การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน กรณีศึกษาจังหวัดราชบุรี

ปริญญานิพนธ์

ของ

มณีพัชร บุญเรือง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ

กรกฎาคม 2561

การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน กรณีศึกษาจังหวัดราชบุรี

ปริญญานิพนธ์

ของ

มณีพัชร บุญเรือง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ

กรกฎาคม 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน กรณีศึกษาจังหวัดราชบุรี

บทคัดย่อ

ของ

มณีพัชร บุญเรือง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ
กรกฎาคม 2561

มณีพัชร บุญเรือง. (2561). *การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน กรณีศึกษาจังหวัดราชบุรี*. ปริญญานิพนธ์ วท.ม. (ภูมิสารสนเทศ). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินวิโรฒ. อาจารย์ที่ปรึกษา: อาจารย์ ดร.สถาพร มนต์ประภัสสร, อาจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ สุทธินนท์.

การศึกษาวิจัยเรื่องการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดราชบุรี เป็นการศึกษาด้วยวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial analysis) ด้วยแบบจำลองทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS modeling) ที่เรียกว่าแบบจำลอง DRASTIC ซึ่งเป็นการประเมินความเปราะบางเชิงเปรียบเทียบในการที่มลสารต่าง ๆ จากผิวดินซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษา วิธีการศึกษาพิจารณาข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยา 7 ปัจจัย ได้แก่ 1) ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (Depth to water table, D), 2) อัตราการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Net recharge, R), 3) ลักษณะของชั้นหินน้ำบาดาล (Aquifer media, A), 4) สมบัติดิน (Soil media, S), 5) ความลาดชันของภูมิประเทศ (Topography, T), 6) สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (Impact of vadose zone, I) และ 7) ค่าความนำทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล (Hydraulic Conductivity of the aquifer, C) นำข้อมูลทั้ง 7 ปัจจัย มาวิเคราะห์เชิงพื้นที่ร่วมกัน โดยใช้เครื่องมือแบบจำลองทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ข้อมูลแต่ละปัจจัยจะถูกกำหนดค่าน้ำหนักและค่าคะแนนโดยแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็นช่วงๆ และให้ค่าคะแนนของแต่ละช่วง ผลจากการวิเคราะห์ได้ค่าดัชนีความเปราะบาง (DRASTIC Index Value) ที่แสดงถึงระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลพิษของชั้นน้ำบาดาล

ผลการวิจัยพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดราชบุรี มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินอยู่ในระดับค่อนข้างสูง คิดเป็นร้อยละ 33 รองลงมามีความเปราะบางอยู่ในระดับปานกลาง ร้อยละ 25 ความเปราะบางอยู่ในเกณฑ์สูงและค่อนข้างต่ำใกล้เคียงกัน ร้อยละ 16 และความเปราะบางระดับต่ำมาก คิดเป็นร้อยละ 10 บริเวณพื้นที่ที่มีความเปราะบางอยู่ในเกณฑ์สูง ควรระมัดระวังสำหรับการประกอบกิจกรรมใดๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อการปนเปื้อนของมลพิษลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งพบกระจายอยู่ในบางพื้นที่ของทุกอำเภอ จากมากที่สุดไปน้อยที่สุด ได้แก่ อำเภอบ้านคา ปากท่อ สวนผึ้ง และจอมบึง และอำเภอโพธาราม ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบแผนที่แสดงความเปราะบางกับข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล ค่าปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total Dissolve Solid: TDS) มีพื้นที่ที่มีระดับความเปราะบางสูงสุด พบว่า มีพื้นที่ที่ต้องเฝ้าระวังด้านการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน คือ พื้นที่อำเภอโพธาราม มีพื้นที่เฝ้าระวัง 39.22 ตร.กม. ผลการเปรียบเทียบแผนที่แสดงความเปราะบางกับค่าปริมาณไนเตรท พบว่ามีพื้นที่ที่ต้องเฝ้าระวังด้านการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน คือ พื้นที่อำเภอปากท่อ มีพื้นที่เฝ้าระวัง 6.36 ตร.กม. จึงต้องควรระมัดระวังสำหรับการประกอบกิจกรรมใดๆที่อาจเป็นแหล่งกำเนิดสารมลพิษบนผิวดิน

VULNERABILITY ASSESSMENT OF GROUNDWATER: CASE STUDY IN RATCHABURI PROVINCE

AN ABSTRACT
BY
MANEEPAT BOONRUANG

Present in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Science Degree in Geoinformatics
at Srinakharinwirot University
July 2018

Maneepat Boonruang. (2018). *Vulnerability Assessment of Groundwater: Case Study in Ratchaburi Province Master's thesis,* M.Sc (Geoinformatics) . Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr. Sathaporn Monprapussorn, Dr. Pongsak Suttinon.

The vulnerability assessment of contaminated groundwater is evaluated by using spatial analysis and GIS modelling, called DRASTIC. The aim is to identify the contaminants from the topsoil, that leak into the groundwater system. The methodology was analyzed by using seven parameters, such as depth to water table (D), net recharge (R), aquifer media (A), soil media (S), topography (T), impact of vadose zone (I), and hydraulic conductivity (C). The parameters are set by measuring weight and value, then divided into range and given value points in each range. As a result of DRASTIC analysis, the DRASTIC index value indicated that the level of leaked contaminants were pollutants for the groundwater in the study area.

Consequently, most of the study area was at a high level of vulnerability to groundwater contamination. The results of the study were divided into four levels such as thirty three percent for a high level, twenty five percent for a medium level, sixteen percent for a high to low level, and ten percent of low level. An awareness of the impact fo risky activities, such as pollutants leaking into the groundwater, were found from the highest to the lowest levels in scattering areas, for example, the districts of Ban Kha, Paktho, Suan Phung, Chom Bueng, and Pho Tha Ram, respectively. The comparison between the vulnerability of groundwater quality, and Total Dissolve Solid (TDS) found that the Pho Tha Ram district of 39.22 square kilometers, had a high level of vulnerability of groundwater contamination. Moreover, the results of the comparison between nitrate and the vulnerability of groundwater contamination map also found that the Pak Tho District contained 6.36 square kilometers which need to be monitored continuously.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน กรณีศึกษาจังหวัดราชบุรี

ของ
มณีพัชร บุญเรือง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

……..……คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
วันที่.....เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2561

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

……..……ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร.สถาพร มนต์ประภัสสร)

……..……ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ สุทธินนท์)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

……..……ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา สราภิรมย์)

……..……กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สถาพร มนต์ประภัสสร)

……..……กรรมการ
(อาจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ สุทธินนท์)

……..……กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชูเดช โลศิริ)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ ดร. สถาพร มนต์ประภัสสร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ ดร. พงษ์ศักดิ์ สุทธินนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ได้กรุณาที่ให้คำแนะนำข้อคิดเห็น ตรวจสอบและแก้ไขร่างปริญญานิพนธ์มาโดยตลอด ผู้วิจัยจึงขอ กราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา สราภิรมย์ ที่กรุณาให้เกียรติเป็นประธานควบคุมปริญญานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย พันธนะหิรัญ ประธานกรรมการบริหารหลักสูตร กรุณาให้เกียรติเป็นประธานสอบเค้าโครงปริญญานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ธีรเวทย์ ลิมโกมลวิลาศ และ อาจารย์ ดร.ชูเดช โลศิริ เป็นกรรมการในการสอบเค้าโครงปริญญานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี กรมอุตุนิยมวิทยา กรมแผนที่ทหาร และกรมพัฒนาที่ดิน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในด้านต่างๆ สำหรับการทำงานวิจัย ตลอดจนอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณกองทุนพัฒนาน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่สนับสนุนทุนการศึกษาในครั้งนี้ และกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ให้ความห่วงใย และเป็นกำลังใจตลอดระยะเวลาการทำปริญญานิพนธ์ ซึ่งเป็นแรงผลักดันให้สามารถทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จดังที่ตั้งใจไว้ อีกทั้งขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา ตลอดจนผู้เขียนหนังสือ และบทความต่างๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้วิจัยจนสามารถให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

มณีพัชร บุญเรือง

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	**บทนำ**	1
	ภูมิหลัง	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
	ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
	ขอบเขตของการวิจัย	4
	กรอบและแนวคิดในการวิจัย	5
	นิยามศัพท์เฉพาะ	6
2	**เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	8
	ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	8
	ข้อมูลเกี่ยวกับวัฏจักรน้ำ	25
	แนวคิดเกี่ยวกับน้ำใต้ดิน	26
	แนวคิดเกี่ยวกับการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน	32
	แนวคิดเกี่ยวกับความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน	39
	แนวคิดการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน	43
	การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินด้วยแบบจำลองดราสติก	44
	ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	57
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	62
3	**วิธีการดำเนินการวิจัย**	65
	ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	65
	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	65
	การเก็บรวบรวมข้อมูล	66
	หลักการวิเคราะห์	67
	การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล	68

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

4 ผลการศึกษา 75

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา 75

5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 114

สรุปผลการศึกษา 114

อภิปรายผลการศึกษา 116

ข้อคิดเห็นและเสนอแนะ 119

บรรณานุกรม 120

ภาคผนวก 124

ภาคผนวก ก 125

ภาคผนวก ข 133

ภาคผนวก ค 135

ภาคผนวก ง 141

ภาคผนวก ฉ 148

ประวัติย่อของผู้วิจัย 155

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	สัดส่วนประเภทการใช้ที่ดินในพื้นที่จังหวัดราชบุรี	13
2	แสดงพื้นที่ทำการเกษตรในจังหวัดราชบุรี	14
3	สรุปการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ของจังหวัดราชบุรี	15
4	ศักยภาพน้ำบาดาล จังหวัดราชบุรี	16
5	แสดงจำนวนประชากรและครัวเรือน รายอำเภอ	17
6	ปริมาณขยะมูลฝอยจำแนกตามรายอำเภอ	17
7	จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรี	18
8	แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทโรงงานอุตสาหกรรม	34
9	ประเภทแหล่งกำเนิดมลพิษและมลสารที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ	35
10	ค่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค	37
11	ชนิดและประเภทของกากของเสียและสารอันตรายที่ลักลอบทิ้ง	42
12	การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยในแบบจำลองดราสติก	46
13	ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดิน	48
14	ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยอัตราการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล	50
15	ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชั้นหินให้น้ำ	50
16	ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยดิน	51
17	ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยสภาพความลาดชันภูมิประเทศ	52
18	ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำหรือตัวกลางของเขตอิ่มอากาศ	54
19	ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน	55
20	ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย	66
21	ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาด้วยวิธีการ DRASTIC	75
22	การกำหนดหลักเกณฑ์การให้ค่าคะแนนของปัจจัยต่าง ๆ	76
23	การจำแนกระดับความเปราะบางต่อมลภาวะของชั้นน้ำใต้ดิน	96
24	การจำแนกระดับความเปราะบางต่อมลภาวะของชั้นน้ำใต้ดินเป็นรายอำเภอ	96

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
25	พื้นที่เฝ้าระวังด้านคุณภาพน้ำบาดาล (TDS) และการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	103
26	พื้นที่เฝ้าระวังด้านคุณภาพน้ำบาดาลไนเตรทและการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาล	107
27	สรุปการจำแนกระดับความเปราะบางต่อมลภาวะของชั้นน้ำบาดาลจากระดับน้อยไปมาก จากค่าดัชนีความเปราะบางของพื้นที่ศึกษา	115

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	กรอบและแนวคิดในการวิจัย	5
2	แผนที่แสดงขอบเขตการปกครอง จังหวัดราชบุรี	9
3	แผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาจังหวัดราชบุรี	22
4	แผนที่แสดงลักษณะอุทกธรณีวิทยาจังหวัดราชบุรี	24
5	วัฏจักรน้ำ	26
6	การแบ่งเขตชั้นน้ำและประเภทของน้ำใต้ดิน	27
7	ภาพตัดขวางระดับน้ำใต้ดิน เขตอิ่มอากาศ เขตอิ่มน้ำ และระดับความลึกของน้ำใต้ดินในฤดูแล้ง	29
8	ชั้นหินอุ้มน้ำหรือชั้นหินให้น้ำที่ถูกขนาบด้วยชั้นหินกั้นน้ำทั้งด้านบนและด้านล่าง	31
9	การแปรผันของสารปนเปื้อนทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและเกิดการพัฒนาของมนุษย์	33
10	ภาพการเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวดินลงมายังระดับน้ำใต้ดิน	41
11	ชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดันและไม่มีแรงดัน	48
12	ลักษณะและโครงสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่	59
13	แผนผังแสดงขั้นตอนในการสร้างแผนที่แสดงความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน	69
14	แผนที่แสดงค่าความลึกของระดับน้ำบาดาล	81
15	แผนที่แสดงค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล	83
16	แผนที่แสดงลักษณะของชั้นหินให้น้ำบาดาล	85
17	แผนที่แสดงคุณสมบัติของดิน	87
18	แผนที่แสดงความลาดชันของภูมิประเทศ	89
19	แผนที่แสดงอิทธิพลของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล	91
20	แผนที่ค่าความนำทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล	93
21	แผนที่ค่าดัชนีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดิน	95
22	แผนที่ค่าปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้	100
23	แสดงพื้นที่เฝ้าระวังด้านคุณภาพน้ำบาดาล (TDS) และการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลแผนที่ค่าความนำทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล	102
24	แผนที่ค่าปริมาณค่าไนเตรท	104

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

25 แผนที่แสดงพื้นที่เฝ้าระวังด้านคุณภาพน้ำบาดาลไนเตรทและการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาล 106

26 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา 108

27 แผนที่จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินกับระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนน้ำใต้ดินระดับสูงสุด 110

28 ตำแหน่งของสารปนเปื้อนบนแผนที่ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนน้ำใต้ดินกระจายตัวในบริเวณต่าง ๆ 112

29 แผนที่แสดงระดับความเปราะบางต่อมลภาวะของชั้นน้ำบาดาลที่กระจายตัวในบริเวณต่าง ๆ 115

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

น้ำบาดาลเป็นทรัพยากรที่มีคุณค่า และถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากในปัจจุบันเพื่อการอุปโภค บริโภค การอุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว ซึ่งการพัฒนานำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้นี้ หากทำในลักษณะที่ไม่ถูกต้องจะทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลงอย่างมาก และเป็นการลดลงที่ไม่สัมพันธ์กับการเพิ่มเติมของน้ำบาดาลตามธรรมชาติ ก่อให้เกิดผลกระทบตามมาทั้งในแง่ของแผ่นดินทรุด การแทรกซึมของน้ำเค็ม การปนเปื้อนของน้ำบาดาล ปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาความเสื่อมโทรมของทรัพยากรน้ำบาดาลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ผลกระทบของการพัฒนา การใช้ประโยชน์ที่ดิน การเติบโตของชุมชนเมืองและการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ทำให้แหล่งน้ำใต้ดินมีแนวโน้มเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสูง

ประเทศไทยมีแหล่งน้ำใต้ดิน หรือน้ำบาดาล ซึ่งเป็นแหล่งน้ำตามธรรมชาติอีกแหล่งหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เสริมหรือทดแทนน้ำผิวดิน ซึ่งในบางพื้นที่ไม่สามารถเข้าถึงแหล่งน้ำผิวดินหรือไม่มีน้ำประปาเข้าถึง จึงได้มีการนำเอาน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในการอุปโภคบริโภค รวมทั้งการผลิตในภาคธุรกิจอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรม กรมทรัพยากรน้ำบาดาลซึ่งกำกับดูแลและควบคุมการใช้น้ำบาดาลในประเทศตามกฎกระทรวงที่กำหนดให้ผู้ใช้น้ำบาดาลที่ระดับความลึกตั้งแต่ 15 เมตรลงไปต้องขึ้นทะเบียนผู้ใช้น้ำบาดาล ซึ่งพบว่าตัวเลขการใช้น้ำบาดาลทั่วประเทศเฉลี่ยปีละ 18,000 ล้านลูกบาศก์เมตร จากศักยภาพน้ำบาดาลที่ใช้ได้ราว 1 แสนล้านล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี นอกจากนี้ปริมาณการใช้น้ำบาดาลยังสัมพันธ์กับปริมาณฝนที่ตกลงมาเติมชั้นน้ำใต้ดินตามธรรมชาติ คือ ปริมาณน้ำบาดาลจากข้อมูลอัตราการไหลซึมของน้ำฝนลงสู่น้ำบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลที่วิเคราะห์จำแนกตามชั้นหินประเภทต่างๆ และพื้นที่ของชั้นหินแต่ละชนิดรองรับทั้งประเทศ เฉลี่ยต่อปีประมาณ 38,000 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือร้อยละ 4.7 ของปริมาณน้ำฝนทั้งประเทศ โดยแอ่งน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือจะมีปริมาณน้ำฝนที่ไหลซึมลงสู่แหล่งน้ำบาดาลต่อปีมากที่สุด มีประมาณ 11,000 ล้านลูกบาศก์เมตร (วจี รามณรงค์, และสมชัย วงศ์สวัสดิ์. 2542)

สถานการณ์น้ำบาดาลในประเทศไทย พ.ศ. 2559 ภาครัฐมีการติดตามเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่เสี่ยงที่มีการปนเปื้อน เช่น พื้นที่ทำกิจกรรมเหมืองซึ่งเสี่ยงต่อการปนเปื้อนโลหะหนัก (เลย พิจิตร และเพชรบูรณ์) พื้นที่แหล่งฝังกลบขยะและรับกำจัดขยะอุตสาหกรรมซึ่งเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของโลหะหนักและสารอินทรีย์ระเหยง่าย (จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ลพบุรี นครปฐม สระบุรี สมุทรปราการ ปทุมธานี และราชบุรี) และพื้นที่ที่มีปัญหาการรุกล้ำของน้ำเค็ม แนวแม่น้ำเจ้าพระยา (สมุทรสาคร สมุทรปราการ นครปฐม นนทบุรี ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา และกรุงเทพมหานคร) ชายฝั่งอ่าวไทย (นครศรีธรรมราชและสงขลา) ปัจจุบันพบว่า ระดับน้ำบาดาลในชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น (ลึกไม่เกิน 50 เมตร) บริเวณพื้นที่ลุ่มเจ้าพระยา ตั้งแต่ จังหวัดสุโขทัย

พิษณุโลก พิจิตร และกำแพงเพชร มีแนวโน้มของระดับน้ำบาดาลลดลง นับตั้งแต่ พ.ศ. 2554 จนถึงปัจจุบันลดลงในอัตราเฉลี่ย 4-7 เมตร ทำให้ระดับน้ำลดลงจากระดับปกติที่ 4-6 เมตร ลดลงไปอยู่ที่ระดับ 10-12 เมตร จากผิวดิน โดยระดับน้ำลดลงสูงสุด คือ 20 เมตร ซึ่งเสี่ยงต่อการเสียสมดุลตามธรรมชาติ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2559)

ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับน้ำบาดาล โดยทั่วไปจะมุ่งเน้นไปที่ผลกระทบของมลพิษที่ทำให้คุณภาพน้ำบาดาลต่ำลง จนอาจส่งผลเสียต่อการใช้ของมนุษย์ จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการขยายตัวด้านอุตสาหกรรม การเกษตร การทำเหมืองแร่ น้ำทิ้งจากครัวเรือน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการปนเปื้อนลงสู่น้ำบาดาลได้ (Rahman. 2008) ปัจจุบันนี้ในหลายพื้นที่ของโลกใช้น้ำบาดาลเพื่อการอุปโภค บริโภคเป็นหลัก เช่น การปนเปื้อนมลพิษของน้ำใต้ดินลุ่มน้ำซิตารัม อินโดนีเซีย สามเหลี่ยมปากแม่น้ำไนเจอร์ ไนจีเรียครอบคลุมพื้นที่มากกว่า 70,000 ตารางกิโลเมตร น้ำมันที่ปนเปื้อนอยู่ในแม่น้ำปะปนอยู่ในดิน อากาศ และน้ำบาดาล จนส่งผลกับความปลอดภัยด้านอาหารในท้องที่เพราะปนเปื้อนอยู่ในกิจกรรมการเกษตร เดือนตุลาคม พ.ศ. 2551 มีรายงานข่าวพบการปนเปื้อนสารหนูในแหล่งน้ำที่ประเทศจีนตอนใต้จนทำให้ประชาชนเกิดอาการหน้าบวม อาเจียน และตาพร่าเป็นจำนวนหลายร้อยคน สาเหตุเกิดจากการจัดการบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานถลุงเหล็กไม่มีประสิทธิภาพ เมื่อเกิดพายุฝนตกหนัก ทำให้น้ำเสียเกิดการรั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อมและชุมชน ส่วนในประเทศบังคลาเทศพบว่าในน้ำใต้ดินที่ถูกนำมาใช้บริโภคมีการปนเปื้อนสารหนูเกินมาตรฐาน เกิดจากทรัพยากรแร่ที่มีสารหนูปะปนในปริมาณมาก ถูกชะล้างและปนเปื้อนลงในน้ำใต้ดิน นอกจากนี้ประเทศกัมพูชา เวียดนาม ทิเบต อาร์เจนตินา ชิลี เม็กซิโก และทางตอนเหนือของสหรัฐอเมริกาก็พบการปนเปื้อนสารหนูในน้ำใต้ดินสูงเช่นกัน (ที่มา http://www.matichon.co.th/khaosod 12 พฤศจิกายน 2551)

จังหวัดราชบุรี ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคกลางด้านทิศตะวันตก ในปัจจุบันพบว่าจังหวัดราชบุรีมีการพัฒนาน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ประโยชน์อย่างมากในปัจจุบัน ในด้านกิจกรรมการอุปโภค บริโภค อุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว มีแหล่งสุ่มเสี่ยงของสารปนเปื้อนหลายแหล่ง จากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งปัจจุบันเป็นสาเหตุหลักทั้งจากแหล่งชุมชน การเกษตรกรรม โรงงานอุตสาหกรรม และสถานีบริการน้ำมันที่กระจายอยู่ทั่วไปของจังหวัดราชบุรี ตลอดจนการทิ้งขยะหรือการฝังกลบขยะของท้องถิ่นเอง ดังนั้นปัญหามลภาวะที่เพิ่มมากขึ้นเหล่านี้ ในที่สุดแล้วมีโอกาสที่จะแทรกซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินซึ่งในจังหวัดราชบุรีมีปริมาณการใช้น้ำบาดาล ประมาณ 133 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2560) สืบเนื่องจากเหตุการณ์ที่ประชาชนในพื้นที่ตำบลน้ำพุ อำเภอเมืองราชบุรี และตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี ร้องเรียนต่อส่วนราชการว่าได้รับความเดือดร้อนจากการประกอบกิจการโรงงานของบริษัทแวกซ์ กาเบ็จ รีไซเคิล เซ็นเตอร์ จำกัด เกี่ยวกับมลพิษทางกลิ่นและการปล่อยน้ำเสียของโรงงาน บริษัทฯได้ประกอบกิจการการคัดแยกขยะสิ่งปฏิกูลที่ไม่ใช้แล้วในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งได้ดำเนินการมาตลอด ตั้งแต่ พ.ศ. 2544 เป็นระยะเวลากว่า 16 ปี จนถึงปัจจุบัน การดำเนินการที่ผ่านมามีปัญหาของการร้องเรียนในเรื่องของน้ำ มลภาวะต่างๆ สืบเนื่องจากแหล่งน้ำสาธารณะที่ประชาชนเคยใช้อยู่นั้นมีการปนเปื้อนสารเคมี และกรมควบคุม

มลพิษได้มีหนังสือแจ้งให้ประชาชนระงับการใช้น้ำในบ่อน้ำบาดาล จำนวน 2 บ่อ ประกอบกับกรมทรัพยากรน้ำบาดาลเข้าร่วมแก้ไขปัญหาเรื่องร้องเรียนการประกอบกิจการของบริษัทแวกซ์ กาเบ็จ รีไซเคิล เซ็นเตอร์ จำกัด และเก็บตัวอย่างน้ำภายในโรงงานและบริเวณโดยรอบ ผลการสำรวจตรวจสอบพื้นที่บริเวณบริษัทแวกซ์กาเบ็จ รีไซเคิล เซ็นเตอร์ จำกัด ตั้งแต่ พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2560 พบสารโลหะหนักประเภทนิกเกิลที่มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน รวมถึงการตรวจสุขภาพชาวบ้าน จำนวน 8 คน ที่โรงพยาบาลราชบุรี ผลตรวจพบ มีสารแคดเมียม และนิกเกิล ซึ่งเป็นสารโลหะหนักอยู่ในร่างกาย เป็นสารชนิดเดียวกับที่มีการตรวจพบในแหล่งน้ำใต้ดินรอบๆ โรงงาน ซึ่งในคนปกตินั้นจะไม่มีสารดังกล่าวในร่างกาย แต่ถ้ามีก็ถือว่าอันตราย และเหตุการณ์ฟาร์มสุกรลักลอบปล่อยน้ำเสียลงคลองสาธารณะ อำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรี สู่ลำคลองสาขา จังหวัดสมุทรสงคราม และจังหวัดเพชรบุรี จนสร้างความเสียหายแก่ผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอย่างมาก จากปัญหาการร้องเรียนของกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่ จังหวัดราชบุรี กรณีการปล่อยน้ำเสียจากฟาร์มสุกรลงสู่แหล่งน้ำ ลำคลองสาธารณะ ซึ่งฟาร์มมีการเลี้ยงสุกร 9,000-10,000 ตัว และแม่พันธุ์ 1,500-1,600 ตัว และน้ำบาดาลที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาในหมู่ที่ 2 ตำบลห้วยไผ่ อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี ที่ชาวบ้านใช้อุปโภคบริโภคในปัจจุบัน มีสภาพเป็นสีเหลือง มีการไหลซึมมาจากฟาร์มหมู และ แหล่งน้ำเสียจากแอ่งน้ำสาธารณะจนไม่สามารถใช้น้ำในการอุปโภคบริโภคได้ ทำให้ชาวบ้านกังวลว่า น้ำบาดาลที่ใช้ในปัจจุบันจะมีสารพิษตกค้างที่อาจจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ คาดว่าอาจจะมีสารปนเปื้อนจนทำให้ชาวบ้านไม่กล้าใช้น้ำ ดังนั้นจึงควรวางแผนจัดการป้องกันการปนเปื้อนมลพิษลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

การป้องกันดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึงศักยภาพของแหล่งน้ำใต้ดินเสียก่อนว่าบริเวณใดมีโอกาสถูกปนเปื้อนมากกว่าหรือน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นช่วยในการตัดสินใจในการวางแผนสำหรับกิจกรรมต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำใต้ดิน การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจึงมีความสำคัญมาก ซึ่งการประเมินการปนเปื้อนต้องใช้ข้อมูลปริมาณมาก ดังนั้น จึงต้องมีระบบที่ออกแบบมาเพื่อจัดการกับข้อมูลปริมาณมากๆ เหล่านี้ ซึ่งเครื่องมือนั้นก็คือระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ได้นำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาวิเคราะห์จัดทำแผนที่ระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน โดยใช้แบบจำลอง DRASTIC แบบจำลองที่สร้างขึ้น โดยอาศัยปัจจัยทางอุทกธรณีวิทยา 7 ปัจจัย ได้แก่ Depth to Water table (D), Net Recharge (R), Aquifer Media (A), Soil Media (S), Topography (T), Impact of Vadose Zone Media (I) และ Hydraulic Conductivity of the Aquifer (C) โดยนำตัวย่อของแต่ละปัจจัยมารวมกันตั้งเป็นชื่อว่า DRASTIC เพื่อใช้เป็นเครื่องมือการวางแผนบริหารจัดการเกี่ยวกับการป้องกันการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินของจังหวัดราชบุรีต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ในพื้นที่จังหวัดราชบุรี โดยใช้แบบจำลอง DRASTIC

2. เพื่อเปรียบเทียบแผนที่แสดงความเปราะบางที่ได้จากแบบจำลอง DRASTIC กับผลการวิเคราะห์ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Dissolved Solid: TDS) และปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล

3. เพื่อเปรียบเทียบแผนที่แสดงความเปราะบางกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้แผนที่แสดงระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดราชบุรี แสดงผลออกเป็นพื้นที่ที่ชั้นน้ำใต้ดินที่มีโอกาสถูกปนเปื้อนจากมลสารบนผิวดินมากน้อยแตกต่างกันไป

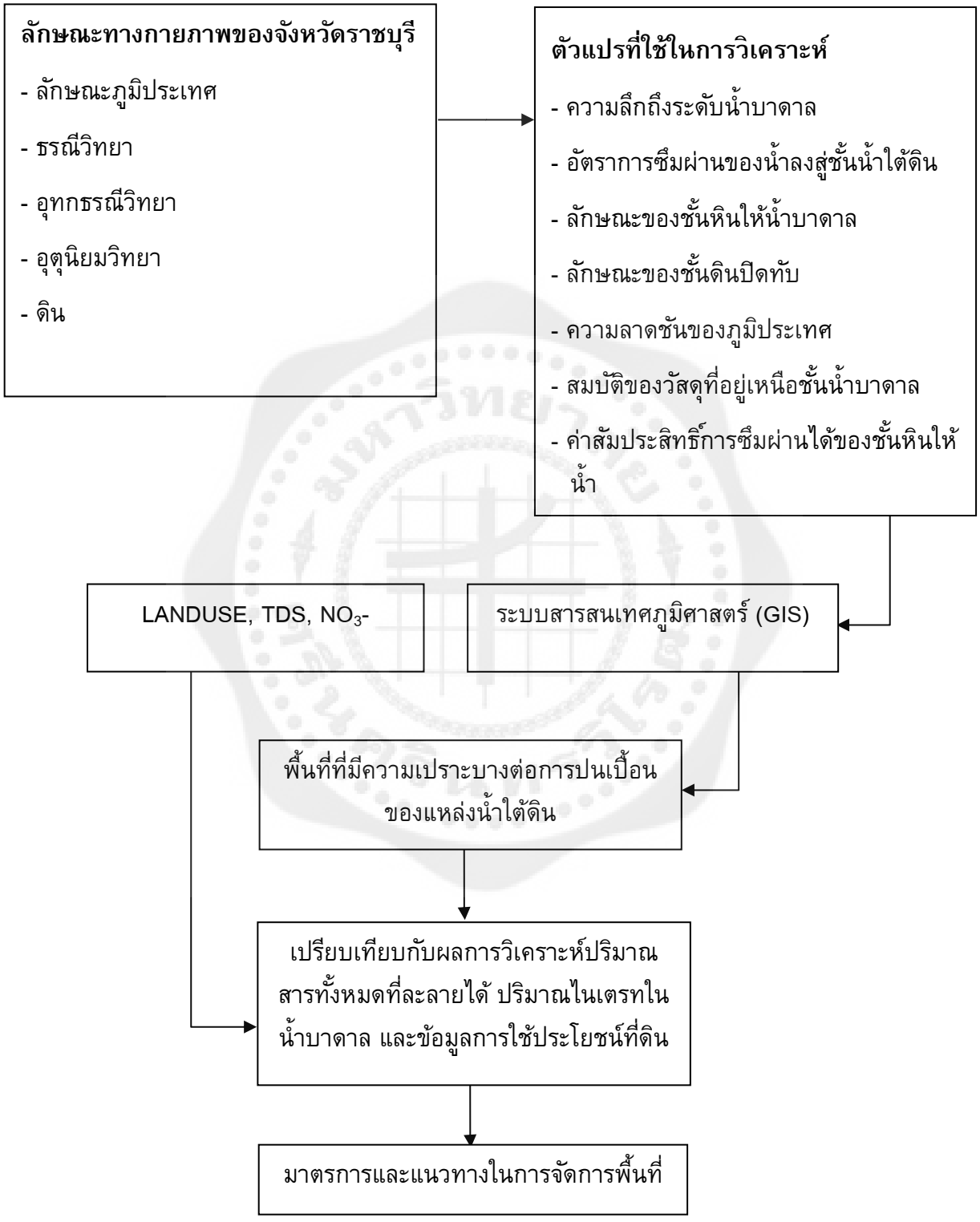
2. สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการวางแผนในการทำกิจกรรมต่างๆ เช่น การวางแผนการใช้ที่ดิน การกำหนดที่ตั้งของแหล่งฝังกลบขยะ เป็นต้น

3. สามารถใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการและมาตรการป้องกันการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดราชบุรี

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการประเมินความเปราะบางต่อการการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินจังหวัดราชบุรี โดยใช้แบบจำลอง DRASTIC และนำเทคนิคระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) มาช่วยในการประมวลและแสดงผล โดยใช้ตัวแปรทางด้านกายภาพของพื้นที่จังหวัดราชบุรี ข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิจัยอ้างอิงมาจากหน่วยงานต่างๆ เช่น กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี เป็นต้น

กรอบและแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบและแนวคิดในการวิจัย

นิยามศัพท์เฉพาะ

น้ำใต้ดิน หมายถึง น้ำที่เกิดจากผิวดินซึมผ่านดินชั้นต่างๆ ลงไปถึงชั้นดินหรือชั้นหินที่ซึมผ่านไม่ได้ น้ำเหล่านี้จะไปสะสมอยู่ช่องว่างของเนื้อดินหรือหิน และปริมาณน้ำใต้ดินบริเวณหนึ่งๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนและสภาพภูมิประเทศในบริเวณนั้น น้ำใต้ดินแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. **น้ำใต้ดินชั้นบน** พบในชั้นดินตื้นๆ เป็นน้ำที่ซึมอยู่ในดินเหนือหินเกิดจากน้ำฝนหรือน้ำบนผิวดินดูดซับ เมื่อดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำแล้วก็ซึมลงไปในดินจนถึงชั้นของหิน ซึ่งชั้นหินเหล่านี้จะกั้นน้ำส่วนใหญ่ไม่ให้ซึมผ่านไปได้
2. **น้ำบาดาล** เป็นน้ำที่ซึมจากน้ำในดินผ่านชั้นดินซึงผ่านได้ยากไปกักเก็บอยู่ในชั้นหิน ซึงมีรูพรุนซึ่งอยู่ถัดจากชั้นหินหนา น้ำซึมผ่านได้ยากลงมาระดับน้ำตอนบนสุดของน้ำเรียกว่าระดับน้ำบาดาล ระดับน้ำบาดาลจะเปลี่ยนแปลงได้ตามฤดูกาลหรือเปลี่ยนแปลงตามการเพิ่มหรือสูญเสียน้ำ
3. **การปนเปื้อนน้ำใต้ดิน** หมายถึง มลสารอันตราย เช่น โลหะหนัก สารอินทรีย์ระเหย หรือสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ เจือปนอยู่ในน้ำใต้ดินที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำใต้ดิน
4. **มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน** หมายถึง ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในน้ำใต้ดิน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายและผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนเมื่อนำน้ำใต้ดินมาใช้อุปโภคบริโภค
5. **มลพิษ หรือ มลสาร** หมายถึง ของเสีย วัตถุอันตราย รวมทั้งกาก ตะกอนหรือสิ่งตกค้างจากสิ่งเหล่านี้ที่ถูกปล่อยทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลสาร หรือที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม หรือภาวะที่เป็นพิษภัยอันตรายต่อสุขภาพอนามัยประชาชนได้
6. **ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน** หมายถึง ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของมลสารไปยังน้ำใต้ดิน
7. **ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์** หมายถึง ระบบสารสนเทศที่นำเอาข้อมูลมารวบรวม จัดเก็บ และวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ สามารถทำการสืบค้นข้อมูลและปรับปรุงข้อมูล รวมไปถึงการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ ได้ ข้อมูลที่นำมารวบรวมและจัดเก็บในระบบที่สามารถนำไปจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยข้อมูลเชิงพื้นที่ยังมีการเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูลลักษณะประจำที่ใช้อธิบายรายละเอียดของปรากฏการณ์และคุณลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่นั้นๆ ซึ่งจะทำให้การนำข้อมูลไปใช้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น มีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 5 ส่วน คือ ข้อมูล/สารสนเทศ (data/Information), เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่างๆ (hardware), โปรแกรม (software), และบุคลากร (user/people), และขั้นตอนการทำงาน (procedure)

8. ค่าถ่วงน้ำหนัก (weighting) หมายถึง ค่าคะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยมีความสำคัญไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับความสำคัญและความจำเป็นของปัจจัยที่นำมาทำการวิจัย แล้วจะส่งผลมากน้อยเพียงใด ต่อผลลัพธ์ที่ได้ แต่ละปัจจัยจะมีค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting) เพียงค่าเดียว

9. ค่าคะแนนความเหมาะสมของปัจจัย (rating) หมายถึง ค่าคะแนนความเสี่ยงตามระดับความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นหรือคะแนนความเหมาะสมแต่ละปัจจัย มีหลักเกณฑ์ในการให้ค่าคะแนนตามระดับความเสี่ยงคือผลกระทบมาก/ความเสี่ยงมาก จะได้ค่าคะแนนน้อย ผลกระทบน้อย/ความเสี่ยงน้อยจะได้ค่าคะแนนมาก ซึ่งแต่ละปัจจัยจะมีค่าคะแนนความเหมาะสมของปัจจัย (Rating) หลายค่าคะแนน แบ่งตามความเหมาะสม จากน้อยไปหามาก ตามระดับความเสี่ยงของผลกระทบหรือความเหมาะสมของแต่ละปัจจัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

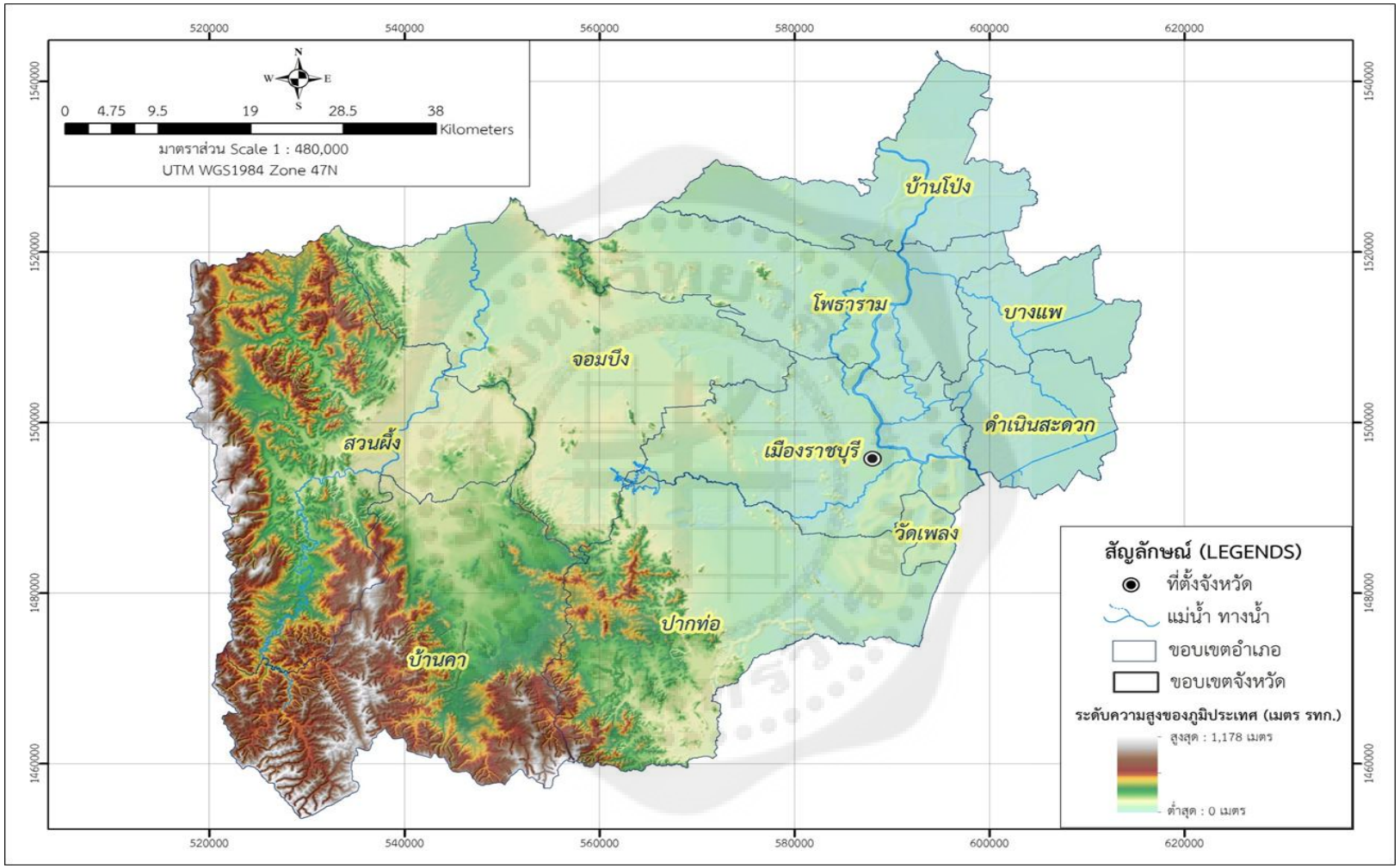
1. ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา
2. ข้อมูลเกี่ยวกับวัฏจักรน้ำ
3. แนวคิดเกี่ยวกับน้ำใต้ดิน
4. แนวคิดเกี่ยวกับการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน
5. แนวคิดเกี่ยวกับความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน
6. แนวคิดการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน
7. การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินด้วยแบบจำลองดราสติก
8. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

1.1 ที่ตั้งและอาณาเขต

จังหวัดราชบุรีตั้งอยู่ในเขตภาคกลางด้านทิศตะวันตก มีพื้นที่ชายแดนติดกับประเทศพม่า โดยมีเทือกเขาตะนาวศรีเป็นแนวพรมแดนสันปันน้ำ ระยะความยาว 73 กิโลเมตร ชุมชนเมืองราชบุรีอยู่ห่างจากกรุงเทพมหานคร 100 กิโลเมตร มีแม่น้ำแม่กลองเป็นแม่น้ำสายหลักไหลผ่านในเขตจังหวัดราชบุรีประมาณ 67 กิโลเมตร มีพื้นที่ 5,196.462 ตารางกิโลเมตร หรือ 3,247,789 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 11.27 ของเนื้อที่ภาคตะวันตก 8 จังหวัด มีอาณาเขตติดต่อดังนี้

ทิศเหนือ ติดต่อกับจังหวัดกาญจนบุรี
ทิศใต้ ติดต่อกับจังหวัดเพชรบุรี
ทิศตะวันออก ติดต่อกับจังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร และสมุทรสงคราม
ทิศตะวันตก ติดต่อกับสหภาพพม่า



ภาพประกอบ 2 แผนที่แสดงขอบเขตการปกครอง จังหวัดราชบุรี

1.2 ลักษณะภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะ คือ

1. พื้นที่ภูเขาสูง ได้แก่ บริเวณชายแดนด้านตะวันตกติดกับสหภาพพม่า และเขตแดนด้านใต้ติดกับจังหวัดเพชรบุรี มีสภาพเป็นเทือกเขาสูง อุดมด้วยป่าดิบ ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าไผ่ ในระดับความสูงตั้งแต่ 200 เมตร ถึง 1,100 เมตร ในเขตอำเภอสวนผึ้ง อำเภอบ้านคา และด้านตะวันตกของอำเภอปากท่อ

2. พื้นที่ราบบริเวณถัดจากเทือกเขามาทางด้านทิศตะวันออก จนถึงตอนกลางของพื้นที่จังหวัด มีลักษณะเป็นที่ราบสูงและเป็นลอนลาด มีแม่น้ำภาชีและลำห้วยสาขาเป็นสายน้ำหลัก สภาพดินเป็นดินร่วนปนทราย มีการชะล้างพังทลายของหน้าดินค่อนข้างสูง สภาพเหมาะกับการปลูกพืชไร่และไม้ผล อยู่ในเขตพื้นที่อำเภอสวนผึ้ง อำเภอบ้านคา อำเภอจอมบึง และด้านทิศตะวันตกของอำเภอปากท่อ เมืองราชบุรี โพธาราม และอำเภอบ้านโป่ง

3. ที่ราบลุ่ม ได้แก่บริเวณสองฝั่งแม่น้ำแม่กลอง และด้านตะวันออกของพื้นที่จังหวัด เนื้อดินเป็นดินร่วนและดินร่วนปนดินเหนียว มีความอุดมสมบูรณ์ มีระบบชลประทานแม่กลองใหญ่ครอบคลุมทั่วพื้นที่ ได้แก่บริเวณเขตอำเภอบ้านโป่ง อำเภอโพธาราม อำเภอบางแพ อำเภอเมืองราชบุรี และอำเภอปากท่อ

4. ที่ราบลุ่มต่ำ ได้แก่ บริเวณตอนปลายของแม่น้ำแม่กลองที่เชื่อมต่อกับจังหวัดสมุทรสงครามอยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 1-2 เมตร ดินมีความสมบูรณ์ เหมาะแก่การทำสวนผักผลไม้

1.3 ลักษณะภูมิอากาศ

จังหวัดราชบุรีตั้งอยู่ในเขตที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ สามารถแบ่งออกตามฤดูกาลได้ 3 ฤดู ดังนี้

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกและลมฝ่ายใต้พัดผ่านทำให้มีอากาศร้อนอบอ้าวทั่วไป อาจมีพายุฤดูร้อนเกิดขึ้นในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน (สถิติอุณหภูมิสูงที่สุดวัดได้ 40.9 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 24 เมษายน 2541)

ฤดูฝน แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่

ช่วงแรก ประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม ช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดเอาความชื้นจากมหาสมุทรอินเดียและทะเลอันดามัน แต่เนื่องจากมีเทือกเขาตะนาวศรีกั้นอยู่ จึงทำให้พื้นที่ติดเทือกเขาได้รับปริมาณฝนไม่มากนัก ส่วนใหญ่จะถูกพัดเลยไปตกแถบลุ่มน้ำแม่กลองและด้านตะวันออกของจังหวัด

ช่วงที่สอง ประมาณเดือนกันยายนถึงกลางเดือนพฤศจิกายน ช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากร่องมรสุมที่เลื่อนลงมาจากทางภาคเหนือมาปะทะแนวเทือกเขาตะนาวศรี ทำให้มีฝนตกชุกและตกหนักแถบอำเภอสวนผึ้ง บ้านคา จอมบึง และอำเภอโพธาราม ทำให้เกิดอุทกภัยและน้ำป่าไหลหลากจากเทือกเขาเป็นประจำทุกปี ปริมาณฝนมากที่สุดต่อเดือน วัดได้ 441.5 มิลลิเมตร เมื่อ

เดือนตุลาคม พ.ศ.2548 ปริมาณฝนมากที่สุดต่อปี วัดได้ 1,513.1 มิลลิเมตร เมื่อปี พ.ศ.2539 ปริมาณฝนน้อยที่สุดต่อปี วัดได้ 902.7 มิลลิเมตร เมื่อปี พ.ศ. 2536

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤศจิกายนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ มีอากาศหนาวเย็นเนื่องจากได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดนำเอาความหนาวเย็นและแห้งมาปกคลุม ทำให้พื้นที่ตามเชิงเขา หุบเขาแถบอำเภอสวนผึ้ง บ้านคา จอมบึง และอำเภอปากท่อ มีอากาศหนาวถึงหนาวจัดทุกปี (สถิติอุณหภูมิต่ำที่สุดวัดได้ 9.8 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 25 ธันวาคม 2542) ที่มา: สถานีอุตุนิยมวิทยาราชบุรี. (2557)

1.4 ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ดิน ลักษณะดิน

ลักษณะและสมบัติของทรัพยากรดินจังหวัดราชบุรีสามารถจำแนกออกเป็น 26 กลุ่มชุดดิน มีเนื้อที่ประมาณ 2,986,123.09 ไร่ หรือร้อยละ 91.94 ของพื้นที่จังหวัด และพื้นที่เบ็ดเตล็ด 10 ประเภท มีเนื้อที่ประมาณ 261,665.91 ไร่ หรือร้อยละ 8.06 ของพื้นที่จังหวัด สามารถจำแนกความเหมาะสมและข้อจำกัดของดินสำหรับการปลูกพืชจังหวัดราชบุรีตามภูมิประเทศ ดังนี้

1. พื้นที่ภูเขาสูง ได้แก่ บริเวณชายแดนด้านทิศตะวันตกติดกับสาธารณรัฐ แห่งสหภาพเมียนมาร์ และด้านทิศใต้ติดกับจังหวัดเพชรบุรี มีสภาพเป็นเทือกเขาสูงอุดมไปด้วยป่าดิบเขา ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าไผ่ อยู่ในเขตอำเภอสวนผึ้ง บ้านคา และอำเภอปากท่อ เนื้อดินค่อนข้างเป็นดินทราย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีปฏิกิริยาเป็นกรด ดินอุ้มน้ำได้น้อย อาจขาดน้ำในช่วงฝนทิ้งช่วง และถ้าไม่มีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำ อาจเกิดปัญหาการชะล้างพังทลายของหน้าดินได้

2. พื้นที่ราบสูง ได้แก่ บริเวณถัดจากเทือกเขามาทางด้านทิศตะวันออก จนถึงตอนกลางของจังหวัด เป็นที่ราบสูงและที่เป็นลอนลาด สภาพดินเป็นดินร่วนปนทราย มีการชะล้างพังทลายของหน้าดินค่อนข้างสูง สภาพเหมาะกับการปลูกพืชไร่ และไม้ผล แต่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ และเสี่ยงต่อการขาดน้ำ บางส่วนอยู่ในเขตอำเภอสวนผึ้ง บ้านคา จอมบึงและด้านทิศตะวันตกของอำเภอปากท่อ เมืองราชบุรี โพธาราม และอำเภอบ้านโป่ง

3. พื้นที่ราบลุ่ม ได้แก่ บริเวณสองฝั่งแม่น้ำแม่กลอง และด้านทิศตะวันออกของพื้นที่จังหวัดราชบุรี มีสภาพดินเป็นดินร่วน และดินร่วนปนเหนียว มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างดี มีระบบชลประทานแม่กลองที่เป็นระบบชลประทานขนาดใหญ่ เหมาะแก่การปลูกข้าว และพืชผัก โดยอยู่ในพื้นที่อำเภอจอมบึง ปากท่อ เมืองราชบุรี โพธาราม บ้านโป่ง และอำเภอบางแพ

4. พื้นที่ราบลุ่มต่ำ ได้แก่ บริเวณทิศตะวันออกของจังหวัด เป็นที่ราบลุ่ม มีลำคลองและคูน้ำที่เชื่อมต่อกับแม่น้ำแม่กลองไหลผ่าน อยู่ในเขตอำเภอวัดเพลง และอำเภอดำเนินสะดวก มีสภาพดินค่อนข้างเป็นเนื้อดินเหนียว ระบายน้ำเลว มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติปานกลางถึงสูง ใช้ทำนาและยกร่องเพื่อปลูกพืชสวนและพืชผัก

1.5 แหล่งน้ำ

1.5.1 แหล่งน้ำผิวดิน (แม่น้ำ ลำคลอง เขื่อน อ่างเก็บน้ำ)

จังหวัดราชบุรี มีแม่น้ำแม่กลองเป็นแม่น้ำสายหลัก ไหลผ่าน 3 อำเภอ คือ อำเภอบ้านโป่ง โพธาราม และอำเภอเมืองราชบุรี เป็นระยะทาง 67 กิโลเมตร ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ 3 ลุ่มน้ำ (ตามการแบ่งลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย โดยคณะกรรมการอุทกวิทยาแห่งชาติ) ได้แก่ ลุ่มน้ำแม่กลอง ลุ่มน้ำท่าจีนและลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยมีแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่สำคัญแยกตามลุ่มน้ำต่างๆ ดังนี้

- ลุ่มน้ำ แม่กลอง เป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัด มีพื้นที่ทั้งหมด 2,869,224 ไร่ ครอบคลุมในเขตจังหวัดราชบุรี ประมาณร้อยละ 88.34 ของจังหวัด ซึ่งประกอบไปด้วยลุ่มน้ำสาขา 2 ลุ่มน้ำ คือ

- ลุ่มน้ำสาขาลำภาชี ครอบคลุมพื้นที่อำเภอสวนผึ้ง บ้านคา และบางส่วนของอำเภอจอมบึง คิดเป็นร้อยละ 42.99 ของพื้นที่จังหวัด มีลำน้ำลำภาชี เป็นลำน้ำสายหลัก ไหลผ่านเขตจังหวัดราชบุรีทั้งสิ้น 118 กิโลเมตร มีลำน้ำย่อย 24 สาย พื้นที่รับน้ำ 2,664 ตารางกิโลเมตร

- ลุ่มน้ำสาขาที่ราบแม่น้ำ แม่กลอง ครอบคลุมพื้นที่อำเภอเมืองราชบุรี โพธาราม บางแพ ดำเนินสะดวก วัดเพลงและบางส่วนของอำเภอจอมบึง บ้านโป่ง ปากท่อ คิดเป็นร้อยละ 45.23 ของพื้นที่จังหวัด มีแม่น้ำแม่กลอง เป็นลำน้ำสายหลัก ไหลผ่านเขตจังหวัดราชบุรีทั้งสิ้น 67 กิโลเมตร

- ลุ่มน้ำเพชรบุรี มีพื้นที่ 364,067 ไร่ ครอบคลุมในเขตจังหวัดราชบุรีร้อยละ 11.21 ของพื้นที่จังหวัด ซึ่งประกอบไปด้วยลุ่มน้ำสาขา 1 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำสาขาห้วยแม่ประจันครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอปากท่อ

- ลุ่มน้ำท่าจีน มีพื้นที่ 14,478 ไร่ ครอบคลุมในเขตจังหวัดราชบุรี ร้อยละ 0.45 ของพื้นที่จังหวัด ประกอบไปด้วยลุ่มน้ำสาขา 1 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำสาขาที่ราบแม่น้ำท่าจีนครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอบ้านโป่ง ที่มา: สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 7. (2558)

1.5.2 แหล่งน้ำชลประทาน

แหล่งน้ำชลประทานที่มีอยู่ภายในจังหวัด ประกอบด้วย แหล่งน้ำตามโครงการขนาดใหญ่ และขนาดกลาง โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ โครงการหมู่บ้านป้องกันตนเองชายแดน และโครงการขนาดเล็กที่สร้างเสร็จแล้ว ถึงสิ้นปีงบประมาณ 2542 รวม 102 โครงการ สามารถเก็บกักน้ำได้ 112.108 ล้านลูกบาศก์เมตร

1.5.3 ปริมาณน้ำท่า

ปริมาณน้ำท่าหรือน้ำไหลล้น คือ การวัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านบริเวณพื้นที่ศึกษาโดยเปรียบเทียบ ณ ตำแหน่งก่อนที่ทางน้ำจะไหลผ่านเข้ามาในบริเวณพื้นที่ศึกษากับ ณ ตำแหน่งที่ทางน้ำจะไหลออกไปจากพื้นที่ศึกษา โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลล้น ประกอบด้วย ความรุนแรงและระยะเวลาที่เกิดฝนตก ความซึมได้ (permeability) ของวัสดุตามผิวดิน ชนิดของพืช

ที่คลุมดิน พื้นที่ของแอ่งรับน้ำ ความลึกของระดับน้ำบาดาล ความชันของผิวดิน และรูปร่างของพื้นน้ำหรือร่องน้ำ

ปริมาณน้ำผิวดินตามธรรมชาติ ประมาณ 1,039.92 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และมีปริมาณน้ำไหลเข้าสู่พื้นที่จังหวัดราชบุรี ปีละ 9,302.39 ล้านลูกบาศก์เมตร (การระบายน้ำจากเขื่อนแม่กลองปีละ 6,449.00 ล้านลูกบาศก์เมตร และเขื่อนแม่กลองส่งน้ำเข้าสู่ระบบชลประทานโครงการแม่กลองใหญ่ผ่านจังหวัดราชบุรีปีละ 2,853.39 ล้านลูกบาศก์เมตร) รวมเป็นปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ 10,342.30 ล้านลูกบาศก์เมตร แต่เป็นปริมาณน้ำท่าที่สามารถใช้ได้สำหรับจังหวัดราชบุรีเพียง 7,672.88 ล้านลูกบาศก์เมตร เนื่องจากต้องระบายออกนอกพื้นที่สำหรับการป้องกันการรุกของน้ำเค็มอย่างน้อยปีละ 1,788.00 ล้านลูกบาศก์เมตร และระบายออกทางระบบชลประทานโครงการแม่กลองใหญ่ช่วยเหลือพื้นที่จังหวัดนครปฐม สมุทรสงคราม สมุทรสาคร และจังหวัดเพชรบุรี ปีละ 881.42 ล้านลูกบาศก์เมตร ที่มา: สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 7 ราชบุรี. (2558)

1.6 ปริมาณน้ำฝน

จากสถิติข้อมูลปริมาณน้ำฝนของจังหวัดราชบุรี โดยใช้ข้อมูลของสถานีอุตุนิยมวิทยาราชบุรี ย้อนหลัง 5 ปี (พ.ศ. 2553-2557) ปริมาณน้ำฝนจะอยู่ในช่วง 900-1,400 มิลลิเมตร โดย ฝนตกมากที่สุด ในปี พ.ศ. 2556 วัดได้ 1,350.5 มิลลิเมตร จำนวนวันที่ฝนตก 126 วัน ฝนตกน้อยที่สุดใน พ.ศ. 2554 วัดได้ 910.0 มิลลิเมตร จำนวนวันที่ฝนตก 128 วัน

1.7 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

จำแนกสัดส่วนประเภทการใช้ที่ดินในพื้นที่จังหวัดราชบุรี ได้ดังนี้

ตาราง 1 สัดส่วนประเภทการใช้ที่ดินในพื้นที่จังหวัดราชบุรี

ประเภทการใช้ที่ดิน	รวมเนื้อที่ (ไร่)	
	ไร่	ร้อยละ
นาข้าว	359,159	11.05
พืชไร่	586,062	18.05
ไม้ยืนต้น	219,803	6.76
ไม้ผล	280,667	8.63
พืชสวน	105,184	3.24
ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	53,484	1.66
พืชน้ำ	415	0.01
สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	68,293	2.10
เกษตรผสมผสาน/ไร่นาสวนผสม	224	0.01

ตาราง 1 (ต่อ)

ประเภทการใช้ที่ดิน	รวมเนื้อที่ (ไร่)	
	ไร่	ร้อยละ
พื้นที่ป่าไม้	1,077,157	33.16
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	167,778	5.170
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	262,607	8.09
พื้นที่น้ำ	66,956	2.07
รวม	3,247,789	100.00

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน. (2560)

1.8 สภาพเกษตรกรรม

ประชากรส่วนใหญ่ ประกอบอาชีพเกษตรกรรม มีการปลูกข้าวในเขตที่ราบลุ่มแม่น้ำแม่กลอง มีการปลูกพืชไร่ชนิดต่างๆ เช่น มีการปลูกข้าวมาก ในพื้นที่อำเภอปากท่อ อำเภอบ้านโป่ง อำเภอโพธาราม พื้นที่ 63,282 ไร่ 60,634 ไร่ และ 56,891 ไร่ ตามลำดับ มีการปลูกพืชไร่ การปลูกสับปะรดโรงงาน ปลูกมากในพื้นที่ อำเภอบ้านคา อำเภอปากท่อ อำเภอสวนผึ้ง พื้นที่ 82,160 ไร่ 16,881 ไร่ และ 10,268 ไร่ ตามลำดับ และการปลูกอ้อยโรงงาน ปลูกมากในพื้นที่ อำเภอจอมบึง อำเภอโพธาราม อำเภอบ้านโป่ง พื้นที่ปลูก 77,037 ไร่ 56,790 ไร่ และ 30,961 ไร่ ตามลำดับ การปลูกไม้ผลที่สำคัญ ได้แก่ การปลูกมะพร้าวน้ำหอม ปลูกมากในพื้นที่ อำเภอดำเนินสะดวก อำเภอเมือง อำเภอวัดเพลง พื้นที่ปลูก 18,507 ไร่ 6,303 ไร่ และ 5,320 ไร่ ตามลำดับ

ตาราง 2 แสดงพื้นที่ทำการเกษตรในจังหวัดราชบุรี พ.ศ. 2558

อำเภอ	พื้นที่ทำการเกษตร (ไร่)					
	ทำนา	ทำไร่	พืชผัก	ไม้ผล	ไม้ยืนต้น	ไม้ดอกไม้ประดับ
เมือง	49,617	19,974	7,540	12,835	14,621	565
บางแพ	15,343	2392	1,831	12,046	2,345	831
โป่ง	60,634	43,,075	6,810	4,512	1,389	364
จอมบึง	35,214	120,570	11,998	4,194	1,735	627

ตาราง 2 (ต่อ)

อำเภอ	พื้นที่ทำการเกษตร (ไร่)					
	ทำนา	ทำไร่	พืชผัก	ไม้ผล	ไม้ยืนต้น	ไม้ดอกไม้ประดับ
ดำเนินสะดวก	1,415	572	11,213	55,428	26,145	660
ปากท่อ	63,282	32,226	14,866	10,852	21,988	292
โพธาราม	56,891	61,706	3,416	4,236	3,327	1,499
วัดเพลง	6,538	-	1,352	931	5,479	-
สวนผึ้ง	447	38,388	3,490	7,792	22,670	78
บ้านคา	20	104,290	4,678	3,285	15,681	13

ที่มา: สำนักงานเกษตรจังหวัดราชบุรี. (2558)

1.9 สถานการณ์การใช้น้ำ

กิจกรรมการใช้น้ำ สรุปการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ของจังหวัดราชบุรี ดังนี้

ตาราง 3 สรุปการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ของจังหวัดราชบุรี

ลำดับที่	กิจกรรมการใช้น้ำ	ปริมาณการใช้น้ำ (ล้าน ลบ.ม./ปี)
1	การเกษตร	2,172.17
2	ปศุสัตว์	34.13
3	อุปโภค-บริโภค	66.33
4	อุตสาหกรรม	29.81
	รวม	2,302.44

ที่มา: สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 7 ราชบุรี. (2558)

1.10 แหล่งน้ำใต้ดิน (น้ำบาดาล)

จากการรวบรวมข้อมูลศักยภาพน้ำบาดาลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล พ.ศ.2560 พบว่าในจังหวัดราชบุรีมีปริมาณน้ำกักเก็บ 4,392 ล้าน ลบ.ม. และปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถนำมาพัฒนาได้ 363 ล้าน ลบ.ม./ปี สรุปปริมาณน้ำกักเก็บในชั้นน้ำต่างๆ และปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถนำมาพัฒนาได้ดังตาราง

ตาราง 4 ศักยภาพน้ำบาดาล จังหวัดราชบุรี

ลำดับที่	ศักยภาพน้ำบาดาล	ปริมาณ
1	ขนาดพื้นที่ (ตร.กม.)	6,264,518
2	ปริมาณน้ำที่กักเก็บ (ปรับปรุง ม.ค. 60) (ล้าน ลบ.ม.)	4392
3	ปริมาณน้ำที่เพิ่มเติมในแต่ละปี (ล้าน ลบ.ม./ปี)	645
4	ปริมาณน้ำบาดาลที่พัฒนาได้ทั้งหมด (ล้าน ลบ.ม./ปี)	484
5	ปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถนำมาใช้ได้ (ล้าน ลบ.ม./ปี)	363
6	ปริมาณการใช้น้ำบาดาล ระดับลึก (ล้าน ลบ.ม./ปี)	103.50
7	ปริมาณการใช้น้ำบาดาล ระดับตื้น (ล้าน ลบ.ม./ปี)	93.23
8	ปริมาณการใช้น้ำบาดาลที่คงเหลือ (ล้าน ลบ.ม./ปี)	166.37

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2560)

จำนวนบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดราชบุรี มีจำนวนทั้งสิ้น 2,235 บ่อ เพื่อใช้ประโยชน์ในกิจการต่างๆ ได้แก่ การเกษตรกรรม อุปโภค-บริโภค และด้านธุรกิจ ดังนี้

1. บ่อน้ำบาดาลของหน่วยงานราชการ จำนวน 1,688 บ่อ
2. บ่อน้ำบาดาลของเอกชน จำนวน 547 บ่อ

1.11 ประชากร

จังหวัดราชบุรีมีจำนวนประชากรรวมทั้งสิ้น 868,350 คน พ.ศ. 2559 ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 51.23 เพศชายคิดเป็นร้อยละ 48.77 ดังตารางแสดงจำนวนประชากรและครัวเรือน รายอำเภอ

ตาราง 5 แสดงจำนวนประชากรและครัวเรือน รายอำเภอ (หน่วย: คน)

อำเภอ	ประชากร			จำนวนครัวเรือน
	ชาย	หญิง	รวม	
เมืองราชบุรี	99,330	102,567	201,897	27,514
บ้านโป่ง	82,571	89768	172,339	19,367
โพธาราม	65,567	70,884	136,451	17,525
ดำเนินสะดวก	45,018	48,673	93,691	15,568
ปากท่อ	32,863	34,227	67,090	11,716
จอมบึง	31,079	32,031	63110	13,337
บางแพ	21,491	23,214	44,705	4,456
สวนผึ้ง	19,885	18,627	38,512	14,267
บ้านคา	12,229	11,482	23,711	8,023
วัดเพลง	5,858	6,365	12,223	2,535

ที่มา: สำนักงานจังหวัดราชบุรี. (2559)

1.12 ปริมาณขยะ

จังหวัดราชบุรีมีปริมาณขยะเกิดขึ้น 600-700 ตัน/วัน หรือประมาณ 220,000 ตัน/ปี ซึ่งข้อมูลการสำรวจปริมาณขยะมูลฝอยจำแนกตามรายอำเภอ (จากการสำรวจปี พ.ศ. 2556 คิดจากฐานข้อมูลประชากร พ.ศ. 2555) มีดังนี้

ตาราง 6 ปริมาณขยะมูลฝอยจำแนกตามรายอำเภอ

อำเภอ	ปริมาณขยะ
เมืองราชบุรี	156.18
บ้านโป่ง	139.86
โพธาราม	109.01
ดำเนินสะดวก	43.10
ปากท่อ	42.37
จอมบึง	27.05
บางแพ	47.54
สวนผึ้ง	4.97

ตาราง 6 (ต่อ)

อำเภอ	ปริมาณขยะ
บ้านคา	23.12
วัดเพลง	11.68
รวม	604.88

ที่มา: สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดราชบุรี. (2558)

หมายเหตุ : อัตราการผลิตขยะมูลฝอยของเทศบาลเมือง เท่ากับ 1.24 กก./คน/วัน
อัตราการผลิตขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบล เท่ากับ 1.01 กก./คน/วัน
อัตราการผลิตขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบล เท่ากับ 1.24 กก./คน/วัน

1.13 สภาพอุตสาหกรรม

ในปี พ.ศ. 2558 จังหวัดราชบุรีมีโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนที่ได้รับอนุญาตทั้งสิ้น 1,743 แห่ง ส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมขนส่ง อุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้ อุตสาหกรรมการเกษตร อุตสาหกรรมผลิตซ่อมแซมโลหะ และอุตสาหกรรมอื่นๆ ดังตาราง

ตาราง 7 จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดราชบุรี แยกหมวด พ.ศ. 2558

ลำดับ	รายการ	จำนวน
1	อุตสาหกรรมการเกษตร	121
2	อุตสาหกรรมอาหาร	216
3	อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม	12
4	อุตสาหกรรมสิ่งทอ	69
5	อุตสาหกรรมเครื่องแต่งกาย	13
6	อุตสาหกรรมเครื่องหนัง	2
7	อุตสาหกรรมไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้	137
8	อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์	29
9	อุตสาหกรรมกระดาษ	24
10	อุตสาหกรรมสิ่งพิมพ์	3
11	อุตสาหกรรมเคมี	60

ตาราง 7 (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	จำนวน
12	อุตสาหกรรมปิโตรเคมีและผลิตภัณฑ์	16
13	อุตสาหกรรมยาง	19
14	อุตสาหกรรมพลาสติก	54
15	อุตสาหกรรมอโลหะ	172
16	อุตสาหกรรมโลหะ	12
17	อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ซ่อมแซมโลหะ	116
18	อุตสาหกรรมเครื่องจักรกล	90
19	อุตสาหกรรมไฟฟ้า	20
20	อุตสาหกรรมขนส่ง	197
21	อุตสาหกรรมอื่นๆ	337
22	นิคมอุตสาหกรรม	24
	รวม	1,743

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2558)

1.14 ธรณีวิทยา

หินที่พบในจังหวัดราชบุรี ประกอบด้วย หินตะกอน หินแปร และหินอัคนี นอกจากนี้ยังพบตะกอนชนิดต่างๆ ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่พบในพื้นที่ประกอบด้วย แนวรอยเลื่อน รอยแตก และรอยคดโค้งในชั้นหิน (กรมทรัพยากรธณี, 2551) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. หินแปรยุคออร์โดวิเชียนถึงแคมเบรียน (EO)

ประกอบด้วยหินแปรชนิดต่างๆ ได้แก่ หินแคลก์-ซิลิเกต หินอ่อน หินควอร์ตไซต์ หินควอตซ์ชีสต์ หินไมกาชีสต์ และหินฟิลไลต์ หินยุคนี้มีอายุประมาณ 570-438 ล้านปี พบเป็นแนวต่อเนื่องลงมาจากจังหวัดกาญจนบุรี ปรากฏเป็นหย่อมๆ ทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือของตัวจังหวัด ในเขตอำเภอสวนผึ้งแสดงลักษณะภูมิประเทศเป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาตะนาวศรี

2. หินตะกอน และหินแปรยุคดีโวเนียนถึงไซลูเรียน (SD) ประกอบด้วยหินตะกอนและหินแปรชนิดต่างๆ ของหมวดหินบ่อพลอย ได้แก่ หินทรายเนื้อควอตซ์ หินทรายเนื้อดินสีน้ำตาล เทา หินดินดาน และหินทรายแป้ง บางแห่งถูกแปรสภาพเป็น หินควอร์ตไซต์ หินฟิลไลต์ และหินชนวน พบซากดึกดำบรรพ์จำพวกสัตว์ทะเลไม่มีกระดูกสันหลัง คือ เทนตะคิวไลต์หินยุคนี้มีอายุประมาณ 438-360 ล้านปี พบเป็นบริเวณเล็กๆ ต่อเนื่องลงมาจากจังหวัดกาญจนบุรี ทางด้าน

ตะวันตกเฉียงเหนือของตัวจังหวัด ในเขตอำเภอสวนผึ้ง แสดงลักษณะภูมิประเทศเป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาตะนาวศรี

3. หินตะกอน และหินแปรยุคเพอร์เมียนถึงคาร์บอนิเฟอร์รัส (CPkp และ CPkc) ประกอบด้วยหินตะกอน และหินแปรชนิดต่างๆ ของหมวดหินเขาพระ (CPkp) และหินตะกอนหมวดหินเขาเจ้า (CPkc) มีอายุประมาณ 360-245 ล้านปีหมวดหินเขาพระ มีอายุแก่กว่าวางตัวอยู่ด้านล่าง ประกอบด้วย หินทรายเกรย์แวก และหินดินดาน สีเทาแกมเขียวถึงเทาปานกลาง หินทรายอาร์โคส สีขาวถึงน้ำตาลแกมเหลือง ในบริเวณที่สัมผัสกับหินอัคนีแทรกซอนพบว่าหินหมวดหินเขาพระเปลี่ยนเป็น หินควอร์ตไซต์ หินฮอร์นเฟล และหินชนวนหมวดหินเขาพระโผล่ต่อเนื่องลงมาจากจังหวัดกาญจนบุรี มีลักษณะภูมิประเทศเป็นเทือกเขา เขาโดด และเนินเขา ส่วนใหญ่ปกคลุมพื้นที่ทางด้านตะวันตกบริเวณเทือกเขาตะนาวศรี และตอนกลางของจังหวัดราชบุรี เช่น เขาเขียว และเขากระชาย เขตอำเภอเมืองหมวดหินเขาเจ้า วางตัวอยู่บนหมวดหินเขาพระ ประกอบด้วย หินทรายอาร์โคส สีขาวถึงน้ำตาลแกมเหลือง หินโคลน สีขาว และสีเทา หมวดหินนี้มีซากดึกดำบรรพ์ของสัตว์ทะเลจำพวก หอยตะเกียงไครนอยด์สเต็ม หรือพลับพลึงทะเล และไบรโอซัว หมวดหินเขาเจ้ามีลักษณะภูมิประเทศเป็นเขาโดด พบเป็นหย่อมๆ ทางด้านเหนือ และตอนกลางของพื้นที่ เช่นเขาวังสะดึงษ์ อำเภอเมือง

4. หินตะกอนยุคเพอร์เมียน (P2)

ประกอบด้วยหินตะกอนชนิดต่างๆ ของกลุ่มหินราชบุรี ได้แก่ หินปูน สีเทาถึงสีเทาเข้มหินปูนเนื้อโดโลไมต์ และพบหินทราย และหินดินดานบ้าง มีซากดึกดำบรรพ์ของสัตว์ทะเลจำพวกฟิวซูลินิด หอยตะเกียง ปะการัง แอมโมไนต์ และไครนอยด์สเต็ม หรือพลับพลึงทะเล (P2) หินยุคนี้มีอายุประมาณ 286-245 ล้านปี พบเป็นหย่อมๆ บริเวณตอนกลางของพื้นที่ โดยเป็นแนวต่อเนื่องลงมาจากจังหวัดกาญจนบุรีแสดงลักษณะภูมิประเทศเป็น เขาโดด เช่น เขางู อำเภอเมือง และ เขาช่องพราน อำเภอโพธาราม

5. หินตะกอนยุคครีเทเชียสถึงจูแรสซิก (JK)

ประกอบด้วยหินตะกอนชนิดต่างๆ ได้แก่ หินทรายอาร์โคส สีขาวถึงน้ำตาลแกมแดงสลับด้วยหินโคลน สีขาว ถึงเทาจาง หินทรายกรวดมน และหินปูนกรวดมน หินยุคนี้มีอายุประมาณ 210-66.4 ล้านปีพบเป็นแนวยาวต่อเนื่องลงมาจากจังหวัดกาญจนบุรี พาดผ่านบริเวณตอนกลางของพื้นที่ มีลักษณะภูมิประเทศเป็นเขาโดด และเนินเขา เช่น เขาหลวง และเขาหินลับ อำเภอจอมบึง

6. ตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Qc, Qt, Qbo, Qa Qff, Qtf และ Qfl)

ประกอบด้วยตะกอนชนิดต่างๆ ที่มีอายุประมาณ 1.6-0.01 ล้านปี สามารถแบ่งย่อยตามชนิดและสภาพแวดล้อมของการสะสมตัว ได้ 7 หน่วยตะกอน ได้แก่

6.1 ตะกอนเศษหินเชิงเขา และตะกอนผุพังอยู่กับที่ (Qc) ประกอบด้วยตะกอนเศษหินควอร์ตไซต์ เศษหินทราย เศษหินทรายแป้ง เศษหินแกรนิต ตะกอนทราย ตะกอน

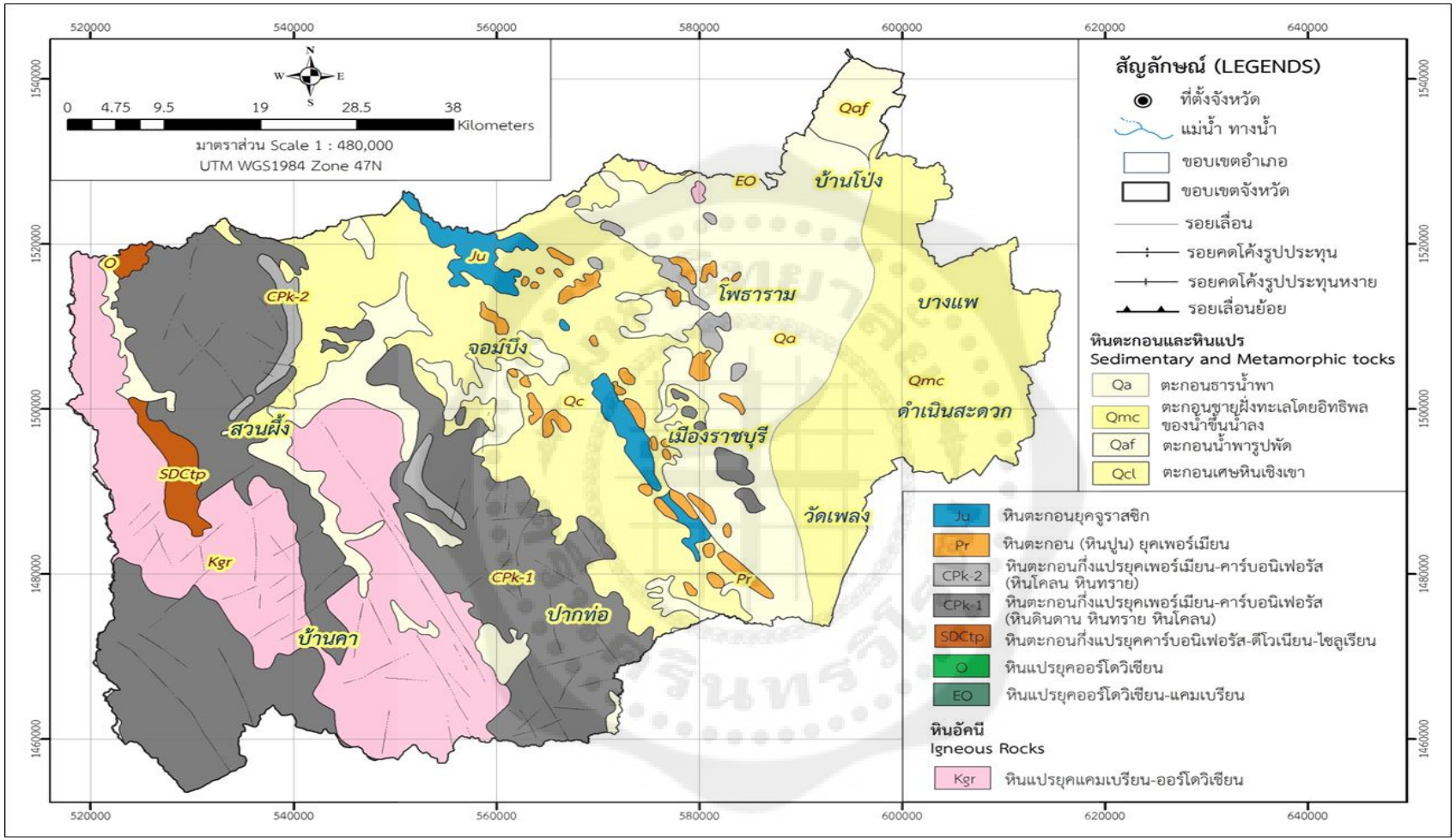
ทรายแป้ง ดินลูกรัง และดินเทอราโรซ่า แสดงลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบแผ่กระจายบริเวณเชิงเขาหรือขอบแอ่งสะสมตะกอน พบในเขตอำเภอสวนผึ้ง อำเภอจอมบึง อำเภอบ้านโป่ง อำเภอโพธาราม อำเภอเมือง และ อำเภอปากท่อ

6.2 ตะกอนตะพัก (Qt) ประกอบด้วยตะกอนกรวด และทราย แสดงลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบขั้นบันไดตามแนวลำน้ำที่มีการกัดเซาะในแนวดิ่งมาก มักพบใกล้พื้นที่ต้นน้ำในเขตอำเภอสวนผึ้งอำเภอจอมบึง และ อำเภอปากท่อ

6.3 ตะกอนสันทรายเก่า (Qbo) ประกอบด้วยตะกอนทราย เนื้อปานกลางถึงหยาบ และเศษเปลือกหอย พบเป็นแนวยาวในเขต อำเภอเมือง และ อำเภอปากท่อ

ธรณีวิทยาโครงสร้าง

ลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของพื้นที่จังหวัดราชบุรี เกิดจากอิทธิพลของกระบวนการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก โดยสามารถสังเกตได้จากลักษณะการวางตัวของชั้นหินและรอยคดโค้งที่ปรากฏในบริเวณที่เป็นเขาหินตะกอน และเขาหินแปรหลายแห่ง รวมทั้งรอยเลื่อน และรอยแตก ในพื้นที่ที่รองรับด้วยหิน ซึ่งทั้งหมดเกิดจากแรงกระทำของการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกการวางตัวของชั้นหิน ชั้นหินส่วนใหญ่มีการวางตัวในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยประมาณ นอกจากนี้ยังพบว่าในบางบริเวณชั้นหินวางตัวในทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และเกือบเหนือ-ใต้รอยคดโค้งของชั้นหิน ชั้นหินในพื้นที่ปรากฏรอยคดโค้งรูปประทุน และรอยคดโค้งรูปประทุนหงายหลายแห่ง มีแนวแกนประทุนหลักในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยประมาณรอยเลื่อน และรอยแตก หินในพื้นที่แสดงรอยแตก และรอยเลื่อนใน 2 ทิศทางคือ แนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และ ตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และบางส่วนมีทิศทางเกือบเหนือ-ใต้ จากข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ พบว่ามีแนวรอยเลื่อนต่อเนื่องจากรอยเลื่อนมีพลัง ด่านเจดีย์สามองค์ในจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งวางตัวในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ แนวรอยเลื่อนดังกล่าวอยู่ในบริเวณที่เป็นหินแข็งซึ่งถูกปกคลุมด้วยตะกอนยุคควอเทอร์นารี โดยผ่านลงมาทางพื้นที่ด้านตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัดราชบุรี ในเขตอำเภอบ้านโป่ง และมีแนวต่อเนื่องไปถึง จังหวัดนครปฐม จังหวัดสมุทรสาคร กรุงเทพมหานคร และจังหวัดสมุทรปราการ



ภาพประกอบ 3 แผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาจังหวัดราชบุรี

1.15 อุทกธรณีวิทยา

สภาพทางอุทกธรณีวิทยา หมายถึง สภาพทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้องกับน้ำบาดาล เช่น การเกิดน้ำบาดาล การแผ่กระจายชั้นน้ำบาดาล การเคลื่อนไหวของน้ำบาดาล และคุณภาพของน้ำบาดาลเหล่านี้ เป็นต้น คุณสมบัติของน้ำบาดาลเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับลักษณะส่วนประกอบของหินและโครงสร้างทางธรณีวิทยา โครงสร้างและสภาพทางธรณีวิทยาเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของอุทกธรณีวิทยาซึ่งมีความแตกต่างกันออกไป ทางอุทกธรณีวิทยาได้แยกหินออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ตะกอนร่วน (unconsolidated rock) และหินแข็ง (consolidated rock) จากหินให้น้ำทั้งสองประเภทนี้สามารถจำแนกย่อยลงไปเป็นหน่วยชั้นหินให้น้ำชนิดต่างๆ (hydrogeological Units) ออกเป็น 3 หน่วย คือ หินร่วน (unconsolidated rock) หินแข็งปานกลาง (moderate hard rock) และ หินแข็งมาก (hard rock) ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2558)

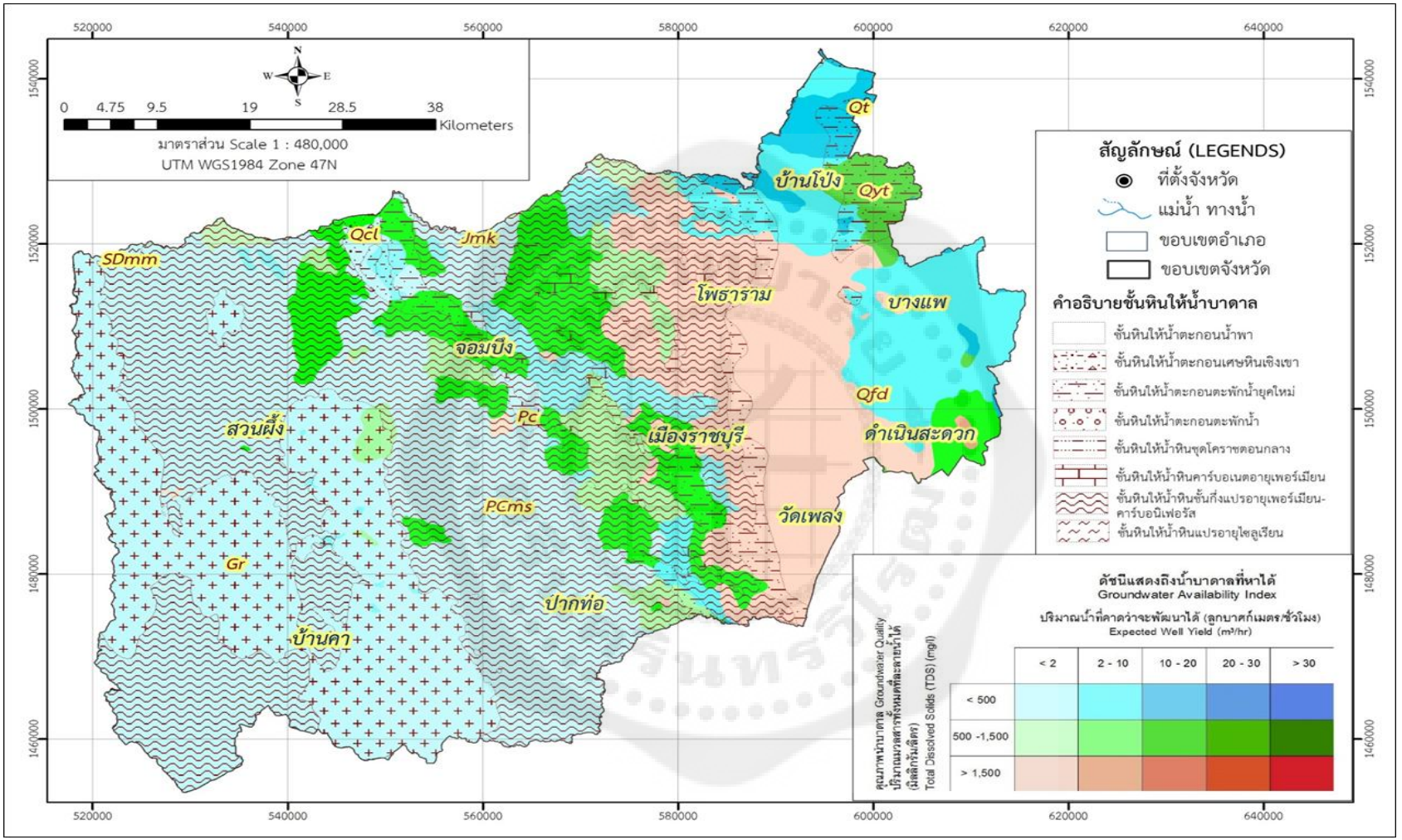
ตะกอนหินร่วน (unconsolidated rock) ได้แก่ ชั้นหินให้น้ำตะกอนตะพักน้ำยุคใหม่ (Qyt) ประกอบด้วยชั้นทราย ชั้นดินเหนียวที่เกิดจากที่ราบน้ำท่วมถึง จะมีชั้นกรวดแทรกบ้างเล็กน้อย ส่วนใหญ่จะเป็นตะกอนเม็ดเล็ก และเม็ดละเอียดพบอยู่ตามขอบนอกของชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพาเป็นบริเวณที่น้ำไหลเอ่อจากแม่น้ำไหลเข้าไปในที่ราบลุ่ม และนำตะกอนเม็ดเล็กและเม็ดละเอียดไปสะสมที่ระดับความลึก 20-50 เมตร มีความหนาประมาณ 20-30 เมตร น้ำบาดาลจะถูกกักเก็บไว้ในช่องว่างระหว่างเม็ดทราย ถ้ามีชั้นกรวดแทรกสลับอยู่ด้วยจะทำให้มีน้ำบาดาลถูกกักเก็บมากขึ้น ให้ปริมาณน้ำอยู่ในช่วง 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คุณภาพน้ำโดยรวมดี มีปริมาณสารละลายทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 500-1,500 มิลลิกรัม/ลิตร ต้องทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนการอุปโภค บริโภค

หินแข็งปานกลาง (moderate hard rock) ได้แก่ หินตะกอน (sediments) หินชั้นกึ่งแปร (meta-sediments) และ หินแปร metamorphic rock)

ชั้นหินให้น้ำหินคาร์บอเนตยุคเพอร์เมียน (Pc) เป็นหินปูนกลุ่มราชบุรี เป็นชั้นหินให้น้ำคาร์บอเนตที่ให้น้ำบาดาลที่มีคุณภาพดีและมีปริมาณมาก ถ้าเป็นถ้ำใต้ดินอาจจะให้น้ำได้ถึง 100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พบที่ความลึกประมาณ 40-80 เมตร ชั้นหินให้น้ำคาร์บอเนตชุดนี้พบทางตอนกลางของพื้นที่ โผล่ให้เห็นเป็นหน้าผาสูง มีน้ำไหลออกมาจากเขาหินปูนเหล่านี้

ชั้นหินให้น้ำหินชั้นกึ่งแปร (PCms) เป็นตะกอนหินของกลุ่มราชบุรี รวมถึงกลุ่มหินแก่งกระจาน ประกอบขึ้นด้วยหินดินดาน หินทราย และหินดินดานกึ่งฟิลไลต์ ได้น้ำบาดาลจากแนวแตก ปริมาณน้ำอยู่ในช่วง 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คุณภาพน้ำโดยทั่วไปให้น้ำจืด มีปริมาณสารละลายทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ตั้งแต่น้อยกว่า 500 มิลลิกรัม/ลิตร จนถึงมากกว่า 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร ชั้นหินให้น้ำกลุ่มนี้จะทางด้านตะวันตกจนถึงด้านใต้ของพื้นที่

ชั้นหินให้น้ำหินแกรนิต (granitic unit) ประกอบด้วย หินแกรนิต แกรโนไดออไรต์ไดออไรต์และแกรนิตไนส์ น้ำบาดาลจะอยู่ในชั้นหินผุและรอยแตกรอยแยก ส่วนใหญ่จะมีปริมาณน้ำน้อย เพราะรอยแตกไม่ค่อยต่อเนื่อง บ่อส่วนใหญ่ให้น้ำในเกณฑ์เฉลี่ย 1-5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง



ภาพประกอบ 4 แผนที่แสดงลักษณะอุทกธรณีวิทยาจังหวัดราชบุรี

1.16 ปัญหาด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

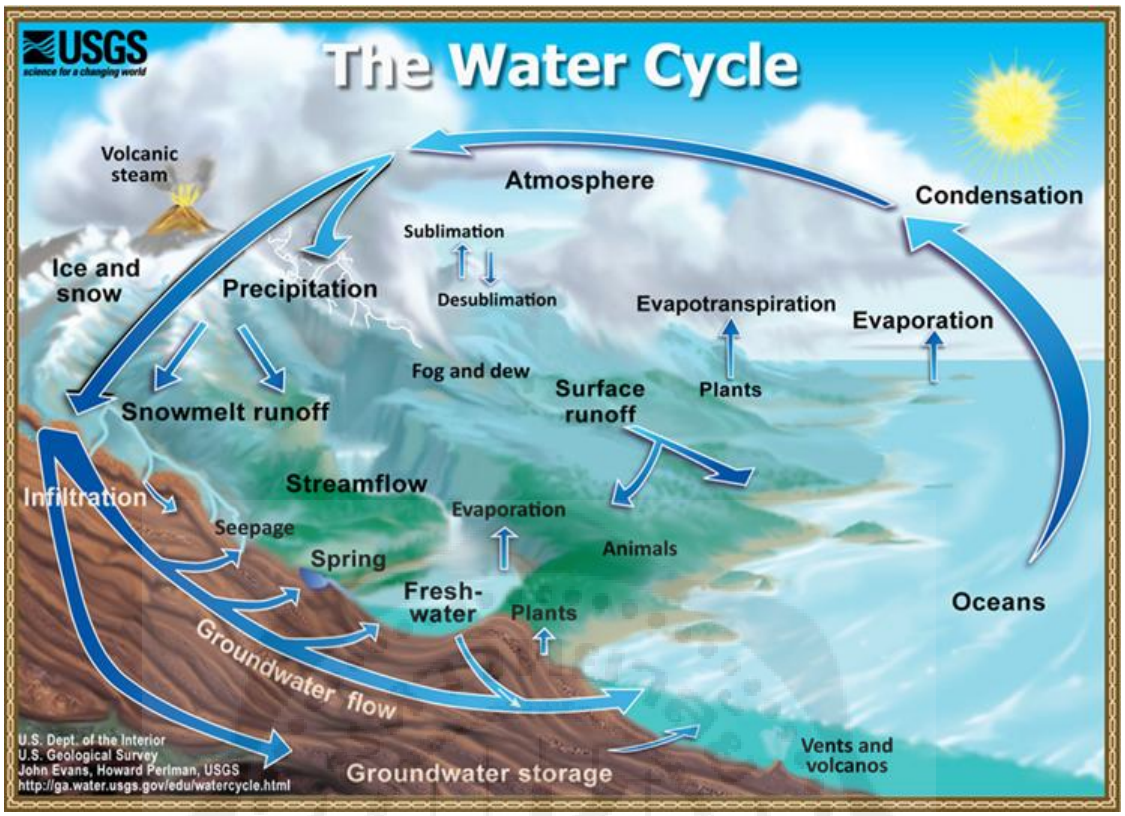
ปัญหาที่สำคัญของจังหวัดราชบุรีคือพื้นที่ป่าไม้ถูกทำลายเพื่อใช้ประโยชน์ทางธุรกิจ ส่วนปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม คือปัญหาขยะ และมลพิษทางน้ำ จากข้อมูลการศึกษามลพิษทางน้ำของจังหวัดราชบุรี แหล่งที่เกิดมลพิษที่สำคัญคือ น้ำเสียจากชุมชน และฟาร์มการเกษตร รองลงมาเป็นน้ำเสียที่เกิดจากภาคอุตสาหกรรม

สถานการณ์การปนเปื้อนของสารพิษทางการเกษตรในแหล่งน้ำใต้ดินในจังหวัดราชบุรี (บงกชรัตน์ ปิติยนต์. 2539) จากการศึกษาศักยภาพการปนเปื้อนของสารพิษทางการเกษตรในแหล่งน้ำใต้ดิน โดยการเก็บตัวอย่างน้ำตามลักษณะบ่อน้ำใต้ดินด้านธรณีวิทยาและอุทกวิทยาตามข้อมูลทุติยภูมิของกรมทรัพยากรธรณีระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน 2537 จำนวน 35 ตัวอย่าง ใน 8 อำเภอ จังหวัดราชบุรีมาวิเคราะห์การปนเปื้อนโดย GLC/ECD/MS พบการปนเปื้อนของสารพิษทางการเกษตรกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในทุกตัวอย่าง สารพิษที่พบคือ BHCs, total DDT heptachlor/heptachlor epoxide, dieldrin/aldrin, endrin, endosulfans และ dicofol หลายตัวอย่างมีค่าการปนเปื้อนมากกว่ามาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก จึงจำเป็นที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะต้องดำเนินการศึกษา ควบคุมป้องกัน ฟื้นฟู และเฝ้าระวังติดตามก่อนนำมาบริโภค

สาเหตุหลักของปัญหาการปนเปื้อนของสารอันตรายในดินและน้ำใต้ดินมาจากกิจกรรมมนุษย์ จากการทิ้งของเสีย ขยะมูลฝอยจากชุมชน สารอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากหลุมฝังกลบขยะที่เสื่อมสภาพหรือไม่ได้มาตรฐานตามหลักวิชาการ หรือจากการลักลอบทิ้ง ซึ่งเมื่อสารอันตราย หก รด (spill) หรือ ถูกทิ้งในดิน บางส่วนจะระเหยออก (หากมีคุณสมบัติของการระเหย) บางส่วนจะอิ่มตัวอยู่ในดิน ซึ่งส่วนที่อยู่ในดินนั้น บางส่วนจะเกาะติดกับอนุภาคของดิน บางส่วนซึมลงตามชั้นดินในแนวดิ่งตามแรงโน้มถ่วงของโลก จนกระทั่งถึงชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งเมื่อถึงชั้นน้ำใต้ดินสารอันตรายจะละลายกับน้ำใต้ดินและถูกพัดพาไปในทิศทางเดียวกับน้ำใต้ดิน และจะเข้าสู่บ่อน้ำใต้ดินที่ใกล้ที่สุด หรือไหลไปยังบ่อที่มีการใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค ซึ่งสารอันตรายบางชนิด เช่น สารในกลุ่มสารอินทรีย์ระเหย บางชนิดส่งผลต่อสุขภาพ

2. วัฏจักรของน้ำ

น้ำในโลกเรานี้ไม่ว่าจะเป็นน้ำผิวดิน (surface water) หรือน้ำใต้ดิน (Subsurface water) ล้วนมีต้นกำเนิดมาจากน้ำในบรรยากาศ (Meteoric หรือ Atmospheric water) ความสัมพันธ์ของน้ำดังกล่าว เรียกว่า วัฏจักรของน้ำ ซึ่งหมายถึง ความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันตามธรรมชาติของน้ำ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของของเหลว ไอน้ำ หรือของแข็ง ไม่ว่าจะอยู่ใต้ผิวดิน บนดินหรือเหนือผิวดินขึ้นไป ในภาพรวมของแหล่งน้ำบนโลก พบว่าเป็นน้ำเค็มในทะเล และมหาสมุทรถึง 97.2% ที่เหลือ 22.8% ของน้ำจืดที่เกิดขึ้นบนผิวโลก จะอยู่ในรูปของธารน้ำแข็ง 2.14% ในรูปของน้ำบาดาล 0.61% ในรูปของน้ำตามแม่น้ำลำธารอื่นๆ ซึ่งจากสัดส่วนดังกล่าวจะเห็นได้ว่าน้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำจืดที่อยู่ในสถานะของเหลวที่มีปริมาณมากที่สุดบนพื้นโลกเรา (ทวีศักดิ์ ระมิงวงศ์. 2546)



ภาพประกอบ 5 วัฏจักรน้ำ

ที่มา: https://water.usgs.gov/edu/watercyclehi.html (Illustration by John M. Evans andHoward Perlman, USGS)

3. แนวคิดเกี่ยวกับน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดิน น้ำที่เกิดจากผิวดินซึมผ่านชั้นดินต่างๆ ลงไปถึงชั้นดินหรือชั้นหินที่ซึมผ่านไม่ได้ น้ำเหล่านี้จะไปสะสมอยู่ระหว่างช่องว่างของเนื้อดินหรือหิน และปริมาณน้ำใต้ดินบริเวณหนึ่งๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนและสภาพภูมิประเทศในบริเวณนั้นๆ น้ำใต้ดินแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. น้ำใต้ดินชั้นบน พบในชั้นดินตื้นๆ เป็นน้ำที่ซึมอยู่ในดินเหนือชั้นหินเกิดจากน้ำฝนหรือน้ำบนผิวดินดูดซับไว้ เมื่อดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำแล้วก็จะซึมลงไปในดินจนถึงชั้นหิน ซึ่งชั้นหินเหล่านี้จะกั้นน้ำส่วนใหญ่ไม่ให้ซึมผ่านไปได้

2. น้ำบาดาล เป็นน้ำที่ซึมจากน้ำในดินซึ่งน้ำซึมผ่านได้ยากไปเก็บอยู่ในชั้นหินซึ่งมีรูพรุนซึ่งอยู่ถัดจากชั้นหินหนา น้ำซึมผ่านได้ยากลงมาและระดับน้ำตอนบนสุดของน้ำ เรียกว่าระดับน้ำบาดาล ระดับน้ำบาดาลจะเปลี่ยนแปลงได้ตามฤดูกาล หรือเปลี่ยนแปลงตามการเพิ่มหรือสูญเสียน้ำ

น้ำใต้ดิน ความหมายในทางวิชาการ เช่น ด้านอุทกธรณีวิทยา นัยของน้ำบาดาล หมายถึงน้ำใต้ดินส่วนที่อยู่ในเขตอิ่มน้ำ (Saturated Zone) ซึ่งสามารถพัฒนาขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ด้วยวิธีการขุดหรือเจาะบ่อบาดาล ปริมาณ คุณภาพ ความลึก ตลอดจนคุณสมบัติอื่นๆ ของน้ำบาดาลในแต่ละแหล่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพอุทกธรณีวิทยาของแต่ละท้องที่ พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2544 ได้กำหนดความหมายของคำว่า “น้ำบาดาล” ไว้สองนัย ดังนี้

1. น้ำที่เกิดอยู่ใต้ผิวดินในช่องว่างที่ต่อเนื่องกันในเขตอิ่มน้ำ (Zone of Saturation) รวมถึงธารน้ำใต้ดิน (Underground Stream)

2. น้ำที่มีสภาพเป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊สในธรณีภาค น้ำดังกล่าวรวมถึงน้ำทั้งหมดใต้ผิวแผ่นดิน ยกเว้นน้ำภายในโลก (Internal Water) ซึ่งเป็นน้ำที่อยู่ใต้ระดับเขตอิ่มตัว

ความหมายในทางกฎหมาย ตามพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 กำหนดว่า “น้ำบาดาล” หมายความว่า น้ำใต้ดินที่เกิดอยู่ในชั้นดิน กรวดทราย หรือหินที่อยู่ลึกจากผิวดินเกินความลึกที่รัฐมนตรีกำหนด โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่จะกำหนดความลึกน้อยกว่า 15 เมตรมิได้

การกระจายของน้ำใต้ดินและชนิดของหินให้น้ำ

ในทางธรณีวิทยา สามารถแบ่งน้ำใต้ดินออกเป็นหลายลักษณะด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและความลึกที่น้ำนั้นถูกกักเก็บอยู่ ซึ่งเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของชั้นใต้ดินแล้วสามารถแบ่งชั้นดินและหินที่อยู่ใต้ผิวดินลงไปเป็น 2 ชั้นใหญ่ๆ คือ ชั้นสัมผัสอากาศและชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำ (ฉลอง. 2538) ดังภาพประกอบ

<table>
<tr><td rowspan="3">เขตอิ่มอากาศ
Zone of aeration
(Vadose zone)</td><td rowspan="3">น้ำแขวนลอย (Vadose</td><td>ความชื้นในดิน
Soil water</td><td>Belt of soil water
เขตความชื้นในดิน</td><td rowspan="3">ระดับ
น้ำบาดาล</td></tr>
<tr><td>Intermediate
vadose water</td><td>IntermediateBelt
เขตชั้นกลางทางผ่าน
ของน้ำ</td></tr>
<tr><td>น้ำดูดซึม
Capillary water</td><td>CapillaryFringe
เขตน้ำซึมน้ำซับ</td></tr>
<tr><td>เขตอิ่มน้ำ
Zone of saturation
(Phreatic zone)</td><td colspan="3">น้ำบาดาล
Ground water</td><td>Water table</td></tr>
</table>

ภาพประกอบ 6 การแบ่งเขตชั้นน้ำและประเภทของน้ำใต้ดิน

เขตอิ่มอากาศ (Zone of aeration or Vadose zone)

เขตอิ่มอากาศ หมายถึง ส่วนที่อยู่ติดกับผิวดิน ในเขตนี้ ช่องว่างบางส่วนจะมีน้ำกักเก็บอยู่ และบางส่วนจะมีฟองอากาศแทรกอยู่ น้ำใต้ดินที่ถูกกักเก็บในเขตอิ่มอากาศนี้ เรียกรวมกันว่า น้ำแขวนลอย (Vadose or Suspended water) ถึงแม้ปริมาณน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างเหล่านี้อาจมีปริมาณมาก แต่น้ำเหล่านี้ไม่สามารถสูบน้ำขึ้นมาใช้ได้ เนื่องจากน้ำจะถูกยึดอยู่ในช่องว่างด้วยแรงดึงคาปิลารี (Capillary force) เขตอิ่มอากาศสามารถแยกเป็นส่วนย่อยได้ 3 ส่วน คือ

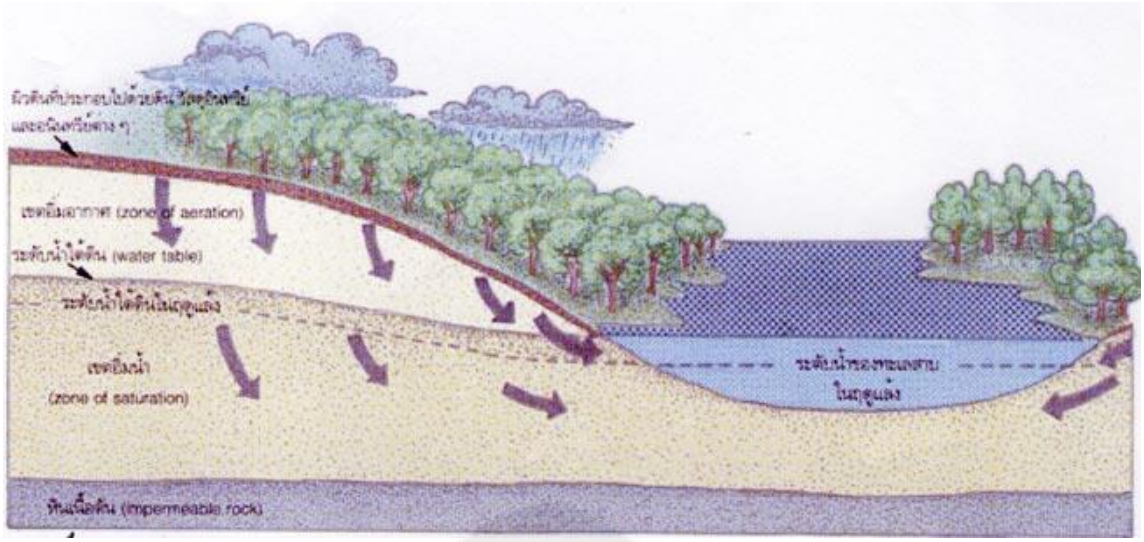
1. Belt of soil water เป็นส่วนที่อยู่บนสุดของเขตอิ่มอากาศ ประกอบไป ด้วยดิน วัสดุอินทรีย์ และอนินทรีย์ต่างๆ น้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในส่วนนี้ เรียกว่า ความชื้นในดิน (Soil moisture or soil water) เป็นน้ำที่ใช้สำหรับการเกษตรกรรมและยังชีพของพืชและต้นไม้ต่างๆ น้ำบางส่วนอาจจะสูญเสียกลับคืนสู่บรรยากาศโดยตรง โดยกระบวนการการระเหยและการคายน้ำ

2. Capillary fringe เป็นส่วนที่อยู่เหนือถัดขึ้นมาจากเขตอิ่มน้ำขึ้นไปจนถึงจุดที่สูงสุดที่น้ำซึมขึ้นไปด้วยแรงคาปิลารี (Capillary rise) น้ำที่ถูกกักเก็บในส่วนนี้เรียก น้ำดูดซึม (Capillary water) ความหนาของส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับแรงดึงคาปาลารีซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่างในดิน ถ้าช่องว่างมีขนาดเล็กส่วนนี้จะหนามาก ถ้าช่องว่างมีขนาดใหญ่ส่วนนี้ก็จะไม่หนามากเปรียบเทียบกับน้ำที่ขึ้นไปในหลอดดูดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กเทียบกับในหลอดดูดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่

3. Intermediate belt เป็นส่วนที่อยู่ระหว่าง Belt of soil water กับ Capillary fringe ไม่ค่อยมีความสำคัญมากนักเพราะเป็นเพียงทางผ่านของน้ำที่ซึมผ่านลงไปเท่านั้น น้ำในส่วนนี้เรียกว่า Intermediate vadose water ในแต่ละสภาพธรณี ส่วนนี้อาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ขึ้นอยู่กับความลึกของเขตอิ่มน้ำ กล่าวคือถ้าเขตอิ่มน้ำอยู่ไม่ลึกจากผิวดิน ส่วนของ Intermediate belt อาจจะไม่มีเลย เพราะเขตอิ่มอากาศจะมีความหนาไม่มากในขณะที่ถ้าเขตอิ่มน้ำอยู่ลึกลงไปจากผิวดิน ความหนาของเขตอิ่มอากาศก็จะมากไปด้วย ทำให้ส่วนของ Intermediate belt ก็จะมีความหนามากไปด้วย

เขตอิ่มน้ำ (Zone of saturation or Phreatic Zone)

ในเขตอิ่มน้ำนี้ ทุกช่องว่างที่มีอยู่ในดินและหิน จะมีน้ำแทรกอยู่เต็มไปหมด หรืออีกนัยหนึ่ง จะอิ่มตัวไปด้วยน้ำ น้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในเขตอิ่มน้ำนี้ เรียกว่า น้ำบาดาล (Ground water) ระดับบนสุดของเขตอิ่มน้ำ เรียกว่า ระดับน้ำบาดาล (Water table) ณ ตำแหน่งของระดับน้ำบาดาล ความดันของน้ำในช่องว่าง (Pore water pressure) จะเท่ากับความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure) ณ ตำแหน่งที่ลึกต่ำลงไปจากระดับน้ำบาดาล ความดันของน้ำก็จะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของตัวน้ำที่กดทับ ด้วยเหตุนี้เราจึงสามารถสูบนำน้ำบาดาลจากเขตอิ่มน้ำมาใช้เนื่องจากความดันที่สูงกว่าความดันบรรยากาศนั่นเอง



ภาพประกอบ 7 ภาพตัดขวางระดับน้ำใต้ดิน เขตอิ่มอากาศ เขตอิ่มน้ำ และระดับความลึกของน้ำใต้ดินในฤดูแล้ง

ที่มา: http://www.ipst.ac.th/science/GroundWater/ground_water_index.htm

ระดับบนสุดของชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำเรียกระดับน้ำใต้ดินจะถูกกักเก็บอยู่ภายในชั้นหิน ซึ่งเรียกว่า ชั้นหินให้น้ำ (water bearing rocks or aquifers) โดยในหินแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำและการให้น้ำแตกต่างกัน ขึ้นกับคุณสมบัติของหิน เช่น ความพรุน การคัดขนาดของเม็ดหินและแร่ และความซึมผ่านได้ของชั้นหินนั้น ชั้นหินให้น้ำ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

ก. ตะกอนร่วน (unconsolidated rocks) หมายถึง ตะกอนของหินต่างๆ ที่ผุพัง โดยขบวนการทางเคมี กายภาพและการกัดเซาะ ได้แก่ กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวที่ถูกพัดพาโดยตัวกลางใดๆ เช่น น้ำ ลม มาสะสมในบริเวณที่มีสภาพเหมาะสมโดยไม่มีการสมานตัวหรือมีการสมานตัวเพียงเล็กน้อย ตะกอนขนาดใหญ่ เช่น กรวดและทราย มีคุณสมบัติเป็นชั้นให้น้ำใต้ดินที่ดี เพราะมีความพรุนสูงแต่มีความซึมซับได้ต่ำ จึงเป็นชั้นหินต้านน้ำ

ข. หินแข็ง (consolidated rock) ในทางธรณีวิทยา ได้แก่ หินตะกอน และหินแปร ซึ่งแต่ละประเภท สามารถแยกย่อยออกได้อีกหลายชนิด มีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำใต้ดิน และให้น้ำใต้ดินแตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปน้ำใต้ดินในหินแข็ง ถูกกักเก็บอยู่ใน 2 ลักษณะ คือ ภายในรูพรุน หรือช่องว่างระหว่างเม็ดแร่ภายในเนื้อหิน และภายในช่องว่างที่เกิดขึ้นภายหลัง เช่น รอยแตก รอยแยก รอยเลื่อน โพรง และถ้ำ เป็นต้น สำหรับหินแข็งที่เนื้อแน่นไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านเลย เรียกว่า ชั้นหินกั้นน้ำ

ประเภทของชั้นหินที่เกี่ยวข้องกับน้ำใต้ดิน

ชั้นน้ำใต้ดิน หรือชั้นหินอุ้มน้ำใต้ดิน เป็นชั้นหิน ชั้นตะกอนหรือชั้นดินซึ่งให้น้ำออกมาได้เป็นปริมาณที่มากเพียงพอต่อการใช้อย่างมีนัยสำคัญ โดยทั่วไป ชั้นหินอุ้มน้ำที่พัฒนาเอาน้ำใต้ดินขึ้นไปใช้ประมาณร้อยละ 90 จะเป็นน้ำจากชั้นหินร่วนของพวกกรวดทราย ชนิดของชั้นหินอุ้มน้ำใต้ดินที่เกี่ยวกับการเก็บและการไหลของน้ำใต้ดินแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท (ทวีศักดิ์. 2546)

1. ชั้นหินอุ้มน้ำ (aquifer) หรือเรียกว่า ชั้นหินให้น้ำ เป็นชั้นดินหรือหินที่สามารถกักเก็บน้ำได้มาก และยอมให้น้ำไหลผ่านได้สะดวก ชั้นดินหรือหินประเภทนี้ ได้แก่ กรวดทราย และหินที่มีรูพรุน (porous rocks) แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

ก. ชั้นหินให้น้ำเปิด (unconfined aquifer) หรือชั้นให้น้ำใต้ดินอิสระ เป็นชั้นหินให้น้ำที่ไม่อยู่ภายใต้แรงกดดัน และจะมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ตอนบนสุดของส่วนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งจะสัมผัสกับอากาศในเม็ดดิน บางครั้งเรียกว่า free หรือ phreatic หรือ non artesian aquifer ลักษณะรูปร่างของระดับน้ำใต้ดินที่ถูกกักเก็บไว้ การไหลของน้ำใต้ดินในชั้นหินให้น้ำลักษณะนี้จะไหลไปตามความชันของระดับน้ำใต้ดินในชั้นหินให้น้ำ

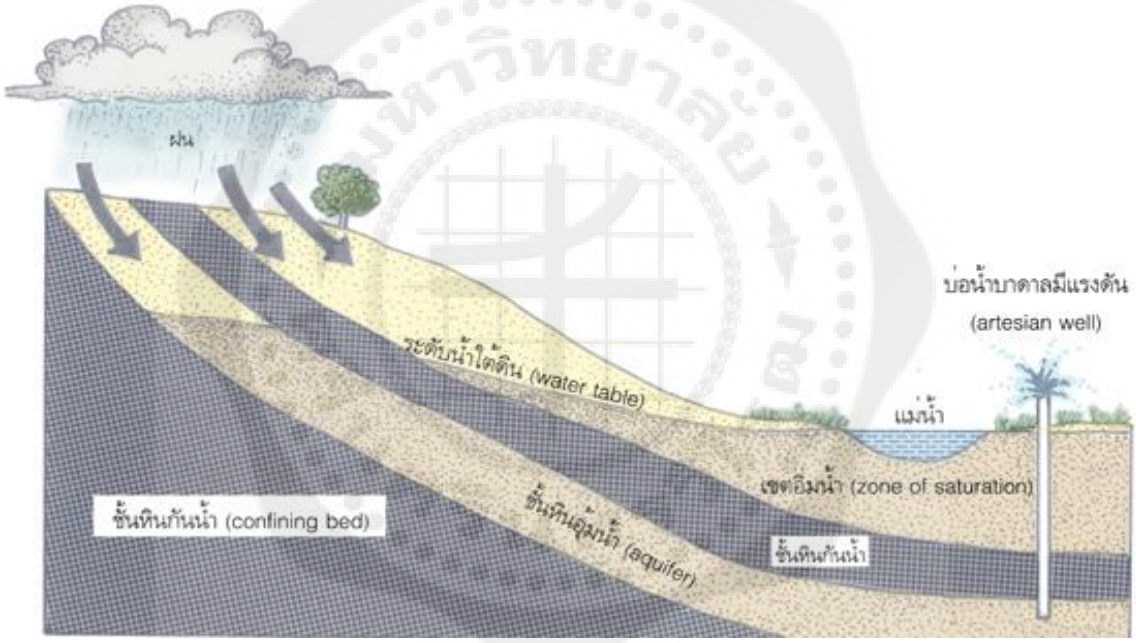
ข. ชั้นหินให้น้ำปิด (confined aquifer) เป็นชั้นหินให้น้ำที่มีชั้นหินเนื้อแน่นกว่า เช่น ชั้นทึบน้ำ วางทับข้างบนและรองอยู่ข้างล่างทำให้ชั้นหินให้น้ำและน้ำใต้ดินที่ถูกกักเก็บ อยู่ภายใต้ความกดดัน เนื่องจากน้ำหนักของหินที่กดทับ ซึ่งมีแรงดันที่มากกว่าแรงดันบรรยากาศ การไหลของน้ำจะมีลักษณะคล้ายๆ การไหลของน้ำในท่อ เพราะถูกประกบด้วยชั้นหินหนาแน่นทั้งข้างบนและข้างล่าง บ่อน้ำใต้ดินซึ่งเจาะลงสู่น้ำประเภทนี้ ระดับน้ำจะยกขึ้นสูงจากก้นของชั้นทึบน้ำที่ปิดทับ การเพิ่มเติมน้ำเข้าสู่ชั้นหินให้น้ำนี้ จะเกิดได้เฉพาะบริเวณที่ซึ่งชั้นใต้ดินเรียกว่า พื้นที่เพิ่มเติมน้ำ (recharged area) การสูงขึ้นหรือต่ำลงของระดับน้ำในบ่อน้ำใต้ดิน ซึ่งเจาะลงสู่ชั้นหินให้น้ำปิดนี้ เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความดันในชั้นน้ำ (hydrostatic pressure) มากกว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำสำรอง

ค. ชั้นน้ำลอย (perched aquifer) หรือชั้นหินให้น้ำปลอม เป็นชั้นน้ำขนาดเล็ก ชั้นหินเนื้อแน่นเหนือชั้นหินให้น้ำเปิดนั้น ซึ่งอยู่ในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ถ้าหากในบริเวณสัมผัสอากาศ มีชั้นหินเนื้อแน่น หรือชั้นหินเหนียว ซึ่งน้ำซึมผ่านได้น้อยหรือซึมผ่านไม่ได้เป็นรูปโค้ง คล้ายแอ่งเกิดร่วมอยู่ด้วยกัน มักพบชั้นน้ำนี้ ในตะกอนลุ่มน้ำ เมื่อน้ำฝนซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน จะมีน้ำบางส่วนถูกกักเก็บไว้เหนือชั้นหินเนื้อแน่นนี้ ในขณะที่อีกส่วนหนึ่ง จะไหลซึมลงสู่โซนอิ่มตัวข้างล่าง ชั้นน้ำใต้ดินนี้เรียกว่า ชั้นน้ำใต้ดินปลอม และเรียกระดับน้ำใต้ดินในชั้นน้ำนี้ว่า ระดับน้ำใต้ดินปลอม (perched water table) เมื่อทำการเจาะจนถึงชั้นหินอุ้มน้ำเปิดขนาดใหญ่ ที่อยู่ข้างล่างจึงจะได้น้ำเพียงพอ

2. ชั้นหินซับน้ำ (aquiclude) จัดเป็นชั้นหินทึบน้ำ ซึ่งมีชั้นดินหรือหินที่คุณสมบัติในการดูดซับน้ำได้ แต่ช่องที่มีอยู่มีขนาดเล็กมากจนน้ำไม่สามารถซึมผ่านโดยสะดวก หากเจาะบ่อลงไปในชั้นดินนี้จะไม่สามารถสูบน้ำซึมขึ้นมาให้ได้ ชั้นหินประเภทนี้ได้แก่ ชั้นดินเหนียว เป็นต้น

3. ชั้นหินกั้นน้ำ (aquifuge) หรือชั้นหินแข็ง จัดเป็นชั้นหินทึบน้ำ ซึ่งเป็นชั้นดินหรือหินที่มีความหนาแน่นสูง ลักษณะเป็นหินเนื้อแน่น มีช่องภายในเพื่อกักเก็บน้ำน้อย ช่องภายในที่มีอยู่ไม่อาจติดต่อถึงกันได้ โดยปกติจะหมายถึง ชั้นหินแข็ง เช่น หินแกรนิต หินบะซอลต์ เป็นต้น

4. ชั้นหินต้านน้ำ (aquitard) จัดเป็นชั้นหินทึบน้ำ ซึ่งเป็นชั้นหินหรือชั้นดิน ที่มีคุณสมบัติชะลอความเร็ว ของการไหลหรือต้านการไหลของน้ำไว้แต่ไม่ป้องกันการไหลผ่านของน้ำบาดาล จากชั้นหินให้น้ำหนึ่งไปยังอีกชั้นหินให้น้ำที่ต่อเนื่องติดกัน โดยปกติจะหมายถึง ชั้นหินกั้นน้ำ (confining layer) ที่อยู่ติดกับชั้นหินให้น้ำเดี่ยว หรือชั้นหินให้น้ำหลายๆ ชั้นแทรกสลับกับน้ำ สามารถไหลผ่านชั้นหินต้านน้ำนี้ได้ แต่ด้วยอัตราที่ช้ามาก เปรียบเสมือนการรั่วซึมผ่าน จึงเรียกหินต้านน้ำในลักษณะนี้ว่า ชั้นหินกั้นน้ำที่รั่วซึม (leaky confining layer) ชั้นหินประเภทนี้ ได้แก่ กรวด ทรายปนเหนียว



ภาพประกอบ 8 ชั้นหินอุ้มน้ำหรือชั้นหินให้น้ำที่ถูกขนาบด้วยชั้นหินกั้นน้ำทั้งด้านบนและด้านล่าง

ที่มา: http:/www.ipst.ac.th/science/Groundwater/ground_water_index.htm

ข้อดีของน้ำบาดาลเมื่อเทียบกับน้ำผิวดิน

1. น้ำบาดาลมักจะปราศจากจุลินทรีย์ ซึ่งจะเป็นพาหะนำเชื้อโรคต่างๆ เนื่องจากน้ำบาดาลจะซึมผ่านช่องว่างของชั้นดินและชั้นหินต่างๆ ทำให้เกิดกระบวนการกรองตามธรรมชาติ (Natural filtration) เม็ดตะกอนดินจะช่วยดูดซับพวกจุลินทรีย์ต่างๆ ไว้

2. อุณหภูมิของน้ำบาดาลมักจะคงที่ เนื่องจากน้ำบาดาลกักเก็บในช่องว่างของหิน ซึ่งอยู่ลึกลงไปจากผิวดิน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวดิน จะไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิของน้ำบาดาลในขณะที่น้ำผิวดินตามแม่น้ำ ลำธาร จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำได้ง่ายกว่าและไม่คงที่

3. ความขุ่นและสีของน้ำบาดาลจะมีน้อยมากหรือไม่มี กระบวนการกรองตามธรรมชาติมีความใสเพราะไม่มีตะกอน ในขณะมักจะคงที่ที่น้ำผิวดินมีความขุ่นด้วยตะกอนที่ปะปนอยู่และแปรเปลี่ยนได้ง่าย สีของน้ำผิวดินอาจมาจากสารเคมีที่ได้จากพืชบางชนิดที่น้ำไหลผ่าน

4. คุณสมบัติและส่วนประกอบทางเคมีมักจะคงที่ การที่น้ำบาดาลกักเก็บอยู่ใต้ผิวดินทำให้โอกาสที่ถูกปนเปื้อนมีน้อยกว่าน้ำผิวดิน จึงทำให้คุณสมบัติและส่วนประกอบทางเคมีคงที่

5. ปริมาณของน้ำบาดาลที่ถูกกักเก็บไว้ในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง มักจะมากกว่า ปริมาณน้ำผิวดินในบริเวณนั้นๆ เมื่อพิจารณาปริมาณช่องว่าง ที่น้ำบาดาลกักเก็บอยู่ในชั้นหินที่อยู่ลึกลงไป ซึ่งอาจลึกลงไปถึงหลายร้อยเมตร ทำให้ปริมาณของน้ำบาดาลที่กักเก็บอยู่ในบริเวณนั้นๆ จะมากกว่าปริมาณของแม่น้ำ ลำธารต่างๆ

6. แหล่งน้ำบาดาลจะเป็นแหล่งที่ทำให้สกปรกได้ยากมากเมื่อเทียบกับแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งเปิดโอกาสให้สารปนเปื้อนต่างๆเข้าถึงได้โดยตรง ในขณะที่สารปนเปื้อนจะต้องไหลซึมผ่านชั้นดินชั้นหินลงไปก่อนที่จะถึงระดับชั้นน้ำบาดาล สารปนเปื้อนจึงถูกกระบวนการกรองตามธรรมชาติ ช่วยกลั่นกรองออกไปจำนวนหนึ่ง

7. แหล่งน้ำบาดาลมักจะมีหรือพบได้ในบริเวณที่อาจจะไม่มีน้ำผิวดินเลย น้ำบาดาลเกิดจากน้ำฝนที่ซึมผ่านชั้นดินชั้นหินลงไปกักเก็บอยู่ในช่องว่างต่างๆ ใต้ผิวดินลงไป ในพื้นที่หนึ่งๆและในช่วงเวลาหนึ่งๆ ในอดีต มีสภาพภูมิอากาศที่เปียกชื้น มีฝนตกต่อเนื่อง และซึมลงไปกักเก็บอยู่ในช่องว่างต่างๆ ใต้ผิวดินลงไป เมื่อเวลาผ่านไป สภาพภูมิอากาศที่แห้งแล้ง ทำให้ ไม่มีแม้กระทั่งน้ำผิวดินที่กักเก็บอยู่ หรือมีก็เป็นช่วงระยะสั้นๆ ที่ฝนตกลงมา อาทิ ภูมิประเทศแบบทะเลทรายหรือกึ่งทะเลทราย ซึ่งใต้ผิวดินมีโอกาสพบน้ำบาดาลที่เกิดจากฝนจากอดีตกาลซึมลงไปกักเก็บอยู่ในปริมาณที่มากพอ นำขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ บริเวณใดๆ ที่ปัจจุบันอาจดูแห้งแล้ง ไม่มีน้ำผิวดิน แต่ใต้ดินลงไปมีโอกาสที่จะพบน้ำบาดาลกักเก็บอยู่ (ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์. 2546)

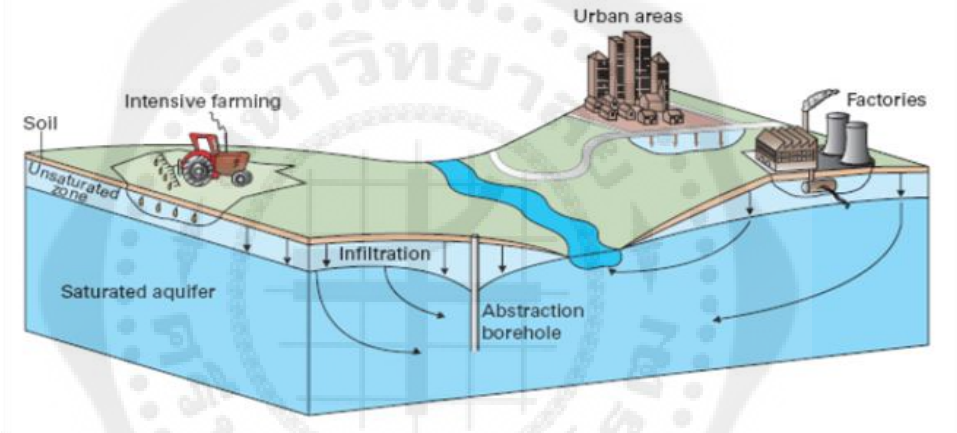
4. แนวคิดเกี่ยวกับการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินประกอบไปด้วยสารละลายที่หลากหลายมากและเกิดขึ้นจากกระบวนการทางชีวภาพตามธรรมชาติในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ลักษณะคุณภาพน้ำใต้ดินไม่ได้มีเพียงแต่ทางเคมีเท่านั้น แต่ยังมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางชีวภาพด้วยการวิเคราะห์ทางเคมี ทางกายภาพและทางชีวภาพนั้น ต้องการการตรวจสอบคุณภาพของน้ำใต้ดิน ความเข้มข้นของอนินทรีย์สาร อินทรีย์สาร และองค์ประกอบทางรังสี เป็นคุณสมบัติที่ปกติของน้ำใต้ดิน ซึ่งรวมถึงค่า pH และค่าความนำไฟฟ้าเฉพาะ การวิเคราะห์ทางกายภาพจะรวมถึงอุณหภูมิ สี ความขุ่น กลิ่นและรส สำหรับการทดสอบทางชีวภาพนั้นเป็นการตรวจหาเปอร์เซ็นต์ของแบคทีเรียคอลิฟอร์ม ความเข้มข้น

ทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำใต้ดิน คุณภาพของน้ำใต้ดินตามธรรมชาติขึ้นอยู่กับสภาพทางธรรมชาติและขึ้นอยู่กับน้ำต้นกำเนิดและการเคลื่อนที่ของน้ำ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำใต้ดิน

4.1 มลพิษน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินถูกปนเปื้อนตามแหล่งกำเนิดมลพิษที่อาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ คือ แหล่งกำเนิดมลพิษที่มีจุดกำเนิดแน่นอน (Point Source) เช่น โรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม เขตประกอบการอุตสาหกรรมและเขตชุมชนอุตสาหกรรม และแหล่งกำเนิดมลพิษที่ไม่ทราบตำแหน่งแน่นอน (Non-Point Source) เช่น แหล่งแร่และพื้นที่เกษตรดังรูป



ภาพประกอบ 9 การแปรผันของสารปนเปื้อนทั้งที่เกิดจากธรรมชาติ และเกิดการพัฒนาของมนุษย์

4.2 แหล่งกำเนิดมลพิษ

4.2.1 แหล่งกำเนิดมลพิษที่มีจุดกำเนิดแน่นอน (Point Source)

แหล่งกำเนิดมลพิษที่มีจุดกำเนิดแน่นอน (Point Source) ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม สถานที่กำจัดมูลฝอยชุมชน หลุมฝังกลบกากอุตสาหกรรม โรงบำบัดน้ำเสียชุมชน พื้นที่ที่มีการลักลอบทิ้งน้ำเสียและ/หรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วจากภาคอุตสาหกรรม ฯลฯ จะพบว่าแหล่งกำเนินมลพิษจากภาคอุตสาหกรรมเกิดขึ้นจำนวนมากและรวดเร็วตามการพัฒนาและขยายตัวด้านเศรษฐกิจและสังคมในประเทศไทยช่วง 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2546-ปัจจุบัน) โดยเฉพาะพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงต่อการลงทุนด้านอุตสาหกรรมต่างๆ ทำให้มีการพัฒนาภาคอุตสาหกรรมหลายรูปแบบเกิดขึ้นในพื้นที่ดำเนินการ ยกตัวอย่างเช่น นิคมอุตสาหกรรมมีการดำเนินงานเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การบริหารและควบคุมดูแลโดยการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และนิคมอุตสาหกรรมที่ดำเนินการร่วมกับภาคเอกชน เขต

ประกอบการอุตสาหกรรม ชุมชนอุตสาหกรรมหรือสวนอุตสาหกรรม โดยการศึกษาจะพิจารณาแบ่งการสำรวจและรวบรวมข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทโรงงานอุตสาหกรรมออกเป็น 4 ประเภท ดังสรุปคำนิยามของภาคอุตสาหกรรมได้ดังนี้

ตาราง 8 แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทโรงงานอุตสาหกรรม

ประเภทแหล่งกำเนิดมลพิษ	อธิบายคำนิยาม
โรงงาน	อาคาร สถานที่หรือยานพาหนะที่ใช้เครื่องจักรมีกำลังรวมตั้งแต่ห้าแรงม้าหรือกำลังเทียบเท่าตั้งแต่ห้าแรงม้าขึ้นไปหรือใช้คนตั้งแต่เจ็ดคนขึ้นไปโดยใช้เครื่องจักรหรือไม่ก็ตามสำหรับทำ ผลิต ประกอบ บรรจุ ซ่อม ทดสอบ ปรับปรุง แปรสภาพ ลำเลียง เก็บรักษาหรือทำลายสิ่งใดๆ ทั้งนี้ตามประเภทหรือชนิดของโรงงานที่กำหนดในกฎกระทรวง
นิคมอุตสาหกรรม	เป็นการพัฒนาพื้นที่โดยการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยหรือภาคเอกชนเพื่อรองรับอุตสาหกรรมตามพระราชบัญญัตินิคมอุตสาหกรรม พ.ศ. 2522 การพัฒนาพื้นที่ดังกล่าวโดยภาคเอกชนต้องได้รับอนุญาตจากการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย สิทธิประโยชน์ที่ได้รับคือ การอนุญาตตามกฎหมายโรงงานและกฎหมายควบคุมอาคารเป็นอำนาจของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยและไม่ต้องชำระค่าธรรมเนียมรายปีตามกฎหมายโรงงาน
เขตประกอบการอุตสาหกรรม	เป็นการพัฒนาพื้นที่เพื่อรองรับอุตสาหกรรมตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 การพัฒนาพื้นที่ดังกล่าวต้องได้รับการพิจารณาและประกาศกำหนดเขตประกอบการอุตสาหกรรมจากกระทรวงอุตสาหกรรมสิทธิประโยชน์ที่ได้รับคือ ได้รับการยกเว้นไม่ต้องขออนุญาตตามกฎหมายโรงงาน
ชุมชนอุตสาหกรรม	เป็นการพัฒนาพื้นที่โดยภาคเอกชนเพื่อรองรับอุตสาหกรรมตามนโยบายของกระทรวงอุตสาหกรรม การพัฒนาพื้นที่ดังกล่าวต้องได้รับการพิจารณาและกำหนดพื้นที่จากกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม สิทธิประโยชน์ที่ได้รับคือ การพิจารณาอนุญาตตามกฎหมายโรงงานจะเป็นไปอย่างรวดเร็วเนื่องจากได้มีการพิจารณาพื้นที่โดยรวมและประเภทอุตสาหกรรมที่จะประกอบกิจการในพื้นที่ดังกล่าวแล้ว

ที่มา: กระทรวงอุตสาหกรรม. (2558)

4.2.2 แหล่งกำเนิดมลพิษที่ไม่ทราบตำแหน่งแน่นอน (Non-Point Source)

ได้แก่ แหล่งกำเนิดมลพิษจากเกษตรกรรม แหล่งที่มาของการปนเปื้อนจากเกษตรกรรมมีความหลากหลาย เช่น การใช้ปุ๋ยเคมี สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ และวัตถุปรับปรุงดิน รวมถึงมูลสัตว์ หรือมีการรั่วไหลต่างๆ น้ำทิ้งจากการล้างอุปกรณ์ฉีดพ่นยาฆ่าแมลงหรือสารเคมี โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการระบายน้ำไม่ดี จึงมีการสร้างท่อระบายน้ำ บ่อระบายน้ำ เพื่อเป็นการระบายน้ำส่วนเกินออกจากพื้นที่ การระบายน้ำจะทำหน้าที่เป็นท่อตรงไปยังชั้นน้ำใต้ดิน จากการใช้น้ำชลประทาน มีมลสารต่างๆ ปนเปื้อน ทำให้ความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนเพิ่มขึ้น

ข้อมูลแหล่งมลพิษในพื้นที่ศึกษา

การศึกษาแหล่งมลพิษที่มีศักยภาพในพื้นที่ศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงจำนวนและที่ตั้งของแหล่งกำเนิดมลพิษในแต่ละประเภทที่มีโอกาสปล่อยมลสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาลและพิจารณาถึงศักยภาพของมลสารที่มีโอกาสปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน รวมทั้งการวิเคราะห์แนวโน้มของการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตเนื่องมาจากการขยายตัวของชุมชนเมืองและการขยายตัวของพื้นที่อุตสาหกรรมว่าส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำบาดาลอย่างไรโดยสามารถสรุปกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ที่มีโอกาสปล่อยมลสารลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินและทำให้ชั้นน้ำบาดาลเสี่ยงต่อการปนเปื้อนได้ดังตาราง

ตาราง 9 ประเภทแหล่งกำเนิดมลพิษและมลสารที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ

แหล่งที่มาของมลสาร	ชนิดมลสาร
แหล่งเกษตรกรรม	ไนเตรต แอมโมเนียม ยาฆ่าแมลง และสารอินทรีย์ต่างๆ
แหล่งฝังกลบขยะ	แอมโมเนียม คลอไรด์ เหล็ก และฮาโลจีเนต ไฮโดรคาร์บอนบางชนิด
โรงบำบัดน้ำเสียชุมชน	ไนเตรต และไฮโดรคาร์บอนสังเคราะห์
แหล่งชุมชนและที่พักอาศัย	อินทรียวัตถุ ไขมัน สารซักฟอก
สถานีน้ำมัน และโรงเก็บรถ	เบนซีน อโรมาติคไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ ฮาโลจีเนต ไฮโดรคาร์บอนบางชนิด
อุตสาหกรรมเหล็ก	ไตรคลอโรเอทิลีน เตตระคลอโรเอทิลีน ฮาโลจีเนต ไฮโดรคาร์บอนบางชนิดเหล็ก ฟีนอล ไซยาไนท์ อัลคิลเบนซีน เตตระคลอโรเอทิลีน ฮาโลจีเนต
อุตสาหกรรมสี และงาเคลือบ	ไฮโดรคาร์บอนบางชนิด เหล็ก อโรมาติคไฮโดรคาร์บอนต่างๆ

ตาราง 9 (ต่อ)

แหล่งที่มาของมลสาร	ชนิดมลสาร
อุตสาหกรรมไม้	เพนตะคลอโรฟีนอล ฮาโลจีเนตไฮโดรคาร์บอนบางชนิด
การซักรีด	ไตรคลอโรเอทิลีน เตตระคลอโรเอทิลีน
โรงงานผลิตยาฆ่าแมลง	ฮาโลจีเนตไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ฟีนอล สารหนู
การกำจัดกากตะกอนน้ำเสีย	ไนเตรต ฮาโลจีเนตไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ตะกั่ว สังกะสี
อุตสาหกรรมฟอกย้อมหนัง	โครเมียม ฮาโลจีเนตไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ฟีนอล
อุตสาหกรรมการขุดเจาะและแยกน้ำมัน	เกลือ อโรมาติคไฮโดรคาร์บอนต่างๆ
อุตสาหกรรมเหมืองแร่	กรดต่างๆ แร่ต่างๆ เหล็ก ซัลเฟต

ที่มา: Foster; et al. (2002)

เมื่อน้ำใต้ดินถูกปนเปื้อนทำให้เกิดเป็นภัยต่อสุขภาพ อนามัย ตลอดจนเป็นพิษหรือแพร่เชื้อโรคและทำให้คุณภาพของน้ำลดลงด้วย การปนเปื้อนของน้ำใต้ดินเกิดมาเป็นเวลานาน ก่อนที่ปัญหานั้นจะถูกพบ และการกำจัดสารปนเปื้อนออกจากชั้นหินให้น้ำเป็นกระบวนการที่สิ้นเปลืองเวลามาก

สำนักประเมินเทคโนโลยี รัฐสภาแห่งสหรัฐอเมริกา (Office of Technology Assessment: OTA) ได้แบ่งแหล่งของสารปนเปื้อนออกเป็น 6 กลุ่ม ดังนี้

1. แหล่งที่เกิดกับพื้นที่รับน้ำ สารปนเปื้อนสามารถมาจากถังน้ำทิ้งและท่อน้ำทิ้งจากบ้านเรือน บ่อที่ได้รับจากขยะ น้ำเค็มจากบ่อน้ำมัน แหล่งน้ำมัน น้ำที่มาจากการเกษตร น้ำร้อนจากบ่อปั้มของเหลวที่ใช้ในการหาน้ำมันจากแหล่งน้ำมัน น้ำที่ผ่านการปรับปรุงเพื่อชั้นหินให้น้ำเพิ่มเติม น้ำเทียม และของเหลวที่ใช้ในเหมืองก็สามารถเป็นแหล่งให้สารปนเปื้อนกับน้ำใต้ดินได้ เศษพืชเป็นตัวรักษาน้ำเสียเมื่อนำมาเป็นปุ๋ย

2. แหล่งที่มาจากการเก็บรักษาและกำจัดสาร สารปนเปื้อนนั้นจะผ่านการชะล้าง จากดินถมไปจนถึงใต้ผิวดิน นอกจากนั้นยังรวมถึงการทิ้งขยะในที่โล่ง จากขยะชุมชน การขังบนผิวดิน ขยะจากเหมือง คลังวัสดุ สุสาน ที่ฝังสัตว์ ถังเก็บของเหลวเหนือพื้นดิน ถังเก็บของเหลวใต้ดิน การเผาขยะแบบเปิดโล่ง พื้นที่ที่มีการระเบิด และพื้นที่ที่มีการฝังกลบขยะกัมมันตภาพรังสี

3. แหล่งที่มาจากการเคลื่อนย้ายและส่งวัสดุ ซึ่งแหล่งนั้นจะเกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนย้ายผ่านท่อส่งน้ำ การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์และขยะ การหกล้นและการรั่วซึมของผลิตภัณฑ์

4. แหล่งที่เกิดขึ้นกับพื้นที่รับน้ำซึ่งต่อเนื่องมาจากกิจกรรมพื้นที่อื่นๆ น้ำส่วนเกินจากการชลประทานซึม ผ่านดินไปยังน้ำใต้ดิน ยาฆ่าแมลงที่ใช้กับพืชและสนามกอล์ฟ สามารถทำให้เกิดการปนเปื้อนกับน้ำใต้ดินอย่างมาก ซึ่งรวมถึงการใช้ปุ๋ย มูลสัตว์จากฟาร์ม การใช้เกลือละลายน้ำแข็งจากทางหลวง น้ำจากบ้านเรือน น้ำท่าที่ผ่านชุมชน น้ำฝนที่ชะเอาสารปนเปื้อนมาจากบรรยากาศ และการระบายน้ำจากเหมือง

5. แหล่งที่เกิดจากบ่อผลิตน้ำมัน แก๊ส พลังงานความร้อน และน้ำที่มาจากแหล่งปนเปื้อนอื่นๆ มีด้วยกัน 5 กลุ่ม คือ แหล่งที่เกิดจากท่อน้ำใต้ดินทำให้น้ำเสียไหลเข้าชั้นหินให้น้ำ บ่อติดตามตรวจสอบ บ่อสำรวจ บ่อผลิต การขุดเจาะอุโมงค์เป็นการเปิดเอาหน้าดินออกจากหิน ซึ่งเป็นการนำการป้องกันตามธรรมชาติของชั้นหินให้น้ำจากสารปนเปื้อนออกไป

6. แหล่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติพื้นที่รับน้ำ ถูกทำให้เกิดความรุนแรงขึ้นโดยกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำบาดาลกับน้ำผิวดิน เมื่อน้ำผิวดินเกิดการปนเปื้อนโดยเฉพาะในพื้นที่เพิ่มเติมน้ำใต้ดินก็สามารถเกิดการปนเปื้อนได้ การชะล้างตามธรรมชาติจากสารละลายแร่หินและดินสามารถเป็นเหตุให้สารละลายได้ในน้ำบาดาลสูงขึ้น การแทรกดันของน้ำเค็มเป็นแหล่งอื่นๆ ในการปนปื้อนของน้ำบาดาลสูงขึ้น ซึ่งจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

4.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินในประเทศไทย

มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน คือ ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในน้ำใต้ดิน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายและผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยประชาชน เมื่อนำน้ำใต้ดินมาใช้บริโภคโดยค่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับการบริโภค ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ. 2551) แสดงดังตาราง

ตาราง 10 ค่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

คุณลักษณะ	**ดัชนีคุณภาพ**	**ค่ามาตรฐาน**	
		เกณฑ์ที่เหมาะสม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	**เกณฑ์อนุโลม (มิลลิกรัมต่อลิตร)**
ทางกายภาพ	สี (Color)	5 (หน่วยแพลทินัม-โคบอลต์)	15 (หน่วยแพลทินัม-โคบอลต์)
	ความขุ่น (Turbidity)	5 (หน่วยความขุ่น)	20 (หน่วยความขุ่น)
	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.0-8.5	6.5-9.2

ตาราง 10 (ต่อ)

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพ	ค่ามาตรฐาน	
		เกณฑ์ที่เหมาะสม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เกณฑ์อนุโลม (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ทางเคมี	เหล็ก (Fe)	ไม่เกิน 0.5	1.0
	แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 0.3	0.5
	ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 1.0	1.5
	สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0	15
	ซัลเฟต (SO_4)	ไม่เกิน 200	250
	คลอไรด์ (Cl)	ไม่เกิน 250	600
	ฟลูออไรด์ (F)	ไม่เกิน 0.7	1.0
	ไนเตรท (NO_3-)	ไม่เกิน 45	45
	ความกระด้างทั้งหมด (Total hardness as $CaCO_3$)	ไม่เกิน 300	500
	ความกระด้างถาวร (Non-carbonate hardness as $CaCO_3$)	ไม่เกิน 200	250
	ปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total dissolved solids)	ไม่เกิน 600	1,200
สารพิษ	สารหนู (As)	ต้องไม่มี	0.05
	ไซยาไนด์ (CN)	ต้องไม่มี	0.1
	ตะกั่ว(Pb)	ต้องไม่มี	0.05
	ปรอท(Hg)	ต้องไม่มี	0.001
	แคดเมียม(Cd)	ต้องไม่มี	0.01
	ซีลีเนียม(Se)	ต้องไม่มี	0.01

ตาราง 10 (ต่อ)

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพ	ค่ามาตรฐาน	
		เกณฑ์ที่เหมาะสม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เกณฑ์อนุโลม (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ทางบัคเตรี/ แบคทีเรีย	บักเตรีที่ตรวจพบโดยวิธี Standard plate count	ไม่เกิน 500 โคโลนีต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	
	บักเตรีที่ตรวจพบโดยวิธี Most probable number of Coliform organism (MPN)	น้อยกว่า 2.2 ต่อร้อยลูกบาศก์เซนติเมตร	
	อี.โคไล (E.Coli)	ต้องไม่มี	

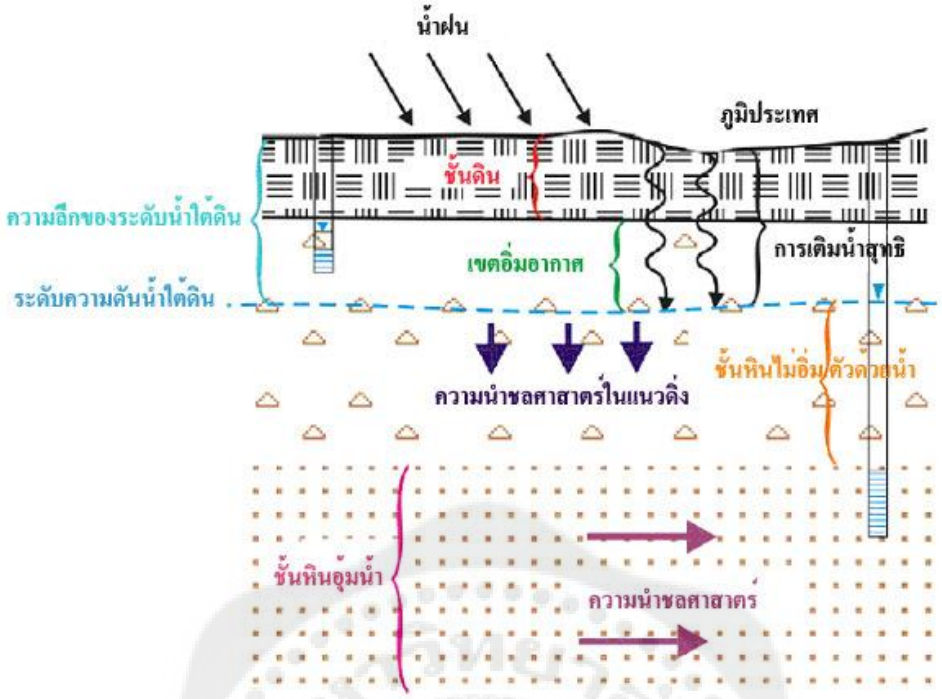
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ. (2551)

5. แนวคิดเกี่ยวกับความเสี่ยงต่อการปนเปื้อน

แนวคิดเกี่ยวกับเรื่องความเสี่ยงต่อการปนเปื้อน เริ่มมีขึ้นที่ประเทศฝรั่งเศสในปี 1960 โดยมีการอธิบายถึงระดับความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลว่าเป็นฟังก์ชันของสภาพอุทกธรณีวิทยา โดยรวมแล้วเป็นการพยายามให้ความรู้ในเรื่องอันตรายของการปนเปื้อนน้ำใต้ดินที่แสดงถึงการป้องกันตนเองของสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ ซึ่งแตกต่างไปตามพื้นที่ (Albinet and Margat. 1970) ปัจจัยทางอุทกธรณีวิทยาขั้นพื้นฐาน คือ ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของวัสดุพื้นผิวที่ทับถม การเชื่อมต่อระหว่างน้ำใต้ดินและผิวดิน ความเร็วเฉลี่ยในการไหลของน้ำใต้ดิน ปัจจัยสำหรับความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนที่สำคัญที่สุดคือการไหลของน้ำใต้ดิน โดยนิยามแล้วความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนต้องแสดงในเทอมของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายต่อหน่วยที่เพิ่มขึ้นในกิจกรรมของมนุษย์ (Bachmat; & Collin.1987) และ Johnston (1988) ได้ใช้ปัจจัยการเพิ่มเติมน้ำในการศึกษาความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนจากแหล่งมลพิษใกล้ผิวดิน ซึ่งถูกควบคุมโดยระบบการไหลของน้ำใต้ดิน ต่อมา Vrba (1991) ได้นำเอาเรื่องของเวลามาใช้ในการนิยามความเสี่ยงต่อการปนเปื้อน โดยเสนอว่าความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติตามธรรมชาติของระบบน้ำใต้ดินในชั้นที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ และขึ้นกับความสามารถของระบบกำจัดของเสียด้วยขบวนการทางธรรมชาติ ในปี 1993 ได้มีการประชุมทางเทคนิคสำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินของสภาวิจัยแห่งชาติของประเทศสหรัฐ ซึ่งได้ให้คำนิยามความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน เป็นแนวโน้มหรือความเป็นไปได้ที่

สารปนเปื้อนจะมาถึงตำแหน่งเฉพาะในระบบน้ำใต้ดิน หลังจากที่รู้จักตำแหน่งหรือชั้นหินให้น้ำชั้นบนสุด แต่รายงานล่าสุดที่ประชุมได้แยกความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนเฉพาะที่ ซึ่งอ้างอิงถึงการปนเปื้อนเฉพาะกลุ่มของการปนเปื้อน หรือกิจกรรมมนุษย์ และความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนที่แท้จริง ซึ่งไม่ได้พิจารณาคุณลักษณะและพฤติกรรมของการปนเปื้อนเฉพาะ นอกจากนี้ระดับความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนที่แท้จริง มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการไหลซึมลงของมลสาร ผ่านชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ จึงได้รวมพารามิเตอร์สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินไว้ด้วย โดยความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของชั้นหินให้น้ำ จะขึ้นอยู่กับ 2 ลักษณะหลัก (Benacchio; et al. 1998) คือ ระดับของการป้องกันการปนเปื้อนจากผิวดินโดยชั้นที่วางตัวอยู่ด้านบน และศักยภาพของการทำให้น้ำถูกปนเปื้อนในชั้นหินให้น้ำ การประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนในเวลาต่อมาจึงพิจารณา 3 คุณลักษณะ คือ ชนิดของชั้นหินให้น้ำ ตำแหน่งชั้นหินให้น้ำ และลักษณะของชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Vierhuff; et al. 1981)

น้ำใต้ดินเป็นหนึ่งของวัฏจักรอุทกวิทยา ฝนตกทำให้เกิดการไหลในทางน้ำและการกักเก็บน้ำ เป็นแหล่งต้นกำเนิดของการเพิ่มเติมน้ำเข้าสู่บริเวณที่อิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วจึงเกิดเป็นน้ำใต้ดิน การไหลของน้ำใต้ดินเกิดในช่องว่างของหินและไหลตามสภาพการเอียงเทของทางชลศาสตร์ การไหลของน้ำใต้ดินจะไหลจากพื้นที่ที่มีความสูงมากไปยังพื้นที่ที่มีความสูงต่ำกว่า ความเร็วของการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา คุณสมบัติของตัวกลาง และ การกระจายตัวของค่าความดันน้ำบาดาลที่กักเก็บอยู่ในช่องว่างของหิน หาได้จากปริมาณการกักเก็บของน้ำ ตัวกลางที่มีช่องว่างเรียกว่าชั้นหินให้น้ำ ขอบเขตของชั้นหินให้น้ำจะแตกต่างกันไปจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งขึ้นอยู่กับสภาพทางอุทกธรณีวิทยา ปริมาณและคุณภาพของน้ำบาดาลแตกต่างกันไปตามความลึก ขอบเขตพื้นที่และวัตถุทางธรณีที่แตกต่างกัน ยิ่งไปกว่านั้น ปริมาณและคุณภาพน้ำบาดาลสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากการใช้ประโยชน์ที่ดินและกิจกรรมของมนุษย์ ความเสื่อมของคุณภาพน้ำใต้ดิน โดยปกติแล้วจะพบในพื้นที่ที่มีการพัฒนาแล้ว เนื่องจากมีแหล่งมลสารจากภายนอกการเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวดินลงมายังระดับน้ำ แสดงดังภาพ



ภาพประกอบ 10 ภาพการเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวดินลงมายังระดับน้ำใต้ดิน

ที่มา: กิจการ พรหมมา. (2547)

การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน (contaminant transport) แบ่งได้ 3 ประเภท (Spitz; & Moreno.1996) คือ

1. การพา (advection) เป็นกระบวนการที่สารละลาย (dissolved substances) เคลื่อนที่ไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน การพาขึ้นอยู่ดับความเร็วของน้ำใต้ดิน ความพรุนของชั้นใต้ดินและความเข้มของสารปนเปื้อน

2. การแพร่ (diffusion) เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ การเคลื่อนที่จะหยุดเมื่อโมเลกุลของสารแพร่เท่ากัน การเคลื่อนที่ด้วยการแพร่สามารถเกิดขึ้นได้ในที่ที่ไม่มีความเร็วการไหลของน้ำใต้ดินก็ได้

3. การกระจาย (dispersion) เป็นการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิด การกระจายไปยังแหล่งอื่นๆ ที่อยู่นอกเส้นทางเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน หรืออาจเรียกว่า hydrodynamic dispersion การกระจายตัวเกิดขึ้นจากความแปรปรวนของความเร็วการไหล และเส้นทางของการไหล ซึ่งการผสมเชิงกล(mechanical mixing) จะเกิดในช่วงที่ของเหลวกำลังไหล และเกิดจากการแพร่เชิงโมเลกุลของสารปนเปื้อน (molecular diffusion) เมื่อของเหลวมีความเร็วต่ำมากๆ

เมื่อน้ำใต้ดินถูกปนเปื้อน จะส่งผลเป็นภัยต่อสุขภาพอนามัยตลอดจนเป็นพิษหรือแพร่เชื้อโรค และทำให้คุณภาพของน้ำลดลงด้วย โดยปกติการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินมักเกิดมาเป็นเวลานาน

ก่อนที่ปัญหานั้นจะถูกพบ และการกำจัดสารปนเปื้อนน้ำออกจากชั้นหินให้น้ำนั้นจะสิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่าย การป้องกันการปนเปื้อนน้ำใต้ดินจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมกว่าการฟื้นฟู

สถิติและแนวโน้มการลักลอบทิ้งกากของเสียอุตสาหกรรม

จากข้อมูลสถิติการลักลอบทิ้งกากของเสียอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2553-2557 มีจำนวน 59 ครั้ง ปี พ.ศ. 2554 มีสถิติการลักลอบทิ้งสูงสุด จำนวน 19 ครั้ง ปี พ.ศ. 2555 จำนวน 12 ครั้ง ปี พ.ศ. 2556 จำนวน 11 ครั้ง และในปี พ.ศ. 2557 เหลือเพียง 6 ครั้ง การลักลอบทิ้งกากของเสียอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกและภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดระยอง ฉะเชิงเทรา สระบุรี ชลบุรี สมุทรปราการ ราชบุรี และปราจีนบุรี ซึ่งมีนิคมอุตสาหกรรม โรงงานแหล่งกำเนิด และโรงงานประเภท 1105 106 ตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งจากข้อมูลสถิติการลักลอบทิ้งรายจังหวัดในรอบ 5 ปี พบว่าจังหวัดระยองมีสถิติการลักลอบทิ้งสูงที่สุดจำนวน 8 ครั้ง รองลงมาได้แก่ จังหวัดฉะเชิงเทราและสระบุรี จำนวน 6 ครั้งเท่ากัน ส่วนใหญ่เป็นกากของเสียรวมจากโรงงาน กากของเสียสารเคมี และน้ำเสีย ซึ่งปัจจุบันพบว่าสถิติการลักลอบทิ้งมีแนวโน้มลดลง ส่วนหนึ่งเกิดจากความเข้มงวดของหน่วยงานรัฐที่กำกับและดูแลโรงงานที่เป็นแหล่งกำเนิด มีการจับกุมฟ้องร้องและดำเนินคดีกับผู้ขนส่งและลักลอบทิ้งกากของเสียอย่างผิดกฎหมายอย่างจริงจัง การดำเนินการตามมาตรการในการป้องกันและแก้ไขปัญหาการลักลอบทิ้งและบริหารจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมที่เป็นอันตรายเริ่มมีการบังคับใช้และส่งผลในทางปฏิบัติ รวมทั้งการสร้างเครือข่ายประชาชนในการเฝ้าระวังและสอดส่องดูแลในพื้นที่ชุมชนที่มีความเสี่ยง ซึ่งส่งผลให้การลักลอบทิ้งกากของเสียอุตสาหกรรมกระทำได้ยากขึ้น

ตาราง 11 ชนิดและประเภทของกากของเสียและสารอันตรายที่ลักลอบทิ้ง พ.ศ. 2553-2557

ชนิดประเภทกากของเสีย/ ปี พ.ศ.	**ปี 2553 (ครั้ง)**	**ปี 2554 (ครั้ง)**	**ปี 2555 (ครั้ง)**	**ปี 2556 (ครั้ง)**	**ปี 2557 (ครั้ง)**	**รวม 5 ปี (ครั้ง)**
กากของเสียรวมจากโรงงาน	4	4	5	3	4	20
กากของเสียสารเคมี	5	9	3	1	2	20
น้ำเสีย	0	3	3	5	0	11
กากตะกอน	1	1	1	2	0	5
น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว/น้ำมันดำ	1	2	0	0	0	3
การลักลอบทิ้งรวมรายปี (ครั้ง)	11	19	12	11	6	59

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ. (2558)

6. แนวคิดการประเมินความความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน

โดยส่วนใหญ่แล้วแหล่งน้ำใต้ดินจะมีระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนแตกต่างกันออกไปและมีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ มีคุณสมบัติด้านขนาดไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่สามารถประเมินได้โดยใช้สมการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ความถูกต้องของการประเมินขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของข้อมูล ข้อมูลที่ต้องการบ่อยครั้งไม่สามารถหาได้และด้วยเหตุนี้จึงเป็นข้อจำกัดของการทำแผนที่แสดงการปนเปื้อนขนาดใหญ่ (Albinet; & Margat. 1970) โดยแนวคิดสำคัญของการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนน้ำใต้ดินจะอยู่บนพื้นฐานที่ว่า สภาพแวดล้อมทางกายภาพของพื้นที่จะเป็นตัวช่วยปกป้องแหล่งน้ำบาดาลตามธรรมชาติ ภายใต้แนวคิดที่ว่า พื้นที่บางพื้นที่จะมีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินมากกว่าพื้นที่อื่น โดยความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินเป็นความน่าจะเป็นที่สารปนเปื้อนที่ปรากฏบนผิวดินจะไหลซึมลงสู่ระบบน้ำบาดาล อย่างไรก็ดีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินเป็นการเปรียบเทียบเท่านั้น ไม่มีมิติ และไม่สามารถตรวจวัดค่าได้โดยตรง อีกทั้งยังไม่ได้พิจารณาถึงกระบวนการแพร่กระจายและการเจือจางของมลพิษเข้าไปด้วย

อัลมาสรี (Almasri.2008) กล่าวไว้ว่า มีการศึกษามากมายหลายวิธีที่ใช้ในการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนแหล่งน้ำดิน มีตั้งแต่แบบจำลองอันซับซ้อนที่ศึกษาทั้งขบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา ที่เกิดขึ้นในเขตอิ่มอากาศและในชั้นหินให้น้ำ ไปจนถึงวิธีให้น้ำหนักกับปัจจัยสำคัญที่เชื่อว่าส่งผลกระทบต่อความเปราะบางของน้ำใต้ดิน โดยการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญและวิธีทางสถิติ

โดยทั่วไปวิธีการที่ละเอียดและซับซ้อนย่อมต้องการความรู้ความเข้าใจที่ละเอียดและซับซ้อนมากด้วย วิธีที่เรียบง่ายมักใช้การประมาณค่ามากและมีความถูกต้องแม่นยำน้อยกว่า แต่ก็ต้องการรายละเอียดข้อมูลของระบบที่กำลังประเมินน้อยด้วยเช่นกัน แม้ว่าวิธีที่ซับซ้อนจะสามารถอธิบายขบวนการเคลื่อนที่ของสารมลพิษต่างๆ ได้ค่อนข้างแม่นยำ แต่บ่อยครั้งที่ข้อมูลรายละเอียดที่ต้องการไม่สามารถหามาใช้ได้ จึงต้องใช้ประมาณจากข้อมูลที่มีอยู่อย่างจำกัด

วิธีการหลักที่นิยมใช้ในการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน มี 3 วิธีด้วยกัน ดังนี้

1. Overlay and index methods เป็นวิธีที่รวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative) หรือกึ่งคุณภาพ (Semi- qualitative) นำมาจัดการ อธิบายและแปลความหมายออกมาเป็นแผนที่ วิธีนี้มุ่งนี้ไปที่การรวบรวมข้อมูลเท่าที่หามาได้และตัดสินใจ โดยผู้เชี่ยวชาญ มากกว่าที่จะสนใจขบวนการและกลไกลในการปนเปื้อนของน้ำบาดาล วิธีนี้ใช้การซ้อนทับกันของแผนที่ของปัจจัยสำคัญต่างๆ ที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อการปนเปื้อนมลพิษของน้ำใต้ดิน โดยทั่วไปแล้วผลลัพธ์จะออกมาเป็นแผนที่หนึ่งแผ่น แสดงศักยภาพของความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลสารของน้ำใต้ดิน ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยจะระบุระดับความเปราะบางเป็น ต่ำ ปานกลาง และสูง เป็นต้น ปัจจัยที่ใช้มักเป็นปัจจัยทางกายภาพซึ่งคาดว่า มีผลกระทบต่อศักยภาพของชั้นหินให้น้ำที่มีต่อการ

ปนเปื้อนของมลสาร จึงเรียกแผนที่ที่ได้ออกมานี้อีกชื่อหนึ่งว่า Intrinsic vulnerability map วิธีที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง คือวิธี DRASTIC (Aller; et al.1987)

2. Process-based simulation model เป็นวิธีสร้างแบบจำลองที่ศึกษาข้อมูลจำนวนมาก ทั้งขบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา เพื่อทำนายการมีอยู่ (fate) การเคลื่อนที่ (transport) ของมลสารในเขตอิ่มอากาศและในชั้นหินให้น้ำ แบบจำลองเหล่านี้มีความหลากหลายแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความซับซ้อน ต้องการข้อมูลที่ละเอียดซึ่งมักไม่ค่อยมีให้ใช้และเข้าถึงข้อมูลได้ค่อนข้างยาก

3. Statistical techniques for vulnerability assessment เป็นวิธีที่ใช้เครื่องมือทางสถิติมาทำการเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเปราะบางกับปัจจัยแต่ละตัวที่คาดว่ามีผลกระทบต่อความเปราะบางของน้ำใต้ดินและต้องใช้คุณภาพน้ำ (water quality) ในการเปรียบเทียบด้วยผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นความน่าจะเป็นที่มลสารที่สนใจจะมีความเข้มข้นสูง กลาง หรือต่ำในบริเวณพื้นที่ศึกษา Babiker, Mohamed, Hiyama and Kikuo Kato (2005) กล่าวว่า ข้อจำกัดของวิธีนี้อาจเกิดจากการมีข้อมูลของคุณภาพน้ำใต้ดินไม่เพียงพอ ความแม่นยำของข้อมูลและการเลือกใช้ข้อมูล

7. การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินด้วยแบบจำลองดราสติก (DRASTIC)

แบบจำลองดราสติก (DRASTIC) เป็นวิธีการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดินที่เสนอโดย Aller; et al. (1987) ได้รับการพัฒนาโดยสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) ภายใต้โครงการพัฒนาแบบจำลองสำหรับประเมินศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน เพื่อสร้างแบบจำลองประเมินศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินในรูปแบบของระบบการสร้างมาตรฐาน (standardized system) ที่ง่ายต่อการนำไปใช้และตีความสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในทุกสภาพอุทกธรณีวิทยา เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป โดยไม่จำเป็นต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญทางอุทกธรณีวิทยาหรือการปนเปื้อนของน้ำบาดาล และข้อมูลที่ใช้ในการประเมินสามารถรวบรวมได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง หรือ บางส่วนอาจใช้วิธีการประมาณค่าจากผลการศึกษาในอดีต ซึ่งผลการประเมินศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินที่ได้ จะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวางแผน บริหารจัดการการป้องกัน และติดตามการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เป็นแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อน ให้สัมพันธ์กับศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน แบบจำลองดราสติกนี้ ได้รับความนิยมมากในการประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินและถือเป็นแบบจำลองพื้นฐานในการประเมินศักยภาพการเกิดมลพิษของน้ำใต้ดิน (Aller; et al.1987) โดยเป็นวิธีการที่ได้ออกแบบเพื่อใช้กับปัจจัยทางอุทกธรณีวิทยาเท่านั้น และสภาพในพื้นที่ต้องมีสภาพดังต่อไปนี้

1. มีแหล่งมลพิษอยู่บนผิวดิน
2. ฝนเป็นกลไกหลักที่ทำให้มลพิษนั้นไหลไป

3. มลพิษเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วของน้ำใต้ดิน

4. ต้องประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 เอเคอร์หรือ 0.4 ตารางกิโลเมตร

โดยชื่อ DRASTIC มาจากการนำอักษรตัวหน้าในภาษาอังกฤษของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการประเมิน มารวมกันเพื่อให้ง่ายต่อการเรียกและการอ้างอิง ประกอบด้วย 7 ปัจจัย (Aller; et al. 1987) ดังนี้ ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (depth to water) อัตราการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (net recharge) ตัวกลางของชั้นหินให้น้ำ (aquifer media) ลักษณะของชั้นดินปิดทับ (soil media) ความลาดชันของภูมิประเทศ (topography [slope]) สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (Impact of vadose zone) และสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำ (conductivity hydraulic of the aquifer)

DRASTIC ถือเป็นวิธีทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) ชนิดหนึ่งในรูปแบบของแบบจำลองดัชนี (index model) เนื่องจากต้องอาศัยระบบ สารสนเทศภูมิศาสตร์ในการการรวบรวม จัดเก็บ ปรับปรุง วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูล โดยข้อมูลปัจจัยสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ที่ใช้ใน DRASTIC ทั้งหมดจะถูกแปลงให้เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ (geospatial data) ทั้งในส่วนของข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) และข้อมูลลักษณะประจำ (attribute) แล้วนำข้อมูลลักษณะประจำของแต่ละปัจจัยมาคำนวณ เพื่อหาค่าดัชนีในรูปแบบของระบบการจัดลำดับตัวเลข (numerical ranking system) โดยมีองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน (Aller; et al. 1987) ประกอบด้วย ค่าถ่วงน้ำหนัก (weights) ช่วงค่า (ranges) และค่าคะแนน (rating)

ค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) เป็นค่าที่บอกถึงความสำคัญของแต่ละปัจจัยต่อศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 5 โดยปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดจะมีค่าเท่ากับ 5 และความสำคัญน้อยสุดเท่ากับ 1 ในแบบจำลอง DRASTIC ได้มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักไว้ 2 ชุดตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เป็นต้นกำเนิดของสารปนเปื้อนในพื้นที่ประกอบด้วยชุดที่ใช้กับพื้นที่ทั่วๆ ไป

ช่วงค่า (ranges) ในแต่ละปัจจัยจะถูกนำมาทำการจำแนกข้อมูลใหม่ (reclassify) โดยการแบ่งช่วง หรือจัดกลุ่มตามศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินในปัจจัยนั้นๆ ค่าคะแนน (rating) เป็นคะแนนที่ให้ในแต่ละช่วงหรือกลุ่มข้อมูลที่ถูกจัดขึ้นมาใหม่ ตามระดับศักยภาพต่อการปนเปื้อนของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งมีค่าระหว่าง 1 ถึง 10 โดยปัจจัยความลึกของระดับน้ำบาดาล อัตราการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ ตัวกลางของดิน ภูมิประเทศ และสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำจะมีการกำหนดค่าคะแนนหนึ่งค่าในแต่ละช่วงหรือกลุ่มข้อมูล ส่วนปัจจัยตัวกลางของชั้นหินให้น้ำและเขตอิ่มอากาศ จะกำหนดแบบช่วงค่าคะแนนในแต่ละกลุ่มข้อมูล ซึ่งการนำไปใช้ ผู้ใช้จะต้องระบุค่าคะแนนเองจากช่วงค่าที่กำหนดไว้ โดยพิจารณาจากอิทธิพลของปัจจัยนั้นๆ ว่ามีผลต่อศักยภาพการปนเปื้อนมากน้อยเพียงใดในแต่ละพื้นที่

การคำนวณของแบบจำลอง DRASTIC เป็น การคำนวณเพื่อหาค่าดัชนี (index) เชิงพื้นที่ที่บ่งชี้ศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล โดยคำนวณจากผลรวมของผลคูณระหว่างค่าถ่วงน้ำหนัก (W) และ ค่าคะแนน (R) ของแต่ละปัจจัย ดังแสดงในสมการ (Aller; et al. 1987)

DRASTIC index = $D_RD_W+R_RR_W+A_RA_W+S_RS_W+T_RT_W+I_RI_W+C_RC_W$

โดยที่ D = ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (Depth to water table)

R = อัตราการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Net recharge)

A = ตัวกลางของชั้นหินให้น้ำ (Aquifer media)

S = ลักษณะของชั้นดินปิดทับ (Soil media)

T = ความลาดชันของภูมิประเทศ (Topography (slope))

I = สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (Impact of vadose zone)

C = สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านได้ของชั้นหินให้น้ำ (Hydraulic conductivity of the aquifer)

R คือ ค่าที่ได้จากการแบ่งช่วงของแต่ละปัจจัยต่างๆ (Rating)

W คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัย (Weighting)

DRASTIC ได้กำหนดให้มีค่าถ่วงน้ำหนักอยู่ในช่วงจาก 1 ถึง 5 (ตารางที่ 12) โดยให้ปัจจัยที่มีความสำคัญจากน้อยที่สุดไปมากที่สุดมีค่าเป็น 1 ถึง 5 ตามลำดับและได้จัดช่วงค่าโดยแต่ละช่วงได้ประเมินและกำหนดค่าตัวเลข ซึ่งค่าตัวเลขนั้นจะมีค่าจาก 1 ถึง 10 วิธีนี้ ประเมินจากปัจจัยทางกายภาพเท่านั้น มีสมติฐานว่าแหล่งของมลพิษเกิดขึ้นเฉพาะผิวดินและซึมผ่านลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

ค่าดัชนีที่ได้จากการคำนวณ จะถูกนำมาจำแนกโดยการแบ่งค่าดัชนีเป็นช่วงค่าต่างๆ เพื่อจำแนกระดับศักยภาพต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินโดยพื้นที่ที่มีค่าดัชนีสูงจะเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพความเปราะบางของการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินสูง แหล่งน้ำใต้ดินบริเวณนั้นจึงมีโอกาสที่จะเกิดการปนเปื้อนได้ง่าย ดังนั้นค่าดัชนีที่ได้จึงไม่ใช่ค่าศักยภาพการปนเปื้อนแหล่งน้ำใต้ดินของพื้นที่โดยตรง แต่เป็นค่าที่ใช้จำแนกศักยภาพของพื้นที่ต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินในเชิงเปรียบเทียบเท่านั้น

ตาราง 12 การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยในแบบจำลองดราสติก

ปัจจัยกำหนดทางอุทกธรณีวิทยา	ค่าถ่วงน้ำหนัก
Depth to water table (D)	5
Net Recharge (R)	4
Aquifer media (A)	3
Soil media (S)	2
Topography (T)	1

ตาราง 12 (ต่อ)

ปัจจัยกำหนดทางอุทกธรณีวิทยา	ค่าถ่วงน้ำหนัก
Impact of vadose zone media (I)	5
hydraulic Conductivity (C)	3

ที่มา: Aller; et al. (1987)

การประเมินความเปราะบางต่อมลภาวะของชั้นน้ำใต้ดินจะใช้เทคนิคทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) มาใช้ในการประมวลผลข้อมูลทั้งหมดเพื่อแสดงลงในแผนที่ความเปราะบางต่อมลภาวะของชั้นน้ำบาดาล โดยการแปลงข้อมูลให้เป็น Raster และการสร้างกริด (grid) ใส่ค่าแต่ละปัจจัยกำหนดเข้าไปในแต่ละกริดเซลล์ เมื่อทำการซ้อนทับข้อมูลและแผนที่ (mathematic overlay) ที่มีค่าแต่ละปัจจัยกำหนดเข้าด้วยกันทั้งหมด ทุกปัจจัยกำหนดในกริดเซลล์เดียวกันจะถูกนำมาคำนวณตามสมการข้างต้นเพื่อให้ได้ค่าดัชนี DRASTIC ของแต่ละกริดเซลล์ หลังจากนั้นแบ่งช่วงค่าดัชนี DRASTIC ของทั้งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 5 ช่วงตามลำดับความเปราะบางต่อมลภาวะของชั้นน้ำใต้ดิน ความเกี่ยวข้องของแต่ละปัจจัยกับศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน รูปแบบความเกี่ยวข้องของปัจจัยในแบบจำลอง DRASTIC กับศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน สามารถจำแนกได้ 3 รูปแบบ คือ

1. เวลาเดินทาง (travel time) เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระยะเวลาในการไหลซึมลงไปปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดินของมลสาร ประกอบด้วย ความลึกของระดับน้ำบาดาล ตัวกลางของดิน เขตอิ่มอากาศ อัตราการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน

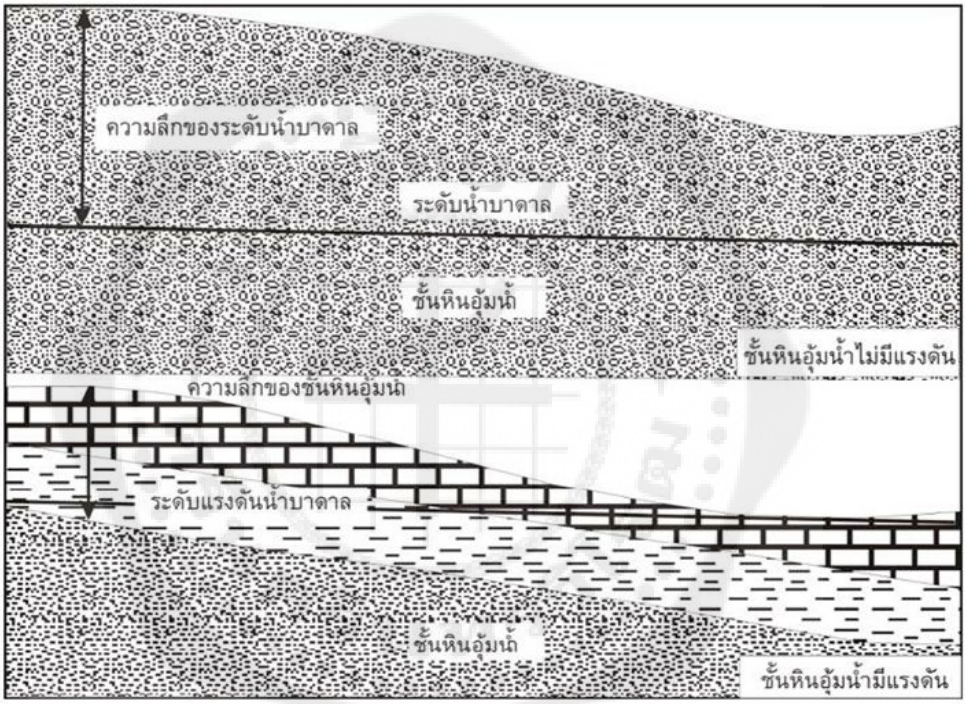
2. ฟลักซ์ (flux) เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถ ในการแพร่กระจายภายในชั้นหินให้น้ำของสารปนเปื้อน ประกอบด้วย ตัวกลางของชั้นหินให้น้ำ สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำ

3. ความเข้มข้น (concentration) เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณความเข้มข้นของสารปนเปื้อน ประกอบด้วย ความลึกของระดับน้ำบาดาล อัตราการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ ตัวกลางของชั้นหินให้น้ำ ตัวกลางของดิน ภูมิประเทศ เขตอิ่มอากาศ สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำ โดย Aller; et al. (1987) ได้กำหนดให้แต่ละปัจจัยจะมีความเกี่ยวข้องกับศักยภาพการปนเปื้อน

ปัจจัยกำหนดทางอุทกธรณีวิทยามี 7 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

1. Depth to water table: D ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล เป็นปัจจัยตัวแรกที่มีอิทธิพลต่อศักยภาพการเกิดการปนเปื้อนในน้ำบาดาล โดยทั่วไปแล้วระดับน้ำใต้ดินที่อยู่ตื้น มีโอกาสที่สารปนเปื้อนจะมาถึงระดับน้ำบาดาลมากกว่าระดับน้ำใต้ดินที่อยู่ลึกกว่า โอกาสที่จะเกิดการเจือจางของ

สารปนเปื้อนก็มีมากกว่า ระดับน้ำใต้ดินยิ่งลึกลงไปมากขึ้นเท่าไร ก็จะยิ่งต้องใช้เวลาเดินทางมากขึ้นเท่านั้น กว่าจะมาถึงชั้นหินให้น้ำตามสภาพธรรมชาติ ชั้นหินให้น้ำที่มีแรงดันจะมีความสามารถในการป้องกันตัวเองจากสารปนเปื้อนมากกว่าชั้นหินให้น้ำแบบไร้แรงดัน ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดการปนเปื้อนน้อย DRASTIC สามารถใช้ประเมินในชั้นหินให้น้ำได้ทั้งสองแบบ สำหรับชั้นหินให้น้ำแบบไร้แรงดัน ความลึกของน้ำจะเป็นความลึกจากผิวดินลงไปถึงระดับน้ำใต้ดิน ความลึกของระดับน้ำใต้ดินในชั้นหินให้น้ำแบบมีแรงดันจะวัดเป็นความลึกถึงด้านบนของชั้นหินให้น้ำ ดังนั้นบริเวณที่มีความลึกน้อยระดับคะแนนจะมาก บริเวณที่มีความลึกมากระดับคะแนนจะน้อย (Almarsi. 2008; Babiker; et al. 2005)



ภาพประกอบ 11 ชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดันและไม่มีแรงดัน (Aller; et al. 1987)

ตาราง 13 ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดิน

ช่วงค่า (ฟุต)	ค่าคะแนน
0-5	10
5-15	9
15-30	7
30-50	5

ตาราง 13 (ต่อ)

ช่วงค่า (ฟุต)	ค่าคะแนน
50-75	3
75-100	2
>100	1

ที่มา: Aller; et al. (1987)

2. Net recharge: R อัตราการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ปริมาณการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล แสดงถึงปริมาณน้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายและนำมลสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยทั่วไปแล้วถ้าปริมาณการซึม (Recharge) มาก โอกาสในการเกิดมลภาวะในน้ำก็จะมากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นบริเวณที่มีการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลมากจะมีคะแนนมากกว่าบริเวณที่มีการซึมน้อย ปริมาณของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ เป็นปริมาณน้ำที่ไหลจากผิวดินลงไปยังระดับน้ำใต้ดินซึ่งน้ำที่เกิดจากการเพิ่มเติมน้ำนี้สามารถนำเอาสารปนเปื้อนลงมาในแนวดิ่งลงมายังระดับน้ำใต้ดินและชั้นหินให้น้ำนอกจากนั้นยังควบคุมปริมาณน้ำ ที่จะมาละลายและเจือจางสารปนเปื้อนในชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ และชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำอัตราการเพิ่มเติมมากจะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน อัตราการเพิ่มเติมน้ำสุทธิทั้งหมดกำหนดให้เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดซึ่งเป็นน้ำจากผิวดินและไหลลงไปถึงชั้นหินให้น้ำ

ดังนั้นการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินไม่ได้เป็นไปตามสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ แต่ขึ้นอยู่กับลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่นั้นๆ และยังขึ้นอยู่กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา-อุทกธรณีวิทยา รอยแตกของหิน ลักษณะการใช้พื้นที่ เช่น พื้นที่เมืองจะมีอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลต่ำ เนื่องจากพื้นที่ถูกปิดทับด้วยอาคารหรือถนน พื้นที่เกษตรกรรมจะมีพืชพรรณปิดทับ พื้นที่แห้งแล้ง ไม่มีต้นไม้จะมีอัตราการซึมของน้ำสูง เป็นต้น ดังนั้นในการประเมินหาค่าการซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล จึงนิยมหาจากสมการ (Babiker; et al. 2005)

Net recharge = (Rainfall - Evapotranspiration) x Recharge Rate

เมื่อ Rainfall คือ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีของพื้นที่ศึกษา

Evapotranspiration คือ ปริมาณการระเหยทั้งหมดเฉลี่ยรายปีของพื้นที่ศึกษา

ตาราง 14 ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยอัตราการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

ช่วงค่า (นิ้ว)	ค่าคะแนน
0-2	1
2-4	3
4-7	6
7-10	8
>10	9

ที่มา: Aller; et al. (1987)

Recharge Rate มักอาศัยคุณสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นดิน-หินที่ปิดทับอยู่เหนือชั้นหินให้น้ำมากำหนดเป็นร้อยละ เช่น ชั้นกรวดยอมให้น้ำซึมผ่านได้ร้อยละ 20 ชั้นดินเหนียวยอมให้น้ำซึมผ่านได้ร้อยละ 3 เป็นต้น

3. Aquifer media: A ลักษณะของชั้นหินให้น้ำ พิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นหินให้น้ำว่าเป็นตะกอนร่วนหรือแข็ง (Unconsolidated or consolidated rock) หินแข็งที่รอยแตกหรือรอยเลื่อนมากหรือมีขนาดใหญ่ จะทำให้ความสามารถในการซึมผ่านได้ของชั้นน้ำใต้ดินดีนั่นคือ มีความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดินมากขึ้นด้วย ส่วนชั้นหินให้น้ำที่เป็นตะกอนร่วน อัตราการซึมผ่านของน้ำจะขึ้นอยู่กับการเรียงตัวของเม็ดตะกอนที่ประกอบเป็นชั้นน้ำ ค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชั้นหินให้น้ำระบุไว้ในตารางที่ 15 นอกจากนั้นยังพิจารณาค่าความนำทางชลศาสตร์ (Hydraulic Conductivity, C) ประกอบด้วย ลักษณะของชั้นหินให้น้ำจะเป็นตัวกำหนดอัตราการไหลของน้ำบาดาล การแพร่กระจายของมลสารในชั้นหินให้น้ำนั้น ซึ่งคุณสมบัติของชั้นหินให้น้ำนั้นเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ เพราะจะสัมพันธ์กับค่าความนำทางชลศาสตร์โดยตรง โดยเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถของน้ำบาดาลหรือมลสารที่จะเคลื่อนที่ได้ในตัวกลางนั้นๆ

ตาราง 15 ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชั้นหินให้น้ำ

กลุ่ม	ค่าคะแนน	ค่าคะแนนแนะนำ
Massive Shale	1-3	2
Metamorphic/Igneous	2-5	3
Weathered Metamorphic/Igneous	3-5	4
Glacial Till	4-6	5

ตาราง 15 (ต่อ)

กลุ่ม	ค่าคะแนน	ค่าคะแนนแนะนำ
Bedded Sandstone, Limestone and Shale Sequences	5-9	6
Massive Sandstone	4-9	6
Massive Limestone	4-9	6
Sand and Gravel	4-9	8
Basalt	2-10	9
Karst Limestone	9-1	10

ที่มา: Aller; et al. (1987)

4. Soil media: S ลักษณะของชั้นดินปิดทับ คือ ส่วนที่อยู่ด้านบนสุดของชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยยังมีกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตอยู่สารปนเปื้อนจะมีการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งจากผิวดินไปยังชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำโดยผ่านตัวกลางที่เป็นดินเสียก่อน ดังนั้นชนิดดินลักษณะของดิน จะมีอิทธิพลต่อศักยภาพการเกิดการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินแตกต่างกัน วัตถุที่เนื้อละเอียด เช่นทรายแป้ง และดินเหนียว สามารถลดการเคลื่อนที่สารปนเปื้อนได้ ความหนาของชั้นดินก็มีผลต่อขบวนการเจือจางเช่น การไหลซึมลง การสลายตัวโดยสิ่งมีชีวิต การดูดซับ และการระเหย (Aller; et al. 1987) โดยเฉลี่ยดินมีความลึกไม่เกิน 1.8 เมตร จากผิวดิน อ้างอิงจาก Osborn, N.I., Eckenstein, E. และ Koon, K.Q.(1998) ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยดินระบุไว้ในตารางที่ 16 ดินมีผลต่อปริมาณน้ำที่สามารถซึมผ่านลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินอย่างมาก โดยทั่วไปแล้วดินมีความสามารถในการหดตัวหรือพองตัวน้อยกว่าและมีอนุภาคดินเล็กกว่ามลสารจะผ่านชั้นดินนั้นลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินได้ยากกว่าดินที่มีความสามารถในการหดตัวหรือพองตัวมากกว่าและมีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า

ตาราง 16 ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยดิน

กลุ่ม	ค่าคะแนน
Thin or Absent	10
Gravel	10
Sand	9
Peat	8
Shrinking and/or Aggregated Clay	7

ตาราง 16 (ต่อ)

กลุ่ม	ค่าคะแนน
Sandy Loam	6
Loam	5
Silty Loam	4
Clay Loam	3
Muck	2
Nonshrink and Nonaggregate Clay	1

ที่มา: Aller; et al., (1987)

5. Topography: T ความลาดชันของภูมิประเทศ ข้อมูลภูมิประเทศจะแสดงถึงความชัน (Slope) ของพื้นที่ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีต่อความเป็นไปได้ที่มลสารจะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน หากพื้นที่มีความลาดชันน้อย น้ำท่า (Runoff) ที่ไหลผ่านจะไหลช้า โอกาสที่มลสารจะซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินมีน้อยลง ดังนั้นบริเวณที่มีความลาดชันน้อยจะมีค่าคะแนนสูง ส่วนบริเวณที่มีความลาดชันมากจะมีค่าคะแนนต่ำ (Foster; & Baban. 2003)

ตาราง 17 ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยสภาพความลาดชันภูมิประเทศ

ช่วงค่า (%)	ค่าคะแนน
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

ที่มา: Aller; et al. (1987)

6. Impact of vadose zone media: I สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล คือ ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำเหนือระดับน้ำบาดาล ชนิดของตัวกลางในชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำนั้นจะตรวจวัดลักษณะการเจือจางของทั้งวัสดุดินและหินเหนือระดับน้ำบาดาล ตัวกลางจะเป็นตัวควบคุมระยะทาง

และเส้นทางการไหล ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำในที่นี้จะวัดว่าสารปนเปื้อนจะใช้เวลาเท่าไร จึงจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นนี้ สำหรับเส้นทางการไหลนั้นรอยแตกจะมีอิทธิพลมาก ช่วงค่าและค่าตัวเลขที่ใส่ในชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Aller; et al. 1987) หากตัวกลางยอมให้น้ำซึมผ่านได้มาก น้ำและสารปนเปื้อนจะมีโอกาสสูงลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้มาก คะแนนจึงมากตามไปด้วย หากตัวกลางยอมให้น้ำซึมผ่านได้น้อย โอกาสที่สารปนเปื้อนจะลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ก็มีน้อย คะแนนจึงน้อยด้วย(อ้างอิงจาก Almarsi. 2008)

ความสำคัญของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาลมีผลต่อการกระจายของการปนเปื้อนอย่างชัดเจน ทั้งนี้การที่สารปนเปื้อนลงไปสู่ชั้นน้ำใต้ดินในปริมาณเท่าไดหรือในทิศทางใดนั้นควบคุมโดยลักษณะของชั้นดินชั้นหินที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาลเป็นสำคัญ ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าความเปราะบาง จำเป็นต้องมีการพิจารณาให้ความสำคัญกับส่วนประกอบของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาลโดยละเอียด บริเวณที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (Vadose zone) คือ บริเวณที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาลทั้งหมด อาจเป็นบริเวณที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำหรือมีความอิ่มตัวอยู่บ้างแต่ไม่ต่อเนื่องกัน ตัวกลางของ Vadose zone นั้นคือ ตะกอนกรวดทรายและเศษหินทุกชนิดที่อยู่ใต้ชั้นดินและอยู่เหนือระดับน้ำบาดาลขึ้นไป

ชนิดของตัวกลางของ Vadose zone นั้น เป็นดัชนีบ่งชี้ความสามารถในการลดความรุนแรงของสารปนเปื้อนที่กระจายสู่ชั้นน้ำบาดาล กระบวนการลดความรุนแรงอาจเกิดขึ้นภายในบริเวณ Vadose Zone นี้คล้ายกับที่เกิดขึ้นในชั้นดินปิดทับ (S) เช่น การดูดซึม การแลกเปลี่ยนไอออนออกซิเดชั่น และการย่อยสลาย เป็นต้น สำหรับตัวแปรอิทธิพลของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (I) นั้นสามารถจำแนกได้ตามลักษณะทางธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยาของบริเวณที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล โดยเริ่มต้นด้วยการประเมินและรวบรวมชนิดของตัวกลางทางธรณีของ Vadose Zone ในพื้นที่

กระบวนการลดความรุนแรงอาจเกิดขึ้นภายในบริเวณ Vadose zone นี้ ได้แก่

1. การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)
2. กระบวนการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของสารปนเปื้อนให้เข้าสู่สมดุล
3. การกรอง (Mechanical Filtration)
4. ปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Reaction)
5. การระเหย และการแพร่ของมลสาร (Volatization and Dispersion) ทั้งนี้ความรุนแรงทางชีวภาพและการระเหยนั้นจะลดลงเมื่อความลึกของ Vadose Zone เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ตัวกลางของ Vadose Zone ยังเป็นตัวควบคุมระยะและทิศทางการเคลื่อนที่ของมลสารทั้งยังส่งผลกระทบโดยตรงต่อระยะเวลาและปริมาณของมลสารที่คงค้างอยู่ในตัวกลาง อันเป็นตัวแปรสำคัญที่ควบคุมประสิทธิภาพของการลดสารปนเปื้อนทางชีวภาพทิศทางในการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในเบื้องต้นนั้น ถูกกำหนดโดยปัจจัยกายภาพที่สำคัญใน Vadose zone เช่น รอยแตกและรอยแยกที่ปรากฏในตัวกลาง Vadose Zone หรือชั้นดินเหนียวหรือหินเนื้อแน่นที่มีค่าการซึมผ่านได้ต่ำ (Impermeable layer) มาแทรกสลับอยู่รวมทั้งต้องคำนึงปัจจัยภายนอกที่เข้ามา

เปลี่ยนแปลงและมีผลต่อตัวกลาง Vadose Zone เช่น การตอกเสาเข็ม การหล่อฐานราก ฯลฯ ที่อาจส่งผลกระทบต่อทิศทางการแพร่กระจาย

ตาราง 18 ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำหรือตัวกลางของเขตอิ่มอากาศ

กลุ่ม	ค่าคะแนน	ค่าคะแนนแนะนำ
Confining Layer	1	1
Silt/Clay	2-6	3
Shale	2-5	3
Limestone	2-7	6
Sandstone	4-8	6
Bedded Limestone, Sandstone, Shale	4-8	6
Sand and Gravel with significant Silt and Clay	4-8	6
Metamorphic/Igneous	2-8	4
Sand and Gravel	6-9	8
Basalt	2-10	9
Karst Limestone	8-10	10

ที่มา: Aller; et al., (1987)

7. Hydraulic Conductivity: C คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำ เป็นความสามารถของน้ำที่เดินทางผ่านชั้นหินให้น้ำ ซึ่งควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่จะไหลเข้าสู่ชั้นหินให้น้ำ ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านถูกควบคุมโดยจำนวนและการเชื่อมต่อของช่องว่างภายในชั้นหินให้น้ำ (Aller; et al. 1987) อัตราการไหลของน้ำบาดาลส่งผลโดยตรงกับการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนให้กระจายออกไปเร็วหรือช้าจากกจุดที่มลสารนั้นเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล เมื่อชั้นน้ำบาดาลปนเปื้อนด้วยมลสาร การแพร่กระจายไปได้เร็วหรือช้าจึงเป็นไปตามค่าสภาพนำทางชลศาสตร์ ถ้ามีค่ามากมลสารจะแพร่กระจายไปได้เร็ว แสดงถึงความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาล (Wang, He; & Chen. 2012)

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ (C) แสดงถึงความสามารถในการยอมให้น้ำไหลซึมผ่านวัสดุชั้นน้ำในแนวราบ (Horizontal hydraulic conductivity) ซึ่งความสามารถนี้เป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของน้ำบาดาลภายใต้ความแตกต่างของแรงดันน้ำ อัตราการไหลของน้ำบาดาลส่งผลโดยตรงกับอัตราการเคลื่อนที่ของมลสารให้กระจายออกไปเร็วหรือช้าจากจุดที่มลสารนั้นไหลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล เมื่อชั้นน้ำบาดาลปนเปื้อนด้วยมลสาร มลสารจะแพร่กระจายไปได้เร็วหรือช้าจึงขึ้นอยู่

กับค่าสภาพนำทางชลศาสตร์ดังกล่าว ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำมีค่ามาก มลสารก็แพร่กระจายไปได้เร็ว ซึ่งแสดงถึงความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดินต่อการปนเปื้อนของมลสารนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ ขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญทางธรณีวิทยากายภาพ คือ ปริมาณของช่องว่างภายในชั้นหินให้น้ำและความต่อเนื่องของช่องว่างเหล่านั้น ช่องว่างในหินให้น้ำเหล่านี้ คือรูพรุนและขนาดของเม็ดตะกอนในชั้นน้ำบาดาล ซึ่งสามารถประเมินค่าได้ในรูปของความพรุน (Porosity) โดยน้ำสามารถเคลื่อนที่ไประหว่างเม็ดแร่ในหิน หรือรอยแตกหรือรอยแยกหรือรอยต่อระหว่างระนาบชั้นหิน

ดังนั้นบริเวณที่มีค่าความนำทางชลศาสตร์สูงจะมีคะแนนสูง และบริเวณที่มีค่าความนำทางชลศาสตร์ต่ำจะมีคะแนนต่ำไปด้วย ค่าการนำทางชลศาสตร์นั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญทางธรณีวิทยากายภาพ คือ ปริมาณของช่องว่างภายในชั้นหินให้น้ำ และความต่อเนื่องของช่องว่างเหล่านั้น ช่องว่างในหินให้น้ำเหล่านี้ คือ รูพรุนระหว่างเม็ดแร่ในหิน รอยแตก รอยแยก ในหิน ค่าการนำทางชลศาสตร์คำนวณได้จากค่าการใช้น้ำจำเพาะ (Specific yield) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการสูบทดสอบ (Pumping test) ของชั้นหินให้น้ำในภาคสนาม หรือหากหาข้อมูลการสูบทดสอบของบ่อไม่ได้ ค่าสัมประสิทธ์การซึมผ่านได้ สามารถประเมินคร่าวๆ จากสัดส่วนค่าปริมาณการให้น้ำ (Yield) ของบ่อและการลดลงของระดับน้ำ (Drawdown) ซึ่งก็คือค่า Specific capacity นั้นเอง (ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงค์. 2546)

Driscoll (1986) ได้ทำการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity, T) จากข้อมูลทั่วไปที่ได้จากการสูบทดสอบ โดยใช้สมการของ Cooper-Jacob (1946) ดังสมการ

$$K = \frac{T}{b}$$

โดย K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของ หน่วยเมตรต่อวัน
T คือ สัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ หน่วยตารางเมตรต่อวัน
b คือ ความยาวของท่อกรอง (Well Screen Length) หน่วยเมตร

ตาราง 19 ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำ

ช่วงค่า (แกลลอน/วัน/ฟุต)	ค่าคะแนน
1-100	1
100-300	2
300-700	4
700-1000	6

ตาราง 19 (ต่อ)

ช่วงค่า (แกลลอน/วัน/ฟุต)	ค่าคะแนน
1000-2000	8
> 2000	10

ที่มา: Aller; et al. (1987)

ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Dissolve Solids: TDS)

สารหรือของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved solid; TDS) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเป็นเครื่องชี้ถึงความอุดมสมบูรณ์ของน้ำ ของแข็งที่ละลายน้ำคือส่วนที่เหลืออยู่หลังการระเหย น้ำที่ได้ผ่านการกรองโดย miilipore filter ปริมาณ TDS ยังขึ้นกับค่าความนำไฟฟ้า ค่านี้จะบอกถึงความสามารถที่น้ำตัวอย่างจะนำไฟฟ้าได้มากหรือน้อย ขึ้นกับความเข้มข้นของสารที่แตกตัวเป็นประจุไฟฟ้า (Ionized) ในน้ำ พวกอนินทรีย์สารที่ละลายอยู่ในน้ำมักจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุไฟฟ้า ทำให้เกิดการนำไฟฟ้าขึ้น การวัดการนำไฟฟ้าถือได้ว่าเป็นวิธีการประมาณค่าสารต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำได้ใกล้เคียงความจริงมาก

ปริมาณ TDS (หน่วย mg/l) = ค่าคงที่ x ค่าความนำไฟฟ้า

ค่าคงที่ = 0.55-0.80

ปริมาณสารทั้งหมดที่ตรวจวัดในห้องปฏิบัติการ ได้ค่ามาจากการระเหยน้ำไปจนหมด (กิจการ พรหมา. 2555)

ค่ามาตรฐาน ของ TDS ค่าสูงสุดของสิ่งเจือปนในน้ำ หรือ ค่า TDS ไม่ควรเกิน 500 mg/L หรือ 500 ppm ซึ่งโดยส่วนใหญ่ในระบบน้ำจะมีค่า TDS เกิน 500 mg/L แต่หากค่า TDS เกิน 1000 mg/L จะเป็นน้ำที่ไม่เหมาะสำหรับใช้ในชีวิตประจำวัน เพราะค่าTDS ที่สูง จะบ่งบอกถึงความเป็นไปได้ของสิ่งเจือปนที่อันตรายและต้องมีการตรวจสอบเพิ่มเติมโดยส่วนใหญ่ ค่าTDS สูงจะเกิดจากน้ำมีส่วนผสมของโปตัสเซียม, คลอไรด์ และโซเดียม ซึ่งหากมีอยู่ไม่มากก็จะไม่มีผลในระยะสั้น แต่ค่า TDS ที่สูงก็อาจมีสารพิษ เช่น ตะกั่ว ไนเตรท แคดเมียม ละลายอยู่ซึ่งสารดังกล่าวอาจแสดงผลกระทบในระยะสั้น

ไนเตรทในน้ำบาดาล

โดยปกติในน้ำบาดาลไม่ควรมีปริมาณไนเตรทสูง ถ้ามีก็พบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หากพบในปริมาณที่มากเกินมาตรฐาน แสดงว่ามีสิ่งสกปรก เช่น ปุ๋ย ซากหรือปฏิกูลของสิ่งมีชีวิตจากภายนอกเข้าไปปะปน น้ำที่มีปริมาณไนเตรทสูงห้ามใช้บริโภค เพราะจะเป็นโทษต่อร่างกาย

โดยเฉพาะในเด็กจะทำให้เป็น Cyanosis หรือโรค Blue baby syndrome มีอาการซึมเศร้า ตามผิวหนังมีสีคล้ำเป็นจ้ำ โรคนี้ไม่เกิดกับผู้ใหญ่ นอกจากนี้ปริมารไนเตรทสูงอาจมีผลทำให้เซลล์ในร่างกายสามารถเปลี่ยนไปเป็นเซลล์มะเร็งได้ เพราะในกระเพาะอาหารไนเตรทจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นไนไตรท์และเปลี่ยนอยู่ในรูปสารประกอบ N-Nitroso ได้ ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า N-Nitroso เป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) ในสัตว์จำพวกหนู ดังนั้นการดื่มน้ำที่มีปริมาณไนเตรทสูงๆ อาจมีความสัมพันธ์กับการเกิดมะเร็งในกระเพาะอาหารได้ (วิภา มีศิลป์. 2539)

การนำค่าปริมาณไนเตรทที่ตรวจวัดจากบ่อน้ำบาดาลมาหาความสัมพันธ์กับแผนที่แสดงความเปราะบาง เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการตรวจสอบความแม่นยำของแผนที่แสดงความเปราะบางโดยสมมติฐานว่าพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูง ควรจะมีปริมาณไนเตรทสูงตามไปด้วยและพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่ำก็ควรมีปริมาณไนเตรทต่ำ (จิระเดช มาจันแดง. 2556) มักนิยมใช้กับพื้นที่ศึกษาที่มีเกษตรกรรมร่วมอยู่ด้วย เนื่องจากปุ๋ยและสารเคมีที่ใช้ในกิจกรรมเหล่านี้มีส่วนประกอบของไนเตรทสูง (Almasri. 2008) การวัดค่าปริมาณไนเตรทสามารถวัดได้ทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ

ประโยชน์ของแผนที่แสดงความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน

1. สามารถให้ข้อมูลในระดับภูมิภาค (regional scale) เป็นข้อมูลเบื้องต้นว่า พื้นที่บริเวณใดมีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษมากหรือน้อยกว่าบริเวณอื่น จึงเป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนการใช้ทรัพยากรน้ำบาดาลหรือพัฒนาน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ศึกษา
2. ช่วยผู้มีอำนาจในการตัดสินใจ ในการเลือกพื้นที่ตั้งโครงการพัฒนาต่างๆที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำบาดาล เช่นบ่อฝังกลบขยะ โรงบำบัดน้ำเสีย สถานีบริการน้ำมัน หรือโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นต้น
3. การติดตามตรวจสอบพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของน้ำบาดาล ปกติแล้วทำได้ยาก โดยทั่วไปจะใช้วิธีเจาะหลุม ก่อสร้างบ่อสังเกตการณ์ให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา แล้วนำน้ำบาดาลไปตรวจสอบ ซึ่งเสียเวลาและค่าใช่จ่ายสูงมาก แผนที่แสดงความเปราะบางต่อการปนเปื้อนน้ำใต้ดินจะช่วยให้ทราบว่าบริเวณใดควรมีการติดตาม ตรวจสอบอย่างใกล้ชิด บริเวณใดก่อสร้างบ่อสังเกตการณ์ไม่มากนัก ก็เพียงพอ ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายไปได้มาก
4. สามารถช่วยในการกำหนดนโยบายการใช้สารเคมีต่างๆ ในพื้นที่ เช่น พื้นที่เกษตรกรรมที่อยู่บริเวณที่มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนสูง อาจถูกจำกัดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีหรือสารเคมีต่างๆ หรือประกาศห้ามใช้สารเคมีบางชนิด (Almasri. 2008)

8. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS)

8.1 ความหมายของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) คือ ระบบสารสนเทศที่มีการจัดเก็บข้อมูล การปรับปรุง การวิเคราะห์และแสดงผลทางภูมิศาสตร์ โดยการใช้เครื่องมือต่างๆ ที่เหมาะสมซึ่งใน

ปัจจุบันเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ คอมพิวเตอร์ โดยเชื่อมโยงข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) และข้อมูลที่ไม่อยู่เชิงพื้นที่ (non-spatial data) เข้าด้วยกันและสามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนมากและมีความซ้ำซ้อน เพื่อตอบคำถามต่างๆ หรือหรือจำลองสถานการณ์ และใช้ประกอบการวางแผนตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สุเพชร จิรขจรกุล. 2552)

8.2 องค์ประกอบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีส่วนช่วยให้เกิดความเข้าใจปัญหา และประกอบการตัดสินใจในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการวางแผนการใช้ทรัพยากรเชิงพื้นที่ โดย Burrough and McDonnell (1988) กล่าวว่า การเลือกใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มรความสำคัญมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ เป้าหมาย เพื่อการสร้างฐานข้อมูลทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม ดังนั้น จึงควรคำนึงถึงองค์ประกอบของระบบสารสรเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย 5 ประการ ดังนี้

1. ฮาร์ดแวร์ (hardware) คืออุปกรณ์ด้านคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งตามหน้าที่การใช้งานเป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit-cpu) หน่วยจัดเก็บข้อมูลเพิ่มเติม เช่น ดิจิไตเซอร์และเครื่องวาดภาพซึ่งเปลี่ยนรูปแบบข้อมูลจากแผนที่ให้อยู่ในรูปของข้อมูลตัวเลข เครื่องมือสำหรับการพิมพ์ เช่น พลอตเตอร์และพริ้นเตอร์และหน่วยแสดงผล

2. ซอฟท์แวร์ (Software) คือโปรแกรมหรือชุดคำสั่งที่ใช้คอมพิวเตอร์ทำงานตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามทีต้องการ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 5 ส่วน คือการนำเข้าละตรวจสอบข้อมูล การแก้ไขข้อมูล การจัดเก็บและจัดการฐานข้อมูล การคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล การรายงานผลข้อมูลและความสัมพันธ์กับผู้ใช้งาน โดยโปรแกรมที่นิยมในปัจจุบันได้แก่ Arc/Info, MapInfo,ILWIS

3. บุคลากร (people) คือผู้ปฏิบัติงานหรือผู้พัฒนา ซึ่งเกี่ยวกับระบบสารสสนเทศภูมิศาสตร์ มีหน้าที่จัดการให้องค์ประกอบทั้งหมดทำงานประสานกันจนได้ผลลัพธ์ออกมา เช่น ผู้นำเข้าข้อมูล ช่างเทคนิค ผู้ดูแลระบบฐานข้อมูล ผู้เชี่ยวชาญสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลบุคลากรเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เนื่องจากถ้าขาดบุคลากร จะไม่มีผู้วิเคราะห์ข้อมูล และนำข้อมูลที่มีไปใช้ประโยชน์

4. วิธีการหรือขั้นตอนการทำงาน (procedures or methods) คือขั้นตอนการทำงานซึ่งเป็นการกำหนดให้เครื่องคอมพิวเตอร์จัดการเก็บข้อมูล โดนแต่ละระบบหรือองค์กร ย่อมมีความแตกต่างกัน ฉะนั้น ผู้ปฏิบัติงานต้องเลือกวิธีในการจัดการกับปัญหาที่เหมาะสมที่สุดโดยคำนึงถึงเป้าหมายในการใช้งาน

5. ข้อมูล (data) คือข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้น ละเป็นสิ่งที่ต้องนำเข้าให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลเป็นผลลัพธ์ออกมา ข้อมูลนับได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ในการดำเนินของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เนื่องจากการนำไปประยุกต์ใช้จะถูกต้องและมีประสิทธิภาพเพียงใดขึ้นอยู่กับข้อมูลและสารสนเทศที่นำมาใช้ในกระบวนการของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

8.3 ลักษณะข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

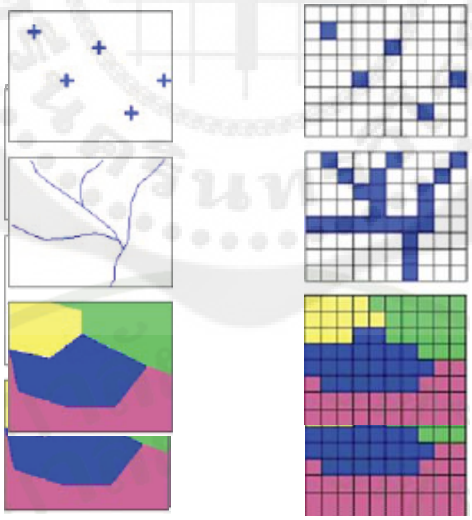
ข้อมูลต่างๆ ที่จะใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และถูกจัดเก็บในรูปแบบของฐานข้อมูล ซึ่งข้อมูลเป็นองค์ประกอบสำคัญรองลงมาจากบุคลากร เนื่องจากข้อมูลที่ดีจะทำให้การทำงานมีความถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือ รวมทั้งสามารถเรียกใช้ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย โดยข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (attribute data)

1. ข้อมูลเชิงพื้นที่ เป็นข้อมูลที่สามารถอ้างอิงกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (ger-referenced) โดยลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่จะมีลักษณะและรูปแบบ (Spatial features) ต่างๆ กัน

ก. รูปแบบจุด (point features) เป็นลักษณะของจุดในตำแหน่งใดๆ ซึ่งจะสังเกตได้จากขนาดของจุดนั้นๆ โดนจะอธิบายถึงตำแหน่งที่ตั้งของข้อมูล เช่นที่ตั้งจังหวัด เป็นต้น จุดเป็นหน่วยย่อยที่สุดของข้อมูลซึ่งมีจุดเริ่มต้น โดยขนาดและทิศทางมีค่าเป็นศูนย์ จุดเป็นตำแหน่งซึ่งไม่สามารถวัดพื้นที่ได้

ข. รูปแบบเส้น (linear features) ประกอบไปด้วยลักษณะของเส้นตรง เส้นหักมุมและเส้นโค้ง เรียงต่อเนื่องกัน ซึ่งรูปร่างของเส้นเหล่านี้จะอธิบายถึงลักษณะต่างๆ ได้เพียงมิติเดียว คือส่วนของความยาว แต่ไม่สามารถระบุความกว้าง เช่น ถนน หรือแม่น้ำ เป็นต้น

ค. รูปแบบของพื้นที่ (Area Features) หรือ Polygon เป็นข้อมูลที่เรียงต่อกันเป็นอนุกรม ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นปิด จึงสามารถวัดพื้นที่ได้ ซึ่งรูปร่างของเส้นเหล่านี้สามารถอธิบายถึงลักษณะแบบต่างๆ เช่น แหล่งน้ำผิวดิน เป็นต้น



ก. ข.

ภาพประกอบ 12 ลักษณะและโครงสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่

ก. โครงสร้างข้อมูลแบบเวคเตอร์ (vector data)

ข. โครงสร้างข้อมูลแบบบราสเตอร์ (raster data)

ที่มา: ดัดแปลงจาก remote sensing and GIs division from National informatics centre (2010)

2. ข้อมูลเชิงคุณลักษณะ เป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับคุณลักษณะต่างๆ ลักษณะประจำตัว หรือลักษณะที่มีความแปรผันในการชี้วัดปรากฏการณ์ต่างตามธรรมชาติ โดยระบุถึงสถานที่ที่ทำการศึกษาในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกับฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ ลักษณะของข้อมูลเชิงคุณลักษณะอาจเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ หรือเชิงคุณภาพ อาจมีลักษณะต่อเนื่องกัน เช่น เส้นชั้นความสูง (terrain elevation) หรือลักษณะที่ไม่ต่อเนื่อง เช่น จำนวนพลเมืองและชนิดของสิ่งปกคลุมดินเป็นต้น

8.4 ลักษณะโครงสร้างข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

เนื่องจากลักษณะโครงสร้างข้อมูลพื้นที่ (spatial data structure) มีลักษณะพิเศษเฉพาะตัว คือรูปแบบจุด รูปแบบเส้น รูปแบบพื้นที่ ซึ่งไม่สามารถจัดเก็บแฟ้มข้อมูลได้โดยตรง ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาโครงสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ขึ้นเฉพาะโดยลักษณะโครงสร้างในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้

1. ลักษณะโครงสร้างแบบเวคเตอร์ (vector structure) ในทางคณิตศาสตร์จะมีคุณสมบัติประกอบด้วย จุดเริ่มต้น ขนาดและทิศทาง โดยลักษณะของข้อมูลจุดและเส้นจะถูกนำมาใช้ในการแสดงลักษณะทางภูมิศาสตร์ ด้วยลักษณะของจุดและเส้นซึ่งจุดที่เชื่อมโยงต่อกันด้วยเส้นตรงจะเรียกว่า อาร์ค (arc) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของข้อมูลรูปแบบเส้น ปลายของอาร์คหลายๆ อาร์คที่ต่อกันเป็นขอบเขต เรียกว่า โพลิกอน (polygon) รูปแบบของข้อมูลจะถูกอธิบายโดยใช้คู่พิกัด (coordinate pairs) x และ y เป็นตัวชี้ระบุตำแหน่งของข้อมูลต่างๆ ทางภูมิศาสตร์

2. ลักษณะโครงสร้างแบบราสเตอร์ (raster structure)ประกอบด้วยลักษณะของช่องสี่เหลียมที่เรียกว่า กริด (grid cell หรือ pixel) โดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัสตุรัส ขนาดของกริดขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ หรือข้อจำกัดในรายละเอียดของข้อมูล ขนาดความเหมาะสมของพื้นที่ศึกษาและระบบที่จะใช้ในการประมวลผล การจัดเก็บข้อมูลในแต่ละกริดจะมีลักษณะการจัดเรียงเป็นแถวแนวนอนและแถวแนวตั้งเพื่อเป็นตัวกำหนดตำแหน่งและทิศทาง ลักษณะข้อมูลแบบจุดแทนค่า ด้วยกริดเพียงกริดเดียว ข้อมูลแบบเส้นถูกแทนค่าด้วยกริดแต่ละกริดที่ต่อเนื่องกันไปตามทิศทางและจำนวนที่กำหนดและข้อมูลแบบพื้นที่แทนค่าด้วยปริมาณการกระจายของกริดใกล้เคียง

ข้อดีข้อเสียของโครงสร้างข้อมูลทั้งแบบราสเตอร์ และเวคเตอร์ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. โครงสร้างข้อมูลแบบเวคเตอร์มีข้อดี คือสามารถแสดงโครงสร้างข้อมูลเชิงปรากฏการณ์ได้ดี โครงสร้างข้อมูลมีขนาดเล็ก ความเชื่อมโยงทางโทโพโลยี (topology) สามารถทำได้ครบถ้วน สามารถทำการค้นคืน การแก้ไข ข้อมูลกราฟิกและข้อมูลคุณลักษณะได้ ส่วนข้อเสียของโครงสร้างข้อมูลแบบเวคเตอร์ คือมีโครงสร้างข้อมูลซับซ้อน การรวมแผนที่แบบเวคเตอร์หลายแผ่นหรือรวมแผนที่เวคเตอร์ด้วยวิธีการซ้อนทับนั้นมีความยุ่งยากมาก การทดสอบด้วยการจำลองสถานการณ์ทำได้ยาก เพราะแต่ละหน่วยของแผนที่มีโครงสร้างโทโพโลยีที่ต่างกัน การแสดงและ

การเขียนเป็นแผนที่เสียค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะถ้าต้องการใช้ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่มีความซับซ้อน การวิเคราะห์พื้นที่และการกรองรายละเอียดภายในรูปหลายเหลี่ยมเกือบเป็นไม่ได้

2. โครงสร้างข้อมูลแบบราสเตอร์มีข้อดี คือมีโครงสร้างข้อมูลง่ายๆ การซ้อนทับและการรวบข้อมูลที่รับรู้จากระยะไกลทำได้ง่าย การวิเคราะห์ทางพื้นที่ในแบบต่างๆ ทำได้ง่าย การทดสอบด้วยการจำลองสถานการณ์ทำได้ง่าย เพราะหน่วยพื้นที่แต่ละหน่วยมีรูปร่างและขนาดเท่ากัน นอกจากเทคโนโลยีมีราคาถูกและกำลังมีการพัฒนาอย่างจริงจัง ส่วนข้อเสีย คือ ข้อมูลกราฟฟิกมีขนาดใหญ่ การใช้ช่องกริดขนาดใหญ่เพื่อลดปริมาตรข้อมูลทำให้สูญเสียโครงสร้างข้อมูลเกี่ยวกับปรากฏการณ์และการสูญเสียข้อสนเทศอย่างมาก แผนที่ราสเตอร์ที่หยาบจะไม่สวยเท่าแผนที่เชิงเส้น การสร้างเครือข่ายเชื่อมโยงทำได้ยากและการแปลงเส้นโครงแผนที่ต้องใช้เวลามาก เว้นแต่จะใช้ขั้นตอนวิธีหรือฮาร์ดแวร์พิเศษ

โครงสร้างข้อมูลทั้งสองมีข้อได้เปรียบและเสียเปรียบอยู่ในตัวเอง การเลือกใช้โครงสร้างลักษณะใดขึ้นอยู่กับลักษณะงาน งานด้านการวางแผนการจัดสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ โครงสร้างข้อมูลแบบราสเตอร์จะเหมาะสมกว่า แต่อย่างไรก็ตามเป็นที่ยอมรับกันว่าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ใดที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลทั้งสองโครงสร้างร่วมกัน และสามารถแปลงข้อมูลจากโครงสร้างหนึ่งเป็นอีกโครงสร้างหนึ่งได้ ก็สามารถประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวางกว่า

8.5 กระบวนการดำเนินงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

กระบวนการดำเนินงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็น 4 ขั้นตอน หลักๆ ดังนี้

1. การวิเคราะห์ปัญหาหรือการกำหนดวัตถุประสงค์ (objective and problem recognition) การกำหนดวัตถุประสงค์ เป็นขั้นตอนแรก และสำคัญที่สุดในการดำเนินงานเกี่ยวกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทั้งนี้นักวิเคราะห์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ต้องทราบวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนก่อนการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ เช่น ปัญหาที่ต้องการแก้ไข ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการวิเคราะห์ และการนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ประโยชน์ในขั้นตอนต่อไป

2. การจัดเตรียมฐานข้อมูล (database preparation) ในการจัดเตรียมฐานข้อมูลประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือการนำเข้าข้อมูล (data capture) และการตรวจสอบและแก้ไขข้อมูล (data verification and correction) ซึ่งการนำเข้าข้อมูลเป็นการแปลงข้อมูลที่มีอยู่แล้วให้อยู่ในรูปที่สามารถใช้ได้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น การนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นการแปลงข้อมูลเชิงพื้นที่ให้เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (digital data) ส่วนการตรวจสอบและแก้ไขข้อมูลถือเป็นอีกขั้นตอนที่มีความสำคัญ เนื่องจากข้อมูลต่างๆ ที่จะนำไปดำเนินการวิเคราะห์ จะต้องมีความถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนด เพราะข้อมูลที่ไม่ถูกต้องจะทำให้ผลการวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนไปจากสิ่งที่ควรจะเป็น

3. การวิเคราะห์ข้อมูล (data analysis) เป็นกระบวนการที่ปฏิบัติเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อสนเทศ การวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะต้องวิเคราะห์ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงคุณลักษณะ โดยที่การวิเคราะห์ข้อมูลจะเป็นขั้นตอนการนำข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ซึ่งเป็นข้อมูลตัวเลขที่

ได้จัดเก็บ และแก้ไขความถูกต้องเสร็จเรียบร้อยแล้วมาทำการวิเคราะห์ โดยอาศัยหลักการหลายๆ วิธี เช่น วิธีการเรียกคันข้อมูล (retrieval) เป็นการคัดเลือกค้นหาและจัดการข้อมูล การแบ่งกลุ่มข้อมูล (classification) เป็นกระบวนการจัดกลุ่มของสิ่งที่มีลักษณะเดียวกันแล้วจะรวบรวมแผนที่ที่มีรายละเอียดในส่วนที่แบ่งเหมือนกันให้เป็นชิ้นเดียวกัน ส่วนการจัดการข้อมูลใหม่โดยการใช้ข้อมูลบรรยายอันใดอันหนึ่งหรือหลายอันรวมกัน เรียกว่า Reclassify วิธีการวิเคราะห์คำนวณ รูปทรงเรขาคณิต (measurement analysis) โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์ วิธีการซ้อมทับข้อมูล (overlay analysis) เป็นการนำแผนที่ชนิดหนึ่งมาซ้อนทับกับแผนที่อีกชนิดหนึ่งหรือแผนที่หลายๆ ชนิดเพื่อให้เกิดข้อมูลแผนที่ใหม่ โดยอาศัยหลักการทางเลขคณิต (arithmetic) หรือการใช้หลักตรรกศาสตร์ (logical) สร้างสมการเงื่อนไขในการซ้อนทับแผนที่เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ตั้งสมมติฐานไว้

4. การแสดงผลข้อมูล (data presentation) คือ ผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งสามารถนำเสนอ หรือแสดงด้วยตัวอักษร (tests) และรูปภาพ (images) หรือใช้แสดงร่วมกัน นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลในรูปของตาราง (tables) และแผนภาพ (charts) ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะนำไปใช้ในการตัดสินใจตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเลือกใช้วิธีการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ศึกษาและวัตถุประสงค์ของการศึกษา การประเมินพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลกจึงมีวิธีที่แตกต่างกันไป แต่อย่างไรก็ตามวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดโดยใช้วิธี DRASTIC ตัวอย่างการศึกษา ที่ใช้ DRASTIC มีดังต่อไปนี้

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551) ได้ทำการศึกษาการประเมินศักยภาพด้านคุณภาพน้ำบาดาล ระบบติดตามการปนเปื้อนและวางแผนรายละเอียดการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่ระยองและชลบุรี ซึ่งจากการศึกษาพบว่าแหล่งมลสารที่มีระดับความรุนแรงสูงมากหรือพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงระดับ 5 อยู่อำเภอเมืองระยองและอำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง และแหล่งมลสารที่มีศักยภาพสูงระดับ 4 อยู่ในอำเภอพนัสนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง อำเภอบ้านบึง อำเภอเมืองชลบุรี และอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี และมีการกระจายในอำเภออื่นๆ ด้วย ระดับความรุนแรงลดหลั่นกันลงมาจนถึงแหล่งที่มีศักยภาพสูงระดับ 3 ซึ่งแหล่งมลสารที่น่าสนใจมีจำนวนเพียง 20 แห่ง จากจำนวนมลสารในพื้นที่สำรวจ 78 แห่ง จากนั้นจึงทำการประเมินความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ โดยนำแผนที่แสดงความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลคำนวณร่วมกับแผนที่แสดงศักยภาพของแหล่งมลสาร ผลการศึกษาพบว่าในพื้นที่ศึกษา ไม่มีพื้นที่ที่มีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่สูงมากหรือความเสี่ยงในระดับที่ 5 ส่วนพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงหรือความเสี่ยงในระดับที่ 4 อยู่บริเวณบ้านบึง ได้แก่ตำบลคลองกิ่ว อำเภอเมืองชลบุรี ได้แก่ ตำบลบ้านสวน ตำบลหนองข้างคอก ตำบลหนองรี ตำบลห้วยกะปิ อำเภอศรีราชา ได้แก่ ตำบลบางพระ ตำบลบึง ตำบลสุรศักดิ์ จังหวัดชลบุรี

สำหรับจังหวัดระยอง อยู่ในบริเวณอำเภอบ้านฉาง ได้แก่ ตำบลบ้านฉาง อำเภอเมืองระยอง ได้แก่ ตำบลเนินพระ และ ตำบลมาบตาพุด

รัตนา (2000) จัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน โดยใช้เทคนิคทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้วิธี DRASTIC ในการศึกษา พื้นที่น้ำปาว ซึ่งครอบคลุม 5 อำเภอ ในจังหวัดกาฬสินธุ์และจังหวัดมหาสารคาม ในการศึกษาใช้พารามิเตอร์ 7 ตัว ก็คือ ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน การเพิ่มเติมน้ำใต้ดินชั้นหินให้น้ำ ดิน ภูมิประเทศ ชั้นที่หินไม่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่าน นำมาจัดช่วงค่าเพื่อให้ค่าน้ำหนักค่าตัวเลข คำนวณออกมาเป็นค่าคะแนน และสุดท้ายคำนวณออกเป็นช่วงดัชนีเพื่อหาระดับความเปราะบาง ผลการศึกษา สรุปได้ว่า พื้นที่ที่สามารถเกิดการปนเปื้อนได้มากที่สุดคือบริเวณที่ราบต่ำตามแนวแม่น้ำปาว บริเวณตอนกลางและตอนใต้ของพื้นที่ ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนสูงกว่าตอนเหนือของพื้นที่

นำโชค เซี่ยงเห็น (2549) ได้ศึกษาความอ่อนไหวของระดับน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก โดยอาศัย 7 ปัจจัยได้แก่ 1) ความลึกของชั้นน้ำใต้ดิน แสดงถึงระยะทางที่มลสารจะต้องเดินทางไปก่อนที่จะถึงระดับน้ำใต้ดิน 2) ค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน แสดงถึงปริมาณน้ำซึ่งเป็นตัวนำมลสารลงไปสู่น้ำใต้ดิน 3) สมบัติของวัสดุชั้นนี้พิจารณาจากลักษณะวัสดุว่าเป็นประเภทหินร่วนหรือหินแข็ง 4) สมบัติดิน 5) ลักษณะภูมิประเทศแสดงถึงความลาดชันของพื้นที่ 6) สมบัติของวัสดุเหนือชั้นน้ำใต้ดินแสดงถึงเวลาที่มลสารเดินทางผ่านได้ 7) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของชั้นน้ำใต้ดินแสดงถึงอัตราการไหลของน้ำผ่านชั้นน้ำใต้ดินในแนวราบ วิธีการที่อาศัยปัจจัยการควบคุมนั้น โดยทำการแบ่งค่าของแต่ละปัจจัยออกเป็นช่วงตามความหลากหลายของข้อมูลและคูณค่าถ่วงน้ำหนัก โดยค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 5 โดยปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดจะมีค่าถ่วงน้ำหนัก 5 และสำคัญน้อยที่สุดจะมีค่าถ่วงน้ำหนัก 1 ผลคูณที่ได้ของแต่ละปัจจัยจะนำมาบวกกันเผื่อให้ได้คะแนนสุดท้ายโดยค่าคะแนนสูงความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดินก็ยิ่งมาก

ผลจากการศึกษาพบว่าค่าดัชนีต่ำสุดอยู่ที่วัดบ้านหนองประดู่ ตำบลพันเสา และดัชนีสูงสุดอยู่ที่บ้านบึงจำปา ตำบลหนองกุลา ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐาน โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก มีค่าความเปราะบางของระดับน้ำใต้ดินที่อยู่ในระดับที่ 1

เทิดศักดิ์ ทรัพย์ทวีวัง (2550) ได้ทำการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษของน้ำบาดาลบริเวณแอ่งเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน พบว่าพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนสูง พบอยู่ในบริเวณตะกอนตะพักลำน้ำของแม่น้ำปิงและแม่น้ำสาขา ซึ่งมีค่าความซึมได้สูง มีลักษณะเป็นที่ราบและปริมาณฝนตกสูง พื้นที่ดังกล่าวนี้เมื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินระดับตื้นพบว่ามีค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมดในน้ำสูง ซึ่งเป็นการยืนยันความถูกต้องของแผนที่

กัมปนาท ขวัญศิริกุล และคณะ (2547) ได้ทำการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษของน้ำบาดาล บริเวณแอ่งลำปาง จังหวัดลำปาง พบว่าพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนสูงอยู่ในบริเวณตะกอนลำน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำวัง ซึ่งมีค่าความซึมได้สูงความลึกถึงระดับน้ำบาดาลต่ำ และมีปริมาณฝนตกสูง ส่วนพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่ำพบครอบคลุมพื้นที่

ส่วนน้อยบริเวณตอนเหนือของแอ่งลำปาง โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของแอ่งลำปางมีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนปานกลาง

อโนมู,กาบาบาฮ์และอนิน แกมโป (Anomu, Kaba-Bah; & Anin-Gyampo.2012) ได้ทำการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษของน้ำบาดาลในบริเวณ Densu River Basin ในกานา จากการศึกษาพบว่า บริเวณที่มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษของน้ำบาดาลสูงคิดเป็น 47% มลพิษสูง ของพื้นที่ศึกษา บริเวณที่มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษของน้ำบาดาลปานกลาง คิดเป็น 43% และบริเวณที่มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษของน้ำบาดาลต่ำ คิดเป็น 10% ของพื้นที่ศึกษา

แอสสิและคณะ (Azzi; et al. 2012) ได้ทำการศึกษาความเปราะบางของน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะในตอนกลางของที่ราบสูง Allas (El Hajeb-Ifranc Region) ประเทศโมร็อคโค จากการศึกษาพบว่า บริเวณที่มีความลาดชันต่ำและมีสภาพธรณีวิทยาสัณฐานแบบคาสต์ (Karst lithology) เป็นพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษของน้ำบาดาลสูง

แอล-ราวาบเดทและคณะ (Al-Rawabdeh; et al. 2013) ได้ทำการใช้แบบจำลอง DRASTIC ในการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนสารมลพิษใน Ammam-Zcrqa Basin ประเทศจอร์แดนจากการศึกษาพบว่าประมาณ 1.2% ของพื้นที่ทั้งหมดคือ 3,792 ตารางกิโลเมตร ได้ประเมินให้อยู่ในเกณฑ์ไม่มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อน ประมาณ 69% มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนต่ำ ประมาณ 30% ของพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนปานกลาง และน้อยกว่า 1% มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนสารมลพิษสูง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. หลักการวิเคราะห์
5. การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

1. ข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลต่างๆ ดังนี้ ขอบเขตจังหวัดราชบุรี เส้นทางน้ำ แหล่งน้ำผิวดิน เส้นทางคมนาคม ตำแหน่งบ่อน้ำบาดาล ธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา ความลาดชัน กลุ่มชุดดิน ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 20

2. ข้อมูลลักษณะประจำ (attribute data) ข้อมูลปริมาณน้ำฝน จากกรมอุตุนิยมวิทยา,ข้อมูลค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์จากการสูบทดสอบปริมาณน้ำบาดาล และรายงานผลการศึกษาต่างๆที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์

1. ชุดระบบคอมพิวเตอร์ โดยมีคุณลักษณะ ดังนี้
   1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ PC
   1.2 หน่วยประมวลผล Intel(R) Core (TM) i5-2410M CPU 2.30 GHz Ram 8.00 GB
   1.3 หน่วยความจำหลัก 500 GB
   1.4 หน่วยความจำรอง External Drive 1 TB
2. เครื่องพิมพ์ (printer)
3. โปรแกรมจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcGIS รุ่น 9.3 ลิขสิทธิ์จากบริษัท ESRI (Thailand) Co.,Ltd.)
4. ข้อมูลแผนที่และข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ได้เริ่มเก็บข้อมูลโดยการทำหนังสือขอความอนุเคราะห์ ข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) จากหน่วยงานราชการต่างๆ ดังตารางที่ 20 และข้อมูลในการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัย ที่ใช้ในการประเมินพื้นที่ได้จากการออกแบบประเมินร่วมกับผู้เชี่ยวชาญของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

ตาราง 20 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ลำดับที่	ข้อมูลที่รวบรวม	ลักษณะของข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล	มาตราส่วน	ระบบพิกัด
1	ข้อมูลบ่อน้ำบาดาลและบ่อสังเกตการณ์	Shape file	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	-	UTM WGS 1984
2	ข้อมูลบ่อน้ำบาดาลภาคเอกชน	Shape file	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	-	UTM WGS 1984
3	ข้อมูลค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์จากการสูบทดสอบปริมาณน้ำบาดาล	Excel	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	-	-
4	ข้อมูลการบรรยายลักษณะชั้นดินชั้นหินจากหลุมเจาะบ่อน้ำบาดาล		กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	-	-
5	ข้อมูลกลุ่มดิน (soil group)	Shape file	กรมพัฒนาที่ดิน	1:50,000	UTM WGS 1984
6	ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use)	Shape file	กรมพัฒนาที่ดิน	1:50,000	UTM WGS 1984
7	ข้อมูลระบบสารสนเทศอุทกธรณีวิทยา (HYGIS)	Shape file	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	1:100,000	UTM WGS 1984
8	ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนและรายปีเฉลี่ย 30 ปี ย้อนหลัง	Excel,text	กรมอุตุนิยมวิทยา	-	-

ตาราง 20 (ต่อ)

ลำดับที่	ข้อมูลที่รวบรวม	ลักษณะของข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล	มาตราส่วน	ระบบพิกัด
9	ข้อมูลความลาดชันของภูมิประเทศ (Slope) ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (digital Elevation Model:DEM	Raster	กรมแผนที่ทหาร	-	UTM WGS 1984
10	รายงานผลการศึกษาต่างๆที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ศึกษา	รายงาน	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	-	-

หลักการวิเคราะห์

โดยส่วนใหญ่แล้วแหล่งน้ำใต้ดินมีระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนแตกต่างกันออกไป และมีความสัมพันธ์กันเชิงพื้นที่ การประเมินโดยใช้เทคนิค DRASTIC ความถูกต้องของการประเมินขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของข้อมูล ข้อมูลที่ต้องการบ่อยครั้งที่ไม่สามารถหาได้ และด้วยเหตุนี้จึงเป็นข้อจำกัดของการทำแผนที่พื้นที่ขนาดใหญ่ แนวคิดพื้นฐานของความเปราะบางต่อการปนเปื้อนคือ พื้นที่ดินบางส่วนที่มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินมากกว่าพื้นที่อื่น และเป้าหมายสุดท้ายของการทำ แผนที่ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนคือ การแบ่งพื้นที่ออกเป็นหลายๆ หน่วย เพื่อแสดงศักยภาพที่แตกต่างกันสำหรับวัตถุประสงค์และการใช้เฉพาะทาง

ผลของการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนนั้นเป็นแผนที่แสดงพื้นที่ต่างๆ บางครั้งเรียกว่าเซลล์ (cell) หรือรูปเหลี่ยม (polygon) ซึ่งมีระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนหลายระดับ แนวคิดเริ่มต้นของความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินขึ้นอยู่กับสมมติฐาน ซึ่งลักษณะตามธรรมชาติอาจมีระดับการป้องกัน เตือนภัย การเริ่มเข้ามาของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน วัสดุตามธรรมชาติอาจทำหน้าที่กรองเอาสารปนเปื้อนบางอย่างออกไป เมื่อน้ำมีการไหลซึมลงจากผิวดินอาจมีการปนเปื้อน แต่จะมีการทำให้สะอาดตามธรรมชาติแล้วระดับหนึ่ง เป็นการกรองในชั้นดินและวัสดุที่มีขนาดละเอียดในชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนเป็นระดับความเสี่ยงที่จะเกิดการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน สาเหตุที่ทำให้เกิดการ

ปนเปื้อนนั้น ส่วนใหญ่เกิดจาก กิจกรรมของมนุษย์ทั้งการทำเกษตรกรรม โรงงานอุตสาหกรรมและจากแหล่งชุมชุน เป็นต้น

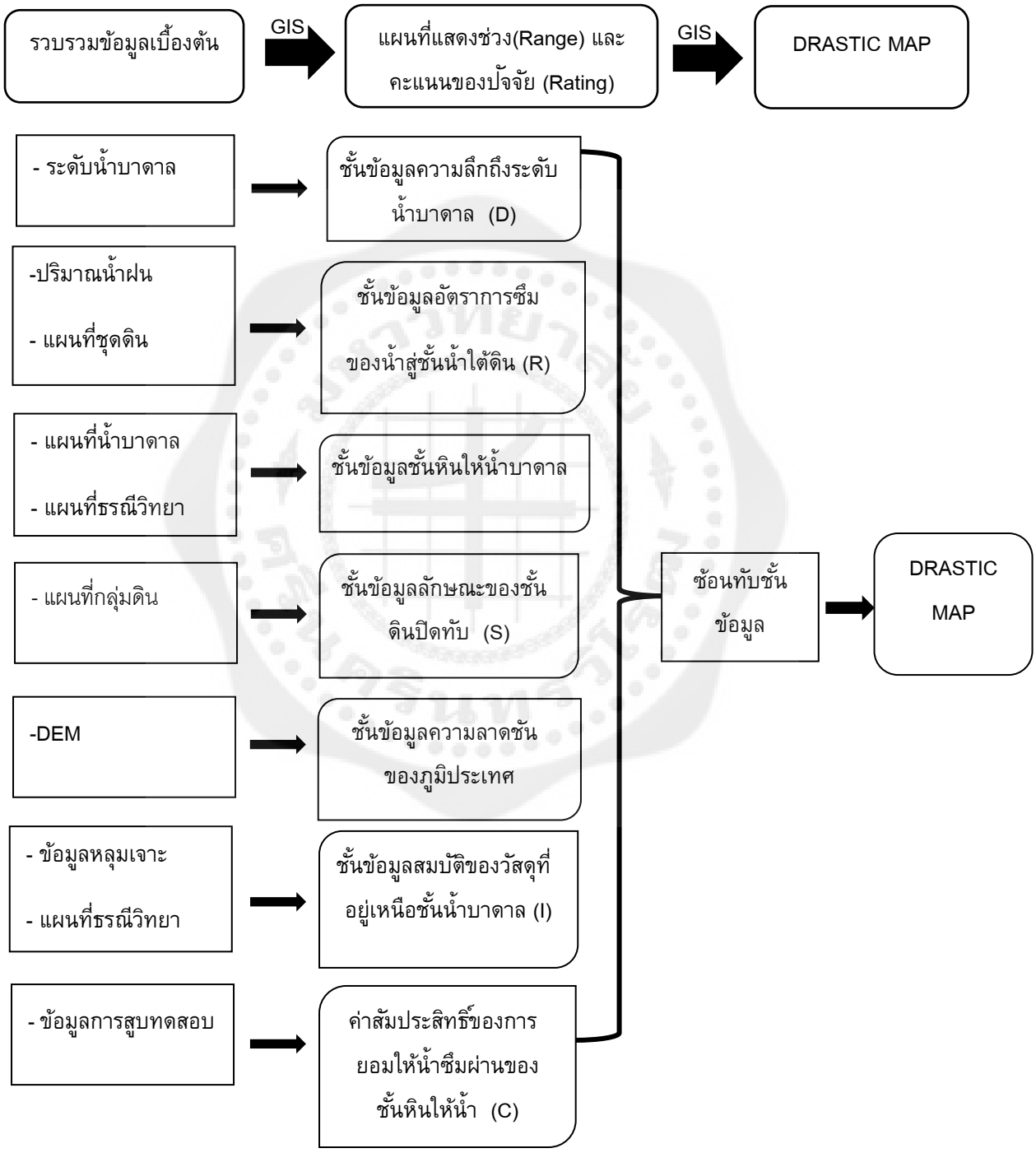
การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดิน สามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

1. การศึกษาตัวแปรแต่ละประเภท
2. การจัดเตรียมข้อมูลของตัวแปรต่างๆ ให้อยู่ในรูปแบบของชั้นข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)
3. ทำการนำเข้าข้อมูลต่างๆ ให้มีฟิลด์ของข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์
4. พิจารณาหลักเกณฑ์ในการกำหนดค่าน้ำหนักให้กับแต่ละตัวแปร (Parameter) และการกำหนดค่าคะแนนให้กับแต่ละชั้นข้อมูล (class) ของแต่ละตัวแปร
5. ทำการแปลงชั้นข้อมูล ทั้ง 7 ปัจจัย ในรูปแบบของชั้นข้อมูล GIS ให้เป็นข้อมูลในรูปแบบกริด (Grid) ไฟล์ โดยกำหนดให้แต่ละกริด (Pixel) มีขนาด 50x50 ตารางเมตร ซึ่งคำนึงถึงการกระจายตัวของตำแหน่งบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ว่า ระยะห่างมากที่สุดที่สารปนเปื้อนจะแพร่กระจายจากอีกบ่อหนึ่งไปถึงอีกบ่อหนึ่งเป็นระยะทางเท่าไหร่ สามารถเก็บค่าแต่ละจุดภาพในรายละเอียดพื้นที่ได้
6. วิเคราะห์แบบจำลอง DRASTIC ด้วยฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Arithmetric Overlay ใน GIS Toolbox Model Builder ของโปรแกรม ArcGIS
7. ทำการบวกค่าดัชนีที่คำนวณได้จากแต่ละปัจจัย ได้ไฟล์ผลลัพธ์ซึ่งอยู่ในรูปแบบ กริดที่มีผลรวมของค่าดัชนีจากทุกปัจจัย มีตัวเลขกำกับไว้ทุกกริดเซลล์
8. ทำการแบ่งช่วงค่าดัชนี (Index classification) ที่คำนวณได้ และจัดระดับความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดินที่แตกต่างกัน ออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่
   - พื้นที่ที่มีความเปราะบางระดับ 1 อยู่ในระดับต่ำ
   - พื้นที่ที่มีความเปราะบางระดับ 2 อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ
   - พื้นที่ที่มีความเปราะบางระดับ 3 อยู่ในระดับปานกลาง
   - พื้นที่ที่มีความเปราะบางระดับ 4 อยู่ในระดับค่อนข้างสูง
   - พื้นที่ที่มีความเปราะบางระดับ 5 อยู่ในระดับสูง
9. นำแผนที่แสดงความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินมาซ้อนทับกับคุณภาพน้ำบาดาล คือ ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS) และปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล (ค่าคุณลักษณะทางเคมีที่เกินค่ามาตรฐานน้ำใต้ดิน)
10. นำแผนที่แสดงความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินมาซ้อนทับกับแผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ แบ่งวิธีการดำเนินออกเป็นการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลจำเป็นพื้นฐาน การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน โดยมีรายละเอียดวิธีวิจัย ดังนี้

ขั้นตอนและวิธีการศึกษา



ภาพประกอบ 13 แผนผังแสดงขั้นตอนในการสร้างแผนที่แสดงความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน

วิเคราะห์ข้อมูล โดย

1. การกำหนดความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (Depth to Water Table: D)

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลจากหลุมเจาะน้ำบาดาล

- ชื่อและพิกัดของบ่อน้ำบาดาลจากฐานข้อมูลกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ตั้งแต่อดีตจนถึงปี พ.ศ. 2560
- ชื่อและพิกัดของบ่อน้ำบาดาลจังหวัดราชบุรีจากฐานข้อมูลกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- ความลึกพัฒนาของบ่อเจาะและความลึกถึงระดับน้ำบาดาล
- ข้อมูลชั้นดินและชั้นหินที่ได้จากการเจาะบ่อน้ำบาดาล
- ความสูงของพื้นที่เทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง

2. ข้อมูลอื่นๆ

- หน่วยหินทางธรณีวิทยา
- หน่วยชั้นหินให้น้ำ/ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา

การวิเคราะห์ค่าความลึกถึงระดับน้ำ มีดังต่อไปนี้

1. ทำการใส่ค่าพิกัดข้อมูลที่อยู่ในลักษณะของจุดบนแผนที่ เพื่อให้หลุมเจาะอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องและใส่ค่าความลึกถึงระดับน้ำบาดาลของแต่ละหลุมเจาะโดยเปรียบเทียบกับระดับความสูงต่ำของพื้นผิวภูมิประเทศ

2. ทำการประมาณค่าในช่วง (interpolation) โดยใช้เพื่อให้ได้ชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) (ของความลึกระดับน้ำบาดาล

3. แบ่งข้อมูลความลึกถึงระดับน้ำบาดาลออกเป็นช่วงแล้วให้คะแนน

2. อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Net Recharge: R)

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีดังต่อไปนี้

- แผนที่กลุ่มดิน (soil group map) ของกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2555
- ข้อมูลสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ของน้ำในดินประเภทต่างๆ ในพื้นที่
- ข้อมูลสถิติปริมาณน้ำฝน 30 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 ถึงปี พ.ศ 2560
- แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2560

วิธีการวิเคราะห์อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล โดย

1. ทำการใส่ค่าพิกัดข้อมูลตำแหน่งสถานีวัดปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี

2. แบ่งข้อมูลชุดดินออกเป็นกลุ่มตามความสามารถในการระบายน้ำของดิน ใส่ข้อมูลเป็นร้อยละเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับชั้นข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ซึมลงพื้นดิน

3. ทำการซ้อนทับชั้นข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีและข้อมูลร้อยละของปริมาณน้ำฝนที่ซึมลงชั้นน้ำบาดาล ได้ชั้นข้อมูลปริมาณการซึมของน้ำลงชั้นน้ำบาดาล

4. แบ่งข้อมูลปริมาณการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลออกเป็นช่วงแล้วให้คะแนน

3. ลักษณะของชั้นหินให้น้ำ (Aquifer Media: A)

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีดังต่อไปนี้

- หน่วยหินทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา
- คุณสมบัติของชั้นน้ำบาดาล
- ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำของวัสดุชั้นหินให้น้ำ (hydraulic conductivity of the aquifer)
- ลักษณะทางกายภาพของวัสดุชั้นหินให้น้ำ เช่น การเชื่อมประสาน (cementation) ความพรุน (porosity) ระนาบชั้นหิน (bedding plane) รอยแตกและรอยเลื่อน (fracture and fault) ขนาดและการคัดขนาดของตะกอน (size and sorting of sediment

วิธีการวิเคราะห์ลักษณะของชั้นหินให้น้ำ โดย

รวบรวมข้อมูลจากแผนที่น้ำบาดาลจังหวัดราชบุรี ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล และแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดราชบุรี โดย

1. ทำการนำเข้าข้อมูลชั้นหินให้น้ำเป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปของเวกเตอร์ (vector data) ชนิดรูปปิด (polygon)

2. แบ่งข้อมูลชั้นหินให้น้ำออกเป็นกลุ่มตามคุณสมบัติในการยอมให้น้ำซึมผ่าน

3. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลชั้นหินให้น้ำร่วมกับข้อมูลจากแผนที่ธรณีวิทยา โดยพิจารณาจากรอยเลื่อน (fault) และแนวแตก (fracture) ทำการแบ่งช่วงแล้วให้คะแนน

4. แปลงชั้นข้อมูลให้อยู่ในรูปของราสเตอร์ โดยใช้ขนาดช่องกริด เท่ากับ 50x50 ตารางเมตร

4. ลักษณะของชั้นดินปิดทับ (Soil Media: S)

ข้อมูลสมบัติของดินในพื้นที่ศึกษา นำมาจากข้อมูลแผนที่กลุ่มชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2555 จัดกลุ่มสมบัติดินจากข้อมูลดังกล่าวตามองค์ประกอบหลักทางกายภาพในกลุ่มชุดดิน ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มชุดดินทั้งหมด 33 ชุดดิน ซึ่งดินแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการยอมให้น้ำซึมผ่านแตกต่างกันออกไป นำข้อมูลทั้งหมดนำเข้าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และแปลงเป็นราสเตอร์ขนาดกริด เท่ากับ 50x50 ตารางเมตร หลังจากนั้นทำการแบ่งช่วงแล้วใส่ค่าคะแนนของสมบัติของดิน

5. ความลาดชันของภูมิประเทศ (Topography: T)

ข้อมูลภูมิประเทศแสดงถึงความลาดชัน (slope) เส้นชั้นความสูงในรูปแบบดิจิตอลไฟล์ (shape file) จากกรมแผนที่ทหาร ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) ของพื้นที่ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นไปได้ที่มลสารลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ข้อมูลเหล่านี้ถูกนำเข้าระบบสารสนเทศ

ภูมิศาสตร์ (GIS) แปลงเป็นราสเตอร์ขนาดกริด เท่ากับ 50x50 ตารางเมตร หลังจากนั้นให้คะแนนความชันของพื้นที่ตามช่วงความชันของแต่ละกริดเซลล์

6. อิทธิพลของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (Impact Vadose Zone: I)

โดยใช้ข้อมูลธรณีวิทยาหลุมเจาะว่าเป็นดินชนิดใด นำข้อมูลทั้งหมดเข้าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และแปลงเป็นราสเตอร์ ขนาดกริด เท่ากับ 50x50 ตารางเมตร จากนั้นพิจารณาให้ค่าคะแนนตามศักยภาพที่เอื้อต่อการปนเปื้อนของตัวกลางนั้น ๆ ในแต่ละกริดเซลล์

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าสมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล มีดังนี้

- ข้อมูลธรณีวิทยาหลุมเจาะ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- ข้อมูลระดับน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- แผนที่ธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา

วิธีการวิเคราะห์ โดย

1. วิเคราะห์ข้อมูลจากหลุมเจาะน้ำบาดาล ทำการแบ่งกลุ่มชนิดดิน-หิน ตามคุณสมบัติในการยอมให้น้ำซึมผ่าน

2. ทำการประมาณค่าในช่วง เพื่อให้ได้ชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ของอิทธิพลวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล

3. ทำการวิเคราะห์ข้อมูลอิทธิพลของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล ร่วมกับข้อมูลจากแผนที่ธรณีวิทยา แบ่งข้อมูลออกเป็นช่วงแล้วให้คะแนน

7. ค่าความนำทางชลศาสตร์ (Hydraulic Conductivity of the Aquifer : C)

1. วิเคราะห์จากข้อมูลการสูบทดสอบ (Pumping test) หลุมเจาะน้ำบาดาล ตามสมการ

$$K=T/b$$

เมื่อ K = ค่าความนำทางชลศาสตร์ (m/day)

T= ค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (m^2/day)

b= ความหนาของชั้นน้ำ (ท่อกรอง) (m)

2. ทำการประมาณค่าในช่วง (interpolation) เพื่อให้ได้ชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ของค่าความนำทางชลศาสตร์

3. แบ่งข้อมูลออกเป็นช่วงแล้วให้คะแนน

เมื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำของชั้นน้ำบาดาลได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือนำข้อมูลที่ได้เข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และแปลงเป็นราสเตอร์ขนาด เท่ากับ 50x50 ตารางเมตร หลังจากนั้นทำการให้คะแนนจากช่วงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในชั้นน้ำบาดาล ได้แก่

- ข้อมูลการสูบทดสอบของบ่อเจาะ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- ข้อมูลธรณีวิทยาหลุมเจาะ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- ข้อมูลปริมาณการให้น้ำ (yield) และระยะน้ำลด (drawdown) ของบ่อน้ำบาดาล

ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้เปรียบเทียบกับแบบจำลอง DRASTIC

1. ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Dissolve Solids : TDS)

เนื่องจากปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS) เป็นตัวชี้วัดของอนุภาคที่ละลายได้ทั้งหมด ซึ่งรวมถึงสารอนินทรีย์และอินทรีย์ทั้งหมดในโมเลกุลแตกตัวเป็นไอออน แหล่งที่มาหลักของสารที่ละลายในน้ำ ได้แก่ น้ำทิ้งทางการเกษตรและที่อยู่อาศัย การชะล้างของการปนเปื้อนของดิน น้ำจากอุตสาหกรรม ปล่อยออกจากโรงบำบัดน้ำเสีย ค่า TDS มักถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้ทั่วไปของคุณภาพน้ำ มีวิธีการวิเคราะห์ โดย

1. ทำการใส่ค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดที่แปลงมาจากการวัดค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะ (specific conductance)
2. ทำการประมาณค่าในช่วง (interpolation) เพื่อให้ได้ชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ของปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้
3. แบ่งข้อมูลออกเป็นช่วง ได้ผลออกมาเป็นแผนที่แสดงปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (polygon map)
4. แบ่งข้อมูลบ่อน้ำบาดาลตามปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด สร้างแผนที่ตำแหน่งบ่อที่มีปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดแตกต่างกัน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับแผนที่ความเปราะบาง

2. ปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล (NO_3-)

เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดราชบุรี เป็นพื้นที่เกษตรกรรม มีการใช้ปุ๋ยเคมี และยาฆ่าแมลงจำนวนมาก ส่งผลต่อปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล (Almasri, 2008) จึงได้นำข้อมูลปริมาณไนเตรทในบ่อน้ำบาดาลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล มาวิเคราะห์ในการวิจัยครั้งนี้ด้วย โดย

1. ทำการใส่ค่าปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล
2. ทำการประมาณค่าในช่วง เพื่อให้ได้ชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ของปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล
3. แบ่งข้อมูลออกเป็นช่วง ได้ผลออกมาเป็นแผนที่แสดงปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล (polygon map)

4. แบ่งข้อมูลบ่อน้ำบาดาลตามปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล สร้างแผนที่ตำแหน่งบ่อที่มีปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาลแตกต่างกัน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับแผนที่ความเปราะบาง

3. แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (LAND USE)

รวบรวมจากแผนที่การใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน โดย การวิจัยครั้งนี้นำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งเป็นปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลกระทบต่อความเปราะบางของการปนเปื้อนมลพิษของแหล่งน้ำใต้ดิน มาร่วมทำการวิเคราะห์ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นตัวแทนพื้นที่ความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษ และส่วนที่สองเป็นปัจจัยในแบบจำลอง DRASTIC โดยมีวิธีวิเคราะห์ดังนี้

1. ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปของเวกเตอร์ (Vector data) ชนิดรูปปิด (polygon)

2. แบ่งประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็นกลุ่ม ทำการซ้อนทับซ้อนทับกับแผนที่ความเปราะบางระดับสูงสุด โดยมีสมมุติฐานว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษอยู่ในเกณฑ์สูง ส่วนพื้นที่ป่าไม้มีความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษอยู่ในเกณฑ์ต่ำ

3. สร้างแผนที่จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินกับระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนน้ำใต้ดินระดับสูงสุด

บทที่ 4
ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา

1. การศึกษาการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนต่อมลภาวะของชั้นน้ำใต้ดิน

การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนต่อมลภาวะของชั้นน้ำใต้ดิน (DRASTIC) ถูกพัฒนาโดย Aller et al. (1987) วิธีนี้พิจารณาข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยา 7 ปัจจัย ได้แก่ 1) ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล 2) อัตราการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล 3) ลักษณะของชั้นหินให้น้ำบาดาล 4) ลักษณะของชั้นดินปิดทับ 5) ความลาดชันของภูมิประเทศ 6) สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล และ 7 ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำ (Hydraulic Conductivity of the aquifer, C)

ผลจากการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงๆ และให้ค่าของแต่ละช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 10 หลังจากนั้นนำค่าคะแนนที่ได้มาคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 5 ดังตารางที่ 21 เพื่อให้ได้ค่าดัชนีความเปราะบาง (DRASTIC Index Value) ที่แสดงถึงระดับความเปราะบางต่อมลภาวะของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ โดยค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่ถือได้ว่ามีความสำคัญต่อความความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดินมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 5 และค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความเปราะบางน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 1

ตาราง 21 ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาด้วยวิธีการ DRASTIC

ปัจจัยกำหนดที่ใช้ในการศึกษา	ค่าถ่วงน้ำหนัก
ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (Depth to water table, D)	5
อัตราการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Net recharge, R)	4
ลักษณะของชั้นหินให้น้ำบาดาล (Aquifer media, A)	3
ลักษณะของชั้นดินปิดทับ (Soil media, S)	2
ความลาดชันของภูมิประเทศ (Topography, T)	1
สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (Impact of vadose zone, I)	5
สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านได้ของชั้นหินให้น้ำ (Hydraulic Conductivity of the aquifer, C)	3

ที่มา: Aller; et al. 1987

โดยการแบ่งช่วงค่าของปัจจัยกำหนดจะแสดงในหัวข้อวิธีการวิเคราะห์ของแต่ละปัจจัยกำหนด โดยการคำนวณค่าดัชนี DRASTIC สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$D_RD_W + R_RR_W + A_RA_W + S_RS_W + T_RT_W + I_RI_W + C_RC_W = \text{DRASTIC Index}$$

เมื่อ D, R, A, S, T, I และ C คือ ปัจจัยกำหนดทั้ง 7 ปัจจัย

R คือ ค่าที่ได้จากการแบ่งช่วงของแต่ละปัจจัยกำหนดต่าง ๆ (rating)

W คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยกำหนด (weighting)

1. ผลการกำหนดค่าน้ำหนักและค่าคะแนนของปัจจัย

ในการกำหนดค่าน้ำหนักและค่าคะแนนให้กับแต่ละปัจจัย ได้ทำการพิจารณาค่าคะแนนของปัจจัยต่าง ๆ จากผลการศึกษาที่ผ่านมา การบูรณาการข้อมูล และกำหนดหลักเกณฑ์การให้ค่าน้ำหนักและค่าคะแนนของปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นตัวแทนของการศึกษาในครั้งนี้ ดังแสดงในตาราง 22

ตาราง 22 การกำหนดหลักเกณฑ์การให้ค่าคะแนนของปัจจัยต่างๆ สำหรับการศึกษา

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา	ค่าถ่วงน้ำหนัก	การแบ่งช่วงค่าคะแนนของปัจจัย	
		ช่วงค่าความลึกถึงระดับน้ำ (เมตร)	ค่าคะแนน (Dr)
ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (Depth to water table, D)	5	< 1.5	10
		1.5-4.5	9
		4.6-9.0	7
		9.1-1.5	5
		15.1-22.5	3
		22.6-30.0	2
		> 30.0	1

ตาราง 22 (ต่อ)

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา	ค่าถ่วงน้ำหนัก	การแบ่งช่วงค่าคะแนนของปัจจัย	
		ช่วงค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (มม./ปี)	ค่าคะแนน (Rr)
อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Net recharge, R)	4	< 33	1
		33-39	4
		40-46	6
		47-55	8
		>55	10
		ลักษณะของวัสดุอุ้มน้ำ	ค่าคะแนน (Ar)
ลักษณะของชั้นหินให้น้ำ (Aquifer media, A)	3	Floodplain Deposits Aquifer (Qfd)	9
		Terrace Deposits Aquifer (Qt)	9
		Younger Terrace Deposits Aquifer (Qyt)	9
		Carbonate aquifers : Permo-carboniferous limestone (Pc)	8
		Phanat Nikhom aquifers Colluvium (Qcl)	7
		Metasediment aquifers (PCms)	6
		Middle Khorat Aquifer (Jmk)	5
		Granitic aquifer (Gr)	3
		Precambrian Metamorphic Aquifer (SDmm)	2

ตาราง 22 (ต่อ)

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา	ค่าถ่วงน้ำหนัก	การแบ่งช่วงค่าคะแนนของปัจจัย	
คุณสมบัติของดิน (Soil media, S)	2	คุณสมบัติของดิน	ค่าคะแนน (Sr)
		ทราย (Sand)	10
		ดินภูเขา (Mountain soil)	9
		ดินร่วนปนทราย (Sandy loam)	6
		ดินร่วนปนกรวด (Gravelly loams)	6
		ดินร่วน (Loam)	5
		ดินตะกอนทรายป้าย (Silt)	4
		ดินเหนียวปนทรายแป้ง (Silty clay)	3
		ดินร่วนปนทรายแป้ง (Silty loam)	3
		ดินเหนียว (Clay)	1
ความลาดชันของภูมิประเทศ (Topography, T)	1	ช่วงค่าความลาดชัน (%)	ค่าคะแนน (Tr)
		< 2	10
		2-6	9
		7-12	5
		13-18	3
		>18	1
คุณสมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (Impact of vadose zone media, I)	5	ช่วงค่าของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (เซนติเมตร/ชั่วโมง)	ค่าคะแนน (Ir)
		<0.50	1
		0.51-2.00	3
		2.01-6.25	5
		6.26-12.50	7
		> 12.50	9

ตาราง 22 (ต่อ)

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา	ค่าถ่วงน้ำหนัก	การแบ่งช่วงค่าคะแนนของปัจจัย	
		ช่วงค่าของความนำทางชลศาสตร์ (เมตร/วัน)	ค่าคะแนน (Cr)
ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำบาดาล (Hydraulic conductivity of the aquifer, C)	3	<15	1
		15-43	2
		44-78	4
		79-123	6
		124-187	8
		>187	10
		ค่าดัชนีความเปราะบาง	
ค่าดัชนีความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดินต่อการเกิดมลภาวะ (DRASTIC Index Value)	ระดับความเปราะบาง		
	1	น้อยกว่า 108	
	2	108-121	
	3	122-132	
	4	132-143	
	5	มากกว่า 143	

ดัดแปลงจาก Aller; et al. (1987)

มีการกำหนดช่วงค่าข้อมูลและการกำหนดค่าคะแนนของแต่ละปัจจัย พิจารณาโดยอ้างอิงการแบ่งช่วงค่าข้อมูลจากรายงานการศึกษาที่ผ่านมาและจากการพิจารณาค่าทางสถิติข้อมูลจริงของพื้นที่ศึกษา ประกอบกับการลงความเห็นร่วมกันของผู้เชี่ยวชาญระดับนักธรณีชำนาญการพิเศษ จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล โดยดัดแปลงจาก Aller et al. (1987) ในส่วนการแบ่งช่วงค่าดัชนีความเปราะบางโดยใช้วิธีให้ซอฟแวร์แบ่งช่วงค่าตามความเหมาะสม (Natural break Classification) และวิธีการประมาณค่าในช่วงรูปแบบ IDW (Inverse Distance Weighting) เป็นวิธีการประมาณค่า ถ้าจุดที่ต้องการประมาณค่าใกล้จุดตัวอย่างก็จะมีผลกระทบของค่ามาก ถ้าอยู่ไกลออกไปก็จะมีผลกระทบน้อยลง

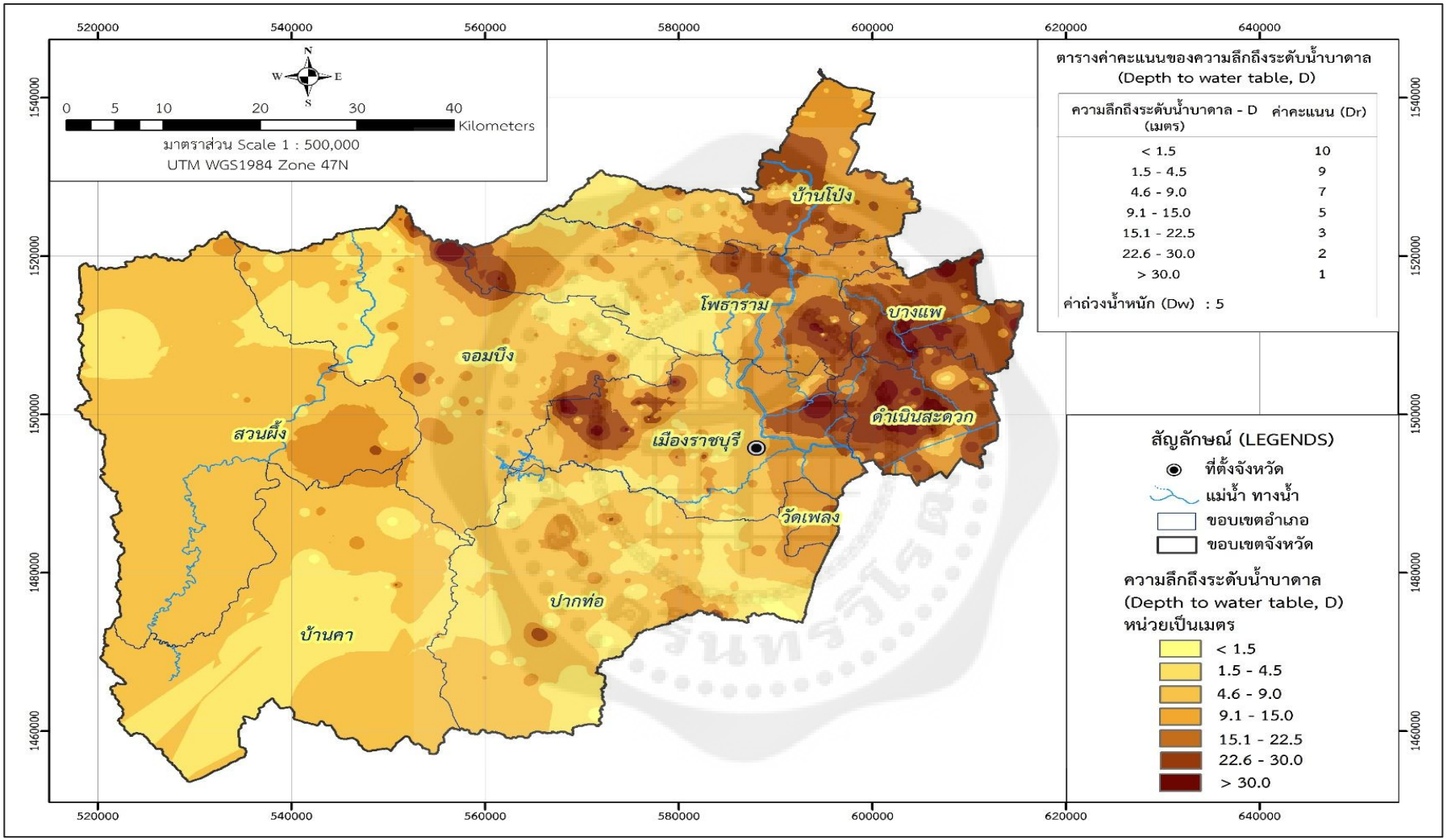
2. ผลการวิเคราะห์ปัจจัยความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน

จากการศึกษาและประเมินปัจจัยที่มีผลต่อความเปราะบางต่อมลภาวะของชั้นน้ำใต้ดิน ทั้ง 7 ปัจจัย ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแต่ละปัจจัย ดังนี้

(1) ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล

ข้อมูลความลึกถึงระดับน้ำบาดาล รวบรวมได้จากบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดราชบุรี จำนวน 1,155 บ่อ ระดับความลึกตั้งแต่ตื้นสุด คือ 0.5 เมตร จนไปถึงระดับความลึกมากสุด 86 เมตร (ที่มีข้อมูลบ่อครบถ้วนสมบูรณ์) ระดับน้ำบาดาลโดยเฉลี่ย อยู่ที่ประมาณ 10 เมตร ระดับน้ำบาดาลที่มีความลึกมากกว่า 15 เมตร ส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ในบริเวณทางด้านตะวันออกของจังหวัดราชบุรี บริเวณอำเภอบางแพ และอำเภอดำเนินสะดวก เนื่องจากอยู่ในพื้นที่ราบลุ่มแอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระเจ้าพระยาตอนล่าง ที่รองรับด้วยชั้นตะกอนดินเหนียวและกรวดทราย ทางด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา มีจำนวนบ่อน้ำบาดาลค่อนข้างกระจายตัวอยู่น้อย เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีภูมิประเทศเป็นภูเขาและมีความลาดชันมาก ทางด้านตอนกลางและทางตะวันตก ข้อมูลความลึกถึงระดับน้ำบาดาลค่อนข้างตื้นกว่าทางด้านตะวันออกของพื้นที่ โดยส่วนใหญ่มีความลึกน้อยกว่า 5 เมตร ครอบคลุมพื้นที่หลายอำเภอ ได้แก่ อำเภอบ้านคา สวนผึ้ง จอมบึง ปากท่อ วัดเพลง โพธาราม และบางส่วนของอำเภอเมืองราชบุรี

เมื่อพิจารณาเฉพาะข้อมูลความลึกถึงระดับน้ำบาดาล บริเวณที่ชั้นน้ำบาดาลมีโอกาสถูกปนเปื้อนจากมลพิษมาก ส่วนใหญ่อยู่ทางด้านตอนกลาง ตะวันตก และทิศใต้ ของพื้นที่ศึกษา ส่วนบริเวณที่มีโอกาสถูกปนเปื้อนจากมลพิษน้อย ส่วนใหญ่อยู่ทางด้านตะวันออกของพื้นที่ในเขตอำเภอบางแพ และอำเภอดำเนินสะดวก ดังแสดงในภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 แผนที่แสดงค่าความลึกถึงระดับน้ำบาดาล

(2) อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

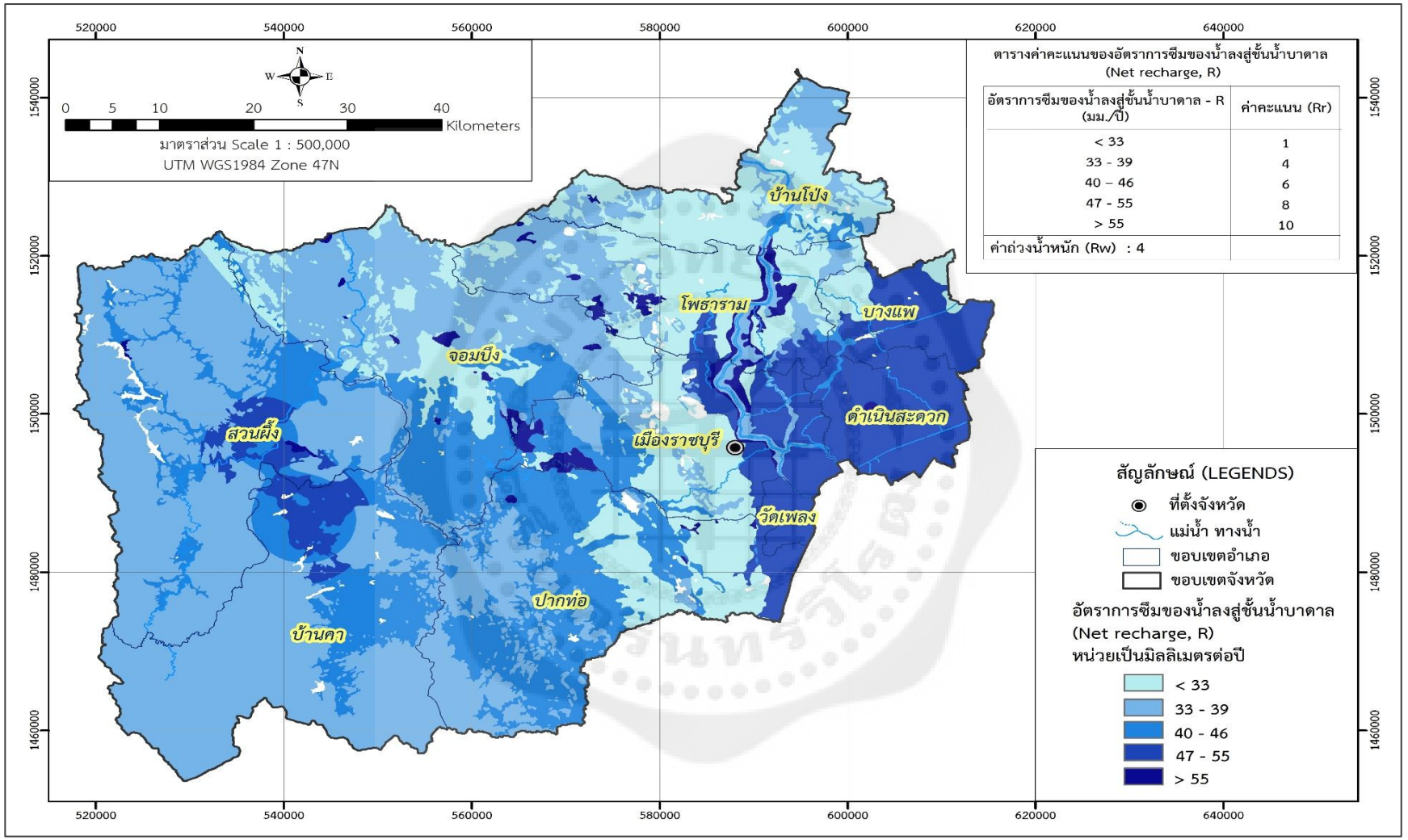
ค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลจะพิจารณาจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่ และอัตราการซึมผ่านของน้ำฝนโดยการจำแนกตามประเภทของดิน (soil type) ของกรมพัฒนาที่ดิน จากการวิเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่ศึกษา ด้วยการประเมินอัตราการซึมผ่านในหน่วยร้อยละของปริมาณฝน (r) และสัมประสิทธิ์การซึมได้ของดิน (i) ในหน่วย เซนติเมตร/ชั่วโมง (ซม./ชม.)

จากความสัมพันธ์ของสมการ r = 0.24(i) + 3.2 ซึ่งสรุปได้ว่า ปริมาณน้ำฝนที่ไหลลงสู่ชั้นน้ำบาดาลตามประเภทดิน เป็นอัตราส่วนร้อยละ 3.3 ถึง 7.7 ของปริมาณฝนสะสมรายเดือน ต่อจากนั้นนำมาคำนวณค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

(R) = ปริมาณน้ำฝน x ร้อยละของอัตราการซึมผ่านของฝน

ปริมาณน้ำฝน หน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อปี ได้จากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา นำมาคำนวณปริมาณน้ำฝนรวมรายปีเฉลี่ยในรอบ 30 ปี ทั้งหมด 122 สถานี โดยช่วงค่าปริมาณน้ำฝนรายปีของทั้งพื้นที่อยู่ระหว่าง 818-1,149 มิลลิเมตรต่อปี

เมื่อนำปริมาณน้ำฝนมาคูณกับค่าร้อยละของอัตราการซึมผ่านของฝน ซึ่งมีค่าระหว่าง 3.3-7.7 ที่คำนวณได้จากสมการ r = 0.24(i) + 3.2 ข้างต้น จะได้ค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (R) ในหน่วยมิลลิเมตรต่อปี ดังแสดงในภาพประกอบ 15



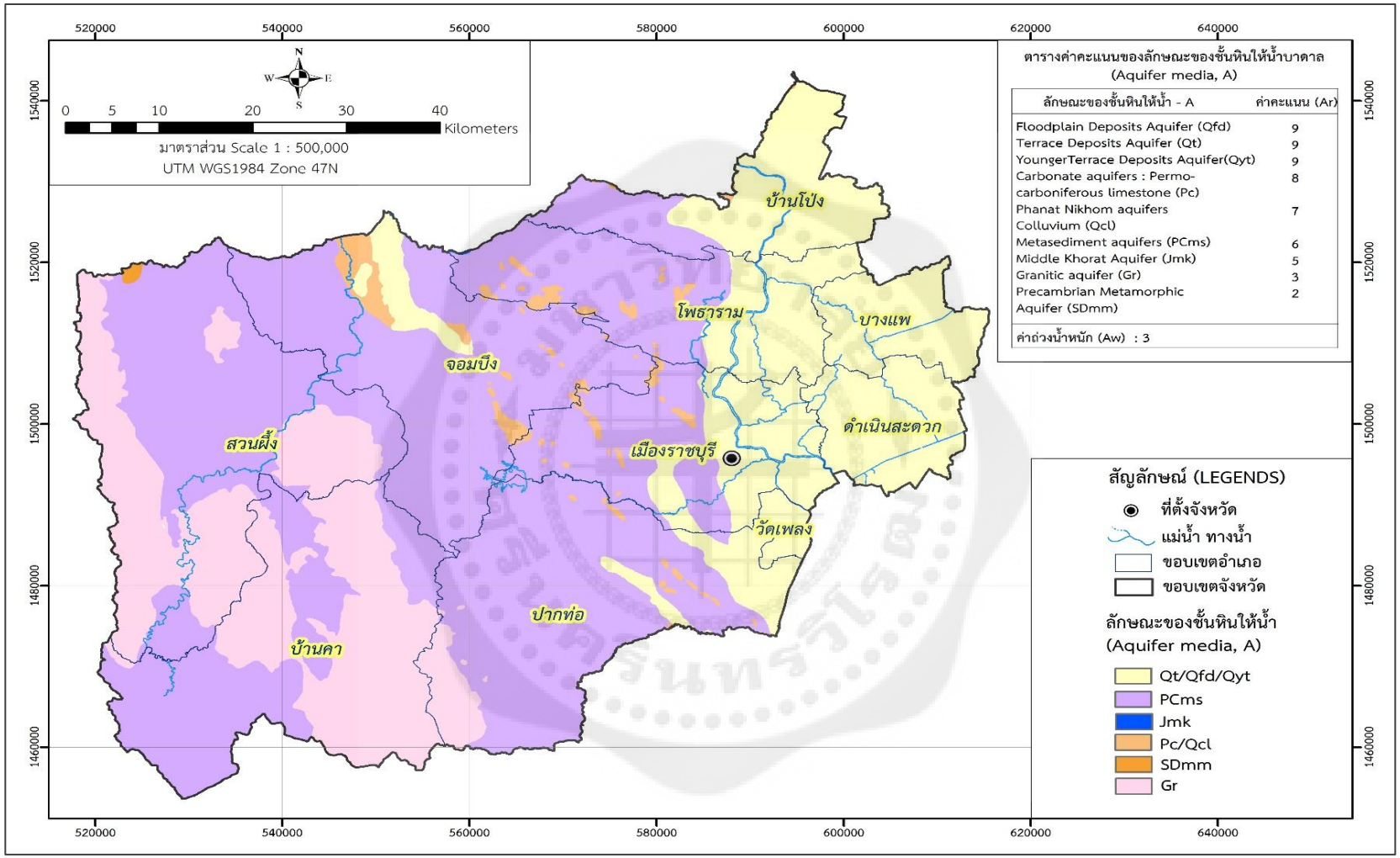
ภาพประกอบ 15 แผนที่แสดงค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

ทั้งนี้หากพื้นที่บริเวณใดมีค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในปริมาณที่มากกว่า จะแสดงถึงโอกาสที่มลสารจะสามารถซึมลงไปสู่ชั้นน้ำบาดาลได้เร็วกว่าในบริเวณที่มีค่าอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในปริมาณที่น้อยกว่า บริเวณที่มีอัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลสูง ส่วนใหญ่ครอบคลุมพื้นที่ด้านทิศตะวันออกของจังหวัด อำเภอดำเนินสะดวก อำเภอบางแพ บางส่วนของอำเภอวัดเพลง และอำเภอเมือง อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำฝนมาก ชนิดของดินในเขตนี้น้ำซึมผ่านได้ดี

(3) ลักษณะชั้นหินให้น้ำบาดาล

ลักษณะของชั้นหินให้น้ำ จะพิจารณาจากวัสดุว่าเป็นชั้นตะกอนร่วน (unconsolidated sediment) หรือชั้นหินแข็ง (consolidated rock) ซึ่งหินแข็งที่มีรอยแตกหรือรอยเลื่อนมากหรือมีขนาดใหญ่ จะทำให้ความสามารถในการซึมผ่านได้ของชั้นน้ำบาดาลได้ดี นั่นคือมีความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดินมากขึ้นด้วย ส่วนชั้นน้ำบาดาลที่เป็นตะกอนร่วน อัตราการซึมผ่านจะขึ้นอยู่กับการเรียงตัวของเม็ดตะกอนที่รวมตัวกันเป็นชั้นน้ำบาดาล

จากการพิจารณาข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยา แผนที่อุทกธรณีวิทยา และแผนที่น้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ศึกษา พบว่าทางด้านตะวันออกของพื้นที่รองรับด้วยชั้นน้ำบาดาลในตะกอนร่วน จำพวก กรวด ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว และศิลาแลง (Qt/Qfd/Qyt) จึงมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของน้ำ (permeability) ได้ดี ซึ่งมีโอกาสสูงในการถูกปนเปื้อนจากแหล่งมลพิษ ในขณะที่พื้นที่ทางตอนกลางและทางด้านตะวันตกของพื้นที่ รองรับด้วยชั้นหินให้น้ำหินแข็งประเภทหินชั้นกึ่งแปร (PCms) และหินแกรนิต (Gr) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งชั้นหินให้น้ำทั้งสองชนิดนี้ เนื้อหินค่อนข้างแน่น มีช่องว่างน้อย และพบรอยแตกและรอยเลื่อนค่อนข้างน้อย โอกาสในการถูกปนเปื้อนจากแหล่งมลพิษจึงมีน้อยกว่า ดังแสดงในภาพประกอบ 16

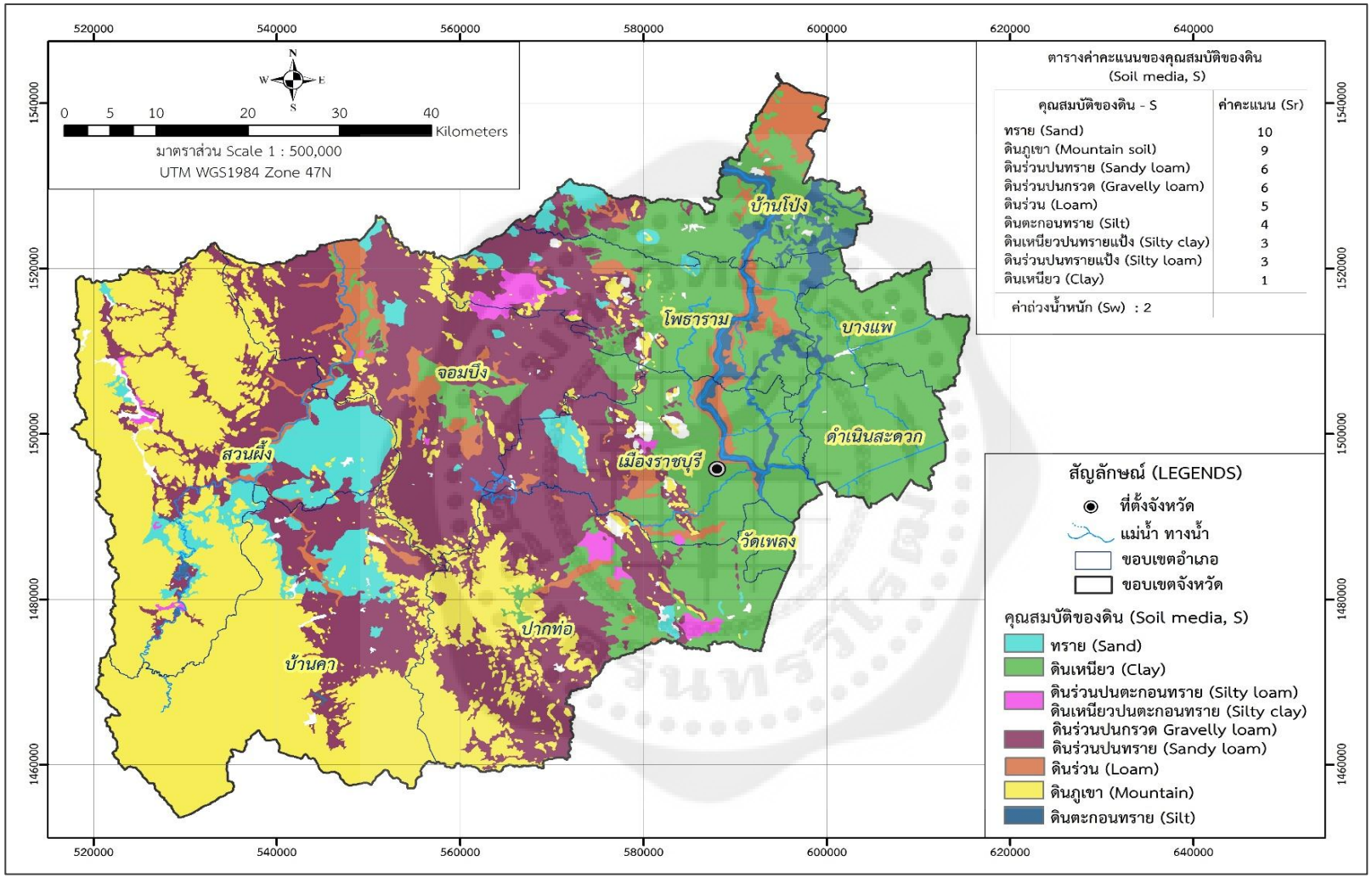


ภาพประกอบ 16 แผนที่แสดงลักษณะของชั้นหินให้น้ำบาดาล

(4) ลักษณะของชั้นดินปิดทับ

ดิน คือ วัสดุที่อยู่ชั้นบนสุดของผิวดินที่มีการกัดกร่อน โดยเฉลี่ยดินมีความลึกไม่เกิน 1.8 ม. จากผิวดิน อ้างอิงจาก Osborn, Eckenstein และ Koon, (1998) ดินมีผลต่อปริมาณน้ำที่สามารถซึมผ่านลงสู่ชั้นน้ำบาดาลเป็นอย่างมาก โดยทั่วไปแล้วดินที่มีความสามารถในการหดตัวหรือพองตัวน้อยกว่า และมีอนุภาคดินเล็กกว่ามลสารจะผ่านชั้นดินนั้นลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ยากกว่าดินที่มีความสามารถในการหดหรือพองตัวมากกว่าและจะมีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า

จากการศึกษาคุณสมบัติของดินในพื้นที่ศึกษา ที่ได้รวบรวมข้อมูลได้จากกรมพัฒนาที่ดิน พบว่า บริเวณทางด้านตะวันตกของพื้นที่เป็นประเภทดินภูเขาและทราย ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการในน้ำซึมผ่านลงไปสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ง่ายกว่าดินประเภทที่เป็นวัสดุเนื้อละเอียดมาก เช่น ทรายแป้ง และดินเหนียว ซึ่งมีคุณสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านได้ยาก สามารถลดการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนได้ ดินเหนียวส่วนใหญ่พบกระจายตัวอยู่ทางด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในภาพประกอบ 17

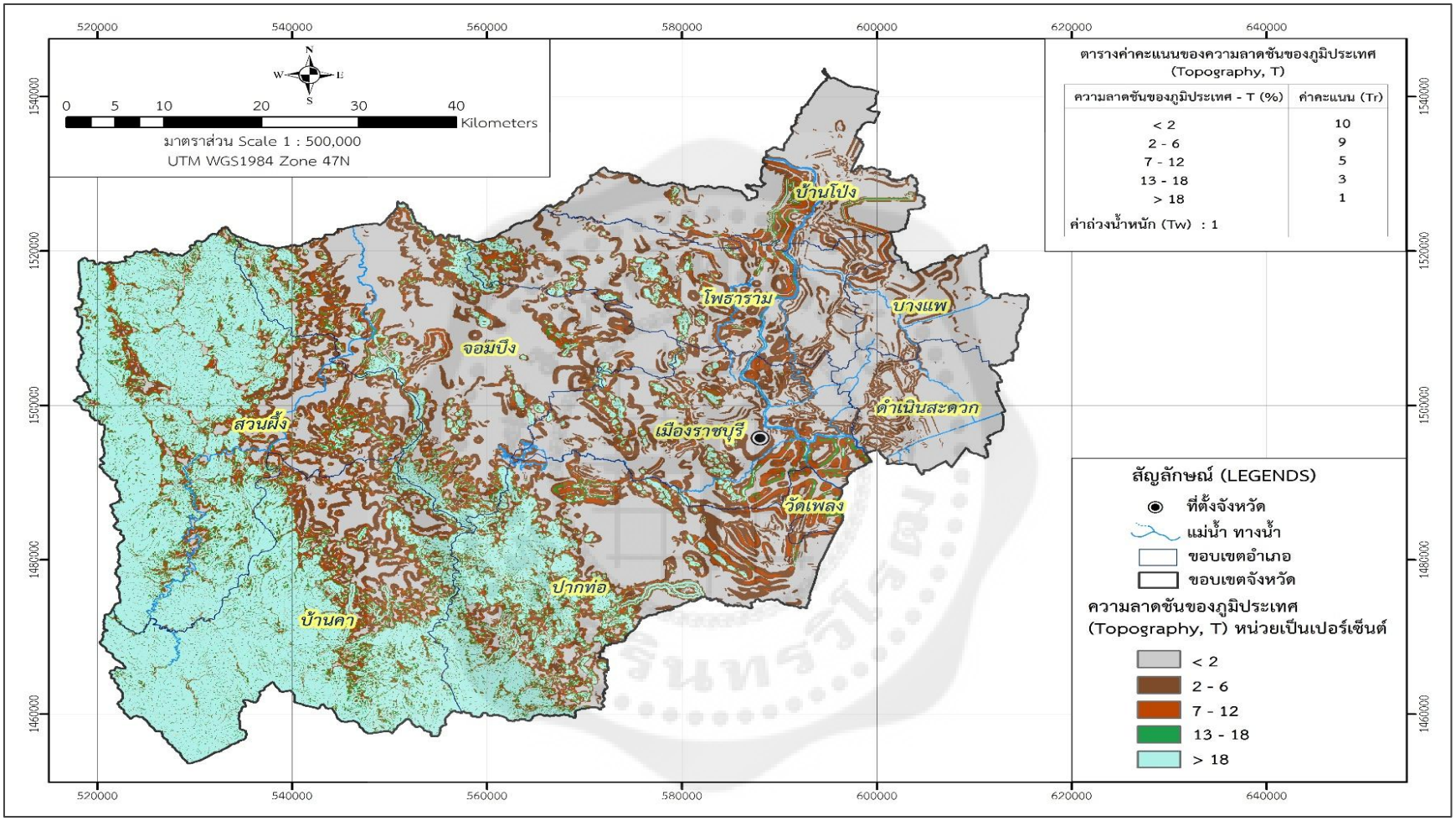


ภาพประกอบ 17 แผนที่แสดงคุณสมบัติของดิน

(5) ความลาดชันของภูมิประเทศ

ข้อมูลความลาดชันของภูมิประเทศจะแสดงถึงความชัน (slope) ของพื้นที่ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นไปได้ที่มลสารจะลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ถ้าพื้นที่เป็นบริเวณพื้นที่ราบที่มีความชันน้อยน้ำบาดาลและน้ำท่า (runoff) จะมีอัตราการไหลต่ำมลสารก็สามารถลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้มากขึ้น ในทางตรงข้ามถ้าพื้นที่มีความลาดชันสูงน้ำบาดาลและน้ำท่ามีอัตราการไหลสูงและเร็วกว่าจะทำให้โอกาสที่มลสารจะสัมผัสผิวดินและลงสู่ชั้นน้ำบาดาลมีน้อยลง

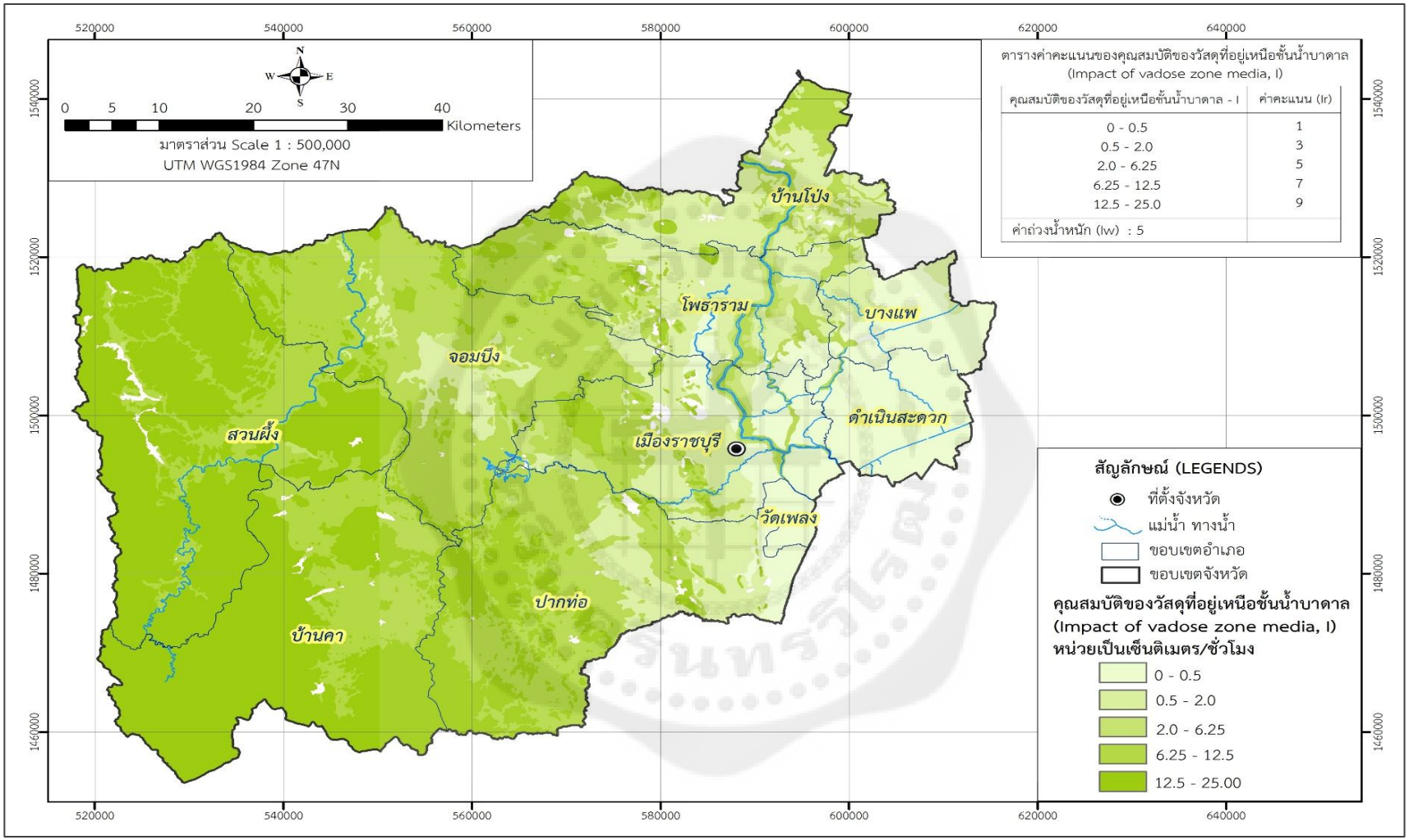
ความลาดชันของภูมิประเทศ (slope) คำนวณได้จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) โดยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของความลาดชัน พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ทางด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันค่อนข้างสูง (มากกว่า 18 เปอร์เซ็นต์) และความลาดชันของภูมิประเทศจะลดลงไปทางด้านตอนกลางและตะวันออก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบ มีความลาดชันของพื้นที่น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 แผนที่แสดงความลาดชันของภูมิประเทศ

(6) สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล

วัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (vadose zone) มีผลต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดิน ทั้งนี้การที่มลสารจะปนเปื้อนลงไปสู่ชั้นน้ำบาดาลในปริมาณมากหรือน้อยเพียงใด จะถูกควบคุมโดยลักษณะของชั้นดินและชั้นหินที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาลเป็นสำคัญ โดยการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำ โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นดิน (หน่วยเป็นเซนติเมตรต่อชั่วโมง) ซึ่งอ้างอิงข้อมูลสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของชั้นดิน จากการศึกษาของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่า ในพื้นที่ศึกษาทางด้านตะวันตกจะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของชั้นดินสูงกว่าทางด้านตอนกลางและทางด้านตะวันออกของพื้นที่ ซึ่งหมายความว่า พื้นที่ศึกษาทางด้านตะวันตก มีโอกาสสูงที่สารปนเปื้อนจะซึมผ่านชั้นดิน ลงไปสู่ชั้นน้ำบาดาลได้มากกว่าพื้นที่ทางด้านตอนกลางและตะวันออก ดังแสดงในภาพประกอบ 19

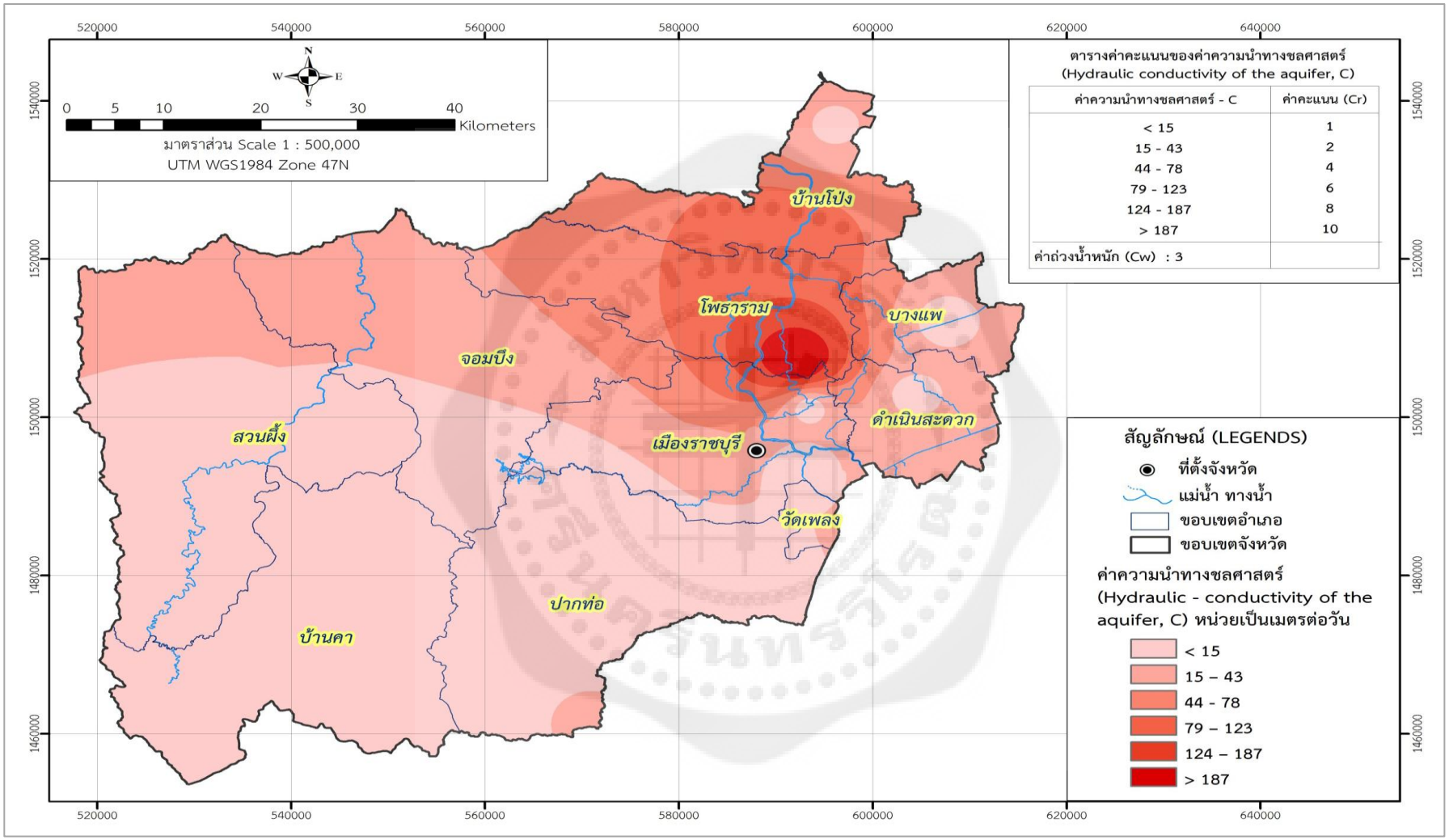


ภาพประกอบ 19 แผนที่แสดงสมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล

(7) ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำ

ความนำทางชลศาสตร์แสดงถึงความสามารถในการยอมให้น้ำไหลซึมผ่านชั้นน้ำบาดาลในแนวราบ (horizontal hydraulic conductivity) ซึ่งความสามารถนี้เป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของน้ำบาดาลภายใต้ความแตกต่างของแรงดันน้ำเช่นกัน อัตราการไหลของน้ำบาดาลส่งผลโดยตรงกับอัตราการเคลื่อนที่ของมลสารให้กระจายไปรวดเร็วหรือช้าจากจุดที่มลสารนั้นเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล ค่าความนำทางชลศาสตร์ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญทางธรณีวิทยา คือ ปริมาณของช่องว่างภายในชั้นน้ำบาดาล และความต่อเนื่องของช่องว่างเหล่านั้น รวมทั้งความต่อเนื่องของรอยแตกในชั้นน้ำบาดาลหินแข็ง

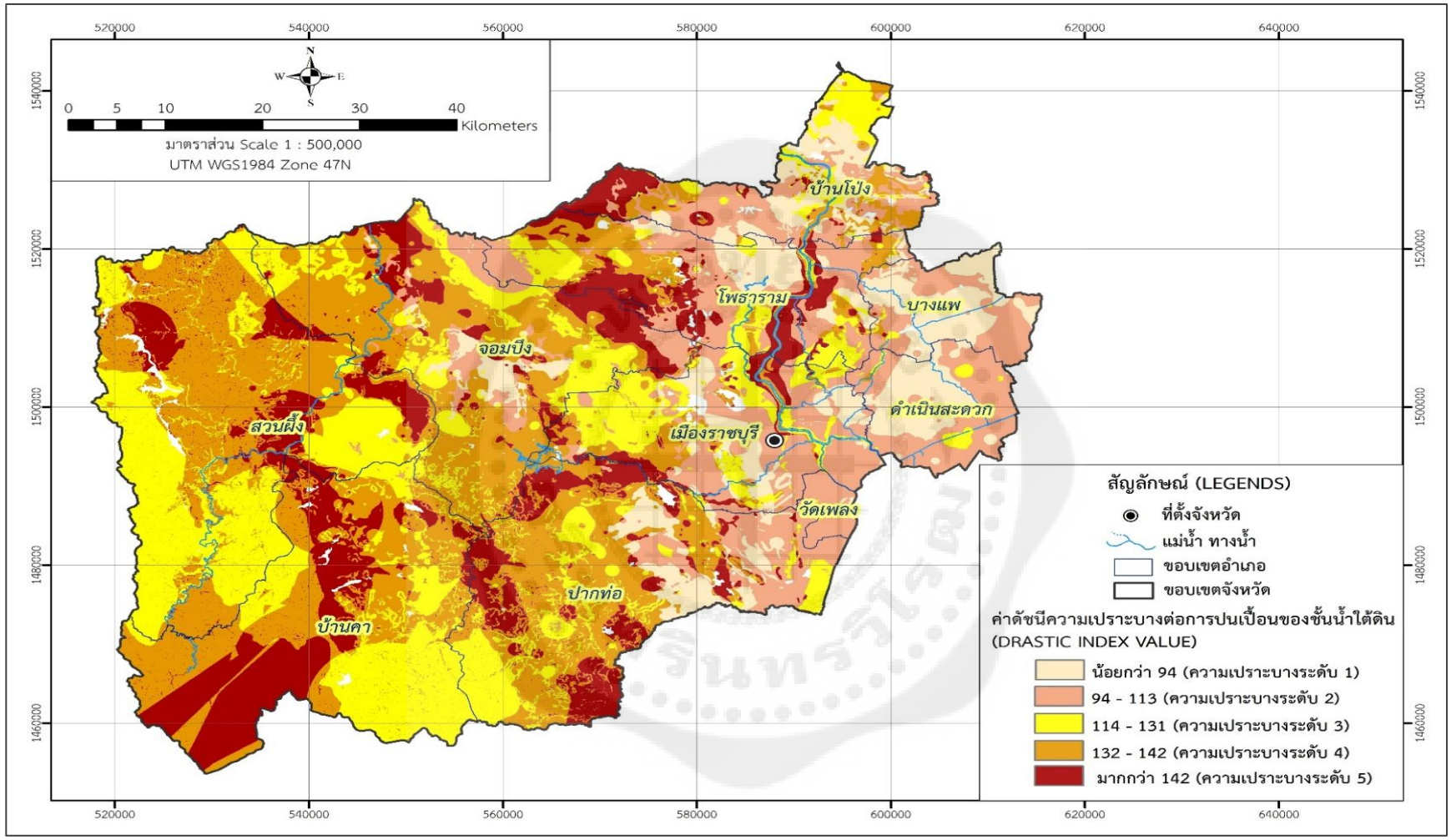
ข้อมูลค่าความนำทางชลศาสตร์ได้จากข้อมูลการสูบทดสอบปริมาณน้ำ (pumping test) จากบ่อน้ำบาดาลแต่ละบ่อ ที่กระจายตัวอยู่ในบริเวณพื้นที่ศึกษา แล้วนำมาคำนวณค่าคุณสมบัติของชั้นน้ำบาดาล (hydraulic properties) ซึ่งได้แก่ ค่าความนำทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล (hydraulic conductivity, K) โดยมีหน่วยเป็นเมตรต่อวัน จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าค่าความนำทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาลมีค่าสูงบริเวณพื้นที่อำเภอโพธารามและอำเภอบ้านโป่งและมีค่าน้อยบริเวณทางด้านตะวันตกและทิศใต้ของพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 แผนที่ค่าความนำทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล

3. ผลการวิเคราะห์ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนชั้นน้ำใต้ดิน

แผนที่ความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดิน (ภาพประกอบที่ 21) ซึ่งเป็นผลซึ่งเป็นผลมาจากการนำข้อมูล 7 ปัจจัยดังกล่าวข้างต้น มาทำการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ตามสมการของ DRASTIC โดยเป็นการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในรูปแบบราสเตอร์ ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นแผนที่แสดงความเปราะบางในเชิงเปรียบเทียบในการยอมให้มลสารต่าง ๆ จากผิวดินซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลของแต่ละพื้นที่ จากผลการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ พบว่าปัจจัยหลักที่มีนัยสำคัญที่สุดที่เป็นตัวกำหนดสภาพความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดราชบุรี คือ D (ความลึกของระดับน้ำบาดาล) และ I (สมบัติของชั้นที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล) รองลงมาคือ R (อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล) A (ลักษณะชั้นหินให้น้ำบาดาล) C (ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ) S (ลักษณะของชั้นดินปิดทับ) และ T (ความลาดชันของภูมิประเทศ) ตามลำดับ แม้ในพื้นที่ศึกษาจะมีความแตกต่างของความชันมากถึง 5 ระดับ แต่มีคะแนนที่ใช้ในการถ่วงน้ำหนักน้อยที่สุดจึงไม่มีผลในการประเมินมากเท่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ดังนั้น ความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษานี้จึงแปรผันตามความหนาของชั้นปิดทับและสมบัติของชั้นปิดทับชั้นน้ำบาดาลเป็นหลัก ทั้งนี้เนื่องจากการประเมินความเปราะบางด้วยวิธี DRASTIC พิจารณาปัจจัยหลายตัว ดังนั้นปัจจัยแต่ละตัวอาจจะส่งผลต่างๆ กันไป แผนที่ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดิน เป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาล โดยการนำแผนที่ดังกล่าวไปซ้อนทับกับแผนที่คุณภาพน้ำบาดาล และแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จะทำให้สามารถประเมินความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะได้



ภาพประกอบ 21 แผนที่ค่าดัชนีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดิน

ผลจากการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อน แสดงในรูปแผนที่ความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดิน (ภาพประกอบ 21) ซึ่งเป็นแผนที่ที่แสดงถึงความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดินหรือความสามารถในการปกป้องน้ำบาดาลจากมลสารของแต่ละพื้นที่ในเชิงเปรียบเทียบเฉพาะในพื้นที่ศึกษา จากผลการศึกษาหากพบว่าพื้นที่ใดมีความเปราะบางสูง มิได้แปลว่าพื้นที่นั้นมีความอันตรายมากกว่าปกติ เพียงแต่มีความเปราะบางสูงกว่าพื้นที่ที่เปรียบเทียบเท่านั้น จากแผนที่ความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดิน ได้ทำการแบ่งระดับความเปราะบางและช่วงค่าดัชนีความเปราะบางออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ต่ำ ค่อนข้างต่ำ ปานกลาง ค่อนข้างสูง และ สูง ตามลำดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนจากน้อยไปมาก ดังแสดงในตาราง 23 จะพบว่าพื้นที่ศึกษามีความเปราะบางหลายระดับตั้งแต่ระดับ 1 ถึง 5 โดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ระดับ 4 รองลงมาคือระดับ 3 ส่วนพื้นที่ที่มีความเปราะบางมาก คือ ระดับ 5 พบกระจายอยู่ในบางพื้นที่ของทุกอำเภอ จากมากที่สุดไปน้อยที่สุด ได้แก่ อำเภอบ้านคา ปากท่อ สวนผึ้ง จอมบึง และอำเภอโพธาราม ตามลำดับ และจำแนกพื้นที่ระดับความเปราะบางตามอำเภอต่าง ๆ ในตาราง 24

ตาราง 23 การจำแนกระดับความเปราะบางต่อมลภาวะของชั้นน้ำใต้ดินจากระดับน้อยไปมาก จากค่าดัชนีความเปราะบางของพื้นที่ศึกษา

ระดับความเปราะบาง	ค่าดัชนีความเปราะบาง	ครอบคลุมพื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
ความเปราะบางระดับที่ 1	น้อยกว่า 94	517	10.05
ความเปราะบางระดับที่ 2	94-113	844	16.40
ความเปราะบางระดับที่ 3	114-131	1,275	24.78
ความเปราะบางระดับที่ 4	132-142	1,681	32.67
ความเปราะบางระดับที่ 5	มากกว่า 142	829	16.11

ตาราง 24 การจำแนกระดับความเปราะบางต่อมลภาวะของชั้นน้ำใต้ดินเป็นรายอำเภอ

อำเภอ	พื้นที่ (ตร. กม.)	ระดับความเปราะบาง	คิดเป็นพื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
เมืองราชบุรี	469	1	66	14.07
		2	175	37.31
		3	133	28.36
		4	60	12.79
		5	35	7.46
รวมพื้นที่ (ตร.กม.)			469	100.00

ตาราง 24 (ต่อ)

อำเภอ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ระดับความเปราะบาง	คิดเป็นพื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
จอมบึง	782	1	42	5.37
		2	76	9.72
		3	170	21.74
		4	382	48.85
		5	112	14.32
รวมพื้นที่ (ตร.กม.)			782	100.00
สวนผึ้ง	990	1	0	0.00
		2	1	0.01
		3	419	42.32
		4	438	44.24
		5	132	13.33
รวมพื้นที่ (ตร.กม.)			990	100.00
ดำเนินสะดวก	212	1	84	39.69
		2	116	54.72
		3	11	5.19
		4	1	0.47
		5	0	0.00
รวมพื้นที่ (ตร.กม.)			212	100.00
บ้านโป่ง	348	1	84	24.14
		2	109	31.32
		3	64	18.39
		4	52	14.94
		5	39	11.21
รวมพื้นที่ (ตร.กม.)			348	100.00

ตาราง 24 (ต่อ)

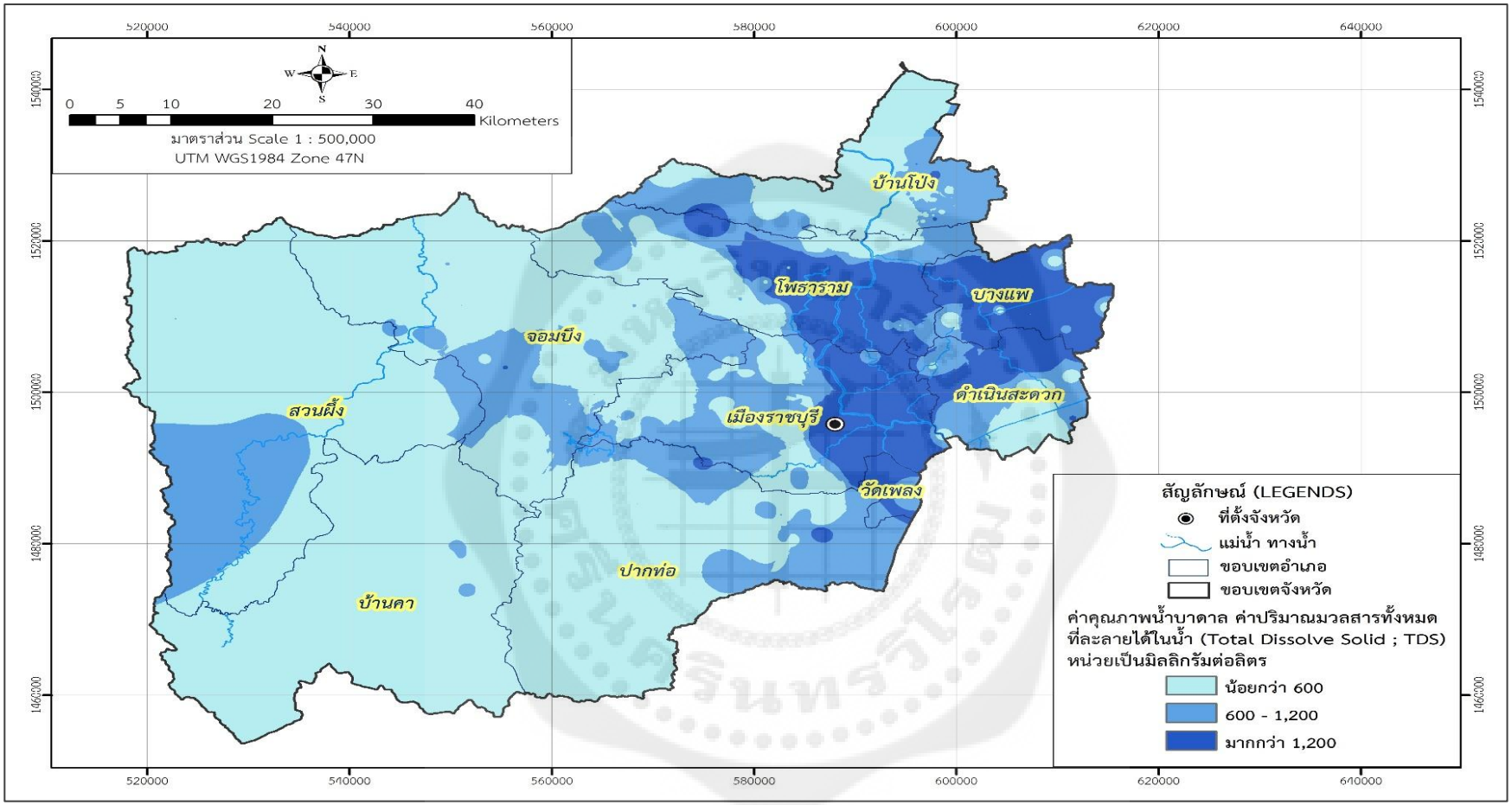
อำเภอ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ระดับความอ่อนไหว	คิดเป็นพื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
บางแพ	181	1	99	54.70
		2	77	42.54
		3	2	1.10
		4	3	1.66
		5	0	0.00
รวมพื้นที่ (ตร.กม.)			181	100.00
โพธาราม	486	1	65	13.37
		2	150	30.86
		3	76	15.64
		4	90	18.52
		5	105	21.60
รวมพื้นที่ (ตร.กม.)			486	100.00
ปากท่อ	799	1	74	9.26
		2	104	13.02
		3	147	18.40
		4	322	40.30
		5	152	19.02
รวมพื้นที่ (ตร.กม.)			799	100.00
วัดเพลง	37	1	2	5.41
		2	34	91.89
		3	1	2.70
รวมพื้นที่ (ตร.กม.)			37	100.00
บ้านคา	840	2	1	0.12
		3	253	30.12
		4	333	39.64
		5	253	30.12
รวมพื้นที่ (ตร.กม.)			840	100.00

4. ผลการเปรียบเทียบแผนที่แสดงความเปราะบางกับข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล

4.1 ปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total Dissolve Solid: TDS)

การวิเคราะห์ค่าปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ เกิดจากการรวบรวมผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล จากกองวิเคราะห์น้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด จำนวน 1,032 ตัวอย่าง จากตำแหน่งบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา นำข้อมูลมาประมาณค่าในช่วง (Interpolation) แสดงผลออกมาในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่แสดงปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแผนที่แสดงความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดิน โดยกำหนดช่วงค่าของข้อมูลออกเป็น 3 ช่วง (ตามเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปี พ.ศ. 2551) ได้แก่ ช่วงค่าข้อมูลน้อยกว่า 600 มก./ลิตร ช่วงข้อมูลที่มีค่า 600-1,200 มก./ลิตร และช่วงค่าข้อมูลที่มีค่ามากกว่า 1,200 มก./ลิตร ดังแสดงในภาพประกอบ 22

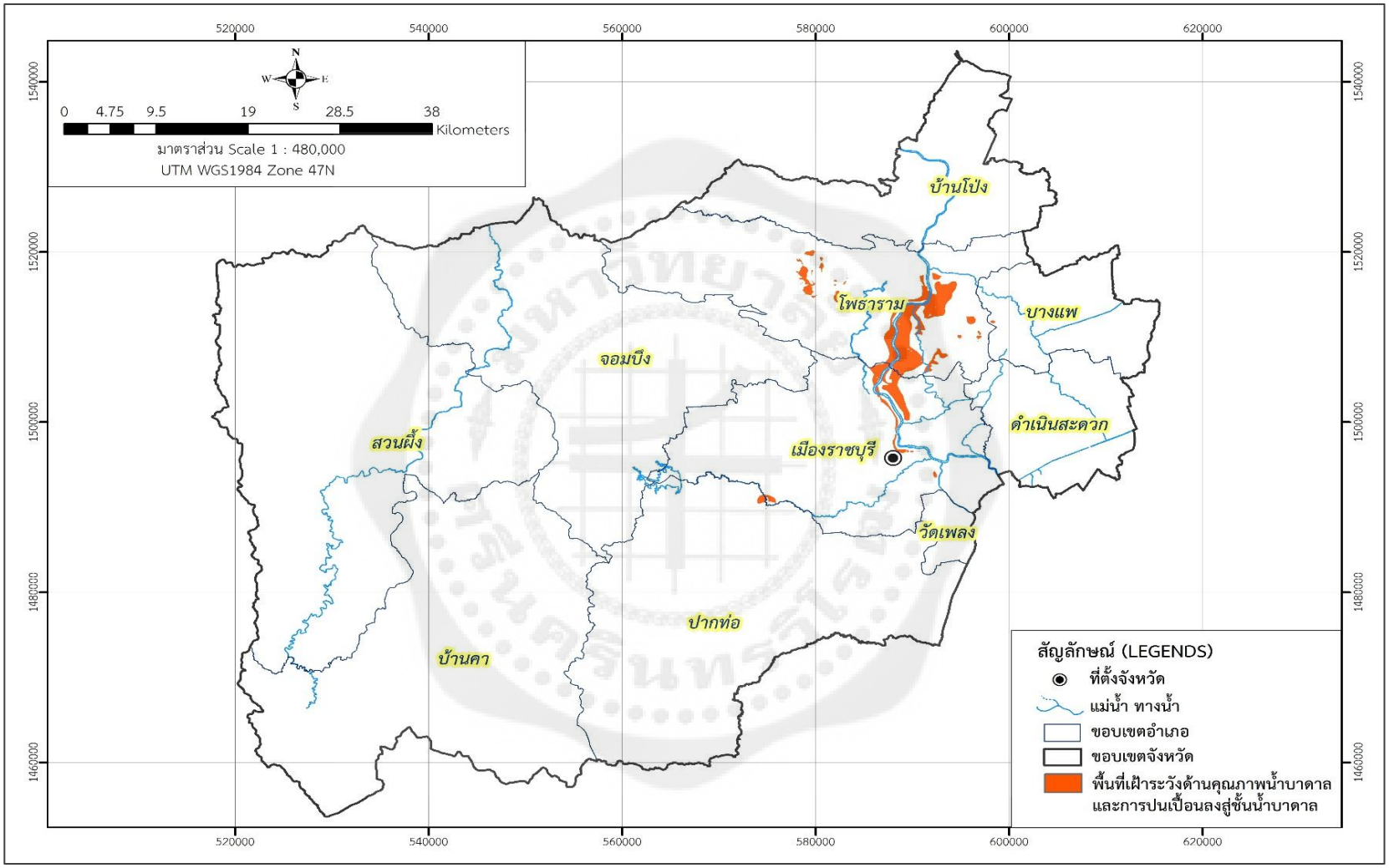
จากผลการวิเคราะห์แผนที่จะเห็นได้ว่า บริเวณพื้นที่ทางด้านตอนกลางและตะวันตกของพื้นที่ ส่วนใหญ่มีค่าผลวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบาดาลที่เหมาะสมสำหรับการบริโภคได้ คือ น้อยกว่า 600 มก/ลิตร และบางบริเวณในพื้นที่อำเภอสวนผึ้ง มีค่าผลวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์อนุโลมสูงสุดสำหรับน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค ค่าระหว่าง 600-1,200 มก./ลิตร ส่วนพื้นที่ทางด้านตะวันออกของพื้นที่ ส่วนใหญ่พบว่า ค่าคุณภาพน้ำบาดาลมีค่ามากกว่า 1,200 มก./ลิตร สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำบาดาลที่สามารถนำมาบริโภคได้



ภาพประกอบ 22 แผนที่ค่าปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TDS)

จากผลการวิเคราะห์บริเวณที่มีค่าปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อยู่ในเกณฑ์สูง (มากกว่า 1,200 มก./ลิตร) ซึ่งกระจายตัวอยู่บริเวณทางด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา ซึ่งส่วนใหญ่ครอบคลุมพื้นที่ที่รองรับด้วยชั้นหินให้น้ำตะกอนร่วน บริเวณพื้นที่อำเภอบางแพ ดำเนินสะดวก และอำเภอบ้านโป่ง

นอกจากนี้แล้วผู้ศึกษายังได้ศึกษาเพิ่มเติมโดยทำการซ้อนทับข้อมูลพื้นที่ที่มีค่าปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อยู่ในเกณฑ์สูง (มากกว่า 1,200 มก./ลิตร) กับข้อมูลพื้นที่ที่ระดับความเปราะบางสูงสุด (ความเปราะบางระดับที่ 5) พบว่า มีพื้นที่ที่ต้องเฝ้าระวังด้านการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา แสดงในภาพประกอบ 23 และสรุปได้ดังตาราง 25 ดังนี้



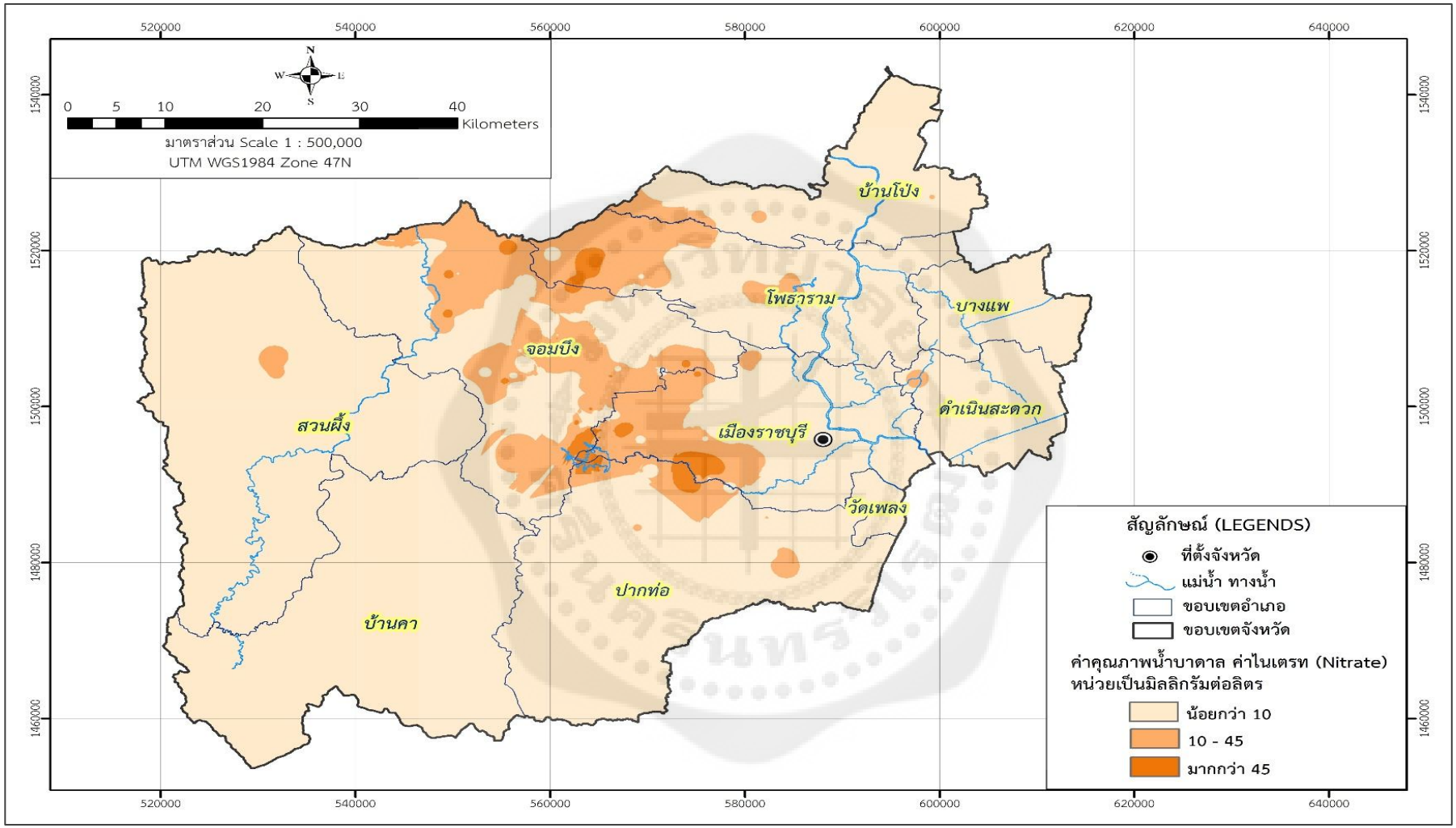
ภาพประกอบ 23 แสดงพื้นที่เฝ้าระวังด้านคุณภาพน้ำบาดาล (TDS) และการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

ตาราง 25 พื้นที่เฝ้าระวังด้านคุณภาพน้ำบาดาล (TDS) และการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

ลำดับที่	พื้นที่อำเภอ	พื้นที่เฝ้าระวัง (ตร.กม.)
1	บางแพ	0.13
2	ปากท่อ	0.71
3	เมืองราชบุรี	11.80
4	โพธาราม	39.22

4.2 ปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล

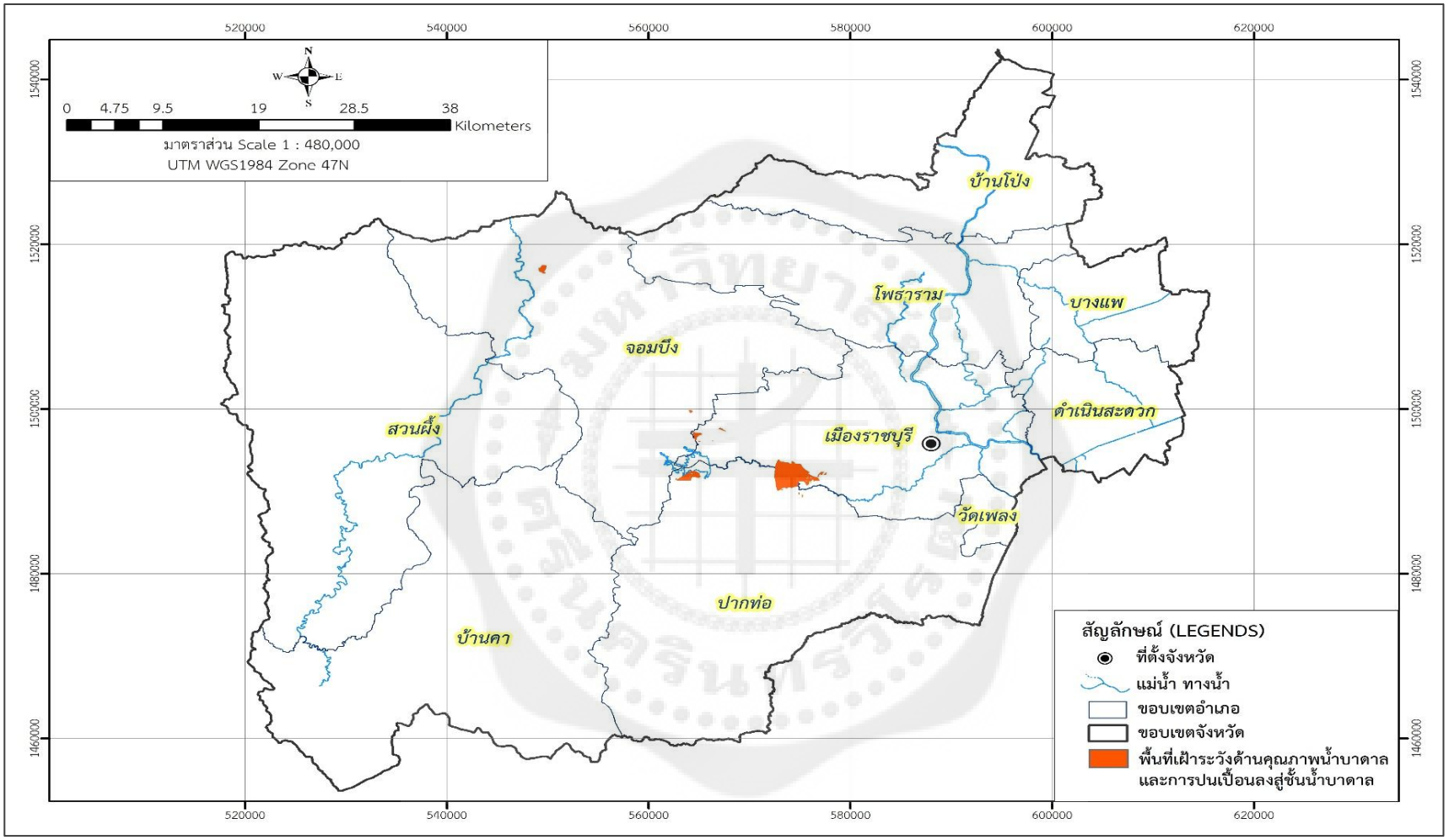
ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณไนเตรท รวบรวมผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล จากกองวิเคราะห์น้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด จำนวน 1,032 ตัวอย่าง จากตำแหน่งบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา นำข้อมูลมาประมาณค่าในช่วง แสดงผลออกมาในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่แสดงปริมาณไนเตรท เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแผนที่แสดงความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาล โดยกำหนดช่วงค่าของข้อมูลออกเป็น 3 ช่วง (ตามเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปี พ.ศ. 2551) ได้แก่ ปริมาณไนเตรทน้อยกว่า 10 มก./ลิตร ปริมาณไนเตรทมีค่า 10-45 มก./ลิตร และปริมาณไนเตรทที่มีค่ามากกว่า 45 มก./ลิตร ดังแสดงในภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 24 แผนที่ค่าปริมาณค่าไนเตรท (Nitrate)

จากผลการวิเคราะห์แผนที่จะเห็นได้ว่า บริเวณพื้นที่ทางด้านตะวันออกและตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ส่วนใหญ่มีค่าผลวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบาดาลที่เหมาะสมสำหรับการบริโภคได้ คือน้อยกว่า 10 มก./ลิตร พื้นที่บางบริเวณทางตอนกลาง มีค่าผลวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์อนุโลมสูงสุดสำหรับน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค ค่าระหว่าง 10-45 มก./ลิตร มีบางบริเวณเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่พบว่า ค่าคุณภาพน้ำบาดาลมีค่ามากกว่า 45 มก./ลิตร สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำบาดาลที่สามารถนำมาบริโภคได้ บริเวณอำเภอเมืองและอำเภอโพธาราม คาดว่าพื้นที่มีเกษตรกรรมร่วมอยู่ด้วย เนื่องจากปุ๋ยและสารเคมีที่ใช้ในกิจกรรมเหล่านี้มีส่วนประกอบของไนเตรทสูง

ผู้ศึกษายังได้ศึกษาเพิ่มเติมโดยทำการซ้อนทับข้อมูลพื้นที่ที่มีค่าปริมาณไนเตรทอยู่ในเกณฑ์สูง (มากกว่า 45 มก./ลิตร) กับข้อมูลพื้นที่ที่ระดับความเปราะบางสูงสุด (ความเปราะบางระดับที่ 5) พบว่า มีพื้นที่ที่ต้องเฝ้าระวังด้านการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา แสดงในภาพประกอบ 25 และสรุปได้ดังตาราง 26 ดังนี้



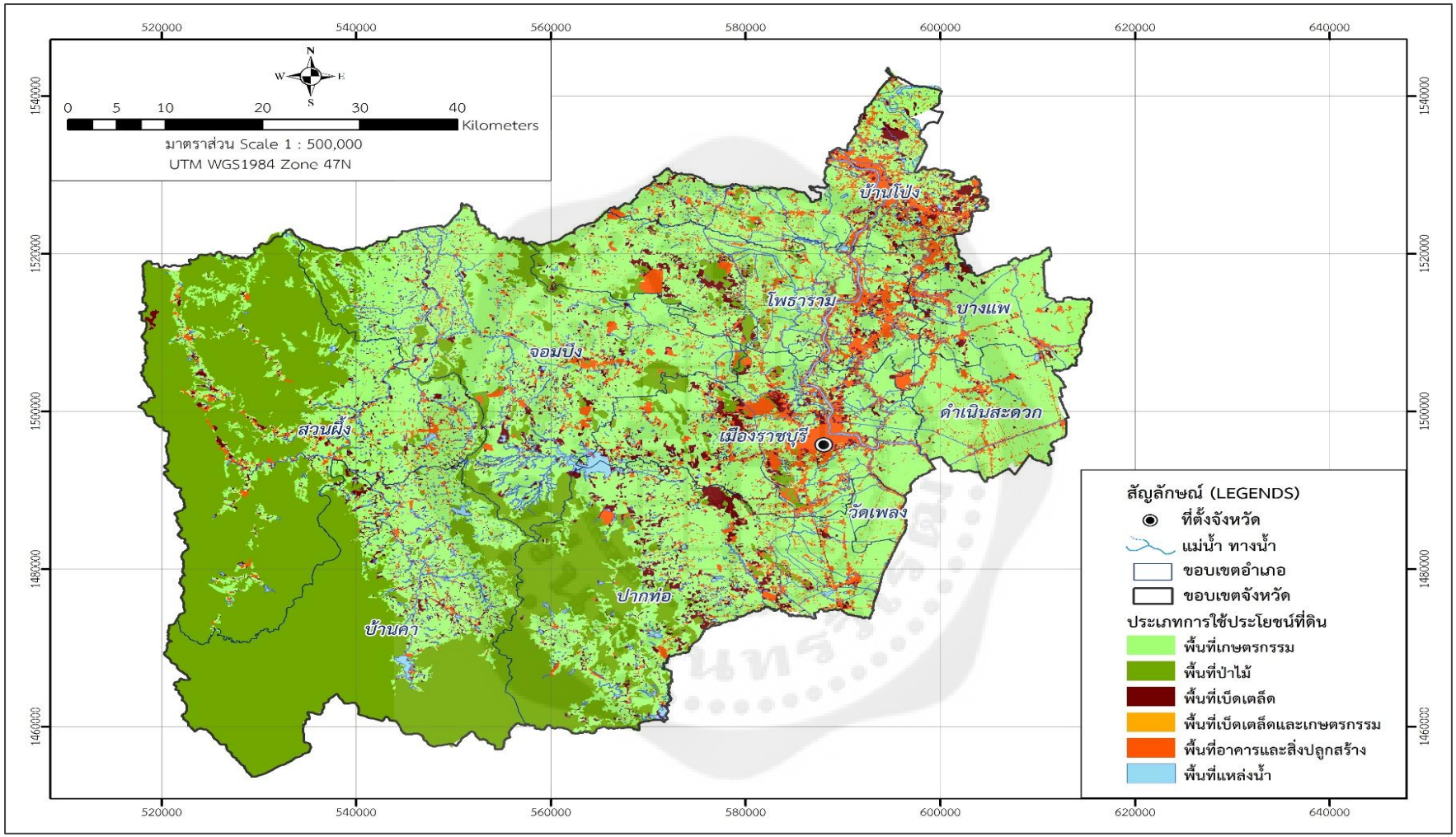
ภาพประกอบ 25 แผนที่แสดงพื้นที่เฝ้าระวังด้านคุณภาพน้ำบาดาลไนเตรทและการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

ตาราง 26 พื้นที่ที่ต้องเฝ้าระวังด้านคุณภาพน้ำบาดาลไนเตรทและการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

ลำดับที่	พื้นที่อำเภอ	พื้นที่เฝ้าระวัง (ตร.กม.)
1	จอมบึง	0.68
2	เมืองราชบุรี	5.66
3	ปากท่อ	6.36

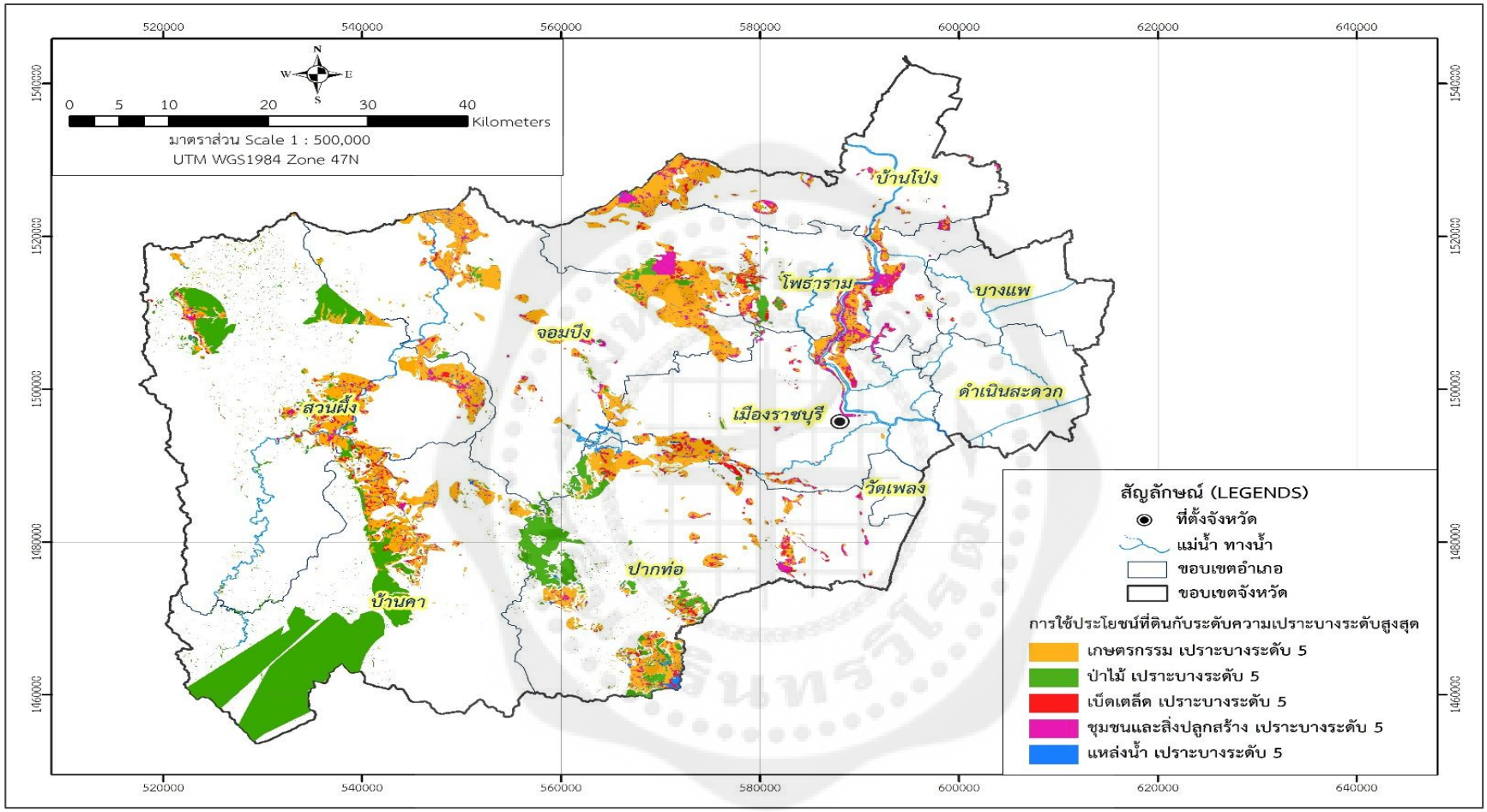
5. ผลการเปรียบเทียบแผนที่แสดงความเปราะบางกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การวิจัยครั้งนี้นำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 แสดงในภาพประกอบ 26 ซึ่งคาดว่าเป็นปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลกระทบต่อความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษของแหล่งน้ำใต้ดิน มาทำการวิเคราะห์ร่วม โดยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปของเวกเตอร์ (Vector data) ชนิดรูปปิด (Polygon) จากนั้น ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการซ้อนทับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน กับแผนที่แสดงความเปราะบาง โดยมีสมมุติฐานว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษอยู่ในเกณฑ์สูง ส่วนพื้นที่ป่าไม้มีความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษอยู่ในเกณฑ์ต่ำ



ภาพประกอบ 26 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2560)

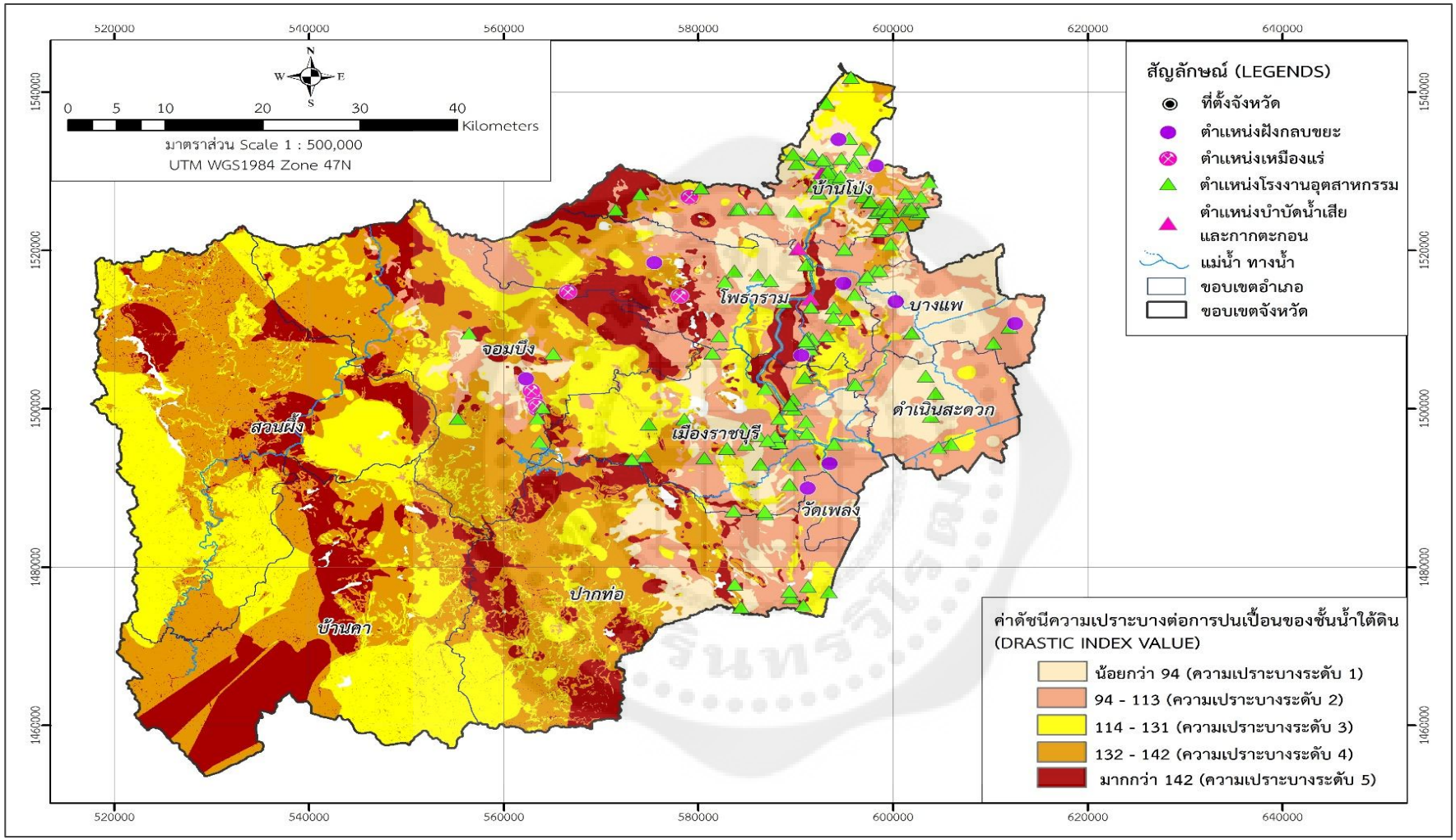
ผู้ศึกษาวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินซ้อนทับกับแผนที่ความเปราะบางระดับสูงสุด (ระดับ 5) ดังแสดงในภาพประกอบ 27 พบว่า ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีความเปราะบางระดับสูง เรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม (389 ตร.กม.) พื้นที่ป่าไม้ (306 ตร.กม.) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (67 ตร.กม.) พื้นที่เบ็ดเตล็ด (48 ตร.กม.) และพื้นที่แหล่งน้ำ (16 ตร.กม.) ตามลำดับ



ภาพประกอบ 27 แผนที่จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินกับระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนน้ำใต้ดินระดับสูงสุด

ผลการเปรียบเทียบไม่พบความสอดคล้องกันที่ชัดเจนของระดับความเปราะบางและการใช้ประโยชน์ที่ดิน บริเวณพื้นที่ที่เป็นแหล่งชุมชนและสิ่งปลูกสร้างที่ตั้งสมมุติฐานว่า อาจมีความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษอยู่ในเกณฑ์สูง กลับพบว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ส่วนใหญ่ความเปราะบางอยู่ที่ระดับ 2 ในขณะเดียวกันพบว่า บริเวณพื้นที่ที่เป็นป่าไม้และเกษตรกรรม ส่วนใหญ่ความเปราะบางอยู่ที่ระดับ 4 ทั้งนี้ เนื่องจากวิธีการศึกษาความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลด้วยแบบจำลอง DRASTIC เน้นให้ค่าน้ำหนักมากกับปัจจัยที่มีการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของมลสาร ลงไปจนถึงระดับน้ำบาดาลและชั้นหินให้น้ำ และไม่ได้คำนึงถึงแหล่งกำเนิดสารมลพิษอีกด้วย ทั้งนี้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จะเน้นการศึกษาและรวบรวบข้อมูลสิ่งที่พบ ความหนาแน่น และกิจกรรมที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิวดินเท่านั้น ไม่ได้ศึกษาถึงกิจกรรมที่ส่งผลกระทบต่อระดับน้ำบาดาลหรือชั้นน้ำบาดาล

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในเทอมของความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินไม่ได้นำแหล่งของสารปนเปื้อนเข้ามาศึกษาว่าแหล่งใดจะก่อให้เกิดการปนเปื้อนเพราะเนื่องจากว่าไม่ได้เป็นการศึกษาความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน แต่จะนำชั้นข้อมูลแหล่งมลพิษแต่ละประเภท ได้แก่ ที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรม แหล่งฝังกลบขยะ พื้นที่เหมืองแร่ และแหล่งบำบัดน้ำเสียและกากตะกอน เป็นต้น ซึ่งแสดงตำแหน่งที่ตั้ง ในภาพประกอบ 28 เพื่อพิจารณาในเชิงการจัดการพื้นที่และแนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อไป



ภาพประกอบ 28 ตำแหน่งของสารปนเปื้อนบนแผนที่ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนน้ำใต้ดิน

5.1 แนวทางในการจัดการพื้นที่

ควรมีแนวทางปฏิบัติในการบริหารจัดการน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดราชบุรี โดยใช้หลักการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำใต้ดิน และใช้เครื่องมือที่เหมาะสมในการบริหารจัดการพื้นที่ ได้แก่

1. การจัดการผู้ปล่อยมลพิษตามหลักเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดราชบุรี ศึกษามูลค่าความเสียหายทางเศรษฐศาสตร์อันเนื่องมาจากการปนเปื้อนของมลสาร ทั้งในแง่ของมูลค่าทรัพยากรและค่าเสียโอกาสในการใช้ประโยชน์ เพื่อกำหนดแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำใต้ดินที่เหมาะสมในพื้นที่จังหวัดราชบุรี

2. การมีระบบติดตามและเฝ้าระวังสถานการณ์การปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ในพื้นที่จังหวัดราชบุรี เพื่อส่งเสริมให้เกิดการป้องกันและเฝ้าระวังทรัพยากรน้ำใต้ดินอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ เพื่อติดตามและตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดิน วัดระดับน้ำปกติ ตรวจสอบระยะน้ำลด และวัดระดับน้ำคืนตัว ป้องกันผลกระทบจากมลสารต่างๆและเป็นมาตรการตรวจสอบป้องกันการปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดมลพิษ ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนในระดับที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3. การปรับปรุงและสนับสนุนให้เกิดการเชื่อมโยงในการทำงานของหน่วยงานภาครัฐ โดยอาศัยอำนาจตามกฎหมายหรือข้อบัญญัติต่างๆ ที่แต่ละหน่วยงานรับผิดชอบ เช่น ในการอนุญาตให้มีการจัดตั้งสถานประกอบการอันจะส่งผลให้เกิดการปนเปื้อน ในพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนระดับค่อนข้างสูงและสูง หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการเข้มงวดและศึกษาถึงความเหมาะสมและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับน้ำใต้ดิน ก่อนออกใบอนุญาต หรือ ออกกฎ ข้อบัญญัติต่างๆ เกี่ยวกับพื้นที่คุ้มครองทรัพยากรน้ำใต้ดิน

4. การส่งเสริมให้ประชาชนและองค์กรท้องถิ่นในจังหวัดราชบุรีเข้าใจ และให้ความร่วมมือในการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำใต้ดิน เช่น การให้ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุทกธรณีวิทยาของน้ำใต้ดิน หรือการสร้างเครือข่ายในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำใต้ดิน

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

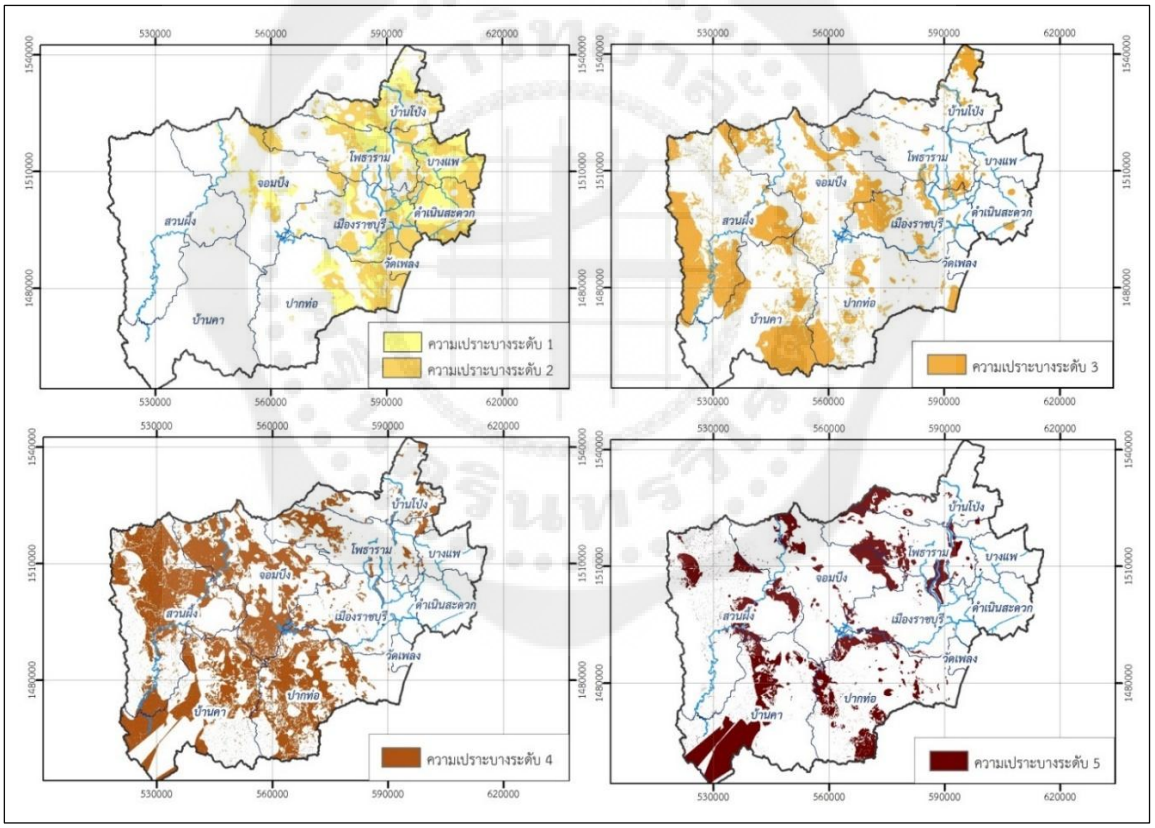
สรุปผลการศึกษา

การศึกษาความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดิน ที่ได้จากการศึกษาด้วยวิธีการประยุกต์แบบจำลอง DRASTIC และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นการประเมินความเปราะบางเชิงเปรียบเทียบในการที่มลสารต่าง ๆ จากผิวดินซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ในการดำเนินการศึกษาในครั้งนี้ ได้ใช้ข้อมูลอ้างอิง จากการศึกษาทบทวนข้อมูลเกี่ยวกับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล ที่มีการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล เช่น โครงการศึกษาประเมินคุณภาพน้ำบาดาลและการป้องกันในเขตภาคกลาง ปี พ.ศ. 2547 และโครงการศึกษาการประเมินศักยภาพด้านคุณภาพน้ำบาดาล ระบบติดตามการปนเปื้อนและวางแผนรายละเอียดการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่ระยองและชลบุรี และเทิดศักดิ์ ทรัพย์ทวีวัง (2550) ได้ทำการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษของน้ำบาดาล บริเวณแอ่งเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษางานวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองดราสติก DRASTIC มาประยุกต์ใช้ในการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน และทำการปรับปรุงการกำหนดค่าคะแนนของปัจจัยต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับข้อมูลของพื้นที่ศึกษา เพื่อจัดทำเป็นแผนที่ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในภาพรวมของพื้นที่จังหวัดราชบุรี ข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินการศึกษา เป็นข้อมูลทุติยภูมิทั้งหมด ซึ่งรวบรวมได้จากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดราชบุรี จากผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ใดมีความเปราะบางสูง มิได้แปลว่าพื้นที่นั้นมีความอันตรายมากกว่าปกติเพียงแต่มีความเปราะบางสูงกว่าบริเวณพื้นที่อื่น ๆ ในพื้นที่ศึกษาเดียวกันเท่านั้น แสดงด้วยแผนที่ความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดิน ได้ทำการแบ่งระดับความเปราะบางและช่วงค่าดัชนีความเปราะบาง ออกเป็น 5 ช่วง ตามลำดับความเปราะบางจากน้อยไปมาก ดังแสดงในตาราง 27 จะพบว่าพื้นที่ศึกษามีความเปราะบางหลายระดับ ตั้งแต่ระดับ 1 ถึง 5 โดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ระดับ 4 รองลงมาคือระดับ 3 ส่วนพื้นที่ที่มีความเปราะบางมาก คือ ระดับ 5 พบกระจายอยู่ในบางพื้นที่ของทุกอำเภอ จากมากที่สุดไปน้อยที่สุด ได้แก่ อำเภอบ้านคา ปากท่อ สวนผึ้ง จอมบึงและอำเภอโพธาราม ตามลำดับ และแสดงในรูปแบบแผนที่ ในภาพประกอบ 29

ตาราง 27 สรุปการจำแนกระดับความเปราะบางต่อมลภาวะของชั้นน้ำบาดาลจากระดับน้อยไปมาก จากค่าดัชนีความเปราะบางของพื้นที่ศึกษา

ระดับความเปราะบาง	ค่าดัชนีความเปราะบาง	ครอบคลุมพื้นที่ (ตร.กม.)
ความเปราะบางระดับที่ 1	น้อยกว่า 94	517
ความเปราะบางระดับที่ 2	94-113	844
ความเปราะบางระดับที่ 3	114-131	1,275
ความเปราะบางระดับที่ 4	132-142	1,681
ความเปราะบางระดับที่ 5	มากกว่า 142	829



ภาพประกอบ 29 แผนที่แสดงระดับความเปราะบางต่อมลภาวะของชั้นน้ำใต้ดิน ที่กระจายตัวในบริเวณต่างๆ

อภิปรายผลการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดินโดยวิธีแบบจำลอง DRASTIC ถูกพัฒนาโดย Aller et al. (1987) ในรูปแบบระบบมาตรฐานที่ง่ายต่อการนำไปใช้และตีความนี้พิจารณาข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยา 7 พารามิเตอร์ ได้แก่ 1) ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (Depth to water table, D), 2) อัตราการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Net recharge, R), 3) ลักษณะของชั้นหินน้ำบาดาล (Aquifer media, A), 4) ลักษณะของชั้นดินปิดทับ (Soil media, S), 5) ความลาดชันของภูมิประเทศ (Topography, T), 6) สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (Impact of vadose zone, I) และ 7) ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำ (Hydraulic Conductivity of the aquifer, C) ผลจากการวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์จะถูกแบ่งออกเป็นช่วงๆ และให้ค่าของแต่ละช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 10 หลังจากนั้นนำค่าคะแนนที่ได้มาคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 5 เพื่อให้ได้ค่าดัชนีความเปราะบาง (DRASTIC Index Value) ที่แสดงถึงระดับความเปราะบางต่อมลภาวะของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ โดยค่าถ่วงน้ำหนักของพารามิเตอร์ที่ถือได้ว่ามีความสำคัญต่อความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 5 และค่าถ่วงน้ำหนักของพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 1

การกำหนดค่าน้ำหนักและค่าคะแนนให้กับแต่ละพารามิเตอร์ ได้ทำการพิจารณาค่าคะแนนของพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากผลการศึกษาที่ผ่านมา ประกอบกับข้อมูลที่มีอยู่จริงในพื้นที่ศึกษา การกำหนดช่วงค่าข้อมูลและค่าคะแนนของพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยส่วนใหญ่ยังคงยึดถือตามหลักเกณฑ์จากผลการศึกษาที่ผ่านมา มีเพียงบางปัจจัยเท่านั้นที่ได้กำหนดช่วงค่าข้อมูลตามความเหมาะสมของข้อมูลที่มีอยู่จริงในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ช่วงค่าข้อมูลอัตราการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Net recharge, R) และค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำ (Hydraulic conductivity of the aquifer, C)

1. การวิเคราะห์แผนที่ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำใต้ดิน

ผลจากการประเมินและวิเคราะห์ความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดิน แสดงอยู่ในรูปของแผนที่ความเปราะบาง เป็นแผนที่ในเชิงเปรียบเทียบในการยอมให้มลสารต่าง ๆ จากผิวดินซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลของแต่ละพื้นที่ จากผลการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ พบว่าปัจจัยหลักที่มีนัยสำคัญที่สุดที่เป็นตัวกำหนดสภาพความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา คือ D (ความลึกของระดับน้ำบาดาล) และ I (สมบัติของชั้นที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล) รองลงมาคือ R (อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล) A (สมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล) C (ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำ) S (ลักษณะของชั้นดินปิดทับ) และ T (ความลาดชันของภูมิประเทศ) แม้ในพื้นที่ศึกษาจะมีความแตกต่างของความชันมากถึง 5 ระดับ แต่มีคะแนนที่ใช้ในการถ่วงน้ำหนักน้อยที่สุดจึงไม่มีผลในการประเมินมากเท่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ดังนั้นความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษานี้จึงแปรผันตามความหนาของชั้นปิดทับและสมบัติของชั้นปิดทับชั้นน้ำบาดาลเป็นหลัก ทั้งนี้เนื่องจาก

การประเมินความเปราะบางด้วยวิธี DRASTIC พิจารณาพารามิเตอร์หลายตัว ดังนั้นพารามิเตอร์แต่ละตัวอาจจะส่งผลต่างๆ กันไป

พื้นที่ศึกษามีความเปราะบางหลายระดับตั้งแต่ระดับ 1 ถึง 5 โดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ระดับ 4 รองลงมาคือระดับ 3 ส่วนพื้นที่ที่มีความเปราะบางมาก คือ ระดับ 5 พบกระจายอยู่ในบางพื้นที่ของทุกอำเภอ จากมากที่สุดไปน้อยที่สุด ได้แก่ อำเภอ บ้านคา ปากท่อ สวนผึ้ง และจอมบึง และอำเภอโพธาราม ตามลำดับ พื้นที่ความเปราะบางระดับต่ำที่ส่วนใหญ่พบอยู่ทางด้านตะวันออกของพื้นที่ จะสัมพันธ์สอดคล้องกับปัจจัย 3 ตัวแปร คือ ความลึกถึงระดับน้ำบาดาล (Depth to water table, D) ลักษณะของชั้นดินปิดทับ (Soil media, S) และสมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล (Impact of vadose zone, I) สาเหตุเนื่องจากปัจจัยสมบัติของดินที่รองรับด้วยชั้นดินเหนียว ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นดิน สามารถซึมผ่านลงในดินได้น้อย ประกอบกับระดับน้ำบาดาลอยู่ลึก โอกาสที่มลสารจะปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลจึงมีน้อยกว่าพื้นที่ทางด้านตะวันตก และพื้นที่ความเปราะบางระดับต่ำทางด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษาไม่สัมพันธ์กับอัตราการซึมผ่านของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (Net recharge, R) ลักษณะของชั้นหินให้น้ำบาดาล (Aquifer media, A) และค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินให้น้ำ (Hydraulic Conductivity of the aquifer, C) ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยนี้ ส่วนใหญ่ระดับคะแนนที่มีค่าสูงจะอยู่ทางพื้นที่ด้านตะวันออก

2. การเปรียบเทียบแผนที่แสดงความเปราะบางกับข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล

2.1 ปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total Dissolve Solid: TDS)

จากผลการวิเคราะห์แผนที่จะเห็นได้ว่า บริเวณพื้นที่ทางด้านตอนกลางและตะวันตกของพื้นที่ ส่วนใหญ่มีค่าผลวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบาดาลที่เหมาะสมสำหรับการบริโภคได้ คือน้อยกว่า 600 มก/ลิตร และบางบริเวณในพื้นที่อำเภอสวนผึ้ง มีค่าผลวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์อนุโลมสูงสุดสำหรับน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค ค่าระหว่าง 600-1,200 มก./ลิตร ส่วนพื้นที่ทางด้านตะวันออกของพื้นที่ ส่วนใหญ่พบว่า ค่าคุณภาพน้ำบาดาลมีค่ามากกว่า 1,200 มก./ลิตร สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำบาดาลที่สามารถนำมาบริโภคได้

ผลการเปรียบเทียบไม่พบความสอดคล้องกันที่ชัดเจนของระดับความเปราะบางและปริมาณมวลสารที่ละลายได้ในน้ำ อาจเนื่องจากวิธีแบบจำลอง DRASTIC เน้นเฉพาะการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของสารมลพิษจนกระทั่งถึงระดับน้ำบาดาล โดยไม่ได้สนใจถึงสถานะและการเคลื่อนที่ (Fate and transport) ของสารพิษในชั้นหินให้น้ำ นอกจากนั้นยังไม่ได้คำนึงถึงแหล่งกำเนิดสารมลพิษอีกด้วย สิ่งที่เห็นได้ชัดเจน คือ บริเวณที่มีปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อยู่ในเกณฑ์สูง (มากกว่า 1,200 มก./ลิตร) ซึ่งกระจายตัวอยู่บริเวณทางด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่ครอบคลุมพื้นที่ที่รองรับด้วยชั้นหินให้น้ำตะกอนร่วน บริเวณพื้นที่อำเภอบางแพ ดำเนินสะดวก และบ้านโป่ง

นอกจากนี้แล้วผู้ศึกษายังได้ศึกษาเพิ่มเติมโดยทำการซ้อนทับข้อมูลพื้นที่ที่มีค่าปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อยู่ในเกณฑ์สูง (มากกว่า 1,200 มก./ลิตร) กับข้อมูลพื้นที่ที่

ระดับความเปราะบางสูงสุด (ระดับ 5) พบว่า มีพื้นที่ที่ต้องเฝ้าระวังด้านการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา บริเวณอำเภอโพธารามและอำเภอเมืองราชบุรี

2.2 ปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล

จากผลการวิเคราะห์แผนที่จะเห็นได้ว่า บริเวณพื้นที่ทางด้านตะวันออกและตะวันตกของพื้นที่ศึกษา ส่วนใหญ่มีค่าผลวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบาดาลที่เหมาะสมสำหรับการบริโภคได้ คือน้อยกว่า 10 มก./ลิตร พื้นที่บางบริเวณทางตอนกลาง มีค่าผลวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์อนุโลมสูงสุดสำหรับน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค ค่าระหว่าง 10-45 มก./ลิตร มีบางบริเวณเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่พบว่า ค่าคุณภาพน้ำบาดาลมีค่ามากกว่า 45 มก./ลิตร สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำบาดาลที่สามารถนำมาบริโภคได้ บริเวณอำเภอเมืองและอำเภอโพธาราม

ผลการเปรียบเทียบไม่พบความสอดคล้องกันที่ชัดเจนของระดับความเปราะบางและปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาล สาเหตุคล้ายกับผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ นั่นคือ อาจเนื่องจากวิธีแบบจำลอง DRASTIC เน้นเฉพาะการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของสารมลพิษจนกระทั่งถึงระดับน้ำบาดาล โดยไม่ได้สนใจถึงสถานะและการเคลื่อนที่ (Fate and transport) ของสารพิษในชั้นหินให้น้ำ และไม่ได้คำนึงถึงแหล่งกำเนิดสารมลพิษอีกด้วย รวมทั้งพบว่า ไม่มีความสอดคล้องที่มีความชัดเจนกับค่าปัจจัยความเปราะบางแต่ละประเภท ของทั้ง 7 ปัจจัยแต่อย่างใด

นอกจากนี้แล้วผู้ศึกษายังได้ศึกษาเพิ่มเติมโดยทำการซ้อนทับข้อมูลพื้นที่ที่มีค่าปริมาณไนเตรทอยู่ในเกณฑ์สูง (มากกว่า 45 มก./ลิตร) กับข้อมูลพื้นที่ที่ระดับความเปราะบางสูงสุด (ระดับ 5) พบว่า มีพื้นที่ที่ต้องเฝ้าระวังด้านการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา บริเวณอำเภอปากท่อและอำเภอเมืองราชบุรี

2.3 การเปรียบเทียบแผนที่แสดงความเปราะบางกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ผลการเปรียบเทียบแผนที่แสดงความเปราะบางกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา พบว่าการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินซ้อนทับกับแผนที่ความเปราะบางระดับสูงสุด (เปราะบางระดับ 5) พบว่า ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีความเปราะบางระดับสูงเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม (389 ตร.กม.) พื้นที่ป่าไม้ (306 ตร.กม.) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (67 ตร.กม.) พื้นที่เบ็ดเตล็ด (48 ตร.กม.) และพื้นที่แหล่งน้ำ (16 ตร.กม.) ตามลำดับ ไม่พบความสอดคล้องกันที่ชัดเจนของระดับความเปราะบางและการใช้ประโยชน์ที่ดินกับบริเวณพื้นที่ที่เป็นแหล่งชุมชนและสิ่งปลูกสร้างที่ตั้งสมมุติฐานว่า อาจมีความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษอยู่ในเกณฑ์สูง กลับพบว่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ส่วนใหญ่ความเปราะบางอยู่ที่ระดับ 2 ในขณะเดียวกันพบว่า บริเวณพื้นที่ที่เป็นป่าไม้และเกษตรกรรม ส่วนใหญ่ความเปราะบางอยู่ที่ระดับ 4 ทั้งนี้ เนื่องจากวิธีการศึกษาความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลด้วยแบบจำลอง DRASTIC เน้นให้ค่าน้ำหนักมากกับปัจจัยที่มีการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของมลสาร ลงไปจนถึงระดับน้ำบาดาลและชั้นหินให้น้ำ และไม่ได้คำนึงถึงแหล่งกำเนิดสารมลพิษอีกด้วย รวมทั้งพบว่า ไม่มีความสอดคล้องที่มีความ

ชัดเจนกับค่าปัจจัยความเปราะบางแต่ละประเภท ของทั้ง 7 ปัจจัยแต่อย่างใด ทั้งนี้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จะเน้นการศึกษาและรวบรวบข้อมูลสิ่งที่พบ ความหนาแน่น และกิจกรรมที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิวดินเท่านั้น ไม่ได้ศึกษาถึงกิจกรรมที่ส่งผลกระทบต่อระดับน้ำบาดาลหรือชั้นน้ำบาดาล

ข้อคิดเห็นและเสนอแนะ

1. การกำหนดค่าน้ำหนักและค่าคะแนนให้กับแต่ละปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลอง ไม่จำเป็นต้องมีค่าตายตัวเสมอไปตามที่ผู้คิดค้น (Aller et. al., 1987) ได้เสนอไว้ แต่ควรขึ้นอยู่กับสภาพทางอุทกธรณีวิทยาของแต่ละพื้นที่มากกว่า โดยสามารถปรับแต่งค่าน้ำหนักและค่าคะแนนของปัจจัย ที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อโอกาสในการปนเปื้อนมลพิษของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่มากน้อยต่างกันออกไปได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ศึกษาอื่นๆได้

2. ข้อจำกัดของแบบจำลอง DRASTIC เพื่อประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาล คือ ข้อมูลที่รวบรวมมาได้มีความหลากหลายของช่วงเวลาและฤดูกาล ที่ทำการเก็บข้อมูลและตรวจวัดค่า รวมทั้งการปรับปรุงและเผยแพร่ และนำมาใช้ในการวิเคราะห์ บางปัจจัยอาจจะเป็นข้อมูลที่ไม่ได้ถูกรวบรวมได้จากช่วงเวลาเดียวกัน เช่น การวัดค่าระดับน้ำบาดาลในช่วงฤดูแล้งและช่วงฤดูฝนอาจได้ค่าที่แตกต่างกัน

3. ความถูกต้องของแผนที่แสดงความเปราะบาง ขึ้นอยู่กับคุณภาพ ความสมบูรณ์ถูกต้อง และครบถ้วนของข้อมูลที่ได้รับมาจากหลายหน่วยงาน

4. ผลจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ สามารถนำข้อมูลแผนที่ความเปราะบางมาซ้อนทับกับแผนที่สารมลพิษ ทำให้ได้พื้นที่สำหรับการเฝ้าระวัง และนำเสนอเป็นแผนการบริหารจัดการให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านต่างๆ ได้ เพื่อเป็นประโยชน์ในการติดตามและเฝ้าระวังต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2551). *โครงการประเมินศักยภาพด้านคุณภาพน้ำบาดาล วางระบบติดตามการปนเปื้อนและวางแผนรายละเอียดการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดระยองและชลบุรี.* กรุงเทพฯ: เมทริกซ์ แอสโซซิเอทซ์.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2559). *รายงาน 30 ตัวชี้วัดระดับน้ำบาดาล คุณภาพน้ำบาดาล และปริมาณการใช้น้ำบาดาล.* กรุงเทพฯ: กลุ่มพัฒนาระบบบริหาร กรมฯ.

กรมทรัพยากรธรณี. (2551). *การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดราชบุรี.* กรุงเทพฯ: แอดวานซ์ วิชั่น เซอร์วิส.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2555). *ข้อมูลดินและพัฒนาการด้านการสำรวจจำแนกดินของประเทศไทย. (ไฟล์ข้อมูล).* กรุงเทพฯ: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2560). *แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน มาตราส่วน 1: 50,000 จังหวัดราชบุรี.* กรุงเทพฯ: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมฯ.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2558). *แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทโรงงานอุตสาหกรรม.* สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2560, จาก http://prtr.pcd.go.th/inner_4.html

กิจการ พรหมมา. (2547). *อุทกธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อม.* พิษณุโลก: ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

กัมปนาท ขวัญศิริกุล. (2547). *การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษของน้ำบาดาล บริเวณแอ่งลำปาง จังหวัดลำปาง.* กรุงเทพฯ: สำนักบริหารโครงการ กรมชลประทาน.

จิระเดช มาจันแดง. (2556). DRASTIC : แบบจำลองระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สำหรับประเมินศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล DRASTIC: Geographic Information System Model for Evaluating Groundwater Pollution Potential. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* 41(3.)

ฉลอง บัวผัน. (2538). *น้ำบาดาล.* กรุงเทพฯ: สำนักโอเดรียนสโตร์.

ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงค์. (2546*). น้ำบาดาล.* ภาควิชาธรณีวิทยา. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เทิดศักดิ์ ทรัพย์ทวีวัง. (2550). *การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมลพิษของน้ำบาดาล บริเวณแอ่งเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ภูมิสาสนเทศ). เชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร

นำโชค เชี่ยงเห็น. (2550). *ความอ่อนไหวของระดับน้ำบาดาลในบริเวณอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ธรณีวิทยา) คณะวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง *กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกัน ด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ*. (2551, 21 พฤษภาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 125 ตอนพิเศษ 85ง. หน้า 15

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง *การกำหนดชนิดและขนาดของโรงงาน กำหนดวิธีการควบคุมการปล่อยของเสียมลพิษ หรือสิ่งใด ๆ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กำหนดคุณสมบัติของผู้ควบคุมดูแลผู้ปฏิบัติงานประจำ และหลักเกณฑ์การขึ้นทะเบียน ผู้ควบคุมดูแลสำหรับระบบป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ.* (2555, 31 มกราคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 129 ตอนที่ 26ง. หน้า 38.

วจี รามณรงค์ และสมชัย วงศ์สวัสดิ์. (2542, มกราคม). ศักยภาพน้ำบาดาลในประเทศไทย. *วารสารชมรมนักอุทกวิทยา*. 2(2): 240-276.

วิภา มีศิลป์. (2539). การปนเปื้อนของมวลสารบางชนิดในน้ำบาดาลอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ธรณีวิทยา) คณะวิทยาศาสตร์. สงขลา: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ถ่ายเอกสาร.

สำนักงานจังหวัดราชบุรี. (2559). *ข้อมูลทั่วไปจังหวัดราชบุรี.* ราชบุรี: กลุ่มงานข้อมูลสารสนเทศและการสื่อสาร.

สุเพชร จิรขจรกุล. (2555). *เรียนรู้ระบบสารภูมิสนเทศด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.1 for Desktop.* กรุงเทพฯ: เอสอาร์พริ้นติ้งค์ แมสโปรดักส์.

Adams B, Foster SD.(2003) *Land-surface zoning for groundwater protection*. Jour. Institution of Water and Environmental Management. 6: 312-320.

Anomu.G.K., Kabo-bah. A.T.,& Anim-Gyampo.M (2012). *Evaluation of Groundwater vulnerability in the Densu River Basin of Ghana*. American Journal of Human Ecology. l (3). 79-86.

Al-Rawabdeh. A. M., Al-Ansari. N. A., Al-Taani. A. A.,& Knutsson. S. (2013). *A GIS=based drastic model for assessing aquifer vulnerability in Amman-Zerqa groundwater basin Jorda*n. Engineering. 5: 490-504.

Aller,L., Bennet, T., Lehr.J.H.,& Petty, R.J. (1987), DRASTIC: A *standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydro geologic settings*. USEPA document no. EPA/600/2: 85-108.

Almarsi.M.N. (2008). *Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza coastal aquifer*. Palestine. Journal of Environmental Management. 88: 577-593.

Azz, Y, Essahlaoui, A., Ouali, A.,E.,& Hmaidi, A.E., (2012). *Evaluation of the groundwater vulunerability to pollution at the middle Atlas Plateau (El Hajeb-I frane Region) based on Drastic model and GIS.Research*. journal of Earth Sciences, 4(1): 1-4.

Babiker, IS.,Mohamed, A.A.M., Hiyama, T.,& Kato, K. (2005). *A GIS-based DRASTIC model for assessing a quifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan*. Science of the Total Environment 345: 127-140.

Foster SSD. (1987) *Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy*. In: vanDuijvenbooden W, van Waegeningh HG, editors. Vulnerability of soil and groundwater topollutants.

Osborn, N.I., Eckenstein, E. และ Koon,K.Q.,(1998) *Vulnerability Assessment of Twelve Major Aquifers in Oklahoma*: Oklahoma Water Resources Board Technical Report.

Rahman, A. (2008). *A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh*. India. Applied Geography. 28: 32-53.

Ratana P. (2000). *Drastic groundwater vulnerability mapping using gis technology.* [Master Thesis in Science inInformation for Natural Resources Management]. Indonesia: Bogor Agricultural University;

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลความลึกถึงระดับน้ำบาดาล จังหวัดราชบุรี

หมายเลขบ่อ	ความลึกบ่อ (เมตร)	ความลึกน้ำ (เมตร)	พิกัด		ชั้นหินให้น้ำ
			UTME	UTMN	
MS404	30.0	0.5	583840	1494749	PCms
TL156	45.0	0.6	566572	1473598	PCms
DCD17885	24.4	0.6	577363	1508189	PCms
TL266	62.0	0.7	572380	1471233	PCms
PW2463	34.1	0.8	584167	1496113	PCms
C646	30.0	0.8	572485	1511667	PCms
PW32463	30.0	0.8	563677	1523478	PCms
MU622	54.0	0.8	589409	1475941	PCms
TL475	49.5	0.9	568039	1511267	PCms
DCD18048	30.0	1.0	550386	1486439	Gr
DCD18178	33.0	1.0	573600	1515040	PCms
PW14273	31.0	1.0	546820	1512298	PCms
TL323	30.0	1.0	562862	1487308	PCms
DCD18155	30.0	1.0	576292	1509622	PCms
PW4599	39.0	1.0	572575	1509248	PCms
PW21748	119.1	1.0	596096	1511745	Qfd
C633	36.0	1.0	568760	1513969	PCms
DCD18233	21.0	1.0	584700	1484341	PCms
MD285	48.0	1.0	587921	1476553	PCms
DCD17878	15.0	1.1	570918	1510598	PCms
DCD18161	33.0	1.1	577228	1512157	PCms
MS132	36.0	1.1	576524	1512170	PCms
PW16353	39.5	1.1	590959	1474187	Qfd
TL149	57.0	1.1	579058	1512952	PCms
MU635	42.0	1.2	574455	1510209	PCms
MU726	42.0	1.2	569098	1513897	PCms

หมายเลขบ่อ	ความลึกบ่อ (เมตร)	ความลึกน้ำ (เมตร)	พิกัด		ชั้นหินให้น้ำ
			UTME	UTMN	
PW16588	36.4	1.2	575228	1477930	PCms
TL325	91.5	1.2	570698	1491692	PCms
DCD18217	24.0	1.3	584485	1475691	PCms
MD157	22.5	1.3	570722	1491190	PCms
PW13805	69.8	1.3	572104	1523782	PCms
MU688	36.0	1.5	587103	1476491	PCms
PW14272	37.2	1.5	541506	1512548	PCms
DCD17884	51.0	1.5	570213	1513794	PCms
DCD17999	39.0	1.5	540972	1500454	Gr
PW18466	24.7	1.5	559402	1506661	PCms
DCD17942	27.0	1.7	550987	1521284	Qyt
PW24493	18.3	1.7	571777	1526506	PCms
PW17922	30.6	1.8	550473	1479008	Gr
C645	36.0	1.8	574286	1508157	PCms
TL326	42.0	1.8	570377	1491854	PCms
TP206	24.0	1.8	577751	1505045	PCms
DCD17945	32.0	1.8	548684	1523346	Qfd
MD70	18.0	1.9	577245	1506080	PCms
PW14476	42.9	1.9	546539	1519323	Qfd
PW24494	42.7	2.0	575081	1524059	PCms
C722	30.0	2.0	559277	1501658	PCms
PW13804	30.4	2.0	572045	1512897	PCms
PW14449	55.5	2.0	561223	1497703	PCms
PW14494	60.5	2.0	561337	1498161	PCms
PW19005	30.5	2.0	576776	1510908	PCms
PW22641	43.1	2.0	573799	1514618	PCms

หมายเลขบ่อ	ความลึกบ่อ (เมตร)	ความลึกน้ำ (เมตร)	พิกัด		ชั้นหินให้น้ำ
			UTME	UTMN	
PW23182	36.4	2.0	589703	1527952	Qfd
TL315	42.0	2.0	577113	1487434	PCms
MD164	30.0	2.0	576822	1511047	PCms
PW23562	18.3	2.1	574065	1511728	PCms
PW25197	33.5	2.1	584621	1527037	Qyt
TL108	30.0	2.1	576158	1503888	PCms
TL295	42.0	2.1	560424	1472883	PCms
TL301	42.0	2.1	578972	1482423	PCms
TL331	24.0	2.1	584512	1486091	Qyt
TL111	42.0	2.1	571902	1510040	PCms
DCD18163	27.0	2.1	575592	1512883	PCms
PW23563	24.4	2.1	565500	1503622	PCms
PW14484	36.8	2.2	537881	1519208	PCms
PW16589	18.2	2.2	575738	1512702	PCms
MD201	24.0	2.2	573228	1492153	PCms
C720	33.0	2.2	545141	1520097	PCms
DCD18229	27.0	2.2	584273	1479097	PCms
MU719	54.0	2.3	577378	1525703	PCms
PW16584	30.7	2.3	561883	1498284	PCms
MU713	51.0	2.3	577860	1497954	PCms
MD101	54.0	2.4	581362	1491114	Qyt
PW10644	43.0	2.4	579556	1525357	PCms
MU621	36.0	2.4	583051	1477310	PCms
DCD17921	54.0	2.4	543748	1510381	PCms
PW13648	24.8	2.5	568185	1511393	PCms
C647	36.0	2.5	576296	1506921	PCms

หมายเลขบ่อ	ความลึกบ่อ (เมตร)	ความลึกน้ำ (เมตร)	พิกัด		ชั้นหินให้น้ำ
			UTME	UTMN	
C647	36.0	2.5	576296	1506921	PCms
MU626	27.0	2.5	573323	1483374	PCms
MU671	36.0	2.5	579255	1491751	Qyt
TL290	78.0	2.6	560479	1472677	PCms
MU727	54.0	2.7	581845	1495883	Qyt
PW10809	32.0	2.7	564367	1488871	PCms
PW24495	30.5	2.8	574962	1524273	PCms
TL114	36.0	2.9	543299	1516079	PCms
TL157	36.0	2.9	566122	1465509	PCms
TL274	36.0	2.9	546234	1516058	PCms
TL322	60.0	2.9	564053	1489066	PCms
MD72	30.0	2.9	577686	1508300	Pc
C718	30.0	3.0	557522	1506837	PCms
DCD17871	33.0	3.0	577391	1504458	PCms
MD407	30.0	3.0	576207	1477596	PCms
MU632	24.0	3.0	548135	1507077	PCms
PW16241	45.5	3.0	578479	1509677	PCms
PW327	123.0	3.0	607751	1504584	Qfd
TL124	42.0	3.0	554344	1508784	PCms
DCD18175	27.0	3.0	578832	1515254	PCms
DCD17928	21.0	3.0	550295	1514990	Qfd
DCD18174	27.0	3.0	578045	1514822	PCms
DCD18160	33.0	3.0	583298	1509017	PCms
DCD18232	63.0	3.0	585985	1483437	Qyt
Q315	42.0	3.0	548523	1509245	PCms
MS561	165.0	3.0	594859	1510101	Qfd

หมายเลขบ่อ	ความลึกบ่อ (เมตร)	ความลึกน้ำ (เมตร)	พิกัด		ชั้นหินให้น้ำ
			UTME	UTMN	
MU686	60.0	3.0	584888	1490513	PCms
TL320	42.0	3.0	572375	1488754	PCms
PW25172	55.4	3.0	581989	1494856	Qyt
C651	42.0	3.0	592606	1503104	Qfd
N64	36.0	3.1	574902	1510421	Pc
DCD18218	33.0	3.1	583226	1477688	PCms
C644	42.0	3.1	574002	1509150	PCms
DCD17879	33.0	3.1	564846	1515765	PCms
MD47	21.6	3.1	582357	1485690	PCms
TL427	51.0	3.1	541511	1487586	PCms
PW14479	24.5	3.1	535875	1516943	PCms
MS163	66.0	3.2	578506	1510373	PCms
DCD18207	39.0	3.2	578800	1485169	PCms
MU539	36.0	3.2	584476	1480277	PCms
PW1309	24.3	3.2	571539	1525466	PCms
TL307	72.0	3.2	577097	1481562	Qyt
PW14445	36.7	3.3	546223	1517048	PCms
TL286	42.0	3.3	561297	1469049	PCms
TL134	32.0	3.3	556730	1475174	Gr
C648	30.0	3.4	576142	1506055	PCms
DCD17868	33.0	3.4	562164	1507793	PCms
PW21731	30.6	3.4	582791	1526176	Qyt
PW15030	42.9	3.4	551264	1520289	Qyt
MU534	40.0	3.5	584541	1479569	PCms
PW18998	36.6	3.5	570186	1512472	PCms
PW14467	24.8	3.5	544137	1510309	PCms

หมายเลขบ่อ	ความลึกบ่อ (เมตร)	ความลึกน้ำ (เมตร)	พิกัด		ชั้นหินให้น้ำ
			UTME	UTMN	
DCD17918	39.0	3.5	540126	1513660	PCms
TL291	72.0	3.6	563626	1468752	PCms
PW13803	30.5	3.6	569577	1513399	PCms
PW20940	43.1	3.6	578527	1479194	PCms
Q314	40.5	3.6	550017	1519814	Qfd
TL332	48.0	3.7	584605	1488253	PCms
MS463	44.0	3.7	585508	1484015	Qyt
TL294	48.0	3.7	561844	1472277	PCms
MS162	18.0	3.7	573292	1514443	PCms
PW12934	37.6	3.8	552470	1520185	Qyt
PW14444	40.0	3.8	546802	1515648	PCms
PW15026	39.0	3.8	550783	1517865	Qyt
TL478	67.5	4.0	548462	1478894	Gr
MD496	30.0	4.0	578470	1495737	PCms
DCD17883	24.0	4.0	563664	1513938	PCms
DCD18156	22.0	4.0	574219	1512168	PCms
DCD18167	30.0	4.0	579344	1514517	PCms
DCD18190	21.0	4.0	577035	1482377	PCms
MD102	22.5	4.0	582358	1489430	Qyt
MU638	27.0	4.0	546376	1506730	PCms
TL302	30.0	4.0	580742	1482560	Pc
TL329	43.5	4.0	569382	1481321	PCms
PW6828	49.5	4.0	582732	1490329	Qyt
C635	30.0	4.0	569946	1509958	PCms
PW17984	24.3	4.0	572425	1511140	PCms
TL146	26.0	4.0	534320	1502310	PCms

หมายเลขบ่อ	ความลึกบ่อ (เมตร)	ความลึกน้ำ (เมตร)	พิกัด		ชั้นหินให้น้ำ
			UTME	UTMN	
MS232	30.0	4.0	549691	1496277	Gr
MU527	65.0	4.0	584462	1487345	Qyt
PW14468	24.8	4.0	541753	1514836	PCms
PW14472	36.8	4.0	544885	1519613	PCms

ภาคผนวก ข
ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี

รหัสสถานี	ชื่อสถานี	พิกัด		ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (มิลลิเมตร)
		UTME	UTMN	
470191	Samnak Maiteng (K.28), A. Pak Tho	565051	1493216	1014.93
470120	Ban Mai Regulator, A. Pho Tharam	589777	1513962	831.36
470210	11L Canal Guard Residence, A. Pho Tharam	592412	1517937	811.10
470170	Bang Pa Regulator, A. Muang	593028	1496648	873.00
470330	Upper 10L Canal	593534	1523318	973.93
470310	Upper 7L Canal	593625	1531275	715.96
470320	Upper 8L Canal	594953	1529283	940.20
470180	1L-11L Canal Guard Residence, A. Bang Phae	597856	1515960	870.80
470220	3R-12L Canal Guard Residence, A. Pho Tharam	598001	1509324	952.65
470350	Middle 1R-9L Canal	598700	1522999	965.80
470240	Phaeng Phuai, amnoen Saduak	599998	1497503	1008.93
470230	Lower 12L Canal Guard Residence, A. Damnoen Saduak	602511	1500800	1013.22

ภาคผนวก ค

การใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดราชบุรี

ตารางแสดงประเภทการใช้ที่ดิน จังหวัดราชบุรี ปี พ.ศ. 2560

สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
U	**พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง**	**262,607**	**8.09**
U101	ตัวเมืองและย่านการค้า	14,227	0.44
U200	หมู่บ้าน/ที่ดินจัดสรรร้าง	974	0.03
U201	หมู่บ้านบนพื้นราบ	157,141	4.84
U301	สถานที่ราชการและสถาบันต่าง ๆ	36,296	1.12
U401	สนามบิน	248	0.01
U405	ถนน	12,561	0.39
U500	พื้นที่อุตสาหกรรมร้าง	88	-
U501	นิคมอุตสาหกรรม	1,287	0.04
U502	โรงงานอุตสาหกรรม	23,511	0.72
U503	ลานตากและแหล่งรับซื้อทางการเกษตร	421	0.01
U601	สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ	2,393	0.07
U602	รีสอร์ท โรงแรม เกสต์เฮ้าส์	6,617	0.20
U603	สุสาน ป่าช้า	2,797	0.09
U604	สุสาน ป่าช้า	254	0.01
U605	สถานีบริการน้ำมัน	365	0.01
U701	สนามกอล์ฟ	3,427	0.11
A	**พื้นที่เกษตรกรรม**	**1,673,291**	**51.51**
A1	**พื้นที่นา**	**359,159**	**11.05**
A100	นาร้าง	8,419	0.26
A101	นาข้าว	350,560	10.79
A101+A502	นาข้าว+ผัก	150	-
M201+A101	พื้นที่ลุ่ม+นาข้าว	30	-
A2	**พืชไร่**	**586,062**	**18.05**
A200	ไร่ร้าง	13,716	0.42
A201	พืชไร่ผสม	580	0.02

สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
A202	ข้าวโพด	1,251	0.04
A203	อ้อย	304,349	9.37
A204	มันสำปะหลัง	128,548	3.96
A205	สับปะรด	136,789	4.21
A220	แตงโม	541	0.02
A225	ว่านหางจระเข้	33	-
A229	พริก	174	0.01
A236	เผือก	81	-
A3	**ไม้ยืนต้น**	**219,803**	**6.76**
A300	ไม้ยืนต้นร้าง/เสื่อมโทรม	5,614	0.17
A301	ไม้ยืนต้นผสม	12,580	0.39
A302	ยางพารา	61,751	1.90
A303	ปาล์มน้ำมัน	27,636	0.85
A304	ยูคาลิปตัส	94,155	2.90
A305	สัก	8,662	0.27
A306	สะเดา	682	0.02
A307	สนประดิพัทธ์	5,408	0.17
A308	กระถิน	146	-
A309	ประดู่	11	-
A315	ไผ่ปลูกเพื่อการค้า	2,638	0.08
A317	หมาก	144	-
A321	ยมหอม มะฮอกกานี	19	-
A322	กฤษณา	89	-
A323	ตะกู	268	0.01
A4	**ไม้ผล**	**280,667**	**8.63**
A400	ไม้ผลร้าง/เสื่อมโทรม	2,927	0.09
A401	ไม้ผลผสม	78,897	2.43
A402	ส้ม	476	0.01
A403	ทุเรียน	193	0.01

สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
A404	เงาะ	73	-
A405	มะพร้าว	102,055	3.14
A406	ลิ้นจี่	163	0.01
A407	มะม่วง	29,341	0.90
A408	มะม่วงหิมพานต์	1,007	0.03
A409	พุทรา	360	0.01
A410	น้อยหน่า	49	-
A411	กล้วย	6,270	0.19
A412	มะขาม	1,555	0.05
A413	ลำไย	3,460	0.11
A414	ฝรั่ง	14,731	0.45
A415	มะละกอ	2,617	0.08
A416	ขนุน	375	0.01
A417	กระท้อน	23	-
A418	ชมพู่	13,139	0.40
A420	ลางสาด ลองกอง	27	-
A422	มะนาว	15,044	0.46
A424	มะขามเทศ	2,415	0.08
A426	แก้วมังกร	588	0.02
A427	ส้มโอ	97	-
A428	ละมุด	4,761	0.15
A429	มะปราง มะยงชิด	24	-
A5	**พืชสวน**	**105,184**	**3.24**
A500	พืชสวนร้าง/เสื่อมโทรม	2,193	0.07
A501	พืชสวนผสม	223	0.01
A502	พืชผัก	92,152	2.84
A503	ไม้ดอก ไม้ประดับ	6,145	0.19
A504	องุ่น	3,261	0.10
A506	สตรอเบอรี่	12	-

สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
A510	นาหญ้า	378	0.01
A512	แคนตาลูป	38	-
A514	หน่อไม้ฝรั่ง	53	-
A515	เห็ด	729	0.02
A7	**ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์**	**53,484**	**1.66**
A700	โรงเรือนร้าง	781	0.03
A701	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	14,970	0.46
A702	โรงเรือนเลี้ยงโค กระบือ และม้า	2,139	0.07
A703	โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ปีก	6,231	0.19
A704	โรงเรือนเลี้ยงสุกร	29,363	0.91
A8	**พืชน้ำ**	**415**	**0.01**
A803	บัว	333	0.01
A806	ผักบุ้ง	82	-
A9	**สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ**	**68,293**	**2.10**
A900	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ร้าง	4,894	0.15
A901	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำผสม	643	0.02
A902	สถานที่เพาะเลี้ยงปลา	26,608	0.82
A903	สถานที่เพาะเลี้ยงกุ้ง	36,148	1.11
A0	**เกษตรผสมผสาน/ไร่นาสวนผสม**	**224**	**0.01**
A001	เกษตรผสมผสาน/ไร่นาสวนผสม	224	0.01
F	**พื้นที่ป่าไม้**	**1,077,157**	**33.16**
F100	ป่าไม่ผลัดใบรอสภาพฟื้นฟู	1,818	0.06
F101	ป่าไม่ผลัดใบสมบูรณ์	75,421	2.32
F200	ป่าผลัดใบรอสภาพฟื้นฟู	19,884	0.61
F201	ป่าผลัดใบสมบูรณ์	966,884	29.77
F500	ป่าปลูกรอสภาพฟื้นฟู	112	-
F501	ป่าปลูกสมบูรณ์	13,038	0.40

สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
W	**พื้นที่น้ำ พื้นที่น้ำ**	**66,956**	**2.07**
W101	แม่น้ำ ลำห้วย ลำคลอง	19,093	0.59
W102	หนอง บึง ทะเลสาบ	3,536	0.11
W201	อ่างเก็บน้ำ	18,458	0.57
W202	บ่อน้ำในไร่นา	19,069	0.59
W203	คลองชลประทาน	6,800	0.21
M	**พื้นที่เบ็ดเตล็ด**	**167,778**	**5.17**
M101	ทุ่งหญ้าธรรมชาติ	28,859	0.89
M102	ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม/ไม้ละเมาะ	80,245	2.47
M201	พื้นที่ลุ่ม	11,527	0.35
M300	เหมืองเก่า บ่อขุดเก่า	17,552	0.54
M301	เหมืองแร่	8,261	0.26
M302	บ่อลูกรัง	6,356	0.20
M303	บ่อทราย	1,111	0.04
M304	บ่อดิน	5,011	0.15
M401	พื้นที่กองวัสดุ	130	-
M405	พื้นที่ถม	8,698	0.27
M701	ที่ทิ้งขยะ	28	-
	รวมทั้งหมด	**3,247,789**	**100.00**

หมายเหตุ

1. การใช้ที่ดินเป็นการใช้ที่ดินทั้งในและนอกพื้นที่เขตป่าตามกฎหมาย

2. เนื้อที่ได้จากการคำนวณโดยระบบภูมิสารสนเทศ (GIS) และทำการถ่วงน้ำหนักกับเนื้อที่จากกรมการปกครอง 5,196.462 ตารางกิโลเมตร หรือ 3,247,789 ไร่

3. x + y หมายถึงพื้นที่ที่มีการใช้ที่ดิน 2 ครั้งต่อปี การใช้ที่ดินในฤดูฝน+การใช้ที่ดินในฤดูแล้ง

ภาคผนวก ง

รายละเอียดหลุมเจาะน้ำบาดาล

(Geologic log of borehole)

Well No.	Depth (m.)		Rock Unit	Lithologic Description
	From	To		
5708B008	0	5	Sand	reddish brown, coarse to very coarse-grained, moderately sorted, subangular to subrounded, composed mostly of quartz some feldspar and rock fragments.
	5	32	Sandstone	reddish brown to dark reddish brown, coarse to very coarse-grained, moderately sorted, subangular to subrounded, composed mostly of quartz some feldspar.
	32	92	Siltstone	dark gray to gray, fresh, calcareous cemented, composed mostly of quartz some feldspar.
5808D014	0	20	Clay	dark gray to gray, plastic with shell.
	20	31	Clay	yellowish brown to brown, slightly plastic with shell.
	31	42	Gravel	various color, size 2-5 mm., moderately sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz, some feldspars and rock fragments.
	42	65	Gravelly Clay	clay (70%); brown to yellowish brown, slightly plastic. gravel (30%); various color, size 2-5 mm., moderately sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz, some feldspars and rock fragments.
	65	68	Gravel	same as gravel at depth 31-42 m.
	68	78	Gravelly Clay	same as gravelly clay at depth 42-65 m.
	78	86	Gravel	same as gravel at depth 31-42 m.

Well No.	Depth (m.)		Rock Unit	Lithologic Description
	From	To		
	86	102	Gravelly Clay	clay (60%); brown to yellowish brown, slightly plastic. gravel (40%); various color, size 2-5 mm., moderately sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz, some feldspars and rock fragments.
	102	110	Gravel	same as gravel at depth 31-42 m.
	110	122	Gravelly Clay	same as gravelly clay at depth 86-102 m.
	122	127	Gravel	various color, size 3-6 mm., moderately sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz, some feldspars and rock fragments.
	127	150	Gravelly Clay	clay (60%); brown to yellowish brown, slightly plastic. gravel (40%); various color, size 3-6 mm., moderately sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz, some feldspars and rock fragments.
	150	154	Gravel	various color, size 2-3 mm., well sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz, some feldspars and rock fragments.
	154	165	Gravelly Clay	same as gravelly clay at depth 127-150 m.
	165	168	Gravel	same as gravel at depth 150-154 m.
	168	172	Gravelly Clay	same as gravelly clay at depth 127-150 m.

Well No.	Depth (m.)		Rock Unit	Lithologic Description
	From	To		
	172	178	Gravel	same as gravel at depth 150-154 m.
	178	182	Gravelly Clay	same as gravelly clay at depth 127-150 m.
5708B005	0	2	Top Soil	pale yellowish brown.
	2	9	Sandstone	dark brown to brown, moderately weathered, medium to fine-grained, moderately to well sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz.
	9	13	Sandstone	pale gray, slightly weathered, medium to fine-grained, moderately to well sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz, calcareous cemented.
	13	120	Sandstone	daek gray to gray, fresh, medium to fine-grained, moderately to well sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz, calcareous cemented.
5708D015	0	1	Sand	brown, loose.
	1	8	Clay	dark brown, slightly plastic, yellow mottled.
	8	21	Clayey Sand	sand (70%); brown, coarse-grained, moderately sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz some feldspar and rock fragments, clay (30%); brown, slightly plastic.
	21	29	Sand	various color, very coarse-grained, moderately sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz some feldspar and rock fragments.

Well No.	Depth (m.)		Rock Unit	Lithologic Description
	From	To		
	29	59	Clayey Gravel	gravel (70%); various color, size 2-5 mm., moderately sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz some feldspar and rock fragments, clay (30%); brown, slightly plastic.
	59	62	Sand	same as sand at depth 21-29 m.
	62	74	Clayey Gravel	same as clayey gravel at depth 29-59 m.
	74	79	Sand	gray to whitish gray, very coarse-grained, moderately sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz some feldspar and rock fragments.
	79	109	Clayey Gravel	gravel (80%); various color, size 2-5 mm., moderately sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz some feldspar and rock fragments, clay (20%); brown, slightly plastic.
	109	112	Gravel	various color, size 2-5 mm., moderately sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz some feldspar and rock fragments.
	112	135	Clayey Gravel	same as clayey gravel at depth 79-109 m.
	135	143	Gravel	various color, size 2-5 mm., moderately sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz some feldspar and rock fragments.

Well No.	Depth (m.)		Rock Unit	Lithologic Description
	From	To		
	143	170	Clayey Gravel	gravel (80%); various color, size 3-7 mm., moderately sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz some feldspar and rock fragments, clay (20%); brown, slightly plastic.
	170	176	Gravel	various color, size 3-7 mm., moderately sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz some feldspar and rock fragments.
	176	180	Clayey Gravel	same as clayey gravel at depth 143-170 m.
	180	183	Gravel	brown, size 2-4 mm, well sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz some feldspar and rock fragments.
	183	197	Clayey Gravel	same as clayey gravel at depth 143-170 m.
	197	200	Gravel	various color, size 3-5 mm., moderately sorted, subrounded to rounded, composed mostly of quartz some feldspar and rock fragments.
	200	204	Clayey Gravel	same as clayey gravel at depth 143-170 m.
5808D003	0	2	Clay	brown to dark brown, slightly plastic.
	2	42	Clayey Gravel	gravel (60%); various color, size 2-6 mm., moderately sorted, subangular to subrounded,

Well No.	Depth (m.)		Rock Unit	Lithologic Description
	From	To		
				composed mostly of quartz some feldspar. clay (40%); brown to yellowish brown, slightly plastic.
	42	52	Gravel	various color, size 2-6 mm., moderately sorted, subangular to subrounded, composed mostly of quartz some feldspar.
	52	59	Clayey Gravel	gravel (70%); various color, size 2-6 mm., moderately sorted, subangular to subrounded, composed mostly of quartz some feldspar. clay (30%); brown to yellowish brown, slightly plastic.
	59	63	Gravel	same as gravel at depth 42-52 m.
	63	80	Clayey Gravel	same as gravel at depth 52-59 m.
	80	84	Gravel	same as gravel at depth 42-52 m.
	84	97	Clayey Gravel	same as gravel at depth 52-59 m.
	97	101	Gravel	same as gravel at depth 42-52 m.
	101	110	Clayey Gravel	gravel (80%); various color, size 3-10 mm., moderately sorted, subangular to subrounded, composed mostly of quartz some feldspar. clay (20%); brown to yellowish brown, slightly plastic.

ภาคผนวก ฉ

ข้อมูลปริมาณมวลสารทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TDS) และข้อมูลปริมาณไนเตรท (NO_3-)

ที่ตั้ง	หมู่ที่	ตำบล	อำเภอ	พิกัด		ไนเทรต (NO_3-)	ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS)
				UTME	UTMN		
โรงเรียนวัดโสดาประดิษฐาราม	3	เขาแร้ง	เมือง	581615	1505052	3.5	608
ระบบประปาบ้านบางหวาย	5	คุ้งกระถิน	เมือง	595261	1492719	< 0.9	2,740
วัดบางศรีเพชร		คุ้งกระถิน	เมือง	592956	14938783	1.6	1,570
สวนปฏิบัติธรรมญาณสัมมโนวนาราม	6	ดอนแร่	เมือง	578375	1489694	< 0.9	591
บ้านโคกกระเพา	3	น้ำพุ	เมือง	568375	1495795	13	270
ศาลาอเนกประสงค์บ้านโคกกระเพรา	3	น้ำพุ	เมือง	569158	1495804	< 0.9	619
บ้านเขาหัวคน	4	น้ำพุ	เมือง	567530	1496977	110	722
บ้านดอนดิน	2	ห้วยไผ่	เมือง	575452	1491605	180	715
ฟาร์มอุดมเดชฟาร์ม 54/5	2	ห้วยไผ่	เมือง	575452	1491605	14	715
ระบบประปาบ้านนครบาล	5	ห้วยไผ่	เมือง	579841	1493620	26	858
ระบบประปาบ้านทุ่งไล่กา	9	หินกอง	เมือง	577309	1498539	< 0.9	508
โรงเรียนบ้านทุ่งน้อย (มิตรภาพที่ 12)	11	หินกอง	เมือง	576336	1502373	< 0.9	536
บ้านทุ่งน้อย	11	หินกอง	เมือง	575480	1503311	26	648
โรงเรียนอนุบาล รบ.1 (ห้วยปลาดุกอนันตกูลอุปถัมภ์)	7	หินกอง	เมือง	578645	1497486	< 0.9	702

ที่ตั้ง	หมู่ที่	ตำบล	อำเภอ	พิกัด		ไนเทรต (NO_3-)	ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS)
				UTME	UTMN		
สำนักทรัพยากรน้ำบาดาลเขต 8 ราชบุรี		หินกอง	เมือง	578958	1500827	< 0.9	1,190
บ้านหนองเสือ	8	อ่างทอง	เมือง	584319	1186966	0.9	314
บ้านไร่ใหม่	10	อ่างทอง	เมือง	582662	1487802	7.8	408
โรงเรียนวัดระฆังทอง	10	เขาชะงุ้ม	โพธาราม	574446	1516135	12	1,010
ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์หนองกวาง	10	เขาชะงุ้ม	โพธาราม	569419	1516704	9.5	363
ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร	10	เขาชะงุ้ม	โพธาราม	571100	1517218	30	314
โรงเรียนบ้านพุลุ้ง	9	เขาชะงุ้ม	โพธาราม	572800	1518423	< 0.9	265
โรงเรียนวัดโคกทอง	1	เตาปูน	โพธาราม	586921	1516504	1.8	1,290
บ้านห้วยยาง	8	เตาปูน	โพธาราม	575114	1522378	15	2,260
โรงเรียนวัดช่องพราน	2	เตาปูน	โพธาราม	583057	1516834	< 0.9	2,330
ศูนย์ธรรมชาติบำบัดวิถีไทย	0	โพธาราม	โพธาราม	596164	1515608	< 0.9	1,270
โรงพยาบาลโพธาราม							
ระบบประปาบ้านดอน	9	คลองตาคต	โพธาราม	591116	1512178	0.9	1,950
โรงเรียนบ้านหาดสำราญมิตรภาพที่ 207	11	คลองตาคต	โพธาราม	591017	1510706	0.9	2,950
ระบบประปาบ้านดอน		คลองตาคต	โพธาราม	591116	1512178	< 0.9	2,060

ที่ตั้ง	หมู่ที่	ตำบล	อำเภอ	พิกัด		ไนเทรต (NO_3-)	ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS)
				UTME	UTMN		
โรงเรียนวัดหนองกลางดง	6	ชำแระ	โพธาราม	585973	1519203	< 0.9	330
บ้านหนองน้ำใส	3	ชำแระ	โพธาราม	548917	1520780	8.6	159
บ้านบางลาน	2	ดอนทราย	โพธาราม	593173	1508534	< 0.9	800
บ้านวังลึก	4	ดอนทราย	โพธาราม	592001	1506218	< 0.9	1,420
โรงเรียนวัดท่าหลวง	7	ท่าชุมพล	โพธาราม	591070	1510760	1.7	8,320
บ้านเกาะตาพุด (กลุ่ม 1)	4	ธรรมเสน	โพธาราม	576700	1512102	< 0.9	359
บ้านเขากระชาย (บ่อ 3)	11	ธรรมเสน	โพธาราม	578317	1511903	6.6	364
ระบบหอถังประปาหมู่บ้าน	3	ธรรมเสน	โพธาราม	578584	1512239	9.3	532
บ้านเนินม่วง	7	ธรรมเสน	โพธาราม	576614	1509219	2.8	949
ศูนย์ทรัพยากรน้ำบาดาล ภาค 10	6	นางแก้ว	โพธาราม	583372	1515850	20	3,390
บ้านขุยจาม	7	นางแก้ว	โพธาราม	583937	1515755	42	2,480
บ้านเขาค่าง	9	นางแก้ว	โพธาราม	581162	1514545	13	493
โรงเรียนวัดสมถะ	4	บางโตนด	โพธาราม	587804	1511381	< 0.9	4,540
โรงเรียนวัดหุบมะกล่ำ	7	บ้านเลือก	โพธาราม	597026	1517999	< 0.9	646
บ้านฆ้อง	1	บ้านฆ้อง	โพธาราม	594849	1513886	< 0.9	2,330

ที่ตั้ง	หมู่ที่	ตำบล	อำเภอ	พิกัด		ไนเทรต (NO_3-)	ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS)
				UTME	UTMN		
ระบบประปาบ้านเกาะ	3	บ้านฆ้อง	โพธาราม	594509	1514009	1.1	1,640
วัดดีบอน	4	บ้านฆ้อง	โพธาราม	594200	1512749	5.1	2,140
โรงเรียนวัดบ้านฆ้อง	10	บ้านฆ้อง	โพธาราม	594276	1513207	2.8	1,350
วัดบ้านฆ้อง	10	บ้านฆ้อง	โพธาราม	594440	1513249	< 0.9	2,340
ระบบประปาหมู่บ้าน บ้านน้ำหัก	1	บ้านสิงห์	โพธาราม	593106	1509082	< 0.9	845
บ้านน้ำหัก	10	บ้านสิงห์	โพธาราม	593106	1509082	< 0.9	918
บ้านทุ่ง	12	บ้านสิงห์	โพธาราม	594463	1508789	1.6	575
วัดป่าสันติพุทธาราม บ่อที่ 1	3	หนองกวาง	โพธาราม	560537	1515971	24	476
บ้านหนองไม้แก่น	6	หนองกวาง	โพธาราม	568959	1521990	23	554
บ้านหนองยายเพ็ง	7	หนองกวาง	โพธาราม	565871	1518067	20	1,130
สำนักสงฆ์ธรรมรัตคูหา	7	หนองกวาง	โพธาราม	565871	1518067	12	503
โรงเรียนบ้านหนองครีม	4	หนองกวาง	โพธาราม	654156	1522082	18	475
วัดป่าสันติธรรมพุทธาราม		หนองกวาง	โพธาราม	560298	1519500		
วัดธรรมญาณราศรีวิสุทธิ์	2	เบิกไพร	จอมบึง	557607	1515845	< 0.9	245
บ้านวังตะเคียน (กลุ่มที่ 1)	3	เบิกไพร	จอมบึง	560575	1508697	37	555

ที่ตั้ง	หมู่ที่	ตำบล	อำเภอ	พิกัด		ไนเทรต (NO_3-)	ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS)
				UTME	UTMN		
วังตะเคียน	3	เบิกไพร	จอมบึง	559308	1507578	32	949
บ้านหนองตะลุมพุก	4	เบิกไพร	จอมบึง	561562	1507282	< 0.9	240
บ้านหนองศาลเจ้า	5	เบิกไพร	จอมบึง	559226	1511991	5	360
บ้านหนองยายจู	10	เบิกไพร	จอมบึง	560086	1509470	4.5	385
โรงเรียนบ้านสันดอน ม.9	0	แก้มอ้น	จอมบึง	547944	1520431	< 0.9	507
บ้านทุ่งแจง	2	แก้มอ้น	จอมบึง	549735	1516920	< 0.9	543
โรงเรียนบ้านวังปลา	5	แก้มอ้น	จอมบึง	546038	1516580	1.3	370
โรงเรียนบ้านหนองปากชัฏ	6	แก้มอ้น	จอมบึง	550683	1523698	16	586
โรงเรียนบ้านสันดอน	9	แก้มอ้น	จอมบึง	547944	1520431	21	367
บ้านเขาแดน (บ่อที่ 11)	12	แก้มอ้น	จอมบึง	552567	1522948	10	266
บ้านห้วยตาม่วง	15	แก้มอ้น	จอมบึง	546955	1518807	< 0.9	534
บ้านทำเนียบ	2	จอมบึง	จอมบึง	567399	1507959	< 0.9	214
โรงเรียนอนุบาลจอมบึง	3	จอมบึง	จอมบึง	563986	1505964	42	767
โรงเรียนวันครู2503 (บ้านหนองบัว)	4	จอมบึง	จอมบึง	562344	1506584	20	569
บ้านหนองบัว	4	จอมบึง	จอมบึง	561352	1505947	21	393

ที่ตั้ง	หมู่ที่	ตำบล	อำเภอ	พิกัด		ไนเทรต (NO_3-)	ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS)
				UTME	UTMN		
โรงเรียนบ้านตลาดควาย (ประชานุกูล)	5	จอมบึง	จอมบึง	566332	1504039	< 0.9	632
บ้านซุกหว้า (บ่อที่ 1)	6	จอมบึง	จอมบึง	567242	1503992	49	428
โรงเรียนบ้านรางม่วง	8	จอมบึง	จอมบึง	568548	1505659	< 0.9	519

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นางสาวมณีพัชร บุญเรือง
วันเดือนปีเกิด	17 มิถุนายน 2525
สถานที่เกิด	อำเภอลืออำนาจ จังหวัดอำนาจเจริญ
ที่อยู่ปัจจุบัน	190/35 ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2543	มัธยมศึกษาตอนปลาย
	จาก โรงเรียนอำนาจเจริญ อำเภอเมือง จังหวัดอำนาจเจริญ
พ.ศ.2547	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ภูมิศาสตร์)
	จาก มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร
พ.ศ.2561	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ภูมิศาสตร์)
	จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร