

การประยุกต์ไอโซโทปเสถียรเพื่อประเมินการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำบาดาล
บริเวณอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

นายณัฐพัชร์ คารวะ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559

APPLICATION OF STABLE ISOTOPES TO ASSESS NITRATE CONTAMINATION OF
GROUNDWATER IN AMPHOE PHATTHANA NIKOM, CHANGWAT LOPBURI

Mr. Nattapat Karava

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 2016

หัวข้อโครงการ

การประยุกต์ไอโซโทปเสถียรเพื่อประเมินการปนเปื้อน
ของไนเตรทในน้ำบาดาล บริเวณอำเภอพัฒนานิคม
จังหวัดลพบุรี

โดย

นายณัฐพัชร คารวะ

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์

วันที่ส่ง.....

วันที่อนุมัติ.....

.....
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์)

ณัฐพัชร คารวะ : การประยุกต์ไอโซโทปเสถียรเพื่อประเมินการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำบาดาล บริเวณอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี. (APPLICATION OF STABLE ISOTOPES TO ASSESS NITRATE CONTAMINATION OF GROUNDWATER IN AMPHOE PHATTHANA NIKOM, CHANGWAT LOPBURI) อ. ที่ปรึกษาโครงการหลัก : รศ.ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์, 74 หน้า.

พื้นที่อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี ได้ถูกพัฒนาให้เป็นพื้นที่อุตสาหกรรม และเกษตรกรรมมากขึ้น อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรทสู่น้ำบาดาลที่มีปริมาณไนเตรทสูงกว่า 45 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐานน้ำบาดาลสำหรับการบริโภค การบริโภคน้ำที่มีปริมาณไนเตรทสูงเป็นระยะเวลานานสามารถนำไปสู่ โรคนิ่วในทารก (blue baby syndrome) ของเด็กทารกในครรภ์ การแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงควรเริ่มตั้งแต่การหาแหล่งกำเนิดของไนเตรท เนื่องจากต้นกำเนิดของไนเตรทเป็นได้ทั้งแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ และจากการกระทำของมนุษย์ ดังนั้นจุดประสงค์ของโครงการจึงเพื่อประเมินแหล่งที่มาของไนเตรทและอธิบายกลไกระบบน้ำบาดาล ในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยชั้นน้ำทั้งหมด 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นตะกอนตะกัปลำน้ำ (Qt) ชั้นหินไรโอไลต์กลุ่มหินห้วยส้ม (PTrhs) ชั้นหินปูนหมวดหินหนองโป่ง (Pn) และหมวดหินเขาขวาง (Pkg) ซึ่งการระบุแหล่งที่มาของไนเตรทสามารถระบุได้ด้วยข้อมูลอุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาล ได้แก่ ปริมาณไอออนบวก (Fe , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) ปริมาณไอออนลบ (Cl^- , F^- , Br^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) และความกระด้างในน้ำ ตัวอย่าง นอกจากนี้ยังใช้ข้อมูลค่าไอโซโทปเสถียรของน้ำ ได้แก่ $\delta^{18}O$ และ δ^2H ซึ่งสนับสนุนการระบุแหล่งที่มาของไนเตรทในน้ำบาดาล

ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาลมีค่าตั้งแต่ 0.33 – 205.47 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ย 47.44 มิลลิกรัมต่อลิตร พบทั้งหมด 9 จุดศึกษาที่มีปริมาณไนเตรทเกินค่ามาตรฐานน้ำดื่ม ได้แก่ KG9 KG12 KG21 KG22 KG40 KG41 KG46 KG48 และ UN1 สำหรับค่าไอโซโทปเสถียรในน้ำบาดาล พบว่ามีค่า $\delta^{18}O$ ตั้งแต่ -48.20‰ ถึง -22.53‰ และ δ^2H ตั้งแต่ -7.21‰ ถึง -2.28‰ จากแผนภูมิไปป์เปอร์แสดงให้เห็นว่าน้ำส่วนใหญ่เป็นชนิด $Ca-HCO_3$ ซึ่งพบในชั้นน้ำหินปูนหมวดหินหนองโป่งเป็นหลัก และจากผลการศึกษาพบว่าการปนเปื้อนของไนเตรทเกิดจากทั้งกระบวนการทางธรรมชาติ และการกระทำของมนุษย์ เช่น การทำเกษตรกรรม รวมถึงการปล่อยน้ำเสียจากโรงงานและแหล่งชุมชน ซึ่งการทำเกษตรกรรมเป็นกระบวนการหลักที่ทำให้เกิดการปนเปื้อน โดยแต่ละจุดศึกษาจะได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดคนละชนิดกัน ซึ่งมีกลไกหลักของการปนเปื้อนของไนเตรทในพื้นที่จากกระบวนการสร้างไนเตรท (nitrification) และกระบวนการเจือจาง (dilution effect) ระบุได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนไอโซโทปเสถียร (fractionation) ของน้ำบาดาล

ภาควิชา.....ธรณีวิทยา.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....ธรณีวิทยา.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาโครงการหลัก.....
 ปีการศึกษา.....2559.....

5632710123 : MAJOR GEOLOGY

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

NATTAPAT KARAVA : APPLICATION OF STABLE ISOTOPES TO ASSESS NITRATE CONTAMINATION OF GROUNDWATER IN AMPHOE PHATTHANA NIKOM, CHANGWAT LOPBURI. ADVISOR : ASSOC. PROF. SRILERT CHOTPANTARAT, Ph.D., 74 pp.

Amphoe Phatthana Nikom, Changwat Lopburi has been developed to industrial and agricultural areas. As a result, it may lead to nitrate concentration, which is possible to be over the drinking water standard (> 45 mg/l). A consumption high nitrate 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. Typically, the nitrate contamination sources can be categorized into 2 sources from natural and/or anthropogenic activities. This study aimed to evaluate the sources of nitrate contamination and explain the mechanism in groundwater system. In the study area, there are 3 aquifers consisting of Quaternary Terrace aquifer (Qt), rhyolite aquifer Huai Som Group (PTrhs) and karst aquifer Nong Pong Formation (Pn) and Khao Khwang Formation (Pkg). The identification of sources can be used hydrogeochemistry data, consisting of cations (e.g., Fe, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), anions (e.g., Cl^- , F^- , Br^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) and alkalinity in water sample. Furthermore, stable isotopes, $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$, were analyzed to further support the identification of nitrate sources.

The nitrate concentration in groundwater ranged from 0.33 – 205.47 mg/l with an average of 47.44 mg/l. There are 9 stations, KG9, KG12, KG21, KG22, KG40, KG41, KG46, KG48 and UN1, which found nitrate concentration exceeding the drinking water standard. Isotope compositions of groundwater were found to have $\delta^{18}\text{O}$ values ranging from -48.20‰ to -22.53‰ while $\delta^2\text{H}$ values ranging from -7.21‰ to -2.28‰. According to piper diagram, the major water types is Ca- HCO_3 , mainly found in Nong Pong Formation (Pn). According to the criteria from the previous studies, the results showed that the sources of NO_3^- could come from both natural and anthropogenic activities such as agricultural activities, as well as waste water from industrial and municipal areas. Agricultural activities are the main source of nitrate. However, in each station, they are affected from different sources. The main mechanism of nitrate contamination in this area are a nitrification process and dilution effect, which can be indicated by the fractionation of stable isotopes.

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

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

Academic Year :2016.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนให้การดูแลในทุกเรื่องจนจบระยะเวลาในการทำโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณอาจารย์ ดร.สกลวรรณ ชาวไชย ที่ช่วยให้คำปรึกษาในการทำโครงการ

ขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือในวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย ที่ให้อนุญาตให้ใช้เครื่องมือภายใน และให้ความอนุเคราะห์ยืมเครื่องมือออกภาคสนาม

ขอบคุณนางสาววัลลภา วิศิษฐ์ธรรมศรี ที่ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านระหว่างการทำดำเนินงานจนสามารถสำเร็จได้ดี

ขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ช่วยเหลือในการสำรวจภาคสนามและทุก ๆ กำลังใจที่ช่วยให้การทำงานในครั้งนี้ประสบความสำเร็จ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 นิยามปัญหา.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	2
1.4 พื้นที่ศึกษา.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 ลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่.....	15
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	18
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	18
3.2 ขั้นตอนงานวิจัย.....	19
3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	20
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	25
4.1 ระดับน้ำบาดาล.....	27
4.2 ค่าความเป็นกรด - เบส.....	29
4.3 อุณหภูมิ.....	30
4.4 ค่าความนำไฟฟ้า.....	32
4.5 ค่าปริมาณของแข็งในน้ำ.....	33
4.6 ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์.....	35

4.7 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ.....	36
4.8 ความเข้มข้นของโลหะ ไอออนบวก ไอออนลบ และค่าไอโซโทปเสถียร.....	38
4.9 การกระจายตัวของไนเตรท และไนไตรท.....	40
4.10 ชนิดของน้ำ.....	42
4.11 อัตราส่วนไอโซโทปเสถียร.....	44
4.12 แหล่งที่มาของไนเตรท.....	47
4.13 การแปลความ.....	52
4.14 กระบวนการที่เกี่ยวข้อง.....	59
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล.....	64
5.1 อภิปรายผลการศึกษา.....	64
5.2 สรุปผลการศึกษา.....	65
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	66
รายการอ้างอิง.....	67
ภาคผนวก.....	68

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าอัลคาไลน์ตี.....	12
ตารางที่ 3.1 รายการข้อมูลที่ใช้ศึกษา.....	20
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดตำแหน่งเก็บตัวอย่าง.....	25
ตารางที่ 4.2 รายละเอียดระดับน้ำบาดาล.....	27
ตารางที่ 4.3 ตารางค่า pH ของแต่ละจุดศึกษา.....	29
ตารางที่ 4.4 รายละเอียดอุณหภูมิของน้ำแต่ละจุดศึกษา.....	31
ตารางที่ 4.5 รายละเอียดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำแต่ละจุดศึกษา.....	32
ตารางที่ 4.6 รายละเอียดค่าปริมาณของแข็งในน้ำของน้ำแต่ละจุดศึกษา.....	34
ตารางที่ 4.7 รายละเอียดอัตราการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ในน้ำของน้ำแต่ละจุดศึกษา.....	35
ตารางที่ 4.8 รายละเอียดค่าออกซิเจนละลายในน้ำของน้ำแต่ละจุดศึกษา.....	37
ตารางที่ 4.9 รายละเอียดการวิเคราะห์ปริมาณโลหะ ไอออนบวก (mg/l) และค่าไอโซโทปเสถียร (per mil).....	38
ตารางที่ 4.10 รายละเอียดการวิเคราะห์ปริมาณไอออนลบ (mg/l).....	39
ตารางที่ 4.11 รายละเอียดชนิดของน้ำแต่ละจุดศึกษา.....	43
ตารางที่ 4.12 ค่าไอโซโทปเสถียรแต่ละจุดศึกษา.....	45
ตารางที่ 4.13 สรุปแหล่งที่มาของไนเตรท.....	59

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 แสดงพื้นที่ศึกษาอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี.....	2
รูปที่ 2.1 วัฏจักรไนโตรเจน บริเวณชั้นดิน.....	3
รูปที่ 2.2 วัฏจักรไนโตรเจน.....	4
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างไอโซโทปเสถียร.....	5
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 แสดงการเผาและนำตัวอย่างเข้าสู่ช่องว่าง.....	9
รูปที่ 2.8 แสดงการตรวจวัดการคายพลังงาน.....	9
รูปที่ 2.9 หลักการทำงานของเครื่อง ICP-OES.....	10
รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของเครื่อง Ion Chromatography.....	11
รูปที่ 2.11 การไตเตรทหาค่าอัลคาลินิตี.....	13
รูปที่ 2.12 Piper Diagram.....	14
รูปที่ 2.13 แผนที่ธรณีวิทยาอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี.....	15
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน.....	19
รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อในการเก็บตัวอย่าง.....	21
รูปที่ 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการออกภาคสนาม.....	22
รูปที่ 3.4 การวัดระดับน้ำบาดาลด้วยเครื่องวัดระดับน้ำ.....	22
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างน้ำต่อ 1 จุดศึกษา.....	23
รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อในการเก็บตัวอย่าง.....	27
รูปที่ 4.2 แผนที่แสดงระดับน้ำบาดาล.....	28
รูปที่ 4.3 แผนที่แสดงค่า pH ของน้ำบาดาล.....	30
รูปที่ 4.4 แผนที่แสดงอุณหภูมิของน้ำบาดาล.....	31
รูปที่ 4.5 แผนที่แสดงค่าความนำไฟฟ้าของน้ำบาดาล.....	33
รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงค่าปริมาณของแข็งในน้ำของน้ำบาดาล.....	34
รูปที่ 4.7 แผนที่แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ในน้ำบาดาล.....	36

รูปที่ 4.8 แผนที่แสดงค่าออกซิเจนละลายในน้ำบาดาล.....	37
รูปที่ 4.9 การกระจายตัวของไนเตรทในพื้นที่ศึกษา.....	41
รูปที่ 4.10 การกระจายตัวของไนไตรทในพื้นที่ศึกษา.....	41
รูปที่ 4.11 แผนภูมิวงกลมแสดงเปอร์เซ็นต์ชนิดของน้ำ.....	42
รูปที่ 4.12 piper diagram.....	44
รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^2\text{H}(\text{‰})$ กับ $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	46
รูปที่ 4.14 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดศึกษาที่สนใจ.....	47
รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม.....	48
รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^-	49
รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^-	50
รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^-	51
รูปที่ 4.19 แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อในการเก็บตัวอย่าง.....	52
รูปที่ 4.20 แผนที่แสดงทิศทางการไหลของน้ำ.....	61
รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณออกซิเจนและไนเตรท.....	62
รูปที่ 4.22 กราฟเปรียบเทียบระหว่างไนเตรทและ pH.....	63
รูปที่ 5.1 แผนภาพกล่องแสดงความผิดปกติของปริมาณไอออน.....	64

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำบาดาล เป็นแหล่งน้ำสำรองที่สำคัญในประเทศไทย และถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น การนำน้ำมาใช้เพื่ออุปโภคบริโภคในครัวเรือน เกษตรกรรม หรืออุตสาหกรรม เป็นต้น ซึ่งหลังจากเหตุการณ์อุทกภัยครั้งใหญ่ในปีพ.ศ. 2554 พื้นที่อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี ได้ถูกพัฒนาให้เป็นพื้นที่อุตสาหกรรม และเกษตรกรรมมากขึ้น เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์อุทกภัยดังกล่าวเพียงเล็กน้อย จึงทำให้พื้นที่นี้ได้รับการพัฒนาสู่พื้นที่อุตสาหกรรมและเกษตรกรรมโดยมีการใช้สารเคมีกำจัดของเสียสู่ธรรมชาติ และจะถูกชะล้างด้วยฝน หรือน้ำไหลบ่า และซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในที่สุด ทำให้น้ำในชั้นน้ำบาดาลมีคุณภาพไม่เหมาะต่อการอุปโภคบริโภค โดยเฉพาะพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารไนเตรทที่เป็นสารองค์ประกอบหลักของปุ๋ยเคมีลงสู่แหล่งน้ำบาดาล และนอกจากนี้พื้นที่อุตสาหกรรมและบ้านเรือนที่มีการปล่อยน้ำเสียที่มีสารไนเตรทเป็นองค์ประกอบออกสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ทำให้อัตราการปนเปื้อนของไนเตรทในชั้นน้ำบาดาลรวมถึงกระบวนการที่เกิดในดินจากจุลชีพ (microbial) จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรทได้ หากมีการบริโภคน้ำที่มีปริมาณไนเตรทสูงเป็นระยะเวลานานจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์ โดยเฉพาะในเด็กทารกและนำไปสู่โรคที่มีชื่อเรียกว่า โรคนิ่วเบบี้ (blue baby syndrome) (Beaudet, Otter, Karr, Sathyanarayana, & Perkins, 2014)

การแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงควรเริ่มตั้งแต่การศึกษาหาแหล่งกำเนิดของไนเตรท เนื่องจากแหล่งกำเนิดของไนเตรทมาจากได้ทั้งแหล่งกำเนิดธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนเตรทที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาล โดยสามารถระบุได้ด้วยลักษณะทางอุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาล และมีการประยุกต์ใช้ไอโซโทปเสถียรของน้ำประกอบ เนื่องจากไอโซโทปเสถียรเปรียบเสมือนลายนิ้วมือเฉพาะ (unique fingerprints) ของแหล่งที่มาของน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งจะใช้ประกอบกันในการพิจารณาแหล่งที่มาของไนเตรทในน้ำบาดาลพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี เนื่องจากเคยมีการรายงานว่ามีการตรวจพบปริมาณไนเตรทปนเปื้อนสูงกว่า 45 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงเกินกว่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ (Macler, 2007) และอาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของคนในพื้นที่ระยะยาว จึงควรหาสาเหตุการปนเปื้อนที่แท้จริงเพื่อนำไปสู่การป้องกัน หรือวางแผนปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลในอนาคต

1.2 นิยามปัญหา

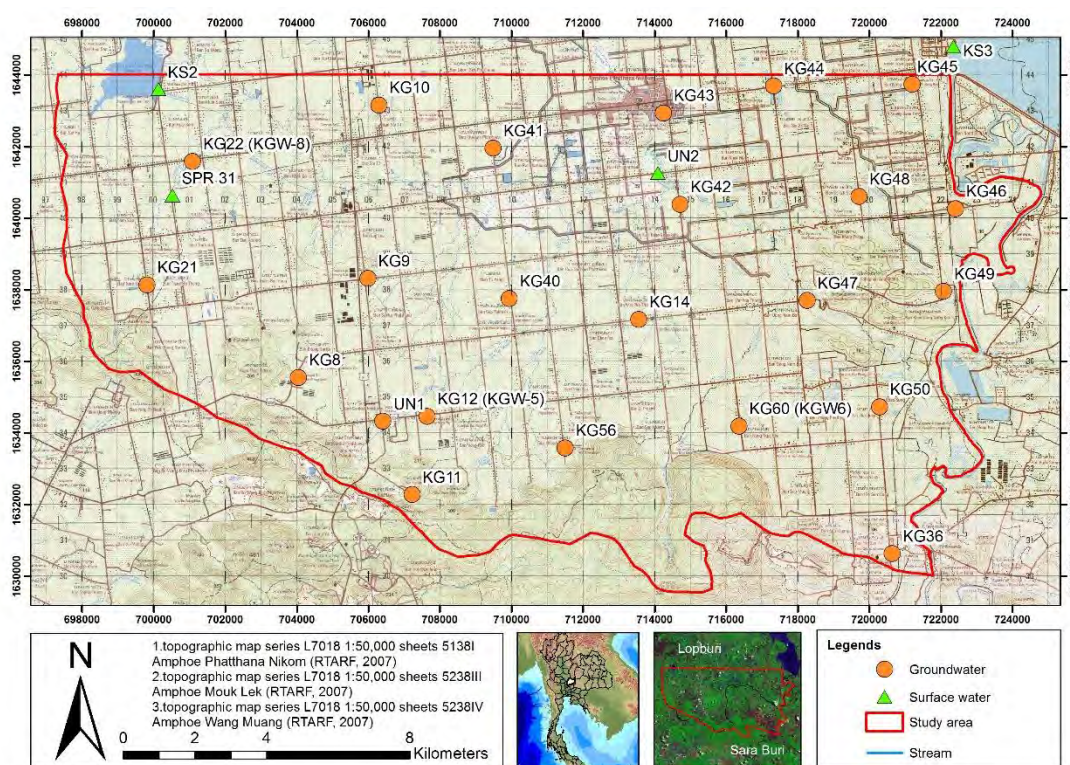
พื้นที่อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรีมีการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำบาดาลเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนดไว้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผู้ที่บริโภคเข้าไปเป็นเวลานานได้

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อหาแหล่งกำเนิดของไนเตรทในน้ำบาดาลพื้นที่อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

1.4 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ที่อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี อำเภอมวกเหล็ก และอำเภอวังม่วง จังหวัดสระบุรีเพียงเล็กน้อยมีพื้นที่ประมาณ 300 ตารางกิโลเมตร แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ลำดับชุด L7018 ระวัง 5138I ชื่อระวัง อำเภอพัฒนานิคม ระวัง 5238III ชื่อระวัง อำเภอมวกเหล็ก และระวัง 5238IV ชื่อระวัง อำเภอวังม่วง



รูปที่ 1.1 แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 แสดงพื้นที่ศึกษาอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

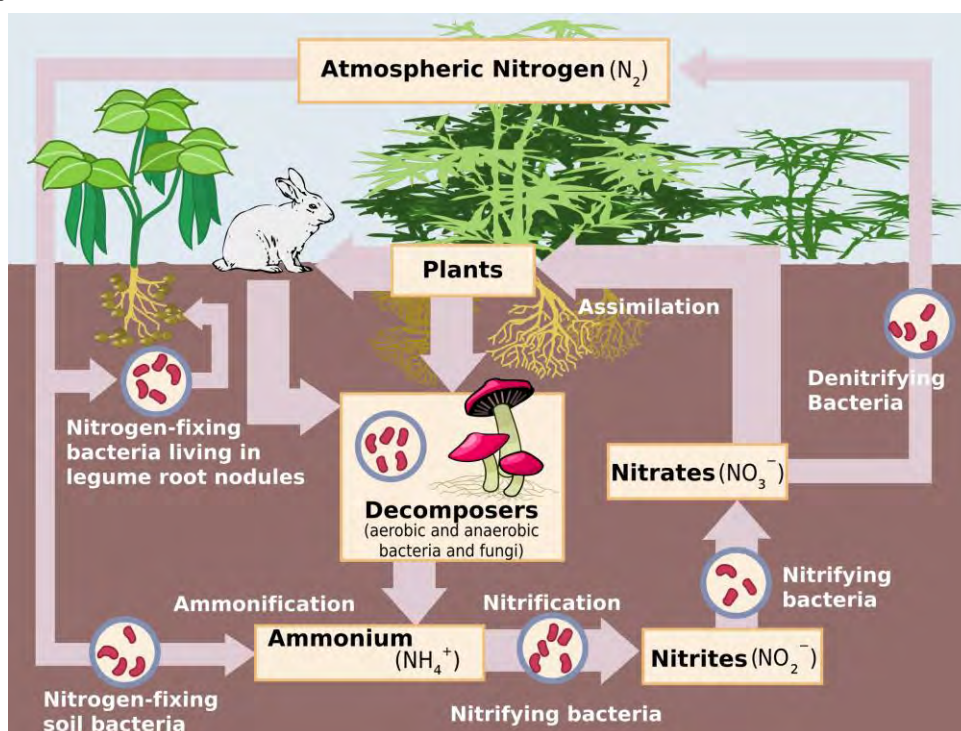
สามารถหาแหล่งกำเนิดของไนเตรทในพื้นที่อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรีได้

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 วัฏจักรไนโตรเจน

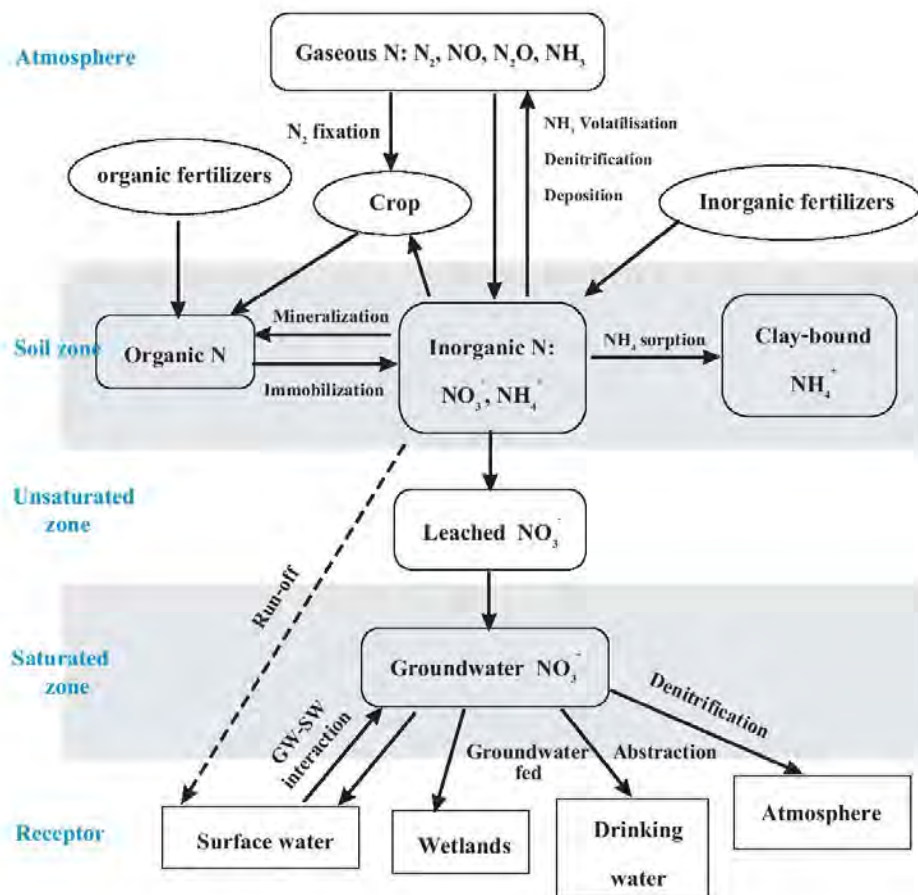
ในชั้นบรรยากาศมีก๊าซไนโตรเจน (N_2) เป็นองค์ประกอบ หลังจากนั้นจะถูกตรึงลงสู่ดินด้วยกระบวนการตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixation) ที่เกิดขึ้นโดยแบคทีเรีย (Nitrogen-fixing bacteria) ที่อาศัยอยู่ในดินหรือกระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรียและรา หลังจากนั้นแบคทีเรียดังกล่าวจะทำการเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนให้กลายเป็นแอมโมเนียมไอออน (Ammonium ion: NH_4^+) ผ่านกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) และเกิดกระบวนการสร้างไนเตรท (Nitrification) โดยแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria) ให้กลายเป็นไนไตรท์ไอออน (Nitrite ion: NO_2^-) และไนเตรทไอออน (Nitrate ion: NO_3^-) ตามลำดับ หลังจากนั้นไนเตรทไอออนบางส่วนจะถูกทำให้ตกลงด้วยการนำไปใช้เป็นสารอาหารสำหรับพืช และบางส่วนจะถูกสลายกลับสู่ชั้นบรรยากาศผ่านกระบวนการสลายไนเตรท (Denitrification) ของแบคทีเรีย (Denitrifying bacteria) ให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนดั้งเดิม (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 วัฏจักรไนโตรเจน บริเวณชั้นดิน

(ที่มา: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nitrogen_Cycle.svg)

แต่หากมีการรบกวนวัฏจักร เช่น ในดินมีปริมาณของไนเตรทไอออนมากเกินไปทำให้ไนเตรทไอออนสามารถไหลลงสู่ชั้นน้ำบาดาลตามหลักสมดุลไดนามิก (Dynamic equilibrium) กล่าวคือสารละลายในบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงจะไหลสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ (รูป 2.2)

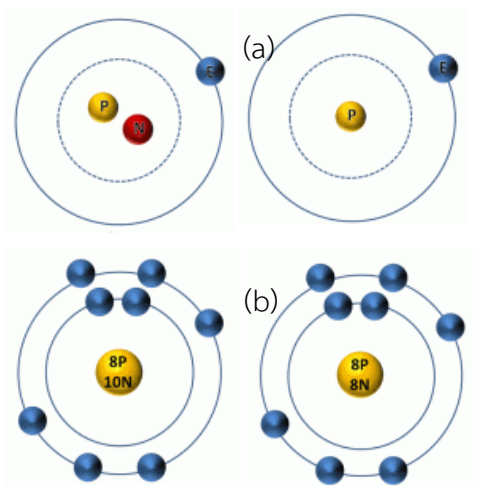


รูปที่ 2.2 วัฏจักรไนโตรเจน (ปรับปรุงจาก Stuart, Goody, Bloomfield, & Williams, 2011)

2.1.2 ไอโซโทปเสถียร

ธาตุไอโซโทป หมายถึง ธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากันแต่เลขมวลต่างกัน กล่าวคือมีจำนวนโปรตอนเท่ากัน แต่จำนวนนิวตรอนต่างกัน

ธาตุไอโซโทปเสถียร คือ ธาตุที่ไอโซโทปที่ไม่เกิดการสลายตัวเป็นธาตุที่เบากว่า



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างไอโซโทปเสถียร (a) ^2H กับ ^1H มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน 1 ตัว (b) ^{18}O กับ ^{16}O มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน 2 ตัว

(ที่มา: <http://www.ces.fau.edu/nasa/module-3/how-is-temperature-measured/isotopes.php>)

2.1.3 อัตราส่วนไอโซโทป (Isotope ratio)

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

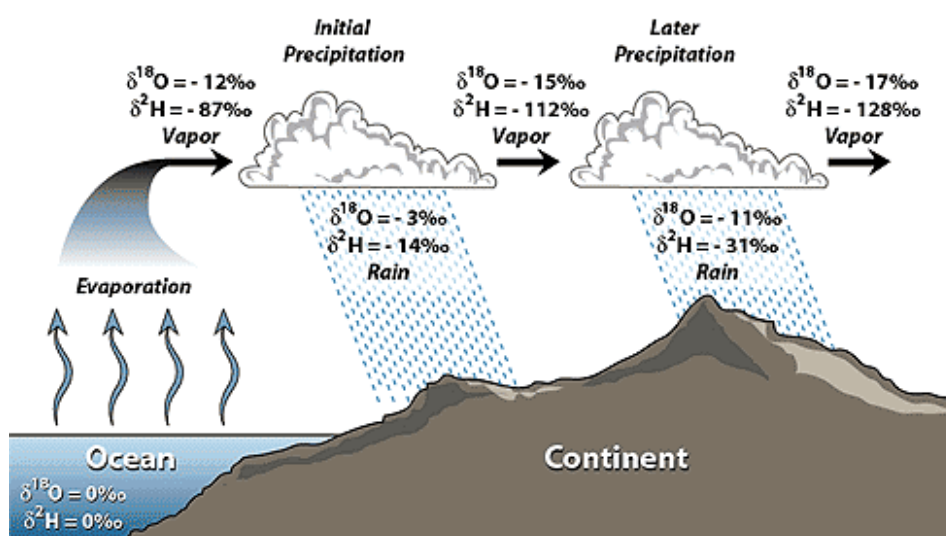
$$\delta(\text{‰}) = \frac{(R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}})}{R_{\text{standard}}} \times 1000$$

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

2.1.4 การเปลี่ยนแปลงการแยกลำดับส่วนของไอโซโทป (Isotope fractionation)

คือกระบวนการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของธาตุหนักกับธาตุเบาจากกระบวนการทางเคมี เช่น การระเหย (evaporation) หรือกระบวนการควบแน่น (condensation) จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าในมหาสมุทรมีการกำหนดค่า $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ ให้เท่ากับ 0‰ จากนั้นเกิดกระบวนการระเหยกลายเป็นไอน้ำทำให้ค่า $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ เป็น -12‰ และ -87‰ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานในการเปลี่ยนสถานะของไอโซโทปที่เบากว่ามีค่าน้อยกว่าพลังงานในการเปลี่ยนสถานะของไอโซโทปที่หนักกว่า ทำให้ในไอน้ำประกอบด้วยไอโซโทปเบาเป็นหลัก ส่งผลให้ R มีค่าน้อยกว่า 1 และเมื่อคำนวณตามสูตรในหัวข้อ 2.1.3 จะได้ค่า δ ออกมาติดลบ

หลังจากนั้นเมื่อมีการพัดไอน้ำที่ระเหยจากทะเลขึ้นมาสู่แผ่นดินและเกิดการควบแน่นกลายเป็นน้ำฝน จะเห็นว่าภายในน้ำฝนมีค่า $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ เป็น -3‰ และ -14‰ ตามลำดับ เนื่องจากพลังงานในการเปลี่ยนสถานะของไอโซโทปที่หนักกว่ามีค่าน้อยกว่าพลังงานในการเปลี่ยนสถานะของไอโซโทปที่เบากว่า ทำให้ในน้ำฝนประกอบด้วยไอโซโทปหนักเป็นหลักค่า δ ที่คำนวณออกมาจึงมีค่าติดลบมากกว่าของไอน้ำ ในขณะที่เดียวกันเมื่อพิจารณาเชิงเปรียบเทียบในไอน้ำหลังจากการควบแน่นส่งผลให้มีไอโซโทปเบามากขึ้นค่า δ ติดลบมากขึ้นดังภาพ

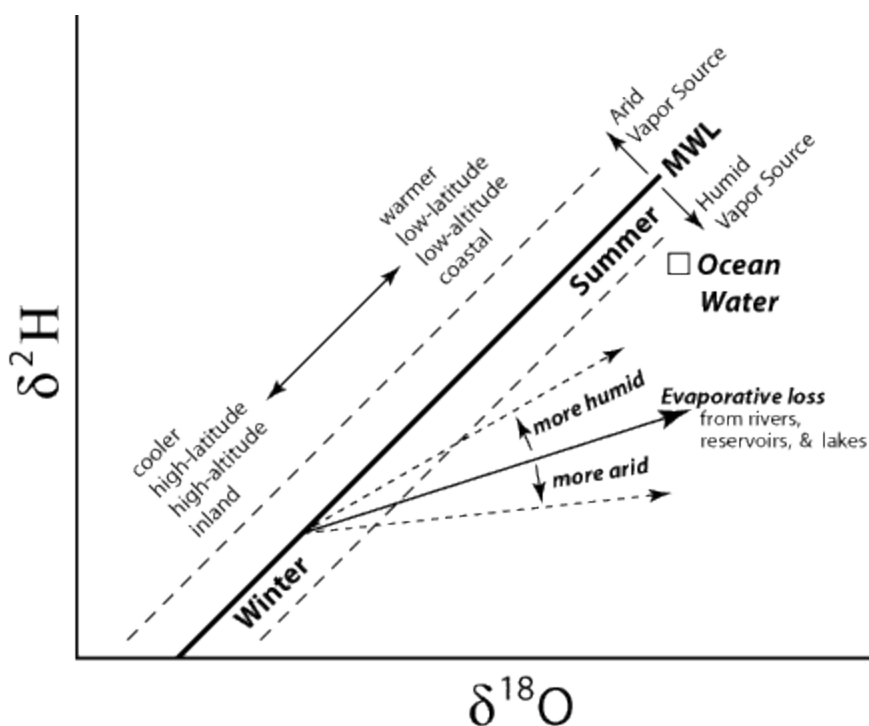


รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงการแยกลำดับส่วนของไอโซโทปจากน้ำทะเลสู่น้ำฝน

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

2.1.5 เส้นน้ำฝน (Meteoric Water Line, MWL)

ค่า $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^2\text{H}$ ของน้ำฝนที่เก็บเป็นข้อมูลเฉลี่ยมาตรฐานซึ่งแสดงความสัมพันธ์ออกมาในรูปของกราฟเส้นตรง และแสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ $\delta^{18}\text{O}$ กับ $\delta^2\text{H}$ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ระดับความสูง (altitude) เป็นต้น ออกมาในรูปที่ 2.5 โดยสามารถใช้แผนภูมิดังกล่าวอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

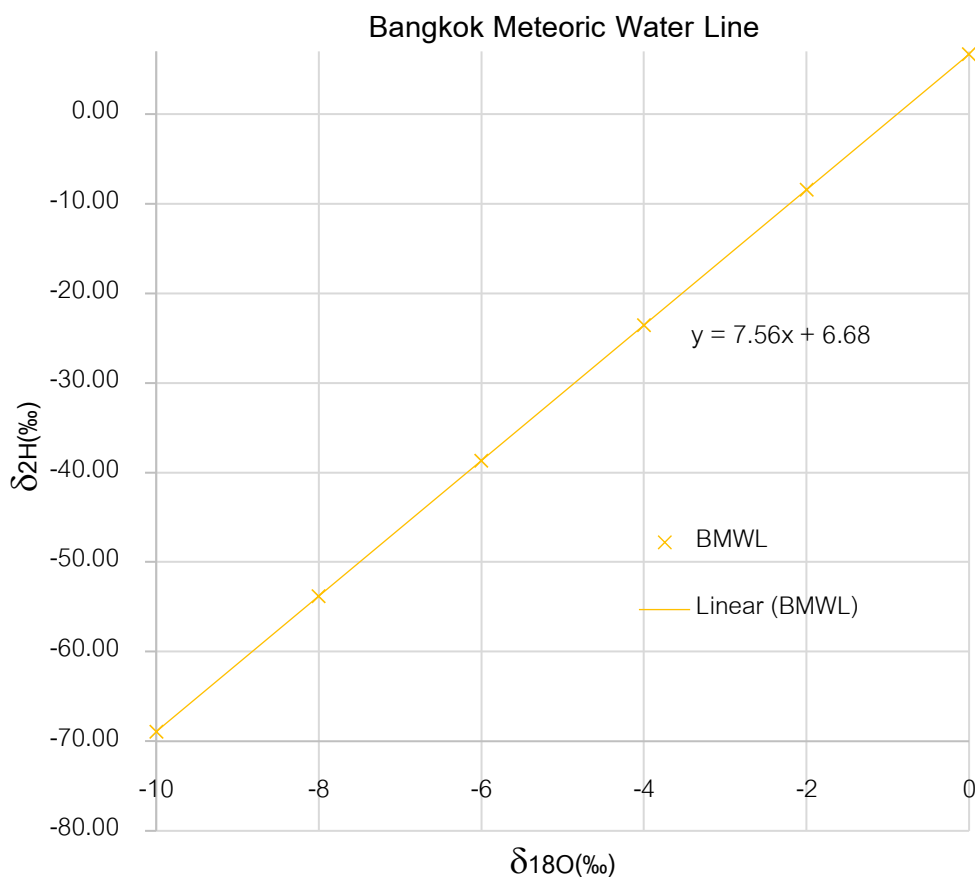


รูปที่ 2.5 กราฟแสดงกระบวนการทางอุทกวิทยาที่มีผลต่อค่า $\delta^{18}\text{O}$ กับ $\delta^2\text{H}$ ของน้ำฝน (ที่มา: <http://web.sahra.arizona.edu/programs/isotopes/oxygen.html>)

สำหรับพื้นที่ลพบุรีจะใช้ค่าเส้นน้ำฝนกรุงเทพ (Bangkok Meteoric Water Line, BMWL) ในการเปรียบเทียบ โดยเส้นน้ำฝนกรุงเทพ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 มีค่าความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงดังสมการ

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

เส้นน้ำฝนกรุงเทพนี้สามารถนำมาใช้กับพื้นที่ลพบุรีได้เนื่องจากลพบุรีมีระดับความสูงและระยะห่างจากทะเลแตกต่างจากกรุงเทพเพียงเล็กน้อย ดังนั้นผลกระทบของระดับความสูงและระยะห่างจากทะเลจึงแทบไม่มีผลต่อความแตกต่างของค่าไอโซโทป

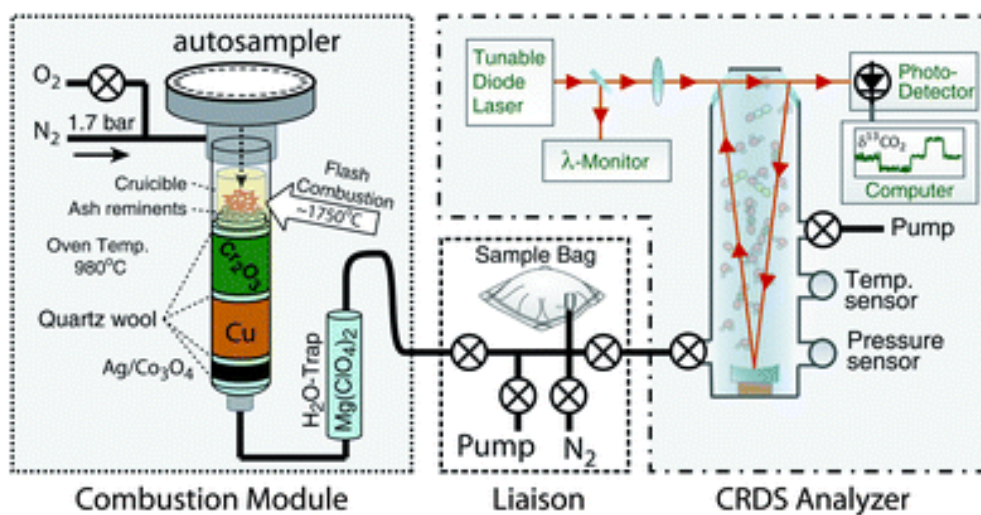


รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{18}\text{O}$ กับ $\delta^2\text{H}$ ของเส้นน้ำฝนกรุงเทพ

2.1.6 Cavity Ringdown Spectrometer (CRDS)

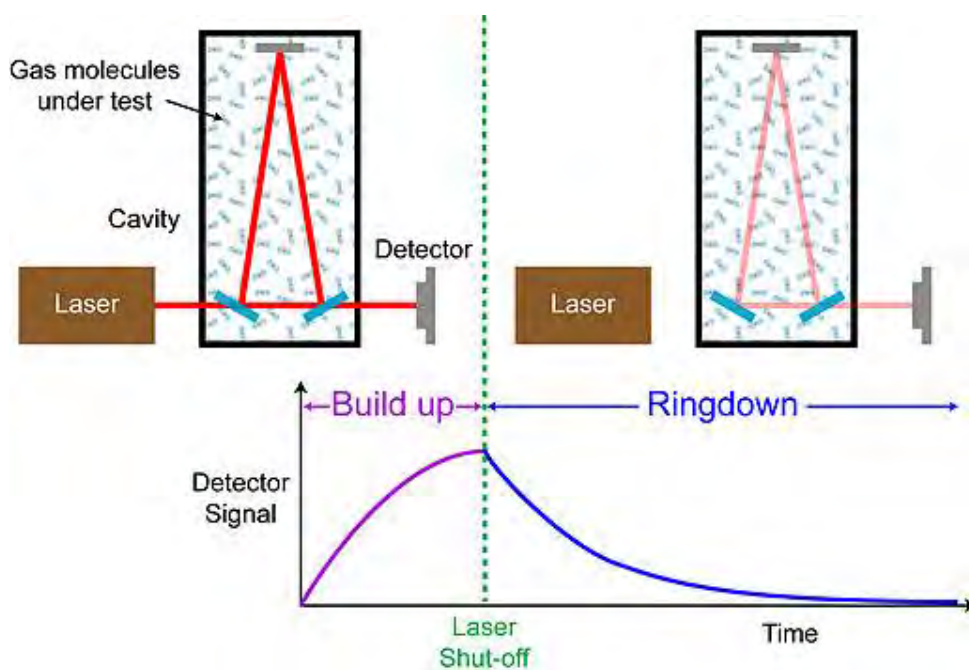
ใช้ในการหาปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ กับ $\delta^2\text{H}$ โดยอาศัยหลักการสั่นพ้อง (Resonance) ของพันธะระหว่าง O กับ H ซึ่งจะเริ่มวัดพลังงานที่คายออกมาเทียบกับเวลาหลังจากอิมพัลส์ด้วยแสงเลเซอร์ เนื่องจากไอโซโทปที่มีน้ำหนักต่างกันทำให้มีความยาวพันธะที่แตกต่างกันจึงมีจุดอิมพัลส์ด้วยแสงที่แตกต่างกันเช่นกัน ทำให้เราสามารถระบุปริมาณพันธะของ $^{18}\text{O}-^2\text{H}$, $^{18}\text{O}-^1\text{H}$, $^{16}\text{O}-^2\text{H}$ และ $^{16}\text{O}-^1\text{H}$ และนำไปคำนวณค่า $\delta^{18}\text{O}$ กับ $\delta^2\text{H}$ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.7

เริ่มจากนำตัวอย่างผ่านกระบวนการเผา (combustion) ให้กลายเป็นสถานะก๊าซ จากนั้นใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาเข้าสู่ช่องว่าง (cavity) ลำดับต่อไปทำการยิงเลเซอร์จนถึงจุดอิมพัลส์ของพันธะที่ต้องการตรวจวัดจึงหยุดการยิงแสงเลเซอร์ ตรวจวัดการคายพลังงานจนเข้าสู่ภาวะปกติ (ringdown) เทียบกับเวลาโดยมีตัวตรวจวัด (detector) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 แสดงการเผา (combustion) และนำตัวอย่างเข้าสู่ช่องว่าง

(ที่มา: https://www.researchgate.net/figure/255760484_fig1_Fig-1-Diagram-of-the-CM-CRDS-system-The-high-sensitivity-of-cavity-ring-down-optical)



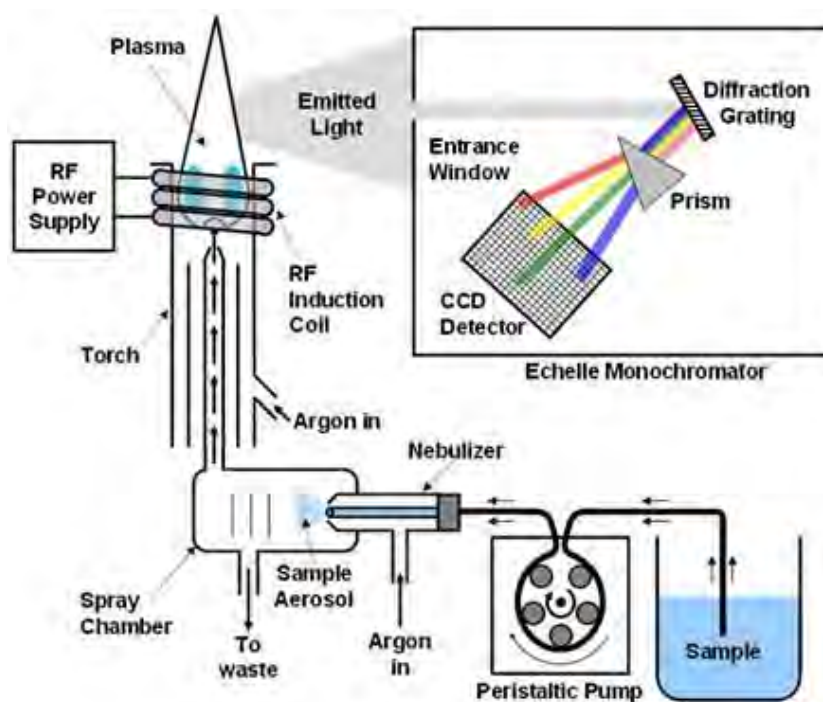
รูปที่ 2.8 แสดงการตรวจวัดการคายพลังงาน (Ringdown)

(ที่มา: <http://articles.sae.org/5491/>)

2.1.7 Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)

นำเครื่อง ICP-OES มาใช้ในการหาปริมาณไอออนบวกในตัวอย่าง ได้แก่ โซเดียมไอออน (Na^+) โพแทสเซียมไอออน (K^+) แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) และเหล็ก (total Fe) ซึ่งการทำงานของเครื่องอาศัย 2 หลักการ ดังรูปที่ 2.9

1. Inductively Couple Plasma (ICP) เป็นเทคนิคที่ใช้ผลิตพลาสมาที่ให้อุณหภูมิสูงด้วยการปล่อยแก๊สอาร์กอนผ่านเข้าไปในคอบ (torch) ที่ปลายคอบจะมีท่อกลางทำด้วยทองแดงล้อมรอบคอบซึ่งต่อกับเครื่องส่งความถี่วิทยุ เมื่อให้ความถี่วิทยุ (RF generator) ปล่อยเข้าไปจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่ปลายคอบแล้วชักนำให้มีกระแสไฟฟ้า จากนั้นกระแสไฟฟ้ากระตุ้นให้เกิดอิเล็กตรอนจากอาร์กอนที่มีพลังงานสูง และอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงนี้จะชนกับอิเล็กตรอนอื่นต่อไปอีกกลายเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่กลายเป็นพลาสมา
2. Optical Emission Spectrometer เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่โดยอาศัยหลักการทำให้สารเปลี่ยนจากสถานะพื้นไปยังสถานะกระตุ้นเพื่อให้สารที่จะวิเคราะห์นั้นเปล่งแสงหรือสเปกตรัมออกมา และมีลักษณะเฉพาะตัว



รูปที่ 2.9 หลักการทำงานของเครื่อง ICP-OES

(ที่มา: <http://sites.cord.edu/chem-330-lab-manual/experiments/icp-aes>)

2.1.8 Ion Chromatography (IC)

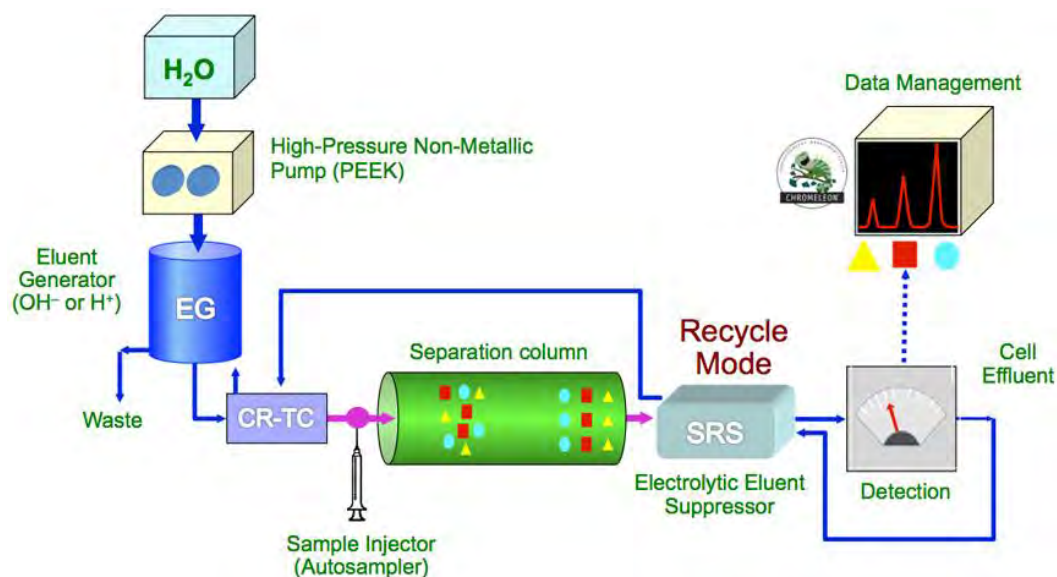
เป็นเครื่องใช้ในการหาปริมาณไอออนลบ (anions) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการหาปริมาณไอออน ได้แก่ ฟลูออไรด์ไอออน (F^-) คลอไรด์ไอออน (Cl^-) ไนไตรท์ไอออน (NO_2^-) โบรไมด์ไอออน (Br^-) ไนเตรทไอออน (NO_3^-) ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-})

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 ซึ่งไอออนแต่ละชนิดก็จะมีเวลาจำเพาะของไอออนนั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่

2.10



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของเครื่อง Ion Chromatography

(ที่มา: http://www.chromacademy.com/Ion_Chromatography.html)

2.1.9 Alkalinity Analysis

อัลคาลินิตีในน้ำบาดาลนั้นประกอบด้วย ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) และคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) ซึ่งจะใช้หลักการไตเตรท (titration) โดยในการหาปริมาณอัลคาลินิตีจำเป็นต้องไตเตรทด้วยกรดเข้มข้น ในที่นี้จะใช้เป็นกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) หลังจากนั้นเมื่อทำการไตเตรทจนถึงจุดสมมูลตัวอย่างจะเกิดการเปลี่ยนสีเนื่องจากการใช้อินดิเคเตอร์ (indicator) ร่วมด้วย ดังนั้นสารเคมีที่ใช้ในการไตเตรทประกอบด้วย อินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein indicator) อินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator) ระหว่างโบรโมครีซอลกรีน (bromocresol green) และเมทิลเรด (methyl red) และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.2 N (0.2 Normality) ดังรูปที่ 2.11

สำหรับการไตเตรทจะใช้ปริมาณตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำการหยดฟีนอล์ฟทาลีน 2 หยด ไตเตรทกับกรดซัลฟิวริกจนกระทั่งสีน้ำตัวอย่างเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี ปริมาณกรดซัลฟิวริกเรียกว่า P-alkalinity หลังจากนั้นนำตัวอย่างเกิดมาหยดอินดิเคเตอร์ผสม 3 หยด จะได้น้ำตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน และทำการไตเตรทจนกระทั่งสีของน้ำตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีชมพูอมส้ม ปริมาณกรดที่ใช้เรียกว่า M.O.-alkalinity โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$P - \text{alkalinity or M. O. -alkalinity} = \frac{A \times N \times 50,000}{\text{ปริมาณตัวอย่าง}}$$

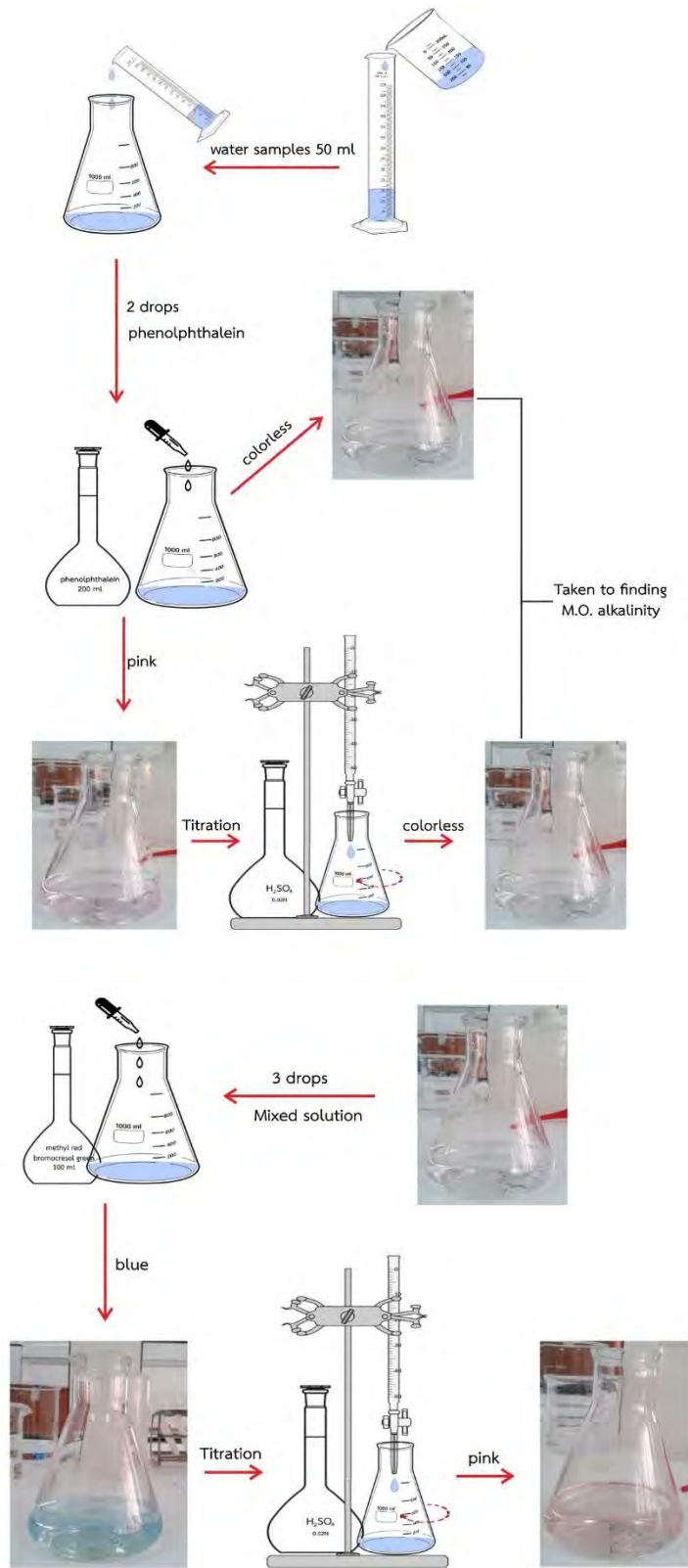
โดยที่ A คือปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ และ N คือความเข้มข้นของกรด หลังจากนั้นจะทำการคำนวณหาอัลคาลินิตีรวม (total alkalinity) จากสมการด้านล่าง

$$\text{Total alkalinity (T - alkalinity)} = P - \text{alkalinity} + \text{M. O. alkalinity}$$

หลังจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้กับตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าอัลคาลินิตี

Alkalinity	OH^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-
P - alkalinity = 0	0	0	T
P - alkalinity = T - alkalinity	T	0	0
P - alkalinity < 0.5 (T - alkalinity)	0	2P	T - 2P
P - alkalinity = 0.5 (T - alkalinity)	0	T	0
P - alkalinity > 0.5 (T - alkalinity)	2P - T	2(T - P)	0

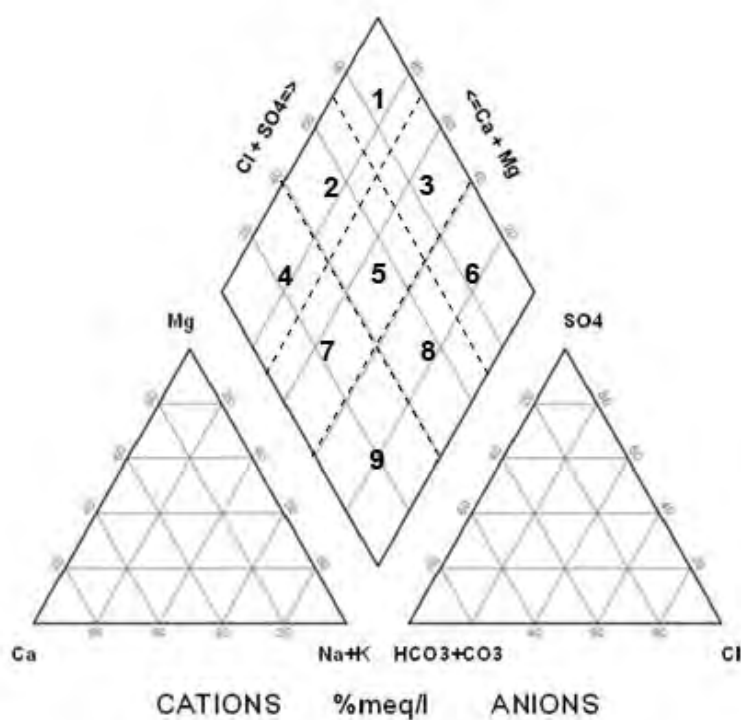


รูปที่ 2.11 การไตเตรทหาค่าอัลคาไลน์ตี (วิศิษฐ์ธรรมศรี, 2016)

2.1.10 แผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram)

เป็นแผนภูมิแสดงลักษณะเฉพาะทางอุทกธรณีเคมี โดยมีการวัดค่าตัวแปรดังต่อไปนี้ โซเดียมไอออน (Na^+) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) โพแทสเซียมไอออน (K^+) คลอไรด์ไอออน (Cl^-) ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ไนเตรทไอออน (NO_3^-) ไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) และ คาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) หลังจากนั้นจึงนำค่าตัวแปรต่าง ๆ ไปสร้างแผนภูมิ ภายในแผนภูมิ ประกอบด้วย 9 พื้นที่ดังรูปที่ 2.12 (Galloway and Kaiser, 1980)

- 1 = Calcium Chloride (CaCl)
- 2 = Calcium Bicarbonate Chloride ($\text{CaHCO}_3 \text{Cl}$)
- 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 ($\text{NaHCO}_3 \text{Cl}$)
- 9 = Sodium Bicarbonate (NaHCO_3)



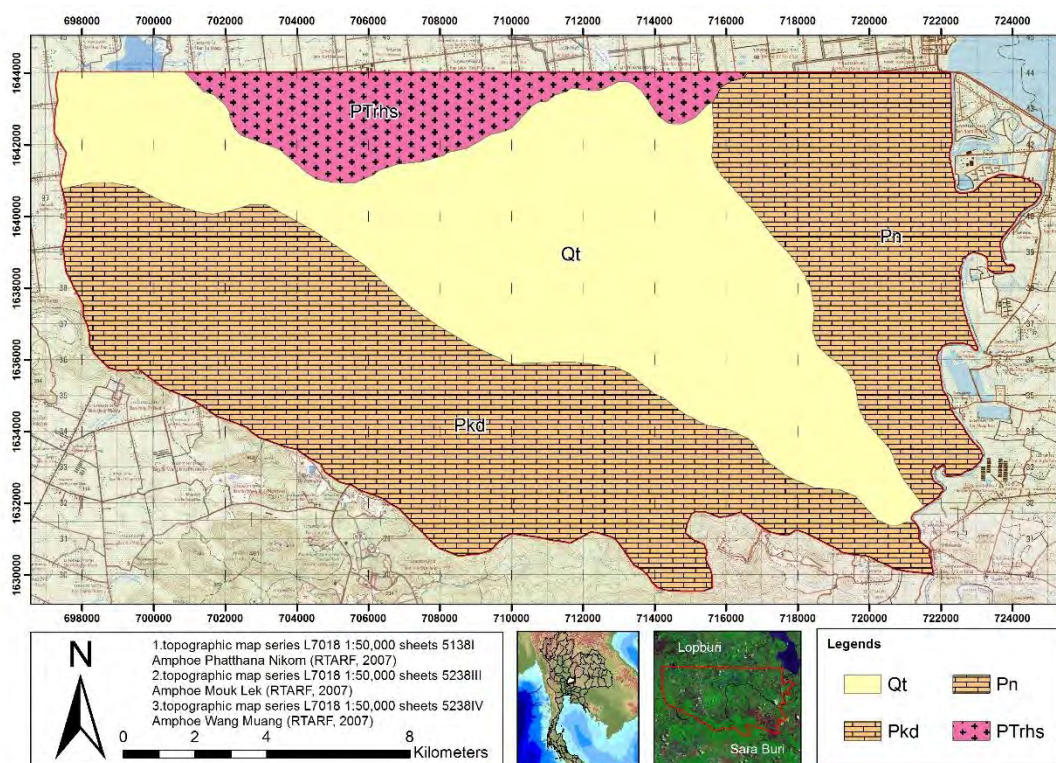
รูปที่ 2.12 Piper Diagram (ที่มา: Galloway and Kaiser, 1980)

2.2 ลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่

ธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษามีการกระจายตัวของหินดังต่อไปนี้ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550)

1. หินแกรนิต (Pkg) มีอายุเพอร์เมียนตอนล่าง ประกอบด้วยหินปูนและหินโดโลไมต์ มีเชิร์ตแทรกอยู่ทั่วไป บางบริเวณมีหินดินดาน หินทราย หินทรายเนื้อทัฟฟ์แทรกสลับ
2. หินหนองโป่ง (Pn) มีอายุเพอร์เมียนตอนล่างถึงตอนกลาง ประกอบด้วยหินปูนชั้นหนาแทรกสลับกับหินดินดาน และมีเชิร์ตแทรกคั่นเป็นชั้นเป็นกระเปาะพบซากฟอสซิลชนิดและปะการัง
3. หินไรโอไลต์กลุ่มหินห้วยส้ม (PTrhs) มีอายุช่วงเพอร์เมียนถึงไทรแอสซิก เป็นหินภูเขาไฟมีเนื้อดอก หินไรโอไลต์เนื้อดอกเกิดร่วมกับหินทัฟฟ์มีสีน้ำตาลอมชมพูและสีเขียวเข้ม เนื้อดอกส่วนใหญ่ประกอบด้วยผลึกแร่เฟลด์สปาร์สีขาวยาวและชมพู
4. ตะกอนตะกัปลำน้ำ (Qt) เกิดจากการสะสมตัวของตะกอนทางน้ำยุคเก่า ประกอบด้วยกรวด ทราย ดินเหนียว และดินเหนียวปนทราย

ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แผนที่ธรณีวิทยาอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัลลภา วิชาญธรรมศรี และศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ (2016) ได้ใช้หลักการของไอโซโทปเสถียรของธาตุออกซิเจน และไฮโดรเจนเพื่อระบุพื้นที่รับน้ำ (recharge areas) ที่ได้รับน้ำฝนโดยตรงจากการซึมของน้ำฝนสู่หน้าบาดาลในอำเภอแก่งคอย จังหวัดสุพรรณบุรี โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำบาดาล น้ำผิวดิน และน้ำฝน ผลจากการวิเคราะห์พบว่า น้ำบาดาลในบริเวณนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ น้ำบาดาลที่สัมพันธ์กับน้ำฝน และน้ำบาดาลที่สัมพันธ์กับน้ำผิวดิน

Matiatos (2016) ได้หาค่าของปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาลและไอโซโทปเสถียรของธาตุไนโตรเจน และออกซิเจนในแอ่งอโซปอส (Asopos basin) จากการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกันเพื่อระบุแหล่งที่มาของไนเตรทพร้อมกับกระบวนการเปลี่ยนแปลงไนเตรท ได้ใช้หลักการของเบเซียนและตัวแปรทางสถิติในการหาปัจจัยหลักของการปนเปื้อนไนเตรทซึ่งพบว่า ในพื้นที่นี้มีปัจจัยหลักมาจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน สำหรับพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนจากการเกษตรนั้นพบว่าอยู่ห่างไกลจากพื้นที่อุตสาหกรรม ในดินยังพบว่าปริมาณไนเตรทสูงเนื่องจากมีปริมาณของสารอินทรีย์สูงพบที่บริเวณตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่

นิธิพนธ์ น้อยเผ่าและคณะ (2015) ศึกษาการไหลของน้ำบาดาลในชั้นให้น้ำหินปูนโดยใช้ไอโซโทปเสถียร จังหวัดลพบุรี และสระบุรี สามารถระบุได้ว่าพื้นที่รับน้ำอยู่บริเวณภูเขาซึ่งเป็นรอยต่อของทั้ง 2 จังหวัด และมีทิศทางไหลหลัก (major flow) ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทิศทางการไหลรอง (minor flow) ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้

Jin et al. (2012) ได้ศึกษาแหล่งกำเนิดของไนเตรทบริเวณพื้นที่เกษตรในเมือง Huzhou ทางด้านตะวันออกของประเทศจีน โดยเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลในพื้นที่ทำนาข้าว (ช่วงที่เพาะปลูก และไม่ได้เพาะปลูก) และพื้นที่ปลูกผัก ที่ระดับความลึกแตกต่างกัน (30, 60, 90, 120, 150, 200, 250 และ 300 เซนติเมตร) ในเดือนเมษายน และเดือนกรกฎาคม ปี 2010 เพื่อนำมาวิเคราะห์ออกซิเจนและไอโซโทปเสถียรของไนเตรท ผลการวิเคราะห์น้ำบาดาลส่วนใหญ่มีความเป็นต่างอ่อนๆ และมีสภาพแวดล้อมแบบ aerobic ค่า DO ของทั้งสองพื้นที่ลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น และในพื้นที่ทำนาข้าวค่า EC จะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับค่า EC ในพื้นที่ปลูกผักจะลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น และค่า pH ไม่แตกต่างกันในแต่ละความลึก เมื่อพิจารณาองค์ประกอบเคมี และไอโซโทปเสถียรร่วมกันพบว่าน้ำบาดาลในพื้นที่ที่มีปริมาณซัลเฟต (SO_4^{2-}) และแอมโมเนียม (NH_4^+) ปนเปื้อนในปริมาณมาก และปริมาณไนเตรทในพื้นที่ทำนาข้าว (ช่วงเพาะปลูก) มาจากการใช้ปุ๋ยเคมี และอินทรีย์วัตถุในดิน ส่วนในช่วงที่ไม่ได้เพาะปลูกแหล่งกำเนิดไนเตรทจะมาจากอินทรีย์วัตถุ

ในดิน และปุ๋ยคอก นอกจากนี้แหล่งที่มาของไนเตรทในพื้นที่ปลูกผักเป็นได้ทั้งปุ๋ยเคมี อินทรีย์วัตถุในดิน และปุ๋ยคอก ทั้งนี้มลสารสามารถซึมผ่านพื้นที่ทำนาข้าวได้ง่ายกว่าพื้นที่ปลูกผัก ในสถานะที่ได้รับมลสาร และปริมาณน้ำฝนเท่ากัน และกระบวนการหลักที่ควบคุมไนเตรทในพื้นที่ คือ กระบวนการดีไนโตรเจน (nitrification)

Tirado (2007) ศึกษาไนเตรตในน้ำดื่มของ โดยเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล และตัวอย่างน้ำผิวดิน จากพื้นที่เกษตรกรรมที่ต่างกันในประเทศฟิลิปปินส์ และประเทศไทย ผลการทดสอบปริมาณไนเตรทพบว่าน้ำดื่มที่มาจากบ่อลึกในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศฟิลิปปินส์ และประเทศไทยมีการปนเปื้อนของไนเตรทสูง ซึ่งสอดคล้องกับการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนจำนวนมากในพื้นที่ โดยประเทศไทยพบการปนเปื้อนของไนเตรทสูงในบริเวณที่ราบภาคกลาง (กาญจนบุรี และสุพรรณบุรี) โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ปลูกหน่อไม้ฝรั่ง มีปริมาณไนเตรทสูงกว่ามาตรฐานความปลอดภัยของน้ำดื่ม (WHO) ถึงสามเท่า จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดโรค blue baby syndrome หรือ methemoglobinemia ในเด็กทารก

Panno et al. (2001) ได้ประเมินแหล่งกำเนิดของไนเตรทในที่ราบหลุมยุบ (sinkhole plain) ทางด้านตะวันตกของแอ่ง Illinois โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำพุในพื้นที่ทั้งหมด 10 แห่ง และเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูกาลที่ต่างกัน ได้แก่ ฤดูใบร่วงปี 1998 ฤดูหนาว ฤดูใบไม้ผลิ และฤดูร้อน ปี 1999 และนำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ได้แก่ อุณหภูมิ, pH, Eh, specific conductance, cations, anions, dissolved organic carbon, atrazine และไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน และออกซิเจน ผลการวิเคราะห์ระบุว่าตัวอย่างน้ำพุเป็นน้ำชนิดแคลเซียมไบคาร์บอเนต (Ca-HCO_3) และมีปริมาณไนเตรทสูงกว่าระดับที่มีในธรรมชาติ เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์อุทกเคมีร่วมกับไอโซโทปเสถียรพบว่าแหล่งกำเนิดไนเตรทในน้ำพุ เกิดจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นหลักในช่วงต้นฤดูใบไม้ผลิ และมีส่วนที่มาจากก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศซึ่งเห็นได้ชัดเจนในฤดูหนาว และฤดูร้อน นอกจากนี้ค่า $\delta^{15}\text{N}$ และ $\delta^{18}\text{O}$ มีแนวโน้มเป็นบวกทั้งสี่ฤดูกาล แสดงว่ามีกระบวนการสลายไนเตรท (denitrification) เกิดขึ้นภายในโซนของดิน และชั้นน้ำตื้นใต้พื้นที่ที่เป็นหินปูน (shallow karst aquifer) โดยสามารถสังเกตได้จากค่า DOC สูงเพียงพอที่จะสนับสนุนการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) ของไนเตรทระหว่างกระบวนการสลายไนเตรท

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 รวบรวมและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงในรูปที่ 3.1

- ศึกษาและหาข้อมูลพื้นที่ศึกษาจากงานวิจัยเดิม เช่น ลักษณะทางธรณีวิทยา ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา ลักษณะทางอุทกเคมี ตำแหน่งบ่อบาดาล เป็นต้น

- ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์ วิธีการเก็บตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ และศึกษาทฤษฎีพื้นฐานก่อนปฏิบัติจริง

- รวบรวมข้อมูลทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น ภาพถ่ายดาวเทียม ชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชั้นข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยา ชั้นข้อมูลแผนที่อุทกธรณี

- ค้นหาปริมาณบ่อบาดาลที่จดทะเบียนกรมทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

3.1.2 วิเคราะห์ข้อมูลโทรสัมผัส

- สร้างแผนที่ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM)

- สร้างแผนที่ธรณีวิทยา

- สร้างแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน

- สร้างแผนที่ที่ใช้ในการออกภาคสนาม ประกอบด้วยชั้นข้อมูล แผนที่ภูมิประเทศ ตำแหน่งบ่อบาดาล ถนน ทางน้ำ ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

3.1.3 สํารวจภาคสนามและเก็บตัวอย่าง

- วัดระดับน้ำบาดาลในพื้นที่โดยใช้เครื่องวัดระดับน้ำบาดาล

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

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

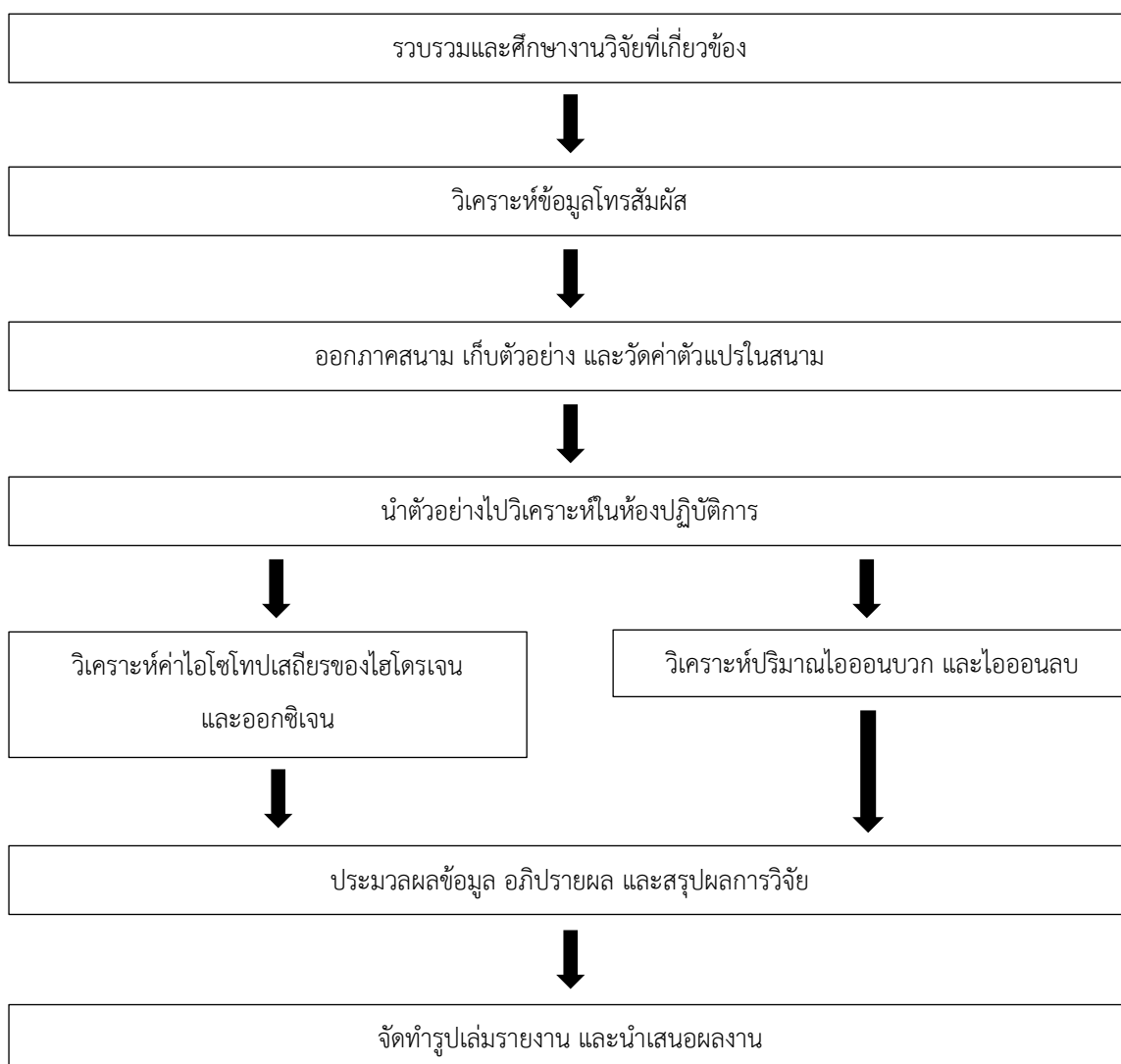
3.1.4 วิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล

- 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

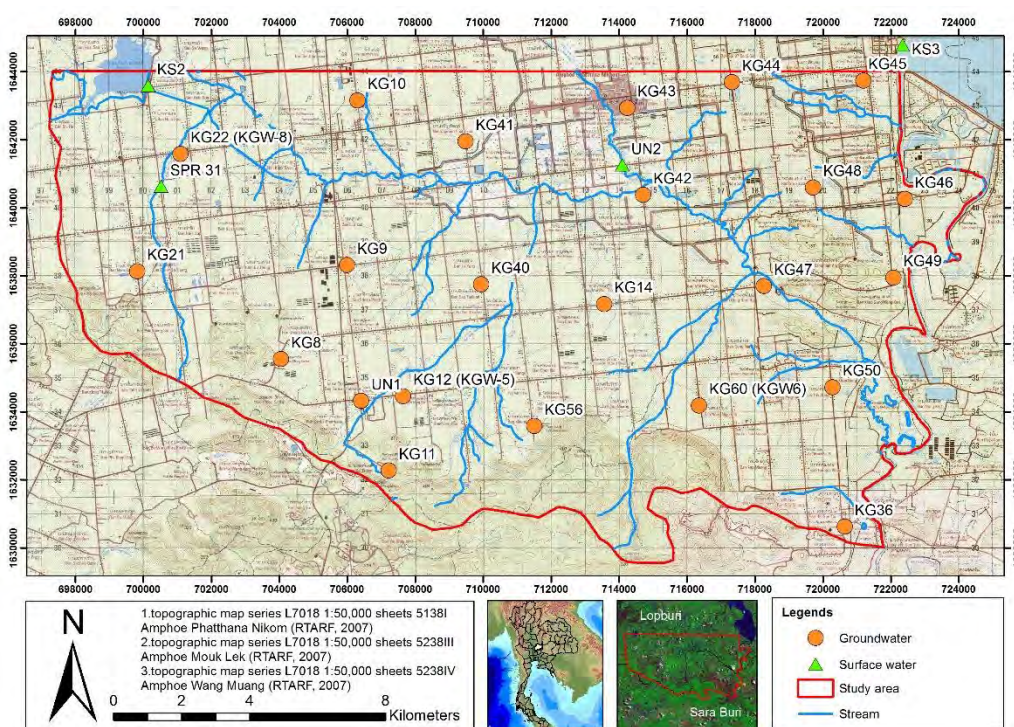
ตารางที่ 3.1 รายการข้อมูลที่ใช้ศึกษา

	รายการข้อมูล	ที่มา	ปี	รายละเอียด
1.	แผนที่ภูมิประเทศ	กรมแผนที่ทหาร	2550	.JPEG
2.	ข้อมูลขอบเขตพื้นที่ศึกษา	ระบุตามลุ่มน้ำ	2559	.shp
3.	ข้อมูลหน่วยหินทางธรณีวิทยา	กรมทรัพยากรธรณี	2555	.shp
4.	ข้อมูลชั้นน้ำ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2555	.shp
5.	ข้อมูลบ่อน้ำบาดาลที่จดทะเบียน	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2559	.JPEG
6.	ข้อมูลระดับความสูงเชิงตัวเลข (DEM)	ปรับแก้ข้อมูลจากกรมแผนที่ทหาร	2550	raster
7.	ข้อมูลโครงสร้างเชิงเส้น	กรมทรัพยากรธรณี	2555	.shp
8.	ข้อมูลลำน้ำ	กรมทรัพยากรธรณี	2555	.shp
9.	ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน	กรมพัฒนาที่ดิน	2552, 2553	.shp
10.	ข้อมูลขอบเขตจังหวัด อำเภอลำปาง และตำบล	กรมพัฒนาที่ดิน	2552	.shp
11.	ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8	https://earthexplorer.usgs.gov/	2559	.TIFF
12.	ข้อมูลบ่อน้ำบาดาลในการออกภาคสนาม	Noipow (2015)	2558	.xls

3.3.2 การสำรวจและการเก็บตัวอย่าง

เริ่มทำออกภาคสนามเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินตั้งแต่แต่วันที่ 23 – 25 มกราคม พ.ศ. 2560 โดยได้ศึกษาตามตำแหน่งเดิมของ Noipow (2015) ทำการเก็บข้อมูล ดังนี้ ชื่อบ่อบาดาล พิกัดตำแหน่งบ่อบาดาล ระดับความสูงของพื้นที่จากระดับน้ำทะเล ค่าระดับน้ำบาดาล ค่าความเป็นกรดเบส (pH) ค่าศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (oxidation reduction potential, ORP) อุณหภูมิ, ค่าความนำไฟฟ้า (electric conductivity, EC) ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (dissolved oxygen, DO) และค่าปริมาณของแข็งในน้ำ (total dissolved solid, TDS)

แต่เนื่องจากการปิดกั้นบ่อและสาเหตุอื่น ๆ เช่น บ่อบาดาลอยู่ระหว่างการสูบน้ำ บ่อบาดาลบางบ่อไม่มีช่องเปิดให้สำหรับเครื่องมือวัดระดับน้ำ เป็นต้น ทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลบางตำแหน่งได้ อย่างไรก็ตามตำแหน่งบ่อบาดาลที่ตรวจวัดค่าระดับน้ำได้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา โดยสำรวจทั้งหมด 23 บ่อ แต่สามารถเก็บข้อมูลระดับน้ำบาดาลได้ 18 บ่อ และเก็บน้ำผิวดิน 4 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อบาดาลที่ทำกรตรวจวัดระดับน้ำและตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน



รูปที่ 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการออกภาคสนาม (a) Ion meter (เครื่องวัดปริมาณไนเตรท)
 (b) pH-ORP meter (c) DO-Temperature meter (d) EC meter



รูปที่ 3.4 การวัดระดับน้ำบาดาลด้วยเครื่องวัดระดับน้ำ

สำหรับตัวอย่างน้ำบาดาลจะเก็บทั้งหมด 3 ขวดต่อ 1 จุดศึกษาโดยแบ่งเป็น ขวดสีชาสำหรับวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียร 1 ขวด และใส่ขวดพลาสติกขนาด 200 มิลลิลิตรสำหรับวิเคราะห์ไอออนบวก-ไอออนลบ 2 ขวด

ข้อควรระวังสำหรับการเก็บตัวอย่างในขวดสีชา คือ ในขณะเก็บต้องให้ภาชนะและอุปกรณ์ในการเก็บอยู่ใต้น้ำทั้งหมด และเมื่อทำการปิดฝาภาชนะแล้วต้องตรวจสอบดูว่าภายในมีฟองอากาศหรือไม่ ถ้าพบฟองอากาศต้องทำการเก็บใหม่ หลังจากนั้นจึงทำการพันพาราฟิล์ม (parafilm) รอบปากขวด

สำหรับขวดพลาสติกขนาด 200 มิลลิลิตร ทำการเก็บน้ำโดยวิธีการปกติ คือ สามารถกรอกน้ำใส่ได้เลย หลังจากนั้นจึงทำการพันพาราฟิล์มเช่นกัน



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างน้ำต่อ 1 จุดศึกษาประกอบด้วย

(a) ขวดสีชา (b) ขวดพลาสติก 200 ml 2 ขวด

3.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากทำการเก็บตัวอย่างแล้วจะนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจหาปริมาณไอออนบวก ได้แก่ โซเดียมไอออน (Na^+) โพแทสเซียมไอออน (K^+) แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) เหล็ก (total Fe) และไฮโดรเจนไอออน (H^+) ไอออนลบ ได้แก่ ฟลูออไรด์ไอออน (F^-) คลอไรด์ไอออน (Cl^-) ไนเตรทไอออน (NO_2^-) โบรไมด์ไอออน (Br^-) ไนเตรทไอออน (NO_3^-) ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-}) ไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) และคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) และค่าอัตราส่วนไอโซโทปเสถียรของไฮโดรเจน และออกซิเจน

สำหรับการวิเคราะห์ไอออนบวกและไอโซโทปเสถียรที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะนำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) และ Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS) ตามลำดับ จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ไอออนลบใช้เครื่อง Ion Chromatography จากศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตรายในการวิเคราะห์ปริมาณไอออนลบ แต่เนื่องจากความจำกัดทางเครื่องมือทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) และคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) ได้จึงทำการหาโดยการวิเคราะห์ Alkalinity แทน

เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลจึงต้องทำการหาความคลาดเคลื่อนของข้อมูลปริมาณไอออนต่าง ๆ เนื่องจากใช้คนละวิธีการตรวจสอบ ซึ่งการคำนวณดังกล่าวเรียกว่า สมดุลประจุ (charge balance) และหลังจากคำนวณแล้วหามีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 30 % จะเป็นที่สามารถยอมรับได้ (แสดงในภาคผนวก ข)

หลังจากนั้นจะทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างไนเตรทไอออนและไอออนอื่นในน้ำบาดาล จำแนกชนิดของน้ำด้วยแผนภูมิไปเปอร์ (Piper diagram) จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากบริเวณที่เก็บตัวอย่าง สร้างกราฟความสัมพันธ์ของไอโซโทปเสถียร แผนทีแสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาล โดยข้อมูลดังกล่าวข้างต้นจะนำไปใช้ในการประเมินแหล่งที่มาของไนเตรทไอออนในพื้นที่ศึกษา

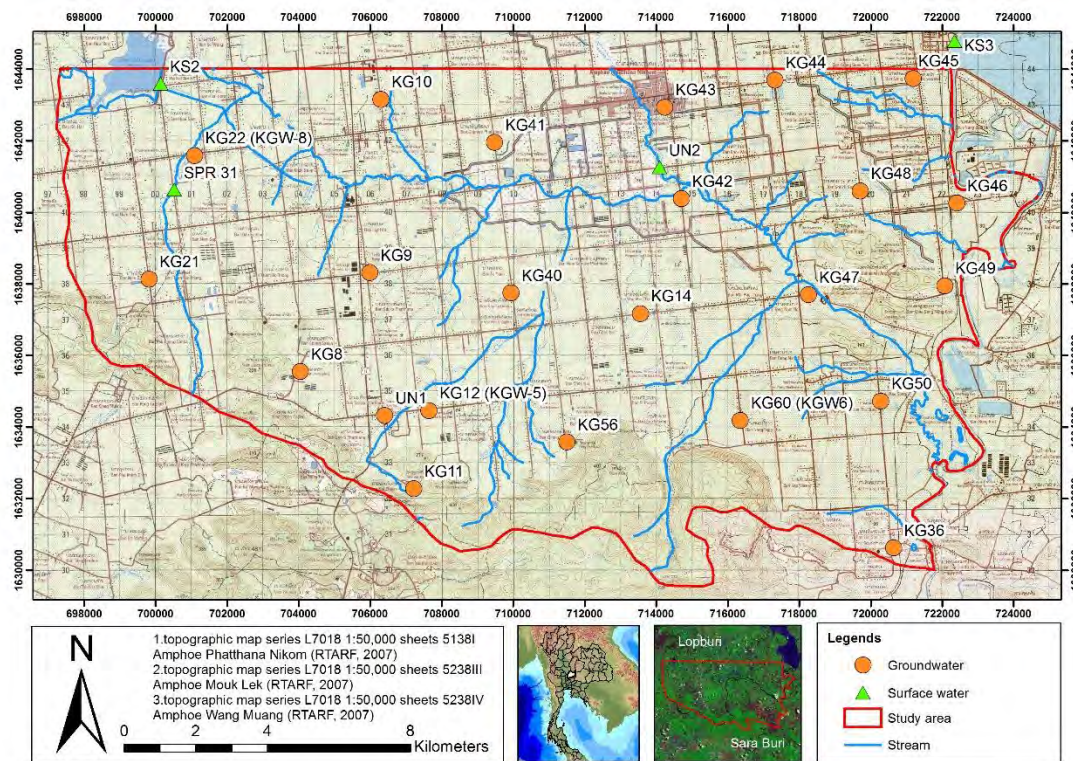
บทที่ 4 ผลการศึกษา

จากการศึกษาข้อมูลงานวิจัย สํารวจและเก็บตัวอย่าง วิเคราะห์ข้อมูล ทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลในหัวข้อต่าง ๆ ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดตำแหน่งเก็บตัวอย่าง

Sample	Location	Easting	Northing	Sample Type
KG8	วัดถ้ำสาริกา บ้านช่องสาริกาใน ต. ช่องสาริกา อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	704043	1635552	Groundwater
KG9	วัดดำรงบุล ต. ช่องสาริกา อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	705983	1638317	Groundwater
KG10	ที่สาธารณะ หมู่ 1 ต. คีลิ่ง อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	706293	1643164	Groundwater
KG11	ที่สาธารณะ บ้านช่องสาริกา หมู่ 1 ต. ช่องสาริกา อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	707215	1632278	Groundwater
KG12	ที่สาธารณะ บ้านหนองโพธิ์ หมู่ 8 ต. ช่องสาริกา อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	707635	1634462	Groundwater
KG14	ที่สาธารณะ บ้านขนน้อย หมู่ 2 ต. ขอนน้อย อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	713554	1637176	Groundwater
KG21	ที่สาธารณะ บ้านน้ำซับ หมู่ 5 ต. โคกตูม อ. เมือง จ. ลพบุรี	699808	1638137	Groundwater
KG22	บ้านผู้ใหญ่บ้าน หมู่ 3 ต. ช่องสาริกา อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	701085	1641590	Groundwater
KG36	รร. บ้านหินซ้อน บ้านหินซ้อน หมู่ 1 ต. หินซ้อน อ. แก่งคอย จ. สระบุรี	720636	1630626	Groundwater
KG40	ที่สาธารณะ บ้านซับตะเคียน หมู่ 7 ต. ช่องสาริกา อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	709933	1637753	Groundwater
KG41	ที่สาธารณะ บ้านราษฎร์พัฒนา หมู่ 10 ต. พัฒนานิคม อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	709476	1641958	Groundwater

Sample	Location	Easting	Northing	SampleType
KG42	ที่สาธารณะ บ้านใหม่โพธิ์ทอง หมู่ 3 ต. ซอนน้อย อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	714704	1640387	Groundwater
KG43	รร. อนุบาลพัฒนานิคม บ้านพัฒนานิคม หมู่ 6 ต. พัฒนานิคม อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	714237	1642943	Groundwater
KG44	ประปาหมู่บ้าน อบต. หนองบัว บ้านหนองบัว หมู่ 5 ต. หนองบัว อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	717320	1643698	Groundwater
KG45	วัดหนองบัว บ้านหนองบัว หมู่ 7 ต. หนองบัว อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	721187	1643745	Groundwater
KG46	ที่สาธารณะ บ้านคำพราน หมู่ 11 ต. หนองบัว อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	722403	1640264	Groundwater
KG47	ที่สาธารณะ บ้านดงน้ำบ่อ หมู่ 8 ต. หินซ้อน อ. แก่งคอย จ. สระบุรี	718258	1637700	Groundwater
KG48	ที่สาธารณะ บ้านชุมชนเขาพระนอน หมู่ 2 ต. หนองบัว อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	719706	1640604	Groundwater
KG49	ที่สาธารณะ บ้านสหพันธ์อ่างทอง หมู่ 8 ต. หนองบัว อ. พัฒนานิคม จ. ลพบุรี	722067	1637954	Groundwater
KG50	ที่สาธารณะ บ้านท่าเตื่อ หมู่ 5 ต. หินซ้อน อ. แก่งคอย จ. สระบุรี	720280	1634728	Groundwater
KG56	ปากซอยวัดถ้ำเสือ บ้าน ซ.17 สาย 4	711497	1633582	Groundwater
KG60	ที่สาธารณะ บ้านหนองจิวผา หมู่ 6 ต. หินซ้อน อ. แก่งคอย จ. สระบุรี	716348	1634190	Groundwater
SPR 31	น้ำพุ ไกล้วัดน้ำซับสังฆาราม	700522	1640635	Surface water
KS2	อ่างเก็บน้ำห้วยส้ม	700135	1643598	Surface water
KS3	เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์	722347	1644789	Surface water
UN1	ร้านชาบูอินดี้	706401	1634325	Groundwater
UN2	ที่สาธารณะ บ้านตลาดพัฒนา (สะพานข้ามทางน้ำ)	714092	1641260	Surface water



รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อในการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

4.1 ระดับน้ำบาดาล (Groundwater level)

จากการเก็บข้อมูลระดับน้ำบาดาลทำการเก็บระดับน้ำบาดาลทั้งหมด 23 บ่อ แต่สามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งหมด 18 บ่อ ได้ผลดัง ตารางที่ 4.2

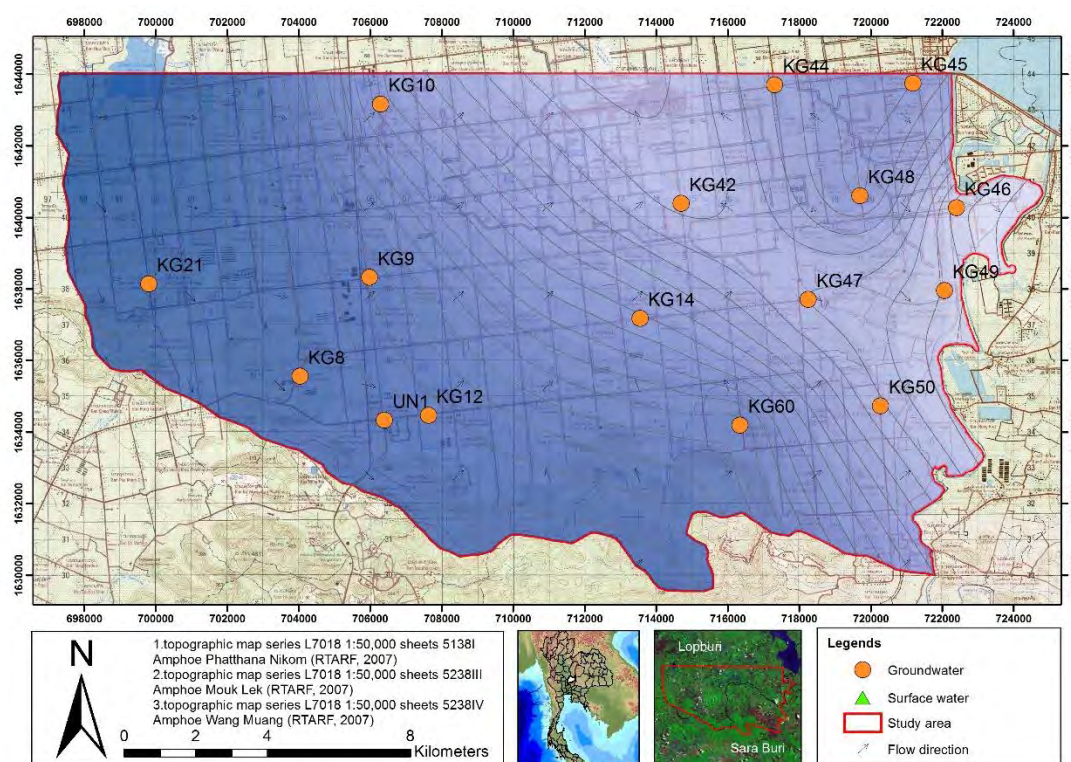
ตารางที่ 4.2 รายละเอียดระดับน้ำบาดาล

Sample	Water Table from surface (m)	Sample	Water Table from surface (m)	Sample	Water Table from Surface (m)
KG8	27.02	KG40	-	KG49	25.54
KG9	11.50	KG41	-	KG50	8.20
KG10	1.63	KG42	5.30	KG56	>7.5
KG11	>50	KG43	-	KG60	13.15
KG12	10.29	KG44	21.20	SPR 31	-

Sample	Water Table from surface (m)	Sample	Water Table from surface (m)	Sample	Water Table from Surface (m)
KG14	7.07	KG45	4.27	KS2	-
KG21	10.01	KG46	23.83	KS3	-
KG22	-	KG47	5.00	UN1	10.59
KG36	-	KG48	15.03	UN2	-

และเมื่อทำการประมวลผลในรูปของแผนที่จะเห็นว่าบริเวณตรงกลางค่อนข้างไปทางตะวันออกเฉียงเหนือมีระดับน้ำที่ต่ำกว่าบริเวณอื่นโดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ 30 – 50 เมตร (รทก.) ซึ่งน่าจะเป็นพื้นที่สูญเสียน้ำ (discharge area) ส่วนบริเวณตะวันตกของพื้นที่ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขา ดังนั้นบริเวณนี้จึงน่าจะเป็นพื้นที่เพิ่มเติมน้ำ (recharge area) ของพื้นที่ศึกษา

จึงสามารถทราบทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่นี้ได้ว่า มีทิศทางการไหลหลักจากตะวันตกเฉียงใต้ไปตะวันออกเฉียงเหนือ ตามเส้นชั้นความสูง (contour line) จากเส้นที่มีค่ามากกว่าสู่เส้นที่มีค่าน้อยกว่า



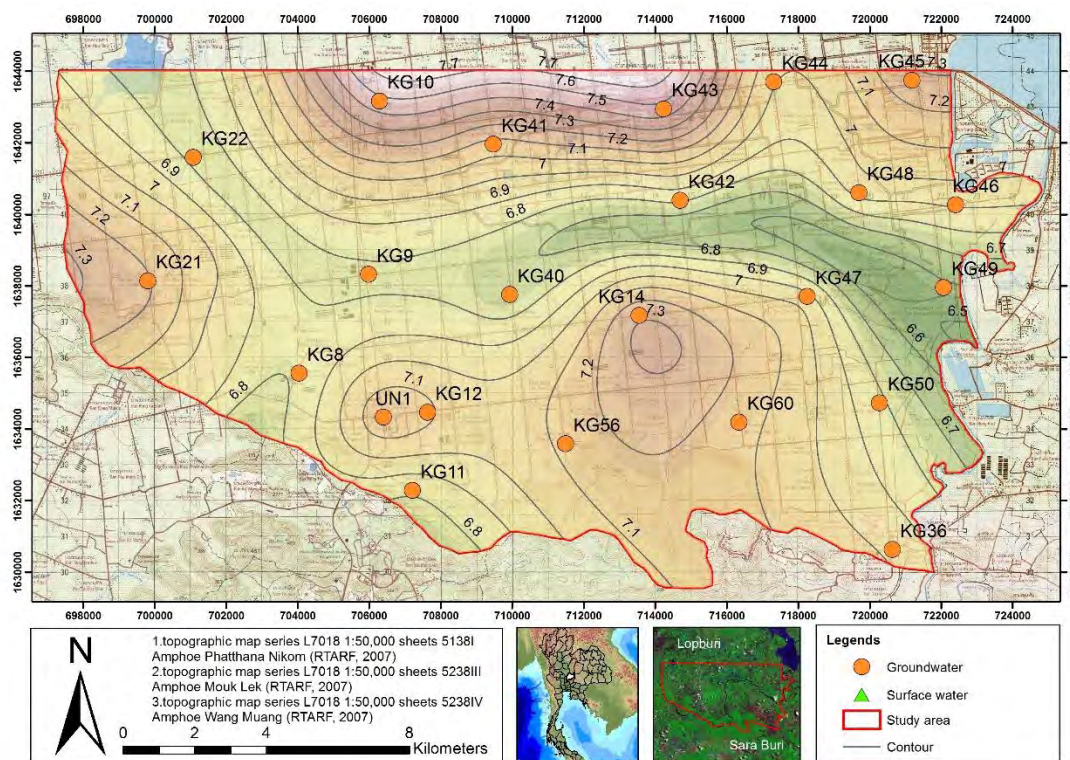
รูปที่ 4.2 แผนที่แสดงระดับน้ำบาดาล

4.2 ค่าความเป็นกรด - เบส (pH)

ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของน้ำบาดาลที่ทำการเก็บตัวอย่างในเดือนมกราคมพบว่า มีค่าตั้งแต่ 6.60 ถึง 7.60 ซึ่งไม่ปรากฏลักษณะของน้ำกระด้าง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.03 สำหรับน้ำผิวดินมีค่าความเป็นกรด-เบส ตั้งแต่ 7.67 ถึง 8.13 ซึ่งค่อนข้างมีความเป็นกรด-เบสสูงกว่าน้ำบาดาล มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.00 ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางค่า pH ของแต่ละจุดศึกษา

SampleCode	pH	SampleCode	pH	SampleCode	pH
KG8	6.82	KG40	6.69	KG49	6.60
KG9	6.77	KG41	7.13	KG50	6.82
KG10	7.59	KG42	6.86	KG56	7.12
KG11	6.79	KG43	7.60	KG60	7.14
KG12	7.12	KG44	6.98	SPR 31	7.67
KG14	7.32	KG45	7.27	KS2	8.13
KG21	7.23	KG46	6.92	KS3	8.10
KG22	6.80	KG47	7.00	UN1	7.20
KG36	6.98	KG48	6.98	UN2	8.11



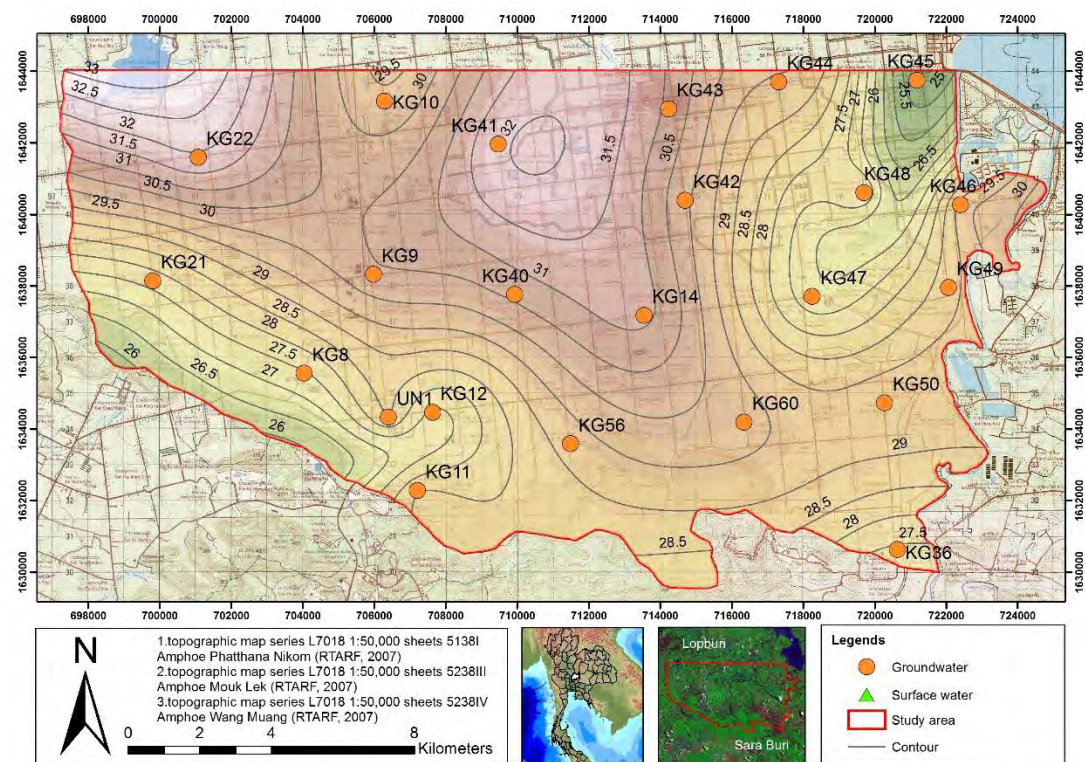
รูปที่ 4.3 แผนที่แสดงค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำบาดาล

4.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำบาดาลมีค่าตั้งแต่ 24.6 ถึง 31.9 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ในขณะที่ของน้ำผิวดินมีค่าเพียงแค่ 24.9 ถึง 29.9 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 รายละเอียดอุณหภูมิของน้ำแต่ละจุดศึกษา

SampleCode	Temp_C	SampleCode	Temp_C	SampleCode	Temp_C
KG8	27.40	KG40	30.60	KG49	28.80
KG9	30.40	KG41	31.90	KG50	29.30
KG10	29.60	KG42	30.10	KG56	29.20
KG11	28.50	KG43	30.90	KG60	29.70
KG12	27.40	KG44	29.40	SPR 31	27.00
KG14	31.10	KG45	24.60	KS2	29.90
KG21	27.70	KG46	29.20	KS3	25.70
KG22	31.90	KG47	27.20	UN1	28.50
KG36	27.40	KG48	28.00	UN2	24.90



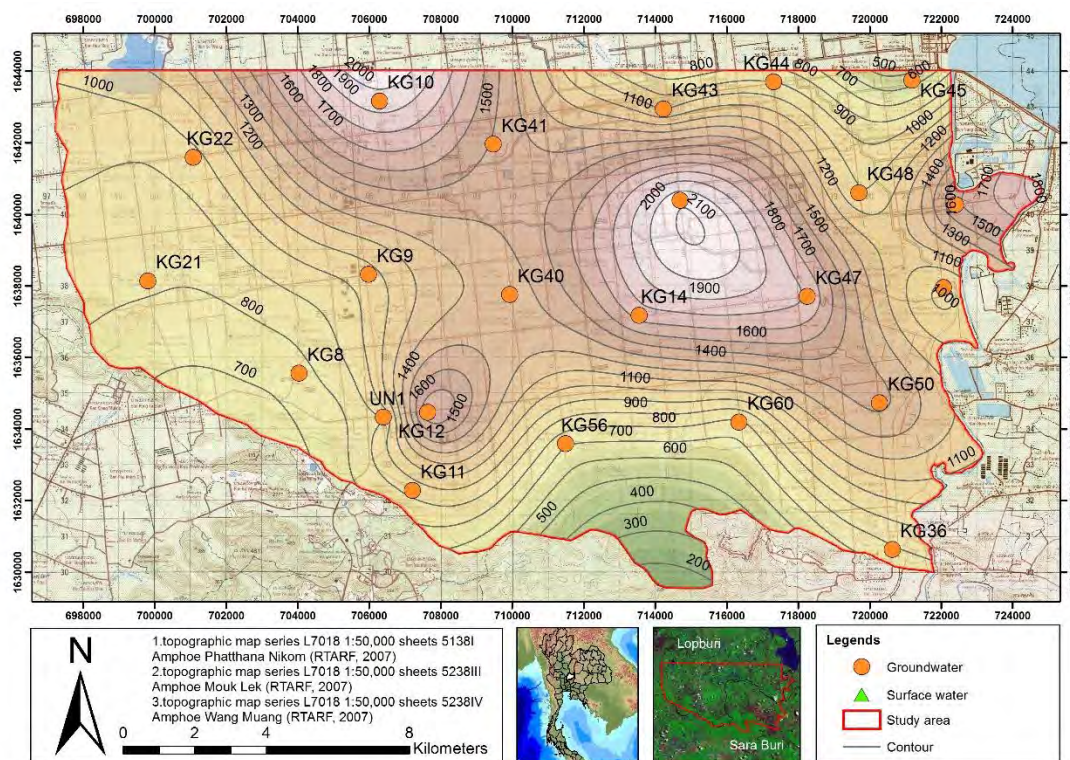
รูปที่ 4.4 แผนที่แสดงอุณหภูมิของน้ำบาดาล

4.4 ค่าความนำไฟฟ้า (electric conductivity)

ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำบาดาลมีค่าตั้งแต่ 561 ถึง 2075 ไมโครซีเมนต์ (μS) ในขณะที่ของน้ำผิวดินมีค่าเพียงแค่ 318 ถึง 1640 ไมโครซีเมนต์ ดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 รายละเอียดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำแต่ละจุดศึกษา

SampleCode	EC_ μS	SampleCode	EC_ μS	SampleCode	EC_ μS
KG8	765.00	KG40	1337.00	KG49	987.00
KG9	1065.00	KG41	1487.00	KG50	1420.00
KG10	1957.00	KG42	2075.00	KG56	713.00
KG11	930.00	KG43	989.00	KG60	777.00
KG12	1674.00	KG44	906.00	SPR 31	936.00
KG14	1740.00	KG45	561.00	KS2	394.00
KG21	819.00	KG46	1575.00	KS3	318.00
KG22	970.00	KG47	1783.00	UN1	897.00
KG36	784.00	KG48	1012.00	UN2	1640.00



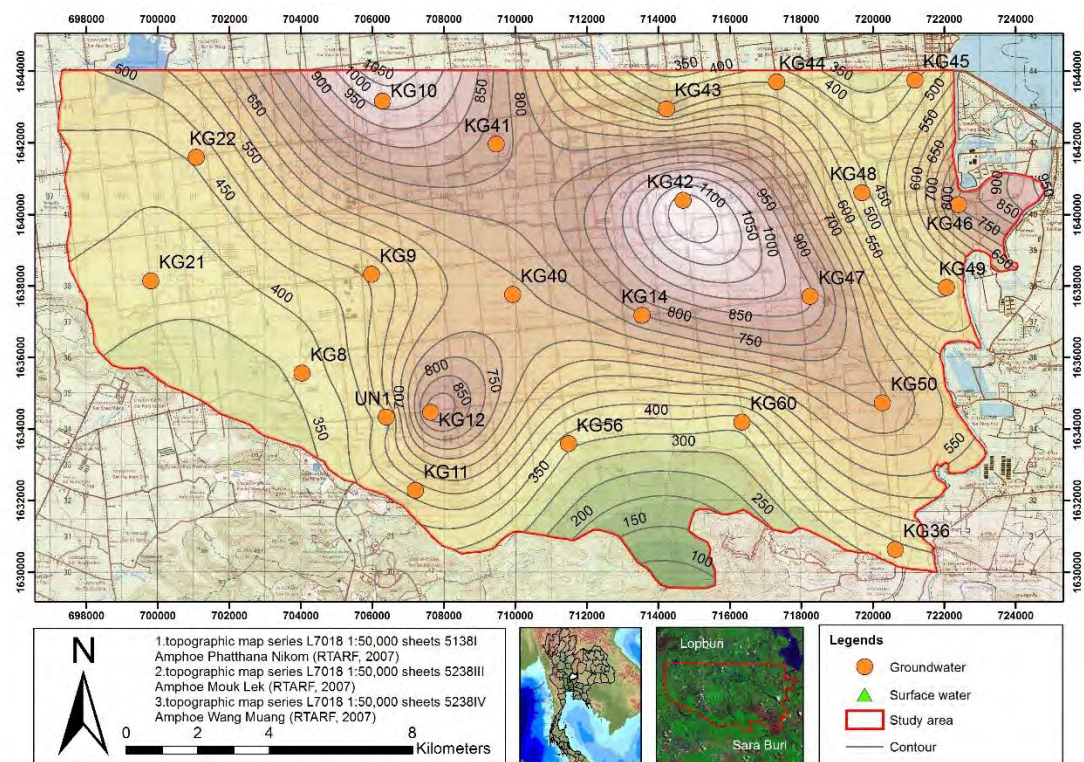
รูปที่ 4.5 แผนที่แสดงค่าความนำไฟฟ้าของน้ำบาดาล

4.5 ค่าปริมาณของแข็งในน้ำ (total dissolved solid)

ค่าปริมาณของแข็งในน้ำของน้ำบาดาลมีค่าตั้งแต่ 364.6 ถึง 1123 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) ในขณะที่ของน้ำผิวดินมีค่าเพียงแค่ว่า 115.8 ถึง 860.4 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีต่ำสุดที่จุด KS2 ที่เป็นพื้นที่ต้นน้ำและเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดปลายน้ำที่มีที่ UN2 นอกจากนี้จะสังเกตเห็นว่าน้ำบาดาลมีความนำไฟฟ้าสูงกว่าน้ำผิวดิน และค่าปริมาณของแข็งในน้ำในแต่ละจุดศึกษานี้มีค่าสอดคล้องกับค่าความนำไฟฟ้าในหัวข้อ 4.4 ดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 รายละเอียดค่าปริมาณของแข็งในน้ำของน้ำแต่ละจุดศึกษา

SampleCode	TDS_ppm	SampleCode	TDS_ppm	SampleCode	TDS_ppm
KG8	366.80	KG40	682.00	KG49	449.10
KG9	513.50	KG41	822.20	KG50	702.40
KG10	1020.00	KG42	1123.00	KG56	364.60
KG11	469.70	KG43	459.40	KG60	376.10
KG12	880.80	KG44	449.70	SPR 31	486.10
KG14	799.30	KG45	396.90	KS2	208.60
KG21	379.60	KG46	805.70	KS3	155.80
KG22	461.80	KG47	910.50	UN1	470.20
KG36	384.70	KG48	459.80	UN2	860.40



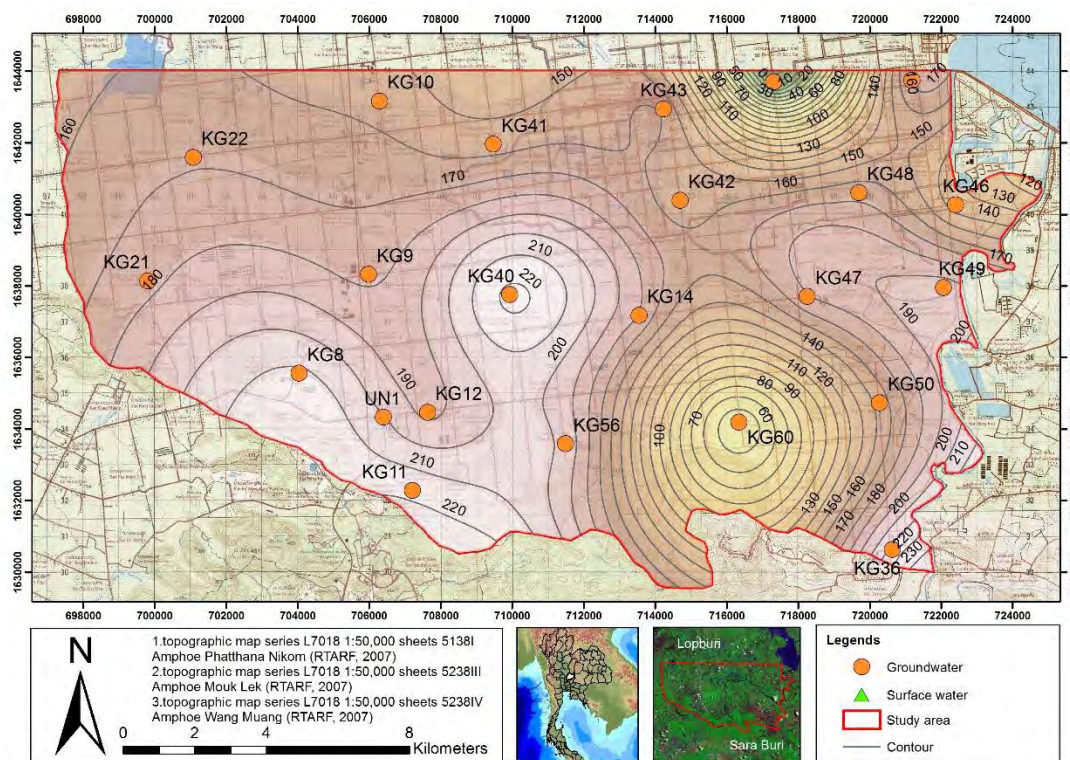
รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงค่าปริมาณของแข็งในน้ำของน้ำบาดาล

4.6 ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (oxidation reduction potential)

ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ส่วนใหญ่แล้วมีค่าเป็นบวก ยกเว้นเพียงจุดศึกษาเดียวที่พบค่าเป็นลบ คือ จุดศึกษาที่ KG44 โดยค่านี้มีค่าตั้งแต่ -37.4 ถึง 221.8 มิลลิโวลต์ (mV)

ตารางที่ 4.7 รายละเอียดอัตราการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ในน้ำของน้ำแต่ละจุดศึกษา

SampleCode	ORP_mV	SampleCode	ORP_mV	SampleCode	ORP_mV
KG8	211.90	KG40	221.80	KG49	195.70
KG9	177.90	KG41	156.10	KG50	154.60
KG10	156.70	KG42	155.40	KG56	196.70
KG11	217.40	KG43	158.50	KG60	53.10
KG12	188.40	KG44	-37.40	SPR 31	146.40
KG14	178.90	KG45	171.50	KS2	118.00
KG21	177.10	KG46	135.80	KS3	3.57
KG22	168.90	KG47	178.60	UN1	200.90
KG36	214.10	KG48	165.80	UN2	196.10



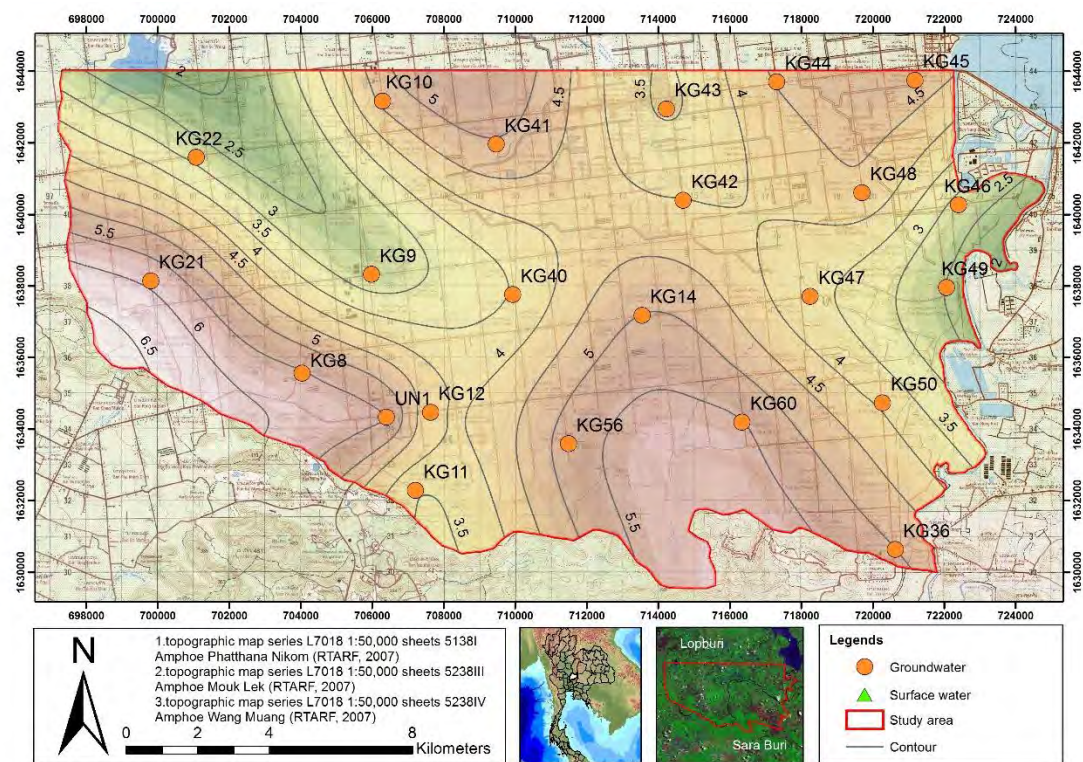
รูปที่ 4.7 แผนที่แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ในน้ำบาดาล

4.7 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen)

ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำบาดาลมีค่าตั้งแต่ 2.49 ถึง 5.90 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) ในขณะที่น้ำผิวดินมีค่าตั้งแต่ 5.10 ถึง 9.27 มิลลิกรัมต่อลิตร จะสังเกตเห็นว่าน้ำผิวดินนั้นจะมีค่ามากกว่าน้ำบาดาล

ตารางที่ 4.8 รายละเอียดค่าออกซิเจนละลายในน้ำของแต่ละจุดศึกษา

SampleCode	DO_mg/l	SampleCode	DO_mg/l	SampleCode	DO_mg/l
KG8	5.59	KG40	3.52	KG49	2.48
KG9	2.65	KG41	4.95	KG50	3.91
KG10	4.65	KG42	4.02	KG56	5.23
KG11	3.52	KG43	3.44	KG60	5.52
KG12	4.10	KG44	4.53	SPR 31	9.27
KG14	5.02	KG45	4.75	KS2	6.21
KG21	5.90	KG46	2.85	KS3	6.16
KG22	2.87	KG47	3.62	UN1	5.57
KG36	5.00	KG48	4.39	UN2	5.10



รูปที่ 4.8 แผนที่แสดงค่าออกซิเจนละลายในน้ำบาดาล

4.8 ความเข้มข้นของโลหะ ไอออนบวก ไอออนลบ และค่าไอโซโทปเสถียร (concentrations of metal, cations, anions and stable isotope values)

คุณลักษณะทางอุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน แสดงในรูปของปริมาณโลหะ แคทไอออน แอนไอออน และค่าไอโซโทปเสถียร ดังตารางที่ 4.9 และ 4.10

ตารางที่ 4.9 รายละเอียดการวิเคราะห์ปริมาณโลหะ ไอออนบวก (mg/l) และค่าไอโซโทปเสถียร (per mil)

Sample	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	tot Fe	d18O	d2H
KG8	161.200	4.554	3.098	2.863	0.51942	-7.13	-47.34
KG9	204.500	5.027	11.110	4.205	0.18492	-6.45	-43.48
KG10	193.500	84.580	141.200	5.515	0.22329	-2.28	-22.53
KG11	218.500	8.995	17.370	2.986	7.62463	-6.00	-43.95
KG12	271.200	6.707	117.500	3.628	0.61263	-6.34	-43.64
KG14	274.300	30.250	57.450	4.088	0.31620	-6.64	-44.49
KG21	194.700	3.609	7.777	3.561	3.22182	-6.78	-46.62
KG22	244.000	9.688	14.310	3.707	0.62643	-6.22	-43.07
KG36	166.800	4.663	10.610	2.117	0.44051	-6.80	-45.35
KG40	233.000	15.010	52.070	2.788	0.40352	-6.05	-42.37
KG41	82.270	84.510	151.400	2.367	0.56092	-6.95	-49.17
KG42	207.600	83.110	128.900	19.990	4.43894	-6.66	-46.63
KG43	40.560	23.120	178.500	7.803	1.40612	-6.89	-49.86
KG44	181.000	14.640	17.140	4.658	24.16132	-6.05	-43.98
KG45	114.900	25.880	53.390	7.987	6.91118	-6.80	-51.07
KG46	184.900	54.060	79.020	4.287	0.93138	-6.46	-45.22
KG47	121.500	45.720	216.800	3.807	1.47793	-6.67	-46.21
KG48	209.800	21.810	57.410	4.439	0.34056	-6.56	-46.21
KG49	174.800	9.131	20.260	4.300	2.98749	-6.55	-45.62
KG50	269.100	12.650	31.910	3.226	6.34969	-6.58	-44.85
KG56	173.100	4.057	3.869	2.723	0.33633	-7.21	-48.20

Sample	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	tot Fe	d18O	d2H
KG60	168.000	7.352	6.835	2.824	0.31761	-7.09	-47.43
SPR 31	189.500	5.469	15.750	14.560	0.31668	-5.17	-37.33
KS2	40.420	8.711	37.630	12.680	0.26363	-4.08	-37.95
KS3	56.040	8.643	15.450	7.523	0.35377	-7.38	-56.24
UN1	183.700	3.208	14.280	4.819	0.31142	-6.97	-47.60
UN2	164.600	22.050	186.000	61.040	0.49990	-2.46	-26.50

ตารางที่ 4.10 รายละเอียดการวิเคราะห์ปริมาณไอออนลบ (mg/l)

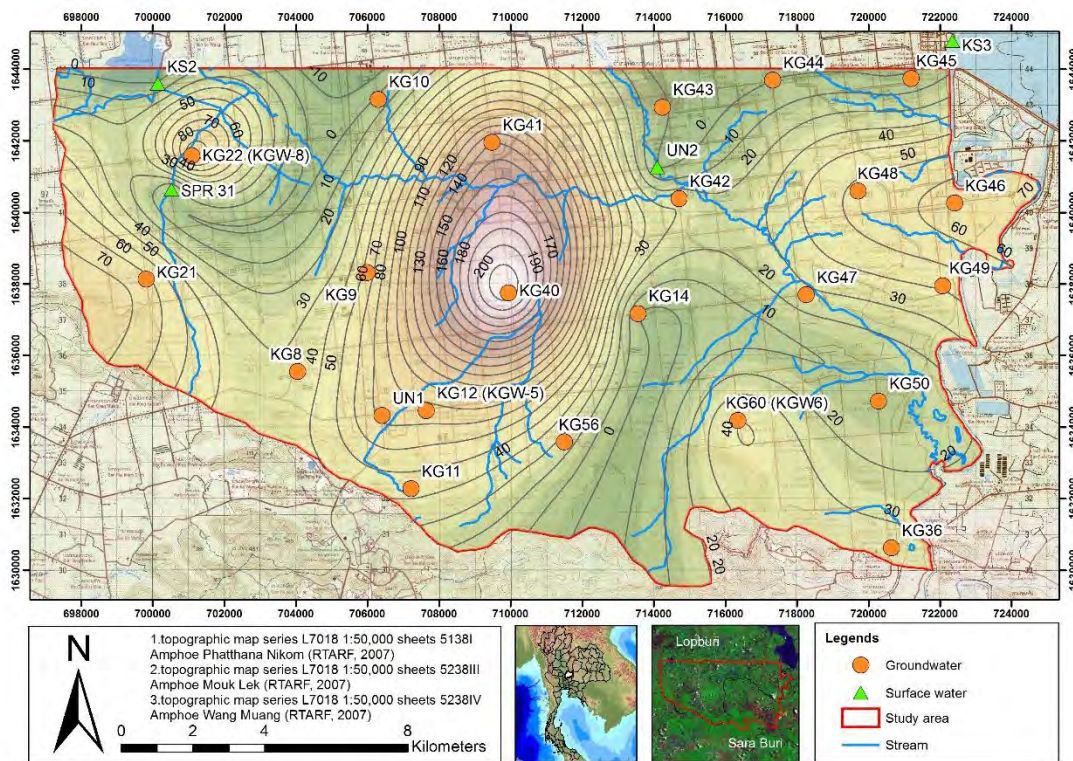
Sample	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
KG8	0.214	15.452	0.136	0.062	33.318	32.335	0.076	399.333	n.a.
KG9	0.607	93.301	0.059	0.597	52.727	125.037	0.080	432.000	n.a.
KG10	0.032	105.787	0.141	n.a.	1.926	133.276	0.053	262.000	9.333
KG11	0.742	32.932	0.415	0.102	43.534	129.936	0.109	434.000	n.a.
KG12	0.353	592.646	0.791	0.361	75.594	81.438	0.096	365.333	n.a.
KG14	0.640	643.251	0.904	1.684	0.593	72.809	0.108	404.667	n.a.
KG21	0.245	30.937	0.506	0.133	62.536	35.374	0.083	385.333	n.a.
KG22	0.554	73.427	0.681	0.489	86.200	95.130	0.093	387.333	n.a.
KG36	0.326	24.217	0.687	0.124	33.937	50.891	0.097	396.000	n.a.
KG40	1.065	212.486	0.726	1.112	205.472	141.185	0.100	348.667	n.a.
KG41	1.928	154.505	0.944	0.688	129.411	110.078	0.090	628.667	n.a.
KG42	0.494	240.232	0.699	0.748	27.427	73.783	0.097	505.333	n.a.
KG43	0.368	70.900	0.791	0.135	2.130	16.056	0.066	498.000	20.000
KG44	0.920	96.386	0.664	0.277	0.325	63.075	0.079	428.000	n.a.
KG45	0.118	15.042	0.211	0.037	2.924	61.895	0.101	286.667	n.a.
KG46	1.460	326.429	0.765	0.743	64.901	221.584	0.089	464.000	n.a.
KG47	2.281	235.341	0.279	0.761	27.024	138.270	0.083	486.000	n.a.
KG48	1.071	79.365	0.223	0.295	52.382	86.724	0.091	433.333	n.a.
KG49	0.545	42.142	0.490	0.241	40.831	65.111	0.107	482.000	n.a.

Sample	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
KG50	0.579	394.967	0.523	1.462	10.494	86.966	0.092	416.000	n.a.
KG56	0.206	12.473	0.512	0.089	26.214	31.656	0.103	376.667	n.a.
KG60	0.342	14.373	0.897	0.070	39.499	20.736	0.075	399.333	n.a.
SPR 31	0.023	0.153	1.018	0.053	0.425	42.688	n.a.	338.000	n.a.
KS2	0.608	46.368	0.545	0.121	0.620	53.024	0.071	160.000	n.a.
KS3	0.466	14.437	0.875	0.036	0.438	35.731	0.075	134.667	13.333
UN1	0.274	35.369	0.744	0.079	71.629	67.504	0.075	402.000	n.a.
UN2	0.607	618.071	1.456	0.626	0.983	101.081	0.643	300.000	30.667

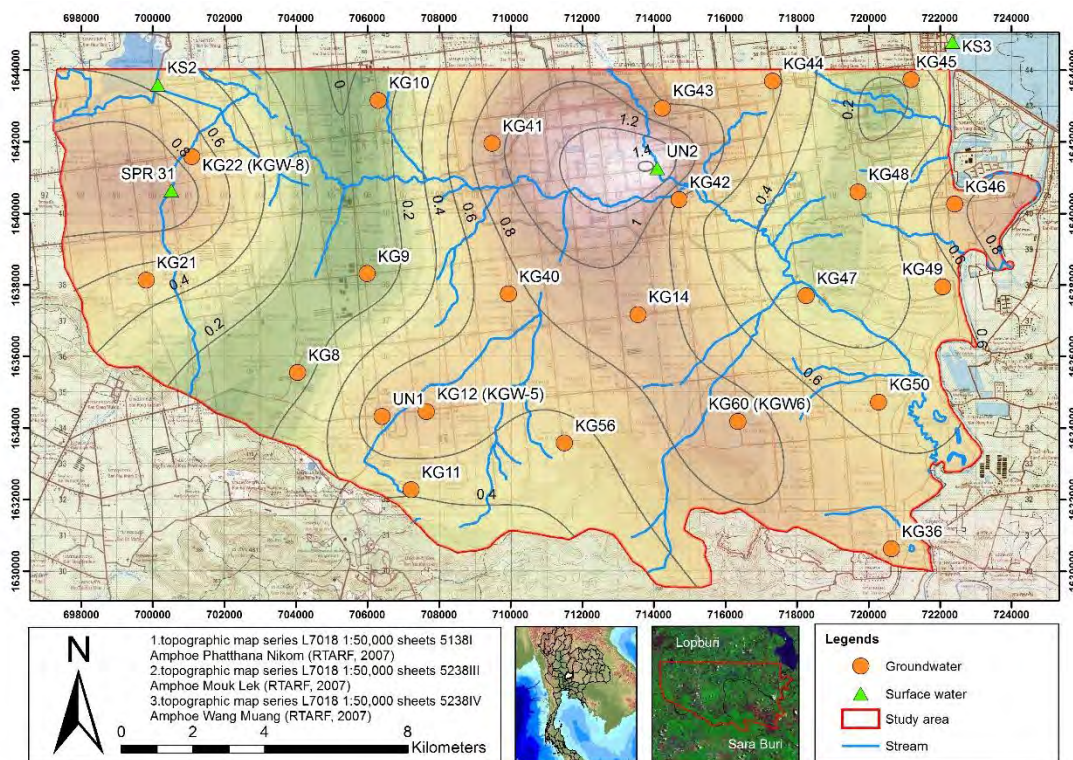
4.9 การกระจายตัวของไนเตรท และไนไตรท์

ปริมาณของไนเตรทในน้ำบาดาลนั้นมีค่ามากกว่าน้ำผิวดิน บางบริเวณมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่สามารถใช้บริโภคได้ โดยจุดศึกษาที่เกินค่ามาตรฐานดังกล่าว ได้แก่ KG9 KG12 KG21 KG22 KG40 KG41 KG46 KG48 และ UN1 มีค่าตั้งแต่ 52.382 ถึง 205.472 mg/l ซึ่งแหล่งที่มาของไนเตรทเป็นได้ทั้งจากธรรมชาติ หรือจากการกระทำของมนุษย์ โดยความเข้มข้นไนเตรทนั้นพบมีค่ามากบริเวณตรงกลาง และทางเหนือของพื้นที่ และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 205.427 mg/l ที่บ่อ KG40 สำหรับน้ำผิวดินพบเป็นปริมาณน้อยกว่าค่ามาตรฐานทุกจุดศึกษาโดยมีค่าตั้งแต่ 0.425 ถึง 0.983 mg/l ซึ่งพบสูงสุดบริเวณ UN2 ดังแสดงในรูปที่ 4.9

สำหรับปริมาณไนไตรท์พบทั้งในน้ำบาดาลและน้ำผิวดินนั้น พบมีค่าค่อนข้างต่ำมีค่าไม่เกิน 1.5 mg/l โดยบริเวณที่มีค่าสูงอยู่ทางด้านตะวันตก และตรงกลางของพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.10



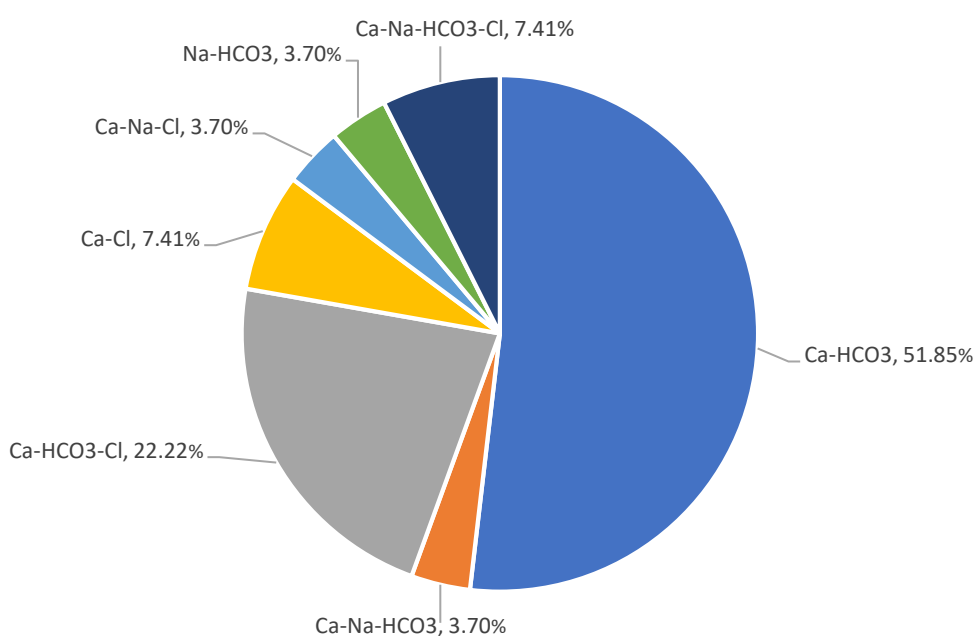
รูปที่ 4.9 การกระจายตัวของไนเตรทในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.10 การกระจายตัวของไนเตรทในพื้นที่ศึกษา

4.10 ชนิดของน้ำ (water type)

การระบุชนิดของน้ำสามารถแบ่งโดยใช้แผนภูมิไปเปอร์ (piper diagram) (Galloway & Kaiser, 1980) ซึ่งทำการสร้างแผนภูมิจากลักษณะทางอุทกธรณีเคมีที่ทำการตรวจวัดได้ โดยภายในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยน้ำทั้งหมด 7 ชนิด ได้แก่ Ca-HCO_3 51.85%, Ca-Na-HCO_3 3.70%, $\text{Ca-HCO}_3\text{-Cl}$ 22.22%, Ca-Cl 7.41%, Ca-Na-Cl 3.70%, Na-HCO_3 3.70% และ $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ 7.41% ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แผนภูมิวงกลมแสดงเปอร์เซ็นต์ชนิดของน้ำ

การศึกษาชนิดของน้ำสามารถใช้ในการระบุได้ว่าหากน้ำคนละชนิดกัน สันนิษฐานได้ว่าแคทไอออนและแอนไอออนในน้ำแต่ละจุดนั้นก็มาจากแหล่งที่มาคนละแหล่งกัน

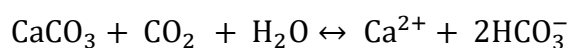
จากข้อมูลเราจะเห็นว่าตัวอย่างน้ำ เช่น KG9 KG14 KS2 UN2 เป็นต้น ที่คิดเป็นทั้งหมด 40.74% มีปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ค่อนข้างมาก ทำให้ทราบได้ว่าน่าจะเป็นที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์

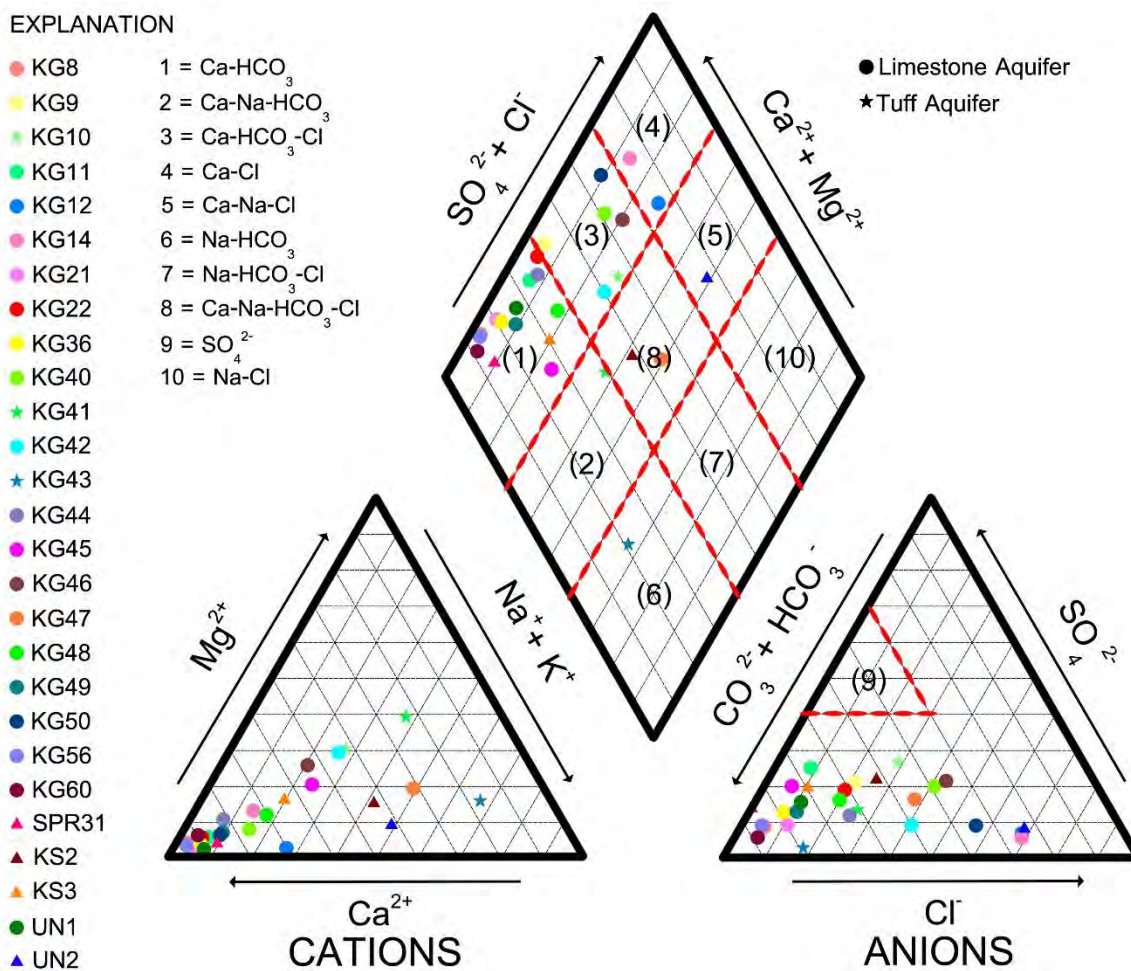
ตารางที่ 4.11 รายละเอียดชนิดของน้ำแต่ละจุดศึกษา

SampleCode	water type	SampleCode	water type
KG8	1 Ca-HCO ₃	KG46	3 Ca-HCO ₃ -Cl
KG9	3 Ca-HCO ₃ -Cl	KG47	8 Ca-Na-HCO ₃ -Cl
KG10	3 Ca-HCO ₃ -Cl	KG48	1 Ca-HCO ₃
KG11	1 Ca-HCO ₃	KG49	1 Ca-HCO ₃
KG12	4 Ca-Cl	KG50	3 Ca-HCO ₃ -Cl
KG14	4 Ca-Cl	KG56	1 Ca-HCO ₃
KG21	1 Ca-HCO ₃	KG60	1 Ca-HCO ₃
KG22	1 Ca-HCO ₃	SPR 31	1 Ca-HCO ₃
KG36	1 Ca-HCO ₃	KS2	8 Ca-Na-HCO ₃ -Cl
KG40	3 Ca-HCO ₃ -Cl	KS3	1 Ca-HCO ₃
KG41	2 Ca-Na-HCO ₃	UN1	1 Ca-HCO ₃
KG42	3 Ca-HCO ₃ -Cl	UN2	5 Ca-Na-Cl
KG43	6 Na-HCO ₃		
KG44	1 Ca-HCO ₃		
KG45	1 Ca-HCO ₃		

เนื่องจากในพื้นที่ศึกษาแบ่งชั้นน้ำออกเป็น 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นน้ำหินปูน และชั้นน้ำหินทัพฟ์ โดยชั้นน้ำหินทัพฟ์นั้นประกอบด้วยจุดศึกษาที่ KG10, KG41 และ KG43 ซึ่งพบเป็นน้ำชนิดที่ 3, 6 และ 2 ตามลำดับ ส่วนจุดศึกษาอื่นนั้นเป็นชั้นน้ำหินปูนที่แสดงเป็นน้ำชนิดที่ 1, 3, 4, 5 และ 8

สำหรับจุดศึกษาที่ KG43, KG47, KS2 และ UN2 พบว่ามีปริมาณโซเดียมไอออน (Na⁺) สูงกว่าบริเวณอื่น ซึ่งไม่ถือเป็นเรื่องแปลกเพราะว่าเกิดการแทนที่แคลเซียมไอออนด้วยโซเดียมไอออนได้ โดยเป็นผลเนื่องจากการที่มีค่า pH สูงและมีปริมาณไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นดังสมการเคมี (Baba & Olowoyeye, 2011)





รูปที่ 4.12 piper diagram

4.11 อัตราส่วนไอโซโทปเสถียร (stable isotope ratio)

นอกจากการแปลผลจากไอออนต่าง ๆ แล้ว ยังใช้ผลวิเคราะห์ค่าไอโซโทปเสถียรมาช่วยในการอธิบายได้ โดยผลการวิเคราะห์ไอโซโทปนี้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาลได้สำหรับค่าไอโซโทปเสถียรที่ทำการวิเคราะห์ได้ผลดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าไอโซโทปเสถียรแต่ละจุดศึกษา

Sample	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	Sample	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
KG8	-7.13	-47.34	KG45	-6.80	-51.07
KG9	-6.45	-43.48	KG46	-6.46	-45.22
KG10	-2.28	-22.53	KG47	-6.67	-46.21
KG11	-6.00	-43.95	KG48	-6.56	-46.21
KG12	-6.34	-43.64	KG49	-6.55	-45.62
KG14	-6.64	-44.49	KG50	-6.58	-44.85
KG21	-6.78	-46.62	KG56	-7.21	-48.20
KG22	-6.22	-43.07	KG60	-7.09	-47.43
KG36	-6.80	-45.35	SPR31	-5.17	-37.33
KG40	-6.05	-42.37	KS2	-4.08	-37.95
KG41	-6.95	-49.17	KS3	-7.38	-56.24
KG42	-6.66	-46.63	UN1	-6.97	-47.60
KG43	-6.89	-49.86	UN2	-2.46	-26.50
KG44	-6.05	-43.98			

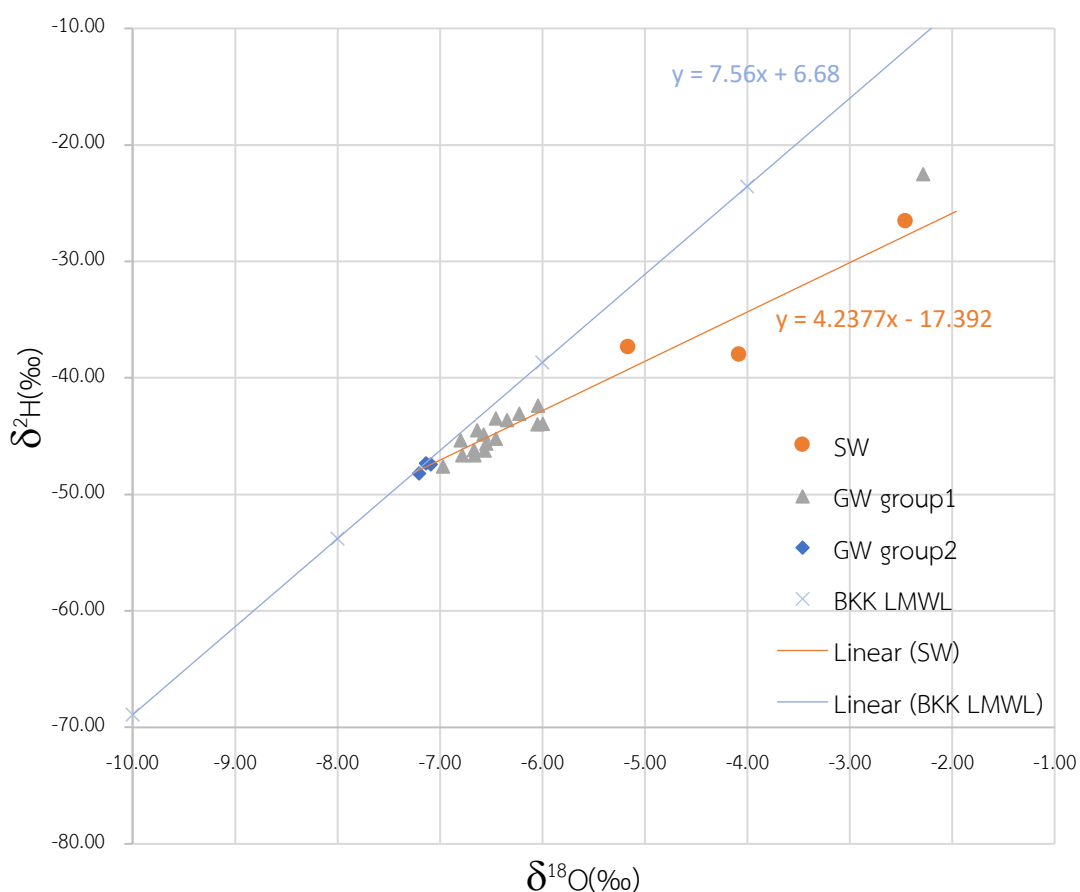
ผลของค่า $\delta^2\text{H}$ ในน้ำบาดาลนั้นมีค่าตั้งแต่ -7.21‰ ถึง -2.28‰ ส่วน $\delta^{18}\text{O}$ มีค่าตั้งแต่ -48.20‰ ถึง -22.53‰ ในน้ำผิวดินมีค่า $\delta^2\text{H}$ มีค่าตั้งแต่ -7.38‰ ถึง -2.46‰ ส่วน $\delta^{18}\text{O}$ มีค่าตั้งแต่ -56.24‰ ถึง -26.50‰ ซึ่งในการสร้างความสัมพันธ์ครั้งนี้ไม่ได้พิจารณาข้อมูลของตำแหน่ง KS3 เนื่องจากน่าจะไม่เกี่ยวข้องกับระบบการไหลของน้ำในพื้นที่ศึกษา เพราะว่าเป็นน้ำที่อยู่ในเขื่อนที่เป็นส่วนปลายของทางน้ำ และมีค่าอัตราส่วนที่แตกต่างจากข้อมูลของตำแหน่งอื่น ซึ่งอาจเกิดจากการผสมกันของน้ำจากหลายแหล่ง

เมื่อนำค่าอัตราส่วนไอโซโทปเสถียรมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^2\text{H}(\text{‰})$ กับ $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ พบว่าอัตราส่วนของน้ำผิวดินจะอยู่ห่างจากเส้นน้ำฝนกรุงเทพ ดังนั้นจึงสามารถสร้างเส้นแนวโน้มของน้ำผิวดิน (เส้นสีส้ม) ซึ่งเรียกว่า เส้นการระเหย (evaporation trend) และสร้างสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

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

สำหรับในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยน้ำบาดาล 2 กลุ่มหลัก โดยกลุ่มแรกประกอบด้วย KG8, KG56 และ KG60 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนตกอยู่บนเส้นน้ำฝนกรุงเทพทำให้ทราบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่เติมน้ำ (recharge area) โดยลักษณะภูมิประเทศของบริเวณนี้เป็นภูเขา สำหรับกลุ่มที่ 2 จะมีค่าอัตราส่วนเกาะกับเส้นการระเหยซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำบาดาลในกลุ่มนี้จะเกิดการระเหยก่อนซึมลงสู่ชั้นน้ำ ซึ่งเห็นได้จากรูปที่ 4.13 บริเวณมุมขวาบนจะพบจุดข้อมูลน้ำบาดาลที่มีค่าอัตราส่วนน้อยกว่าน้ำผิวดิน (KG10) จากข้อมูลภาคสนามในหัวข้อ 4.1 จะเห็นว่าที่จุดศึกษานี้มีระดับน้ำลึกเพียง 1.63 เมตรเท่านั้น ซึ่งถือว่าเป็นระดับที่ตื้นมาก ดังนั้นจึงเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน (fractionation) ได้ง่ายกว่าบริเวณที่ลึกกว่าอีกทั้งยังเป็นหลักฐานแสดงว่าน้ำบาดาลในตำแหน่งนี้ระเหยได้ง่าย

โดยการแปลความค่าไอโซโทปเสถียรนี้ทำให้ทราบว่าน้ำผิวดินและน้ำบาดาลตลอดพื้นที่ศึกษา มีความสัมพันธ์กันโดยสามารถไหลเชื่อมต่อกันได้ ทำให้ในการหาแหล่งที่มาของไนเตรทจึงจำเป็นต้องพิจารณารวมกับการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ดังแสดงในหัวข้อที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^2\text{H}(\text{‰})$ กับ $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$

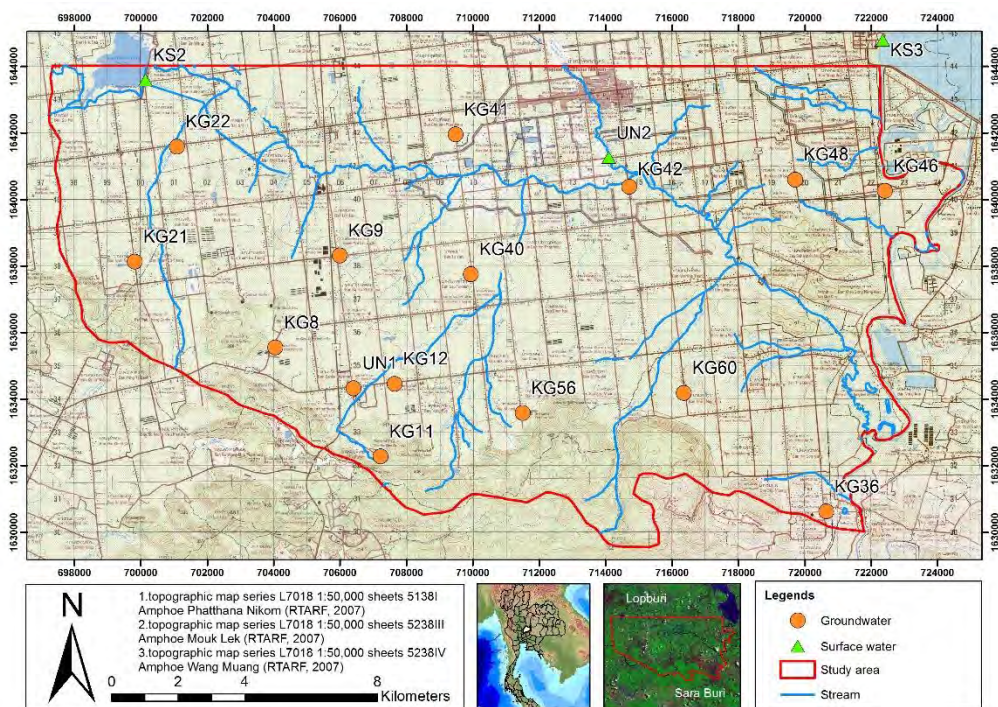
4.12 แหล่งที่มาของไนเตรท (nitrate sources)

การระบุแหล่งที่มาของไนเตรทจะใช้การสร้างกราฟความสัมพันธ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ เพื่อระบุแหล่งที่มา โดยแต่ละกราฟจะมีตำแหน่งที่แน่นอนในการอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของไนเตรทที่มาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.12.1 การเลือกจุดศึกษาในการวิเคราะห์

จากผลวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าในพื้นที่ศึกษามีปริมาณไนเตรทปนเปื้อนกระจายตัวหลายตำแหน่ง จึงเลือกจุดศึกษาที่มีปริมาณไนเตรทสูงกว่า 45 mg/l ซึ่งเกินกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม ดังนั้นจึงได้เลือกจุดศึกษาทั้งหมด 9 จุดศึกษา ได้แก่ KG9 KG12 KG21 KG22 KG40 KG41 KG46 KG48 และ UN1

แต่เนื่องจากเมื่อพิจารณาการใช้ประโยชน์ที่ดินของจุดศึกษาที่ KG8 KG11 KG36 KG56 และ KG60 ที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมบริเวณกว้าง KG42 ที่เป็นพื้นที่ทำการเลี้ยงสัตว์ KS2 KS3 และ UN2 เป็นจุดศึกษาน้ำผิวดิน จึงนำอีก 9 จุดศึกษามาร่วมพิจารณาด้วย

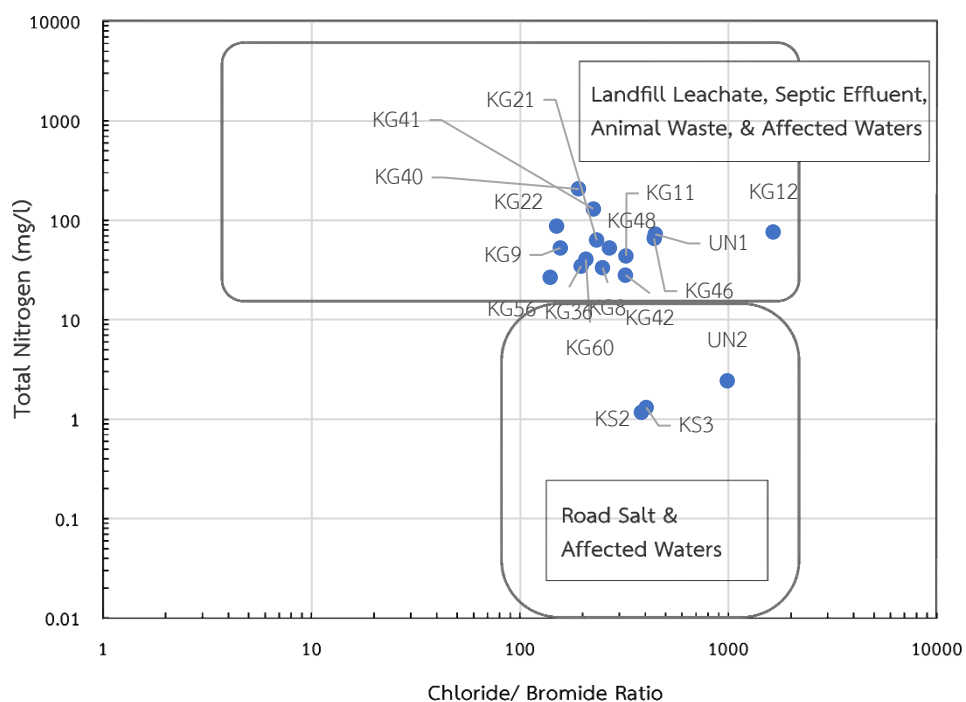


รูปที่ 4.14 แผนที่แสดงตำแหน่งจุดศึกษาที่สนใจ

4.12.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม

เนื่องจากคลอไรด์ไอออน และโบรมൈด์ไอออนเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่น ๆ ได้ยาก จึงทำให้เกิดการนำมาใช้ในการวิเคราะห์ (HEM, 1985) ดังนั้นจากงานของ Marie and Vengosh (2001) ได้ใช้ในการระบุความแตกต่างของน้ำที่ได้รับอิทธิพลจากเหตุการณ์อื่น ๆ ได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้พบว่าแบ่งน้ำออกได้เป็น 2 กลุ่ม ซึ่งกลุ่มที่เป็นน้ำผิวดิน ประกอบด้วย KS2 KS3 และ UN2 ส่วนที่เหลือตกกลุ่มด้านบนหมด ได้แก่ KG8 KG9 KG11 KG12 KG21 KG22 KG36 KG40 KG41 KG42 KG46 KG48 KG56 KG60 และ UN1

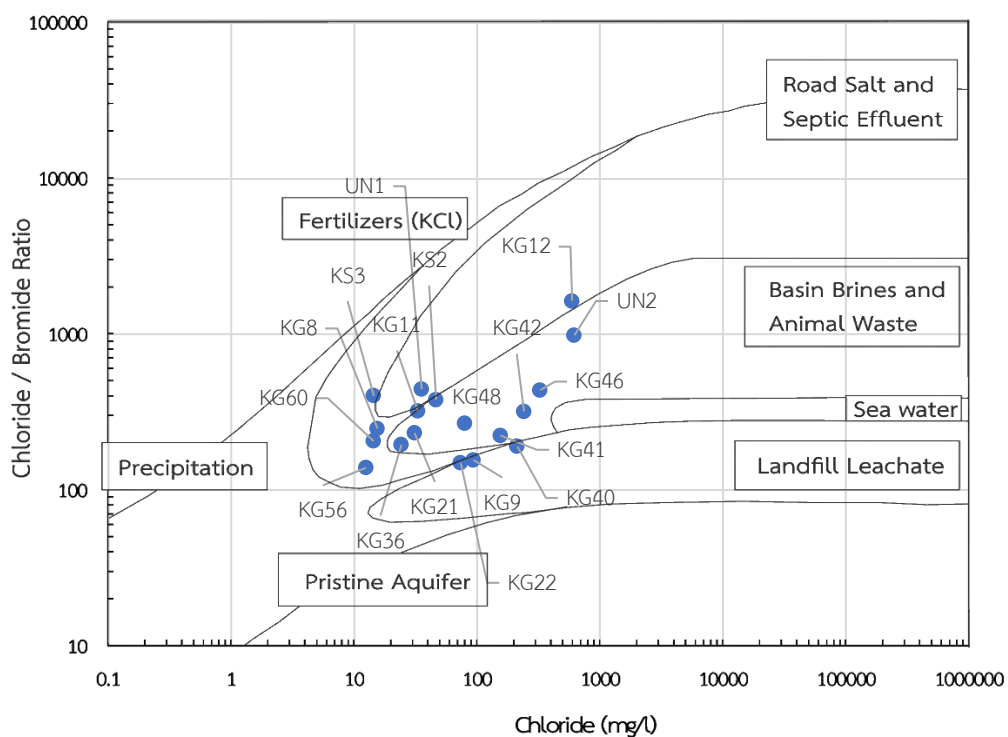


รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม
(ปรับปรุงจาก Marie and Vengosh, 2001)

4.12.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับ Cl^-

Panno et al. (2006) เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- และสามารถระบุแหล่งที่มาของไนเตรทได้ ซึ่งงานวิจัยนี้จึงใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวในการหาแหล่งที่มาของไนเตรท พบว่าในพื้นที่ศึกษาสามารถจำแนกที่มาของไนเตรท ได้ดังนี้

- จากขยะฝังกลบ ได้แก่ KG9 KG22 และ KG40
- จากปุ๋ย ได้แก่ KG8 KG9 KG11 KG22 KG56 KG60 และ KS3
- จากแอ่งน้ำขังและของเสียจากสัตว์ ได้แก่ KG11 KG21 KG36 KG41 KG42 KG46 KG48 KS2 และ UN2
- จากเกลือถนนและน้ำบำบัดน้ำเสีย KG11 KG12 KG43 KS2 และ UN1

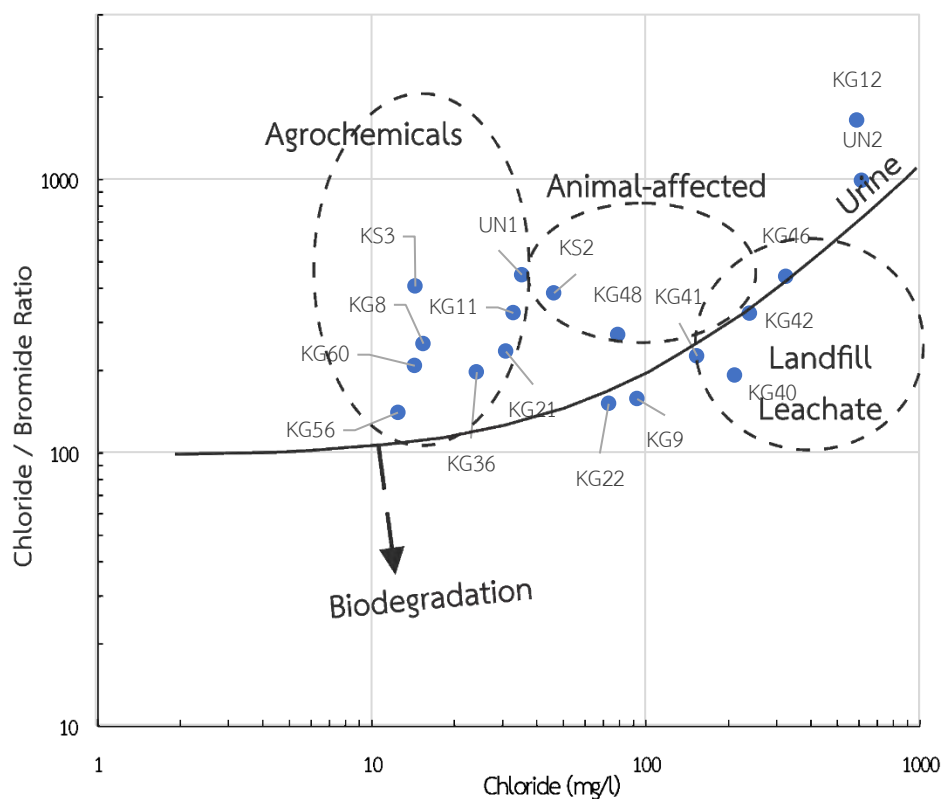


รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^-

(ปรับปรุงจาก Panno et al., 2006)

นอกจากนี้ยังมีงานของ Pasten-Zapata et al. (2014) ที่ได้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ในอีกรูปแบบหนึ่งโดยในงานศึกษานี้จะแตกต่างจากงานของ Panno et al. (2006) ซึ่งได้ผลดังนี้

- สารเคมีจากเกษตรกรรม ได้แก่ KG8 KG11 KG21 KG36 KG56 KG60 KS3 และ UN1
- ผลจากปศุสัตว์ ได้แก่ KG48 และ KS2
- การปนเปื้อนจากผิวดินจำพวกยูรีน ได้แก่ KG41 KG42 และ KG46
- แหล่งฝังกลบขยะมีเพียง KG40
- ผลจากการย่อยสลายทางชีวภาพ ได้แก่ KG9 และ KG22
- ผลจากเหตุการณ์อื่น ได้แก่ KG12 KG49 และ UN2



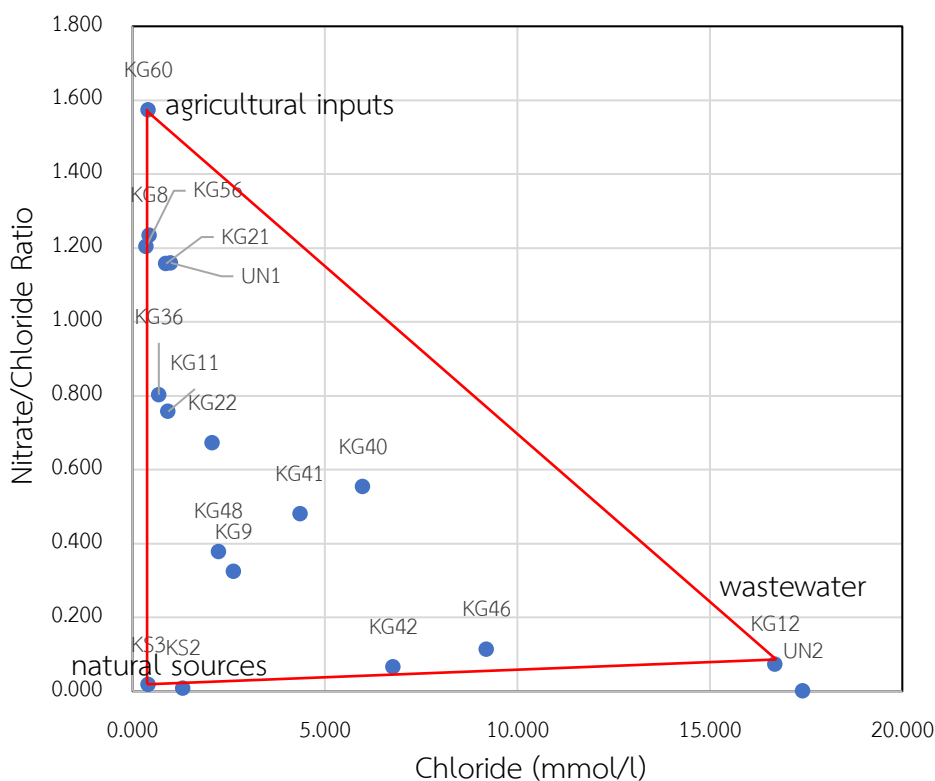
รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^-

(ปรับปรุงจาก Pasten-Zapata et al., 2014)

4.12.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^-

จากงาน Zhang et al. (2015) หาแหล่งที่มาของไนเตรทโดยใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- (mmol/L) เพื่อหาแหล่งที่มาของไนเตรท โดยจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก แต่สำหรับงานวิจัยนี้สามารถแบ่งแหล่งที่มาของไนเตรท ได้ดังนี้

- เกษตรกรรม มีเพียงจุดเดียว คือ KG60
- แหล่งน้ำเสีย ได้แก่ KG12 และ UN2
- แหล่งธรรมชาติ ได้แก่ KS2 และ KS3
- สำหรับจุดที่เหลือได้รับอิทธิพลจากทั้ง 3 แหล่งโดยมีสัดส่วนที่แตกต่างกันไป ได้แก่ KG8 KG9 KG11 KG21 KG22 KG36 KG40 KG41 KG42 KG46 KG48 KG56 และ UN1



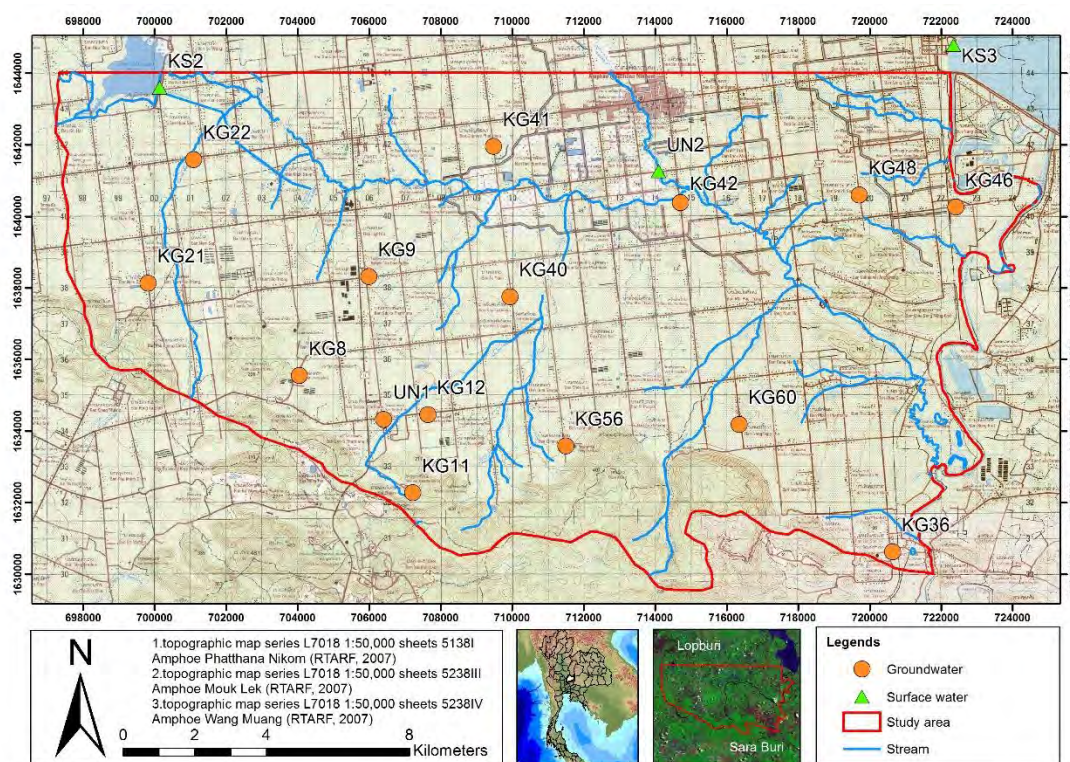
รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^-
(ปรับปรุงจาก Zhang et al., 2015)

4.13 การแปลความ

ในการแปลความหาแหล่งที่มาของไนเตรทไอออนต้องใช้ข้อมูลในหัวข้อ 4.12 ได้แก่

- 1) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม
- 2) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับ Cl^- และ
- 3) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน NO_3^-/Cl^- กับ Cl^-

นอกจากนี้ยังต้องใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่ทำการสำรวจในตอนออกภาคสนามมาใช้ในการแปลความด้วย (รูปภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินจะแสดงในภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.19 แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อบาดาลในการเก็บตัวอย่าง

- 1) จุดศึกษาที่ KG8: วัดถ้ำสาริกา บ้านช่องสาริกาใน ต.ช่องสาริกา อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 33.32 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำบาดาลที่จุดศึกษานี้ไนเตรทได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าน้ำบาดาลจุดศึกษาดังกล่าวได้รับอิทธิพลจากเกษตรกรรม สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน NO_3^-/Cl^- กับ Cl^- บ่งบอกว่าได้รับอิทธิพลจากหลายเหตุการณ์ที่อยู่ใกล้เคียงจากเกษตรกรรม และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ของวัด

ซึ่งโดยรอบมีการทำเกษตรกรรมสวนอ้อย และอยู่บริเวณตีนเขา ณ ตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา

2) จุดศึกษาที่ KG9: วัดดำรงบุล ต.ช่องสาริกา อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 52.73 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำบาดาลที่จุดศึกษานี้ไนเตรทได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากทั้งปุ๋ยและขยะฝังกลบ ส่วนของ Pasten-Zapata et al. (2014) ไม่สามารถระบุที่มาได้ บอกแต่เพียงว่ามีการเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน NO_3^-/Cl^- กับ Cl^- บ่งบอกว่าได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัย และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ของโรงเรียนซึ่งโดยรอบมีการทำเกษตรกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและอยู่ในเขตชุมชน จึงน่าจะได้รับอิทธิพลจากพื้นที่ดังกล่าว

3) จุดศึกษาที่ KG11: บ้านช่องสาริกา หมู่ 1 ต.ช่องสาริกา อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 43.53 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำบาดาลที่จุดศึกษานี้ไนเตรทได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ไม่สามารถระบุว่าได้รับอิทธิพลจากเหตุการณ์ไหนอย่างแน่ชัด ส่วนของ Pasten-Zapata et al. (2014) ระบุได้ว่ามาจากการใช้สารเคมีจากเกษตรกรรม สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน NO_3^-/Cl^- กับ Cl^- บ่งบอกว่าได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัย แต่ได้รับผลจากเกษตรกรรม และจากแหล่งธรรมชาติใกล้เคียงกัน และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ทำเกษตรกรรมหลังการเก็บเกี่ยว

4) จุดศึกษาที่ KG12: บ้านหนองโพธิ์ หมู่ 8 ต.ช่องสาริกา อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 75.59 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำบาดาลที่จุดศึกษานี้ไนเตรทได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากเกลือบนถนนและน้ำบาดัดน้ำเสีย ส่วนของ Pasten-Zapata et al. (2014) ไม่สามารถระบุได้ สำหรับความสัมพันธ์

ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- บ่งบอกว่าได้รับอิทธิพลจากแหล่งน้ำเสีย และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่เกษตรกรรมปลูกอ้อยและหลังการเก็บเกี่ยวที่อยู่ใกล้เคียงกับโรงงานกลึงเหล็กแห่งหนึ่งที่ตั้งอยู่ทางตะวันตกเฉียงเหนือของจุดศึกษา

5) จุดศึกษาที่ KG21: บ้านน้ำซบ หมู่ 5 ต.โคกตูม อ.เมือง จ.ลพบุรี

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 62.54 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำบาดาลที่จุดศึกษานี้ไนเตรทได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากแอ่งน้ำขังและของเสียจากสัตว์ ส่วนของ Pasten-Zapata et al. (2014) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการใช้สารเคมีจากเกษตรกรรม สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- บ่งบอกว่าได้รับอิทธิพลจากเกษตรกรรมเป็นหลัก และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่เกษตรกรรมปลูกมันสำปะหลังโดยรอบ

6) จุดศึกษาที่ KG22: บ้านผู้ใหญ่บ้าน หมู่ 3 ต.ช่องสาริกา อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 86.20 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำบาดาลที่จุดศึกษานี้ไนเตรทได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการใช้ปุ๋ย และน้ำฝน ส่วนของ Pasten-Zapata et al. (2014) ไม่สามารถระบุได้แต่ทราบว่าเกิดจากการย่อยสลายทางชีวภาพ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- บ่งบอกว่าได้รับอิทธิพลจากเกษตรกรรมและแหล่งธรรมชาติเท่ากัน และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นแหล่งชุมชนที่มีการทำเกษตรกรรมที่หลากหลาย และอยู่ใกล้กับทางน้ำธรรมชาติซึ่งเป็นบริเวณต้นน้ำ

7) จุดศึกษาที่ KG36: รร.บ้านหินซ้อน บ้านหินซ้อน หมู่ 1 ต.หินซ้อน อ.แก่งคอย จ.สระบุรี

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 33.94 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำบาดาลที่จุดศึกษานี้ไนเตรทได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการใช้แอ่งน้ำขังและของเสียจากสัตว์ ส่วนของ Pasten-Zapata et al. (2014) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการใช้

สารเคมีเกษตร สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- บ่งบอกว่าได้รับอิทธิพลจากเกษตรกรรมและแหล่งธรรมชาติ และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นโรงเรียนที่มีการทำเกษตรกรรมหลังการเก็บเกี่ยว และมีการเลี้ยงสัตว์ขนาดย่อม

8) จุดศึกษาที่ KG40: บ้านซบตะเคียน หมู่ 7 ต.ช่องสาริกา อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 205.47 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำบาดาลที่จุดศึกษานี้ไนเตรทได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อพิจารณารูปความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าได้รับอิทธิพลจากขยะฝังกลบ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากหลายเหตุการณ์ แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าเหตุการณ์ไหนเป็นหลัก และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่มีการทำเกษตรกรรมที่หลากหลาย และโรงงานอุตสาหกรรมอาหารสัตว์

9) จุดศึกษาที่ KG41: บ้านราษฎร์พัฒนา หมู่ 10 ต.พัฒนานิคม อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 129.41 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำบาดาลที่จุดศึกษานี้ไนเตรทได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อพิจารณารูปความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการใช้น้ำขังและของเสียจากสัตว์ ส่วนของ Pasten-Zapata et al. (2014) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการปนเปื้อนจากผิวดินจำพวกยูรีน สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัย แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าเหตุการณ์ไหนเป็นหลัก และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นที่มีการทำเกษตรกรรมที่หลากหลาย การเลี้ยงวัวในที่เปิด และเป็นแหล่งชุมชน

10) จุดศึกษาที่ KG42: บ้านใหม่โพธิ์ทอง หมู่ 3 ต.ชอนน้อย อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 27.43 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำบาดาลที่จุดศึกษานี้ไนเตรทได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อพิจารณารูปความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการใช้น้ำขังและของเสียจากสัตว์ ส่วนของ Pasten-Zapata et al. (2014) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการปนเปื้อน

จากผิวดินจำพวกยูรีน สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากหลายเหตุการณ์ แต่ได้รับอิทธิพลจากการทำเกษตรกรรมน้อย และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นชุมชนที่มีการเลี้ยงสัตว์จำพวกวัวนมขนาดใหญ่

11) จุดศึกษาที่ KG46: บ้านคำพราน หมู่ 11 ต.หนองบัว อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 64.90 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำบาดาลที่จุดศึกษานี้ไนเตรทได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการใช้น้ำขังและของเสียจากสัตว์ ส่วนของ Pasten-Zapata et al. (2014) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการปนเปื้อนจากผิวดินจำพวกยูรีน สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากหลายเหตุการณ์ แต่ได้รับอิทธิพลจากน้ำเสียเป็นหลัก และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นแหล่งชุมชน โรงงานอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และอยู่ใกล้กับแม่น้ำป่าสักดี

12) จุดศึกษาที่ KG48: บ้านชุมชนเขาพระนอน หมู่ 2 ต.หนองบัว อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 53.38 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำบาดาลที่จุดศึกษานี้ไนเตรทได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการใช้น้ำขังและของเสียจากสัตว์ ส่วนของ Pasten-Zapata et al. (2014) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการเลี้ยงสัตว์ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากหลายเหตุการณ์ แต่ได้รับอิทธิพลจากแหล่งธรรมชาติและการทำเกษตรกรรม และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นแหล่งชุมชนที่มีการทำเกษตรกรรมจำพวกอ้อย

13) จุดศึกษาที่ KG56: ปากซอยวัดถ้ำเสือ บ้าน ซ.17 สาย 4

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 26.21 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำบาดาลที่จุดศึกษานี้ไนเตรทได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการใช้ปุ๋ย ส่วนของ Pasten-Zapata et al. (2014) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการใช้สารเคมีจากเกษตรกรรม สำหรับ

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัย แต่ได้รับอิทธิพลจากการทำเกษตรกรรมเป็นหลัก และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่า บริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่มีการทำสวนดอกทานตะวัน

14) จุดศึกษาที่ KG60: บ้านหนองจัวผา หมู่ 6 ต.หินซ้อน อ.แก่งคอย จ.สระบุรี

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 39.50 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำบาดาลที่จุดศึกษานี้ไนเตรทได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อพิจารณารูปความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการใช้ปุ๋ย ส่วนของ Pasten-Zapata et al. (2014) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการใช้สารเคมีจากเกษตรกรรม สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากหลายเหตุการณ์ แต่ได้รับอิทธิพลจากการทำเกษตรกรรมเป็นหลัก และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่า บริเวณดังกล่าวเป็นแหล่งชุมชนและมีการทำเกษตรกรรมที่หลากหลาย

15) จุดศึกษาที่ KS2: อ่างเก็บน้ำห้วยส้ม

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 0.62 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำผิวดินที่จุดศึกษานี้ไนเตรทอยู่ในบริเวณที่เป็นแหล่งธรรมชาติ และเมื่อพิจารณารูปความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากแอ่งน้ำขัง ของเสียจากสัตว์ เกือบถนนและน้ำบำบัดน้ำเสีย ส่วนของ Pasten-Zapata et al. (2014) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการเลี้ยงสัตว์ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากหลายเหตุการณ์ แต่ได้รับอิทธิพลจากแหล่งธรรมชาติ และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นอ่างเก็บน้ำที่มีพืชน้ำขึ้นจำนวนมาก โดยค่าไอโซโทปเสถียรของน้ำมีค่าสอดคล้องกับเส้นแนวโน้มการระเหยในพื้นที่ศึกษาทำให้ทราบว่าเป็นผิวดินที่อยู่ในระบบน้ำใต้ดินเดียวกัน

16) จุดศึกษาที่ KS3: เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 0.44 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำผิวดินที่จุดศึกษานี้ไนเตรทอยู่ในบริเวณที่เป็นแหล่งธรรมชาติ และเมื่อพิจารณารูปความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการใช้ปุ๋ย ส่วนของ Pasten-

Zapata et al. (2014) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากใช้สารเคมีเกษตร สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากหลายเหตุการณ์ แต่ได้รับอิทธิพลจากแหล่งธรรมชาติ และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวคือเขื่อนซึ่งได้รับน้ำจากหลายพื้นที่ ซึ่งค่าไอโซโทปเสถียรของน้ำพบว่ามีค่าแตกต่างจากน้ำผิวดินจุดอื่นจึงทำให้ทราบว่าอยู่คนละระบบกับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

17) จุดศึกษาที่ UN1: ร้านชาบูอินดี้

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 71.63 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำบาดาลที่จุดศึกษานี้ไนเตรทได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ และเมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากเกลือถนนและน้ำบำบัดน้ำเสีย ส่วนของ Pasten-Zapata et al. (2014) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากการใช้สารเคมีจากเกษตรกรรม สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากหลายเหตุการณ์ แต่ได้รับอิทธิพลจากการทำเกษตรกรรมเป็นหลัก และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่อุตสาหกรรมที่มีการตั้งชุมชนและการทำเกษตรที่หลากหลายโดยรอบ

18) จุดศึกษาที่ UN2: บ้านตลาดพัฒนา (สะพานข้ามทางน้ำ)

จุดนี้มีความเข้มข้นไนเตรท 0.98 mg/l จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Cl^-/Br^- กับไนโตรเจนรวม พบว่าน้ำผิวดินที่จุดศึกษานี้ไนเตรทอยู่ในบริเวณที่เป็นแหล่งธรรมชาติ และเมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cl^-/Br^- กับ Cl^- ทั้ง 2 กราฟ พบว่าของ Panno et al. (2006) ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากแอ่งน้ำขังและของเสียจากสัตว์ ส่วนของ Pasten-Zapata et al. (2014) ไม่สามารถระบุได้ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ กับ Cl^- ระบุว่าได้รับอิทธิพลจากแหล่งน้ำเสีย และเมื่อดูการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมพบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นทางน้ำตามธรรมชาติซึ่งอาจได้รับน้ำเสียมาจากโรงงานผลิตอาหารสัตว์หรือโรงงานกึ่งเหล็ก โดยค่าไอโซโทปเสถียรของน้ำมีค่าสอดคล้องกับเส้นแนวโน้มการระเหยในพื้นที่ศึกษาทำให้ทราบว่าน้ำผิวดินที่อยู่ในระบบน้ำใต้ดินเดียวกัน

ตารางที่ 4.13 สรุปแหล่งที่มาของไนเตรท

Sample	Sources			
	Natural sources	Agriculture	Wastewater	Precipitation
KG8	✓	✓		
KG9	✓	✓		
KG11	✓	✓		
KG12	✓		✓	
KG21	✓	✓	✓	
KG22	✓	✓	✓	✓
KG36	✓	✓	✓	
KG40	✓		✓	
KG41	✓		✓	
KG42	✓		✓	
KG46	✓		✓	
KG48	✓	✓	✓	
KG56	✓	✓		
KG60	✓	✓		
KS2	✓		✓	
KS3	✓	✓		
UN1	✓	✓	✓	
UN2	✓		✓	

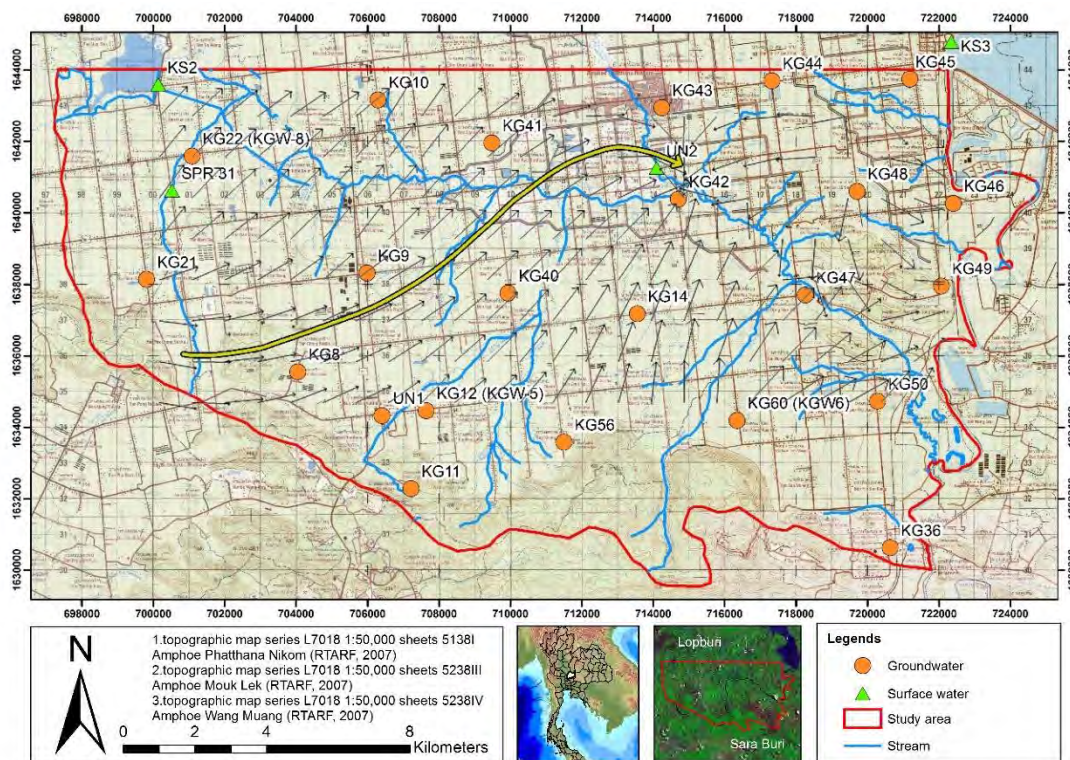
4.14 กระบวนการที่เกี่ยวข้อง

จากบทที่ 2 กระบวนการสร้างไนเตรท (nitrification) และกระบวนการสลายไนเตรท (denitrification) เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าไนเตรทได้ ซึ่งกระบวนการสร้างไนเตรทเป็นกระบวนการที่ต้องอยู่ภายใต้สภาวะมีออกซิเจน (aerobic condition) และเป็นปฏิกิริยาถ่ายอิเล็กตรอน (oxidation reaction) สำหรับกระบวนการสลายไนเตรทเป็นกระบวนการที่

ต้องอยู่ภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน (anaerobic condition) และเป็นปฏิกิริยารับอิเล็กตรอน (reduction reaction) ดังนั้นค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen, DO) จึงสามารถใช้เป็นตัวบอกระดับปฏิกิริยาได้

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

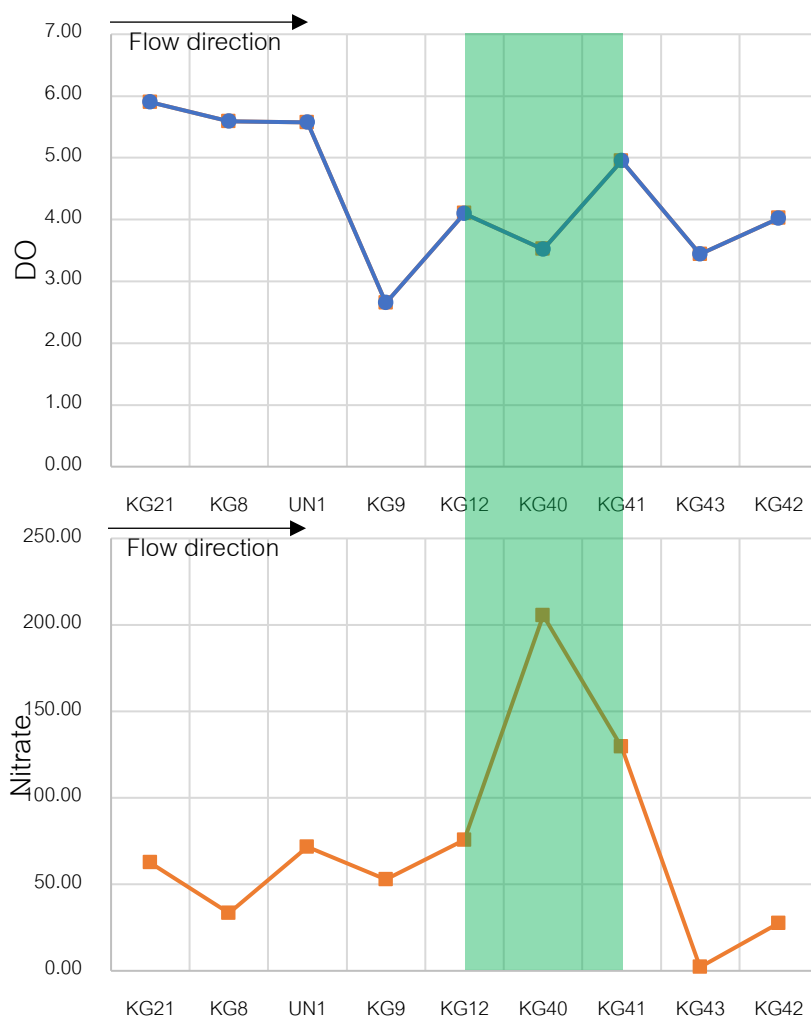
จากรูปที่ 4.20 แสดงเส้นทิศทางการไหล (เส้นสีเหลือง) ที่มีทิศทางการไหลหลักจากตะวันตกเฉียงใต้ไปตะวันออกเฉียงเหนือ โดยจะทำการโปรเจกต์ศึกษาที่อยู่ใกล้เคียงเพื่อนำมาอธิบายกลไกการเปลี่ยนแปลงของไนเตรทในพื้นที่ศึกษาโดยประกอบด้วยจุดศึกษาที่ KG21 KG8 UN1 KG9 KG12 KG40 KG41 KG43 และ KG42 ตามทิศทางการไหล



รูปที่ 4.20 แผนที่แสดงทิศทางการไหลของน้ำ

จากที่กล่าวไปข้างต้นทำให้ทราบว่าพื้นที่ศึกษาที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมแก่การเกิดกระบวนการสร้างไนเตรท เนื่องจากปริมาณออกซิเจนมีค่ามากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และในพื้นที่ศึกษามีค่าศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์มากกว่า 0

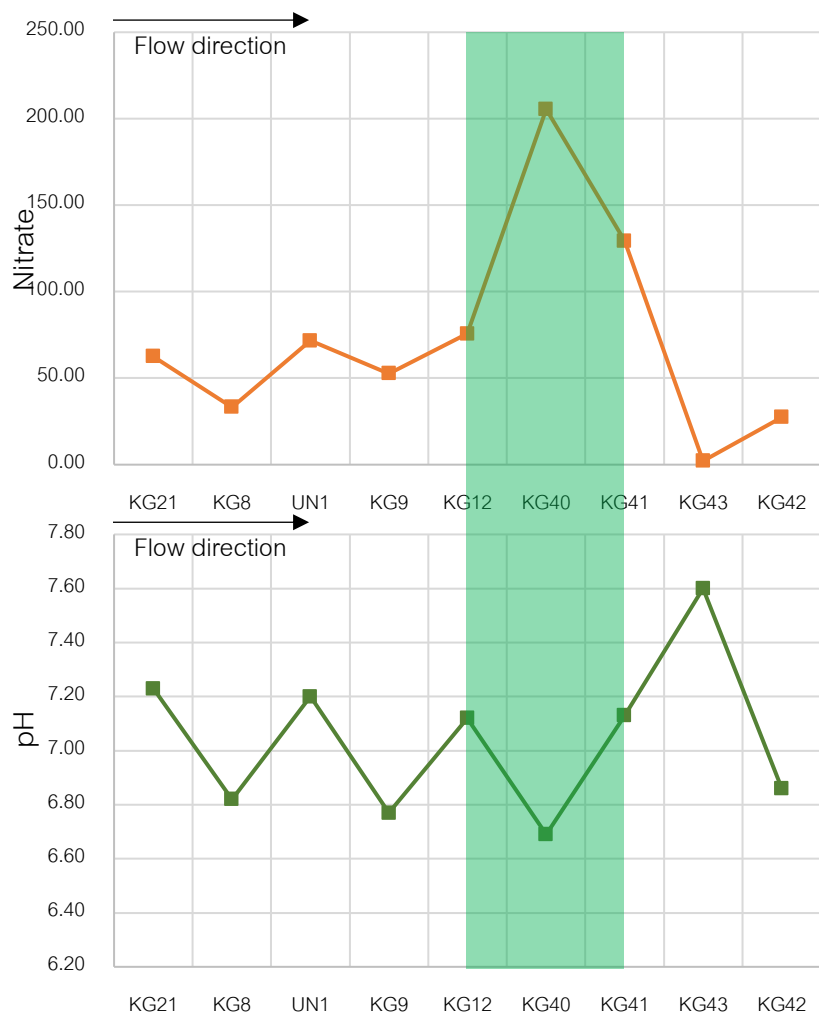
จากงานของ Hosono et al. (2013) กล่าวว่าเมื่อปริมาณออกซิเจนลดลงและปริมาณไนเตรทลดลง แสดงถึงกระบวนการสลายไนเตรท ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นและปริมาณไนเตรทเพิ่มขึ้นแสดงถึงกระบวนการสร้างไนเตรท ตามรูปที่ 4.21 จะพบว่าบริเวณสีเขียวมีปริมาณไนเตรทสูง แต่ปริมาณออกซิเจนต่ำ ซึ่งอธิบายได้ว่าสาเหตุที่ทำให้ไนเตรทสูงทั้งที่ปริมาณออกซิเจนต่ำเป็นผลจากการระเหยของน้ำออกไปทำให้ความเข้มข้นสูงขึ้น โดยเป็นบริเวณที่เกิดกระบวนการเจือจาง (dilution effect) ซึ่งเป็นตำแหน่ง KG40 ที่มีหลักฐานจากไอโซโทปเสถียรว่าสามารถเกิดการระเหยได้



รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณออกซิเจนและไนเตรท

จากงานของ Robertson & Groffman (2007) กล่าวว่ากระบวนการสร้างไนเตรทจะมีการปล่อยไฮโดรเจนไอออนระหว่างปฏิกิริยาทำให้มีค่า pH ต่ำลง (แสดงความเป็นกรด) ส่วนกระบวนการสลายไนเตรทจะมีการปล่อยไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) ระหว่างปฏิกิริยาทำให้มีค่า pH สูงขึ้น (แสดงความเป็นเบส) จึงได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไนเตรทและค่า pH ตามทิศทางการไหลในรูปที่ 4.22

พิจารณาจากรูปที่ 4.22 พบว่าในบริเวณสีเขียวมีค่า pH ลดลงแต่มีปริมาณไนเตรทเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยข้างต้นและสนับสนุนว่าในพื้นที่ศึกษาเกิดกระบวนการสร้างไนเตรทจริง

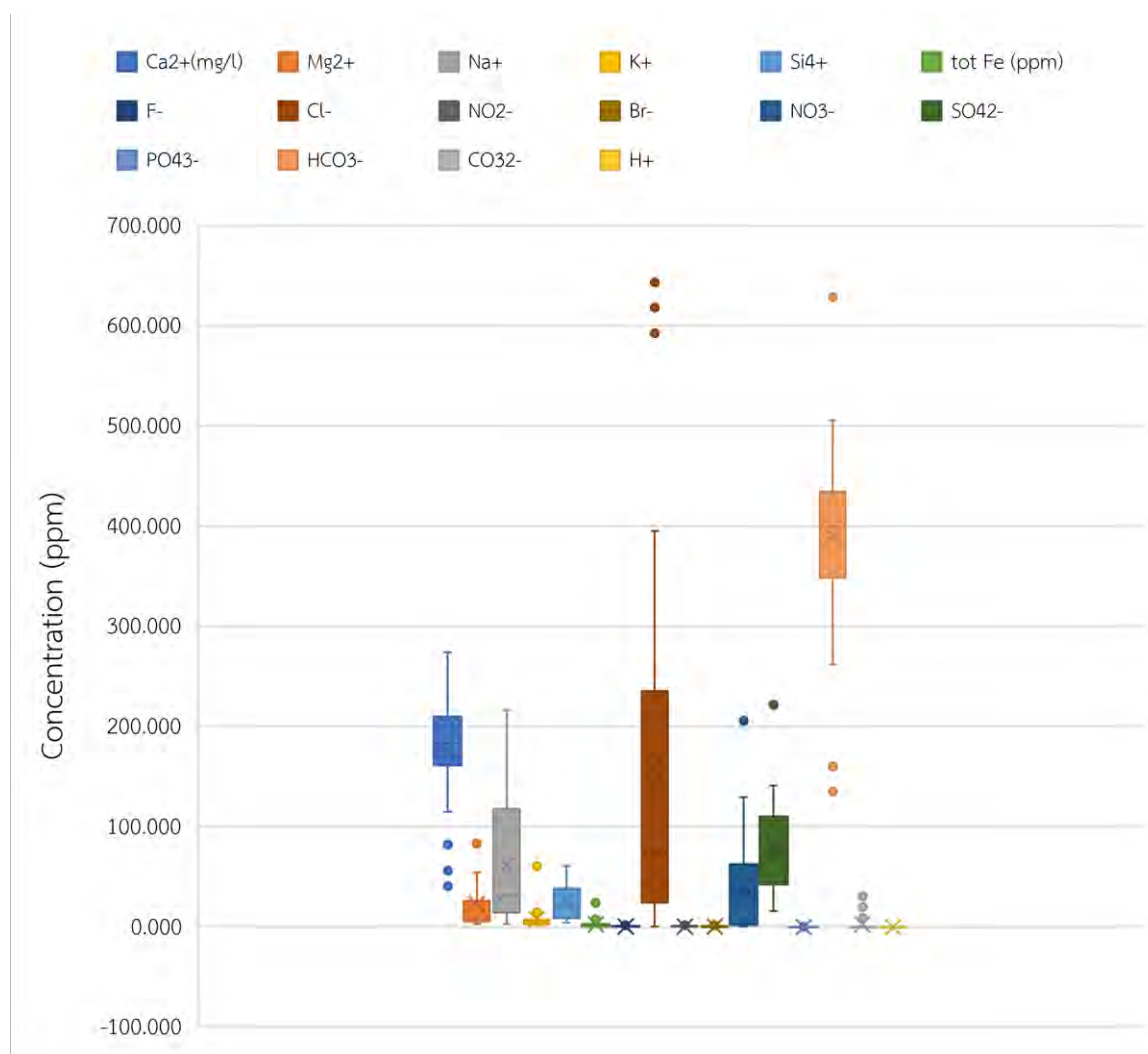


รูปที่ 4.22 กราฟเปรียบเทียบระหว่างไนเตรทและ pH

บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล

5.1 อภิปรายผลการศึกษา

ลักษณะภูมิประเทศในพื้นที่ศึกษาเป็นที่ราบเป็นส่วนใหญ่แต่จะมีบริเวณด้านตะวันตกเฉียงใต้ที่ประกอบด้วยภูเขาซึ่งบริเวณนี้ซึ่งถือว่าเป็นพื้นที่เพิ่มเติมน้ำ (recharge area) และพื้นที่ราบตรงกลางพื้นที่ศึกษาจัดเป็นพื้นที่สูญเสียน้ำ (discharge area) โดยทิศทางการไหลหลักมีการไหลจากตะวันตกเฉียงใต้ไปทางตะวันออกเฉียงเหนือ ในพื้นที่ศึกษานี้สามารถแบ่งชั้นน้ำ (aquifer) ออกเป็น 3 ชั้น ประกอบด้วย ชั้นตะกอนร่วน ชั้นหินทัฟฟ์ และชั้นหินปูน แต่จากการเก็บตัวอย่างน้ำแต่ละจุดศึกษานี้ประกอบด้วยตัวอย่างน้ำจาก 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นหินทัฟฟ์ (จุดศึกษา KG10 KG41 และ KG43) และชั้นหินปูน (จุดศึกษาที่เหลือ) ซึ่งให้ชนิดน้ำที่แตกต่างกันและมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน



รูปที่ 5.1 แผนภาพกล่อง (box plot) แสดงความเข้มข้นของแคทไอออน และแอนไอออน

จากกราฟจะเห็นว่าช่วงความเข้มข้นของคลอไรด์มีค่าความผิดปกติ (anomaly) ที่สูงมากและสูงที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณไอออนอื่น ๆ จึงทำให้ทราบว่าพื้นที่ศึกษานี้ได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์ ดังนั้นค่าของไอออนอื่นรวมทั้งไนเตรทอาจได้รับอิทธิพลจากการกระทำของมนุษย์เช่นกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับผลวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรพบว่าน้ำบาดาลแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกเกิดการเติมน้ำจากน้ำฝนโดยตรง และกลุ่มที่สองมีการระเหยเกิดขึ้นก่อนที่จะซึมลงสู่ชั้นน้ำโดยกลุ่มที่สองนี้พบการกระจายทั่วบริเวณที่ราบของพื้นที่ศึกษาและในบริเวณดังกล่าวมีการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น การทำฟาร์มสัตว์ ที่พักอาศัย ปลูกพืชไร่พืชสวน โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น การใช้ประโยชน์ที่ดินเหล่านี้จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรทลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้

จากรูปที่ 5.1 เพื่อพิจารณาค่าไนเตรทพบว่าไนเตรทมีค่าอยู่ในช่วง 0.325 ถึง 205 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถือเป็นค่าที่สูงกว่าปกติที่จะพบในธรรมชาติสำหรับน้ำบาดาล แต่มีเพียง 9 จุดศึกษาที่มีค่ามากกว่า 45 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งถือว่าเกินค่ามาตรฐานน้ำดื่ม และจุดศึกษาอื่น เช่น น้ำผิวดิน ได้นำมาใช้ในการหาที่มาของไนเตรททำให้พบว่าไนเตรทในพื้นที่ศึกษานั้นได้รับอิทธิพลจากธรรมชาติ และจากการกระทำของมนุษย์ เช่น ปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและน้ำ การทำเกษตรกรรม น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถเป็นแหล่งกำเนิดของไนเตรทได้

สำหรับกลไกเกิดการไนเตรทในพื้นที่ศึกษาพบว่า ค่าความเป็นกรด - เบสจะลดลงในบริเวณที่มีค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำและค่าไนเตรทสูงพร้อมกับค่าศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ที่มีค่ามากกว่าศูนย์ แสดงให้เห็นว่าเกิดกระบวนการสร้างไนเตรท (nitrification) และนอกจากนี้ในจุดศึกษาที่ KG40 ที่มีไนเตรทสูงที่สุดและเพิ่มขึ้นอย่างยี่งวดตามทิศทางการไหลของน้ำแต่ปริมาณออกซิเจนลดลงทำให้ทราบว่าบริเวณนี้ได้รับผลจากกระบวนการเจือจาง (dilution effect) ซึ่งมีหลักฐานสนับสนุนจากผลวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรโดยจุดศึกษานี้อยู่ในแนวโน้มการระเหยของน้ำ

5.2 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาทำให้ทราบว่าไนเตรทในพื้นที่ศึกษาเกิดจากทั้งธรรมชาติ และการกระทำของมนุษย์ โดยในแต่ละพื้นที่ได้รับอิทธิพลจากแหล่งที่มาคนละชนิด แต่ที่เห็นได้ชัดคือการเกษตรเป็นแหล่งที่กำเนิดหลักของไนเตรท ซึ่งกลไกการของไนเตรทในพื้นที่เกิดจากกระบวนการสร้างไนเตรทเป็นหลักและบางบริเวณยังได้รับผลกระทบจากกระบวนการเจือจางร่วมด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะ

- ควรทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเวลาตามฤดูร้อนและฤดูฝน
- ควรทำการวัดปริมาณแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ในน้ำตัวอย่าง
- ควรทำการวัดปริมาณสารประกอบไนเตรท ได้แก่ แอมโมเนียมไอออน ไนเตรทไอออน และไนเตรทไอออน ในดินที่อยู่ในบริเวณเดียวกับจุดศึกษา
- ควรทำการวิเคราะห์ค่าไนโตรเจนไอโซโทป และออกซิเจนไอโซโทปในไนเตรทไอออนเพื่อการระบุแหล่งที่มาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

- Wisittamasri, W., & Chotpanrat, S. (2015). The survey on surface water condition in the area surrounding land of Chulalongkorn University, Kaeng Khoi district, Saraburi province. *Environmental Journal 19 years(2)*, 54-65.
- Zhang, Y., Zhou, A., Zhou, J., Liu, C., Cai, H., Liu, Y., & Xu, W. 2015. Evaluating the Sources and Fate of Nitrate in the Alluvial Aquifers in the Shijiazhuang Rural and Suburban Area, China: Hydrochemical and Multi-Isotopic Approaches. *Water*, 7(4), 1515-1537.
- Pasten-Zapata, E., Ledesma-Ruiz, R., Harter, T., Ramirez, A. I., and Mahlknecht, J. 2014. Assessment of sources and fate of nitrate in shallow groundwater of an agricultural area by using a multi-tracer approach. *Sci Total Environ*, 470-471, 855-864.
- Hosono, T., Tokunaga, T., Kagabu, M., Nakata, H., Orishikida, T., Lin, I. T., and Shimada, J. 2013. The use of delta15N and delta18O tracers with an understanding of groundwater flow dynamics for evaluating the origins and attenuation mechanisms of nitrate pollution. *Water Res*, 47(8), 2661-2675.
- Robertson, G. P., and Groffman, P. M. 2007. Nitrogen transformation. *Biochemistry and Ecology*, 341-364.
- Panno, S. V., Hackley, K. C., Hwang, H. H., Greenberg, S. E., Krapac, I. G., Landsberger, S., and O'Kelly, D. J. 2006. Characterization and identification of na-cl sources in ground water. *Ground Water*, 44(2), 176-187.

ภาคผนวก

ตาราง แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ภาคผนวก ก

จุดศึกษา

รูปภาพ

KG8



KG9



KG10



KG11



KG12



KG14



KG21



KG22



KG36

ไม่มีข้อมูล

KG40

ไม่มีข้อมูล

KG41



KG42



KG43



KG44

ไม่มีข้อมูล

KG45



KG46



KG47



KG48



KG49



KG50



KG56



KG60



SPR 31



KS2



KS3



UN1



UN2



ภาคผนวก ข

ตาราง แสดงผลการคำนวณสมดุลไอออนจากตัวอย่างน้ำ

SampleCode	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	sum Cations	sum Anions	%difference
KG8	8.04388	0.3747942	0.134763	0.0732928	0	6.549066667	0.4357464	0.672568	0.0112564	8.62673	7.668637467	5.879539294
KG9	10.20455	0.4137221	0.483285	0.107648	0	7.0848	2.6310882	2.6007696	0.0319282	11.2092051	12.348586	-4.836535374
KG10	9.65565	6.960934	6.1422	0.141184	0.3108	4.2968	2.9831934	2.7721408	0.001672828	22.899968	10.36460703	37.68381518
KG11	10.90315	0.7402885	0.755595	0.0764416	0	7.1176	0.9286824	2.7026688	0.0390292	12.4754751	10.7879804	7.253843695
KG12	13.53288	0.5519861	5.11125	0.0928768	0	5.991466667	16.71260394	1.693919613	0.0185678	19.2889929	24.41655802	-11.73206837
KG14	13.68757	2.489575	2.499075	0.1046528	0	6.636533333	18.13969085	1.514421244	0.033665458	18.7808728	26.32431088	-16.72410456
KG21	9.71553	0.2970207	0.3382995	0.0911616	0	6.319466667	0.872420468	0.735782101	0.012885207	10.4420118	7.940554444	13.60777012
KG22	12.1756	0.7973224	0.622485	0.0948992	0	6.352266667	2.070648566	1.97870628	0.029126905	13.6903066	10.43074842	13.51333173
KG36	8.32332	0.3837649	0.461535	0.0541952	0	6.4944	0.682933171	1.05853358	0.017155682	9.2228151	8.253022433	5.549334421
KG40	11.6267	1.235323	2.265045	0.0713728	0	5.718133333	5.992097189	2.936658045	0.056007986	15.1984408	14.70289655	1.657264494
KG41	4.105273	6.955173	6.5859	0.0605952	0	10.31013333	4.357047641	2.289617674	0.101436883	17.7069412	17.05823553	1.865963961
KG42	10.35924	6.839953	5.60715	0.511744	0	8.287466667	6.774534532	1.534681089	0.025985508	23.318087	16.6226678	16.76337675
KG43	2.023944	1.902776	7.76475	0.1997568	0.666	8.1672	1.999375356	0.333956337	0.019336591	11.8912268	11.18586828	3.056530786
KG44	9.0319	1.204872	0.74559	0.1192448	0	7.0192	2.718078544	1.311958766	0.048401705	11.1016068	11.09763902	0.01787351
KG45	5.73351	2.129924	2.322465	0.2044672	0	4.701333333	0.4241844	1.287416	0.0062068	10.3903662	6.419140533	23.62487924
KG46	9.22651	4.449138	3.43737	0.1097472	0	7.6096	9.205308157	4.608947729	0.076816984	17.2227652	21.50067287	-11.04733434
KG47	6.06285	3.762756	9.4308	0.0974592	0	7.9704	6.63662592	2.876009433	0.119997875	19.3538652	17.60303323	4.737497049
KG48	10.46902	1.794963	2.497335	0.1136384	0	7.106666667	2.238105191	1.80385018	0.056343552	14.8749564	11.20496559	14.07209275
KG49	8.72252	0.7514813	0.88131	0.11008	0	7.9048	1.188403423	1.35431551	0.028664042	10.4653913	10.47618297	-0.051532299
KG50	13.42809	1.041095	1.388085	0.0825856	0	6.8224	11.13807612	1.808900177	0.030456003	15.9398556	19.7998323	-10.80025296
KG56	8.63769	0.3338911	0.1683015	0.0697088	0	6.177333333	0.351748148	0.658444029	0.010848451	9.2095914	7.198373961	12.25756755
KG60	8.3832	0.6050696	0.2973225	0.0722944	0	6.549066667	0.405323996	0.431300554	0.017997446	9.3578865	7.403688663	11.6587959
SPR 31	9.45605	0.4500987	0.685125	0.372736	0	5.5432	0.004327	0.8879104	0.00122533	10.9640097	6.43666273	26.01822998

SampleCode	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	sum Cations	sum Anions	%difference
KS2	2.016958	0.7169153	1.636905	0.324608	0	2.624	1.307565392	1.10288981	0.031980736	4.6953863	5.066435937	-3.801028417
KS3	2.796396	0.7113189	0.672075	0.1925888	0.444	2.208533333	0.4071203	0.743213865	0.02452525	4.3723787	3.827392749	6.646355385
UN1	9.16663	0.2640184	0.62118	0.1233664	0	6.5928	0.997418344	1.404078197	0.01441867	10.1751948	9.008715211	6.080510118
UN2	8.21354	1.814715	8.091	1.562624	1.0212	4.92	17.42960745	2.102492716	0.031951512	19.681879	25.50525168	-12.88723713