



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการจำแนกแหล่งกำเนิดไนเตรทในน้ำบาดาลโดยใช้ลักษณะข้อมูล
อุทกเคมีร่วมกับเทคนิคไอโซโทปเสถียรในพื้นที่เกษตรกรรมหนาแน่น
ประเทศไทย (ปีที่ 2)

IDENTIFICATION OF NITRATE SOURCES IN GROUNDWATER USING
INTEGRATION OF HYDROGEOCHEMICAL CHARACTERISTIC WITH STABLE
ISOTOPE TECHNIQUES IN INTENSIVELY AGRICULTURAL AREAS, THAILAND
(THE SECOND YEAR)

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดยเงินอุดหนุนการวิจัยจากรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ปีงบประมาณ 2561



กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้จัดทำขึ้น ด้วยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินแหล่งกำเนิดของไนเตรทในน้ำบาดาล และอธิบายกลไกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรทในชั้นน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมหนาแน่นของประเทศไทย (ปีที่ 2) ซึ่งในการดำเนินงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีเนื่องจากได้รับความร่วมมือ และความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยฉบับนี้ ได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยจากเงินอุดหนุนการวิจัยจากรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ปีงบประมาณ 2561 (Grant for Research: Government Budget, Chulalongkorn University)

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณภาครณวิद्या คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการออกภาคสนาม และอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการตลอดระยะเวลาทำรายงานวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ศรีเลิศ โชติพันธ์รัตน์



บทคัดย่อ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาการเพิ่มกำลังขยายด้านผลผลิตทางเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องทำให้น้ำบาดาลมีระดับลดต่ำลงในหลายพื้นที่ นอกจากนี้บางพื้นที่พบว่ามีความหนาแน่นของน้ำบาดาลเสื่อมโทรมลงเนื่องจากการปนเปื้อนจากการใช้สารเคมีเกษตร ดังนั้นวัตถุประสงค์การศึกษาในปีแรกคือ การศึกษาการกระจายตัวและกระบวนการของการปนเปื้อนไนเตรตในชั้นน้ำหินร่วน และในปีที่สองเพื่อประเมินการกระจายตัวและอธิบายกลไกที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณไนเตรตในชั้นน้ำหินแข็ง (ชั้นน้ำประเภทหินภูเขาไฟ) สำหรับผลการศึกษาในปีที่สองแสดงในรายงานฉบับนี้เป็นหลัก สำหรับข้อมูลลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาในการศึกษาครั้งนี้ได้มาจากการลงพื้นที่สำรวจในภาคสนามและข้อมูลการหยั่งธรณีหลุมเจาะ ในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางอุทกธรณีเคมีและปริมาณไนเตรตของจำนวนตัวอย่างน้ำบาดาลทั้งสิ้น 42 ตัวอย่าง ในพื้นที่อำเภอ แก่งคอย จังหวัดสระบุรี ประเทศไทย ซึ่งทำการศึกษาสองฤดูกาลทั้งในฤดูร้อนและฤดูฝน โดยสมบัติทางอุทกธรณีเคมีและค่าไอโซโทปเสถียรช่วยในการบ่งชี้แหล่งกำเนิดของไนเตรต รวมถึงกระบวนการที่มีผลต่อปริมาณไนเตรตในน้ำบาดาล

จากการศึกษาพบว่าพื้นที่ศึกษามีทิศทางการไหลของน้ำบาดาลจากทิศตะวันออกไปสู่ทิศตะวันตก ชนิดของน้ำบาดาลส่วนใหญ่เป็นแคลเซียม โซเดียม ไบคาร์บอเนต (Ca-Na-HCO_3) สำหรับปริมาณไนเตรตพบว่ามีปริมาณสูงในฤดูร้อนเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นช่วยเร่งให้เกิดกิจกรรมทางชีวภาพ โดยพบปริมาณไนเตรตสูงสุดในจุดตรวจวัดที่สองทั้งในฤดูร้อนและฤดูฝน ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการสลายตัวของแร่และปุ๋ยในดินจากนาข้าวบริเวณใกล้เคียง นอกจากนี้การติดตั้งบ่อสูบน้ำโยกมือที่ไม่สมบูรณ์ทำให้มลสารจากน้ำผิวดินรั่วไหลลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ทั้งนี้กระบวนการหนึ่งซึ่งช่วยให้ปริมาณไนเตรตในพื้นที่ลดลงคือ กระบวนการการเจือจาง ซึ่งมักพบในพื้นที่ทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา ในทางตรงกันข้ามกระบวนการไนตริฟิเคชันถือเป็นกระบวนการที่สำคัญอย่างยิ่งในการเพิ่มปริมาณไนเตรต ดังนั้นการวิเคราะห์ทางอุทกธรณีเคมีและไอโซโทปเสถียรจึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้เข้าใจต่อแหล่งกำเนิดและกระบวนการที่มีผลต่อแปรปรวนของปริมาณไนเตรต นอกจากนี้การใช้สถิติการวิเคราะห์พหุตัวแปรทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างธาตุแคลเซียม โซเดียม ไบคาร์บอเนตซึ่งเป็นตัวแทนของน้ำบาดาลในธรรมชาติที่ไม่มีการปนเปื้อน และกลุ่มของธาตุแมกนีเซียม คลอไรด์ โพแทสเซียม แอมโมเนียม ไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นตัวแทนของธาตุที่เกิดจากการปนเปื้อนในน้ำบาดาลโดยกิจกรรมของมนุษย์ สำหรับการศึกษาวิจัยต่อไปนั้นเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ชุมชนของแบคทีเรียในน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนด้วยไนเตรตซึ่งช่วยให้การเลือกวิธีการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนด้วยไนเตรตในน้ำบาดาลได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ อุทกธรณีวิทยา สระบุรี ไนเตรต สถิติการวิเคราะห์พหุตัวแปร ไอโซโทปเสถียร ชั้นหินอุ้มน้ำภูเขาไฟ



RESEARCH TITLE : IDENTIFICATION OF NITRATE SOURCES IN GROUNDWATER USING INTEGRATION OF HYDROGEOCHEMICAL CHARACTERISTIC WITH STABLE ISOTOPE TECHNIQUES IN INTENSIVELY AGRICULTURAL AREAS, THAILAND (The SECOND YEAR)

RESEARCHERS: : Associate Professor Srilert Chotpantararat, Ph.D.

YEAR : 2019

Abstract

Agriculture production and industry have grown continuously for many years, contributing to insufficient surface water supply. As a result, groundwater usage is increasing, leading to decreases in groundwater levels in many areas. In addition, some areas experience degraded groundwater quality due to contamination from agrochemical applications in agricultural areas. The aims of this research project in the 1st year are mainly in distribution and mechanisms of nitrate contamination in the unconsolidated aquifer. In the 2nd year, the aims further investigate the distribution of nitrate in groundwater and explain the mechanisms occurring in the consolidated aquifer (e.g., volcanic aquifer). The results in the 2nd year are mainly described in this report as follows. The hydrogeological characteristics were investigated in the field and from well logs. The hydrogeochemical parameters, including NO_3^- , in 42 groundwater samples were taken from Kaeng Khoi District, Saraburi Province, Thailand in rainy and dry seasons, and were used the hydrogeochemical properties and stable isotopes for identifying the sources of NO_3^- , including the processes affecting NO_3^- contamination in groundwater.

It was found that the dominant groundwater flow direction is from east to west. The groundwater type mainly is Ca-Na- HCO_3 . The NO_3^- concentration is higher in the summer because higher temperatures help to accelerate biological activity. Station no.2 was found to have the highest NO_3^- concentration in both seasons. The main sources of NO_3^- are the dissolution of minerals and fertilizer in soils because the area is near paddy cultivation. Moreover, an imperfect installation around some hand pump wells would allow contaminants in surface water to easily reach into the groundwater. One process that reduces NO_3^- concentrations in the study area is dilution, which is dominant in the east of area. On the other hand, nitrification is a key process producing an increase of NO_3^- concentration. Thus, the hydrogeochemical and stable isotope analyses are an essential tool for understanding the sources and processes influencing any deviation of NO_3^- concentration. The multivariate statistical analysis showed that the relationship between Ca^{2+} , Na^+ and HCO_3^- represents uncontaminated natural groundwater and the relationship of Mg^{2+} , Cl^- , K^+ , NH_4^+ and NO_2^- , illustrates the anthropogenic sources contaminating the groundwater. For further study, the analysis the bacterial community in NO_3^- contaminated groundwater, which is necessary for selecting the most appropriate remediation scheme for NO_3^- -contaminated groundwater.

Keyword: Hydrogeochemistry, Saraburi, Nitrate, Multivariate statistical analysis, Stable isotope, Volcanic aquifer



สารบัญเรื่อง

	หน้า
สารบัญ	
สารบัญตาราง	
สารบัญรูปภาพ	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล	1-1
1.2 เป้าหมาย/วัตถุประสงค์ของการศึกษา ปีที่ 2	1-4
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	1-4
1.4 วิธีการดำเนินการ	1-6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-6
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 องค์ความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2-1
2.2 ลักษณะของชั้นน้ำบาดาลประเภทหินแข็ง	2-1
2.3 ศักยภาพน้ำบาดาลในประเทศไทย	2-3
2.4 คุณลักษณะทางเคมีทั่วไปของน้ำบาดาล	2-6
2.5 การกำหนดมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำ	2-8
2.6 วัฏจักรไนโตรเจน	2-10
2.7 ไอโซโทป	2-15
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2-23
บทที่ 3 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	
3.1 สภาพภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา	3-1
3.2 ลักษณะทางธรณีวิทยา	3-3
3.3 ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา	3-5
3.4 สภาพภูมิอากาศ	3-12
3.5 แหล่งน้ำธรรมชาติ และระบบลำน้ำในพื้นที่	3-13
3.6 ทรัพยากรดิน	3-14
3.7 การใช้ประโยชน์ที่ดิน	3-18



สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล พื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	
4.1 ตำแหน่งบ่อบาดาล พื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-1
4.2 ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล	4-3
4.3 สมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำบาดาลพื้นฐาน	4-8
4.4 อุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาล (Hydrogeochemistry of groundwater)	4-14
4.5 ชนิดของน้ำ (Water types)	4-45
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ	
5.1 ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	5-1
5.2 ชนิดของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	5-1
5.3 การกระจายตัวของไนเตรทในพื้นที่ศึกษา	5-1
5.4 แหล่งกำเนิดของไนเตรทในพื้นที่ศึกษา	5-1
5.5 ผลการศึกษาไอโซโทปเสถียร	5-2
5.6 กลไกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรท	5-2
5.7 การวิเคราะห์ตัวประกอบของข้อมูลอุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาล	5-2
5.8 ข้อเสนอแนะ	5-2
เอกสารอ้างอิง	



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงระดับความกระด้างของน้ำบาดาล	2-7
2.2	มาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค	2-9
3.1	การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาปี พ.ศ.2552	3-18
4.1	ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แคทไอออน) และไอโซโทปของน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน	4-15
4.2	ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แอนไอออน) ของน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน	4-17
4.3	ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แคทไอออน) ของน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อน	4-19
4.4	ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แอนไอออน) ของน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อน	4-21
4.5	ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แคทไอออน) และไอโซโทปของน้ำผิวดินช่วงฤดูฝน	4-23
4.6	ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แอนไอออน) ของน้ำผิวดินช่วงฤดูฝน	4-24
4.7	ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แคทไอออน) ของน้ำผิวดินช่วงฤดูร้อน	4-24
4.8	ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แอนไอออน) ของน้ำผิวดินช่วงฤดูร้อน	4-25
4.9	ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล และน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-47
4.10	ความเข้มข้นของไนเตรทของตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่เลือกเพื่อระบุแหล่งที่มาของไนเตรท	4-64
4.11	แสดงแหล่งกำเนิดของไนเตรทที่พบในบ่อบาดาล และแหล่งน้ำผิวดิน	4-86
4.12	ค่าน้ำหนักปัจจัย (Factor loading) ของ 5 ปัจจัยที่เกิดจากการหมุนแกนด้วยวิธี varimax orthogonal rotation ในฤดูฝน	4-101
4.13	ผลการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) และค่าความแปรปรวนรวมของพารามิเตอร์ทาง อุทกธรณีเคมีในฤดูฝน	4-102
4.14	ค่าน้ำหนักปัจจัย (Factor loading) ของ 5 ปัจจัยที่เกิดจากการหมุนแกนด้วยวิธี varimax orthogonal rotation ในฤดูร้อน	4-103
4.15	ผลการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) และค่าความแปรปรวนรวมของพารามิเตอร์ทาง อุทกธรณีเคมีในฤดูร้อน	4-104



สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	ขอบเขตพื้นที่ศึกษาในอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี	1-5
2.1	ลักษณะชั้นน้ำบาดาลในเขตที่ราบลุ่มภาคกลาง (กรมทรัพยากรธรณี, 2544)	2-5
2.2	วิจัยจักรไนโตรเจน ตัดแปลงจาก Stuart และคณะ, (2011)	2-11
2.3	Rainout effect กับการแยกตัวของไอโซโทป (Hoefs, 1997)	2-18
2.4	Temperature effect กับการแยกตัวของไอโซโทป (SAHRA, 2005)	2-19
2.5	สเปกตรัมการดูดกลืนของโมเลกุลน้ำ water isotopologues (Winkler และ Peters, 2013)	2-20
2.6	แผนภาพภายในของเครื่อง CRDS. (A) โมเลกุลของแสงที่ไม่ถูกดูดกลืน (B) โมเลกุลของแสงถูกดูดกลืน (Winkler และ Peters, 2013)	2-21
2.7	กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลา ring down ของโพรงที่ไม่มีการดูดกลืนแสงของแก๊ส และค่า detector voltage เมื่อแก๊สเป้าหมายมีการดูดกลืนแสง (Winkler และ Peters, 2013)	2-22
3.1	ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย, อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	3-2
3.2	ลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย, อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2551)	3-4
3.3	ลักษณะอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย, อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	3-7
3.4	แสดงภาพตัดขวางแนว A-A' ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย, อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	3-8
3.5	แสดงภาพตัดขวางแนว B-B' ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย, อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	3-9
3.6	แสดงภาพตัดขวางแนว C-C' ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย, อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	3-10
3.7	แสดงภาพตัดขวางแนว D-D' ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย, อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	3-11
3.8	แผนที่ชนิดดินของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย, อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	3-17
3.9	แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย, อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	3-19
4.1	แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล น้ำฝน และน้ำผิวดิน ของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-2
4.2	แผนที่แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลช่วงฤดูฝนของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-4
4.3	แผนที่แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อนของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-5
4.4	แผนที่แสดงระดับน้ำช่วงฤดูฝนของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-6
4.5	แผนที่แสดงระดับน้ำช่วงฤดูร้อนของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-7
4.6	ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำบาดาล พื้นที่ศึกษา	4-8



สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.7	ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำผิวดิน ในพื้นที่ศึกษา	4-9
4.8	อุณหภูมิของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-10
4.9	อุณหภูมิของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-10
4.10	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-11
4.11	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-12
4.12	ค่าของแข็งที่ละลายน้ำของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-13
4.13	ค่าของแข็งที่ละลายน้ำของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-13
4.14	ความเข้มข้นของแคลเซียมของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-26
4.15	ความเข้มข้นของแคลเซียมของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-26
4.16	ความเข้มข้นของแมกนีเซียมของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-27
4.17	ความเข้มข้นของแมกนีเซียมของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-27
4.18	ความเข้มข้นของโซเดียมของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-28
4.19	ความเข้มข้นของโซเดียมของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-28
4.20	ความเข้มข้นของโพแทสเซียมของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-29
4.21	ความเข้มข้นของโพแทสเซียมของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-30
4.22	ความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-31
4.23	ความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-31
4.24	ความเข้มข้นของซัลเฟตของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-32
4.25	ความเข้มข้นของซัลเฟตของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-32
4.26	ความเข้มข้นของโบรไมด์ของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-33
4.27	ความเข้มข้นของโบรไมด์ของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-33
4.28	ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-34
4.29	ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-35
4.30	ความเข้มข้นของไนไตรต์ของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-37
4.31	ความเข้มข้นของไนไตรต์ของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-37
4.32	ความเข้มข้นของไนเตรทของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-38
4.33	ความเข้มข้นของไนเตรทของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-38
4.34	ความเข้มข้นของเหล็กของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-39
4.35	ความเข้มข้นของเหล็กของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-40



สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.36	ความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างทั้งหมดในน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-41
4.37	ความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างทั้งหมดในน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-41
4.38	ค่าความเข้มข้นของแต่ละแคทไอออนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-42
4.39	ค่าความเข้มข้นของแต่ละแคทไอออนของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-43
4.40	ค่าความเข้มข้นของแต่ละแอนไอออน และค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-43
4.41	ค่าความเข้มข้นของแต่ละแอนไอออน และค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา	4-43
4.42	ค่าความเข้มข้นของแต่ละไอออนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-44
4.43	ค่าความเข้มข้นของแต่ละไอออนของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-44
4.44	แผนภาพ piper diagram ของน้ำบาดาลช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-50
4.45	แผนภาพ piper diagram ของน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-50
4.46	สัดส่วนอุทกธรณีเคมีแต่ละประเภทของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (A) ชนิดของน้ำฝนช่วงฤดูฝน (B) ชนิดของน้ำในช่วงฤดูร้อน	4-51
4.47	แผนภาพ piper diagram ของน้ำผิวดินช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-52
4.48	แผนภาพ piper diagram ของน้ำผิวดินช่วงฤดูร้อนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-52
4.49	สัดส่วนอุทกธรณีเคมีแต่ละประเภทของน้ำผิวดินช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอ เมือง จังหวัดสระบุรี	4-53
4.50	การกระจายตัวของความเข้มข้นของไนเตรทของน้ำบาดาลช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-55
4.51	การกระจายตัวของความเข้มข้นของไนเตรทของน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อนในพื้นที่ศึกษา อำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-56
4.52	ขอบเขตลุ่มน้ำย่อยในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-57
4.53	การกระจายตัวของความเข้มข้นของไนเตรทของน้ำผิวดินช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-58
4.54	การกระจายตัวของความเข้มข้นของไนเตรทของน้ำผิวดินช่วงฤดูร้อนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-59
4.55	ความเข้มข้นของไนเตรทตั้งแต่เดือนเมษายน ถึงเดือนพฤษภาคม ปี 2007	4-60



สารบัญญักรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.56	ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเดือนพฤศจิกายน (ฤดูฝน) และเดือนพฤษภาคม (ฤดูแล้ง) ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-61
4.57	แผนภาพ Box plot ของความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งสองฤดูกาล ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-62
4.58	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาล ช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษา อำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Panno et al., 2006)	4-63
4.59	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาล ช่วงฤดูแล้งในพื้นที่ศึกษา อำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Panno et al., 2006)	4-64
4.60	ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างเพื่อระบุแหล่งที่มาของไนโตรเจนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-65
4.61	ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด และอัตราส่วนคลอไรด์/โบรไมด์ของน้ำบาดาล และน้ำผิวดิน ช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษา อำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Marie และ Vengosh, 2001)	4-67
4.62	ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด และอัตราส่วนคลอไรด์/โบรไมด์ของน้ำบาดาลช่วงฤดูแล้ง ในพื้นที่ศึกษา อำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Marie และ Vengosh, 2001)	4-67
4.63	อัตราส่วนคลอไรด์/โบรไมด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาล และน้ำผิวดินช่วงฤดูฝน ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย, อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Panno et al., 2006)	4-69
4.64	อัตราส่วนคลอไรด์/โบรไมด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาลช่วงฤดูแล้ง ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Panno et al., 2006)	4-69
4.65	อัตราส่วนคลอไรด์/โบรไมด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาล และน้ำผิวดินช่วงฤดูฝน ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Pasten-Zapata et al., 2014)	4-70
4.66	อัตราส่วนคลอไรด์/โบรไมด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาลช่วงฤดูแล้ง ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Pasten-Zapata et al., 2014)	4-71
4.67	อัตราส่วนไนโตรเจน/คลอไรด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาล และน้ำผิวดินช่วงฤดูฝน ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Zhang et al., 2015)	4-73
4.68	อัตราส่วนไนโตรเจน/คลอไรด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาลช่วงฤดูแล้ง ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Zhang et al., 2015)	4-73



สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.69	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 01 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 4-74
4.70	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 02 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 4-75
4.71	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 21 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 4-76
4.72	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 26 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 4-77
4.73	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 28 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 4-78
4.74	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 30 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 4-79
4.75	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 32 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 4-80
4.76	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 35 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 4-81
4.77	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 48 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 4-82
4.78	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 59 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 4-83
4.79	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 65 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 4-84
4.80	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 4-85
4.81	ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของน้ำผิวดินตำแหน่งที่ 51 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 4-86
4.82	ข้อมูลไอโซโทป δD และ $\delta^{18}O$ ของน้ำฝนในพื้นที่กรุงเทพฯ ช่วงเวลาดังตั้งปี 1968 ถึง 2009 4-88
4.83	ข้อมูลไอโซโทป δD และ $\delta^{18}O$ ของน้ำฝน ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 4-88
4.84	ข้อมูลไอโซโทป δD และ $\delta^{18}O$ ของผิวดิน และน้ำบาดาลเมื่อเปรียบเทียบกับเส้น BKK LMWL 4-90
4.85	ข้อมูลไอโซโทป δD และ $\delta^{18}O$ ของน้ำบาดาลในชั้นน้ำตะกอนน้ำพาและชั้นน้ำในหินภูเขาไฟ 4-90
4.86	โดยเปรียบเทียบกับเส้น BKK LMWL ขอบเขตพื้นที่เติมน้ำในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 4-92



สารบัญญักรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.87	แผนที่เปรียบเทียบความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาลทั้งสองฤดูกาลในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอยอำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (a) ความเข้มข้นของไนเตรทช่วงฤดูฝน (b) ความเข้มข้นของไนเตรทช่วงฤดูแล้ง	4-93
4.88	แผนภาพ Eh-pH ของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 06, 07, 11 และ 37	4-96
4.89	ตำแหน่งภาพตัดขวางในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี	4-97
4.90	เปรียบเทียบความเข้มข้นของไนเตรท และค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำตามแนวภาพตัดขวางในพื้นที่ศึกษา อำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (A) A-A', (B) B-B', (C) C-C'	4-99



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

น้ำบาดาล เป็นแหล่งน้ำสำรองที่สำคัญในประเทศไทย และถูกพัฒนาขึ้นมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อาทิ การนำน้ำมาใช้เพื่ออุปโภคบริโภคในครัวเรือน เกษตรกรรม หรืออุตสาหกรรม ต่อมา การพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลได้ขยายตัวเพิ่มมากขึ้น เป็นผลสืบเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร การขยายตัวทาง เศรษฐกิจและสังคม ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำและการปนเปื้อนของมลสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาล อาทิ สารเคมีเกษตรต่างๆ ยาปราบศัตรูพืช ปุ๋ยเคมี และของเสียต่างๆ ที่อยู่บนผิวดิน ถูกชะล้างด้วยฝนหรือน้ำท่าลงสู่ชั้น น้ำใต้โดยตรง ทำให้คุณภาพน้ำบาดาลเสื่อมโทรมลงและไม่สามารถนำขึ้นมาใช้ได้อีก โดยเฉพาะพื้นที่เกษตรกรรม ในประเทศไทยถือว่าเป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีสัดส่วนมากที่สุด กล่าวได้ว่าเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงใน การปนเปื้อนต่อชั้นน้ำบาดาล เนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ทำให้มีโอกาสเกิดการ ปนเปื้อนของสารไนเตรท ที่เป็นสารองค์ประกอบหลักของปุ๋ยเคมีลงสู่แหล่งน้ำ โดยพบการปนเปื้อนเป็นจำนวนมาก ในหลายพื้นที่ที่มีการทำเกษตรกรรมหนาแน่น อาทิการศึกษาของ Zhang และคณะ (1996) เปิดเผยว่าตั้งแต่ปี 1980 ในประเทศจีนมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอัตราการใช้ที่เพิ่มสูงขึ้นนี้มีส่วนเพิ่มมลพิษเกี่ยวกับ ไนโตรเจนในน้ำบาดาล โดยพวกเขาได้สังเกตผลกระทบดังกล่าวนี้จาก 14 เมืองซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของประเทศ จีน และใช้วิธี Merckoquant-nitrate test สำหรับวัดความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาล ทั้งยังสังเกตความลึก บ่อบาดาล ระดับน้ำบาดาล ชนิดของพืชที่เพาะปลูก และอัตราการใช้ปุ๋ยร่วมด้วย จากผลการศึกษาพบว่ามลพิษ ของไนเตรทบนดิน และน้ำดื่มเป็นปัญหาที่น่ากังวล โดยตัวอย่างน้ำบาดาล 69 ตัวอย่างพบความเข้มข้นของไนเตร ทในน้ำบาดาลสูงทั้งหมด ซึ่งมากกว่าครึ่งของจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่กระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 140,000 ตารางกิโลเมตร พบว่ามีความเข้มข้นของไนเตรทมากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และพื้นที่วิกฤติที่พบค่า ความเข้มข้นของไนเตรทประมาณ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร พบในบริเวณพื้นที่ปลูกฝัก ลานทำเกษตรกรรม และในน้ำ ดื่มบริเวณตอนกลางของเมือง โดยอัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่ประมาณ 500-1,900 กิโลกรัม ไนโตรเจนต่อ เฮกตาร์ แต่พืชสามารถนำไปใช้ได้ปริมาณที่ต่ำกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณการนำเข้าปุ๋ยและปริมาณที่พืช นำไปใช้ได้ไม่สมดุลกัน นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของประชากร ทำให้ทรัพยากรดินในประเทศลดลง และความต้องการ อาหารเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้แนวโน้มมีการทำเกษตรกรรมอย่างหนาแน่นในอนาคต ดังนั้นคาดว่าอัตราการใช้ปุ๋ย สำหรับทำเกษตรกรรมอาจจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 2 หรือ 3 เท่าภายในระยะเวลา 30 ปี และก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับ มลพิษที่รุนแรงตามมา ดังนั้นการตรวจติดตามและวิเคราะห์อย่างเป็นระบบทางด้านอุทกธรณีวิทยาและอุทกเคมี เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมในกรณีที่มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับทำเกษตรกรรมมากเกินความจำเป็น

จากการศึกษาของ Filintas และคณะ (2008) พบว่าการปนเปื้อนของไนเตรทในแหล่งน้ำบาดาลบริเวณ พื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งอยู่ทางตอนกลางของประเทศ Greece โดยทำการสำรวจการใช้ประโยชน์ที่ดิน การ เพาะปลูก การใช้ปุ๋ย ตลอดจนของเสียที่มาจากการทำเกษตรกรรม และคุณภาพน้ำบาดาลจากการเก็บตัวอย่างน้ำ



บาดาลจากหลายๆ ตำแหน่งในช่วงเดือนเมษายน ถึงเดือนมิถุนายน ปี 2004 เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนเตรท และไนเตรท-ไนโตรเจนด้วยวิธี cadmium reduction method และใช้เครื่อง spectrophotometer สำหรับตัวอย่างน้ำเสีย และน้ำทะเล นอกจากนี้ยังใช้โปรแกรม GIS และ remote sensing ร่วมกับผลวิเคราะห์เคมีเพื่อประเมินการกระจายตัวของไนเตรท และจำแนกพื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อนได้ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณไนเตรทในพื้นที่เกษตรกรรมมีความแปรปรวนเชิงพื้นที่สูง พบบางตัวอย่างพบค่าปริมาณไนเตรทสูงกว่า 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่บางตัวอย่างมีปริมาณไนเตรทสูงกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นการใช้โปรแกรม GIS และ remote sensing จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการนำเสนอเกี่ยวกับการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับนำไปใช้ป้องกันและจัดการทรัพยากรน้ำให้เหมาะสมในบริเวณพื้นที่เพาะปลูก

นอกจากนี้การปนเปื้อนของไนเตรทในแหล่งน้ำบาดาลก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพต่อผู้น้ำบาดาลปนเปื้อนเหล่านั้นไปใช้ในการศึกษาของ Ehteshami และ Biglarjoo (2014) พบความเข้มข้นของไนเตรทที่พบในน้ำดื่มในปริมาณสูง เป็นสาเหตุให้เกิดโรค methemoglobinemia ในเด็กทารก มะเร็งกระเพาะอาหารในผู้ใหญ่ และยังเป็นอันตรายกับสัตว์ด้วย โดยนักวิจัยมากมายได้ศึกษาแบบจำลอง fate และการเคลื่อนที่ของไนเตรทในน้ำบาดาล เพื่อหาแนวทางลดปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล และงานวิจัยนี้ได้ตรวจวัดไอออนของไนเตรท และไนโตรทในตัวอย่างน้ำบาดาลทั้งหมด 93 ตัวอย่าง ซึ่งบ่อบาดาลทั้งหมดอยู่ในพื้นที่เกษตรกรรม และสุ่มตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด 45 ตัวอย่าง ผลการศึกษาระบุว่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างที่ศึกษาทั้งหมดพบความเข้มข้นของไนเตรทมากกว่าระดับมาตรฐาน นั่นคือ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรไนโตรเจน โดยระดับน้ำบาดาลที่วัดในพื้นที่อยู่ในช่วง 1.0-3.7 เมตร จากระดับพื้นผิวดิน ตัวอย่างน้ำที่เก็บจากพื้นที่ปลูกส้มทั้งหมด มีความเข้มข้นของไนเตรทในระดับเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้จำลองการเคลื่อนที่ของไนเตรทในพื้นที่ที่แตกต่างกัน 4 บริเวณ ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของไนเตรทในพื้นที่ปลูกข้าวสามารถซึ่มลงสู่ดินในระดับที่ลึกที่สุดมากกว่าพื้นที่อื่นที่ระดับ 3.20 เมตร จากการสังเกตข้อมูลเหล่านี้ร่วมกับการสร้างแบบจำลองช่วยทำนายถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำบาดาลในชั้นดิน และชั้นน้ำบาดาลได้ และการศึกษาของ Marouane และคณะ (2014) พบว่าการใช้ปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืชเพื่อทำเกษตรกรรม เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรทในแหล่งน้ำบาดาล โดยคณะผู้วิจัยได้ศึกษาตัวอย่างน้ำบาดาลทั้งหมด 36 ตัวอย่าง ในพื้นที่ Mnasra ซึ่งเป็นเมืองที่อยู่บริเวณแนวชายฝั่งของที่ราบ Gharb ทางตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศ Morocco เพื่อสังเกตการกระจายตัวเชิงพื้นที่และความแปรปรวนของปริมาณไนเตรท และความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชในน้ำบาดาลช่วงปี 2012 ซึ่งจะเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลในเดือนมีนาคม เมษายน พฤษภาคม และกันยายน เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนเตรทโดยใช้เครื่อง Ion Chromatography และในส่วนของสารกำจัดศัตรูพืชวิเคราะห์โดยวิธี accelerated solvent extraction (ASE) ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาลทั้งหมดมีค่าเกินกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่การตรวจสอบสารกำจัดศัตรูพืชทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ benalaxyl, chlorpyrifos และ cypermethrin ไม่พบในน้ำบาดาล เนื่องจากสารดังกล่าวถูกใช้ในปริมาณน้อย และมีการพ่นสารนี้เพียงแค่บริเวณใบ หรือมีการย่อยสลายของโมเลกุลสารบนดินก่อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ปริมาณไนเตรทยังใช้เป็นมลสารบ่งชี้โอกาสที่จะเกิดการปนเปื้อนของมลสารอื่นๆ เช่น ยาฆ่าแมลง และโลหะหนัก ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสุขภาพของคนเมื่อน้ำเหล่านั้นมาใช้เพื่อการอุปโภค บริโภค จากข้อมูลสถิติการนำเข้าสารเคมีเกษตรในประเทศไทยพบมีแนวโน้ม



สูงขึ้น (สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2557-2559) ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าปัญหาการปนเปื้อนของน้ำบาดาลมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต และหากมีการบริโภคน้ำที่มีปริมาณสารไนเตรทสูงมากกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค คือ 45 มิลลิกรัมต่อลิตร NO_3^- หรือ 11.3 มิลลิกรัมต่อลิตร NO_3^- -N (Macler, 2007; Woolverton, 2015) จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยเฉพาะในสตรีที่ตั้งครรภ์ ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดการแท้งบุตร (Beaudet และคณะ, 2014) นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อเด็กทารกที่อายุน้อยกว่า 6 เดือน เป็นโรค blue-baby syndrome หรือโรค Methemoglobinemia ซึ่งโรคนี้เป็นสาเหตุทำให้กระเพาะอาหารมีสภาพเป็นกรดต่ำ ทำให้แบคทีเรียที่ช่วยในการย่อยเปลี่ยนสารไนเตรท ให้เป็นไนไตรท์ และไนไตรท์นี้จะเข้าสู่ระบบเลือดของเด็กทารก และทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน จากนั้นฮีโมโกลบินจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นเมทีโมโกลบิน ส่งผลให้การพาออกซิเจนในเลือดลดลง เป็นสาเหตุทำให้ผิวหนังกลายเป็นสีฟ้า ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนบริเวณรอบๆดวงตา และริมฝีปาก และทำให้เด็กทารกเสียชีวิตในที่สุด (Mahler และคณะ, 2007) บางการศึกษาพบว่าทารกที่รับสัมผัสน้ำที่ปนเปื้อนไนเตรทเป็นระยะเวลานานอาจก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (Ward และคณะ, 2005) และเมื่อน้ำบาดาลที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสเฟตสูงไหลลงสู่แหล่งน้ำผิวดินขนาดใหญ่ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี หรือปรากฏการณ์ Eutrophication ซึ่งท้ายที่สุดจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศเนื่องจากสาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และปกคลุมพื้นน้ำเป็นบริเวณกว้างทำให้แสงอาทิตย์ไม่สามารถส่องผ่านลงมายังแหล่งน้ำ ดังนั้นปริมาณออกซิเจนในน้ำจะลดลงส่งผลกับพืช และสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำ (Pietro, 2006; Minaudo และคณะ, 2015; Sahanawin, 2012; Vonlathen และคณะ, 2012; BoQiang และคณะ, 2012; Duncan และคณะ, 2012; Kaff, 2012)

การแก้ไขปัญหาและวางแผนในการป้องกันและบรรเทาปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงควรเริ่มตั้งแต่การศึกษาแหล่งกำเนิดของไนเตรท ซึ่งจะช่วยระบุแหล่งที่มาของไนเตรทที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาล (และมลสารอื่นๆ ที่มีโอกาสปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำบาดาล เช่น ยาฆ่าแมลง โลหะหนัก เป็นต้น) เนื่องจากแหล่งกำเนิดของไนเตรทอาจจะมาจากทั้งแหล่งกำเนิดธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ อาทิ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และอนินทรีย์ในพื้นที่เกษตรกรรม การปล่อยน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและที่อยู่อาศัย รวมถึงกระบวนการของจุลชีพที่อยู่ในดิน (microbial activity) (Gu และคณะ, 2011; Gu และคณะ, 2013; Motzer, 2006) โดยหลายงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้ไอโซโทปเสถียรเพื่อระบุแหล่งกำเนิดและกลไกที่ไนเตรทปนเปื้อนในแหล่งน้ำบาดาลเนื่องจากแสดงลักษณะลายมือพิเศษ (special fingerprint) ของแหล่งกำเนิดไนเตรทที่แตกต่างกัน ดังนั้นไอโซโทปเสถียรจึงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับติดตามแหล่งกำเนิดของไนเตรท และช่วยอธิบายกลไก หรือกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรท (Chen และคณะ, 2006; Chen และคณะ, 2007; Fenech และคณะ, 2012; Kellman และ Hillaire-Marcel, 2003; Mcquillan, 2004; Min และคณะ, 2003; Munster, 2008; Stewart และคณะ, 2011; Townsend และ Whittemore, 2005; Wieben และคณะ, 2013) อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ไม่ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเพื่อระบุแหล่งกำเนิดของการปนเปื้อนไนเตรทในประเทศไทย

โดยทั่วไป ชั้นน้ำบาดาล (aquifers) ในประเทศไทยแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ ชั้นน้ำบาดาลในชั้นดินตะกอนร่วน และชั้นน้ำบาดาลในชั้นหิน (ที่มีรอยแตก หรือเป็นโพรง) ซึ่งพฤติกรรมการไหลของน้ำและเคลื่อนตัวของมลสารมีความแตกต่างกัน ในเบื้องต้นจะทำการคัดเลือกแอ่งน้ำบาดาลที่มีลักษณะดังกล่าว และเลือก



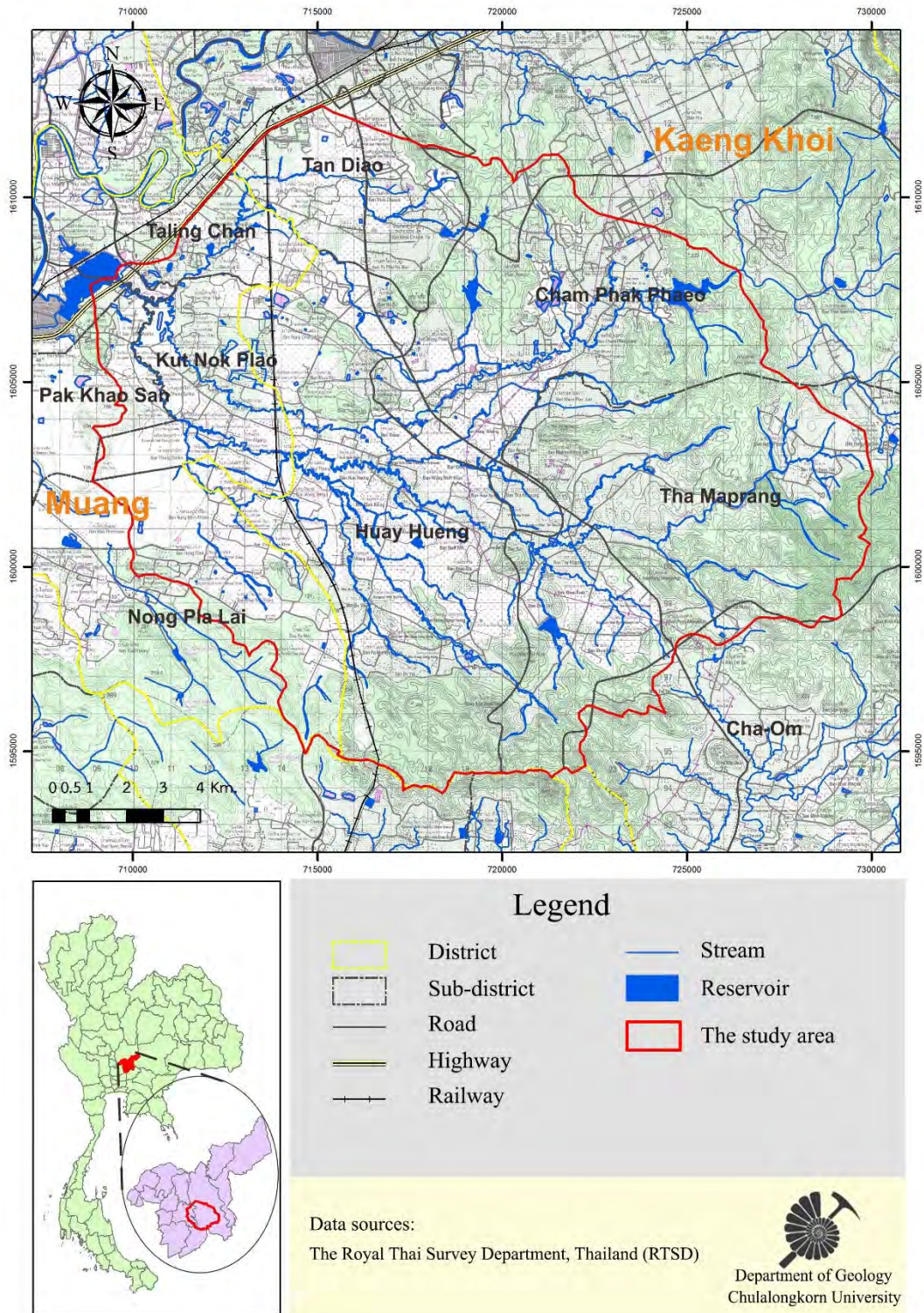
พื้นที่ที่มีลักษณะการทำเกษตรกรรมหนาแน่น ซึ่งในการศึกษาปีที่ 1 ได้ดำเนินการศึกษาในพื้นที่แอ่งน้ำบาดาลเพชรบุรีที่มีการสะสมของแองเสสมตะกอนในพื้นที่อำเภอชะอำ มีการเพาะปลูกพืชไร่ที่มีความหนาแน่นและประชาชนในพื้นที่ใช้น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำสำรอง เนื่องจากในพื้นที่ประสบปัญหาความแห้งแล้งและฝนทิ้งช่วงบ่อยครั้ง สำหรับการศึกษาดูเนื่องในปีที่ 2 ในพื้นที่ที่เป็นแอ่งน้ำบาดาลในหินแข็ง ตั้งอยู่ในอำเภอแก่งคอย และอำเภอเมืองจังหวัดสระบุรี มีการนำน้ำบาดาลในชั้นหินแข็ง (หินปูน/หินภูเขาไฟ) มาใช้เนื่องจากประสบภัยแล้งเช่นเดียวกัน ในการศึกษาครั้งนี้จะประยุกต์ใช้เทคนิคของการศึกษาทางด้านอุทกเคมี อุทกธรณีวิทยา ร่วมกับเทคนิคไอโซโทปเสถียรเพื่ออธิบายแหล่งที่มาของไนเตรท ตลอดจนอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในชั้นน้ำบาดาล นอกจากนี้ผลจากการศึกษาจะใช้เป็นแนวทางที่เหมาะสมในการใช้สารเคมีเกษตรในพื้นที่ต่อไป ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้จะใช้เป็นต้นแบบการประเมินแหล่งที่มาของการปนเปื้อนของไนเตรทของน้ำบาดาล และวางแผนในการฟื้นฟูคุณภาพน้ำและบริหารจัดการน้ำอย่างบูรณาการ นอกจากนี้จะเป็นเครื่องมือในการกำหนดมาตรการการใช้สารเคมีเกษตรอย่างเหมาะสมไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะคุณภาพน้ำบาดาลในอนาคต

1.2 เป้าหมาย/วัตถุประสงค์ของการศึกษา ปีที่ 2

วัตถุประสงค์ของ ปีที่ 2 มุ่งเน้นการประเมินแหล่งกำเนิด ศึกษาขอบเขตการแพร่กระจายและอธิบายกระบวนการที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรทในชั้นหินแข็ง ตลอดจนสรุปแนวทางการศึกษาในการประเมินการปนเปื้อนในพื้นที่เกษตรกรรมหนาแน่นประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

สำหรับขอบเขตการดำเนินการในปีที่ 2 จะมุ่งเน้นในพื้นที่ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของชั้นน้ำในหินแข็งแข็ง ซึ่งมีลักษณะอุทกวิทยาแตกต่างจากชั้นน้ำในตะกอนร่วน โดยลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินมุ่งเน้นบริเวณที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมเป็นหลัก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ เป็นพื้นที่ที่มีการนำน้ำบาดาลจากชั้นน้ำในหินแข็งมาใช้เป็นหลักตั้งอยู่ใน พื้นที่ที่อยู่ในตำบลห้วยแห้ง ตาลเดี่ยว ท่ามะปราง ชำผักแพรว ชะอำ อำเภอแก่งคอย และตำบลลิ้งชัน กุดนงเปล้า ปากข้าวสาร และหนองปลาไหล อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ในพื้นที่ที่มีการนำน้ำบาดาลในชั้นหินแข็ง (หินปูน/หินภูเขาไฟ) มาใช้เนื่องจากประสบภัยแล้ง



รูปที่ 1.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาในอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี



1.4 วิธีการดำเนินการ

1) รวบรวมข้อมูลด้านธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจ และข้อมูลบ่อบาดาล ในพื้นที่ศึกษาบริเวณตำบลห้วยแห้ง ตาลเดี่ยว ท่ามะปราง ชำผักแพรว ชะอำ อำเภอกำแพงแสน และตำบลตลิ่งชัน กุดนกเปล้า ปากข้าวสาร และหนองปลาไหล อำเภอมือง จังหวัดสระบุรี เพื่อทราบลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ และสภาพแหล่งน้ำบาดาล

2) ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีทั้งในภาคสนามและห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาลักษณะทางอุทกเคมีและปริมาณของไนเตรท และการแพร่กระจายตัวของไนเตรทในแหล่งน้ำบาดาลในชั้นหินแข็ง

3) ประเมินแหล่งกำเนิดของไนเตรทในชั้นน้ำบาดาล และอธิบายกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรทในชั้นน้ำบาดาลร่วมกับลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบแหล่งกำเนิด และเข้าใจกระบวนการ หรือกลไกที่ทำให้ไนเตรทมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเกิดขึ้นในชั้นน้ำบาดาลในชั้นหินแข็ง

2) แนวทางในการอนุรักษ์และฟื้นฟูชั้นน้ำที่ปนเปื้อนไนเตรท



บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง

เป็นที่ทราบกันดีว่าน้ำบาดาล เป็นแหล่งน้ำจืดที่ประชาชนทั่วไปนิยมใช้กันมาก แทนที่แหล่งน้ำผิวดิน อันเนื่องมาจากคุณสมบัติที่เหมาะสมหลายประการ อาทิ อุณหภูมิค่อนข้างคงที่ และความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนจากมลสารน้อยกว่าแหล่งน้ำผิวดิน แต่ในปัจจุบันด้วยจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น รวมถึงการขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคม นำมาซึ่งปัญหาการขาดแคลนน้ำบาดาล เนื่องจากไม่มีการควบคุมการใช้ และไม่มีการป้องกันรักษาทรัพยากรน้ำสำหรับอนาคต จากเดิมที่เคยสูบใช้เพียงระดับตื้น ก็มีการพัฒนาเพื่อสูบในระดับที่ลึกขึ้น โดยปกตินิยมสำรวจและสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้จากชั้นน้ำบาดาลประเภทตะกอนร่วน เพราะเป็นชั้นที่ทำการเจาะได้ง่าย และมีปริมาณน้ำมากเพียงพอต่อความต้องการ แต่ก็ยังมีข้อเสียเปรียบคือเสี่ยงต่อการปนเปื้อนได้มากกว่า เนื่องจากไม่มีชั้นหิน หรือชั้นที่บีบน้ำ (confining layer) ปิดทับด้านบน ในหลายพื้นที่จึงมีการพัฒนาการสำรวจ และวิธีการเจาะเพื่อนำน้ำบาดาลที่อยู่ใต้ออกรอยแยก และรอยแตกในชั้นหินแข็งขึ้นมาใช้ แต่ปริมาณก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทั้งยังเสี่ยงกับการเจาะแล้วอาจไม่เจอน้ำ เนื่องจากระบบน้ำบาดาลในชั้นหินแข็งค่อนข้างซับซ้อนมากกว่า ถึงแม้ว่าจะได้รับความนิยมน้อยกว่าแหล่งน้ำบาดาลประเภทตะกอนร่วน แต่ก็มีความสำคัญในหลายพื้นที่ที่ประสบปัญหาภัยแล้ง อาทิ จังหวัดสระบุรี จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาโอกาสการปนเปื้อนจากมลสารจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายกับแหล่งน้ำบาดาลที่สำคัญ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อในอนาคต

2.2 ลักษณะของชั้นน้ำบาดาลประเภทหินแข็ง

หินแข็ง เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า consolidated rocks หมายถึง หินทุกชนิดที่มีลักษณะแข็ง เกาะกลุ่มเป็นก้อน ไม่ร่วน ได้แก่ หินชั้นหรือหินตะกอน หินอัคนีทั้งที่มีการเย็นตัวได้เปลือกโลก และบริเวณผิวโลก หินแปร ซึ่งเกิดจากการแปรสภาพของหินชั้นหรือ หินอัคนี จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเนื้อหิน เนื่องจากความร้อน และความดัน ซึ่งคุณสมบัติการกักเก็บน้ำบาดาลของหินแต่ละประเภทแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องทราบสภาพภูมิประเทศ ลักษณะพื้นที่สภาพทางธรณีวิทยา และลักษณะโครงสร้างของชั้นหิน อาทิ รอยแตก (fracture) และรอยเลื่อน (fault) หรือโครงสร้างใหญ่อื่นๆ ที่ส่งผลกระทบต่อรอยแตกที่ปรากฏในเนื้อหิน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติการกักเก็บน้ำของชั้นหิน เนื่องจากคุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยาของชั้นน้ำประเภทนี้จะขึ้นอยู่กับช่องว่างแบบพุดิยุมิ (กรมทรัพยากรธรณี, 2538)

2.2.1 หน่วยหินปูน

หินปูน เป็นหินตะกอนที่มีลักษณะเนื้อแข็งแน่น ประกอบด้วยแร่แคลไซต์เป็นส่วนใหญ่ อาจเกิดจากการสะสมตัวของเศษเปลือกแข็งของสิ่งมีชีวิต เช่น ปะการัง เปลือกหอย หรือเกิดจากกระบวนการทางอนินทรีย์เคมี จึงพบช่องว่างที่เป็นช่องว่างแบบปฐมภูมิตำมาก แต่เพราะหินปูนมีคุณสมบัติการละลายน้ำได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม โดยเฉพาะในน้ำที่มีสภาพเป็นกรด ในที่นี้คือ น้ำฝนซึ่งได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศ และเปลี่ยนสภาพเป็น



กรดคาร์บอนิกอ่อนๆ (H_2CO_2) จึงสามารถละลายเนื้อหินปูนที่เป็น แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ให้กลายเป็นสารละลายได้ ทำให้เกิดช่องว่างเล็กๆ และขยายตัวเป็นโพรงถ้ำกว้าง หากโพรงถ้ำนี้ได้อยู่ใต้ดิน น้ำจากผิวดินสามารถลงไปกักเก็บสะสมในช่องว่าง และกลายเป็นแหล่งน้ำบาดาลในที่สุด โดยในประเทศไทยหินปูนชุดราชบุรี (Permo-carboniferous period) เป็นหินที่ให้น้ำมากที่สุด รองจากหินร่วนลุ่มน้ำหลาก มักให้น้ำในเกณฑ์ 20-100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ต่อมาเป็นหินปูนชุดทุ่งสง (Ordovician period) ซึ่งกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างทั้งภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ หินปูนชุดนี้มีคุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยาแตกต่างจากหินปูนชุดแรก คือ มีความสามารถในการให้น้ำอยู่ในเกณฑ์ 5-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีหินปูนชุดลำปาง (Triassic period) ได้แก่ หมวดหินดอยช้าง และหมวดหินผาก้าน ซึ่งมีลักษณะคล้ายหินปูนชุดทุ่งสง คือไม่ค่อยมีโพรงขนาดใหญ่ แม้มีถ้ำขนาดใหญ่ แต่เป็นถ้ำในระดับตื้นที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาล หากบางพื้นที่พบชั้นดินดาน หินทราย และเชิร์ตเจือปนในเนื้อหิน จะไม่สามารถพัฒนาหาแหล่งน้ำบาดาลขนาดใหญ่ได้

2.2.2 หน่วยหินโคราช

เป็นหินตะกอน ประเภท clastic sedimentary rock ประกอบด้วยหินดินดาน หินทราย หินทรายแป้ง และหินกรวดมน (Cretaceous-Triassic period) ปกคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ประมาณ 80% ของที่ราบสูงโคราช บริเวณช่องว่างในหินตะกอนถูกประสานด้วยสารละลายประเภทซิลิกา, ธาตุปูน (Calcareous solution), สารละลายธาตุเหล็ก (Feros solution) จึงไม่พบช่องว่างแบบปฐมภูมิ แต่กลุ่มหินนี้ก็มีคุณสมบัติที่เปราะแตกได้ง่าย จึงทำให้มีแนวรอยแตกซับซ้อนในลักษณะ Complex Fractured Zones ทำให้สามารถกักเก็บน้ำได้เป็นอย่างดี อยู่ในเกณฑ์ประมาณ 2-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง แบ่งออกเป็น 3 ชุด ได้แก่

- หน่วยหินโคราชตอนบน ประกอบด้วยหินชุดมหาสารคาม และหินชุดโคกกรวด รวมถึงหินชุดภูทอก โดยน้ำบาดาลที่กักเก็บในหน่วยหินนี้มีคุณภาพดี สามารถให้น้ำได้ในเกณฑ์ 5-10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
- หน่วยหินโคราชตอนกลาง ประกอบด้วยหินชุดภูพาน หินชุดเสาข้าว และหินชุดพระวิหาร เป็นหินทรายแป้ง หินทราย และหินกรวด เป็นหินเนื้อแข็ง ชั้นหินหนา คงทนต่อการสึกกร่อน ทำให้มีแนวรอยแตกน้อย จึงให้ปริมาณน้ำบาดาลน้อย
- หน่วยหินโคราชตอนล่าง ประกอบด้วยหินชุดภูกระดึง และหินชุดน้ำพอง เป็นหินทรายแป้ง และหินดินดาน น้ำบาดาลที่พบในระดับตื้นจึงพบจากรอยแตกที่เกิดจากการหดตัวของหิน ในขณะที่น้ำบาดาลที่พบในระดับลึกจะพบตามแนวรอยต่อของชั้นหิน ปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์ 5-25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

2.2.3 หน่วยหินลำปาง

เป็นหินทราย หินดินดาน หินถ้ำภูเขาไฟ หินปูน และหินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ ที่เกิดในสภาพแวดล้อมทะเล (Triassic period) เป็นหน่วยหินที่มีศักยภาพในการให้น้ำต่ำ น้ำบาดาลจะถูกกักเก็บอยู่ในรอยแตก รอยเลื่อน และรอยต่อของชั้นหินในระดับตื้น คุณภาพน้ำดี ปริมาณน้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 2-5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

2.2.4 หน่วยหินชั้นกึ่งหินแปร

เป็นกลุ่มหินชั้นที่ผ่านการแปรสภาพโดยการบีบอัด และความร้อน บางส่วนหลอมเหลว และตกผลึกใหม่ แต่บางส่วนยังคงสภาพเป็นหินชั้นอยู่ เช่น หินชุดแก่งกระจาน (Permo-Carboniferous) ประกอบด้วยหินทรายควอร์ต



หินทรายเฟลสปาร์ หินดินดานกึ่งหินฟิลไลต์ กึ่งหินชนวน และหินแกรนิต เนื่องจากหินมีลักษณะเป็นหินแข็งแน่นจึงไม่มีช่องว่างปฐมภูมิ อีกทั้งยังมีบางส่วนที่ถูกแปรสภาพไป ยิ่งทำให้ช่องว่างแบบทุติยภูมิลดน้อยลงอีก ทั้งนี้หินจำพวก slate และ slaty shale เป็นหินที่เปราะแตกง่าย ทำให้เกิดรอยแตกได้มากแต่รอยแตกเหล่านี้ไม่ได้เชื่อมต่อนั่นเองกัน แหล่งน้ำบาดาลจึงมีศักยภาพต่ำ ปริมาณการให้น้ำอยู่ในเกณฑ์ 2-10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มักพบกระจายตัวอยู่ทั่วไปบริเวณพื้นที่ด้านทิศตะวันตก ภาคเหนือ และภาคใต้ และในหลายพื้นที่พบว่าไม่มีน้ำบาดาลกักเก็บอยู่เลย การเจาะบ่อบาดาลในพื้นที่ที่รองรับด้วยหินประเภทนี้จึงมีความเสี่ยงสูงที่การเจาะบ่อบาดาลจะไม่ได้ผล

2.2.5 หน่วยหินแปร

ประกอบด้วยหินชนวน หินฟิลไลต์ ควอร์ตไซต์ หินซีสต์ และหินไนส์ (Ordovician Cambrian period) เมื่อหินจะปรากฏการโค้งงอ และมีรอยแตกเกิดขึ้นมากมาย แต่รอยแตกไม่ต่อเนื่องเป็นแนวยาว ดังนั้นบริเวณใดที่ไม่พบรอยแตกจะไม่พบน้ำบาดาลเลย เพราะแหล่งน้ำบาดาลจะถูกกักเก็บในรอยแตก รอยเลื่อน และหินผุ โดยเฉลี่ยปริมาณน้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 2-10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง แต่บางแห่งอาจพบน้ำบาดาลในเกณฑ์ 30-50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

2.2.6 หน่วยหินภูเขาไฟ

ประกอบด้วยหินแอนดีไซต์ ไรโอไลต์ หินแก้วภูเขาไฟ หินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ และหินบะซอลต์ มักพบแหล่งน้ำบาดาลในรอยแยก รอยแตกที่มีขนาดใหญ่ และต่อเนื่องในระดับลึก ประมาณ 40-70 เมตร หรือในโพรงหินที่เกิดจากการหดตัวของหินหนืด ปริมาณน้ำบาดาลโดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ 2-10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และอาจพบปริมาณน้ำบาดาลที่มีศักยภาพสูงในบริเวณที่เป็นแนวรอยเลื่อน เช่น พื้นที่จังหวัดลพบุรี จังหวัดสระบุรี เป็นต้น

2.2.7 หน่วยหินแกรนิต

เป็นหินที่แข็งตัวจากหินเหลวใต้เปลือกโลก จากนั้นถูกดันตัวสูงขึ้นมาอยู่เหนือผิวโลก โผล่ให้เห็นเป็นเทือกเขาแกรนิต ทำให้มีรากหินหยั่งลึกลงไปมาก ไม่สามารถเจาะทะลุได้ ประกอบด้วยหินแกรนิต หินแกรนิตไดออไรต์ หินไดออไรต์ และหินแกรนิตไนส์ ที่พบกระจายตัวเป็นหย่อมๆทั่วไป แต่พบเป็นส่วนใหญ่ทางด้านทิศตะวันตก ตั้งแต่ภาคเหนือภาคใต้ จนถึงภาคตะวันออกของประเทศไทย ซึ่งน้ำบาดาลจะสะสมตัวอยู่ในชั้นหินผุระดับตื้น เนื่องจากในหินแกรนิตประกอบด้วยแร่ Quartz ซึ่งคงทนต่อการผุพัง และ Feldspar ซึ่งผุพังง่าย ที่ผิวของหินแกรนิตจึงเป็นหินแกรนิตผุชั้นหนา พบที่ระดับความลึกประมาณ 20-30 เมตร บางบริเวณอาจพบในรอยแตกรอยแยก หรือรอยเลื่อนในชั้นหิน ซึ่งเป็นแนวแคบยาวๆ ไม่ต่อเนื่องกัน ทำให้ปริมาณน้ำน้อย โดยเฉลี่ยประมาณ 1-5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง บางแห่งอาจพบชั้นน้ำบาดาลในปริมาณมากกว่า 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เช่น พระตำหนักทักษิณราชินีเวสต์ และบริเวณบ้านเต่าถ่าน อำเภอสัตตหีบ จังหวัดชลบุรี

2.3 ศักยภาพน้ำบาดาลในประเทศไทย

พื้นที่ประมาณ 80% ของประเทศไทยประกอบด้วยหินแข็ง โดยประมาณ 30% ของหินแข็งทั้งหมด ได้แก่ หน่วยหินปูน หินโคราชตอนล่าง และหินโคราชตอนบน เป็นแหล่งน้ำบาดาลที่ดี และให้ปริมาณน้ำบาดาลมาก ประมาณ 40% ของหินแข็งทั้งหมด ได้แก่ หน่วยหินทราย หินดินดาน และหินชั้นทั้งหมด ยกเว้นหน่วยหินโคราช



ตอนล่าง และหินปูน เป็นแหล่งน้ำบาดาลที่ให้น้ำปานกลาง ที่เหลือจะเป็นหินแข็งที่ให้น้ำบาดาลน้อย ได้แก่ หน่วยหินอัคนี หินภูเขาไฟ และหินแปร ดังนั้นโดยทั่วไปศักยภาพของน้ำบาดาลในหินร่วนจะสูงกว่าในหินแข็ง เนื่องจากเป็นแหล่งน้ำบาดาลที่ดี และให้น้ำได้มากกว่า ซึ่งพิจารณาศักยภาพน้ำบาดาลจากแผนที่อุทกธรณีวิทยา โดยเริ่มต้นในปี พ.ศ.2507 จนถึงปัจจุบัน นอกจากนี้ประโยชน์ของแผนที่อุทกธรณีวิทยา คือใช้เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับพัฒนาแหล่งน้ำบาดาล เช่น แผนที่น้ำบาดาลรายจังหวัด มีมาตราส่วน 1:100,000 ศักยภาพของน้ำบาดาลเชิงปริมาณ สามารถแบ่งได้ 4 ระดับ ได้แก่ น้อยกว่า 2 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง 2-10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และมากกว่า 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ส่วนศักยภาพของน้ำบาดาลเชิงคุณภาพจะใช้ดัชนีจากการวัดปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำ หรือปริมาณมวลสารรวม สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่ คุณภาพน้ำดี จะมีค่าปริมาณมวลสารรวมน้อยกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร คุณภาพน้ำปานกลาง มีค่าปริมาณมวลสารรวม 500-1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และคุณภาพน้ำต่ำ มีปริมาณมวลสารรวม มากกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร (ทวีศักดิ์ รมิ่งคังค์, 2546)

2.3.1 ลักษณะอุทกวิทยาบริเวณภาคกลาง และภาคตะวันตก

ประกอบด้วยจังหวัดชัยนาท อุทัยธานี สิงห์บุรี อ่างทอง ลพบุรี สระบุรี พระนครศรีอยุธยา นครนายก ปทุมธานี กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ นนทบุรี นครปฐม สุพรรณบุรี ราชบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร กาญจนบุรี และเพชรบุรี ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 69,970 ตารางกิโลเมตร มีแม่น้ำสายหลัก ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา น้ำป่าสัก แม่น้ำแม่กลอง และแม่น้ำท่าจีน หินร่วนเป็นตะกอนที่ทับถมกันในสภาพแวดล้อมที่เป็นแม่น้ำ และสันดอนปากแม่น้ำ และทะเล ตะกอนกรวดทราย และดินเหนียวมีการสะสมตัวแยกชั้นทำให้เกิดชั้นน้ำบาดาลหลายชั้น ซึ่งคุณสมบัติแต่ละชั้นขึ้นอยู่กับสภาพธรณีวิทยา และอุทกธรณีวิทยา แบ่งออกเป็น 2 บริเวณ คือ แอ่งเจ้าพระยา-ท่าจีน และแอ่งแม่กลอง

- แอ่งเจ้าพระยา-ท่าจีน แหล่งน้ำบาดาลบริเวณนี้เป็นแหล่งน้ำบาดาลที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ประกอบด้วยตะกอนเศษหินเชิงเขา ตะกอนน้ำพา ตะกอนตะกัณ้ำยุคใหม่ และตะกอนตะกัณ้ำยุคเก่า ที่ระดับความลึกไม่เกิน 700 เมตร โดยน้ำบาดาลจะสะสมตัวในชั้นกรวดทรายที่ระดับความลึกต่างๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ชั้น (รูปที่ 2.1) แต่ละชั้นมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 50 เมตร มีชั้นดินเหนียวที่ถูกพัดพามาโดยน้ำทะเลปิดทับ และคั่นระหว่างชั้นกรวดทราย ทำให้น้ำบาดาลแต่ละชั้นเป็นชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดัน มีรายละเอียดดังนี้

ชั้นน้ำกรุงเทพ ประกอบด้วยชั้นน้ำด้านบน อยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 16-30 เมตร และชั้นน้ำด้านล่าง ที่ระดับความลึกประมาณ 30-40 เมตร ประกอบด้วยทรายละเอียด ทรายหยาบ และกรวด ปริมาณน้ำบาดาลมีมาก แต่คุณภาพน้ำบาดาลไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากเป็นน้ำกร่อย และน้ำเค็ม ยกเว้นบริเวณด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของกรุงเทพมหานคร

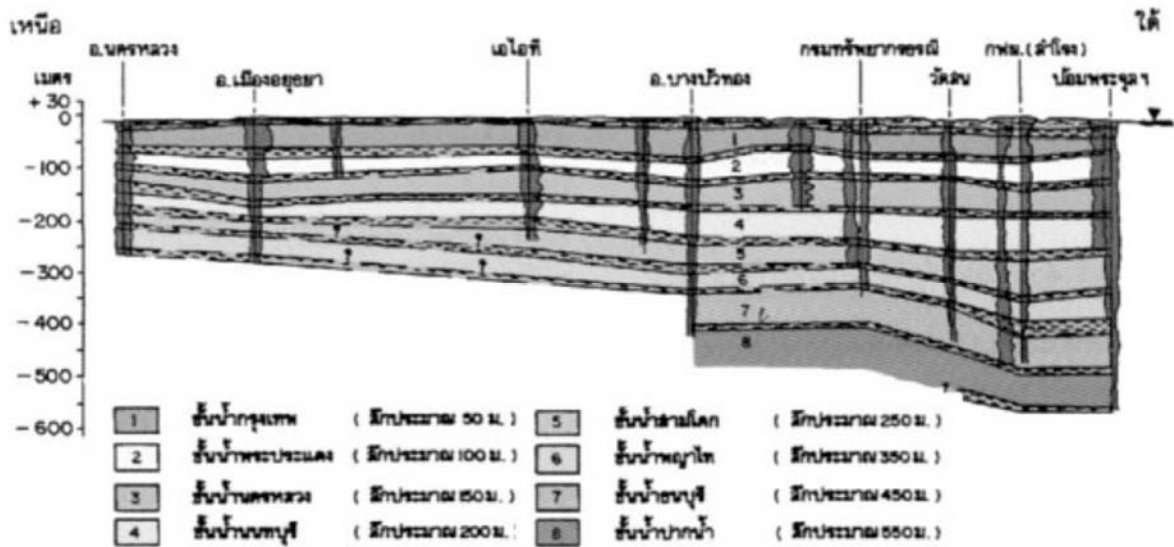
ชั้นน้ำพระประแดง อยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 60-80 เมตรจากผิวดิน ประกอบด้วยกรวด และทราย มีความสามารถในการกักเก็บประมาณ 50-100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คุณภาพน้ำมีตั้งแต่ น้ำจืด ถึงน้ำเค็ม

ชั้นน้ำนครหลวง อยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 100-140 เมตรโดยเฉลี่ย ประกอบด้วยชั้นกรวดทรายที่มีการคัดขนาดปานกลางถึงดี ทำให้คุณสมบัติในการกักเก็บน้ำดี คือให้น้ำในเกณฑ์ 50-200 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คุณภาพน้ำดี ยกเว้นฝั่งธนบุรี และตอนใต้ของกรุงเทพมหานคร



ชั้นน้ำนนทบุรี อยู่ที่ระดับความลึก 170-200 เมตรโดยเฉลี่ย คุณสมบัติในการกักเก็บน้ำคล้ายคลึงกับชั้นน้ำนครหลวง

ชั้นน้ำสามโคก อยู่ที่ระดับความลึก 240-250 เมตร บางบริเวณอาจพบที่ความลึกประมาณ 300 เมตร ประกอบด้วยกรวดทราย มีดินเหนียวแทรกสลับ มักจะพบบริเวณตอนเหนือของจังหวัดนนทบุรีถึงจังหวัดปทุมธานี สามารถให้น้ำในเกณฑ์ 50-150 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คุณภาพน้ำดี ยกเว้นตอนใต้ของกรุงเทพมหานคร และธนบุรี



รูปที่ 2.1 ลักษณะชั้นน้ำบาดาลในเขตที่ราบลุ่มภาคกลาง (กรมทรัพยากรธรณี, 2544)

ชั้นน้ำพญาไท อยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 275-350 เมตร ประกอบด้วยกรวดทราย มีดินเหนียวแทรกสลับ การคัดขนาดของตะกอนอยู่ในเกณฑ์พอใช้ และมีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำคล้ายคลึงกับชั้นน้ำสามโคก

ชั้นน้ำธนบุรี อยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 350-400 เมตรประกอบด้วยกรวด ทราย มีการคัดขนาดดี แต่คุณสมบัติในการกักเก็บน้ำด้อยกว่าชั้นอื่น เพราะมีดินเหนียวชั้นบางแทรกสลับ คุณภาพน้ำดี ยกเว้นด้านทิศตะวันตกและตะวันตกเฉียงใต้ของฝั่งธนบุรี

ชั้นน้ำปากน้ำ อยู่ที่ระดับความลึก 450-500 เมตรจากผิวดิน บางแห่งอาจพบที่ระดับความลึก 570 เมตร ซึ่งชั้นทรายที่มีความลึกตั้งแต่ 550 เมตรลงไปจะให้น้ำคุณภาพดีที่สุด มีความสามารถในการให้น้ำอยู่ในเกณฑ์ 50-100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยทางตอนเหนือของแอ่ง ตั้งแต่จังหวัดชัยนาทถึงสิงห์บุรี และด้านเหนือของจังหวัดสุพรรณบุรี จะให้น้ำในเกณฑ์ 30-50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง บางแห่งสูงถึง 80 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

- แอ่งแม่กลอง ประกอบด้วยตะกอนน้ำพา ที่มีการคัดขนาดดี ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ตอนใต้ของอำเภอเมืองอำเภอดำม่วง อำเภอดำมะรงค์ จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอบ้านโป่ง และอำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี จนถึงจังหวัดสมุทรสงคราม และอ่าวไทย แบ่งได้เป็น 3 ชั้น คือที่ระดับความลึก 80, 120 และ 180 เมตร ความสามารถในการให้น้ำอยู่ในเกณฑ์ 50-150 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ส่วนใหญ่คุณภาพน้ำดี ยกเว้นบริเวณตอนใต้ของจังหวัดราชบุรี และสมุทรสงคราม



- ขอบแอ่งที่ราบภาคกลาง ส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินเหนียว และทรายละเอียดของหินร่วนประเภทตะกอนน้ำพา โดยมีชั้นทรายหยาบหรือ กรวดแทรกสลับเป็นชั้นบาง ทำให้ความสามารถในการให้น้ำอยู่ในเกณฑ์ 10-30 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ริมขอบแอ่งบริเวณจังหวัดอุทัยธานี ให้น้ำได้น้อยกว่า 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง บางบริเวณคุณภาพน้ำกร่อยหรือเค็ม เช่นจังหวัดราชบุรี สมุทรสงคราม และสุพรรณบุรี โดยบริเวณด้านทิศตะวันตกของจังหวัดสุพรรณบุรี ส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว จึงไม่พบชั้นน้ำบาดาล

- ที่ราบเชิงเขา ประกอบด้วยตะกอนของเศษหินเชิงเขา อยู่ทางด้านทิศตะวันตกของจังหวัดสุพรรณบุรี กาญจนบุรี ราชบุรี และเพชรบุรี และด้านทิศตะวันออกของจังหวัดลพบุรี และสระบุรี จึงให้น้ำในปริมาณน้อยเพียง 2-10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หากพบแหล่งน้ำบาดาลที่สะสมตัวในตะกอนที่ผุพังจากหินปูน เช่นบริเวณพื้นที่จังหวัดลพบุรี และสระบุรี จะเป็นชั้นน้ำบาดาลที่ดี คือมีความสามารถในการให้น้ำอยู่ในเกณฑ์ 10-30 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

นอกจากบริเวณนี้จะเป็นที่ราบลุ่มขนาดใหญ่แล้ว ยังมีพื้นที่ส่วนที่เป็นภูเขาจึงประกอบด้วยหินหลายชนิด โดยขอบแอ่งด้านทิศตะวันออกประกอบด้วยกลุ่มหินปูน อยู่บริเวณจังหวัดสระบุรี และลพบุรี เป็นหินปูนยุค Permian ที่มีหินดินดาน และหินทรายแทรกสลับอยู่ ซึ่งมีความสามารถในการให้น้ำดี คืออยู่ในเกณฑ์ 10-100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ด้านทิศตะวันตกพบหินปูนยุค Permian และยุค Ordovician เป็นแหล่งน้ำบาดาลที่ดีอีกแห่งหนึ่ง มีความสามารถในการให้น้ำอยู่ในเกณฑ์ 10-50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และบริเวณนี้ยังเป็นแหล่งน้ำพุ น้ำซับ เช่นน้ำพุที่ไหลออกมาเป็นน้ำตกไทรโยค อาจพบแหล่งน้ำบาดาลที่สะสมตัวในหินดินดาน หินทราย และหินทรายแป้ง ยุค Permian ถึงยุค Carboniferous ซึ่งมีความสามารถในการให้น้ำในเกณฑ์ 1-5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง กลุ่มหินภูเขาไฟ อยู่บริเวณจังหวัดลพบุรี และสระบุรีต่อเนื่องมาจนถึงจังหวัดนครนายก ความสามารถในการให้น้ำเฉลี่ย 2-10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง บางแห่งที่อยู่ในแนวรอยเลื่อน เช่น อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี มีความสามารถในการให้น้ำสูงถึง 30-40 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และกลุ่มหินแปร-หินอัคนี ส่วนใหญ่ไม่ค่อยกักเก็บน้ำ และในหลายพื้นที่ไม่พบน้ำเลย

2.4 คุณลักษณะทางเคมีทั่วไปของน้ำบาดาล

คุณลักษณะทางเคมี เป็นคุณลักษณะของแร่ธาตุ หรือสารประกอบทางเคมีต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำ มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าต้องใช้วิธีตรวจวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ ซึ่งคุณลักษณะทางเคมีที่สำคัญได้แก่

การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity, EC) ค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดความสามารถของน้ำที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คุณสมบัตินี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของไอออนที่มีอยู่ในน้ำ ตลอดจนอุณหภูมิ น้ำที่มีไอออนของสารต่าง ๆ สามารถนำไฟฟ้าได้ทั้งสิ้น ในสนามไฟฟ้ากระแสไอออนบวกจะเคลื่อนที่ไปยังอิเล็กโทรดขั้วลบ และไอออนลบจะเคลื่อนที่ไปยังอิเล็กโทรดขั้วบวก กรด ต่างและเกลืออนินทรีย์ เช่น HCl Na₂CO₃ และ NaCl เป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดีเพราะแตกตัวให้ไอออนบวกและลบ ในทางตรงข้าม สารอินทรีย์ เช่น ซูโครส และเบนซิน ไม่แตกตัวในน้ำจึงไม่นำไฟฟ้า การนำไฟฟ้าไม่ได้เป็นค่าเฉพาะไอออนตัวใดตัวหนึ่ง แต่เป็นค่ารวมของไอออนที่เกิดจากสารละลายหลายชนิด ค่านี้จึงไม่สามารถบอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ บอกได้เพียงการเพิ่มหรือลดของไอออนที่ละลายในน้ำเท่านั้น กล่าวคือ หากค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แสดงถึงสารที่แตกตัวได้ในน้ำเพิ่มขึ้น หรือถ้าค่าการนำไฟฟ้าลดลง แสดงว่า สารที่แตกตัวได้ลดลง เป็นต้น สำหรับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติมีค่าระหว่าง 150 - 300 ไมโคร



โมห์ และในบางแหล่งอาจมีค่าสูงถึง 5,000 ไมโครโมห์ ความแตกต่างของค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในแม่น้ำเป็นไปตามระยะทางของลำน้ำตลอดจนอิทธิพลของสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำนั้น ๆ

pH แสดงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำ (น้ำดื่มที่เหมาะสมของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคควรมีค่า pH ระหว่าง 6.8-7.3) โดยทั่วไปน้ำที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีค่า pH น้อย ($\text{PH} < 7$) ซึ่งหมายถึงมีความเป็นกรดสูงมีฤทธิ์กัดกร่อน การวัดค่า pH ทำได้ง่าย โดยการใช้กระดาษลิตมัสในการวัดค่าความเป็นกรด – เบส ซึ่งให้สีตามความเข้มข้นของ $[\text{H}^+]$ หรือการวัดโดยใช้ pH meter เมื่อต้องการให้มีความละเอียดมากขึ้น สภาพเบส (alkalinity) คือสภาพที่น้ำมีสภาพความเป็นเบสสูงจะประกอบด้วยไอออนของ OH^- , CO_3^{2-} , H_2CO_3 ของธาตุแคลเซียม โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม หรือแอมโมเนีย ซึ่งสภาพเบสนี้จะช่วยทำหน้าที่คล้ายบัฟเฟอร์ด้านการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในน้ำทั้ง สภาพกรด (acidity) โดยทั่วไปน้ำที่มาจากแหล่งชุมชนจะมีบัฟเฟอร์ในสภาพเบสจึงไม่ทำให้น้ำมีค่า pH ที่ต่ำเกินไป แต่น้ำที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีค่า pH ต่ำกว่า 4.5 ซึ่งมาจาก CO_2 ที่ละลายน้ำ

ความกระด้างทั้งหมด (Total hardness) หมายถึง ความเข้มข้นของ แคลเซียม และแมกนีเซียมในน้ำ โดยคิดเทียบกับปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากแคลเซียมและแมกนีเซียมไอออนแล้ว ค่าความกระด้างของน้ำยังอาจเกิดจากไอออนบวกของโลหะที่มีเวเลนซ์ 2 ตัวอื่น ๆ เช่น เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และแมงกานีสไอออน (Mn^{2+}) ซึ่งมีปริมาณน้อยมากในน้ำตามธรรมชาติ ค่าความกระด้างที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ที่ประมาณ 20-150 มิลลิกรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร

ความกระด้าง (Hardness) ความกระด้างในน้ำเป็นผลเนื่องมาจาก Ca, Mg ที่ละลายอยู่ ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ กัน ไอออนบวกที่อาจเป็นผลทำให้เกิดความกระด้างได้มีอยู่หลายตัวด้วยกันคือ Ca, Mg, Fe, Mn, Sr, Na ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงระดับความกระด้างของน้ำบาดาล

ระดับความกระด้างของน้ำ (มก.ต่อลิตร)	ลักษณะน้ำ
0 – 75	น้ำอ่อน
76 – 150	น้ำกระด้างปานกลาง
151 – 300	น้ำกระด้าง
> 300	น้ำกระด้างมาก

ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total dissolved solids) หมายถึง แร่ธาตุ และเกลือต่าง ๆ ทุกชนิดที่ละลายอยู่ในน้ำ ทั้งสารที่ไม่แตกตัว และสารที่แตกตัวเป็นสารที่มีประจุ เป็นค่าที่บ่งชี้คุณภาพน้ำได้อย่างคร่าว ๆ น้ำที่มีเกลือหรือแร่ธาตุละลายอยู่น้อยจะมีค่าปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำ (เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ กำหนดให้มีปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ไม่เกิน 600 มิลลิกรัมต่อลิตร)

คลอไรด์ (Cl^-) คลอไรด์ที่อยู่ในรูปของสารประกอบโซเดียม จะทำให้น้ำมีรสกร่อย หรือเค็ม ถ้าเป็นสารประกอบของแคลเซียม และแมกนีเซียมทำให้เกิดความกระด้าง คลอไรด์ในน้ำไม่เป็นอันตราย ต่อร่างกายมากนัก นอกจากทำให้น้ำมีรสไม่ชวนดื่ม และทำให้เกิดการกัดกร่อนในระบบท่อต่างๆ (เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้กำหนดให้มีคลอไรด์ไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร) ถ้ามีมากทำให้น้ำมีรสกร่อย ต้นกำเนิดที่



สำคัญได้แก่ น้ำตกค้าง (Connate water) ของน้ำทะเล, Evaporite deposits, จากน้ำฝนหรือหิมะ และจากบรรยากาศเช่น Volcanic gases ต้นกำเนิดที่สำคัญได้มาจากคลอไรด์ที่ถูกพัดพาโดยน้ำฝนทั้งนี้ในน้ำทะเลเมื่อเกิดการระเหยจะได้ผลึกเกลือ (Salt nuclei) เป็นจำนวนมากมายซึ่งมีขนาดเล็กมากและถูกพัดพาขึ้นไปในบรรยากาศ ไอน้ำที่มีในบรรยากาศเมื่อเกิดการกลั่นตัวก็มักจะกลั่นตัวหรือเกาะอยู่รอบๆผลึกเกลือพวกนี้เมื่อฝนถูกพัดพาเข้ามาในแผ่นดินก็จะนำเอาคลอไรด์เข้ามาด้วยและเมื่อฝนตกลงสู่ผิวดินก็นำเอาคลอไรด์ตกลงมาด้วยพบว่าปริมาณของคลอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำฝนตามบริเวณชายฝั่งทะเลจะมีถึง 3-6 มิลลิกรัม/ลิตรและลดลงเหลือประมาณ 1 มิลลิกรัม/ลิตรเมื่อห่างจากชายฝั่งทะเลประมาณ 100 ไมล์เนื่องจากคลอไรด์เป็นพวกที่ละลายน้ำได้ง่ายและเป็นพวกที่ค่อนข้างเฉื่อย (Inert) ในการแลกเปลี่ยนหรือทำปฏิกิริยาดังนั้นเมื่อเข้าไปอยู่ในน้ำบาดาลแล้วก็จะอยู่อย่างนั้นโดยไม่สูญหายไปตามกระบวนการหรือกรรมวิธีทางธรรมชาติ

แคลเซียม (Ca^{2+}) โดยทั่วไปพบอยู่ในน้ำบาดาล 10-100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีต้นกำเนิดมาจากแร่แคลไซต์โดโลไมต์ และอราโกไนต์ ยิปซัม แอนไฮไดรต์ เฟลด์สปาร์ แอมฟิโบล และไพรอกซีน

แมกนีเซียม (Mg^{2+}) ปกติพบเป็นปริมาณน้อยกว่าแคลเซียม ทั้งนี้เนื่องจากต้นกำเนิดที่สำคัญของแมกนีเซียมคือ โดโลไมต์ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ซึ่งละลายน้ำได้ช้าและยากกว่าพวกแคลไซต์ นอกจากนี้ในเปลือกโลกก็จะมีปริมาณของแคลเซียมอยู่เป็นจำนวนมากกว่าแมกนีเซียม ปริมาณที่พบโดยทั่วไปจะอยู่ในเกณฑ์ 1-40 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้นกำเนิดตัวอื่น ๆ อาจได้แก่ โอลิวีน, ไบโอไทต์, ฮอร์นเบลนด์, ออไรต์และไดออปไซด์

โซเดียม (Na^+) ในน้ำบาดาลปกติพบในเกณฑ์ประมาณ 1-20 มิลลิกรัม/ลิตร แต่อาจจะสูงถึง 100 มิลลิกรัม/ลิตรได้ ถ้าน้ำนั้นมีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูงตั้งแต่ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตรขึ้นไป ต้นกำเนิดโซเดียมที่สำคัญได้จาก แพลจิโอเคลส, เฟลด์สปาร์, เฮไลต์และแร่ดินเหนียวบางตัวในน้ำบาดาลถ้ามีโซเดียมเป็นจำนวนมากและบริเวณเป็นประจําอาจมีโทษต่อหัวใจ ไต และลำไส้ได้

โพแทสเซียม (K^+) มักพบเป็นปริมาณน้อยไม่เกิน 10 มิลลิกรัม/ลิตรบริเวณที่พบโพแทสเซียมปริมาณสูง ๆ มักจะเป็นบริเวณใกล้ ๆ กับที่มี Evaporite deposits เช่น ซิลไวต์ (KCl) หรือบริเวณที่มีการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมในการเกษตรกรรมหนาแน่นนอกจากนี้ต้นกำเนิดโพแทสเซียมอาจได้จากพวกออร์โทเคลส, ไมโครไคลน์ และไบโอไทต์

เหล็ก (Fe) อยู่ทั้งในรูป Fe^{2+} และ Fe^{3+} มักละลายมาจากแร่ไพรอกซีน แอมฟิโบล ไพไรต์ ฮีมาไทต์ แมกนีไทต์ ไบโอไทต์ หรือจาก iron bacteria

ซัลเฟต (SO_4^{2-}) มีต้นกำเนิดสำคัญมาจากแร่แอนไฮไดรต์ ยิปซัม และหินดินดานที่มีสารอินทรีย์สูง ซึ่งพวก sulphur bacteria จะออกซิเดชัน และกำเนิดแร่ไพไรต์ มาร์คาไซต์

2.5 การกำหนดมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำ

มาตรา 32 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 บัญญัติให้คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นเป้าหมายในการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมซึ่งมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม นี้จะต้องอาศัยหลักวิชาการและหลักการทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐานโดยจะต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจสังคม และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำเป็นมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมชนิดหนึ่งที่มีวัตถุประสงค์ ดังนี้



1. เพื่อควบคุมและรักษาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์และมีความปลอดภัยต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน

2. เพื่ออนุรักษ์ทรัพยากรและสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ โดยสำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษได้นำเสนอมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำ 2 ฉบับ คือ มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน และมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ต่อคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่งหลักเกณฑ์สำคัญในการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำที่จัดทำขึ้น มีดังนี้

- ความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมแต่ละประเภทในกรณีแหล่งน้ำนั้นมีการใช้ประโยชน์หลายด้าน (Multi Purposes) โดยคำนึงถึงการใช้ประโยชน์หลักเป็นสำคัญ ทั้งนี้ระดับมาตรฐานจะไม่ขัดแย้งต่อการใช้ประโยชน์หลายด้านพร้อมกัน

- สถานการณ์คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำหลักของประเทศและแนวโน้มของคุณภาพน้ำที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการพัฒนาต่างๆ ในอนาคต

- คำนึงถึงสุขภาพและความปลอดภัยของชีวิตมนุษย์และสัตว์น้ำส่วนใหญ่

- ความรู้สึกพึงพอใจในการยอมรับระดับคุณภาพน้ำในเขตต่าง ๆ ของประชาชนในพื้นที่ลุ่มน้ำหลักและของประชาชนส่วนใหญ่

อย่างไรก็ตามการปรับปรุงค่ามาตรฐานในอนาคตจำเป็นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของระดับการลงทุนและภาวะทางเศรษฐกิจในพื้นที่ลุ่มน้ำที่อยู่ในแผนการพัฒนาตลอดจนความเป็นไปได้ในเทคโนโลยีในการบำบัดของเสียและสารพิษจากแหล่งกำเนิดของเสียซึ่งได้แก่ กิจกรรมที่เกิดขึ้นจากการวางแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยซึ่งมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคได้ดังแสดงในตารางที่ 2.2

2.6 วัฏจักรไนโตรเจน

ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการสร้างโปรตีน, กรดอะมิโน และฮอร์โมนในพืช และจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต (Damrongsri และ Pruksanan, 2007) โดยปกติในชั้นบรรยากาศมีก๊าซไนโตรเจนในรูป N_2 ประมาณร้อยละ 78 อยู่ในดินในรูปของแอมโมเนียม (NH_4^+), ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) (Tantanasarit, 2006) และในรูปของอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบหลักจะถูกเรียกว่าไนโตรเจนอินทรีย์ ซึ่งพืชไม่สามารถนำธาตุไนโตรเจนมาใช้ได้โดยตรง (ยกเว้นพืชตระกูลถั่ว) และจะใช้ได้ เมื่อไนโตรเจนอยู่ในสภาพของสารประกอบคือแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ดังนั้นไนโตรเจนในบรรยากาศ และในรูปของไนโตรเจนอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนอนินทรีย์ โดยกระบวนการ mineralization เพื่อพืชจะได้นำไปใช้ได้ นอกจากนี้วัฏจักรไนโตรเจนประกอบด้วยอื่นๆ ได้แก่ กระบวนการตรึงไนโตรเจน (Nitrogen Fixation) กระบวนการสร้างแอมโมเนีย (Ammonification) กระบวนการสร้างไนเตรท (Nitrification) และกระบวนการสร้างไนโตรเจน (Denitrification) กระบวนการเหล่านี้จะต้องอาศัยแบคทีเรียจุลินทรีย์อื่น ๆ จำนวนมาก จึงทำให้เกิดสมดุลของวัฏจักรไนโตรเจน นอกจากนี้จะถูกตรึงโดยสิ่งมีชีวิตแล้วไนโตรเจนในบรรยากาศยังถูกตรึงจากธรรมชาติอีกด้วย อย่างเช่นเมื่อเกิดฟ้าแลบขึ้นมาจะทำให้ไนโตรเจนในท้องฟ้าจะเปลี่ยนแปลงเกิดสารประกอบไนเตรทขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งไนเตรทเป็นรูปที่พืชนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตมากกว่าแอมโมเนีย เนื่องจากถ้ารับแอมโมเนียในปริมาณที่สูงมากเกินไปจะเป็นอันตรายกับพืชเอง ซึ่งปริมาณของสารประกอบเหล่านี้ถูกจำกัดด้วยกระบวนการต่างๆ เช่น การชะล้างลงสู่แหล่ง



น้ำบาดาล กระบวนการจากสิ่งมีชีวิต การผุพัง หรือน้ำท่าที่ไหลบนผิวดิน ลักษณะและความหนาของชั้นดิน ลักษณะภูมิประเทศ และสภาพภูมิอากาศ

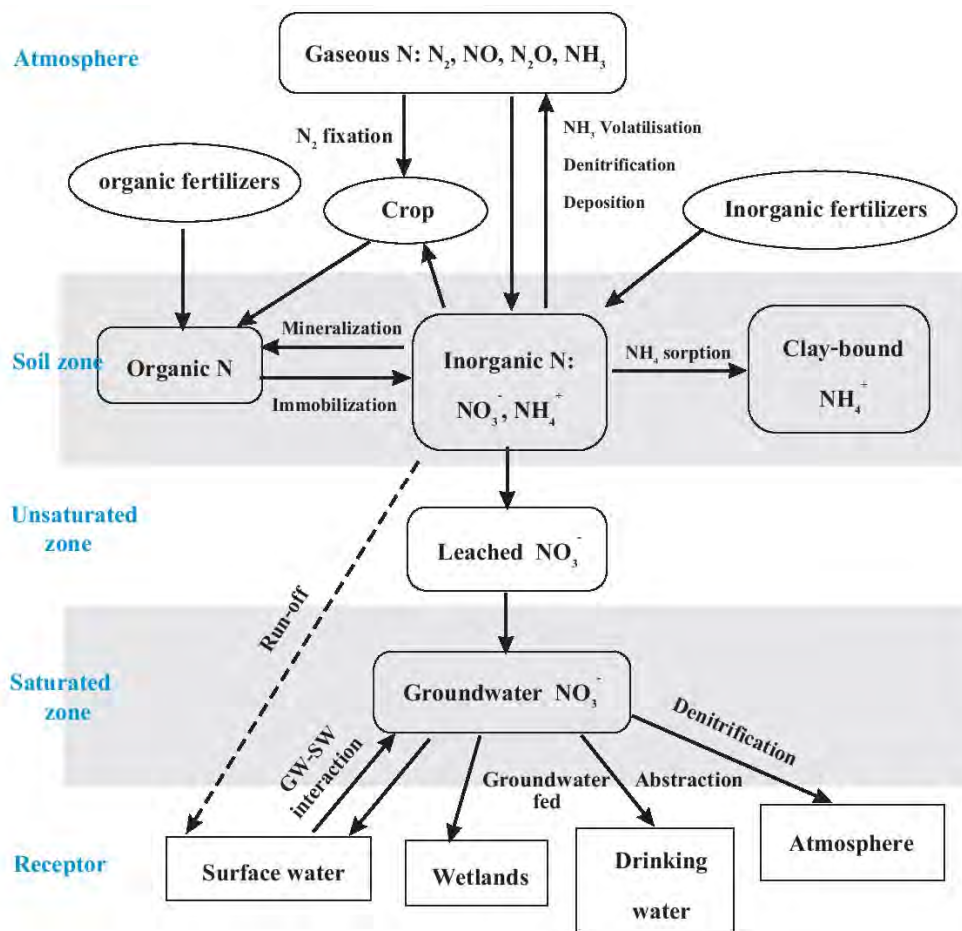
ตารางที่ 2.2 มาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค

มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค				
คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
ทางกายภาพ	1.สี (Colour)	ปลาตินัม-โคบอลต์	5	15
	2.ความขุ่น(Turbidity)	หน่วยความขุ่น	5	20
	3.ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	7.0-8.5	6.5-9.2
ทางเคมี	4.เหล็ก (Fe)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 0.5	1.0
	5.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 0.3	0.5
	6.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 1.0	1.5
	7. สังกะสี (Zn)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 5.0	15.0
	8.ซัลเฟต (SO ₄)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 200	250
	9.คลอไรด์ (Cl)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 250	600
	10.ไนเตรด (NO ₃)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 45	45
	11. ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness as CaCO ₃)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 300	500
	12. ความกระด้างถาวร (Non carbonate hardness as CaCO ₃)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 200	250
	13. ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total dissolved solids)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 600	1,200
สารพิษ	14. สารหนู (As)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.05
	15. ไซยาไนต์ (CN)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.1
	16. ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.05
	17. แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.01

ที่มา: ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 เรื่องกำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 112 ตอนที่ 29 ลงวันที่ 13 เมษายน 2542



นอกจากนี้อาจมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่นการใช้ปุ๋ยสังเคราะห์ ซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ปุ๋ยคอก และปุ๋ยไนโตรเจนอินทรีย์เพื่อทำเกษตรกรรม จากของเสียสัตว์และมนุษย์ หรือน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Wongcharlie, 1991) ดังนั้นสิ่งเหล่านี้จะมีผลกับการเจริญเติบโตของพืช (Vityakorn, 2014) โดยปกติสารประกอบแอมโมเนียม จะถูกดูดซึมลงสู่ดินอย่างรวดเร็วเนื่องจากในดินมีประจุเป็นลบ และแอมโมเนียมมีประจุเป็นบวก ขณะที่ไนเตรทมีประจุเป็นลบ ดังนั้นไนเตรทจึงไม่ถูกดูดติดกับอนุภาคของดิน จึงเคลื่อนลงสู่แหล่งน้ำบาดาล และปัจจัยที่ส่งผลกับการเคลื่อนที่ของไนเตรท ได้แก่ น้ำฝน, ลักษณะทางกายภาพของดิน, ความชื้น, ระดับการพุ่ม และการปลูกพืชคลุมหน้าดิน (Hensler และ Attoe, 1970) ไนโตรเจนจึงถูกใช้เป็นตัวระบุคุณภาพของน้ำ โดยถ้าปริมาณของแอมโมเนีย (NH_3) ในน้ำสูง ระบุว่าน้ำนี้เพิ่งถูกทำให้ปนเปื้อน แต่ในทางกลับกันถ้าปริมาณไนเตรทสูง ระบุว่าน้ำถูกทำให้ปนเปื้อนเป็นระยะเวลานาน หากมีค่าสูงเกินกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร NO_3^- -N ระบุว่าพื้นที่นี้ได้รับผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์ นอกจากนี้ยังสามารถระบุสภาพออกซิเดชันในน้ำได้ด้วย



รูปที่ 2.2 วงจรไนโตรเจน ดัดแปลงจาก Stuart และคณะ, (2011)



2.6.1 แหล่งที่มาของไนโตรเจน

เนื่องจากหินและแร่ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของดินนั้นไม่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นแหล่งที่มาของไนโตรเจนในดินนั้นมีอยู่ 4 แหล่งใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ

1) การตรึงแก๊สไนโตรเจนจากอากาศโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ร่วมกันกับพืชบางชนิด (Symbiotic nitrogen fixation) เช่น การตรึงแก๊สไนโตรเจนของไรโซเบียม (*Rhizobium*) ที่อาศัยอยู่ที่ปมของรากพืชตระกูลถั่ว และ Actinomycete (*Frankia sp.*) กับพืชอื่นที่ไม่ใช่พืชตระกูลถั่ว เป็นต้น จุลินทรีย์พวกนี้สามารถตรึงแก๊สไนโตรเจนจากอากาศมาใช้ได้โดยตรง แต่ถึงอย่างไรก็ต้องการคาร์โบไฮเดรตจากพืชที่จุลินทรีย์ไปอยู่อาศัยด้วย และจุลินทรีย์ก็จะแบ่งไนโตรเจนให้แก่พืชอีกด้วย และเมื่อพืชและจุลินทรีย์ตายไปไนโตรเจนที่ถูกตรึงจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในรูปโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจน (nitrogenous compound) ก็จะสะสมอยู่ในดิน ปริมาณของไนโตรเจนที่ตรึงได้โดยวิธีนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ และชนิดของพืชตลอดจนสภาพแวดล้อมหลายประการ เช่น การถ่ายเทอากาศ ความชื้น การระบายน้ำ ความเป็นกรดและด่างของดิน เป็นต้น

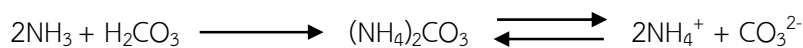
2) การตรึงแก๊สไนโตรเจนจากอากาศโดยจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดิน (Nonsymbiotic nitrogen fixation) จุลินทรีย์ที่มีความสามารถตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระนี้ ได้แก่ แบคทีเรียพวก Clostridium และพวกสาหร่าย (algae) โดยเฉพาะพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue-green algae) เช่น *Anabaena*, *Calothrix* และ *Nostoc* เป็นต้น จุลินทรีย์พวกนี้สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ไม่ต่ำกว่า 7.3 – 8.2 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ในบางกรณี นอกจากการตรึงไนโตรเจนโดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยตรง สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเข้าไปอาศัยอยู่ในโพรงใบของพืชพวกแหวนแดง (*Azolla*) และตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ สาหร่ายพวกนี้ คือ *Anabaena azollae* ซึ่งสามารถดึงไนโตรเจนจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ และเมื่อแหวนแดงตายทับถมลงไปในดิน ก็จะเกิดการสะสมไนโตรเจนอยู่ในดินซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ และเนื่องจากแหวนแดงเป็นพืชน้ำ ฉะนั้นการตรึงไนโตรเจนดังกล่าวนี้จึงมักเป็นประโยชน์ และมีความสำคัญต่อการเพิ่มไนโตรเจนให้แก่ดินที่มีน้ำขังมากกว่าในดินทั่วไป

3) ฟ้าฝน (Rain) การเกิดฟ้าแลบ (lightning) แก๊สไนโตรเจน (N_2) ในอากาศจะถูกออกซิไดส์ให้กลายเป็นไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และไนตริกออกไซด์ (NO) ซึ่งจะละลายในน้ำฝนตกลงมายังผิวดินคิดคำนวณว่าปีหนึ่งๆ ไนโตรเจนในดินที่มาจากกระบวนการนี้มีปริมาณ 0.8 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ในรูปแบบของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และ 0.3 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ในรูปของไนเตรทไอออน (NO_3^-)

4) การใส่ปุ๋ยให้แก่ดินและพืช ปุ๋ยเคมีซึ่งเป็นสารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้นจากแก๊สไนโตรเจนในอากาศถือว่าเป็นแหล่งที่สำคัญแหล่งหนึ่งของไนโตรเจนในดิน ตัวอย่างปุ๋ยเคมี ได้แก่ แอมโมเนียมซัลเฟต ยูเรีย เป็นต้น และนอกจากนี้ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยอินทรีย์ไนโตรเจนอื่นๆ ก็ถือว่าเป็นแหล่งไนโตรเจนในดินที่สำคัญเช่นเดียวกัน

2.6.2 กระบวนการหลักที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรไนโตรเจน

1) แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) หรือ Mineralization กระบวนการนี้เป็นกระบวนการเปลี่ยนสารประกอบจากกรดอะมิโนหรือกรดอะมิโน ($R-NH_2$) ให้เป็น NH_3 , แอลกอฮอล์ ($R-OH$) และพลังงาน (energy) ดังสมการ



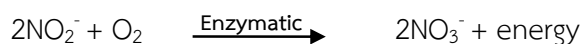


กระบวนการนี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่สร้างอาหารเองไม่ได้เช่นเดียวกับกระบวนการแรก แต่จะดำเนินไปด้วยดีในสภาพที่ดินมีการถ่ายเทอากาศดี มีแคตไอออนที่เป็นด่าง (Basic cation) เพียงพอ แต่กระบวนการนี้ยังอาจดำเนินไปได้บ้างถึงแม้ว่าสภาพของดินไม่เหมาะสมดังกล่าว ทั้งนี้เพราะว่ายังมีจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้บางชนิดที่สามารถจะทำงานได้แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้ ถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปและมีทางเปลี่ยนแปลงได้ 4 ทาง คือ จุลินทรีย์ในดินนำไปใช้, พืชชั้นสูงนำไปใช้โดยเฉพาะพืชยังอ่อนๆอยู่ เช่น ต้นกล้าของข้าวจะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อได้รับไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย, ถูกตรึงอยู่ระหว่างผลึก (Crystal lattice) ของอนุภาคแร่ดินเหนียว และถูกออกซิไดส์เป็นไนไตรต์ (NH_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

2) ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) เป็นกระบวนการ Enzymatic oxidation ซึ่งเกิดขึ้นได้โดย Nitrifying bacteria ในดิน ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดที่ต้องการแก๊สออกซิเจน กระบวนการนี้ประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันสองขั้น กล่าวคือ NH_3 หรือ NH_4^+ จะถูกออกซิไดส์ให้เป็นไนไตรต์ก่อนโดยแบคทีเรียพวก Nitrosomonas และ Nitrosococcus ดังสมการ



ต่อมาไนไตรต์ที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดส์อีกครั้งหนึ่งให้เป็นไนเตรท โดยแบคทีเรียพวก Nitrobacter ดังสมการ



ไนไตรท์ที่เกิดขึ้นไม่สามารถสะสมอยู่ในดินได้นานหากสภาพของดินมีความเหมาะสม ไนไตรท์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรททันที ซึ่งจะส่งผลดีต่อพืชเพราะหากว่าดินมีการสะสมไนไตรต์เป็นจำนวนมากจะส่งผลเป็นพิษต่อพืชได้ ไนเตรทที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้จะเปลี่ยนแปลงต่อไปได้ 4 ทาง คือ จุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ พืชชั้นสูงนำไปใช้ สูญหายไประหว่างดินโดยการชะละลาย และสูญหายไประหว่างดินในรูปของแก๊ส กระบวนการไนตริฟิเคชันจะดำเนินไปได้นั้นจำเป็นต้องมีสภาพต่าง ๆ ในดินที่เหมาะสมรองรับการทำงานของแบคทีเรียที่ควบคุมกระบวนการนี้ ปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการไนตริฟิเคชันที่สำคัญมี ดังนี้

- การถ่ายเทอากาศ กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการออกซิเดชันโดยจุลินทรีย์ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นพวกที่ต้องการออกซิเจนในการหายใจ ดังนั้นแก๊สออกซิเจนจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการนี้ เมื่อดินอยู่ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศดี แก๊สออกซิเจนก็มีเพียงพอแก่ความต้องการของจุลินทรีย์ และกระบวนการนี้ก็ดำเนินไปได้

- อุณหภูมิ เนื่องจากกระบวนการนี้เกิดขึ้นได้โดยการกระทำของแบคทีเรีย ซึ่งเป็นสิ่งที่มีชีวิต ดังนั้นการทำงานที่มีประสิทธิภาพก็ย่อมจะต้องขึ้นกับอุณหภูมิด้วย ช่วงอุณหภูมิที่พอเหมาะ ก็คือ ระหว่าง $26-32^\circ\text{C}$ ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 51.5°C กระบวนการไนตริฟิเคชันจะหยุดทันทีและถ้าอุณหภูมิลดต่ำลงถึง 0°C หรือต่ำกว่านั้นแบคทีเรียก็จะไม่ทำงานเช่นเดียวกัน และจะเริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิประมาณ $2-5^\circ\text{C}$ อัตราการทำงานก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงช่วงของอุณหภูมิพอเหมาะแล้วก็ค่อยๆ ลดลงอีกหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากระดับที่เหมาะสม

- ความชื้นในดิน โดยทั่วไปความชื้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำทั้งหมดที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้จะเหมาะสมที่สุดสำหรับการทำงานของแบคทีเรีย ถ้าความชื้นในดินมากเกินไปจะทำให้การถ่ายเทอากาศไม่ดีพอ หรือถ้าความชื้นในดินน้อยเกินไปก็จะทำให้ดินมีสภาพแห้งเกินไปไม่เหมาะกับการเจริญและการทำงานของแบคทีเรีย



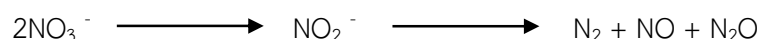
- ปฏิกริยาดิน ปฏิกริยาของดินควรอยู่ในระดับที่พอเหมาะกระบวนการนี้จึงเกิดขึ้นได้ดีปกติแล้ว pH ไม่ควรต่ำกว่า 4.5 ถ้าต่ำกว่านี้กระบวนการไนตริฟิเคชันจะหยุดชะงักทันที ทั้งนี้เพราะ Nitrifying bacteria ค่อนข้างไว (Sensitive) ต่อสภาพกรด-ด่างมาก pH ที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 6.5-7.5 และถ้า pH เกิน 7.5 กระบวนการดังกล่าวก็จะเกิดขึ้นในอัตราที่ช้าลงหรือหยุดชะงักในที่สุด

- ปริมาณเบสิกแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ (exchangeable base) เนื่องจากกระบวนการไนตริฟิเคชันจะปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกมา และสะสมอยู่ในดินจนกระทั่งทำให้ดินเป็นกรดยิ่งขึ้น ก่อให้เกิดสภาพที่ไม่เหมาะสมสำหรับการทำงานของแบคทีเรีย ดังนั้นเบสิกแคตไอออนแลกเปลี่ยนได้ จึงจำเป็นสำหรับการต้านทานการเพิ่มกรดของดิน และคงสภาพของดินให้เหมาะสมสำหรับการทำงานของแบคทีเรีย

- ธาตุอาหารต่างๆ แบคทีเรียต้องการธาตุอาหารอื่นๆ เช่นเดียวกับพืชชั้นสูง ดังนั้นการใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมลงไปบนดินเพื่อให้มีระดับธาตุอาหารที่สมดุล จะช่วยให้กระบวนการไนตริฟิเคชันดำเนินไปได้ดียิ่งขึ้น การใส่ปุ๋ยเพื่อปรับระดับธาตุอาหารในดินก็ควรระวังให้มาก ถ้าดินนั้นเป็นดินที่มี pH ค่อนข้างสูงหรือเป็นดินด่าง (alkaline soil) การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมอาจจะทำให้เกิดการสะสมไนเตรตขึ้นได้ ทั้งนี้เพราะกระบวนการออกซิเดชันขั้นแรกของแอมโมเนียมหรือแอมโมเนียมจะเกิดขึ้นเร็วเกินไป ส่วนออกซิเดชันขั้นที่สองที่เปลี่ยนไนเตรตเป็นไนเตรทนั้นจะช้าลง ทั้งนี้เพราะไนเตรตเป็นพิษต่อ Nitrobacter ภายใต้สภาพดินที่เป็นต่าง ๆ

- Carbon-nitrogen ratio (C:N ratio) C:N ratio มีความสำคัญต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นอย่างมาก ถ้า C:N ratio กว้าง นั่นคือมีสารประกอบพวกคาร์บอนในปริมาณที่สูงกว่าสารประกอบพวกโปรตีนมาก ๆ จะมีผลทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันไม่สามารถดำเนินไปได้ ทั้งนี้เพราะว่าสารประกอบพวกคาร์บอนส่งเสริมให้มีการเพิ่มพูนปริมาณของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่มีอยู่ในดินนั้นให้มากขึ้น เมื่อมีจำนวนจุลินทรีย์ชนิดอื่นมากขึ้น ความต้องการไนโตรเจนสำหรับนำไปสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์นั้นก็เพิ่มขึ้นด้วย จนในที่สุดไม่ว่าจะเกิดมีไนโตรเจนออกมาในรูปใดก็ตาม จุลินทรีย์จะแย่งเอาไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์หมดจนทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันต้องหยุดชะงักลงเพราะขาดแอมโมเนียมหรือแอมโมเนียมซึ่งก็มีผลทำให้พืชที่ปลูกขาดอาหารธาตุไนโตรเจนชั่วคราวด้วย และต้องรองจนกว่าจุลินทรีย์จะตายและลดจำนวนลงไป ไนโตรเจนจากตัวของจุลินทรีย์จึงจะถูกปล่อยออกมาและกระบวนการไนตริฟิเคชันจึงจะดำเนินต่อไป

3) ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) เป็นกระบวนการที่เกิดในสภาพ anaerobic oxidation ซึ่งเกิดขึ้นได้โดย denitrifying bacteria เป็นจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งที่สามารถดึงออกซิเจนจากโมเลกุลของสารประกอบไนโตรเจนในดินได้ เนื่องจากในดินไม่มีออกซิเจน เพราะอยู่ในสภาพน้ำขัง จึงไม่มีช่องว่างให้อากาศผ่าน กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้จึงเป็นการรีดิวซ์ไนเตรท เป็นไนไตรท์ และท้ายที่สุดจะทำให้เกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศ ทั้งนี้ในสภาพน้ำขังควรมีสารประกอบอินทรีย์เพียงพอเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน และเป็นตัวให้อิออนไนโตรเจนให้กับไนเตรทซึ่งทำหน้าที่รับอิเล็กตรอน ดังสมการ



2.6.3. ความสำคัญของไนโตรเจนที่มีต่อพืช

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากการสร้างเซลล์และเนื้อเยื่อพืช จำเป็นต้องใช้ส่วนประกอบของโปรตีน นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบทางชีวโมเลกุลอื่นๆ เช่น คลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นสารที่



ก่อให้เกิดการกระบวนกรสังเคราะห์แสง เอนไซม์ และกรดนิวคลีอิก เช่น DNA RNA ซึ่งเป็นส่วนสำคัญทางพันธุกรรม โดยส่วนใหญ่พืชและจุลินทรีย์ใช้ไนโตรเจนจากดินและน้ำ ส่วนสัตว์จะได้รับไนโตรเจนจากอาหารที่กินเข้าไป โดยทั่วไปจะมีสิ่งมีชีวิตจำนวนน้อยที่สามารถนำไนโตรเจนจากบรรยากาศมาใช้ประโยชน์ได้โดยตรงเพราะการนำก๊าซไนโตรเจนมาใช้ในการเจริญเติบโตต้องใช้พลังงานค่อนข้างสูง

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ถ้าหากพืชขาดไนโตรเจนจะทำให้ลำต้นแคระแกร็นและมีใบสีเหลือง พบว่าการเพิ่มไนโตรเจนจะทำให้พืชเจริญเติบโตและมีผลผลิตสูง ถึงแม้ว่าในดินนั้นจะมีไนโตรเจนจำนวนมากแล้วก็ตาม เนื่องจากไนโตรเจนที่สะสมในดินอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่ต้องมีการใส่ปุ๋ยเคมี เพราะไนโตรเจนอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที สำหรับสารอินทรีย์วัตถุ ได้แก่ มูลสัตว์ กากชีวภาพ และปุ๋ยหมัก ซึ่งอาจมีไนโตรเจนที่สามารถนำไปใช้ได้ทันที แต่โดยส่วนมากไนโตรเจนจะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งต้องเกิดกระบวนการย่อยสลายก่อน พืชจึงจะสามารถนำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณหลายปีในการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ไนโตรเจนให้อยู่ในรูปไนโตรเจนที่พืชใช้ประโยชน์ได้ แต่ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ในดินสามารถเปลี่ยนรูปไนโตรเจนที่ใช้ประโยชน์เป็นไนโตรเจนที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งท้ายที่สุดแล้วจะกลายเป็นอิวมัสสะสมในดินต่อไป

แต่อย่างไรก็ตามปริมาณไนโตรเจนที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปจะส่งผลกระทบต่อทั้งพืช มนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อม ยกตัวอย่าง เช่น ในพืชถ้ามีไนโตรเจนมากเกินไปความต้องการจะทำให้ลำต้นของพืชอ่อนแอลดคุณภาพของผลไม้ เช่น พืช และแอปเปิล และทำให้ระดับน้ำบาดาลในต้นลดลง ปริมาณไนโตรเจนส่วนเกินจะก่อให้เกิดการสะสมไนโตรเจนในใบของพืช เช่น ผักโขมและพืชใบ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์

ถ้าหากมีปริมาณไนโตรเจนสะสมอยู่ในดินมากเกินไป เมื่อฝนตกจะทำให้เกิดการชะล้างไนโตรเจนในดินลงสู่แหล่งน้ำและระบบนิเวศอื่นๆ โดยส่วนใหญ่ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปที่สามารถ ละลายน้ำได้ เช่นไนเตรท แอมโมเนียม ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่มากเกินไปในแหล่งน้ำจะก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) โดยไนโตรเจนจะเพิ่มการเจริญเติบโตของสาหร่ายและพืชน้ำ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการขาดออกซิเจนในแหล่งน้ำและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น ๆ

2.7 ไอโซโทป

ส่วนนี้เป็นการทำความเข้าใจกับคำว่าไอโซโทป กระบวนการที่ส่งผลกับการแยกตัวในอัตราส่วนของไอโซโทป ไอโซโทปของออกซิเจน และไฮโดรเจน ตลอดจนทฤษฎีการวิเคราะห์อัตราส่วนไอโซโทปด้วยเครื่อง laser absorption spectroscopy

2.7.1. คำจำกัดความ

ธาตุ คือ สารบริสุทธิ์ ที่ประกอบด้วยอะตอมชนิดเดียวกัน อะตอมจึงถูกจัดเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของธาตุซึ่งแสดงคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละธาตุ โดยมีนิวเคลียสเป็นจุดศูนย์กลางของอะตอม และประกอบด้วยอนุภาคพื้นฐาน 2 อนุภาค คือ โปรตรอน และนิวตรอน (ยกเว้นไฮโดรเจน H^1 เนื่องจากมีอนุภาคของโปรตรอนเพียงอนุภาคเดียว) เมื่อนำอนุภาคของโปรตรอน และนิวตรอนรวมกันจะมีค่าใกล้เคียงกับขนาดของมวล ลักษณะของอนุภาคโปรตรอนจะแสดงประจุบวก ขณะที่อนุภาคนิวตรอนแสดงความเป็นกลาง และด้านนอกของนิวเคลียสจะมีอนุภาคของอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุเป็นลบเคลื่อนที่โดยรอบ นอกจากนี้ธาตุเดียวกันจะมีจำนวนของโปรตรอนเท่ากัน แต่จำนวนของนิวตรอนอาจจะ



เท่ากัน หรือไม่เท่ากันก็ได้ หากธาตุนั้นมีจำนวนนิวตรอนต่างกันจะเรียกธาตุนั้นว่าไอโซโทป ดังนั้นความหมายของไอโซโทปคือ ธาตุชนิดเดียวกันที่มีจำนวนนิวตรอนแตกต่างกัน และทำให้มวลแตกต่างกันด้วย เนื่องจากเป็นผลรวมระหว่างอนุภาคของโปรตรอนและนิวตรอน ทั้งนี้ไอโซโทปยังถูกแบ่งย่อยออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ไอโซโทปเสถียร ซึ่งมีความเสถียร และไม่มีการสลายตัวเป็นธาตุอื่น และไอโซโทปปรังสี เป็นไอโซโทปที่ไม่เสถียร เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปจะมีการสลายตัวกลายเป็นธาตุอื่น โดยจะปล่อยอนุภาคบีตา และรังสีแกมมาออกมาในขณะที่มีการสลายตัว ซึ่งธาตุชนิดเดียวกันอาจพบไอโซโทปได้ทั้ง 2 ประเภท ดังนั้นคุณสมบัติทางกายภาพจะแตกต่างกันตามลักษณะของมวลขณะที่คุณสมบัติทางเคมีเหมือนกัน การวิเคราะห์ขนาดของไอโซโทปจึงไม่สามารถประเมินจากปฏิกิริยาเคมี แต่สามารถประเมินจากมวลได้ ซึ่งมวลของธาตุเดียวกันที่มีลักษณะไอโซโทปต่างกันจะมีขนาดต่างกันเล็กน้อย เครื่องมือที่ใช้วัดจึงควรมีความละเอียดสูงเพื่อประเมินขนาดของไอโซโทปโดยใช้หลักการสัดส่วนของมวลต่อประจุ

2.7.2. การแยกตัวของไอโซโทป

ความแตกต่างของคุณสมบัติทางกายภาพของไอโซโทปขึ้นอยู่กับมวล โดยกระบวนการทางเคมี, กายภาพ และชีวภาพที่เกิดขึ้น จะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของมวลในแต่ละไอโซโทป ซึ่งกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของแต่ละไอโซโทปจะถูกเรียกว่า “การแยกตัวของไอโซโทป (isotope fractionation)” แบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงแบบสมดุลของไอโซโทป (equilibrium fractionation) และการเปลี่ยนแปลงแบบจลศาสตร์ของไอโซโทป (kinetic fractionation)

2.1 การเปลี่ยนแปลงแบบสมดุลของไอโซโทป (equilibrium fractionation)

การเปลี่ยนแปลงแบบสมดุลของไอโซโทป เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารประกอบ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของแต่ละไอโซโทปในสภาวะสมดุล คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ แต่ไม่ได้หมายความว่าส่วนประกอบของแต่ละไอโซโทปในสารประกอบมีจำนวนเท่ากัน แต่หมายถึงอัตราส่วนของแต่ละไอโซโทปในสารประกอบแต่ละชนิดมีค่าคงที่ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาสมดุล โดยสารตั้งต้นที่มีพลังงานสูง จะมีแนวโน้มอุดมสมบูรณ์ด้วยไอโซโทปหนัก หากสารตั้งต้นนี้มีการเปลี่ยนสถานะอัตราส่วนระหว่างไอโซโทปหนัก และไอโซโทปเบาจะเปลี่ยนตามการเปลี่ยนแปลงสถานะของสาร เช่น น้ำที่อยู่ในสถานะของเหลว จะมีไอโซโทปหนักมากกว่า (^{18}O , ^2H) ขณะที่น้ำในสถานะไอน้ำจะมีไอโซโทปเบามากกว่า (^{16}O , ^1H)

2.2 การเปลี่ยนแปลงแบบจลศาสตร์ของไอโซโทป (equilibrium fractionation)

การเปลี่ยนแปลงแบบจลศาสตร์ของไอโซโทป เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแบบไม่มีสมดุล คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าไม่เท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ และลักษณะของปฏิกิริยาอาจเกิดขึ้นเพียงทางเดียว หากผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเกิดขึ้น และแยกตัวออกจากปฏิกิริยา โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของมวลและพลังงานการสั่น ซึ่งปกติพันธะระหว่างไอโซโทปเบาจะหลุดออกจากกันง่ายกว่าพันธะของไอโซโทปหนัก ดังนั้นไอโซโทปเบาจึงเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าไอโซโทปหนัก และไอโซโทปเบาจะอยู่ในผลิตภัณฑ์มากกว่า ขณะที่ไอโซโทปหนักส่วนใหญ่จะอยู่ในสารตั้งต้น เช่น กระบวนการทางชีวภาพเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นแบบทิศทางเดียว และมีแนวโน้มที่จะใช้ไอโซโทปเบา เนื่องจากพลังงานในการแยกตัวต่ำ ระดับของการแยกตัวจึงขึ้นอยู่กับทิศทางของการเกิดปฏิกิริยา และพลังงานที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆจะทำให้เกิดการแยกตัวของไอโซโทปได้ดีกว่า



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเร็ว และกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับจุลศาสตร์จะทำให้เกิดการแยกตัวของไอโซโทปที่แตกต่างกัน และมีโอกาสเกิดได้มากกว่าปฏิกิริยาแบบสมดุล (Kendell และ Caldwell, 1998)

2.7.3. ไอโซโทปของออกซิเจน

อะตอมของออกซิเจนในธรรมชาติมีไอโซโทป 3 รูป ประกอบด้วยไอโซโทปเบา ^{16}O มีมวลอะตอมประมาณ 15.9949 โดยจำนวนของไอโซโทปเบาที่พบในธรรมชาติคิดเป็น 99.76 เปอร์เซ็นต์จากไอโซโทปของออกซิเจนทั้งหมด, ไอโซโทปหนัก ^{18}O มีมวลอะตอมประมาณ 17.9991 โดยจำนวนของไอโซโทปหนักคิดเป็น 0.2 เปอร์เซ็นต์จากไอโซโทปของออกซิเจนทั้งหมด และ ^{17}O มีมวลอะตอมประมาณ 16.9991 โดยจำนวนของไอโซโทปนี้คิดเป็น 0.04 เปอร์เซ็นต์จากไอโซโทปของออกซิเจนทั้งหมด ทั้งนี้ไอโซโทปของออกซิเจนและไอโซโทปของไฮโดรเจนถูกนำมาใช้ศึกษาและติดตามแหล่งกำเนิดของน้ำฝน และระบบอุทกวิทยา เนื่องจากเป็นอะตอมซึ่งอยู่ในโมเลกุลของน้ำ ซึ่งการที่ไอโซโทปหนักในโมเลกุลของน้ำค่อนข้างพร่อง (depleting) ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำมีเพียง 3 รูป ประกอบด้วย $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$, $^2\text{H}_2^{16}\text{O}$, $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ โดยปัจจัยที่ส่งผลกับการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบไอโซโทป ได้แก่ ความดันไอ, ความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิ, ระดับความสูง, ปริมาณน้ำฝน และการระเหย นอกจากนี้ประเภทต่างๆ ของน้ำ เช่น ใต้น้ำที่อยู่ในอากาศ, น้ำทะเล, น้ำแข็งขั้วโลก และน้ำฝน ยังส่งผลกับการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของไอโซโทปด้วย

2.7.4. ไอโซโทปของไฮโดรเจน

อะตอมของไฮโดรเจนในธรรมชาติมีไอโซโทป 2 รูป ประกอบด้วยไอโซโทปเบา ^1H หรือโปรเทียม มีมวลอะตอมประมาณ 1.00794 โดยจำนวนของไอโซโทปเบาที่พบในธรรมชาติคิดเป็น 99.985 เปอร์เซ็นต์จากไอโซโทปของไฮโดรเจนทั้งหมด, ไอโซโทปหนัก ^2H หรือ ดิวเทอเรียม มีมวลอะตอมประมาณ 2.0141 โดยจำนวนของไอโซโทปหนักคิดเป็น 0.015 เปอร์เซ็นต์จากไอโซโทปของไฮโดรเจนทั้งหมด นอกจากนี้ไฮโดรเจนจะประกอบด้วยไอโซโทปเสถียรแล้วยังมีไอโซโทปกัมมันตภาพรังสี อีก 1 ตัว นั่นคือ ^3H หรือทริเทียม ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 12.43 ปี ไอโซโทปเสถียรของไฮโดรเจนถูกนำมาใช้ร่วมกับไอโซโทปของออกซิเจนเพื่อศึกษาระบบอุทกวิทยาทั้งในระดับโลก และระดับท้องถิ่น และไอโซโทปกัมมันตภาพรังสีของไฮโดรเจนจะถูกนำมาใช้เพื่อหาอายุของน้ำ (น้อยกว่า 50 ปี) ทั้งยังช่วยวัดอัตราการไหล และทิศทางไหลของน้ำด้วย ในวัฏจักรของน้ำ การแยกตัวของไอโซโทปไฮโดรเจน และออกซิเจนในระหว่างการเปลี่ยนสถานะจากไอน้ำ เป็นน้ำฝนขึ้นอยู่กับกระบวนการหลัก 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการระเหย และกระบวนการควบแน่น โดยไอโซโทปเบา (^{16}O , ^1H) จะระเหยและอยู่ในสถานะแก๊ส ขณะที่ไอโซโทปหนัก (^{18}O , ^2H) จะควบแน่นและอยู่ในสถานะของเหลว ดังนั้นไอน้ำจึงเต็มไปด้วย ^{16}O และ ^1H ขณะที่น้ำที่เหลือจะเต็มไปด้วย ^{18}O และ ^2H โมเลกุลของน้ำส่วนใหญ่จึงอยู่ในรูป $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ (SAHRA, 2005)

2.7.5. วัฏจักรของน้ำ

ในระหว่างที่โมเลกุลของน้ำมีการเคลื่อนที่ในวัฏจักรน้ำ น้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงเพื่ออยู่ในสถานะที่แตกต่างกัน ผ่านหลากหลายกระบวนการทั้งกระบวนการควบแน่น และกระบวนการระเหย ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ไปสู่การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนไอโซโทปของน้ำ เช่นออกซิเจนถูกแยกออกกลายเป็นออกซิเจน 16 หรือไอโซโทปเบา (^{16}O) และออกซิเจน 18 หรือไอโซโทปหนัก (^{18}O) ซึ่งไอโซโทปที่มีเลขมวลมากจะถูกแยกออกจากไอโซโทปที่มีเลขมวลน้อย ความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนไอโซโทปนี้เราเรียกว่า “ลายนิ้วมือไอโซโทป (isotope fingerprint)” ซึ่งความแตกต่าง



ของไอโซโทปนี้ถูกนำมาใช้ติดตามหาตำแหน่งของน้ำบาดาลโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างไอโซโทปของ ^{18}O และ ^2H ของน้ำฝน หรือที่เรา รู้จักกันในชื่อว่า global meteoric water line (GMWL) เป็นข้อมูลที่ถูกบันทึกอย่างกว้างขวาง โดยหน่วยงานทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency: IAEA)

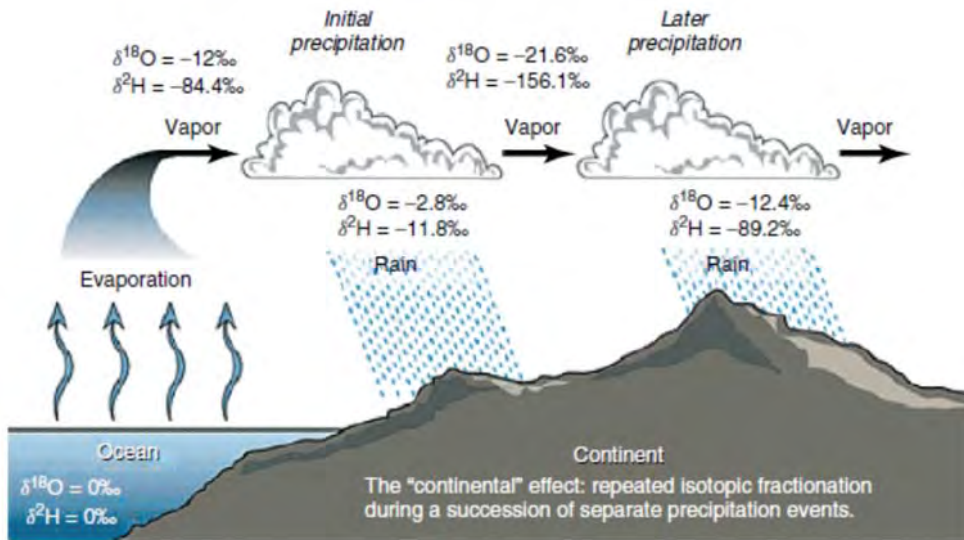
ส่วนประกอบของไอโซโทปถูกรายงานเป็นค่าเดลต้า (δ) เนื่องจากอัตราส่วนไอโซโทปมีความแตกต่างกันน้อยมาก (หนึ่งส่วนต่อพัน) จึงถูกแสดงในเทอมของ per mil (‰) อย่างไรก็ตามอัตราส่วนไอโซโทปของตัวอย่างจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงมาตรฐานสากล (International reference standard) ค่ามาตรฐานที่นำมาใช้คำนวณเป็นที่รู้จักกันดีในชื่อของ VSMOW หรือ Vienna-Standard Mean Ocean Water ซึ่งถูกนำมาคำนวณตามสมการด้านล่าง

$$\delta(\text{in}\text{‰}) = \left(\frac{R_x}{R_s} - 1 \right) \times 1000$$

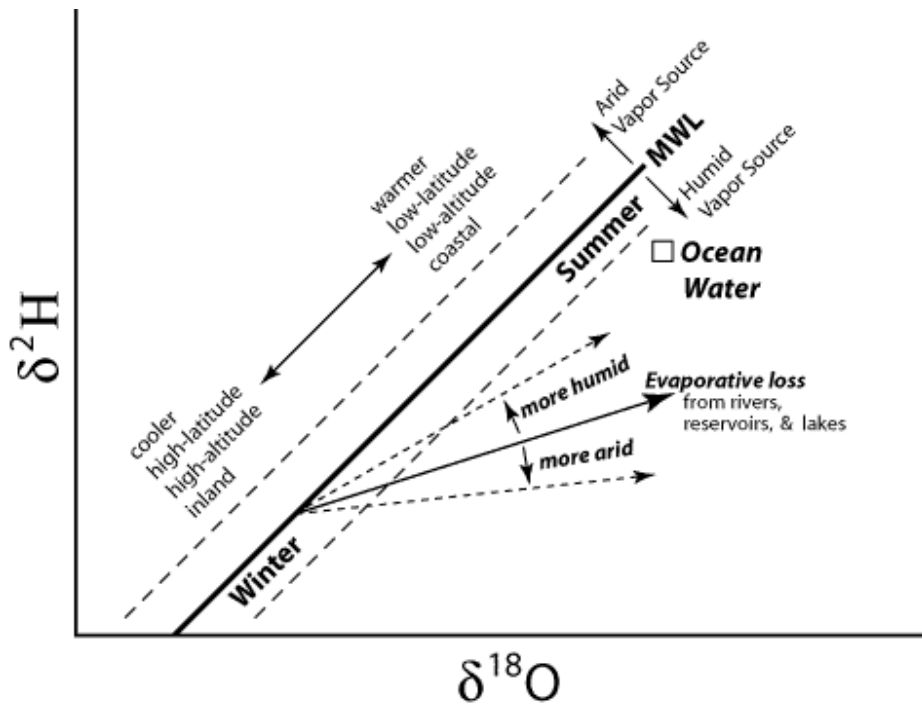
โดยที่ R_x คือ อัตราส่วนของไอโซโทปหนักและไอโซโทปเบาของตัวอย่าง

R_s คือ อัตราส่วนของไอโซโทปหนักและไอโซโทปเบาของสารมาตรฐาน

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบกับการแยกตัวของไอโซโทป ประกอบด้วย rainout effect คือ เมื่อน้ำทะเลมีการระเหย ไอโซโทปเบาจะง่ายต่อการระเหยมากกว่าจึงทำให้มีไอโซโทปหนักในรูปของไอน้ำ ดังนั้นค่าไอโซโทปในเมฆจึงมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับค่าไอโซโทปที่อยู่ในน้ำทะเล หลังจากนั้นเมื่อเมฆก้อนนี้เคลื่อนที่เข้าไปในแผ่นดิน และควบแน่นตกลงมาเป็นฝน ค่าไอโซโทปหนักที่อยู่ในเมฆจะตกลงมาด้วยส่งผลให้ไอโซโทปหนักในเมฆมีความพร่องลง และทำให้ค่าเดลต้าของเมฆติดลบมากขึ้น เมื่อเมฆก้อนเดิมเคลื่อนที่ห่างออกไปไกลจากชายฝั่งมากขึ้น ไอโซโทปเบาจะตกลงมาพร้อมกับน้ำฝนด้วยทำให้ไอโซโทปในน้ำฝนมีค่าเดลต้าต่ำกว่าฝนที่ตกใกล้ชายฝั่ง temperature effect การที่อุณหภูมิอากาศสูงขึ้นส่งผลให้เกิดการระเหยมากขึ้นทำให้ไอโซโทปของน้ำฝนอุดมไปด้วยไอโซโทปหนัก ซึ่งจะแสดงค่าไอโซโทปในทำนองเดียวกันกับน้ำฝนที่ตกบริเวณเส้นศูนย์สูตร, บริเวณที่มีระดับความสูงของพื้นที่ต่ำ และบริเวณที่อยู่ใกล้แนวชายฝั่ง ซึ่งเป็นผลกระทบจากตำแหน่งละติจูด และระดับความสูงของพื้นที่ (latitude and altitude effect) ดังนั้นบริเวณขั้วโลก และบริเวณที่มีระดับความสูงของพื้นที่สูงจะแสดงค่าเดลต้าของไอโซโทปต่ำเนื่องจากอุดมด้วยไอโซโทปเบา นอกจากนี้แหล่งกำเนิดของไอน้ำ (vapor sources effect) บริเวณพื้นที่ชื้นแฉะ (humid area) ยังส่งผลกระทบต่อให้น้ำฝนอุดมไปด้วยไอโซโทปหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่แห้งแล้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.3-2.4



รูปที่ 2.3 Rainout effect กับการแยกตัวของไอโซโทป (Hoefs, 1997)



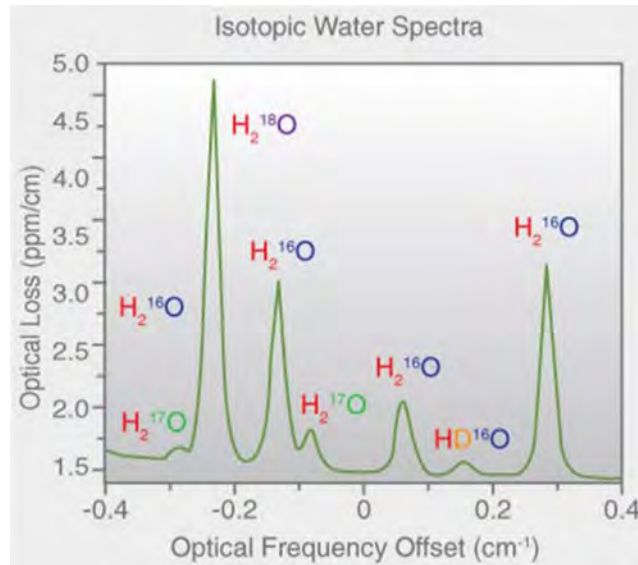
รูปที่ 2.4 Temperature effect กับการแยกตัวของไอโซโทป (SAHRA, 2005)



2.7.6. หลักการของเครื่อง Cavity Ring-Down Spectroscopy

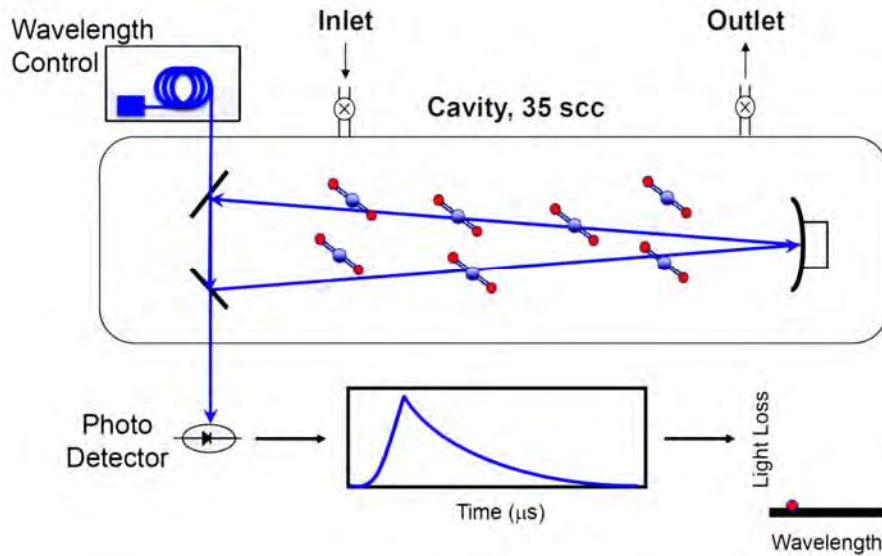
Cavity ring-down spectroscopy (CRDS) เป็นที่รู้จักกันในชื่อของ cavity ring-down laser absorption spectroscopy (CRLAS) เทคนิคการวิเคราะห์แบบนี้มีประสิทธิภาพมากในการติดตามแก๊สร่องรอย (trace gas) หรือวิเคราะห์โมเลกุลของสารในสถานะแก๊ส เนื่องจากเครื่องมือนี้ให้ความแม่นยำ, ความถูกต้อง, และความไวสูง ตลอดจนค่า drift ต่ำ ใช้ระยะเวลาสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างน้อย มีการวัดค่าตามระยะเวลาจริง และทำการวัดค่าอย่างต่อเนื่อง ซึ่งขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างน้อย หรืออาจไม่ต้องการเตรียมตัวอย่างเลย ตลอดจนค่าใช้จ่ายสำหรับการดำเนินงานต่ำอีกด้วย นอกจากนี้เครื่องนี้ยังถูกนำมาใช้สำหรับตรวจสอบเกี่ยวกับงานด้านสิ่งแวดล้อม, ตรวจสอบการปล่อยแก๊สเรือนกระจก, การพัฒนาเครื่องยนต์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม, เทคโนโลยีสะอาด และใช้ตรวจสอบกระบวนการทางชีวเวชภัณฑ์ (biopharmaceutical)

CRDS เป็นการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของอะตอม, โมเลกุล และส่วนประกอบทางแสงของแก๊สชนิดต่างๆ ซึ่งมีช่วงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเฉพาะคือช่วงความถี่ near-infrared และ mid-infrared ประกอบด้วยช่วงแคบๆ มีการแยกตัวที่ดี และเป็นเส้นคม เราจะรู้จักกันดีว่าเป็นลักษณะของความยาวคลื่นดังแสดงในรูปที่ 2.5 ดังนั้นความเข้มข้นของแก๊สสามารถวัดได้จากการวัดความเข้มของการดูดกลืนแสง โดยแหล่งกำเนิดเลเซอร์ของเครื่องวัดจะสร้างเลเซอร์ที่มีความถี่เดียวเพื่อเข้าสู่โพรง และโพรงนี้จะถูกเติมด้วยแสงเลเซอร์อย่างรวดเร็ว ซึ่งแสงเลเซอร์จะหมุนวนอย่างต่อเนื่อง และสร้างความยาวแสงที่มีประสิทธิภาพหลายกิโลเมตรจากการสะท้อนกับกระจก 2 ถึง 3 บานที่อยู่ภายในโพรง ทำให้สามารถตรวจวัดในระดับวินาที หรือน้อยกว่าที่ระดับส่วนต่อพันล้าน และโครงการวิจัยนี้จะใช้เครื่อง Picarro Inc. water isotope analyzer model L 2130-i ซึ่งมีความยาวของโพรงประมาณ 25 เซนติเมตร และมีประสิทธิภาพในการสร้างความยาวคลื่นแสงได้มากกว่า 20 กิโลเมตร เพราะมีกระจก 3 บานอยู่ภายในโพรง และให้สัญญาณ signal to noise ดีกว่ารุ่นที่มีกระจกเพียง 2 บาน เมื่อเปิดเลเซอร์ ตัววัด photo detector จะตรวจวัดจนกระทั่งเลเซอร์ถึงระดับเริ่มต้น (threshold) จากนั้นเลเซอร์จะถูกปิดทันที แสงเลเซอร์ซึ่งอยู่ภายในโพรงจะเคลื่อนที่ต่อเนื่องอยู่ระหว่างกระจกประมาณ 100,000 ครั้ง แต่กระจกมีความสามารถในการสะท้อนกลับเพียง 99.999% ดังนั้นความเข้มแสงสามารถรั่วออก และถูกสลายตัวจนถึงศูนย์ส่งผลให้สัญญาณการสลายตัวเป็น exponentially ตามเวลา การสลายตัวนี้เรารู้จักกันดีว่าเป็นค่า “ring down” จะถูกวัดตามเวลาจริงโดย photo detector ซึ่งเวลาการสลายตัวขึ้นอยู่กับการสะท้อนของกระจก และระยะทางระหว่างกระจก 2 ถึง 3 บาน (ความยาวของโพรง) ตามกฎของ Beer-Lambert, ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของแสง และคุณสมบัติของวัตถุที่แสงเคลื่อนที่ผ่าน, ความเร็วของแสง และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแก๊ส

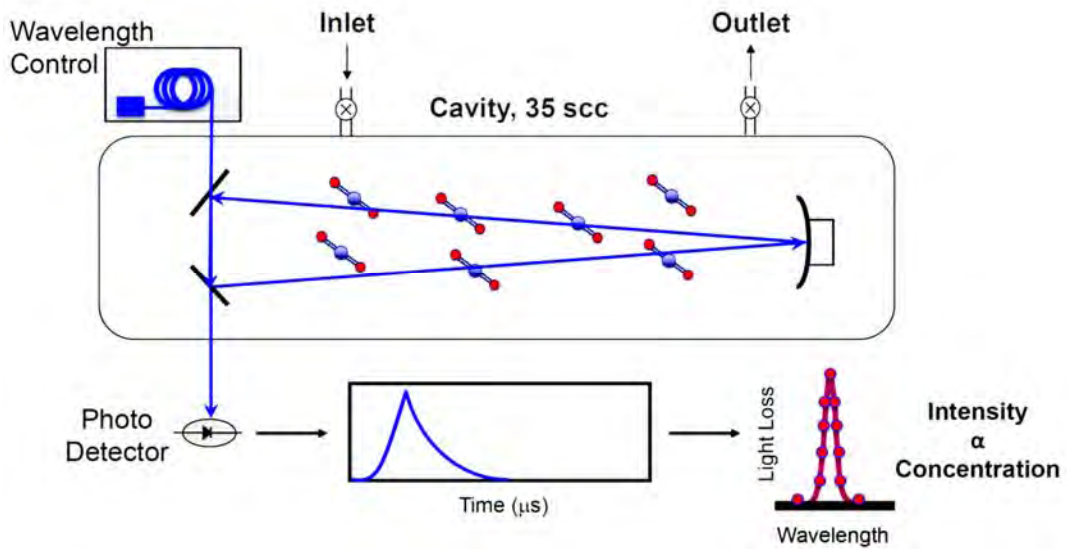


รูปที่ 2.5 สเปกตรัมการดูดกลืนของโมเลกุลน้ำ water isotopologues (Winkler และ Peters, 2013)

เมื่อแก๊สอยู่ในโพรงของเครื่องวัด เวลา ring down จะถูกเร่งเมื่อเทียบกับโพรงที่ว่างเปล่าไม่มีแก๊ส เนื่องจากการสูญเสียของแสงบางส่วน ความเข้มข้นของแก๊สจึงได้รับจากความแตกต่างระหว่างเวลา ring down ซึ่งถูกตรวจวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ข้ามแนวเส้นการดูดกลืนสเปกตรัมของแก๊สเป้าหมายดังแสดงในรูปที่ 2.6-2.7

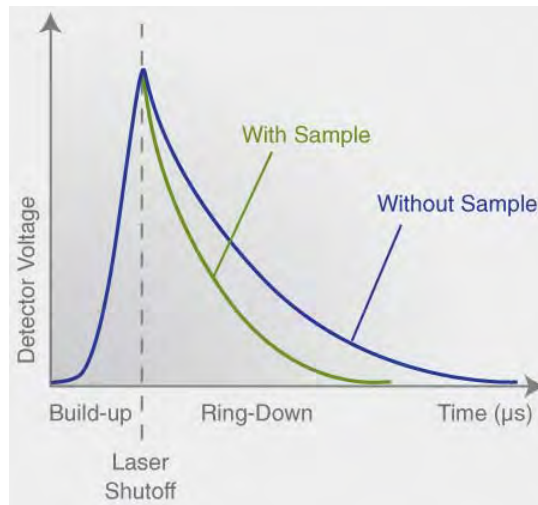


(A)



(B)

รูปที่ 2.6 แผนภาพภายในของเครื่อง CRDS. (A) โมเลกุลของแสงที่ไม่ถูกดูดกลืน (B) โมเลกุลของแสงถูกดูดกลืน (Winkler และ Peters, 2013)



รูปที่ 2.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลา ring down ของโพรงที่ไม่มีการดูดกลืนแสงของแก๊ส และค่า detector voltage เมื่อแก๊สเป้าหมายมีการดูดกลืนแสง (Winkler และ Peters, 2013)

จากที่กล่าวมาข้างต้น เครื่องวัดการดูดกลืนแสง absorption spectroscopy ถูกสร้างโดยกฎของ Beer-Lambert ซึ่งกำหนดโดย (Sprague, 2012);

$$A = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = \sigma L_{abs} N$$

- โดยที่
- A คือ ค่าการดูดกลืนแสง
 - I_0 คือ ค่าความเข้มแสงเริ่มต้น
 - I คือ ค่าความเข้มแสงที่ถูกส่งผ่าน
 - σ คือ แนวตัดขวางการดูดกลืนแสง
 - L_{abs} คือ ความยาวของคลื่นแสงที่ผ่านตัวดูดกลืนแสง
 - N คือ ความหนาแน่นของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดกลืนแสง (ต่อหน่วยปริมาตร)

ความเข้มของแสงภายในโพรงถูกวัดเป็นฟังก์ชัน exponential กับเวลา ซึ่งแสงที่ถูกส่งผ่านกระจกเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสงภายในโพรง โดยการสูญเสียของแสงภายในโพรงมีเพียงกระบวนการเดียว คือรั่วซึมเนื่องจากการส่งผ่านของกระจกภายในโพรง และค่าคงที่ของเวลา ring down ถูกอธิบายลักษณะโดย

$$I = I_0 \exp\left(\frac{-t}{T_0}\right), \text{ with } T_0 = \frac{t_r}{2(1-R)} = \frac{L_{opt}}{c(1-R)}$$

เมื่อตัวดูดกลืนแสงถูกแสดงภายในโพรง แล้วค่าคงที่ของเวลา ring down ถูกคำนวณจากสมการที่ดัดแปลงจากสมการด้านบน จะเป็นไปตามสมการด้านล่าง



$$I = I_0 \exp\left(\frac{-t}{T}\right), \text{ with } \frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + (\sigma L_{abs} N) \left(\frac{c}{L_{opt}}\right)$$

ท้ายที่สุด ความเข้มของการดูดกลืนแสงสามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่าง (Osthoff และคณะ, 2006)

$$N = \frac{L_{opt}}{c\sigma L_{abs}} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right) = \frac{R_L}{\sigma} \alpha$$

โดยที่	N	คือ ความหนาแน่นของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดกลืนแสง (ต่อหน่วยปริมาตร)
	L_{opt}	คือ ระยะห่างระหว่างกระจก หรือความยาวทั้งหมดของโพรง
	c	คือ ความเร็วของแสง
	σ	คือ แนวตัดขวางการดูดกลืนแสง
	L_{abs}	คือ ความยาวของคลื่นแสงที่ผ่านตัวดูดกลืนแสง
	T	คือ $1/e$ เวลาการสลายตัวของแสงในขณะที่มีตัวดูดกลืนแสง
	T_0	คือ $1/e$ เวลาการสลายตัวของแสง (ช่วงเวลาที่ ring down วางเปล่า)
	R_L	คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวของโพรงทั้งหมด และความยาวของตัวอย่าง
	α	คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (บางกรณีเรียกว่า ค่าการสูญเสีย)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษากิจกรรมมนุษย์ที่มีผลกระทบต่อการใช้ของน้ำบาดาล และการปนเปื้อนของไนโตรเจนในเมืองโซล ประเทศเกาหลีใต้ ของ Hosono และคณะ (2009) โดยวิเคราะห์ไอโซโทป ($\delta D, T, \delta^{15}N, \delta^{18}O, \delta^{34}S, \delta^{87}Sr/\delta^{86}Sr$) ของตัวอย่างน้ำบาดาล 14 ตัวอย่าง และตัวอย่างน้ำผิวดิน 4 ตัวอย่าง พบว่าค่า $\delta D, \delta^{18}O$ ในน้ำบาดาลและน้ำผิวดินลดลงไปทางศูนย์กลางของเมืองซึ่งมีอุโมงค์สูบน้ำใต้ดิน เป็นสาเหตุให้เกิดการลดลงของความดันชลศาสตร์ (hydraulic head) จึงสามารถประเมินทิศทางการไหลของน้ำบาดาลได้ว่า มีทิศทางการไหลจากขอบของเมืองไปทางศูนย์กลางเมือง ค่า T แสดงให้เห็นว่าเมืองโซล มีการเติมน้ำ (recharge) ครั้งล่าสุดในช่วง 30-40 ปี ส่วนค่า $\delta^{15}N, \delta^{34}S$ มีความสัมพันธ์เป็นลบกับปริมาณไนโตรเจน และซัลเฟต ซึ่งระบุว่าการปนเปื้อนของไนโตรเจน และซัลเฟตในน้ำบาดาลของเมืองโซลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เห็นได้ชัดว่ามีปริมาณสูงผิดปกติในด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของเมือง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้อัตราส่วนระหว่าง $\delta^{87}Sr/\delta^{86}Sr$ ที่พบในน้ำบาดาลต่ำกว่าน้ำผิวดิน สะท้อนให้เห็นว่าปริมาณ Ca^{2+} ในน้ำบาดาลมาจากสภาพธรณีวิทยาในพื้นที่ มากกว่ามาจากกิจกรรมของมนุษย์

จากการศึกษาของ Hosono และคณะ (2013) ใช้ $\delta^{15}N$ และ $\delta^{18}O$ เพื่อให้เข้าใจการไหลของน้ำบาดาลซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการติดตามแหล่งกำเนิดไนโตรเจน และกลไกการลดลงของไนโตรเจน โดยเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลในชั้นน้ำใต้แรงดัน 83 ตัวอย่าง ชั้นน้ำภายใต้แรงดัน 156 ตัวอย่าง ตัวอย่างแม่น้ำและน้ำพุรวม 83 ตัวอย่าง ตัวอย่างน้ำเสียก่อน



และหลังบำบัด 16 ตัวอย่าง ตัวอย่างปุ๋ยเคมีและปุ๋ยคอกอย่างละ 10 ตัวอย่าง ภายในพื้นที่เมือง Kumamoto ผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาลทั้งสองชนิด มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเหมือนกัน โดยแสดงช่วงความเข้มข้นเหมือนกับตัวอย่างน้ำพุ และมีค่าสูงกว่าน้ำในแม่น้ำ จากการพิจารณาค่า $\delta^{15}N$ และ $\delta^{18}O$ ระบุแหล่งกำเนิดไนเตรทในน้ำบาดาล และน้ำพุว่า เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมีในพื้นที่เป็นระยะเวลานาน ในขณะที่ตัวอย่างน้ำในแม่น้ำแสดงค่า $\delta^{15}N$ สูงกว่า และค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำมากกว่า 8 mg l^{-1} สามารถระบุได้ว่าแหล่งกำเนิดไนเตรทบางส่วนมาจากน้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงาน หรือที่อยู่อาศัย ทั้งนี้หากสังเกตพบว่าค่า $\delta^{15}N$ และ $\delta^{18}O$ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นฉับพลัน ในขณะที่ปริมาณไนเตรท และค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงตามทิศทางการไหลของน้ำบาดาล แสดงให้เห็นหลักฐานที่ชัดเจนในการเกิดกระบวนการ denitrification ภายในระบบ ตรงกันข้ามถ้าค่า $\delta^{15}N$ และ $\delta^{18}O$ มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำคงที่หรือมากกว่า 8 mg l^{-1} และปริมาณไนเตรทยังลดลงตามทิศทางการไหล ระบุว่าเกิดจากการเจือจาง และ/หรือกระจายตัวด้วยน้ำชลประทาน โดยกระบวนการ denitrification ที่เกิดขึ้นมีประสิทธิภาพที่จะทำให้ปริมาณไนเตรทลดลงได้มากกว่าการเจือจาง ซึ่งมีความเสี่ยงสูงที่จะถูกทำให้ปนเปื้อนได้ง่าย

Jiang และคณะ (2009) ทำการศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ที่มีการขยายตัวทางด้านเกษตรกรรมและที่อยู่อาศัย ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลทั้งหมด 42 ตัวอย่าง พบการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำบาดาลมีปริมาณของ ไนเตรท คลอไรด์ และซัลเฟตเพิ่มมากขึ้น และได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำบาดาลพบว่า ปัจจัยที่หนึ่ง 47.1 % น้ำบาดาลถูกการปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์เช่นน้ำทิ้งน้ำเสียและปุ๋ยเกษตร ปัจจัยที่สอง 17.9 % เกิดจากความสัมผัสของ limestone-dominated และปัจจัยที่สาม 14.3 % เกิดจากหินโดโลไมต์

Jin และคณะ (2012) ได้ศึกษาแหล่งกำเนิดของไนเตรทบริเวณพื้นที่เกษตรในเมือง Huzhou ทางตะวันออกของประเทศจีน โดยเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลในพื้นที่ทำนาข้าว (ช่วงที่เพาะปลูก และไม่ได้เพาะปลูก) และพื้นที่ปลูกผักที่ระดับความลึกแตกต่างกัน (30, 60, 90, 120, 150, 200, 250 และ 300 cm) ในเดือนเมษายน และเดือนกรกฎาคม ปี 2010 เพื่อนำมาวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี และไอโซโทปเสถียรของไนเตรท ผลการวิเคราะห์น้ำบาดาลส่วนใหญ่มีความเป็นด่างอ่อนๆ และมีสภาพแวดล้อมแบบ aerobic ค่า DO ของทั้งสองพื้นที่ลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น และในพื้นที่ทำนาข้าวค่า EC จะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับค่า EC ในพื้นที่ปลูกผักจะลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น และค่า pH ไม่แตกต่างกันในแต่ละความลึก เมื่อพิจารณาส่วนประกอบเคมี และไอโซโทปเสถียรร่วมกันพบว่าน้ำบาดาลในพื้นที่ที่มีปริมาณซัลเฟต และแอมโมเนียมปนเปื้อนในปริมาณมาก และปริมาณไนเตรทในพื้นที่ทำนาข้าว (ช่วงเพาะปลูก) มาจากการใช้ปุ๋ยเคมี และอินทรีย์วัตถุในดิน ส่วนในช่วงที่ไม่ได้เพาะปลูก แหล่งกำเนิดไนเตรทจะมาจากอินทรีย์วัตถุในดิน และปุ๋ยคอก นอกจากนี้แหล่งที่มาของไนเตรทในพื้นที่ปลูกผักเป็นได้ทั้งปุ๋ยเคมี, อินทรีย์วัตถุในดิน และปุ๋ยคอก ทั้งนี้ผลสารสามารถซึมผ่านพื้นที่ทำนาข้าวได้ง่ายกว่าพื้นที่ปลูกผัก ในสภาวะที่ได้รับมลสาร และปริมาณน้ำฝนเท่ากัน และกระบวนการหลักที่ควบคุมไนเตรทในพื้นที่ คือกระบวนการ nitrification

Kaown และคณะ (2009) ได้จำแนกแหล่งกำเนิดไนเตรท และซัลเฟตในน้ำบาดาลของพื้นที่เกษตรในเมือง Chuncheon ประเทศเกาหลี โดยใช้วิธีคู่ไอโซโทปเสถียร (dual stable isotope) ของไนเตรทร่วมกับการวิเคราะห์อุทกเคมี ซึ่งจะเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อบาดาลต้น 19 ตัวอย่าง และบ่อบาดาลลึก 16 ตัวอย่าง ในเดือนเมษายน 2006



และเดือนธันวาคม 2007 พบว่าด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษามีปริมาณไนเตรท และซัลเฟทกระจายตัวสูงกว่าด้าน
ตะวันออก และรูปแบบการกระจายตัวเหมือนกันทั้งในเดือนเมษายน และเดือนธันวาคม ระบุได้ด้วยค่า $\delta^{15}N$ และ
 $\delta^{34}S$ ในน้ำบาดาลของด้านตะวันตกต่ำกว่าด้านตะวันออก คาดว่าสาเหตุการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำบาดาลมาจาก
การใช้ปุ๋ยเคมีด้านตะวันตกมากกว่าด้านตะวันออกเนื่องจากการปลูกผัก จากการพิจารณาค่า $\delta^{18}O-NO_3$ พบว่ามีค่า
ต่ำ ดังนั้นจึงไม่เกิดกระบวนการ denitrification ในพื้นที่ และระบุว่าปริมาณไนเตรทบางส่วนมาจากกระบวนการ
nitrification ของดิน (organic soil N) ทั้งนี้สาเหตุการปนเปื้อนของซัลเฟท ถูกระบุด้วยค่า $\delta^{18}O-SO_4$ ซึ่งพบว่าต่ำ
กว่าในปุ๋ยเคมี ดังนั้นปริมาณซัลเฟทที่ปนเปื้อนมาจากวัฏจักรซัลเฟอร์ที่เกิดในดิน นอกจากนี้การหาความสัมพันธ์
ระหว่าง Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} กับปริมาณไนเตรท แสดงแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน ซึ่งให้เห็นว่ามาจากแหล่งกำเนิดที่
เหมือนกัน และปริมาณไนเตรทที่เพิ่มสูงขึ้นยังสอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ด้วย สังเกตได้จากด้าน
ตะวันตกของเมือง Chuncheon มีความลาดชันต่ำกว่าด้านตะวันออก จึงพบปริมาณไนเตรทสูงกว่า

Li และคณะ (2014) สังเกตการเคลื่อนที่และการกระจายของไนเตรทในน้ำผิวดิน และน้ำบาดาล และประเมิน
ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการกระจายตัว โดยศึกษาไอโซโทปไนโตรเจน และไอโซโทปออกซิเจนของไนเตรท ตลอดจน
ไอโซโทปของออกซิเจน และดิวเทอเรียมในน้ำผิวดินและน้ำบาดาล ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำแต่ละชนิดจาก 5 ตำแหน่งใน
พื้นที่ศึกษาบริเวณแม่น้ำ Yellow ทางใต้ของ Taihang ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของที่ราบทางตอนเหนือของประเทศจีน ซึ่งมี
ลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นดินเหนียวและหินปูน การทำเกษตรกรรมในพื้นที่ ได้แก่ ข้าวสาลี, ข้าวโพด และพืชผัก พวก
เขาเก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน และน้ำบาดาลประมาณ 190 ตัวอย่างในระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนธันวาคม 2007
พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ได้แก่ EC, pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- ไอโซโทปของดิวเทอเรียม และ
ออกซิเจน ผลการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นของ Ca^{2+} สูงกว่า Na^+ , Mg^{2+} และ K^+ ขณะที่ความเข้มข้นของ HCO_3^-
สูงกว่า SO_4^{2-} , Cl^- และ NO_3^- ชนิดของน้ำในพื้นที่คือ $Ca-HCO_3$, $Ca-Na-HCO_3$, $Ca-HCO_3-SO_4$, $Ca-HCO_3-Cl$, $Mg-Ca-$
 $SO_4.HCO_3$ และ $Ca-Na-SO_4$ ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำผิวดินอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 29.6 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าสูง
ในฤดูร้อน (พฤษภาคม) ตรงข้ามกับความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาลซึ่งอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 19.4 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซึ่งมีค่าสูงในช่วงฤดูฝน (มิถุนายน) เนื่องจากน้ำฝนในเดือนมิถุนายนจะพาความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำผิวดินไหลเข้าสู่
ระบบน้ำบาดาล แหล่งกำเนิดของไนเตรทในเดือนนี้มาจากปุ๋ย และน้ำเสียที่ไหลมาจากพื้นที่อุตสาหกรรม นอกจากนี้ใน
เดือนพฤษภาคม และตุลาคม ไนเตรทในน้ำบาดาลมาจากกระบวนการ mineralization ของไนโตรเจนอินทรีย์ในดิน
และสิ่งปฏิกูล ทั้งนี้จากข้อมูลของไอโซโทประบุว่าน้ำบาดาลไม่ได้รับการเติมน้ำโดยตรงจากน้ำฝน แต่ได้รับมาจากการ
ซึมของน้ำผิวดิน เนื่องจากแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

จากการศึกษาของ **Panno และคณะ (2001)** ได้ประเมินแหล่งกำเนิดของไนเตรทในที่ราบหลุมยุบ (sinkhole
plain) ทางด้านตะวันตกของแอ่ง Illinois โดยถ้ำและหลุมยุบบริเวณนี้ เกิดในพื้นที่หินปูนอายุ Mississippian ซึ่งมี
หลุมยุบประมาณ 10,000 แห่ง จะเก็บตัวอย่างน้ำในพื้นที่ทั้งหมด 10 แห่ง เนื่องจากเป็นบริเวณจุดระบายน้ำของแอ่ง
น้ำบาดาล ดังนั้นน้ำพุจะแสดงส่วนประกอบของน้ำบาดาลที่ไหลในแต่ละแอ่ง และเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูกาลที่ต่างกัน
ได้แก่ ฤดูใบไม้ร่วงปี 1998 ฤดูหนาว ฤดูใบไม้ผลิ และฤดูร้อน ปี 1999 และนำตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์อุณหภูมิ, pH, Eh,
specific conductance, cations, anions, dissolved organic carbon, atrazine, ไอโซโทปของ nitrogen และ



oxygen ผลการวิเคราะห์ระบุว่าตัวอย่างน้ำพุเป็นน้ำชนิด $\text{Ca}^{2+}\text{HCO}_3^-$ และมีปริมาณไนเตรทสูงกว่าระดับที่มีในธรรมชาติ จากการประมวลผลข้อมูลอุทกเคมี ร่วมกับข้อมูลไอโซโทป พบว่าแหล่งกำเนิดไนเตรทในน้ำพุ เกิดจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นหลักในช่วงต้นฤดูใบไม้ผลิ และมีบางส่วนที่มาจากไนเตรทในบรรยากาศ เห็นได้ชัดเจนในฤดูหนาวและฤดูร้อน นอกจากนี้ค่า $\delta^{15}\text{N}$ และ $\delta^{18}\text{O}$ มีแนวโน้มเป็นบวกทั้งคู่ฤดูกาล แสดงว่ามีกระบวนการ denitrification เกิดขึ้นภายในโซนของดิน, epikarst และชั้นน้ำตื้นใต้พื้นที่ที่เป็นหินปูน (shallow karst aquifer) สังเกตจากค่า DOC สูงเพียงพอที่จะสนับสนุนการเกิดรีดักชันของไนเตรทระหว่างกระบวนการ denitrification

Sonkahmble และคณะ (2012) ศึกษากระบวนการทางอุทกเคมีของน้ำบาดาลบริเวณ Deccan Volcanic Province (DVP) ประเทศอินเดีย โดยมีชั้นน้ำบาดาลเป็นหินบะซอลต์ และหินแกรนิต โดยน้ำบาดาลในชั้นหินบะซอลต์มีไอออนหลักคือ ไอออนบวก ได้แก่ $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ และไอออนลบ ได้แก่ $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ ส่วนในชั้นหินแกรนิตมีไอออนหลัก คือ $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}$ และไอออนลบ $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ และจากการใช้ Factor analysis ประกอบกับการหาความสัมพันธ์ระหว่าง Ion Ratio ทำให้ทราบถึงกระบวนการทางอุทกธรณีเคมี โดยในชั้นหินอุ้มน้ำบะซอลต์ พบว่าไอออนในน้ำมาจากการผุพังของพวกคาร์บอเนต โดโลไมต์ แคลไซต์ และซิลิเกต ในขณะที่ในชั้นน้ำแกรนิต พบว่าไอออนมาจากการผุพังของแอลไบท์ และออร์โทเคลสเป็นหลัก



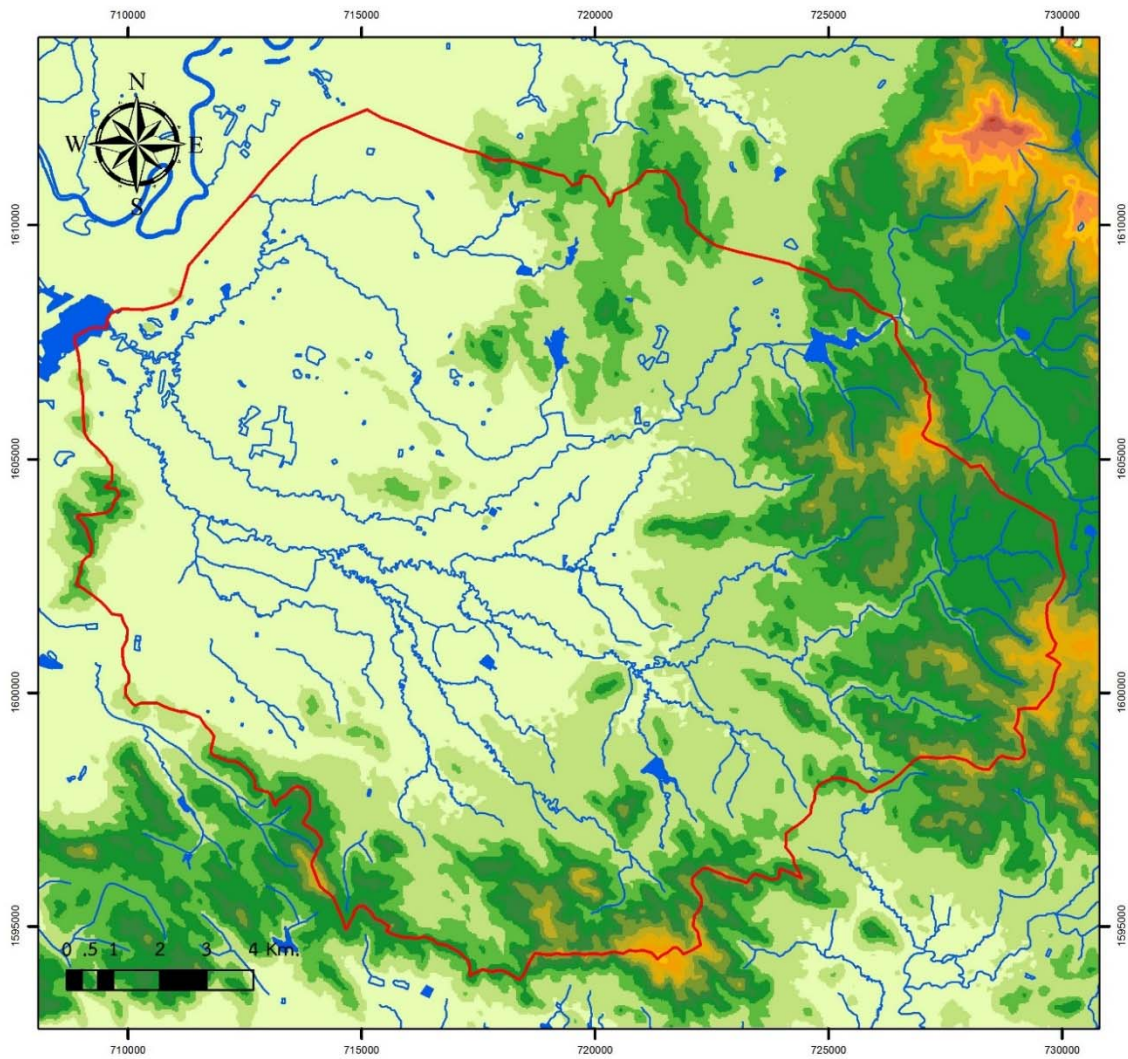
บทที่ 3

ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา




3.1 สภาพภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา

ลักษณะภูมิประเทศทั่วไปของจังหวัดสระบุรี เป็นภูเขาสูงทางด้านเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัด แนวภูเขาทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือเป็นส่วนหนึ่งของขอบที่ราบสูงโคราช ส่วนด้านตะวันตก และตะวันออกของจังหวัดเป็นที่ราบ พื้นที่จังหวัดถูกรองรับด้วยหินแข็งอายุตั้งแต่ 286 ล้านปี จนถึงตะกอนปัจจุบันเป็นหินตะกอน หินแปร หินอัคนี และตะกอนร่วน ซึ่งสภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่ของอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ประกอบด้วยภูเขาสูงทางด้านทิศตะวันออก และพื้นที่ราบทางด้านทิศตะวันตก ซึ่งมีแม่น้ำป่าสักไหลผ่านจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ และพบตะกอนลำน้ำค่อนข้างใหม่ ที่เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำที่มีอายุเก่ากว่า ซึ่งมีระดับสูงกว่าบริเวณตะกอนลำน้ำใหม่ ประมาณ 10-20 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยชั้นหินที่มีอายุเก่ากว่าจะถูกปิดทับด้วยตะกอนน้ำพา (Qa) และตะกอนตะพักน้ำอายุควอเตอร์นารี (Qt) ตามที่ราบลุ่มน้ำ และตามแนวลำน้ำ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550)

พื้นที่ตั้งอยู่ระหว่างละติจูด $14^{\circ}25'$ ถึง $14^{\circ}33'$ องศาเหนือ และลองจิจูด $100^{\circ}56'$ ถึง $101^{\circ}07'$ องศาตะวันออก ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 262 ตารางกิโลเมตร บริเวณตอนกลางและด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษาซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 209.726 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 27.23 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอแก่งคอย และพื้นที่ด้านตะวันตกประมาณ 52.181 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 28.88 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมดตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันออกของอำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี ลักษณะภูมิประเทศทางด้านทิศตะวันตกและตอนกลางเป็นที่ราบตะกอนน้ำพา ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของที่ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนล่าง ประกอบด้วยที่ราบตะกอนน้ำพา (alluvial plain), ที่ราบน้ำท่วมถึง (flood plain), ที่ราบตะพักลำน้ำ (terrace plain) และตะพักแม่น้ำ (river terrace) ระดับความสูงของพื้นที่มีตั้งแต่น้อยกว่า 50 เมตรไปจนถึง 50-100 เมตร (amsl.) พื้นที่ที่เป็นภูเขาส่วนใหญ่อยู่ทางด้านทิศใต้และ ด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีความยาวประมาณ 12-13 กิโลเมตร และมีระดับความสูง 150-400 เมตร (amsl.) ดังแสดงในรูปที่ 3.1

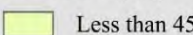
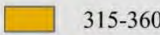
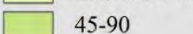
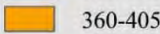
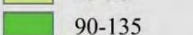
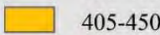
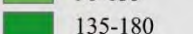
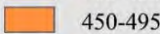
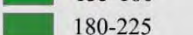
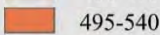
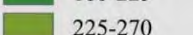
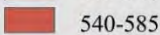
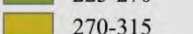
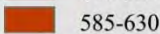
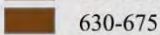


Legend

-  Stream
-  Reservoir
-  The study area

Explanation

Elevation (m.)

	Less than 45		315-360
	45-90		360-405
	90-135		405-450
	135-180		450-495
	180-225		495-540
	225-270		540-585
	270-315		585-630
			630-675

Data source:
The Royal Thai Survey Department, Thailand (RTSD)



รูปที่ 3.1 ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

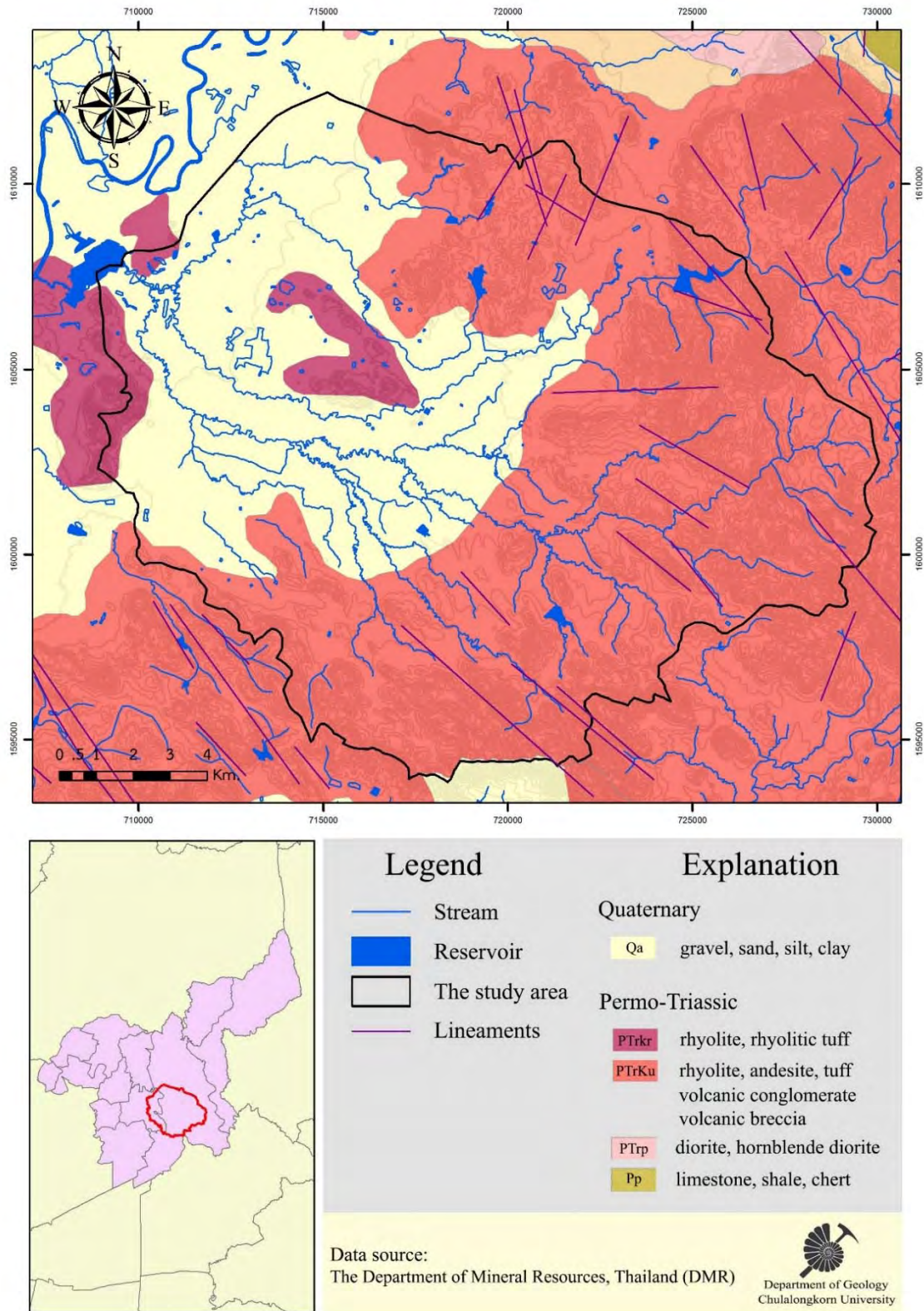


3.2 ลักษณะทางธรณีวิทยา

ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยหินอัคนี หินตะกอน และตะกอนควอเทอร์นารี โดยพื้นที่ในส่วนที่เป็นหินอัคนีครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 172.406 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็น 65.80 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด และพื้นที่ที่เป็นตะกอนควอเทอร์นารี ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 89.604 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 34.20 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.2

- **หินยุคเพอร์โมไทรแอสซิก** หินอัคนีส่วนใหญ่เป็นหินอัคนีฟู ในช่วงอายุเพอร์โมไทรแอสซิก ซึ่งเป็นกลุ่มหินภูเขาไฟขนาดใหญ่ (260-220 ล้านปี) ถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ หินภูเขาไฟขนาดใหญ่กลุ่มที่ 1 (PTrku) เป็นหินภูเขาไฟแยกประเภทไม่ได้ ซึ่งกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างในตอนกลาง และทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา โดยครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 161.646 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 61.69 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ประกอบด้วย หิน ไรโอไลต์ หินแอนดีไซต์ หินแก้วภูเขาไฟชนิดที่มีส่วนประกอบเป็นไรโอไลต์ หินแก้วภูเขาไฟชนิดที่มีส่วนประกอบเป็นแอนดีไซต์ หินกรวดภูเขาไฟ และหินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ และหินภูเขาไฟขนาดใหญ่กลุ่มที่ 2 (PTrkr) พบกระจายตัวเป็นพื้นที่เล็กๆบริเวณตอนกลาง และทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 10.76 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 4.11 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ประกอบด้วยหินไรโอไลต์ และหินไรโอลิติกทัฟฟ์

- **ตะกอนยุคควอเทอร์นารี** ตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว (unconsolidated sediments) กระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ตอนกลาง และทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 89.604 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 34.20 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินเหนียว, ทราย และ silts อย่างไรก็ตามตะกอนเหล่านี้เกิดจากแม่น้ำซึ่งพัดพาตะกอนมาสะสมตัวตามความยาวของทางน้ำ และบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึง



รูปที่ 3.2 ลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี
ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2551)



3.3 ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา

ทั้งนี้สามารถแบ่งชั้นหินให้น้ำบาดาลตามลักษณะอุทกธรณีวิทยาที่ปรากฏในพื้นที่ของอำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ประกอบด้วย แหล่งน้ำบาดาลในตะกอนร่วน (unconsolidated aquifer) และแหล่งน้ำบาดาลในหินแข็ง (consolidated aquifer) แสดงในรูปที่ 3.3

1) แหล่งน้ำบาดาลในตะกอนร่วน (Unconsolidated Aquifers) คือ แหล่งน้ำบาดาลที่มีน้ำบาดาลกักเก็บอยู่ในช่องว่างระหว่าง กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวที่ยังไม่สมาน หรือจับตัวเป็นก้อน มักสะสมตัวอยู่ในที่ราบลุ่มน้ำหลากของทางน้ำต่างๆ โดยความสามารถในการกักเก็บน้ำของกรวด และทรายจะได้อ่างหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ความหนาของชั้นกรวด ทราย การคัดขนาด และลักษณะของกรวด และทราย ถ้าชั้นน้ำมีการสะสมตัวของกรวด และทราย หนา มีการคัดขนาดดี คือ เม็ดตะกอนมีขนาดเท่าๆกัน และมีความกลมมนมาก จะเป็นแหล่งน้ำบาดาลที่ดีเพราะมีศักยภาพในการให้น้ำสูง จากการศึกษาข้อมูลของโครงการประเมินศักยภาพ และบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลในกลุ่มหินสระบุรี และพื้นที่ที่มีลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาซับซ้อนสามารถจำแนกสภาพอุทกธรณีวิทยาของแหล่งน้ำบาดาลในหินร่วนบริเวณแก่งคอย ออกเป็นชั้นน้ำใหญ่ๆ 1 ชั้นน้ำ คือ

- **ชั้นน้ำตะกอนธารน้ำพา (Qfd)** ประกอบไปด้วย ชั้นตะกอนของกรวดทราย และดินเหนียว เกิดจากการพัดพาของแม่น้ำป่าสัก และตะกอนลุ่มน้ำหลากของแม่น้ำเจ้าพระยา รวมทั้งตะกอนทางน้ำต่างๆ ที่เกิดเป็นบริเวณแคบๆ ตามลำน้ำ ตะกอนน้ำพาที่ถูกพบกระจายตัวอยู่ในบริเวณตอนกลาง และด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ความหนาของชั้นตะกอนอยู่ระหว่าง 20-150 เมตร โดยน้ำบาดาลจะถูกกักเก็บอยู่ภายในช่องว่างระหว่างเม็ดกรวดและทรายที่แทรกสลับอยู่ภายในชั้นดินเหนียวปนทราย ทั้งนี้ตะกอนน้ำพาที่ถูกพบบริเวณลุ่มน้ำป่าสักจะมีความลึกระหว่าง 10-20 เมตร มักได้รับน้ำโดยตรงจากแม่น้ำป่าสัก (Direct Recharge) ซึ่งให้น้ำที่ดีคุณภาพดีถึงปานกลาง ส่วนบริเวณอื่นๆ ให้น้ำคุณภาพปานกลางถึงกร่อยเค็ม ปริมาณน้ำบาดาลที่ได้อยู่ในเกณฑ์ 2-20

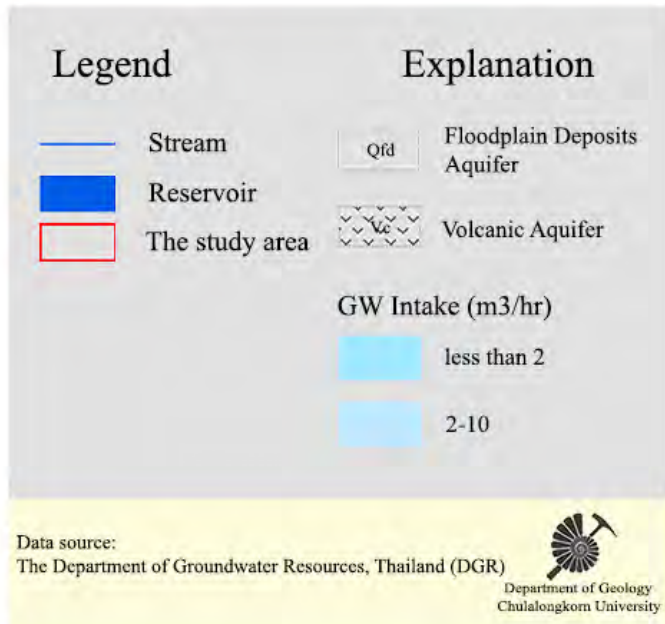
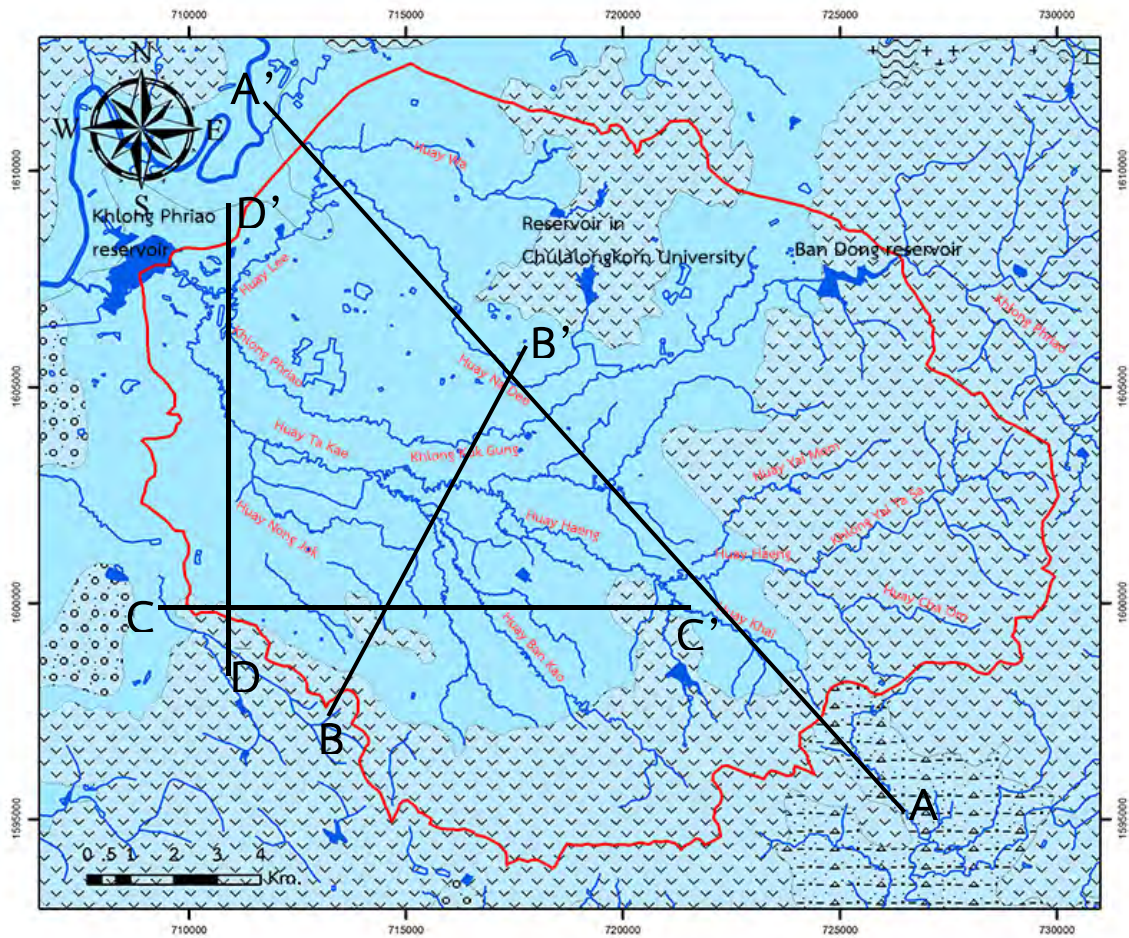
ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง บริเวณที่ให้น้ำบาดาลในปริมาณสูง ได้แก่ บริเวณด้านทิศตะวันตกและตะวันตกเฉียงใต้ของจังหวัดสระบุรี

2) แหล่งน้ำบาดาลในหินแข็ง (Consolidated Aquifers) คือ แหล่งน้ำบาดาลที่มีน้ำบาดาลกักเก็บอยู่ในช่องว่างของโครงสร้างชั้นหินต่างๆ ได้แก่ ช่องว่างของรอยแตก รอยแยก (Fissured Zones) รอยเลื่อนในเนื้อหิน (Fault Zones) หรือในบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างชั้นหิน (Contact Zones) โพรงถ้ำใต้ผิวดิน (Underground Cavities) หรือเป็นพื้นที่ที่เป็นโซนของหินผุ ดังนั้น ปริมาณของน้ำบาดาลจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของหินแข็ง และขนาดของโครงสร้างในพื้นที่นั้นๆ ถ้ารอยแตกของหินมีขนาดใหญ่ และต่อเนื่องกันจะมีความสามารถในการกักเก็บน้ำบาดาลได้สูง และเป็นแหล่งน้ำบาดาลที่ดี ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลอุทกธรณีวิทยาของโครงการประเมินศักยภาพ และบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลในกลุ่มหินสระบุรี และพื้นที่ที่มีลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาซับซ้อน (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2554) สามารถจำแนกสภาพอุทกธรณีวิทยาของแหล่งน้ำบาดาลในหินแข็ง บริเวณอำเภอแก่งคอย ออกเป็นชั้นน้ำใหญ่ๆ 1 ชั้นน้ำ คือ

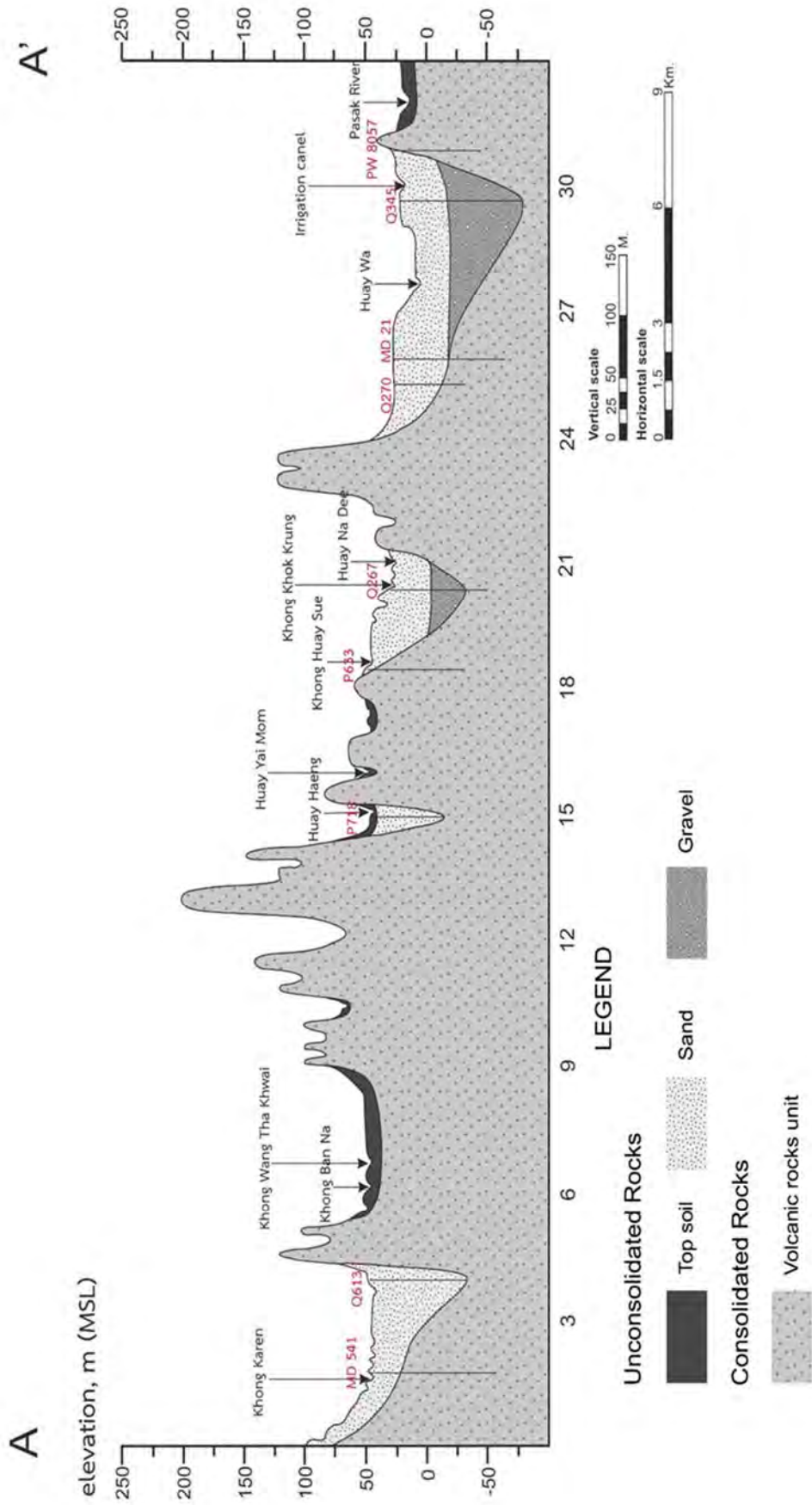
- **ชั้นหินภูเขาไฟ (Volcanic Aquifer: Vc)** เป็นชั้นน้ำซึ่งวางตัวอยู่ด้านล่างของชั้นน้ำตะกอนธารน้ำพา บางบริเวณอาจพบอยู่ในระดับตื้น เช่นบริเวณหุบเขา หรือตีนเขา ทางตอนกลางและด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ และพบอยู่ในระดับลึกบริเวณด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย หินไรโอไลต์ หินแอนดีไซต์ หินทัฟฟ์ และหินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ น้ำบาดาลจะถูกกักเก็บอยู่ภายในรอยแตก รอยแยกของหิน และโซนหินผุ หรือรอยเลื่อนภายในชั้นหิน โดยที่ระดับความลึกประมาณ 20-40 เมตร มีปริมาณน้ำสูงประมาณ 2-10 ลูกบาศก์เมตรต่อเซนติเมตร บางบริเวณที่ระดับความลึกประมาณ 60-70 เมตร มีปริมาณน้ำสูงถึง 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง



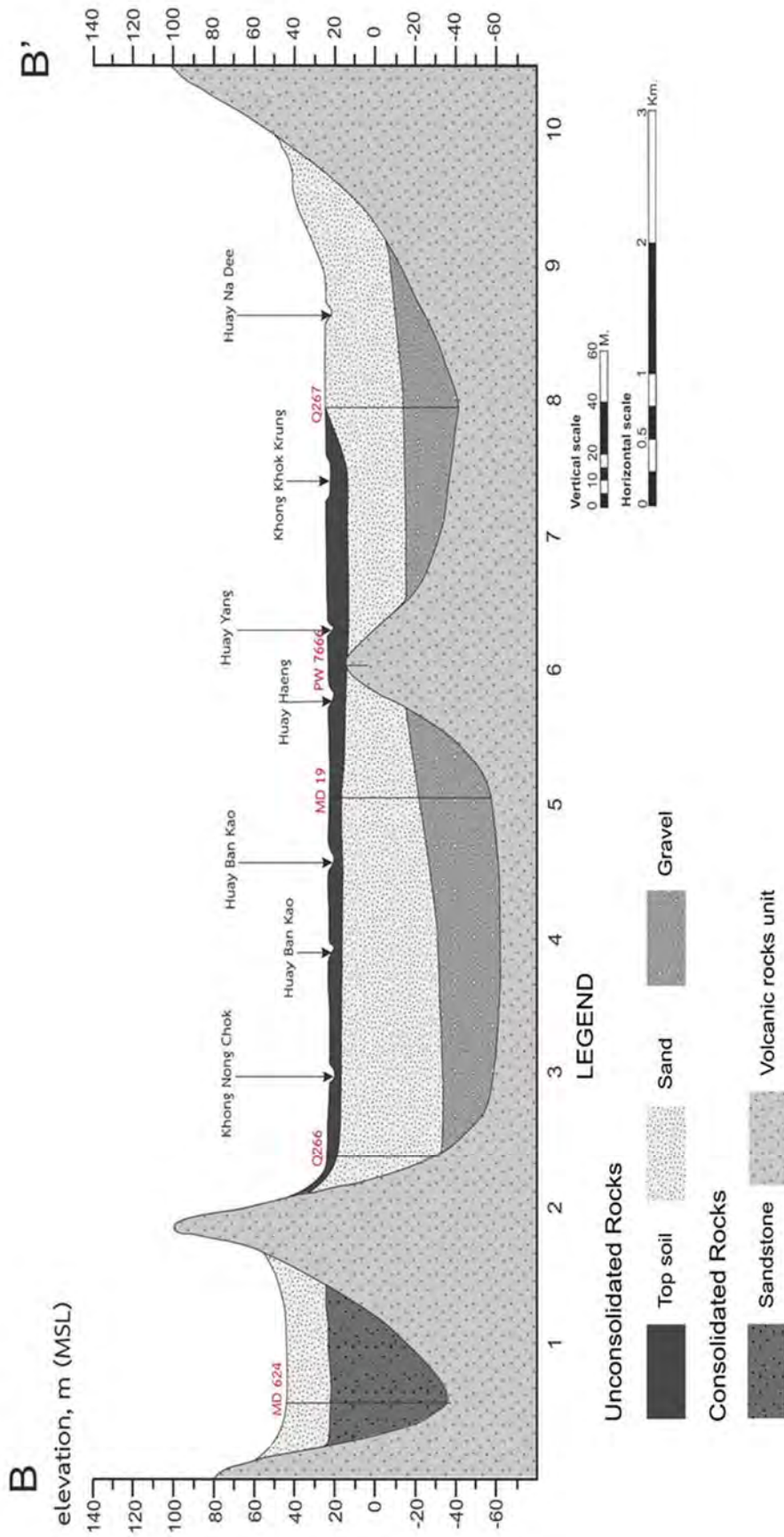
ให้น้ำคุณภาพดี ในทางอุทกธรณีวิทยา กลุ่มหินภูเขาไฟนี้มักมีความผุกร่อนสูง และสลายตัวเป็นชั้นดินเหนียวที่ค่อนข้างหนา ทั่วไปมักเจาะพบชั้นดินเหนียวหนาระหว่าง 10-50 เมตร บางบริเวณมีความหนามากกว่า 80 เมตร ซึ่งความหนาจะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ โดยมีความหนาเฉลี่ยตั้งแต่ 13-110 เมตร ดังนั้นการนำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ จำเป็นต้องเจาะในแนวรอยแตกของชั้นหินภูเขาไฟ ซึ่งปริมาณน้ำที่นำขึ้นมาใช้ได้อยู่ในเกณฑ์ 5-15 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และเนื่องจากพื้นที่จังหวัดสระบุรี เป็นพื้นที่ที่อยู่ในแนวรอยเลื่อนแม่ปิง ฉะนั้นจึงมีโอกาสพบชั้นน้ำบาดาลที่มีศักยภาพสูง



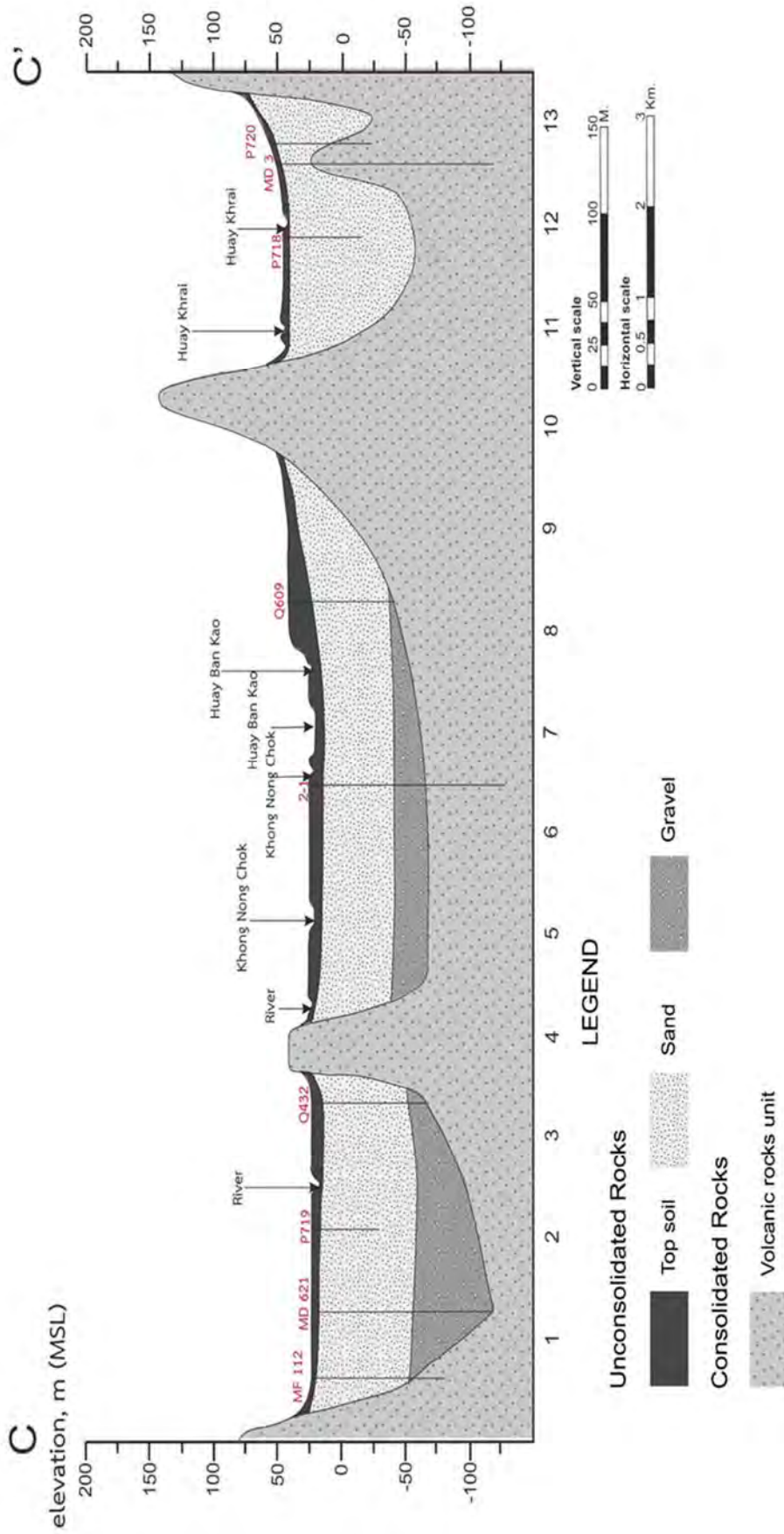
รูปที่ 3.3 ลักษณะอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี



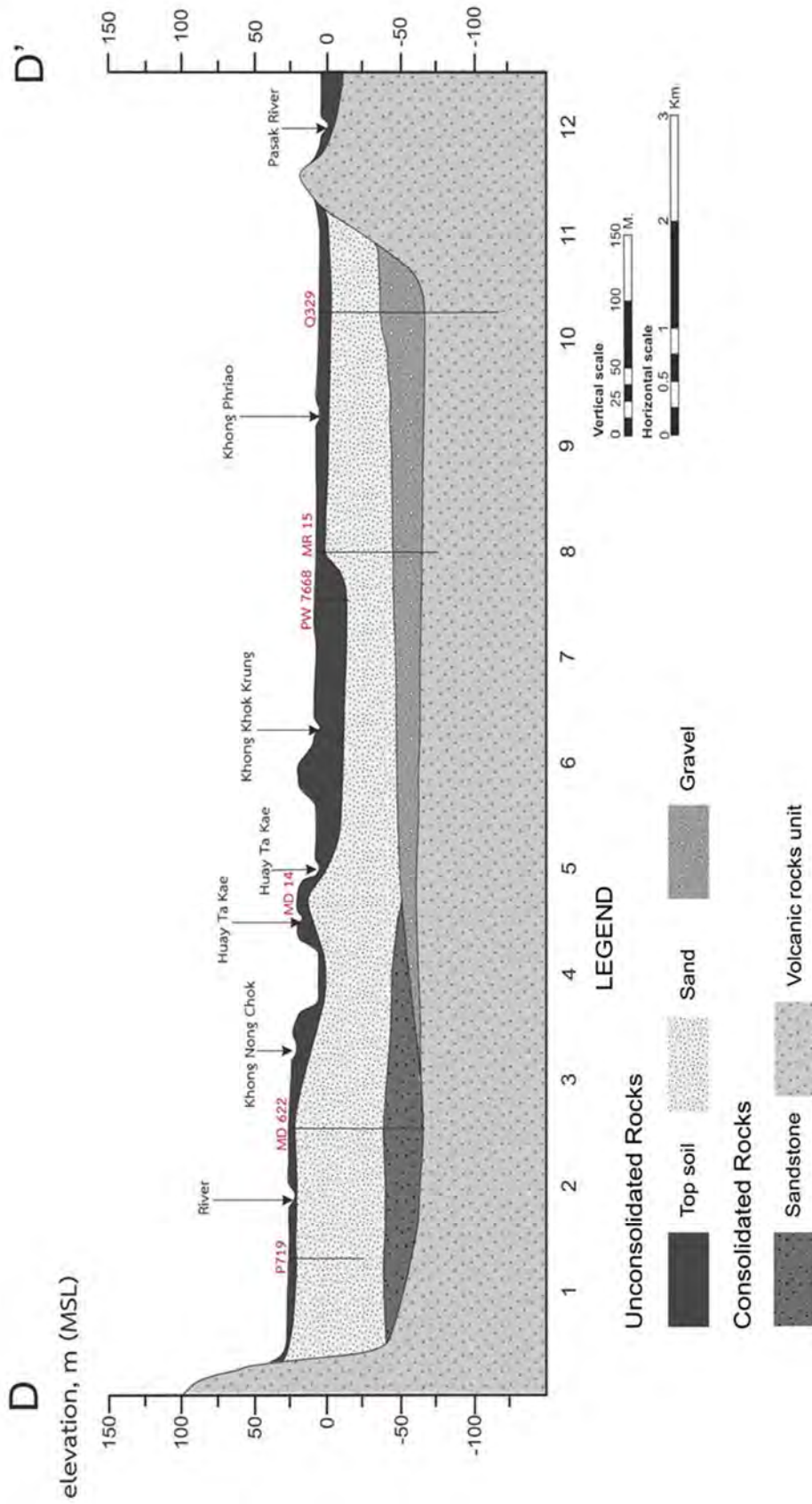
รูปที่ 3.4 แสดงภาพตัดขวางแนว A-A' ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี



รูปที่ 3.5 แสดงภาพตัดขวางแนว B-B' ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี



รูปที่ 3.6 แสดงภาพตัดขวางแนว C-C' ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี



รูปที่ 3.7 แสดงภาพตัดขวางแนว D-D' ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี



3.4 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศของอำเภอแก่งคอยนั้น มีความคล้ายคลึงกับสภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปของจังหวัดสระบุรี กล่าวคือ มีทั้งหมด 3 ฤดูกาล ซึ่งลักษณะอากาศที่ปรากฏนี้อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ชนิด ได้แก่ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ลักษณะอากาศเป็นแบบหนาวเย็น และแห้ง และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้มีฝนชุก และอากาศชุ่มชื้น โดยฤดูร้อน อยู่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ฤดูฝน อยู่ในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม และฤดูหนาว อยู่ในช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ และเนื่องจากพื้นที่ของจังหวัดสระบุรีอยู่ลึกเข้ามาในแผ่นดิน ดังนั้นในช่วงฤดูร้อนอากาศจึงค่อนข้างร้อนอบอ้าว และไม่หนาวจัดในช่วงฤดูหนาว

1) **อุณหภูมิ** โดยเฉลี่ยบริเวณจังหวัดสระบุรีมีอุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ย อยู่ระหว่าง 22.5 ถึง 31.0 องศาเซลเซียส ช่วงที่อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดจะอยู่ในเดือนธันวาคม ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในเดือนเมษายน สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีมีค่าอยู่ระหว่าง 25.9 ถึง 28.8 องศาเซลเซียส

2) **ความชื้นสัมพัทธ์** โดยเฉลี่ยบริเวณจังหวัดสระบุรีมีค่าความชื้นสัมพัทธ์รายเดือน เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 60.0 ถึง 84.6 เปอร์เซ็นต์ เดือนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด คือ เดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และธันวาคม ส่วนเดือนที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด คือ เดือนกันยายน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมโดยตรง กล่าวคือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้นำความชุ่มชื้นมาให้ ในขณะที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือนำเอาความแห้งแล้งมาให้ ทั้งนี้ค่าความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 69.9 ถึง 75.9 เปอร์เซ็นต์

3) **ความครึ้มเมฆ** โดยเฉลี่ยบริเวณจังหวัดสระบุรี มีค่าความครึ้มเมฆรายเดือนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.3 ถึง 8.6 อ็อกต้า (10 ส่วนของท้องฟ้า) ช่วงที่มีความครึ้มของเมฆต่ำสุดอยู่ในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และธันวาคม ส่วนช่วงที่มีความครึ้มของเมฆสูงสุด อยู่ในเดือนกรกฎาคม สิงหาคม และกันยายน สำหรับค่าเฉลี่ยความครึ้มของเมฆทั้งปีมีค่าประมาณ 5.3 ถึง 6.0 อ็อกต้า (10 ส่วนของท้องฟ้า)

4) **ความเร็วลม** ความเร็วลมบริเวณจังหวัดสระบุรี มีค่าอยู่ระหว่าง 0.6 ถึง 7.3 น็อต โดยเดือนกรกฎาคม และกันยายน เป็นเดือนที่มีความเร็วลมเฉลี่ยต่ำที่สุด และเดือนตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม เป็นเดือนที่มีความเร็วลมเฉลี่ยสูงที่สุด

5) **ปริมาณการระเหย** โดยทั่วไปแล้วปริมาณการระเหยมีค่าต่ำในช่วงฤดูฝน และมีค่าสูงในช่วงฤดูร้อน ปริมาณการระเหยรายเดือนเฉลี่ยมีค่าผันแปรอยู่ระหว่าง 94.2 ถึง 163.7 มิลลิเมตร ซึ่งเดือนมีนาคม และเมษายน เป็นเดือนที่มีปริมาณการระเหยเฉลี่ยสูงสุด ในขณะที่เดือนสิงหาคม กันยายน ตุลาคม และพฤศจิกายน เป็นเดือนที่มีปริมาณการระเหยเฉลี่ยต่ำสุด ค่าปริมาณการระเหยที่วัดจากภาควัดการระเหยรวมทั้งปี มีค่าอยู่ระหว่าง 2,667.7 ถึง 4,126.6 มิลลิเมตร

6) **ปริมาณฝน** จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝน ซึ่งตรวจวัดโดยสถานีอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงจังหวัดสระบุรี จำนวนทั้งสิ้น 8 สถานี และสถานีตรวจวัดปริมาณฝนในจังหวัดสระบุรี จำนวนทั้งสิ้น 24 สถานี เมื่อนำมาคำนวณปริมาณน้ำฝนรวมเฉลี่ยรายปีจากสถานีอุตุนิยมวิทยา และสถานีตรวจวัดปริมาณฝน ตั้งแต่ พ.ศ.2527-2556 พบว่ามีปริมาณน้ำฝนรวมเฉลี่ยรายปีของทุกสถานีอยู่ที่ประมาณ 1,140 มิลลิเมตร โดยพื้นที่ ที่อยู่ทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา จะมีปริมาณน้ำฝนที่ระดับต่ำกว่าพื้นที่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้



3.5 แหล่งน้ำธรรมชาติ และระบบลำน้ำในพื้นที่

จังหวัดสระบุรี มีแม่น้ำป่าสักเป็นแหล่งน้ำหลัก และมีคลอง ลำห้วย และหนอง บึง ที่มีน้ำตลอดปีกระจาย
อยู่ในพื้นที่ต่างๆ

3.5.1 แม่น้ำป่าสัก มีต้นน้ำมาจากเทือกเขาเพชรบูรณ์ จังหวัดเลย จากนั้นไหลผ่านจังหวัดเพชรบูรณ์ ลง
มาทางทิศใต้ผ่านจังหวัดลพบุรี และไหลเข้าสู่จังหวัดสระบุรี ผ่านอำเภอวังม่วง อำเภอมวกเหล็ก อำเภอแก่งคอย
อำเภอเมืองสระบุรี และอำเภอเสาไห้ (รวมความยาวประมาณ 102 กิโลเมตร) แล้วไหลรวมกับแม่น้ำเจ้าพระยาที่
อำเภอท่าเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (รวมความยาวประมาณ 513 กิโลเมตร) โดยบริเวณรอยต่อระหว่าง
จังหวัดลพบุรีกับจังหวัดสระบุรี จะมีเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์เป็นแหล่งกักเก็บน้ำ ซึ่งมีปริมาณกักเก็บน้ำสูงสุด 960 ล้าน
ลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้พื้นที่บริเวณแม่น้ำป่าสัก เป็นพื้นที่ที่มีความสมบูรณ์มาก และมีประชากรตั้งถิ่นฐานอยู่อย่าง
หนาแน่น ดังนั้นแม่น้ำป่าสักจึงเป็นแหล่งน้ำผิวดินที่สำคัญสำหรับทำเกษตรกรรม และเพื่ออุปโภคบริโภค โดย
คุณภาพน้ำของแม่น้ำป่าสักจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

3.5.2 ลำห้วยมวกเหล็ก มีต้นน้ำบริเวณเขาอินทนิ์ในเขตอำเภอแก่งคอย จากนั้นจะไหลขึ้นไปทางทิศ
เหนือผ่านตำบลมิตรภาพ และตำบลมวกเหล็ก อำเภอมวกเหล็ก ตำบลคำพราน และตำบลแสงพัน อำเภอวังม่วง
ซึ่งเป็นเส้นแบ่งเขตจังหวัดนครราชสีมา กับจังหวัดสระบุรี จากนั้นจะไหลรวมกับแม่น้ำป่าสักบริเวณบ้านปากน้ำ
ตำบลคำพราน อำเภอวังม่วง (รวมความยาวประมาณ 84 กิโลเมตร) เนื่องจากเป็นลำห้วยที่ไหลผ่านบริเวณภูเขา
จึงมีแก่งน้ำ และน้ำตกมากมาย และเป็นแหล่งท่องเที่ยวต่างๆ ได้แก่ น้ำตกมวกเหล็ก น้ำตกดวงพญาเย็น และ
น้ำตกเจ็ดสาวน้อย นอกจากนี้ยังพบลำน้ำสาขาที่สำคัญ ได้แก่ ห้วยแล้ง และห้วยซับบาง

3.5.3 ห้วยบ้านท่ามะปราง มีต้นน้ำอยู่บริเวณเขาโกรกสีดา เขตอำเภอแก่งคอย จากนั้นจะไหลไป
ทางด้านทิศตะวันตก เพื่อไปบรรจบกับห้วยแล้ง (เกิดจากเทือกเขาโกรกสีดา) บริเวณบ้านท่ามะปราง และไหล
ต่อไปบรรจบกับห้วยตะเคียน ผ่านตำบลปากเพรียง อำเภอเมือง ลงสู่แม่น้ำป่าสัก

3.5.4 ห้วยใหญ่ มีต้นน้ำอยู่ที่เขาคลองใหญ่ และเขาอินทนิ์ในเขตอำเภอแก่งคอย จากนั้นจะไหลลงมา
ทางด้านทิศใต้ ผ่านตำบลชะอม ก่อนไหลเข้าสู่เขตอำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก ซึ่งในช่วงฤดูแล้งห้วยจะมี
ลักษณะตื้นเขิน ส่วนในฤดูฝนจะมีน้ำหลากท่วมฝั่งเกือบทุกปี

3.5.5 ลำห้วยธารทองแดง มีต้นน้ำมาจากจังหวัดลพบุรีซึ่งจะไหลผ่านตำบลพุดคำจาน และตำบลธารเกษม
อำเภอพระพุทธบาท โดยจะไหลมารวมกับคลองธารเกษม ซึ่งมีต้นน้ำอยู่บริเวณเขาโพล่ง-เขาวง ตำบลพุดกว้าง และ
ตำบลเขาวง ก่อนไหลออกบริเวณทุ่งหนองโดน

3.5.6 คลองปากเพรียว เป็นคลองที่รับน้ำมาจากคลองทุ่งสาธิตา คลองพวง และคลองเขาไม้โค่น เมื่อไหล
มารวมกับน้ำฝนที่ตกบริเวณตำบลกุดนกเป่า และตำบลหนองปลาไหล จะมีอ่างเก็บน้ำชลประทานคลองเพรียว
บริเวณตำบลปากเพรียว มารองรับก่อนไหลรวมกับแม่น้ำป่าสัก ซึ่งปริมาณกักเก็บน้ำประมาณ 375,000 ลูกบาศก์
เมตร

3.5.7 คลองปากบาง จะรับน้ำมาจากคลองห้วยแร่ และห้วยผึ้ง จากนั้นจะรวมกับน้ำฝนที่ตกบริเวณพื้นที่
บางส่วนของตำบลห้วยบง ตำบลเขาหินพัฒนา ตำบลผึ้งรวง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ และตำบลวังงาม ตำบลบ้าน
ยาง อำเภอเสาไห้ และจึงไหลรวมกับแม่น้ำป่าสัก



3.5.8 คลองเรียงราง เป็นคลองที่ต่อเชื่อมกับแม่น้ำป่าสัก ซึ่งอยู่บริเวณเกือบสุดเขตที่แม่น้ำป่าสักไหลผ่านจังหวัดสระบุรี ทั้งนี้บริเวณนี้ยังเป็นที่รองรับน้ำจากห้วยป่าหวาย ห้วยศาลเจ้า หนองหลวง หนองบ้านคร้ว ก่อนไหลลงสู่แม่น้ำป่าสัก ในช่วงฤดูน้ำหลากน้ำจากแม่น้ำป่าสักจะไหลย้อนผ่านคลองเรียงรางเข้าทุ่งราบ บริเวณตำบลบ้านคร้ว อำเภอบ้านหมอ และลดระดับลง ทำให้ระดับน้ำในคลองเรียงรางเท่ากับระดับน้ำในแม่น้ำป่าสัก

อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ไม่มีโครงการพัฒนาแหล่งน้ำที่มีขนาดใหญ่ มีเพียงโครงการชลประทานขนาดกลาง และขนาดเล็ก โดยโครงการอ่างเก็บน้ำขนาดกลางที่สำคัญ ได้แก่ อ่างเก็บน้ำบ้านดง ความจุ 3.18 ล้าน ลบ.ม พื้นที่รับประโยชน์ 7,000 ไร่ และอ่างเก็บน้ำในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ความจุ 0.7 ล้าน ลบ.ม ส่วนโครงการอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กที่สำคัญ ได้แก่ อ่างเก็บน้ำบ้านโคกเชือก และในพื้นที่ยังมีอ่างเก็บน้ำที่สำคัญอีก 1 อ่าง ซึ่งอยู่ในอำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี คือ อ่างเก็บน้ำคลองเพรียว เพราะเป็นอ่างเก็บน้ำที่รับน้ำทั้งหมดที่ไหลผ่านในพื้นที่ศึกษา โดยมีความจุ 4.50 ล้าน ลบ.ม. และมีพื้นที่รับประโยชน์ 91,900 ไร่ นอกจากนี้แม่น้ำส่วนใหญ่ที่พบในพื้นที่ศึกษาจะมีขนาดเล็ก และมีน้ำไหลไม่ตลอดทั้งปี ได้แก่ ห้วยห้วย คลองเพรียว ห้วยแห้ง ห้วยยายม่อม ห้วยชะอม ห้วยไคร้ ห้วยบ้านเก่า ห้วยหนองจอก ห้วยลี และห้วยตะเข้ ซึ่งทางน้ำเหล่านี้มีต้นกำเนิดมาจากทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา โดยทางน้ำจะไหลตามความชันของพื้นที่จากด้านทิศตะวันออกไปทางด้านทิศตะวันตกก่อนลงสู่อ่างเก็บน้ำขนาดเล็กและบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำ

3.6 ทรัพยากรดิน

จากการศึกษาลักษณะของดินของอำเภอแก่งคอย และอำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี สามารถแบ่งดินในพื้นที่ศึกษาได้ทั้งหมด 12 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ได้แก่

3.6.1 ชุดดินพื้นที่ลาดเชิงซ้อน (Slope complex, SC) พบบริเวณพื้นที่ลาดเชิงซ้อนที่มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ โดยพื้นที่บริเวณนี้ยังไม่มีการศึกษา สำรวจ และจำแนกดิน เนื่องจากสภาพพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ซึ่งยากต่อการจัดการดูแลสำหรับทำเกษตรกรรม ทั้งนี้ลักษณะของดิน และความอุดมสมบูรณ์ขึ้นอยู่กับชนิดหินต้นกำเนิด และจะพบทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 84.716 ตารางกิโลเมตร

3.6.2 ชุดดินที่ไม่สามารถจำแนกประเภทได้ (Hup Krapong series, Hg) เป็นกลุ่มดินที่ผุพังมาจากเศษหินเชิงเขา ซึ่งผุพังและร่วงลงมาทับถมบริเวณเชิงเขา มีลักษณะของดิน และสมบัติของดินที่ไม่แน่นอน มักจะพบจึงพบเศษหิน หรือก้อนหินกระจายตัวอยู่ในเนื้อดิน และพบดินชนอนนี้บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา

3.6.3 ชุดดินแก่งคอย (Nong Kae series, Nk) พบบริเวณเนินเขา ไหล่เขา และเชิงเขา ซึ่งมีลักษณะพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงลูกคลื่นลอนชัน โดยมีความลาดชันประมาณ 2-20 เปอร์เซ็นต์ พบทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา และครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 62.878 ตารางกิโลเมตร เป็นดินที่เกิดจากการผุพังสลายตัวของหินอัคนีประเภทแอนดีไซต์ และหินอัคนีชนิดอื่นในกลุ่มเดียวกัน มีลักษณะเป็นดินต้นถึงชั้นเศษหินหนาแน่นตั้งแต่ระดับความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน และพบชั้นหินพื้นที่กำลังสลายตัวที่ความลึกประมาณ 80 เซนติเมตรลงไป ดินชั้นบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนดินเหนียว มีน้ำตาลเข้มมาก หรือสีน้ำตาลปนแดงเข้ม ส่วนดินชั้นล่างเป็นดินร่วนปนดินเหนียวถึงดินเหนียวมีเศษหินปะปนมาก มีสีน้ำตาลปนแดง หรือสีแดงปนเหลือง และเนื่องจากดินประเภทนี้อยู่บริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ดินจะถูกชะล้างพังทลายได้ง่าย

3.6.4 ชุดดินหินกอง (Watthana series, Wa) พบบริเวณพื้นที่ที่มีความราบเรียบ และมีความลาดชันประมาณ 0-2 เปอร์เซ็นต์ โดยเกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำพา ซึ่งทับถมตัวอยู่บนที่ราบตะกอนน้ำพา และ



ตะกักน้ำ จะพบเป็นส่วนมากบริเวณตอนกลาง และด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 52.422 ตารางกิโลเมตร เป็นดินลึก ซึ่งดินชั้นบนเป็นดินร่วนปนทรายแฉ่ง มีสีน้ำตาล ส่วนดินชั้นบนตอนล่าง เป็นดินร่วนทรายแฉ่ง หรือ ดินร่วนเหนียวปนทรายแฉ่ง มีสีเทา สีเทาอ่อน สีเทาปนชมพู และมีจุดประสีน้ำตาลแก่ หรือสีน้ำตาลปนเหลือง และดินชั้นล่างอาจพบจุดประสีแดง หากลึกลงไปมากกว่านี้อาจพบก้อนกรวด และแมงกานีสสะสมตัวอยู่

3.6.5 ชุดดินท่าม่วง (Renu series, Rn) เป็นดินที่เกิดบริเวณพื้นที่ราบ มีความชันของพื้นที่ประมาณ 1-5 เปอร์เซ็นต์ และเกิดจากตะกอนน้ำพา โดยดินชั้นบนเป็นดินร่วนปนทรายแฉ่ง ดินร่วนเหนียวปนทรายแฉ่ง ดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาล สีน้ำตาลเข้ม และสีน้ำตาลปนเทา ในส่วนของดินชั้นล่างพบว่าไม่มีสีและลักษณะของดินไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับตะกอนน้ำพาที่สะสมในแต่ละปี เนื้อดินจะเป็นดินร่วนปนทรายแฉ่ง ดินร่วน หรือดินร่วนเหนียวปนทรายสลับกันไปมา มีสีน้ำตาล หรือสีน้ำตาลปนเหลือง อาจพบจุดประสีในดินชั้นนี้ที่ความลึกประมาณ 50-100 เซนติเมตรนับจากผิวดิน และพบเกล็ดแร่ไมกาปะปนอยู่ตลอดหน้าดิน

3.6.6 ชุดดินมโนรมย์ (Pran Buri series, Pr) พบบริเวณพื้นที่ที่มีความราบเรียบ และมีความลาดชันประมาณ 0-2 เปอร์เซ็นต์ โดยเกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำพา ซึ่งทับถมตัวอยู่บนที่ราบตะกอนน้ำพา และตะกักน้ำ ซึ่งดินชั้นบนเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทรายแฉ่ง หรือดินร่วนปนดินเหนียว มีสีเทาเข้ม ส่วนดินชั้นล่างเป็นดินเหนียว มีสีน้ำตาลปนเทาถึงสีเทา หรือสีเทาอ่อน มีจุดประสีแดงปนเหลือง และสีแดง พบศิลาแลงอ่อน ก้อนเหล็ก และแมงกานีสสะสมในดินชั้นนี้ บางบริเวณอาจพบสะสมตัวตลอดหน้าตัดดิน

3.6.7 ชุดดินอัน (Tha Yang series, Ty) พบบริเวณพื้นที่ที่มีความราบเรียบ และมีความลาดชันประมาณ 0-2 เปอร์เซ็นต์ โดยเกิดจากการทับถมของตะกอนที่ถูกชะลงมาสะสมตัวในบริเวณพื้นที่ต่ำ เป็นดินระดับตื้น ถึงชั้นลูกรัง ดินชั้นบนเป็นดินร่วนปนทราย หรือดินทรายนดินร่วน สีน้ำตาลปนเทา หรือสีน้ำตาล ดินชั้นล่างเป็นดินเหนียวปนทรายและก้อนกรวดมาก มีสีเทาอ่อน สีเทาปนชมพู พบชั้นลูกรังที่ยึดเกาะกันค่อนข้างแน่น เป็นแผ่นแข็งภายในระดับความลึก 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ไตชั้นนี้ลงไปพบดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทราย สีขาว หรือสีเทาอ่อน ซึ่งมีจุดประสีแดง สีเหลือง และสีน้ำตาลตลอดหน้าตัดดิน

3.6.8 ชุดดินโคราช (Lat Ya series, Ly) พบบริเวณพื้นที่ที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย และมีความลาดชันประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์ โดยเกิดจากการตะกอนของหินตะกอนที่มีลักษณะเนื้อหยาบ เป็นดินระดับลึก ซึ่งดินชั้นบนเป็นดินทรายนดินร่วน หรือดินร่วนปนทราย มีสีน้ำตาลเข้ม หรือสีน้ำตาล ดินชั้นล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ส่วนใหญ่มิอนุภาคดินเหนียวไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ มีสีน้ำตาล หรือสีน้ำตาลปนเหลือง อาจพบสีเทาปนน้ำตาล สีเทา หรือสีเทาปนชมพูในดินชั้นล่างที่ลึกลงไป พบจุดประสีน้ำตาลแก่ หรือสีเหลืองปนแดง ที่ระดับความลึกมากกว่า 100 เซนติเมตรจากผิวดิน อาจพบก้อนเหล็กสะสมตัวที่ดินชั้นนี้ด้วย

3.6.9 ชุดดินสกล (Sattahip series, Sh) พบบริเวณพื้นที่ที่มีความราบเรียบ และมีความลาดชันประมาณ 0-2 เปอร์เซ็นต์ โดยเกิดจากการทับถมของตะกอนที่ถูกชะลงมาสะสมตัวในบริเวณหินตะกอนเนื้อละเอียด เป็นดินระดับตื้นถึงชั้นของศิลาแลง ซึ่งดินชั้นบนเป็นดินร่วน หรือดินร่วนปนทราย (ปนกรวดลูกรัง) มีสีเทาเข้ม หรือสีน้ำตาลเข้ม ดินชั้นล่างเป็นดินร่วนปนกรวด หรือดินร่วนเหนียวปนกรวดลูกรัง มีสีน้ำตาลหรือน้ำตาลเข้ม พบแผ่นศิลาแลงที่ระดับ 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ซึ่งจับตัวเป็นชั้นดานขนาดใหญ่ และแข็งจนไม่สามารถเจาะผ่านได้ บางแห่งพบหน้าดินถูกชะล้างจนถึงชั้นศิลาแลง

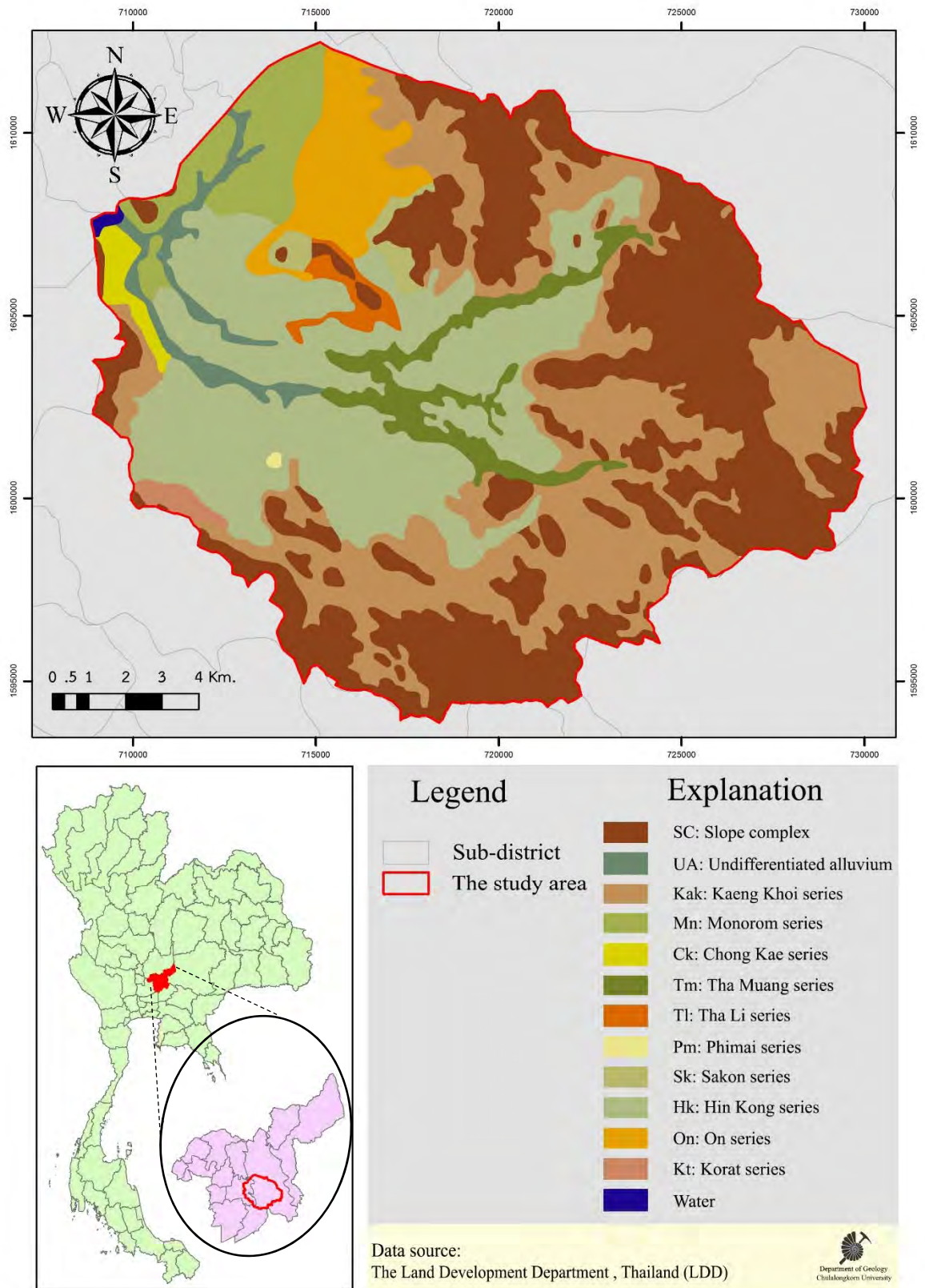
3.6.10 ชุดดินท่าลี่ (Sattahip series, Sh) พบบริเวณพื้นที่ภูเขา เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย ถึงลูกคลื่นลอนชัน และมีความลาดชันประมาณ 3-20 เปอร์เซ็นต์ โดยเกิดจากการผุพังสลายตัวของหินแอนดีไซต์ และ



หินอัคนีชนิดอื่นในกลุ่มเดียวกัน ตลอดจนเกิดจากวัสดุหิน หรือหินที่เคลื่อนที่ลงมาตามแรงโน้มถ่วงบริเวณเชิงเขา เป็นดินระดับต้นถึงชั้นเศษหินที่มีความหนาแน่นที่ระก้าความลึกประมาณ 50 เซนติเมตรจากผิวดิน และพบชั้นหินฐานที่กำลังสลายตัวที่ความลึกตั้งแต่ 80 เซนติเมตร ดินชั้นบนเป็นดินร่วน หรือดินร่วนปนดินเหนียว สีน้ำตาลเข้มมาก หรือสีน้ำตาลปนแดงเข้ม ส่วนดินชั้นล่างเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ถึงดินเหนียวที่มีเศษหินปะปนมาก สีน้ำตาลปนแดง หรือสีแดงปนเหลือง

3.6.11 ชุดดินซ่องแค (Sattahip series, Sh) พบบริเวณพื้นที่ที่มีความราบเรียบ และมีความลาดชันประมาณ 0-1 เปอร์เซ็นต์ โดยเกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำพามาสะสมตัวอยู่บนตะพักลำน้ำใหม่ เป็นดินในระดับลึกมาก เนื้อดินเป็นดินเหนียวทั้งชั้นบนและล่าง ซึ่งดินชั้นบนมีสีเทาเข้มถึงสีน้ำตาลปนเทา ดินชั้นล่างมีสีน้ำตาลปนเทา หรือสีเทา พบจุดประสีแดงตลอดทั้งหน้าตัดดิน ช่วงฤดูแล้งหน้าดินจะมีรอยแตกกระแหงกว้าง และลึก และพบรอยไถลในดินชั้นล่าง

3.6.12 ชุดดินพิมาย (Sattahip series, Sh) พบบริเวณพื้นที่ที่มีความราบเรียบ และมีความลาดชันน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ โดยเกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำพาบनที่ราบน้ำท่วมถึง เป็นดินระดับลึก เนื้อดินเป็นดินเหนียว หน้าดินมีสีเทาเข้ม หรือสีน้ำตาลปนเทาเข้ม ดินชั้นล่างมีสีเทา หรือสีเทาอ่อน พบจุดประสีน้ำตาลแก่ สีน้ำตาลปนเหลือง น้ำตาลปนแดง หรือแดงปนเหลืองตลอดหน้าตัดดิน ในช่วงฤดูแล้งหน้าดินแตกกระแหงกว้าง และลึก พบรอยไถลชัดเจน และอาจพบก้อนเหล็ก หรือแมงกานีสสะสมอยู่ในดินชั้นล่าง



รูปที่ 3.8 แผนที่ชนิดดินของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

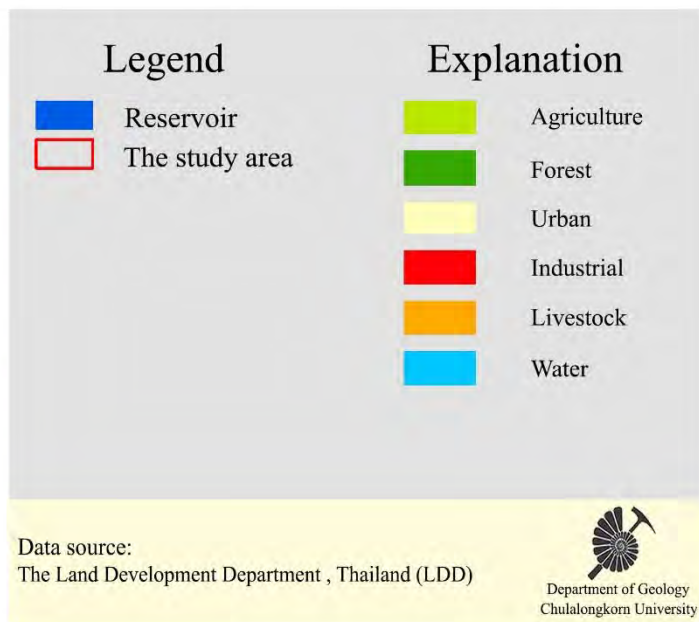
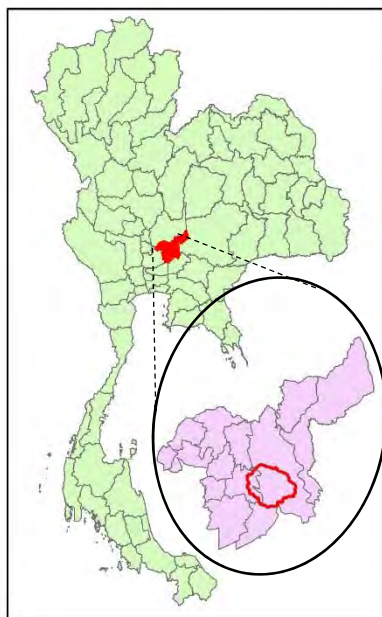
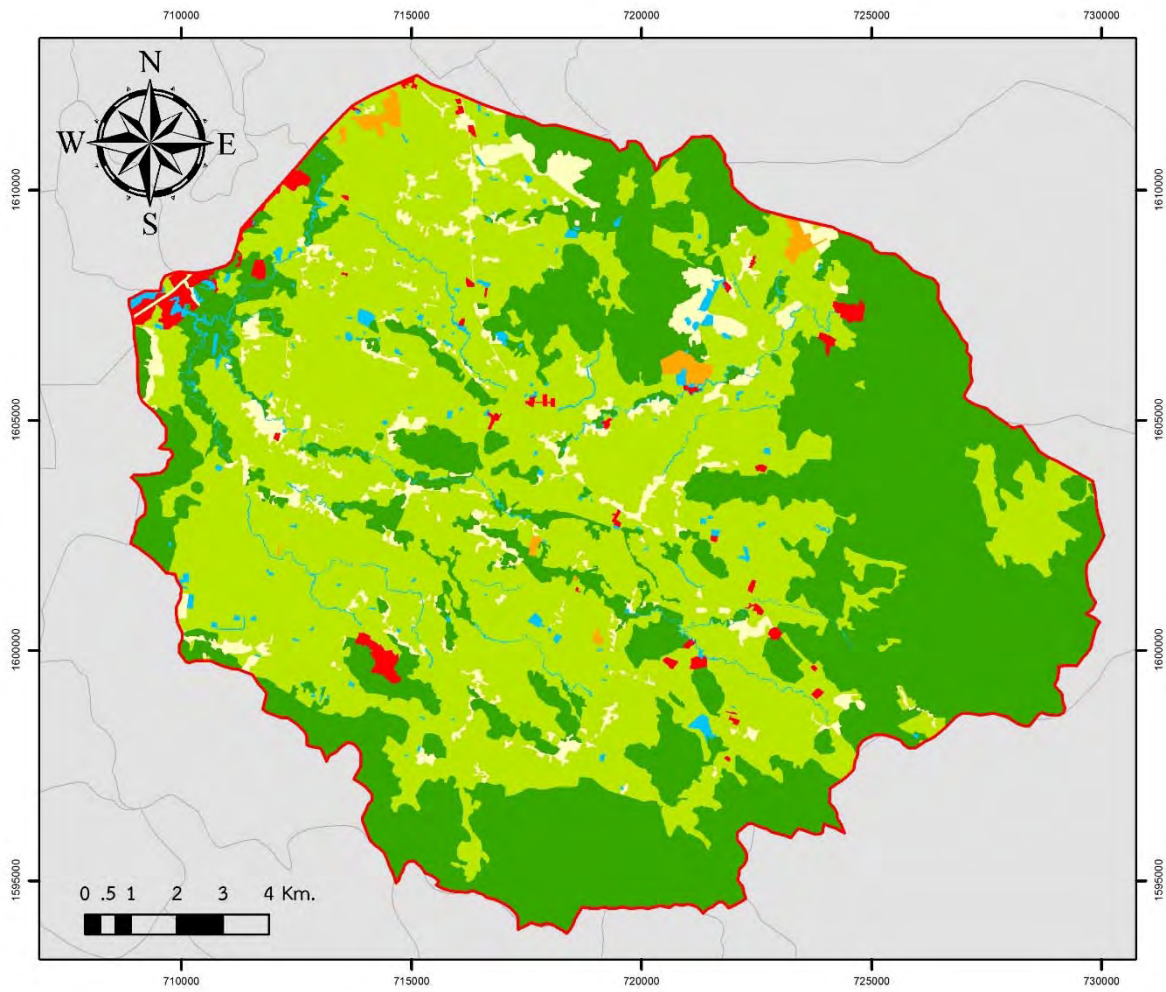


3.7 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากการศึกษาแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2552 พบว่าพื้นที่ศึกษาถูกแบ่งตามการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 5 ประเภท ดังแสดงใน **ตารางที่ 3.1** และ **รูปที่ 3.9** ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม กระจายตัวเป็นพื้นที่กว้างบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา และพบเป็นพื้นที่ห่ออมเล็กทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 131.420 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 50.16 เปอร์เซ็นต์จากพื้นที่ทั้งหมด แบ่งเป็นพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 84.94 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ปลูกอ้อยประมาณ 24.78 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ปลูกข้าวโพดประมาณ 8.79 ตารางกิโลเมตร และพืชหมุนเวียนประมาณ 4.11 ตารางกิโลเมตร นอกจากนี้พบว่ามีพื้นที่เพาะปลูกขนาดเล็กๆ เป็นพืชประเภทมะม่วง ไร้ผลไม้ผสม พืชยืนต้น ยูคาลิปตัส ไม้สัก ไม้สน และกล้วย เป็นต้น ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินรองลงมาคือ พื้นที่ป่าไม้ เป็นป่าประเภทป่าเบญจพรรณ หรือป่าผสมผลัดใบ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 110.42 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 42.15 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างทางด้านทิศเหนือ ทิศใต้ และด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา พื้นที่ชุมชน ได้แก่ พื้นที่ที่เป็นหมู่บ้าน สถานที่ราชการ สถานที่พักผ่อน และสนามกอล์ฟ รวมถึงสุสานด้วย โดยครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 12.15 ตารางกิโลเมตร กระจายตัวเป็นพื้นที่เล็กทางตอนเหนือ ตอนกลาง และด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา คิดเป็น 4.64 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบพื้นที่ที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรม กระจายตัวอยู่บริเวณเดียวกับพื้นที่ชุมชนเมือง ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 2.89 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 1.10 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด บริเวณตอนเหนือ และด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษาเป็นฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ครอบคลุมพื้นที่รวมประมาณ 1.48 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 0.56 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ที่เหลือนับบริเวณทิศใต้ ตอนเหนือ และด้านทิศตะวันตกเฉียงของพื้นที่ เป็นพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำประมาณ 4.01 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 1.53 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด

ตารางที่ 3.1 การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาปี พ.ศ.2552

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	ร้อยละ
พื้นที่ชุมชนเมือง	12.15	4.64
เกษตรกรรม	131.42	50.16
พื้นที่ป่าไม้	110.42	42.15
แหล่งน้ำ	4.01	1.53
พื้นที่อุตสาหกรรม	2.89	1.10
พื้นที่ปศุสัตว์	1.48	0.56



รูปที่ 3.9 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

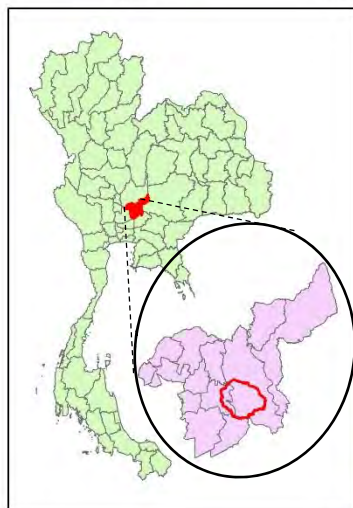
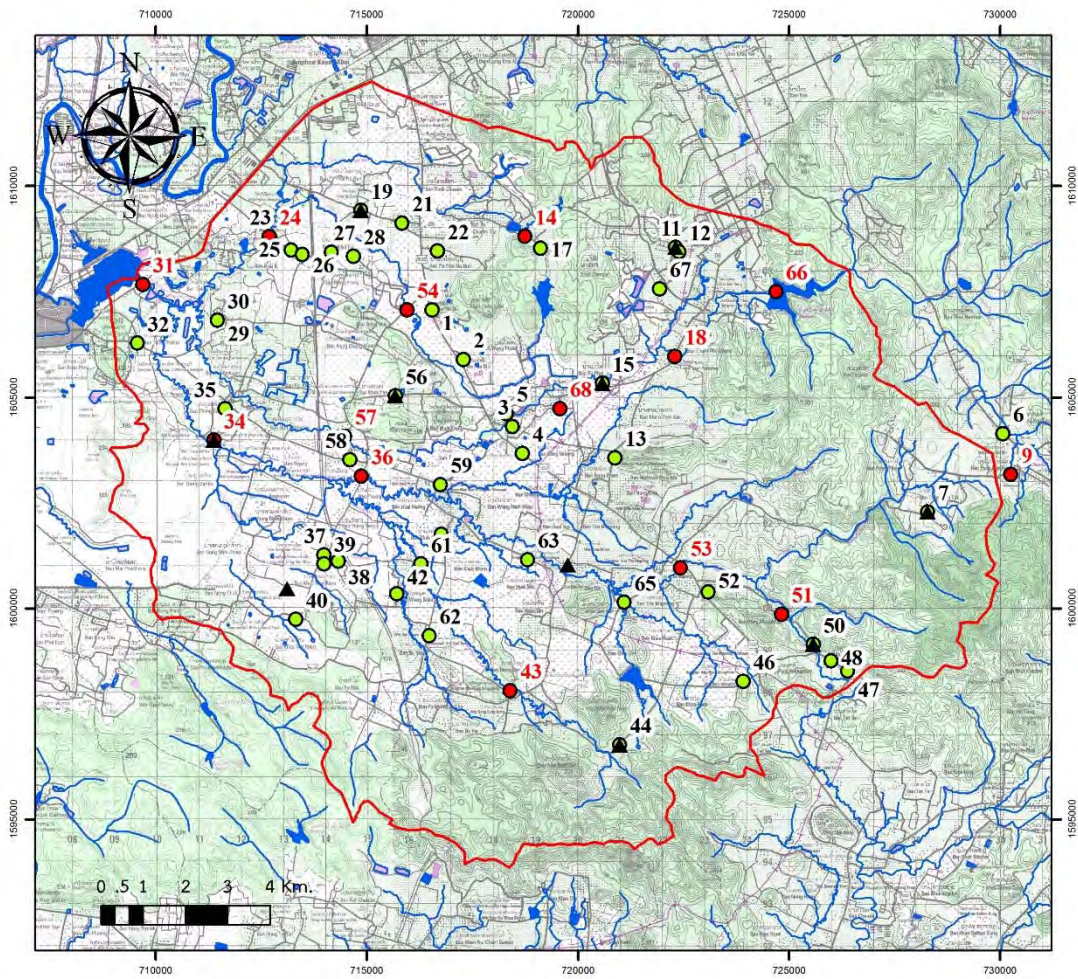


บทที่ 4

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล พื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

4.1 ตำแหน่งบ่อบาดาล พื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

จากบทที่ 3 ที่ได้รวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ต่างๆ อาทิ ลักษณะทางธรณี และลักษณะทางอุทกธรณี ในพื้นที่บริเวณตำบลห้วยแห้ง ตำบลตาลเดี่ยว ตำบลท่ามะปราง ตำบลท่าฝักแพรว อำเภอแก่งคอย และตำบลลิ่งชัน ตำบลกุดนกเปล้า ตำบลปากข้าวสาร ตำบลหนองปลาไหล อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี ในขั้นตอนต่อไป ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการเลือกตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลเพื่อวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่างๆทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ โดยอาศัยข้อมูลตำแหน่งบ่อบาดาลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล งานวิจัยที่ผ่านมาและสำรวจในภาคสนามเพิ่มเติม ผลจากการศึกษาสามารถเลือกจำนวนจุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลได้ทั้งสิ้น 44 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลทั้ง 2 ฤดูกาล ในช่วงเดือนพฤศจิกายน และพฤษภาคม นอกจากนี้ยังได้เก็บตัวอย่างน้ำผิวดินจำนวนทั้งสิ้น 14 ตำแหน่ง และน้ำฝน 10 ตำแหน่ง ในฤดูฝนเพียงฤดูเดียว ระหว่างที่ออกภาคสนาม จะทำการวัดพารามิเตอร์ทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำเบื้องต้น ได้แก่ ระดับน้ำบาดาล อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งที่ละลายในน้ำ และค่าศักยภาพรีดอกซ์ และสำรวจสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาด้วย จากนั้นตัวอย่างน้ำทั้งหมดจะถูกนำส่งวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ ได้แก่ ไอออนบวก (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ และ Fe) และไอออนลบ (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , F^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} และ Br^-) โดยใช้เครื่อง Ion Chromatography และวิธี Titration ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะกล่าวถึงต่อไป



Legend

- Stream
- Reservoir
- The study area
- Groundwater
- Surface water
- Precipitation

Data sources:
The Royal Thai Survey Department, Thailand (RTSD)
The Department of Groundwater Resources, Thailand (DGR)

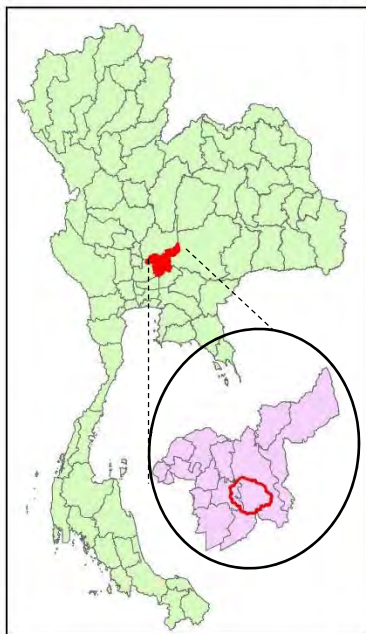
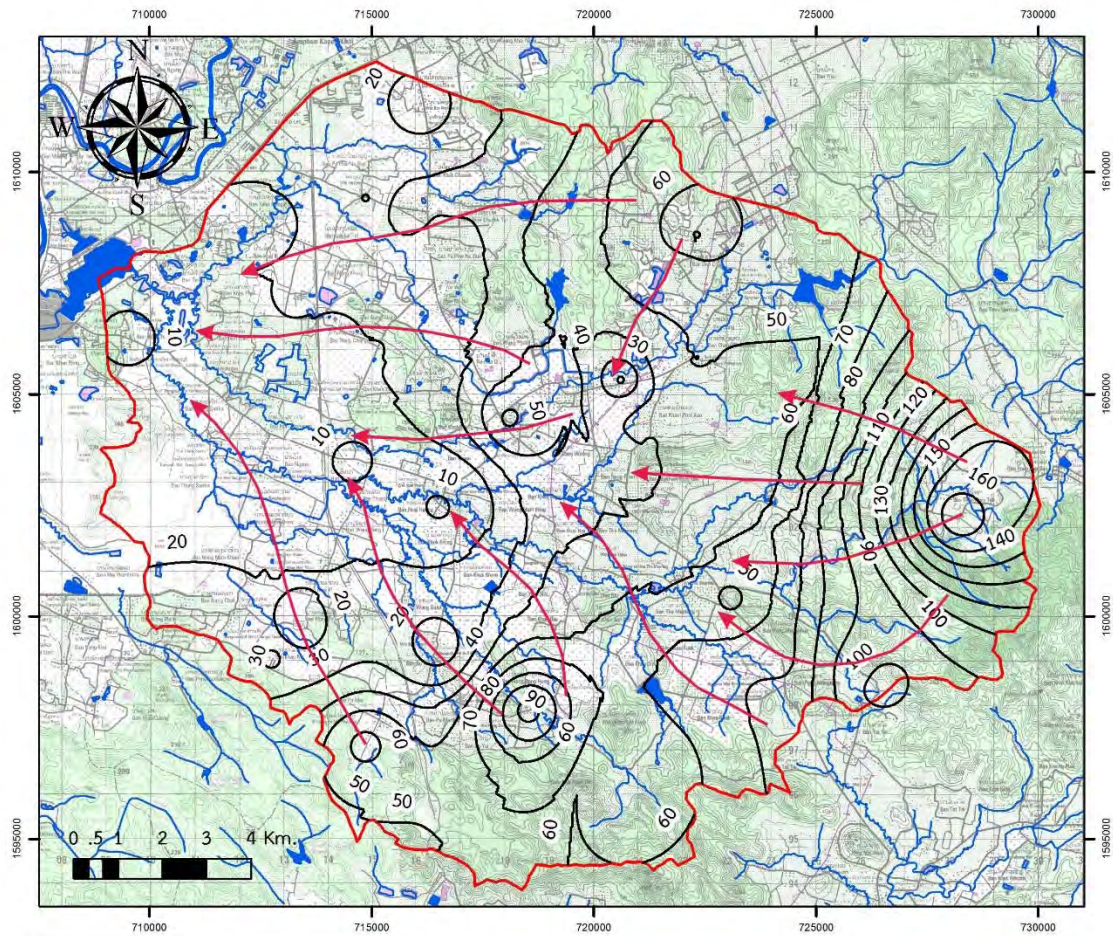


รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล น้ำฝน และน้ำผิวดิน ของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

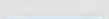

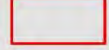
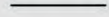


4.2 ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

ในส่วนของบทนี้จะแสดงผลการศึกษาเกี่ยวกับทิศทางการไหลของน้ำบาดาล ซึ่งสร้างจากข้อมูลของระดับน้ำบาดาลที่วัดในภาคสนาม โดยข้อมูลนี้จะช่วยให้เข้าใจการกระจายตัวของไนเตรทในน้ำบาดาล นอกจากนี้ ข้อมูลไอโซโทปเสถียรจะใช้เพื่ออธิบายปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาล ซึ่งอาจส่งผลกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทในพื้นที่ ในส่วนของผลวิเคราะห์เคมีความเข้มข้นของไอออนบวกและไอออนลบจะนำมาพล็อตใส่ลงในแผนภาพ piper diagram เพื่อจำแนก facies ของน้ำบาดาล โดยความสัมพันธ์ของไอออนเหล่านี้จะช่วยอธิบายแหล่งกำเนิดของการปนเปื้อนไนเตรทในน้ำบาดาลด้วยเช่นกัน ในระหว่างการออกภาคสนาม ข้อมูลระดับน้ำบาดาลที่วัดจากบ่อบาดาลทั้งหมด 58 บ่อในบริเวณพื้นที่ศึกษา และบริเวณใกล้เคียง จะนำมาสร้างแผนที่เส้นชั้นระดับน้ำบาดาล จากนั้นเมื่อทำการลากลูกศรให้ตั้งฉากกับเส้นแสดงระดับน้ำบาดาลในแผนที่เหล่านี้ จะทำให้ทราบถึงทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาลในพื้นที่ โดยบ่อบาดาลส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา เนื่องจากไม่สามารถวัดระดับน้ำจากบ่อบาดาลที่พบทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษาได้เนื่องจากบ่อส่วนใหญ่ปิดปากบ่อจึงไม่สามารถหย่อนเครื่องมือสำหรับวัดระดับน้ำ แต่โดยภาพรวมสามารถประเมินทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาลได้ ผลการศึกษาพบว่าทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่จะไหลจากด้านทิศตะวันออกไปทางด้านทิศตะวันตก ดังแสดงในรูปที่ 4.2 – 4.5 ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศ และทิศทางการไหลของน้ำผิวดิน ทั้งนี้ระดับน้ำบาดาลจะทำการตรวจวัดทั้ง 2 ฤดูกาล ครั้งแรกอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน เป็นตัวแทนของช่วงฤดูฝน และครั้งที่สองในเดือนพฤษภาคม เป็นตัวแทนของช่วงฤดูร้อน โดยทิศทางการไหลของน้ำบาดาลที่พบใน 2 ฤดูกาลมีความสอดคล้อง และเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่ระดับน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อนจะลดต่ำกว่าช่วงฤดูฝน เนื่องจากสภาพภูมิอากาศแห้งแล้ง และไม่มีฝนตกในช่วงเวลาดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 ดังนั้นความต้องการใช้น้ำเพื่ออุปโภคและบริโภคในครัวเรือน ตลอดจนการใช้น้ำเพื่อการเกษตรมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงดังกล่าว



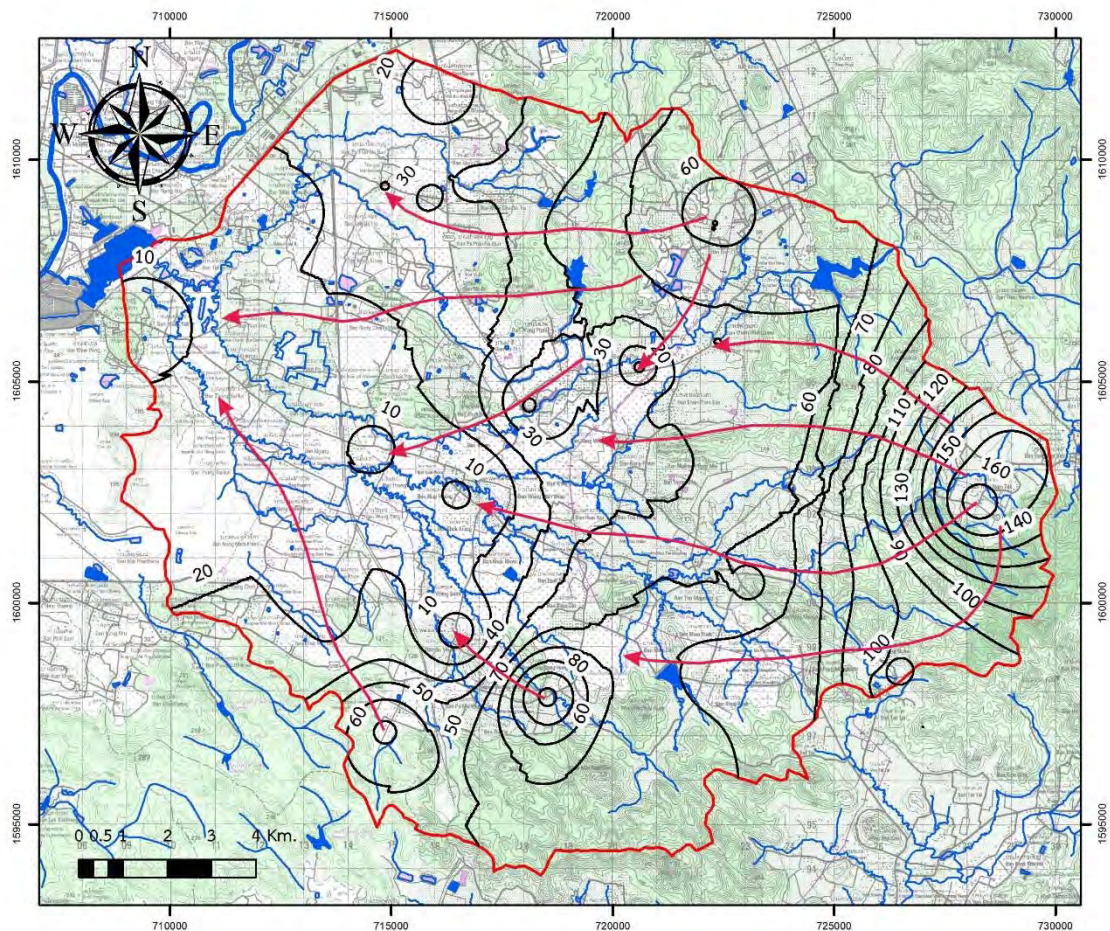
Legend

-  Stream
-  Reservoir
-  The study area
-  Water table contours (meter)





Data source:
The Royal Thai Survey Department, Thailand (RTSD)



รูปที่ 4.2 แผนที่แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลช่วงฤดูฝนของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี



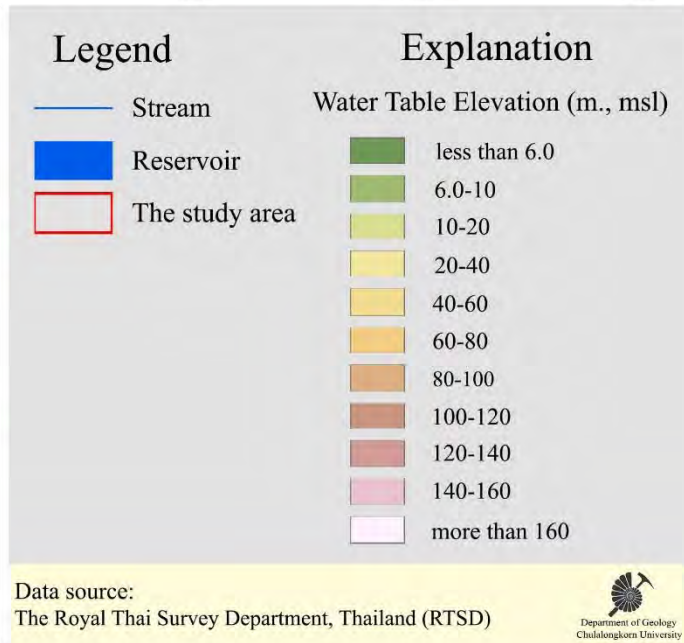
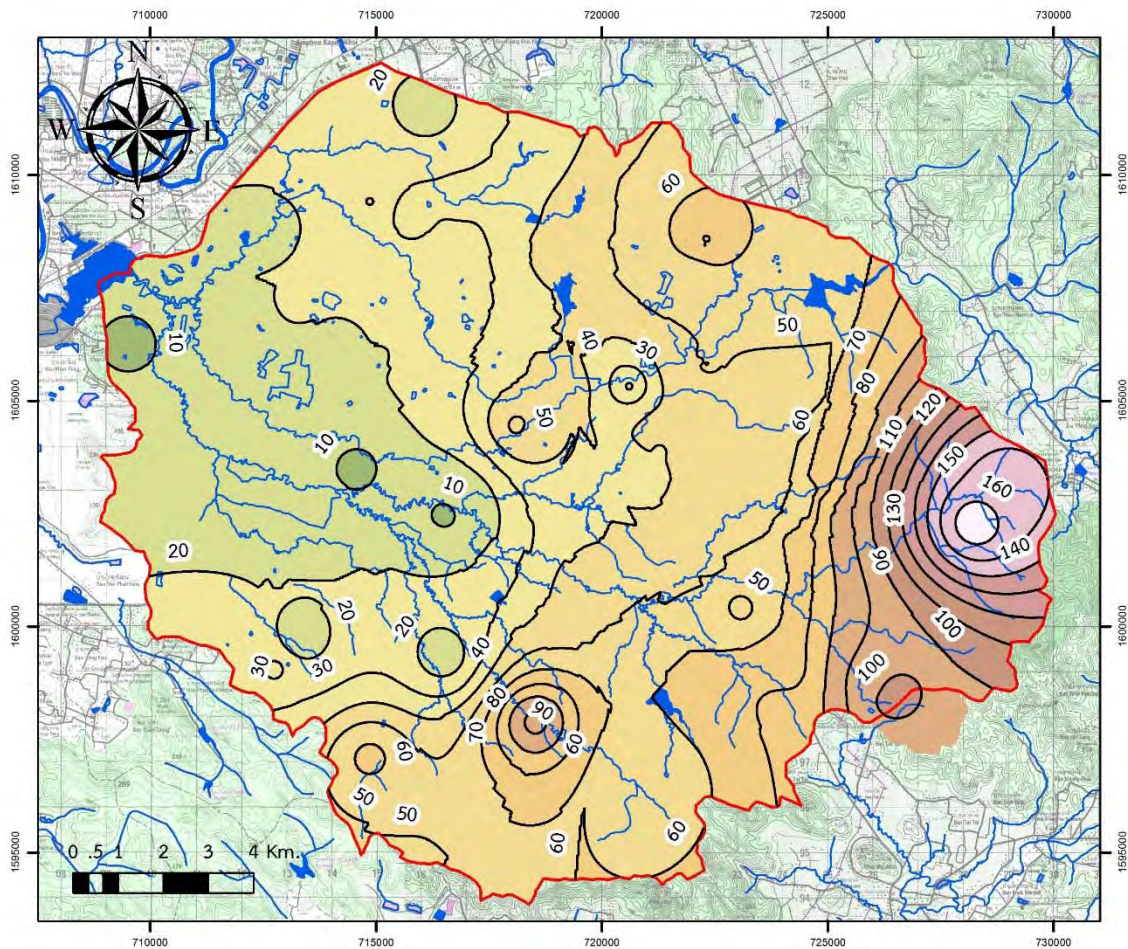
Legend

-  Stream
-  Reservoir
-  The study area
-  Water table contours (meter)

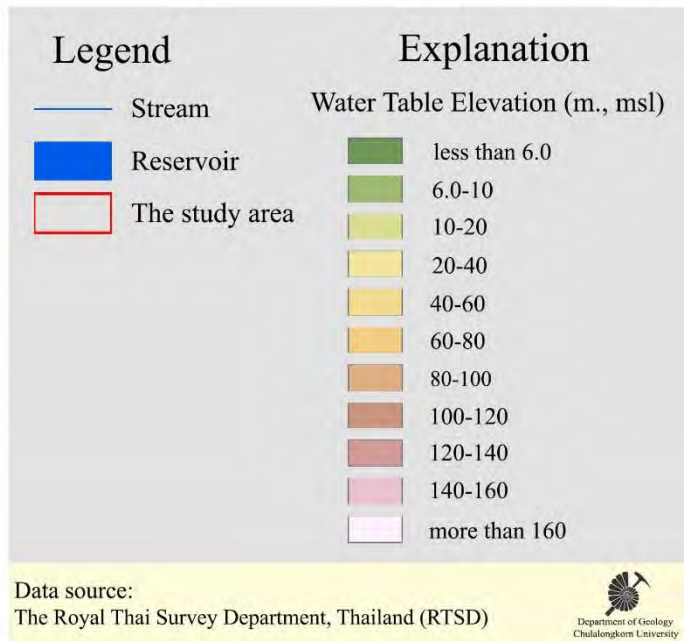
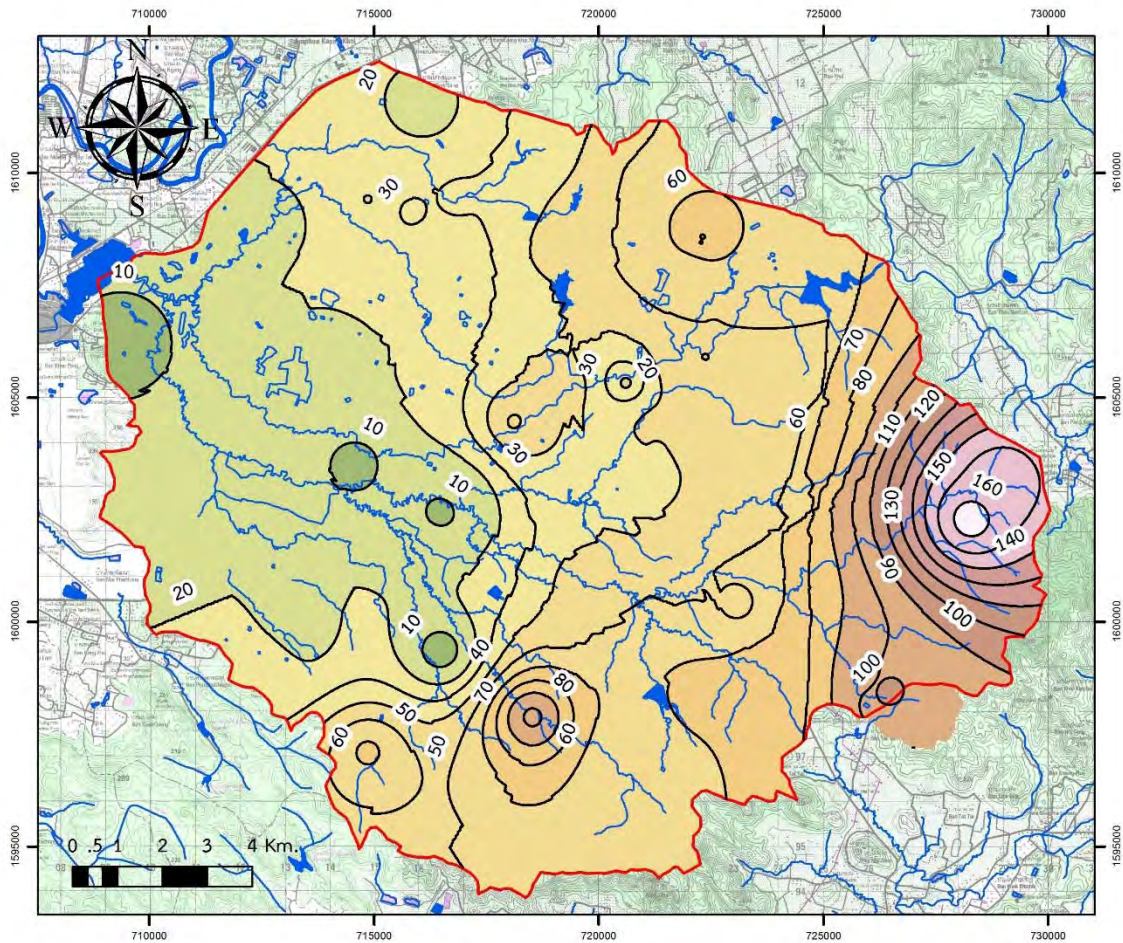
Data source:
The Royal Thai Survey Department, Thailand (RTSD)



รูปที่ 4.3 แผนที่แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อนของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี



รูปที่ 4.4 แผนที่แสดงระดับน้ำช่วงฤดูฝนของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี



รูปที่ 4.5 แผนที่แสดงระดับน้ำช่วงฤดูร้อนของพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

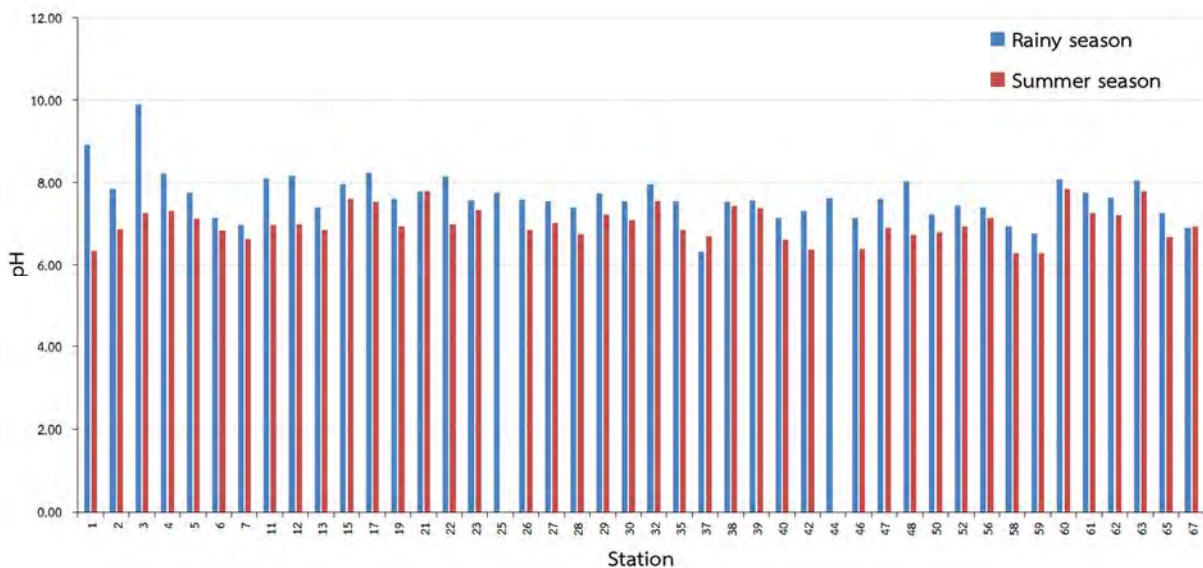


4.3 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำบาดาลพื้นฐาน

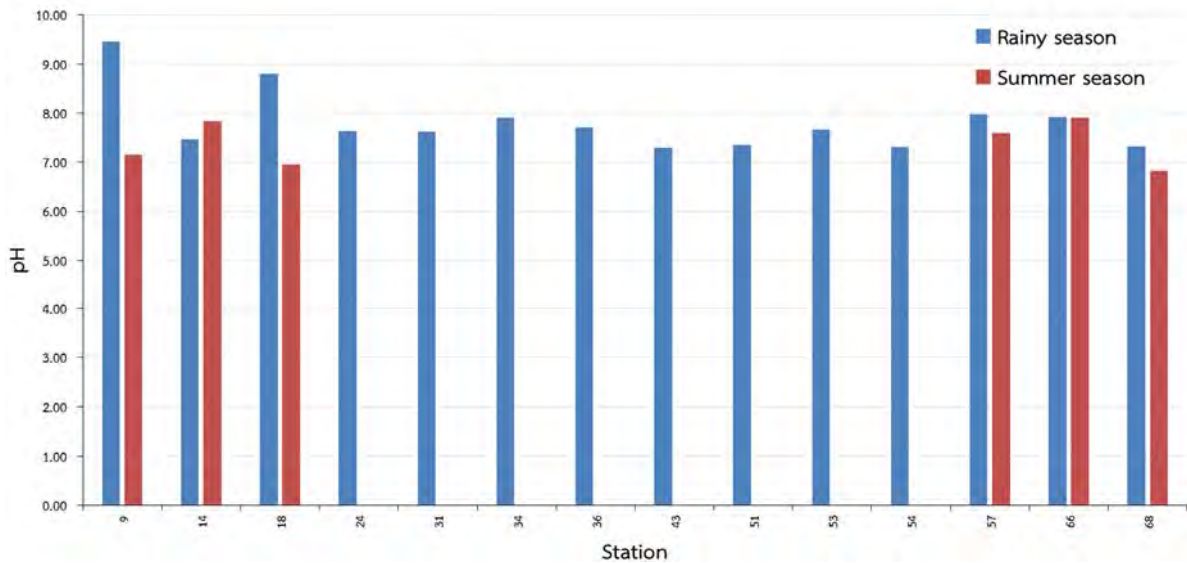
4.3.1 ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)

ในช่วงฤดูฝน ค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำบาดาลอยู่ในช่วงตั้งแต่ 6.32–9.89 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 7.65 ในบางตัวอย่างแสดงค่าอัลคาไลน์สูง (alkaline) โดยเฉพาะในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 01 และ 03 ปรากฏค่าความเป็นกรด-เบส คือ 8.92 และ 9.89 ตามลำดับ ทำให้น้ำบาดาลจากบ่อเหล่านี้เป็นน้ำกระด้าง ในช่วงฤดูร้อน ค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วงตั้งแต่ 6.28–7.83 และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 7.0 พบค่าความเป็นกรด-เบสสูงที่สุดในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 60 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าในช่วงฤดูฝน ทั้งนี้ตัวอย่างน้ำบาดาลส่วนใหญ่ในช่วงฤดูร้อนมีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำกว่าช่วงฤดูฝน ดังแสดงในรูปที่ 4.6

ค่าความเป็นกรด-เบสของตัวอย่างน้ำผิวดินในช่วงฤดูฝนมีค่าตั้งแต่ 7.3 – 9.46 และมีค่าสูงที่สุด คือ 9.46 พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 09 ขณะที่ฤดูร้อนพบค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วงตั้งแต่ 6.83 – 7.9 และมีค่าสูงที่สุด คือ 7.9 ในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 66 นอกจากนี้ค่าความเป็นกรด-เบสที่พบในช่วงฤดูร้อนมีค่าต่ำกว่าฤดูฝน สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกับค่าความเป็นกรด-เบสในน้ำบาดาล ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำบาดาล พื้นที่ศึกษา

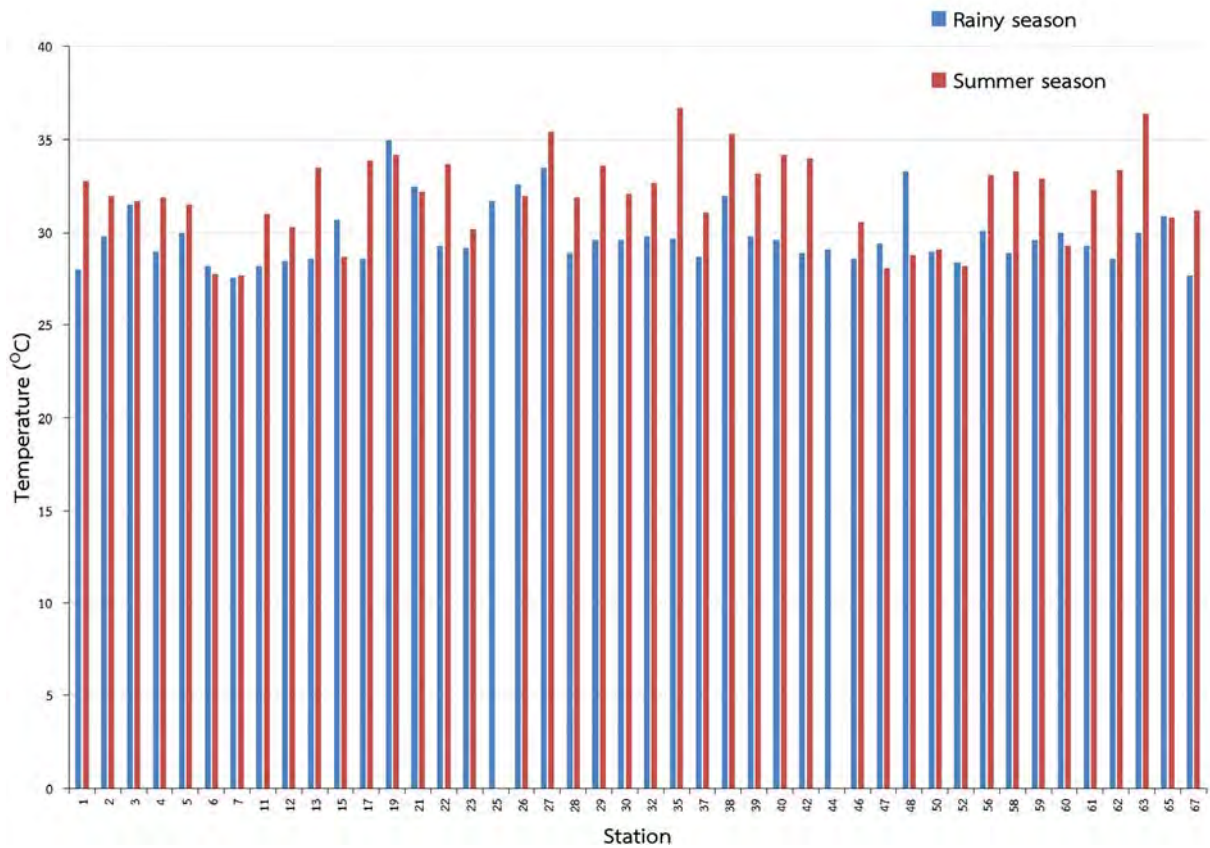


รูปที่ 4.7 ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำผิวดิน พื้นที่ศึกษา

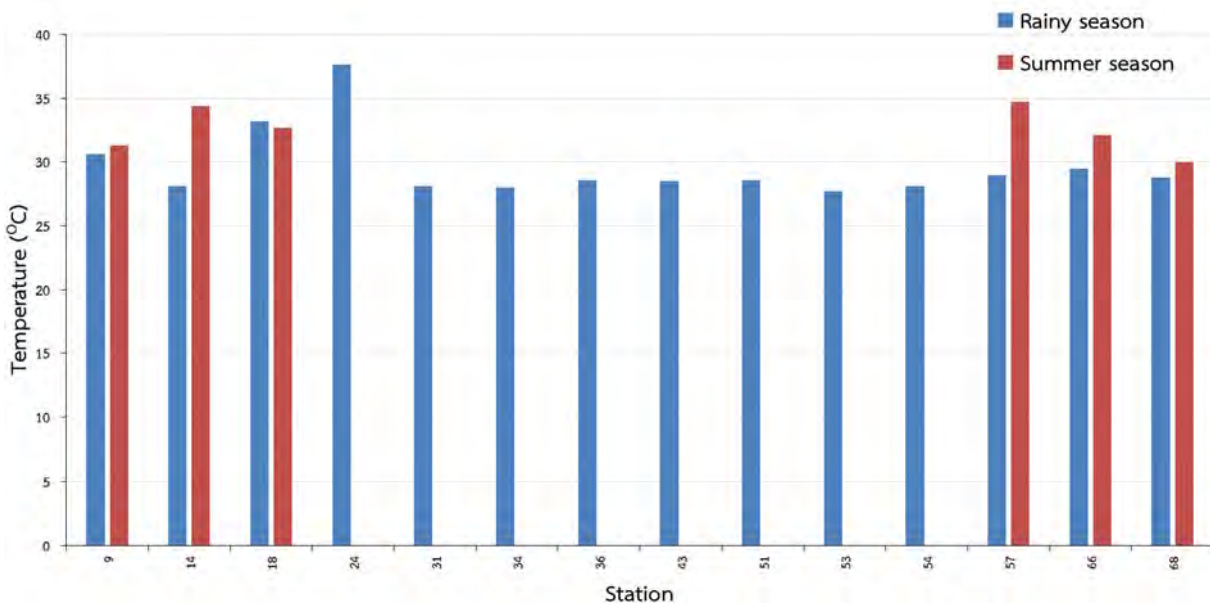
4.3.2 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำบาดาลที่ตรวจวัดในทั้งสองฤดูกาลค่อนข้างคล้ายกัน คืออยู่ในช่วงตั้งแต่ 27 – 37 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิเฉลี่ยที่พบในช่วงฤดูฝน คือ 29.82 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยที่พบในช่วงฤดูร้อน คือ 31.97 องศาเซลเซียส ซึ่งในช่วงฤดูร้อนมีอุณหภูมิของน้ำสูงกว่าฤดูฝน ทั้งนี้อุณหภูมิที่สูงที่สุดในช่วงฤดูฝนคือ 35 องศาเซลเซียส และพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 19 ขณะที่อุณหภูมิที่สูงที่สุดในช่วงฤดูร้อน คือ 36.7 องศาเซลเซียส และพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 35 ดังแสดงในรูปที่ 4.8 อย่างไรก็ตามที่บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 06, 15, 19, 21, 26, 47, 48, 52 และ 65 มีอุณหภูมิของน้ำในช่วงฤดูฝนสูงกว่าช่วงฤดูร้อน ซึ่งเมื่อคำนวณค่าทางสถิติพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้งสองฤดูกาลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

อุณหภูมิของน้ำผิวดินอยู่ในช่วงตั้งแต่ 27 – 38 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน คือ 29.6 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูร้อน คือ 32.5 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิของน้ำผิวดินส่วนใหญ่ในฤดูร้อนจะมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน มีเพียงตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 18 ที่มีอุณหภูมิของน้ำต่ำกว่าฤดูฝนประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อุณหภูมิที่สูงที่สุดในช่วงฤดูฝนคือ 37.6 องศาเซลเซียส และพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 24 ขณะที่อุณหภูมิที่สูงที่สุดในช่วงฤดูร้อน คือ 34.7 องศาเซลเซียส และพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 57 ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 อุณหภูมิของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา



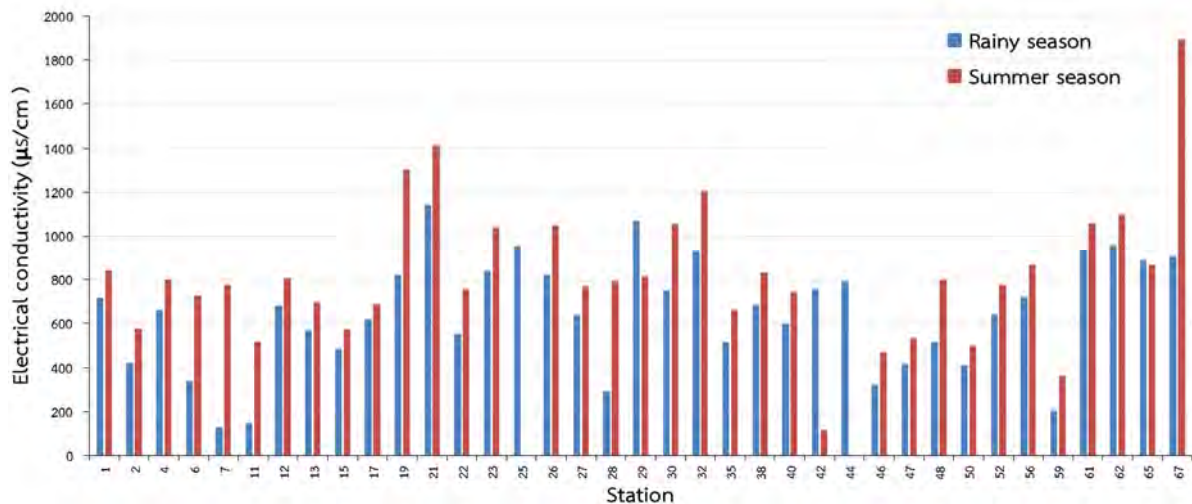
รูปที่ 4.9 อุณหภูมิของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา



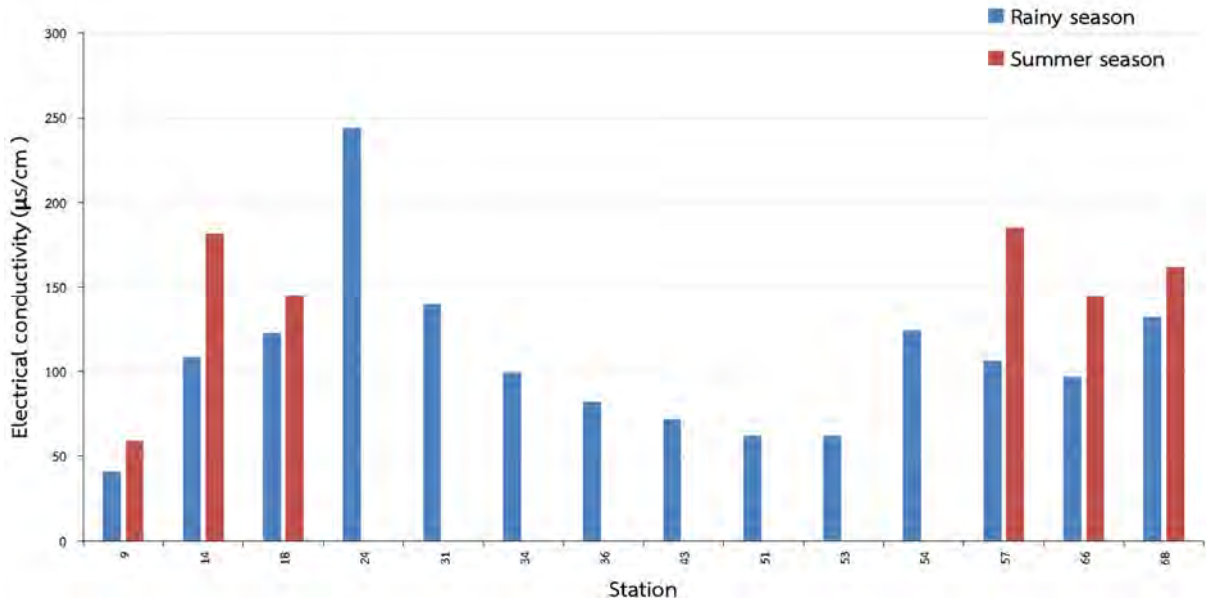
4.3.3 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC)

ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบาดาลในช่วงฤดูร้อนอยู่ในช่วงตั้งแต่ 116 – 1,893 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ($\mu\text{S/cm}$) และในช่วงฤดูฝนอยู่ในช่วงตั้งแต่ 128 – 1,145 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงฤดูร้อนคือ 821 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนคือ 644 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าในช่วงฤดูร้อนสูงกว่าในช่วงฤดูฝน ยกเว้นบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 29, 42 และ 65 โดยค่าการนำไฟฟ้าที่สูงที่สุดในช่วงฤดูฝนคือ 1,145 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร พบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 21 ขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าที่สูงที่สุดในช่วงฤดูร้อนคือ 1,893 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร พบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 ดังแสดงในรูปที่ 4.10

ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำผิวดินในฤดูฝนอยู่ในช่วงตั้งแต่ 40 – 244 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 106 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ขณะที่การนำไฟฟ้าในช่วงฤดูร้อนมีค่าตั้งแต่ 58 – 185 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 146 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ทั้งนี้ค่าการนำไฟฟ้าที่สูงที่สุดในช่วงฤดูฝนคือ 244 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 24 ขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าที่สูงที่สุดในช่วงฤดูร้อนคือ 185.2 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร พบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 57 ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

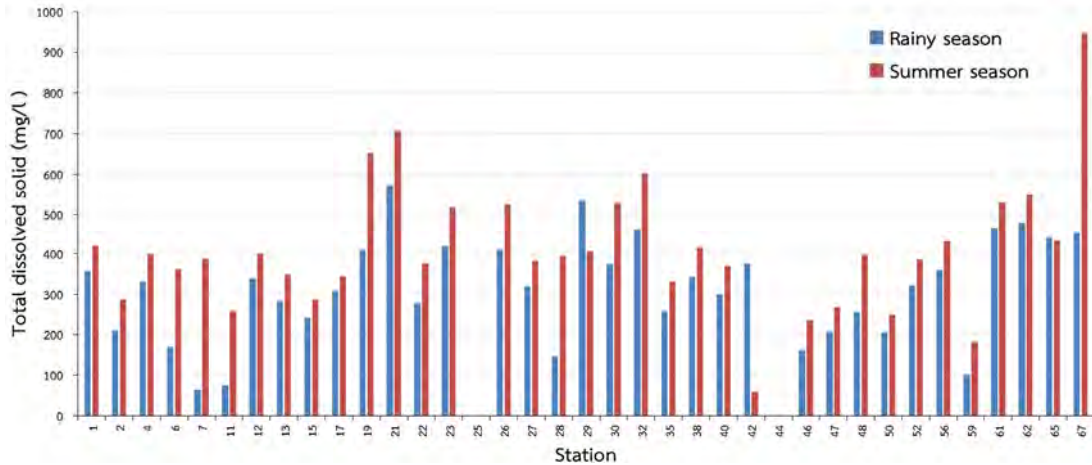


รูปที่ 4.11 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา

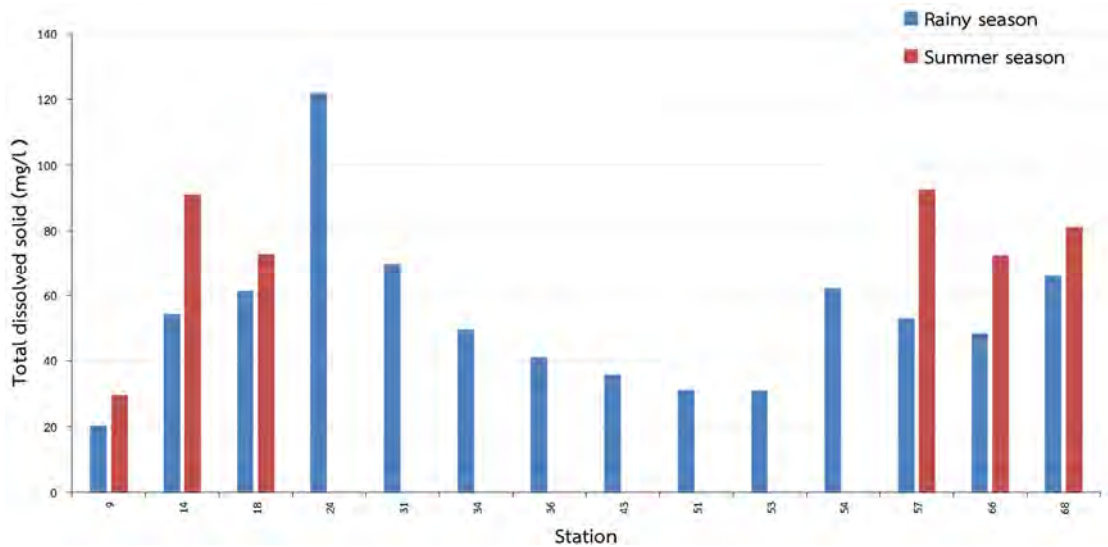
4.3.4 ค่าของแข็งที่ละลายน้ำ (Total Dissolved Solid, TDS)

ค่าของแข็งที่ละลายน้ำของน้ำบาดาลบาดาลช่วงฤดูฝนอยู่ในช่วงตั้งแต่ 64.2 – 572.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 315.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ในฤดูร้อนจะมีค่าของแข็งที่ละลายน้ำอยู่ในช่วงตั้งแต่ 58.2 – 946.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 410.91 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งที่ละลายน้ำของน้ำบาดาลที่มีค่าสูงที่สุดในช่วงฤดูฝน คือ 572.5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 21 และค่าของแข็งที่ละลายน้ำของน้ำบาดาลที่มีค่าสูงที่สุดในช่วงฤดูร้อน คือ 946.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 ดังแสดงในรูปที่ 4.12

ค่าของแข็งที่ละลายน้ำของน้ำผิวดินในช่วงฤดูฝนอยู่ในช่วงตั้งแต่ 20.35 – 122 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 53.23 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ในช่วงฤดูร้อนอยู่ในช่วงตั้งแต่ 29.49 – 92.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 73.18 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.13) ค่านี้ในช่วงฤดูร้อนจะสูงกว่าฤดูฝนเช่นเดียวกับค่าการนำไฟฟ้า โดยค่าของแข็งที่ละลายน้ำของน้ำผิวดินที่มีค่ามากที่สุดใฤดูฝนคือ 122 มิลลิกรัมต่อลิตร พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 24 ขณะที่ค่าของแข็งที่ละลายน้ำของน้ำผิวดินที่มีค่ามากที่สุดใฤดูร้อนคือ 92.6 มิลลิกรัมต่อลิตร พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 57



รูปที่ 4.12 ค่าของแข็งที่ละลายน้ำของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.13 ค่าของแข็งที่ละลายน้ำของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา

4.3.5 ค่าศักย์รีดออกซ์ (Oxidation Reduction Potential)

ค่าศักย์รีดออกซ์ในฤดูฝน และฤดูร้อนในบ่อบาดาลส่วนใหญ่มีค่าเป็นบวก ซึ่งค่าที่เป็นบวกนี้จะช่วยระบุว่าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นในน้ำบาดาล อย่างไรก็ตามในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 02, 06, 11, 19, 38, 46, 52 และ 67 ในฤดูฝน และบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 06, 07 และ 11 ในฤดูร้อนจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันเนื่องจากแสดงค่าศักย์รีดออกซ์เป็นลบค่าศักย์รีดออกซ์ของน้ำบาดาลในช่วงฤดูฝนอยู่ในช่วงตั้งแต่ -164.2 – 221 มิลลิโวลต์ และบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 50 แสดงค่าศักย์รีดออกซ์เป็นบวกมากที่สุด ขณะที่บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 แสดงค่าศักย์รีดออกซ์ติดลบมากที่สุด ค่าศักย์รีดออกซ์ของน้ำบาดาลในฤดูร้อนอยู่ในช่วงตั้งแต่ -152.5 – 263 มิลลิโวลต์ และบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 59 แสดงค่าศักย์รีดออกซ์เป็นบวกมากที่สุด ขณะที่บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 11 แสดงค่าศักย์รีดออกซ์ติดลบมากที่สุด

ค่าศักย์รีดออกซ์ของน้ำผิวดินในฤดูฝนอยู่ในช่วงตั้งแต่ 95.1 – 230.5 มิลลิโวลต์ และค่าศักย์รีดออกซ์ของน้ำผิวดินในฤดูร้อนอยู่ในช่วงตั้งแต่ 198.9 – 264.1 มิลลิโวลต์ ค่าศักย์รีดออกซ์ที่มากที่สุดในฤดูฝนถูกพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 54 และในฤดูร้อนถูกพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 18



4.3.6 ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)

ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำวัดในช่วงฤดูร้อนเท่านั้น เนื่องจากอุปกรณ์สำหรับวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำชำรุดช่วงออกภาคสนามในฤดูฝน ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำของน้ำบาดาลอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.7 – 8 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.25 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่ามากที่สุดในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 60

ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำของน้ำผิวดินในฤดูร้อน มีค่าตั้งแต่ 3.2 – 7.4 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 5.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่ามากที่สุดในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 14

4.4 อุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาล (Hydrogeochemistry of groundwater)

คุณสมบัติทางอุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาล และน้ำผิวดินถูกแสดงในรูปความเข้มข้นของไอออนทั้งหมด โดยค่าความเข้มข้นของแคทไอออน และแอนไอออน ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.1– 4.8 และตารางที่ 4.1 และ 4.5 จะแสดงส่วนประกอบไอโซโทปของน้ำบาดาล และน้ำผิวดินในช่วงฤดูฝน



ตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แคทไอออน) และไอโซโทปของน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน

Station	Hydrogeochemistry (mg/l)						Isotope (‰)	
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe	δ ¹⁸ O	δ D
1	41.50	1.01	66.91	11.01	n.a.	n.a.	-6.62	-43.54
2	15.10	2.39	47.38	2.47	0.05	6.93	-6.75	-45.88
3	38.16	1.49	35.54	0.04	n.a.	n.a.	-6.51	-43.40
4	39.38	2.88	65.70	2.34	n.a.	n.a.	-6.88	-45.70
5	41.39	1.18	38.52	2.00	n.a.	3.25	-6.69	-43.95
6	16.86	1.31	26.70	2.85	0.15	13.36	-6.77	-45.17
7	8.20	3.68	15.29	n.a.	n.a.	0.67	-7.15	-47.02
11	10.63	6.21	14.37	n.a.	n.a.	2.53	-6.97	-46.67
12	33.41	2.01	66.09	4.18	n.a.	n.a.	-6.83	-45.25
13	33.64	4.29	49.36	12.15	n.a.	0.43	-7.24	-47.89
15	40.02	0.68	32.94	0.67	n.a.	0.05	-6.48	-43.18
17	50.45	1.71	32.77	7.51	n.a.	n.a.	-6.32	-43.42
19	72.81	1.96	44.56	7.64	n.a.	0.12	-6.02	-41.02
21	n.a.	0.29	30.35	4.39	n.a.	n.a.	-6.05	-41.65
22	42.29	1.40	47.74	7.69	n.a.	n.a.	-6.00	-42.53
23	48.91	0.47	85.71	6.22	n.a.	n.a.	-5.30	-37.55
25	124.40	0.90	43.63	1.24	n.a.	0.11	-7.05	-47.32
26	100.80	0.33	39.65	2.87	n.a.	1.22	-6.40	-43.28
27	36.20	0.60	57.78	5.53	n.a.	n.a.	-5.91	-40.99
28	26.09	0.56	27.46	0.43	n.a.	n.a.	-6.08	-42.17
29	124.91	1.41	44.31	7.72	n.a.	n.a.	-7.01	-47.25
30	54.25	0.72	66.49	2.53	n.a.	n.a.	-6.62	-44.09
32	53.37	1.95	71.87	15.01	n.a.	0.06	-5.99	-41.61
35	41.99	2.08	48.05	4.53	n.a.	n.a.	-6.41	-42.79
37	26.61	2.59	3.57	n.a.	n.a.	12.12	-7.08	-47.99
38	40.90	2.87	81.39	4.73	n.a.	0.09	-6.84	-45.54
39	32.67	2.66	67.02	3.00	n.a.	0.48	-6.90	-47.08
40	37.46	3.22	70.90	3.29	n.a.	n.a.	-6.90	-45.44
42	39.03	2.88	76.13	5.96	n.a.	0.38	-6.85	-45.07
44	30.18	0.72	62.22	40.84	n.a.	0.09	-5.83	-39.86
46	25.69	0.44	25.19	8.91	n.a.	1.63	-6.90	-45.67
47	17.55	2.51	57.31	2.00	0.07	0.26	-7.03	-45.44



ตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์ห่อทุกเคมี (แคทไอออน) และไอโซโทปของน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน (ต่อ)

Station	Hydrogeochemistry (mg/L)						Isotope (‰)	
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe	δ ¹⁸ O	δ D
48	19.18	2.07	63.72	5.59	0.03	n.a.	-7.34	-48.04
50	39.34	2.15	47.92	0.05	n.a.	n.a.	-7.11	-46.19
52	36.26	3.69	60.92	7.74	n.a.	0.85	-7.09	-46.29
56	47.57	1.77	72.03	4.11	n.a.	n.a.	-6.92	-46.22
58	43.49	1.28	46.36	1.51	n.a.	2.73	-6.68	-44.34
59	22.87	1.75	12.94	0.75	n.a.	n.a.	-6.25	-43.17
60	130.13	2.24	11.47	4.82	n.a.	0.16	-6.74	-45.16
61	69.83	2.13	68.05	6.10	n.a.	0.49	-6.75	-45.34
62	52.18	2.76	82.92	10.93	n.a.	0.44	-6.64	-43.87
63	50.13	0.72	18.35	1.30	n.a.	n.a.	-6.24	-42.25
65	39.52	1.35	58.44	19.74	n.a.	0.04	-6.04	-40.52
67	45.28	6.45	74.97	38.36	0.24	n.a.	-6.69	-43.77

n.a. = not applicable



ตารางที่ 4.2 ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แอนไอออน) ของน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน

Station	Hydrogeochemistry (mg/l)							
	Cl ⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻
1	9.01	0.23	0.02	0.09	2.99	7.58	n.a.	311.2
2	12.02	0.45	0.02	0.45	7.11	4.31	n.a.	213.4
3	28.76	0.14	0.05	0.05	n.a.	12.44	n.a.	229.6
4	13.96	0.35	0.04	0.04	0.17	26.74	n.a.	327.2
5	24.94	0.19	0.05	0.05	n.a.	9.85	n.a.	289.4
6	2.98	0.14	0.01	0.10	0.30	2.70	n.a.	164.2
7	9.14	0.10	0.03	0.04	0.15	9.29	15.22	51.8
11	7.27	0.09	0.02	0.09	0.25	1.33	n.a.	74.6
12	5.86	1.13	0.01	0.02	0.20	1.88	n.a.	358.4
13	15.31	1.26	0.05	0.37	n.a.	23.48	13.88	291.6
15	26.98	0.30	0.04	0.04	1.62	8.99	n.a.	197.0
17	4.90	0.67	0.01	0.03	0.23	2.41	n.a.	307.2
19	33.33	0.26	0.14	0.06	0.34	6.52	13.90	238.8
21	27.32	0.15	0.03	0.04	3.02	20.98	n.a.	62.0
22	4.73	0.13	0.01	0.05	0.22	3.69	n.a.	241.8
23	33.34	0.40	0.16	0.01	n.a.	96.64	n.a.	335.0
25	22.05	2.84	n.a.	0.05	n.a.	166.51	n.a.	316.8
26	33.89	0.12	0.04	0.07	3.55	26.72	n.a.	397.0
27	15.59	0.15	0.02	0.03	0.66	5.41	n.a.	329.4
28	13.76	0.18	0.02	0.04	0.98	9.22	n.a.	143.6
29	22.57	0.86	n.a.	0.02	n.a.	247.47	n.a.	227.2
30	27.88	0.70	0.02	0.04	1.73	82.17	n.a.	279.0
32	44.28	0.22	0.10	0.06	2.37	59.86	n.a.	331.2
35	25.93	0.21	0.04	0.03	2.46	20.85	n.a.	247.0
37	25.18	0.36	0.07	0.04	n.a.	31.17	n.a.	0.0
38	25.22	0.13	0.02	0.04	n.a.	33.84	n.a.	296.0
39	19.23	0.14	0.01	0.02	n.a.	59.86	n.a.	250.0
40	27.95	0.61	0.04	0.03	n.a.	16.44	n.a.	231.6
42	37.26	0.24	0.06	0.05	n.a.	44.82	n.a.	307.6
44	13.66	0.88	0.02	0.05	1.36	21.51	n.a.	473.6
46	7.16	1.05	0.01	0.25	0.09	7.79	13.85	171.6
47	4.19	0.51	0.01	0.05	0.02	2.40	n.a.	192.8



ตารางที่ 4.2 ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แอนไอออน) ของน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน (ต่อ)

Station	Hydrogeochemistry (mg/l)							
	Cl ⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻
48	6.22	0.36	0.02	0.05	3.12	7.80	n.a.	284.0
50	3.40	0.42	n.a.	0.06	0.64	1.60	n.a.	240.4
52	6.11	0.38	0.01	0.06	0.06	7.03	n.a.	317.8
56	5.97	0.79	0.02	0.31	n.a.	40.79	13.85	329.8
58	27.62	0.17	0.25	0.05	n.a.	12.93	n.a.	219.6
59	13.98	0.32	0.03	0.07	2.27	5.08	n.a.	88.0
60	14.28	0.73	0.03	0.29	n.a.	20.34	13.96	432.8
61	19.86	0.43	0.01	0.03	n.a.	106.7	n.a.	329.0
62	46.87	0.76	0.24	0.27	n.a.	35.16	13.87	423.2
63	15.39	0.26	0.03	0.03	n.a.	9.50	n.a.	235.6
65	54.54	0.07	0.19	0.05	1.05	29.76	n.a.	302.6
67	188.15	0.67	0.41	0.10	1.09	13.61	13.96	318.0

n.a. = not applicable



ตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แคทไอออน) ของน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อน

Station	Hydrogeochemistry (mg/l)					
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe
1	48.29	1.27	26.11	25.10	0.19	n.a.
2	18.41	2.67	66.84	15.64	0.05	18.26
3	72.31	1.65	21.51	6.62	n.a.	0.08
4	74.01	3.01	26.86	10.64	0.10	0.03
5	95.89	1.64	33.09	11.41	3.16	13.87
6	30.82	0.92	31.71	26.84	0.14	15.32
7	19.15	3.07	86.35	5.58	0.19	0.60
11	23.66	14.39	41.55	5.42	11.77	25.70
12	68.03	2.73	20.49	12.92	0.13	n.a.
13	32.52	7.87	33.57	11.42	0.10	1.94
15	75.70	0.80	18.58	3.74	n.a.	0.10
17	100.87	0.79	15.72	12.83	n.a.	n.a.
19	158.34	0.76	25.01	17.82	n.a.	n.a.
21	254.13	0.57	12.56	13.31	n.a.	n.a.
22	63.80	1.25	29.66	17.82	0.05	0.05
23	202.90	0.64	54.91	14.77	0.31	n.a.
25	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
26	158.59	0.32	39.72	9.73	n.a.	2.44
27	68.48	0.86	30.91	14.72	n.a.	n.a.
28	70.94	2.53	23.79	9.84	0.08	n.a.
29	91.67	1.53	28.99	11.66	0.97	0.29
30	113.07	1.21	50.97	10.30	0.26	0.03
32	106.55	2.05	34.77	27.58	0.17	n.a.
35	52.95	2.84	49.17	12.67	n.a.	0.04
37	29.00	4.58	10.57	0.95	0.52	22.29
38	48.07	3.72	41.25	13.44	0.08	1.44
39	96.72	3.09	47.23	11.26	n.a.	3.95
40	46.78	4.03	59.19	9.95	n.a.	n.a.
42	11.65	4.57	4.35	0.93	0.43	2.22
44	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
46	20.64	0.79	41.18	19.96	0.11	4.81
47	21.88	2.66	51.10	8.54	n.a.	0.02



ตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แคตไอออน) ของน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อน (ต่อ)

Station	Hydrogeochemistry (mg/l)					
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe
48	36.73	3.05	32.96	17.92	n.a.	n.a.
50	42.20	2.69	52.39	1.88	n.a.	n.a.
52	45.58	4.95	37.75	18.26	0.06	0.48
56	73.08	2.60	31.28	10.77	n.a.	n.a.
58	50.30	1.67	54.15	5.42	n.a.	1.34
59	39.24	2.67	26.40	4.67	0.10	n.a.
60	179.59	2.26	8.39	9.48	n.a.	0.02
61	119.95	2.70	38.58	13.19	n.a.	0.40
62	83.28	3.80	49.66	19.72	0.83	1.73
63	96.59	0.83	15.45	2.03	n.a.	0.05
65	67.41	1.80	45.02	24.99	0.10	0.18
67	83.55	6.66	147.18	93.69	1.57	10.29

n.a. = not applicable



ตารางที่ 4.4 ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แอนไอออน) และน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อน

Station	Hydrogeochemistry (mg/l)							
	Cl ⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻
1	8.47	0.35	0.87	n.a.	3.53	7.58	0.013	347.4
2	10.59	0.30	0.90	0.116	5.59	5.12	n.a.	291.8
3	30.95	0.29	0.66	0.016	0.87	13.02	n.a.	269.0
4	11.99	0.24	0.87	0.007	0.88	30.59	n.a.	335.8
5	37.39	0.29	0.71	0.030	2.08	2.89	0.057	399.4
6	4.00	0.34	0.96	0.013	0.97	2.64	0.015	324.8
7	15.21	0.04	0.82	n.a.	0.86	15.39	0.024	359.6
11	38.38	0.03	0.67	0.016	1.22	0.98	n.a.	194.4
12	6.41	0.99	0.88	0.016	1.09	2.84	n.a.	347.0
13	6.42	0.32	0.73	0.005	0.78	29.98	0.040	241.2
15	26.08	0.32	0.77	0.024	2.39	10.60	0.010	254.4
17	3.65	0.42	1.11	0.009	0.88	1.99	0.014	376.0
19	48.84	0.24	1.32	0.010	2.76	10.81	0.041	617.0
21	28.45	0.32	1.52	0.043	n.a.	21.79	0.011	628.6
22	2.09	0.23	1.08	n.a.	0.80	1.95	0.017	421.4
23	30.44	0.36	1.13	0.019	0.20	297.86	0.036	376.0
25	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
26	13.19	0.18	1.33	0.012	2.71	14.74	n.a.	535.8
27	15.52	0.25	0.79	0.011	1.97	6.66	n.a.	392.2
28	34.75	0.14	0.70	0.015	4.55	17.05	n.a.	264.6
29	17.51	1.40	1.94	n.a.	1.55	47.15	n.a.	370.0
30	29.74	0.73	1.02	0.020	0.88	193.51	0.069	295.0
32	76.47	0.55	1.13	0.021	2.44	67.10	n.a.	414.0
35	26.38	0.17	0.69	0.018	4.21	29.06	n.a.	285.4
37	21.54	0.03	0.35	0.055	1.23	5.31	n.a.	83.2
38	25.51	0.08	0.75	0.010	1.76	33.66	0.010	261.2
39	24.96	0.24	1.02	n.a.	0.18	123.55	0.038	360.0
40	25.23	0.08	0.64	0.008	0.88	17.25	0.012	337.4
42	10.02	0.08	0.04	0.013	0.82	18.51	0.024	19.0
44	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
46	6.91	0.33	0.86	n.a.	1.01	14.76	0.032	231.8
47	3.33	0.44	0.91	n.a.	0.74	3.13	0.011	282.6



ตารางที่ 4.4 ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แอนไอออน) และน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อน (ต่อ)

Station	Hydrogeochemistry (mg/l)							
	Cl ⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻
48	11.62	0.35	0.76	0.011	1.68	12.76	n.a.	301.6
50	2.86	0.35	0.90	0.012	2.16	2.63	0.051	267.0
52	5.50	0.27	0.95	0.014	1.01	7.90	n.a.	389.8
56	2.79	0.20	0.83	0.007	0.69	44.48	n.a.	337.8
58	27.70	0.37	0.70	n.a.	0.70	13.67	n.a.	252.0
59	13.47	0.28	0.69	0.005	1.97	6.06	n.a.	168.2
60	10.46	0.68	1.31	0.018	0.89	19.94	0.010	514.8
61	23.81	0.34	0.84	0.007	0.62	103.24	0.011	434.6
62	69.77	0.20	0.15	0.017	2.90	33.60	0.066	405.4
63	12.80	0.41	0.95	0.020	0.85	8.04	0.011	259.2
65	47.81	0.49	1.24	0.017	1.57	25.58	n.a.	365.4
67	218.56	0.87	3.41	0.106	1.57	39.86	0.188	527.0

n.a. = not applicable



ตารางที่ 4.5 ผลวิเคราะห์ธาตุกษรณีเคมี (แคทไอออน) และไอโซโทปของน้ำผิวดินช่วงฤดูฝน

Station	Hydrogeochemistry (mg/l)						Isotope (‰)	
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe	δ ¹⁸ O	δ D
9	5.16	3.94	3.39	n.a.	0.02	0.67	-6.71	-44.69
14	7.91	2.75	9.26	0.05	n.a.	0.18	-6.78	-45.79
18	7.45	2.91	10.29	0.58	n.a.	n.a.	-4.71	-37.50
24	18.79	9.13	14.52	0.12	2.72	0.93	-5.35	-37.82
31	11.11	5.28	8.56	n.a.	1.29	1.36	-6.00	-40.20
34	9.17	3.36	5.70	0.13	n.a.	0.86	-6.35	-42.18
36	6.70	3.07	6.00	0.23	0.05	0.86	-6.65	-44.35
43	7.65	2.70	5.57	0.13	n.a.	0.88	-6.89	-44.88
51	18.88	1.70	2.62	n.a.	n.a.	0.52	-7.49	-49.13
53	7.84	2.44	4.18	n.a.	n.a.	0.61	-7.39	-48.54
54	9.99	3.86	9.73	0.73	n.a.	0.82	-5.84	-40.05
57	8.53	4.11	7.96	0.29	n.a.	1.17	-5.87	-39.89
66	7.70	2.86	8.50	0.68	n.a.	0.16	-6.78	-45.52
68	18.69	2.41	9.10	0.54	n.a.	0.88	-5.99	-42.37



ตารางที่ 4.6 ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แอนไอออน) ของน้ำผิวดินช่วงฤดูฝน

Station	Hydrogeochemistry (mg/l)							
	Cl ⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻
9	4.49	0.10	n.a.	0.052	0.11	0.72	n.a.	20.2
14	3.71	0.13	0.011	0.062	0.26	2.87	n.a.	51.4
18	3.38	0.27	0.007	0.032	n.a.	2.94	n.a.	60.8
24	18.50	0.28	0.021	0.074	n.a.	10.27	n.a.	71.8
31	11.08	0.18	0.032	0.110	0.53	4.51	n.a.	49.6
34	9.14	0.06	0.116	0.021	0.63	2.85	n.a.	35.2
36	4.19	0.14	0.011	0.044	1.10	2.87	n.a.	38.8
43	4.81	0.15	0.012	0.036	n.a.	6.33	n.a.	33.2
51	7.44	0.10	0.025	0.362	3.70	2.64	13.92	39.4
53	3.03	0.16	0.011	0.078	1.05	2.69	n.a.	26.8
54	5.25	0.22	0.012	0.053	n.a.	4.11	n.a.	61.8
57	5.68	0.11	0.014	0.062	0.33	3.04	n.a.	46.4
66	3.75	0.37	0.009	0.027	n.a.	3.50	n.a.	46.0
68	7.11	0.79	0.024	0.219	0.25	3.07	13.89	70.76

n.a. = not applicable

ตารางที่ 4.7 ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แคทไอออน) ของน้ำผิวดินช่วงฤดูร้อน

Station	Hydrogeochemistry (mg/l)					
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Fe
9	6.10	2.63	4.24	0.65	0.61	0.37
14	9.54	4.33	14.23	4.39	0.63	0.25
18	10.11	3.99	11.72	2.50	0.37	0.59
24	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
31	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
34	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
36	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
43	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
51	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
53	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
54	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
57	14.68	8.76	12.32	2.63	0.36	0.21
66	8.37	3.69	13.69	2.52	0.18	0.07
68	10.42	4.09	14.45	2.68	0.11	0.47



ตารางที่ 4.8 ผลวิเคราะห์อุทกธรณีเคมี (แอนไอออน) ของน้ำผิวดินช่วงฤดูร้อน

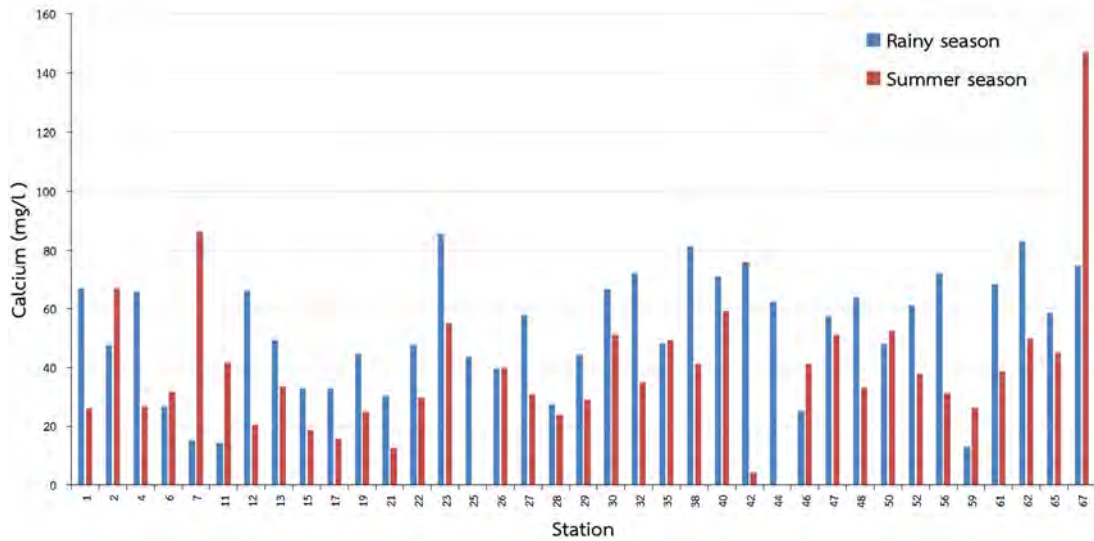
Station	Hydrogeochemistry (mg/l)							
	Cl ⁻	F ⁻	Br ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻
9	2.58	0.05	0.17	0.013	0.88	2.57	0.055	28.0
14	4.04	0.18	0.44	0.010	0.81	4.02	0.026	83.6
18	4.32	0.09	0.32	0.013	1.53	5.84	n.a.	64.8
24	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
31	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
34	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
36	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
43	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
51	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
53	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
54	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
57	9.91	0.11	0.37	0.008	1.13	4.80	0.021	77.8
66	3.13	0.08	0.34	n.a.	0.84	4.44	n.a.	69.8
68	4.29	0.10	0.38	0.024	1.25	4.04	0.022	76.8

n.a. = not applicable

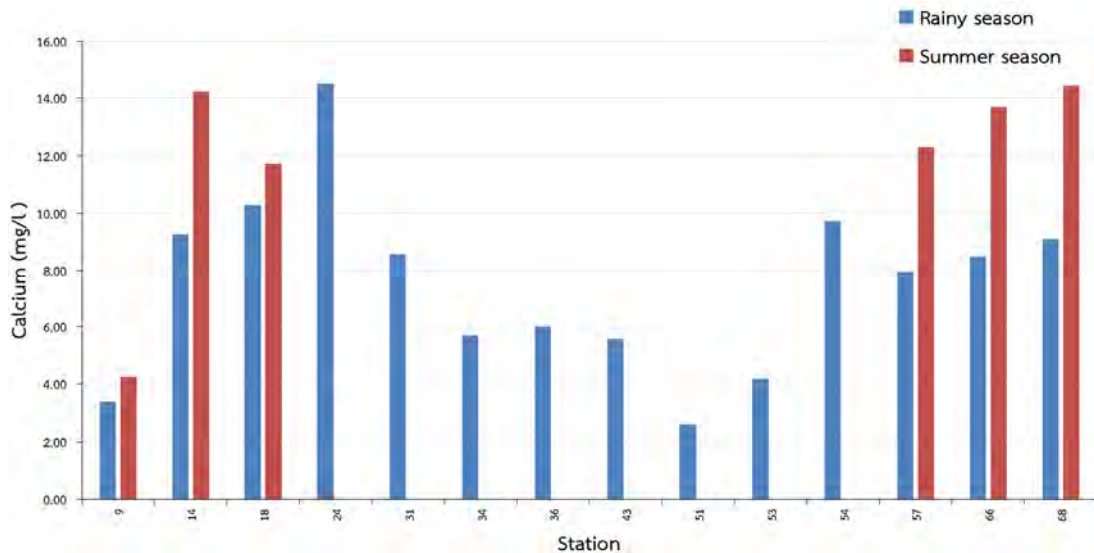
4.4.1 แคลเซียม (Ca²⁺)

ความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน มีค่าตั้งแต่ 12.94 – 85.71 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 52.44 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าความเข้มข้นของแคลเซียมที่มีค่ามากที่สุดถูกพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 23 ความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อน มีค่าตั้งแต่ 4.35 – 147.18 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 40.19 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเข้มข้นของแคลเซียมที่มีค่ามากที่สุดพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 และค่าความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำบาดาลในฤดูร้อนส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าในฤดูฝน ยกเว้นบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 02, 06, 07, 11, 26, 35, 46, 50, 59 และ 67 ดังแสดงในรูปที่ 4.14

ความเข้มข้นของแคลเซียมในน้ำผิวดินช่วงฤดูฝน มีค่าตั้งแต่ 2.62 – 14.52 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 7.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ในค่าความเข้มข้นของแคลเซียมในฤดูร้อนมีค่าตั้งแต่ 4.24 – 14.45 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 11.78 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าความเข้มข้นของแคลเซียมที่มีค่ามากที่สุดในฤดูฝนถูกพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 24 และในฤดูร้อนถูกพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 68 ทั้งนี้ความเข้มข้นของแคลเซียมในตัวอย่างน้ำผิวดินทั้งหมดในฤดูร้อนมีค่าสูงกว่าฤดูฝน ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นของแคลเซียมของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.15 ความเข้มข้นของแคลเซียมของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา

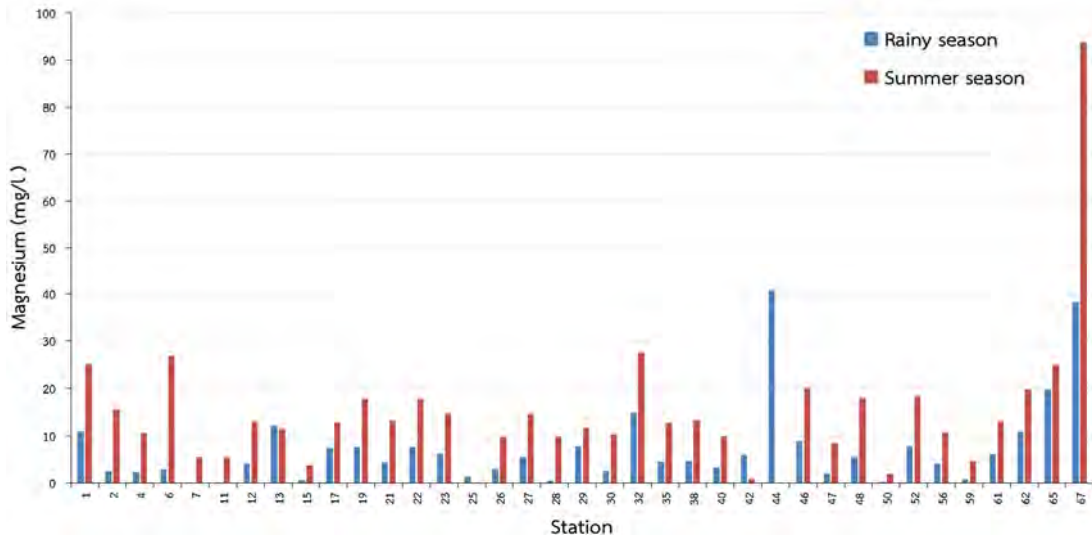
4.4.2 แมกนีเซียม (Mg^{2+})

ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน มีค่าตั้งแต่ 0.05 – 40.84 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 7.66 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในฤดูร้อนมีค่าตั้งแต่ 0.93 – 93.69 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 15.66 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่มีค่ามากที่สุดใฤดูฝนถูกพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 44 และในช่วงฤดูร้อนพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในน้ำบาดาลในฤดูร้อนส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าในฤดูฝน ยกเว้นในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 13 และ 42 นอกจากนี้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 07 และ 11 ช่วงฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าค่า detection limit ดังแสดงในรูปที่ 4.16

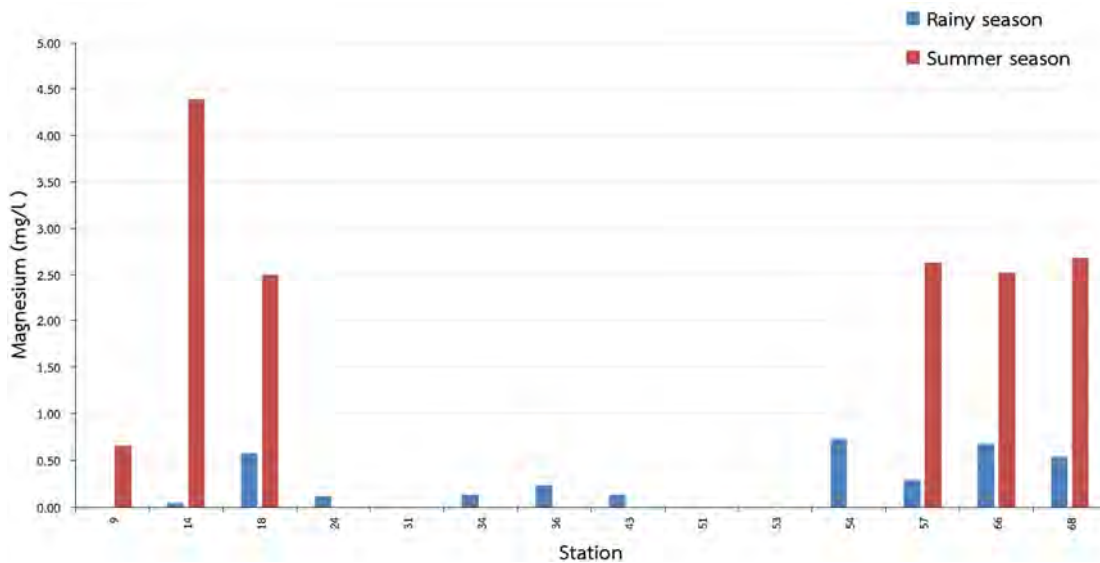
ความเข้มข้นของแมกนีเซียมช่วงฤดูฝนในน้ำผิวดินมีค่าตั้งแต่ 0.05 – 0.73 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ในช่วงฤดูร้อน ความเข้มข้นของแมกนีเซียมมีค่าตั้งแต่ 0.65 -4.39



มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูฝน พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 54 และในช่วงฤดูร้อน ถูกพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 14 นอกจากนี้ตัวอย่างน้ำผิวดินทั้งหมดในช่วงฤดูร้อนมีค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมสูงกว่าในช่วงฤดูฝน ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 ความเข้มข้นของแมกนีเซียมของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นของแมกนีเซียมของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา

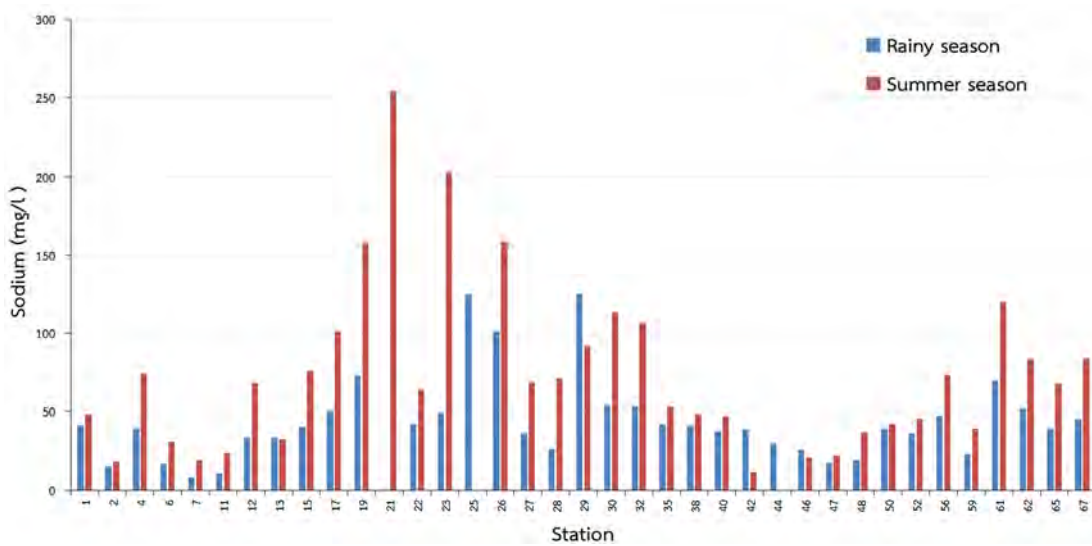
4.4.3 โซเดียม (Na⁺)

ความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน มีค่าตั้งแต่ 8.2 – 124.91 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 43.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของโซเดียมที่พบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 21 มีค่าต่ำกว่าค่า detection limit ลิตร ซึ่งความเข้มข้นของโซเดียมที่มีค่ามากที่สุดในฤดูฝนถูกพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 25 ขณะที่ความเข้มข้นของโซเดียมในฤดูร้อนมีค่าตั้งแต่ 11.65 – 254.13 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 73.51 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นของโซเดียมที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูร้อนถูกพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 21

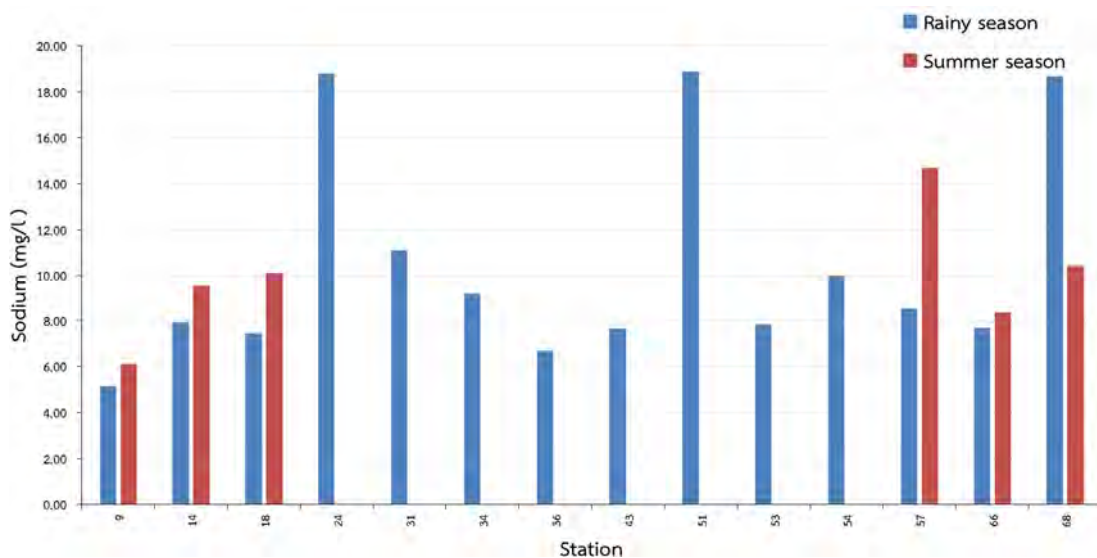


และความเข้มข้นของโซเดียมในน้ำบาดาลในฤดูร้อนส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าในฤดูฝน ยกเว้นในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 13, 29, 42 และ 46 ดังแสดงในรูปที่ 4.18

ความเข้มข้นของโซเดียมช่วงฤดูฝนในน้ำผิวดินมีค่าตั้งแต่ 5.16 – 18.88 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 10.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ในช่วงฤดูร้อน ความเข้มข้นของโซเดียมมีค่าตั้งแต่ 6.10 - 14.68 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 9.87 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของโซเดียมที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูฝน ถูกพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 51 และในช่วงฤดูร้อน พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 57 นอกจากนี้ตัวอย่างน้ำผิวดินทั้งหมดในช่วงฤดูฝนมีความเข้มข้นของโซเดียมสูงกว่าในช่วงฤดูร้อน ยกเว้นที่พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 68 ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.18 ความเข้มข้นของโซเดียมของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา



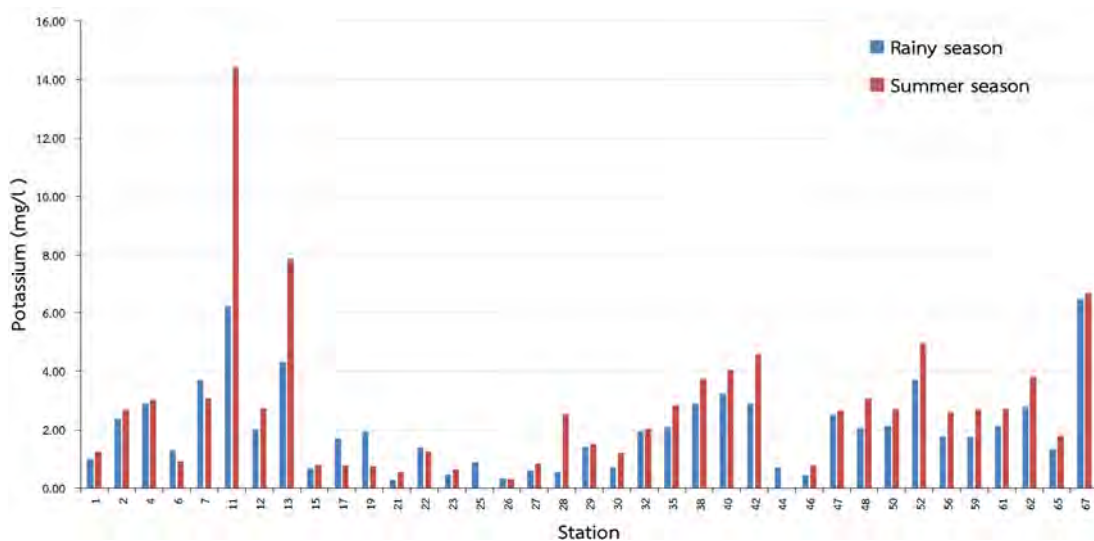
รูปที่ 4.19 ความเข้มข้นของโซเดียมของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา



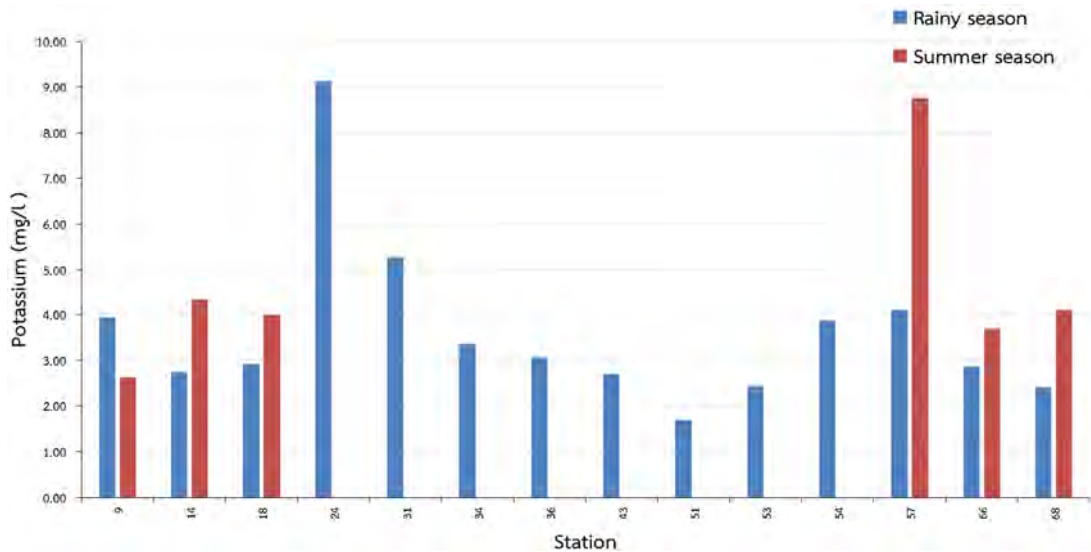
4.4.4 โพแทสเซียม (K^+)

ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน มีค่าตั้งแต่ 0.29 – 6.45 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในฤดูร้อนมีค่าตั้งแต่ 0.32 – 14.39 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.82 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่มีค่ามากที่สุด ในฤดูฝนถูกพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 และความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูร้อนพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 11 โดยความเข้มข้นของโพแทสเซียมในน้ำบาดาลในฤดูร้อนส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าในฤดูฝน ยกเว้นในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 06, 07, 17, 19, 22 และ 26 ดังแสดงในรูปที่ 4.20

ความเข้มข้นของโพแทสเซียมช่วงฤดูฝนในน้ำผิวดินมีค่าตั้งแต่ 1.70 – 9.13 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 3.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ในช่วงฤดูร้อน ความเข้มข้นของโพแทสเซียมมีค่าตั้งแต่ 2.63 – 8.76 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูฝน พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 24 และในช่วงฤดูร้อน พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 57 นอกจากนี้ตัวอย่างน้ำผิวดินทั้งหมดในช่วงฤดูร้อนมีค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงกว่าในช่วงฤดูฝน ยกเว้นที่พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 09 ดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.20 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

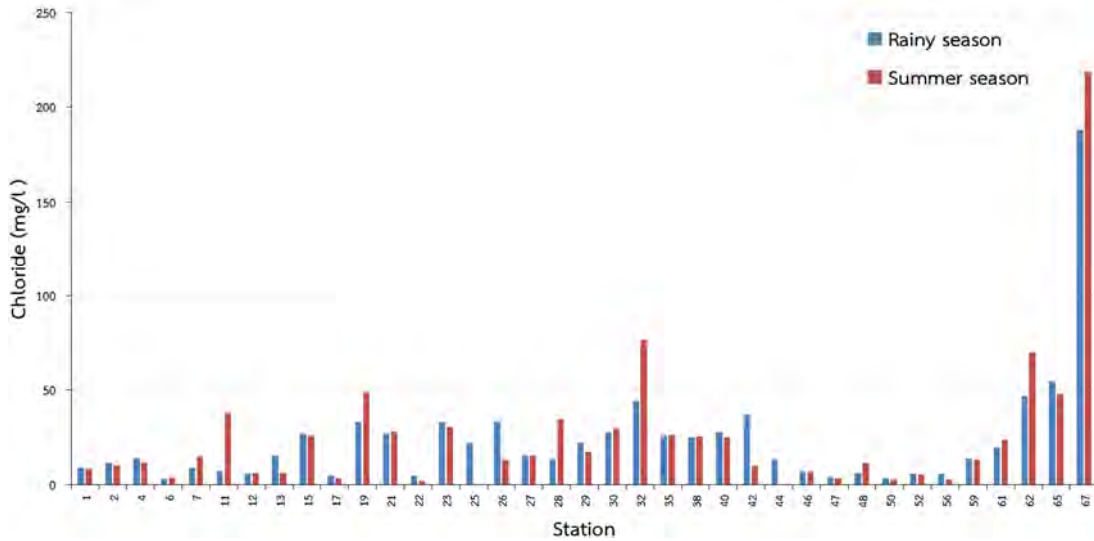


รูปที่ 4.21 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา

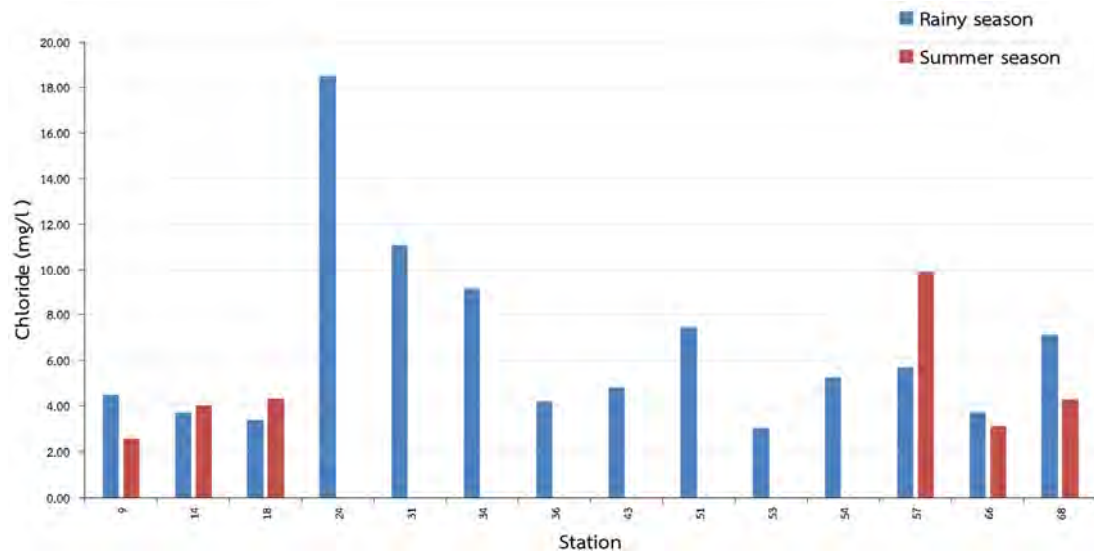
4.4.5 คลอไรด์ (Cl⁻)

ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน มีค่าตั้งแต่ 2.98 – 188.15 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 23.59 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ความเข้มข้นของคลอไรด์ในฤดูร้อนมีค่าตั้งแต่ 2.09 – 218.56 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 26.34 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูฝนพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 โดยจำนวนบ่อบาดาลมากกว่าครึ่งหนึ่งของตำแหน่งเก็บตัวอย่างทั้งหมด แสดงค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ที่พบในฤดูร้อนสูงกว่าในฤดูฝน ยกเว้นในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 01, 02, 04, 13, 15, 17, 22, 23, 26, 27, 29, 40, 42, 46, 47, 50, 52, 56 และ 59 ดังแสดงในรูปที่ 4.22

ความเข้มข้นของคลอไรด์ช่วงฤดูฝนในน้ำผิวดินมีค่าตั้งแต่ 3.03 – 18.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 6.54 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ในช่วงฤดูร้อน ความเข้มข้นของคลอไรด์มีค่าตั้งแต่ 2.58 – 9.91 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของคลอไรด์ที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูฝน พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 24 และในช่วงฤดูร้อน ถูกพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 57 ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.22 ความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.23 ความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา

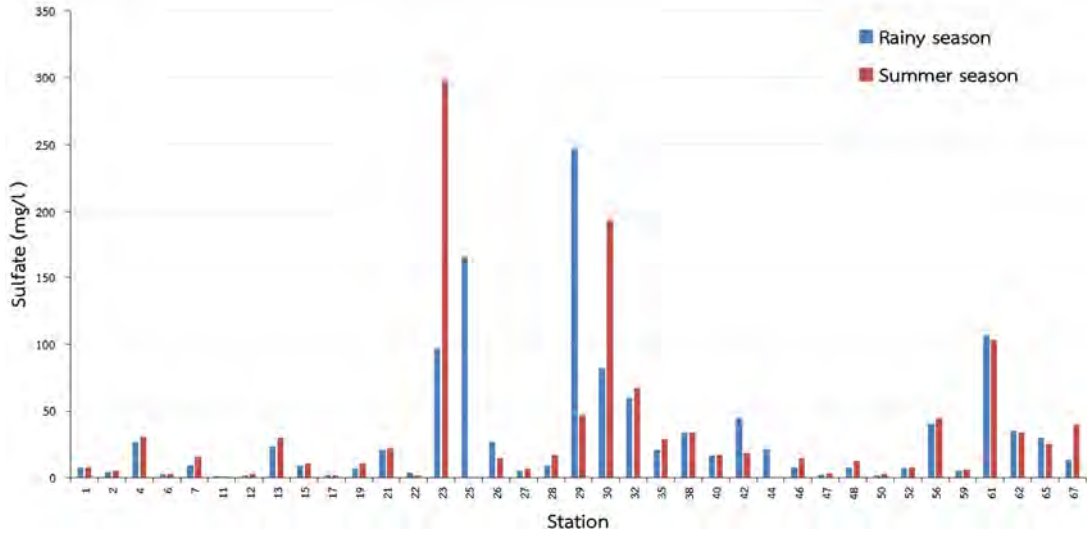
4.4.6 ซัลเฟต (SO_4^{2-})

ความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน มีค่าตั้งแต่ 1.33 – 247.47 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 32.68 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ความเข้มข้นของซัลเฟตในฤดูร้อนมีค่าตั้งแต่ 0.98 – 297.86 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 33.68 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของซัลเฟตที่มีค่ามากที่สุดที่พบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 29 และในฤดูร้อนพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 23 โดยความเข้มข้นของซัลเฟตที่พบในบ่อบาดาลส่วนใหญ่ช่วงฤดูร้อนมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน ยกเว้นในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 06, 11, 17, 22, 26, 29, 38, 42, 61, 62 และ 65 ดังแสดงในรูปที่ 4.24

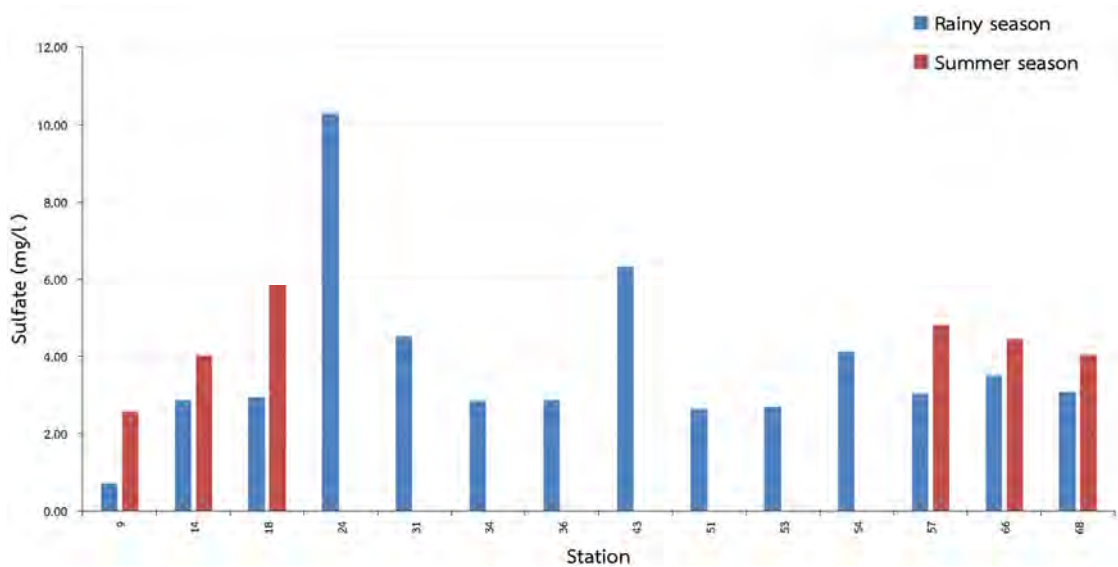
ความเข้มข้นของซัลเฟตช่วงฤดูฝนในน้ำผิวดินมีค่าตั้งแต่ 0.72 – 10.27 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 3.74 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ในช่วงฤดูร้อน ความเข้มข้นของซัลเฟตมีค่าตั้งแต่ 2.57 – 5.84 มิลลิกรัม



ต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของซัลเฟตที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูฝน พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 24 และในช่วงฤดูร้อน พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 18 และความเข้มข้นของซัลเฟตในแต่ละตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างจะมีค่าสูงในช่วงฤดูร้อนดังแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.24 ความเข้มข้นของซัลเฟตของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.25 ความเข้มข้นของซัลเฟตของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา

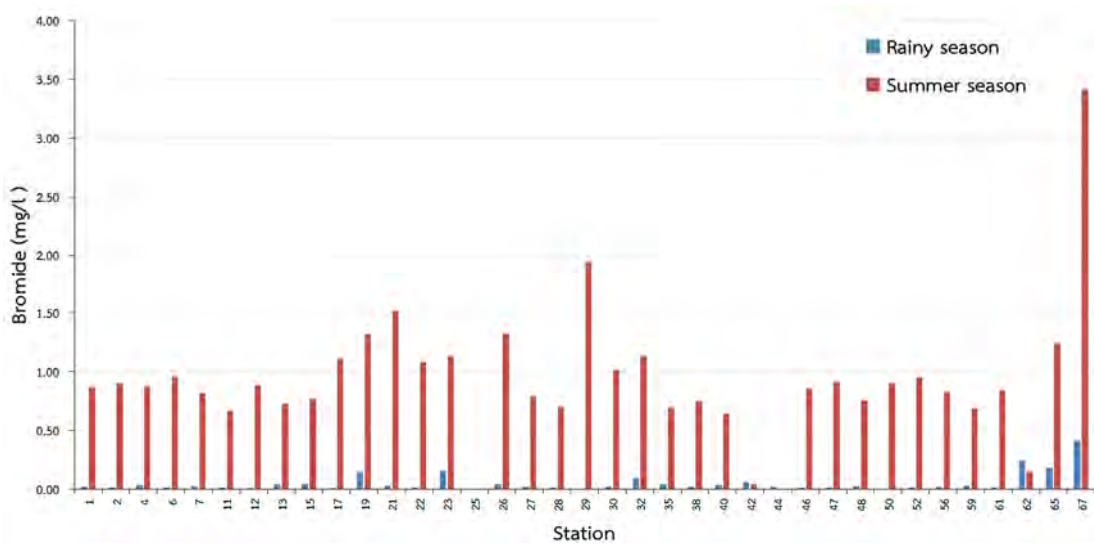
4.4.7 โบรไมด์ (Br⁻)

ความเข้มข้นของโบรไมด์ในน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน มีค่าตั้งแต่ 0.01 – 0.41 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.057 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ความเข้มข้นของโบรไมด์ในฤดูร้อนมีค่าตั้งแต่ 0.04 – 3.41 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.98 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของโบรไมด์ที่มีค่ามากที่สุดในทั้งสองฤดูกาล พบ

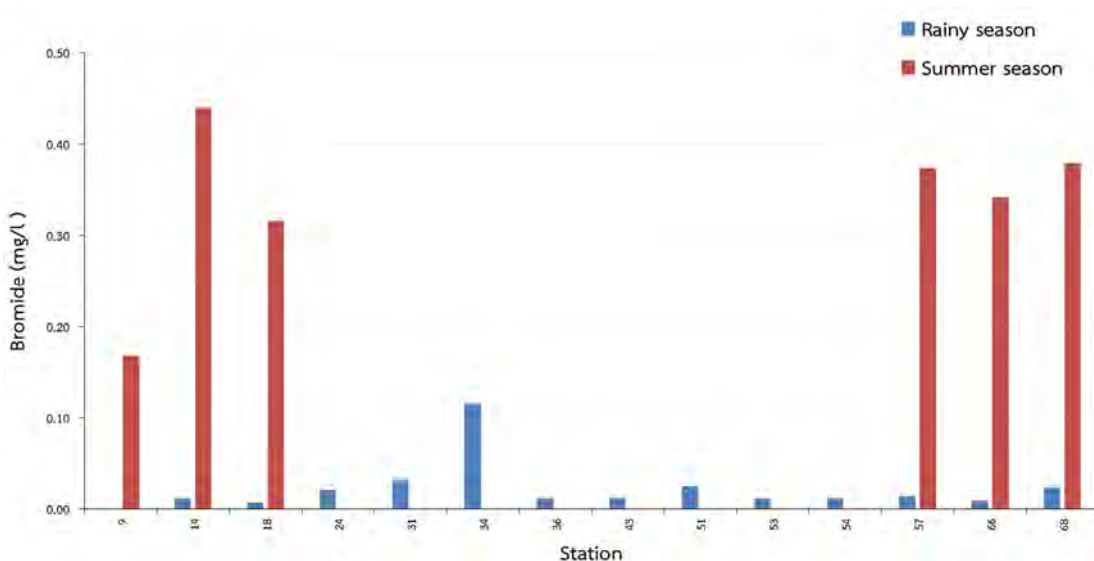


ในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 ซึ่งค่าความเข้มข้นของโบรไมด์ที่พบในบ่อบาดาลช่วงฤดูร้อนมีค่ามากกว่าในฤดูฝน โดยเฉพาะในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 29 และ 50 อย่างไรก็ตามบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 42 และ 62 พบค่าความเข้มข้นของโบรไมด์ในฤดูฝนสูงกว่าในฤดูร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.26

ความเข้มข้นของโบรไมด์ช่วงฤดูฝนในน้ำผิวดินมีค่าตั้งแต่ 0.007 – 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.024 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ในช่วงฤดูร้อน ความเข้มข้นของโบรไมด์มีค่าตั้งแต่ 0.17 – 0.44 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.34 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของโบรไมด์ที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูฝน ถูกพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 34 และในช่วงฤดูร้อน ถูกพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 14 และความเข้มข้นของโบรไมด์ในน้ำผิวดินทั้งหมดที่พบในช่วงฤดูร้อนมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูฝน ยกเว้นในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 09 ดังแสดงในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.26 ความเข้มข้นของโบรไมด์ของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา



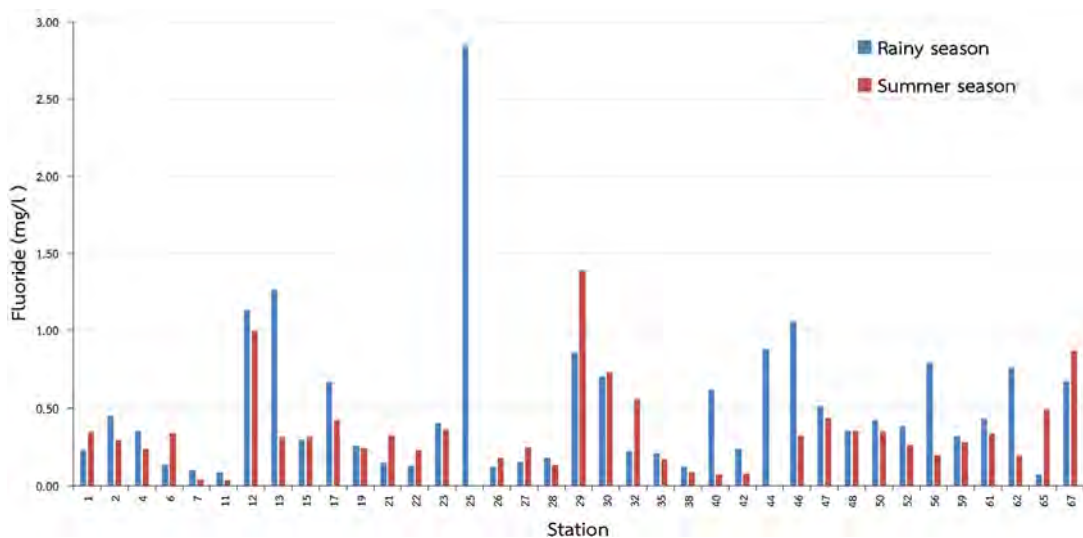
รูปที่ 4.27 ความเข้มข้นของโบรไมด์ของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา



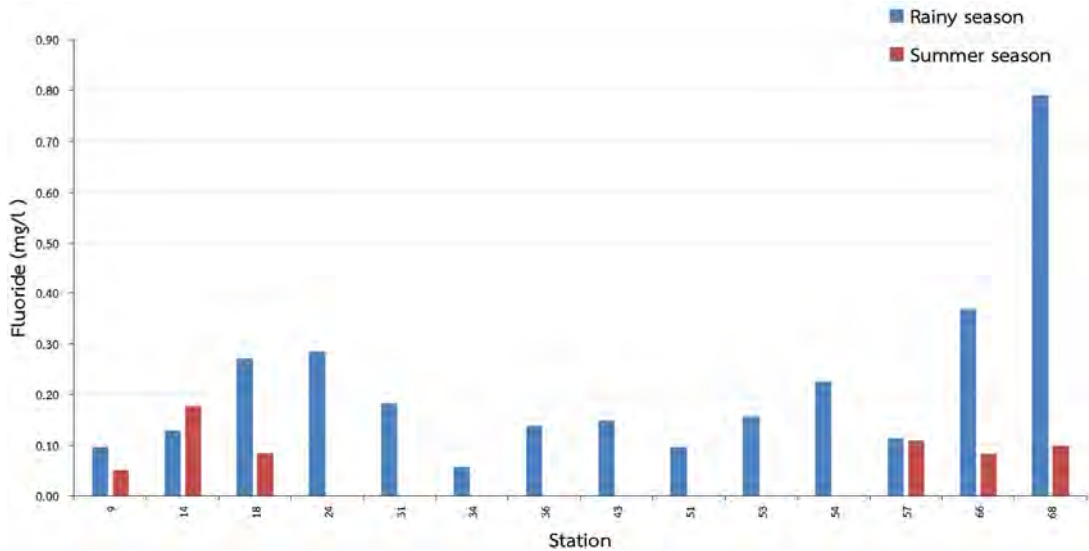
4.4.8 ฟลูออไรด์ (F)

ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน มีค่าตั้งแต่ 0.07 – 2.84 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในฤดูร้อนมีค่าตั้งแต่ 0.03 – 1.40 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่มีค่ามากที่สุดในฤดูฝน พบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 25 และในฤดูร้อนพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 29 โดยความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่พบในบ่อบาดาลส่วนใหญ่ช่วงฤดูร้อนมีค่าน้อยกว่าในฤดูฝน ยกเว้นในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 01, 06, 15, 21, 22, 26, 27, 29, 30, 32, 65 และ 67 ดังแสดงในรูปที่ 4.28

ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ช่วงฤดูฝนในน้ำผิวดินมีค่าตั้งแต่ 0.06 – 0.79 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ในช่วงฤดูร้อน ความเข้มข้นของฟลูออไรด์มีค่าตั้งแต่ 0.05 – 0.18 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูฝน พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 68 และในช่วงฤดูร้อน พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 14 และความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในน้ำผิวดินส่วนใหญ่ที่พบในช่วงฤดูร้อนมีค่าต่ำกว่าในช่วงฤดูฝน ยกเว้นในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 14 ดังแสดงในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.28 ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.29 ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา

4.4.9 ฟอสเฟต (PO_4^{3-})

ความเข้มข้นของฟอสเฟตช่วงฤดูฝน ในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 07, 13, 19, 46, 56 และ 62 มีค่า 15.22, 13.88, 13.90, 13.85, 13.87 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฟอสเฟตจากทุกบ่อบาดาลในฤดูฝนมีค่าประมาณ 14.08 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของฟอสเฟตที่มีค่ามากที่สุดในฤดูฝนพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 07 ขณะที่ความเข้มข้นของฟอสเฟตในฤดูร้อนมีค่าตั้งแต่ 0.01 – 0.19 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นของฟอสเฟตที่มีค่ามากที่สุดในฤดูร้อนพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 ส่วนค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตในบ่อบาดาลตำแหน่งที่เหลือจะมีค่าต่ำกว่าค่า detection limit เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของฟอสเฟตในทั้งสองฤดูกาล พบว่าความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อนส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าในฤดูฝน

ในฤดูฝน ความเข้มข้นของฟอสเฟตในน้ำผิวดินที่พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 51 มีค่า 13.92 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 68 มีค่า 13.89 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 13.91 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ความเข้มข้นของฟอสเฟตในช่วงฤดูร้อน ที่พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 09 มีค่า 0.055 มิลลิกรัมต่อลิตร ตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 14 มีค่า 0.026 มิลลิกรัมต่อลิตร ตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 57 มีค่า 0.021 มิลลิกรัมต่อลิตร และตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 68 มีค่า 0.022 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของฟอสเฟตที่พบในฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนความเข้มข้นของฟอสเฟตที่พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ไม่ได้กล่าวถึงมีค่าต่ำกว่าค่า detection limit และค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตที่มีค่ามากที่สุดในฤดูร้อนถูกพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 09

4.4.10 แอมโมเนียม (NH_4^+)

ความเข้มข้นของแอมโมเนียมช่วงฤดูฝน ในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 02, 06, 47, 48 และ 67 มีค่า 0.046, 0.151, 0.067, 0.029, 0.239 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ไม่ได้กล่าวถึงจะมีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมต่ำกว่าค่า detection limit ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนียมจากทุกบ่อบาดาลในฤดู



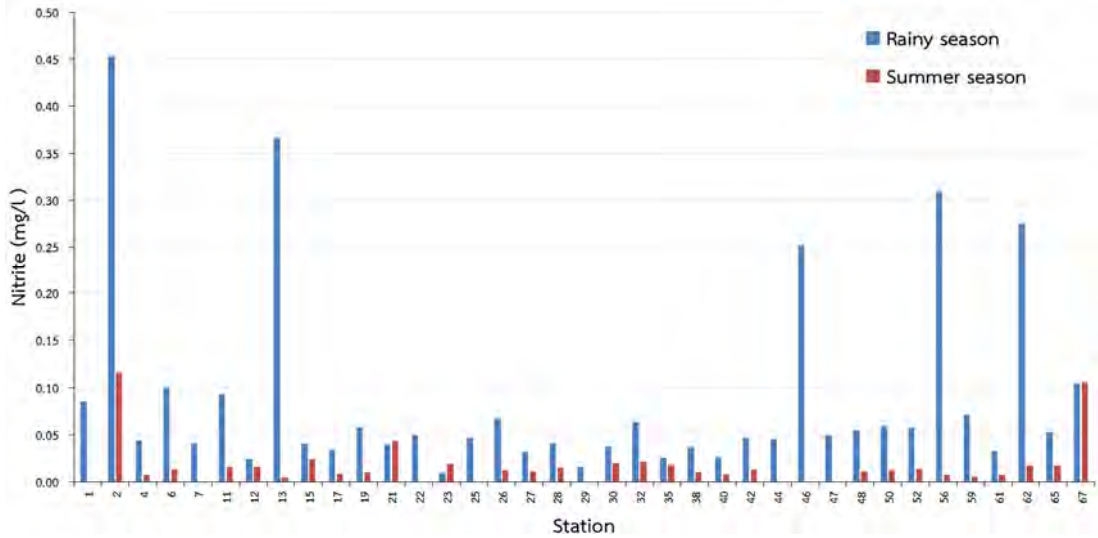
ฝนมีค่าประมาณ 0.106 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของแอมโมเนียมที่มีค่ามากที่สุดในฤดูฝนพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 มีค่า 0.239 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในฤดูร้อนมีค่าตั้งแต่ 0.052 – 11.77 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.808 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในตัวอย่างทั้งหมดมีค่าต่ำกว่า 1.57 มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 11 ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมเป็น 11.77 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อนส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าในฤดูฝน ยกเว้นในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 06, 47 และ 48 ซึ่งเป็นตำแหน่งบ่อบาดาลที่มีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมในฤดูร้อนต่ำกว่าค่า detection limit และมีค่าต่ำกว่าในฤดูฝน นอกจากนี้บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 15, 17, 19, 21, 26, 27, 35, 40, 50, 56 และ 61 แสดงค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมต่ำกว่าค่า detection limit ในทั้งสองฤดูกาล

ในฤดูฝน ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำผิวดินของตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 09, 24, 31 และ 36 มีค่า 0.024, 2.717, 1.287 และ 0.048 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.019 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของแอมโมเนียมที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูฝน พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 24 โดยค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมในตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่า detection limit ขณะที่ในช่วงฤดูร้อน ความเข้มข้นของแอมโมเนียม มีค่าตั้งแต่ 0.115 – 0.631 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.378 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของแอมโมเนียมที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูร้อน ถูกพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 14 นอกจากนี้ตัวอย่างน้ำผิวดินทั้งหมดในช่วงฤดูร้อนมีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมสูงกว่าในช่วงฤดูฝน สอดคล้องกับที่ตรวจพบในบ่อบาดาล อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของแอมโมเนียมที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูร้อน คือ 2.717 มิลลิกรัมต่อลิตร) ขณะที่ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมที่มีค่ามากที่สุดในฤดูฝน คือ 0.631 มิลลิกรัมต่อลิตร

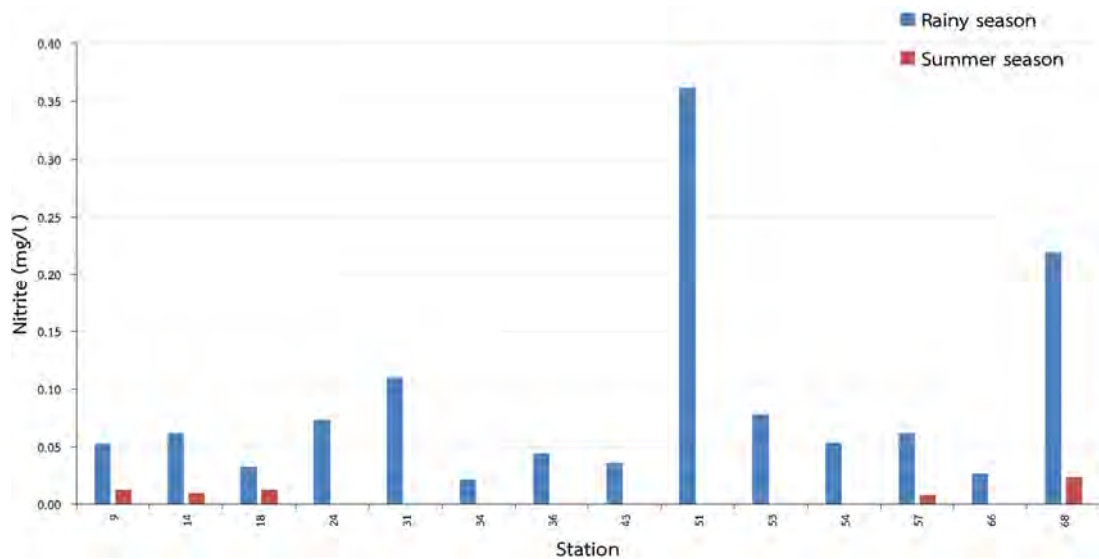
4.4.11 ไนไตรต์ (NO₂⁻)

ความเข้มข้นของไนไตรต์ในน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน มีค่าตั้งแต่ 0.009 – 0.453 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.087 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ความเข้มข้นของไนไตรต์ในฤดูร้อนมีค่าตั้งแต่ 0.005 – 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.021 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของไนไตรต์ที่มีค่ามากที่สุดในทั้งสองฤดูกาล พบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 02 โดยความเข้มข้นของไนไตรต์ที่พบในบ่อบาดาลส่วนใหญ่ช่วงฤดูร้อนมีค่าน้อยกว่าในฤดูฝน ยกเว้นในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 21, 23 และ 67 โดยเฉพาะในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 01, 07, 22, 29, 44, 46 และ 47 พบค่าความเข้มข้นของไนไตรต์ต่ำกว่าค่า detection limit ดังแสดงในรูปที่ 4.30

ความเข้มข้นของไนไตรต์ช่วงฤดูฝนในน้ำผิวดินมีค่าตั้งแต่ 0.021 – 0.362 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.088 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ในช่วงฤดูร้อน ความเข้มข้นของไนไตรต์มีค่าตั้งแต่ 0.008 – 0.024 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.014 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของไนไตรต์ที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูฝน ถูกพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 51 และในช่วงฤดูร้อน ถูกพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 68 และความเข้มข้นของไนไตรต์ในน้ำผิวดินส่วนใหญ่ที่พบในช่วงฤดูร้อนมีค่าต่ำกว่าในช่วงฤดูฝน โดยเฉพาะในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 66 จะมีค่าความเข้มข้นของไนไตรต์ต่ำกว่าค่า detection limit ดังแสดงในรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.30 ความเข้มข้นของไนไตรต์ของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา



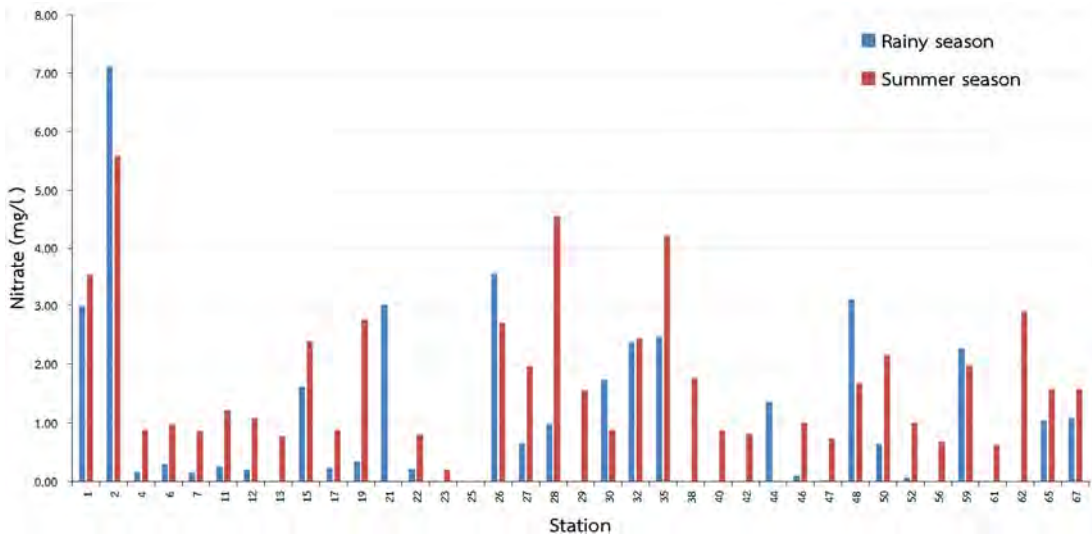
รูปที่ 4.31 ความเข้มข้นของไนไตรต์ของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา

4.4.12 ไนเตรท (NO_3^-)

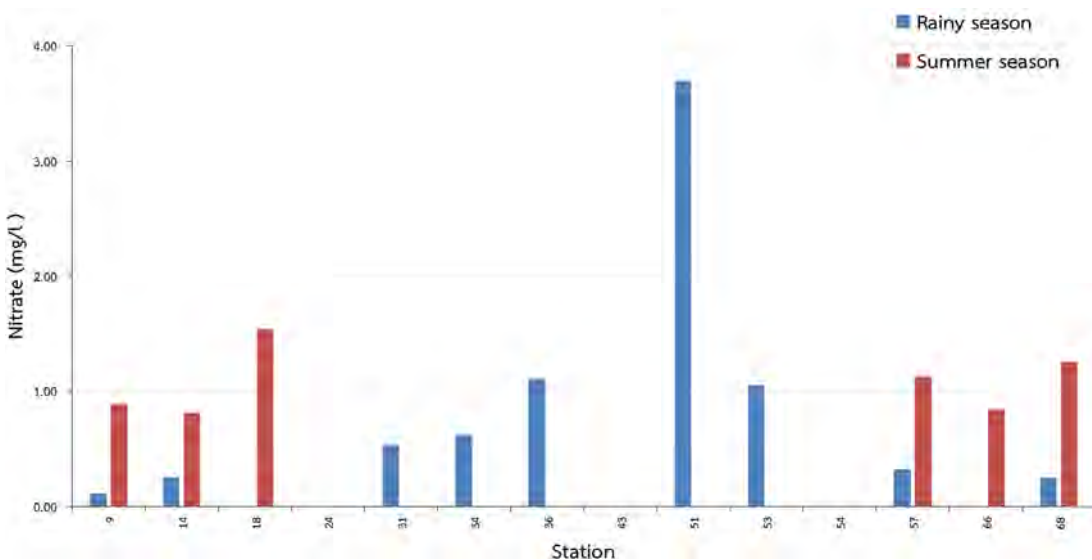
ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน มีค่าตั้งแต่ 0.018 – 7.11 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.409 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ความเข้มข้นของไนเตรทในฤดูร้อนมีค่าตั้งแต่ 0.203 – 5.59 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของไนเตรทที่มีค่ามากที่สุดในทั้งสองฤดูกาล ถูกพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 02 ซึ่งค่าความเข้มข้นของไนไตรต์เป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าความเข้มข้นของไนเตรท และความเข้มข้นของไนเตรทที่พบในบ่อบาดาลช่วงฤดูร้อนมีค่ามากกว่าในฤดูฝน โดยเฉพาะในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 13, 23, 29, 38, 40, 42, 56, 61 และ 62 ยกเว้นบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 02, 21, 26, 30, 48 และ 59 พบค่าความเข้มข้นของไนเตรทในฤดูฝนสูงกว่าในฤดูร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.32



ความเข้มข้นของไนเตรทช่วงฤดูฝนในน้ำผิวดินมีค่าตั้งแต่ 0.114 – 3.70 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.88 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ในช่วงฤดูร้อน ความเข้มข้นของไนเตรทมีค่าตั้งแต่ 0.81 – 1.53 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของไนเตรทที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูฝน พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 51 และในช่วงฤดูร้อน พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 18 และความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำผิวดินทั้งหมดที่พบในช่วงฤดูร้อนมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูฝน ยกเว้นในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 18 และ 66 ดังแสดงในรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.32 ความเข้มข้นของไนเตรทของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.33 ความเข้มข้นของไนเตรทของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา

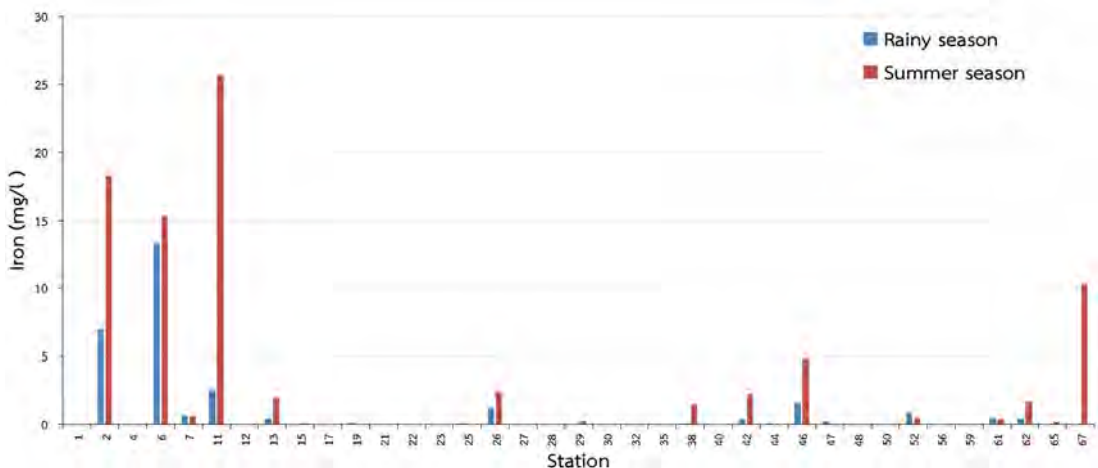
4.4.13 เหล็ก (Fe)

ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำบาดาลค่อนข้างต่ำ และแปรปรวน โดยอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.04 – 13.26 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเข้มข้นของเหล็กที่มีค่ามากที่สุดในฤดูฝน

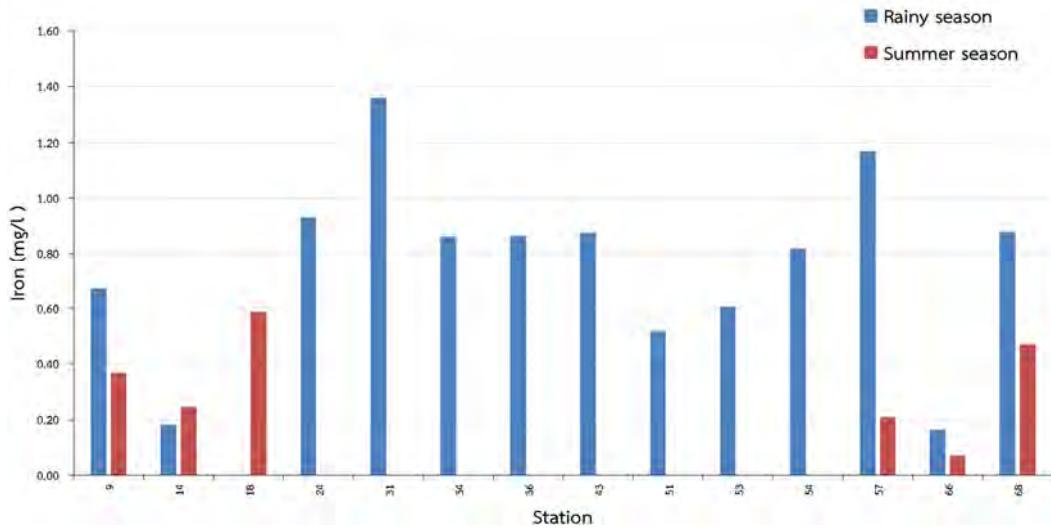


ถูกพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 6 และค่าความเข้มข้นของเหล็กในบ่อบาดาลช่วงฤดูฝนส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่า detection limit ทำนองเดียวกันกับค่าความเข้มข้นของเหล็กในฤดูร้อนซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่า detection limit และอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.02 – 25.70 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.11 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของเหล็กของแต่ละบ่อในช่วงฤดูร้อนจะมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูฝน ยกเว้นในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 07, 19, 32, 47, 52 และ 61 และค่าความเข้มข้นของเหล็กที่มีค่ามากที่สุดในฤดูร้อนถูกพบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 11 ตำแหน่งที่ 02 และตำแหน่งที่ 06 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.34

ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำผิวดินช่วงฤดูฝน มีค่าตั้งแต่ 0.16 – 1.36 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.76 มิลลิกรัมต่อลิตร และตัวอย่างทั้งหมดแสดงค่าความเข้มข้นของเหล็กต่ำกว่าค่า detection limit ยกเว้นตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 18 และค่าความเข้มข้นของเหล็กที่มีค่ามากที่สุดในฤดูฝนถูกพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 31 ในฤดูร้อนมีค่าความเข้มข้นของเหล็กอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.07 – 0.59 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.32 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าความเข้มข้นของเหล็กที่มีค่ามากที่สุดถูกพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 18 นอกจากนี้ความเข้มข้นของเหล็กที่พบในช่วงฤดูร้อนมีค่าต่ำกว่าในช่วงฤดูฝน ซึ่งไม่สอดคล้องกับความเข้มข้นของเหล็กที่พบในน้ำบาดาล ดังแสดงในรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.34 ความเข้มข้นของเหล็กของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

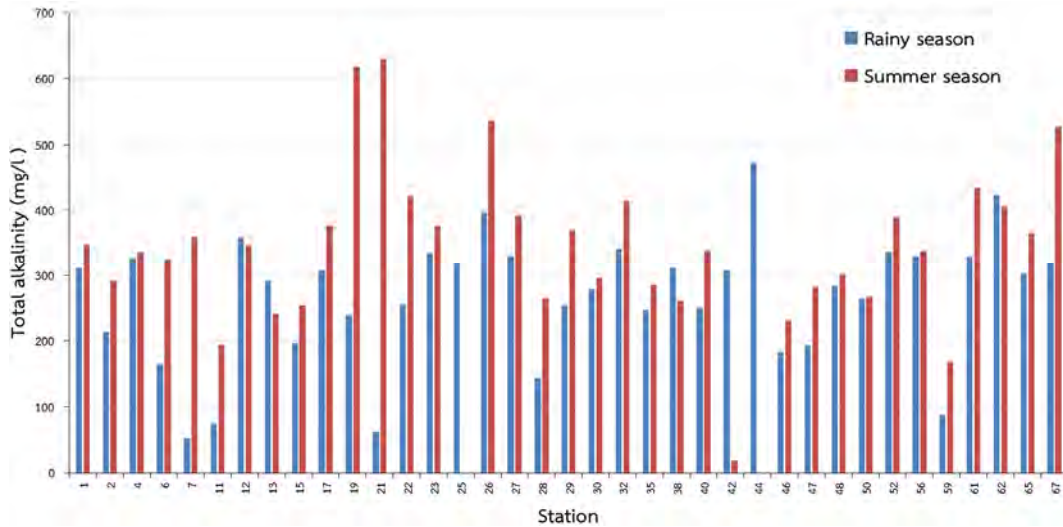


รูปที่ 4.35 ความเข้มข้นของเหล็กของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา

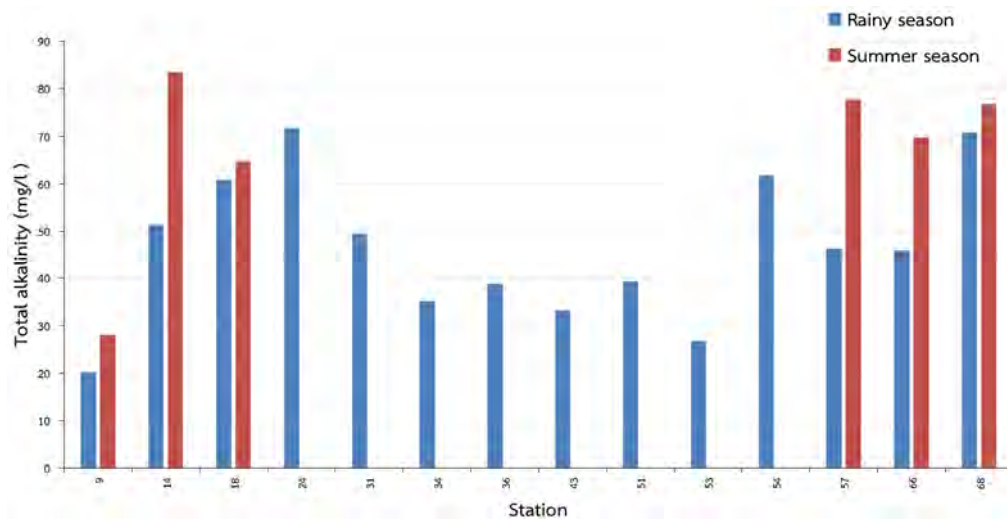
4.4.14 ค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity)

ความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างทั้งหมดในน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน มีค่าตั้งแต่ 51.80 – 473.6 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 267.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างทั้งหมดในฤดูร้อนมีค่าตั้งแต่ 19 – 628.6 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 342.89 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างทั้งหมดที่มีค่ามากที่สุด ในฤดูฝน พบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 44 และในฤดูร้อน พบในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 21 ซึ่งค่าความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างทั้งหมดที่พบในบ่อบาดาลช่วงฤดูร้อนมีค่ามากกว่าในฤดูฝน ยกเว้นในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 12, 13, 38, 42 และ 62 ดังแสดงในรูปที่ 4.36

ความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างทั้งหมดช่วงฤดูฝนในน้ำผิวดินมีค่าตั้งแต่ 20.2 – 71.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 46.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ในช่วงฤดูร้อน ความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างทั้งหมด มีค่าตั้งแต่ 28 – 83.6 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 66.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างทั้งหมดที่มีค่ามากที่สุดในช่วงฤดูฝน พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 24 และในช่วงฤดูร้อน พบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 14 และความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างทั้งหมดในน้ำผิวดินทั้งหมดที่พบในช่วงฤดูร้อนมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูฝน ดังแสดงในรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.36 ความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างทั้งหมดในน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.37 ความเข้มข้นของค่าความเป็นด่างทั้งหมดในน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา

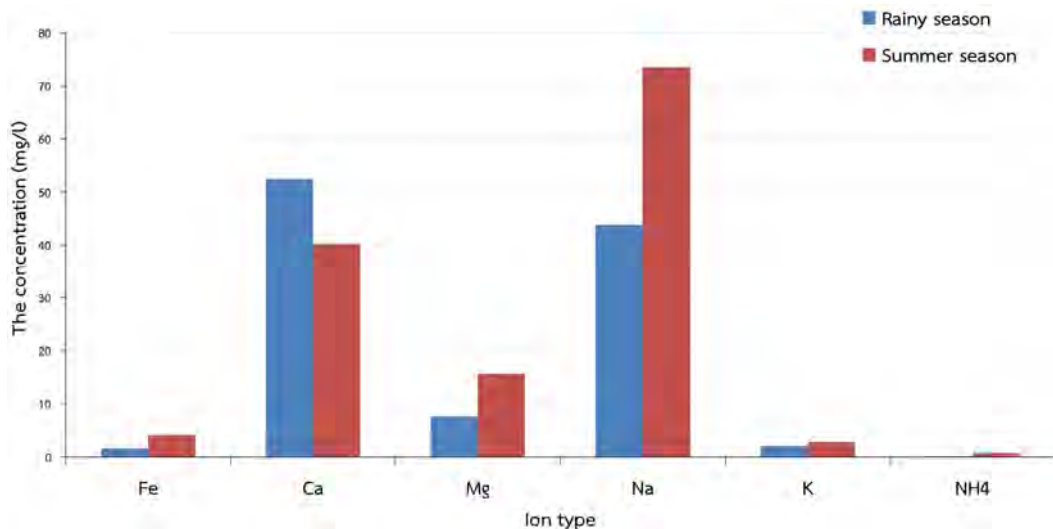
เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแคทไอออนทั้งหมดในน้ำบาดาล พบว่าค่าความเข้มข้นของแคทไอออนส่วนใหญ่ในฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าในฤดูร้อน ยกเว้นความเข้มข้นของ Ca^{2+} โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแต่ละไอออนในฤดูฝน สามารถเรียงลำดับจากค่าความเข้มข้นมากไปหาค่าความเข้มข้นน้อยได้ดังนี้ $Ca^{2+} > Na^+ > Mg^{2+} > K^+ > Fe > NH_4^+$ และสำหรับในฤดูร้อน เป็นดังนี้ $Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Fe > K^+ > NH_4^+$ ดังแสดงในรูปที่ 4.38

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแคทไอออนทั้งหมดในน้ำผิวดิน พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ Fe , Na^+ โซเดียม และ NH_4^+ ในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าในฤดูร้อน ขณะที่ค่าความเข้มข้นของ Ca^{2+} , Mg^{2+} และ K^+ ในฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าในฤดูร้อน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของแต่ละไอออนในฤดูฝนสามารถเรียงลำดับจากค่าความเข้มข้นมากไปหาค่าความเข้มข้นน้อย ได้ดังนี้ $Na^+ > Ca^{2+} > K^+ > NH_4^+ > Fe > Mg^{2+}$ และในฤดูร้อนเป็นดังนี้ $Ca^{2+} > Na^+ > K^+ > Mg^{2+} > NH_4^+ > Fe$ ดังแสดงในรูปที่ 4.39

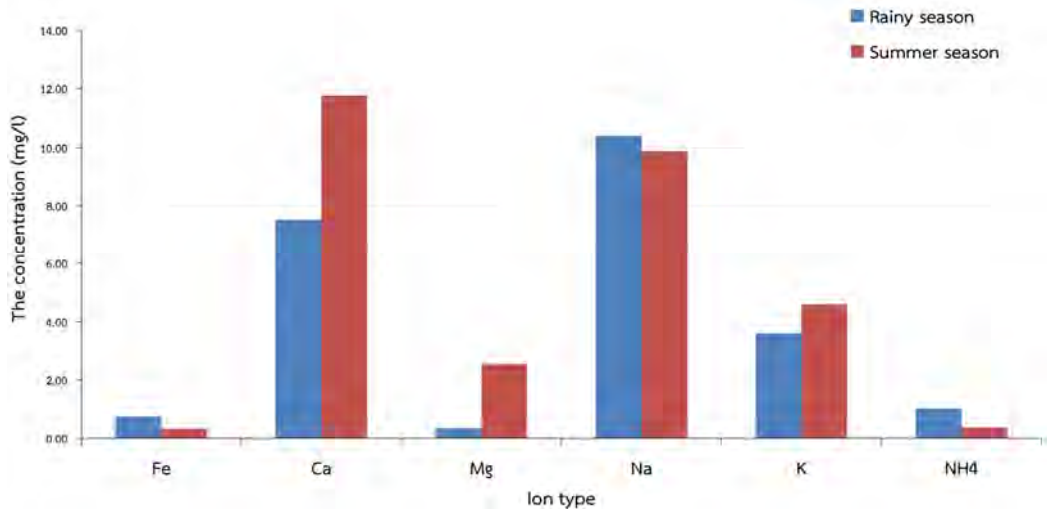


เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแอนไอออนทั้งหมดในน้ำบาดาล พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแอนไอออนส่วนใหญ่ในฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าในฤดูร้อน ยกเว้น F^- , NO_2^- และ PO_4^{3-} และเมื่อเรียงลำดับค่าความเข้มข้นของแต่ละไอออนในฤดูฝนจากค่าความเข้มข้นมากไปหาค่าความเข้มข้นน้อยจะได้ว่า ค่าความเป็นต่างทั้งหมด $> SO_4^{2-} > Cl^- > PO_4^{3-} > NO_3^- > F^- > NO_2^- > Br^-$ และในช่วงฤดูร้อน เป็นดังนี้ ค่าความเป็นต่างทั้งหมด $> SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^- > Br^- > F^- > PO_4^{3-} > NO_2^-$ ดังแสดงในรูปที่ 4.40 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแอนไอออนทั้งหมดในน้ำผิวดิน พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ Cl^- , F^- และ NO_2^- และ PO_4^{3-} ในฤดูฝนมีค่าสูงกว่าในฤดูร้อน ขณะที่ค่าความเข้มข้นของ SO_4^{2-} , NO_3^- ไนเตรทและ Br^- ในฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าในฤดูร้อน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของแต่ละไอออนในฤดูฝนสามารถเรียงลำดับจากค่าความเข้มข้นมากไปหาค่าความเข้มข้นน้อย ได้ดังนี้ ค่าความเป็นต่างทั้งหมด $> PO_4^{3-} > Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^- > F^- > NO_2^- > Br^-$ และในฤดูร้อนเป็นดังนี้ ค่าความเป็นต่างทั้งหมด $> Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^- > Br^- > F^- > PO_4^{3-} > NO_2^-$ ดังแสดงในรูปที่ 4.41

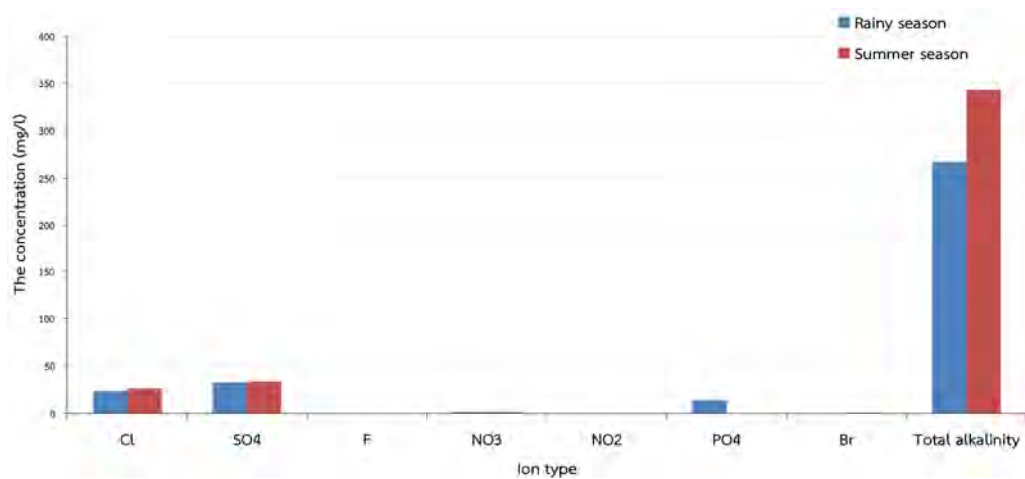
เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออนทั้งหมดในน้ำบาดาล สามารถเรียงลำดับค่าความเข้มข้นของแต่ละไอออนในฤดูฝนจากค่าความเข้มข้นมากไปหาค่าความเข้มข้นน้อยจะได้ว่า ค่าความเป็นต่างทั้งหมด $> Ca^{2+} > Na^+ > SO_4^{2-} > Cl^- > PO_4^{3-} > Mg^{2+} > K^+ > Fe > NO_3^- > F^- > NH_4^+ > NO_2^- > Br^-$ และในช่วงฤดูร้อน เป็นดังนี้ ค่าความเป็นต่างทั้งหมด $> Na^+ > Ca^{2+} > SO_4^{2-} > Cl^- > Mg^{2+} > Fe > K^+ > NO_3^- > Br^- > NH_4^+ > F^- > PO_4^{3-} > NO_2^-$ ดังแสดงในรูปที่ 4.42 เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออนทั้งหมดในน้ำผิวดิน สามารถเรียงลำดับค่าความเข้มข้นของแต่ละไอออนในฤดูฝนจากค่าความเข้มข้นมากไปหาค่าความเข้มข้นน้อยจะได้ว่า ค่าความเป็นต่างทั้งหมด $> PO_4^{3-} > Na^+ > Ca^{2+} > Cl^- > SO_4^{2-} > K^+ > NH_4^+ > NO_3^- > Fe > Mg^{2+} > F^- > NO_2^- > Br^-$ และในช่วงฤดูร้อน เป็นดังนี้ ค่าความเป็นต่างทั้งหมด $> Ca^{2+} > Na^+ > Cl^- > K^+ > SO_4^{2-} > Mg^{2+} > NO_3^- > NH_4^+ > Br^- > Fe > F^- > PO_4^{3-} > NO_2^-$ ดังแสดงในรูปที่ 4.43



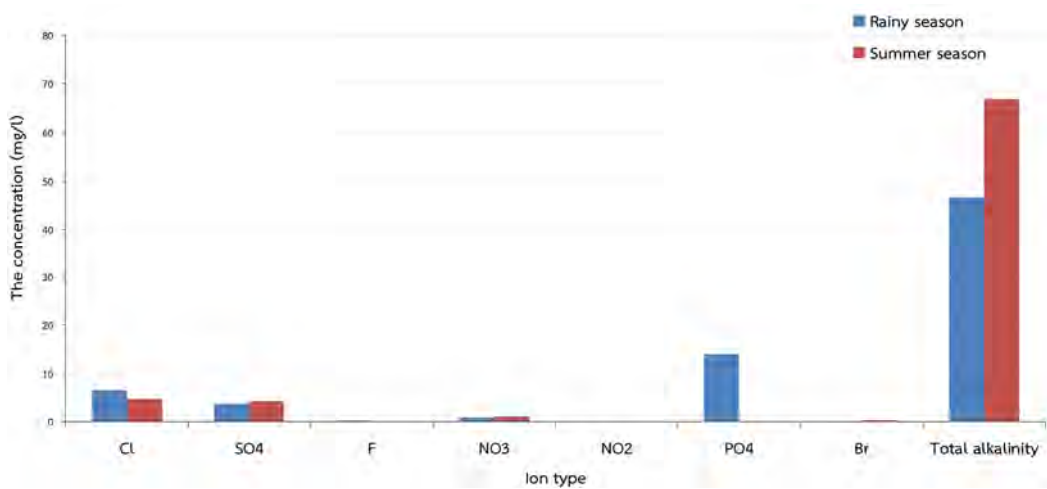
รูปที่ 4.38 ค่าความเข้มข้นของแต่ละแคทไอออนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา



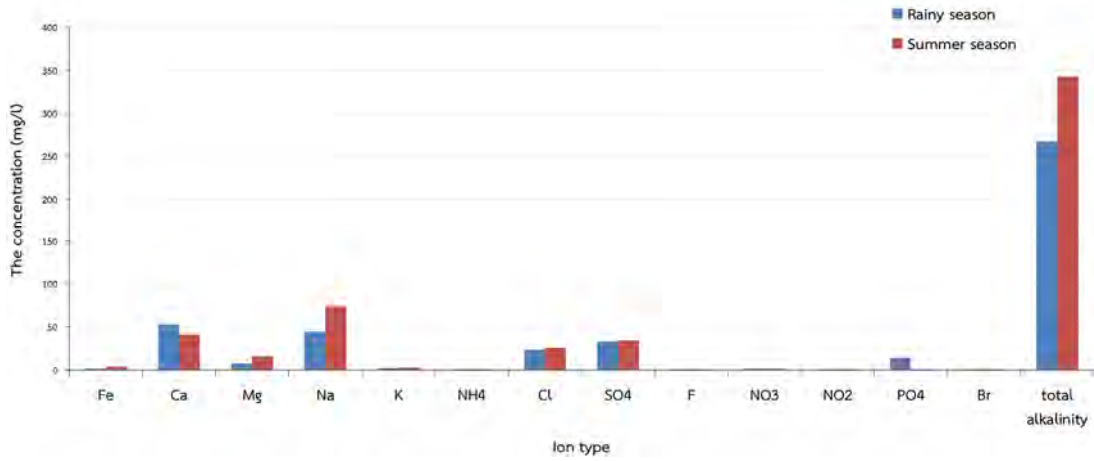
รูปที่ 4.39 ค่าความเข้มข้นของแต่ละแคทไอออนของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา



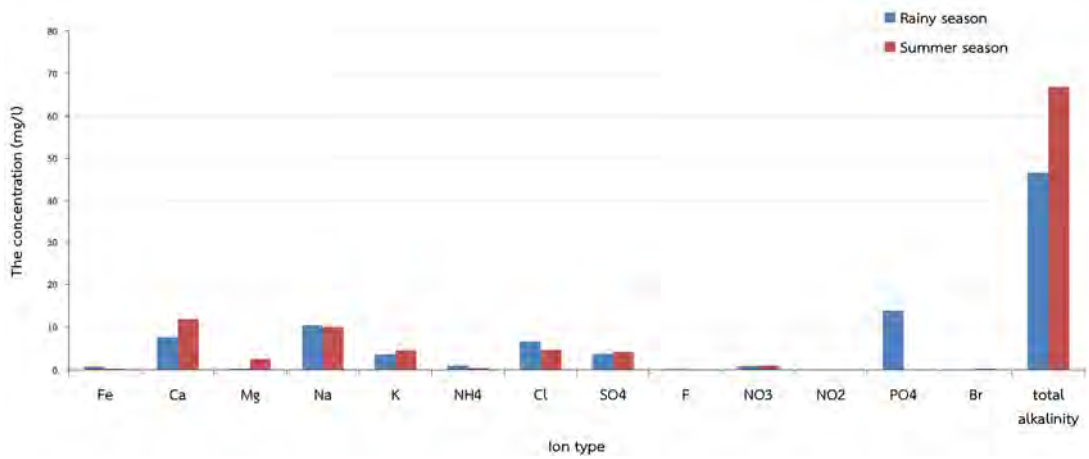
รูปที่ 4.40 ค่าความเข้มข้นของแต่ละแอนไอออนและค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.41 ค่าความเข้มข้นของแต่ละแอนไอออนและค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 4.42 ค่าความเข้มข้นของแต่ละไอออนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

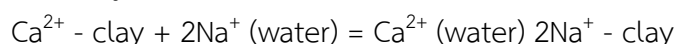


รูปที่ 4.43 ค่าความเข้มข้นของแต่ละไอออนของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

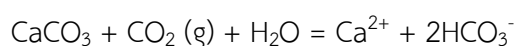


4.5 ชนิดของน้ำ (Water types)

จำแนกอุทกเคมีทั่วไป (Hydrochemical facies) ของน้ำบาดาลสามารถจำแนกโดยใช้แผนภาพ piper diagram (Galloway และ Kaiser, 1980) ซึ่งจะพล็อตระหว่างเปอร์เซ็นต์ของแคทไอออน และแอนไอออน ชนิดของแคทไอออนที่ใช้ประกอบด้วย Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ และแอนไอออนที่ใช้ประกอบด้วย Cl^- , SO_4^{2-} และผลรวมของ HCO_3^- และ CO_3^{2-} โดยชนิดของน้ำถูกแบ่งตามการศึกษาของ Galloway และ Kaiser (1980) ออกเป็น 10 ชนิด ดังนี้ $Ca-HCO_3$, $Ca-Na-HCO_3$, $Ca-HCO_3-Cl$, $Ca-Cl$, $Ca-Na-Cl$, $Na-HCO_3$, $Na-HCO_3-Cl$, $Ca-Na-HCO_3-Cl$, SO_4 และ $Na-Cl$ ผลการศึกษาอุทกเคมีทั่วไปของน้ำบาดาลทั้งสองฤดูกาลถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 4.9 ช่วงฤดูฝนพบว่าชนิดของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วย $Ca-Na-HCO_3$, $Ca-HCO_3$, $(Ca-Na-HCO_3) + (Ca-HCO_3)$, $Na-HCO_3$, $Ca-HCO_3-Cl$, $Na-HCO_3-Cl$, $Na-HCO_3-Cl$, SO_4 และ $(Ca-Na-HCO_3) + (Na-HCO_3)$ ดังแสดงในรูปที่ 4.44 เมื่อพิจารณาชนิดของน้ำพบว่าอุทกเคมีหลักๆของน้ำบาดาลแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ $Ca-Na-HCO_3$ คิดเป็น 56.75 % ของตัวอย่างทั้งหมด $Ca-HCO_3$ คิดเป็น 13.51 % ของตัวอย่างทั้งหมด $Ca-Na-HCO_3 + Ca-HCO_3$ คิดเป็น 5.40% ของตัวอย่างทั้งหมด และ $Ca-HCO_3-Cl$ คิดเป็น 5.40% ของตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งชนิดของน้ำจะใช้ประเมินแหล่งกำเนิดเคมีของน้ำเบื้องต้น ถ้าอุทกเคมีของน้ำแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าแคทไอออน และแอนไอออนที่ปรากฏในน้ำบาดาลอาจมาจากแหล่งกำเนิดที่ต่างชนิดกัน เช่น ตัวอย่างน้ำในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 21 และ 67 และบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 25 และ 29 แสดงชนิดของน้ำเป็น $Ca-HCO_3-Cl$, $Na-HCO_3-Cl$ และ $Na-HCO_3-Cl$, SO_4 ตามลำดับ ซึ่งชนิดของน้ำที่ปรากฏแตกต่างจากบ่อบาดาลตำแหน่งอื่นเพราะแสดงความเข้มข้นของคลอไรด์สูงในน้ำบาดาล ระบุว่าน้ำเหล่านี้อาจได้รับการปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.45 ช่วงฤดูร้อน ชนิดของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาถูกแบ่งออกเป็น 7 ชนิด ได้แก่ $Ca-Na-HCO_3$, $Ca-HCO_3$, $(Ca-Na-HCO_3) + (Na-HCO_3)$, $Na-HCO_3$, $Ca-HCO_3-Cl$, $Na-HCO_3-Cl$, SO_4 และ $(Na-HCO_3-Cl, SO_4)$, $(Ca-Na-HCO_3)-Cl$, SO_4 ดังแสดงในรูปที่ 4.46 เมื่อพิจารณาชนิดของน้ำพบว่าอุทกเคมีหลักๆ ของน้ำบาดาลแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ $Ca-Na-HCO_3$ คิดเป็น 42.85 % ของตัวอย่างทั้งหมด $Na-HCO_3$ คิดเป็น 30.95 % ของตัวอย่างทั้งหมด $Ca-HCO_3$ คิดเป็น 11.90% ของตัวอย่างทั้งหมด อย่างไรก็ตาม บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 23 และ 42 แสดงชนิดของน้ำเป็น $Na-HCO_3-Cl$, SO_4 และบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 30 แสดงชนิดของน้ำเป็น $(Na-HCO_3-Cl, SO_4)$, $(Ca-Na-HCO_3)-Cl$, SO_4 และบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 แสดงชนิดของน้ำเป็น $Ca-HCO_3-Cl$ โดยบ่อบาดาลทั้ง 4 ตำแหน่ง (ตำแหน่งที่ 23, 42, 30 และ 67) แสดงชนิดของน้ำบาดาลที่แตกต่างจากอุทกเคมีส่วนใหญ่ในบ่อบาดาลอื่น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เมื่อเปรียบเทียบอุทกเคมีทั่วไปในทั้งสองฤดูกาล พบว่าชนิดของน้ำที่เป็น $(Na-HCO_3-Cl, SO_4)$ และ $(Ca-Na-HCO_3)-Cl, SO_4$ ไม่พบในน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน ขณะที่ชนิดของน้ำที่เป็น $(Ca-Na-HCO_3) + (Ca-HCO_3)$ และ $Na-HCO_3-Cl$ ไม่พบในน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อน เมื่อพิจารณาชนิดของไอออนพบว่าแคลเซียมเป็นไอออนหลักในฤดูฝน แต่โซเดียมเป็นไอออนหลักในฤดูร้อน ที่เป็นแบบนี้เนื่องจากแคลเซียมในน้ำบาดาลถูกแทนที่ด้วยโซเดียมในช่วงฤดูร้อน (Baba และ Olowoyeye, 2011; Embaby และคณะ., 2016)

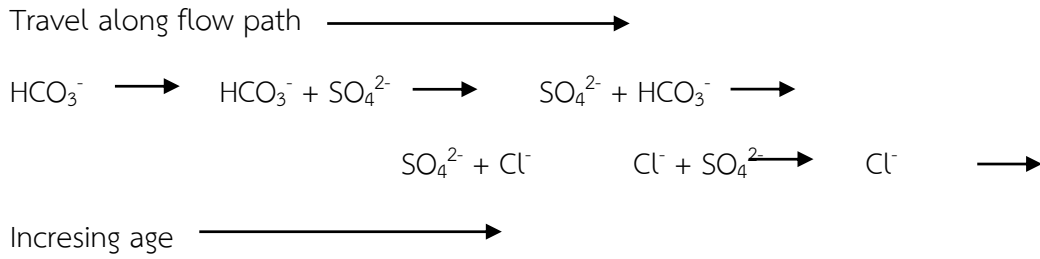


และผลจากการที่ความเข้มข้นของไบคาร์บอเนต และค่าความเป็นกรดต่างเพิ่มขึ้นจะถูกแสดงตามสมการต่อไปนี้





นอกจากนี้รูปที่ 4.44 - 4.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของน้ำบาดาลที่มาจากชั้นน้ำประเทหตะกอนน้ำพา (Quaternary floodplain aquifer) และน้ำบาดาลที่มาจากชั้นน้ำประเทหหินภูเขาไฟ (Volcanic aquifer) ซึ่งชนิดของน้ำที่ปรากฏไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นตะกอนน้ำพาที่พบจะมาจาก การผุพังของหินในพื้นที่ และส่งผลกับอุทกเคมีของน้ำบาดาล อย่างไรก็ตามตำแหน่งบ่อบาดาลที่แสดงชนิดของน้ำที่ผิดปกติจากบ่อบาดาลตำแหน่งอื่นส่วนใหญ่เป็นบ่อบาดาลที่เจาะในชั้นน้ำประเทหหินภูเขาไฟ (ยกเว้นบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 23) ดังนั้นความเข้มข้นของซัลเฟต และคลอไรด์ที่มีค่าสูงจะเกี่ยวข้องกับอายุของน้ำบาดาล ดังแสดงตามปฏิกิริยาด้านล่าง (Chebotarev, 1955)





ตารางที่ 4.9 ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล และน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา

Station	Ion Charge Balance (%)		Hydrochemical facies		Water Types
	Rainy	Summer	Rainy	Summer	
	ST01	4.72	-5.25	(Ca-Na-HCO ₃) + (Ca-HCO ₃)	
ST02	-9.20	2.66	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Groundwater
ST03	-25.08	-7.36	Ca-Na-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Groundwater
ST04	-9.28	-8.17	Ca-Na-HCO ₃	(Ca-Na-HCO ₃) + (Na-HCO ₃)	Groundwater
ST05	-24.33	-6.05	Ca-Na-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Groundwater
ST06	-9.78	-3.34	Ca-Na-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Groundwater
ST07	-3.64	-7.86	Ca-Na-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Groundwater
ST08	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Precipitation
ST09	1.72	0.86	Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Surface water
ST10	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Precipitation
ST11	-4.36	-4.57	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater
ST12	-8.80	-7.81	(Ca-Na-HCO ₃) + (Ca-HCO ₃)	(Ca-Na-HCO ₃) + (Na-HCO ₃)	Groundwater
ST13	-6.77	-6.06	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater
ST14	-7.05	0.59	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Surface water
ST15	-9.63	-6.26	Ca-Na-HCO ₃	Na-HCO ₃	Groundwater
ST16	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Precipitation
ST17	-7.89	-0.67	Ca-Na-HCO ₃	Na-HCO ₃	Groundwater
ST18	-9.78	0.83	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Surface water
ST19	9.60	-9.88	Ca-Na-HCO ₃	Na-HCO ₃	Groundwater
ST20	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Precipitation
ST21	-8.45	4.96	Ca-HCO ₃ -Cl	Na-HCO ₃	Groundwater
ST22	2.82	-9.92	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater
ST23	-9.98	-1.69	Ca-Na-HCO ₃	Na-HCO ₃ -Cl, SO ₄	Groundwater
ST24	-3.83	n.a.	Ca-Na-HCO ₃	n.a.	Surface water
ST25	-10.0	n.a.	Na-HCO ₃ -Cl	n.a.	Groundwater
ST26	-9.70	1.12	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃	Groundwater



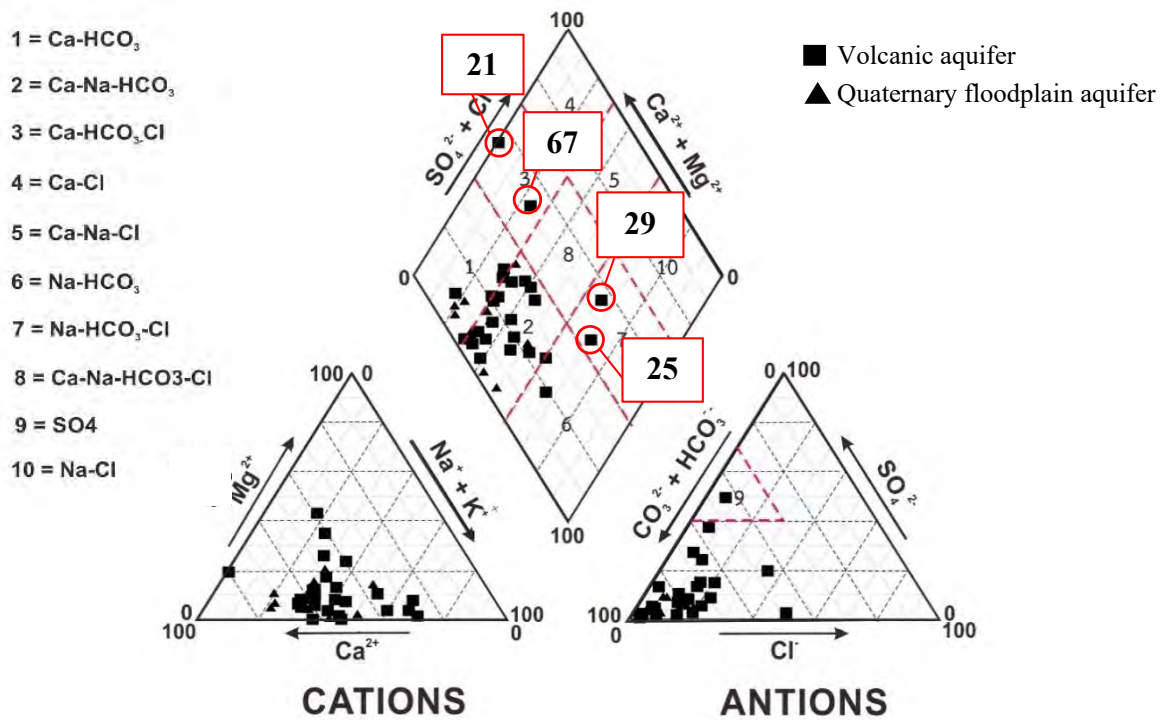
ตารางที่ 4.9 ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล และน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

Station	Ion Charge Balance (%)		Hydrochemical facies		Water Types
	Rainy	Summer	Rainy	Summer	
	ST27	-9.48	-9.91	Ca-Na-HCO ₃	
ST28	-7.08	-4.92	Ca-Na-HCO ₃	Na-HCO ₃	Groundwater
ST29	-6.93	-8.42	Na-HCO ₃ -Cl, SO ₄	Na-HCO ₃	Groundwater
ST30	-9.25	-7.74	Ca-Na-HCO ₃	(Na-HCO ₃ -Cl,SO ₄), (Ca-Na-HCO ₃ -Cl,SO ₄)	Groundwater
ST31	-8.08	n.a.	(Ca-Na-HCO ₃) + (Na-HCO ₃)	n.a.	Surface water
ST32	-7.04	-8.80	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater
ST33	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Precipitation
ST34	-6.95	n.a.	Na-HCO ₃	n.a.	Surface water
ST35	-5.83	-1.38	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater
ST36	-8.80	n.a.	Ca-Na-HCO ₃	n.a.	Surface water
ST37	-22.24	-2.44	Na-HCO ₃ -Cl	Na-HCO ₃	Groundwater
ST38	-3.65	-3.22	(Ca-Na-HCO ₃) + (Ca-HCO ₃)	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater
ST39	-15.24	-9.66	(Ca-Na-HCO ₃) + (Ca-HCO ₃)	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater
ST40	-0.47	-5.56	(Ca-Na-HCO ₃) + (Ca-HCO ₃)	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater
ST41	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Precipitation
ST42	-7.47	-3.48	(Ca-Na-HCO ₃) + (Ca-HCO ₃)	Na-HCO ₃ -Cl,SO ₄	Groundwater
ST43	-8.53		Ca-Na-HCO ₃	n.a.	Surface water
ST44	-5.15		Ca-HCO ₃	n.a.	Groundwater
ST45	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Precipitation
ST46	-7.61	3.29	Ca-Na-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Groundwater
ST47	6.86	-5.98	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Groundwater
ST48	-5.10	-7.36	Ca-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater
ST49	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Precipitation
ST50	-7.80	1.52	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater

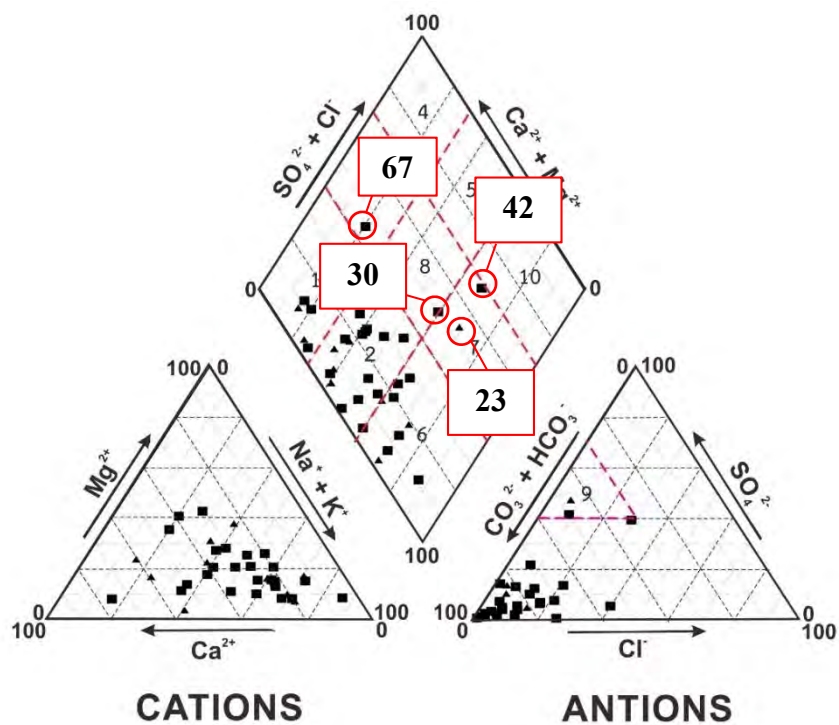


ตารางที่ 4.9 ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล และน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

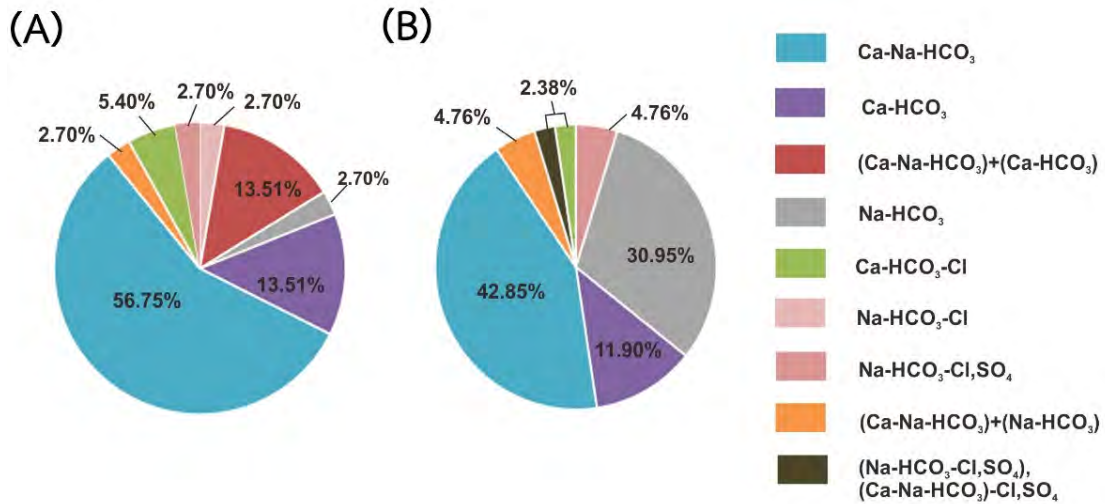
Station	Ion Charge Balance (%)		Hydrochemical facies		Water Types
	Rainy	Summer	Rainy	Summer	
	ST51	4.14	n.a.	Na-HCO ₃	
ST52	-7.29	-10.06	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater
ST53	1.92	n.a.	Na-HCO ₃	n.a.	Surface water
ST54	-7.70	n.a.	Ca-Na-HCO ₃	n.a.	Surface water
ST55	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Precipitation
ST56	-3.35	-7.03	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater
ST57	-4.90	1.51	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Surface water
ST58	-10.55	0.99	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater
ST59	-5.73	2.92	(Ca-Na-HCO ₃) + (Na-HCO ₃)	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater
ST60	-14.53	-0.65	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃	Groundwater
ST61	-7.95	-9.12	Ca-Na-HCO ₃	Na-HCO ₃	Groundwater
ST62	-10.08	-8.77	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater
ST63	-24.09	3.61	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃	Groundwater
ST64	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Precipitation
ST65	-10.52	-4.06	Ca-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Groundwater
ST66	-3.47	0.73	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Surface water
ST67	-9.09	9.20	Ca-HCO ₃ -Cl	Ca-HCO ₃ -Cl	Groundwater
ST68	-3.27	1.00	Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	Surface water



รูปที่ 4.44 แผนภาพ piper diagram ของน้ำบาดาลช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษาอำเภอกันทรังษี อำเภอมือง
จังหวัดสระบุรี



รูปที่ 4.45 แผนภาพ piper diagram ของน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อนในพื้นที่ศึกษาอำเภอกันทรังษี อำเภอมือง
จังหวัดสระบุรี



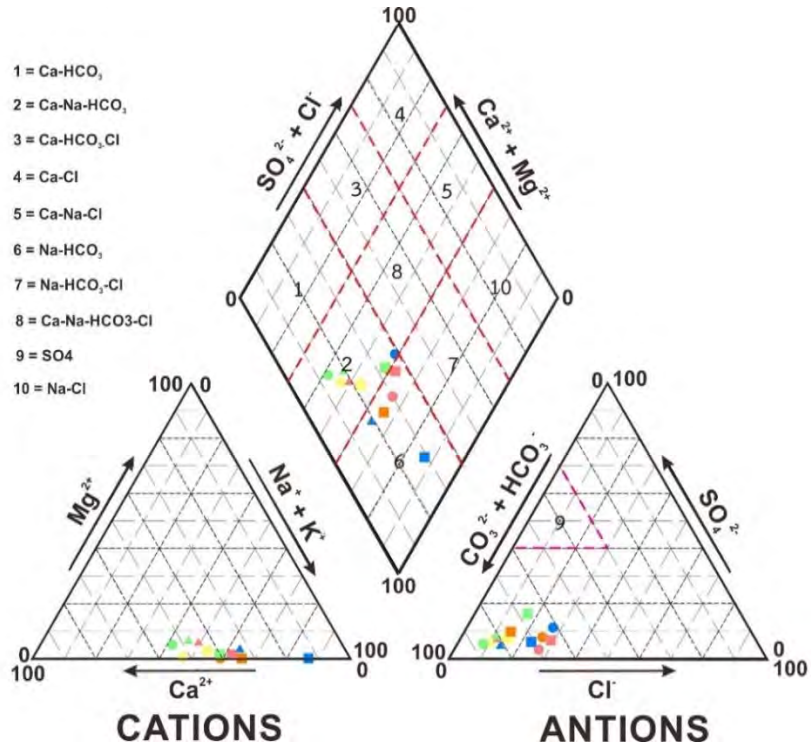
รูปที่ 4.46 สัดส่วนอุทกธรณีเคมีแต่ละประเภทของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (A) ชนิดของน้ำในช่วงฤดูฝน (B) ชนิดของน้ำในช่วงฤดูแล้ง

ชนิดของน้ำผิวดินในฤดูฝน ประกอบด้วย Ca-Na-HCO₃, Na-HCO₃ และ (Ca-Na-HCO₃) + (Na-HCO₃) เมื่อพิจารณาชนิดของน้ำพบว่าอุทกเคมีหลักๆ ของน้ำผิวดินแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ Ca-Na-HCO₃ คิดเป็น 57.14 % ของตัวอย่างทั้งหมด Na-HCO₃ คิดเป็น 35.71 % ของตัวอย่างทั้งหมด (Ca-Na-HCO₃) + (Na-HCO₃) คิดเป็น 7.14% ของตัวอย่างทั้งหมด ขณะที่น้ำผิวดินส่วนใหญ่ในช่วงฤดูแล้งแสดงชนิดของน้ำเป็น Ca-Na-HCO₃ ซึ่งมีหลายตำแหน่งที่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์ในช่วงฤดูแล้ง เนื่องจากปริมาณน้ำผิวดินน้อย ได้แก่ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 24, 31, 34, 36, 43, 51, 53 และ 54 ดังแสดงในรูปที่ 4.47-4.49

EXPLANATION

- station 9
- station 14
- station 18
- station 24
- station 31
- station 34
- station 36
- station 43
- station 51
- station 53
- station 54
- station 57
- station 66
- station 68

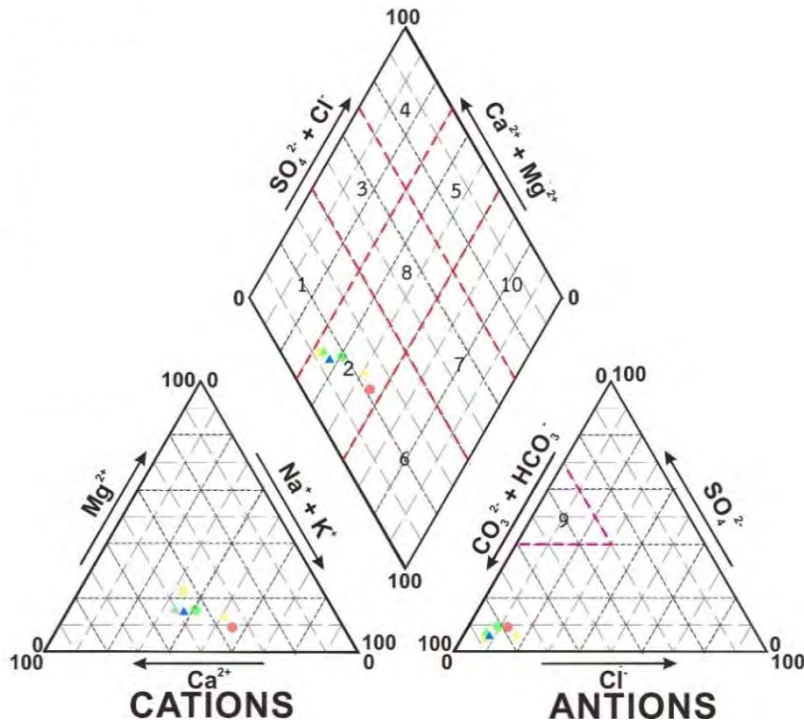
- 1 = Ca-HCO₃
- 2 = Ca-Na-HCO₃
- 3 = Ca-HCO₃-Cl
- 4 = Ca-Cl
- 5 = Ca-Na-Cl
- 6 = Na-HCO₃
- 7 = Na-HCO₃-Cl
- 8 = Ca-Na-HCO₃-Cl
- 9 = SO₄
- 10 = Na-Cl



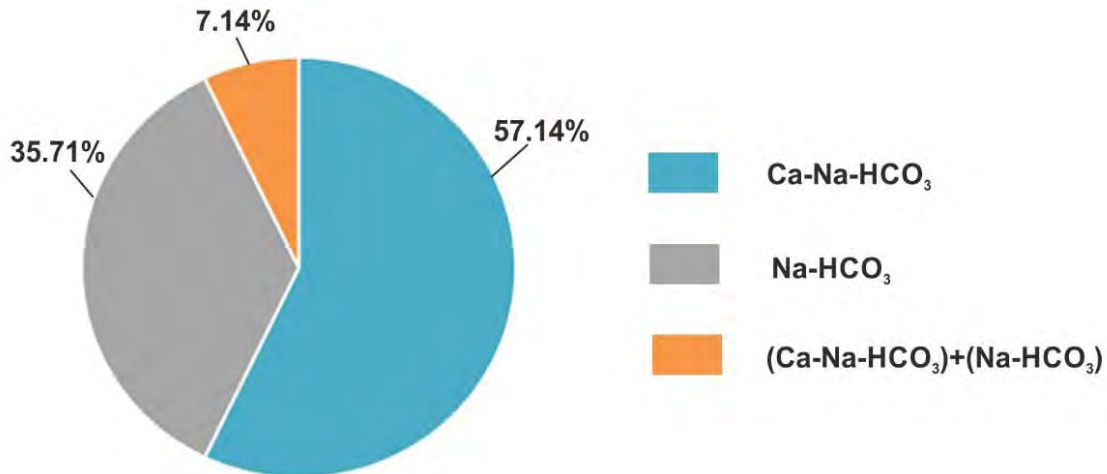
รูปที่ 4.47 แผนภาพ piper diagram ของน้ำผิวดินช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

EXPLANATION

- station 9
- station 14
- station 18
- station 57
- station 66
- station 68



รูปที่ 4.48 แผนภาพ piper diagram ของน้ำผิวดินช่วงฤดูร้อนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี



รูปที่ 4.49 สัดส่วนอุทกธรณีเคมีแต่ละประเภทของน้ำผิวดินช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

4.6 การกระจายตัวของความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาล

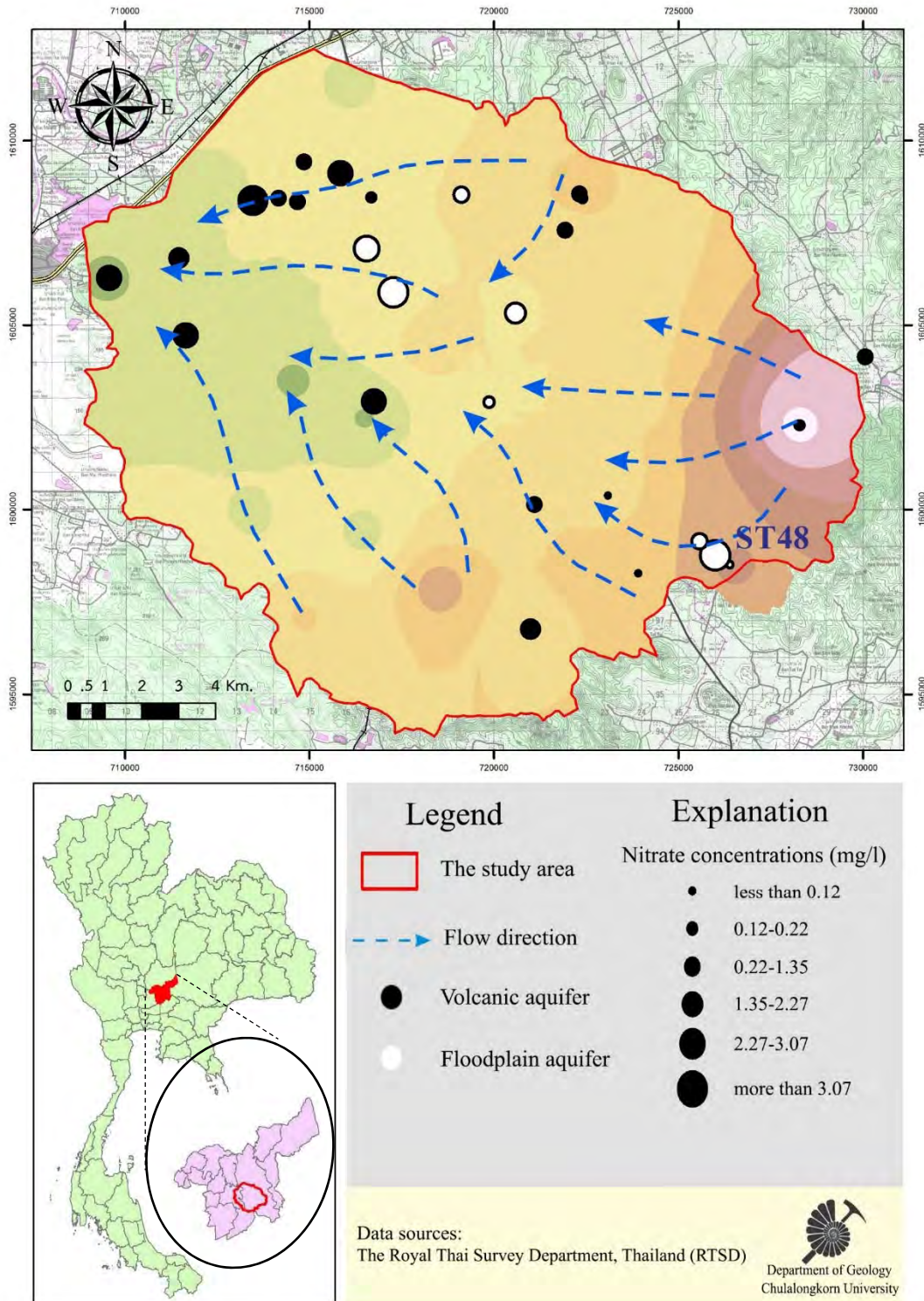
ความเข้มข้นของไนเตรทที่ปนเปื้อนทั้งในน้ำบาดาลและน้ำผิวดินในระหว่างสองฤดูกาล มีค่าต่ำกว่าระดับการปนเปื้อนสูงสุดของน้ำสำหรับบริโภคได้ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาลมีค่ามากกว่าในน้ำผิวดินทั้งสองฤดูกาล และในฤดูฝนจะมีค่าความเข้มข้นของไนเตรทต่ำกว่าในฤดูแล้ง (Organization, 1998; Macler, 2007; Woolverton, 2015) ซึ่งค่าความเข้มข้นที่พบไม่เป็นอันตรายกับสุขภาพของมนุษย์ และระบบนิเวศ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าระดับความเข้มข้นของไนเตรทไม่เกินกว่าค่ามาตรฐาน แต่ไม่ได้หมายความว่าความเข้มข้นของไนเตรทจะมาจากแหล่งกำเนิดทางธรรมชาติเท่านั้น เช่น ปฏิกริยาระหว่างน้ำและหิน เป็นต้น อาจมาจากแหล่งกำเนิดอื่นได้ ซึ่งในที่นี้คือมาจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ ระบบชลประทาน การทำฟาร์มปศุสัตว์ และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาลช่วงฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าค่า detection limit จนถึง 7.11 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.41 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของไนเตรทที่มีค่าสูงอยู่บริเวณด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4.50 และการกระจายตัวของความเข้มข้นของไนเตรทจะสอดคล้องกับทิศทางการไหลของน้ำบาดาล ยกเว้นบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 48 ซึ่งเป็นพื้นที่ต้นน้ำ มีการเติมน้ำจากน้ำฝนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในบริเวณนี้ (recharge area) ดังนั้นพื้นที่นี้ควรมีค่าความเข้มข้นของไนเตรทต่ำ แต่ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความเข้มข้นของไนเตรทสูง บ่อบาดาลตำแหน่งนี้จึงเป็นที่น่าสนใจสำหรับพิจารณาหาแหล่งกำเนิดของไนเตรท

ความเข้มข้นของไนเตรทในฤดูแล้งมีค่าตั้งแต่ 0.20 – 5.59 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.75 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยลักษณะการกระจายตัวของไนเตรทที่พบทั้งสองฤดูกาลมีรูปแบบเหมือนกัน เพียงแต่น้ำบาดาลในฤดูแล้งจะมีค่าความเข้มข้นของไนเตรทส่วนใหญ่สูงกว่าฤดูฝน และการกระจายตัวของความเข้มข้นของไนเตรทครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณที่กว้างกว่าในฤดูฝนด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.51 ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ความเข้มข้นของไนเตรทในฤดูฝนถูกเจือจางด้วยน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ ทั้งนี้บ่อบาดาลบางตำแหน่งแสดงค่าความเข้มข้นของไนเตรทต่ำในฤดูแล้ง บริเวณนี้น่าจะเป็นบริเวณที่มีสภาพที่เหมาะสมต่อการเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ

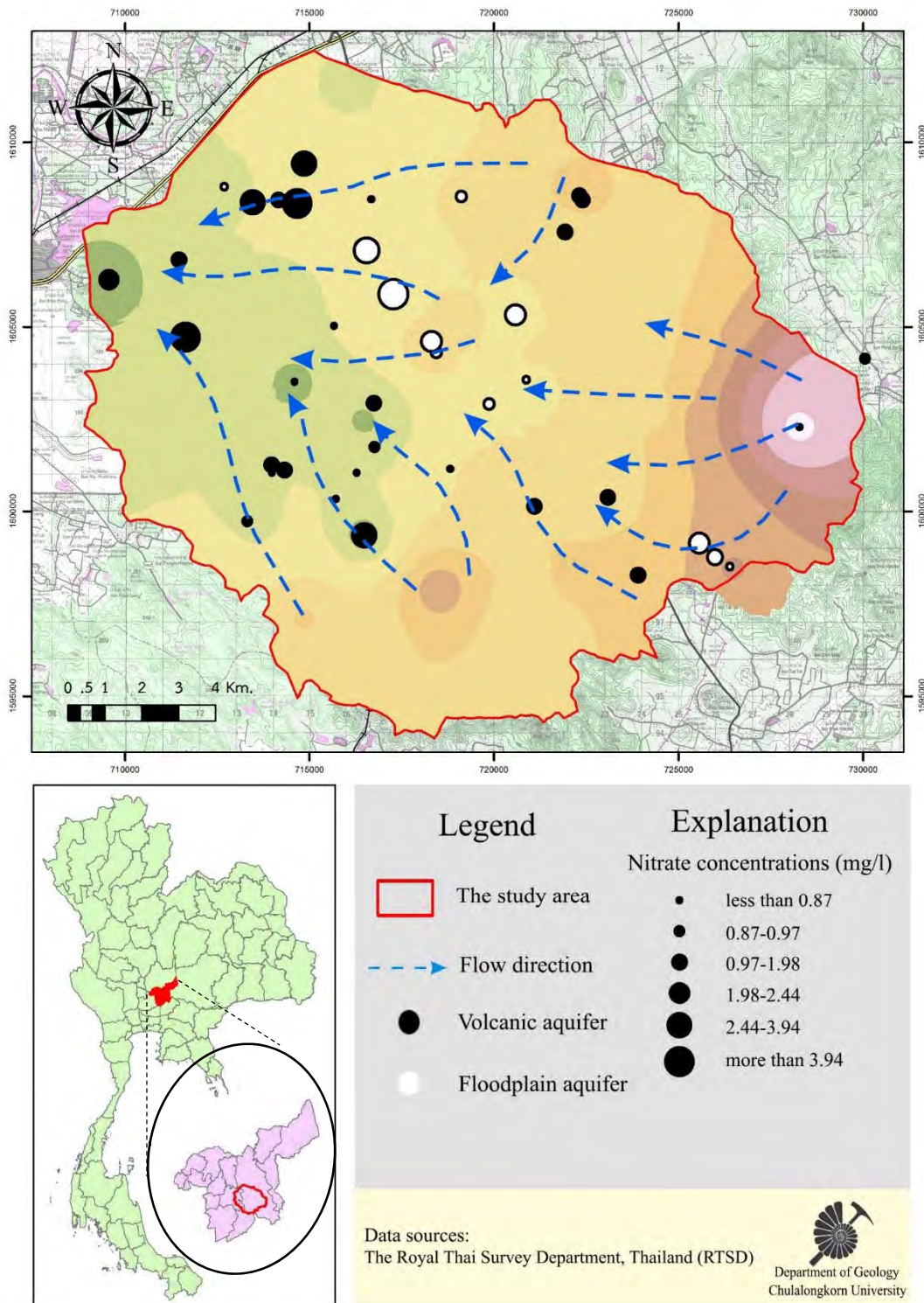


(Biodegradation) ส่งผลให้ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาลมีค่าลดลง ขณะที่ตำแหน่งอื่นมีค่าความเข้มข้นของไนเตรทเพิ่มขึ้น

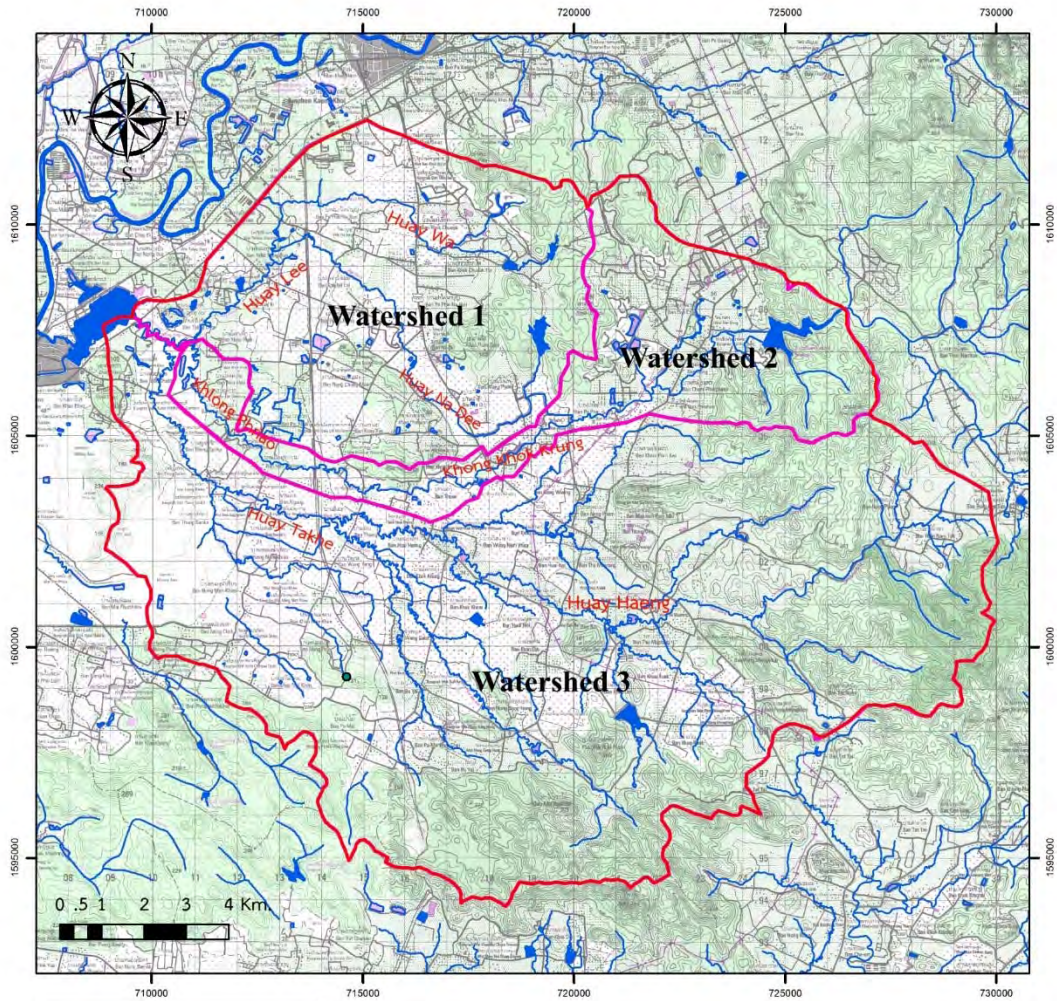
เมื่อพิจารณาตามลักษณะของทางน้ำผิวดินในพื้นที่ สามารถแบ่งลุ่มน้ำย่อยได้เป็น 3 ลุ่มน้ำ โดยลุ่มน้ำย่อยที่ 1 อยู่บริเวณด้านทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา มีทางน้ำสายหลัก คือ ทางน้ำห้วยลี ซึ่งได้รับน้ำจากห้วยหว่า และห้วยนาดี ลุ่มน้ำย่อยที่ 2 อยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา มีทางน้ำสายหลักคือ คลองเพรียว หรือคลองโคกกรุง และลุ่มน้ำย่อยที่ 3 อยู่บริเวณด้านทิศใต้ของพื้นที่ศึกษา มีทางน้ำสายหลัก คือ ห้วยแห้ง หรือ ห้วยตะเข้ ดังแสดงในรูปที่ 4.52 ทิศทางการไหลของน้ำผิวดินสอดคล้องกับทิศทางการไหลของน้ำบาดาล คือ ไหลจากทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปทางด้านทิศตะวันตก และแม่น้ำทุกสายจะไหลรวมกันลงสู่อ่างเก็บน้ำคลองเพรียว ดังนั้นความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำผิวดินช่วงฤดูฝนมีค่าค่อนข้างสูงบริเวณลุ่มน้ำด้านล่าง โดยเฉพาะในลุ่มน้ำห้วยแห้ง ทั้งนี้ความเข้มข้นของไนเตรทส่วนใหญ่มีค่าลดลงตามทิศทางการไหลของน้ำผิวดิน ยกเว้นบริเวณตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 36 ซึ่งค่าความเข้มข้นของไนเตรทที่มีค่าสูงที่สุดพบในตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 51 เป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 48 ซึ่งอยู่ในบริเวณพื้นที่เติมน้ำของลุ่มน้ำห้วยแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.53 อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำผิวดินช่วงฤดูร้อนค่อนข้างสูงบริเวณตอนกลางของพื้นที่ โดยเฉพาะในลุ่มน้ำคลองเพรียว และค่าความเข้มข้นของไนเตรทมีแนวโน้มจะลดลงตามทิศทางการไหลของน้ำผิวดิน ทำนองเดียวกับในช่วงฤดูฝน ยกเว้นบริเวณตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างที่ 18 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีค่าความเข้มข้นของไนเตรทสูงที่สุด และเมื่อพิจารณาตำแหน่งเก็บตัวอย่างตำแหน่งเดียวกันในทั้งสองฤดูกาล พบว่าความเข้มข้นของไนเตรทในฤดูร้อนจะมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน และจะพบความเข้มข้นของไนเตรทสูงบริเวณพื้นที่ต้นน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.54







รูปที่ 4.50 การกระจายตัวของความเข้มข้นของไนเตรทของน้ำบาดาลช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี




รูปที่ 4.51 การกระจายตัวของความเข้มข้นของไนเตรทของน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี



Legend

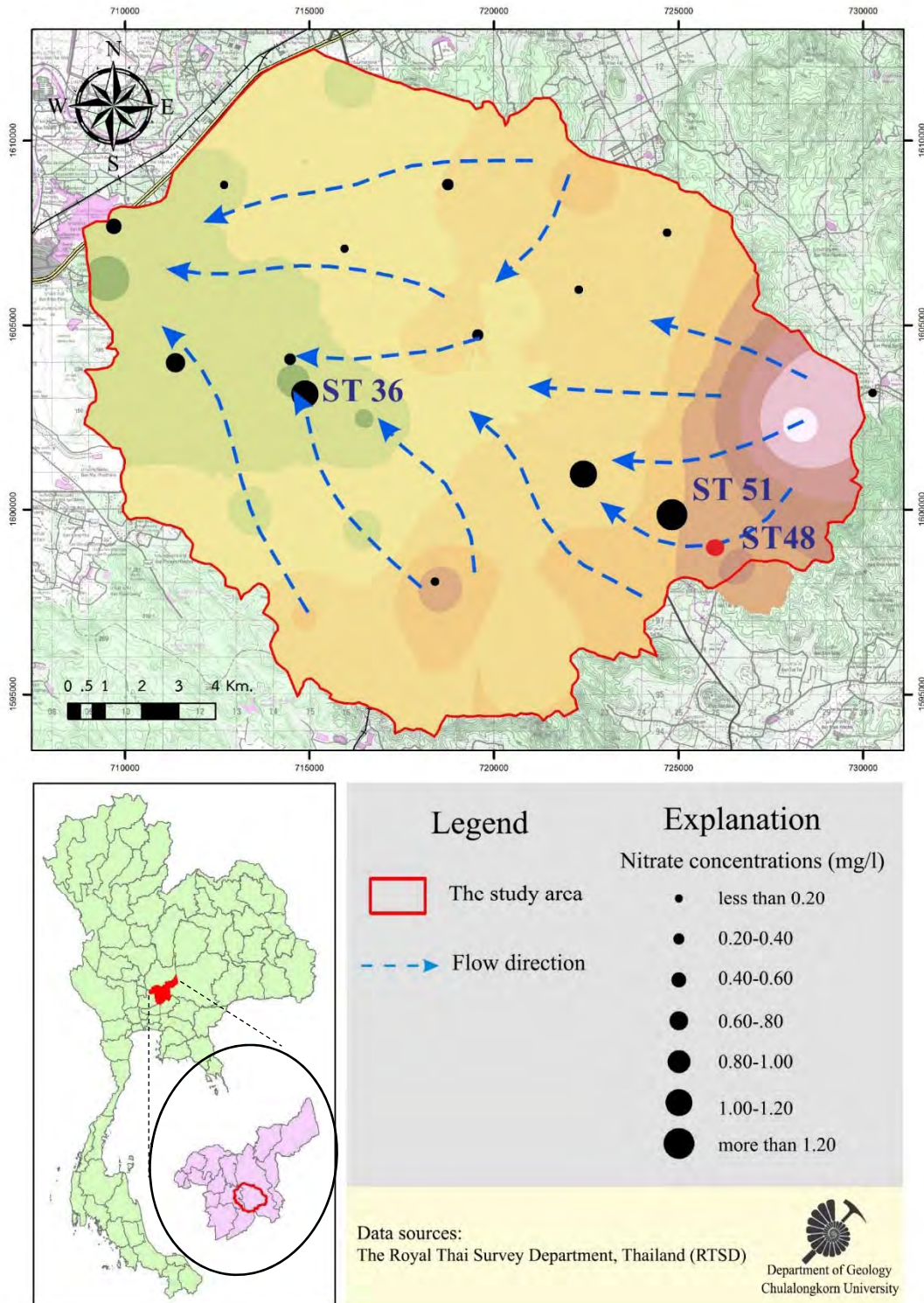
-  Stream
-  Reservoir
-  The study area
-  Watershed

Data sources:
The Royal Thai Survey Department, Thailand (RTSD)

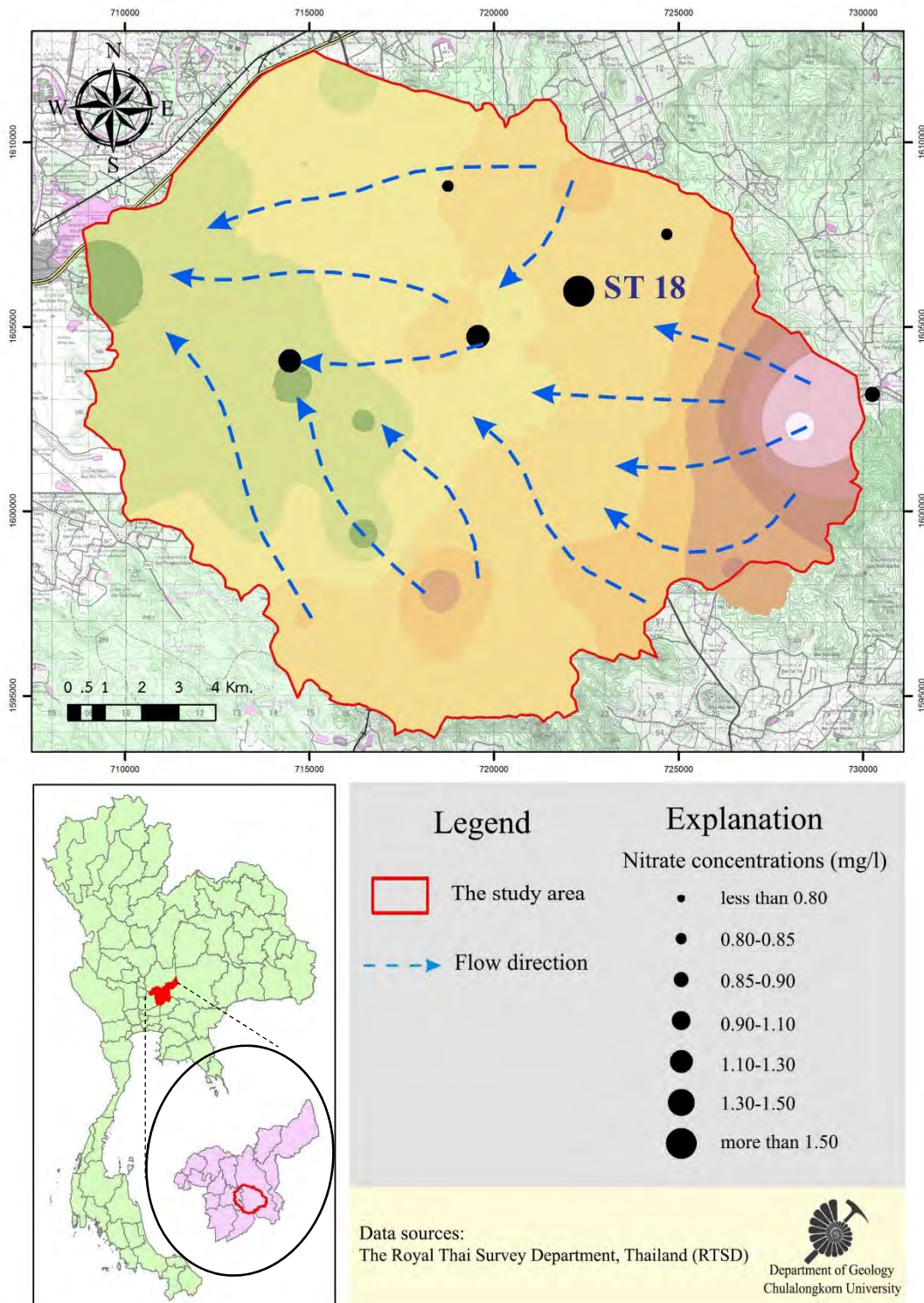


Department of Geology
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.52 ขอบเขตลุ่มน้ำย่อยในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี



รูปที่ 4.53 การกระจายตัวของความเข้มข้นของไนเตรทของน้ำผิวดินช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

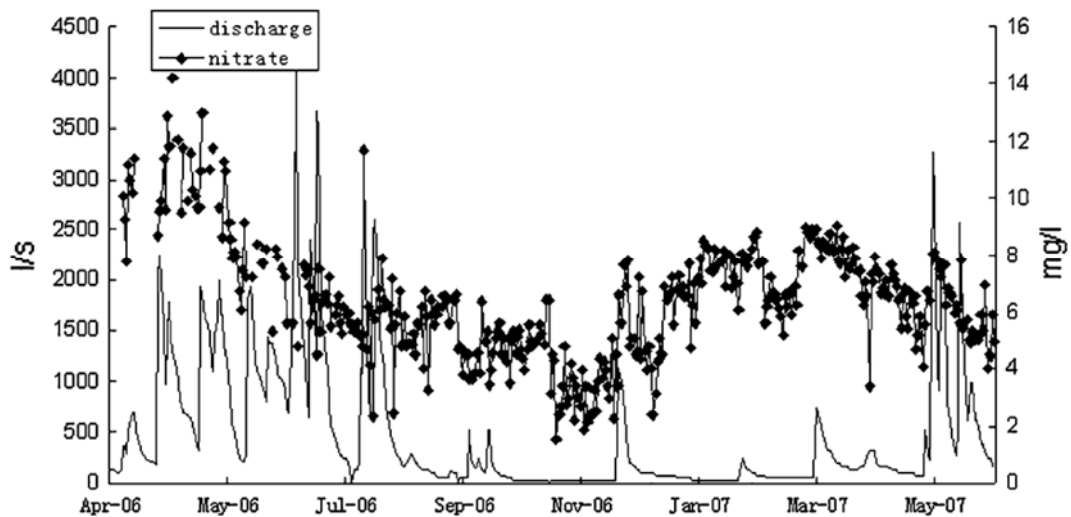


รูปที่ 4.54 การกระจายตัวของความเข้มข้นของไนเตรทของน้ำผิวดินช่วงฤดูร้อนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

4.7 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของไนเตรท

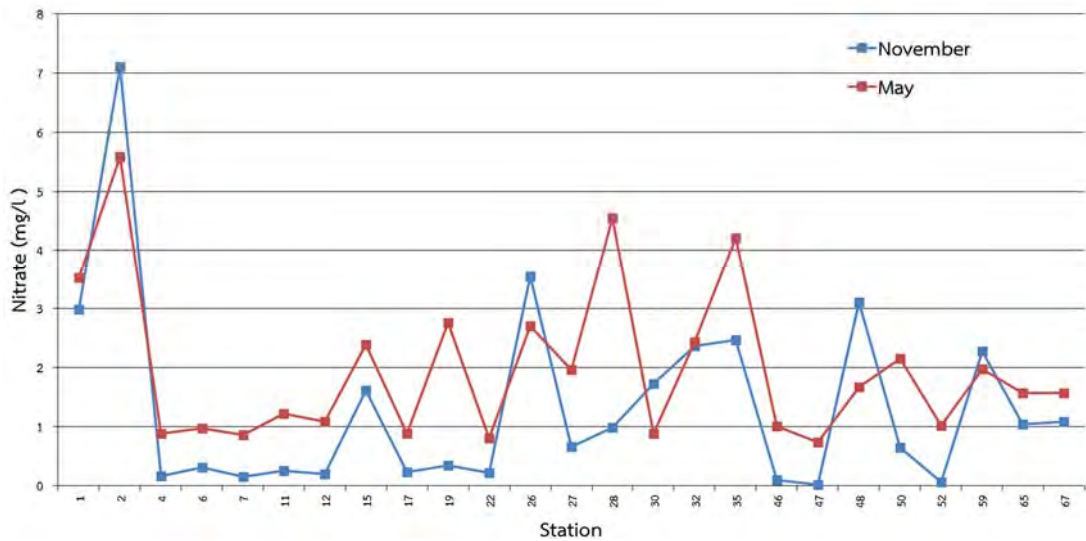
เมื่อทำการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี t-test เพื่อทดสอบความแตกต่างของ 2 กลุ่มตัวอย่าง ในที่นี้จะเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของไนเตรทในทั้งสองฤดูกาล โดยเลือกตำแหน่งบ่อบาดาลมาเพียง 25 บ่อ ซึ่งสามารถเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ได้ทั้งสองฤดูกาล และมีค่าความเข้มข้นของไนเตรทสูงกว่าค่า detection limit ผลการทดสอบพบว่าความเข้มข้นของไนเตรทในช่วงฤดูฝน และฤดูร้อนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

จากงานวิจัยที่ผ่านมา (Gao และคณะ.,2012; Guo และ Jiang, 2009; Mo และคณะ., 2016) พบว่าความเข้มข้นของไนเตรทในเดือนพฤศจิกายนมีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นของไนเตรทในเดือนพฤษภาคม ซึ่งผลการศึกษาที่พบคล้ายคลึงกับแนวโน้มความเข้มข้นของไนเตรทในโครงการวิจัยนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.55-4.56



รูปที่ 4.55 ความเข้มข้นของไนเตรทตั้งแต่เดือนเมษายน ถึงเดือนพฤษภาคม ปี 2007 (Guo และ Jiang, 2009)

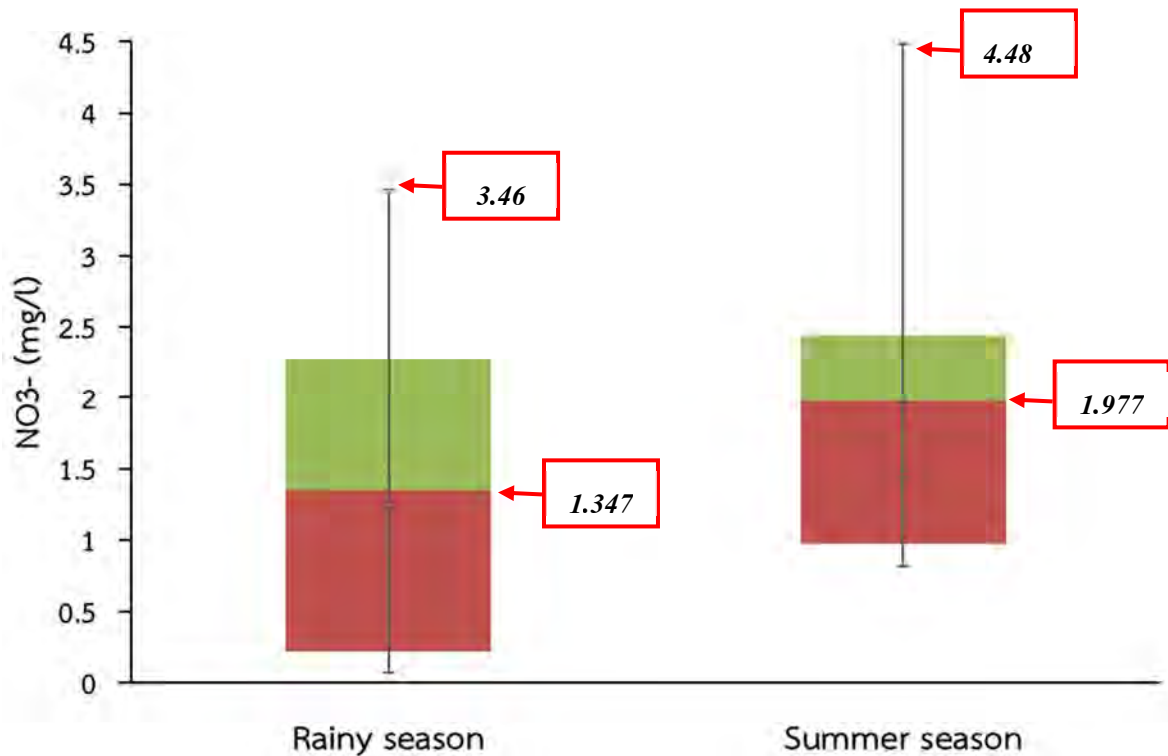
จากรูปที่ 4.56 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 02, 26, 30, 48 และ 59 มีค่าความเข้มข้นของไนเตรทในเดือนพฤศจิกายนสูงกว่าเดือนพฤษภาคม เมื่อทำการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี t-test พบว่าความเข้มข้นของไนเตรทในเดือนพฤศจิกายน และเดือนพฤษภาคมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 และการศึกษาของ Silva และคณะ (2015) พวกเขาได้อธิบายว่าการที่ความเข้มข้นของไนเตรทมีค่าค่อนข้างสูงในช่วงฤดูร้อน เป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ซึ่งเป็นกระบวนการออกซิเดชันโดยแบคทีเรีย (bacteriological oxidation) ที่



รูปที่ 4.56 ความเข้มข้นของไนเตรทในเดือนพฤศจิกายน (ฤดูฝน) และเดือนพฤษภาคม (ฤดูร้อน) ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

นอกจากนี้ เราได้สร้าง Box plot เพื่อวิเคราะห์ภาพรวมของข้อมูล เพราะ Box plot เป็นแผนภาพที่แสดงการกระจายตัวของข้อมูล ค่ากลาง และการผันแปรของข้อมูล จึงช่วยในการเปรียบเทียบความแตกต่างของกลุ่มข้อมูลได้อย่างชัดเจน ซึ่งแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเรียกว่า ควอไทล์ที่ 1 จะแสดงข้อมูลตั้งแต่ช่วง 5 เปอร์เซ็นต์จนถึง 25 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลทั้งหมด ส่วนที่ 2 จะแสดงข้อมูลตั้งแต่ช่วง 25 เปอร์เซ็นต์จนถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลทั้งหมด ซึ่งในส่วนนี้เรียกว่า inter quartile กรณีที่มีการเปรียบเทียบข้อมูลหลายชุด ช่วงความกว้างของส่วนนี้สามารถระบุความผันแปรของข้อมูลได้ โดยถ้าความกว้างของส่วนนี้มาก แสดงว่าความผันแปรของข้อมูลมีสูง และส่วนที่ 3 จะแสดงข้อมูลตั้งแต่ช่วงที่มากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์จนถึง 95 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลทั้งหมด (Sabseree, 2010) ผลของ Box plot ที่สร้างจากความเข้มข้นของไนเตรทในทั้งสองฤดูกาลแสดงไว้ในรูปที่ 4.57 จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25 เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 (ค่ากลาง) และเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 ของความเข้มข้นของไนเตรทในฤดูร้อนมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน อย่างไรก็ตามความผันผวนในความเข้มข้นของไนเตรทช่วงฤดูฝนพบว่ามีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูร้อน

จากรูปที่ 4.57 ความเข้มข้นของไนเตรทที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ในฤดูฝนพบค่าความเข้มข้นของไนเตรทเป็น 3.46 มิลลิกรัมต่อลิตร และในฤดูร้อนพบค่าความเข้มข้นของไนเตรทเป็น 4.48 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าความเข้มข้นของไนเตรทอยู่ต่ำกว่าช่วงขอบล่าง หรือสูงกว่าช่วงขอบบน แสดงว่าจุดนั้นเป็นจุดที่ผิดปกติ และแผนภาพ Box plot ได้เปิดเผยตำแหน่งบ่อบาดาลที่แสดงค่าความเข้มข้นของไนเตรทที่ผิดปกติในช่วงฤดูฝนจำนวน 2 ตำแหน่ง ได้แก่ บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 02 และ 26 โดยแสดงค่าความเข้มข้นของไนเตรทเป็น 7.11 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 3.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันในช่วงฤดูร้อน พบบ่อบาดาลที่มีความเข้มข้นของไนเตรทที่ผิดปกติจำนวน 2 ตำแหน่ง ได้แก่ บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 02 และ 28 ซึ่งแสดงค่าความเข้มข้นของไนเตรทเป็น 5.59 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 4.55 ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่แสดงความเข้มข้นของไนเตรทผิดปกติจะนำมาพิจารณาแหล่งกำเนิดของไนเตรทในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 4.57 แผนภาพ Box plot ของความเข้มข้นของไนเตรททั้งสองฤดูกาล ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

จากการศึกษาของ Kolpin และคณะ (1999) ได้เสนอแนวคิดที่ว่าความเข้มข้นของไนเตรทที่มีค่าต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จะอธิบายว่าไนเตรทที่ปนเปื้อนในพื้นที่นั้นไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ นอกจากนี้การศึกษาของ Choi และคณะ (2007) พบว่าถ้าความเข้มข้นของไนเตรทในพื้นที่มีค่ามากกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจเป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังนั้นเราจึงใช้เกณฑ์ที่กล่าวมาข้างต้นเพื่อนำมาพิจารณาเลือกตำแหน่งบ่อบาดาลสำหรับหาแหล่งกำเนิดของไนเตรทที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาล โดยเลือกบ่อบาดาลที่มีความเข้มข้นของไนเตรทมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

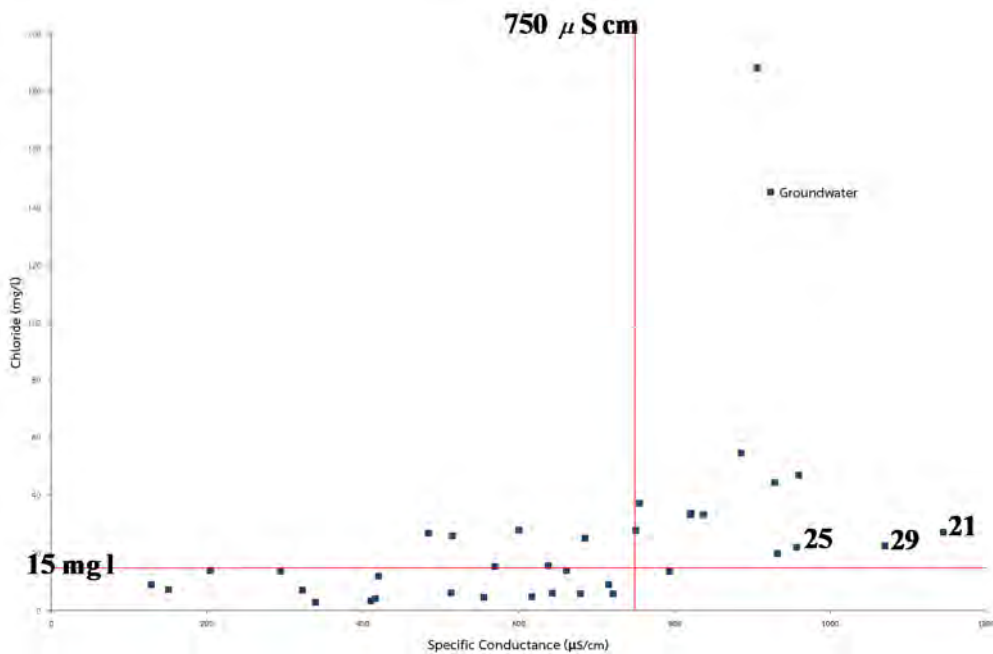
จากการพิจารณาความเข้มข้นของไนเตรท พบว่าในฤดูฝนมีบ่อบาดาลทั้งหมด 7 ตำแหน่ง (บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 01, 02, 26, 32, 35, 48 และ 59) มีค่าความเข้มข้นของไนเตรทมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และในฤดูร้อนมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง (บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 01, 02, 15, 19, 26, 28, 32, 35 และ 50) เมื่อพิจารณาตำแหน่งของบ่อบาดาลร่วมกันทั้งสองฤดูกาลเพื่อเลือกตำแหน่งบ่อบาดาล ที่มีค่าความเข้มข้นของไนเตรทสูงกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งสองฤดูกาล ได้แก่ บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 01, 02, 26, 32 และ 35

นอกเหนือจากเกณฑ์ที่พิจารณาจากความเข้มข้นของไนเตรท เรายังเลือกตำแหน่งบ่อบาดาลโดยพิจารณาจากชนิดของการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ และพบบริเวณที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่น่าสนใจจำนวน 5 ตำแหน่ง ได้แก่ บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 28 (นาข้าว) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 48 (ไร่ปาล์ม) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 59 (ที่อยู่อาศัย) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 65 (ฟาร์มเลี้ยงไก่) และบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 (ไร่ข้าวโพด และไร่มันสำปะหลัง) ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของไนเตรททั้ง 5 ตำแหน่งที่กล่าวมาข้างต้นมีค่าน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตรทั้งสองฤดูกาล เช่น ความเข้มข้นของไนเตรทในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 28 มีค่า 0.98 มิลลิกรัมต่อลิตรในฤดูฝน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าค่าความ

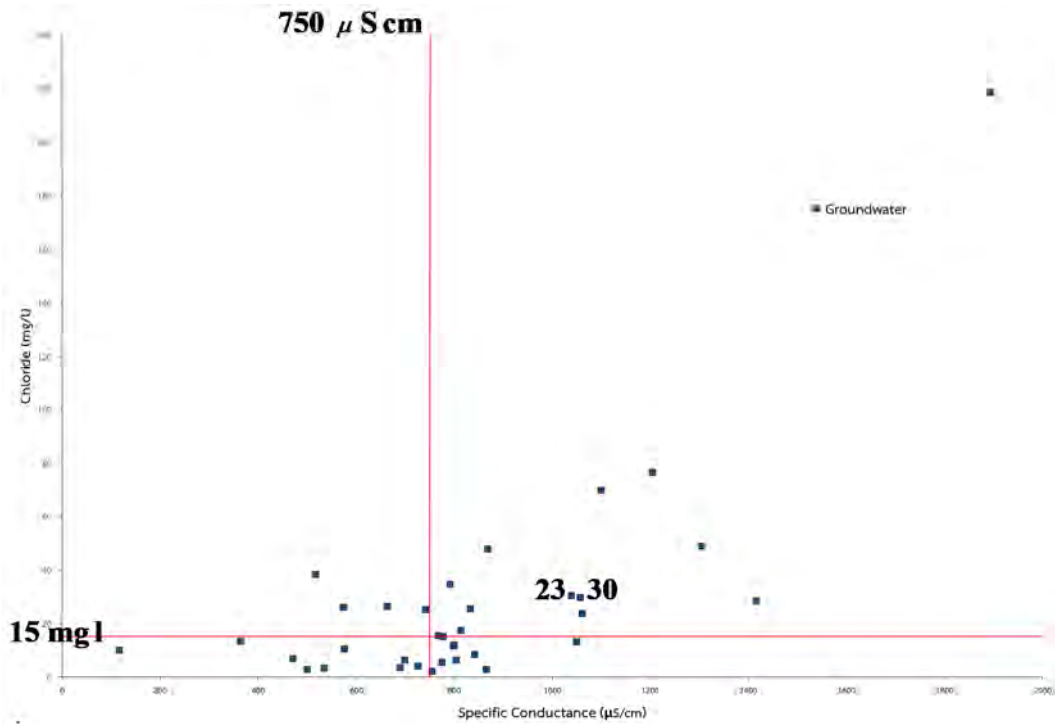


เข้มข้นของไนเตรทที่วัดอาจสอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับการใช้ประโยชน์ที่ดินก็ได้ อย่างไรก็ตามจากงานศึกษาก่อนหน้าระบุว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกันอาจนำไปสู่การปนเปื้อนของไนเตรทในเตรทในพื้นที่ ดังนั้นจึงใช้เกณฑ์นี้ในการพิจารณาร่วมด้วย และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำผิวดินช่วงฤดูฝน พบว่ามีเพียงตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 51 เท่านั้น ที่ความเข้มข้นของไนเตรทมีค่ามากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ทางนักวิจัยจึงเลือกตำแหน่งนี้มาพิจารณาหาแหล่งกำเนิดของไนเตรทด้วย

จากการศึกษาของ Panno และคณะ (2006) ได้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอไรด์ และค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำบาดาล 2 กลุ่ม กลุ่มแรกมาจากชั้นน้ำบาดาลดั้งเดิม (pristine aquifer) ซึ่งไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ และกลุ่มที่สองเป็นน้ำบาดาลที่ได้รับผลกระทบจากเกลือทำถนน เขาได้เสนอค่าภูมิฐานในธรรมชาติ (background concentration) ของคลอไรด์ในน้ำบาดาลว่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1-15 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าการนำไฟฟ้าไม่เกินกว่า 750 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ถ้าตัวอย่างน้ำบาดาลมีค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ และค่าการนำไฟฟ้าที่เกินกว่าเกณฑ์นี้ แสดงว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังนั้นจึงใช้เกณฑ์นี้ร่วมกับความเข้มข้นของไนเตรทที่มากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อพิจารณาหาตำแหน่งบ่อบาดาลที่อาจได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยพบบ่อบาดาลทั้งหมด 2 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งที่ 21 และตำแหน่งที่ 30 ดังแสดงในรูปที่ 4.58-4.59 จากเกณฑ์ที่กล่าวมาทั้งหมด สามารถสรุปตำแหน่งบ่อบาดาลที่นำมาพิจารณาหาแหล่งกำเนิดของไนเตรทในน้ำบาดาล ได้ทั้งหมด 12 ตำแหน่ง เป็นตำแหน่งน้ำผิวดินจำนวน 1 ตำแหน่ง ซึ่งรายละเอียดของแต่ละตำแหน่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.10 และตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างแต่ละตำแหน่ง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.60



รูปที่ 4.58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาลช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษา อำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Panno และคณะ, 2006)



รูปที่ 4.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาล ช่วงฤดูร้อนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Panno และคณะ, 2006)

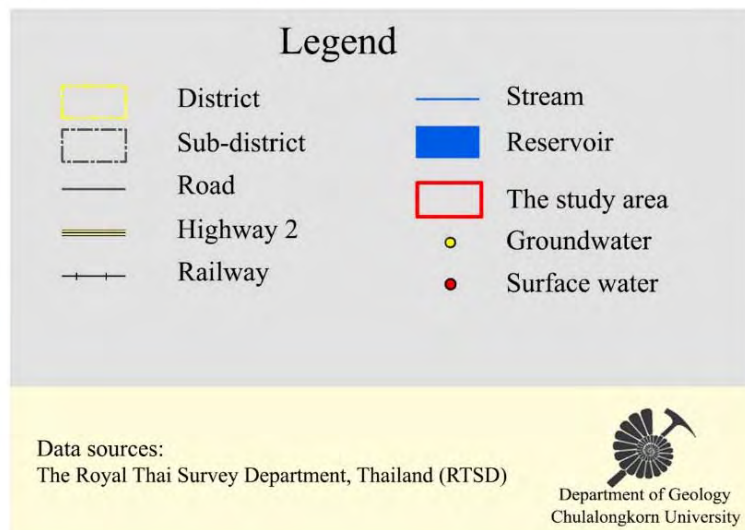
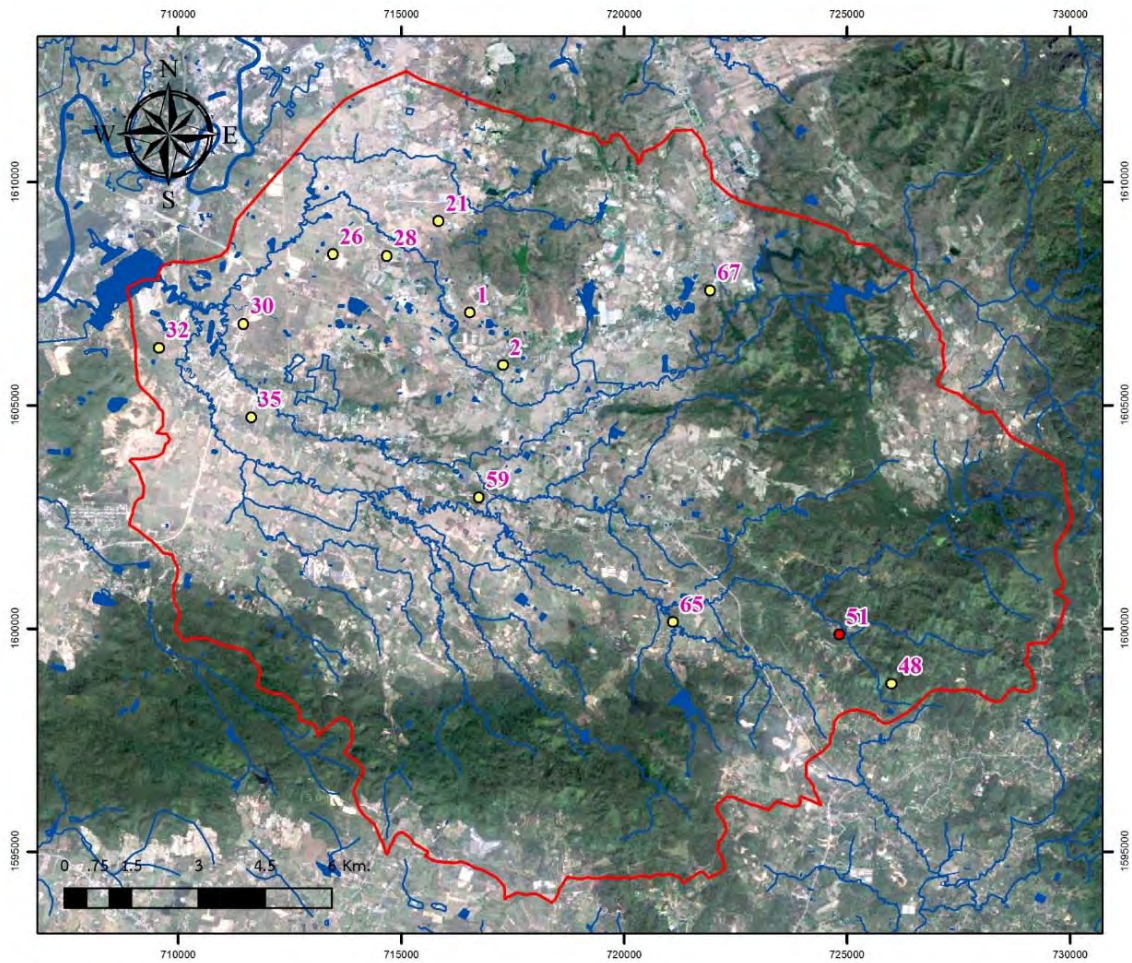
ตารางที่ 4.10 ความเข้มข้นของไนเตรทของตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่เลือกเพื่อระบุแหล่งที่มาของไนเตรท

Station	East	North	Nitrate concentration (mg/l)	
			Rainy season	Summer season
ST01	716539	1607076	2.99	3.52
ST02	717275	1605897	7.10	5.58
ST21	715830	1609126	3.01	LOD
ST26	713464	1608383	3.54	2.70
ST28	714671	1608348	0.98	4.55
ST30	711461	1606825	1.72	0.87
ST32	709563	1606287	2.37	2.43
ST35	711636	1604727	2.46	4.20
ST48	725990	1598761	3.11	1.67
ST51*	724824	1599866	3.69	n.a.
ST59	716739	1602934	2.27	1.97
ST65	721091	1600142	1.04	1.57
ST67	721925	1607575	1.08	1.56

LOD: Lower limit of detection limit

* Surface water

- Not available



รูปที่ 4.60 ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างเพื่อระบุแหล่งที่มาของไนเตรทในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี



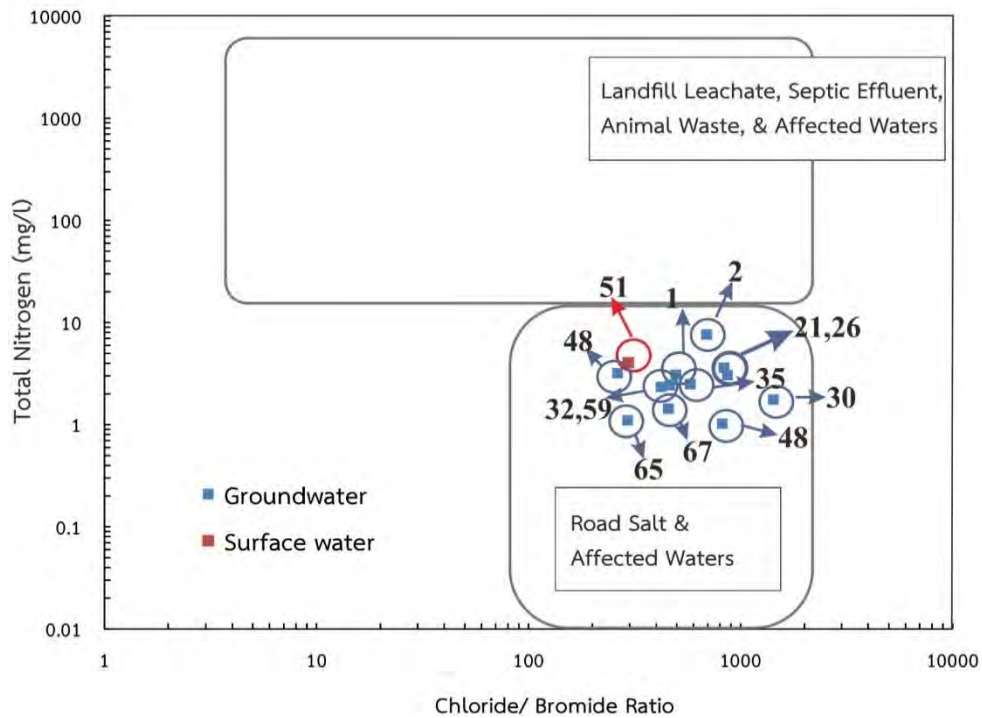
4.8 แหล่งกำเนิดของความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาล

ตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่เลือกเพื่อหาแหล่งกำเนิดของไนเตรท แสดงไว้ใน [ตารางที่ 4.10](#) โดยวิธีที่นำมาใช้จำแนกแหล่งกำเนิดของไนเตรทใช้วิธีเส้นโค้งผสม (mixing curves) ซึ่งเป็นวิธีที่พล็อตระหว่างแคทไอออน และ/หรือ แอนไอออนจากการวิเคราะห์อุทกเคมี ซึ่งมีขอบเขตของแต่ละแหล่งกำเนิดที่เป็นสาเหตุให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรทในแหล่งน้ำบาดาล เช่น น้ำเค็ม เกลือถนน น้ำเสีย ของเสียจากสัตว์ ปุ๋ย และน้ำฝน ค่าเหล่านี้ได้มาจากงานวิจัยที่ผ่านมาและจะนำมาพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้จำแนกแหล่งกำเนิดของไนเตรทที่ปนเปื้อนในน้ำบาดาล (Heston, 2015) รายละเอียดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างไอออนต่างๆ แสดงในส่วนต่อไป

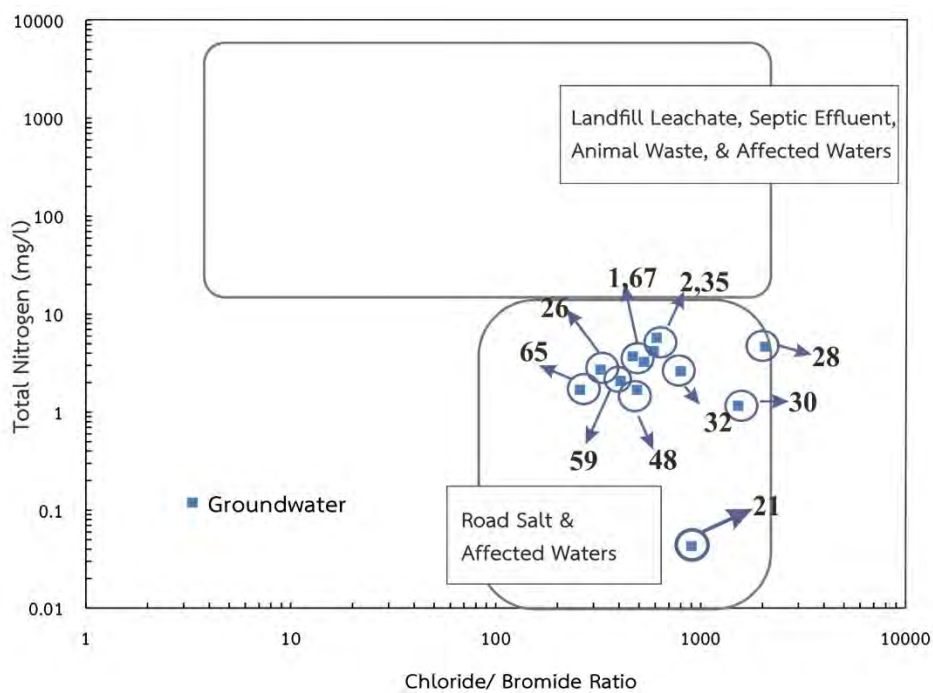
4.8.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของคลอไรด์/โบรไมด์ และค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด

ไอออนของคลอไรด์ และโบรไมด์เป็นแอนไอออนที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ล้อมรอบ (conservative anions) (HEM, 1985) ดังนั้นอัตราส่วนของคลอไรด์และโบรไมด์จึงมีประโยชน์ และเป็นเครื่องมือที่ราคาไม่แพง ที่ช่วยระบุการปนเปื้อนของโซเดียม และคลอไรด์ในแหล่งน้ำ ตลอดจนสามารถใช้ระบุแหล่งกำเนิดของน้ำเค็มในน้ำบาดาลได้ น้ำฝนจากชั้นบรรยากาศ น้ำเสียจากบ้านเรือน ทำนองเดียวกับการเคลื่อนที่ของน้ำบาดาล (Devis และ Fabryka-Martin, 1998; Richter และ Kreitler, 1993) อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ไม่สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดได้อย่างชัดเจน เนื่องจากในบางแหล่งกำเนิดแสดงค่าอัตราส่วนของคลอไรด์และโบรไมด์ที่คล้ายคลึงกัน จึงมักใช้อัตราส่วนนี้ร่วมกับพารามิเตอร์ทางอุทกเคมีตัวอื่นๆ เพื่อให้เห็นความแตกต่างของแหล่งกำเนิดของไนเตรทได้อย่างชัดเจน (Panno และคณะ, 2006)

Marie และ Vengosh (2001) ใช้ความเข้มข้นของไนเตรท เป็นตัวบ่งชี้ น้ำบาดาลซึ่งได้รับผลกระทบจากน้ำเสีย ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับจำแนกแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนที่เป็นไปได้ ขณะที่ Panno และคณะ (2006) ได้ใช้ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) แทนที่ความเข้มข้นของไนเตรท ความสัมพันธ์นี้ช่วยแยกน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนจากน้ำชะขยะ น้ำเสียจากบ้านเรือน และของเสียจากสัตว์ออกจากน้ำบาดาลซึ่งปนเปื้อนจากเกลือที่ทำถนน เมื่อพล็อตผลวิเคราะห์ไอออนของน้ำบาดาล และน้ำผิวดินจากโครงการวิจัยลงในความสัมพันธ์นี้ พบว่าตัวอย่างน้ำบาดาล และน้ำผิวดินในฤดูฝนและฤดูร้อนตกอยู่ในขอบเขตของน้ำที่ได้รับ การปนเปื้อนจากเกลือซึ่งอาจจะเป็นปุ๋ยเคมีที่ใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมสำหรับในกรณี ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผลนี้สามารถบอกเราได้เบื้องต้นว่าน้ำบาดาล และน้ำผิวดินส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงใน [รูปที่ 4.61-4.62](#)



รูปที่ 4.61 ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด และอัตราส่วนคลอไรด์/โบรมไนด์ของน้ำบาดาล และน้ำผิวดินช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษา อำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Marie และ Vengosh, 2001)



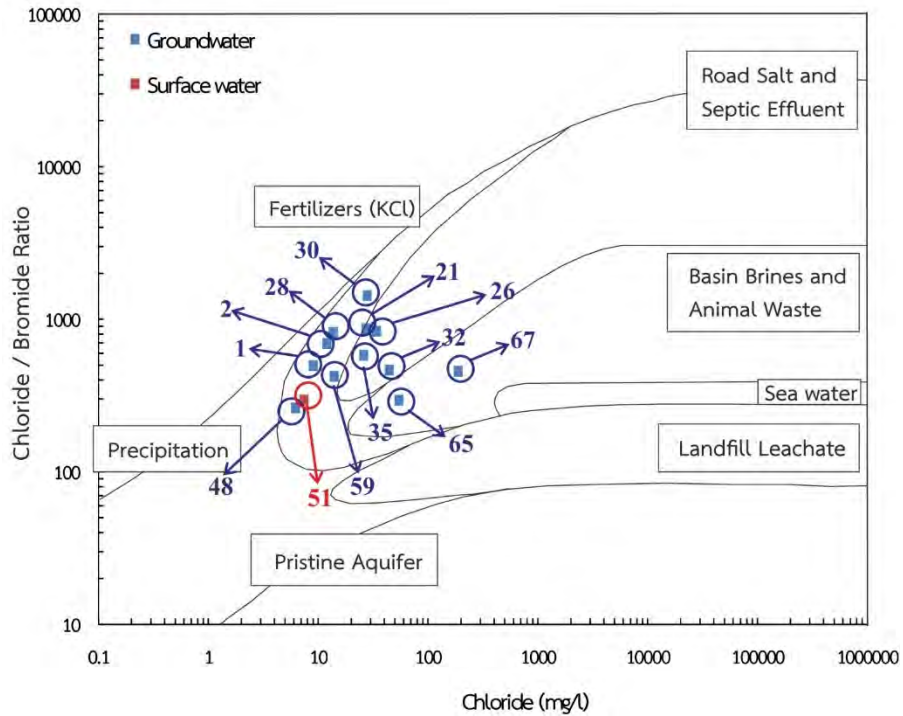
รูปที่ 4.62 ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด และอัตราส่วนคลอไรด์/โบรมไนด์ของน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อนในพื้นที่ศึกษา อำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Marie และ Vengosh, 2001)



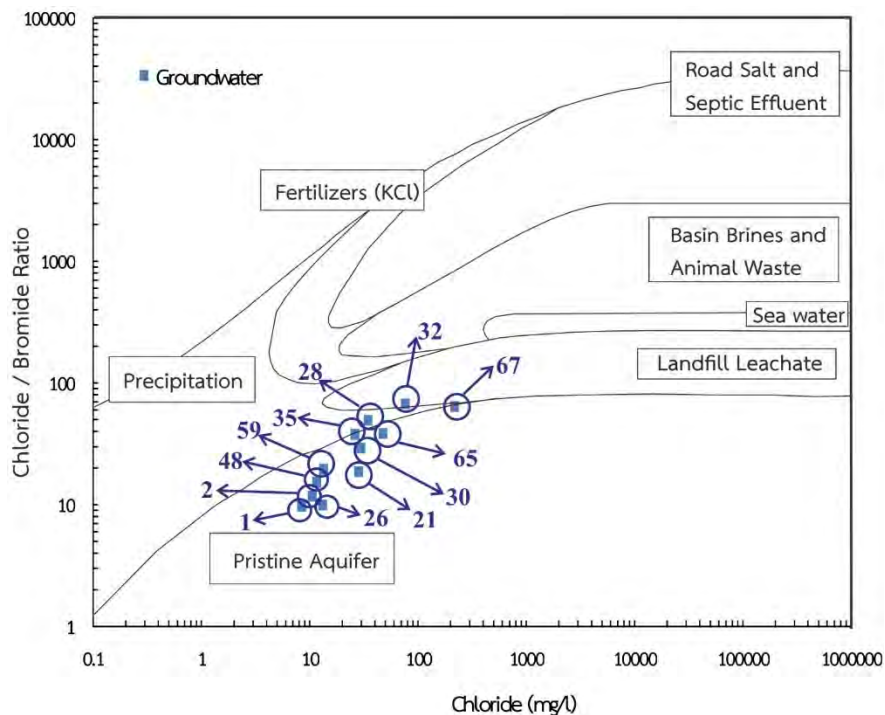
4.8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของคลอไรด์/โบรไมด์ และค่าความเข้มข้นของคลอไรด์

Panno และคณะ (2006) ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของคลอไรด์ โบรไมด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์เพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดของไนเตรทในน้ำบาดาล จากความสัมพันธ์สามารถจำแนกพื้นที่ของแหล่งกำเนิดต่างๆ ที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรท ได้ดังนี้ ขอบเขตพื้นที่ที่เป็นน้ำฝน ขอบเขตของชั้นน้ำบาดาลเดิมซึ่งไม่ปนเปื้อน ขอบเขตพื้นที่ที่มีการใช้ปุ๋ยสังเคราะห์ (KCl) ขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเกลือและน้ำเสีย ขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากของเสียสัตว์ และแอมโมเนีย และขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำชะขยะ และขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำทะเล ดังนั้นเราจึงใช้ความสัมพันธ์นี้เพื่อให้เห็นความแตกต่างของแหล่งกำเนิดไนเตรทในพื้นที่ศึกษา หลังจากที่เราพล็อตข้อมูลลงในความสัมพันธ์ พบว่าช่วงฤดูฝนน้ำจากบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 01, 02, 28, 30, 48 และ 59 อาจถูกทำให้ปนเปื้อนจากการใช้ปุ๋ย ขณะที่ผลวิเคราะห์น้ำจากบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 26, 32 และ 35 อยู่ในขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเกลือทำถนนและน้ำเสีย และผลวิเคราะห์น้ำจากบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 65 และ 67 อยู่ในขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากของเสียสัตว์ และแอมโมเนีย นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำบาดาลจากบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 21 เกิดการปนเปื้อนเนื่องจากแหล่งกำเนิดผสมระหว่างปุ๋ย เกลือทำถนน และน้ำเสียจากบ้านเรือน สำหรับน้ำผิวดินพบว่าตัวอย่างน้ำ (ตำแหน่งที่ 51) ได้รับผลกระทบจากการใช้ปุ๋ย ดังแสดงในรูปที่ 4.63

สำหรับในช่วงฤดูร้อนอัตราส่วนของคลอไรด์ โบรไมด์มีค่าต่ำกว่าช่วงฤดูฝน และผลวิเคราะห์น้ำจากบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 01, 02, 21, 26, 30, 48, 59 และ 65 ตกอยู่ในขอบเขตของชั้นน้ำบาดาลเดิมซึ่งไม่ปนเปื้อน ผลวิเคราะห์น้ำจากบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 48 อยู่ในขอบเขตพื้นที่ที่เป็นน้ำฝน น้ำจากบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 35 ได้รับผลกระทบจากทั้งน้ำฝน และน้ำบาดาลเดิมที่ไม่ปนเปื้อน น้ำจากบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 32 ได้รับผลกระทบจากทั้งน้ำฝน และน้ำชะขยะ และน้ำจากบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 ได้รับผลกระทบจากน้ำฝน น้ำบาดาลเดิมที่ไม่ปนเปื้อน และได้รับผลกระทบจากน้ำชะขยะ เป็นที่น่าสังเกตว่าในช่วงฤดูร้อนอาจมีบางกระบวนการเกิดขึ้นและส่งผลกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาล ดังแสดงในรูปที่ 4.64

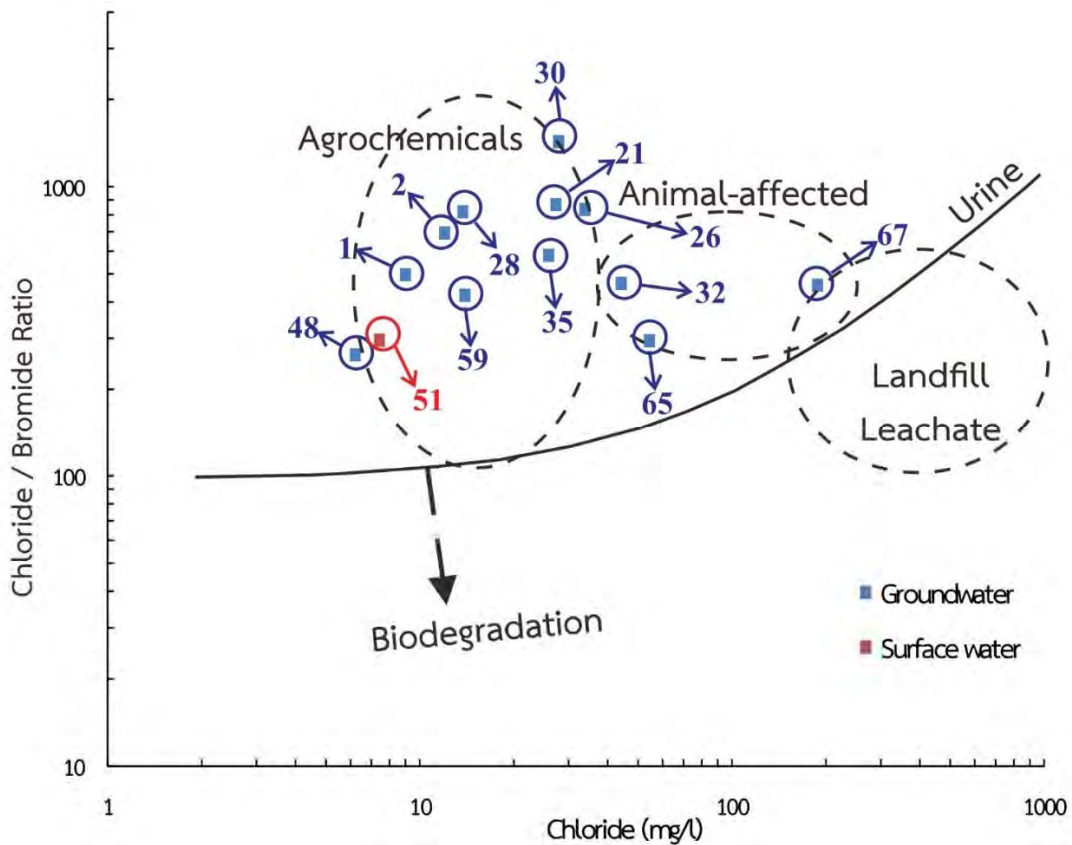


รูปที่ 4.63 อัตราส่วนคลอไรด์/โบรมൈด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาล และน้ำผิวดินช่วงฤดูฝน
ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย, อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Panno และคณะ, 2006)

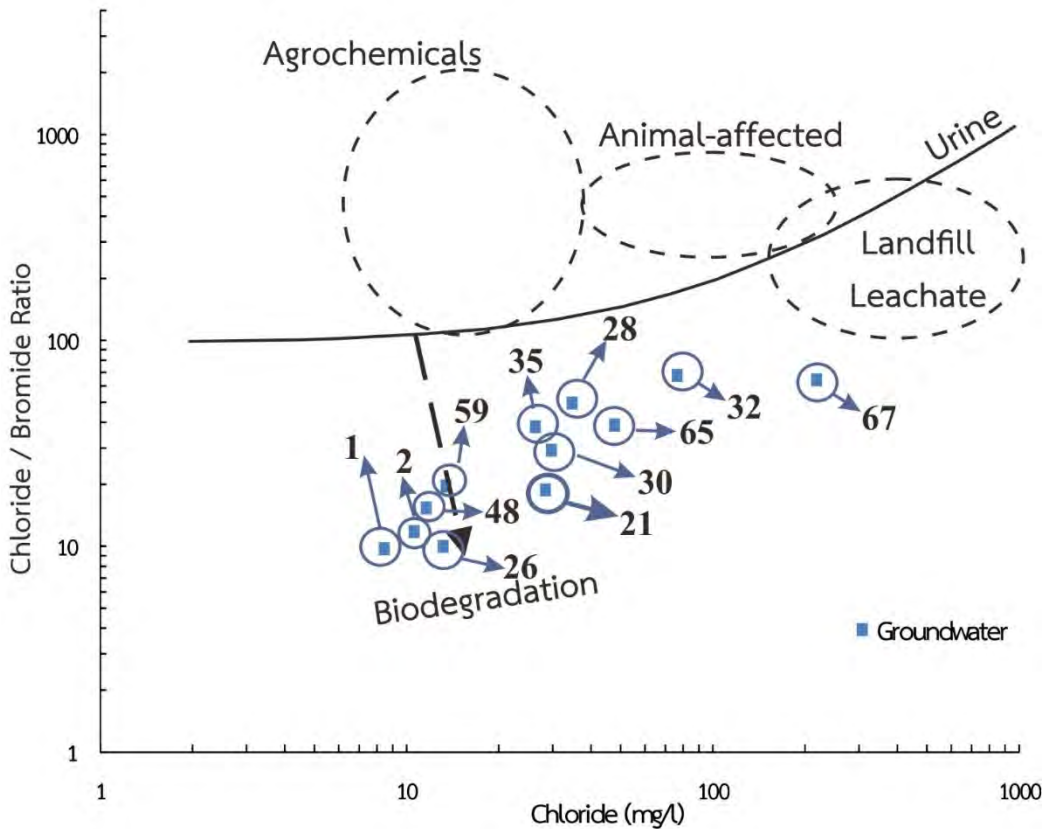


รูปที่ 4.64 อัตราส่วนคลอไรด์/โบรมൈด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อน
ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Panno และคณะ, 2006)

Pasten-Zapata และคณะ (2014) ได้สังเกตความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของคลอไรด์ โบรไมด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ โดยพบว่าผลการศึกษาลักษณะคล้ายคลึงกับการศึกษาก่อนหน้านี้ ซึ่งสามารถแยกแหล่งกำเนิดของไนเตรทออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ แหล่งกำเนิดที่เกี่ยวกับสารเคมีที่ใช้สำหรับเกษตรกรรม แหล่งกำเนิดที่มาจากปุ๋ยสัตว์ และแหล่งกำเนิดที่เกี่ยวกับน้ำชะขยะ นอกจากนี้พวกเขาได้ระบุแนวโน้มของยูรีน (urine) และแนวโน้มการเกิดกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradation) ลงในกราฟความสัมพันธ์ของพวกเขาด้วย เมื่อพล็อตข้อมูลจากโครงการวิจัยลงในความสัมพันธ์นี้ พบว่าตัวอย่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินช่วงฤดูฝนส่วนใหญ่อยู่ในขอบเขตที่ได้รับผลกระทบจากการใช้สารเคมีสำหรับทำเกษตรกรรม ยกเว้นบ่อน้ำบาดาลตำแหน่งที่ 32 และ 65 ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่ได้รับผลกระทบจากสัตว์ และบ่อน้ำบาดาลตำแหน่งที่ 67 อยู่ในขอบเขตของการผสมระหว่างผลกระทบที่มาจากสัตว์ และน้ำชะขยะ ดังแสดงในรูปที่ 4.65 ทั้งนี้เมื่อเราสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของคลอไรด์ โบรไมด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาลในช่วงฤดูร้อน พบว่าตัวอย่างน้ำบาดาลทั้งหมดไม่อยู่ในขอบเขตที่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดใดๆ เลย จึงสันนิษฐานว่าตัวอย่างน้ำบาดาลที่เก็บในช่วงฤดูร้อนได้รับผลกระทบจากกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradation mechanism) ดังแสดงในรูปที่ 4.66



รูปที่ 4.65 อัตราส่วนคลอไรด์/โบรไมด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาล และน้ำผิวดินช่วงฤดูฝนในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Pasten-Zapata และคณะ, 2014)



รูปที่ 4.66 อัตราส่วนคลอไรด์/โบรมൈด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อน
ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Pasten-Zapata และคณะ, 2014)

4.8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของไนเตรท/คลอไรด์ และค่าความเข้มข้นของคลอไรด์

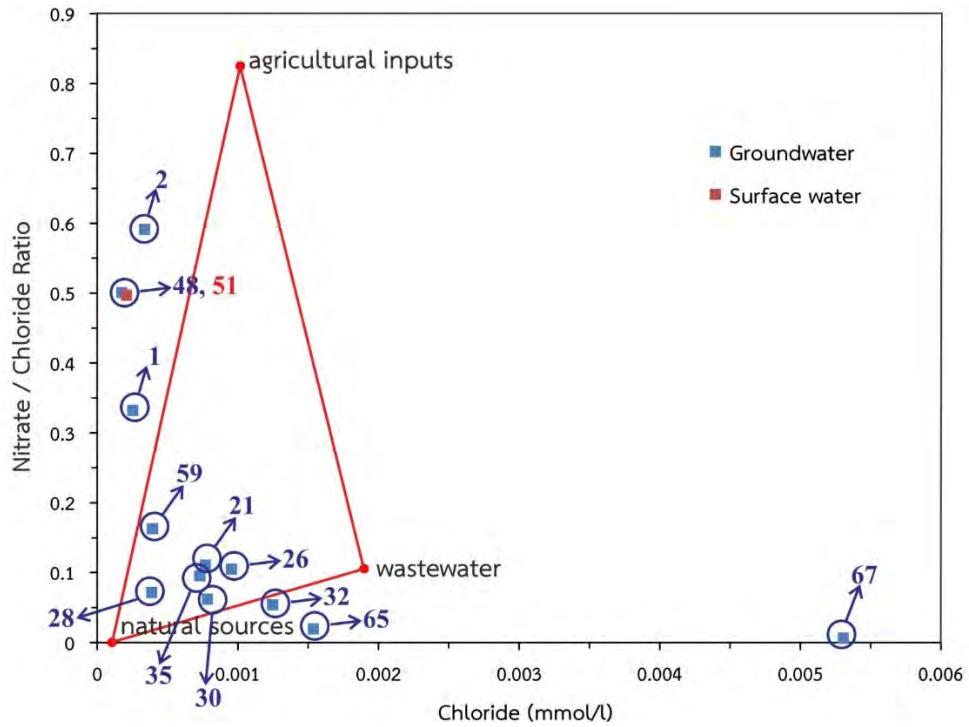
Zhang และคณะ (2015) ศึกษาแหล่งกำเนิดของไนเตรทในน้ำบาดาลโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของไนเตรท คลอไรด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร และเสนอว่าแหล่งกำเนิดของไนเตรทที่แตกต่างกันแยกได้โดยความสัมพันธ์นี้ ซึ่งสามารถจำแนกแหล่งกำเนิดของไนเตรทออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ แหล่งกำเนิดจากเกษตรกรรม แหล่งกำเนิดจากน้ำเสีย และแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ หากตัวอย่างน้ำที่ได้รับผลกระทบจากการทำเกษตรกรรมจะแสดงอัตราส่วนระหว่างไนเตรทกับคลอไรด์ (Nitrate/chloride ratio) สูง และความเข้มข้นของคลอไรด์ต่ำ ขณะที่ตัวอย่างน้ำที่ได้รับผลกระทบจากน้ำเสียจะแสดงอัตราส่วนระหว่างไนเตรทกับคลอไรด์ต่ำ และความเข้มข้นของคลอไรด์สูง และตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดใดๆ จะแสดงอัตราส่วนระหว่างไนเตรทกับคลอไรด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ต่ำ จากแนวความคิดนี้เราสามารถสร้างสามเหลี่ยมผสม (mixed triangle) เพื่อระบุแหล่งกำเนิดของไนเตรทได้ โดยจุดอ้างอิงที่ระบุแหล่งกำเนิดธรรมชาติ ใช้ข้อมูลอุทกเคมีของพื้นที่ศึกษาบริเวณต้นน้ำของอ่างเก็บน้ำบ้านดง ส่วนจุดอ้างอิงที่ระบุแหล่งกำเนิดจากน้ำเสีย และแหล่งกำเนิดจากเกษตรกรรม ใช้ข้อมูลอุทกเคมีของน้ำบาดาลจากการศึกษาของ Noipow และคณะ (2015)

ผลการศึกษาพบว่าในช่วงฤดูฝน มีบ่อบาดาลทั้งหมด 6 ตำแหน่งที่อยู่ในขอบเขตด้านนอกของสามเหลี่ยมผสม และตำแหน่งบ่อบาดาลทั้งหมดไม่ได้รับระบุแหล่งกำเนิดของไนเตรทอย่างชัดเจน ยกเว้นบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 แยกออกจากบ่อบาดาลตำแหน่งอื่น และอาจได้รับผลกระทบจากน้ำเสีย ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับ

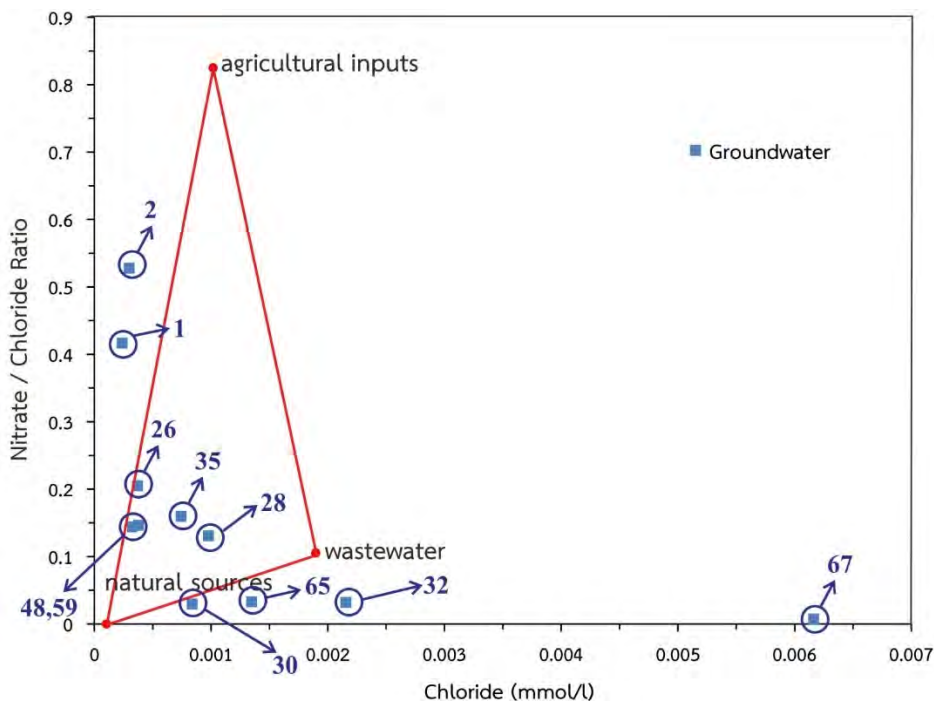


ความสัมพันธ์ที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้นี้ ทั้งนี้สามารถแบ่งกลุ่มของบ่อบาดาลโดยจำแนกตามลักษณะแหล่งที่มาของไนเตรทออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ **กลุ่มแรก** ประกอบด้วยบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 01, 02, 48 และตำแหน่งเก็บน้ำผิวดินตำแหน่งที่ 51 ซึ่งได้รับผลกระทบจากการผสมระหว่างน้ำจากแหล่งกำเนิดธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดที่มาจากเกษตรกรรม **กลุ่มที่ 2** ประกอบด้วยบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 32 และ 65 ซึ่งได้รับผลกระทบจากการผสมระหว่างน้ำจากแหล่งกำเนิดธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดที่มาจากน้ำเสีย และ**กลุ่มที่ 3** ประกอบด้วยบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 21, 26, 28, 30, 35 และ 59 ซึ่งข้อมูลที่พล็อตอยู่ภายในขอบเขตของสามเหลี่ยมผสม นั้นแสดงว่ามีแหล่งกำเนิดหลายประเภทที่ส่งผลให้เกิดมลพิษในน้ำบาดาล (Zhang และคณะ, 2015)

ในช่วงฤดูร้อนผู้วิจัยได้พิจารณาเลือกบ่อบาดาลเพียงแค่ 11 ตำแหน่ง โดยไม่พิจารณาบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 21 เนื่องจากความเข้มข้นของไนเตรทในตำแหน่งนี้มีค่าต่ำกว่าค่า detection limit จากความสัมพันธ์พบว่าบ่อบาดาลทั้งหมด 5 ตำแหน่งที่อยู่นอกขอบเขตของสามเหลี่ยมผสม ซึ่งบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 01 และ 02 ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดที่มาจากเกษตรกรรม ขณะที่บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 30, 32 และ 65 ได้รับผลกระทบจากการผสมระหว่างน้ำจากแหล่งกำเนิดธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดที่มาจากน้ำเสียนอกจากนี้ยังพบว่าบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 26, 28, 35, 48 และ 59 อยู่ในขอบเขตของสามเหลี่ยมผสม แสดงว่าน้ำจากบ่อบาดาลเหล่านี้ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดทั้งสามประเภท ส่วนบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 แยกออกมาจากบ่อบาดาลตำแหน่งอื่นอย่างชัดเจนเช่นเดียวกับผลการศึกษาที่พบในช่วงฤดูฝน ดังนั้นน้ำในบ่อบาดาลตำแหน่งนี้ได้รับผลกระทบจากน้ำเสีย ดังแสดงในรูปที่ 4.67-4.68



รูปที่ 4.67 อัตราส่วนไนเตรท/คลอไรด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาล และน้ำผิวดินช่วงฤดูฝน ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Zhang และคณะ, 2015)



รูปที่ 4.68 อัตราส่วนไนเตรท/คลอไรด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์ของน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อน ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (ดัดแปลงจาก Zhang และคณะ, 2015)



4.8.4 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดินกับการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำบาดาล

ในส่วนนี้เป็นส่วนที่ใช้ข้อมูลทุกเคมีจากผลการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น ร่วมกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งช่วยจำแนกแหล่งกำเนิดของไนเตรทในน้ำบาดาลได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยรายละเอียดของบ่อบาดาลแต่ละตำแหน่งที่เลือก เพื่อหาแหล่งกำเนิดของไนเตรทแสดงไว้ตามข้อมูลด้านล่าง ทั้งนี้แหล่งกำเนิดของไนเตรทที่พบในบ่อบาดาล และตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำผิวดินสรุปไว้ใน [ตารางที่ 4.11](#)

1) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 01 บริเวณบ้านนาดี

จากแผนภาพ Gibbs diagram ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาระหว่างหินและน้ำในทั้งสองฤดูกาล และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นคลอไรด์ต่อโบรไมด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ [Panno และคณะ \(2006\)](#) และ [Pasten-Zapata และคณะ \(2014\)](#) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในช่วงฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูร้อนน้ำบาดาลไม่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดใด ทำนองเดียวกับผลการศึกษาที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นไนเตรทต่อคลอไรด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์ของ [Zhang และคณะ \(2015\)](#) โดยระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากรธรรมชาติ และการใช้สารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในทั้งสองฤดูกาล เมื่อพิจารณาตำแหน่งบ่อบาดาลในแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลในภาคสนาม ระบุว่าบ่อบาดาลตำแหน่งนี้อยู่ในพื้นที่ป่า และอยู่ใกล้ภูเขา ดังนั้นน้ำบาดาลในบ่อนี้อาจได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากรธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงใน [รูปที่ 4.69](#)



รูปที่ 4.69 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 01 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย
อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

2) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 02 บริเวณบ้านนาดี

จากแผนภาพ Gibbs diagram ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาระหว่างหินและน้ำในทั้งสองฤดูกาล และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นคลอไรด์ต่อโบรไมด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ [Panno และคณะ \(2006\)](#) และ [Pasten-Zapata และคณะ \(2014\)](#) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับ



ผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในช่วงฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูร้อนน้ำบาดาลไม่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดใด อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นไนเตรตต่อคลอไรด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Zhang และคณะ (2015) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ และการใช้สารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในทั้งสองฤดูกาล เมื่อพิจารณาตำแหน่งบ่อบาดาลในแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลในภาคสนาม ระบุว่าบ่อบาดาลตำแหน่งนี้อยู่ในพื้นที่ที่เป็นหมู่บ้าน และอยู่ใกล้พื้นที่นา ดังนั้นน้ำบาดาลในบ่อนี้จึงอาจได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.70



รูปที่ 4.70 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 02 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอมือง จังหวัดสระบุรี

3) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 21 บริเวณบ้านป่าไผ่นาบุญ

จากแผนภาพ Gibbs diagram ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากปฏิกริยาระหว่างหินและน้ำในฤดูฝน และได้รับผลกระทบจากน้ำฝนในฤดูร้อน ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นคลอไรด์ต่อโบรมด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์ จากการศึกษาคของ Panno และคณะ (2006) และ Pasten-Zapata และคณะ (2014) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรม และน้ำเสียในช่วงฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูร้อนน้ำบาดาลไม่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดใด อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นไนเตรตต่อคลอไรด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Zhang และคณะ (2015) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ น้ำเสีย และการใช้สารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในฤดูฝน เมื่อพิจารณาตำแหน่งบ่อบาดาลในแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลในภาคสนาม ระบุว่าบ่อบาดาลตำแหน่งนี้อยู่ในพื้นที่ที่เป็นหมู่บ้าน และอยู่ในพื้นที่ที่เป็นสนามหญ้าของโรงเรียน ดังนั้นน้ำบาดาลในบ่อนี้จึงอาจได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.71



รูปที่ 4.71 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 21 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

4) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 26 บริเวณบ้านห้วยลี

จากแผนภาพ Gibbs diagram ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาระหว่างหินและน้ำในทั้งสองฤดูกาล และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของคลอไรด์ต่อโบรมाइด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Panno และคณะ (2006) และ Pasten-Zapata และคณะ (2014) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรม และน้ำเสียในช่วงฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูร้อนน้ำบาดาลไม่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดกิจกรรมของมนุษย์ อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นไนเตรทต่อคลอไรด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Zhang และคณะ (2015) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ น้ำเสีย และการใช้สารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในทั้งสองฤดูกาล เมื่อพิจารณาตำแหน่งบ่อบาดาลในแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลในภาคสนาม ระบุว่าบ่อบาดาลตำแหน่งนี้อยู่ในพื้นที่ที่เป็นหมู่บ้าน และอยู่ใกล้ที่อยู่อาศัย ซึ่งลักษณะบ่อบาดาลที่พบเป็นบ่อบโยก สภาพรอบบ่อบาดาลค่อนข้างชำรุด และมีโอกาสที่น้ำฝนจะไหลซึมลงสู่น้ำบาดาล ดังนั้นน้ำบาดาลในบ่อนี้อาจได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.72



รูปที่ 4.72 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 26 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

5) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 28 บริเวณบ้านห้วยลี

จากแผนภาพ Gibbs diagram ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาระหว่างหินและน้ำในทั้งสองฤดูกาล และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นคลอไรด์ต่อโบรมाइด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Panno และคณะ (2006) และ Pasten-Zapata และคณะ (2014) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในช่วงฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูร้อนน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากน้ำฝน อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นไนเตรท ต่อคลอไรด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Zhang และคณะ (2015) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ น้ำเสีย และการใช้สารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในทั้งสองฤดูกาล เมื่อพิจารณาตำแหน่งบ่อบาดาลในแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลในภาคสนาม ระบุว่าบ่อบาดาลตำแหน่งนี้อยู่ในพื้นที่ที่เป็นหมู่บ้าน และอยู่ใกล้พื้นที่นา ดังนั้นน้ำบาดาลในบ่อนี้อาจได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติและแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.73



รูปที่ 4.73 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 28 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

6) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 30 บริเวณบ้านโคกเพ็ก

จากแผนภาพ Gibbs diagram ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาระหว่างหินและน้ำในทั้งสองฤดูกาล และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นคลอไรด์ต่อโบรมاید กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ [Panno และคณะ \(2006\)](#) และ [Pasten-Zapata และคณะ \(2014\)](#) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในช่วงฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูร้อนน้ำบาดาลไม่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดใด อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นไนเตรตต่อคลอไรด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ [Zhang และคณะ \(2015\)](#) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ น้ำเสีย และการใช้สารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในทั้งสองฤดูกาล เมื่อพิจารณาตำแหน่งบ่อบาดาลในแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลในภาคสนาม ระบุว่าบ่อบาดาลตำแหน่งนี้อยู่ในพื้นที่นา และอยู่ในพื้นที่ที่เป็นสนามหญ้าของวัดโคกเพ็ก ดังนั้นน้ำบาดาลในบ่อนี้อาจได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.74



รูปที่ 4.74 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 30 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

7) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 32 บริเวณบ้านห้วยจะเข้

จากแผนภาพ Gibbs diagram ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาระหว่างหินและน้ำในทั้งสองฤดูกาล และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนคลอไรด์ โบรไมด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Panno และคณะ (2006) และ Pasten-Zapata และคณะ (2014) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากน้ำเสีย และผลกระทบจากปุ๋ยสัตว์ในช่วงฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูร้อนน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากน้ำฝน และน้ำชะขยะ อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของไนเตรท คลอไรด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Zhang และคณะ (2015) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ และน้ำเสียในทั้งสองฤดูกาล เมื่อพิจารณาตำแหน่งบ่อบาดาลในแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลในภาคสนาม ระบุว่าบ่อบาดาลตำแหน่งนี้อยู่ในสถานที่ราชการ และอยู่ในพื้นที่โรงเรียน ซึ่งบ่ออยู่ใกล้ห้องน้ำ ดังนั้นน้ำบาดาลในบ่อนี้อาจได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.75



รูปที่ 4.75 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 32 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

8) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 35 บริเวณบ้านกุดนกเปล้า

จากแผนภาพ Gibbs diagram ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาระหว่างหินและน้ำในทั้งสองฤดูกาล และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นคลอไรด์ต่อโบรมاید กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ [Panno และคณะ \(2006\)](#) และ [Pasten-Zapata และคณะ \(2014\)](#) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากน้ำเสีย และผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในช่วงฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูร้อน น้ำบาดาลบางส่วนได้รับผลกระทบจากน้ำฝน อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นไนเตรทต่อคลอไรด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ [Zhang และคณะ \(2015\)](#) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ น้ำเสีย และการใช้สารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในทั้งสองฤดูกาล เมื่อพิจารณาตำแหน่งบ่อบาดาลในแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลในภาคสนาม ระบุว่าบ่อบาดาลตำแหน่งนี้อยู่ในพื้นที่ที่เป็นหมู่บ้าน และเป็นบริเวณที่อยู่อาศัย ดังนั้นน้ำบาดาลในบ่อนี้ อาจได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงใน **รูปที่ 4.76**



รูปที่ 4.76 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 35 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอมือง จังหวัดสระบุรี

9) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 48 บริเวณบ้านตาดเหนือ

จากแผนภาพ Gibbs diagram ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาระหว่างหินและน้ำในทั้งสองฤดูกาล และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นคลอไรด์ต่อโบรไมด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Panno และคณะ (2006) และ Pasten-Zapata และคณะ (2014) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในช่วงฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูร้อนน้ำบาดาลไม่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นไนเตรทต่อคลอไรด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Zhang และคณะ (2015) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ และการใช้สารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในช่วงฤดูฝน แต่น้ำบาดาลในช่วงฤดูร้อนได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ น้ำเสีย และการใช้สารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมด้วย เมื่อพิจารณาดำเนินการบ่อบาดาลในแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลในภาคสนาม ระบุว่าบ่อบาดาลตำแหน่งนี้อยู่ในพื้นที่ที่เป็นหมู่บ้าน และเป็นบริเวณที่ปลูกปาล์ม ดังนั้นน้ำบาดาลในบ่อนี้ อาจได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.77



รูปที่ 4.77 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 48 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย
อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

10) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 59 บริเวณบ้านห้วยแห้ง

จากแผนภาพ Gibbs diagram ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาระหว่างหินและน้ำในทั้งสองฤดูกาล และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนคลอไรด์ โบรไมด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Panno และคณะ (2006) และ Pasten-Zapata และคณะ (2014) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในช่วงฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูร้อนน้ำบาดาลไม่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมมนุษย์ซึ่งต่างจากฤดูฝนที่กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของไนเตรท คลอไรด์ และความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Zhang และคณะ (2015) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากรธรรมชาติ น้ำเสียและการใช้สารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในทั้งสองฤดูกาล เมื่อพิจารณาตำแหน่งบ่อบาดาลในแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลในภาคสนาม ระบุว่าบ่อบาดาลตำแหน่งนี้อยู่ในพื้นที่ที่เป็นหมู่บ้าน และเป็นบริเวณที่อยู่อาศัย ดังนั้นน้ำบาดาลในบ่อนี้จึงได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากรธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.78



รูปที่ 4.78 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 59 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอมือง จังหวัดสระบุรี

11) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 65 บริเวณบ้านท่ามะปราง

จากแผนภาพ Gibbs diagram ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาระหว่างหินและน้ำในทั้งสองฤดูกาล และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของคลอไรด์ต่อโบรไมด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Panno และคณะ (2006) และ Pasten-Zapata และคณะ (2014) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในช่วงฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูแล้งน้ำบาดาลไม่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดใด อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของไนเตรทต่อคลอไรด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์การศึกษาของ Zhang และคณะ (2015) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ และน้ำเสียในทั้งสองฤดูกาล เมื่อพิจารณาดำเนินการบ่อบาดาลในแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลในภาคสนาม ระบุว่าบ่อบาดาลตำแหน่งนี้อยู่ในพื้นที่ที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรม และเป็นพื้นที่ฟาร์มเลี้ยงไก่ ดังนั้นน้ำบาดาลในบ่อนี้จึงได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.79



รูปที่ 4.79 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 65 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

12) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 บริเวณบ้านดอนจาน

จากแผนภาพ Gibbs diagram ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาระหว่างหินและน้ำในทั้งสองฤดูกาล และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของคลอไรด์ต่อโบรไมด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Panno และคณะ (2006) และ Pasten-Zapata และคณะ (2014) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากของเสียสัตว์ และได้รับผลกระทบจากน้ำชะขยะในช่วงฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูร้อนน้ำบาดาลพบว่าน้ำบาดาลในบางบ่อได้รับผลกระทบจากน้ำฝน และน้ำชะขยะเท่านั้น อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของไนเตรทต่อคลอไรด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Zhang และคณะ (2015) ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากรธรรมชาติ น้ำเสียและการใช้สารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในทั้งสองฤดูกาล เมื่อพิจารณาตำแหน่งบ่อบาดาลในแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลในภาคสนาม ระบุว่าบ่อบาดาลตำแหน่งนี้อยู่ในพื้นที่ที่เป็นสวนผลไม้ผสม และเป็นบริเวณที่อยู่อาศัย ดังนั้นน้ำบาดาลในบ่อนี้อาจได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากรธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.80



รูปที่ 4.80 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

13) บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 51 บริเวณบ้านโป่งมงคล

จากแผนภาพ Gibbs diagram ระบุว่าน้ำบาดาลได้รับผลกระทบจากปฏิกิริยาระหว่างหินและน้ำในช่วงฤดูฝน และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของคลอไรด์ต่อโบรไมด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Panno และคณะ (2006) และ Pasten-Zapata และคณะ (2014) ระบุว่าน้ำผิวดินได้รับผลกระทบจากการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในช่วงฤดูฝน อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของไนเตรทต่อคลอไรด์ กับความเข้มข้นของคลอไรด์จากการศึกษาของ Zhang และคณะ (2015) ระบุว่าน้ำผิวดินได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ และการใช้สารเคมีเพื่อทำเกษตรกรรมในทั้งสองฤดูกาล เมื่อพิจารณาตำแหน่งบ่อบาดาลในแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลในภาคสนาม ระบุว่าบ่อบาดาลตำแหน่งนี้อยู่ในพื้นที่เกษตรกรรมที่ปลูกพืชไร่ และเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้พื้นที่ต้นน้ำ ดังนั้นน้ำบาดาลในบ่อนี้จึงได้รับผลกระทบจากทั้งแหล่งกำเนิดที่มาจากธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.81



รูปที่ 4.81 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของน้ำผิวดินตำแหน่งที่ 51 ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

ตารางที่ 4.11 แสดงแหล่งกำเนิดของไนเตรทที่พบในบ่อบาดาล และแหล่งน้ำผิวดิน

Station	Sources			
	rock-water interaction	precipitation	fertilizer	wastewater
1	✓			
2	✓	✓	✓	
21	✓		✓	✓
26	✓	✓		✓
28	✓		✓	✓
30	✓		✓	✓
32	✓			✓
35	✓			✓
48	✓		✓	
59	✓			✓
65	✓			✓
67	✓	✓		✓
51	✓	✓	✓	



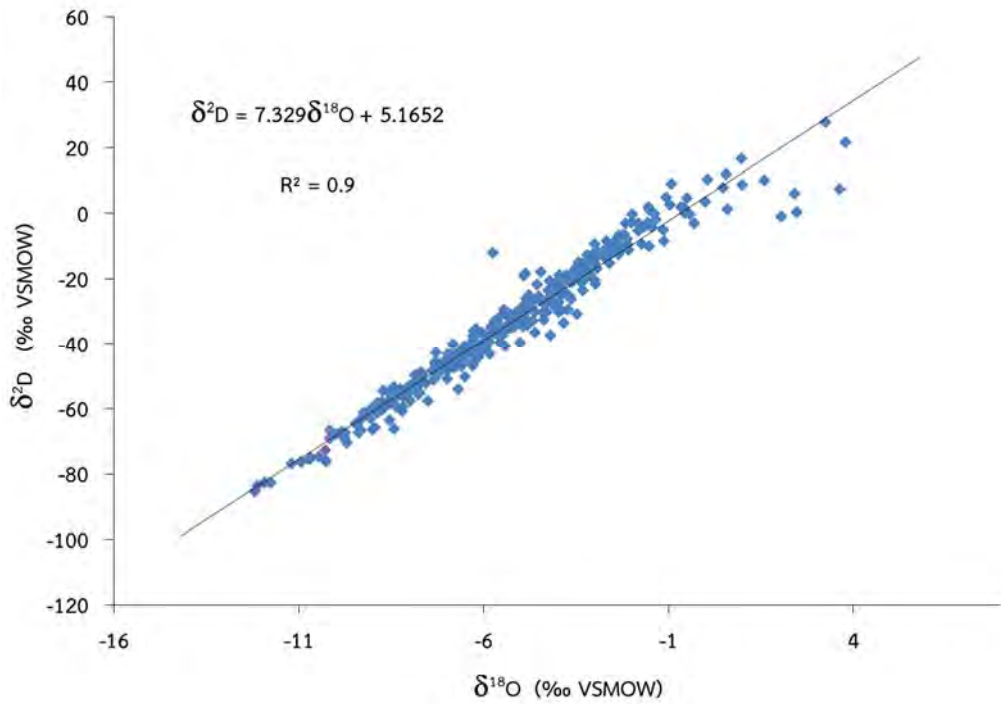
4.9 กระบวนการที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาล

สำหรับโครงการวิจัยนี้ได้ศึกษากลไกที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาล โดยพิจารณาความเข้มข้นของไนเตรทร่วมกับทิศทางกราดไหลของน้ำบาดาลเพื่ออธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา

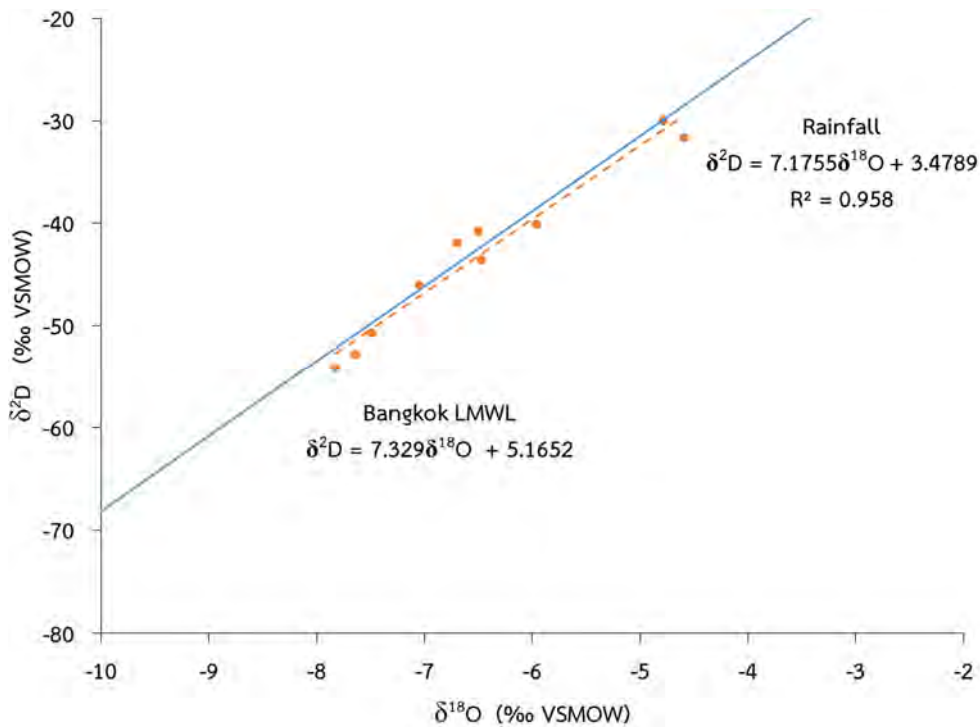
4.9.1 ไอโซโทปของดิวเทอเรียม และออกซิเจน

การศึกษาไอโซโทปของดิวเทอเรียม และออกซิเจนมักนำมาใช้เพื่ออธิบายกระบวนการทางอุทกวิทยา ซึ่งในโครงการวิจัยนี้เราได้ใช้ไอโซโทปเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน นอกจากนี้ยังใช้เพื่อศึกษากระบวนการระเหยที่เกิดขึ้นด้วย โมเลกุลของน้ำทั่วไปประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจน และออกซิเจน โดยอัตราส่วนระหว่างออกซิเจน ($\delta^{18}\text{O}$) และไฮโดรเจน (δD) จะใช้เพื่อติดตามแหล่งกำเนิดของน้ำบาดาล เนื่องจากอัตราส่วนของ $\delta^{18}\text{O}$ และ δD ในน้ำทะเล ธารน้ำแข็ง ฝน น้ำ และน้ำท่ามีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความดันไอ น้ำ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และการระเหย (Gonfiantini และคณะ, 2001; IAEA, 2006; Kamdee และคณะ, 2011; Kamdee และคณะ, 2013; Katsuyama และคณะ, 2015; Lee และ Fung, 2008; Noipow, 2015; Nunak และ Suesut, 2012; Peng และคณะ, 2004; Phien-wej และคณะ, 2006; Tang และคณะ, 2015) จากข้อมูลเหล่านี้จึงช่วยอธิบายลักษณะระบบน้ำบาดาล และประเมินความต้องการใช้น้ำบาดาลในระยะยาวเพื่อไม่ให้เกินกว่าปริมาณของน้ำบาดาลที่ไหลเข้าระบบ ทั้งยังช่วยป้องกันพื้นที่เติมน้ำจากแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนต่างๆ ด้วย (Wisittammasri และ Chotpantararat, 2015) ผลวิเคราะห์ของตัวอย่างน้ำนำไปเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$ และ δD) ของน้ำฝนบริเวณพื้นที่กรุงเทพฯ หรือเรียกว่า Bangkok Local Meteoric Water Line (BKK LMWL) เป็นเส้นที่สร้างจากชุดข้อมูลไอโซโทปน้ำฝนที่เก็บบันทึกเป็นระยะเวลายาวนานภายใต้โครงการ The Global Network for Isotopes in Precipitation (GNIP, 4845500) ซึ่งดำเนินงานโดยองค์การ International Atomic Energy Agency (IAEA, 2006) ดังแสดงในรูปที่ 4.82

จากข้อมูลของ BKK LMWL พบว่าข้อมูลระหว่างไอโซโทปของออกซิเจน และดิวเทอเรียม มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง โดยสามารถสร้างสมการจากข้อมูลดังกล่าวได้ว่า $\delta\text{D} = 7.329\delta^{18}\text{O} + 5.1652$ ซึ่งสมการนี้จะนำไปใช้เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลไอโซโทปของตัวอย่างน้ำในพื้นที่ศึกษา เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลไอโซโทปของน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา เรียกข้อมูลนี้ว่า local meteoric water line (LMWL) กับเส้น BKK LMWL พบว่ามีความคล้ายคลึงกันโดยสามารถสร้างสมการจากข้อมูลดังกล่าวได้ว่า $\delta\text{D} = 7.1755\delta^{18}\text{O} + 3.4789$ ดังแสดงในรูปที่ 4.83 สาเหตุที่ข้อมูลมีความคล้ายคลึงกันอาจเนื่องมาจากพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่บริเวณภาคกลางเช่นเดียวกับกรุงเทพฯ โดยห่างจากกรุงเทพฯ เป็นระยะทางประมาณ 107 กิโลเมตร สภาพของภูมิอากาศจึงมีความใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเส้น LMWL มีความชันที่ต่ำกว่าเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากไอน้ำที่เป็นแหล่งกำเนิดของฝนในพื้นที่ศึกษามีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าเล็กน้อย (Breitenbach และคณะ, 2010; Peng และคณะ, 2004) นอกจากนี้ลักษณะของไอโซโทปส่วนใหญ่แสดงค่าลดลงเพิ่มขึ้น สะท้อนให้เห็นถึงผลกระทบที่มาจากสภาพอากาศที่อุ่นขึ้น และระดับความสูงของพื้นที่ต่ำกว่า หรือเป็นผลมาจากฝนที่ตกในช่วงระยะเริ่มต้น หรือช่วงก่อนมรสุม (pre-monsoon) (Kamdee และคณะ, 2011) $\delta^{18}\text{O}$ มีค่าตั้งแต่ -7.83 ‰ ถึง -4.59 ‰ โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ -6.50 ± 1.12 ‰ และ δD ค่าตั้งแต่ -54.18 ‰ ถึง -30.00 ‰ โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ -43.17 ± 8.19 ‰



รูปที่ 4.82 ข้อมูลไอโซโทป $\delta^2\text{D}$ และ $\delta^{18}\text{O}$ ของน้ำฝนในพื้นที่กรุงเทพฯ ช่วงเวลาตั้งแต่ปี 1968 ถึง 2009 (IAEA, 2006)



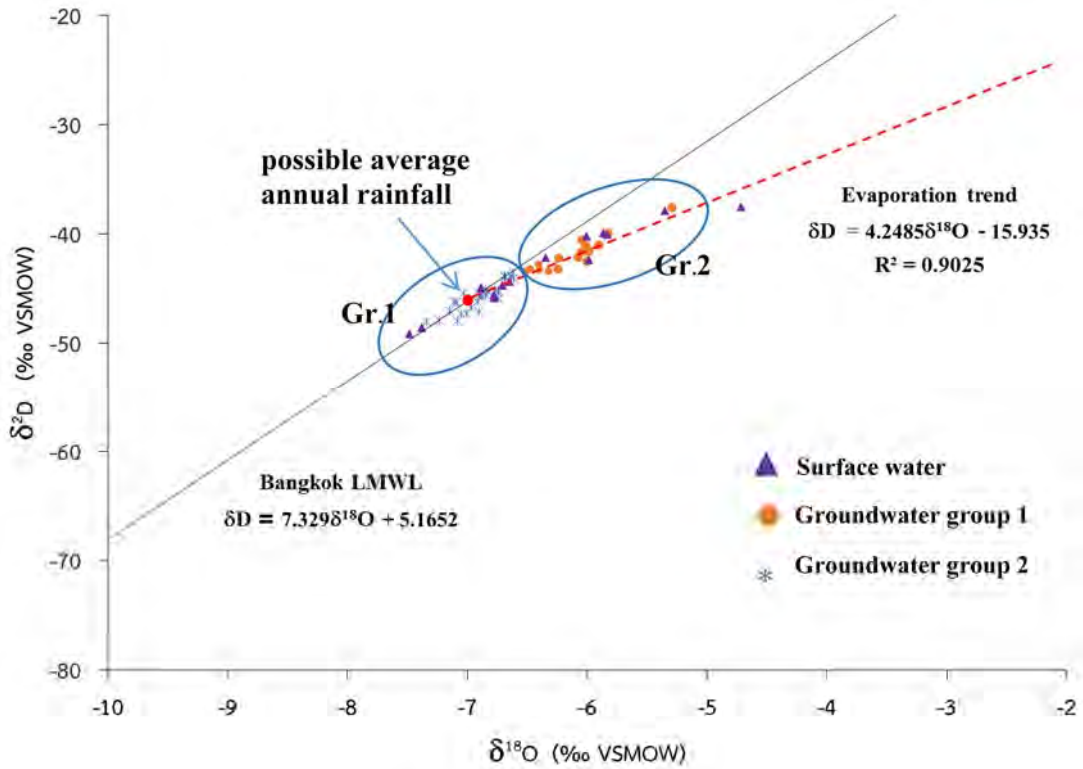
รูปที่ 4.83 ข้อมูลไอโซโทป $\delta^2\text{D}$ และ $\delta^{18}\text{O}$ ของน้ำฝน ในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี



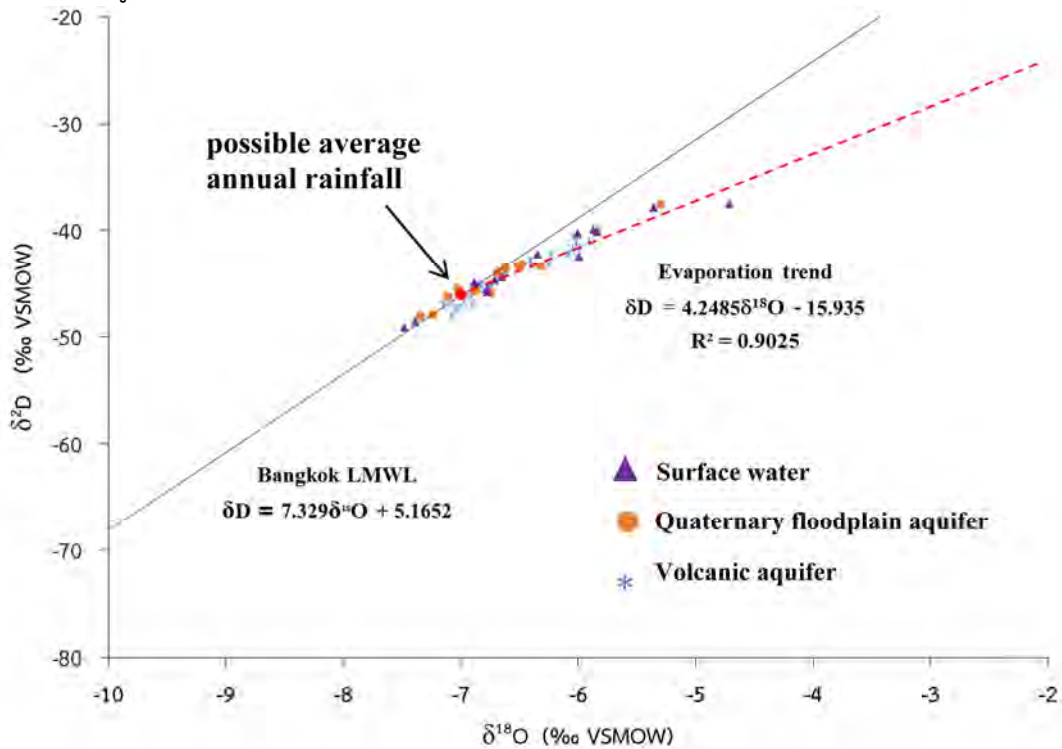
$\delta^{18}\text{O}$ ของน้ำผิวดินมีค่าตั้งแต่ -7.49 ‰ ถึง -4.71 ‰ โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ $-6.34 \pm 0.77\text{ ‰}$ และ δD ค่าตั้งแต่ -49.13 ‰ ถึง -37.50 ‰ โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ $-43.07 \pm 3.67\text{ ‰}$ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลไอโซโทปของน้ำผิวดินกับ BKK LMWL พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{18}\text{O}$ และ δD ของน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษาค่อนข้างแตกต่างจาก BKK LMWL ซึ่งเส้น regression line ของน้ำผิวดินนี้จะเบี่ยงเบนออกจากเส้น BKK LMWL และตัดกับเส้น BKK LMWL ที่ δD ประมาณ -46 ‰ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากน้ำผิวดินมีการสัมผัสกับบรรยากาศโดยตรงเมื่อฝนตกลงสู่น้ำผิวดิน ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและอุณหภูมิอากาศสูง ส่งผลให้น้ำมีการระเหยอย่างรวดเร็วและเกิดการแยกตัวของส่วนประกอบไอโซโทป เราเรียกเส้นนี้ว่า evaporation line โดยสามารถสร้างสมการจากข้อมูลดังกล่าวได้ว่า $\delta\text{D} = 4.2485\delta^{18}\text{O} - 15.935$ ความชันของเส้นอยู่ในช่วงประมาณ 4 และ 5 แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ปานกลาง (25%-75%) (Clark และ Fritz, 1997) นอกจากนี้ตัวอย่างตำแหน่งที่ 43, 51 และ 53 พล็อตอยู่บนเส้น BKK LMWL ระบุว่าตัวอย่างบริเวณนี้อยู่ในพื้นที่สูง และไม่ได้รับผลกระทบจากการระเหย

จุดตัดที่เกิดจากการตัดกันของเส้น BKK LMWL และ evaporation line ดังแสดงในรูปที่ 4.84 สามารถระบุตำแหน่งโดยประมาณของน้ำฝนเฉลี่ยรายปี และอาจเป็นจุดที่แบ่งระดับความสูงของพื้นที่ได้เบื้องต้นด้วย (USGS, 2004) $\delta^{18}\text{O}$ ของน้ำบาดาล มีค่าตั้งแต่ -7.34 ‰ ถึง -5.30 ‰ โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ $-6.61 \pm 0.45\text{ ‰}$ และ δD ค่าตั้งแต่ -48.04 ‰ ถึง -37.55 ‰ โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ $-44.33 \pm 2.37\text{ ‰}$ จากข้อมูลไอโซโทปของน้ำบาดาลพบว่าไอโซโทปของออกซิเจนและไฮโดรเจนบางส่วนสอดคล้องกับเส้น BKK LMWL โดยคิดเป็น 63.63% ของตัวอย่างน้ำบาดาลทั้งหมด จะจัดน้ำบาดาลในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าตำแหน่งบ่อบาดาลในกลุ่มนี้จะอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่มีการเติมน้ำจึงได้รับน้ำฝนโดยตรง ขณะที่บ่อบาดาล 4 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งที่ 01, 05, 62 และ 67 มีค่าเดลต้าต่ำ เป็นไปได้ว่าบ่อบาดาลในตำแหน่งนี้อาจอยู่ที่ระดับความสูงต่ำ หรือมีการผสมกับน้ำฝนในช่วงฤดูร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.84 (SAHRA, 2005) ตัวอย่างน้ำบาดาลที่เหลืออีก 11 ตำแหน่ง พบกระจายตัวตามเส้น evaporation line จึงจัดน้ำบาดาลในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่ 2 ซึ่งน้ำบาดาลในกลุ่มนี้มีความเป็นไปได้ว่าจะได้รับการเติมน้ำจากน้ำผิวดิน หรือมีปฏิสัมพันธ์กับแหล่งน้ำผิวดิน (Clark และ Fritz, 1997) กล่าวอีกนัยหนึ่งบริเวณนี้อาจไม่ได้รับการเติมน้ำจากน้ำฝนโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.84

ตำแหน่งบ่อบาดาลกลุ่มที่ 1 ซึ่งได้รับการเติมน้ำจากน้ำฝนโดยตรง พบกระจายตัวอยู่ทั่วพื้นที่ศึกษา โดยในบริเวณด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นที่ราบสูง มีการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลที่มีแรงดัน (confined aquifer) ขณะที่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาเป็นที่ราบน้ำท่วมถึง จะมีการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำระดับตื้น (shallow aquifer) ส่วนตำแหน่งบ่อบาดาลกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีปฏิสัมพันธ์กับน้ำผิวดิน พบกระจายตัวอยู่บริเวณตอนกลาง และด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา บริเวณนี้จึงควรมีการพิจารณาการใช้ประโยชน์พื้นที่ที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของน้ำผิวดิน เนื่องจากมีโอกาสสูงที่จะเกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำบาดาลต่อไป โดยขอบเขตพื้นที่การเพิ่มเติมน้ำสร้างจากข้อมูลไอโซโทปของน้ำบาดาลในกลุ่มที่ 1 ซึ่งพบว่าเป็นบริเวณที่มีแนวรอยแตก และรอยเลื่อน ซึ่งเป็นการเพิ่มความพรุน และความสามารถในการซึมผ่านในชั้นหินแข็ง ดังนั้นน้ำฝนจึงมีการซึมผ่านลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 4.84



รูปที่ 4.84 ข้อมูลไอโซโทป δD และ $\delta^{18}O$ ของผิวดิน และน้ำบาดาลเมื่อเปรียบเทียบกับเส้น BKK LMWL

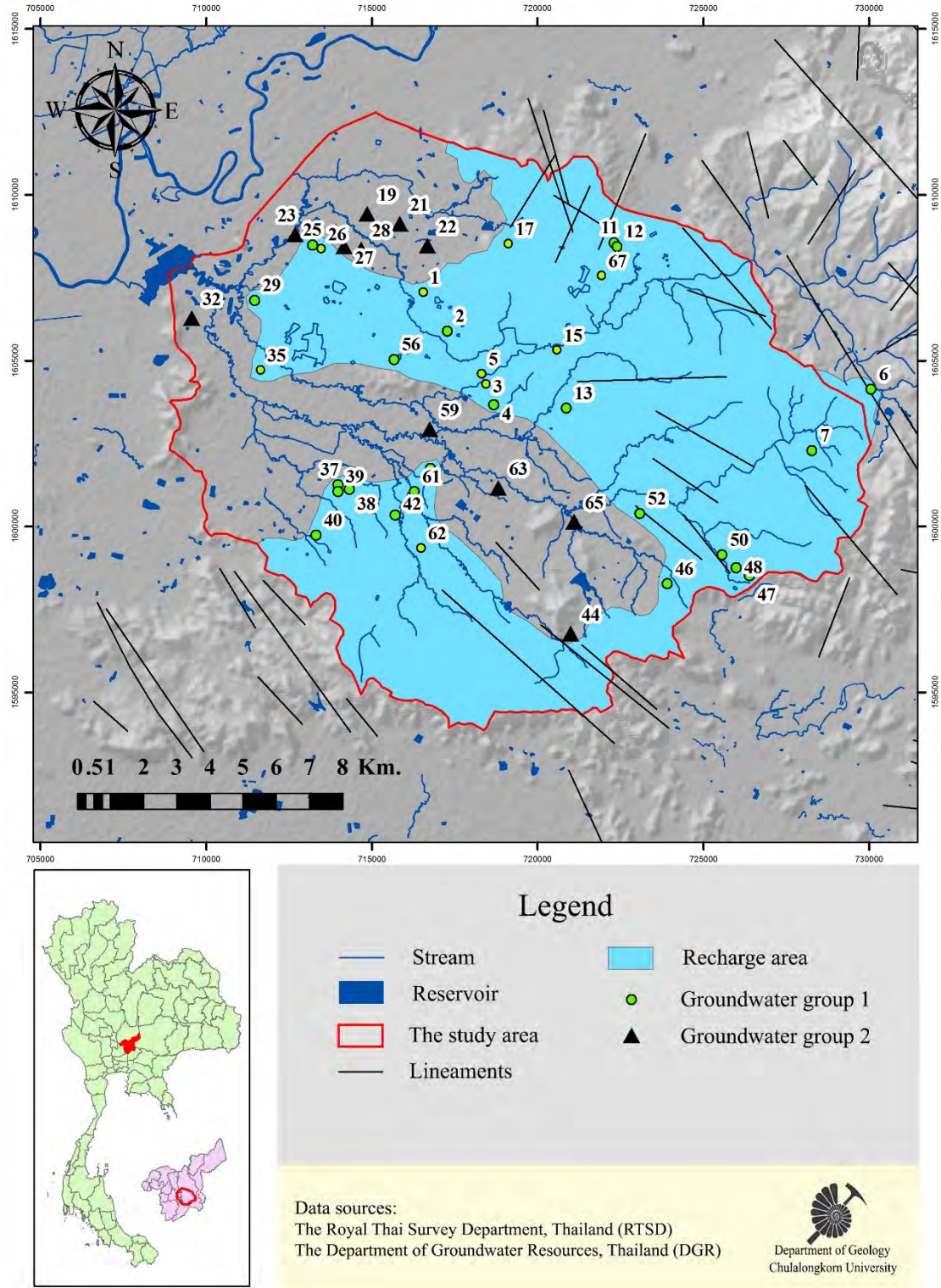


รูปที่ 4.85 ข้อมูลไอโซโทป δD และ $\delta^{18}O$ ของน้ำบาดาลในชั้นน้ำตะกอนน้ำพาและชั้นน้ำในหินภูเขาไฟ โดยเปรียบเทียบกับเส้น BKK LMWL



จากรูปที่ 4.85 ได้แสดงข้อมูลไอโซโทปของชั้นน้ำบาดาลประเภทชั้นน้ำตะกอนน้ำพา (Quaternary flood plain aquifer) และชั้นน้ำในหินภูเขาไฟ (Volcanic aquifer) โดยข้อมูลนี้ไปเปรียบเทียบกับเส้น BKK LMWL และ evaporation line ซึ่งพบว่าข้อมูลจากบ่อบาดาลในชั้นน้ำในหินภูเขาไฟ จำนวน 22 ตำแหน่ง คิดเป็น 50% ของจำนวนบ่อบาดาลทั้งหมด พล็อตอยู่ในเส้น BKK LMWL ขณะที่ข้อมูลจากบ่อบาดาลอีก 10 ตำแหน่งคิดเป็น 22.72% ของจำนวนบ่อบาดาลทั้งหมด พล็อตอยู่ในแนวของ evaporation line นั้นหมายความว่าน้ำบาดาลเหล่านี้ได้รับการเติมน้ำจากน้ำฝน แต่ในบางพื้นที่ชั้นน้ำบาดาลอยู่ในระดับลึก ดังนั้น น้ำบาดาลจึงได้รับการเติมน้ำอย่างช้าๆ เป็นสาเหตุให้เกิดการระเหยและทำให้เกิดการแยกตัวของไอโซโทปของน้ำ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เป็นน้ำบาดาลที่เก็บกักไว้เป็นระยะเวลานาน นอกจากนี้ข้อมูลจากบ่อบาดาลอีก 11 ตำแหน่งซึ่งอยู่ในชั้นน้ำตะกอนน้ำพา คิดเป็น 25% ของจำนวนบ่อบาดาลทั้งหมด พล็อตอยู่ในเส้น BKK LMWL ยกเว้นบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 23 ที่อยู่ในเส้นของ evaporation line เมื่อพิจารณาความลึกของบ่อบาดาลตำแหน่งนี้พบว่าเป็นบ่อตื้น ดังนั้นบริเวณนี้จึงง่ายต่อการทำให้เกิดการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

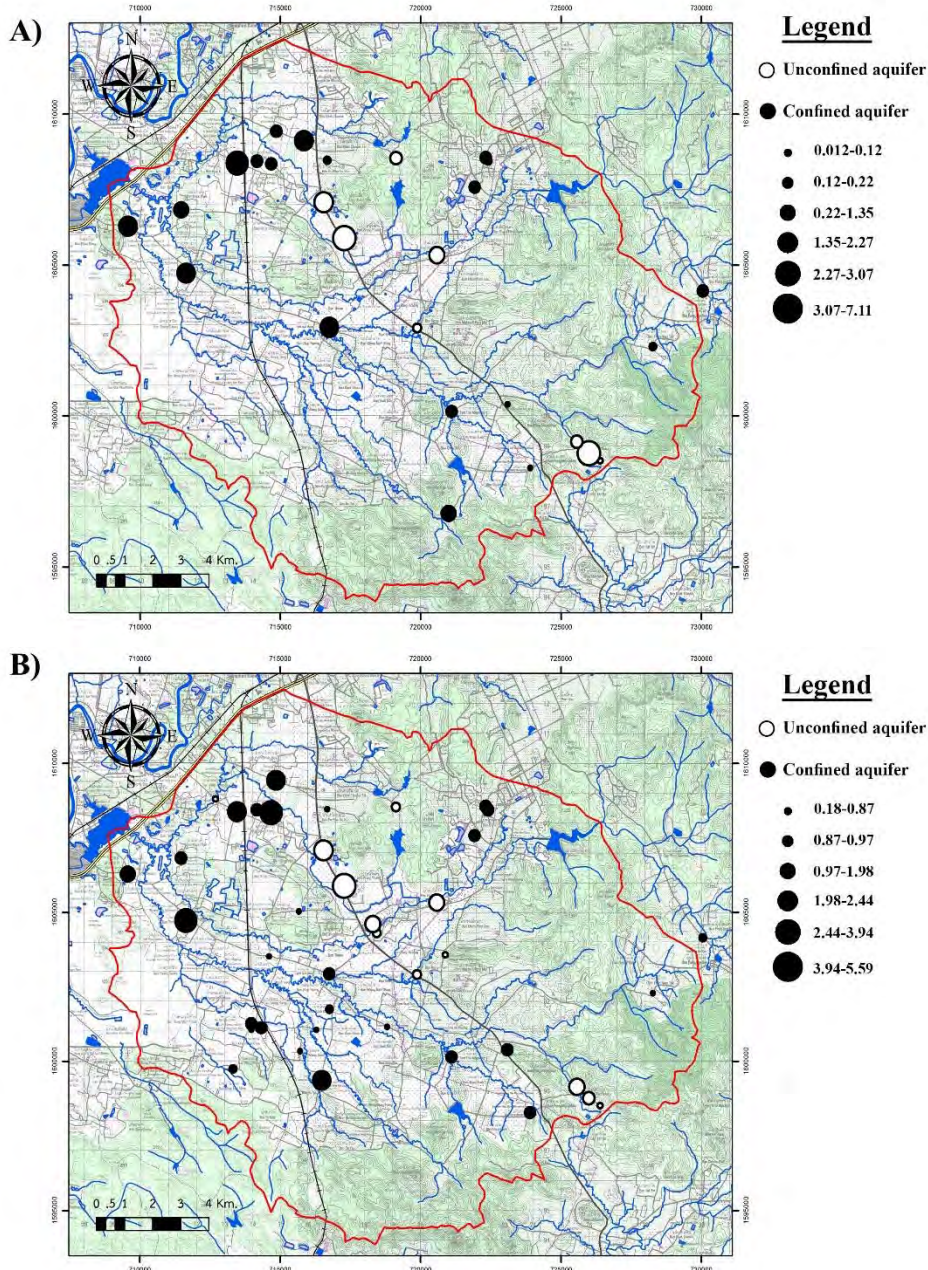
จากที่กล่าวมาข้างต้นบ่อบาดาลที่ได้รับผลกระทบจากกระบวนการระเหยมีทั้งหมด 11 ตำแหน่ง ได้แก่บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 19, 21, 22, 23, 27, 28, 32, 44, 59, 63 และ 65 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ บ่อเหล่านี้มีปฏิสัมพันธ์กับแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นทางเลือกเพิ่มเติมที่ช่วยอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 03, 15, 17, 26 และ 35 ไม่ได้แยกออกมาจากเส้น BKK LMWL และ evaporation line อย่างชัดเจน ดังนั้นน้ำบาดาลกลุ่มนี้อาจได้รับการเติมน้ำจากน้ำฝนในพื้นที่ที่มีระดับความสูงไม่มากหรือ อาจมีปฏิสัมพันธ์กับแหล่งน้ำผิวดิน จำนวนบ่อบาดาลที่ได้รับการเติมน้ำจากน้ำฝนโดยตรงคิดเป็น 63.64% จากจำนวนตัวอย่างทั้งหมด และจำนวนบ่อบาดาลที่มีปฏิสัมพันธ์กับแหล่งน้ำผิวดิน หรือมีการระเหยคิดเป็น 25% จากจำนวนตัวอย่างทั้งหมด และจำนวนบ่อบาดาลที่มีปฏิสัมพันธ์กับแหล่งน้ำผิวดิน และได้รับการเติมน้ำจากน้ำฝนในบริเวณที่มีระดับความสูงของพื้นที่ต่ำ คิดเป็น 11.36% จากจำนวนตัวอย่างทั้งหมด จากรูปที่ 4.86 ตำแหน่งของบ่อบาดาลกระจายอยู่รอบ ๆ แม่น้ำ ดังนั้นจึงไม่น่าแปลกใจถ้าบ่อบาดาลเหล่านี้มีปฏิสัมพันธ์กับแหล่งน้ำผิวดิน โดยเฉพาะบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 23 ซึ่งเป็นจุดเดียวกับตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำผิวดินจุดที่ 24 และระยะทางจากบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 44, 59, 63 และ 65 จนถึงแม่น้ำมีระยะทางสั้นกว่าบ่อบาดาลตำแหน่งอื่น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ข้อมูลไอโซโทปเหล่านี้เพื่อแยกชนิดของบ่อบาดาลเบื้องต้น ในกรณีที่ไม่ทราบความลึกของบ่อได้



รูปที่ 4.86 ขอบเขตพื้นที่เติมน้ำในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี

4.9.2 บริเวณที่พบความเข้มข้นของไนเตรทสูง

การกระจายตัวของความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาลที่ได้กล่าวถึงดังแสดงในรูปที่ 4.87a) และ 4.87b) แสดงให้เห็นการกระจายตัวของไนเตรทในช่วงฤดูฝน และช่วงฤดูร้อนตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบแผนที่ทั้งสองรูป พบว่าบริเวณด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณที่น่าสนใจสำหรับศึกษากลไกที่เกิดขึ้นในพื้นที่ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความเข้มข้นของไนเตรทสูง



รูปที่ 4.87 แผนที่เปรียบเทียบความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาลทั้งสองฤดูกาลในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (a) ความเข้มข้นของไนเตรทช่วงฤดูฝน (b) ความเข้มข้นของไนเตรทช่วงฤดูร้อน



จากที่เคยกล่าวไว้เกี่ยวกับทฤษฎีของกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) และกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้ความเข้มข้นของไนเตรทเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) เป็นกระบวนการที่ทำให้ความเข้มข้นของไนเตรทลดลง โดยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันและไนตริฟิเคชันเกิดในสภาวะที่มีออกซิเจน หรือแอโรบิก (aerobic) ต่างกับกระบวนการดีไนตริฟิเคชันซึ่งเกิดในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน หรือแอนแอโรบิก (anaerobic) ดังนั้นค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen, DO) จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่นำมาช่วยสังเกตกระบวนการเหล่านี้ Tan และคณะ (2013) เสนอว่าค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันซึ่งในสภาพแวดล้อมเดียวกันนี้ไม่ทำให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ทั้งนี้ไนโตรเจนจะถูกกำจัดออกจากระบบในรูปของก๊าซไนโตรเจนผ่านกระบวนการ ดีไนตริฟิเคชัน ที่ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำประมาณ 0.5-1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแบคทีเรียประเภทแอนแอโรบิก ดังนั้นหากมีออกซิเจนอยู่ในระบบสูงอาจทำให้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเหล่านี้ซ็อกและทำให้กิจกรรมของสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ลดลง

จากการศึกษาของ Pasten-Zapata และคณะ (2014) ได้ใช้ข้อมูลเคมีอธิบายกระบวนการดีไนตริฟิเคชันว่าจะไม่เกิดกระบวนการดังกล่าวขึ้นหากมีปริมาณออกซิเจนสูงเกินกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และกระบวนการไนตริฟิเคชันจะลดลงอย่างรวดเร็วถ้าความเข้มข้นของออกซิเจนมีค่าประมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากการศึกษาของ Zhang และคณะ (2014) ระบุว่ากระบวนการดีไนตริฟิเคชันมักจะเกิดขึ้นในช่วงเดือนมิถุนายน และเกิดในบริเวณที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ และการศึกษาของ Lambert และคณะ (2014) ระบุว่าออกซิเจนในรูปของเหลวที่มีค่าน้อยกว่า 0.5-2 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นสภาพแวดล้อมไร้อากาศหรือแอนแอโรบิก ซึ่งเอื้อให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันโดยจะเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นไนไตรต์ และกลายเป็นก๊าซไนโตรเจน สำหรับค่าศักย์รีดอกซ์ (oxidation-reduction potential, ORP) ใช้เพื่อคาดการณ์กิจกรรมของอิเล็กตรอนที่เกิดในสภาพแวดล้อมซึ่งประกอบด้วยสองส่วนคือศักย์ออกซิเดชัน (oxidation potential) และศักย์รีดักชัน (reduction potential) หากวัดแล้วค่าที่ได้เป็นลบจะแสดงถึงปฏิกิริยารีดิวซ์ ในทางกลับกันหากวัดแล้วค่าที่ได้เป็นบวกจะแสดงถึงปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งกระบวนการทางชีวภาพ (biological processes) จะสัมพันธ์กับค่าเหล่านี้ ดังนั้นค่าศักย์รีดอกซ์ (ORP) จึงเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับบ่งชี้กระบวนการทางชีวภาพที่เกิดขึ้น จากการศึกษาของ Lee และคณะ (2000) ระบุว่ากระบวนการดีไนตริฟิเคชันมีผลทำให้ค่าศักย์รีดอกซ์เป็นลบ คืออยู่ในช่วงประมาณ -50 ถึง -300 มิลลิโวลต์ นอกจากนี้จากการศึกษาของ Yoon (2016) ได้พบว่าที่ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นช้า และค่อย ๆ หยุดพร้อมกับเริ่มเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันขึ้น เมื่อค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะโดยปกติสิ่งมีชีวิตจะใช้ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำเป็นตัวรับอิเล็กตรอนจนกระทั่งค่าศักย์รีดอกซ์ลดลงจนถึงประมาณ +50 มิลลิโวลต์ ไนเตรทจะถูกนำมาใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนที่ออกซิเจน และเมื่อค่า ORP ลดลงจนถึงประมาณ -50 มิลลิโวลต์ ซัลเฟตจะถูกนำมาใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทน ดังนั้นกระบวนการ ดีไนตริฟิเคชัน สามารถเกิดได้ในสภาพแวดล้อมที่มีค่าศักย์รีดอกซ์อยู่ในช่วงประมาณ +50 ถึง -50 มิลลิโวลต์ แต่ในบางสถานการณ์อาจพบค่าศักย์รีดอกซ์สูงถึง -100 ถึง 100 มิลลิโวลต์ นอกจากนี้กระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเคมีของน้ำ โดยเฉพาะค่าความเป็นกรด-เบส และค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ ทั้งนี้กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน ไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้จากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิต ซึ่งกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันและไนตริฟิเคชัน เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากอยู่ใน



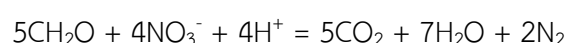
สภาพแวดล้อมแบบมีอากาศ ขณะที่กระบวนการดินไนตริฟิเคชันเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา รีดักชันเนื่องจากอยู่ใน
สภาพแวดล้อมแบบไร้อากาศ

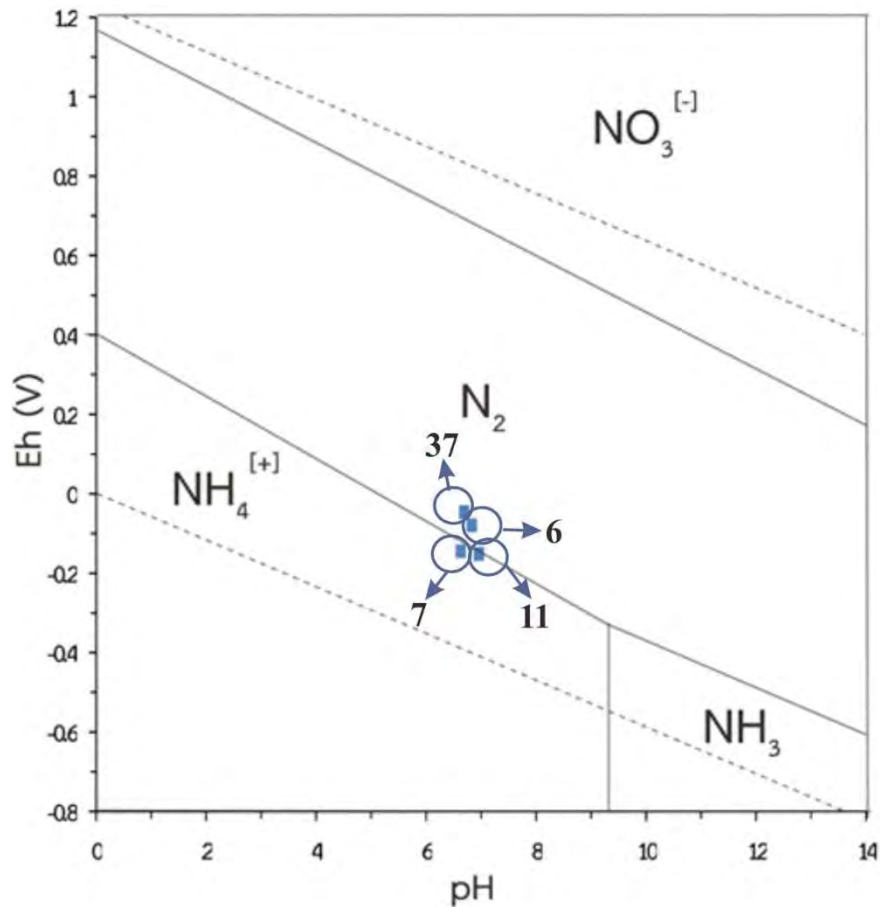
ในการศึกษาภาคสนามที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำบาดาล เราพิจารณาจากค่าออกซิเจนที่
ละลายน้ำ ซึ่งค่านี้ไม่ได้วัดในช่วงฤดูฝนเนื่องจากปัญหาด้านเครื่องมือตรวจวัด ดังนั้นการอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นใน
พื้นที่ทำเพียงฤดูร้อน และในหัวข้อสมดุลไอออนที่ได้กล่าวไว้ระบุว่าบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 03, 05, 37, 39, 58, 60
และ 63 มีค่าความผิดพลาดของสมดุลไอออนมากกว่า $\pm 10\%$ โดยอาจเป็นผลมาจากค่าความเป็นด่างทั้งหมด
(alkalinity) (Anderson และ Wedborg, 1983) ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น
ของไนโตรเจนเพราะการศึกษาภาคสนามนี้ใช้พารามิเตอร์ที่ได้รับจากการวัดในภาคสนามด้วยเครื่องมือที่น่าเชื่อถือ ดังนั้น
ข้อมูลที่ตรวจวัดในภาคสนามจากบ่อบาดาลตำแหน่งที่กล่าวมาข้างต้นสามารถนำมาใช้ได้ ซึ่งพารามิเตอร์ที่เลือกมา
พิจารณา ได้แก่ ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) และค่าศักย์รีดอกซ์ (Eh) โดยอ้างอิงจากเกณฑ์ที่กล่าวมาคือ
กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นได้หากค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าตั้งแต่ 0.5-2 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าศักย์รี
ดอกซ์อยู่ในช่วง -300 ถึง +50 มิลลิโวลต์ ถ้าพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำสูงกว่า 2 มิลลิกรัมต่อ
ลิตร จะเกิดกระบวนการ ไนตริฟิเคชัน ผลการศึกษาระบุว่ามีบ่อบาดาลทั้งหมด 7 ตำแหน่งที่มีค่าออกซิเจนที่
ละลายน้ำอยู่ในช่วง 0.5-2 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีบ่อบาดาลทั้งหมด 5 ตำแหน่งที่มีค่าศักย์รีดอกซ์อยู่ในช่วง 300
ถึง +50 มิลลิโวลต์ จากนั้นนำค่า 2 ค่านี้มาพิจารณาร่วมกันเพื่อระบุโอกาสเกิดกระบวนการดินไนตริฟิเคชันในพื้นที่
โดยพบว่ามีบ่อบาดาลเพียง 4 ตำแหน่งเท่านั้นที่อยู่ในเกณฑ์ข้างต้น และเนื่องจากบ่อบาดาลแต่ละตำแหน่งกระจาย
ตัวอยู่ทั่วพื้นที่ ดังนั้นเราจึงไม่สามารถพิจารณาร่วมกับทิศทางน้ำไหลของน้ำบาดาลได้ จึงใช้แผนภาพ Eh-pH เพื่อ
จำแนกชนิดของไนโตรเจนในน้ำบาดาลดังแสดงในรูปที่ 4.88 แผนภาพ Eh-pH หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Pourbaix
diagrams เป็นแผนภาพที่แสดงพื้นที่ของแร่ธาตุหลายชนิดที่อยู่ในสารละลาย ซึ่งขอบเขตพื้นที่ที่แสดงในแผนภาพ
เป็นฟังก์ชันของค่าศักย์รีดอกซ์ และค่าความเป็นกรด-เบส เส้นประที่ปรากฏในแผนภาพส่วนขอบเขตด้านบน
แสดงการปล่อยออกซิเจนในรูป H_2O และขอบด้านล่าง แสดงการปล่อยไฮโดรเจนในรูป H_2 โดยเสถียรภาพของน้ำ
อยู่ระหว่างสองเส้นนี้ ซึ่งแผนภาพของไนโตรเจนสามารถแยกชนิดของไนโตรเจนออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ไนเตรท
(NO_3^-) ไนโตรเจน (N_2) แอมโมเนียม (NH_4^+) และแอมโมเนีย (NH_3) (Roine และ Anttila, 2006) เมื่อพล็อต
ตำแหน่งบ่อบาดาลที่เลือกมาทั้ง 4 บ่อลงในแผนภาพนี้ พบว่าบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 06 และ 37 อยู่ในขอบเขตของ
โมเลกุลไนโตรเจน ขณะที่บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 07 และ 11 อยู่ในขอบเขตของแอมโมเนียม ดังนั้นอาจเกิด
กระบวนการดินไนตริฟิเคชันและแอมโมนิฟิเคชัน ขึ้นในบ่อบาดาลเหล่านี้ เพราะว่าโมเลกุลของไนโตรเจนถูกสร้าง
ขึ้นในระหว่างปฏิกิริยา reduction ของไนเตรท และแอมโมเนียมถูกสร้างขึ้นในระหว่างกระบวนการย่อยสลายของ
กรดอะมิโน หรือ โปรตีนในซากสิ่งมีชีวิตเพื่อให้อยู่ในรูปของแอมโมเนีย แต่เมื่อพิจารณาค่าศักย์รีดอกซ์ของบ่อ
บาดาลตำแหน่งที่ 07 และ 11 ซึ่งมีค่า -145.3 และ -152.5 มิลลิโวลต์ตามลำดับ โดยในสภาวะที่มีค่าศักย์รีดอกซ์
น้อยกว่า -100 มิลลิโวลต์ ไนเตรทจะไม่ถูกใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Yoon, 2016) ดังนั้นกระบวนการดินไนตริฟิเค
ชัน จึงไม่เกิดขึ้นในบ่อบาดาลทั้งสองบ่อ

กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน



กระบวนการดินไนตริฟิเคชัน





รูปที่ 4.88 แผนภาพ Eh-pH ของบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 06, 07, 11 และ 37 (ดัดแปลงจาก Takeno, 2005)

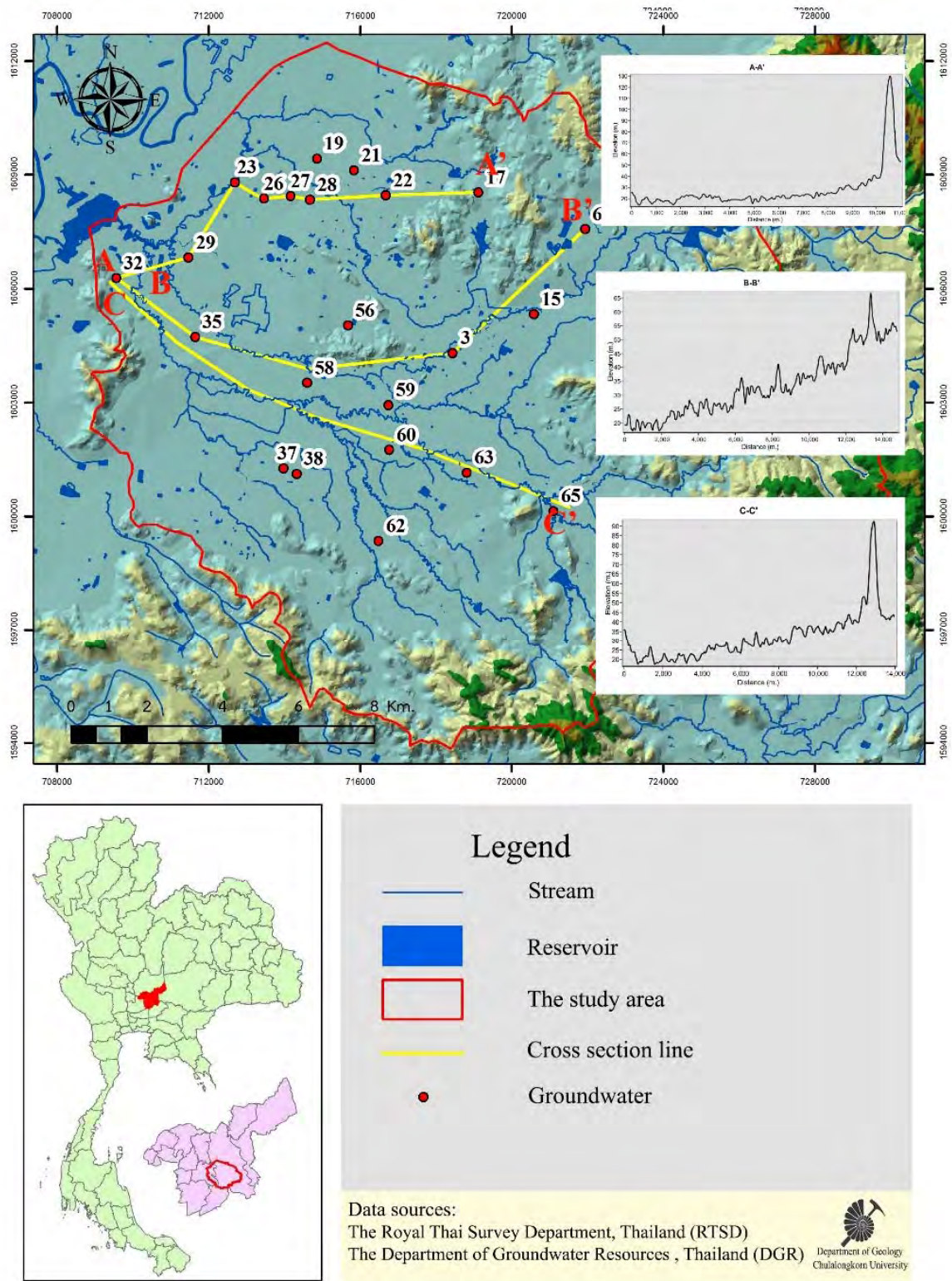
เส้นตัดขวางกลางในบริเวณที่มีค่าความเข้มข้นของไนเตรทสูง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงในความเข้มข้นของไนเตรท ซึ่งจะลากแนวเส้นตัดขวางครอบคลุมบริเวณพื้นที่ดังกล่าวทั้งหมด 3 แนว ได้แก่ A-A', B-B' และ C-C' โดย

แนว A-A' มีความยาวประมาณ 10-11 กิโลเมตร ซึ่งตัดผ่านบ่อบาดาลทั้งหมด 9 บ่อ ได้แก่ บ่อบาดาลตำแหน่ง 32, 29, 23, 25, 26, 27, 28, 22 และ 17 (จากด้านทิศตะวันตกไปทางด้านทิศตะวันออก) ในที่นี้ไม่นำบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 25 มาพิจารณาเนื่องจากความเข้มข้นของไนเตรทมีค่าต่ำกว่าค่า detection limit ในช่วงฤดูฝน และไม่สามารถเก็บตัวอย่างน้ำได้ในช่วงฤดูร้อน ตำแหน่งของบ่อบาดาล 19 และ 21 จะนำมาพล็อตลงในแนวเส้นตัดขวางนี้เพื่ออธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา

แนว B-B' มีความยาวประมาณ 14-15 กิโลเมตร ซึ่งตัดผ่านบ่อบาดาลทั้งหมด 7 บ่อ ได้แก่ บ่อบาดาลตำแหน่ง 32, 35, 56, 59, 03, 15 และ 67 (จากด้านทิศตะวันตกไปทางด้านทิศตะวันออก) และแนว C-C' มีความยาวประมาณ 13-14 กิโลเมตร ซึ่งตัดผ่านบ่อบาดาลทั้งหมด 10 บ่อ ได้แก่ บ่อบาดาลตำแหน่ง 32, 35, 58, 37, 38, 59, 60, 62, 63 และ 65 (จากด้านทิศตะวันตกไปทางด้านทิศตะวันออก) โดยมีแนวภูเขาอยู่ทางด้านทิศตะวันออกของแนวภาพตัดขวาง และที่ราบทางด้านทิศตะวันตกของแนวภาพตัดขวาง เมื่อนำระดับน้ำบาดาล



อ้างอิงกับระดับความสูงของพื้นที่จะสามารถระบุทิศทางการไหลของน้ำบาดาลได้ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศที่ปรากฏ คือ ไหลจากด้านทิศตะวันออกไปทางด้านทิศตะวันตกดังแสดงในรูปที่ 4.89

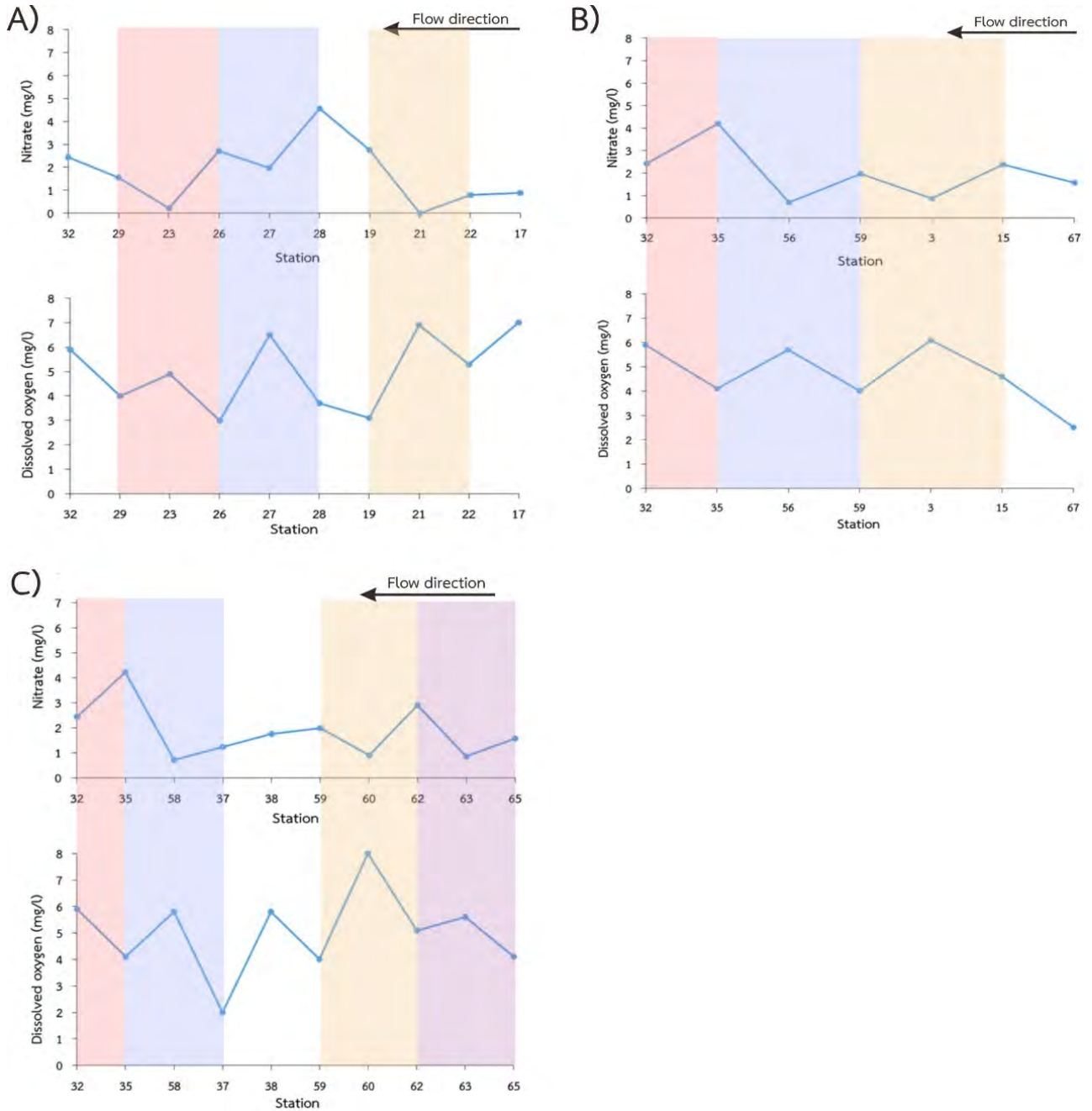


รูปที่ 4.89 ตำแหน่งภาพตัดขวางในพื้นที่ศึกษาอำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี



จากที่กล่าวมาการศึกษากลไกไม่สามารถศึกษาเฉพาะจุดได้ ดังนั้นจึงต้องสร้างแนวภาพตัดขวางเพื่อให้เข้าใจกลไกที่เกิดขึ้นในพื้นที่ พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ประกอบด้วยค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ และค่าความเป็นกรด-เบส ซึ่งต้องมีการจำแนกชนิดของชั้นน้ำก่อนนำมาวิเคราะห์ จากการศึกษาของ Hosono และคณะ (2013) ได้เปรียบเทียบความเข้มข้นของไนเตรทกับค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ หากค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลงอย่างรวดเร็วและความเข้มข้นของไนเตรทลดลงอย่างรวดเร็วนั้นเป็นสัญญาณของการเกิดกระบวนการ ดินเนตริฟิเคชัน นอกจากนี้ในการศึกษาของ Mohamed และคณะ (2003) สังเกตการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของไนเตรทและค่าความเป็นกรด-เบสตามทิศทางการไหล โดยระบุว่าหากค่าความเป็นกรด-เบสเพิ่มขึ้นขณะที่ความเข้มข้นของไนเตรทลดลง นั้นเป็นสัญญาณของการเกิดกระบวนการดินเนตริฟิเคชัน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Ndegwa และคณะ (2007) พบว่าค่าความเป็นกรด-เบสเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีถึงกระบวนการไนเตรฟิเคชัน เพราะกระบวนการที่เกิดขึ้นทางชีวภาพมีผลกับการลดลงของค่าความเป็นกรด-เบส

จากรูปที่ 4.90 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำกับความเข้มข้นของไนเตรทในแนวภาพตัดขวางทุกแนวโดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Hosono และคณะ (2013) ที่กล่าวว่าหากค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว และความเข้มข้นของไนเตรทลดลงอย่างรวดเร็ว แสดงว่ามีกระบวนการดินเนตริฟิเคชันเกิดขึ้นในทางกลับกันถ้าค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และความเข้มข้นของไนเตรทเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงว่าอาจเกิดกระบวนการไนเตรฟิเคชันขึ้นในพื้นที่ ช่วงบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 29-32 และบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67-15 ระบุว่ากระบวนการไนเตรฟิเคชันอาจเกิดขึ้นในโซนดังกล่าว โดยช่วงที่มีสีในกราฟเป็นช่วงที่ค่าความเข้มข้นของไนเตรทลดลง ขณะที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่ทำให้เกิดกระบวนการดินเนตริฟิเคชัน และการที่ความเข้มข้นของไนเตรทลดลงอาจเนื่องจากกระบวนการเจือจาง (dilution process) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาข้อมูลไอโซโทปเสถียรร่วมกัน พบว่ามากกว่าครึ่งของจำนวนบ่อบาดาลที่นำมาพิจารณาในแต่ละแนวภาพตัดขวางมีปฏิสัมพันธ์กับแหล่งน้ำผิวดินซึ่งเป็นหลักฐานที่บ่งชี้ถึงกระบวนการเจือจางด้วย แต่สำหรับบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 37 มีค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่ความเข้มข้นของไนเตรทลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทบริเวณตำแหน่งนี้ได้รับผลกระทบจากกระบวนการดินเนตริฟิเคชัน



รูปที่ 4.90 เปรียบเทียบความเข้มข้นของไนเตรท และค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำตามแนวภาพตัดขวางในพื้นที่ศึกษา อำเภอแก่งคอย อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี (A) A-A', (B) B-B', (C) C-C'

อย่างไรก็ตามจากการพยายามสร้างความสัมพันธ์ดังกล่าวเพื่อพิจารณากระบวนการที่เกิดขึ้นในชั้นน้ำยังไม่เห็นความชัดเจนของกระบวนการมากนักเนื่องจากมีปัจจัยต่างๆ ที่เกิดขึ้นทางด้านอุทกธรณีเคมีมากมาย และค่าปริมาณไนเตรทในพื้นที่ไม่ได้สูงมากนัก



4.10 การวิเคราะห์ตัวประกอบ (Principle Component Analysis, PCA) ของข้อมูลอุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาล

ในส่วนนี้จะดำเนินการวิเคราะห์ทางสถิติโดยการวิเคราะห์ตัวประกอบ (Principle component analysis, PCA) ด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS โดยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งหมด 16 ตัวแปร เมื่อพิจารณาจาก KMO and Bartlett's test พบว่าค่าดัชนี Kaiser-Meyer-Olkin ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.5 และเข้าใกล้ 1 แสดงว่าข้อมูลเหมาะสมในการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ตัวประกอบ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544; ศิริชัย กาญจนวสี และคณะ, 2543) PCA เป็นวิธีทั่วไปที่ใช้เทคนิคทางสถิติหลายตัวแปร (Multivariate statistical techniques) ในการวิเคราะห์ข้อมูลอุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาล (Thuyet และคณะ, 2016) จากการทดลองในการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค PCA ในงานวิจัยนี้จะแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลอุทกธรณีเคมีของบ่อบาดาลต่างๆ ของทั้ง 2 ฤดูกาล ทั้งนี้ทำการแปลงค่าข้อมูลดิบให้เป็นค่า Z-score ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางอุทกธรณีเคมีมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA เพื่อลดความคลาดเคลื่อน (error) เนื่องจากหน่วยของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์แตกต่างกันและความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากการตรวจวัด ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.12 ถึง 4.15 ซึ่งในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA ได้เลือกปัจจัยที่มีค่า Eigenvalue ที่มีค่ามากกว่า 1 และมีการเปลี่ยนค่าความชันของกราฟอย่างชัดเจนทั้งสิ้น 5 ปัจจัย (factor) กล่าวคือ มี 5 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแปรปรวนของพารามิเตอร์ทั้งหมดสูงถึง 76.11 เปอร์เซ็นต์และ 77.88 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูฝนและฤดูร้อน ตามลำดับ ค่าในตารางที่ 4.12 และ 4.14 ที่แสดงด้วยตัวหนาเพื่ออธิบายว่าค่าตัวแปรนั้นมีค่าสหสัมพันธ์ที่ดี ($r > 0.5$) สำหรับตารางที่ 4.13 และ 4.15 เป็นตารางแสดงค่าน้ำหนักปัจจัย (Factor loading) ที่เกิดขึ้นจากการหมุนแกนด้วยวิธี varimax orthogonal rotation

ผลของการวิเคราะห์ปัจจัยในฤดูฝน แสดงในตารางที่ 4.12 และ 4.13 ประกอบด้วย 5 ตัวประกอบมีรายละเอียด ดังนี้ ตัวประกอบที่ 1 (PC1) บรรยายด้วยพารามิเตอร์ 5 ตัวโดยความสัมพันธ์ระหว่าง Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , Br^- ที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน และมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับค่า ORP ซึ่งมีผลต่อค่าความแปรปรวนของพารามิเตอร์ทั้งหมดสูงถึง 28.023 จากการศึกษาของ Singh และคณะ (2011) พบว่า Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ และ EC มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันสัมพันธ์กับลักษณะทางธรณีวิทยา สำหรับตัวประกอบที่ 2 (PC 2) บรรยายด้วยพารามิเตอร์ 4 ตัวโดยความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH, EC, Ca^{2+} และ HCO_3^- ซึ่งน่าจะเกิดจากการผุพังของแร่แคลไซต์และโดโลไมต์ (Sathiyamurthi และ Saravanan 2013; Mu และคณะ 2015; Qian และคณะ 2016)

สำหรับตัวประกอบที่ 3 (PC 3) บรรยายด้วยพารามิเตอร์ 3 ตัว ได้แก่ ค่า EC, Na^+ และ SO_4^{2-} เป็นผลจากการผุพังและชะละลาย (weathering and dissolution) ของแร่ที่ซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบ (sulfur-bearing minerals) (Qian และคณะ 2016) อย่างไรก็ตามปริมาณซัลเฟตที่พบในน้ำบาดาลอาจจะมาจากกิจกรรมของมนุษย์ได้ เช่น น้ำเสีย หรือการตกตะกอนซัลเฟตในโรงงานอุตสาหกรรม (Mu และคณะ 2015; Zhang และคณะ 2015) สำหรับตัวประกอบที่ 4 (PC 4) บรรยายด้วยพารามิเตอร์ 3 ตัว ได้แก่ NO_2^- , PO_4^{3-} และ F และตัวประกอบที่ 5 (PC 5) ได้แก่ NO_3^- ซึ่งน่าจะมีโอกาสมาจากทั้งธรรมชาติและมนุษย์

สำหรับผลของการวิเคราะห์ปัจจัยในฤดูร้อน แสดงในตารางที่ 4.14 และ 4.15 ประกอบด้วย 5 ตัวประกอบมีรายละเอียด ดังนี้ ตัวประกอบที่ 1 (PC 1) บรรยายด้วยพารามิเตอร์ 7 ตัว ได้แก่ EC, Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_2^- , PO_4^{3-} , Cl^- และ Br^- ซึ่งมีผลต่อค่าความแปรปรวนของพารามิเตอร์ทั้งหมดสูงถึง 32.829 ซึ่งน่าจะเป็นผลของ



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบน้ำบาดาล สอดคล้องกับการศึกษาของ Yadav และคณะ (2014) และ Belkhiri และคณะ (2011) ที่พบว่ากระบวนการทางธรรมชาติในระบบน้ำบาดาล พารามิเตอร์เหล่านี้มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันได้แก่ pH, SO_4^{2-} , HCO_3^- , EC, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ และ Cl^- สำหรับตัวประกอบที่ 2 (PC 2) บรรยายด้วยพารามิเตอร์ 4 ตัว สอดคล้องกับพารามิเตอร์ในฤดูฝน เพียงเปลี่ยนจากโซเดียมไอออน (Na^+) แทนแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ตัวประกอบที่ 3 (PC 3) บรรยายด้วยพารามิเตอร์ 2 ตัว ระหว่าง K^+ และ NH_4^+ ซึ่งมีโอกาสมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใช้สารเคมีเกษตรในแปลงพืช เป็นต้น ในขณะที่ตัวประกอบที่ 4 (PC 4) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ DO ตัวประกอบสุดท้าย (PC 5) แสดงความสัมพันธ์ตรงกันข้ามระหว่างค่า SO_4^{2-} และ NO_3^- ซึ่งน่าจะเกิดภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (Aerobic condition) ที่มีลำดับการใช้ออกซิเจนซึ่งปกติจะดึงออกซิเจนจากไนเตรทก่อนซัลเฟต

ตารางที่ 4.12 ค่าน้ำหนักปัจจัย (Factor loading) ของ 5 ปัจจัยที่เกิดจากการหมุนแกนด้วยวิธี varimax orthogonal rotation ในฤดูฝน

	Component				
	1	2	3	4	5
pH	-0.391	0.521	-	-	0.349
EC	-	0.572	0.641	-	-
ORP	-0.598	-	-	-	-
Ca^{2+}	-	0.853	-	-	-
Mg^{2+}	0.791	0.370	-	-	-
Na^+	-	-	0.852	-	-
K^+	0.485	-	-0.402	-	-0.382
HCO_3^-	-	0.863	-	-	-
NO_3^-	-	-	-	-	0.942
NO_2^-	-	-	-	0.853	0.358
NH_4^+	0.806	-	-	-	-
SO_4^{2-}	-	-	0.877	-	-
PO_4^{3-}	0.366	-	-	0.732	-
Cl^-	0.925	-	-	-	-
F	-	-	-	0.783	-
Br	0.859	-	-	-	-

the values bold demonstrate highly relationship in each component.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.



ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) และค่าความแปรปรวนรวมของพารามิเตอร์ทางอุทกธรณีเคมีในฤดูฝน

Component	Initial Eigenvalues		Extraction sums of squared Loadings		Rotation sums of squared loadings	
	Total	% of Variance	Total	% of Variance	Total	% of Variance
1	4.484	28.023	4.484	28.023	3.863	24.146
2	3.251	20.316	3.251	20.316	2.501	15.631
3	1.832	11.448	1.832	11.448	2.336	14.602
4	1.470	9.185	1.470	9.185	2.015	12.595
5	1.143	7.144	1.143	7.144	1.463	9.142
6	0.863	5.395				
7	0.664	4.147				
8	0.607	3.792				
9	0.516	3.224				
10	0.399	2.496				
11	0.255	1.595				
12	0.181	1.130				
13	0.137	0.858				
14	0.118	0.735				
15	0.048	0.299				
16	0.034	0.215				
		100.000				



ตารางที่ 4.14 ค่าน้ำหนักปัจจัย (Factor loading) ของ 5 ปัจจัยที่เกิดจากการหมุนแกนด้วยวิธี varimax orthogonal rotation ในฤดูร้อน

	Component				
	1	2	3	4	5
pH	-	0.799	-	-	-
EC	0.638	0.685	-	-	-
ORP	-	-	-0.390	0.774	-
DO	-	0.373	-	0.724	-
Ca ²⁺	0.837	-	-	-	-
Mg ²⁺	0.901	-	-	-	-
Na ⁺	-	0.861	-	-	-
K ⁺	-	-	0.840	-	-
HCO ₃ ⁻	-	0.813	-0.310	-	-
NO ₃ ⁻	-	-	-	-	-0.851
NO ₂ ⁻	0.689	-	-	-	-0.402
NH ₄ ⁺	-	-	0.834	-0.369	-
SO ₄ ²⁻	-	-	-	0.348	0.601
PO ₄ ³⁻	0.883	-	-	-	-
Cl ⁻	0.905	-	-	-	-
F ⁻	0.365	-	-0.414	-	0.364
Br ⁻	0.738	0.380	-	-	-

the values bold demonstrate highly relationship in each component.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.



ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) และค่าความแปรปรวนรวมของพารามิเตอร์ทางอุทกธรณีเคมีในฤดูร้อน

Component	Initial Eigenvalues		Extraction sums of squared Loadings		Rotation sums of squared loadings	
	Total	% of Variance	Total	% of Variance	Total	% of Variance
1	5.581	32.829	5.581	32.829	4.886	28.741
2	3.581	21.066	3.581	21.066	3.025	17.797
3	1.761	10.359	1.761	10.359	2.062	12.131
4	1.254	7.376	1.254	7.376	1.740	10.233
5	1.063	6.253	1.063	6.253	1.527	8.980
6	0.941	5.533				
7	0.856	5.037				
8	0.588	3.461				
9	0.343	2.015				
10	0.280	1.646				
11	0.212	1.247				
12	0.192	1.131				
13	0.150	0.883				
14	0.084	0.496				
15	0.076	0.445				
16	0.024	0.140				
17	0.014	0.085				
		100.000				



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

5.1 ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

ระดับน้ำทั้งสองฤดูกาลมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน แต่ระดับน้ำในช่วงฤดูฝนส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูร้อน เนื่องจากการเติมน้ำจากน้ำฝนบริเวณด้านทิศตะวันออกในพื้นที่ศึกษา ซึ่งชั้นน้ำบาดาลที่เป็นชั้นน้ำประเทภหินภูเขาไฟ ที่ประกอบด้วยแอนดีไซต์ และไรโอไรต์ ซึ่งมีความสามารถในการให้น้ำต่ำกว่าชั้นน้ำประเทภตะกอนร่วน นอกจากนี้ทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาลไหลจากบริเวณบ้านธารน้ำตก ทางด้านทิศตะวันออก บ้านดอนจานทางทิศเหนือ และบริเวณเขาไม้รวก ทางทิศใต้ลงสู่บริเวณพื้นที่ลุ่มตอนกลาง บ้านห้วยแห้ง และไหลสู่อ่างเก็บน้ำคลองเพรียวซึ่งอยู่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา

5.2 ชนิดของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลในช่วงฤดูฝน พบว่าชนิดของน้ำบาดาลแบ่งได้หลักๆ ทั้งหมด 4 ประเภท ประกอบด้วย Ca-Na-HCO_3 (56.75 %), Ca-HCO_3 (13.51%), $\text{Ca-Na-HCO}_3+\text{Ca-HCO}_3$ (5.40%) และ $\text{Ca-HCO}_3\text{-Cl}$ คิดเป็น 5.40% ของตัวอย่างน้ำบาดาลทั้งหมด ช่วงฤดูร้อนพบชนิดของน้ำบาดาลหลักทั้งหมด 3 ประเภท ประกอบด้วย Ca-Na-HCO_3 (42.85 %), Na-HCO_3 (30.95 %), Ca-HCO_3 คิดเป็น 11.90% ของตัวอย่างน้ำบาดาลทั้งหมด โดยบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 แสดงชนิดของน้ำแตกต่างจากบ่ออื่นในทั้งสองฤดูกาล คือ $\text{Ca-HCO}_3\text{-Cl}$ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความแตกต่างของประเภทชั้นน้ำพบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อชนิดของน้ำบาดาลซึ่งโซเดียมและแคลเซียม เป็นไอออนที่พบมากในพื้นที่ศึกษา

5.3 การกระจายตัวของไนเตรทในพื้นที่ศึกษา

จากการศึกษาพบปริมาณไนเตรททั้งสองฤดูกาลมีค่าต่ำกว่า 45 มิลลิกรัมต่อลิตรไนเตรท โดยพบความเข้มข้นของไนเตรทสูงสุดในบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 2 ช่วงฤดูฝนคือ 7.11 มิลลิกรัมต่อลิตร และช่วงฤดูร้อนคือ 5.59 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปริมาณของไนเตรทในช่วงฤดูร้อนส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าในช่วงฤดูฝน เนื่องจากกิจกรรมของแบคทีเรียที่เกิดขึ้นใต้ดิน ส่งผลให้มีการแพร่กระจายของไนเตรทเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะบริเวณตอนกลาง ด้านทิศตก และด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นบริเวณพื้นที่รับน้ำ (Discharge area)

5.4 แหล่งกำเนิดของไนเตรทในพื้นที่ศึกษา

ผลการศึกษาแหล่งกำเนิดของไนเตรทในบ่อบาดาลทั้งหมด 12 ตำแหน่ง ซึ่งมีความเข้มข้นของไนเตรททั้งสองฤดูกาลมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างไอออน พบว่าแหล่งกำเนิดของไนเตรทมาจากหลายสาเหตุ อาทิ น้ำฝน น้ำเสียจากที่อยู่อาศัย การทำเกษตรกรรม ตลอดจนปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำกับหินที่อยู่ในชั้นน้ำ ซึ่งเห็นได้ชัดเจนบริเวณบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 32, 48, 65 และ 67 ทั้งนี้บ่อบาดาลตำแหน่งที่ 67 เป็นบ่อบาดาลที่อยู่ใกล้ห้องน้ำมากที่สุด จึงมีโอกาสที่น้ำบาดาลถูกชะล้างสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ง่าย โดยได้รับการยืนยันจากลักษณะทางอุทกเคมี และกราฟความสัมพันธ์ต่าง ๆ ที่ผิดปกติจากบ่อบาดาลตำแหน่งอื่น



5.5 ผลการศึกษาไอโซโทปเสถียร

จากผลการศึกษาไอโซโทปเสถียรของตัวอย่างน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา สามารถแบ่งตัวอย่างน้ำบาดาลเป็น 2 กลุ่มหลัก โดยกลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่กระจายตัวส่วนใหญ่อยู่ทางตอนกลาง ทิศตะวันออก และด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเติมน้ำโดยตรงจากน้ำฝน อีกกลุ่มหนึ่งเป็นกลุ่มที่กระจายตัวอยู่ทางตอนกลาง และด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากกระบวนการระเหย ทำให้อัตราส่วนของออกซิเจนมีปริมาณมากกว่าไอโซโทปของดีวเทอเรียม

5.6 กลไกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรท

กระบวนการหลักที่ส่งผลกระทบต่อผลของการลดลงของความเข้มข้นไนเตรทคือ กระบวนการเจือจางซึ่งเกิดขึ้นในสภาพที่มีออกซิเจน นอกจากนี้บริเวณบ่อบาดาลตำแหน่งที่ 6 และ 37 เป็นบริเวณที่เอื้อต่อการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเนื่องจากอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน ขณะที่กระบวนการไนตริฟิเคชัน เป็นกระบวนการที่ส่งผลให้ความเข้มข้นของไนเตรทเพิ่มขึ้น โดยได้รับการยืนยันจากค่าพีเอชและยังพบความเข้มข้นของแอมโมเนียมที่เพิ่มขึ้น เป็นหลักฐานของการเกิดกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันในพื้นที่ศึกษาด้วย

5.7 การวิเคราะห์ตัวประกอบของข้อมูลอุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาล

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ตัวประกอบ หรือ PCA โดยเลือกปัจจัยที่มีค่า Eigenvalue ที่มีค่ามากกว่า 1 ของฤดูฝนและฤดูร้อนพบว่ามี 5 ปัจจัย (factor) ที่มีผลต่อค่าความแปรปรวนของพารามิเตอร์ทางด้านอุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาลถึง 76.11 เปอร์เซ็นต์และ 77.88 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูฝนและฤดูร้อน ตามลำดับ โดยในฤดูฝน PC1-PC3 เป็นปัจจัยที่น่าจะเกิดจากธรรมชาติ อาทิ water-rock interaction เป็นหลัก และสำหรับ PC4 และ PC5 ปัจจัยที่น่าจะได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การใช้ปุ๋ยเคมีในการทำเกษตรกรรม น้ำเสียจากอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่สำหรับในฤดูร้อนพบว่าปัจจัยที่น่าจะได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้องสูงขึ้นซึ่งพบตั้งแต่ PC3-PC5

5.8 ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลอุทกธรณีเคมีเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับหาแหล่งกำเนิดของไนเตรทอีกวิธีหนึ่ง เมื่อพิจารณาร่วมกับข้อมูลไอโซโทปเสถียร จะสามารถใช้ติดตามกระบวนการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทได้ โดยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยระบุสภาพที่เอื้อต่อการทำงานของแบคทีเรีย จึงควรมีการวิเคราะห์ในทั้งสองฤดูกาล ตลอดจนควรมีการวิเคราะห์ชนิดของแบคทีเรีย และค่าแอมโมเนียในน้ำบาดาล และไอโซโทปของไนโตรเจน และออกซิเจนในโมเลกุลของไนเตรทเพิ่มเติมในงานวิจัยในอนาคต ข้อมูลข้างต้นจะช่วยแยกแหล่งกำเนิด และกลไกเกี่ยวกับไนเตรทในน้ำบาดาลได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาสภาพบ่อบาดาลส่วนใหญ่อยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะสม เช่น บริเวณฐานบ่อบาดาลมีการแตกหัก ชำรุด บางบ่อเลิกใช้งานแต่ไม่ถูกอุดกัลบอย่างถูกวิธี นำไปสู่การรั่วซึมจากมลสารบนผิวดินได้ง่าย ดังนั้นจึงควรอุดกัลบและเมื่อมีการขุดเจาะบ่อบาดาลในตำแหน่งใหม่ ควรเลือกตำแหน่งที่เหมาะสม และห่างไกลจากบริเวณแหล่งกำเนิดมลสารต่างๆ เพื่ออนุรักษ์ทรัพยากรน้ำบาดาลให้มีใช้อย่างยั่งยืน การศึกษานี้จึงเป็นประโยชน์สำหรับวางแผนการจัดการทรัพยากร



น้ำบาดาลในอนาคต และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่น และไอโซโทปชนิดอื่นเพื่อหาแหล่งกำเนิด และกลไกการปนเปื้อนของมลสารอื่นได้ต่อไป



เอกสารอ้างอิง

1. กรมทรัพยากรธรณี. 2538. แหล่งน้ำบาดาล และวิธีการใช้แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดตรัง. กองน้ำบาดาล, กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร.
2. กรมทรัพยากรธรณี. 2544. ธรณีวิทยาประเทศไทย, เฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเนื่องในวโรกาสพระราชพิธีมหามงคลเฉลิมพระชนมพรรษา 6 รอบ, 5 ธันวาคม 2542ม กรุงเทพมหานคร.
3. กรมทรัพยากรธรณี. 2551. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดสระบุรี. กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร.
4. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2550. โครงการสำรวจและจัดทำแผนที่น้ำบาดาลในชั้นหินปูน พื้นที่ 2 จังหวัดสระบุรี. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร.
5. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2554. โครงการจัดทำแผนบูรณาการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินทั่วประเทศและนำร่องการจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน พื้นที่ที่ 3: ภาคกลาง และภาคตะวันออก. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร.
6. กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544. การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล. สำนักงานพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
7. ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์. 2546. น้ำบาดาล. ภาควิชาธรณีวิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
8. ศิริชัย กาญจนวสี, สุวิมล ตีรกานันท์, ศิริเดช สุขีวะ. 2543. การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SPSS สำหรับงานวิจัย: การวิเคราะห์ข้อมูลและแปลความหมาย. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
9. สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2560, พฤษภาคม 11. ตารางปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีสูตรที่สำคัญ ปี 2554-2559. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก <http://www.oae.go.th/>
10. Anderson, L., & Wedborg, Margareta. (1983). Determination of alkalinity and total carbonate in seawater by photometric titration. *Oceanologica Acta*, 6, 357-364.
11. Baba, A., & Olowoyeye, O.A. (2011). The hydrochemistry of Angwan Mallam and environs (PART OF KEFFI SHEET 208NE). *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 15(4), 675-680.
12. Beaudet, N., Otter, A., Karr, C., Sathyanarayana, S., & Perkins, A. (2014). Nitrates, Methemoglobinemia, and drinking water: A factsheet for clinicians. *Pediatric Environmental Health Specialty Units*.
13. BoQiang, Q., Guang, G., GuangWei, Z., YunLin, Z., YuZhi, S., XiangMing, T., . . . JianMing, D. (2012). Lake eutrophication and its ecosystem response. *Chinese Science Bulletin*, 58(9), 961-970.
14. Breitenbach, S. F. M., Adkins, J. F., Meyer, H., Marwan, N., Kumar, K. K., & Haug, G. H. (2010). Strong influence of water vapor source dynamics on stable isotopes in precipitation observed in Southern Meghalaya, NE India. *Earth and Planetary Science Letters*, 292(1-2), 212-220. doi:10.1016/j.epsl.2010.01.038



15. Chen, J., Tang, C., & Yu, J. (2006). Use of ^{18}O , ^2H and ^{15}N to identify nitrate contamination of groundwater in a wastewater irrigated field near the city of Shijiazhuang, China. *Journal of Hydrology*, 326(1-4), 367-378.
16. Chen, J., Taniguchi, M., Liu, G., Miyaoka, K., Onodera, S.-i., Tokunaga, T., & Fukushima, Y. (2007). Nitrate pollution of groundwater in the Yellow River delta, China. *Hydrogeology Journal*, 15(8), 1605-1614.
17. Chebotarev, I.I. (1955). Metamorphism of natural waters in the crust of weathering. *Geochim. Cos-mochim*, 8, 22-48.
18. Choi, W.-J., Han, G.-H., Lee, S.-M., Lee, G.-T., Yoon, K.-S., Choi, S.-M., & Ro, H.-M. (2007). Impact of land-use types on nitrate concentration and ^{15}N in unconfined groundwater in rural areas of Korea. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 120, 259-268.
19. Clark, I. D., & Fritz, P. (1997). *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Boca Raton: Lewis.
20. Damrongsri, M., & Pruksanan, S. (2007). Study of nitrate removal from industrial wastewater treatment effluent by anoxic digester. Paper presented at the Proceedings of 45th Kasetsart University Annual Conference, Bangkok.
21. Devis, S. N., Whittemore, D. O., & Fabryka-Martin, J. (1998). Uses of Chloride/Bromide Ratios in Studies of Potable Water. *Ground Water*, 36(2), 338-350.
22. Duncan, E., Kleinman, P. J., & Sharpley, A. N. (2012). *Eutrophication of Lakes and Rivers*.
23. Ehteshami, M. and N. Biglarijoo (2014). "Determination of Nitrate Concentration in Groundwater in Agricultural Area in Babol Country, Iran." *Iranian Journal of Health Sciences*, 2(4), 1-9.
24. Embaby, A., Razack, M., Lecoq, M., and Porel, G. (2016). Hydrogeochemical assessment of groundwater in the Precambrian rocks, South Eastern Desert, Egypt. *Journal of Water Resources and Protection*, 8, 293-310.
25. Fenech, C., Rock, L., Nolan, K., Tobin, J., & Morrissey, A. (2012). The potential for a suite of isotope and chemical markers to differentiate sources of nitrate contamination: a review. *Water Research*, 46(7), 2023-2041.
26. Filintas, A. g., et al. (2008, 10/16-19/2008). Environmental assessment of groundwater nitrate pollution from agricultural wastes and fertilizers in central Greece watersheds using remote sensing and GIS. Paper presented at the 3rd International Conference AQUA 2008, Athens, Greece.
27. Galloway, W. E., & Kaiser, W. R. (1980). Catahoula Formation of the Texas coastal plain; origin, geochemical evolution, and characteristics of uranium deposits. University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology Report of Investigations Number 100.



28. Gao, Y., Yu, G., Luo, C., Zhou, P. (2012). Groundwater Nitrogen Pollution and Assessment of Its Health Risks: A Case Study of a Typical Village in Rural-Urban Continuum, China. PLoS ONE, 7(4), 1-8.
29. Gonfiantini, R., Roche, M.-A., Olivry, J.-C., Fontes, J.-C., & Zuppi, G. M. (2001). The altitude effect on the isotopic composition of tropical rains. Chemical Geology, 181, 147-167.
30. Gu, B., Zhu, Y., Chang, J., Peng, C., Liu, D., Min, Y., . . . Ge, Y. (2011). The role of technology and policy in mitigating regional nitrogen pollution. Environmental Research Letters, 6(1), 014011.
31. Gu, B., Ge, Y., Chang, S. X., Luo, W., & Chang, J. (2013). Nitrate in groundwater of China: Sources and driving forces. Global Environmental Change, 23(5), 1112-1121.
32. Guo, F., & Jiang, G. (2009). Nitrogen budget of a typical subterranean river in peak cluster karst area. Environmental Geology, 58(8), 1741-1748.
33. Hem, J.D. (1985). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. US Geological Survey Water Supply Paper 2254.
34. Hensler, R. F., & Attoe, O. J. (1970). Rural source of nitrate in water. Paper presented at the Twelfth Sanitation Engineering Conference Proceeding., Engineering Publication Office, USA.
35. Heston, D. (2015). Using Chloride and Bromide Mass Ratios and Binary Mixing Curves to Evaluate Anthropogenic Influences on Groundwater in Lycoming and Wayne counties, Pennsylvania. GEO 546.
36. Hoefs, J. (1997). Stable Isotope Geochemistry. Springer-Verlag.
37. Hosono, T., Ikawa, R., Shimada, J., Nakano, T., Satio, M., Onodera, S., Lee, K.K. & Taniguchi, M. (2009). Human impacts on groundwater flow and contamination deduced by multiple isotopes in Seoul City, South Korea. Science of The Total Environment, 407(9), 3189-97.
38. Hosono, T., Takahiro, T., Kagabu, M., Nakata, H., Orishikida, T., Lin, I., et al. (2013). The use $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ tracers with an understanding of groundwater flow dynamics for evaluating the origins and attenuation mechanisms of nitrate pollution. Water Research., 47, 2661-2675.
39. IAEA. (2006). Isotope Hydrology Information System. The ISOHIS [ออนไลน์]. สืบค้นจาก. <http://isohis.iaea.org>.
40. Jiang, Y., Wu, Y., Groves, C., Yuan, D., & Kambesis, P. (2009). Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in the Nandong karst underground river system in Yunan, China. Journal of Contaminant Hydrology, 109, 49-61.



41. Jin, Z., Pan, Z., Jin, M., Li, F., Wan, Y., & Gu, B. (2012). Determination of nitrate contamination sources using isotopic and chemical indicators in an agricultural region in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 155, 78-86.
42. Kaff, M. A. (2012). Eutrophication in Shallow Lakes and Water Dams. *Envirocities eMagazine* (2), 32-35.
43. Kamdee, K., Laoharajanaphand, S., Noipow, N., Jaruratana, A., Detoup, D., & Chantarachot, W. (2011, 6-7 July 2011). Improvement of Groundwater Modeling by Using of the Environmental Isotopes with Liquid Water Isotope Analyzer. Paper presented at the The 12th Conference on Nuclear Science and Technology, Shangri-La Hotel, Bangkok, Thailand.
44. Kamdee, K., Srisuk, K., Lorphensri, O., Chitradon, R., Noipow, N., Laoharajanaphand, S., & Chantarachot, W. (2013). Use of isotope hydrology for groundwater resources study in Upper Chi river basin. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 297(3), 405-418. doi:10.1007/s10967-012-2401-y
45. Kaown, D., Koh, D.-C., Mayer, B., & Lee, K.-K. (2009). Identification of nitrate and sulfate sources in groundwater using dual stable isotope approaches for an agricultural area with different land use (Chuncheon, mid-eastern Korea). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 132(3-4), 223-231.
46. Katsuyama, M., Yoshioka, T., & Konohira, E. (2015). Spatial distribution of oxygen-18 and deuterium in stream waters across the Japanese archipelago. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(3), 1577-1588. doi:10.5194/hess-19-1577-2015
47. Kellman, L. M., & Hillaire-Marcel, C. (2003). Evaluation of nitrogen isotopes as indicators of nitrate contamination sources in an agricultural watershed. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 95(1), 87-102.
48. Kendall, C., & Caldwell, E. A. (1998). *Isotope Tracer in Catchment Hydrology*. Elsevier Science B.V., 51-86.
49. Kolpin, D., Burkart, M., & Goolsby, D. (1999). Nitrate in groundwater of the midwestern United States: a regional investigation on relations to land use and soil properties. *Impact of Land-Use Change on Nutrient Loads from Diffuse Sources*, 257(111-116).
50. Lambert, W., Nwaokoro, R., & Russo, S. (2004). Simultaneous Nitrification and Denitrification in a Sequencing Batch Reactor. *Nutrient Removal Project*.
51. Lee, J.-E., & Fung, I. (2008). "Amount effect" of water isotopes and quantitative analysis of post-condensation processes. *Hydrological Processes*, 22(1), 1-8. doi:10.1002/hyp.6637
52. Lee, P. G., Lea, R. N., Dohmann, E., Prebilsky, W., Turk, P. E., Ying, H., & Whitson, J. L. (2000). Denitrification in aquaculture systems: an example of a fuzzy logic control problem. *Aquacultural Engineering*, 23, 37-59.



53. Li, J., Li, F., Liu, Q., & Suzuki, Y. (2014). Nitrate pollution and its transfer in surface water and groundwater in irrigated areas: a case study of the Piedmont of South Taihang Mountains, China. *Environmental Science: Process & Impacts*, 16(12), 2764-2773.
54. Macler, B. (2007). Drinking water standards and health advisories table. United States Environment Protection Agency, 29.
55. Mahler, R. L., colter, A., & Hirnyck, R. (2007). Nitrate and groundwater. University of Idaho college of agricultural and life sciences (furtherance of cooperative extension work in agriculture and home economics).
56. Marie, A., & Vengosh, A. (2001). Sources of Salinity in Ground Water from Jericho Area, Jordan Valley. *Ground Water*, 39(2), 240-248.
57. Marouane, B., et al. (2014). "Impact of agricultural practices on groundwater quality: Case of Gharb region-Morocco." *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(SI), 2151-2155.
58. Mcquillan, D. (2004, 11/7-10/2004). Ground-water quality impacts from on-site septic systems. Paper presented at the National Onsite Wastewater Recycling Association 13, Albuquerque, NM.
59. Min, J.-H., Yun, S.-T., Kim, K., Kim, H.-S., & Kim, D.-J. (2003). Geologic controls on the chemical behaviour of nitrate in riverside alluvial aquifers, Korea. *Hydrological Processes*, 17(6), 1197-1211.
60. Minaudo, C., Meybeck, M., Moatar, F., Gassama, N., & Curie, F. (2015). Eutrophication mitigation in rivers: 30 years of trends in spatial and seasonal patterns of biogeochemistry of the Loire River (1980–2012). *Biogeosciences*, 12(8), 2549-2563.
61. Mohamed, M., Terao, H., Suzuki, R., Babiker, I., Ohta, K., Kaori, K., & Kato, K. (2003). Natural denitrification in the Kakamigahara groundwater basin, Gifu prefecture, central Japan. *The Science of The Total Environment*, 307(1-3), 191-201. doi:10.1016/s0048-9697(02)00536-3
62. Motzer, W. E. (2006). Nitrate forensics. Fall 2006 HydroVisions Newsletter, 1-7.
63. Mo, Q., Chen, N., Zhou, X., Chen, J., Duan, S. (2016). Ammonium and phosphate enrichment across the dry-wet transition and their ecological relevance in a subtropical reservoir, China. *Environmental Sciences Processes & Impacts*, 18(7), 882-894.
64. Munster, J. E. (2008). Nonpoint sources of nitrate and perchlorate in urban land use to groundwater, Suffolk County, NY. (Doctor of Philosophy), Stony Brook.
65. Mu, X., Brower, J.C., Siegel, D.I., Fiorentino II, A.J., An, S., Cai, Y., et al. (2015). Using integrated multivariate statistic to assess the hydrochemistry of surface water quality, Lake Taihu basin, China. *Journal of Limnology*, 74(2), 234-247.



66. Ndegwa, P. M., Wang, L., & Vaddella, V. K. (2007). Potential strategies for process control and monitoring of stabilization of dairy wastewaters in batch aerobic treatment systems. *Process Biochemistry*, 42(9), 1272-1278. doi:10.1016/j.procbio.2007.06.001
67. Noipow, N. (2015, July 7-8, 2015). Seasonal Variation of the Stable Isotope Fingerprints in daily precipitations and Mekong River, the implication on Hydrological Study of Thailand and Lao PDR. Paper presented at the The 3rd Lao-Thai Technical Conference.
68. Nunak, N., & Suesut, T. (2012). *Measurement and Instruments in the Food Industry*. Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
69. Organization, W. H. (1998). *Guidelines for Drinking-Water quality*. WHO Library Cataloguing in Publication Data *Guidelines for drinking-water quality*, 1, 36.
70. Osthoff, H. D., Brown, S. S., Ryerson, T. B., Fortin, T. J., Lerner, B. M., Williams, E. J., . . . Ravishankara, A. R. (2006). Measurement of atmospheric NO₂ by pulsed cavity ring-down spectroscopy. *Journal of Geophysical Research*, 111(D12305), 1-10.
71. Panno, S.V., Hackley, K.C., Hwang, H.H., & Kelly, W.R. (2001). Determination of the sources of nitrate contamination in karst springs using isotopic and chemical indicators. *Chemical Geology*, 179, 113-128.
72. Panno, S. V., Hackley, K. C., Hwang, H. H., Greenberg, S. E., Krapac, I. G., Landsberger, S., & O'Kelly, D. J. (2006). Characterization and identification of na-cl sources in ground water. *Ground Water*, 44(2), 176-187. doi:10.1111/j.1745-6584.2005.00127.x
73. Pasten-Zapata, E., Ledesma-Ruiz, R., Harter, T., Ramirez, 819 A.I., Mahlknecht, J. (2014). Assessment of sources and fate of nitrate in shallow groundwater of an agricultural area by using a multi-tracer approach. *Science of the Total Environment*, 470-471, 855-864.
74. Peng, H., Mayer, B., Harris, S., & Krouse, H. R. (2004). A 10-yr record of stable isotope ratios of hydrogen and oxygen in precipitation at Calgary, Alberta, Canada. *Tellus B*, 56(2), 147-159.
75. Phien-wej, N., Giao, P. H., & Nutalaya, P. (2006). Land subsidence in Bangkok, Thailand. *Engineering Geology*, 82, 187-201.
76. Pietro, S. (2006). Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(1), 10-17.
77. Qian, C., Wu, X., Mu, Wen-Ping., Fu, Rui-Zhi., Zhu, G., Wang, Zhuo-Ran., et al. (2016). Hydrogeochemical characterization and suitability assessment of groundwater in an agropastoral area, Ordos Basin, NW China. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1356
78. Richter, B. C., & Kreitler, C. W. (1993). *Geochemical Techniques for Identifying Sources of Ground-Water Salinization*. Boca Raton, Florida: C.K. Smoley.



79. Roine, A., & Anttila, K. (2006). Eh - pH - DIAGRAMS (Pourbaix-diagrams). HSC Chemistry 7.0(17), 1-19.
80. Sabseree, J. (2010). Box Plot. for Quality Production, 16(148), 35-37.
81. Sahanawin, N. (2012). Euthrophication. Physical Education Students 15 (special edition).
82. SAHRA. (2005). Isotope Oxygen. University of Arizona. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก. <http://web.sahra.arizona.edu>
83. Sathiyamurthi, S., & Saravanan, S. (2013). Multivariate analysis and quality assessment of irrigation water of coastal areas of Chidambaram Taluk. International Journal of Earth Sciences and Engineering, 6(1), 178-184.
84. Silva, M. A. M., Souza, M. F. L., & Abreu, P. C. (2015). Spatial and Temporal variation of Dissolved Inorganic Nutrients, and Chlorophyll-a in a Tropical Estuary in Northeastern Brazil: Dynamics of Nutrient Removal. Brazilian Journal of Oceanography, 63(1), 1-15. doi:10.1590/s1679-87592015064506301
85. Singh, C.K., Shashtri, S., Mukherjee, S. (2011). Integrating multivariate statistical analysis with GIS for geochemical assessment of groundwater quality in Shiwaliks of Punjab, India. Environmental Earth Sciences, 62, 1387-1405.
86. Sonkahmble, S., Sahya, A., Mondal, N.C., & Harikumar, P. (2012). Appraisal and evolution of hydrochemical processes from proximity basalt and granite areas of Deccan Volcanic Province (DVP) in India, Journal of Hydrology, 438-439, 181-193.
87. Sprague, M. K. (2012). CAVITY RINGDOWN SPECTROSCOPY, KINETICS, AND QUANTUM CHEMISTRY OF ATMOSPHERICALLY RELEVANT REACTIONS. (Doctor of Philosophy), California Institute of Technology.
88. Stewart, M. K., Stevens, G., Thomas, J. T., Raaij, R. v. d., & Trompetter, V. (2011). Nitrate sources and residence times of groundwater in the Waimea Plains, Nelson. Journal of Hydrology, 50(2), 313-338.
89. Stuart, M. E., et al. (2011). "A review of the impact of climate change on future nitrate concentration in groundwater of the UK." Science of The Total Environment, 409(15), 2859-2873.
90. Tan, C., Ma, F., Li, A., Qiu, S., Li, J. (2013). Evaluating the effect of dissolved oxygen on simultaneous nitrification and denitrification in polyurethane foam contact oxidation reactors. Water Environment Research, 85(3), 195-202.
91. Tang, Y., Pang, H., Zhang, W., Li, Y., Wu, S., & Hou, S. (2015). Effects of changes in moisture source and the upstream rainout on stable isotopes in precipitation – a case study in Nanjing, eastern China. Hydrology and Earth System Sciences, 19(10), 4293-4306. doi:10.5194/hess-19-4293-2015
92. Tantasarit, S. (2006). Introduction to water quality. P10-water resource, 239.



93. Thuyet, D.Q., Saito, H., Saito, T., Moritani, S., Kohgo, Y., & Komatsu, T. (2016) Multivariate analysis of trace elements in shallow groundwater in Fuchu in western Tokyo Metropolis, Japan. *Environmental Earth Science*, 75, 559.
94. Townsend, M. A., & Whittemore, D. O. (2005). Identification of nitrate and chloride sources affecting municipal well waters of the city of Mcpherson, Kansas.
95. USGS. (2004). Resources on Isotopes. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก. <http://wwwrcamnl.wr.usgs.gov>
96. Vityakorn, P. (2014). Soil fertility and plant nutrition. lecture. Land resources and environment. Khonkaen University.
97. Vonlathen, P., Bittner, D., & Hudson, A. G. (2012). Eutrophication led to fish extinctions in Alps. *Science for Environment Policy* (290).
98. Ward, M. H., deKok, T. M., Levallois, P., Brender, J., Gulis, G., Nolan, B. T., & VanDerslice, J. (2005). Workgroup Report: Drinking-Water Nitrate and Health—Recent Findings and Research Needs. *Environmental Health Perspectives*, 113(11), 1607-1614.
99. Wieben, C. M., Baker, R. J., & Nicholson, R. S. (2013). Nutrient concentrations in surface water and groundwater, and nitrate source identification using stable isotope analysis, in the Barnegat Bay-Little Egg Harbor watershed, New Jersey, 2010-11. 17-33.
100. Winkler, R., & Peters, R. (2013). Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS): High precision measurements suitable for field, mobile and lab-based work. PICARRO.
101. Wisittammasri และ Chotpantarat, 2015 Isotope Evidence of Rainfall and Groundwater for Tracing Recharge Areas in Kaeng Khoi District, Saraburi Province, Thailand. *Applied Environmental Research*, 38(3), 49-58.
102. Wongcharlie, P. (1991). Determination of quantity of nitrate and phosphate in Chonburi, Rayong and Chanthaburi bain. Bangkok: The Graduate School Kasetsart University.
103. Woolverton, P. (2015). Nitrate in drinking water. Water Quality Division Drinking Water Protection Program.
104. Yadav, I.C., Devi, N.L., Mohan, D., Shihua, Q., Singh, S. (2014). Assessment of groundwater quality with special reference to arsenic in Nawalparasi district, Nepal using multivariate statistical techniques. *Environmental Earth Sciences*, 72, 259-273.
105. Yoon, S.-H. (2016). Effect of ORP. Denitrification. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก. <http://onlinembr.info/nutrient-removal/denitrification/>
106. Zhang, W. L., et al. (1996). "Nitrate pollution of groundwater in northern China." *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 59, 223-231.
107. Zhang, Y., Li, F., Zhang, Q., Li, J., & Liu, Q. (2014). Tracing nitrate pollution sources and transformation in surface- and ground-waters using environmental isotopes. *Science of The Total Environment*, 490, 213-222. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.05.004
108. 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.
doi:10.3390/w7041515

Table 1 Summary of statistic of measured field parameters and concentrations of dissolved components in 35 groundwaters.

Season	Statistic	Depth (m)	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	Eh (mV)	DO (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)	Br ⁻ (mg/l)
Rainy	Min	24.0	6.8	128.4	27.5	-164.2	-	12.9	0.0	0.0	0.3	51.8	0.02	0.01	0.03	1.3	13.8	3.0	0.1	0.01
	Max	160.0	8.9	1145.0	35.0	221.0	-	85.7	38.4	124.9	6.4	423.2	7.11	0.45	0.24	247.5	15.2	188.2	1.3	0.41
	Average	75.1	7.6	631.1	29.8	80.6	-	52.4	6.5	40.7	2.1	256.0	1.41	0.09	0.11	29.2	14.1	23.9	0.4	0.06
	25%	60.0	7.4	452.0	28.6	26.5	-	36.3	2.5	25.9	1.2	205.2	0.22	0.04	0.05	5.2	13.9	6.7	0.2	0.02
	Median	60.0	7.6	643.0	29.3	118.3	-	57.3	4.7	39.4	2.0	284.0	0.82	0.05	0.07	9.3	13.9	15.3	0.35	0.02
75%	95.0	7.9	820.5	30.0	149.3	-	67.5	7.7	48.2	2.8	322.6	2.35	0.08	0.15	31.8	13.9	27.9	0.6	0.04	
Summer	Min	24.0	6.3	116.4	27.7	-152.5	0.7	4.3	0.9	11.6	0.3	19.0	0.20	0.00	0.05	1.0	0.01	2.1	0.03	0.04
	Max	160.0	7.8	1893.0	36.7	263.0	7.8	147.2	93.7	254.1	14.4	628.6	5.59	0.12	11.77	297.9	0.19	218.6	1.4	3.4
	Average	75.1	7.0	821.8	31.9	156.0	4.3	40.2	15.7	73.5	2.8	342.9	1.75	0.02	0.81	33.7	0.03	26.3	0.4	1.0
	25%	60.0	6.8	675.5	30.5	120.9	3.2	26.6	9.9	38.0	1.1	274.8	0.88	0.01	0.10	6.4	0.01	6.7	0.2	0.8
	Median	60.0	6.9	790.6	32.1	196.9	4.3	34.8	12.9	67.4	2.7	337.8	1.39	0.01	0.13	15.4	0.02	15.2	0.32	0.9
75%	95.0	7.2	952.8	33.6	222.4	5.4	49.4	17.9	87.6	3.1	391.0	2.33	0.02	0.30	32.1	0.04	29.1	0.4	1.1	

Table 2 Pearson's correlation coefficient (R^2) between the physiochemical and hydro chemical parameter from 35 groundwater samples in rainy season.

Values in the highlighted bold indicate a relationship between two parameters with a significance level at 0.01 ($P < 0.01$).

Variables	pH	EC	ORP	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	F ⁻	Br ⁻
pH	1.000															
EC	0.211	1.000														
ORP	0.174	0.029	1.000													
Ca ²⁺	0.157	0.606	0.072	1.000												
Mg ²⁺	-0.122	0.480	-0.223	0.384	1.000											
Na ⁺	0.110	0.582	0.015	0.278	0.189	1.000										
K ⁺	-0.172	-0.179	-0.352	0.092	0.355	-0.203	1.000									
HCO ₃ ⁻	0.260	0.583	0.103	0.794	0.384	0.535	-0.047	1.000								
NO ₃ ⁻	0.217	-0.011	-0.047	-0.142	-0.043	-0.130	-0.224	-0.093	1.000							
NO ₂ ⁻	-0.097	-0.125	-0.131	-0.001	0.113	-0.175	0.180	0.070	0.293	1.000						
NH ₄ ⁺	-0.308	-0.014	-0.529	0.057	0.565	-0.146	0.395	-0.029	0.066	0.103	1.000					
SO ₄ ²⁻	0.026	0.542	0.172	0.252	0.076	0.701	-0.164	0.184	-0.166	-0.158	-0.148	1.000				
PO ₄ ³⁻	-0.375	-0.011	-0.247	-0.021	0.367	-0.007	0.327	0.010	-0.269	0.520	0.196	-0.107	1.000			
Cl ⁻	-0.311	0.433	-0.371	0.334	0.839	0.193	0.398	0.248	0.036	-0.027	0.648	0.088	0.311	1.000		
F ⁻	-0.062	0.130	0.092	0.202	0.201	0.181	0.127	0.274	-0.249	0.454	0.039	0.227	0.427	0.043	1.000	
Br ⁻	-0.278	0.413	-0.309	0.379	0.811	0.131	0.363	0.322	-0.058	0.084	0.541	0.002	0.449	0.897	0.056	1.000

Table 3 Pearson's correlation coefficient (R^2) between the physiochemical and hydro chemical parameter from 35 groundwater samples in summer season.

Values in the highlighted bold indicate a relationship between two parameters with a significance level at 0.01 ($P < 0.01$).

Variables	pH	EC	ORP	DO	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	F ⁻	Br ⁻	
pH	1.000																	
EC	0.441	1.000																
ORP	0.042	-0.051	1.000															
DO	0.507	0.127	0.600	1.000														
Ca ²⁺	-0.136	0.452	-0.427	-0.316	1.000													
Mg ²⁺	0.010	0.690	-0.156	-0.149	0.675	1.000												
Na ⁺	0.608	0.664	0.209	0.367	-0.122	0.083	1.000											
K ⁺	-0.144	-0.114	-0.395	-0.379	0.268	0.100	-0.405	1.000										
HCO ₃ ⁻	0.442	0.839	-0.031	0.199	0.204	0.420	0.728	-0.338	1.000									
NO ₃ ⁻	-0.204	-0.050	0.073	-0.061	0.070	0.041	-0.177	-0.090	-0.047	1.000								
NO ₂ ⁻	0.135	0.394	-0.226	-0.109	0.566	0.578	0.093	0.139	0.207	0.375	1.000							
NH ₄ ⁺	-0.002	-0.090	-0.522	-0.388	0.103	-0.005	-0.154	0.792	-0.194	-0.069	0.059	1.000						
SO ₄ ²⁻	0.291	0.309	0.048	0.152	0.168	0.036	0.498	-0.165	0.081	-0.262	0.027	-0.068	1.000					
PO ₄ ³⁻	-0.024	0.553	-0.089	-0.108	0.718	0.735	0.097	0.180	0.226	-0.100	0.471	0.023	0.227	1.000				
Cl ⁻	0.137	0.718	-0.133	-0.146	0.696	0.853	0.199	0.260	0.363	0.102	0.587	0.177	0.139	0.782	1.000			
F ⁻	0.198	0.317	0.027	0.073	0.139	0.364	0.177	-0.179	0.205	-0.117	0.176	-0.109	0.198	0.260	0.274	1.000		
Br ⁻	0.215	0.708	-0.199	-0.045	0.569	0.776	0.370	-0.053	0.589	-0.092	0.500	-0.003	0.109	0.587	0.684	0.601	1.000	

Table 4 Rotated component matrix dividing variables into five groups in rainy season.

	Component				
	1	2	3	4	5
pH	-0.391	0.521	-	-	0.349
EC	-	0.572	0.641	-	-
ORP	-0.598	-	-	-	-
Ca ²⁺	-	0.853	-	-	-
Mg ²⁺	0.791	0.370	-	-	-
Na ⁺	-	-	0.852	-	-
K ⁺	0.485	-	-0.402	-	-0.382
HCO ₃ ⁻	-	0.863	-	-	-
NO ₃ ⁻	-	-	-	-	0.942
NO ₂ ⁻	-	-	-	0.853	0.358
NH ₄ ⁺	0.806	-	-	-	-
SO ₄ ²⁻	-	-	0.877	-	-
PO ₄ ³⁻	0.366	-	-	0.732	-
Cl ⁻	0.925	-	-	-	-
F ⁻	-	-	-	0.783	-
Br ⁻	0.859	-	-	-	-

the values bold demonstrate highly relationship in each component.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

Table 5 Total variance explained of various factors in rainy season.

Component	Initial Eigenvalues			Extraction sums of squared Loadings			Rotation sums of squared loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.484	28.023	28.023	4.484	28.023	28.023	3.863	24.146	24.146
2	3.251	20.316	48.339	3.251	20.316	48.339	2.501	15.631	39.777
3	1.832	11.448	59.787	1.832	11.448	59.787	2.336	14.602	54.379
4	1.470	9.185	68.972	1.470	9.185	68.972	2.015	12.595	66.973
5	1.143	7.144	76.115	1.143	7.144	76.115	1.463	9.142	76.115
6	0.863	5.395	81.510						
7	0.664	4.147	85.658						
8	0.607	3.792	89.449						
9	0.516	3.224	92.673						
10	0.399	2.496	95.169						
11	0.255	1.595	96.763						
12	0.181	1.130	97.893						
13	0.137	0.858	98.752						
14	0.118	0.735	99.486						
15	0.048	0.299	99.785						
16	0.034	0.215	100.000						

Table 6 Rotated component matrix dividing variables into five groups in summer season.

	Component				
	1	2	3	4	5
pH	-	0.799	-	-	-
EC	0.638	0.685	-	-	-
ORP	-	-	-0.390	0.774	-
DO	-	0.373	-	0.724	-
Ca ²⁺	0.837	-	-	-	-
Mg ²⁺	0.901	-	-	-	-
Na ⁺	-	0.861	-	-	-
K ⁺	-	-	0.840	-	-
HCO ₃ ⁻	-	0.813	-0.310	-	-
NO ₃ ⁻	-	-	-	-	-0.851
NO ₂ ⁻	0.689	-	-	-	-0.402
NH ₄ ⁺	-	-	0.834	-0.369	-
SO ₄ ²⁻	-	-	-	0.348	0.601
PO ₄ ³⁻	0.883	-	-	-	-
Cl ⁻	0.905	-	-	-	-
F ⁻	0.365	-	-0.414	-	0.364
Br ⁻	0.738	0.380	-	-	-

the values bold demonstrate highly relationship in each component.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

Table 7 Total variance explained of various factors in summer season.

Component	Initial Eigenvalues			Extraction sums of squared Loadings			Rotation sums of squared loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5.581	32.829	32.829	5.581	32.829	32.829	4.886	28.741	28.741
2	3.581	21.066	53.894	3.581	21.066	53.894	3.025	17.797	46.538
3	1.761	10.359	64.253	1.761	10.359	64.253	2.062	12.131	58.669
4	1.254	7.376	71.629	1.254	7.376	71.629	1.740	10.233	68.902
5	1.063	6.253	77.882	1.063	6.253	77.882	1.527	8.980	77.882
6	0.941	5.533	83.415						
7	0.856	5.037	88.452						
8	0.588	3.461	91.914						
9	0.343	2.015	93.928						
10	0.280	1.646	95.574						
11	0.212	1.247	96.821						
12	0.192	1.131	97.952						
13	0.150	0.883	98.835						
14	0.084	0.496	99.331						
15	0.076	0.445	99.775						
16	0.024	0.140	99.915						
17	0.014	0.085	100.000						



ประวัตินักวิจัย

นาย ศรีเลิศ โชติพันธ์รัตน์

Mr. SRILERT CHOTPANTARAT

ตำแหน่งวิชาการปัจจุบัน: รองศาสตราจารย์

สถานที่ทำงาน: ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน จังหวัด
กรุงเทพมหานคร 10330 โทรศัพท์: 0-2218-5442 โทรสาร: 0-2218-5464

e-mail: csrilert@gmail.com

ประวัติการศึกษา

วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ปี พ.ศ. 2541
วศ.ม. (วิศวกรรมแหล่งน้ำ)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ปี พ.ศ. 2545
Ph.D. (Environmental Management)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ปี พ.ศ. 2551

สมาชิกสมาคมด้านวิชาชีพที่สำคัญ

- สมาคมนักอุทกธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย
- คณะอนุกรรมการจัดทำร่างข้อบังคับว่าด้วยการประกอบวิชาชีพวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีควบคุมสาขาธรณีวิทยา
ด้านอุทกธรณีวิทยา
- ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะสาขาวิชา คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา (น้ำบาดาล) สำนักงานราชบัณฑิตยสภา

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- Hydrology
- Hydrogeology
- Groundwater Contamination and Modeling
- Soil and groundwater remediation techniques

งานวิจัยที่สำคัญ

2016-Present: Project leader “Identification of nitrate sources in groundwater using integration of hydrogeological characteristic with stable isotope techniques in intensively agricultural areas, Thailand, The research was funded by the National Research Council of Thailand.



2014-2015: Project leader “Assessing the past land use changes and its impacts on river runoff, sediment and water quality in the Lower Yom basin by using SWAT model”, The research have been funded by Cluster Climate Change, Chulalongkorn University.

2013-2014: Project leader “Impacts of climate change on temporal and spatial groundwater recharge in Nan groundwater basin”, the research have been funded by Cluster Climate Change, Chulalongkorn University.

2011-2013: Project leader “Water potential and demand research for sustainable water sustainable water resources management in Yom river basin using conjunctive use application and for land use planning in the future” The research have been funded by National Research Council of Thailand (NRCT)

2011-2012: Project leader “Competitive Sorption/Desorption, Distribution, and Transport Modelling of Heavy Metals through Variably Saturated Zone to Shallow Groundwater in An Agricultural Area to Assess and Predict Heavy Metal Contamination: A Case Study of Ban Hua Rua, Changwat Ubon Ratchathani” The research have been funded by Thailand Research Fund (TRF).

2010: Join Department of Environmental Quality Promotion (DEQP) as co-researcher. A project involved “A feasibility study of pilot-scale design to remediate soil contaminated with volatile organic compounds (VOCs) by soil vapor extraction technique (SVE) in industrial areas: a case study of Mabtaput, Rayong, Thailand”

2008-2009 Researcher “Human Health Risk Assessment Associated with Pesticide Exposure from the Agricultural Areas in Thailand” The research was funded by Thai Fogarty ITREOH Center, Grant Number: D43 TW007849 NIH FIC for Pilot Project Fogarty International Center - National Institutes of Health – NIEHS

ผู้อ่านและประเมินบทความวิชาการในวารสารวิชาการระดับชาติและนานาชาติ และการประชุมนานาชาติ

1. Journal of Hazardous Materials (IF: 4.173)
2. Chemosphere (IF: 3.137)
3. Agricultural, Ecosystem and Environment (I.F. 2.859)
4. Journal of Contaminant Hydrology (I.F. 2.204)
5. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers (IF: 2.110)
6. Environmental Geochemistry and Health (I.F.2.076)
7. Journal of Soil and Sediments (IF: 1.863)
8. Human and Ecological Risk Assessment (IF: 1.306)
9. Arabian Journal of Geosciences (IF: 1.224)



10. National Academy Science Letter (IF: 0.211)
11. Sustainable Environmental Research (SCOPUS)
12. Applied Environmental Research (TCI)
13. KKU Engineering Journal (TCI)
14. Journal of Health Research (TCI)
15. Suan Sunandha Science and Technology Journal
16. Journal of Geology and mining research
17. 19th National Convention on Civil Engineering
18. International Conference KKU-IENC 2014
19. Rungsit University Research Conference
20. International Conference on Environmental and Hazardous Substance Management
21. The 2nd Current Environmental Research (CESEM 2)

งานวิจัย (5 ปี ย้อนหลัง)

1. Kitichuchairit, S., Yumuang, S., and **Chotpantararat, S.** “GIS application for monitoring land use changes in Yom River Basin during 1988 to 2009” Proceedings of the 1st National Conference and The 5th RMUTI Surin Seminar, Surin, Thailand, 21-22 March 2013.
2. Kaewdum, N., and **Chotpantararat, S.** “Classification of groundwater recharge zones in the Khorat Aquifer” Proceedings of the 5th SuanSunandha Academic National Conference on “Research for sustainable development” Bangkok, Thailand, 1-2 December 2016.
3. Taraka, K., Klongvessa, P., and **Chotpantararat, S.** “Statistical analysis of runoff coefficient in Yom Basin in the Northern of Thailand” Proceedings of the 5th SuanSunandha National Conference on “Research for sustainable development” Bangkok, Thailand, 2017.
4. Thamrongrisakul, J., and **Chotpantararat, S.** “Hydrogeochemical Characteristics of Groundwater Surrounding Gold Mine Area” Proceedings of International Conference on Environmental and Hazardous Substance Management, Bangkok, Thailand, 21-23 May 2013.
5. Mungdee, S., Taraka, K., and **Chotpantararat, S.** “Evaluation of Groundwater Recharge Potential Using GIS Technique in Huay Sai Royal Development Study Center and Adjacent Areas, Amphoe Cha-Am, Changwat Phetchaburi” Proceedings of the 9th Mathematics and Physical Sciences Graduate Congress, 8-10 January 2014.
6. Ponsai, W., and **Chotpantararat, S.** “Assessment and Correlation Analysis of Shallow Groundwater” Proceedings of Sciences Graduate Congress, 8-10 January 2014.



7. Chonnikarn, A., and **Chotpantararat, S.** “Effect of pH on retention and transport of Arsenic(V) in combination of zero-valent iron and iron oxide coated sand (IOCS)” Proceedings of the 2014 Annual Conference on Engineering and Information Technology, Tokyo, Japan, 28-30 March 2014.
8. Wongsasuluk, P., **Chotpantararat, S.**, Siriwong, W., Borjan, M., and Robson, M. “Heavy metal contamination and human health risk assessment in drinking water from shallow groundwater wells in an agricultural area at Ubon Ratchathani Province, Thailand” **Environmental Geochemistry and Health** 2014, 36(1), 169-182.
9. Konkul, J., Rojborwornwittaya, W., and **Chotpantararat, S.** “Hydrogeologic characteristics and groundwater potentiality mapping using potential surface analysis in the Huay Sai area, Phetchaburi province, Thailand” **Geoscience Journal** 2014, 18(1), 89-103.
10. **Chotpantararat, S.**, Wongsasuluk, P., Siriwong, W., Borjan, M., and Robson, M. “Non-Carcinogenic Risk Map of Heavy Metals Contaminated in Shallow Groundwater for Adult and Aging Population at Agricultural Area in northeastern, Thailand” **Human and Ecological Risk Assessment** 2014, 20(3), 689-703.
11. Klongvessa, P., and **Chotpantararat, S.** “Flood mitigation due to extreme events in the inner Bangkok, Thailand” **Natural Hazards** 2014, 73(3), 1957-1975.
12. Klongvessa, P., and **Chotpantararat, S.** “Changes in the rainfall characteristics in inner Bangkok, Thailand” **Arabian Journal of Geosciences** 2014, 8(6), 4207-4219.
13. Ponsai, W., and **Chotpantararat, S.** “The analysis of shallow groundwater quality around Laemchabang sanitary landfill, Chonburi, Thailand” **Advanced Materials Research Journal** 2014, 931-932, 716-720.
14. Boonkaewwan, S. and **Chotpantararat, S.** “Simulation of nitrate concentration affected from land use changes in the lower part of Yom river basin, Thailand: A preliminary study” **Advanced Materials Research Journal** 2014, 931-932, 738-743.
15. **Chotpantararat, S.**, Chunhacherdchai, L., and Tongcumpou, C. “Effects of humic acid amendment on the mobility of heavy metals (Co, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn) in gold mine tailings in Thailand” **Arabian Journal of Geosciences** 2015 (In press).
16. **Chotpantararat, S.**, Konkul, J., and **Thitimakorn, T.** “Groundwater Recharge Potential using GIS Around the Land Development Facilities of Chulalongkorn University at Kaengkhoi District, Saraburi Province, Thailand” **Applied Environmental Research** 2015, 37(2), 75-83.
17. Wikiniyadhane, R., **Chotpantararat, S.**, and Ong, S.K. “Effects of kaolinite colloids on Cd²⁺ transport through saturated sand under varying ionic strength conditions: Column



- experiments and modeling approaches” **Journal of Contaminant Hydrology** 2015, 182, 146-156.
18. Waiyasusri, K., Yumuang, S., and **Chotpantararat, S.** “Monitoring and predicting land use changes in the Huai Thap Salao Watershed area, Uthaitхани province, Thailand, using the CLUE-s model” **Environmental Earth Science** 2015, 73, 533.
 19. Wikiniyadhane, R., **Chotpantararat, S.**, and Ong, S.K. “Transport and interaction of kaolinite and Cd^{2+} in a sand media: batch and column experiments” **Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences** 2016, 27(2), 195-202.
 20. Masipan, T., **Chotpantararat, S.**, and Boonkaewwan, S. “Experimental and modelling investigations of tracer transport in variably saturated agricultural soil of Thailand: Column study” **Sustainable Environmental Research** 2016, 26, 97-101.
 21. Sae-Ju, J., **Chotpantararat, S.**, and Thitimakorn, T. “Geophysical and hydrogeological study for evaluating seawater intrusion in coastal aquifers of Amphoe Cha-Am Changwat Phetchaburi” **BEST Journal** 2016, 7(1), 69-76.
 22. Wongsasuluk, P., **Chotpantararat, S.**, Siriwong, W., and Robson, M. “Using Urine as a Biomarker in Human Exposure Risk Associated with Arsenic and Other Heavy Metals Contaminating Drinking Groundwater in Intensively Agricultural Areas of Thailand” **Environmental Geochemistry and Health** 2017. Doi:10.1007/s 10653-017-9910-0.
 23. Klongvessa, P., LU, M., **Chotpantararat, S.** “Variation of critical rainfall duration upon its magnitude in middle and lower Yom river basin, Thailand” **Journal of Water Resources and Hydraulic Engineering** 2017, 6(3), 34-42.
 24. Yamgate, N., **Chotpantararat, S.**, and Sutthirat, C. “Removal of Cd^{2+} , Pb^{2+} , and Zn^{2+} from contaminated water using dolomite powder” **Human and Ecological Risk Assessment** 2017, 23(5), 1178-1192.
 25. Klongvessa, P., LU, M., **Chotpantararat, S.** “Variation of characteristics of consecutive rainfall days over northern Thailand” **Theoretical and Applied Climatology** 2017. doi.org/10.1007/s00704-017-2208-4.
 26. Boonsrang, A., **Chotpantararat, S.**, Sutthirat, C. “Factors controlling the release of metals and a metalloid from the tailings of a gold mine in Thailand” **Geochemistry Exploration Environment Analysis** 2018, 18(2): 109-119.
 27. Klongvessa, P., LU, M., **Chotpantararat, S.** “Response of the flood peak to the spatial distribution of rainfall in the Yom River basin, Thailand” **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment** 2018, 32: 2871-2887. (ISI Impact Factor = 2.668, Tier 1)



28. Kraidech, S., **Chotpantararat, S.**, Sonthiphand, P. “Detection of native arsenite-oxidizing bacteria in groundwater within/around a gold mining area, Thailand” Proceedings of the 2017 Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology and International Conference, Bangkok, Thailand, 23-25 November 2017.
29. Wongsasuluk, P., **Chotpantararat, S.**, Siriwong, W., and Robson, M. “Using hair and fingernails in binary logistic regression for bio-monitoring of heavy metals/metalloid in groundwater in intensively agricultural areas, Thailand” **Environmental Research** 2018, 162: 106-118.
30. Tiankao, W., and **Chotpantararat, S.**, 2018. “Risk assessment of arsenic from contaminated soils to shallow groundwater in Ong Phra sub-district, Suphan Buri Province, Thailand” **Journal of Hydrology: Regional Studies** 19:80-96.
31. Thunyawatcharakul, P., and **Chotpantararat, S.**, 2018. “Sorption characteristics of cadmium in a clay soil of Mae Ku creek, Tak Province, Thailand” **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science** 150: 012009.
32. **Chotpantararat, S.** and Boonkaewwan, S. “Impacts of land-use changes on watershed discharge and water quality in a large intensive agricultural area in Thailand” **Hydrological Sciences Journal** 2018, 63(9): 1386-1407.
33. Chokchai, S., **Chotpantararat, S.**, Takashima, I., Uchida, Y., Widiatmojom, A., Yasukawa, K., and Charusiri, P. “A pilot study on geothermal heat pump (GHP) use for cooling operations, and on GHP site selection in tropical regions based on a case study in Thailand” **Energies** 2018, 11(9): en11092356.
34. **Chotpantararat, S.** and Kiatvarangkul, N. “Facilitated transport of cadmium with montmorillonite KSF colloids under different pH conditions in water-saturated sand columns: Experiment and transport modeling” **Water Research** 2018, 146: 216-231.