$ มีค่าตั้งแต่ -7.96‰ ถึง -3.44‰ เมื่อนำค่าอัตราส่วนไอโซโทปเสถียรมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^2\text{H}$ (‰) กับ $\delta^{18}\text{O}$ (‰) พบว่าอัตราส่วนของน้ำบาดาลอยู่ใกล้กับเส้นน้ำฝนกรุงเทพ ดังนั้นสามารถสร้างเส้นแนวโน้มของน้ำบาดาล (เส้นสีส้ม) ซึ่งเรียกว่า เส้นการระเหย (evaporation trend) และสร้างสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\delta^{18}\text{O} = 4.23776\delta^2\text{H} - 17.392$$

สำหรับในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยน้ำบาดาลที่มีค่าอัตราส่วนตกอยู่บนเส้นน้ำฝนกรุงเทพเป็นส่วนใหญ่ทำให้ทราบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่เติมน้ำ (recharge area) โดยลักษณะภูมิประเทศของบริเวณนี้เป็นที่ราบสูงสำหรับจุดศึกษาที่ W12 เป็นจุดที่มีค่าอัตราส่วนอยู่ห่างจากเส้นน้ำฝนกรุงเทพแสดงให้เห็นว่าน้ำบาดาลในกลุ่มนี้จะเกิดการระเหยก่อนซึมลงสู่ชั้นน้ำ ซึ่งเห็นได้จากรูปที่ 4.12

โดยการแปลความไอโซโทปเสถียรนี้ทำให้ทราบว่าน้ำผิวดินและน้ำบาดาลตลอดพื้นที่ศึกษามีความสัมพันธ์กันโดยสามารถไหลเชื่อมต่อกันได้ (Jiang, 2019) ทำให้ในการหาแหล่งที่มาของไนเตรทจึงจำเป็นต้องพิจารณารวมกับการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^2\text{H}$ (‰) กับ $\delta^{18}\text{O}$ (‰)

4.6 แหล่งที่มาของไนเตรท (nitrate sources)

การระบุแหล่งที่มาของไนเตรทแสดงโดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{15}\text{N}_{\text{Air}}$ (‰) กับ $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰) โดยแต่ละกราฟมีตำแหน่งที่แน่นอนในการอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของไนเตรทที่มาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

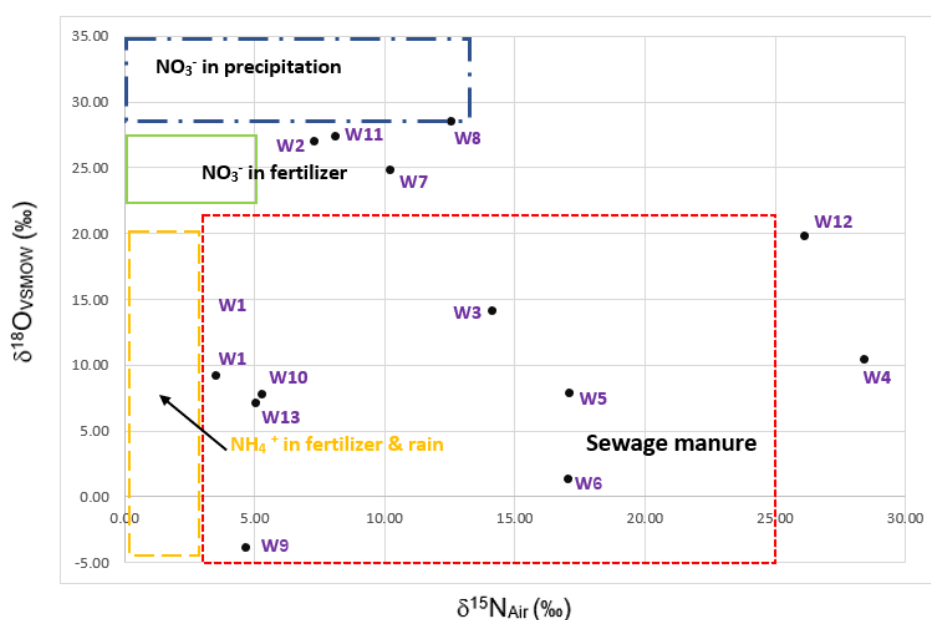
4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\delta^{15}\text{N}_{\text{Air}}$ (‰) กับ $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰)

เนื่องจากการวิเคราะห์ค่า $\delta^{15}\text{N}_{\text{Air}}$ (‰) และ $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰) ของตัวอย่างแต่ละจุดศึกษา ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าไอโซโทปเสถียรของแต่ละจุดศึกษา

Sample	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Air}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰)	Sample	$\delta^{15}\text{N}_{\text{Air}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰)
W1	3.51	9.15	W8	n.a.	n.a.
W2	n.a.	n.a.	W9	4.70	-3.92
W3	14.13	14.06	W10	5.28	7.75
W4	28.42	10.39	W11	n.a.	n.a.
W5	17.13	7.81	W12	26.12	19.79
W6	n.a.	n.a.	W13	5.08	7.12
W7	n.a.	n.a.			

n.a. = Not Available



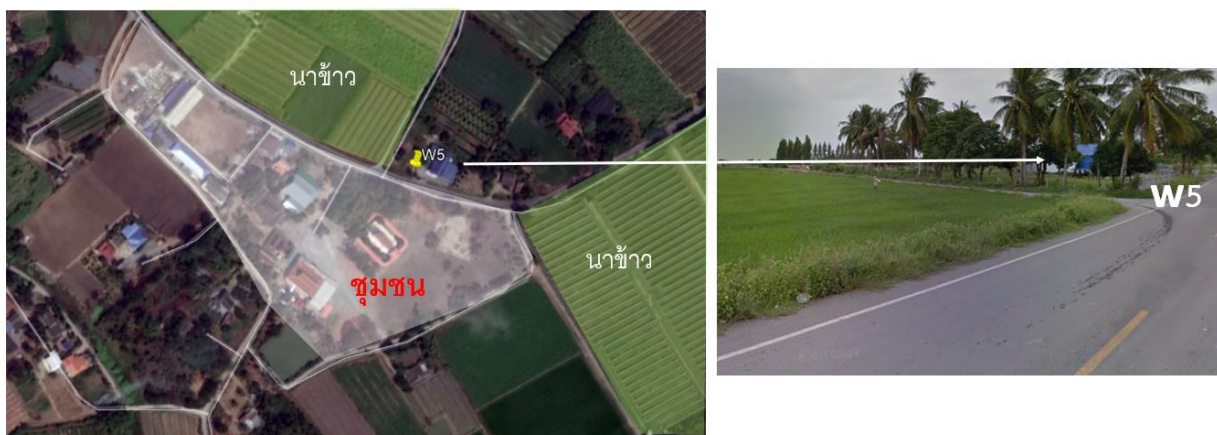
รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{15}\text{N}_{\text{Air}}$ (‰) และ $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰) (ปรับปรุงจาก Saccon,2013)

4.7 การแปลความ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{15}\text{N}_{\text{Air}}$ (‰) และ $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰) (Saccon, 2013) น้ำบาดาลที่จุดศึกษาต่างๆอาจได้รับอิทธิพลจากแหล่งที่มาต่างๆได้ทั้งหมด 3 แหล่ง ได้แก่ จากการปล่อยน้ำทิ้งของกิจกรรมมนุษย์ มูลสัตว์ และการใช้ปุ๋ยจำพวกปุ๋ยคอก แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับการใช้ประโยชน์ที่ดินรูปที่ 4.14 พบว่าในพื้นที่ศึกษาในบริเวณดังกล่าวไม่มีการใช้ปุ๋ยคอกและเลี้ยงสัตว์ ดังนั้นโอกาสที่ไนเตรทที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาลจะมาจากการใช้ปุ๋ยคอกหรือมูลสัตว์ จึงมีความเป็นไปได้น้อย นอกจากนี้ตำแหน่งของจุดศึกษาที่เกิดการปนเปื้อนของไนเตรทนั้นจะเป็นตำแหน่งที่อยู่ในพื้นที่ที่อยู่อาศัยหรือพื้นที่ชุมชน จึงเป็นไปได้ว่าสาเหตุของการปนเปื้อนน่าจะมาจากการปล่อยน้ำเสียของกิจกรรมมนุษย์



รูปที่ 4.14 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณจุดศึกษาที่ W10



รูปที่ 4.15 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณจุดศึกษาที่ W5

4.8 กระบวนการที่เกี่ยวข้อง

จากบทที่ 2 กระบวนการสร้างไนเตรท (nitrification) และกระบวนการสลายไนเตรท (denitrification) เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าไนเตรทได้ ซึ่งกระบวนการสร้างไนเตรทเป็นกระบวนการที่ต้องอยู่ภายใต้สภาวะมีออกซิเจน (aerobic condition) และเป็นปฏิกิริยาจ่ายอิเล็กตรอน (oxidation reaction) สำหรับกระบวนการสลายไนเตรทเป็นกระบวนการที่ต้องอยู่ภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน (anaerobic condition) และเป็นปฏิกิริยารับอิเล็กตรอน (reduction reaction) ดังนั้นค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen, DO) จึงสามารถใช้เป็นตัวบอกระดับปฏิกิริยาได้

จากงานวิจัยของ Pasten-Zapata et al. (2014) ระบุว่ากระบวนการสลายไนเตรทไม่ได้เกิดขึ้นหากมีค่าปริมาณออกซิเจนมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และกระบวนการสร้างไนเตรทจะลดลงอย่างรวดเร็วหากปริมาณออกซิเจนมีค่าประมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ค่าศักย์ภาพในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (oxidation – reduction potential, ORP) ยังสามารถใช้เป็นหลักฐานในการสนับสนุนเงื่อนไขของแต่ละปฏิกิริยาได้ โดยหากมีค่าศักย์ภาพในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์มีค่ามากกว่า 0 แสดงว่าเหมาะแก่การเกิดปฏิกิริยาจ่ายอิเล็กตรอน แต่หากค่าศักย์ภาพมีค่าน้อยกว่า 0 แสดงว่าเหมาะแก่การเกิดปฏิกิริยารับอิเล็กตรอน

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/l) และค่าศักย์ภาพในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (mg/l)

Sample	DO (mg/l)	ORP (mg/l)	Sample	DO (mg/l)	ORP (mg/l)
W1	46.3	5.3	W8	-156	4.8
W2	10.8	7.1	W9	-4.7	6.4
W3	11.8	4.8	W10	41.6	6.3
W4	-49.1	7.1	W11	-46.8	6.4
W5	-20.1	6.2	W12	-289.6	6.3
W6	59.7	5.7	W13	32.9	4.7
W7	-1.7	6			

จากที่กล่าวไปข้างต้นทำให้ทราบว่าพื้นที่ศึกษาที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมแก่การเกิดกระบวนการสร้างไนเตรท และกระบวนการสลายไนเตรท เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าปริมาณออกซิเจนมีค่ามากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่มีค่าศักย์ภาพในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ทั้งมากกว่า และน้อยกว่า 0

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

ลักษณะภูมิประเทศในพื้นที่ศึกษาเป็นที่ราบเป็นส่วนใหญ่พื้นที่ด้านตะวันตกจะมีความสูงมากกว่าซึ่งถือว่าเป็นพื้นที่เพิ่มเติมน้ำ (recharge area) และพื้นที่ด้านตะวันออกซึ่งเป็นพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำจัดเป็นพื้นที่สูญเสียน้ำ (discharge area) โดยทิศทางการไหลของน้ำผิวดินมีการไหลจากด้านตะวันตกไปทางด้านตะวันออก ในพื้นที่ศึกษาให้ชนิดน้ำที่แตกต่างกันและมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาพบว่าชนิดของน้ำในพื้นที่เป็น Ca-Na-Cl มีคลอไรด์ไอออนเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากความเข้มข้นของคลอไรด์มีค่าสูงเมื่อเทียบกับปริมาณไอออนอื่นๆ จึงทำให้ทราบว่าพื้นที่ศึกษานี้ได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ ดังนั้นค่าของไอออนอื่นรวมทั้งไนเตรทอาจได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์เช่นกัน นอกซึ่งเมื่อพิจารณาพร้อมกับผลวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรพบว่าน้ำบาดาลแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกเกิดจากการเติมน้ำฝนโดยตรงโดยกลุ่มนี้พบการกระจายตัวอยู่ด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษาและในบริเวณดังกล่าวมีการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น การปลูกพืชไร่ ปลูกข้าว ที่พักอาศัย เป็นต้น และกลุ่มที่สองมีการระเหยเกิดขึ้นก่อนที่จะซึมลงสู่ชั้นน้ำ โดยกลุ่มที่สองนี้พบการกระจายตัวบริเวณด้านตะวันออกของพื้นที่

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของไนเตรทไอออน พบว่าจุดศึกษา W10 มีค่าปริมาณสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 96.01 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{15}\text{N}_{\text{Air}}$ (‰) และ $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰) เพื่อใช้ระบุแหล่งที่มาของไนเตรทที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาล

จากการศึกษาทำให้ทราบว่าไนเตรทในพื้นที่ศึกษาเกิดจากทั้งธรรมชาติ และการกระทำของมนุษย์ โดยในแต่ละพื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากแหล่งที่มาคนละชนิด แต่ที่เห็นได้ชัดคือการปล่อยน้ำเสียของกิจกรรมมนุษย์เป็นแหล่งกำเนิดหลักของไนเตรท ซึ่งกลไกการของไนเตรทในพื้นที่เกิดจากกระบวนการสร้างไนเตรทเป็นหลักและบางบริเวณมีการชะล้างไนเตรทร่วมด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะ

- ควรทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเวลาตามฤดูร้อนและฤดูฝน
- ควรทำการวัดปริมาณแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ในน้ำตัวอย่าง
- ควรทำการวัดปริมาณสารประกอบไนเตรท ได้แก่ แอมโมเนียมไอออน ไนไตรท์ไอออน และไนเตรทไอออน ในดินที่อยู่ในบริเวณเดียวกับจุดศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล.2552.โครงการประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนของมลสารทางการเกษตรลงสู่แหล่งน้ำบาดาลและออกแบบแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดสุพรรณบุรี. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- ณัชพัชร คารวะ.2559.การประยุกต์ไอโซโทปเสถียรเพื่อประเมินการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำบาดาลบริเวณอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี.โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์, ภาควิชาธรณีวิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 90
- Capri, E. and others "Assessment of Nitrate Contamination Risk: The Italian Experience." *Journal of Geochemical Exploration* 102, no. 2 (08 2009): 71-86.
- Magda, E. and Gaber, Z. "Impact of Landfill Leachate on the Groundwater Quality: A Case Study in Egypt." *Journal of Advanced Research* 6, no. 4 (07 2015): 579-86.
- Hajhamad, L. and Mohammad, A. "Assessment of Nitrate Contamination of Groundwater Using Lumped-parameter Models." *Environmental Modelling & Software* 24, no. 9 (09,2009): 1073-087.
- Jalali, M. "Nitrate Pollution of Groundwater in Toyserkan, Western Iran." *Environmental Earth Sciences* 62, no. 5 (05, 2010): 907-13.
- Re, V., Elisa, S. and Enrico, A. "The Use of Nitrate Isotopes to Identify Contamination Sources in the Bou-Areg Aquifer (Morocco)." *Procedia Earth and Planetary Science* 7 (2013): 729-32.
- Shukla, S. and Abhishek, S. "Global Status of Nitrate Contamination in Groundwater: Its Occurrence, Health Impacts, and Mitigation Measures." *Handbook of Environmental Materials Management*, 2018, 1-21.
- Wisittamasri, W. and Chotpantararat, S., 2016. "Isotope Evidence of Rainfall and Groundwater for Tracing Recharge Areas in Kaeng Khoi District, Saraburi Province, Thailand". *Applied Environmental Research* 38 (3), 49-58.

ภาคผนวก

ตาราง แสดงตำแหน่งจุดศึกษา

ภาคผนวก

จุดศึกษา

รูปภาพ

W1



W2



W3



W4



W5



W6



W7



W8



W9



W10



W11

ไม่มีรูปภาพ

W12



W13

