

ปัจจัยและกลไกการปนเปื้อนไนเตรทในชั้นน้ำบาดาลบริเวณศูนย์การศึกษาห้วยทรายอันเนื่องมาจาก
พระราชดำริและบริเวณใกล้เคียง ในจังหวัดเพชรบุรี



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FACTORS AND MECHANISMS IN GROUNDWATER CONTAMINATION FROM NITRATE
AT HUAY SAI ROYAL DEVELOPMENT STUDY CENTER AND ADJACENT AREAS
IN PHETCHABURI PROVINCE

Mr. Tewanopparit Parkchai



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

เทวนพฤทธิ์ ภาคไชย : ปัจจัยและกลไกการปนเปื้อนไนเตรทในชั้นน้ำบาดาลบริเวณศูนย์การศึกษาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริและบริเวณใกล้เคียง ในจังหวัดเพชรบุรี (FACTORS AND MECHANISMS IN GROUNDWATER CONTAMINATION FROM NITRATE AT HUAY SAI ROYAL DEVELOPMENT STUDY CENTER AND ADJACENT AREAS IN PHETCHABURI PROVINCE) อ.ที่ปริกษาวិทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์, 145 หน้า.

ปัจจุบันมีการเพิ่มผลผลิตจากการเกษตรและการเจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมส่งผลให้เกิดการขาดแคลนทรัพยากรน้ำโดยเฉพาะน้ำผิวดิน ดังนั้นจึงมีการนำน้ำบาดาลมาใช้มากขึ้นทำให้ระดับน้ำบาดาลลดต่ำลง นอกจากนี้คุณภาพน้ำบาดาลยังไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภค เนื่องจากการปนเปื้อนของสารเคมีจากกิจกรรมของมนุษย์โดยเฉพาะการปนเปื้อนของไนเตรท จุดประสงค์ของงานครั้งนี้คือหาปัจจัยและกระบวนการที่ส่งผลต่อปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาลในพื้นที่เกษตรกรรม หนาแน่นตัวอย่างน้ำบาดาลเก็บจากพื้นที่ห้วยทราย จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 66 บ่อ ในช่วงเดือนตุลาคม 2557 (ฤดูฝน) และ 62 บ่อในเดือนกุมภาพันธ์ 2558 (ฤดูแล้ง) โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลครอบคลุมพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ห้วยทราย ผลการศึกษาพบว่าในฤดูฝน น้ำบาดาลจาก 2 บ่อ มีค่าไนเตรทเกินจากค่ามาตรฐาน (<45 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยมีค่า 46.85 และ 49.74 มิลลิกรัมต่อลิตร ในชั้นน้ำบาดาลที่ราบลุ่มและตะกอนเชิงเขา (Qfd) ในฤดูแล้งไม่พบน้ำบาดาลที่มีค่าเกินมาตรฐาน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่าไนเตรทสูงสุดในฤดูฝนและฤดูแล้งพบได้ในพื้นที่รับน้ำเช่นเดียวกัน จากการใช้แบบจำลองเสปรดซีท พบว่าความเข้มข้นของไนเตรทในชั้นผิวดิน ปริมาณของน้ำฝนที่ซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล และกระบวนการไหลในชั้นน้ำบาดาลของพื้นที่มีผลต่อปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาหลัก

5587206220 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS: GROUNDWATER, NITRATE, SPREADSHEET

TEWANOPPARIT PARKCHAI: FACTORS AND MECHANISMS IN GROUNDWATER CONTAMINATION FROM NITRATE AT HUAY SAI ROYAL DEVELOPMENT STUDY CENTER AND ADJACENT AREAS IN PHETCHABURI PROVINCE. ADVISOR: ASSOC. PROF. SRILERT CHOTPANTARAT, Ph.D., 145 pp.

In the present, agriculture productions have increased continuously and industrial growth, contributing to insufficient for surface water purposes. Therefore, the trend of groundwater usage is increasing, leading to the decrease in groundwater level. In addition, the quality of groundwater is inappropriate for consumption due to the contaminated groundwater chemistry from anthropogenic activities, especially nitrate contamination. The aim of this study is to find the factors and mechanism affecting to the concentrations of nitrate in groundwater in the intensively agricultural areas. The groundwater samples from Huai Sai royal development, Phetchaburi Province were collected from 66 groundwater wells in October 2014 (rainy) and February 2015 (summer) with different types of geological characteristics and land use. The results showed that nitrate concentration from two groundwater wells were relatively higher than groundwater quality standard in rainy season (<45 mg/L as NO_3). The nitrate concentrations were 46.85 and 49.74 mg/L NO_3 in the Quaternary Floodplain Deposits (Qfd). In summer, there were not found to exceed the groundwater quality standard. Moreover, the results indicated that the highest of nitrate levels in rainy and summer seasons were found in discharge areas. According to the spreadsheet model, the results revealed that the concentrations of nitrate in soil layer, rainfall infiltration and the groundwater flow process in the aquifer effects on nitrate concentrations in groundwater.

Field of Study: Environmental Science

Academic Year: 2015

Student's Signature

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ดีด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้ความรู้ แนวคิด คำแนะนำ ความเอาใจใส่ และตรวจแก้ไขข้อผิดพลาด ตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆมาโดยตลอด จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้โดยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์.ดร.ปฎิภาณ ปัญญาพกุล รองศาสตราจารย์ ดร. มัลลิกา ปัญญาคะโป และอาจารย์.ดร.จุฬาลักษณ์ ชาญกุล ที่ได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณหลักสูตรสหสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆในห้องปฏิบัติการตลอดระยะเวลาทำการวิจัย

นอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณจันทร์เลขา ภูทองคำ นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ และคุณเกษกนก สุตปราง เจ้าหน้าที่ธุรการประจำหลักสูตร ที่คอยให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ

ทำให้การดำเนินการวิจัยเป็นไปอย่างสะดวกและรวดเร็ว

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และภาควิชาธรณีวิทยา ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษาและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยอบรมสั่งสอน สนับสนุนปัจจัยด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้า ทำให้สามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดียิ่ง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 สมมุติฐาน	4
1.6 กรอบแนวความคิด.....	5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 น้ำบาดาล.....	6
2.2 สภาพธรณีวิทยา.....	17
2.3 สภาพอุทกธรณีวิทยา	20
2.4 ความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะ	21
2.5 แหล่งที่มาของมลสารเกษตรกรรม.....	27
2.6 แบบจำลองสเปรดชีท (spreadsheet models).....	28
2.7 วัฏจักรไนโตรเจน	36
2.8 Piper diagram	42

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	43
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	47
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	47
3.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	55
4.1 ระดับน้ำตาลในพื้นที่.....	55
4.2 ผลอุทกเคมีของน้ำบาดาล	58
4.3 การกระจายตัวของไนเตรทในน้ำบาดาล.....	75
4.4 ความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะ (PDRASTIC).....	79
4.5 แบบจำลองสเปรดซีท.....	91
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	97
5.1 ระดับน้ำตาลในพื้นที่.....	97
5.2 ชนิดของน้ำบาดาลในพื้นที่.....	97
5.3 การกระจายตัวของไนเตรท	97
5.4 ผลการศึกษาแบบจำลองสเปรดซีท.....	98
5.5 ข้อเสนอแนะ	98
รายการอ้างอิง	99
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลอุทกเคมีวิทยา.....	104
ภาคผนวก ข รูปบ่อบาดาล	111
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	145

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อบาดาลที่ทำการเก็บข้อมูล.....	4
รูปที่ 1.2 กรอบแนวคิด.....	5
รูปที่ 2.1 การกระจายในแนวตั้งของน้ำบาดาล	7
รูปที่ 2.2 การกระจายในแนวตั้งของน้ำบาดาล	8
รูปที่ 2.3 รูปตัดแสดงชั้นน้ำบาดาลแบบไร้แรงดันและชั้นน้ำบาดาลแบบมีแรงดัน	9
รูปที่ 2.4 แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา.....	20
รูปที่ 2.5 แผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา.....	21
รูปที่ 2.6 ความแตกต่างกันของความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ต่างกัน.....	23
รูปที่ 2.7 แนวคิดของแบบจำลอง NO ₃ -LEACHATE	29
รูปที่ 2.8 แนวคิดของแบบจำลอง GWNO ₃ -FORECAST.....	33
รูปที่ 2.9 วัฏจักรไนโตรเจน.....	36
รูปที่ 2.10 การแบ่งประเภทน้ำออกเป็น Hydrochemical facies ต่าง ๆ โดยอาศัย Trilinear diagram..	43
รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อบาดาลที่ทำการเก็บข้อมูล.....	48
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล.....	51
รูปที่ 4.1 ระดับน้ำบาดาลช่วงฤดูฝน	56
รูปที่ 4.2 ระดับน้ำบาดาลช่วงฤดูร้อน	57
รูปที่ 4.3 แสดงค่ากรด-เบสในตัวอย่างน้ำบาดาลทั้ง 43 บ่อ.....	59
รูปที่ 4.4 แสดงค่าของแข็งละลายน้ำในตัวอย่างน้ำบาดาลทั้ง 43 บ่อ.....	59
รูปที่ 4.5 แสดงค่าการนำไฟฟ้าในตัวอย่างน้ำบาดาลทั้ง 43 บ่อ	60
รูปที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิในตัวอย่างน้ำบาดาลทั้ง 43 บ่อ.....	60
รูปที่ 4.7 การวิเคราะห์ตัวอย่างเคมีน้ำบาดาลโดย piper diagraph ในฤดูฝน	64
รูปที่ 4.8 แสดงร้อยละของชนิดน้ำบาดาลในพื้นที่จากการเก็บตัวอย่างฤดูฝน.....	64

รูปที่ 4.9 การวิเคราะห์ตัวอย่างเคมีน้ำบาดาลโดย piper diagraphe ฤดูร้อน	65
รูปที่ 4.10 แสดงร้อยละของชนิดน้ำบาดาลในพื้นที่จากการเก็บตัวอย่างฤดูร้อน	65
รูปที่ 4.11 ค่าการเปรียบเทียบไนเตรทในน้ำบาดาลระหว่าง 2 ฤดูกาล	76
รูปที่ 4.12 แผนที่การกระจายตัวของไนเตรทของน้ำบาดาลในพื้นที่จากตัวอย่างฤดูฝน.....	77
รูปที่ 4.13 แผนที่การกระจายตัวของไนเตรทของน้ำบาดาลในพื้นที่จากตัวอย่างฤดูร้อน	78
รูปที่ 4.14 แผนที่แบ่งค่าความลึกของระดับน้ำบาดาล	80
รูปที่ 4.15 แผนที่แบ่งค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล	81
รูปที่ 4.16 แผนที่แบ่งค่าลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำ	82
รูปที่ 4.17 แผนที่แบ่งค่าสมบัติของดิน.....	83
รูปที่ 4.18 แผนที่แบ่งค่าความลาดชันของภูมิประเทศ	84
รูปที่ 4.19 แผนที่แบ่งค่าวัสดุเหนือชั้นน้ำบาดาล.....	85
รูปที่ 4.20 แผนที่แบ่งค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ.....	86
รูปที่ 4.21 แผนที่ความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล	87
รูปที่ 4.22 แผนที่การปนเปื้อนไนเตรทในดิน	88
รูปที่ 4.23 แผนที่ความเสี่ยงของชั้นน้ำต่อการเกิดมลภาวะ	90
รูปที่ 4.24 จุดศึกษาแบบจำลองสเปรดซิท	91
รูปที่ 4.25 ค่าความเข้มข้นไนเตรทที่ได้จาก NO ₃ -LEACHATE Model.....	92
รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นไนเตรทในน้ำบาดาลที่พบจริงและค่าความเข้มข้นไนเตรท ในน้ำบาดาลจากแบบจำลอง GWNO ₃ -FORECAST.....	93
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ค่าไนเตรทจากการสำรวจและแบบจำลอง	94
รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นไนเตรทในน้ำบาดาลที่พบจริงและค่าความเข้มข้นไนเตรท ในน้ำบาดาลจากแบบจำลอง GWNO ₃ -FORECAST.....	95
รูปที่ 4.29 ค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงไนเตรทในน้ำบาดาล	96

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	แสดงระดับความกระด้างของน้ำบาดาล.....	13
ตารางที่ 2.2	มาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค.....	16
ตารางที่ 2.3	การเปรียบเทียบค่าถ่วงน้ำหนักของพารามิเตอร์ สำหรับวิธี DRASTIC และ PDRASTIC.....	24
ตารางที่ 3.1	แสดงพารามิเตอร์ที่ศึกษาวิจัยและวิธีการวิเคราะห์	49
ตารางที่ 3.2	พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง DRASTIC	51
ตารางที่ 3.3	พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง NO ₃ -LEACHATE Model	52
ตารางที่ 3.4	พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง GWNO ₃ -FORECAST Model.....	54
ตารางที่ 4.1	แสดงชนิดน้ำบาดาลในพื้นที่ ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2	62
ตารางที่ 4.2	ข้อมูลการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ฤดูฝน	66
ตารางที่ 4.3	ข้อมูลการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ฤดูร้อน	71
ตารางที่ 4.4	จัดระดับพื้นที่ความเสี่ยง.....	79

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับในอดีต เพื่อรองรับการเพิ่มจำนวนประชากรที่มากขึ้น ทำให้เกิดการเร่งผลผลิตจากเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมให้เพียงพอกับความต้องการที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทรัพยากรที่สำคัญอย่างน้ำผิวดินไม่เพียงพอในกระบวนการเกษตรและอุตสาหกรรม จึงทำให้การใช้ทรัพยากรน้ำบาดาลเพิ่มมากขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาระดับน้ำบาดาลลดต่ำลงและการปนเปื้อนของสารเคมีทำให้คุณภาพของน้ำบาดาลต่ำลง ส่งผลให้บางพื้นที่น้ำบาดาลไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภค การปนเปื้อนของน้ำบาดาลสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุโดยอาจจะได้รับผลกระทบจากกระบวนการทางธรรมชาติหรือจากกิจกรรมของมนุษย์ (Aiuppa et al, 2003)

แนวโน้มการทำเกษตรกรรมมีการใช้ปุ๋ยและสารเคมีต่าง ๆ เพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร โดยข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร กรมวิชาการเกษตร พบว่าแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 10 พ.ศ.2550-2554 มีการกำหนดเป้าหมายที่จะลดการนำเข้าปุ๋ยและสารเคมีการเกษตรให้ไม่เกินปีละ 3.5 ล้านตัน แต่กลับปรากฏว่าในปีแรกของแผนพัฒนาฯ มีการนำเข้าเพิ่มขึ้นเป็น 4.5 ล้านตัน และเมื่อสิ้นสุดแผนพัฒนาฯ ในปี 2554 มีการนำเข้าปุ๋ยและสารเคมีการเกษตรรวม 6.3 ล้านตัน โดยในปี 2554 ได้มีปริมาณการนำเข้าปุ๋ยและสารเคมีการเกษตรเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 74 ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชนทั้งผู้บริโภคและเกษตรกรตามมา ซึ่งปุ๋ยและสารเคมีการเกษตรที่มากเกินไปนั้น จะก่อให้เกิดการสะสมของปุ๋ยและสารเคมีเกษตรในดินและทำให้แหล่งน้ำบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมมีคุณภาพเสื่อมโทรมลง (Scanlon et al, 2007) ส่งผลให้เกิดมลพิษกับแหล่งน้ำของประชาชน และส่งผลกระทบต่อคุณภาพและการใช้ประโยชน์น้ำบาดาล ซึ่งปัญหาคุณภาพน้ำบาดาลที่จะก่อให้เกิดเป็นอันตรายต่อประชาชนในพื้นที่ หากพบว่ามีการทำเกษตรมากเกินไปจึงตรวจพบความเข้มข้นของปริมาณไนเตรทและซัลเฟตในน้ำบาดาลสูงกว่าในอดีต ซึ่งสาเหตุมาจากการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นจำนวนมากในพื้นที่เกษตรกรรม (Aravena et al, 1999) (Jiang et al, 2009) จากการศึกษาของ Aiuppa และคณะ (2003) พบว่าน้ำเสียที่มาจากกระบวนการทางเกษตรกรรมและน้ำเสียจากชุมชนจะส่งผลต่อปริมาณไนเตรท ซัลเฟต แคลเซียม ฟอสเฟตและฟลูออรีน เพิ่มขึ้นในน้ำบาดาล

อีกด้วย ซึ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินและชั้นดินก็เป็นอีกสาเหตุที่ทำให้ค่าการปนเปื้อนไนเตรทในน้ำบาดาลแต่ละแห่งไม่เท่ากัน (Lockhart et al, 2013) โดยพบว่าพื้นที่ไรที่มีชั้นดินบางสามารถปล่อยไนเตรทสู่ชั้นบาดาลได้ดีที่สุด แม้แต่การทำฟาร์มหมูกีสามารถปลดปล่อยไนเตรทลงสู่ชั้นไม่อิมตัวด้วยน้ำได้ ซึ่งก่อให้เกิดเป็นแหล่งมลพิษ เพราะค่าการนำไฟฟ้าในชั้นไม่อิมตัวด้วยน้ำมีค่าสูงกว่าชั้นอิมตัวด้วยน้ำ

การศึกษาของกรีนพีซ (Tirado, 2550) เรื่องไนเตรทกับคุณภาพน้ำใต้ดินในประเทศไทย พบว่าการใช้ปุ๋ยเพื่อการเกษตรในปริมาณที่มากเกินไปมีความจำเป็น มีส่วนทำให้ไนเตรทปนเปื้อนสู่ชั้นบาดาล ซึ่งเป็นแหล่งอุปโภคบริโภคของประชาชน ผลการศึกษาพบว่าแหล่งน้ำใต้ดินบริเวณการทำเกษตรมีมลพิษจากการปนเปื้อนไนเตรทสูงมาก และสัมพันธ์กับพฤติกรรมการทำเกษตรในรูปแบบอุตสาหกรรม ที่เน้นเร่งการผลิตโดยใช้ปุ๋ยเคมีที่มากเกินไป โดยในจังหวัดสุพรรณบุรีได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลพบว่า น้ำมีค่าการปนเปื้อนเกิน 2 ตัวอย่างจากจำนวนทั้งหมด 6 และที่จังหวัดกาญจนบุรี พบว่า น้ำมีค่าการปนเปื้อนเกิน 6 ตัวอย่างจากจำนวนทั้งหมด 11 และผลการศึกษา ยังพบค่าการปนเปื้อนไนเตรทสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลกที่กำหนดให้มีได้ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งกรณีนี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการใส่ปุ๋ยปริมาณมากและการเกิดวิกฤตน้ำบาดาล

พิษของไนเตรททำให้เกิดโรค Methemoglobinemia หรือที่เรียกกันว่าโรค Blue-Baby Syndrome มักจะเกิดในเด็กทารกอายุต่ำกว่า 4 เดือน ที่ได้ดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อนไนเตรทในปริมาณสูง (Greer et al, 2005) อาการของโรค Blue-Baby Syndrome จะเกิดขึ้นจากระดับฮีโมโกลบินในกระแสเลือดมีปริมาณต่ำจึงทำให้ไม่สามารถส่งออกซิเจนได้ในปริมาณที่เพียงพอ ซึ่งทำให้ผู้ป่วยเป็นลมหมดสติและอาจถึงขั้นเสียชีวิตได้ โดยอาการดังกล่าวเกิดขึ้นเมื่อแบคทีเรียในลำไส้ได้เปลี่ยนรูปไนเตรทเป็นไนไตรท์ โดยไนไตรท์สามารถถูกดูดซับและรวมตัวกับฮีโมโกลบินเป็นเมทฮีโมโกลบิน ซึ่งส่งผลต่อการลำเลียงออกซิเจนในกระแสเลือดลดลง และหากผู้ใหญ่ได้รับไนเตรทปริมาณที่มากเกินไปก็จะเสี่ยงต่อโรคมะเร็งทางเดินอาหาร มะเร็งกระเพาะปัสสาวะ (Townsend A. R. et al, 2003)

สำหรับในพื้นที่ห้วยทรายในพระราชดำริ ครอบคลุมพื้นที่ 3 ตำบล คือ ตำบลห้วยทรายเหนือ ตำบลไร่ใหม่พัฒนา และตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี เป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่กำลังประสบปัญหาขาดแคลนน้ำผิวดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูแล้ง ดังนั้นน้ำบาดาลจึงเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับประชาชนในพื้นที่ในการนำน้ำไปใช้เพื่อการอุปโภคและการเกษตรกรรม ก่อนการนำน้ำไปใช้จะต้องทำการประเมินคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ทำการเกษตรในพื้นที่ห้วยทราย การศึกษานี้จะดำเนินการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนไนเตรทในชั้นน้ำบาดาล และการแพร่กระจายของไนเตรทในชั้น

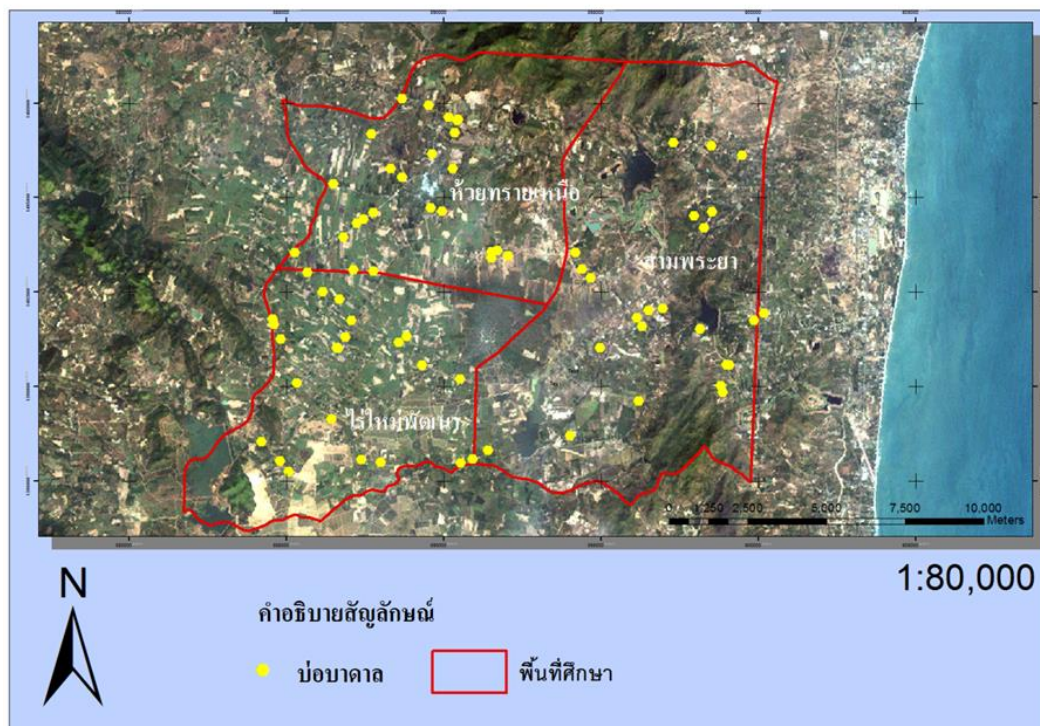
น้ำบาดาลตลอดจนอธิบายกระบวนการแพร่กระจายการปนเปื้อนของปริมาณไนเตรทในพื้นที่ห้วยทราย เพื่อเสนอแนวทางในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่ห้วยทรายต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1. เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล โดยใช้เทคนิค DRASTIC พื้นที่ห้วยทราย จังหวัดเพชรบุรี
2. เพื่อศึกษาขอบเขตและกระบวนการของการแพร่กระจายตัวของไนเตรทในชั้นน้ำบาดาล ในพื้นที่ห้วยทราย จังหวัดเพชรบุรี

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษาวิจัยภาคสนามในพื้นที่ห้วยทราย จังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุม 3 ตำบล คือ ตำบลห้วยทรายเหนือ ตำบลไร่ใหม่พัฒนา และตำบลสามพระยา รวมพื้นที่ 205 ตารางกิโลเมตร
2. เก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินใน 2 ช่วงฤดู คือ และฤดูฝน (เดือนสิงหาคม – เดือนพฤศจิกายน) พ.ศ. 2557 ฤดูร้อน (เดือนมกราคม- เดือนพฤษภาคม) พ.ศ. 2558



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อบาดาลที่ทำการเก็บข้อมูล

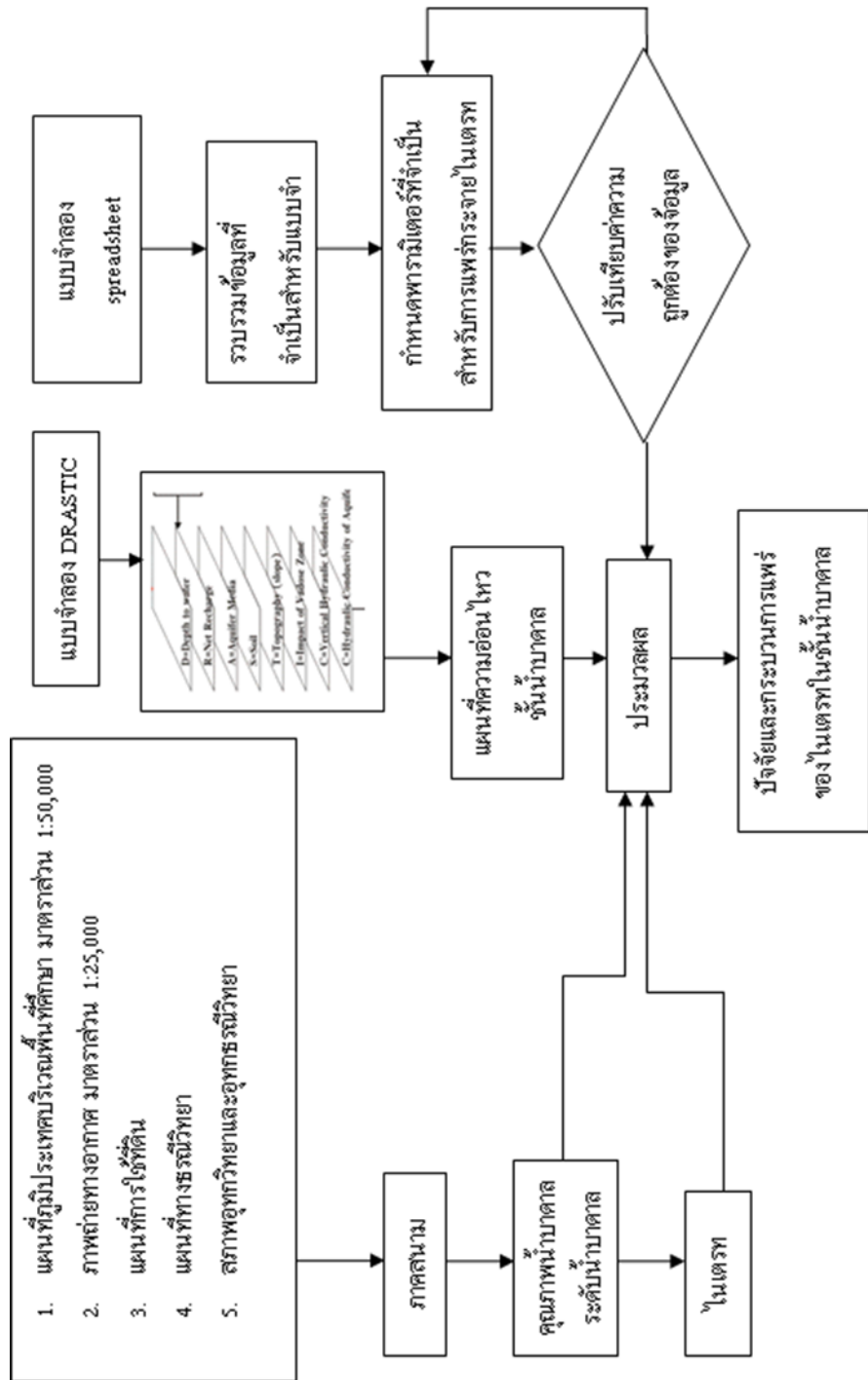
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แผนที่แสดงคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ห้วยทราย จังหวัดเพชรบุรี
2. สามารถคาดการณ์การแพร่กระจายของไนเตรทในชั้นน้ำบาดาลพื้นที่ห้วยทรายในอนาคตได้ เพื่อวางแผนป้องกันและแนวทางบำบัดการปนเปื้อนไนเตรทของชั้นน้ำบาดาล

1.5 สมมุติฐาน

การทำการเกษตรในพื้นที่ห้วยทรายสามารถส่งผลกระทบต่อกระบวนการปนเปื้อนไนเตรทบริเวณชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศูนย์การศึกษาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริและบริเวณใกล้เคียงอำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

1.6 กรอบแนวความคิด



รูปที่ 1.2 กรอบแนวความคิด

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำบาดาล

น้ำบาดาล คือน้ำที่ซึมผ่านชั้นดินสู่ด้านล่างและถูกกักเก็บไว้ในช่องว่างของชั้นดิน หรือชั้นหิน จนกระทั่งชั้นดินหรือชั้นหินอึดตัวไปด้วยน้ำ ชั้นน้ำบาดาลเป็นทรัพยากรน้ำที่มีความสะอาด ไม่มีเชื้อโรค เพราะน้ำได้ไหลซึมผ่านผิวดินลงไปลึก และชั้นดินจะกรองเอาสารที่แขวนลอยอยู่ในน้ำและเชื้อโรค ออกไปได้เกือบหมด ส่วนสารอินทรีย์บางชนิดที่ละลายอยู่ในน้ำจะถูกแบคทีเรียในดินย่อยสลายได้ เกือบทั้งหมด นอกจากนี้ชั้นน้ำบาดาลจะมีแร่ธาตุต่าง ๆ ละลายอยู่เป็นปริมาณมากเพราะได้รับแร่ธาตุ จากชั้นดินและชั้นหินที่ซึมผ่านลงมา

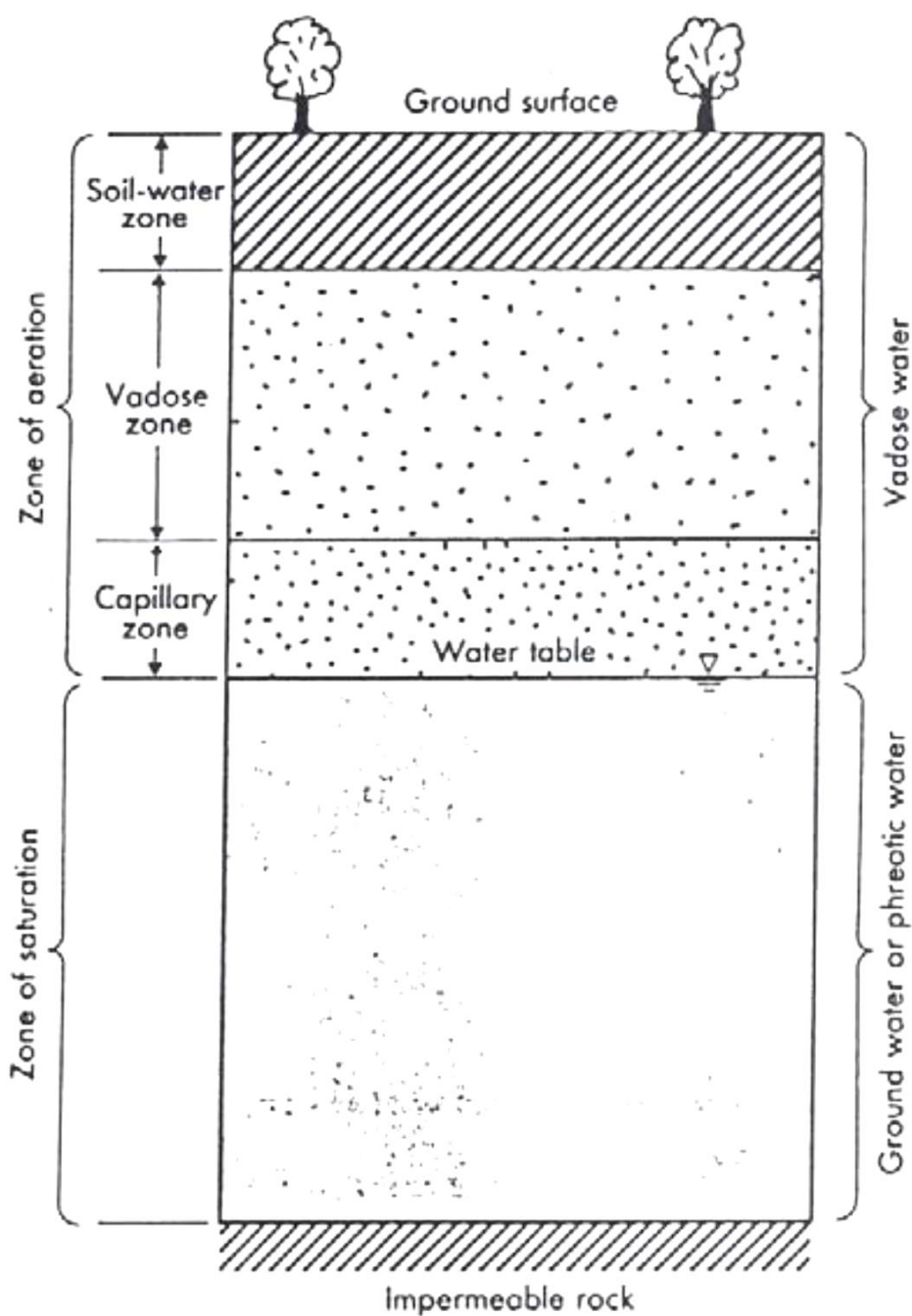
น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำสำคัญที่นำมาใช้เพื่อการอุปโภคและบริโภค ไม่ว่าจะเป็นเมืองขนาดใหญ่หรือเมืองขนาดเล็กก็ตาม โดยเฉพาะในพื้นที่แห้งแล้ง นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบในระบบอุทกวิทยาที่สำคัญ ก่อให้เกิดการไหลในแม่น้ำซึ่งส่วนหนึ่งได้มาจากน้ำบาดาลที่สะสมอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูแล้ง

2.1.1 ลักษณะของน้ำบาดาล

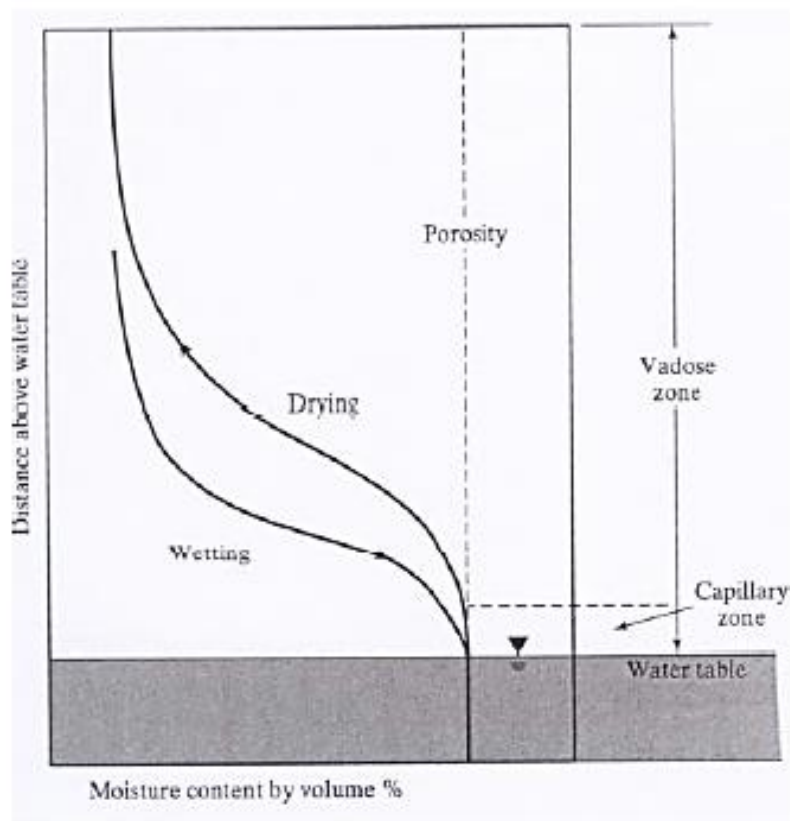
1) การกระจายในแนวตั้งของน้ำบาดาล น้ำที่อยู่ใต้ผิวดิน (subsurface water) สามารถแบ่งตามการกระจายในแนวตั้ง ได้เป็นน้ำที่อยู่ในเขตอากาศแฝง (zone of aeration) และน้ำที่อยู่ในเขตอึดตัว (zone of saturation) ดังรูปที่ 2.1

เขตอากาศแฝง คือ บริเวณชั้นดินหรือหินที่มีน้ำบรรจุอยู่ตามช่องว่าง แต่มีปริมาณไม่มากพอที่จะนำมาใช้ ปริมาณน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในเขตอากาศแฝงนี้ อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ ความชื้นในชั้นที่รากพืชสามารถแทรกลงไปถึงชั้นนี้ได้ เรียกว่า Soil-water zone ซึ่งปริมาณน้ำจะเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาตามปริมาณน้ำฝนและอัตราการซึมผ่านผิวดิน (infiltration rate) ในเขต Vadose zone ความหนาของดินชั้นนี้อาจมีค่าตั้งแต่ศูนย์ (กรณีที่ระดับน้ำบาดาลอยู่สูง) ถึงความหนาของชั้นดินที่มากกว่า 100 เมตร ในพื้นที่เขตแห้งแล้ง สำหรับเขต capillary zone นับจากระดับน้ำบาดาลขึ้นไปจนถึงเส้นสุดแรงดึงของน้ำจากสภาพแคปิลลารี (capillary rise) ซึ่งจะแปรผกผันกับขนาดช่องว่างในดิน และแปรตามขนาดแรงดึงผิวดังรูปที่ 2.2

เขตอ้อมตัว คือ บริเวณชั้นดินหรือหินที่มีน้ำเก็บกักอยู่จนเต็มช่องว่าง น้ำในชั้นหิน ส่วนนี้เรียกว่า น้ำบาดาลมีระดับผิวน้ำ เรียกว่า เส้นแสดงระดับน้ำบาดาลคือเส้นแสดงค่าความดันของน้ำใต้ผิวดินเท่ากับค่าความดันของบรรยากาศ



รูปที่ 2.1 การกระจายในแนวตั้งของน้ำบาดาล
ที่มา ดัดแปลงจาก (Thompson & Turk 1991)



รูปที่ 2.2 การกระจายในแนวตั้งของน้ำบาดาล
ที่มา ดัดแปลงจาก (Thompson & Turk 1991)

2) ลักษณะของชั้นดินอุ้มน้ำ

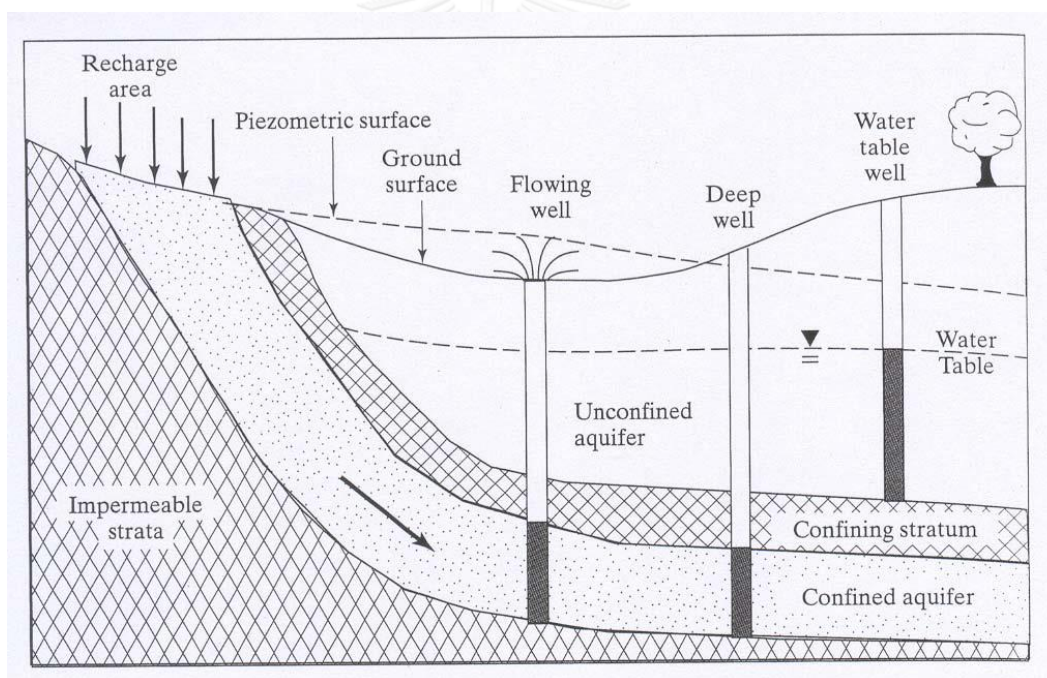
Aquifer คือ ชั้นดิน หินหรือกรวดทรายที่มีน้ำบรรจุอยู่เต็มช่องว่างและสามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งไปได้ด้วยปริมาณที่มากเกินพอ จนสามารถพัฒนาบ่อสูบมาใช้ได้โดยคุ้มกับการลงทุน

Aquiclude คือ ชั้นดินหรือหินที่มีน้ำบรรจุอยู่ภายในช่องว่าง แต่น้ำจะเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งอย่างช้า ๆ และมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะสูบไปใช้ได้

Aquifuge คือ ชั้นดินหรือหินที่มีช่องว่างไม่ต่อเนื่องกัน จึงไม่สามารถที่จะกักเก็บน้ำและไม่สามารถยอมให้น้ำเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งได้สะดวก

ถ้าพิจารณาตามลักษณะการเกิด น้ำบาดาลอาจแบ่งเป็น ชั้นน้ำบาดาลไร้แรงดัน (Unconfined aquifer) เป็นชั้นน้ำบาดาลที่ระดับน้ำบาดาลเปิด สู่ความดันบรรยากาศ ระดับน้ำจะอยู่สูงเท่ากับระดับน้ำบาดาลถ้าเราขุดบ่อบาดาล น้ำที่อยู่ใบบ่อนี้เรียกว่า water table well ดังรูปที่ 2.3

ชั้นน้ำบาดาลแบบมีแรงดัน (Confined or Artesian aquifer) คือชั้นน้ำบาดาล ที่ถูกขนาบอยู่ระหว่างชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากทั้งข้างบนและล่าง น้ำที่อยู่ภายในชั้นดินนี้จะอยู่ใต้ความดัน ดังนั้น การไหลของน้ำจะคล้ายกับการไหลภายในท่อ คือความดันของน้ำในจุดใดก็ตาม จะมีค่าเท่ากับ ความสูง ณ จุดสูงสุดที่น้ำซังอยู่ ถ้าเราขุดบ่อบาดาลจนถึงชั้นนี้ น้ำใบบ่อนี้จะซึมขึ้นถึงระดับพื้นผิวความดัน (piezometric surface) ซึ่งมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ และในบางครั้ง ถ้าหากว่าความดันของน้ำมีมากจะเกิดเป็นลักษณะน้ำพุ่งขึ้นสูงหรือเรียกกันว่า บ่อน้ำพุ



รูปที่ 2.3 รูปตัดแสดงชั้นน้ำบาดาลแบบไร้แรงดันและชั้นน้ำบาดาลแบบมีแรงดัน

ที่มา ดัดแปลงจาก (Thompson & Turk 1991)

3) การกระจายตัวของน้ำบาดาล

เมื่อฝนตกลงสู่พื้นดิน น้ำจะเกิดการไหลไปตามผิวดิน (runoff) บางส่วนเกิดการระเหย บางส่วนถูกดึงไปใช้ในกระบวนการของพืช และบางส่วนจะซึมผ่านลงไปเก็บอยู่ภายใต้ผิวดิน ซึ่งน้ำในส่วนนี้จะกลายเป็นน้ำบาดาลต่อไป ปริมาณน้ำในแต่ละส่วนไม่คงที่ขึ้นอยู่กับเวลาและสถานที่ ความลาดชันของพื้นที่ ลักษณะของพื้นผิว ความรุนแรงของฝน และชนิดของพืช ในบริเวณที่มีความชันมาก มีชั้นซึ่งน้ำซึมผ่านได้ยากรองรับอยู่ใต้ผิวดินและฝนตกหนัก ปริมาณน้ำที่ไหลไปตามผิวดินจะมีมากที่สุด ส่วนในบริเวณที่มีความชันน้อย มีชั้นที่ดูดซับน้ำได้ดีรองรับอยู่และฝนตกไม่หนัก ปริมาณน้ำที่จะซึมผ่านลงไปใต้ผิวดินจะมีปริมาณมากที่สุด

น้ำส่วนที่ซึมลงไปสู่ใต้ผิวดินนั้น บางส่วนจะถูกดูดซับไว้ด้วยอนุภาคของดินและระเหยเป็นไอ กลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศ บางส่วนยังคงอยู่ใต้ผิวดินและถูกดูดซึมโดยรากพืช น้ำส่วนที่เหลือจะไหลลงสู่ด้านล่างไปยังบริเวณกักเก็บซึ่งอยู่ระหว่างเม็ดตะกอน โดยที่ช่องว่างระหว่างเม็ดตะกอนเหล่านี้จะเต็มไปด้วยน้ำทั้งหมด ซึ่งเรียกบริเวณนี้ว่า zone of saturation และน้ำที่กักเก็บอยู่ในส่วนนี้เรียกว่า น้ำบาดาล ขอบเขตบนสุดของบริเวณนี้เรียกว่าระดับน้ำบาดาล (water table) บริเวณที่อยู่เหนือ water table ขึ้นไปซึ่งช่องว่างบางส่วนมีน้ำอยู่และบางส่วนมีอากาศอยู่เรียกว่า zone of aeration

water table ในพื้นที่จริงไม่มีลักษณะเป็นระนาบเรียบ แต่จะมีการสอดคล้องไปกับระดับภูมิประเทศในบริเวณนั้น ๆ ในบริเวณที่เป็นหนองน้ำ water table จะขนานไปกับผิวดิน ส่วนบริเวณที่เป็นทะเลสาบหรือแม่น้ำ water table ระดับจะอยู่ต่ำกว่าการไหลของน้ำบาดาลและปริมาณของน้ำที่กักเก็บได้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัสดุใต้ผิวดินขึ้นอยู่กับความพรุน (porosity) ของวัสดุ ความพรุนเป็นอัตราส่วนของช่องว่างที่มีอยู่ในวัสดุต่อปริมาตรของวัสดุนั้น

ถึงอย่างไรหินหรือตะกอนที่มีค่าความพรุนสูง น้ำอาจไม่สามารถไหลผ่านได้ ความสามารถในการไหลผ่านของน้ำในวัสดุขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ (permeability) หินหรือตะกอนที่มีช่องว่างขนาดเล็ก ความเร็วในการไหลผ่านของน้ำจะมีค่าน้อย หากว่าช่องว่างมีขนาดเล็กมาก น้ำที่ไหลผ่านช่องว่างจะถูกตรึงโดยเม็ดตะกอนดินทำให้ช่องว่างมีขนาดเล็กลงไปอีก ส่งผลให้การไหลผ่านมีค่าลดลงจากเดิม ตัวอย่างของวัสดุพวกนี้ ได้แก่ ดินเหนียว (clay) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการกักเก็บน้ำสูงแต่น้ำเคลื่อนที่ได้น้อยเรียกวัดพวกนี้ว่า aquicludes ส่วนในกรณีของวัสดุขนาดใหญ่ เช่นเม็ดทรายหรือกรวด ซึ่งมีช่องว่างขนาดใหญ่ น้ำสามารถเคลื่อนที่ผ่านได้โดยสะดวก เรียกวัดเหล่านี้ว่า aquifer

4) คุณลักษณะทางกายภาพ

คุณลักษณะทางกายภาพเป็นลักษณะทั่วๆ ไปที่สามารถสังเกตได้ เช่น ดูด้วยตา ดมกลิ่น ชิมรส แต่บางลักษณะต้องใช้เครื่องมือในการตรวจวัด ได้แก่ สี ความขุ่น

กลิ่นและรส กลิ่นของน้ำเกิดจากพวกสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ แก๊สต่างๆ ที่ละลายในน้ำ เช่น แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) น้ำเสียของโรงงานต่าง ๆ ที่มีสารพวกฟีนอล

อุณหภูมิจึงเป็นตัวการสำคัญในการช่วยเร่งปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในน้ำบาดาล แต่โดยปกติอุณหภูมิของน้ำบาดาลมักจะคงที่

สี สีของน้ำเกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ต่างๆ

ความขุ่น ความขุ่นของน้ำเกิดจากพวกสารแขวนลอยต่างๆ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาด ปริมาณ ความกระจัดกระจายของอนุภาค และคุณสมบัติการดูดซึมแสงของสารแขวนลอยเหล่านั้น

5) คุณลักษณะทางเคมี

คุณลักษณะทางเคมี เป็นคุณลักษณะของแร่ธาตุ หรือสารประกอบทางเคมีต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าต้องใช้วิธีตรวจวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ คุณลักษณะทางเคมีที่สำคัญได้แก่

ความกระด้างถาวร (noncarbonate hardness as $CaCO_3$), ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total dissolved solids), ความกระด้างทั้งหมด (Total hardness as $CaCO_3$), ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-), คาร์บอเนต (CO_3^{2-}), แคลเซียม (Ca), ซัลเฟต (SO_4^{2-}), แมกนีเซียม (Mg), คลอไรด์ (Cl^-), โซเดียม (Na), โพแทสเซียม (K), เหล็ก (Fe), แมงกานีส (Mn), ไนเตรท (NO_3^-), ทองแดง (Cu), สังกะสี (Zn)

การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity, EC) ค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดความสามารถของน้ำที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คุณสมบัตินี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของไอออนที่มีอยู่ในน้ำ ตลอดจนอุณหภูมิที่มีไอออนของสารต่าง ๆ สามารถนำไฟฟ้าได้ทั้งสิ้น ในสนามไฟฟ้ากระแสไอออนบวกจะเคลื่อนที่ไปยังอิเล็กโทรดขั้วลบ และไอออนลบจะเคลื่อนที่ไปยังอิเล็กโทรดขั้วบวก กรด ต่าง และเกลืออนินทรีย์ เช่น HCl Na_2CO_3 และ $NaCl$ เป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดีเพราะแตกตัวให้ไอออนบวกและลบ ในทางตรงข้าม สารอินทรีย์ เช่น ซูโครส และเบนซีน ไม่แตกตัวในน้ำจึงไม่นำไฟฟ้า การนำไฟฟ้าไม่ได้เป็นค่าเฉพาะไอออนตัวใดตัวหนึ่ง แต่เป็นค่ารวมของไอออนที่เกิดจากสารละลายหลายชนิด

ค่านี้จึงไม่สามารถบอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ บอกได้เพียงการเพิ่มหรือลดของไอออนที่ละลายในน้ำเท่านั้น กล่าวคือ หากค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แสดงถึงสารที่แตกตัวได้ในน้ำเพิ่มขึ้น หรือถ้าค่าการนำไฟฟ้าลดลง แสดงว่า สารที่แตกตัวได้ลดลง เป็นต้น สำหรับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติมีค่าระหว่าง 150 - 300 ไมโครโมห์ 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^- , 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 นอกจากนี้ แคลเซียมและแมกนีเซียมไอออนแล้ว ค่าความกระด้างของน้ำยังอาจเกิดจากไอออนบวกของโลหะที่มีเวเลนซี 2 ตัวอื่น ๆ เช่น เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และแมงกานีสไอออน (Mn^{2+}) ซึ่งมีปริมาณน้อยมากในน้ำตามธรรมชาติ ค่าความกระด้างที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ที่ประมาณ 20-150 มิลลิกรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร

ความกระด้าง (Hardness) ความกระด้างในน้ำเป็นผลเนื่องมาจาก Ca, Mg ที่ละลายอยู่ ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ กัน ไอออนบวกที่อาจเป็นผลทำให้เกิดความกระด้างได้มีอยู่หลายตัวด้วยกัน คือ Ca, Mg, Fe, Mn, Sr, Na ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2.1 แสดงระดับความกระด้างของน้ำบาดาล

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

ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ หมายถึง แร่ธาตุ และเกลือต่าง ๆ ทุกชนิดที่ละลายอยู่ในน้ำ ทั้งที่แตกตัวเป็นสารที่มีประจุและไม่แตกตัว เป็นค่าที่บ่งชี้คุณภาพน้ำได้อย่างคร่าว ๆ น้ำที่มีเกลือหรือแร่ธาตุละลายอยู่น้อยจะมีค่าปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำ (เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ กำหนดให้มีปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ไม่เกิน 600 มิลลิกรัมต่อลิตร)

คลอไรด์ (Cl⁻) คลอไรด์ที่อยู่ในรูปของสารประกอบโซเดียม จะทำให้น้ำมีรสกร่อย หรือเค็ม ถ้าเป็นสารประกอบของแคลเซียม และแมกนีเซียมทำให้เกิดความกระด้าง คลอไรด์ในน้ำไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายมากนักนอกจากทำให้น้ำมีรสไม่ชวนดื่ม และทำให้เกิดการกัดกร่อนในระบบท่อต่างๆ (เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้กำหนดให้มีคลอไรด์ไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร) ถ้ามีมากทำให้น้ำมีรสกร่อย ต้นกำเนิดที่สำคัญได้แก่ (ก) น้ำตกค้าง (Connate water) ของน้ำทะเล (ข) Evaporite deposits (ค) จากน้ำฝนหรือหิมะ (ง) จากบรรยากาศเช่น Volcanic gases ต้นกำเนิดที่สำคัญได้มาจากคลอไรด์ที่ถูกพัดพามาโดยน้ำฝนทั้งนี้ในน้ำทะเลเมื่อเกิดการระเหยจะได้ผลึกเกลือ (Salt nuclei) เป็นจำนวนมากมายซึ่งมีขนาดเล็กมากและถูกพัดพาขึ้นไปในบรรยากาศ ไอน้ำที่มีในบรรยากาศเมื่อเกิดการกลั่นตัวก็มักจะกลั่นตัวหรือเกาะอยู่รอบๆผลึกเกลือพวกนี้เมื่อฝนถูกพัดพาเข้ามาในแผ่นดินก็จะนำเอาคลอไรด์เข้ามาด้วยและเมื่อฝนตกลงสู่ผิวดินก็นำเอาคลอไรด์ตกลงมาด้วยพบว่าปริมาณของคลอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำฝนตามบริเวณชายฝั่งทะเลจะมีถึง 3-6 มิลลิกรัม/ลิตรและลดลงเหลือประมาณ 1 มิลลิกรัม/ลิตรเมื่อห่างจากชายฝั่งทะเลประมาณ 100 ไมล์เนื่องจากคลอไรด์เป็นพวกที่ละลายน้ำได้ง่ายและเป็นพวกที่ค่อนข้างเฉื่อย (Innert) ในการ

แลกเปลี่ยนหรือทำปฏิกิริยาดังนั้นเมื่อเข้าไปอยู่ในน้ำบาดาลแล้วก็จะอยู่อย่างนั้นโดยไม่สูญหายไปตามกระบวนการหรือกรรมวิธีทางธรรมชาติ

แมกนีเซียม (Mg) ปกติพบเป็นปริมาณน้อยกว่าแคลเซียม ทั้งนี้เนื่องจากต้นกำเนิดที่สำคัญของแมกนีเซียมซึ่งได้แก่โคโลไมต์ ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ละลายน้ำได้ช้าและยากกว่าพวกแคลไซต์นอกจากนี้ในเปลือกโลกก็จะมีปริมาณของแคลเซียมอยู่เป็นจำนวนมากกว่าแมกนีเซียม ปริมาณที่พบโดยทั่ว ๆ ไปจะอยู่ในเกณฑ์ 1-40 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้นกำเนิดตัวอื่น ๆ อาจได้แก่ โอลิวีน,ไปโอไทต์, ฮอรั่นเบลนด์,ออไรต์และไดออปไซด์

โซเดียม (Na) ในน้ำบาดาลปกติพบในเกณฑ์ประมาณ 1-20 มิลลิกรัม/ลิตรแต่อาจจะสูงถึง 100 มิลลิกรัม/ลิตรได้ ถ้าน้ำนั้นมีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูงตั้งแต่ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตรขึ้นไป ต้นกำเนิดโซเดียมที่สำคัญได้จากแพลลิจิโอเคลสเฟลด์,สปาร์เฮไลต์และแร่ดินเหนียวบางตัวในน้ำบาดาลถ้ามีโซเดียมเป็นจำนวนมากและบริโภคนั้นเป็นประจำอาจมีโทษต่อหัวใจ ไต และลำไส้ได้

โพแทสเซียม (K) มักพบเป็นปริมาณน้อยไม่เกิน 10 มิลลิกรัม/ลิตรบริเวณที่พบโพแทสเซียมปริมาณสูง ๆ มักจะเป็นบริเวณใกล้ ๆ กับที่มี Evaporite deposits เช่น ซิลไวต์ (KCl) หรือบริเวณที่มีการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมในการเกษตรกรรมหนาแน่นนอกจากนี้ต้นกำเนิดโพแทสเซียมอาจได้จากพวกออร์โทเคลสไมโครไคลน์และไปโอไทต์

2.1.2 การกำหนดมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำ

มาตรา 32 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 บัญญัติให้คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นเป้าหมายในการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมซึ่งมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม นี้จะต้องอาศัยหลักวิชาการและหลักการทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐานโดยจะต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจสังคม และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำเป็นมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมชนิดหนึ่งมีวัตถุประสงค์

1. เพื่อควบคุมและรักษาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์และมีความปลอดภัยต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน
2. เพื่ออนุรักษ์ทรัพยากรและสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษได้นำเสนอมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำ 2 ฉบับ คือ มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ

ผิวดินและมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ต่อคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่ง
 ายพณฯนายกรัฐมนตรี ในฐานะประธานคณะกรรมการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้ลงนามเมื่อวันที่
 20 มกราคม 2537

หลักการสำคัญในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำ ได้แก่การกำหนดค่ามาตรฐานเพื่อ
 รักษาคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์การจัดแบ่งลักษณะการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำ
 และการกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำ

หลักเกณฑ์ในการพิจารณากำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำ

ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่ได้จัดทำขึ้น มีหลักเกณฑ์ที่สำคัญดังนี้

1. ความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมแต่ละประเภทในกรณีแหล่งน้ำนั้นมี
 การใช้ประโยชน์หลายด้าน (Multi Purposes) โดยคำนึงถึงการใช้ประโยชน์หลักเป็นสำคัญ ทั้งนี้
 ระดับมาตรฐานจะไม่ขัดแย้งต่อการใช้ประโยชน์หลายด้านพร้อมกัน
2. สถานการณ์คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำหลักของประเทศและแนวโน้มของคุณภาพน้ำที่อาจมี
 การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการพัฒนาในด้านต่างๆ ในอนาคต
3. คำนึงถึงสุขภาพและความปลอดภัยของชีวิตมนุษย์และสัตว์น้ำส่วนใหญ่
4. ความรู้สึกพึงพอใจในการยอมรับระดับคุณภาพน้ำในเขตต่าง ๆ ของประชาชนในพื้นที่ลุ่ม
 น้ำหลักและของประชาชนส่วนใหญ่

อย่างไรก็ตามการปรับปรุงค่ามาตรฐานในอนาคตจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสม
 ของระดับการลงทุนและภาวะทางเศรษฐกิจในพื้นที่ลุ่มน้ำที่อยู่ในแผนการพัฒนาลดจนความเป็นไป
 ได้ในเทคโนโลยีในการบำบัดของเสียและสารพิษจากแหล่งกำเนิดของเสียซึ่งได้แก่ กิจกรรมที่เกิดขึ้น
 จากการวางแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วย

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
	13.ความกระด้างถาวร (Non carbonate hardness as CaCO ₃)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 200	250

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค				
คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
	14.ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total dissolved solids)	มก./ล.	ไม่เกินกว่า 600	1,200
สารพิษ	15.สารหนู (As)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.05
	16.ไซยาไนด์ (CN)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.1
	17.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.05
	19.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	ต้องไม่มีเลย	0.01

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

2.2 สภาพธรณีวิทยา

ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดเพชรบุรี พบมี 3 ลักษณะ ประกอบด้วย ภูเขาและที่ราบสูงทางตะวันตก ที่ราบลุ่มแม่น้ำ และที่ราบฝั่งทะเล ภูเขาและที่ราบสูงทางตะวันตก พบในอำเภอแก่งกระจาน อำเภอหนองหญ้าปล้อง ด้านตะวันตกติดกับประเทศสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์ เป็นบริเวณที่สูงชันที่สุดของจังหวัด พื้นที่ถัดมาจากบริเวณนี้จะค่อย ๆ ลาดต่ำมาทางทิศตะวันออก มีเทือกเขาเป็นเขตแนวลักษณะยาวจากเหนือมาได้และเป็นสันกั้นน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งต้นแม่น้ำเพชรบุรีและแม่น้ำปราณบุรี ที่ราบลุ่มแม่น้ำเป็นพื้นที่ราบสามารถทำการเพาะปลูกได้ดี

ลักษณะทางธรณีวิทยาของจังหวัดเพชรบุรีพบว่า ร้อยละ 65 เป็นหินแข็งจำพวกหินชั้น และหินแปร ร้อยละ 10 เป็นหินอัคนี และร้อยละ 25 เป็นตะกอน ปัจจุบันสามารถจำแนกย่อยเป็นหินชั้นและหินแปร 4 หน่วยหิน หินอัคนี 2 หน่วยหิน และตะกอนร่วน 10 หน่วยตะกอน

หินชั้น เกิดจากการสะสมตัวและการตกตะกอนทับถมกันของเศษหิน ดิน ทราย ที่แตกหลุดหรือถูกชะละลายออกมาจากหินเดิมโดยตัวการตามธรรมชาติ เช่น น้ำ ลม ธารน้ำแข็ง น้ำทะเล พัดพา

ตะกอนมาทับถมในแอ่งสะสมตัว ตะกอนที่สะสมตัวมากขึ้นมีการกดทับอัดตัวกันแน่น และมีการเชื่อมประสานและกลายเป็นหินในที่สุด หินตะกอนบางประเภทเกิดจากการตกตะกอนโดยปฏิกิริยาทางเคมี เช่น หินปูน หินโดโลไมต์

หินแปร เป็นหินที่เกิดจากการแปรสภาพของหินเดิมซึ่งอาจแปรสภาพมาจากหินชั้น หินอัคนี หรือหินแปรเอง ภายใต้อิทธิพลของความร้อน ความดัน หรือทั้งสองอย่าง กระบวนการแปรสภาพอาจทำให้เกิดการเรียงตัวของเม็ดแร่หรือเกิดแร่ใหม่ขึ้นลำดับชั้นของตะกอน หินตะกอน และหินอัคนี ที่พบในพื้นที่ศึกษา เรียงอายุจากเก่าก่อนได้ ดังนี้

ตะกอนและหินตะกอน

2.2.1 ยุคทีโวเนียนถึงไซลูเรียน (SD)

ประกอบด้วยหินทรายเนื้อควอร์ต หินทรายเนื้อดิน สีน้ำตาล เทา และน้ำตาลแกมแดง เนื้อละเอียดถึงหยาบ เม็ดกึ่งกลม การคัดขนาดดี สลับด้วยหินดินดานและหินทรายแป้ง บางแห่งถูกแปรสภาพเป็นหินควอร์ตไซต์ หินฟิลไลต์ และหินชนวน ชั้นหินเชิร์ต พบซากดึกดำบรรพ์จำพวก เทนตะคิวไลต์ โดยมีอายุประมาณ 360-438 ล้านปี พบกระจายตัวบริเวณทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของจังหวัดเพชรบุรีครอบคลุมบริเวณตำบลห้วยทรายเหนือ

2.2.2 หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส หมวดหินเขาเจ้า (CPkc)

จัดอยู่ในกลุ่มหินแก่งกระจาน ประกอบด้วยหินทรายอาร์โคส สีขาวถึงสีน้ำตาลแกมเหลือง เนื้อละเอียดมากถึงปานกลาง การคัดขนาดปานกลางถึงดี ไม่แสดงชั้น และเป็นแถบชั้นบาง หินโคลนสีขาวยี่เทาปานกลาง เนื้อละเอียดมากถึงละเอียด การคัดขนาดดี ชั้นบางและเป็นแถบชั้นบาง เม็ดแร่มีเหลี่ยม พบซากดึกดำบรรพ์จำพวก หอยตะเกียง พลัปลิงทะเล และไบรโอซัว พบกระจายตัวบริเวณทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา

2.2.3 ตะกอนควอเทอร์นารี หมายถึง กรวด ทราย ดิน และดินเหนียว ที่ยังไม่แข็งตัว กลายเป็นหิน อายุประมาณ 1.8 ล้านปีก่อน-ปัจจุบัน ตะกอนควอเทอร์นารีพบตามภูมิประเทศที่เป็นที่ลาดเชิงเขา ที่ลาดลอนคลื่น และที่ราบลุ่มแม่น้ำ สามารถจำแนกเขตตะกอนร่วนในพื้นที่ทำการศึกษ ได้ 2 หน่วยตะกอน คือ

1) ตะกอนน้ำพายุควอเทอร์นารี (Q_a) ประกอบด้วยกรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว พบบริเวณตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา

2) ตะกอนตะกั่วค้ำน้ำยุคควอเทอร์นารี (Q_1) ประกอบด้วยกรวดและทราย ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ในพื้นที่

หินอัคนี

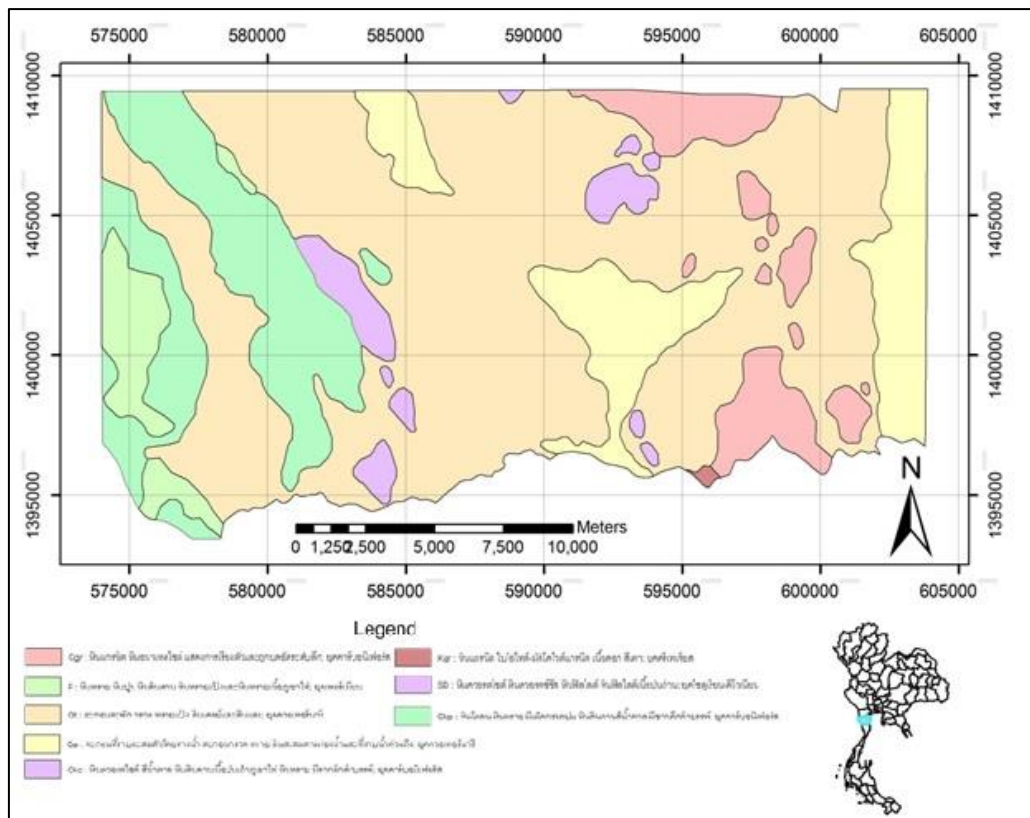
หินอัคนีแบ่งตามลักษณะการเกิดได้ 2 ชนิด คือ 1. หินอัคนีแทรกซ้อน ซึ่งเป็นหินอัคนีที่เกิดอยู่ในระดับลึกโดยการตกผลึกจากหินหนืด มีลักษณะเนื้อหยาบหรือค่อนข้างหยาบ (เม็ดแร่มีขนาดตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรขึ้นไป) ที่รู้จักกันดีก็คือหินแกรนิต ซึ่งมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับการกำเนิดแร่เศรษฐกิจหลายชนิดเช่น แร่ดีบุก วุลแฟรม ฟลูออไรด์ และแบไรต์ หินแกรนิตมีความแข็งแกร่งสามารถนำมาใช้เป็นหินประดับได้และ 2. หินภูเขาไฟ เป็นหินที่เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟที่พุ่งขึ้นมาเย็นตัวบนผิวโลก มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับแร่ทองคำ ทองแดง และแร่โลหะหลายชนิด ดินที่พุดังมาจากหินภูเขาไฟจะอุดมสมบูรณ์ด้วยแร่ธาตุที่จำเป็นต่อพืชจึงเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเกษตรกรรมมาก

2.2.4 หินแกรนิตยุคคาร์บอนิเฟอร์รัส (C_{gr})

เป็นหินแกรนิตเนื้อปานกลางถึงหยาบ พบการเรียงตัวของแร่กลุ่มเฟลสปาร์ผลึกใหญ่ค่อนข้างดี พบตั้งแต่บริเวณตอนกลางถึงทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา

2.2.5 หินแกรนิตยุคครีเตเชียส (K_{gr})

หินแกรนิตสีจาง เนื้อปานกลางถึงหยาบ ส่วนมากเนื้อสม่ำเสมอ และหินแอฟลด์แกรนิต เนื้อละเอียดถึงปานกลาง พบเล็กน้อยบริเวณทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 2.4 แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

ที่มา (กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

2.3 สภาพอุทกธรณีวิทยา

ในพื้นที่ศึกษามีลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาที่สำคัญซึ่งแบ่งตามชนิดหินออกได้เป็น 3 หน่วยหลักดังต่อไปนี้คือ

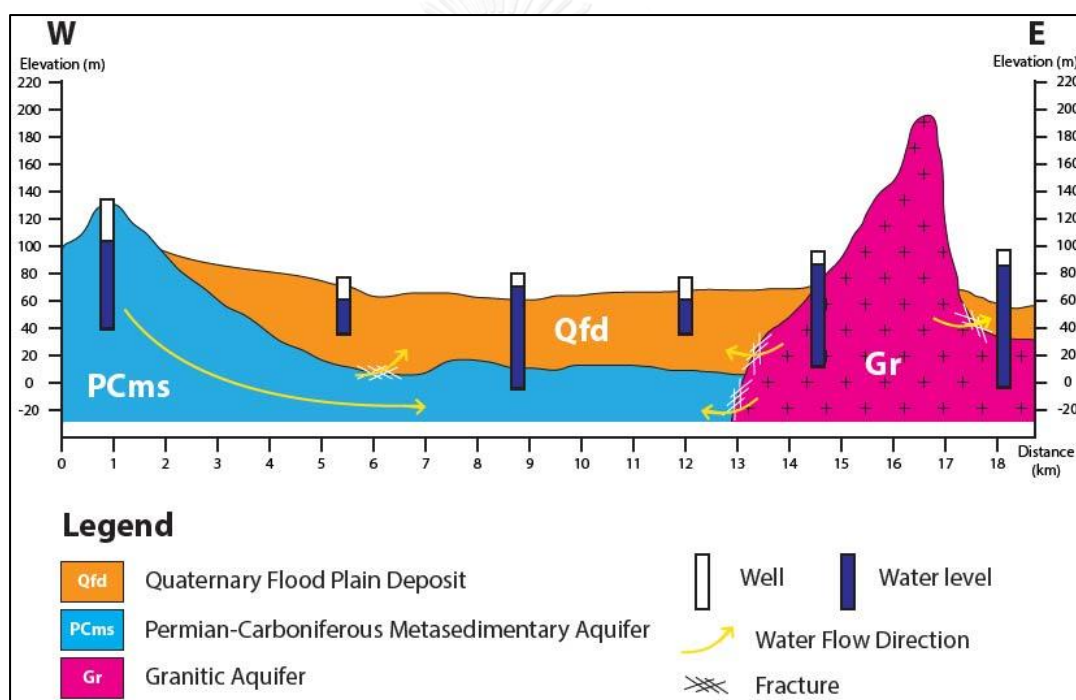
2.3.1 ชั้นน้ำที่ราบลุ่มน้ำหลากและตะกอนเชิงเขา (Floodplain Deposit aquifer, Qfd)

เป็นชั้นน้ำบาดาลชั้นบนสุด ประกอบด้วยตะกอนน้ำพาจำพวกกรวด ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว น้ำบาดาลจะถูกกักเก็บอยู่ในช่องว่างของเม็ดตะกอน ความลึกของชั้นน้ำบาดาลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.5 ถึง 4.5 เมตร มีความหนาของชั้นน้ำอยู่ที่ 30 ถึง 40 เมตร คุณภาพน้ำบาดาลอยู่ในระดับปานกลาง สามารถให้น้ำได้ 2 ถึง 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

2.3.2 ชั้นน้ำหินชั้นกึ่งหินแปรอายุเพอร์เมียน-คาร์บอนิเฟอรัส (Permo-Carboniferous metasedimentary aquifer, PCms) วางตัวอยู่ด้านล่าง (Floodplain deposit aquifer)

ประกอบด้วยหินทรายควอร์ต หินดินดานกึ่งหินฟิลไลต์และกึ่งหินชนวน พบน้ำบาดาลบริเวณรอยต่อ รอยเลื่อน และรอยแตกของชั้นหิน ความลึกของชั้นน้ำบาดาลเฉลี่ย 30 ถึง 40 เมตร ความหนา โดยประมาณ 100 เมตร พบปริมาณเหล็กสูงเกินกว่ามาตรฐาน (1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปริมาณการให้น้ำ 2 ถึง 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

2.3.3 ชั้นน้ำหินแกรนิตอายุครีเตเชียส (Cretaceous granitic aquifer, Gr) แทรกตัวอยู่ระหว่างชั้นน้ำทั้งสองชั้นแรก จะพบทางบริเวณตะวันออกของพื้นที่ (ตำบลสามพระยา) เป็นส่วนใหญ่ ประกอบไปด้วยหินแกรนิต ที่มีแร่ไบโอไทต์ ฮอร์นเบลนด์ มัสโคไวต์ และทัวร์มาลีน เป็นส่วนประกอบ ผลึกเนื้อขนาดเท่ากัน น้ำบาดาลจะอยู่ในรอยแตก รอยแยก และชั้นหินผุ ความลึกของชั้นน้ำบาดาลเฉลี่ย 2.5 ถึง 4.5 เมตร ส่วนใหญ่จะมีปริมาณน้ำน้อย เพราะรอยแตกที่ไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 2.5 แผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

ที่มา อธิญาณ วลีอิทธิกุล (พ.ศ. 2556)

2.4 ความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะ

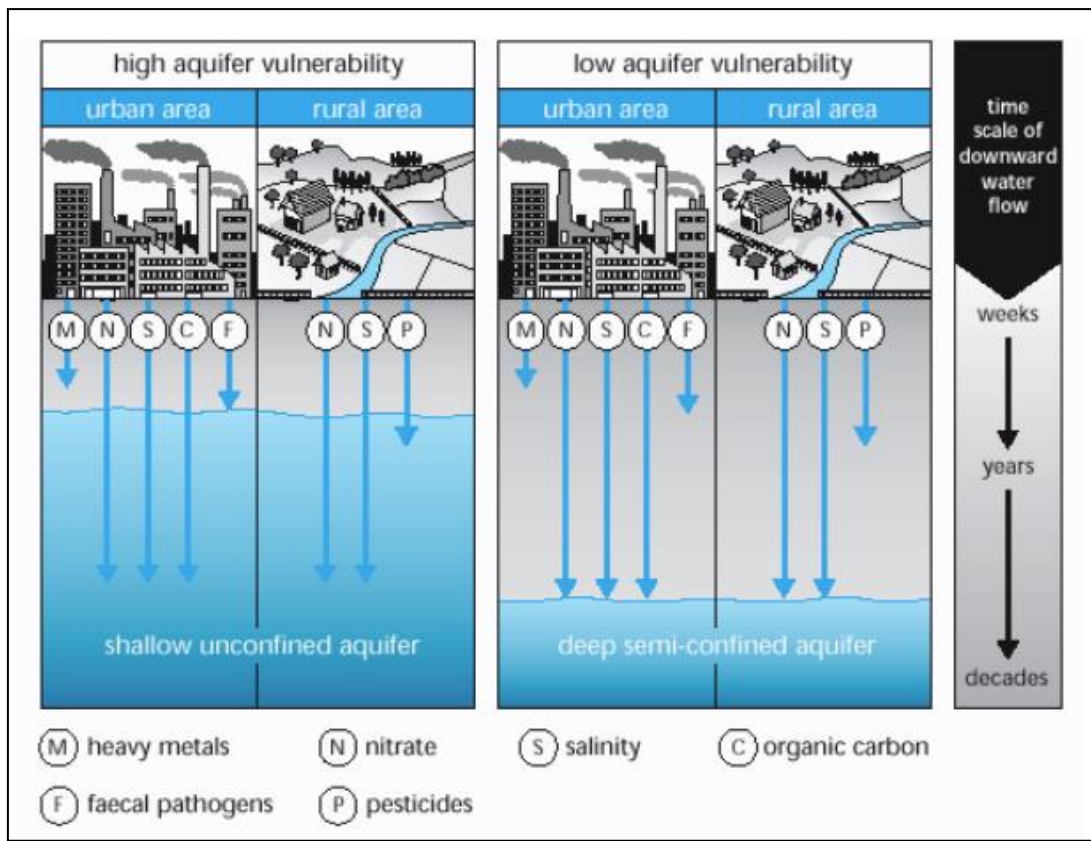
สำหรับการประเมินความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะ จะใช้วิธี DRASTIC เป็นวิธีการประเมินความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาล ซึ่งถูกพัฒนาให้กับ U.S. Environmental Protection Agency (1985) วิธีการนี้พิจารณาจากข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยา 7 ปัจจัยกำหนด อันได้แก่ ความลึกของระดับน้ำบาดาล Depth to Groundwater table (D), อัตราการเพิ่มน้ำ Net

Recharge (R), ชั้นดินอุ้มน้ำ Aquifer Media (A), ประเภทของดิน Soil Media (S), ลักษณะภูมิประเทศ Topography (T), ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ Impact of Vadose Zone Media (I) และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของชั้นหินอุ้มน้ำ Hydraulic Conductivity of the Aquifer (C) ผลจากการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยกำหนดจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงๆ และให้ค่าของแต่ละช่วงเป็นค่าคะแนน (Rating) ตั้งแต่ 1 ถึง 10 หลังจากนั้นนำค่าคะแนนที่ได้มาคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 5

การพิจารณาความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาล ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า สภาพแวดล้อมทางกายภาพเป็นการป้องกันผลกระทบจากมนุษย์และธรรมชาติได้ในระดับหนึ่งโดยเฉพาะป้องกันน้ำบาดาลจากมลสารที่จะเข้ามาสู่สภาพแวดล้อมใต้ดินหรือชั้นน้ำบาดาล โดยวัสดุต่าง ๆ เช่น ดิน หิน จะทำหน้าที่เป็นตัวกรองตามธรรมชาติที่สามารถกรองมลสารที่ปนเปื้อนมากับน้ำผิวดิน ซึมลงมายังชั้นใต้ดิน ในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวสามารถทำให้น้ำนั้นสะอาดขึ้นได้ในระดับหนึ่ง จากสมมติฐานดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าชั้นน้ำบาดาลทั้งหมดมีความอ่อนไหวจากการปนเปื้อนมลสารโดยชั้นน้ำบาดาลในแต่ละพื้นที่จะมีระดับความอ่อนไหวที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพต่างๆ ได้แก่

- ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาเช่น ลักษณะของดิน ชั้นน้ำไม่อิ่มตัว ชนิดของชั้นน้ำบาดาล และความลึกของระดับน้ำบาดาลจากผิวดิน
- ระบบการไหลของน้ำบาดาลเช่น ทิศทางและความเร็วในการไหลของน้ำบาดาลลักษณะทางภูมิประเทศ
- สภาพอากาศ เช่น ปริมาณการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล ตัวอย่างความแตกต่างของความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ที่มีลักษณะทางกายภาพของสภาพแวดล้อมใต้ผิวดินแตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 2.6

จากการที่ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยดังที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นการประเมินความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลจึงมีวิธีการที่หลากหลาย อย่างไรก็ตาม การประเมินความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลไม่ว่าจะวิธีใดก็ตาม การแสดงผลจะออกมาในลักษณะเดียวกันหมด คือแสดงผลในรูปแบบที่ความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาล ซึ่งเป็นแผนที่ที่แสดงถึงความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาล หรือความสามารถในการปกป้องน้ำบาดาลจากมลสารของแต่ละพื้นที่ในเชิงเปรียบเทียบเฉพาะในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 2.6 ความแตกต่างกันของความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ต่างกัน

ที่มา Foster และคณะ 2002

Pesticide DRASTIC (PDRASTIC) เป็นวิธีการประเมินความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ที่เกิดจากกิจกรรมการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ถูกนำมาใช้ในกรณีที่มีความสนใจศักยภาพการปนเปื้อนจากสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชเป็นกรณีพิเศษ สำหรับ DRASTIC และ PDRASTIC มีความแตกต่างกันตรงการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting) ให้แต่ละพารามิเตอร์สำหรับการให้ค่าคะแนนและช่วงคะแนน (Rating) จะไม่มีความแตกต่าง

ค่าดัชนี DRASTIC และ PDRASTIC จะแสดงถึงระดับความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลในแต่ละพื้นที่ โดยค่าถ่วงน้ำหนักของพารามิเตอร์ที่ถือได้ว่ามีความสำคัญต่อความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาล โดยค่าที่มากที่สุด คือ 5 และค่าถ่วงน้ำหนักของพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อความอ่อนไหวน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 1 โดยการแบ่งช่วงค่าของพารามิเตอร์จะแสดงในหัวข้อวิธีการวิเคราะห์ของแต่ละพารามิเตอร์

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบค่าถ่วงน้ำหนักของพารามิเตอร์ สำหรับวิธี DRASTIC และ PDRASTIC

พารามิเตอร์ทางอุทกธรณีวิทยา	ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting Factor)	
	DRASTIC	PDRASTIC
Depth to Groundwater table (D)	5	5
Net Recharge (R)	4	4
Aquifer Media (A)	3	3
Soil Media (S)	2	5
Topography (T)	1	3
Impact of Vadose Zone Media (I)	5	4
Hydraulic Conductivity of the Aquifer (C)	3	2

ที่มา Foster และคณะ 2002

2.4.1 ความลึกของระดับน้ำบาดาล (Depth to Groundwater table: D)

ความลึกของระดับน้ำบาดาลเป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งแสดงถึงระยะทางที่มลสารเดินทางจากผิวดินไปสู่ระดับชั้นน้ำบาดาลโดยทั่วไปแล้วมลสารจะใช้เวลาลงไปสู่ระดับน้ำบาดาลตามระยะทาง หรือความลึกของตัวกลาง การคำนวณหาความลึกของระดับน้ำ พิจารณาจากชนิดของชั้นน้ำบาดาล กล่าวคือ ถ้าเป็นชั้นน้ำมีแรงดันความลึกของระดับน้ำบาดาลจะเท่ากับระยะทางจากผิวดินถึงขอบเขตด้านบนของชั้นน้ำ ส่วนกรณีของชั้นน้ำไม่มีแรงดันค่าความลึกของระดับน้ำจะเท่ากับระยะทางจากผิวดินถึงระดับน้ำ

2.4.2 อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Net Recharge: R)

อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล แสดงถึงปริมาณน้ำในการเป็นตัวทำละลายและนำมลสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาลนอกจากนั้นยังเป็นปัจจัยกำหนดปริมาณน้ำที่ซึมไปเพื่อเจือจางมลสารต่างๆ ลงไปยังชั้นเหนือระดับน้ำบาดาลและลงไปยังชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยทั่วไปแล้ว ถ้าปริมาณการซึมมาก ศักยภาพในการเกิดมลภาวะในน้ำบาดาลก็มากขึ้นเช่นกัน

2.4.3 ลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer Media: A)

ลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer Media: A) พิจารณาจากวัสดุว่าเป็นตะกอนร่วนหรือหินแข็งซึ่งในชั้นน้ำบาดาลที่เป็นหินแข็ง อัตราการซึมผ่านของน้ำขึ้นอยู่กับรอยแตกหรือรอยเลื่อนของหิน ถ้าชั้นน้ำบาดาลที่เป็นหินแข็งมีรอยแตกหรือรอยเลื่อนมากความสามารถในการซึมผ่านได้ของน้ำบาดาลก็มากด้วย นั่นคือความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลก็มากขึ้นด้วย ส่วนชั้นน้ำบาดาลที่เป็นตะกอนร่วน (Unconsolidated aquifer) อัตราการซึมผ่านของน้ำ ขึ้นอยู่กับการเรียงตัวของเม็ดตะกอนที่ประกอบเป็นชั้นน้ำ

2.4.4 สมบัติของดิน (Soil Media: S)

ดิน คือ วัสดุที่อยู่ชั้นบนสุดของผิวดินที่มีการกักกรอง โดยเฉลี่ยดินมีความลึกไม่เกิน 1.8 เมตรจากผิวดิน ดินมีผลต่อปริมาณน้ำที่สามารถซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลเป็นอย่างมากโดยทั่วไปแล้วดินที่มีความสามารถในการหดตัวหรือพองตัวน้อยกว่าและอนุภาคดินเล็กกว่ามวลสารสามารถเคลื่อนที่ผ่านชั้นดินนั้นลงสู่ระดับน้ำบาดาลได้ยากกว่าดินที่มีความสามารถในการหดหรือพองตัวมากกว่าและอนุภาคขนาดใหญ่

2.4.5 ค่าความลาดชันของภูมิประเทศ (Topography: T)

ข้อมูลภูมิประเทศแสดงถึงความลาดชันของพื้นที่ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นไปได้ที่มวลสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ถ้าพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่ที่มีการไหลของน้ำทำให้น้อยโอกาสที่มวลสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ก็มากขึ้น ในทางตรงข้ามพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง น้ำท่าไหลจากพื้นที่เร็วกว่าทำให้โอกาสที่มวลสารสัมผัสผิวดินและลงสู่ชั้นน้ำบาดาลมีน้อยลง

2.4.6 สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (Impact of vadose Zone: I)

ความสำคัญชั้นน้ำบาดาลมีผลต่อการกระจายของการปนเปื้อนได้อย่างชัดเจน เมื่อมวลสารปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในปริมาณใดหรือทิศทางใด จะถูกควบคุมโดยลักษณะของชั้นดินและชั้นหินในชั้นน้ำบาดาลดังนั้น การวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวจำเป็นต้องมีการพิจารณาส่วนประกอบของชั้นน้ำบาดาล อย่างละเอียด

นิยามของบริเวณชั้นน้ำบาดาล คือ บริเวณที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาลทั้งหมด อาจเป็นบริเวณที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำหรือมีความอิ่มตัวอยู่บ้างแต่ไม่ต่อเนื่องกัน ตัวกลางของ คือ ตะกอนกรวดทรายและเศษหินทุกชนิดที่อยู่ใต้ชั้นดินและอยู่เหนือระดับน้ำบาดาลขึ้นไป ชนิดตัวกลางของชั้นน้ำบาดาลนั้นเป็นดัชนีบ่งชี้ความสามารถในการลดความรุนแรงของมวลสารที่กระจายลงไปสู่ชั้นน้ำบาดาล

กระบวนการลดความรุนแรงอาจเกิดขึ้นภายในบริเวณชั้นน้ำบาดาลนี้ ได้แก่ การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) กระบวนการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของสารปนเปื้อนให้เข้าสู่สมดุล การกรอง (Mechanical Filtration) ปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Reaction) การระเหย และการแพร่ของมลสาร (volatization and dispersion) ทั้งนี้ความรุนแรงทางชีวภาพและการระเหยนั้นจะลดลงเมื่อความลึกของชั้นน้ำบาดาลเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ตัวกลางของชั้นน้ำบาดาลยังเป็นตัวควบคุมระยะและทิศทางการเคลื่อนที่ของมลสารทั้งยังส่งผลกระทบต่อระยะเวลาและปริมาณของมลสารที่คงค้างอยู่ในตัวกลาง อันเป็นตัวแปรสำคัญที่ควบคุมประสิทธิภาพของการลดสารปนเปื้อนทางชีวภาพ

ทิศทางในการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในเบื้องต้นนั้น ถูกกำหนดโดยปัจจัยกายภาพที่สำคัญในชั้นน้ำบาดาลเช่น รอยแตกและรอยแยกที่ปรากฏในตัวกลางชั้นน้ำบาดาลหรือชั้นดินเหนียวหรือหินเนื้อแน่นที่มีค่าการซึมผ่านได้ต่ำมาแทรกสลับอยู่ รวมทั้งต้องคำนึงปัจจัยภายนอกที่เข้ามาเปลี่ยนแปลงและมีผลต่อตัวกลางชั้นน้ำบาดาลเช่น การตอกเสาเข็ม การหล่อฐานรากซีเมนต์ต่อหม้อสำหรับสิ่งปลูกสร้าง ฯลฯ ที่อาจส่งผลกระทบต่อทิศทางการแพร่กระจายของมลสาร

2.4.7 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ (Hydraulic Conductivity of the Aquifer: C)

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ แสดงถึงความสามารถในการยอมให้น้ำไหลซึมผ่านวัสดุชั้นน้ำในแนวราบ (Horizontal hydraulic conductivity) ซึ่งความสามารถนี้เป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของน้ำบาดาลภายใต้ความแตกต่างของแรงดันน้ำ อัตราการไหลของน้ำบาดาลส่งผลโดยตรงกับอัตราการเคลื่อนที่ของมลสารให้กระจายออกไปเร็วหรือช้าจากจุดที่มลสารนั้นไหลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล เมื่อชั้นน้ำบาดาลปนเปื้อนด้วยมลสารจะแพร่กระจายไปได้เร็วหรือช้าจึงขึ้นอยู่กับค่าสภาพนำทางชลศาสตร์ดังกล่าว ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำมีค่ามาก มลสารก็แพร่กระจายไปได้เร็วซึ่งแสดงถึงความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนของมลสารนั้นมากขึ้นไปอีก

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ ขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญทางธรณีวิทยากายภาพ คือ ปริมาณของช่องว่างภายในชั้นหินอุ้มน้ำและความต่อเนื่องของช่องว่างเหล่านั้น ช่องว่างในหินอุ้มน้ำเหล่านี้ คือ รูพรุนและขนาดของเม็ดตะกอนในชั้นน้ำบาดาล ซึ่งสามารถประเมินค่าได้ในรูปของความพรุน (Porosity) โดยน้ำสามารถเคลื่อนที่ไประหว่างเม็ดแร่ในหิน หรือรอยแตกหรือรอยแยกหรือรอยต่อระหว่างระนาบชั้นหิน

2.5 แหล่งที่มาของมลสารเกษตรกรรม

2.5.1 การใช้ปุ๋ยแต่ละชนิด

ปุ๋ย คือ สารอนินทรีย์ หรือสารอินทรีย์ ซึ่งมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช สารนี้จะมาจากธรรมชาติหรือเป็นสารสังเคราะห์ก็ได้ โดยทั่วไปแบ่งปุ๋ยได้เป็น 2 ประเภท คือ ปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer) และปุ๋ยเคมี (chemical fertilizer)

1.) ปุ๋ยอินทรีย์ เป็นปุ๋ยที่เกิดจากการนำซากสิ่งมีชีวิตใส่ลงในดินเพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน ซึ่งเป็นการบำรุงทั้งทางเคมีและทางกายภาพ โดยทางเคมีซากสิ่งมีชีวิตจะสลายตัวและปลดปล่อยสารอาหารออกมาให้รากพืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ส่วนทางด้านกายภาพทำให้ดินร่วนซุย ทำให้พืชสามารถดูดน้ำได้ดีขึ้น แต่มีข้อเสียคือมีธาตุอาหารต่ำ ปริมาณและสัดส่วนไม่แน่นอน ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการเกษตรมีหลายชนิด ได้แก่

- ปุ๋ยคอก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มาจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์เลี้ยงเช่น โค กระบือ ฯลฯ โดยอาจจะใช้ในรูปปุ๋ยคอกแบบสดแบบแห้งหรือนำไปหมักให้เกิดการย่อยสลายก่อนแล้วค่อยนำไปใช้ก็ได้ซึ่งต้องคำนึงถึงชนิดของดินและพืชที่ปลูกด้วยโดยเฉพาะการใช้แบบสดอาจทำให้เกิดความร้อนและมีการดึงธาตุอาหารบางตัวไปใช้ในการย่อยสลายมูลสัตว์ ซึ่งอาจจะทำให้พืชเหี่ยวตายได้ การใช้ปุ๋ยคอกนั้นนอกจากจะมีประโยชน์ในการช่วยเพิ่มธาตุอาหารพืชในดินแล้วยังช่วยทำให้ดินโปร่งและร่วนซุย ทำให้การเตรียมดินง่าย การตั้งตัวของต้นกล้าเร็วทำให้มีโอกาสรอดได้มากด้วย โดยปุ๋ยคอกจะมีธาตุไนโตรเจนประมาณ 0.5% N ฟอสฟอรัส 0.25% P_2O_5 และโพแทสเซียม 0.5% K_2O

- ปุ๋ยหมัก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ซึ่งได้จากการนำขึ้น ส่วนของพืชวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น หญ้าแห้ง ชังข้าวโพดกากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล และแกลบจากโรงสีข้าว ขี้เลื่อยจากโรงงานแปรรูปไม้ เป็นต้น นำมาหมักในรูปของการกองซ้อนกันบนพื้นดิน หรืออยู่ในหลุมเพื่อให้ผ่านกระบวนการย่อยสลายให้เน่าเปื่อยเสียก่อน โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์จนกระทั่งได้สารอินทรีย์วัตถุที่มีความคงทน ซึ่งจะปรับปรุงดินให้มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ดีขึ้นและปลูกพืชเจริญงอกงามมากขึ้น

- ปุ๋ยพืชสด เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการปลูกพืชบำรุงดินซึ่งได้แก่พืชตระกูลถั่วต่าง ๆ แล้วทำการไถกลบเมื่อพืชเจริญเติบโตมากที่สุด ซึ่งเป็นช่วงที่กำลังออกดอก พืชตระกูลถั่วที่ควรใช้เป็นปุ๋ยพืชสดควรมีอายุสั้น มีระบบรากลึก ทนแล้ง ทนโรคและแมลงได้ดีเป็นพืชที่ปลูกง่าย และมีเมล็ดมาก ตัวอย่างพืชเหล่านี้ ได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วเขียว และโสน เป็นต้น ปุ๋ยพวกนี้เป็นปุ๋ยที่ได้มาจากการผลิต หรือสังเคราะห์ทางอุตสาหกรรมจากแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ได้ตามธรรมชาติ หรือเป็นผลพลอยได้ของโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด

2.) ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์ เป็นปุ๋ยที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นมาจากสารอนินทรีย์ต่าง ๆ ที่เป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการ ซึ่งในที่นี้ก็คือธาตุอาหาร N-P-K โดยจะมีกรรมวิธีและกระบวนการผลิตที่จะปรุงแต่งสัดส่วนของธาตุอาหารหลักแต่ละตัวไปตามความชนิดและช่วงอายุของพืชทั่วไปจะเรียกกันว่า “สูตรปุ๋ย” ซึ่งความหมายของสูตรปุ๋ยจะหมายถึงสัดส่วนของธาตุอาหารหลักแต่ละตัวที่มีอยู่ในเนื้อปุ๋ย

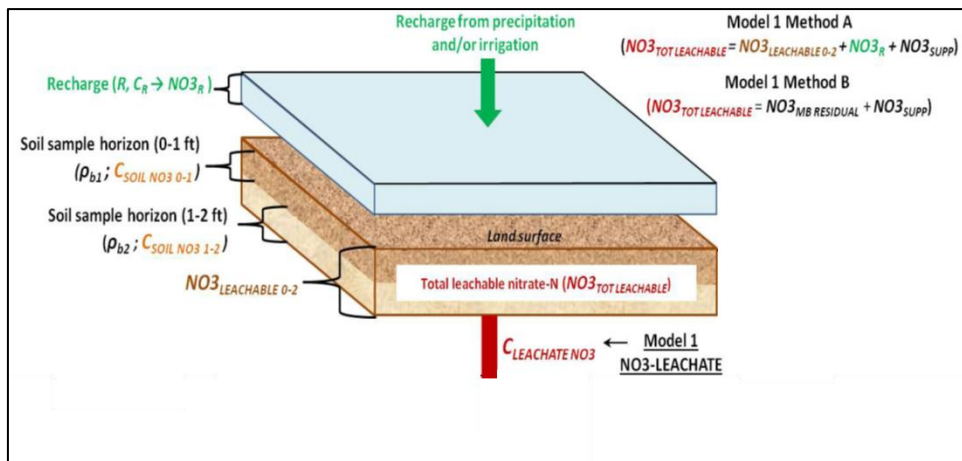
2.6 แบบจำลองสเปรดชีท (spreadsheet models)

แบบจำลองสเปรดชีท เป็นแบบจำลองที่ถูกใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ราคาถูก เนื่องจากเป็นส่วนที่เสริมอยู่ในโปรแกรม Microsoft Excel 2007 นอกจากนี้ยังเป็นแบบจำลองที่ง่ายต่อการเรียนรู้อีกด้วย แบบจำลองสเปรดชีท ถูกนำมาใช้ในหลายๆงาน เพื่อสร้างแบบจำลองให้เข้าใจสภาพของพื้นที่ศึกษา ไม่ว่าจะเป็นแบบจำลองเกี่ยวกับการไหลของน้ำบาดาลหรือแบบจำลองเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของมลสาร ในรายงานนี้ได้้นำแบบจำลองสเปรดชีท มาใช้ในการประเมินปริมาณของไนเตรทที่คาดว่าจะมีอยู่ในน้ำบาดาล (Charles F. P., 2014)

ปัญหาการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำบาดาล เป็นปัญหาที่พบอย่างแพร่หลายในหลายๆพื้นที่ทั่วประเทศ เนื่องจากไนเตรท (NO_3^-) ละลายน้ำได้ดี มาจากแหล่งกำเนิดได้หลากหลาย ทั้งทางธรรมชาติ และมนุษย์ โดยเฉพาะพื้นที่ที่ทำเกษตรกรรม และมีการใช้ปุ๋ยซึ่งมีส่วนผสมของไนโตรเจนในปริมาณที่มากเกินไปเกินความต้องการของพืช ทำให้ปริมาณของไนเตรทที่ค้างบนดินถูกชะลงไปด้วยอย่างรวดเร็วพร้อมกับน้ำฝนหรือน้ำผิวดิน เมื่อไนเตรทเคลื่อนที่ลงไปต่ำกว่ารากพืชปริมาณไนเตรทเหล่านี้ไม่ถูกดูดซึมด้วยพืชเป็นระยะเวลาหลายๆ จะเคลื่อนที่ลงไปจนถึงชั้นน้ำบาดาล และปนเปื้อนอยู่ในชั้นน้ำบาดาลในที่สุด หากปริมาณของไนเตรทเกินกว่ามาตรฐาน จะทำให้เกิดอันตรายกับทั้งมนุษย์และสัตว์ ในรายงานนี้จึงมีการสร้างแบบจำลองออกมาเป็น 2 ชนิด ได้แก่

2.6.1 แบบจำลองที่ 1 NO_3 -LEACHATE

แบบจำลองนี้จะสมมติให้ปริมาณของน้ำฝน และปริมาณของน้ำผิวดินที่ไหลลงสู่พื้นที่ศึกษามีการผสมเต็มที่กับมวลของไนเตรทที่มีอยู่ในชั้นอิมมูนาส และแบบจำลองจะทำการคำนวณปริมาณของไนเตรทที่มีอยู่ในน้ำชะ ซึ่งจะไหลลงสู่ชั้นน้ำบาดาลต่อไป รูปด้านล่างจะแสดงแผนภาพให้เข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดของแบบจำลองนี้



รูปที่ 2.7 แนวคิดของแบบจำลอง NO_3 -LEACHATE

ทีมา (Charles F. P., 2014)

จากแผนภาพความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำชะ ($C_{LEACHATE NO_3}$) คือสิ่งที่แบบจำลองจะคำนวณออกมา มีหน่วยเป็น mg NO_3 -N/L โดยแบบจำลองจะคำนวณจากสมการ

$$C_{Leachate} = \frac{NO3_{TOT Leachate}}{2.719 * R} * \left(1 - \frac{AP_{VZ}}{100}\right)$$

โดย

- AP_{VZ} = เปอร์เซ็นต์ของกระบวนการ attenuation ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้ปริมาณของไนเตรทลดลง จะเกิดในระหว่างที่มีการเคลื่อนที่ผ่านชั้น vadose zone มีค่าตั้งแต่ 0%-100%
- R = ปริมาณของน้ำฝน หรือน้ำผิวดินที่ไหลลงสู่พื้นที่ศึกษา มีหน่วยเป็น ft
- $NO_3_{TOT Leachate}$ = ปริมาณของไนเตรททั้งหมดที่รวมอยู่ในดิน มีหน่วยเป็น lbs

$\text{NO}_3\text{-N/acre}$ สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\text{NO}_3_{TOT\ Leachate} = \text{NO}_3_{Leachate\ 0-2} + \text{NO}_3_R + \text{NO}_3_{SUPP}$$

เป็นวิธีที่คำนวณจากปริมาณไนเตรทที่อยู่ในดินชั้นที่ 0-2 ฟุต ($\text{NO}_3_{Leachate\ 0-2}$), ปริมาณของไนเตรทที่มาจากน้ำฝน หรือน้ำผิวดินก่อนไหลลงสู่พื้นที่ (NO_3_R) และปริมาณของไนเตรทที่อาจมาจากแหล่งอื่น (NO_3_{SUPP}) เช่น ปริมาณของไนเตรทที่อยู่ในดินที่ระดับต่ำกว่า 2 ฟุต, ปริมาณของไนเตรทที่ค้างอยู่ในพื้นที่ก่อนเก็บดินมาวิเคราะห์, ปริมาณไนเตรทที่เกิดหลังจากเก็บตัวอย่างดินแล้ว ซึ่งอาจมาจากกระบวนการของจุลินทรีย์ที่เปลี่ยนไนโตรเจนอินทรีย์ ให้เป็นไนเตรท (mineralization/nitrification) โดยสมการที่ใช้คำนวณปริมาณของไนเตรทที่มาจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ มีดังนี้

$$\text{NO}_3_{Leachate\ 0-2} = \text{NO}_3_{Leachate\ 0-1} + \text{NO}_3_{Leachate\ 1-2}$$

โดย $\text{NO}_3_{Leachate\ 0-1} = 2.719(\rho b_{0-1} * C_{soil\ \text{NO}_3\ 0-1})$

และ $\text{NO}_3_{Leachate\ 1-2} = 2.719(\rho b_{1-2} * C_{soil\ \text{NO}_3\ 1-2})$

$NO3_{Leachate\ 0-1}$	=	ปริมาณของไนเตรทที่มีอยู่ในดินตั้งแต่ชั้นผิวดินจนถึงชั้นใต้ดินที่ระดับความลึก 1 ฟุต มีหน่วยเป็น lbs $NO_3-N/acre$
$NO3_{Leachate\ 1-2}$	=	ปริมาณของไนเตรทที่มีอยู่ในดินตั้งแต่ระดับความลึก 1 ฟุต ถึง 2 ฟุต มีหน่วยเป็น lbs $NO_3-N/acre$
ρb_{0-1}	=	ความหนาแน่นของดินในชั้นผิวดิน ถึงชั้นใต้ดินที่ระดับความลึก 1 ฟุต มีหน่วยเป็น g/cm^3
ρb_{1-2}	=	ความหนาแน่นของดินในชั้นดินตั้งแต่ที่ระดับความลึก 1 ฟุต ถึง 2 ฟุต มีหน่วยเป็น g/cm^3
$C_{soil\ NO3\ 0-1}$	=	ความเข้มข้นของไนเตรทต่อน้ำหนักดินแห้ง ในชั้นผิวดินจนถึงชั้นใต้ดินที่ระดับความลึก 1 ฟุต มีหน่วย $mg\ NO_3-N/Kg$
$C_{soil\ NO3\ 1-2}$	=	ความเข้มข้นของไนเตรทต่อน้ำหนักดินแห้ง ในชั้นดินตั้งแต่ที่ระดับความลึก 1 ฟุต ถึง 2 ฟุต มีหน่วย $mg\ NO_3-N/Kg$

$$NO3_R = 2.719(R * C_{R\ NO3})$$

โดย

R	=	ปริมาณของน้ำฝน หรือน้ำผิวดินที่ไหลลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ในพื้นที่ศึกษา มีหน่วยเป็น ft
$C_{R\ NO3}$	=	ความเข้มข้นของไนเตรทที่มีอยู่ในน้ำฝน หรือน้ำผิวดินก่อนซึมลงดิน มีหน่วยเป็น $mg\ NO_3-N/L$

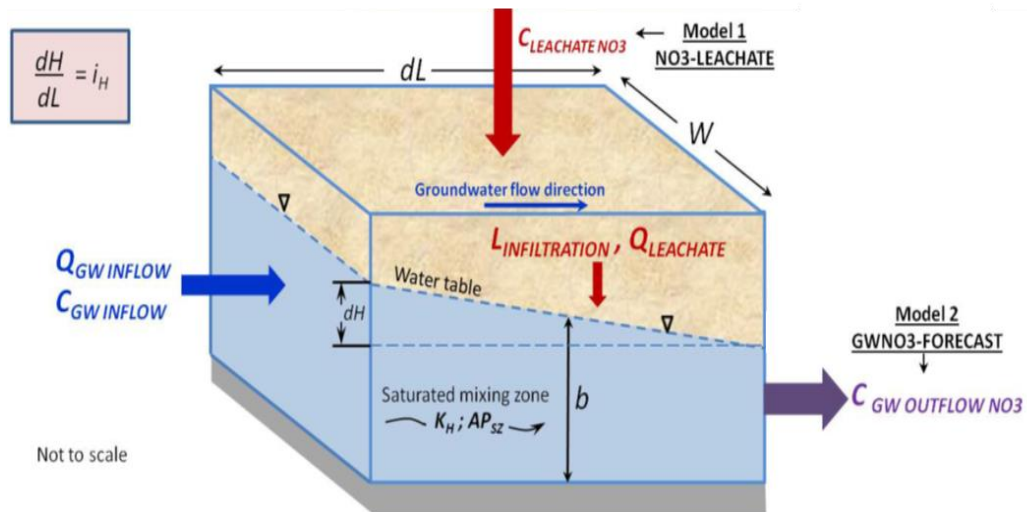
สมมติฐานของแบบจำลอง

- แบบจำลองจะทำนายสภาพตอนท้ายของสถานการณ์ที่เราสนใจ
- ค่า $C_{soil\ NO3\ 0-1}$, $C_{soil\ NO3\ 1-2}$, ρb_{0-1} , ρb_{1-2} มีค่าเท่ากันตลอดทั้งพื้นที่ของแบบจำลอง ตลอดจนระดับความลึกของช่วงที่เราสนใจ
- ชั้น vadose zone มีลักษณะเป็น isotopic และ homogeneous โดยกระบวนการ attenuation ใน vadose zone จะส่งผลกับความเข้มข้นเท่ากันในทุกพื้นที่ของ vadose zone และไหลลงด้านล่างเหมือนกัน

- ปริมาณของน้ำฝนไหลลงสู่ชั้นน้ำบาดาลทั้งหมด
- ความเข้มข้นของไนเตรทในดิน ถูกสมมติว่าสามารถไปถึงชั้นน้ำบาดาลโดยผ่านการซึมของน้ำฝน
- ปริมาณไนเตรทที่ถูกชะ จะละลาย และผสมในน้ำฝนที่ซึมลงมาอย่างเต็มที่
- ปริมาณไนเตรทที่ละลายจะไม่ได้รับผลกระทบจากการดูดซึม ในชั้น vadose zone ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึม (K_d) = 0 ml/l
- ในการคำนวณค่า $NO_3_{MB \text{ RESIDUAL}}$ แบบจำลองไม่ได้คำนวณความผิดพลาด หรือความไม่แน่นอนที่เกิดจากการวิเคราะห์ mass balance
- แบบจำลองแต่ละสถานการณ์ (scenario) เป็นอิสระต่อกัน ค่าตัวแปรที่ต้องใส่ในแบบจำลองไม่ได้เอามาจากสถานการณ์ใกล้เคียงกัน และสภาพเริ่มต้นของแบบจำลองผู้ใช้เป็นคนกำหนด

2.6.2 แบบจำลองที่ 2 GWNO₃-FORECAST

แบบจำลองนี้ใช้ประเมินความเข้มข้นของไนเตรทที่มีในน้ำบาดาล ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำที่ไหลผ่านดินมีไนเตรทอยู่ก่อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาล และผสมกับน้ำบาดาลที่ไหลในพื้นที่ศึกษา โดยน้ำชะจะไหลเข้าสู่ น้ำบาดาลจากชั้นบน เพื่อเข้าไปผสมกับน้ำบาดาล ดังนั้นผู้ใช้จะต้องมีการกำหนดความหนา ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการผสมกันอย่างเต็มที่ระหว่างน้ำชะ กับน้ำบาดาลที่ไหลในพื้นที่ การผสมนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำบาดาลด้วย เราจะเรียกบริเวณนี้ว่า saturated mixing zone และค่าที่คำนวณออกมา จะเป็นค่าที่ทำนายจากขอบเขตด้านล่างของแบบจำลอง ดังรูปที่ 2.8 จะแสดงแผนภาพให้เข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดของแบบจำลองนี้



รูปที่ 2.8 แนวคิดของแบบจำลอง GWNO₃-FORECAST

ที่มา (Charles F. P., 2014)

จากแผนภาพจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาล ($C_{GW \text{ OUTFLOW } NO_3}$) เป็นสิ่งที่แบบจำลองจะทำการคำนวณออกมา ซึ่งอยู่ทางขวามือด้านล่างของแบบจำลอง มีหน่วยเป็น mg NO₃-N/L โดยแบบจำลองจะคำนวณจากสมการ

$$C_{GW \text{ OUTFLOW } NO_3} = \frac{(Q_{Leachate} \times C_{Leachate \text{ NO}_3}) + (Q_{GW \text{ INFLOW}} \times C_{GW \text{ INFLOW } NO_3})}{Q_{Leachate} + Q_{GW \text{ INFLOW}}} \times \left(1 - \frac{AP_{SZ}}{100}\right)$$

โดย

- $Q_{Leachate}$ = อัตราการไหลของน้ำชะจากบริเวณอิ่มอากาศเข้าสู่บริเวณ saturated mixing zone มีหน่วย เป็น L/day
- $Q_{GW\ INFLOW}$ = อัตราการไหลของน้ำบาดาลที่ไหลเข้าไปที่ชั้นบนของบริเวณ saturated mixing zone มีหน่วยเป็น L/day
- $C_{GW\ INFLOW\ NO_3}$ = ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาลด้านบน ก่อนไหลเข้าไปบริเวณ saturated mixing zone มีหน่วยเป็น mg NO_3 -N/L
- AP_{SZ} = เปอร์เซ็นต์ของกระบวนการ attenuation ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้ปริมาณของไนเตรทลดลง จะเกิดในระหว่างที่มีการเคลื่อนที่ผ่านบริเวณ saturated mixing zone เป็นได้ตั้งแต่ 0%-100%

ซึ่งค่าต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นสามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่าง

$$Q_{Leachate} = 28.32(dL * W * L_{Infiltration})$$

$$Q_{GW\ INFLOW} = 28.32(K_H * b * W * i_H)$$

$$i_H = \left(\frac{dH}{dL}\right)$$

โดย

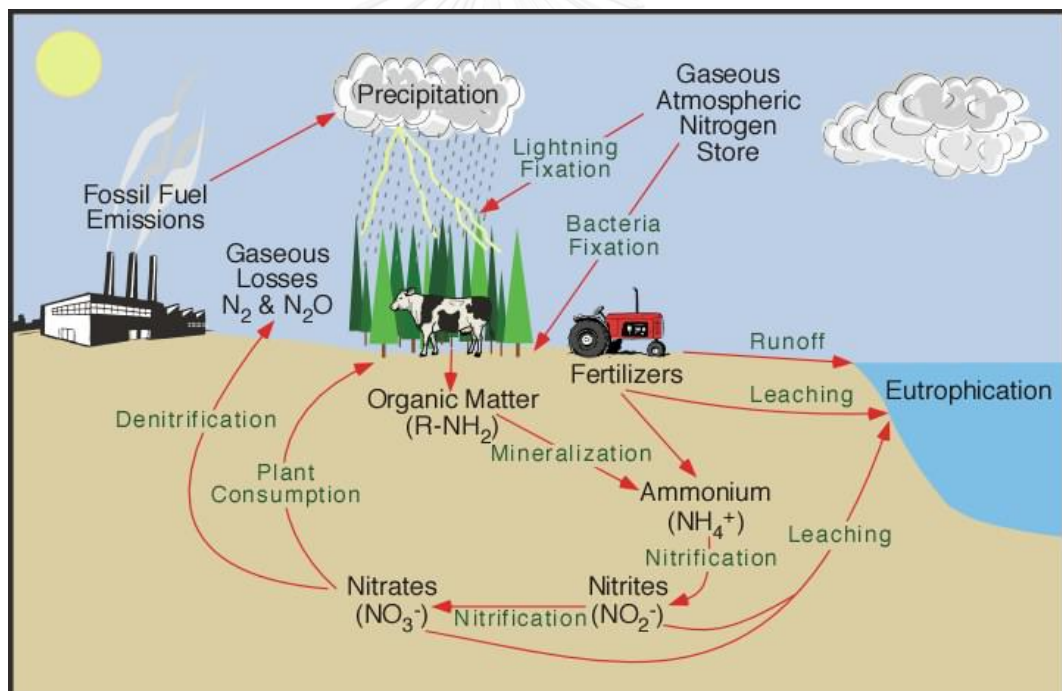
dL	=	ความยาวของพื้นที่ศึกษา จะขนานกับทิศทางการไหลของน้ำบาดาล มีหน่วยเป็น ft
W	=	ความกว้างของพื้นที่ศึกษา จะตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำบาดาล มีหน่วยเป็น ft
$L_{\text{Infiltration}}$	=	อัตราการซึมของน้ำที่เข้าไปบริเวณ saturated mixing zone มีหน่วยเป็น ft/day
K_H	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ บริเวณ mixing zone มีหน่วยเป็น ft/day
b	=	ความหนาเฉลี่ยของบริเวณ saturated mixing zone ที่เราสนใจ มีหน่วยเป็น ft
i_H	=	ค่าความลาดชันในแนวราบตลอดพื้นที่ศึกษา มีหน่วยเป็น ft/ft
dH	=	ค่าความแตกต่างของระดับน้ำตลอดความยาวของพื้นที่ (dL) มีหน่วยเป็น ft ให้ใส่ค่าเป็นบวกเสมอ

สมมติฐานของแบบจำลอง

- แบบจำลองจะทำนายปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล ในสภาพ steady-state
- บริเวณ saturated zone อยู่ในชั้นน้ำบาดาลแบบไร้แรงดัน (unconfined)
- แบบจำลองจะสมมติให้ saturated zone มีสภาพแบบ isotropic และ homogeneous กระบวนการ attenuation เกิดอย่างสมบูรณ์ และเกิดเหมือนกันตลอดชั้น mixing zone
- เนื่องจากแบบจำลองจะนำค่า $C_{\text{LEACHATE NO}_3}$ ที่ได้จากแบบจำลองที่ 1 เข้าสู่แบบจำลองที่ 2 โดยอัตโนมัติ ผู้ใช้จะต้องเลือกว่าค่าดังกล่าวคำนวณด้วยวิธี A หรือวิธี B
- น้ำที่มาจากชั้นอิมอากาศจะเข้าสู่ขอบเขตด้านบนของชั้นน้ำบาดาล และผสมอย่างเต็มที่กับน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา
- ไนเตรทที่ละลายและเคลื่อนที่ผ่านบริเวณ saturated zone จะไม่ได้รับผลกระทบจากการดูดซึม ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึม (K_d) = 0 ml/g
- แบบจำลองแต่ละสถานการณ์ (scenario) เป็นอิสระต่อกัน ค่าตัวแปรที่ต้องใส่ในแบบจำลองไม่ได้เอามาจากสถานการณ์ใกล้เคียงกัน และสภาพเริ่มต้นของแบบจำลองผู้ใช้เป็นคนกำหนด

2.7 วัฏจักรไนโตรเจน

ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการสร้างโปรตีนในต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตซึ่งปกติบรรยากาศมีก๊าซไนโตรเจนประมาณร้อยละ 78 แต่สิ่งมีชีวิตทั่วไปไม่สามารถนำธาตุไนโตรเจนมาใช้ได้โดยตรงแต่จะใช้ได้เมื่ออยู่ในสภาพของสารประกอบ แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ไนโตรเจนในบรรยากาศจึงต้องเปลี่ยนรูปเพื่อสิ่งมีชีวิตจะได้นำไปใช้ได้ วัฏจักรไนโตรเจนนี้จะประกอบด้วยกระบวนการตรึงไนโตรเจน (Nitrogen Fixation) กระบวนการสร้างแอมโมเนีย (Ammonification) กระบวนการสร้างไนเตรท (Nitrification) และกระบวนการสร้างไนโตรเจน (Denitrification) กระบวนการเหล่านี้จะต้องอาศัยแบคทีเรียจุลินทรีย์อื่น ๆ จำนวนมาก จึงทำให้เกิดสมดุลของวัฏจักรไนโตรเจน นอกจากจะถูกตรึงโดยสิ่งมีชีวิตแล้วไนโตรเจนในบรรยากาศยังถูกตรึงจากธรรมชาติอีกด้วย อย่างเช่นเมื่อเกิดฟ้าแลบขึ้นมาจะทำให้ไนโตรเจนในท้องฟ้าจะเปลี่ยนแปลงเกิดสารประกอบไนเตรทขึ้นมาและถูกน้ำฝนชะลงสู่พื้นดินต่อไป ดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2.9 วัฏจักรไนโตรเจน

ที่มา Humboldt State University a California State University Campus (2008)

2.7.1 แหล่งที่มาของไนโตรเจน เนื่องจากหินและแร่ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของดินนั้นไม่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นแหล่งที่มาของไนโตรเจนในดินนั้นมีอยู่ 4 แหล่งใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ

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

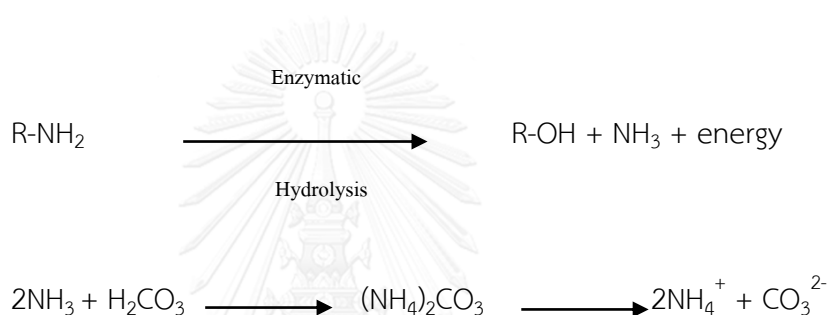
2) การตรึงแก๊สไนโตรเจนจากอากาศโดยจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดิน (Nonsymbiotic nitrogen fixation) จุลินทรีย์ที่มีความสามารถตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระนี้ ได้แก่ แบคทีเรียพวก Clostridium และพวกสาหร่าย (algae) โดยเฉพาะพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue-green algae) เช่น *Anabaena*, *Calothrix* และ *Nostoc* เป็นต้น จุลินทรีย์พวกนี้สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ไม่ต่ำกว่า 7.3 – 8.2 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี

ในบางกรณีนอกจากการตรึงไนโตรเจนโดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยตรง สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเข้าไปอาศัยอยู่ในโพรงใบของพืชพวกแหวนแดง (*Azolla*) และตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ สาหร่ายพวกนี้ คือ *Anabaena azollae* ซึ่งสามารถดึงไนโตรเจนจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ และเมื่อแหวนแดงตายทับถมลงไปบนดิน ก็จะเกิดการสะสมไนโตรเจนอยู่ในดินซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ และเนื่องจากแหวนแดงเป็นพืชน้ำ ฉะนั้นการตรึงไนโตรเจนดังกล่าวนี้จึงมักเป็นประโยชน์ และมีความสำคัญต่อการเพิ่มไนโตรเจนให้แก่ดินนาที่มีน้ำขังมากกว่าในดินทั่วไป

3) น้ำฝน (Rain) การเกิดฟ้าแลบ (lightning) แก๊สไนโตรเจน (N_2) ในอากาศจะถูกออกซิไดส์ให้กลายเป็นไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และไนตริกออกไซด์ (NO) ซึ่งจะละลายในน้ำฝนตกลงมายังผิวดิน คิดคำนวณว่าปีหนึ่งๆ 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

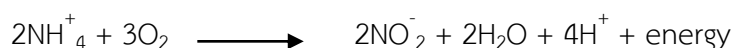
2.7.2 แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) หรือ Mineralization กระบวนการนี้เป็นกระบวนการเปลี่ยนสารประกอบจากกรดอะมิโนหรือกรดอะมิโน ($R-NH_2$) ให้เป็น NH_3 แอลกอฮอล์ ($R-OH$) และพลังงาน (energy) ดังสมการ



กระบวนการนี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่สร้างอาหารเองไม่ได้เช่นเดียวกับกระบวนการแรก แต่จะดำเนินไปด้วยดีในสภาพที่ดินมีการถ่ายเทอากาศดี มีแคตไอออนที่เป็นด่าง (Basic cation) เพียงพอ แต่กระบวนการนี้ยังอาจดำเนินไปได้บ้างถึงแม้ว่าสภาพของดินไม่เหมาะสมดังกล่าว ทั้งนี้เพราะว่ายังมีจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้บางชนิดที่สามารถจะทำงานได้ แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้ ถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปและมีทางเปลี่ยนแปลงได้ 4 ทาง คือ

- 1) จุลินทรีย์ในดินนำไปใช้
- 2) พืชชั้นสูงนำไปใช้โดยเฉพาะพืชยังอ่อนๆอยู่ เช่น ต้นกล้าของข้าวจะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อได้รับไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย
- 3) ถูกตรึงอยู่ระหว่างผลึก (Crystal lattice) ของอนุภาคแร่ดินเหนียว
- 4) ถูกออกซิไดส์เป็นไนไตรต์ (NH_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

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



ต่อมาไนไตรต์ที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดส์อีกครั้งหนึ่งให้เป็นไนเตรท โดยแบคทีเรียพวก Nitrobacter ดังสมการ



ไนไตรท์ที่เกิดขึ้นไม่สามารถสะสมอยู่ในดินได้นานหากสภาพของดินมีความเหมาะสม ไนไตรท์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนเตรททันที ซึ่งจะส่งผลดีต่อพืชเพราะหากว่าดินมีการสะสมไนไตรท์เป็นจำนวนมากจะส่งผลเป็นพิษต่อพืชได้ ไนเตรทที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้จะเปลี่ยนแปลงต่อไปได้ 4 ทาง คือ จุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ พืชชั้นสูงนำไปใช้ สูญหายไปจากดินโดยการชะละลาย และสูญหายไปจากดินในรูปของแก๊ส กระบวนการไนตริฟิเคชันจะดำเนินไปได้นั้น จำเป็นต้องมีสภาพต่าง ๆ ในดินที่เหมาะสมรองรับการทำงานของแบคทีเรียที่ควบคุมกระบวนการนี้ ปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการไนตริฟิเคชันที่สำคัญมี ดังนี้

1. การถ่ายเทอากาศ กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการออกซิเดชันโดยจุลินทรีย์ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นพวกที่ต้องการออกซิเจนในการหายใจ ดังนั้นแก๊สออกซิเจนจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการนี้ เมื่อดินอยู่ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศดี แก๊สออกซิเจนก็มีเพียงพอแก่ความต้องการของจุลินทรีย์ และกระบวนการนี้ก็จะดำเนินไปได้

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

3. ความชื้นในดิน โดยทั่วไปความชื้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำทั้งหมดที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้จะเหมาะสมที่สุดสำหรับการทำงานของแบคทีเรีย ถ้าความชื้นในดินมากเกินไปก็จะทำให้การถ่ายเทอากาศไม่ดีพอ หรือถ้าความชื้นในดินน้อยเกินไปก็จะทำให้ดินมีสภาพแห้งเกินไปไม่เหมาะกับการเจริญและการทำงานของแบคทีเรีย

4. 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

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

6. ธาตุอาหารต่างๆ แบคทีเรียต้องการธาตุอาหารอื่นๆ เช่นเดียวกับพืชชั้นสูง ดังนั้นการใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมลงไปบนดินเพื่อให้มีระดับธาตุอาหารที่สมดุล จะช่วยให้กระบวนการไนตริฟิเคชันดำเนินไปได้ดียิ่งขึ้น การใส่ปุ๋ยเพื่อปรับระดับธาตุอาหารในดินก็ควรระวังให้มาก ถ้าดินนั้นเป็นดินที่มี pH ค่อนข้างสูงหรือเป็นดินด่าง (alkaline soil) การใส่ปุ๋ยแอมโมเนียอาจจะทำให้เกิดการสะสมไนโตรเจนได้ ทั้งนี้เพราะกระบวนการออกซิเดชันขั้นแรกของแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมจะเกิดขึ้นเร็วเกินไป ส่วนออกซิเดชันขั้นที่สองที่เปลี่ยนไนโตรเจนเป็นไนเตรทนั้นจะช้าลง ทั้งนี้เพราะไนโตรเจนเป็นพิษต่อ Nitrobacter ภายใต้สภาพดินที่เป็นต่างมาก

7. Carbon-nitrogen ratio (C:N ratio) C:N ratio มีความสำคัญต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นอย่างมาก ถ้า C:N ratio กว้าง นั่นคือมีสารประกอบพวกคาร์บอนในปริมาณที่สูงกว่า สารประกอบพวกโปรตีนมาก ๆ จะมีผลทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันไม่สามารถดำเนินไปได้ ทั้งนี้เพราะว่าสารประกอบพวกคาร์บอนส่งเสริมให้มีการเพิ่มพูนปริมาณของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่มีอยู่ในดินนั้นให้มากขึ้น เมื่อมีจำนวนจุลินทรีย์ชนิดอื่นมากขึ้น ความต้องการไนโตรเจนสำหรับนำไปสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์นั้นก็เพิ่มขึ้นด้วย จนในที่สุดไม่ว่าจะเกิดมีไนโตรเจนออกมาในรูปใดก็ตาม จุลินทรีย์จะแย่งเอาไปใช้ในการสังเคราะห์เซลล์หมดจนทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันต้องหยุดชะงักลงเพราะขาดแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมซึ่งก็มีผลทำให้พืชที่ปลูกขาดอาหารธาตุไนโตรเจนชั่วคราวด้วย และต้องรองนกว่าจุลินทรีย์จะตายและลดจำนวนลงไป ไนโตรเจนจากตัวของจุลินทรีย์จึงจะถูกปล่อยออกมาและกระบวนการไนตริฟิเคชันจึงจะดำเนินต่อไป

2.7.4 ความสำคัญของไนโตรเจนที่มีต่อพืช

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากการสร้างเซลล์และเนื้อเยื่อพืชจำเป็นต้องใช้ส่วนประกอบของโปรตีน นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบทางชีวโมเลกุลอื่นๆ เช่น คลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดการกระบวนการสังเคราะห์แสง 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 แต่ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ในดินสามารถเปลี่ยน

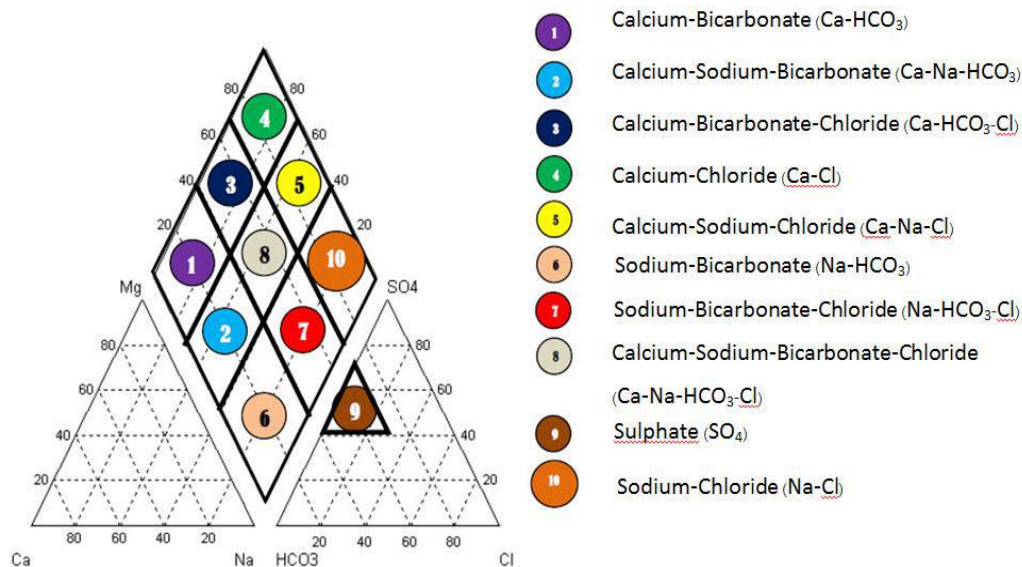
รูปไนโตรเจนที่ใช้ประโยชน์เป็นไนโตรเจนที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งท้ายที่สุดแล้วจะกลายเป็นอิวมัสสะสมในดินต่อไป

แต่อย่างไรก็ตามปริมาณไนโตรเจนที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปจะส่งผลกระทบต่อทั้งพืชมนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อม ยกตัวอย่าง เช่น ในพืชถ้ามีไนโตรเจนมากเกินไปความต้องการจะทำให้ลำต้นของพืชอ่อนแอลดคุณภาพของผลไม้ เช่น พืช และแอปเปิล และทำให้ระดับน้ำตาลในต้นลดลง ปริมาณไนโตรเจนส่วนเกินจะก่อให้เกิดการสะสมไนเตรทในใบของพืช เช่น ผักโขมและพืชใบ ซึ่งจะส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์

ถ้าหากมีปริมาณไนโตรเจนสะสมอยู่ในดินมากเกินไป เมื่อฝนตกจะทำให้เกิดการชะล้างไนโตรเจนในดินลงสู่แหล่งน้ำและระบบนิเวศอื่น ๆ โดยส่วนใหญ่ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำได้ เช่นไนเตรท แอมโมเนียม ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่มากเกินไปในแหล่งน้ำจะก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) โดยไนโตรเจนจะเพิ่มการเจริญเติบโตของสาหร่ายและพืชน้ำ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการขาดออกซิเจนในแหล่งน้ำและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น ๆ

2.8 Piper diagram

เป็นการหารูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาลโดยวิเคราะห์จาก Piper diagram เพื่อแบ่งชนิดน้ำบาดาลตามองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งเรียกว่า Hydrochemical Facies โดยวิธีการคำนวณค่า emp ของไอออนบวกและไอออนลบ ให้ผลรวม emp ไอออนบวกเท่ากับ 100% ผลรวม emp ไอออนลบเท่ากับ 100% ค่าคำนวณค่า emp ของไอออนบวกและไอออนลบแต่ละตัวออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ผลรวม จากนั้นหาค่าความสัมพันธ์ของทั้งสองไอออน เปอร์เซ็นต์ของไอออนบวกทั้งหมดเมื่อเขียนออกมาจะได้หนึ่งจุดในสามเหลี่ยมล่างซ้ายมือ เช่นเดียวกับไอออนลบก็จะได้หนึ่งจุด ลากขนานไปกับเส้นแกนขึ้นไปสู่สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนด้านบน ก็จะจุดตัดกันหนึ่งตำแหน่ง ซึ่งช่วยในการแบ่งน้ำบาดาลออกเป็นประเภทต่าง ๆ (Smoor, 1967) ซึ่งช่วยในการยืนยันแหล่งที่มาของน้ำบาดาลตัวอย่างว่ามาจากชั้นน้ำเดียวกัน



รูปที่ 2.10 การแบ่งประเภทน้ำออกเป็น Hydrochemical facies ต่าง ๆ โดยอาศัย Trilinear diagram ที่มา (Galloway & Kaiser, 1980)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(พรรณนิภา นาคสินไพศาล, 2551) ศึกษาความเข้มข้นและการแพร่กระจายของคลอไรด์และไนเตรทจากนาุ้ง ดิดีที และเมทิลพาราไรออนจากนาข้าว พื้นที่อำเภอรโนด จังหวัดสงขลา โดยใช้โปรแกรม MODFLOW ในการจำลองการไหลของน้ำบาดาลและ MT3D ในการจำลองการเคลื่อนที่ของมลสารในชั้นตะกอนทรายชายหาด ซึ่งเป็นชั้นไร้แรงดัน และทำการจำลองชั้นน้ำหาดใหญ่ ซึ่งเป็นชั้นน้ำมีแรงดันจากชั้นดินเหนียวกดทับอยู่ โดยจำลองการแพร่กระจายในภาวะการปล่อยมลสารคงที่พบว่า การแพร่กระจายคลอไรด์จากนาุ้ง มีการแพร่กระจายจากแหล่งกำเนิดผ่านชั้นน้ำบาดาลและมลสารที่เหลือไม่มีการแพร่กระจาย

(เพ็ชรสวัสดิ์ กันคำ, 2010) ศึกษาวิเคราะห์พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อนน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กง พบว่าพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อนน้ำบาดาลมีเพียง 4 กลุ่มเท่านั้น คือระดับปานกลาง ซึ่งมีพื้นที่กว้างที่สุดถึงร้อยละ 81.70 ของพื้นที่ และระดับมาก ระดับมากที่สุด ระดับน้อยตามลำดับ ซึ่งไม่พบพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อนน้ำบาดาลในระดับที่น้อยที่สุด โดยแหล่งกำเนิดมลพิษในพื้นที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมและสถานีบริการน้ำมัน ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของสารอันตรายในกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยและกลุ่มโลหะหนัก

(โพยม สราภิรมย์, 2544) ได้ศึกษาจำลองสภาพน้ำบาดาลในเขตเมืองเชียงใหม่ โดยการสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลในเขตเมืองเชียงใหม่ ในสภาพชั้นหินอุ้มน้ำไม่เป็นเนื้อเดียวกันและมีค่าความนำทางชลศาสตร์เปลี่ยนแปลงตามทิศทาง โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MODFLOW และเปรียบเทียบสภาวะคงที่ พบว่าทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในบริเวณความกว้างที่มีการไหลจากพื้นที่ขอบแอ่งเข้าสู่ตอนกลางของแอ่ง แล้วไหลออกจากพื้นที่ศึกษาบริเวณตอนกลางของพื้นที่ พบว่าการจำลองในระยะเวลา 1 ปี แรงดันน้ำจากการแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลของบ่อสังเกตการณ์ ปรากฏว่าการเปรียบเทียบแบบจำลองไม่สามารถทำให้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำมีรูปแบบเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ได้ทุกบ่อ คือระดับน้ำบางบ่อเพิ่มสูงขึ้นโดยไม่มีการลดลงตามฤดูกาล ทำให้ที่ช่วงเวลาเพิ่มขึ้นค่าความคลาดเคลื่อนจึงเพิ่มตลอดเวลา ดังนั้นแบบจำลองจึงไม่สามารถใช้ได้ในระยะที่ยาวนานกว่านั้น สาเหตุความคลาดเคลื่อนมาจากการขาดแคลนข้อมูลที่จำเป็นในหลาย ๆ ส่วน เช่น ข้อมูลอุทกธรณีวิทยา บ่อสังเกตการณ์ ปริมาณการใช้น้ำบาดาล เป็นต้น

(Atiqur, 2008) ใช้วิธี DRASTIC ในการประเมินความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะภายในเมือง Aligarh ประเทศอินเดีย โดยนำวิธี DRASTIC มาประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง ILLWIS 3.0 พบว่าพื้นที่ในเมืองแบ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงได้ 3 กลุ่มคือ ระดับต่ำ ระดับปานกลาง และระดับสูง โดยมีพื้นที่ระดับความเสี่ยงสูงร้อยละ 56.43 ของพื้นที่ โดยมลพิษของชั้นน้ำบาดาลมาจากท่อระบายน้ำเสียจากครัวเรือน และอุตสาหกรรม โดยได้ส่งผลกระทบต่อประชาชนในเมืองประมาณ 800,000 คน

(Jiang et al, 2009) ทำการศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ที่มีการขยายตัวทางด้านเกษตรกรรมและที่อยู่อาศัย ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลทั้งหมด 42 ตัวอย่าง พบการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำบาดาลมีปริมาณของ ไนเตรท คลอไรด์และซัลเฟตเพิ่มมากขึ้น และได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำบาดาลพบว่า ปัจจัยที่หนึ่ง 47.1 % น้ำบาดาลถูกการปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์เช่นน้ำทิ้งน้ำเสียและปุ๋ยเกษตร ปัจจัยที่สอง 17.9 % เกิดจากความสัมพันธ์ของ limestone-dominated และปัจจัยที่สาม 14.3 % เกิดจากหินโดโลไมต์

(Jamshidzadeh & Mirbagheri, 2011) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณและคุณสมบัติของน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำ Kashan โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 53 บ่อตั้งแต่ปี 1990 – 2006 พบว่ามีปริมาณน้ำลดลง 7.93 เมตร โดยลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 0.496 เมตร/ปี ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำบาดาลทั้งหมด 21 ตัวอย่างน้ำ โดยมีพารามิเตอร์ pH ,EC ,TDS ,Ca²⁺ , Na⁺ , K⁺,Mg²⁺,HCO₃⁻ , CO₃²⁻ , Cl⁻ และSO₄²⁻ โดยทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก

พบว่าตัวอย่างน้ำทั้งหมดไม่สามารถที่จะนำมาบริโภคได้เนื่องจากมีปริมาณของโซเดียมคลอไรด์ที่ละลายอยู่ในน้ำเกินมาตรฐานซึ่งเกิดมาจากการการรุกตัวของน้ำทะเล แต่สามารถนำมาใช้อุปโภคได้

(Omo-Irabor et al, 2008) ได้ทำการศึกษากระบวนการทางธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางเคมีของน้ำผิวดินและน้ำบาดาลในพื้นที่ภาคตะวันตก บริเวณสามเหลี่ยมปากแม่น้ำไนล์ โดยอาศัยเทคนิคทางสถิติจากการเก็บข้อมูลตัวอย่างของน้ำผิวดินและน้ำบาดาลจำนวน 137 ตัวอย่างเริ่มทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ปี 2003 - 2007 ใน 2 ช่วงฤดู คือฤดูฝนและฤดูแล้ง จากทั้งหมด 15 พื้นที่ โดยทำการนำตัวอย่างทั้งหมด มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำผิวดินและน้ำบาดาล นำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้เทคนิค การวิเคราะห์ปัจจัย พบว่าสาเหตุของการปนเปื้อนของน้ำผิวดินและใต้ดิน ในปัจจัยที่หนึ่ง มาจากปริมาณของไนเตรทและปริมาณโซเดียม ซึ่งมาจากกิจกรรมของมนุษย์และกิจกรรมทางการเกษตร ปัจจัยที่สอง ซึ่งมาจากมลพิษของไฮโดรคาร์บอน ปัจจัยที่สาม มีปริมาณของเหล็กสูง มาจากปัจจัยของการชะละลายของน้ำผิวดิน ปัจจัยที่สี่เกิดจากมลพิษที่เกิดขึ้นจากอากาศ โดยปัจจัยทั้งหมดที่เกิดขึ้นนี้สามารถอธิบายได้ว่าการปนเปื้อนทางเคมีของน้ำผิวดินและน้ำบาดาลทั้งหมดเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และกระบวนการทางธรรมชาติ

(Munoz-Carpena et al, 2005) พื้นที่ Everglades National Park (ENP) ตั้งอยู่ทางตอนใต้ของรัฐฟลอริดา ในสหรัฐอเมริกา ได้มีการนำเทคนิคการวิเคราะห์ตัวประกอบ มาศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรและความผันผวนของคุณภาพน้ำบาดาล ในระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 2 ปี ได้มีการเก็บข้อมูลของปริมาณน้ำฝน, ระดับน้ำบาดาล, ดินและน้ำผิวดินพบว่าปริมาณของปริมาณของไนเตรต (NO_3^-) ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีสาเหตุมาจากน้ำที่จากบ้านเรือน

(Lautz & Siegel, 2006) ใช้แบบจำลองสามมิติ MODFLOW คู่กับ MT3D จำลอง hyporheic zone (บริเวณที่แทรกอยู่ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาล) บริเวณเขื่อนและแม่น้ำ MT3D จำลองทั้งการเคลื่อนที่ด้วยกลไก advection และการเข้า-ออก (sink/source) ของสารละลาย กำหนดว่า hyporheic zone นั้นมีสารเคมีรั่วจากแม่น้ำลงมายังใต้ดิน 10% ของน้ำผิวดิน ในเวลา 10 วันผลการจำลองพบว่า การเคลื่อนที่ของน้ำผิวดินไปยัง hyporheic zone กลไกหลักที่ใช้คือกระบวนการ advective

(Love et al, 2004) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำบาดาลโดยอาศัยเทคนิคทางสถิติศึกษาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของน้ำบาดาลจากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณของ โพแทสเซียม (K^+) และ แอมโมเนีย (NH_3) เกิดมาจากกิจกรรมทางการเกษตร ปริมาณของโซเดียม (Na^+), คลอไรด์ (Cl^-)

และซัลเฟต (SO_4^{2-}) เกิดมากจากกิจกรรมของเหมือง ปริมาณของไนเตรต (NO_3^-) ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และเหล็ก (Fe) มาจากกิจกรรมของครัวเรือน

(Kitchen et al, 2008) ทำการศึกษาในประเทศในทวีปยุโรปและสหรัฐอเมริกา พบว่า ไนโตรเจนจากดิน ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก ประมาณร้อยละ 30 ถึง 60 ของพื้นที่ พืชไม่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตได้ และมีปนเปื้อนการไนโตรเจนจากการเกษตรและปศุสัตว์ จึงทำให้ ไนโตรเจนปนเปื้อนสู่ชั้นน้ำบาดาลและเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรท



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทราย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ได้ถือกำเนิดขึ้นเพื่อเป็นแบบอย่างในการพัฒนาพื้นที่เสื่อมโทรมในเขตตะวันตก ตลอดจนการพัฒนาด้านอื่นๆ ให้เหมาะสมและสอดคล้องกับปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริง ที่ตั้งศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายฯ ตั้งอยู่ในตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งเป็นจังหวัดที่อยู่ด้านตะวันตกของประเทศ อยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครตามระยะทางถนนสายเพชรเกษม ประมาณ 220 กิโลเมตร มีอาณาเขต ดังนี้

ทิศเหนือ	จรดเขาเสวยกะปิ บ้านอ่างหิน
ทิศตะวันออก	จรดบ้านห้วยทรายเหนือ บ้านหนองตะกวด และบ้านห้วยทรายใต้
ทิศใต้	จรดเขาสามพระยา บ้านไร่ใหม่พัฒนา
ทิศตะวันตก	จรดบ้านหนองไทรและบ้านหนองข้าวนาก

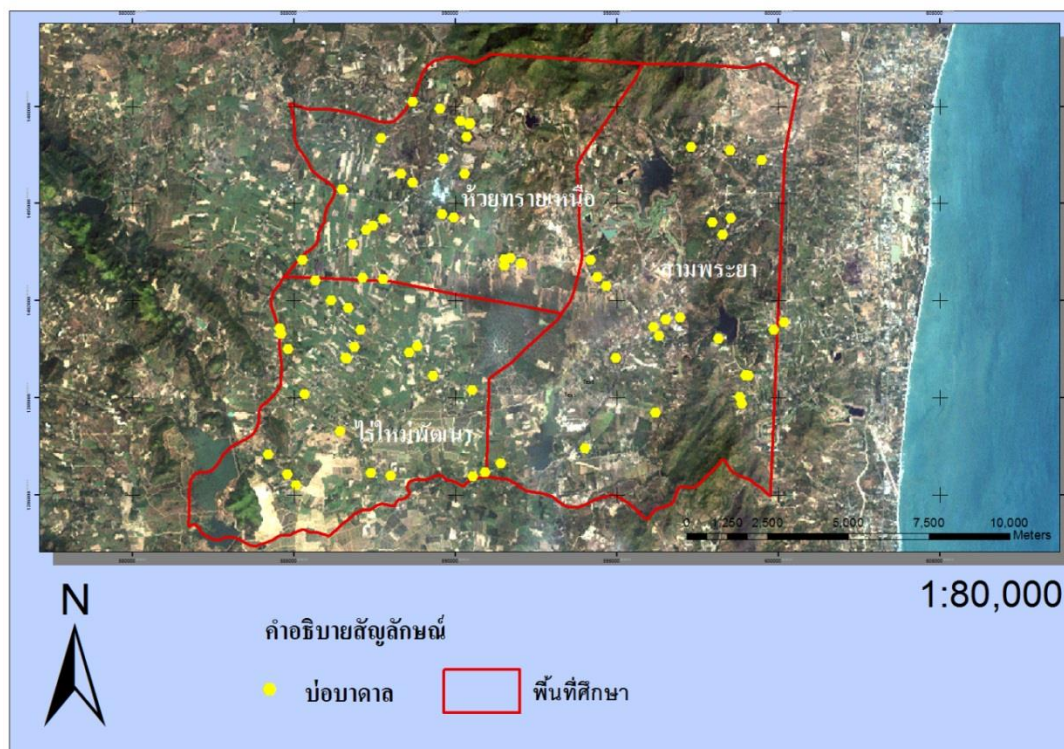
3.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

3.2.1 ศึกษาข้อมูล ที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ

3.2.2 รวบรวมข้อมูลข้อมูลพื้นฐาน

3.2.3 จุดเก็บตัวอย่าง

การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างโดยพิจารณาจากลักษณะ ภูมิประเทศ แนวเส้นทางน้ำเก่า ทิศทางไหลของน้ำบาดาลและการใช้ประโยชน์พื้นที่ที่แตกต่างกัน โดยเลือกเก็บพื้นที่ที่เป็นการเกษตรกรรมทั้งหมด 68 ตัวอย่าง



รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อบาดาลที่ทำการเก็บข้อมูล

3.2.4 การเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล

การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมี (APHA et al, 2005) มีวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2544) ดังนี้

1. การเก็บตัวอย่างน้ำสูบน้ำทิ้งประมาณ 15 นาที
2. การเก็บตัวอย่างน้ำโดยต้องเป็นขวดพลาสติกที่สะอาดจะต้องล้างทั้งขวดและฝาด้วยตัวอย่างน้ำที่จะเก็บประมาณ 2-3 ครั้ง เก็บน้ำตัวอย่างที่ 1 ลิตร
3. เมื่อเก็บตัวอย่างน้ำเรียบร้อยแล้ว ให้กรอกข้อความต่อไปนี้ไว้ในขวด หมายเลขบ่อสถานที่ตั้ง วันที่เก็บตัวอย่างน้ำ และสารเคมีที่เติม

3.2.5 การเก็บตัวอย่างดิน

ในการศึกษานี้ ได้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างโดยใช้วิธีการสุ่มเลือกตัวอย่างโดยเลือกจุดเก็บการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ดิน การเก็บตัวอย่างดินเพื่อเป็นตัวแทนของดินชั้นบนที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร (Top soil) เก็บดินโดยใช้พลั่วแซะดินข้างหลุม (ด้านเรียบ) ให้ได้ดินเป็นแผ่นหนา ประมาณ 2-3 เซนติเมตรจนถึงก้นหลุมและเก็บใส่ถุงซิปล็อค (Anderson & Ingram, 1993)

ตารางที่ 3.1 แสดงพารามิเตอร์ที่ศึกษาวิจัยและวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	Field Method (pH Meter)
2. Redox potential (Eh)	Field Method (Eh Meter)
3. ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้(Total dissolved solids: TDS)	Field Method (TDS Meter)
4. ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	Field Method (Conductivity meter)
5. แคลเซียม (Calcium:Ca)	Atomic Absorption Spectrometry
6. แมกนีเซียม (Magnesium: Mg)	Atomic Absorption Spectrometry
7. โซเดียม (Sodium: Na)	Atomic Absorption Spectrometry
8. โพแทสเซียม (Potassium: K)	Atomic Absorption Spectrometry
9. คาร์บอเนต (CO_3)	Indicator Method
10. ไบคาร์บอเนต (HCO_3)	Indicator Method
11. คลอไรด์ (Chloride: Cl)	Ion Chromatography
12. ซัลเฟต (Sulfate: SO_4^{2-})	Ion Chromatography
13. ไนเตรต (Nitrate: NO_3)	Ion Chromatography
14. Soil Nitrate	Annual Book of ASTM Standards

3.2.6 การวิเคราะห์พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อนน้ำใต้ดิน

ในการวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อนน้ำใต้ดิน โดยใช้สมการความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อน โดยใช้ระบบการแบ่งค่าตัวเลขโดยตัวเลขมีความสัมพันธ์กันทั้ง 7 ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยได้กำหนดจากน้ำหนักของค่านัยสำคัญที่สามารถส่งผลกระทบต่อเกิดการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินดังนี้ คือ ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน อัตราการเพิ่มน้ำ ชั้นดินอุ้มน้ำ ประเภทของดิน ลักษณะภูมิประเทศ ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของชั้นหินอุ้มน้ำ

$$\text{สมการความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อน} = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W$$

โดยที่

D = ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน

R = อัตราการเพิ่มน้ำ

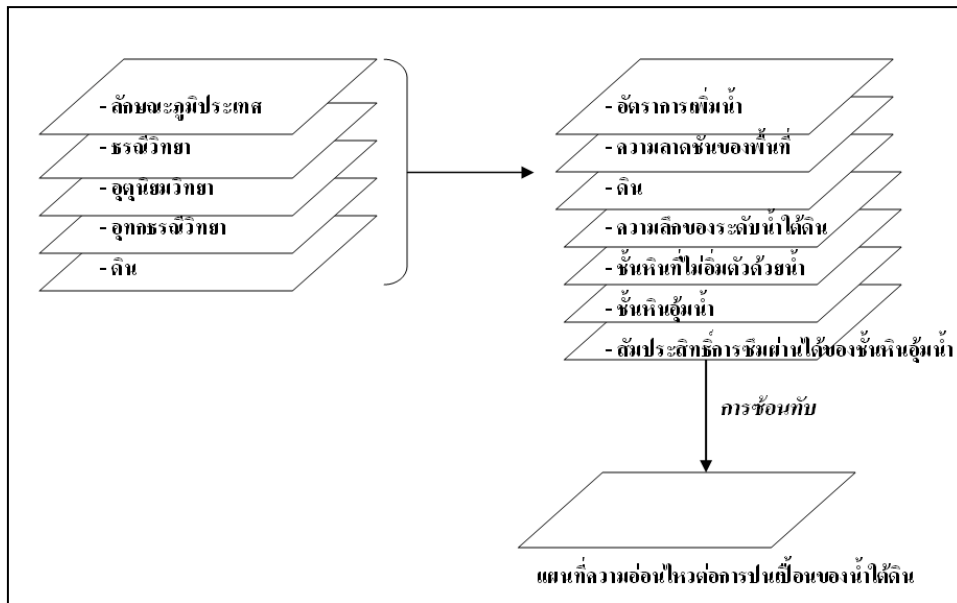
A = ชั้นดินอุ้มน้ำ

S = ประเภทของดิน

T = ลักษณะภูมิประเทศ

I = ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

C = สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของชั้นหินอุ้มน้ำ



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล
 ที่มา (เพ็ชรสวัสดิ์ กันคำ, 2010)

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง DRASTIC

พารามิเตอร์	ที่มา
ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน Depth to Groundwater table (D)	การตรวจวัดในสนาม
อัตราการเติมน้ำ Net Recharge (R)	การตรวจวัดในสนาม
ชั้นดินอุ้มน้ำ Aquifer Media (A)	กรมทรัพยากรธรณี (พ.ศ. 2552)
ประเภทของดิน Soil Media (S)	กรมพัฒนาที่ดิน (พ.ศ. 2548)
ลักษณะภูมิประเทศ Topography (T)	กรมแผนที่ทหาร (พ.ศ. 2552)
ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ Impact of Vadose Zone Media (I)	กรมทรัพยากรธรณี (พ.ศ. 2552)
สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของชั้นหินอุ้มน้ำ Hydraulic Conductivity of the Aquifer (C)	การตรวจวัดในสนาม

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง NO₃-LEACHATE Model

Parameter	ค่าพารามิเตอร์		ที่มา
ความหนาแน่นของดิน ในชั้นผิวดิน ถึงชั้นใต้ดิน ที่ระดับความลึก 1 ฟุต (ρ_b 0-1)	ชนิดดิน	ความหนาแน่นดิน (g/cm ³)	กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวง เกษตรและสหกรณ์ (พ.ศ. 2548)
	ดินร่วนหยาบ	1.57	
	ดินทราย	1.45	
	ดินร่วนละเอียด	1.58	
	ดินทราย	1.52	
ความหนาแน่นของดิน ในชั้นผิวดิน ถึงชั้นใต้ดิน ที่ระดับความลึก 1-2 ฟุต (ρ_b 1-2)	ชนิดดิน	ความหนาแน่นดิน (g/cm ³)	กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวง เกษตรและสหกรณ์ (พ.ศ. 2548)
	ดินร่วนหยาบ	1.57	
	ดินทราย	1.45	
	ดินร่วนละเอียด	1.58	
	ดินทราย	1.52	
ความเข้มข้นของไนเตรต ร่อน้ำหนักดินแห้ง ในชั้นผิวดินจนถึงชั้นใต้ ดินที่ระดับความ ลึก 1 ฟุต ($C_{SOIL\ NO_3\ 0-1}$)	0.4-22.2 (mg NO ₃)		การศึกษานี้

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง NO₃-LEACHATE Model (ต่อ)

Parameter	ค่าพารามิเตอร์	ที่มา
ความเข้มข้นของไนเตรต รต่อน้ำหนักดินแห้ง ในชั้นดินตั้งแต่ที่ระดับ ความลึก 1 ฟุต ถึง 2 ฟุต ($C_{SOIL NO_3 1-2}$)	0.4-22.2 (mg NO ₃)	การศึกษานี้
ปริมาณของน้ำฝน หรือ น้ำผิวดินที่ไหลลงสู่ชั้น น้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา (R)	2.82 (ft)	กรมอุตุนิยมวิทยา (พ.ศ. 2549)/การตรวจวัด ในสนาม
ความเข้มข้นของไนเตรต รตที่มีอยู่ในน้ำฝน หรือ น้ำผิวดินก่อนซึมลงดิน (CR NO ₃)	1.41 (mg NO ₃)	การศึกษานี้

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง GWNO₃-FORECAST Model

Parameter	ค่าพารามิเตอร์	ที่มา
ความยาวของพื้นที่ศึกษาที่ขนานกับทิศทางการไหลของน้ำบาดาล (dL)	3280 (ft)	กำหนดค่า
ความกว้างของพื้นที่ศึกษาที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำบาดาล (W)	3280 (ft)	กำหนดค่า
อัตราการซึมของน้ำที่เข้าไปบริเวณ saturated mixing zone (L _{INFILTRATION})	0.031 (ft/day)	กรมอุตุนิยมวิทยา (พ.ศ. 2549)
ความหนาเฉลี่ยของบริเวณ saturated mixing zone (b)	30 – 180 (ft)	ภาพตัดขวาง
ค่าความแตกต่างของระดับน้ำบาดาลตามความยาวของพื้นที่ (dH)	3-5 (ft)	การศึกษานี้
ค่าการนำชลศาสตร์ (K _H)	1.09 – 2.44 (ft/day)	การศึกษานี้
ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำบาดาลก่อนซึมสู่ท่อ (C _{GW INFLOW NO3})	0.1 – 49 (mg NO ₃)	การศึกษานี้

บทที่ 4

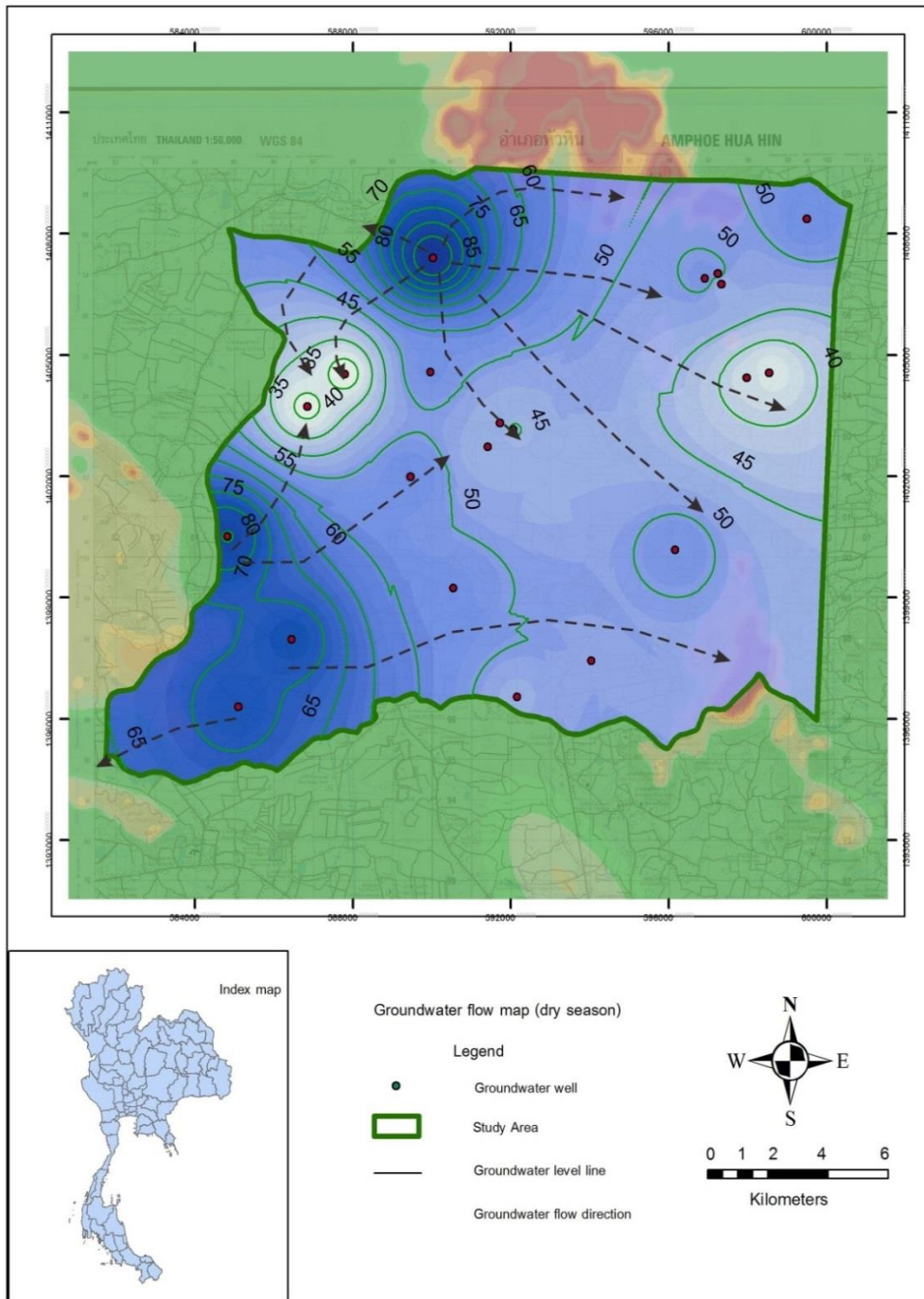
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การศึกษาและทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจำนวน 43 บ่อ จำนวน 2 ฤดูกาล ครั้งที่ 1 วันที่ 16-20 ตุลาคม พ.ศ. 2557 และครั้งที่ 2 วันที่ 17-21 กุมภาพันธ์ 2558 การเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลได้กระจายทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาและนำมาวิเคราะห์ลักษณะเคมีของน้ำและปริมาณความเข้มข้นไนเตรทในพื้นที่ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน คือ ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ ชนิดของน้ำบาดาลในพื้นที่ การกระจายตัวของไนเตรท และผลการศึกษาแบบจำลองสเปรดซิท

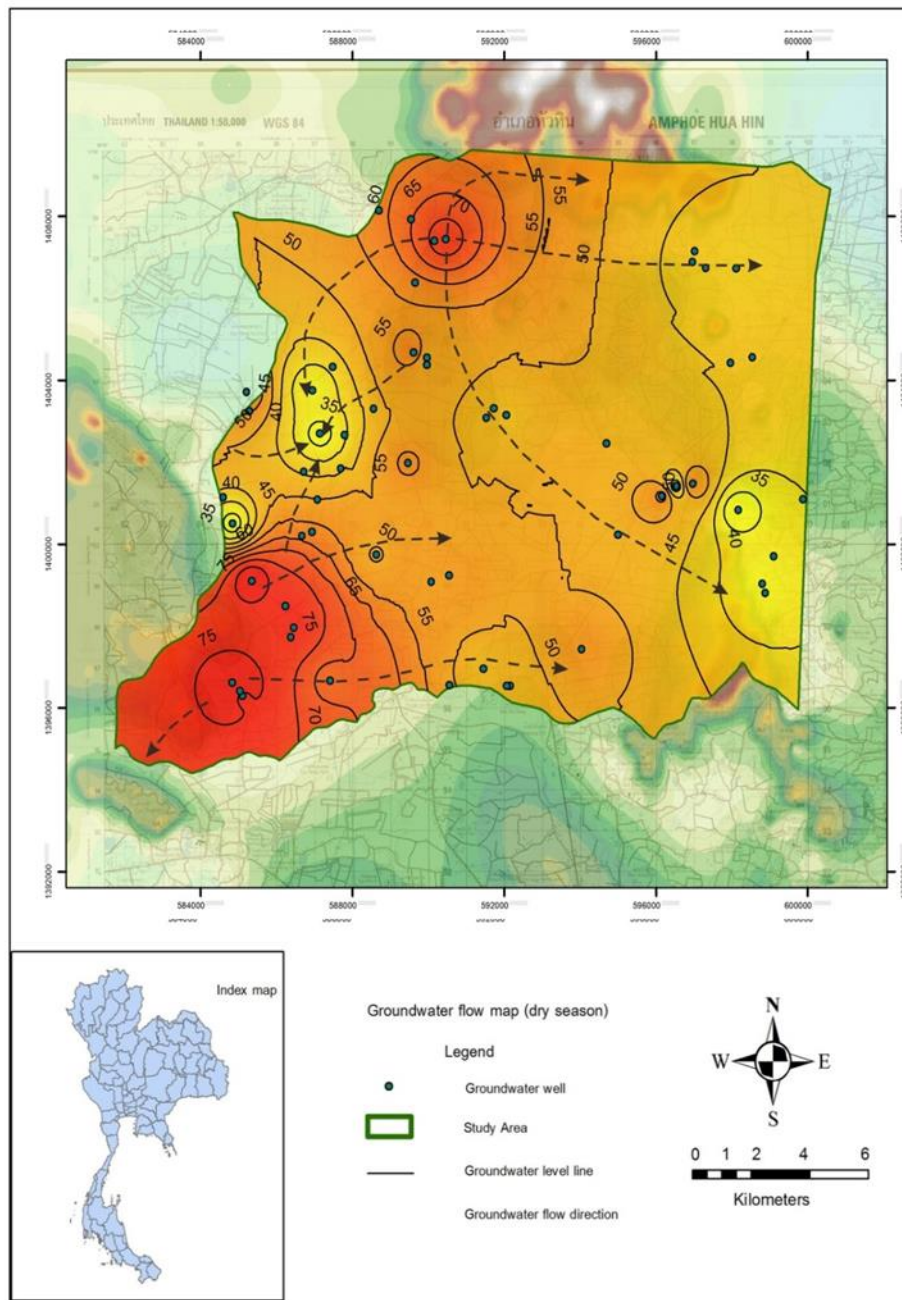
4.1 ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่

จากการศึกษาข้อมูลพื้นฐานในพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาออกเป็น 3 หน่วยหลัก ดังนี้คือ ชั้นน้ำที่ราบลุ่มน้ำหลากและตะกอนเชิงเขา (Floodplain Deposit aquifer ; Qfd) ชั้นน้ำหินชั้นกึ่งหินแปรอายุเพอร์เมียน-คาร์บอนิเฟอรัส (Permo-Carboniferous metasedimentary aquifer ; PCms) และชั้นน้ำหินแกรนิตอายุครีเตเชียส (Cretaceous granitic aquifer; Gr) การไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาจะไหลจากบริเวณภูเขาสูงสู่กลางแอ่งของพื้นที่ และไหลออกไปทางทิศตะวันออกและทิศใต้ของตำบลสามพระยา ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2

ในการศึกษาระดับน้ำบาดาลได้ทำการเก็บตัวอย่าง 2 ช่วง (เดือนตุลาคม พ.ศ. 2557 และ กุมภาพันธ์ 2558) เพื่อทำการศึกษาหาทิศทางการไหลในพื้นที่โดยใช้ข้อมูลของระดับน้ำบาดาลโดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.1 สร้างแผนที่การไหลของระดับน้ำบาดาลขึ้นมาโดยมีลูกศรแสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาล (รูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2) ระดับน้ำทั้งสองฤดูกาลมีความใกล้เคียงกันโดยมีระดับของแต่ละฤดูกาลเป็นตัวกำหนด โดยบริเวณตอนกลางพื้นที่เป็นพื้นที่รับน้ำ ซึ่งน้ำไหลมาจากพื้นที่รับน้ำคือเทือกเขาตำบลเขากระปุกทางทิศตะวันตกของพื้นที่ และเทือกเขาบ้านพุทรวาย ตำบลห้วยทรายเหนือและไหลไปตามทิศตะวันออกเฉียงเหนือ สู่พื้นที่รับน้ำบริเวณตำบลสามพระยาและตำบลท่ายาง



รูปที่ 4.1 ระดับน้ำบาดาลช่วงฤดูแล้ง



รูปที่ 4.2 ระดับน้ำบาดาลช่วงฤดูแล้ง

4.2 ผลอุทกเคมีของน้ำบาดาล

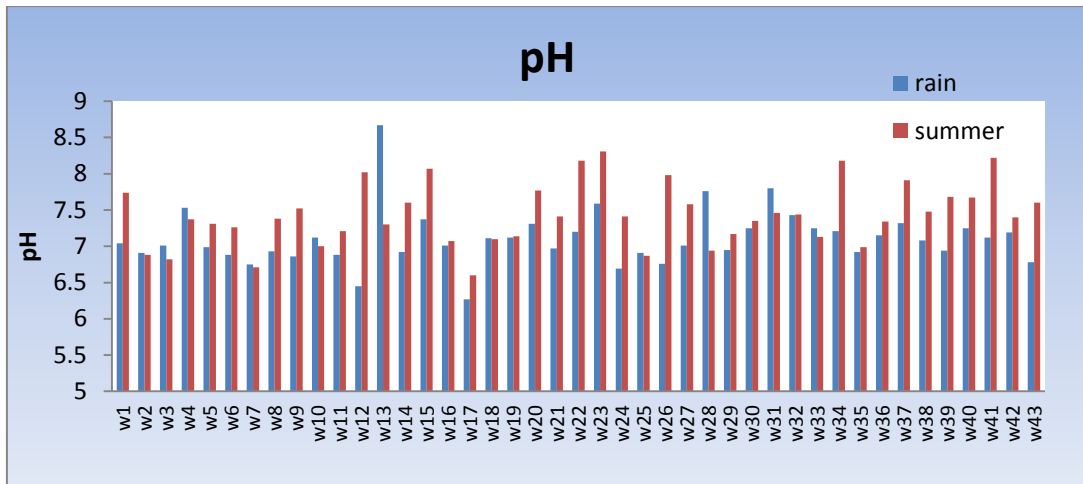
4.2.1 ลักษณะกายภาพของน้ำบาดาล

ในการวัดค่าลักษณะทางเคมีของตัวอย่างน้ำบาดาลในพื้นที่จำนวน 43 บ่อ พบว่าในฤดูฝนมีค่ากรด-เบสอยู่ในช่วง 6.27 – 8.67 และฤดูร้อนมีค่ากรด-เบสอยู่ในช่วง 6.6 – 8.31 โดยพบว่าบ่อที่ 13 มีค่า pH ที่สูงในช่วงฤดูฝนเนื่องจากปริมาณแคลเซียม คาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต (Prakash & Somashekar) (ดังแสดงในรูปที่ 4.3) โดยค่ากรด-เบสของบ่อที่ 17 ในฤดูฝนมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำบาดาลสำหรับการบริโภคของมนุษย์ (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2012) มีค่ามาตรฐานกรด-เบสอยู่ในช่วง 6.5-9.2

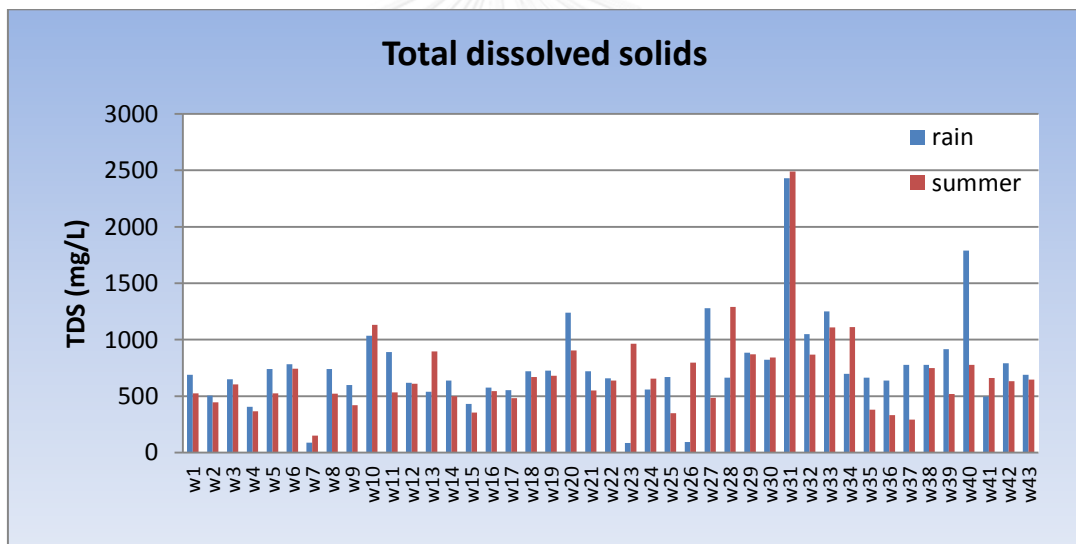
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid) พบว่าในฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 86 - 2,430 mg/L และฤดูร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 151 – 2,490 mg/L (ดังแสดงในรูปที่ 4.4) โดยพบว่าบ่อบาดาลในฤดูฝนมีค่าเกินกว่ามาตรฐานน้ำบาดาลสำหรับการบริโภคของมนุษย์ 31 บ่อ และบ่อบาดาลในฤดูร้อนมีค่าเกินกว่ามาตรฐานน้ำบาดาลสำหรับการบริโภคของมนุษย์ 24 บ่อ (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2012) มีค่ามาตรฐานของแข็งละลายน้ำทั้งหมดไม่เกิน 600 mg/L

ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) พบว่าในฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 161.9 – 4,270 mS/cm และฤดูร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 153.5 – 4,450 mS/cm (ดังแสดงในรูปที่ 4.5) โดยค่าการนำไฟฟ้าในฤดูฝนมีค่าเกินกว่ามาตรฐานน้ำบาดาลสำหรับการบริโภคของมนุษย์ 4 บ่อ คือบ่อที่ 20, 27, 32 และ 34 และบ่อบาดาลในฤดูร้อนมีค่าเกินกว่ามาตรฐานน้ำบาดาลสำหรับการบริโภคของมนุษย์ 4 บ่อ คือบ่อที่ 10, 27, 32 และ 34 (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2012) มีค่ามาตรฐานค่าการนำไฟฟ้าในน้ำบาดาล 30 – 2,000 mS/cm

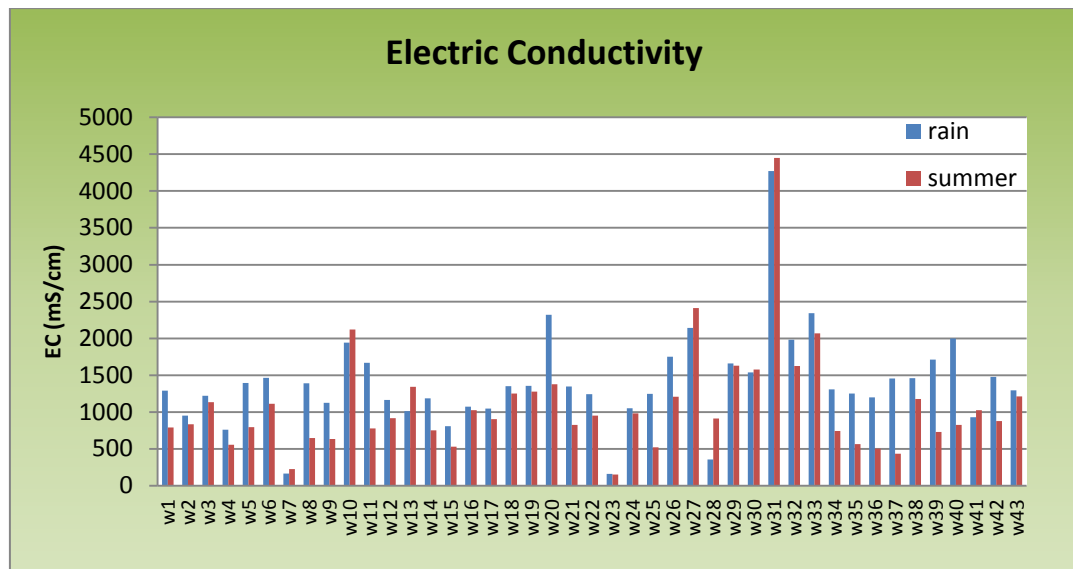
อุณหภูมิของตัวอย่างน้ำบาดาล ในฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 26.3 – 31 °C และฤดูร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 26.5 – 32 °C (ดังแสดงในรูปที่ 4.6)



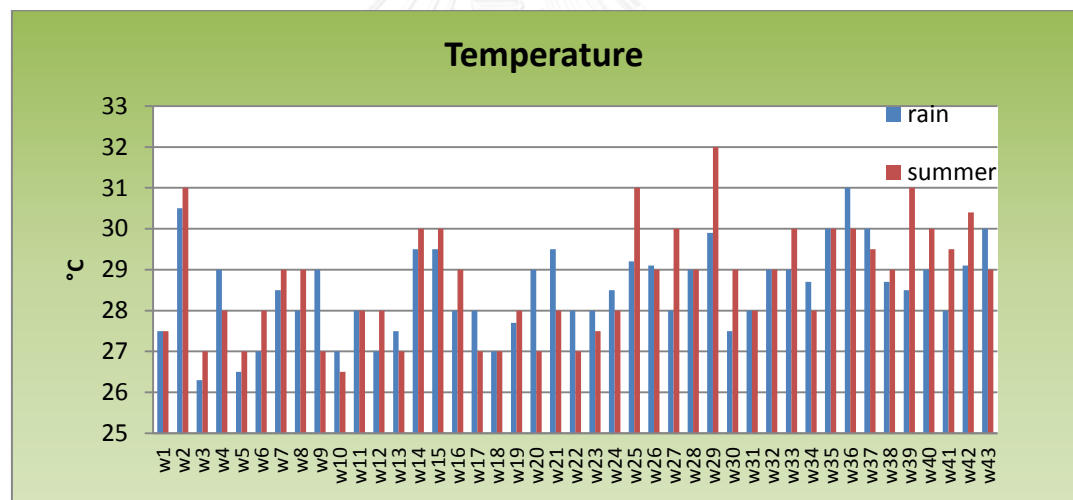
รูปที่ 4.3 แสดงค่ากรด-เบสในตัวอย่างน้ำบาดาลทั้ง 43 บ่อ



รูปที่ 4.4 แสดงค่าของแข็งละลายน้ำในตัวอย่างน้ำบาดาลทั้ง 43 บ่อ



รูปที่ 4.5 แสดงค่าการนำไฟฟ้าในตัวอย่างน้ำบาดาลทั้ง 43 บ่อ



รูปที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิในตัวอย่างน้ำบาดาลทั้ง 43 บ่อ

4.2.2 ชนิดของน้ำบาดาลในพื้นที่

ชนิดของน้ำบาดาลในพื้นที่สามารถอธิบายได้โดยการนำพารามิเตอร์ประกอบด้วยไอออนบวก เช่นแคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โซเดียม (Na) และโพแทสเซียม (K) และไอออนลบ เช่นคลอไรด์ (Cl) คาร์บอเนต (CO_3) ไบคาร์บอเนต (HCO_3) ซัลเฟต (SO_4) ซึ่งไอออนบวกที่สำคัญคือแคลเซียมและโซเดียมส่วนไอออนลบที่สำคัญคือไบคาร์บอเนตและซัลเฟต ตามหลักการของ piper diagram

การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 (ฤดูฝน) ดังในแสดงในตารางที่ 4.1 ดังรูปที่ 4.7 พบว่าน้ำบาดาลมีทั้งหมด 7 ชนิด เรียงจากชนิดน้ำที่มีจำนวนมากไปหาน้อยดังนี้ คือ Ca-Na- HCO_3 -Cl (37%) Ca-Na- HCO_3 (21%) Ca- HCO_3 -Cl (16%) Na- HCO_3 -Cl (14%) Na-Cl (5%) Ca-Cl (5%) Ca- HCO_3 (4%) Ca-Na-Cl (2%)

การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 (ฤดูร้อน) ดังในแสดงในตารางที่ 4.1 ดังรูปที่ 4.9 พบว่าน้ำบาดาลมีทั้งหมด 7 ชนิด เรียงจากชนิดน้ำที่มีจำนวนมากไปหาน้อยดังนี้ คือ Ca-Na- HCO_3 -Cl (47%) Na-Cl (28%) Ca- HCO_3 -Cl (14%) Na- HCO_3 -Cl (5%) Na-Cl (5%) Ca-Cl (5%) Ca- HCO_3 (2%) Ca-Na-Cl (2%) Ca-Cl (2%)

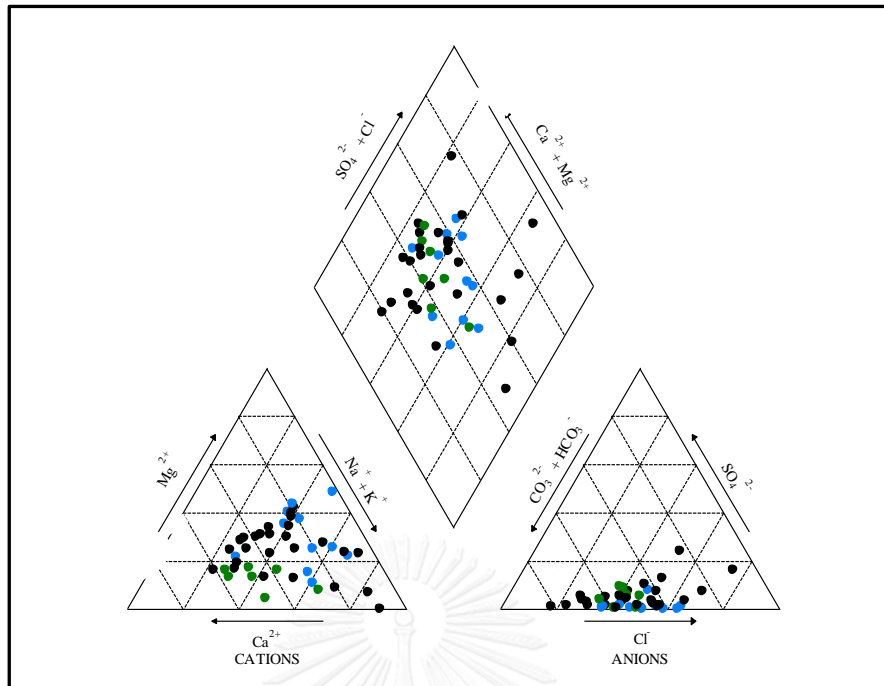
สำหรับความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์ผลเคมีน้ำบาดาลสามารถหาได้โดยการคำนวณสมดุระหว่างไอออนบวกและไอออนลบ (% Δ) ของผลเคมีน้ำบาดาล ซึ่งต้องควรมีค่าสมดุระหว่างไอออนบวกและไอออนลบน้อยกว่าร้อยละ 10 (% $\Delta < 10$) (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2012)

ตารางที่ 4.1 แสดงชนิดน้ำบาดาลในพื้นที่ ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2

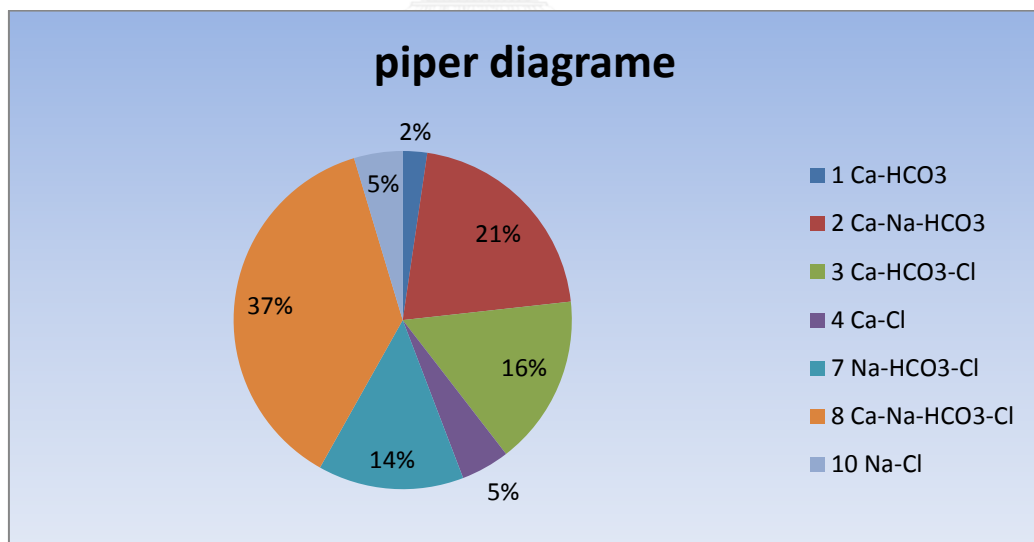
Gw-no	หมายเลขบ่อ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	MU 97	Ca-Na-HCO ₃	Ca-HCO ₃ -Cl
2	MU 284	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃ -Cl
3	C 694	Ca-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
4	MU 258	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
5	MU 96	Ca-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
6	MU 438	Ca-HCO ₃ -Cl	Ca-HCO ₃ -Cl
7	MU 126	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
8	6M (ป2)	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
9	MU 287	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
10	DOH 11453	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
11	จ 1652	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
12	DCD14836	Na-Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
13	DCD 14836	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
14	MU 82	Ca-Na-HCO ₃	Na-Cl
15	MU 317	Na-HCO ₃ -Cl	Na-HCO ₃ -Cl
16	MU 316	Ca-Na-HCO ₃	Na-Cl
17	MU 394	Na-Cl	Na-Cl
18	Pw 0454	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Na-Cl
19	DOH 11443	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Na-Cl
20	DCD 17493	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
21	MU 439	Ca-Na-HCO ₃	Na-HCO ₃
22	MU 259	Ca-Na-HCO ₃	Na-Cl
23	MU 117	Na-HCO ₃ -Cl	Na-HCO ₃
24	MU 325	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
25	MU 339	Ca-Na-HCO ₃	Na-Cl
26	5508F011	Na-Cl	Ca-Na-Cl
27	MU135	Na-HCO ₃ -Cl	Na-Cl

ตารางที่ 4.1 แสดงชนิดน้ำบาดาลในพื้นที่ ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 (ต่อ)

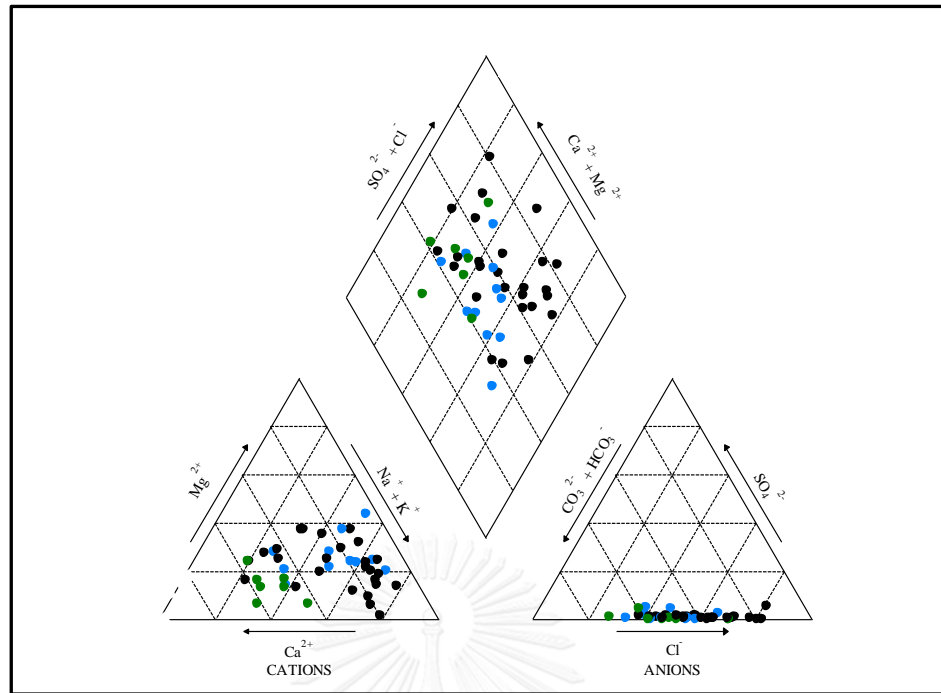
Gw-no	หมายเลขบ่อ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
28	MU 116	Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
29	MU 106	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
30	-	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
31	516-24/2	Na-HCO ₃ -Cl	Na-Cl
32	-	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Ca-HCO ₃ -Cl
33	-	Ca-Cl	Ca-Cl
34	MU 434	Na-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃
35	MU 54	Ca-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
36	DOH 11451	Ca-HCO ₃ -Cl	Ca-HCO ₃ -Cl
37	-	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Na-Cl
38	540BD001	Na-HCO ₃ -Cl	Na-HCO ₃ -Cl
39	S40BD001	Ca-HCO ₃ -Cl	Ca-HCO ₃
40	-	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
41	-	Ca-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
42	5208C002	Ca-Na-HCO ₃ -Cl	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
43	MU 328	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃ -Cl



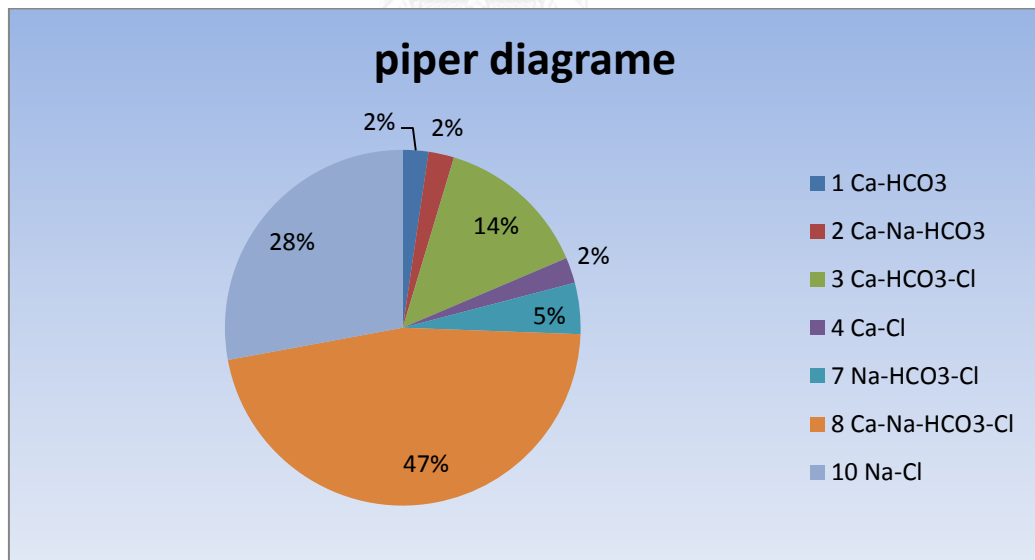
รูปที่ 4.7 การวิเคราะห์ตัวอย่างเคมีน้ำบาดาลโดย piper diagram ในฤดูฝน



รูปที่ 4.8 แสดงร้อยละของชนิดน้ำบาดาลในพื้นที่จากการเก็บตัวอย่างฤดูฝน



รูปที่ 4.9 การวิเคราะห์ตัวอย่างเคมีน้ำบาดาลโดย piper diagramme ฤดูร้อน



รูปที่ 4.10 แสดงร้อยละของชนิดน้ำบาดาลในพื้นที่จากการเก็บตัวอย่างฤดูร้อน

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ฤดูฝน

No.	ID	Well depth	Water depth	elevation	Water level	Temp.	pH	EC	ORP	TDS	สถานที่
1	MU 97	31.50				27.5	7.04	1291	170.1	689	หมู่ 1 ต. ห้วยทรายเหนือ
2	MU 284	42.00	11.33	48	36.67	30.5	6.91	950	103.1	506	หมู่ 1 ต. ห้วยทรายเหนือ
3	C 694	54.00				26.3	7.01	1220	171.4	650	หมู่ 1 ต. ห้วยทรายเหนือ
4	MU 258	30.00				29	7.53	759	107.4	405	หมู่ 1 ต. ห้วยทรายเหนือ
5	MU 96	36.00				29.5	6.99	1394	117.7	741	หมู่ 1 ต. ห้วยทรายเหนือ
6	MU 438	42.00				27	6.88	1464	153.5	783	โรงเรียนบ้านหนองขาม
7	MU 126	39.00				28.5	6.75	165.2	-148.3	88	ที่ทำการหมู่บ้าน หมู่ 5 บ้านหนองขาม
8	6M (U2)					28	6.93	1388	56.5	741	หมู่ 5 บ้านหนองขาม
9		70.00	6.60	104	97.40	29	6.86	1125	98.5	599	ชาวบ้านตูดเอง ฟาร์มเลี้ยงหมู
10	DOH 11453					27	7.12	1941	142.3	1036	ปอโยก
11	จ 652					28	6.88	1669	92.5	891	บ้านผู้ใหญ่ 25 หมู่ 7 บ้านไร่ดินทอง
12						29	7.53	1165	54.5	619	หมู่ 7 บ้านไร่ดินทอง ต. ห้วยทรายเหนือ
13	DCD 14836		5.80	45	39.20	32.5	8.67	1012	175.1	539	
14	42		3.57	117	113.43	32	7.59	161.9	80.8	86	
15	MU 82	66.00				29.5	6.92	1184	124.4	639	บ่อโดยกรมทรัพยากรธรณี
16	MU 319	52.20				28.5	6.85	1542	86.2	822	ม.3 บ้านรางจิก ต.ไร่ใหม่
17			5.98	56	50.02	31	7.37	807	86.6	430	ม.3 บ้านรางจิก ต.ไร่ใหม่
18	MU 394	30.00				29	6.81	1033	95.9	552	หมู่ 4 บ้านบ่อหลวง

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)ข้อมูลการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ฤดูฝน

No.	ID	Well depth	Water depth	elevation	Water level	Temp.	pH	SS	ORP	TDS	สถานที่
19	MU 316	48.00				28	7.01	1075	-2.5	577	31/1 ม.2 ต.ไร่ใหม่
20						28	6.27	1046	53.6	554	158 ม.2 ต.ไร่ใหม่พัฒนา
21	Pw 0454					27	7.11	1353	82.2	721	อบต.ไร่ใหม่พัฒนาเก่า
22	DOH 11443					27.7	7.12	1357	-120.5	726	รพ.ส่งเสริมสุขภาพตำบลไร่ใหม่พัฒนา
23	DCD 17493					32	7.31	2320	86.3	1240	ศูนย์อนามัยส่งเสริมสุขภาพตำบลไร่ใหม่พัฒนา
24	MU 439	54.00	4.00	53	49.00	29.5	6.97	1347	70.5	720	281 ม.8 ต.ไร่ใหม่พัฒนา
25		20.00				28	7.2	1241	-156.1	658	ฟาร์มเลี้ยงหมู ม.4 ต.ไร่ใหม่พัฒนา
26		56.00				29.5	7.28	1323	-50.6	705	บ่อโยก 310 ม.1 ต.ไร่ใหม่พัฒนา
27	MU 259	66.00				26	7.36	1318	54	703	บ้านหนองข้างเหยียบ ม.7
28	MU 117	42.00	3.57	117	113.43	32	7.59	161.9	80.8	86	บ้านหนองข้างเหยียบ ม.7
29	MU 325	67.50				27	7.16	1119	133.9	599	บ้านหนองข้างเหยียบ ม.7
30						28.5	6.69	1050	-47.9	559	บ้านหนองข้างเหยียบ ม.7
31	MU 116	42.00				26	7.09	806	-65.4	428	ม.2 ต. ไร่ใหม่พัฒนา
32	MU 106	48.00				28.5	6.83	995	84.1	529	ม.5 ต. ไร่ใหม่พัฒนา
33						26	6.84	1062	-175	568	ม.5 ต. ไร่ใหม่พัฒนา
34	5508B036	56.00	10.00	40	30.00	28.5	6.33	1118	-91.8	594	ม.5 ต. ไร่ใหม่พัฒนา
35	MU 339	39.00				27.2	6.91	1248	47.4	668	ม.5 ต. ไร่ใหม่พัฒนา
36	MU 434	54.00				28.5	7.31	1260	132	671	ม.4 ต. ไร่ใหม่พัฒนา

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ข้อมูลการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ฤดูฝน

No.	ID	Well depth	Water depth	elevation	Water level	Temp.	pH	EC	ORP	TDS	สถานที่
19	MU 316	48.00				28	7.01	1075	-2.5	577	31/1 ม.2 ต.ไร่ใหม่
20						28	6.27	1046	53.6	554	158 ม.2 ต.ไร่ใหม่พัฒนา
21	PW 0454					27	7.11	1353	82.2	721	อบต.ไร่ใหม่พัฒนาเก่า
22	DOH 11443					27.7	7.12	1357	-120.5	726	รพ.ส่งเสริมสุขภาพตำบลไร่ใหม่พัฒนา
23	DCD 17493					32	7.31	2320	86.3	1240	ศูนย์อนามัยส่งเสริมสุขภาพตำบลไร่ใหม่พัฒนา
24	MU 439	54.00	4.00	53	49.00	29.5	6.97	1347	70.5	720	281 ม.8 ต.ไร่ใหม่พัฒนา
25		20.00				28	7.2	1241	-156.1	658	ฟาร์มเลี้ยงหมู ม.4 ต.ไร่ใหม่พัฒนา
26		56.00				29.5	7.28	1323	-50.6	705	บ่อโยก 310 ม.1 ต.ไร่ใหม่พัฒนา
27	MU 259	66.00				26	7.36	1318	54	703	บ้านหนองข้างเขียบ ม.7
28	MU 117	42.00	3.57	117	113.43	32	7.59	161.9	80.8	86	บ้านหนองข้างเขียบ ม.7
29	MU 325	67.50				27	7.16	1119	133.9	599	บ้านหนองข้างเขียบ ม.7
30						28.5	6.69	1050	-47.9	559	บ้านหนองข้างเขียบ ม.7
31	MU 116	42.00				26	7.09	806	-65.4	428	ม.2 ต. ไร่ใหม่พัฒนา
32	MU 106	48.00				28.5	6.83	995	84.1	529	ม.5 ต. ไร่ใหม่พัฒนา
33						26	6.84	1062	-175	568	ม.5 ต. ไร่ใหม่พัฒนา
34	5508B036	56.00	10.00	40	30.00	28.5	6.33	1118	-91.8	594	ม.5 ต. ไร่ใหม่พัฒนา
35	MU 339	39.00				27.2	6.91	1248	47.4	668	ม.5 ต. ไร่ใหม่พัฒนา
36	MU 434	54.00				28.5	7.31	1260	132	671	ม.4 ต. ไร่ใหม่พัฒนา

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ข้อมูลการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ฤดูฝน

No.	ID	Well depth	Water depth	elevation	Water level	Temp.	pH	ES	ORP	TDS	สถานที่
37	MU 54	48.00	7.73	40	32.27	30.5	7.1	2380	48.6	1270	ม.4 ต. ไชยพัฒนา
38	DOH 11451					29.2	6.89	1567	-68.4	723	ม.4 ต. ไชยพัฒนา
39	5508F011	80.00	6.00	50	44.00	29.1	6.76	175	-1.5	93.3	โครงการก่อสร้างห้องน้ำ อบต.สามพระยา
40	DCD14818					26	7.87	343	97.2	183	
41			6.22	54	47.78	26	7.01	2140	108.1	1280	ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก ต.สามพระยา
42	จ 76					26.5	7.19	1229	-93.4	658	
43						29	7.76	354	75.3	664	ตรงข้ามโรงเรียนวัดป่าไร่
44						29.9	6.95	1660	115	886	โครงการปรองป่า ต.สามพระยา
45	TL 4	54.00				28.3	6.82	1316	-24.6	705	ศูนย์วิจัยและพัฒนากาหรสัตว์
46		80.00	18.00	50	32.00	27.5	7.25	1539	-115.7	821	โรงเรียนศึกษาสงเคราะห์ เพชรบุรี
47						28	7.8	4270	118.1	2430	
48						30.2	7.23	1555	102.5	830	มีสถานีวัดไทรโยคพัฒนา
49						26	7.32	1337	159.5	710	
50						25	7.21	1119	140.4	595	
51						24.9	7.43	1.98	76.4	1050	
52						25.8	7.25	2.34	171.1	1.25	โครงการเขาบอบกตล ม.1 ต.สามพระยา
53						29	7.95	961	41.9	513	ศูนย์ศึกษาหัวทราย
54	MU 287	46.50	5.67	21	15.33	29.2	7.67	741	-163.6	395	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลอ่างหิน

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ข้อมูลการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 ฤดูฝน

No.	ID	Well depth	Water depth	elevation	Water level	Temp.	pH	EC	ORP	TDS	สถานที่
55		101.30	3.90	50	46.10	28.7	7.21	1308	-49.7	698	โครงการเขาบ่อบาดล.ม. ต.อ่างหิน
56		100.00	15.00	46	31.00	30	6.92	1251	101.1	665	ศูนย์ศึกษการพัฒนากห้วยทราย
57		55.00	17.71	45	27.29	31.5	7.15	1200	-18.2	639	ศูนย์ศึกษการพัฒนากห้วยทราย
58						32	7.32	1455	16.1	778	บ่อเลี้ยงกบ
59	540BD001	102.00	8.00	63	55.00	27.7	7.08	1458	-134.2	778	สวนสมเด็จพระเจ้า
60			6.77	53	46.23	28.5	6.94	1710	99.5	916	สวนสมเด็จพระเจ้า
61			11.93	69	57.07	27.9	7.25	2000	-14.1	1790	บ้านสีเขียว
62		48.00		59	59.00	27	7.14	1686	-154	904	โรงเรียนบ้านบ่อหลวง
63		50.00	10.15	59	48.85	28.2	7.22	780	93.1	417	Monitoring well
64			0.51	56	55.49	29	7.12	931	138.1	496	ศาลาเริงเริงชัย ต.สามพรต
65			7.49	61	53.51	29.1	7.19	1476	110.8	791	บ่อตากพงหญ้า
66	MU 328			63		30	7.1	1294	28.7	690	บ้านใกล้ศูนย์กลางธรรมกิจผู้ดี

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ฤดูร้อน

No.	ID	Well depth	Water depth	elevation	Water level	Temp.	pH	EC	ORP	TDS	สถานที่
1	MU 97	31.50				27.5	7.74	789	135.5	524	หมู่ 1 ต. ห้วยทรายเหนือ
2	MU 284	42.00	10.2	65	55.80		6.88	835	248.8	445	หมู่ 1 ต. ห้วยทรายเหนือ
3	C 694	54.00				27	6.82	1133	204.4	604	หมู่ 1 ต. ห้วยทรายเหนือ
4	MU 258	44.00				24	7.37	555	197.7	367	หมู่ 1 ต. ห้วยทรายเหนือ
5	MU 96	36.00	12.9	46	33.10	27	7.31	793	193.4	524	หมู่ 1 ต. ห้วยทรายเหนือ
6	MU 438	42.00				28	7.26	1113	34.6	743	โรงเรียนบ้านหนองขาม
7	MU 126	39.00				27	6.71	226	-139.3	151	ที่ทำการหมู่บ้าน หมู่ 5 บ้านหนองขาม
8	6M (12)		22.7	55	32.30	29	7.38	645	23.5	521	หมู่ 5 บ้านหนองขาม
9						27	7.52	635	188.3	420	ชาวบ้านชุดอง ฟาร์มเลี้ยงหมู
10	DOH 11453					26	7	2120	-136.9	1130	บ่อโยก
11	๑ 652		3.6	63	59.40	28	7.21	778	-78.7	533	บ้านผู้ใหญ่ 25 หมู่ 7 บ้านไร่ดินทอง
12			4.6	56	51.40	28	8.02	915	33.7	611	หมู่ 7 บ้านไร่ดินทอง ต. ห้วยทรายเหนือ
13	DCD 14836	58.00	7.91	58	50.10	27	77.3	1342	77.3	897	
14		43.50				28	7.48	970	175.1	532	
15	MU 82	66.00				27	7.6	753	155.4	499	บ่อโดยกรมทรัพยากรธรณี
16	MU 319		10.7	69	58.30	28.5	6.85	1542	86.2	822	ม.3 บ้านรางจิก ต.ไร่ใหม่
17			3.2	86	32.80	30	8.07	531	84.7	355	ม.3 บ้านรางจิก ต.ไร่ใหม่
18	MU 394	30.00				29	6.81	1033	95.9	552	หมู่ 4 บ้านบ่อพลวง

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ฤดูร้อน

No.	ID	Well depth	Water depth	elevation	Water level	Temp.	pH	ec	ORP	TDS	สถานที่
19	MU 316	48				29	7.07	1023	197.9	545	31/1 ม.2 ต.ไร่ใหม่
20						27	6.6	903	-29.7	481	158 ม.2 ต.ไร่ใหม่พัฒนา
21	PW 0454					27	7.1	1253	181.2	668	อบต.ไร่ใหม่พัฒนาเก่า
22	DOH 11443					26	7.14	1275	118.7	681	รพ.ส่งเสริมสุขภาพตำบลไร่ใหม่พัฒนา
23	DCD 17493		2.30	82	79.70	27	7.77	1376	-21.2	905	ศูนย์อนามัยรณรงค์บ้านโป่งแก้งพัฒนา
24	MU 439	54	2.90	78	75.10	28	7.41	824	118.8	551	281 ม.8 ต.ไร่ใหม่พัฒนา
25		23				27	9.18	950	179.5	638	ฟาร์มเลี้ยงหมู ม.4 ต.ไร่ใหม่พัฒนา
26			4.50	83	78.50	27.5	8.31	153.5	154.5	96.4	บ่อโยก 310 ม.1 ต.ไร่ใหม่พัฒนา
27	MU 259	66	3.90	83	79.10	28.5	7.56	741	-31.7	494	บ้านหนองข้างเหยียบ ม.7
28	MU 117	42	30	76	73.00	27.5	8.31	153.5	154.5	964	บ้านหนองข้างเหยียบ ม.7
29	MU 325		4.90	68	63.10	29	7.62	659	212.5	443	บ้านหนองข้างเหยียบ ม.7
30		24	3.31	78	74.70	28	7.41	981	153.5	655	บ้านหนองข้างเหยียบ ม.7
31	MU 116	42				27	6.88	773	193.3	411	ม.2 ต. ไร่ใหม่พัฒนา
32	MU 106					28	7.21	895	84.1	429	ม.5 ต. ไร่ใหม่พัฒนา
33			12.50	59	46.50	29	6.69	399	190.5	266	ม.5 ต. ไร่ใหม่พัฒนา
34	5508B036	56	9.18	57	47.90		7.6	254	-297.9	170	ม.5 ต. ไร่ใหม่พัฒนา
35	MU 339	39				31	6.87	523	145.7	349	ม.5 ต. ไร่ใหม่พัฒนา
36	MU 434	54	14.70	66	51.30	27.5	6.84	1218	-27.9	650	ม.4 ต. ไร่ใหม่พัฒนา

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ฤดูร้อน

No.	ID	Well depth	Water depth	elevation	Water level	Temp.	pH	EC	ORP	TDS	สถานที่
37	MU 54	48	12.30	65	52.70	27.5	5.54	545	220	290	ม.4 ต. ไชยใหม่พัฒนา
38	DOH 11451					30	7.23	1767	168.4	729	ม.4 ต. ไชยใหม่พัฒนา
39	5508F011	60	2.50	52	48.50	29	7.98	1209	797	797	โครงการก่อสร้างห้องน้ำ อบต.สามพระยา
40	DCD14818			59		26	8.03	544	166.2	289	
41		30	2.45	58	55.60	30	7.58	912	145.9	486	ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก ต.สามพระยา
42	จ 76					27.5	7.03	1429	-123.4	658	
43			4.90	61	56.50	29	6.94	2410	195.6	1290	ตรงข้ามโรงเรียนวัดป่าไร่
44			25.05	62	37.00	31.5	7.17	1631	170.9	871	โครงการปรองบ่า ต.สามพระยา
45	TL 4					29	7.01	1456	-28.46	723	ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์
46		80	12.75	67	54.30	29	7.35	1575	217.3	842	โรงเรียนศึกษาสงเคราะห์ เพชรบุรี
47		260		62		28	7.46	4450	57.2	2490	
48						26	7.32	1337	159.5	710	
49				48		30	6.98	1340	251.1	716	
50			15.70	51	35.30	32	7.44	1623	225.8	867	
51				49		31	7.13	2070	222.8	1110	โครงการเขาบอบตาต ม.1 ต.สามพระยา
52			28.00	59	31.00	31	7.68	416	139.6	278	ศูนย์ศึกษาห้วยทราย
53	MU 287					30.5	7.22	653	-133.6	225	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลอ่างหิน

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 ฤดูร้อน

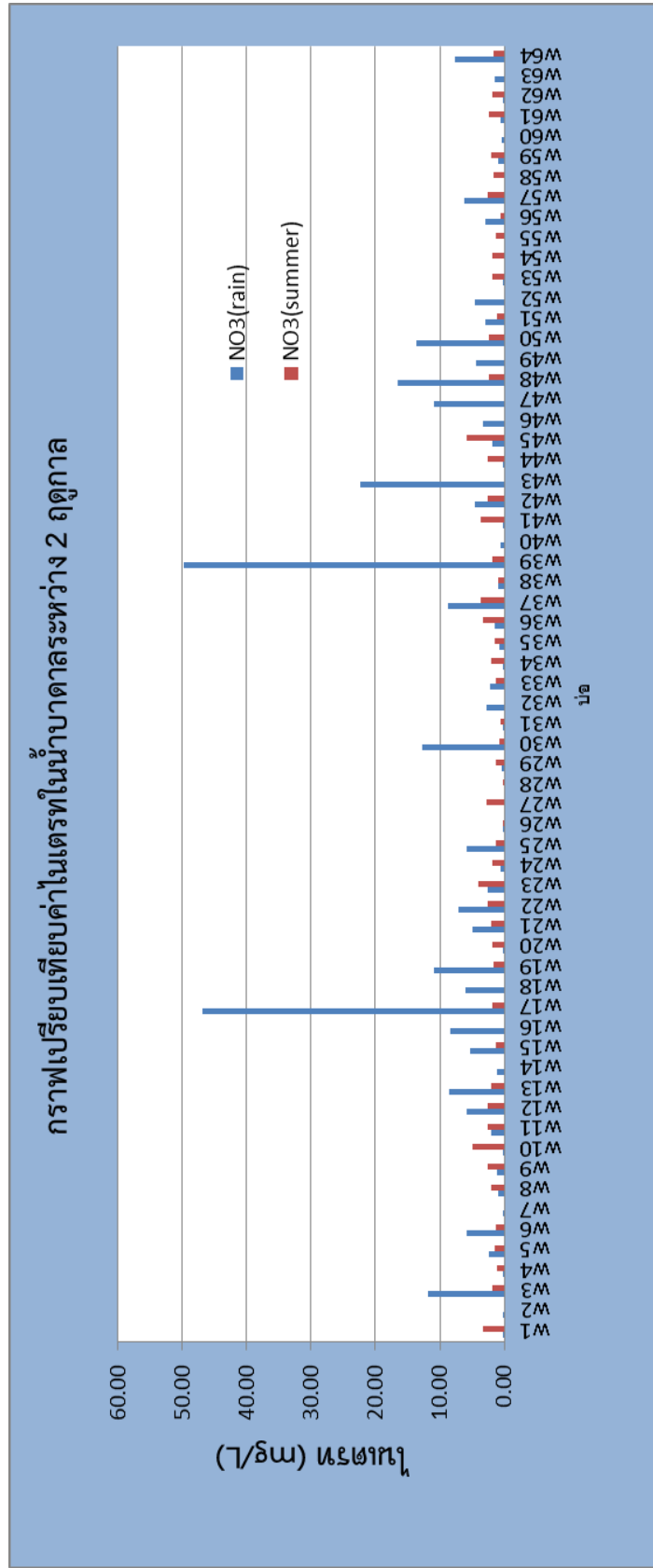
No.	ID	Well depth	Water depth	elevation	Water level	Temp.	pH	EC	ORP	TDS	สถานที่
54			5.3	49	43.7	28	8.18	742	116.3	1111	โครงการเลขบอบาตล.ม. ต.อ่างหิน
55				50		30	6.99	564	32.3	380	ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทราย
56				56		30	7.34	503	-58.6	332	ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทราย
57				38		29.5	7.91	436	182	291	บ่อเลี้ยงกบ
58	540BD001	140		60		28	7.48	1175	43.7	748	สวนสมเด็จพระเจ้า
59		102		58		31	7.68	731	159	519	สวนสมเด็จพระเจ้า
60				45		30	7.67	826	106.8	777	บ้านสีเขียว
61			8.5	44	35.5	28	7.28	463	13.4	0	Mointering well
62				48		25	8.22	1026	68.2	661	ศาลารีนเรียง ต.สามพระยา
63			6.5	52	45.5	30.4	7.4	877	146.7	633	บ่อกลางพงหญ้า
64	MU 328	73	7.3	57	49.7	29	188.6	1213	188.6	647	บ้านใกล้ศูนย์กลางธรรมกิจผู้ถือ

4.3 การกระจายตัวของไนเตรทในน้ำบาดาล

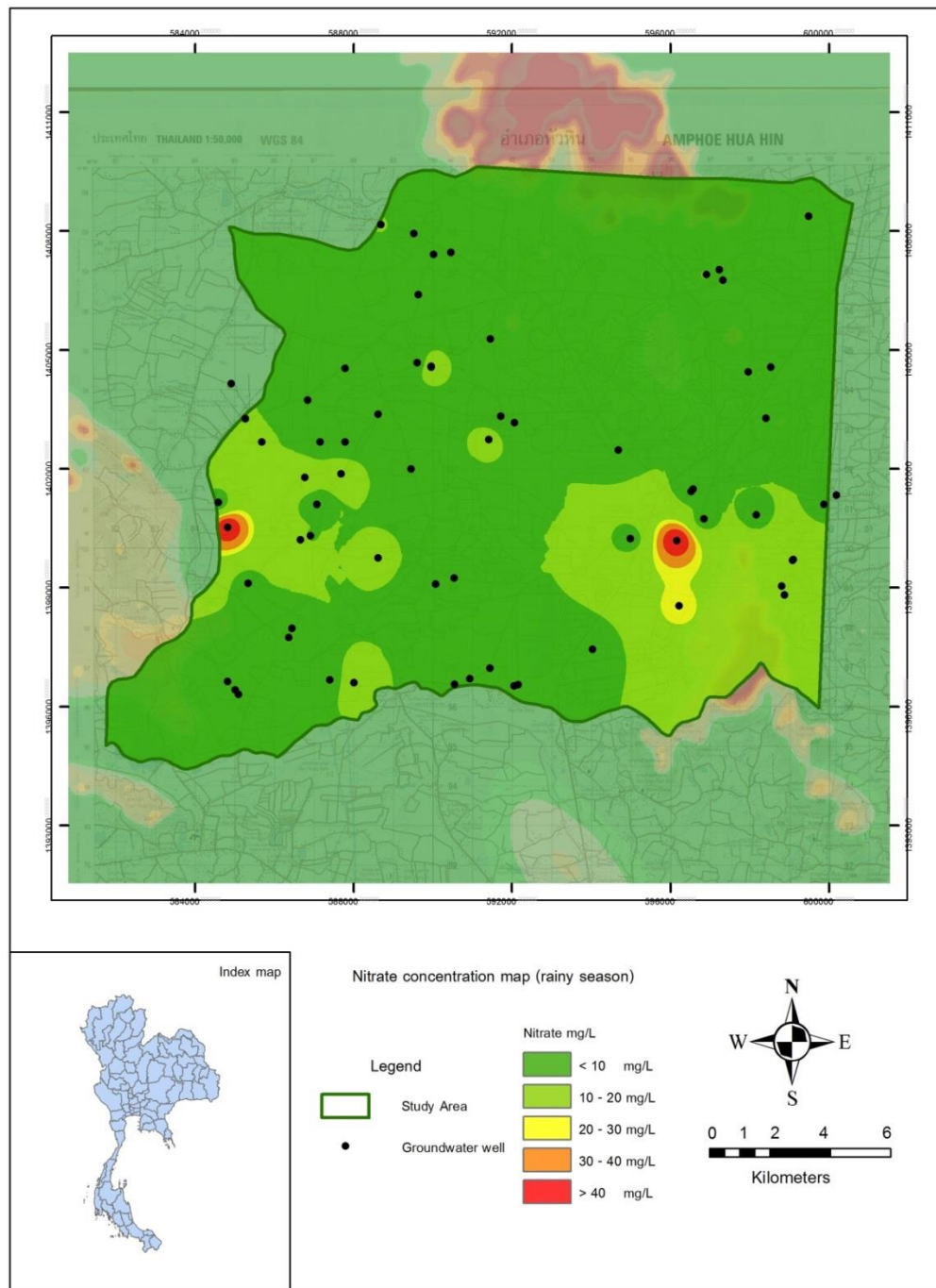
ในการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลเพื่อศึกษาปริมาณไนเตรทที่ปนเปื้อนระหว่าง 2 ช่วงฤดูกาล และนำมาเปรียบเทียบหาค่าความแตกต่างกันได้ดังรูปที่ 4.11 โดยค่าไนเตรทในน้ำบาดาลระหว่าง ฤดูฝนและฤดูร้อนมีผลดังนี้ คือ

ในฤดูฝนได้มีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 66 บ่อ แบ่งเป็นตำบลไร้ใหม่พัฒนา 19 บ่อ ตำบล สามพระยา 27 บ่อ และตำบลห้วยทรายเหนือ 20 บ่อ ซึ่งตามมาตรฐานความปลอดภัยน้ำบาดาลของ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมต้องมีค่าไนเตรทไม่เกิน 45 mg/L พบว่าในฤดูฝนมีบ่อที่มีค่า ไนเตรทเกินมาตรฐานจำนวน 2 บ่อ (บ่อที่ 17 และบ่อที่ 41) อยู่ในชั้นน้ำบาดาลที่ราบลุ่มและ ตะกอนเชิงเขา (Floodplain Deposit aquifer ; Qfd) มีค่าไนเตรท 46.85 45 mg/L และ 49.74 45 mg/L ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.12) บ่อที่ 14 อยู่ในบริเวณพื้นที่สวนผลไม้ เป็นพื้นที่รับน้ำได้รับน้ำจาก บริเวณเขาโป่งและและเขาพุห้วย บ่อที่ 41 อยู่ในบริเวณพื้นที่สวนผลไม้เช่นเดียวกันแต่บริเวณ ใกล้เคียงพบว่าการเลี้ยงสัตว์ด้วย บ่อนี้ได้รับน้ำจากเทือกเขาสามพระยาและเขาพุห้วย

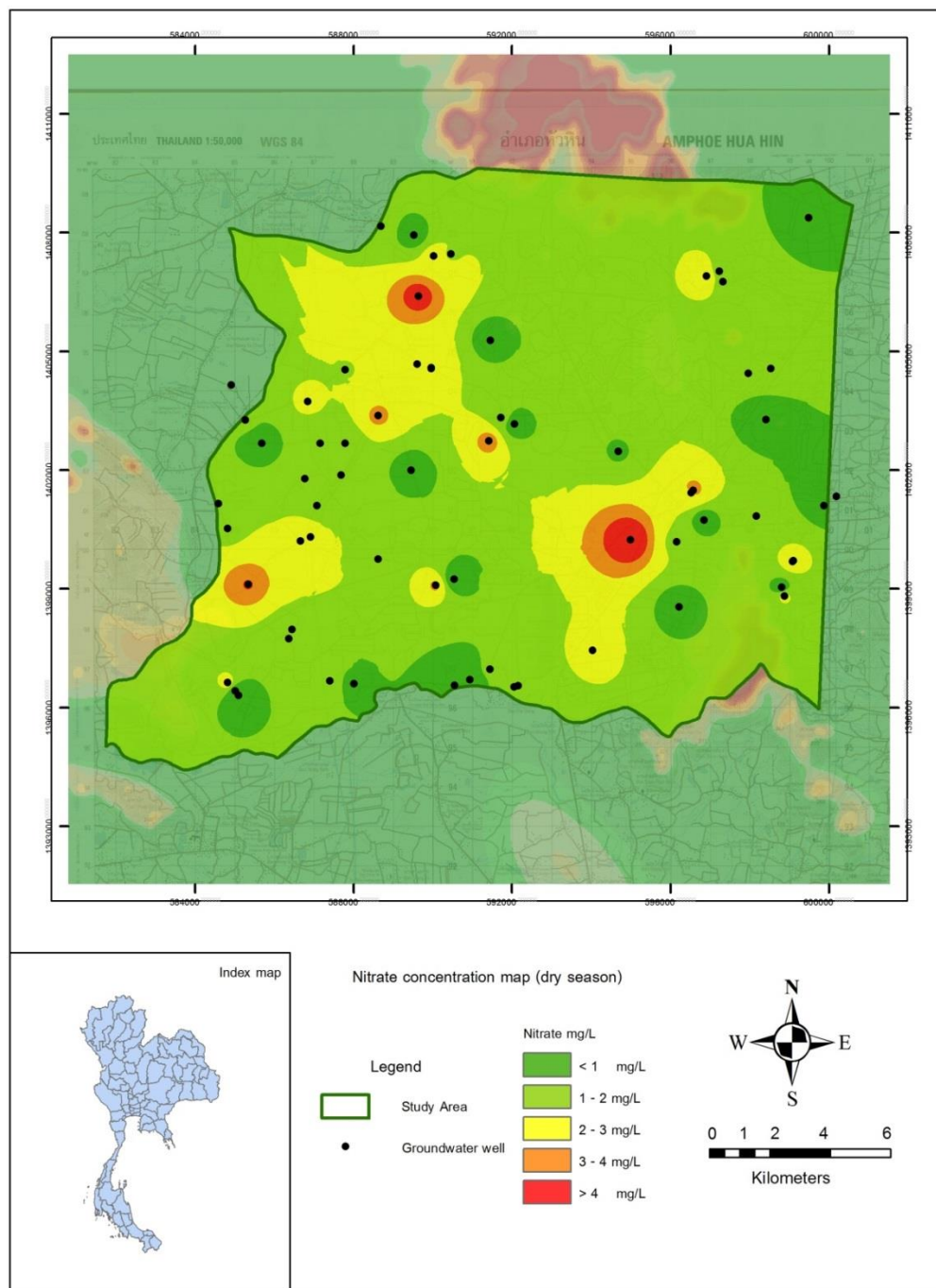
ในฤดูร้อนได้มีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 62 บ่อ แบ่งเป็นตำบลไร้ใหม่พัฒนา 19 บ่อ ตำบล สามพระยา 24 บ่อ และตำบลห้วยทรายเหนือ 19 บ่อ พบว่าบ่อบาดาลมีค่าไนเตรทอยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานบาดาลของ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในฤดูร้อนพบค่าไนเตรทที่สูงมาก 3 บ่อ (บ่อที่ 10 บ่อที่ 23 และบ่อที่ 47) มีค่าไนเตรท 4.97 mg/L 4.09 mg/L และ 5.75 mg/L ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.13) เมื่อตรวจสอบข้อมูลการกระจายตัวของไนเตรทร่วมกับแผนที่การไหลน้ำ บาดาลในช่วงฤดูร้อน บ่อที่มีค่าไนเตรทสูงในช่วงฤดูร้อนเป็นบ่อที่เป็นพื้นที่รับน้ำทั้งสิ้น



รูปที่ 4.11 ค่าการเปรียบเทียบไนเตรทในน้ำบาดาลระหว่าง 2 ฤดูกาล



รูปที่ 4.12 แผนที่การกระจายตัวของไนเตรทของน้ำบาดาลในพื้นที่จากตัวอย่างฤดูฝน



รูปที่ 4.13 แผนที่การกระจายตัวของไนเตรทของน้ำบาดาลในพื้นที่จากตัวอย่างฤดูร้อน

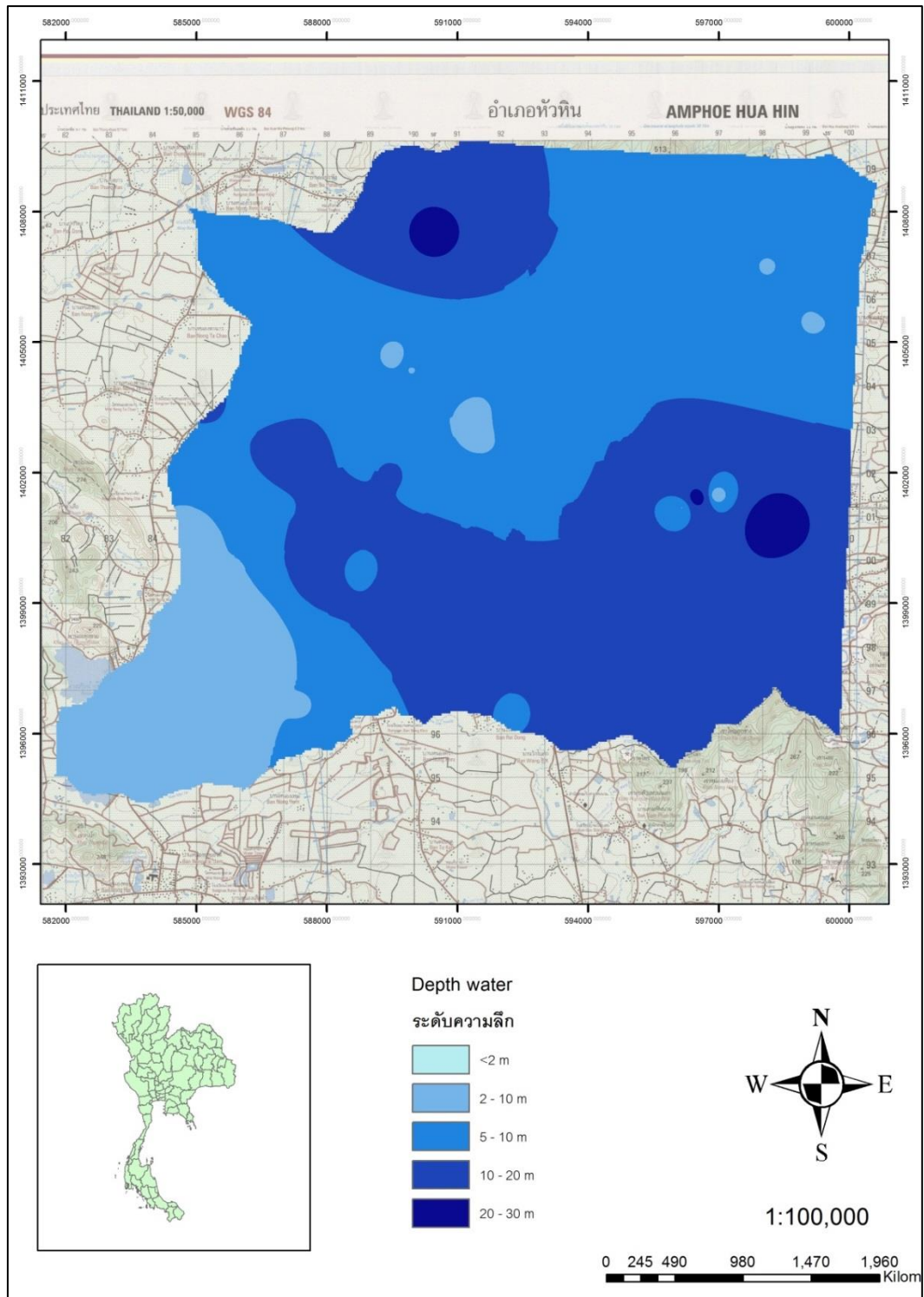
4.4 ความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะ (PDRASTIC)

ในการศึกษาเพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินในพื้นที่ห้วยทราย ใช้ปัจจัยทางกายภาพทั้ง 8 ปัจจัย ดังรูปที่ 4.14 ถึง รูปที่ 4.20 โดยการกำหนดค่าน้ำหนักและค่าคะแนนให้กับปัจจัยในแต่ละตัวแล้วทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการซ้อนทับ คำนวณคะแนนเพื่อจัดกลุ่มความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะได้ 5 กลุ่ม ดังรูปที่ 4.14 พบว่าปัจจัยหลักที่มีนัยสำคัญที่สุด เป็นตัวกำหนดสภาพความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา คือ D (ความลึกของระดับน้ำบาดาล) และ T (ลักษณะภูมิประเทศ) รองลงมาคือ S (สมบัติของดิน) A (สมบัติของวัสดุชั้นน้ำ) R (อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล) C (ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ) และ I (สมบัติของชั้นที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล) (Babiker et al, 2005)

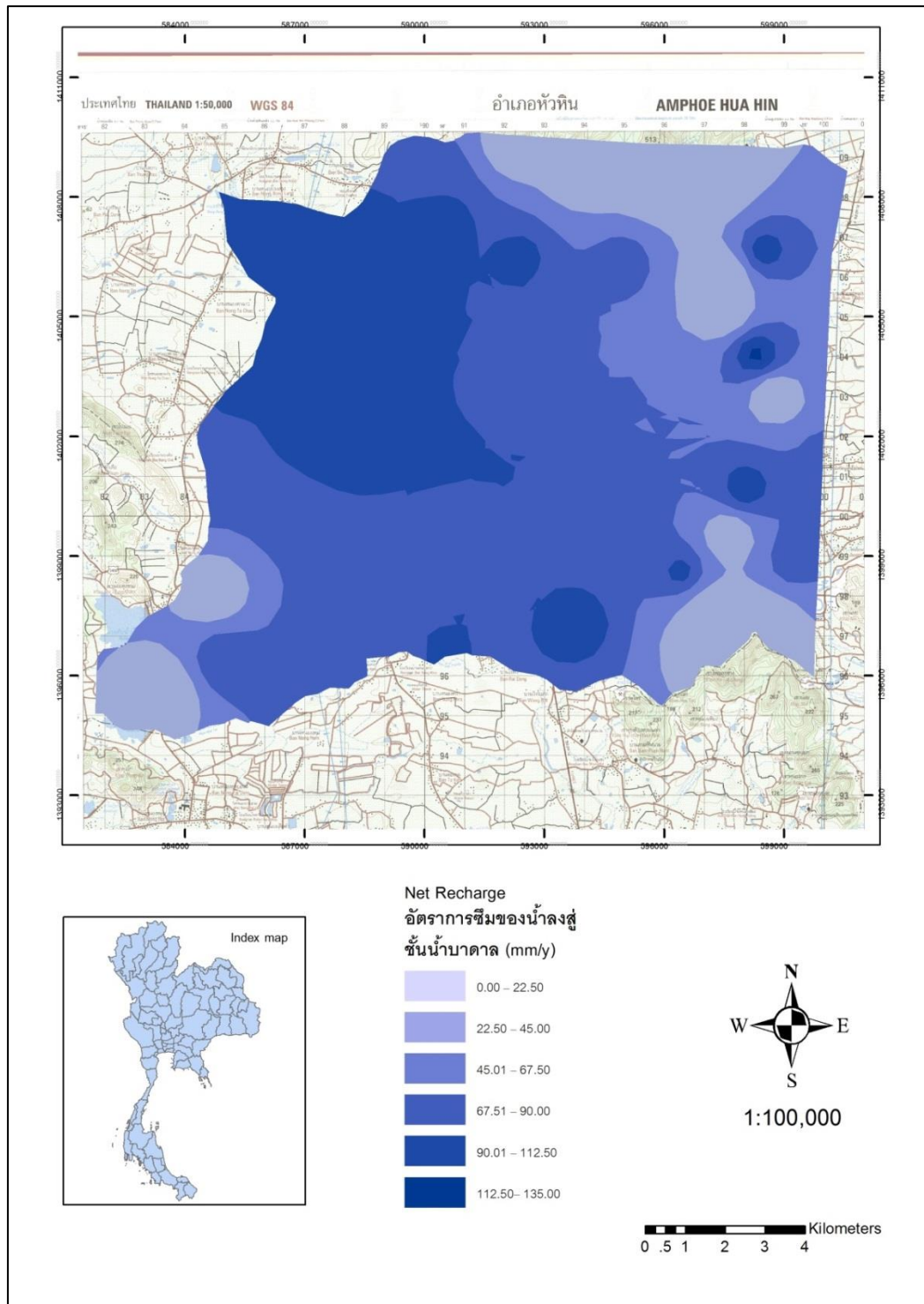
เมื่อนำข้อมูลไนเตรทมาทับซ้อนในแผนที่ความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะพบว่าบ่อบาดาลที่ปริมาณไนเตรทสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำ (<45 mg/L) พบว่าบ่ออยู่ในบริเวณช่วงความเสี่ยงสูงมาก และความเสี่ยงสูงตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 จัดระดับพื้นที่ความเสี่ยง

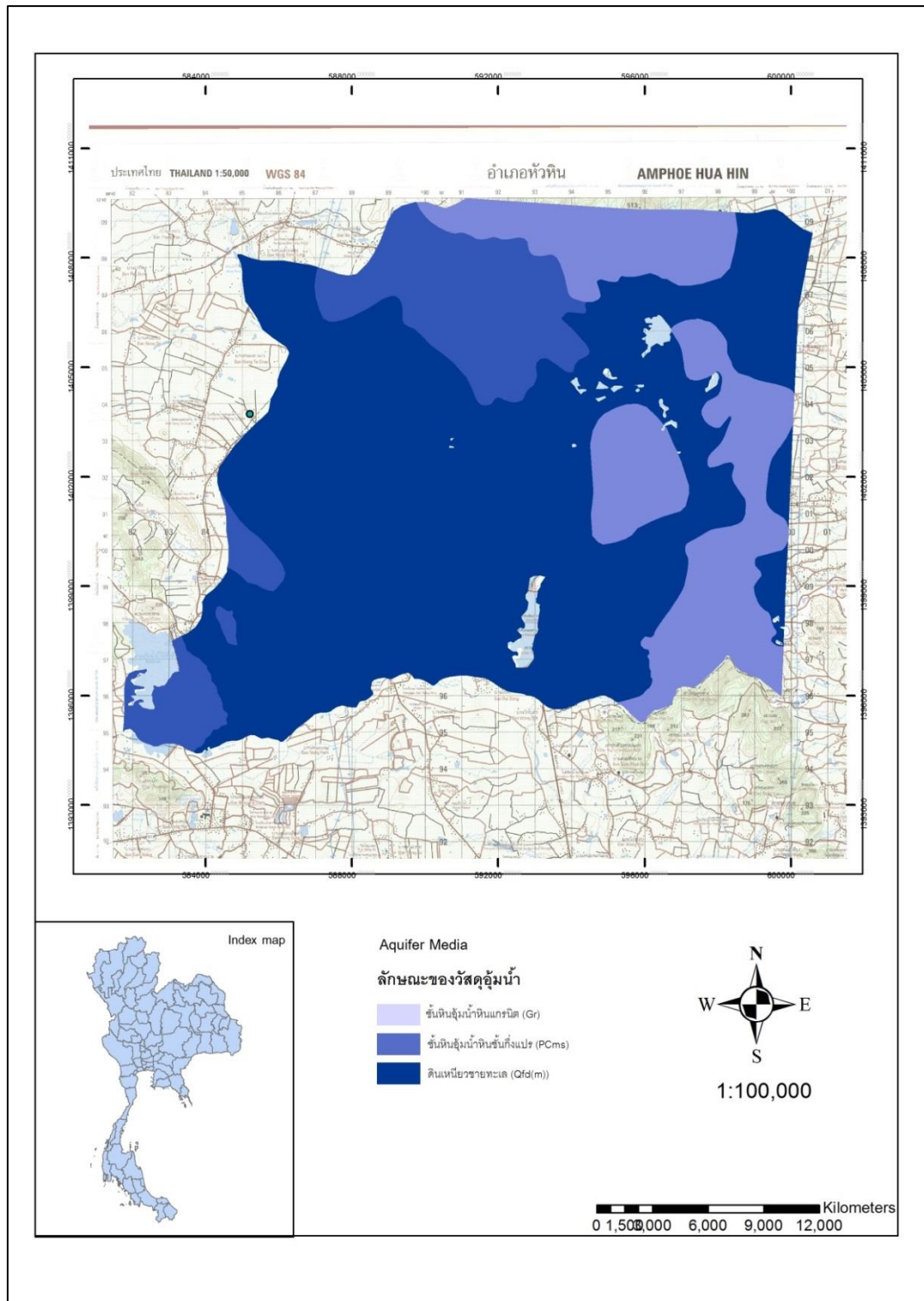
ระดับความเสี่ยง	พื้นที่ (ตารางเมตร)	สถานที่
ต่ำมาก (very low)	8,800	เขาลูกช้าง, เขาสามพระยา, เขาหนอกวัว
ต่ำ (low)	14,657	เขาสับพัง, เขาพุกห้วย, เขาเสวยกะปิ
ปานกลาง (normal)	22,016	บ้านสระพัง, บ้านทุ่งขาม, บ้านช้างแทงกระจาด
สูง (high)	47,849	บ้านหนองเขื่อน, บ้านทุ่งขาม, บ้านไร่ดินทอง
สูงมาก (very high)	112,104	บ้านบ่อหลวง, บ้านรางจิก, บ้านรังแร้ง



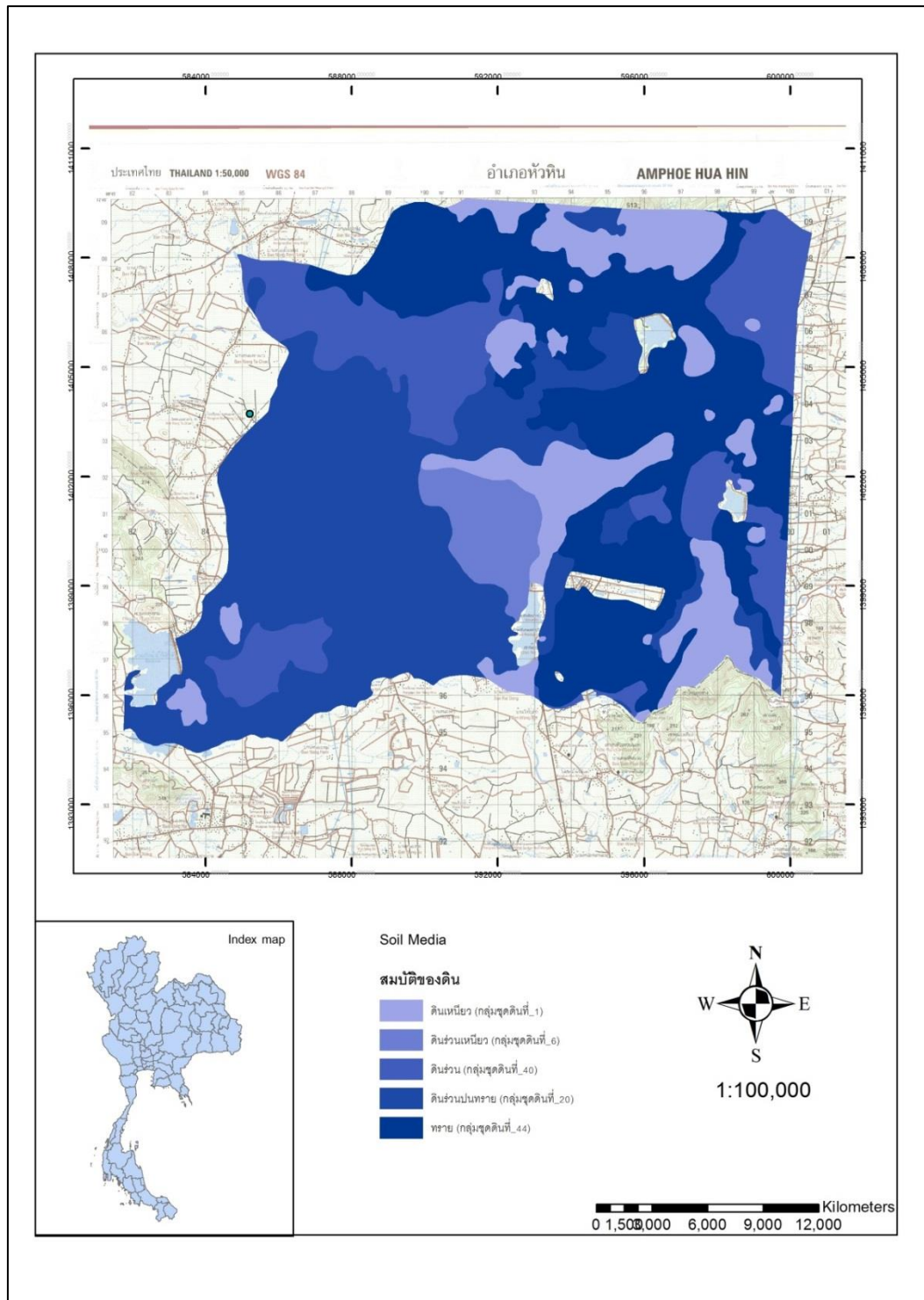
รูปที่ 4.14 แผนที่แบ่งค่าความลึกของระดับน้ำบาดาล



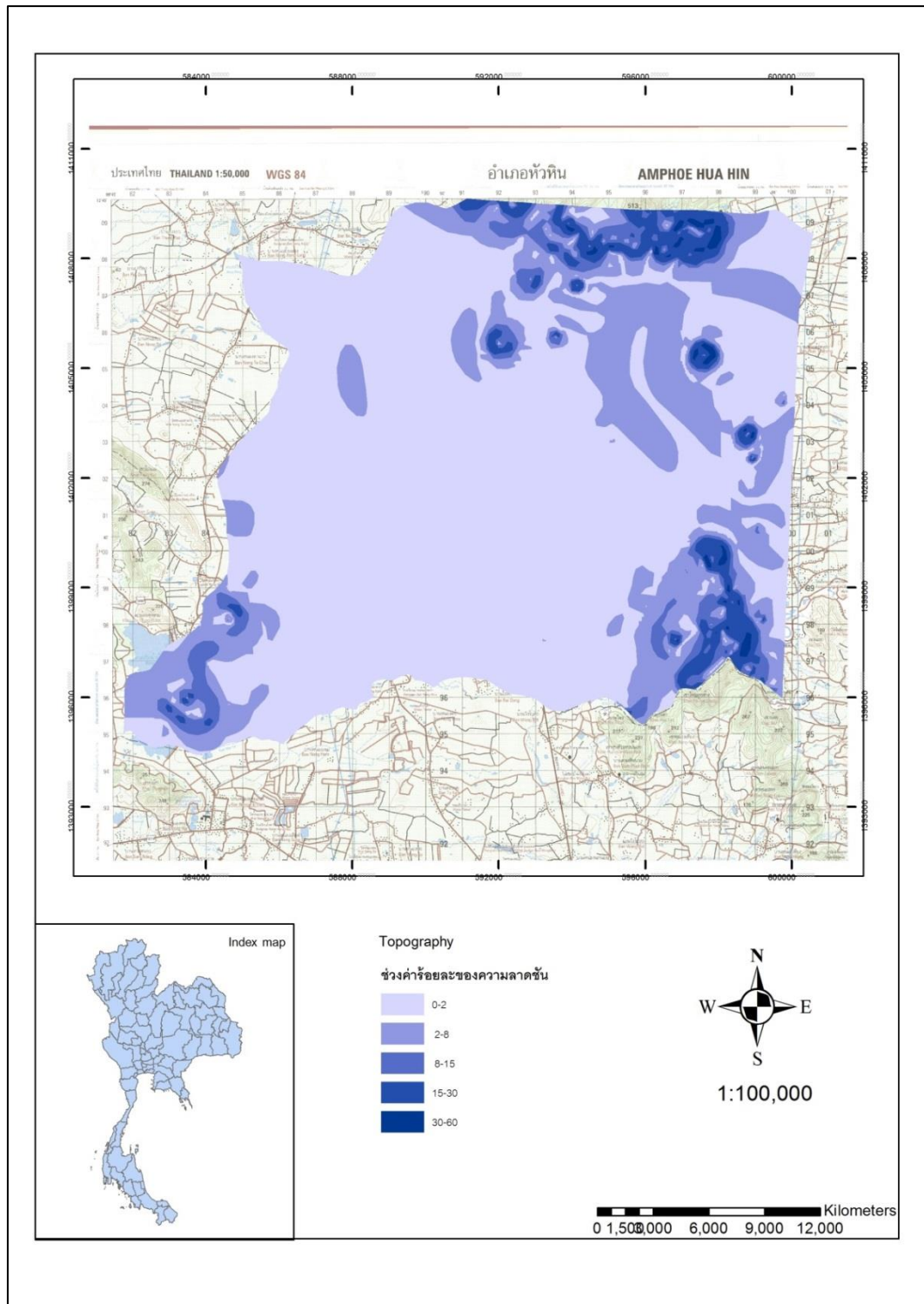
รูปที่ 4.15 แผนที่แบ่งค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล



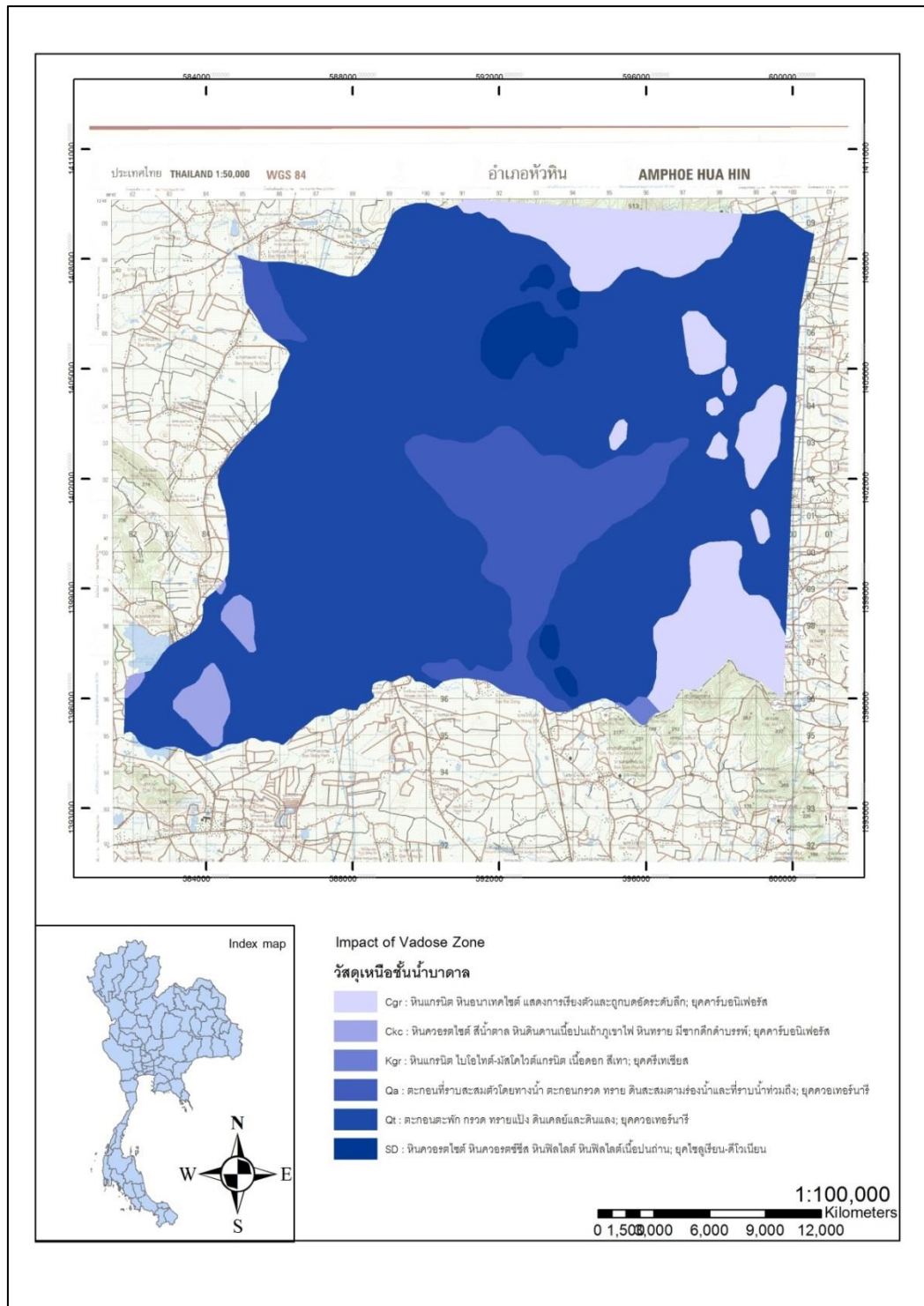
รูปที่ 4.16 แผนที่แบ่งค่าลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำ



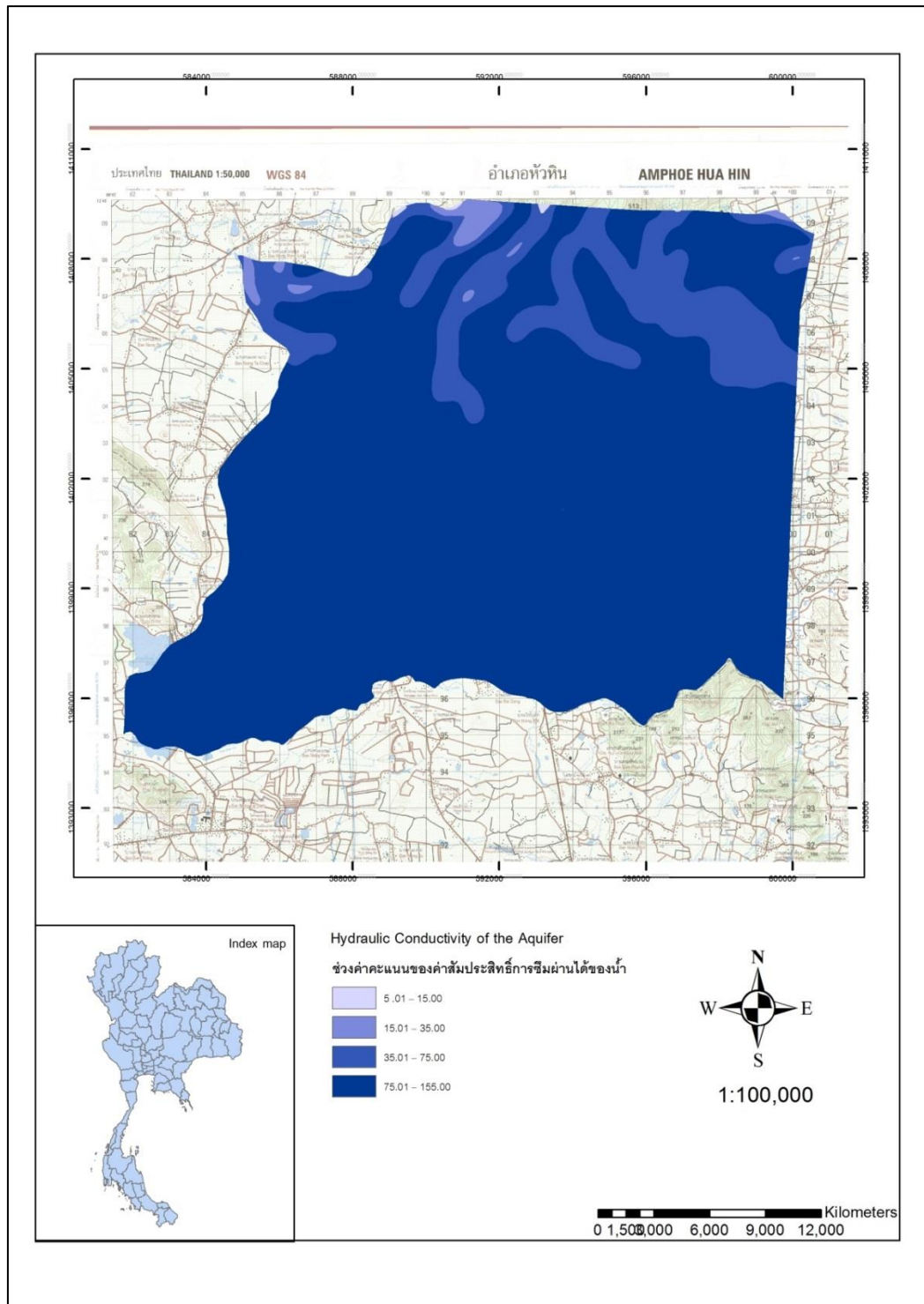
รูปที่ 4.17 แผนที่แบ่งค่าสมบัติของดิน



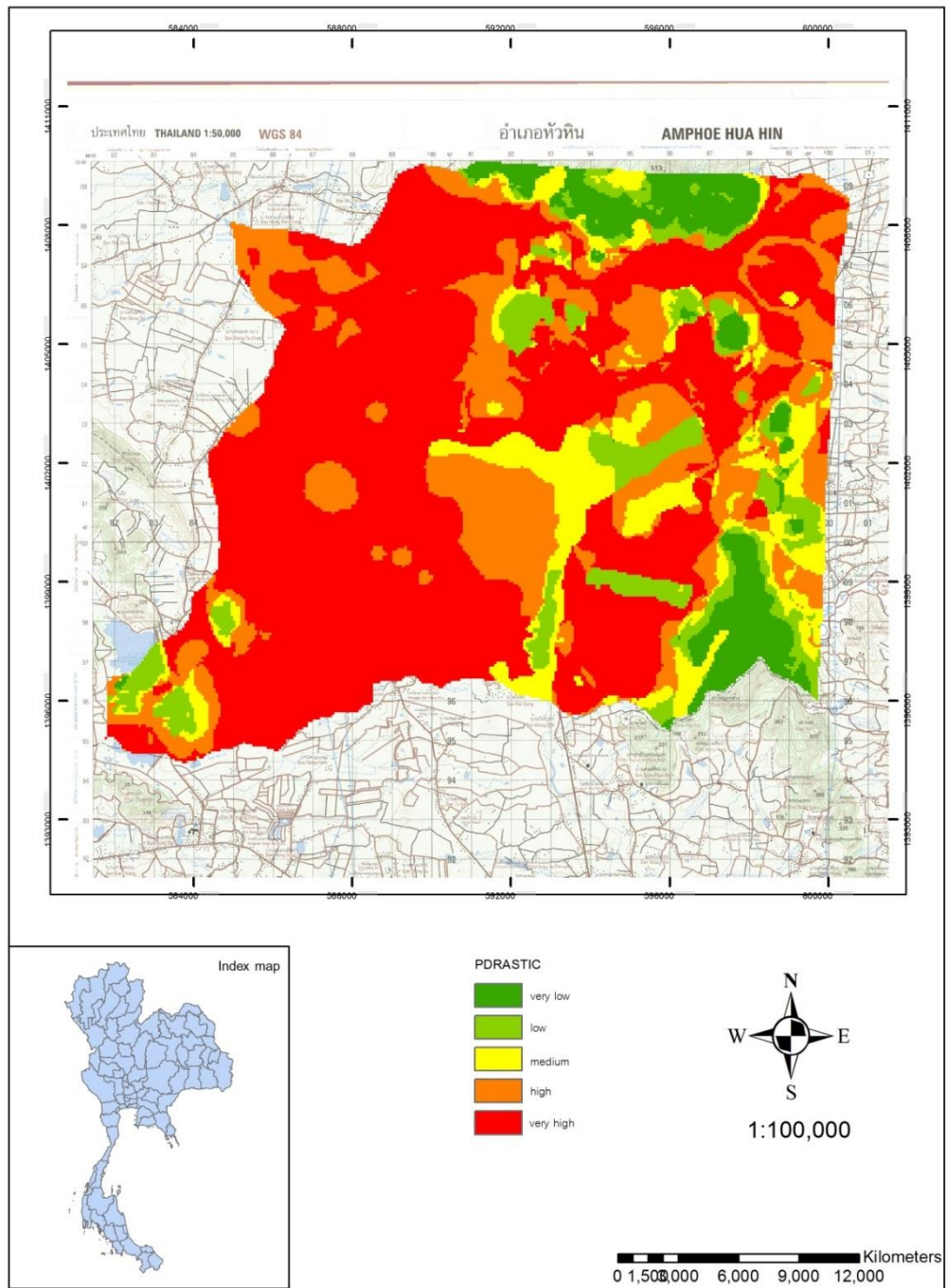
รูปที่ 4.18 แผนที่แบ่งค่าความลาดชันของภูมิประเทศ



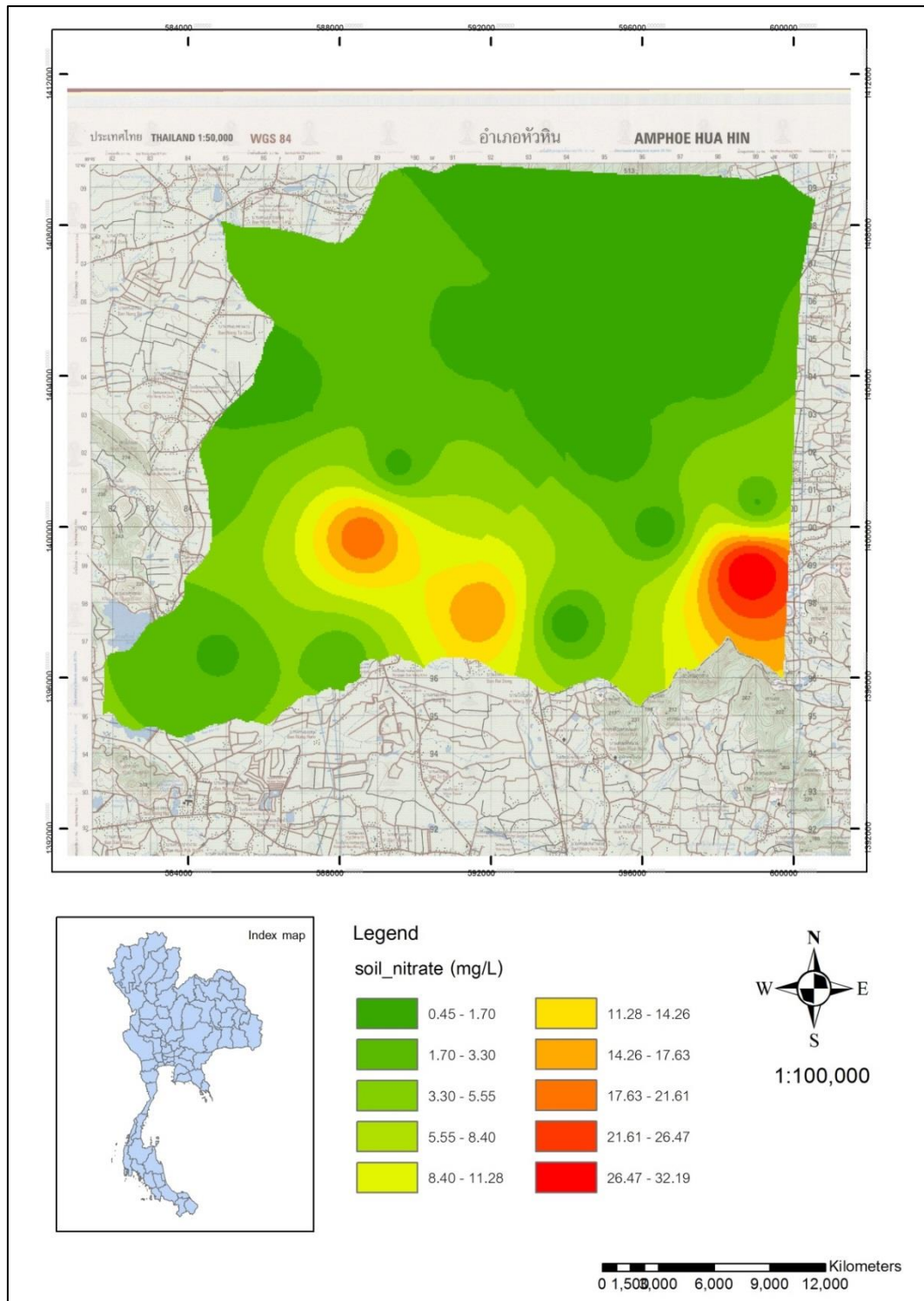
รูปที่ 4.19 แผนที่แบ่งค่าวัสดุเหนือชั้นน้ำบาดาล



รูปที่ 4.20 แผนที่แบ่งค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ



รูปที่ 4.21 แผนที่ความอ่อนไหวทางอุทกธรณีวิทยาต่อปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล



รูปที่ 4.22 แผนที่การปนเปื้อนไนเตรทในดิน

4.4.1 แผนที่มีความเสี่ยงของชั้นน้ำต่อการเกิดมลภาวะ

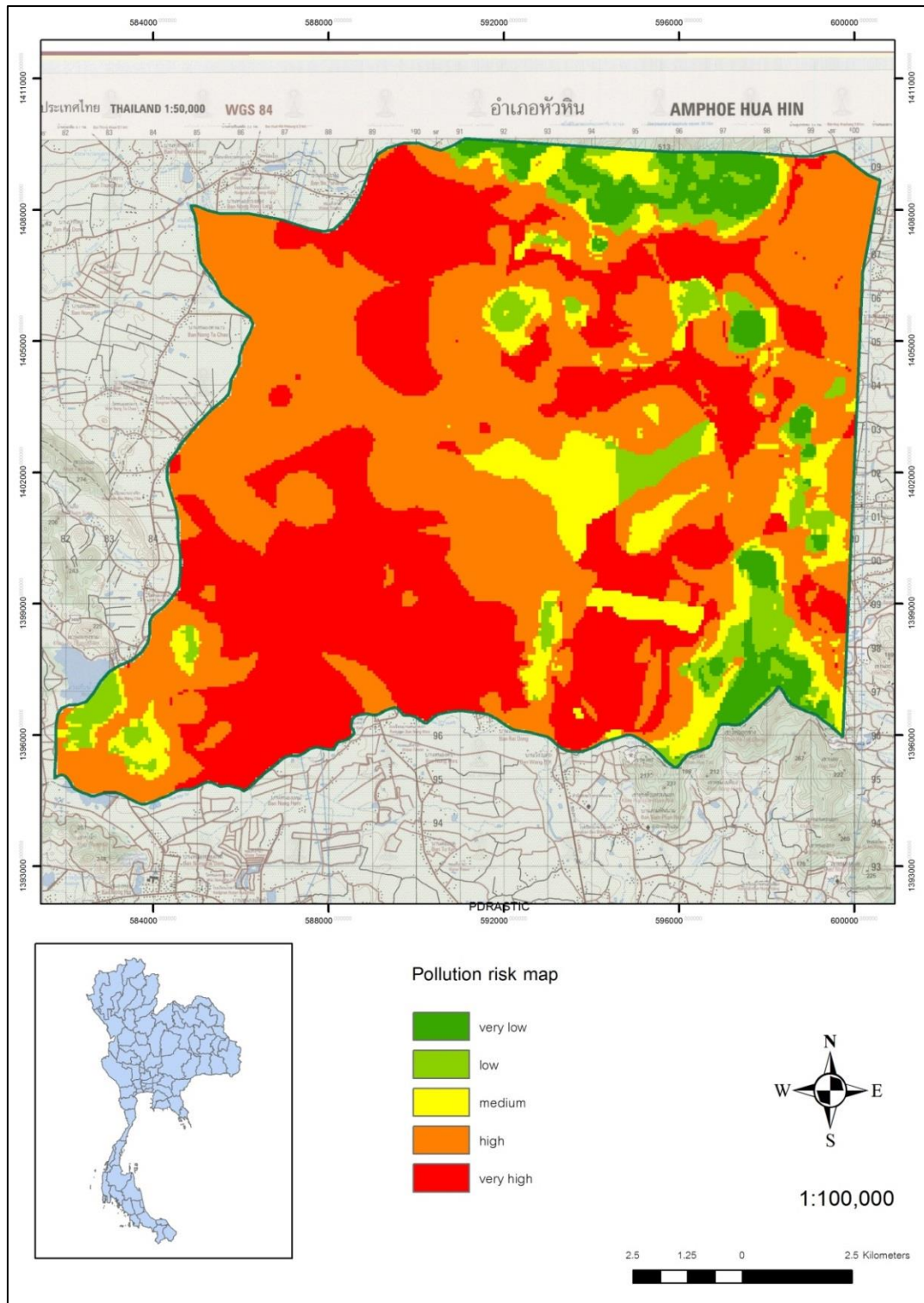
ในการศึกษาแผนที่มีความเสี่ยงของชั้นน้ำต่อการเกิดมลภาวะเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของความเสี่ยงที่จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ห้วยทราย โดยคำนวณจาก

$$= \text{คะแนนศักยภาพมลสารรวม} \times \text{คะแนนความอ่อนไหวของชั้นน้ำบาดาล}$$

และจะได้แผนที่มีความเสี่ยงของชั้นน้ำต่อการเกิดมลภาวะมา โดยพบว่าเป็นพื้นที่ที่พบมากที่สุดคือพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงร้อยละ 45 รองลงมาคือพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงมากร้อยละ 35 พื้นที่ที่มีความเสี่ยงปานกลางร้อยละ 9 พื้นที่ที่มีความเสี่ยงน้อยร้อยละ 6 และพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำมากร้อยละ 5 ตามลำดับ และคำนวณพื้นที่ออกมาจะได้ดังตารางที่ 4.5 คือ

ตารางที่ 4.5 จัดระดับพื้นที่ความเสี่ยงของชั้นน้ำต่อการเกิดมลภาวะ

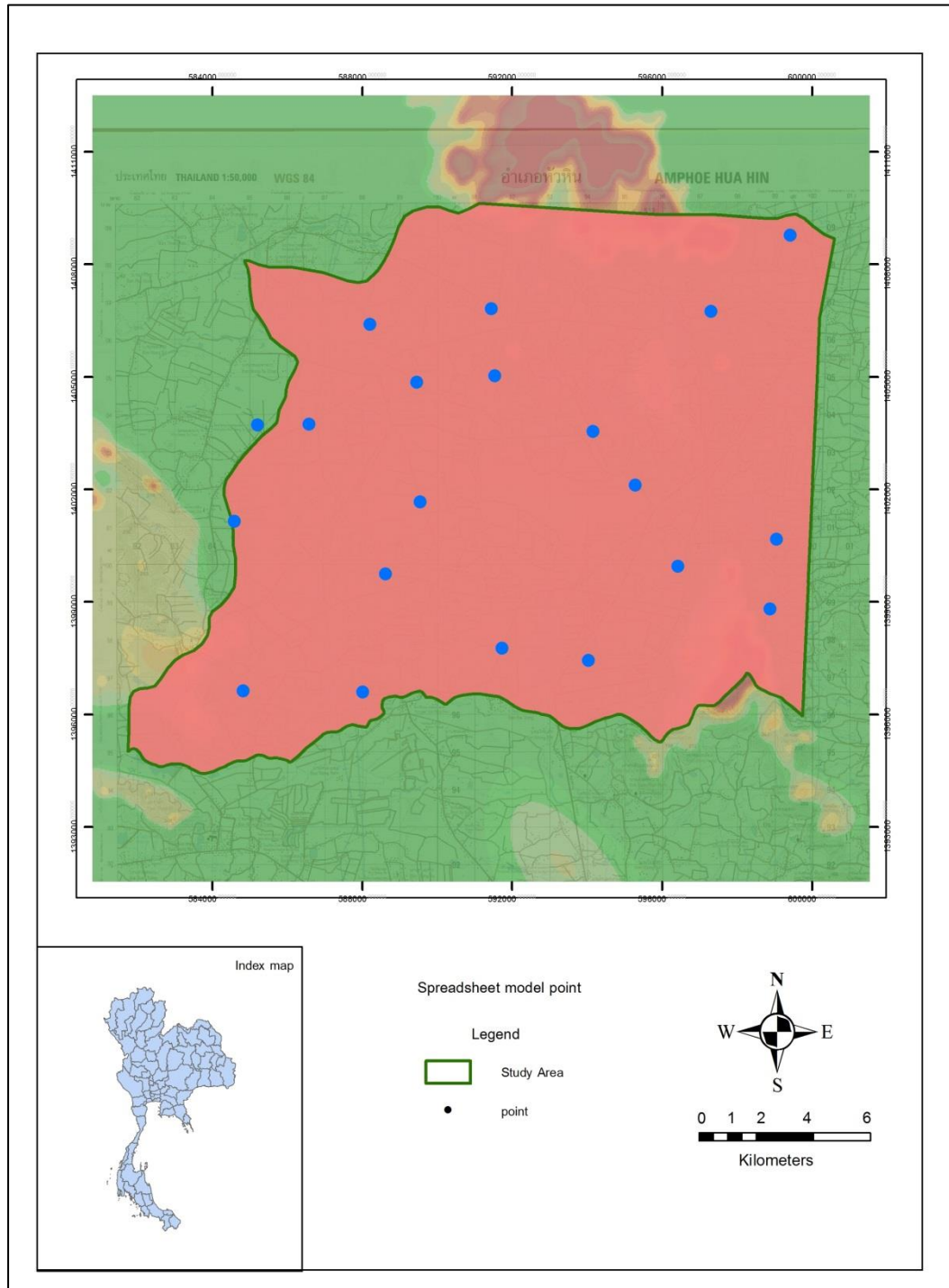
ระดับความเสี่ยง	พื้นที่ (ตารางเมตร)	สถานที่
ต่ำมาก (very low)	10,271	เขาลูกช้าง, เขาสามพระยา, เขาหนอกวัว
ต่ำ (low)	12,325	เขาสับพัง, เขาพุทพาย, เขาเสวยกะปิ
ปานกลาง (normal)	18,488	บ้านสระพัง, บ้านทุ่งขาม, บ้านช้างแทงกระจาด
สูง (high)	92,441	บ้านบ่อหลวง, บ้านไร่ใหม่พัฒนา, บ้านหนอง เขื่อน
สูงมาก (very high)	71,899	บ้านไร่ถั่ว, บ้านไร่ดินทอง, บ้านหนองขาม



รูปที่ 4.23 แผนที่ความเสี่ยงของชั้นน้ำต่อการเกิดมลภาวะ

4.5 แบบจำลองสเปรดชีต

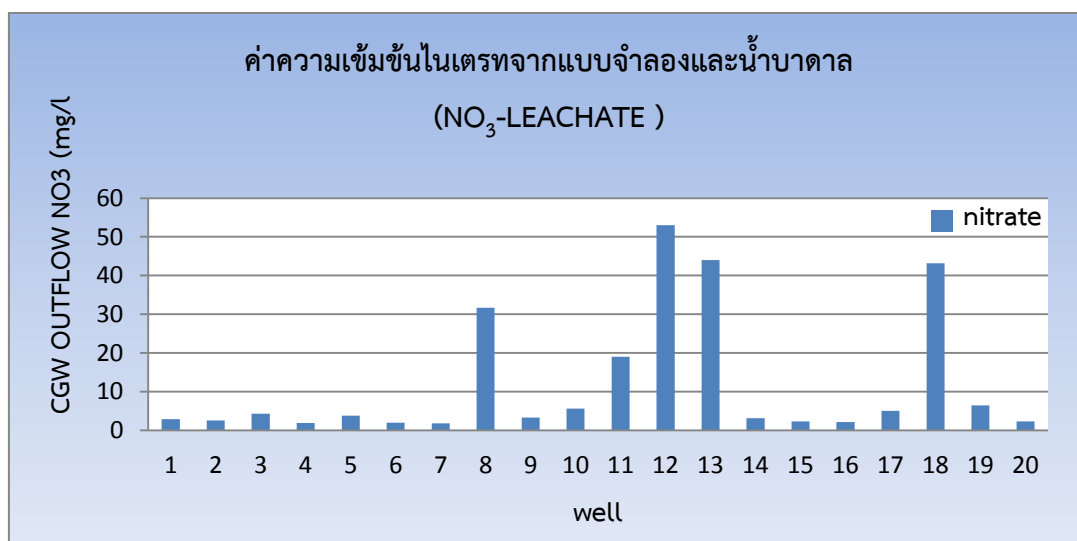
ในการศึกษาแบบจำลองสเปรดชีตทั้งหมด 20 จุด ภายในระยะเวลา 4 เดือนในพื้นที่ห้วยทรายดังรูปที่ 4.13 และแบบจำลองสเปรดชีตแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้



รูปที่ 4.24 จุดศึกษาแบบจำลองสเปรดชีต

4.5.1 แบบจำลองที่ 1 NO₃-LEACHATE

แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้หาปริมาณการซึมทั้งหมดที่ซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง โดยแสดงปริมาณไนเตรททั้งหมดที่คงเหลือในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ แบบจำลองจะคำนวณความเข้มข้นไนเตรทไนโตรเจนในน้ำที่ชะละลายจากบริเวณพื้นที่ผิวหน้าตัวอย่างดินที่ปนเปื้อนไนเตรทไนโตรเจนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลทั้งหมด 20 จุดได้ผลดังนี้ คือ



รูปที่ 4.25 ค่าความเข้มข้นไนเตรทที่ได้จาก NO₃-LEACHATE Model

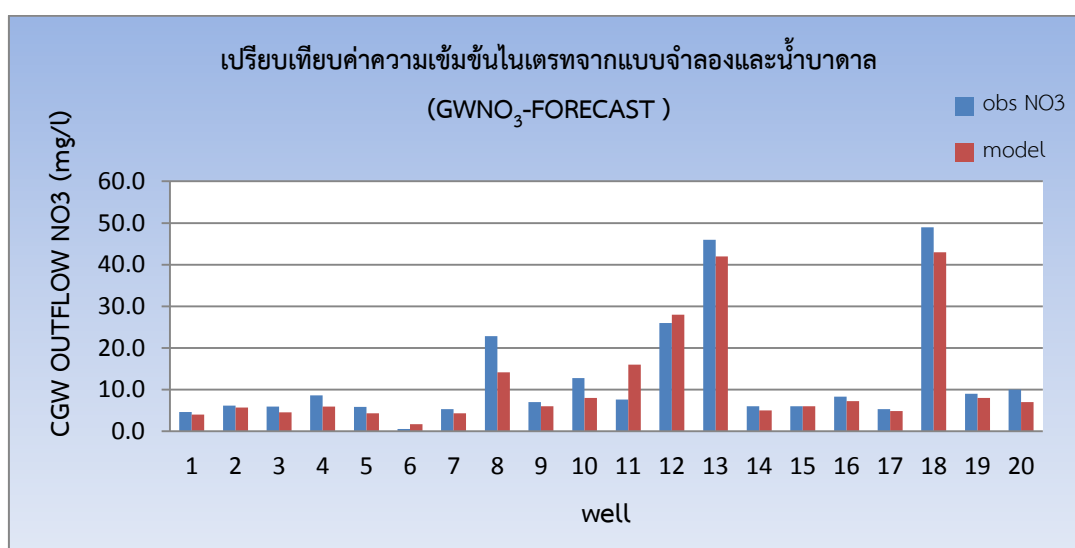
โดยกำหนดช่วงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแบบจำลองดังนี้คือค่าความหนาแน่นของดิน ซึ่งส่วนใหญ่ดินในบริเวณนี้เป็นทรายจึงมีค่าระหว่าง 1.45-1.58 g/cm³

ค่าความเข้มข้นของไนเตรทในชั้นผิวดินจนถึงชั้นใต้ดินมีจุดที่มีค่าสูงคือจุดที่ 11 จุดที่ 12 และจุดที่ 18 ซึ่งมีค่า 17.45 mg/kg 20.85 mg/kg และ 22.20 mg/kg โดยกระจายในจุดที่มีการเลี้ยงสัตว์และการปลูกไร่ข้าวโพด

ค่าปริมาณของน้ำฝนที่ไหลลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ได้จากการทำการศึกษาในพื้นที่ (ธีร์ธวัช, 2556) มีค่าสูงสุด 3 จุด คือจุดที่ 1 จุดที่ 4 และจุดที่ 16 โดยประเภทดินที่มีค่าสูงคือดินประเภทดินทรายและดินร่วนหยาบ

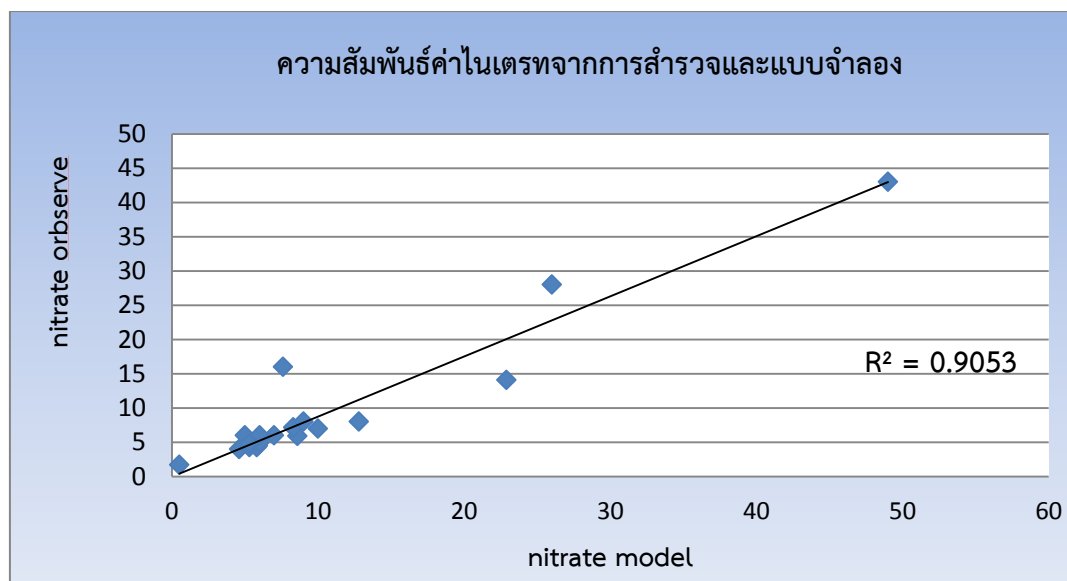
4.5.2 แบบจำลองที่ 2 GWNO₃-FORECAST

แบบจำลองนี้ใช้ประเมินความเข้มข้นของไนเตรทที่มีในน้ำบาดาล โดยคำนวณจากน้ำที่ไหลผ่านในชั้นดินที่นำไนเตรทมา และผสมกับน้ำบาดาลที่ไหลในพื้นที่ศึกษา ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดความหนาของชั้นน้ำ ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการผสมกันอย่างสมบูรณ์ระหว่างน้ำชะที่ซึมลงมากับน้ำบาดาลที่ไหลในพื้นที่ โดยการผสมนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำบาดาลด้วย เราจะเรียกบริเวณนี้ว่า โซนการผสมในชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated mixing zone)



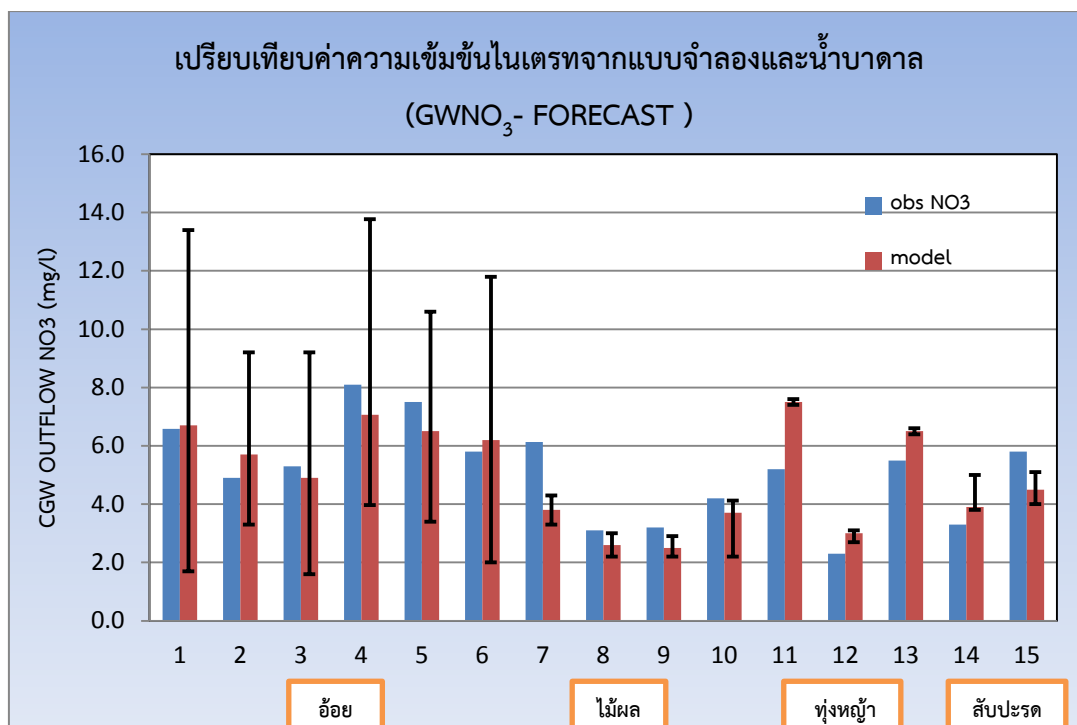
รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นไนเตรทในน้ำบาดาลที่พบจริงและค่าความเข้มข้นไนเตรทในน้ำบาดาลจากแบบจำลอง GWNO₃-FORECAST

ในแบบจำลอง GWNO₃-FORECAST มีสมมติฐานว่าในการเกิดการผสมกันอย่างเต็มที่ระหว่างน้ำที่ชะละลายนำไนเตรทจากผิวดิน กับการไหลของน้ำบาดาลจากบริเวณด้านข้างที่นำไนเตรทจากบริเวณนั้นมาด้วย เมื่อปรับเทียบความถูกต้องระหว่างปริมาณไนเตรทจากแบบจำลองและปริมาณไนเตรทจากการศึกษาพบว่า มีจุดที่ 6 จุดที่ 8 จุดที่ 11 จุดที่ 12 และจุดที่ 13 ค่าปริมาณไนเตรทสูงกว่าค่าความเป็นจริง จึงมีการปรับค่าเปอร์เซ็นต์ของกระบวนการ attenuation เพราะจุดนี้อยู่ในพื้นที่รับน้ำ ทำให้ค่าความเข้มข้นไนเตรทของแบบจำลองมีความใกล้เคียงค่าที่แท้จริงมากขึ้น และเมื่อค่าปริมาณไนเตรทมาหาค่าความสัมพันธ์ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square) มีค่าเท่ากับ 0.9053 ดังนั้นค่าที่ได้จากแบบจำลองจึงมีความน่าเชื่อถือเหมาะสำหรับการนำค่าปริมาณไนเตรทในดินไปทดสอบกับบ่อบาดาลจุดอื่น ๆ เพื่อพยากรณ์หาค่าปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาลต่อไป



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ค่าไนเตรทจากการสำรวจและแบบจำลอง

จากการทำแบบจำลองสเปรดชีตได้ใช้จุดเก็บตัวอย่างดินที่อยู่ในบริเวณเดียวกับบ่อบาดาล ต่อมาจึงนำข้อมูลปริมาณไนเตรทในดินจากการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ นำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นตัวแทนค่าไนเตรทในดินใช้กับบ่อบาดาลที่เหลือในชั้นน้ำตะกอนที่ไม่มีการเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ โดยมีการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อสร้าง error bar ของปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล โดยกำหนดค่า error bar ด้านบนคือค่าเฉลี่ยบวกค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า error bar ด้านล่างคือค่าเฉลี่ยลบด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่าบ่อบาดาลที่ 1, 2, 3, 4, 5 และบ่อที่ 6 เป็นบ่อที่อยู่ในบริเวณการปลูกอ้อยมีค่าปริมาณไนเตรทจากการตรวจวัดจริงอยู่ในช่วงของ error bar ของค่าปริมาณไนเตรทที่ได้จากแบบจำลอง แต่บ่อบาดาลที่เหลือที่อยู่ในการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นพบว่าค่าปริมาณไนเตรทจากการตรวจวัดจริงไม่ตรงกับช่วงค่า error bar ของแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 4.28



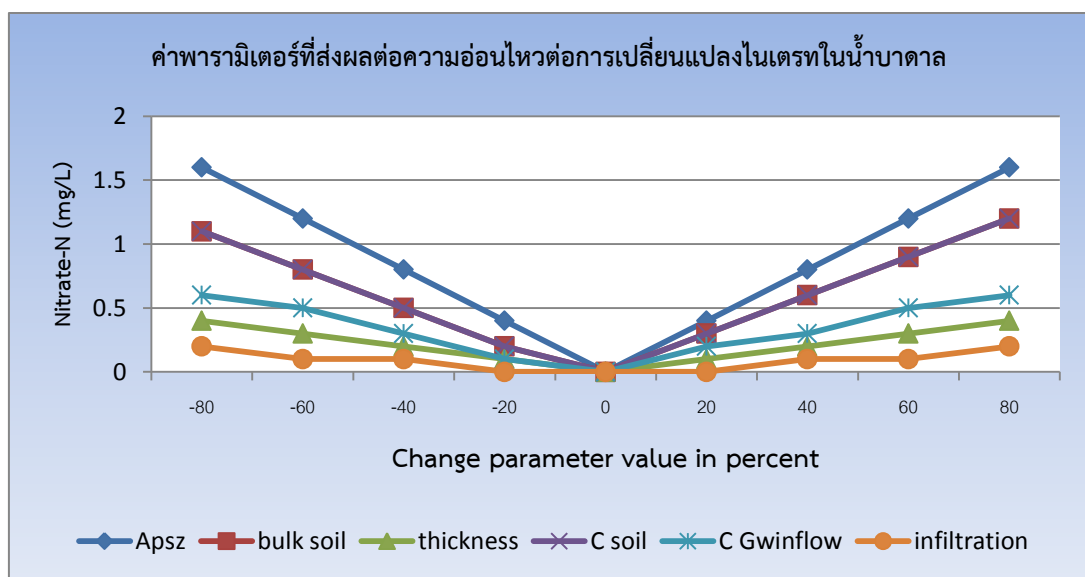
รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นไนเตรทในน้ำบาดาลที่พบจริงและค่าความเข้มข้นไนเตรทในน้ำบาดาลจากแบบจำลอง GWNO₃-FORECAST

4.5.3 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่อการเปลี่ยนแปลงไนเตรทในน้ำบาดาล

การปรับเทียบและสอบทานแบบจำลองสเปรดชีท ได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์จำนวน 5 พารามิเตอร์ ที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล ได้แก่ ค่า APsz คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ของกระบวนการ attenuation ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้ปริมาณของไนเตรทลดลง ค่า bulk soil คือค่าความหนาแน่นของชั้นดิน ค่า thickness คือ ค่าความหนาของชั้นน้ำบาดาลของบ่อนั้น ๆ ค่า C soil คือ ค่าความเข้มข้นไนเตรทในดิน ค่า C GWinflow คือ ค่าความเข้มข้นไนเตรทจากบ่อน้ำ ค่า infiltration คือค่าอัตราการซึมของพื้นที่ พบว่าปัจจัยที่มีความอ่อนไหวต่อปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล 2 อันดับแรก คือ APsz รองลงมาคือ bulk soil รายละเอียดของแต่ละพารามิเตอร์มีดังต่อไปนี้

1) ค่า APsz หรือค่าค่าเปอร์เซ็นต์ของกระบวนการ attenuation ซึ่งถ้าหากเพิ่มค่า APsz ในแบบจำลองผลของปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาลจะลดลง จากการวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวพบว่าเมื่อเพิ่มค่า APsz ขึ้นร้อยละ 20 ปริมาณไนเตรทจะลดลงร้อยละ 18.57 และเมื่อเพิ่มค่า APsz ขึ้นร้อยละ 60 ปริมาณไนเตรทจะลดลงร้อยละ 58.57 ในขณะที่เดียวกันเมื่อลดค่า APsz ปริมาณไนเตรทจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 41.42 และเมื่อลดค่า APsz ขึ้นร้อยละ 60 ปริมาณไนเตรทจะลดลงร้อยละ 61.42

2) ค่า bulk soil หรือค่าความหนาแน่นของชั้นดิน ซึ่งถ้าหากเพิ่มค่า bulk soil ในแบบจำลองผลของปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาลจะเพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวพบว่าเมื่อเพิ่มค่า bulk soil ขึ้นร้อยละ 20 ปริมาณไนเตรทจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 15.78 และเมื่อเพิ่มค่า bulk soil ขึ้นร้อยละ 60 ปริมาณไนเตรทจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 32.89 ในขณะที่เดียวกันเมื่อลดค่า bulk soil ร้อยละ 20 ปริมาณไนเตรทจะลดลงร้อยละ 15.78 และเมื่อลดค่า bulk soil ลงร้อยละ 60 ปริมาณไนเตรทจะลดลงร้อยละ 59.21



รูปที่ 4.29 ค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงไนเตรทในน้ำบาดาล

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่

ระดับน้ำทั้งสองฤดูกาลมีความใกล้เคียงกันแต่มีความแตกต่างกันของระดับน้ำ ในช่วงฤดูฝน เพราะมีการเติมน้ำถึงชั้นในพื้นที่ให้น้ำ การไหลของระดับน้ำบาดาลจะไหลจากเขาพุหวาย เขาโป่งแย้ ไหลลงบริเวณพื้นที่ลุ่มตอนกลางของพื้นที่และไหลออกสู่ตำบลชะอำระหว่างช่องว่างเขาพุหวายและเขาหนอกวัวในทางทิศตะวันออก และไหลออกสู่ตำบลหินเหล็กไฟระหว่างช่องเขาสับพังและเขาใหญ่ ลูกช้างทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ พื้นที่ที่มีปริมาณน้ำบาดาลสูงที่สุดในหน้าฝนก็คือบ้านทุ่งเคล็ดอยู่บริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่

5.2 ชนิดของน้ำบาดาลในพื้นที่

การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 พบว่า มีน้ำบาดาลทั้งหมด 7 ชนิด เรียงจากชนิดน้ำที่มีจำนวนมากไปหาน้อยดังนี้ คือ Ca-Na-HCO₃-Cl (37%) Ca-Na-HCO₃ (21%) Ca-HCO₃-Cl (16%) Na-HCO₃-Cl (14%) Na-Cl (5%) Ca-Cl (5%) Ca-HCO₃ (4%) Ca-Na-Cl (2%)

การเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 พบว่า มีน้ำบาดาลทั้งหมด 7 ชนิด เรียงจากชนิดน้ำที่มีจำนวนมากไปหาน้อยดังนี้ คือ Ca-Na-HCO₃-Cl (47%) Na-Cl (28%) Ca-HCO₃-Cl (14%) Na-HCO₃-Cl (5%) Na-Cl (5%) Ca-Cl (5%) Ca-HCO₃ (2%) Ca-Na-Cl (2%) Ca-Cl (2%)

และคลอไรด์ที่พบว่ามีค่าค่อนข้างสูงสาเหตุเกิดจากน้ำฝนนำพาคลอไรด์มาจากทะเลซึ่งคลอไรด์เป็นส่วนประกอบสำคัญในน้ำทะเล เมื่อทะเลเกิดการระเหยไอออนลบบางตัวสามารถเคลื่อนที่ไปกับไอน้ำในอากาศได้ (Brooks et al, 2001)

5.3 การกระจายตัวของไนเตรท

จากการศึกษาพบในช่วงฤดูฝนจะมีค่าไนเตรทสูงขึ้นมาเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของน้ำฝนสู่ชั้นน้ำบาดาล ทำให้มีการแพร่กระจายของไนเตรทมีค่าเพิ่มมากขึ้น จุดที่พบไนเตรทในน้ำบาดาลทั้งช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนพบว่าเป็นบ่อที่อยู่บริเวณพื้นที่รับน้ำทั้งสิ้น

ไนเตรทที่พบในพื้นที่มาจากการใช้ปุ๋ยยูเรียในการเพาะปลูกพืชอย่างเช่นอ้อย และสับปะรด โดยค่าไนเตรทในฤดูเดียวกันแต่มีค่าแตกต่างกันเพราะรอบการปลูกของแต่ละสวนไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์อาจจะไปตรงกับช่วงที่มีการใส่ปุ๋ยยูเรียในสวนในช่วงเวลานั้น

และเมื่อดูแผนที่ระดับน้ำบาดาลพบว่าทางซ้ายของพื้นที่เป็นพื้นที่รับน้ำ จุดที่มีค่าไนเตรทเกินค่ามาตรฐานอาจจะมาจากการสะสมตัวในพื้นที่รับน้ำ

5.4 ผลการศึกษาแบบจำลองสเปรดซีท

จากการศึกษาแบบจำลองสเปรดซีท (NO_3 -LEACHATE) ปริมาณไนเตรทที่มาจากการซึมทั้งหมดสู่ชั้นน้ำบาดาลพบว่าปัจจัยของค่าความเข้มข้นของไนเตรทในชั้นผิวดินและค่าปริมาณของน้ำฝนที่ไหลลงสู่ชั้นน้ำบาดาล มีผลต่อปริมาณไนเตรทที่มาจากการซึมค่อนข้างสูง และการศึกษาแบบจำลองสเปรดซีท (GWNO_3 -FORECAST) พบว่ากระบวนการไหลของน้ำบาดาลภายในพื้นที่ส่งผลต่อค่าไนเตรทที่พบในบ่อ ทำให้เกิดกระบวนการลดลงของปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล

จากการหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square) พบว่าค่าที่จากแบบจำลองใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดจริง ดังนั้น สามารถพยากรณ์ปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาลเบื้องต้นได้โดยไม่ต้องเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล จึงช่วยลดเวลาและงบประมาณในการสำรวจภาคสนามได้

5.5 ข้อเสนอแนะ

1. แบบจำลองสเปรดซีทเหมาะสำหรับนำไปใช้กับชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นอย่างเช่นชั้นหินตะกอนของพื้นที่ห้วยทราย เพราะว่าแบบจำลองไปคำนึงถึงการเปลี่ยนรูปของไนเตรทระหว่างการเคลื่อนที่ภายในชั้นน้ำบาดาล

2. การเก็บตัวอย่างดินควรเก็บตัวแทนของแต่ละการใช้ประโยชน์ที่ดินมากกว่า 5 ตัวอย่าง เพื่อนำไปหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้ในแบบจำลองต่อไป ดังตัวอย่างค่าการเปรียบเทียบของปริมาณไนเตรทจากการตรวจวัดจริงและจากแบบจำลอง ค่า error bar ที่น้อยเพราะจุดเก็บตัวอย่างดินค่อนข้างน้อย

รายการอ้างอิง

- Aiuppa A, Bellomo S, Brusca L, D'Alessandro W, Federico C (2003) Natural and anthropogenic factors affecting groundwater quality of an active volcano (Mt. Etna, Italy). *Applied Geochemistry* 18: 863-882
- Anderson JM, Ingram JSI (1993) *Annual Book of ASTM Standards. Soil and Rock. 1982. Tropical Biology and Fertility: A Handbook of Methods. s.l. : CABInternational., Vol. 21, United Kingdom.*
- APHA, AWWA, WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *American Public Health Association*
- Aravena R, Auge M, Bucich N (1999) Evaluation of the origin of groundwater nitrate in the city La Plata—Argentina, using isotope techniques. In *XXIX IAH congress, Hydrogeology and Land Use Management. Bratislava*
- Atiqur R (2008) A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. *Applied Geography* 28: 32-53
- Babiker IS, Mohamed MAA, Tetsuya H, Kikuo K (2005) A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. *Science of The Total Environment* 345: 127-140
- Brooks AJ, G., Willey JD, Kieber RJ (2001) Diurnal variations in major rainwater components at a coastal site in North Carolina. *Atmospheric Environment* 35: 3927-3933
- Charles F. P. (2014) Spreadsheet Models for Determining the Influence of Land Applications of Fertilizer on Underlying Groundwater Nitrate Concentrations. Environmental Assessment Program Washington State Department of Ecology Olympia, Washington
- Galloway WE, Kaiser WR (1980)

- Greer FR, Shannon M, the Committee on Nutrition, the Committee on Environmental Health (2005) Infant methemoglobinemia: the role of dietary nitrate in food and water. *Pediatrics* 116: 784-786
- Jamshidzadeh Z, Mirbagheri SA (2011) Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan Basin, Central Iran. *Desalination* 270: 23-30
- 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
- Kitchen NR, Goulding KWT, Shanahan JF (2008) Chapter 15 - Proven Practices and Innovative Technologies for On-Farm Crop Nitrogen Management A2 - Hatfield, J.L. In *Nitrogen in the Environment (Second Edition)*, Follett RF (ed), pp 483-517. San Diego: Academic Press
- Lautz LK, Siegel DI (2006) Modeling surface and ground water mixing in the hyporheic zone using MODFLOW and MT3D. *Advances in Water Resources* 29: 1618-1633
- Lockhart KM, King AM, Harter T (2013) Identifying sources of groundwater nitrate contamination in a large alluvial groundwater basin with highly diversified intensive agricultural production. *Journal of Contaminant Hydrology* 151: 140-154
- Love D, Hallbauer D, Amos A, Hranova R (2004) Factor analysis as a tool in groundwater quality management: two southern African case studies. *Physics and Chemistry of the Earth* 29: 1135-1143
- Munoz-Carpena R, Ritter A, Li YC (2005) Dynamic factor analysis of groundwater quality trends in an agricultural area adjacent to Everglades National Park. *J Contam Hydrol* 80: 49-70
- Omo-Irabor OO, Olobaniyi SB, Oduyemi K, Akunna J (2008) Surface and groundwater water quality assessment using multivariate analytical methods: A case

study of the Western Niger Delta, Nigeria. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 33: 666-673

Prakash KL, Somashekar RK Groundwater quality - Assessment on Anekal Taluk, Bangalore Urban district, India. *Journal of Environmental Biology* 27: 633-637

Scanlon BR, Jolly I, Sophocleous M, Zhang L (2007) Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality. *Water Resources Research* 43

Smoor PB (1967) Hydrochemical facies study of ground water in the Tucson Basin. University of Arizona.

Thompson GR, Turk J (1991) *Modern Physical geology*, USA: Saunders College Publishing.

Tirado R. (2550) ไนเตรทกับคุณภาพน้ำใต้ดินในประเทศไทย. Greenpeace Research Laboratories, University of Exeter.

Townsend A. R., Howarth RW, Bazzaz FA, Booth MS, Cleveland CC, Collinge SK, Dobson AP, Epstein PR, Holland EA, Keeney DR, Mallin MA, Rogers CA, Wayne P, Wolfe AH (2003) Human health effects of a changing global nitrogen cycle. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1: 240-246

กรมทรัพยากรธรณี (2551) การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดเพชรบุรี, กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรธรณี.

พรรณนิภา นาคสินไพศาล (2551) การศึกษาการปนเปื้อนสารมลพิษในน้ำใต้ดินจากนาุ้งและนาข้าวบริเวณ อ.ระโนด จ.สงขลาโดยใช้แบบจำลอง MODFLOW. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพชรสวัสดิ์ กันคำ (2010) การวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในกลุ่มน้ำแม่กวัง. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ภูมิสารสนเทศ), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,

โพยม สราภิรมย์ (2544) การจำลองสภาพน้ำใต้ดินในเขตเมืองเชียงใหม่. บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ตารางที่ 1 ผลอุทกวิทยาเคมีฤดูฝน

GW-no	ไนเตรท	ซัลเฟต	โซเดียม	แคลเซียม	โพแทสเซียม	แมกนีเซียม
	NO ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na	Ca	K	Mg
1	0.03	0.23	135.64	219.3	13.44	41.415
2	0.25	5.60	66.14	111.2	9.45	35.585
3	11.79	8.72	97.6	48.1	1.73	33.5475
4	0.08	10.17	60.92	67.75	5.52	29.37
5	2.32	32.47	90.02	117.2	8.78	47.95
6	5.86	11.65	91.61	154.4	12.84	39.66
7	0.11	0.36	17.38	0.73	7.51	11.51
8	0.89	4.20	79.97	45.25	10.96	49.18
9	7.01	0.04	81.72	33.075	7.57	39.12
10	0.11	0.34	154.32	101.225	35.59	83.91
11	2.06	7.68	155.38	57.7	25.4	41.24
12	5.89	86.53	95.45	40.05	11.51	9.535
13	8.62	13.99	90.95	42.85	17.64	14.55
14	0.16	0.17	103.45	36.125	13.41	18.9
15	5.31	8.16	82.15	93.95	8.46	44.58
16	8.36	16.58	183.64	147.95	7.89	53.84
17	46.85	6.29	116.42	18.84	57.93	25.515
18	5.96	10.03	133.6	53.9	9.03	34.635
19	11.00	12.14	98.53	59.55	8.83	39.245
20	0.25	22.34	103.45	7.44	13.41	18.9
21	4.95	14.61	77.25	36.125	12.14	48.375
22	7.01	13.84	96.76	54.35	11.5	45.785
23	2.51	0.51	160.85	71.125	2.64	99.86
24	0.64	22.82	195.9	47.8	7.75	48.92
25	5.86	23.82	96.07	49.85	9.58	52.845
26	0.16	0.17	125.2	1700	5.39	44.915
27	ND	7.92	172.25	27.375	6.33	32.9
28	ND	0.52	16.93	3.856	5.21	4.465
29	0.37	12.80	117.12	50.85	7.74	44.335
30	12.76	14.69	76.49	65.525	7.52	42.095

ตารางที่ 1 ผลอุทกวิทยาเคมีฤดูฝน (ต่อ)

GW-no	ไนเตรท	ซัลเฟต	โซเดียม	แคลเซียม	โพแทสเซียม	แมกนีเซียม
	NO ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na	Ca	K	Mg
31	0.17	10.17	78.58	41.825	6.35	28.335
32	2.83	8.25	96.02	48.25	9.9	37.655
33	2.13	7.86	97.61	29.45	9.86	39.15
34	0.06	1.04	103.14	76.75	11.67	43.12
35	0.69	5.79	88.3	44.9	12.31	51.795
36	1.40	5.12	49.91	83.35	8.72	43.855
37	0.16	15.21	22.82	13.69	1.21	3.7575
38	0.16	11.84	68.79	132.8	9.91	55.1
39	8.76	28.89	32.52	5.835	9.22	7.669
40	0.92	3.51	54.86	46	16.47	6.23
41	49.74	103.36	285.9	78.95	34.22	20.685
42	0.58	3.11	118.22	107	7.88	21.08
43	0.03	13.63	106.32	47.05	23.28	10.445
44	4.57	2.89	159.54	190.7	26.64	32.045
45	22.44	18.89	128.94	158.25	8.05	21.785
46	0.20	3.54	173.2	166.55	16.86	30.665
47	1.91	101.70	685.2	76.35	22.29	31.155
48	3.30	14.15	187.42	110.4	21.67	20.52
49	10.93	20.12	188.74	106.6	11.35	25.13
50	16.55	0.32	166.8	99.45	8.41	23.79
51	4.39	55.85	324.95	165.4	2.7	43.1
52	13.62	202.19	92.48	226.95	7.15	36.72
53	2.87	15.21	67.16	134.2	6.76	15.365
54	4.59	11.84	78.34	94.05	14.25	8.75
55	0.05	51.37	184.06	69.2	5.37	12.52
56	ND	2.14	84.16	101.5	2.39	21.935
57	ND	47.06	87.52	149.4	6.26	21.64
58	2.96	10.77	171.2	99.45	11.17	21.985
59	6.14	26.05	288.35	25.45	2.24	0.3
60	ND	38.88	64.26	117.7	2.29	19.96
61	0.90	8.24	179.4	95.9	24.52	54.02

ตารางที่ 1 ผลอุทกวิทยาเคมีฤดูฝน (ต่อ)

GW-no	ไนเตรท	ซัลเฟต	โซเดียม	แคลเซียม	โพแทสเซียม	แมกนีเซียม
	NO ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na	Ca	K	Mg
62	0.37	6.64	24.92	59.65	2.38	27.09
63	0.58	5.66	26.5	114.1	7.79	28.745
64	0.08	25.09	63.44	92.35	15.37	31.005
65	1.42	46.59	93.66	81	7.54	30.63
66	7.72	9.78	124.2	105.75	7.32	58.99
Mean	5.21	20.72	121.80	106.52	11.55	32.90
Min	0.00	0.04	16.93	0.73	1.21	0.3
Max	49.74	202.19	685.2	1700	57.93	99.86
SD	9.22	32.27	94.14	207.09	9.28	18.13
CV	176.99	155.75	77.29	194.42	80.38	54.96

ตารางที่ 2 ผลอุทกวิทยาเคมีฤดูร้อน

GW-no	ไนเตรท	ซัลเฟต	โซเดียม	แคลเซียม	โพแทสเซียม	แมกนีเซียม
	NO ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na	Ca	K	Mg
1	0.03	0.23	135.64	219.3	13.44	41.415
2	0.25	5.60	66.14	111.2	9.45	35.585
3	11.79	8.72	97.6	48.1	1.73	33.5475
4	0.08	10.17	60.92	67.75	5.52	29.37
5	2.32	32.47	90.02	117.2	8.78	47.95
6	5.86	11.65	91.61	154.4	12.84	39.66
7	0.11	0.36	17.38	0.73	7.51	11.51
8	0.89	4.20	79.97	45.25	10.96	49.18
9	7.01	0.04	81.72	33.075	7.57	39.12
10	0.11	0.34	154.32	101.225	35.59	83.91
11	2.06	7.68	155.38	57.7	25.4	41.24
12	5.89	86.53	95.45	40.05	11.51	9.535
13	8.62	13.99	90.95	42.85	17.64	14.55
14	0.16	0.17	103.45	36.125	13.41	18.9
15	5.31	8.16	82.15	93.95	8.46	44.58
16	8.36	16.58	183.64	147.95	7.89	53.84
17	46.85	6.29	116.42	18.84	57.93	25.515
18	5.96	10.03	133.6	53.9	9.03	34.635
19	11.00	12.14	98.53	59.55	8.83	39.245
20	0.25	22.34	103.45	7.44	13.41	18.9
21	4.95	14.61	77.25	36.125	12.14	48.375
22	7.01	13.84	96.76	54.35	11.5	45.785
23	2.51	0.51	160.85	71.125	2.64	99.86
24	0.64	22.82	195.9	47.8	7.75	48.92
25	5.86	23.82	96.07	49.85	9.58	52.845
26	0.16	0.17	125.2	1700	5.39	44.915
27	ND	7.92	172.25	27.375	6.33	32.9
28	ND	0.52	16.93	3.856	5.21	4.465
29	0.37	12.80	117.12	50.85	7.74	44.335
30	12.76	14.69	76.49	65.525	7.52	42.095

ตารางที่ 2 ผลอุทกวิทยาเคมีร่อน (ต่อ)

GW-no	ไนเตรท	ซัลเฟต	โซเดียม	แคลเซียม	โพแทสเซียม	แมกนีเซียม
	NO ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na	Ca	K	Mg
31	0.17	10.17	78.58	41.825	6.35	28.335
32	2.83	8.25	96.02	48.25	9.9	37.655
33	2.13	7.86	97.61	29.45	9.86	39.15
34	0.06	1.04	103.14	76.75	11.67	43.12
35	0.69	5.79	88.3	44.9	12.31	51.795
36	1.40	5.12	49.91	83.35	8.72	43.855
37	0.16	15.21	22.82	13.69	1.21	3.7575
38	0.16	11.84	68.79	132.8	9.91	55.1
39	8.76	28.89	32.52	5.835	9.22	7.669
40	0.92	3.51	54.86	46	16.47	6.23
41	49.74	103.36	285.9	78.95	34.22	20.685
42	0.58	3.11	118.22	107	7.88	21.08
43	0.03	13.63	106.32	47.05	23.28	10.445
44	4.57	2.89	159.54	190.7	26.64	32.045
45	22.44	18.89	128.94	158.25	8.05	21.785
46	0.20	3.54	173.2	166.55	16.86	30.665
47	1.91	101.70	685.2	76.35	22.29	31.155
48	3.30	14.15	187.42	110.4	21.67	20.52
49	10.93	20.12	188.74	106.6	11.35	25.13
50	16.55	0.32	166.8	99.45	8.41	23.79
51	4.39	55.85	324.95	165.4	2.7	43.1
52	13.62	202.19	92.48	226.95	7.15	36.72
53	2.87	15.21	67.16	134.2	6.76	15.365
54	4.59	11.84	78.34	94.05	14.25	8.75
55	0.05	51.37	184.06	69.2	5.37	12.52
56	ND	2.14	84.16	101.5	2.39	21.935
57	ND	47.06	87.52	149.4	6.26	21.64
58	2.96	10.77	171.2	99.45	11.17	21.985
59	6.14	26.05	288.35	25.45	2.24	0.3
60	ND	38.88	64.26	117.7	2.29	19.96
61	0.90	8.24	179.4	95.9	24.52	54.02

ตารางที่ 2 ผลอุทกวิทยาเคมีรื้อน (ต่อ)

GW-no	ไนเตรท	ซัลเฟต	โซเดียม	แคลเซียม	โพแทสเซียม	แมกนีเซียม
	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na	Ca	K	Mg
62	0.37	6.64	24.92	59.65	2.38	27.09
63	0.58	5.66	26.5	114.1	7.79	28.745
64	0.08	25.09	63.44	92.35	15.37	31.005
65	1.42	46.59	93.66	81	7.54	30.63
66	7.72	9.78	124.2	105.75	7.32	58.99
Mean	5.21	20.72	121.80	106.52	11.55	32.90
Min	0.00	0.04	16.93	0.73	1.21	0.3
Max	49.74	202.19	685.2	1700	57.93	99.86
SD	9.22	32.27	94.14	207.09	9.28	18.13
CV	176.99	155.75	77.29	194.42	80.38	54.96



สถานีที่ 1



รูปที่ ข-1 บ่อบาดาลสถานีที่ 1

สถานีที่ 2



รูปที่ ข-2 บ่อบาดาลสถานีที่ 2

สถานีที่ 3



รูปที่ ข-3 บ่อบาดาลสถานีที่ 3

สถานีที่ 4



รูปที่ ข-4 บ่อบาดาลสถานีที่ 4

สถานีที่ 5



รูปที่ ข-5 บ่อบาดาลสถานีที่ 5

สถานีที่ 6



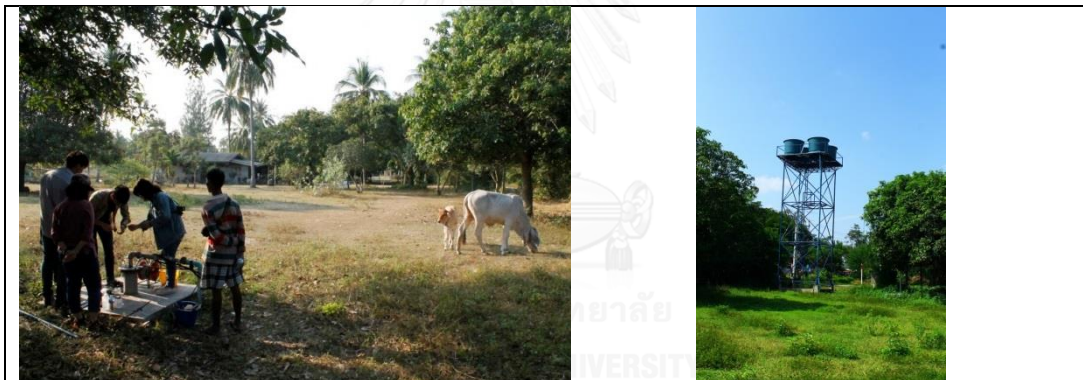
รูปที่ ข-6 บ่อบาดาลสถานีที่ 6

สถานีที่ 7



รูปที่ ข-7 บ่อบาดาลสถานีที่ 7

สถานีที่ 8



รูปที่ ข-8 บ่อบาดาลสถานีที่ 8

สถานีที่ 9



รูปที่ ข-9 บ่อบาดาลสถานีที่ 9

สถานีที่ 10



รูปที่ ข-10 บ่อบาดาลสถานีที่ 10

สถานีที่ 11



รูปที่ ข-11 บ่อบาดาลสถานีที่ 11

สถานีที่ 12



รูปที่ ข-12 บ่อบาดาลสถานีที่ 12

สถานีที่ 13



รูปที่ ข-13 บ่อบาดาลสถานที่ 3

สถานีที่ 14



รูปที่ ข-14 บ่อบาดาลสถานที่ 14

สถานีที่ 15



รูปที่ ข-15 บ่อบาดาลสถานีที่ 15

สถานีที่ 16



รูปที่ ข-16 บ่อบาดาลสถานีที่ 16

สถานีที่ 17



รูปที่ ข-17 บ่อบาดาลสถานที่ 17

สถานีที่ 18



รูปที่ ข-18 บ่อบาดาลสถานที่ 18

สถานีที่ 19



รูปที่ ข-19 บ่อบาดาลสถานีที่ 19

สถานีที่ 20



รูปที่ ข-20 บ่อบาดาลสถานีที่ 20

สถานีที่ 21



รูปที่ ข-21 บ่อบาดาลสถานีที่ 21

สถานีที่ 22



รูปที่ ข-22 บ่อบาดาลสถานีที่ 22

สถานีที่ 23



รูปที่ ข-23 บ่อบาดาลสถานีที่ 23

สถานีที่ 24



รูปที่ ข-24 บ่อบาดาลสถานีที่ 24

สถานีที่ 25



รูปที่ ข-25 บ่อบาดาลสถานีที่ 25

สถานีที่ 26



รูปที่ ข-26 บ่อบาดาลสถานีที่ 26

สถานีที่ 27



รูปที่ ข-27 บ่อบาดาลสถานีที่ 27

สถานีที่ 28



รูปที่ ข-28 บ่อบาดาลสถานีที่ 28

สถานีที่ 29



รูปที่ ข-29 บ่อบาดาลสถานีที่ 29

สถานีที่ 30



รูปที่ ข-30 บ่อบาดาลสถานีที่ 30

สถานีที่ 31



รูปที่ ข-31 บ่อบาดาลสถานีที่ 31

สถานีที่ 32



รูปที่ ข-32 บ่อบาดาลสถานีที่ 32

สถานีที่ 33



รูปที่ ข-33 บ่อบาดาลสถานีที่ 33

สถานีที่ 34



รูปที่ ข-34 บ่อบาดาลสถานีที่ 34

สถานีที่ 35



รูปที่ ข-35 บ่อบาดาลสถานีที่ 35

สถานีที่ 36



รูปที่ ข-36 บ่อบาดาลสถานีที่ 36

สถานีที่ 37



รูปที่ ข-37 บ่อบาดาลสถานีที่ 37

สถานีที่ 38



รูปที่ ข-38 บ่อบาดาลสถานีที่ 38

สถานีที่ 39



รูปที่ ข-39 บ่อบาดาลสถานีที่ 39

สถานีที่ 40



รูปที่ ข-10 บ่อบาดาลสถานีที่ 10

สถานีที่ 41



รูปที่ ข-41 บ่อบาดาลสถานีที่ 41

สถานีที่ 42



รูปที่ ข-42 บ่อบาดาลสถานีที่ 42

สถานีที่ 43



รูปที่ ข-43 บ่อบาดาลสถานีที่ 43

สถานีที่ 44



รูปที่ ข-44 บ่อบาดาลสถานีที่ 44

สถานีที่ 45



รูปที่ ข-45 บ่อบาดาลสถานีที่ 45

สถานีที่ 46



รูปที่ ข-46 บ่อบาดาลสถานีที่ 46

สถานีที่ 47



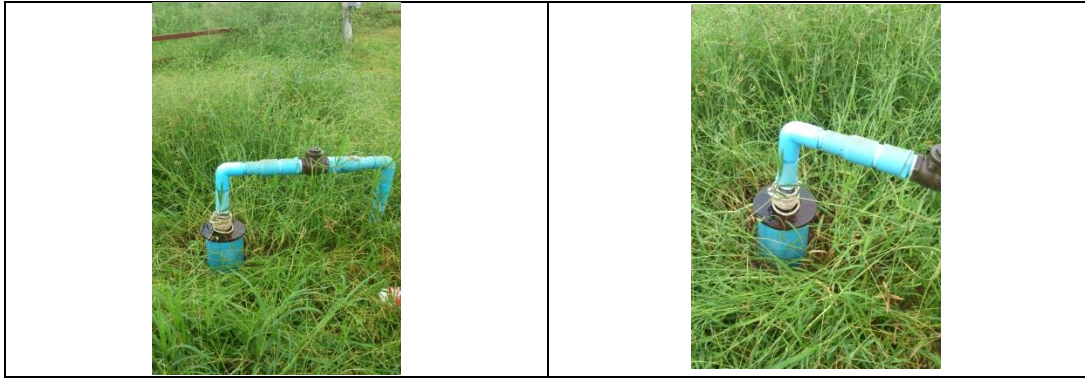
รูปที่ ข-47 บ่อบาดาลสถานีที่ 47

สถานีที่ 48



รูปที่ ข-48 บ่อบาดาลสถานีที่ 48

สถานีที่ 49



รูปที่ ข-49 บ่อบาดาลสถานที่ 49

สถานีที่ 50



รูปที่ ข-50 บ่อบาดาลสถานที่ 50

สถานีที่ 51



รูปที่ ข-51 บ่อบาดาลสถานีที่ 51

สถานีที่ 52



รูปที่ ข-52 บ่อบาดาลสถานีที่ 52

สถานีที่ 53



รูปที่ ข-53 บ่อบาดาลสถานีที่ ๓3

สถานีที่ 54



รูปที่ ข-54 บ่อบาดาลสถานีที่ 54

สถานีที่ 55



รูปที่ ข-55 บ่อบาดาลสถานีที่ 55

สถานีที่ 56



รูปที่ ข-56 บ่อบาดาลสถานีที่ 56

สถานีที่ 57



รูปที่ ข-57 บ่อบาดาลสถานีที่ 57

สถานีที่ 58



รูปที่ ข-58 บ่อบาดาลสถานีที่ 58

สถานีที่ 59



รูปที่ ข-9 บ่อบาดาลสถานีที่ 59

สถานีที่ 60



รูปที่ ข-60 บ่อบาดาลสถานีที่ 60

สถานีที่ 61



รูปที่ ข-61 บ่อบาดาลสถานีที่ 61

สถานีที่ 62



รูปที่ ข-62 บ่อบาดาลสถานีที่ 62

สถานีที่ 63



รูปที่ ข-63 บ่อบาดาลสถานีที่ 63

สถานีที่ 64



รูปที่ ข-64 บ่อบาดาลสถานีที่ 64

สถานีที่ 65



รูปที่ ข-65 บ่อบาดาลสถานีที่ 65

สถานีที่ 66



รูปที่ ข-66 บ่อบาดาลสถานีที่ 66

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายทวนพฤทธิ์ ภาคไชย จบการศึกษาจาก คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ปีการศึกษา 2553 ทำการศึกษาเรื่อง “การประเมินความเสี่ยงชายฝั่งต่อระดับน้ำทะเลภายใต้สภาพภูมิอากาศในอนาคต: กรณีศึกษาบริเวณอ่าวไทยตอนใน”

และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555 และได้นำเสนอผลงานวิชาการ เรื่อง “ผลของอัตราการซึมผ่านของน้ำต่อปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาลโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสเปรดชีท” ในงานประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 15 ระหว่างวันที่ 11-13 พฤษภาคม 2559

