



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

..... วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม) .....

ปริญญา

..... เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม .....

..... วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม .....

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาวิธีประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินด้วยฟuzzyเซต  
กรณีศึกษาจังหวัดระยอง

Developing Method of Vulnerability Assessment of Groundwater Contamination  
by Fuzzy Set: Case Study of Rayong Province

นามผู้วิจัย นายภานุกร ศรีดิชาติ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ตุลวิทย์ สถาปนจารุ, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....  
( รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาวิธีประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินด้วยฟัซซีเซต  
กรณีศึกษาจังหวัดระยอง

Developing Method of Vulnerability Assessment of Groundwater Contamination by Fuzzy Set:  
Case Study of Rayong Province

โดย

นายภานุกร ศรีติชาติ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภานุกร ศรุติชาติ 2554: การพัฒนาวิธีประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของ  
น้ำใต้ดินด้วยฟิซซีเซต กรณีศึกษาจังหวัดระยอง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
(เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม) สาขาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม  
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์  
จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D. 120 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ฟิซซีเซตในการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของ  
น้ำใต้ดินเปรียบเทียบกับแบบจำลองคราสติก ซึ่งมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถสะท้อนอิทธิพลของปัจจัย  
ทางอุทกธรณีวิทยาได้ จังหวัดระยองถูกใช้เป็นที่ศึกษา โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 7 ปัจจัย ได้แก่  
ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน การเพิ่มเติมน้ำสุทธิ ชั้นหินอุ้มน้ำ ชนิดดิน สภาพภูมิประเทศ ชั้นที่ไม่  
อุ้มน้ำด้วยน้ำ และสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ และตรวจสอบความ  
สอดคล้องกับข้อมูลคุณภาพน้ำใต้ดินที่ตรวจวัดในพื้นที่

ผลการศึกษา พบว่า พื้นที่จังหวัดระยองส่วนใหญ่ มีความเปราะบางอยู่ในระดับค่อนข้าง  
ต่ำ คิดเป็นร้อยละ 49.74 ของพื้นที่ศึกษา โดยเป็นพื้นที่ที่มีวัสดุเหนือชั้นน้ำใต้ดินเป็นดินเหนียว  
และมีระดับน้ำใต้ดินค่อนข้างลึก ผลการตรวจสอบความสอดคล้องกับข้อมูลความเข้มข้นของ  
ไนเตรตที่ตรวจวัดในพื้นที่ พบว่า การประเมินด้วยฟิซซีเซตและแบบจำลองคราสติกมีความ  
สอดคล้องกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้ร้อยละ 56 และ 39 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ  
ฟิซซีเซต พบว่า ปัจจัยที่มีความอ่อนไหวต่อดัชนีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินมาก  
ที่สุดคือ ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน และปัจจัยที่มีความอ่อนไหวต่อดัชนีความเปราะบางต่อการ  
ปนเปื้อนของน้ำใต้ดินน้อยที่สุดคือ การเพิ่มเติมน้ำสุทธิ

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Panukorn Sarutichart 2011: Developing Method of Vulnerability Assessment of Groundwater Contamination by Fuzzy Set: Case Study of Rayong Province. Master of Science (Environmental Technology and Management), Major Field: Environmental Technology and Management, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Jukkrit Mahujchariyawong, Ph.D. 120 pages.

This research was the application of fuzzy set for the vulnerability assessment of groundwater contamination comparing with DRASTIC model which has a limitation in reflecting influence of hydro-geological factors. Rayong province was used for study area. Seven factors; depth to water table, net recharge, aquifer media, soil media, topography, impact of vadose zone media and hydraulic conductivity of aquifer were studied. In addition, the results were checked with groundwater quality in study area. The results shown that the vulnerability of groundwater contamination at Rayong province was in the moderate low level. It covered 49.74% of study area where vadose zone media was a clay layer and water table was deep. The results checked with the contamination of nitrate in groundwater at study area indicated that the percentage of relationship between model and the groundwater quality of fuzzy set and DRASTIC were 56% and 39%, respectively. The results of vulnerability assessment by fuzzy set also showed that the highest vulnerable factor to the vulnerability index was the depth to groundwater table and the lowest vulnerable factor to the vulnerability index was the net recharge.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ได้โดยการอุปการะและช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และกำลังใจที่ติดตามระยะเวลาของการทำ วิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวิทย์ สถาปนจารุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติมเพื่อความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล ตลอดจนผู้ให้ ข้อมูลที่ได้กรุณาสละเวลาในการให้ข้อมูล และคำแนะนำต่างๆ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติๆ ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยมาโดยตลอด และ ขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ซึ่งมิได้เอ่ยนามในที่นี้ทุกๆ ท่าน

ภานุกร ศรีติชาติ  
กุมภาพันธ์ 2554

## สารบัญ

## หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	52
อุปกรณ์	52
วิธีการ	52
ผลและวิจารณ์	67
สรุปและข้อเสนอแนะ	91
สรุป	91
ข้อเสนอแนะ	93
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	94
ภาคผนวก	103
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	120

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค ตามประกาศกระทรวง ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม	10
2	การกำหนดค่าน้ำหนักของปัจจัยในแบบจำลองคราสติก	15
3	ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดิน	16
4	ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ	16
5	ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชั้นหินอุ้มน้ำ	17
6	ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชนิดดิน	18
7	ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยสภาพภูมิประเทศ	19
8	ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ	19
9	ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของ ชั้นหินอุ้มน้ำ	20
10	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนและเฉลี่ยรายปีของจังหวัดระยอง	36
11	การใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดระยอง ปี 2545	49
12	ประเภทชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ แยกตามแบบจำลองคราสติก	55
13	ค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชั้นหินอุ้มน้ำ	56
14	ค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชนิดดิน	57
15	ค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ	58
16	ค่าถ่วงน้ำหนักคราสติก และค่าถ่วงน้ำหนักที่ปรับฐาน	60
17	เกณฑ์สูงสุด และเกณฑ์ต่ำสุดที่ใช้ในการปรับฐาน	60
18	ความสอดคล้องกันของระดับความแปรปรวน กับระดับความเข้มข้นของไนเตรต	64
19	ผลการกำหนดค่าคะแนนด้วยฟuzzyเซตทั้ง 7 ปัจจัย	74
20	ระดับความแปรปรวนจากการประเมินด้วยฟuzzyเซตและแบบจำลองคราสติก	76
21	การเปลี่ยนแปลงระดับความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในจังหวัด ระยอง	83

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	ความสอดคล้องระหว่างระดับความแปรปรวน กับระดับความเข้มข้นของไนเตรต	84
23	ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากการดึงปัจจัยออก 1 ปัจจัย	88
24	ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากการดึงปัจจัยออกหลายปัจจัย	89
25	ผลการวิเคราะห์ประสิทธิผลของการถ่วงน้ำหนัก	90
ตารางผนวกที่		
1	ผลการเปรียบเทียบการประเมินความแปรปรวนด้วยแบบจำลองคราสติก กับระดับความเข้มข้นของไนเตรต	104
2	ผลการเปรียบเทียบการประเมินความแปรปรวนด้วยพีชชีเซต กับระดับความเข้มข้นของไนเตรต	112

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การกระจายตัวของน้ำใต้ดินในแนวตั้ง	4
2	การเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวดินลงมายังระดับน้ำใต้ดิน	11
3	ลักษณะและโครงสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่	26
4	แผนที่แสดงขอบเขตการปกครองของจังหวัดระยอง	34
5	ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดระยอง	35
6	ลักษณะทางปฐพีวิทยาของจังหวัดระยอง	37
7	ลักษณะเนื้อดิน (soil texture) ของจังหวัดระยอง	41
8	ลักษณะทางธรณีวิทยาของจังหวัดระยอง	42
9	สภาพทางอุทกธรณีวิทยาของจังหวัดระยอง	45
10	การใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดระยอง	48
11	ขั้นตอนและวิธีการศึกษา	53
12	ผลการกำหนดค่าคะแนนปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดิน	68
13	ผลการกำหนดค่าคะแนนปัจจัยการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ	69
14	ผลการกำหนดค่าคะแนนปัจจัยชั้นหินอุ้มน้ำ	70
15	ผลการกำหนดค่าคะแนนปัจจัยชนิดดิน	71
16	ผลการกำหนดค่าคะแนนปัจจัยภูมิประเทศ	72
17	ผลการกำหนดค่าคะแนนปัจจัยชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ	73
18	ผลการกำหนดค่าคะแนนปัจจัยสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ	74
19	ผลการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ในจังหวัดระยองด้วยฟิชเชีเซต	75
20	ระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ในจังหวัดระยองด้วยฟิชเชีเซต	76
21	ระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินต่ำ และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	77
22	ระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินค่อนข้างต่ำ และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	78

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	ระดับความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินปานกลาง และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	78
24	ระดับความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ก่อนข้างสูง และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	79
25	ระดับความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินสูง และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	80
26	ระดับความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ในจังหวัดระยองด้วยแบบจำลองตรัสติก	81
27	การเปลี่ยนแปลงระดับแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจากการประเมินทั้ง 2 วิธี	82
28	การประเมินความแปรปรวนด้วยพีชชีเซตกับระดับความเข้มข้นของไนเตรต	85
29	การประเมินความแปรปรวนด้วยแบบจำลองตรัสติกกับระดับความเข้มข้นของไนเตรต	85

## การพัฒนาวิธีประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ด้วยฟัซซีเซต กรณีศึกษาจังหวัดระยอง

### Developing Method of Vulnerability Assessment of Groundwater Contamination by Fuzzy Set: Case Study of Rayong Province

#### คำนำ

จังหวัดระยองเป็นจังหวัดหนึ่งทางภาคตะวันออกของประเทศไทยบนพื้นที่ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่มสลับกับภูเขาและที่ราบชายฝั่ง และเป็นจังหวัดที่อยู่ในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออก (Eastern Seaboard Project) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2530 - 2534) ที่มุ่งเน้นพัฒนาเศรษฐกิจและระบบอุตสาหกรรม โดยรัฐบาลเป็นผู้ส่งเสริมให้เกิดการลงทุน และอำนวยความสะดวกในด้านสาธารณูปโภคต่างๆ ให้แก่ภาคเอกชน และนักลงทุน ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา การพัฒนาอุตสาหกรรมทำให้โครงสร้างทางเศรษฐกิจของจังหวัดระยอง เปลี่ยนจากเกษตรกรรมและการท่องเที่ยวเป็นอุตสาหกรรม โดยในปี 2551 จังหวัดระยองมีมูลค่าผลิตภัณฑ์เฉลี่ยต่อหัว 1,011,476 บาท และมีมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวม 597,657 ล้านบาท สูงเป็นอันดับ 1 ของประเทศ (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2552) ซึ่งเป็นผลจากการผลิตด้านอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่

การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมที่มีอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้จังหวัดระยองมีโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ตั้งอยู่อย่างหนาแน่น ทั้งในนิคมอุตสาหกรรมของนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และเขตประกอบการอุตสาหกรรมของภาคเอกชน ประกอบกับภาคเกษตรกรรมที่มีสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินมากที่สุดในจังหวัดระยอง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) โดยพืชที่ปลูกส่วนใหญ่ จะใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบส่งโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ เช่น ยางพารา มันสำปะหลัง ยูคาลิปตัส เป็นต้น ทำให้มีความต้องการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้นเพื่อรองรับกิจกรรมดังกล่าว โดยแหล่งน้ำที่สำคัญแหล่งหนึ่งของจังหวัดระยอง ที่สามารถตอบสนองความต้องการนี้ได้ คือ แหล่งน้ำใต้ดิน เห็นได้จากข้อมูลปริมาณการใช้น้ำบาดาลที่เอกชนขออนุญาตขุดเจาะจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาลในปี 2549 ที่มีการใช้เพื่อธุรกิจการค้า การบริการและอุตสาหกรรม 19,938 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

การอุปโภคบริโภค 3,925 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และเพื่อการเกษตรกรรม 249 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ขณะที่การประเมินศักยภาพของแหล่งน้ำใต้ดินในจังหวัดระยอง (บุญโชคและคนางค์, 2550) พบว่ามีปริมาณน้ำกักเก็บ 3,494.81 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีปริมาณน้ำเพิ่มเติมปีละ 229.03 ล้านลูกบาศก์เมตร ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้อย่างต่อเนื่อง

จากการดำเนินกิจกรรมทั้งภาคอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรมในจังหวัดระยอง อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ เมื่อมีการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ประโยชน์ ตามความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มมากขึ้น จึงได้มีการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินโดยใช้แบบจำลองตราสติก เพื่อให้เข้าใจถึงศักยภาพของพื้นที่ต่อการเกิดการปนเปื้อน อันจะนำไปสู่การประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551ก) และเป็นการสนับสนุนให้เกิดการอนุรักษ์และฟื้นฟูสภาพทรัพยากรน้ำใต้ดินในจังหวัดระยอง ขณะที่แบบจำลองตราสติกนั้น อาจไม่สามารถสะท้อนอิทธิพลของปัจจัยทางอุทกวิทยาได้ทั้งหมด ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่เกิดจากการสูญเสียรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการประเมิน อีกทั้งยังได้สังเกตข้อเท็จจริงที่หลายหลายในแบบจำลองตราสติก ซึ่งมีทั้งลักษณะที่สามารถระบุค่า และไม่สามารถระบุค่าเป็นตัวเลขได้ เมื่อนำลักษณะมาวิเคราะห์ร่วมกัน อาจทำให้การตัดสินใจมีความคลาดเคลื่อน ไม่เป็นระบบ

งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้ฟuzzyเซต เพื่อปรับฐานข้อมูลในแต่ละปัจจัย และใช้การวิเคราะห์ตัดสินใจแบบหลายลักษณะในการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในจังหวัดระยอง โดยวิเคราะห์ข้อมูลบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของการประเมินความเปราะบาง และเป็นประโยชน์ในการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำใต้ดินได้อย่างเหมาะสมต่อไป

## วัตถุประสงค์

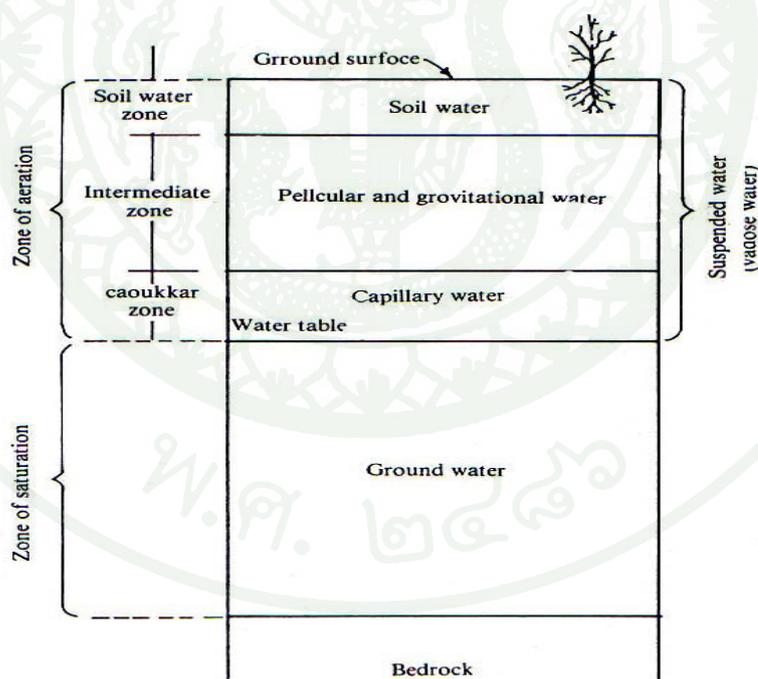
1. ประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินด้วยฟิซซีเซต โดยใช้ฐานข้อมูลในจังหวัดระยอง
2. เปรียบเทียบความสอดคล้องการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนน้ำใต้ดินด้วยฟิซซีเซตและแบบจำลองคราสติกกับข้อมูลคุณภาพน้ำใต้ดิน โดยใช้ฐานข้อมูลในจังหวัดระยอง
3. วิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองที่ใช้ในการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน โดยใช้ฐานข้อมูลในจังหวัดระยอง

## การตรวจเอกสาร

### 1. ความหมายของน้ำใต้ดิน และมลพิษน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดิน (groundwater) คือ น้ำที่แทรกอยู่ตามช่องว่างของกรวด ทราย หิน หรือตามรอย หินแตก จนเกิดเป็นชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำ การอิ่มตัวมีสภาพการไหลซึมอย่างช้าๆ จากที่มีพลังงานสูง ไปสู่ที่มีพลังงานต่ำ (กิริติ, ม.ป.ป.) น้ำที่อยู่ใต้ดินนี้ หมายความรวมถึง น้ำใต้ดินตามกฎหมายว่าด้วย น้ำใต้ดินด้วย (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2543)

1.1 การกระจายของน้ำใต้ดินและชนิดของชั้นหินอุ้มน้ำ ในทางธรณีวิทยาสามารถแบ่งน้ำ ใต้ดินออกเป็นหลายลักษณะด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและความลึกที่น้ำนั้นถูกกักเก็บอยู่ ซึ่ง เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของชั้นใต้ดินแล้ว สามารถแบ่งชั้นดินและหินที่อยู่ใต้ผิวดินลงไปเป็น 2 ชั้นใหญ่ๆ คือชั้นสัมผัสอากาศ และชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ฉลอง, 2538) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การกระจายตัวของน้ำใต้ดินในแนวดิ่ง

ที่มา: Domenico (1990)

1.1.1 ชั้นสัมพัทธ์อากาศ (zone of aeration) เริ่มตั้งแต่ผิวดินลึกกลงไปจนถึงระดับน้ำใต้ดิน (water table) ในบริเวณของส่วนสัมพัทธ์อากาศ ช่องว่างระหว่างอนุภาคดินบางส่วนจะมีอากาศแทรกอยู่ และบางส่วนจะมีน้ำกักเก็บอยู่ ชั้นสัมพัทธ์อากาศแบ่งย่อยได้เป็น 3 ชั้น คือ

ก. ชั้นรากพืช (soil water zone) อยู่ตอนบนสุดของชั้นสัมพัทธ์อากาศโดยเริ่มจากผิวดินลงไปจนถึงความลึกของรากพืช มีความหนาแน่นน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของดินและพืช ชั้นนี้จึงมีอิทธิพลต่อการเกษตร

ข. ชั้นช่วงกลาง (intermediate zone) อยู่ต่ำกว่าชั้นรากพืช จนถึงส่วนบนของชั้นคาพิลลารี ระดับน้ำใต้ดินในชั้นดินนี้เรียกว่า gravitational water เป็นน้ำที่เหลืออยู่หลังจากการซึมจากผิวลงไปสู่ชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำ การเคลื่อนที่ของน้ำเป็นไปด้วยแรงดึงดูดของโลก

ค. ชั้นคาพิลลารี (capillary zone) หรือเรียกอีกอย่างว่า capillary fringe อยู่ระหว่างชั้นช่วงกลางกับชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยเกิดจากการที่น้ำใต้ดินซึมขึ้นมาในช่องว่างระหว่างเม็ดดินด้วยแรงตึงผิว (surface tension) ของน้ำใต้ดิน ซึ่งความหนาของชั้นคาพิลลารีนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดินและการเรียงตัวของเม็ดดินตลอดจนความหนาแน่นของน้ำใต้ดิน

1.1.2 ชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (zone of saturation) เป็นแหล่งเก็บกักน้ำใต้ดินขนาดใหญ่ที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่บนสุด เริ่มจากจากระดับน้ำใต้ดินจนถึงชั้นของหินแข็ง (bed rock) ที่รองรับอยู่ในชั้นนี้ ดินหรือหินจะเต็มไปด้วยน้ำแต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีส่วนที่เป็นอากาศเลย

ระดับผิวบนสุดของชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำเรียกว่า ระดับน้ำใต้ดิน โดยน้ำใต้ดินจะถูกกักเก็บอยู่ในชั้นหิน ซึ่งเรียกว่า ชั้นหินอุ้มน้ำ (water bearing rocks or aquifers) โดยในหินแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำและการให้น้ำแตกต่างกัน ขึ้นกับคุณสมบัติของหิน เช่น ความพรุน การคัดขนาดของเม็ดหินและแร่ และความซึมผ่านได้ของชั้นหินนั้น ชั้นหินอุ้มน้ำสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

ก. ตะกอนร่วน (unconsolidated rocks) หมายถึง ตะกอนของหินชนิดต่างๆ ที่ ผุพังโดยขบวนการทางเคมี กายภาพ และการกัดเซาะ ได้แก่ กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวที่ ถูกพัดพาโดยตัวกลางใดๆ เช่น น้ำ ลม มาสะสมตัวในบริเวณที่มีสภาพเหมาะสม โดยไม่มีการสมาน ตัว หรือมีการสมานตัวเพียงเล็กน้อย ตะกอนขนาดใหญ่ เช่น กรวด และทราย มีคุณสมบัติเป็นชั้นให้ น้ำใต้ดินที่ดี เพราะมีความพรุนและความซึมซาบได้สูง ส่วนตะกอนทรายแป้งและดินเหนียว แม้ว่า จะมีความพรุนสูงแต่มีความซึมซาบได้ต่ำ จึงเป็นชั้นหินกั้นน้ำ

ข. หินแข็ง (consolidated rocks) หมายถึง หิน 3 ประเภทในทางธรณีวิทยา ได้แก่ หินอัคนี หินตะกอน และหินแปร ซึ่งแต่ละประเภทสามารถแยกย่อยออกได้อีกหลายชนิด มี คุณสมบัติในการกักเก็บน้ำใต้ดิน และให้น้ำใต้ดินแตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปน้ำใต้ดินในหินแข็ง ถูกกักเก็บอยู่ใน 2 ลักษณะ คือ ภายในรูพรุน หรือ ช่องว่างระหว่างเม็ดแร่ภายในเนื้อหิน และภายใน ช่องว่างที่เกิดขึ้นภายหลัง เช่น รอยแตก รอยแยก รอยเลื่อน โปรง และถ้ำ เป็นต้น สำหรับหินแข็งที่ เนื้อแน่นไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านเลย เรียกว่า ชั้นหินกั้นน้ำ

## 1.2 ประเภทของชั้นหินที่เกี่ยวข้องกับน้ำใต้ดิน

ชั้นน้ำใต้ดิน หรือชั้นหินอุ้มน้ำใต้ดิน เป็นชั้นหิน ชั้นตะกอนหรือชั้นดินซึ่งให้น้ำ ออกมาได้เป็นปริมาณที่มากเพียงพอต่อการใช้อย่างมีนัยสำคัญ โดยทั่วไป ชั้นหินอุ้มน้ำที่พัฒนา เอน้ำใต้ดินขึ้นไปใช้ประมาณร้อยละ 90 จะเป็นน้ำจากชั้นหินร่วนของพวกกรวดทราย ชนิดของชั้น หินอุ้มน้ำใต้ดินที่เกี่ยวกับการเก็บและการไหลของน้ำใต้ดินแบ่งออกได้เป็นประเภทใหญ่ๆ 4 ประเภท (ทวิศักดิ์, 2546) คือ

1.2.1 ชั้นหินอุ้มน้ำ (aquifer) หรือเรียกว่า ชั้นหินให้น้ำ เป็นชั้นดินหรือหินที่สามารถ กับเก็บน้ำได้มาก และยอมให้น้ำไหลผ่านได้โดยสะดวก ชั้นดินหรือหินประเภทนี้ ได้แก่ กรวด ทราย และหินที่มีรูพรุน (porous rocks) แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

ก. ชั้นหินอุ้มน้ำเปิด (unconfined aquifer) หรือชั้นให้น้ำใต้ดินอิสระ เป็น ชั้นหินอุ้มน้ำที่ไม่อยู่ภายใต้แรงกดดัน และจะมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ตราบบนสุดของส่วนที่อิ่มตัวด้วย น้ำ ซึ่งจะสัมผัสกับอากาศในเม็ดดิน บางครั้งเรียกว่า free หรือ phreatic หรือ nonartesian aquifer ลักษณะรูปร่างของระดับน้ำใต้ดิน ระดับน้ำใต้ดินอาจสูงขึ้นหรือต่ำลงขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำใต้

ดินที่ถูกกักเก็บไว้ การไหลของน้ำใต้ดินในชั้นหินอุ้มน้ำลักษณะนี้ จะไหลไปตามความลาดชันของระดับน้ำใต้ดินในชั้นหินอุ้มน้ำ

ข. ชั้นหินอุ้มน้ำปิด (confined aquifer) เป็นชั้นหินอุ้มน้ำที่มีชั้นหินเนื้อแน่นกว่า เช่น ชั้นตึบน้ำ วางทับข้างบนและรองอยู่ข้างล่าง ทำให้ชั้นหินอุ้มน้ำและน้ำใต้ดินที่ถูกกักเก็บอยู่ อยู่ภายใต้ความกดดันเนื่องจากน้ำหนักของหินที่กดทับซึ่งเป็นแรงดันที่มากกว่าแรงดันบรรยากาศ การไหลของน้ำจะมีลักษณะคล้ายๆ การไหลของน้ำในท่อ เพราะถูกประกบด้วยชั้นหินหนาแน่นทั้งข้างบนและข้างล่าง บ่อน้ำใต้ดินซึ่งเจาะลงสู่ชั้นน้ำประเภทนี้ ระดับน้ำจะยกขึ้นสูงจากก้นของชั้นตึบน้ำที่ปิดทับ การเพิ่มเติมน้ำเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำนี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะบริเวณที่ซึ่งชั้นหินอุ้มน้ำนี้ โผล่สู่ผิวโลกสัมผัสกับอากาศ บริเวณเพิ่มเติมน้ำเข้าสู่ชั้นน้ำใต้ดินเรียกว่า พื้นที่เพิ่มเติมน้ำ (recharged area) การสูงขึ้นหรือต่ำลงของระดับน้ำในบ่อน้ำใต้ดินซึ่งเจาะลงสู่ชั้นหินอุ้มน้ำปิดนี้ เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความดันในชั้นน้ำ (hydrostatic pressure) มากกว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำสำรอง

ค. ชั้นน้ำลอย (perched aquifer) หรือชั้นหินอุ้มน้ำปลอม เป็นชั้นน้ำขนาดเล็กลอยอยู่เหนือชั้นหินอุ้มน้ำเปิด เกิดจากชั้นดินเหนียวขนาดเล็ก ชั้นหินเนื้อแน่นเหนือชั้นหินอุ้มน้ำเปิดนั้น ซึ่งอยู่ในชั้นไม่อุ้มตัวด้วยน้ำ ถ้าหากในบริเวณสัมผัสอากาศมีชั้นหินเนื้อแน่นหรือชั้นดินเหนียว ซึ่งน้ำซึมผ่านได้น้อยหรือซึมผ่านไม่ได้เป็นรูปโค้งคล้ายแอ่งเกิดรวมอยู่ด้วยกัน มักพบชั้นน้ำนี้ ในตะกอนลุ่มน้ำ เมื่อน้ำฝนซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินจะมีน้ำบางส่วนถูกกักเก็บไว้เหนือชั้นหินเนื้อแน่นนี้ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งจะไหลซึมลงสู่โซนอุ้มตัวข้างล่าง ชั้นน้ำใต้ดินชนิดนี้เรียกว่า ชั้นน้ำใต้ดินปลอม และเรียกระดับน้ำใต้ดินในชั้นน้ำนี้ว่า ระดับน้ำใต้ดินปลอม (perched water table) เมื่อทำการเจาะพัฒนาบ่อน้ำใต้ดินในบริเวณดังกล่าวอาจทำให้เข้าใจผิดว่าเจาะถึงน้ำใต้ดินแล้ว จึงทำการพัฒนาบ่อน้ำนี้ แต่ใช้น้ำได้ไม่นานน้ำก็จะหมดไป เมื่อถึงฤดูฝนก็จะมีน้ำอีก จะต้องเจาะจนถึงชั้นอุ้มน้ำเปิดขนาดใหญ่ที่อยู่ข้างล่างจึงจะได้น้ำเพียงพอ

1.2.2 ชั้นหินซบน้ำ (aquiclude) จัดเป็นชั้นหินตึบน้ำ ซึ่งเป็นชั้นดินหรือหินที่มีคุณสมบัติในการดูดซบน้ำได้ แต่ช่องที่มีอยู่ มีขนาดเล็กมากจนน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้โดยสะดวก หากเจาะบ่อลงไปชั้นดินนี้จะไม่สามารถสูบน้ำซึมขึ้นมาใช้ได้ ชั้นหินประเภทนี้ได้แก่ ชั้นดินเหนียว เป็นต้น

1.2.3 ชั้นหินกั้นน้ำ (aquifuge) หรือชั้นหินแข็ง จัดเป็นชั้นหินกั้นน้ำ ซึ่งเป็นชั้นดินหรือหินที่มีความหนาแน่นสูง ลักษณะเป็นหินเนื้อแน่น มีช่องภายในเพื่อกักเก็บน้ำน้อย ช่องภายในที่ไม่มีอยู่ไม่อาจติดต่อถึงกันได้ โดยปกติจะหมายถึง ชั้นหินแข็ง เช่น หินแกรนิต หินบะซอลต์ เป็นต้น

1.2.4 ชั้นหินต้านน้ำ (aquitard) จัดเป็นชั้นหินกั้นน้ำ ซึ่งเป็นชั้นหินหรือชั้นดินที่มีคุณสมบัติชะลอความเร็วของการไหลหรือต้านการไหลของน้ำไว้ แต่ไม่ป้องกันการไหลผ่านของน้ำบาดาลจากชั้นหินอุ้มน้ำหนึ่งไปยังอีกชั้นหินอุ้มน้ำที่อยู่ต่อเนื่องติดกัน โดยปกติจะหมายถึง ชั้นหินกั้นน้ำ (confining layer) ที่อยู่ติดกับชั้นหินอุ้มน้ำเดี่ยว หรือชั้นหินอุ้มน้ำหลายๆ ชั้นแทรกสลับกัน น้ำสามารถไหลผ่านชั้นหินต้านน้ำนี้ได้ แต่ด้วยอัตราที่ช้ามาก เปรียบเสมือนการรั่วซึมผ่าน จึงเรียกชั้นหินต้านน้ำในลักษณะนี้ว่า ชั้นหินกั้นน้ำที่รั่วซึม (leaky confining layer) ชั้นหินประเภทนี้ได้แก่ กรวด ทรายปนดินเหนียว

### 1.3 มลพิษน้ำใต้ดิน

มลพิษน้ำใต้ดิน หมายถึง การเสื่อมลงของคุณภาพน้ำใต้ดิน ทำให้น้ำใช้ประโยชน์ไม่ได้ หรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เนื่องจากสารพิษหรือเชื้อโรค (Todd, 1980) เช่น แบคทีเรีย สารอินทรีย์ โลหะหนัก สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช สัตว์ และสารกัมมันตรังสี (Lamoreaux *et al.*, 2009) การทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไปทั้งทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ (Fried, 1975)

### 1.4 แหล่งกำเนิดมลพิษที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนนั้น แบ่งได้เป็น 2 ทาง คือ

1.4.1 จากธรรมชาติ เช่น จากการชะล้าง กัดเซาะ การย่อยสลายของวัตถุต้นกำเนิดดิน และองค์ประกอบทางธรณีวิทยา

### 1.4.2 จากการกระทำของมนุษย์ แบ่งตามแหล่งกำเนิดเป็น 3 ประเภท คือ

ก. เกษตรกรรม แหล่งที่มาของการปนเปื้อนจากเกษตรกรรมมีความหลากหลาย เช่น การใช้ปุ๋ยเคมี สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ และวัตถุปรับปรุงดิน รวมถึงมูลสัตว์ หรือมีการหว่านต่าง ๆ น้ำที่จากการล้างอุปกรณ์ฉีดพ่นยาฆ่าแมลงหรือสารเคมี โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการระบายน้ำไม่ดี จึงมีการสร้างท่อระบายน้ำ บ่อระบายน้ำ เพื่อเป็นการระบายน้ำส่วนเกินออกจากพื้นที่

การระบายน้ำทำหน้าที่เป็นท่อตรงไปยังชั้นน้ำใต้ดิน จากการใช้น้ำชลประทาน มีมลสารต่างๆปนเปื้อน ทำให้ความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำบางส่วนก็ไหลซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

ข. อุตสาหกรรม แหล่งที่มาของการปนเปื้อนจากอุตสาหกรรมเกิดจากกระบวนการผลิตและการบริการมีความต้องการใช้น้ำสูงสำหรับระบบหล่อเย็น การแปรรูปน้ำ และการทำความสะอาด มลพิษน้ำใต้ดินเกิดขึ้นเมื่อน้ำที่ใช้แล้วกลับสู่วัฏจักรอุทกวิทยา เช่น น้ำทิ้งจากกระบวนการหล่อเย็นจะมีปริมาณเกลือสูง การปล่อยน้ำเสียจากกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการชะล้างผ่านสารเคมีต่างๆ การหก การรั่วไหลของสารจำพวกปิโตรเลียม กรด ตัวทำละลายต่างๆ จากระบบท่อ ถึงเก็บใต้ดิน หรือจากระบบการขนส่งต่างๆ การกำจัดของเสีย และการจัดการที่ไม่เหมาะสม สิ่งเหล่านี้ล้วนนำไปสู่การปนเปื้อนของน้ำใต้ดินได้

ค. พาณิชยกรรมและที่อยู่อาศัย การรั่วซึมจากท่อระบายน้ำเสีย บ่อซึมตามบ้านเรือน การใช้และการกำจัดสารเคมี เช่น สี ตัวทำละลายต่างๆ น้ำยาฆ่าเชื้อ สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ สารเคมีจากสระว่ายน้ำ และแบตเตอรี่ เป็นต้น น้ำมันจากท่อซ่อมรถ และสารเคมีสำหรับดูแลรักษาสนามในสนามกอล์ฟ รวมถึงการรั่วซึมของน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบขยะ

### 3. มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินในประเทศไทย

มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน คือ ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในน้ำใต้ดิน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายและผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน เมื่อนำน้ำใต้ดินมาใช้บริโภค (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2543) โดยค่ามาตรฐานน้ำบาดาล ที่ใช้สำหรับการบริโภค ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

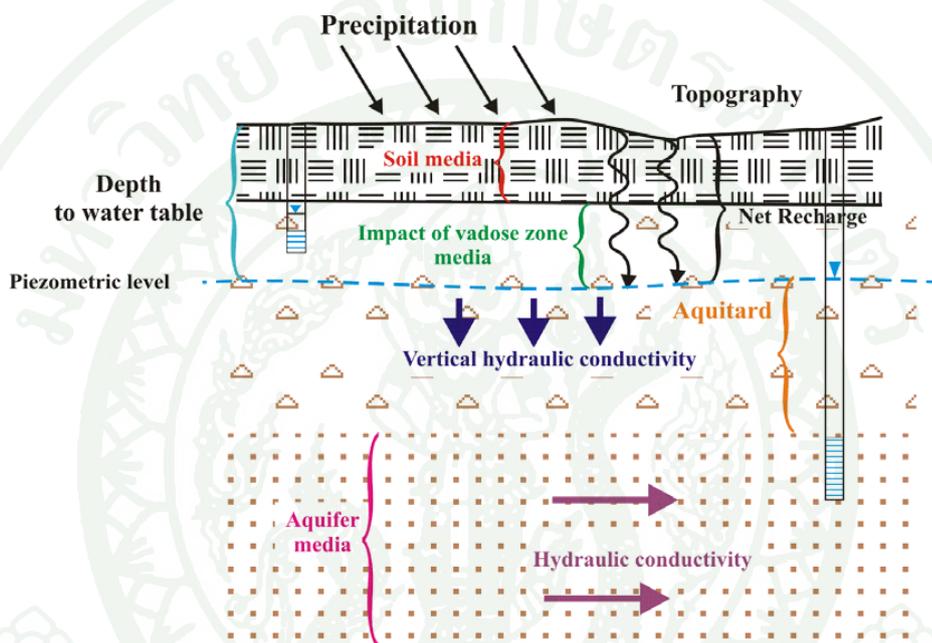
ดัชนีคุณภาพน้ำ	เกณฑ์ที่เหมาะสม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เกณฑ์อนุ โลม (มิลลิกรัมต่อลิตร)
เหล็ก (Fe)	ไม่เกิน 0.5	1.0
แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 0.3	0.5
ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 1.0	1.5
สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0	15.0
ซัลเฟต (SO <sub>4</sub> )	ไม่เกิน 200	250
คลอไรด์ (Cl)	ไม่เกิน 250	600
ฟลูออไรด์ (F)	ไม่เกิน 0.7	1.0
ไนเตรต (NO <sub>3</sub> )	ไม่เกิน 45	45
สารหนู (As)	ต้องไม่มีเลย	0.05
ไซยาไนด์ (CN)	ต้องไม่มีเลย	0.1
ตะกั่ว (Pb)	ต้องไม่มีเลย	0.05
ปรอท (Hg)	ต้องไม่มีเลย	0.001
แคดเมียม (Cd)	ต้องไม่มีเลย	0.01
ซีลีเนียม (Se)	ต้องไม่มีเลย	0.01

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2552)

#### 4. ความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรอุทกวิทยา ฝนตก การไหลในทางน้ำและ การกักเก็บน้ำ เป็นแหล่งต้นกำเนิดของการเพิ่มเติมน้ำเข้าสู่ชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วจึงเกิดเป็นน้ำใต้ดิน การไหลของน้ำใต้ดินเกิดในช่องว่างของหินและไหลตามสภาพการเอียงเทของทางชลศาสตร์ การไหลของน้ำใต้ดินจะไหลจากพื้นที่ที่มีความสูงมากไปยังพื้นที่ที่มีความสูงต่ำ ความเร็วของการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา คุณสมบัติของตัวกลาง และการกระจายตัวของค่าความดัน

น้ำใต้ดินที่กักเก็บอยู่ในช่องว่างของหิน ขอบเขตของชั้นหินอุ้มน้ำจะแตกต่างกันไปจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งขึ้นอยู่กับสภาพทางอุทกธรณีวิทยา ขณะที่ปริมาณและคุณภาพของน้ำใต้ดินจะแตกต่างกันไปตามความลึก ขอบเขตพื้นที่และวัตถุทางธรณีที่แตกต่างกัน ปริมาณและคุณภาพน้ำใต้ดินสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากการใช้ประโยชน์ที่ดินและกิจกรรมของมนุษย์ ความเสื่อมของคุณภาพน้ำใต้ดินโดยปกติแล้วจะพบในพื้นที่ที่มีการพัฒนาแล้ว เนื่องจากมีแหล่งมลพิษจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง การเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวดินลงมายังระดับน้ำใต้ดิน แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวดินลงมายังระดับน้ำใต้ดิน

ที่มา: วันเพ็ญ (2547)

การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดิน (contaminant transport) แบ่งได้เป็น 3 ประเภท (Spitz and Moreno, 1996) คือ

4.1 การพา (advection) เป็นกระบวนการที่สารละลาย (dissolved substances) เคลื่อนที่ไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน ผ่านชั้นดินและหินต่างๆ ซึ่งทิศทางและอัตราการพาจะเป็นไปตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน การพาขึ้นอยู่กับความเร็วของน้ำใต้ดิน ความพรุนของชั้นใต้ดิน และความเข้มข้นของสารปนเปื้อน

4.2 การแพร่ (diffusion) เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า การเคลื่อนที่ที่จะหยุดเมื่อ โมเลกุลของสารแพร่เท่ากัน การเคลื่อนที่ด้วยการแพร่สามารถเกิดขึ้นได้ในที่ที่ไม่มีความเร็วการไหลของน้ำใต้ดินก็ได้

4.3 การกระจาย (dispersion) เป็นการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิด กระจายไปยังแหล่งอื่นๆ ที่อยู่นอกเส้นทางเคลื่อนที่ของน้ำชั้นใต้ดิน หรืออาจเรียกว่า hydrodynamic dispersions การกระจายตัวเกิดขึ้นจากความแปรปรวนของความเร็วการไหล และเส้นทางของการไหล ซึ่งการผสมเชิงกล (mechanical mixing) จะเกิดในช่วงที่ของเหลวกำลังไหล และเกิดจากการแพร่เชิงโมเลกุลของสารปนเปื้อน (molecular diffusion) เมื่อของเหลวมีความเร็วต่ำมากๆ

เมื่อน้ำใต้ดินถูกปนเปื้อน จะส่งผลเป็นภัยต่อสุขภาพอนามัยตลอดจนเป็นพิษหรือแพร่เชื้อโรค และทำให้คุณภาพของน้ำลดลงด้วย โดยปกติการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินมักเกิดมาเป็นเวลานานก่อนที่ปัญหานั้นจะถูกพบ และการกำจัดสารปนเปื้อนออกจากชั้นหินอุ้มน้ำนั้นจะสิ้นเปลืองทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย การป้องกันการปนเปื้อนนํ้าใต้ดินจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมกว่า การฟื้นฟูชั้นหินอุ้มน้ำ

แนวความคิดเกี่ยวกับเรื่องความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนเริ่มมีขึ้นที่ประเทศฝรั่งเศสในปี 1960 โดยมีการอธิบายถึงระดับความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินว่าเป็นฟังก์ชันของสภาพอุทกธรณีวิทยา โดยรวมแล้วเป็นการพยายามให้ความรู้ในเรื่องอันตรายของการปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ที่แสดงถึงการป้องกันตัวเองของสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ ซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามพื้นที่ (Albinet and Margat, 1970) ปัจจัยทางอุทกธรณีวิทยาขั้นพื้นฐาน คือ ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของวัสดุพื้นผิวที่ทับถม การเชื่อมต่อระหว่างน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน และความเร็วเฉลี่ยในการไหลของน้ำใต้ดิน การแปลความหมายสภาพอุทกธรณีวิทยาในเทอมของความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนเชิงคุณลักษณะ ไม่ได้รวมถึงขบวนการเคลื่อนที่ของการปนเปื้อนจากผิวดิน ไปยังน้ำใต้ดิน ความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของชั้นหินอุ้มน้ำนั้น ความซับซ้อนของสภาพธรรมชาติผิวดินและใต้ดินจะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของมลพิษไปยังชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งเป็นความสามารถของระบบในการป้องกันตัวเองจากภายนอกทั้งจากธรรมชาติและมนุษย์ (Sotomikova and Vrba, 1987) ปัจจัยสำหรับความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนที่สำคัญที่สุดคือการไหลของน้ำใต้ดิน โดยนิยามแล้วความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนต้องแสดงในเทอมของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายต่อหน่วยที่เพิ่มขึ้นในกิจกรรมของมนุษย์ (Bachmat and Collin, 1987)

Friesel (1987) และ Johnston (1988) ได้ใช้ปัจจัยการเพิ่มเติมน้ำในการศึกษาความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนจากแหล่งมลพิษใกล้ผิวดิน ซึ่งถูกควบคุมโดยระบบการไหลของน้ำใต้ดิน ต่อมา Vrba (1991) ได้นำเอาเรื่องของเวลาที่ใช้ในการนิยามความเสี่ยงต่อการปนเปื้อน โดยเสนอว่า ความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติตามธรรมชาติของระบบน้ำใต้ดินในชั้นที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ และขึ้นกับความสามารถของระบบในการกำจัดของเสียด้วยขบวนการทางธรรมชาติ ในปี 1993 ได้มีการประชุมทางเทคนิคสำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินของสภาวิจัยแห่งชาติของสหรัฐ ซึ่งได้ให้คำนิยามความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน เป็นแนวโน้มหรือความเป็นไปได้ที่สารปนเปื้อนจะมาถึงตำแหน่งเฉพาะในระบบน้ำใต้ดิน หลังจากที่รู้จักตำแหน่งเหนือชั้นหินอุ้มน้ำชั้นบนสุด แต่รายงานล่าสุดที่ประชุมได้แยกความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนออกเป็น 2 กลุ่มคือ ความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนเฉพาะที่ ซึ่งอ้างอิงถึงการปนเปื้อนเฉพาะกลุ่มของการปนเปื้อน หรือกิจกรรมของมนุษย์ และความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนที่แท้จริง ซึ่งไม่ได้พิจารณาคุณลักษณะและพฤติกรรมของการปนเปื้อนเฉพาะ นอกจากนี้ ระดับความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนที่แท้จริง มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดจากการไหลซึมลงของมลสาร ผ่านชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ จึงได้รวมพารามิเตอร์สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินนี้ไว้ด้วย โดยความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของชั้นหินอุ้มน้ำจะขึ้นอยู่กับ 2 ลักษณะหลัก (Benacchio *et al.*, 1998) คือ ระดับของการป้องกันการปนเปื้อนจากผิวดินโดยชั้นที่วางตัวอยู่ด้านบน และศักยภาพของการทำให้น้ำถูกปนเปื้อนในชั้นหินอุ้มน้ำ การประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนในเวลาต่อมาจึงพิจารณาจาก 3 คุณลักษณะ คือ ชนิดของชั้นหินอุ้มน้ำ ตำแหน่งชั้นหินอุ้มน้ำ และลักษณะของชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Vierhuff *et al.*, 1981)

## 5. การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินด้วยแบบจำลองตราสติก

แบบจำลองตราสติก (DRASTIC) เป็นวิธีการประเมินความเปราะบางของน้ำใต้ดินที่ Aller *et al.* (1987) ได้พัฒนาขึ้น จัดอยู่ในกลุ่มของแบบจำลองประเภท Point Count System Models (PCSM) (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551ข) ซึ่งมีระบบการประเมินด้วยการกำหนดช่วงของพารามิเตอร์ที่ถือว่าจำเป็นต่อการประเมิน และมีการคูณค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละพารามิเตอร์ ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ของดัชนีตราสติก คือ 23 และ 226 โดยค่าดัชนีตราสติกจะแสดงถึงพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินที่มีความแตกต่างกันไปตามพื้นที่ แบบจำลองตราสติกนี้ได้รับความนิยมมากในการประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน และถือเป็นแบบจำลองพื้นฐานในการประเมินศักยภาพการเกิดมลพิษของน้ำใต้ดิน (Aller *et al.*,

1987) โดยเป็นวิธีการที่ได้ออกแบบเพื่อใช้กับปัจจัยทางอุทกธรณีวิทยาเท่านั้น และสภาพในพื้นที่ต้องมีสภาพดังต่อไปนี้

1. มีแหล่งมลพิษอยู่บนผิวดิน
2. ฝนเป็นกลไกหลักที่ทำให้มลพิษนั้นไหลไป
3. มลพิษนั้นเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วของน้ำใต้ดิน
4. ต้องประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 100 เอเคอร์ หรือ 0.4 ตารางกิโลเมตร

การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินด้วยแบบจำลองดราสติก จะพิจารณาโดยใช้ปัจจัยทั้ง 7 ปัจจัย เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน (depth to water table, D) การเพิ่มเติมน้ำสุทธิ (net recharge, R) ชั้นหินอุ้มน้ำ (aquifer media, A) ชนิดดิน (soil media, S) สภาพภูมิประเทศ (topography, T) ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (impact of vadose zone media, I) และสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ (hydraulic conductivity of the aquifer, C) แต่ละปัจจัยถูกกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและค่าคะแนนที่มีนัยสำคัญกับผลกระทบจากการเกิดมลพิษโดยผู้เชี่ยวชาญด้วยเทคนิคเดลฟาย (delphi technique) (Aller *et al.*, 1987) โดยแบ่งการให้ค่าถ่วงน้ำหนักออกเป็น 2 ประเภท คือ สารมลพิษในกลุ่มสารอนินทรีย์ (inorganic pollutants) และสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (pesticides) การให้ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละประเภทแสดงดังตารางที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนัก 1 ถึง 5 แสดงถึงความสำคัญของปัจจัยที่มีความสำคัญจากน้อยไปมาก เมื่อคูณกับค่าคะแนนในแต่ละปัจจัย ผลรวมคือ ค่าดัชนีที่แสดงถึงศักยภาพต่อการเกิดการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ดังสมการที่ (1)

สมการแสดงความเปราะบางต่อการเกิดการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน

$$\text{ดัชนีดราสติก} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (1)$$

เมื่อ

- D = ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน
- R = การเพิ่มเติมน้ำสุทธิ
- A = ชั้นหินอุ้มน้ำ
- S = ชนิดดิน
- T = สภาพภูมิประเทศ

I = ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

C = สัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ

R = ค่าคะแนนของแต่ละปัจจัย

W = ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัย

ตารางที่ 2 การกำหนดค่าน้ำหนักของปัจจัยในแบบจำลองตราสติก

Factor	Inorganic pollutants	Pesticides
D-Depth to water table	5	5
R-Net recharge	4	4
A-Aquifer media	3	3
S-Soil media	2	5
T-Topography	1	3
I-Impact of vadose zone media	5	4
C-hydraulic Conductivity	3	2

ที่มา: Aller *et al.* (1987)

5.1 ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน เป็นปัจจัยตัวแรกที่มีอิทธิพลต่อศักยภาพการเกิดการปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน โดยทั่วไปแล้วระดับน้ำใต้ดินที่อยู่ตื้นมีโอกาสที่สารปนเปื้อนจะมาถึงชั้นน้ำใต้ดินมากกว่าระดับน้ำใต้ดินที่อยู่ลึก ยิ่งระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกลงไปมากขึ้นเท่าไร ยิ่งต้องใช้เวลาในการเดินทางของสารปนเปื้อนจนกว่าจะมาถึงชั้นหินอุ้มน้ำมากขึ้นเท่านั้น โอกาสที่จะเกิดการเจือจางของสารปนเปื้อนก็มีมากกว่าระดับน้ำใต้ดินที่อยู่ตื้น ชั้นหินอุ้มน้ำที่มีแรงดันจะมีความสามารถในการป้องกันตัวเองจากสารปนเปื้อนมากกว่าชั้นหินอุ้มน้ำแบบไร้แรงดัน ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดการปนเปื้อนน้อย แบบจำลองตราสติกนั้นสามารถใช้ประเมินในชั้นหินอุ้มน้ำได้ทั้ง 2 แบบ สำหรับชั้นหินอุ้มน้ำแบบไร้แรงดัน ความลึกของน้ำจะเป็นความลึกจากผิวดินลงไปถึงระดับน้ำใต้ดิน ส่วนความลึกของระดับน้ำใต้ดินในชั้นหินอุ้มน้ำแบบมีแรงดัน จะวัดความลึกจากผิวดินลงไปถึงชั้นดินที่อยู่เหนือชั้นหินอุ้มน้ำ ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดิน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดิน

Depth to water table (feet)	Rating
0-5	10
5-15	9
15-30	7
30-50	5
50-75	3
75-100	2
100+	1

ที่มา: Aller *et al.* (1987)

5.2 การเพิ่มเติมน้ำสุทธิ คือ ปริมาณของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ เป็นปริมาณน้ำที่ไหลจากผิวดินลงไปยังระดับน้ำใต้ดินและไหลลงไปถึงชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งน้ำที่เกิดจากการเพิ่มเติมน้ำนี้ สามารถนำสารปนเปื้อนลงมาในแนวคิ่ง ซึ่งไหลลงมายังระดับน้ำใต้ดินและชั้นหินอุ้มน้ำ นอกจากนี้ การเพิ่มเติมน้ำสุทธิ ยังเป็นตัวควบคุมปริมาณน้ำ ที่จะมาละลายและเจือจางสารปนเปื้อนในชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ และชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยการเพิ่มเติมน้ำสุทธิมาก จะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ

Net recharge (inches)	Rating
0-2	1
2-4	3
4-7	6
7-10	8
10+	9

ที่มา: Aller *et al.* (1987)

5.3 ชั้นหินอุ้มน้ำ คือ ตัวกลางของชั้นหินจะแตกต่างกันออกไป ทั้งหินแบบแข็งตัวแล้วและที่ยังไม่แข็งตัว ซึ่งแต่ละตัวกลางจะให้ปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน วัตถุประสงค์ที่ประกอบกันเป็นชั้นหินอุ้มน้ำวัดจากความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนผ่านช่องว่าง รอยแตก และความยาวของช่องทางเคลื่อนที่ เป็นตัวควบคุมที่สำคัญในการเคลื่อนที่และขบวนการเจือจางตามธรรมชาติ เวลาเดินทางที่เพิ่มขึ้นของสารปนเปื้อนผ่านชั้นหินอุ้มน้ำ ก็จะมีผลต่อการเจือจางสารปนเปื้อนมาก การปรับค่าตัวเลขสำหรับตัวกลางเหล่านี้ได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของชั้นหินอุ้มน้ำ ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชั้นหินอุ้มน้ำ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชั้นหินอุ้มน้ำ

Aquifer media	Rating	Typical rating
Massive Shale	1-3	2
Metamorphic/Igneous	2-5	3
Weathered Metamorphic/Igneous	3-5	4
Glacial Till	4-6	5
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	9-10	10

ที่มา: Aller *et al.* (1987)

5.4 ชนิดดิน คือ ส่วนที่อยู่ด้านบนสุดของชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยยังมีกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตอยู่ สารปนเปื้อนจะมีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งจากผิวดินไปยังชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำผ่านตัวกลางที่เป็นดินก่อน ดังนั้น ชนิดดิน ลักษณะของดิน จะมีอิทธิพลต่อศักยภาพการเกิดสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดินแตกต่างกัน วัตถุประสงค์ที่เนื้อละเอียด เช่น ทรายแป้ง และดินเหนียว สามารถลดการเคลื่อนที่สารปนเปื้อนได้ ความหนาของชั้นดินก็มีผลต่อขบวนการเจือจาง เช่น การไหลซึมลง การ

สลายตัวโดยสิ่งมีชีวิต และการดูดซับ เป็นต้น ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชนิดดิน แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชนิดดิน

Soil media	Rating
Thin or Absent	10
Gravel	10
Sand	9
Peat	8
Shrinking and/or Aggregated Clay	7
Sandy Loam	6
Loam	5
Silty Loam	4
Clay Loam	3
Muck	2
Nonshrink and Nonaggregated Clay	1

ที่มา: Aller *et al.* (1987)

5.5 สภาพภูมิประเทศ ใช้ความลาดชันของพื้นที่เป็นตัวแปรในการประเมิน สภาพภูมิประเทศช่วยในการควบคุมการเคลื่อนที่หรือกักสารปนเปื้อนไว้บนผิวดิน โดยที่ความชันสูง ศักยภาพการเกิดการปนเปื้อนก็จะต่ำกว่า เนื่องจากว่ามีอัตราการไหลของน้ำ และอัตราการกัดเซาะสูง นอกจากนั้น สภาพภูมิประเทศยังมีอิทธิพลต่อการพัฒนาของดินและมีผลต่อการเจือจางของสารปนเปื้อน ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยสภาพภูมิประเทศ แสดงดังตารางที่ 7

### ตารางที่ 7 ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยสภาพภูมิประเทศ

Topography (percent of slope)	Rating
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
18+	1

ที่มา: Aller *et al.* (1987)

5.6 ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำเหนือระดับน้ำใต้ดิน ชนิดของตัวกลางในชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำนั้นจะตรวจวัดลักษณะการไหลของทั้งวัสดุคืบและหินเหนือระดับน้ำใต้ดิน ตัวกลางจะเป็นตัวควบคุมระยะทางและเส้นทางการไหล ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำในที่นี้จะวัดว่าสารปนเปื้อนจะใช้เวลาเท่าไรจึงจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นนี้ สำหรับเส้นทางการไหลนั้นรอยแตกจะมีอิทธิพลมาก ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ แสดงดังตารางที่ 8

### ตารางที่ 8 ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

Impact of vadose zone media	Rating	Typical rating
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

ตารางที่ 8 (ต่อ)

Impact of vadose zone media	Rating	Typical rating
Karst Limestone	8-10	10

ที่มา: Aller *et al.* (1987)

5.7 สัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ เป็นความสามารถของน้ำที่เดินทางผ่านชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่จะไหลเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำ สัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ ถูกควบคุมโดยจำนวนและการเชื่อมต่อของช่องว่างภายในชั้นหินอุ้มน้ำ ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ช่วงค่าและค่าคะแนนสำหรับปัจจัยสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ

Hydraulic conductivity (GPD/FT <sup>2</sup> )	Rating
1-100	1
100-300	2
300-700	4
700-1000	6
1000-2000	8
2000+	10

ที่มา: Aller *et al.* (1987)

## 6. ฟัซซีเซต (fuzzy set)

ตรรกศาสตร์คลุมเครือ เรียกอีกอย่างว่า ฟัซซีลอจิก เป็นระบบการประมวลผลด้านคอมพิวเตอร์ที่ทำงานที่คิดค้นโดย Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 ฟัซซีลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งที่มีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (fuzzy) ไม่ชัดเจน (exact) โดยปกติ เซตแบบฉบับ (classical set) หรือเซตทวินัย (crisp set) เป็นเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกจะเป็นไปตามแนวคิดของเลขฐานสอง โดยที่ตัวแปรหนึ่งๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่า คือ 0 ไม่เป็นสมาชิก และ 1 เป็นสมาชิก ทำให้เซตแบบฉบับนี้จะมีขอบเขตแบบแข็ง (sharp boundary) ซึ่งเป็นขอบเขตที่ตัดขาดจากกันแบบทันทีทันใด

ด้วยข้อจำกัดของเซตแบบฉบับนี้ ฟัซซีเซตสามารถอธิบายรายละเอียดได้ชัดเจนกว่าการอธิบายทางคณิตศาสตร์โดยใช้เซตแบบดั้งเดิม ทำให้ไม่เกิดข้อโต้แย้ง (สุพจน์, 2548) โดยหลักสำคัญของฟัซซีเซต คือ การยอมให้มีค่าหรือดีกรีของความเป็นสมาชิก (degree of membership) ซึ่งแสดงด้วยค่าตัวเลขระหว่าง 0 ถึง 1 โดย 0 หมายถึง ไม่เป็นสมาชิกในเซต และ 1 หมายถึง เป็นสมาชิกในเซต ส่วนค่าระหว่าง 0 ถึง 1 เป็นสมาชิกบางส่วนในเซต การทำเช่นนี้ ทำให้เกิดความราบเรียบในการเปลี่ยนจากพื้นที่นอกเซตไปอยู่ในเซตของสมาชิกต่างๆ โดยมีฟังก์ชันสมาชิกเป็นฟังก์ชันจัดเทียบ ซึ่งครอบคลุมการกำหนดสมาชิกเซตแบบฉบับ เซตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนที่เรียกว่า ฟัซซีเซต (fuzzy set) จึงสอดคล้องกับความไม่แน่นอน ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป จากแนวความคิดของ Zadeh เกี่ยวกับความไม่แน่นอนนี้ ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ มากมาย จนทำให้ฟัซซีเซตโดดเด่นในวงการคอมพิวเตอร์

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันจัดเทียบ ที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบ่งได้เป็น 6 ชนิด (อนุรักษ์, 2552)

6.1 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (triangular membership function) มีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ  $(a, b, c)$

$$\text{triangular}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (2)$$

6.2 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal membership function) มีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ  $\{a, b, c, d\}$

$$\text{trapezoidal}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c) & c \leq x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (3)$$

6.3 ฟังก์ชันเกาส์เซียน (gaussian membership function) มีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์คือ  $\{m, \sigma\}$  ซึ่ง  $m$  หมายถึงค่าเฉลี่ย และ  $\sigma$  หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\text{gaussian}(x; m, \sigma) = \exp(-(x-m)^2/\sigma^2) \quad (4)$$

6.4 ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (bell shaped membership function) มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่าคือ  $\{a, b, c\}$

$$\text{bell shaped}(x; a, b, c) = 1/(1 + |(x-c)/a|^{2b}) \quad (5)$$

6.5 ฟังก์ชันตัวเอส (smooth membership function) มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ  $\{a, b\}$

$$s(x; a, b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 2((x-b)/(b-a))^2 & a \leq x \leq ((a+b)/2) \\ 1 - 2((x-b)/(b-a))^2 & ((a+b)/2) \leq x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases} \quad (6)$$

6.6 ฟังก์ชันตัวเซต (Z-membership function) มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ  $\{a, b\}$

$$z(x; a, b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 1 - 2((x-b)/(b-a))^2 & a \leq x \leq ((a+b)/2) \\ 2((x-b)/(b-a))^2 & ((a+b)/2) \leq x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases} \quad (7)$$

การเลือกฟังก์ชันของความเป็นสมาชิก จะต้องเลือกตามความเหมาะสมความครอบคลุมของข้อมูลที่จะรับเข้ามา โดยสามารถที่จะใช้ทับซ้อนกันเพื่อให้การดำเนินงานราบเรียบ ซึ่งมีความเป็นสมาชิกหลายค่าได้ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เหมาะกับงานที่กำลังปฏิบัติงานหรือตามความต้องการ

## 7. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS)

### 7.1 ความหมายของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

โดยสรุปแล้ว ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) คือ ระบบที่มีการจัดเก็บข้อมูล การปรับปรุง การวิเคราะห์และแสดงผลข้อมูลทางภูมิศาสตร์ โดยการใช้เครื่องมือต่างๆ ที่เหมาะสม (Burrough, 1986) ซึ่งในปัจจุบันเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ คอมพิวเตอร์ โดยเชื่อมโยงข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) และข้อมูลที่ไม่อยู่ในเชิงพื้นที่ (non - spatial data) เข้าด้วยกันและสามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนมากและมีความซับซ้อน เพื่อตอบคำถามต่างๆ หรือจำลองสถานการณ์ และใช้ประกอบการวางแผนตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สุเพชร, 2552)

### 7.2 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีส่วนช่วยให้เกิดความเข้าใจปัญหา และประกอบการตัดสินใจในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการวางแผนการใช้ทรัพยากรเชิงพื้นที่ โดย Burrough and McDonnell (1998) กล่าวว่า การเลือกใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีความสำคัญมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ เป้าหมาย เพื่อการสร้างฐานข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ดังนั้น จึงควรคำนึงถึงองค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย 5 ประการดังนี้

7.2.1 ฮาร์ดแวร์ (hardware) คือ อุปกรณ์ด้านคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งตามหน้าที่การใช้งานเป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit-CPU) หน่วยจัดเก็บข้อมูลเพิ่มเติม เช่น ดิจิไทเซอร์ (digitizer) และเครื่องกวาดภาพ (scanner) ซึ่งเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลจากแผนที่ให้อยู่ในรูปของข้อมูลตัวเลข (digital data) เครื่องมือสำหรับการพิมพ์ เช่น พล็อตเตอร์ (plotter) และพริ้นเตอร์ (printer) และหน่วยแสดงผล (output units)

7.2.2 ซอฟต์แวร์ (software) คือ โปรแกรมหรือชุดคำสั่งที่ให้คอมพิวเตอร์ทำงานตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 5 ส่วน (แก้ว และสุภัก, 2536) คือ การนำเข้าและตรวจสอบข้อมูล การแก้ไขข้อมูล การจัดเก็บและจัดการฐานข้อมูล การคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล การรายงานผลข้อมูล และความสัมพันธ์กับผู้ใช้งาน โดยโปรแกรมที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่ Arc/Info, MapInfo, ILWIS

7.2.3 บุคลากร (people) คือ ผู้ปฏิบัติงานหรือผู้พัฒนา ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีหน้าที่จัดการให้องค์ประกอบทั้งหมดทำงานประสานกันจนได้ผลลัพธ์ออกมา เช่น ผู้นำเข้าข้อมูล ช่างเทคนิค ผู้ดูแลระบบฐานข้อมูล ผู้เชี่ยวชาญสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล บุคลากรเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เนื่องจากถ้าขาดบุคลากร จะไม่มีผู้วิเคราะห์ข้อมูล และนำข้อมูลที่มีอยู่ไปใช้ประโยชน์

7.2.4 วิธีการ หรือขั้นตอนการทำงาน (procedures or methods) คือ ขั้นตอนการทำงาน ซึ่งเป็นการกำหนดให้เครื่องคอมพิวเตอร์จัดการกับข้อมูล โดยแต่ละระบบหรือองค์กร ย่อมมีความแตกต่างกันออกไป ฉะนั้น ผู้ปฏิบัติงานต้องเลือกวิธีการในการจัดการกับปัญหาที่เหมาะสมที่สุด โดยคำนึงถึงเป้าหมายในการใช้งาน

7.2.5 ข้อมูล (data) คือ ข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้น และเป็นสิ่งที่ต้องนำเข้าไปให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลเป็นผลลัพธ์ออกมา ข้อมูลนับได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ในการดำเนินการของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เนื่องจากการนำไปประยุกต์ใช้จะถูกต้องและมีประสิทธิภาพเพียงใด ขึ้นอยู่กับข้อมูลและสารสนเทศที่นำมาใช้ในกระบวนการของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

### 7.3 ลักษณะข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

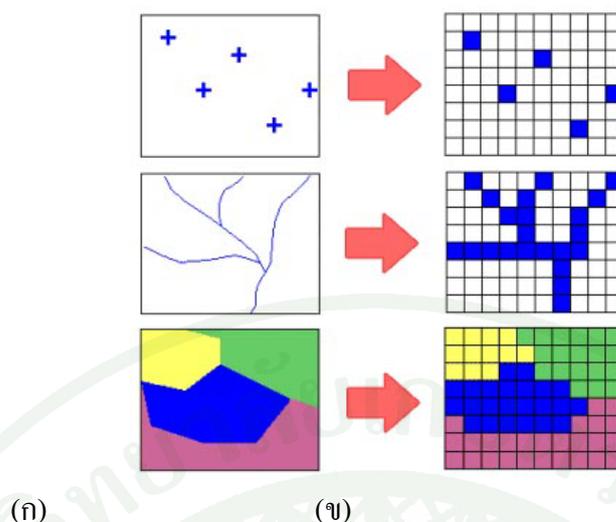
ข้อมูลต่างๆ ที่จะใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และถูกจัดเก็บในรูปแบบของฐานข้อมูล ซึ่งข้อมูลเป็นองค์ประกอบสำคัญรองลงมาจากบุคลากร เนื่องจากข้อมูลที่ดียิ่งจะทำให้การทำงานมีความถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือ รวมทั้งสามารถเรียกใช้ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย โดยข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (attribute data)

7.3.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ เป็นข้อมูลที่สามารถอ้างอิงกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (geo-referenced) โดยลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่จะมีลักษณะและรูปแบบ (spatial features) ต่างๆ กัน ดังภาพที่ 3 (ก) สามารถสรุปได้ดังนี้ (สุระ, 2545)

ก. รูปแบบจุด (point features) เป็นลักษณะของจุดในตำแหน่งใดๆ ซึ่งจะสังเกตได้จากขนาดของจุดนั้นๆ โดยจะอธิบายถึงตำแหน่งที่ตั้งของข้อมูล เช่น ที่ตั้งจังหวัด เป็นต้น จุดเป็นหน่วยย่อยที่สุดของข้อมูลซึ่งมีจุดเริ่มต้น โดยขนาดและทิศทางมีค่าเป็นศูนย์ จุดเป็นตำแหน่งซึ่งไม่สามารถวัดพื้นที่ได้

ข. รูปแบบของเส้น (linear features) ประกอบไปด้วยลักษณะของเส้นตรง เส้นหักมุม และเส้นโค้ง เรียงต่อเนื่องกัน ซึ่งรูปร่างของเส้นเหล่านี้จะอธิบายถึงลักษณะต่างๆ ได้เพียงมิติเดียว คือ ส่วนของความยาว แต่ไม่สามารถระบุความกว้าง เช่น ถนน หรือแม่น้ำ เป็นต้น

ค. รูปแบบของพื้นที่ (area features หรือ polygon) เป็นข้อมูลที่เรียงต่อกันเป็นอนุกรม ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นปิด จึงสามารถวัดพื้นที่ได้ ซึ่งรูปร่างของเส้นเหล่านี้สามารถอธิบายถึงลักษณะแบบต่างๆ เช่น แหล่งน้ำผิวดิน เป็นต้น



ภาพที่ 3 ลักษณะและโครงสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่

(ก) โครงสร้างข้อมูลแบบเวกเตอร์ (vector data)

(ข) โครงสร้างข้อมูลแบบราสเตอร์ (raster data)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Remote sensing and GIS division from National informatics centre (2010)

7.3.2 ข้อมูลเชิงคุณลักษณะ เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะต่างๆ ลักษณะประจำตัว หรือลักษณะที่มีความแปรผันในการชี้นำปรากฏการณ์ต่างๆ ตามธรรมชาติ โดยระบุถึงสถานที่ที่ทำการศึกษาในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกับฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ ลักษณะของข้อมูลเชิงคุณลักษณะอาจเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ หรือเชิงคุณภาพ อาจมีลักษณะต่อเนื่องกัน เช่น เส้นชั้นความสูง (terrain elevation) หรือลักษณะที่ไม่ต่อเนื่อง เช่น จำนวนพลเมือง (number of inhabitants) และชนิดของสิ่งปกคลุมดิน เป็นต้น

#### 7.4 ลักษณะโครงสร้างข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

เนื่องจากลักษณะ โครงสร้างข้อมูลพื้นที่ (spatial data structure) มีลักษณะพิเศษเฉพาะตัว คือ รูปแบบจุด รูปแบบเส้น รูปแบบพื้นที่ ซึ่งไม่สามารถจัดเก็บเป็นแฟ้มข้อมูล (files) ได้โดยตรง ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาโครงสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ขึ้นเฉพาะ โดยลักษณะโครงสร้างในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้ (สุระ, 2545)

7.4.1 ลักษณะโครงสร้างแบบเวกเตอร์ (vector structure) ในทางคณิตศาสตร์จะมีคุณสมบัติอันประกอบด้วย จุดเริ่มต้น ขนาด และทิศทาง โดยลักษณะของข้อมูลจุดและเส้นจะถูกนำมาใช้ในการแสดงลักษณะทางภูมิศาสตร์ ด้วยลักษณะของจุดและเส้น ซึ่งจุดที่เชื่อมโยงต่อกันด้วยเส้นตรงจะเรียกว่า อาร์ค (arc) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของข้อมูลรูปแบบเส้น ปลายของอาร์คหลายๆ อาร์คที่ต่อกันเป็นขอบเขต เรียกว่า โพลิกอน (polygon) รูปแบบของข้อมูลจะถูกอธิบายโดยใช้คู่พิกัด (coordinate pairs) x และ y เป็นตัวชี้ระบุตำแหน่งของข้อมูลต่างๆ ทางภูมิศาสตร์ ดังภาพที่ 3 (ก)

7.4.2 ลักษณะโครงสร้างแบบราสเตอร์ (raster structure) ประกอบด้วยลักษณะของช่องสี่เหลี่ยมที่เรียกว่า กริด (grid cell หรือ pixel) โดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดของกริดขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ หรือข้อจำกัดในรายละเอียดของข้อมูล (resolution) ขนาดความเหมาะสมของพื้นที่ศึกษา และระบบที่จะใช้ในการประมวลผล การจัดเก็บข้อมูลในแต่ละกริดจะมีลักษณะการจัดเรียงเป็นแถวแนวนอน (row) และแถวแนวตั้ง (column) เพื่อเป็นตัวกำหนดตำแหน่งและทิศทาง ลักษณะข้อมูลแบบจุดแทนค่า ด้วยกริดเพียงกริดเดียว ข้อมูลแบบเส้นถูกแทนค่าด้วยกริดแต่ละกริดที่ต่อเนื่องกันไปตามทิศทางและจำนวนที่กำหนด และข้อมูลแบบพื้นที่แทนค่าด้วยปริมาณการกระจายของกริดใกล้เคียง ดังภาพที่ 3 (ข)

ข้อดีและข้อเสียของโครงสร้างข้อมูลทั้งแบบราสเตอร์ และเวกเตอร์ สามารถสรุปได้ดังนี้ (ศรีสอาด, 2537)

1. โครงสร้างข้อมูลแบบเวกเตอร์มีข้อดี คือ สามารถแสดงโครงสร้างข้อมูลเชิงปรากฏการณ์ได้ดี โครงสร้างข้อมูลมีขนาดเล็ก ความเชื่อมโยงทางโทโพโลยี (topology) สามารถทำได้ครบถ้วน สามารถทำการค้นคืน การแก้ไข ข้อมูลกราฟิกและข้อมูลคุณลักษณะได้ ส่วนข้อเสียของโครงสร้างข้อมูลแบบเวกเตอร์ คือ มีโครงสร้างข้อมูลซับซ้อน การรวมแผนที่แบบเวกเตอร์หลายๆ แผนที่หรือรวมแผนที่เวกเตอร์กับราสเตอร์ด้วยวิธีการซ้อนทับนั้นมีความยุ่งยากมาก การทดสอบด้วยการจำลองสถานการณ์ทำได้ยาก เพราะแต่ละหน่วยของแผนที่ที่มีโครงสร้างโทโพโลยีที่ต่างกัน การแสดงและการเขียนเป็นแผนที่เสียค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะเมื่อต้องการแสดงสีและสัญลักษณ์ที่มีคุณภาพสูง นอกจากนี้เทคโนโลยีชนิดนี้มีราคาแพง โดยเฉพาะถ้าต้องการใช้ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่มีความซับซ้อน การวิเคราะห์พื้นที่และการกรอกรายละเอียดภายในรูปหลายเหลี่ยมเกือบเป็นไปได้

2. โครงสร้างข้อมูลแบบราสเตอร์มีข้อดี คือ มีโครงสร้างข้อมูลง่าย ๆ การซ่อนทับและการรวมข้อมูลแผนที่กับข้อมูลที่รับรู้จากระยะไกลทำได้ง่าย การวิเคราะห์ทั้งพื้นที่ในแบบต่างๆ ทำได้ง่าย การทดสอบด้วยการจำลองสถานการณ์ทำได้ง่าย เพราะหน่วยพื้นที่แต่ละหน่วยมีรูปร่างและขนาดเท่ากัน นอกจากนี้เทคโนโลยีมีราคาถูกลงและกำลังมีการพัฒนาอย่างจริงจัง ส่วนข้อเสียของโครงสร้างข้อมูลแบบราสเตอร์ คือ ข้อมูลกราฟิกมีขนาดใหญ่ การใช้ช่องกริดขนาดใหญ่เพื่อลดปริมาณข้อมูลทำให้สูญเสียโครงสร้างข้อมูลเกี่ยวกับปรากฏการณ์และการสูญเสียข้อสนเทศอย่างมาก แผนที่ราสเตอร์ที่หายากจะไม่สวยเท่าแผนที่ซึ่งเขียนด้วยเส้น การสร้างเครือข่ายเชื่อมโยงทำได้ยาก และการแปลงเส้น โครงแผนที่ต้องใช้เวลามาก เว้นแต่จะใช้ขั้นตอนวิธีหรือฮาร์ดแวร์พิเศษ

โครงสร้างข้อมูลทั้งสองมีข้อได้เปรียบและเสียเปรียบอยู่ภายในตัวเอง การเลือกใช้โครงสร้างลักษณะใดขึ้นอยู่กับลักษณะงาน งานด้านการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาตินั้น โครงสร้างข้อมูลแบบราสเตอร์จะเหมาะสมกว่า ส่วนงานด้านการวิเคราะห์ระบบเครือข่ายการคมนาคม โครงสร้างข้อมูลแบบเวกเตอร์จะดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามเป็นที่ยอมรับกันว่าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ใดที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลทั้งสองโครงสร้างร่วมกัน และสามารถแปลงข้อมูลจากโครงสร้างหนึ่งเป็นอีกโครงสร้างหนึ่งได้ ก็สามารถประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวางกว่า

## 7.5 กระบวนการดำเนินงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

สุระ (2545) แบ่งกระบวนการดำเนินงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็น 4 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

7.5.1 การวิเคราะห์ปัญหา หรือการกำหนดวัตถุประสงค์ (objective and problem recognition) การกำหนดวัตถุประสงค์ เป็นขั้นตอนแรก และสำคัญที่สุดในการดำเนินงานเกี่ยวกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทั้งนี้การวิเคราะห์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ต้องทราบวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนก่อนการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ เช่น ปัญหาที่ต้องการแก้ไข ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการวิเคราะห์ และการนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ประโยชน์ในขั้นตอนต่อไป

7.5.2 การจัดเตรียมฐานข้อมูล (database preparation) ในการจัดเตรียมฐานข้อมูล ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือ การนำเข้าข้อมูล (data capture) และการตรวจสอบและแก้ไขข้อมูล

(data verification and correction) ซึ่งการนำเข้าข้อมูลเป็นการแปลงข้อมูลที่มีอยู่แล้วให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถใช้ได้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น การนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นการแปลงข้อมูลเชิงพื้นที่ให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (digital data) ส่วนการตรวจสอบและแก้ไขข้อมูลถือเป็นอีกขั้นตอนที่มีความสำคัญ เนื่องจากข้อมูลต่างๆ ที่จะนำไปดำเนินการวิเคราะห์ จะต้องมีความถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนด เพราะข้อมูลที่ไม่ถูกต้องจะทำให้ผลการวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนไปจากสิ่งที่ควรจะเป็น

7.5.3 การวิเคราะห์ข้อมูล (data analysis) เป็นกระบวนการที่ปฏิบัติเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อสนเทศ การวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะต้องวิเคราะห์ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงคุณลักษณะ โดยที่การวิเคราะห์ข้อมูลจะเป็นขั้นตอนการนำข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ซึ่งเป็นข้อมูลตัวเลขที่ได้จัดเก็บ และแก้ไขความถูกต้องเสร็จเรียบร้อยแล้วมาทำการวิเคราะห์ โดยอาศัยหลักการหลายๆ วิธี เช่น วิธีการเรียกค้นข้อมูล (retrieval) เป็นการคัดเลือกค้นหาและจัดการข้อมูล การแบ่งกลุ่มข้อมูล (classification) เป็นกระบวนการจัดกลุ่มของสิ่งที่มีลักษณะเดียวกันแล้วจะรวบรวมแผนที่ที่มีรายละเอียดในส่วนที่แบ่งเหมือนกันให้เป็นชั้นเดียวกัน ส่วนการจัดการข้อมูลใหม่โดยการใช้ข้อมูลบรรยายอันใดอันหนึ่งหรือหลายอันรวมกัน เรียกว่า Reclassify วิธีการวิเคราะห์คำนวณรูปทรงเรขาคณิต (measurement analysis) โดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์ วิธีการซ้อนทับข้อมูล (overlay analysis) เป็นการนำแผนที่ชนิดหนึ่งมาซ้อนทับกับแผนที่อีกชนิดหนึ่งหรือแผนที่หลายๆ ชนิดเพื่อให้เกิดข้อมูลแผนที่ใหม่ โดยอาศัยหลักการทางเลขคณิต (arithmetic) หรือการใช้หลักตรรกศาสตร์ (logical) สร้างสมการเงื่อนไขในการซ้อนทับแผนที่เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ตั้งสมมติฐานไว้

7.5.4 การแสดงผลข้อมูล (data presentation) คือ ผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งสามารถนำเสนอ หรือแสดงด้วยตัวอักษร (texts) และรูปภาพ (images) หรือใช้แสดงร่วมกัน นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลในรูปแบบของตาราง (tables) และแผนภาพ (charts) ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะนำไปใช้ในการทำแผนที่หรือใช้ในการตัดสินใจตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

## 8. การวิเคราะห์ตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multi Criteria Decision Making, MCDM)

การวิเคราะห์ตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ เป็นวิธีที่ช่วยรวบรวมสังเคราะห์ข้อมูลการตัดสินใจ เพื่อการวิเคราะห์ตัดสินใจและประเมินทางเลือกที่พิจารณาหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องหลาย

หลักเกณฑ์ไปพร้อมกัน จุดเด่นของพิจารณาหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องหลายหลักเกณฑ์ไปพร้อมกันนี้จะช่วยลดการตัดสินใจที่ผิดพลาด และให้ผลทางเลือกที่ก่อเกิดผลประโยชน์มากที่สุด โดยใช้เปรียบเทียบหรือเป็นการวัดความแตกต่างการประเมินทางเลือก หลายหลักเกณฑ์สามารถถูกพิจารณาพร้อมกันในสถานการณ์ที่ซับซ้อน ซึ่งมีแนวคิดมาจากกระบวนการตัดสินใจ

## 8.1 สถานการณ์การตัดสินใจ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท (Malczewski, 1999) ได้แก่

8.1.1 การตัดสินใจภายใต้ความแน่นอน (decision making under certainty) จะถูกสมมติว่ามีข้อมูลอยู่สมบูรณ์ เพื่อที่ผู้ตัดสินใจทราบว่าสถานะแวดล้อมจะเกิดขึ้นอย่างไร ในกรณีนี้ผู้ตัดสินใจจะถูกมองเสมือนเป็นผู้คาดเดาอนาคตที่เก่งมาก การตัดสินใจแบบนี้มักเกิดขึ้นกับปัญหาที่เป็นโครงสร้างที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้นๆ

8.1.2 การตัดสินใจภายใต้ความเสี่ยง (decision making under risk) การตัดสินใจภายใต้ความเสี่ยง (probabilistic or stochastic decision situation) ผู้ตัดสินใจต้องพิจารณาผลลัพธ์ที่เป็นไปได้หลายๆ แบบที่เป็นไปได้ของแต่ละทางเลือก โดยที่ไม่ทราบว่า จะเกิดเหตุการณ์ใดขึ้นแน่นอน แต่มีข้อมูลเพียงพอที่จะประมาณค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ใดๆ ขึ้น ผู้ตัดสินใจจึงสามารถประเมินระดับความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับแต่ละทางเลือกได้ เรียกว่า การวิเคราะห์ความเสี่ยง (risk analysis)

8.1.3 การตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอน (decision making under uncertainty) ผู้ตัดสินใจไม่มีข้อมูลเพียงพอที่จะประมาณค่าความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับผลลัพธ์ต่างๆ ได้ การตัดสินใจแบบนี้จึงทำได้ยาก การสร้างตัวแบบภายใต้สถานการณ์นี้จะขึ้นอยู่กับวิธีการในการประเมินความเสี่ยงของผู้ตัดสินใจ ซึ่งอยู่ภายใต้ภายใต้ความคลุมเครือ

## 8.2 องค์ประกอบของการวิเคราะห์ตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์

Malczewski (1999) ได้แบ่งองค์ประกอบของการวิเคราะห์ตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ ที่รวมเข้ากับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีหลักการโดยสรุปดังนี้

8.2.1 การกำหนดปัญหา (problem definition) ปัญหาการตัดสินใจคือความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ต้องการและสิ่งที่มีอยู่ในโลกความจริง ขั้นตอนนี้คือ ส่วนการกำหนดปัญหา (intelligence phase) ของการตัดสินใจ และนำไปสู่การค้นหาสภาพแวดล้อมการตัดสินใจ สำหรับเงื่อนไข การพิจารณาข้อมูลเพื่อระบุปัญหา จะถูกใช้ในขั้นตอนนี้ ซึ่งจัดเตรียมไว้สนับสนุนการตัดสินใจ

8.2.2 การประเมินหลักเกณฑ์ (evaluation criteria) หลังจากการกำหนดของปัญหา จะจัดหลักเกณฑ์การประเมิน ซึ่งคุณลักษณะและวัตถุประสงค์ที่จะถูกตั้งขึ้นมา (Keeney and Raiffa, 1976) ขั้นตอนนี้เกี่ยวข้องกับการระบุความเข้าใจของวัตถุประสงค์ ที่จะสะท้อนประเด็นที่เกี่ยวข้องทั้งหมดไปยังปัญหาการตัดสินใจ และดำเนินการเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์เหล่านั้น ซึ่งถูกกำหนดโดยข้อมูลคุณลักษณะ เพราะหลักเกณฑ์การประเมินที่สัมพันธ์กับสิ่งต่างๆ ทางภูมิศาสตร์ และความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งเหล่านั้นสามารถแสดงในรูปของแผนที่ ซึ่งถูกอ้างอิงโดยข้อมูลคุณลักษณะ โดยในส่วนของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีความสามารถในการวิเคราะห์จะถูกใช้ในการสร้าง นำเข้า เพื่อการวิเคราะห์ตัดสินใจเชิงพื้นที่ (spatial decision making analysis) (Malczewski, 1999)

8.2.3 ค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์ (criterion weights) เป็นค่าความสำคัญที่กำหนดให้กับหลักเกณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับหลักเกณฑ์อื่นๆ ที่นำมาพิจารณาร่วมกัน น้ำหนักสามารถถูกกำหนดเป็นค่า เพื่อการประเมินหลักเกณฑ์ ซึ่งแสดงความสำคัญเมื่อเทียบกับการพิจารณาภายใต้หลักเกณฑ์อื่นๆ การกำหนดน้ำหนักของความสำคัญเพื่อให้เหตุการณ์ประเมินหลักเกณฑ์สำหรับสิ่งที่เปลี่ยนแปลงในช่วงของการผันแปรสำหรับแต่ละเกณฑ์การประเมิน และระดับความแตกต่างของความสำคัญที่ไปยังช่วงเหล่านี้ของการผันแปร (Kirkwood, 1997) วิธีในการหาค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์ มีดังนี้

ก. วิธีการจัดลำดับ (ranking method) เป็นวิธีอย่างง่ายสำหรับการประเมินความสำคัญของน้ำหนักซึ่งรวมไปถึงการพิจารณาภายใต้ทุกๆ หลักเกณฑ์ อย่างไรก็ตาม เมื่อเกณฑ์ที่ถูกนำมาใช้มีจำนวนมาก จะทำให้วิธีนี้มีความเหมาะสมน้อย อีกทั้งยังไม่มีหลักการตามทฤษฎี

ข. วิธีการค่าคะแนน (rating method) วิธีนี้ต้องการผู้ตัดสินใจ เพื่อประมาณค่าน้ำหนักบนพื้นฐานของสเกลที่ถูกกำหนดเบื้องต้น เช่น การกำหนดจุดค่าจาก 0 ถึง 100 โดย 0 เป็น

การแสดงเกณฑ์ที่สามารถละเอียดได้ และ 100 แสดงเกณฑ์ที่จำเป็นที่จะถูกนำมาพิจารณา ข้อเสียของวิธีนี้เหมือนกับวิธีการจัดลำดับ และค่าน้ำหนักที่กำหนดอาจจะยากต่อการให้เหตุผลสนับสนุน

ค. วิธีการเปรียบเทียบคู่ (pairwise comparison method) เป็นการเปรียบเทียบลำดับความสำคัญคู่ๆ ให้น้ำหนักที่สัมพันธ์กัน โดยใช้การสร้างเมตริกซ์ของสัดส่วน และคำนวณความสอดคล้องกันของเหตุผล เพื่อทดสอบผลการเปรียบเทียบคู่ที่ได้กำหนดความสำคัญแล้ว หากไม่เป็นที่ยอมรับ ผู้ตัดสินใจจะต้องทบทวนการให้สเกลการเปรียบเทียบใหม่อีกครั้ง

8.2.4 กฎเกณฑ์การตัดสินใจ (decision rules) เป็นเครื่องมือหรือกลวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเลือกที่เหมาะสม ตัวแปรหลักที่ใช้ในการประเมินทางเลือกประกอบด้วยหลักเกณฑ์ในการประเมินและค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์ โดยชั้นของเกณฑ์และน้ำหนักจะถูกผสมผสานกันเพื่อใช้ประเมินภาพรวม ผลการประเมินที่ดีขึ้นกับการใช้กฎการตัดสินใจที่เหมาะสม สำหรับวิธีการวิเคราะห์ในการตัดสินใจที่เรียกว่ามีเหตุผลนั้น ไม่ได้บอกว่าสิ่งที่ทำการตัดสินใจหรือผลลัพธ์ที่ได้ นั้นคืออะไร แต่จะมุ่งเน้นว่ากระบวนการในการคิดวิเคราะห์นั้นเป็นอย่างไรเป็นหลัก (Chankong and Haimes, 1983) ซึ่งวิธีในการที่สามารถนำมาแก้ปัญหาด้านตัดสินใจนั้นมีหลายวิธี และทุกวิธีสามารถนำมาใช้แก้ปัญหาการตัดสินใจได้ ขึ้นอยู่กับความถนัดและความต้องการของผู้ตัดสินใจเป็นหลัก (Pohekar and Ramachandran, 2004)

ก. วิธีการถ่วงน้ำหนักแบบง่าย (Simple Additive Weighting, SAW) เป็นวิธีที่ง่ายและใช้บ่อยในเทคนิคการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Malczewski, 1997; Janssen, 1992) วิธีนี้มีพื้นฐานบนค่าเฉลี่ยน้ำหนัก การประเมินค่าจะถูกคำนวณสำหรับแต่ละทางเลือก ลักษณะของน้ำหนักจะมีความเกี่ยวข้องโดยตรงโดยผู้ตัดสินใจ ตามผลรวมของทุกหลักเกณฑ์

ข. วิธีการวิเคราะห์กระบวนการลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) เป็นกระบวนการในการพิจารณาตัดสินใจที่เกิดจากการพิจารณาแบบเป็นเหตุเป็นผล มีรูปแบบเป็นแนวคิดศาสตร์ในการแปลงสิ่งที่ไม่สามารถวัดค่าในทางด้านเชิงปริมาณ มาใช้ในการพิจารณาทางด้านเชิงปริมาณ โดยการกำหนดมาตรฐานการพิจารณา เพื่อให้คำตอบเป็นไปแบบมีเหตุผล และสร้างโครงสร้างของปัญหาที่ต้องการพิจารณาออกมาเป็นแผนภูมิลำดับชั้น (hierarchy) ตามลำดับของชั้นเกณฑ์พิจารณา ทำให้ผู้ทำการพิจารณาสามารถมองเห็นองค์ประกอบของปัญหาโดยรวม

และเปรียบเทียบปัญหาอย่างเป็นเหตุเป็นผลทุกปัจจัยที่พิจารณาอันทำให้ผลการตัดสินใจที่ได้ มีค่า ถูกต้องรัดกุมมากขึ้น (Saaty, 1990)

ค. วิธีทอปซิส (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) เป็นวิธีการที่มีความน่าเชื่อถือวิธีการหนึ่ง โดยหลักการที่สำคัญของวิธีการนี้คือ ทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด ควรเป็นทางเลือกที่ไม่เพียงแต่จะอยู่ห่างจากทางเลือกอุดมคติในเชิงบวก (positive ideal solution) เท่านั้น แต่ควรจะอยู่ห่างจากทางเลือกอุดมคติที่ในเชิงลบ (negative-ideal solution) ด้วย วิธีการนี้เริ่มจากการปรับค่า (normalization) ของเมตริกซ์การตัดสินใจ (decision matrix) อันประกอบด้วยค่าของทางเลือกในแต่ละหลักเกณฑ์ จากนั้นคำนวณค่าอุดมคติในเชิงบวก และอุดมคติในเชิงลบ ก่อนที่จะหาว่าแต่ละทางเลือกอยู่ห่างจากค่าทั้งสองเท่าใด โดยอาศัยค่า ระยะทางยูคลิดีเนียน (euclidean distance) แล้วจึงคำนวณเป็นค่าความใกล้ชิดจากจุดในอุดมคติของแต่ละทางเลือก เพื่อนำไปเรียงลำดับความสำคัญของทางเลือกต่อไป สำหรับหลักเกณฑ์ที่มีความคลุมเครือในการให้ข้อมูล หรือหลักเกณฑ์ที่เป็นข้อมูลเชิงความรู้สึกนั้น จะสามารถนำไปข้อมูลวิเคราะห์ได้ โดยทำการแปลงข้อมูลให้เป็นข้อมูลที่เป็นตัวเลขด้วยฟัซซีเซต (อนุรักษ์, 2552)

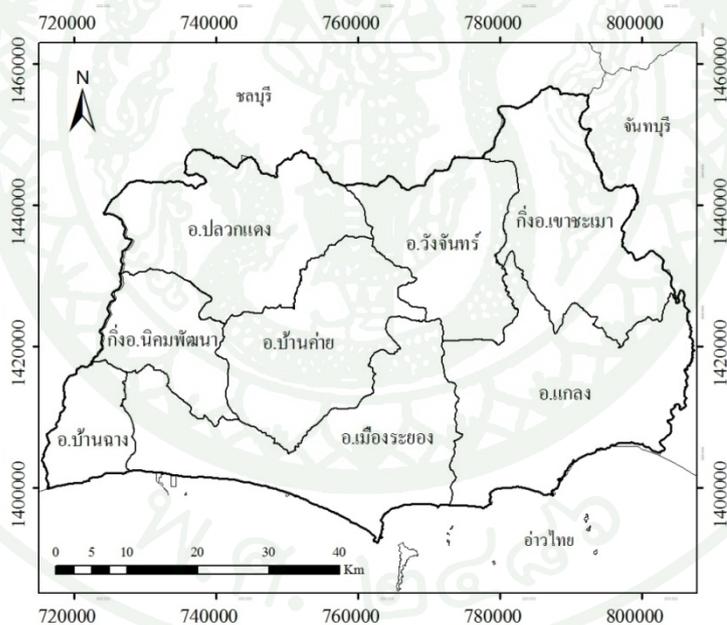
8.2.5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (sensitivity analysis) กฎการตัดสินใจจำนวนมาก เป็นการสมมุติจากข้อมูลที่หามาได้ ดังนั้นเกณฑ์ผลลัพธ์ที่ได้ของแต่ละทางเลือกจึงขึ้นอยู่กับสิ่งที่ได้ กำหนดไว้ อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ควรจะทำให้การตรวจสอบผลที่ทราบนั้นว่ามีความถูกต้องหรือไม่ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวมีจุดมุ่งหมายเพื่อแสดงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงในการ นำเข้าข้อมูล เป็นการประเมินในแง่ของความอ่อนไหวของผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นเมื่อค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องเปลี่ยนแปลงไป (Malczewski, 1999; Belton *et al.*, 2002) ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจในผลกระทบ ต่อปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจ ทำให้ผู้ตัดสินใจมีความมั่นใจในการใส่ข้อมูลเข้าให้กับ ตัวแบบมากขึ้น สามารถใช้ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบ เช่น ผลของการเปลี่ยนแปลงตัวแปร และพารามิเตอร์ที่มีต่อตัวแปรผลลัพธ์

## 9. พื้นที่ศึกษา จังหวัดระยอง

### 9.1 ที่ตั้งและขอบเขตการปกครอง

จังหวัดระยองตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทย ระหว่างละติจูดที่ 12-13 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 101-102 องศาตะวันออก ดังภาพที่ 4 มีเนื้อที่ประมาณ 3,522 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 2,220,000 ไร่ (สำนักงานจังหวัดระยอง, 2552) มีอาณาเขตติดต่อดังนี้

- ทิศเหนือ ติดต่อกับ จังหวัดชลบุรี
- ทิศใต้ ติดต่อกับ อ่าวไทย
- ทิศตะวันออก ติดต่อกับ จังหวัดจันทบุรี
- ทิศตะวันตก ติดต่อกับ จังหวัดชลบุรี



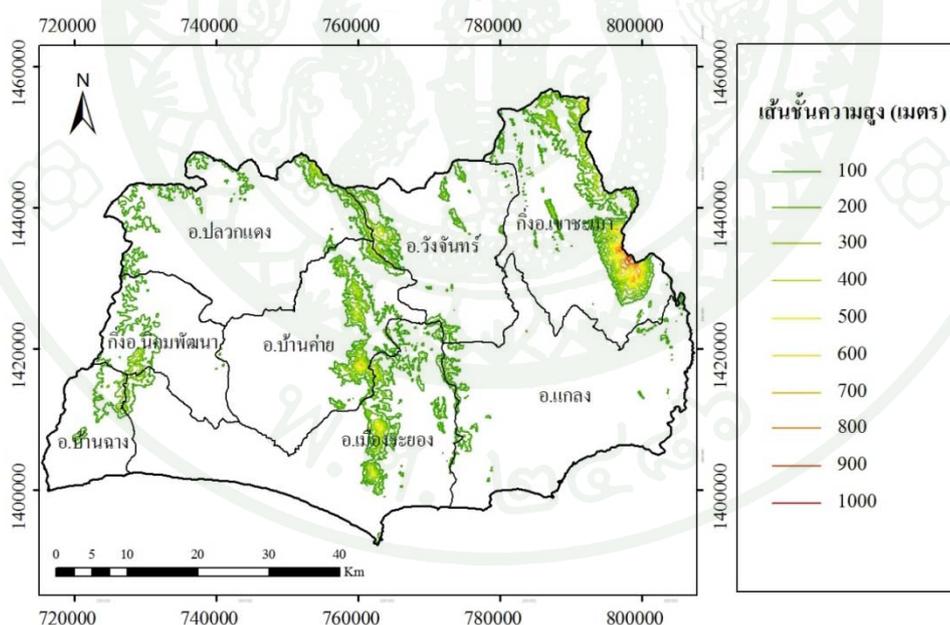
ภาพที่ 4 แผนที่แสดงขอบเขตการปกครองของจังหวัดระยอง

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2552)

จังหวัดระยอง แบ่งเขตการปกครองเป็น 8 อำเภอ คือ อำเภอเมืองระยอง อำเภอบ้านค่าย อำเภอนิคมพัฒนา อำเภอแกลง อำเภอบ้านฉาง อำเภอปลวกแดง อำเภอเขาชะเมา อำเภอวังจันทร์ มีจำนวนประชากรทั้งสิ้น 583,470 คน แบ่งเป็นชาย 288,098 คน คิดเป็นร้อยละ 49.38 เป็นหญิง 295,372 คน คิดเป็นร้อยละ 50.62 มีอัตราความหนาแน่นของประชากรต่อพื้นที่ 144 คน ต่อตารางกิโลเมตร (สำนักงานจังหวัดระยอง, 2552)

## 9.2 สภาพภูมิประเทศ

ประกอบด้วย ที่ราบชายฝั่งที่เกิดจากการทับถมของตะกอน บริเวณแอ่งลุ่มน้ำระยอง และที่ลาดสลับเนินเขาและภูเขา มีทิวเขา 2 แนว คือ ทิวเขาชะเมา ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออก และทิวเขาที่อยู่ตอนกลางของจังหวัดวางตัวในแนวเหนือใต้ ได้แก่ เขาขุนอิน เขาจอมแห เขาวงช้าง ความลาดชันในจังหวัดแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ความลาดชันจากอำเภอปลวกแดงไปยังอำเภอเมืองระยอง และความลาดชันจากอำเภอวังจันทร์ไปยังอำเภอแกลง ดังภาพที่ 5 มีแม่น้ำสำคัญ 2 สาย คือ แม่น้ำระยอง และแม่น้ำประแสร์ โดยไหลลงสู่อ่าวไทยในบริเวณอำเภอเมืองระยอง และอำเภอแกลง



ภาพที่ 5 ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดระยอง

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมแผนที่ทหาร (ม.ป.ป.)

### 9.3 สภาพภูมิอากาศ

จังหวัดระยองอยู่ภายใต้อิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดมาจากมหาสมุทรอินเดียนำพาความชื้นเข้ามาสู่ทวีปทำให้เกิดฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) ส่วนลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดมาจากประเทศจีนนำพาความเย็นและความแห้งแล้งมาสู่พื้นที่ (เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์) ทำให้เกิดเป็นฤดูหนาว หลังจากช่วงลมมรสุมจะเป็นช่วงฤดูร้อน (เดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน) จากข้อมูลปริมาณน้ำฝน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2549) ช่วงปี พ.ศ. 2514-2543 สรุปได้ว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีในจังหวัดระยองมีปริมาณเท่ากับ 1,298.8 มิลลิเมตร โดยปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน คิดเป็นร้อยละ 84.33 และปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง คิดเป็นร้อยละ 15.67 ปริมาณน้ำฝนสูงสุด เท่ากับ 281.7 มิลลิเมตร และต่ำสุด เท่ากับ 4.7 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 10

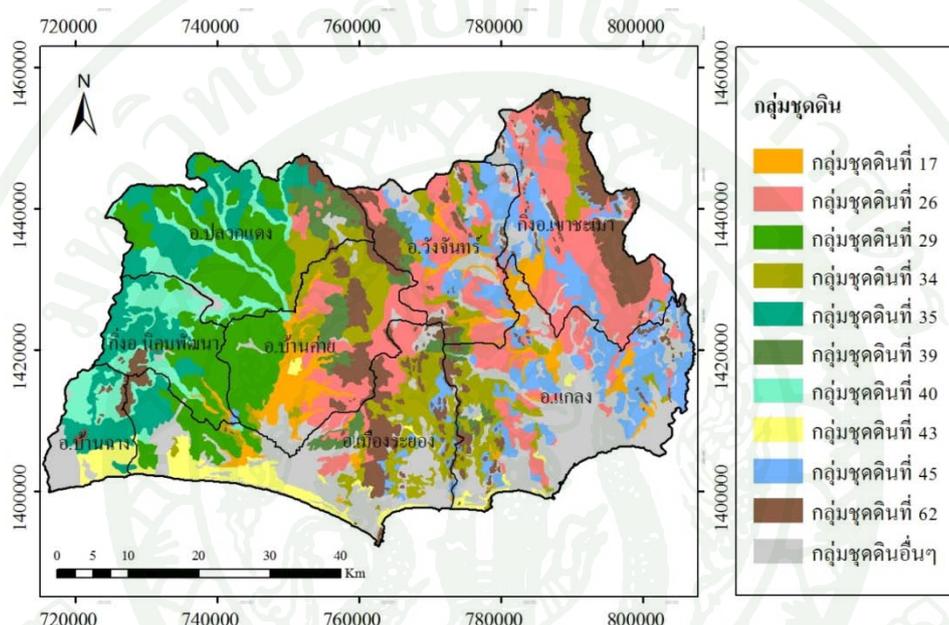
ตารางที่ 10 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนและเฉลี่ยรายปีของจังหวัดระยอง

เดือน	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)
มกราคม	10.9
กุมภาพันธ์	16.7
มีนาคม	34.5
เมษายน	78.5
พฤษภาคม	165.3
มิถุนายน	143.3
กรกฎาคม	132.1
สิงหาคม	162.9
กันยายน	281.7
ตุลาคม	210.0
พฤศจิกายน	58.2
ธันวาคม	4.7
รายปี	1,298.8

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2549)

## 9.4 ลักษณะทางปฐพีวิทยา

จากแผนที่แสดงชุดดินมาตราส่วน 1:50,000 และระบบฐานข้อมูลกลุ่มชุดดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) ชุดดินหลักในจังหวัดระยอง ซึ่งเป็นชุดดินที่มีพื้นที่มากกว่า 100 ตารางกิโลเมตร แบ่งออกเป็น 10 ชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 17, 26, 29, 34, 35, 39, 40, 43, 45 และ 62 คิดเป็นร้อยละ 83 ของพื้นที่ทั้งหมด ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ลักษณะทางปฐพีวิทยาของจังหวัดระยอง

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมพัฒนาที่ดิน (2545)

### 9.4.1 กลุ่มชุดดินที่ 17

เป็นกลุ่มชุดดินที่มีเนื้อดินบนเป็นพวกดินร่วนปนทรายหรือดินร่วน ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย หรือดินร่วนเหนียว ดินมีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีเทา เกิดจากวัตุดิบกำเนิดดินพวกตะกอนลำน้ำ หรือจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วถูกเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุเนื้อหยาบ พบในบริเวณที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ ส่วนใหญ่มีน้ำแข็งในช่วงฤดูฝน เป็นดินลึกมากที่มีการระบายน้ำค่อนข้างเร็ว ดินมีความสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ

ปฏิกริยาหินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 4.50 ถึง 5.50 ตัวอย่าง หูดหิน 17 ที่อยู่ในจังหวัดระยอง ได้แก่ หูดหิน โคนเทียน

#### 9.4.2 กลุ่มหูดหินที่ 26

เป็นกลุ่มหูดหินที่มีเนื้อหินบนเป็นหินร่วน หินร่วนปนดินเหนียว หรือเป็นหิน ร่วนปนทราย สีของหินเป็นสีน้ำตาล สีเหลือง หรือสีแดง ส่วนใหญ่เกิดจากการสลายตัวของหินต้น กำเนิดชนิดต่างๆ ซึ่งมีทั้งหินอัคนี หินตะกอน และหินแปร มีการระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ปาน กลางถึงค่อนข้างต่ำ ปฏิกริยาหินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดแก่ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 5.00 ถึง 6.00 ตัวอย่างกลุ่มหูดหินที่ 26 ในจังหวัดระยอง เช่น หูดหินพังงา หูดหินลำภูรา เป็นต้น

#### 9.4.3 กลุ่มหูดหินที่ 29

เป็นกลุ่มหูดหินที่เนื้อหินเป็นพวกดินเหนียว สีหินเป็นสีน้ำตาล สีเหลืองหรือ สีแดง เกิดจากการสลายตัวของหินอัคนีหรือจากการสลายตัวของหินอัคนีแล้วถูกเคลื่อนย้ายมาทับถมจาก วัสดุหลายชนิดที่มีเนื้อละเอียด ทั้งที่มาจากหินตะกอน หรือหินภูเขาไฟ หรือจากวัตถุต้นกำเนิดหิน พวกตะกอนลำน้ำ พบบริเวณพื้นที่ดอน ที่เป็นลูกคลื่นจนถึงเนินเขา เป็นดินลึกมาก มีการระบายน้ำดี ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติค่อนข้างต่ำ ปฏิกริยาหินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด มีค่า ความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 4.50 ถึง 5.50 ตัวอย่างหูดหินที่ 29 ในจังหวัดระยอง เช่น หูดหินบ้าน จ้อง หูดหินหนองมด หูดหินแม่แดง หูดหินปากช่อง หูดหินโชคชัย เป็นต้น

#### 9.4.4 กลุ่มหูดหินที่ 34

เป็นกลุ่มหูดหินที่เป็นหินร่วนละเอียดปนทราย สีของหินเป็นสีน้ำตาล ส่วนใหญ่ เกิดจากการผุพังสลายตัวของหินอัคนีหรือเคลื่อนย้ายมาเป็นระยะทางไกลๆ โดยแรงโน้มถ่วงของ หินแกรนิต มักพบในพื้นที่ที่เป็นหินแกรนิต มีการระบายน้ำดี ปฏิกริยาหินเป็นกรดจัดมากถึงกรด ปานกลาง มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 4.50 ถึง 6.00 ตัวอย่างกลุ่มหูดหินที่ 34 ในจังหวัดระยอง เช่น หูดหินฉลอง หูดหินคลองท่อม หูดหินคลองนกระทุง หูดหินท่าแซะ เป็นต้น

#### 9.4.5 กลุ่มชุดดินที่ 35

เป็นกลุ่มชุดดินที่เป็นดินร่วนปนทราย เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินพวกตะกอนลำนํ้า หรือเกิดจากการสลายตัวของหินเนื้อหยาบ มีการระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปฏิกริยา ดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดแก่ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 4.50 ถึง 5.50 ตัวอย่างกลุ่มชุดดินที่ 35 ในจังหวัดระยอง เช่น ชุดดินสะตึก ชุดดินมาบบอน เป็นต้น

#### 9.4.6 กลุ่มชุดดินที่ 39

เป็นกลุ่มชุดดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินพวกตะกอนลำนํ้า หรือจากการสลายตัวของหินอัคนี หรือหินตะกอน พบบริเวณพื้นที่ดอนที่มีสภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบถึงเป็นเนินเขา เป็นดินลึกที่มีการระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง เนื้อดินเป็นพวกดินร่วน ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดจัด มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 4.50 ถึง 5.50 ตัวอย่างกลุ่มชุดดินที่ 39 ในจังหวัดระยอง เช่น ชุดดินคอหงส์ ชุดดินสะเดา เป็นต้น

#### 9.4.7 กลุ่มชุดดินที่ 40

เป็นกลุ่มชุดดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินพวกตะกอนลำนํ้า หรือจากการสลายตัวของหินอัคนี หรือจากการสลายตัวของหินเนื้อหยาบแล้วถูกเคลื่อนย้ายมาทับถม ของพวกวัสดุเนื้อหยาบเป็นพื้นที่ดอน ที่มีสภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นจนถึงเนินเขา หรือเป็นพื้นที่ภูเขา เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี เนื้อดินเป็นพวกดินร่วนหยาบ ดินมีสีน้ำตาล สีเหลืองหรือแดง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดจัดมาก มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 4.50 ถึง 5.50 ตัวอย่างกลุ่มชุดดินที่ 39 ในจังหวัดระยอง เช่น ชุดดินสันป่าตอง ชุดดินชุมพวง เป็นต้น

#### 9.4.8 กลุ่มชุดดินที่ 43

เป็นกลุ่มชุดดินที่เป็นดินทรายหยาบ ส่วนใหญ่เกิดจากตะกอนน้ำพามาทับถมอยู่บนตะกอนทะเลบริเวณที่ราบชายฝั่งทะเล มีการระบายน้ำดี ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ความ

อุดมสมบูรณ์ต่ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 6.00 ถึง 7.00 ตัวอย่างกลุ่มชุดดินที่ 43 ในจังหวัดระยอง เช่น ชุดดินหัวหิน ชุดดินหลังสวน เป็นต้น

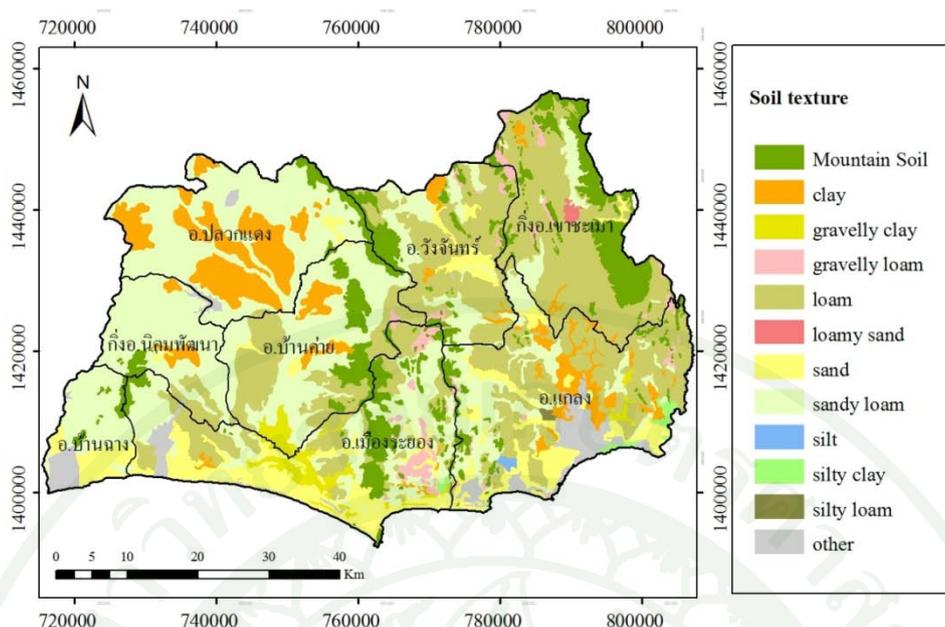
#### 9.4.9 กลุ่มชุดดินที่ 45

เป็นกลุ่มชุดดินที่เป็นดินเหนียว ดินร่วนที่มีกรวด หรือลูกรังปะปนเป็นปริมาณมาก มีการระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 6.00 ถึง 6.50 ตัวอย่างกลุ่มชุดดินที่ 45 ในจังหวัดระยอง เช่น ชุดดินคลองซาก เป็นต้น

#### 9.4.10 กลุ่มชุดดินที่ 62

เป็นกลุ่มชุดดินที่ประกอบด้วยพื้นที่ภูเขาและเทือกเขาซึ่งมีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 ลักษณะของเนื้อดินและความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติแตกต่างกันไป แล้วแต่ชนิดของหินต้นกำเนิดในบริเวณนั้น มีทั้งดินลึกและดินตื้น มักมีเศษหิน ก้อนหิน หรือหินพื้น โผล่กระจัดกระจายทั่วไป ส่วนใหญ่ยังปกคลุมด้วยป่าไม้

โดยสรุปแล้ว สภาพดินส่วนใหญ่ในจังหวัดระยอง มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (silty loam) มีความสามารถในการระบายน้ำได้ดี แต่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ลักษณะเนื้อดิน (soil texture) ของจังหวัดระยอง

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมพัฒนาที่ดิน (2545)

### 9.5 สภาพทางธรณีวิทยา

ลักษณะทางธรณีวิทยาจังหวัดระยอง มีลักษณะของการวางตัวของชั้นหินที่ไม่ต่อเนื่อง มีการวางตัวของชั้นหินอยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือไปตะวันออกเฉียงใต้ ชั้นหินที่พบมีอายุตั้งแต่มหายุคพรีแคมเบรียนจนถึงตะกอนยุคควอเทอร์นารี โดยหินมหายุคพรีแคมเบรียนปรากฏให้เห็นบริเวณตอนกลางของจังหวัด ทางด้านตะวันตกปกคลุมด้วยหินยุคคาร์บอนิเฟอรัสเป็นส่วนใหญ่ ทางด้านตะวันออกจะปกคลุมด้วยหินมหายุคพาเลโอโซอิกเป็นบริเวณกว้าง ขณะที่หินยุคควอเทอร์นารีกระจายอยู่ทั่วทั้งจังหวัด และเป็นยุคหินที่พบมากที่สุด ในจังหวัดระยอง ดังภาพที่ 8



การเรียงลำดับชั้นหินในจังหวัดระยองแสดงได้ดังนี้ (กรมทรัพยากรธรณี, 2542ข)

9.5.1 หินยุคพรีแคมเบรียน (Pre-Cambrian, PE) เป็นหินที่มีอายุแก่ที่สุดของพื้นที่ ประกอบด้วย หินไนส์ (gneiss) หินควอร์ตไซต์ (quartzite) หินชีสต์ (schist) หินไคยาไนต์ชีสต์ (kyanite-schist, PEsch) หินแปรพวกไบโอไทต์ (biotite marble) และหินแคลก์-ซิลิเกต (calc-silicate) มีแร่ดินเหนียวเป็นองค์ประกอบ ลักษณะปรากฏ แอมฟีโบลิต์ชีสต์ (amphibolites-schist, PEgn) วางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ พบบริเวณตอนเหนือของเทือกเขาชะเมา และที่ราบใกล้ตัวอำเภอแกลง

9.5.2 หินยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน (Silurian-Devonian, SD) วางตัวเป็นเทือกเขาทางด้านตะวันออกของอำเภอเขาชะเมา อีกส่วนหนึ่งอยู่ด้านตะวันออกของอำเภอแกลง ประกอบด้วยหินควอร์ตไซต์ ไมกาชีสต์ หินฟิลไลต์สีน้ำตาล สลับกับหินดินดานกึ่งหินชนวน และหินปูนบางๆ

9.5.3 หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous, C) หินชุดนี้ประกอบด้วยหินอัคนี หินอัคนีส่วนใหญ่ที่พบในจังหวัดระยองเป็นมวลหินแกรนิต อายุคาร์บอนิเฟอรัส (Carboniferous granite, Cgr) มีอายุประมาณ 200 ล้านปี แร่ประกอบหิน ได้แก่ ควอร์ตซ์ เฟลสปาร์ และไบโอไทต์ มีสีเทา หรือเทาขาว กลุ่มพื้นที่ตั้งแต่อำเภอปลวกแดงจนถึงอำเภอบ้านฉาง และทางตะวันออกของกิ่งอำเภอเขาชะเมา นอกจากนี้ยังพบหินแอนดีไซต์ (Post-Permian andesite, Post Pv) ซึ่งเป็นหินภูเขาไฟ ทางด้านตะวันออกของอำเภอแกลง

9.5.4 หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส เพอร์เมียน (Carboniferous – Permian, CP) หรือหินยุคเพอร์โมคาร์บอนิเฟอรัส วางตัวเป็นเทือกเขาในแนวเหนือ-ใต้ พบทางด้านตะวันตกของอำเภอแกลง ประกอบด้วย หินทราย (sandstone) หินดินดาน (shale) หินเชิร์ต (chert) และหินปูน (limestone) พบอยู่ในบริเวณเขาหนองหงษ์ เขาขางแร และเนินเขาเล็กๆ ทางด้านตะวันออกของอำเภอแกลง ซากดึกดำบรรพ์ที่พบมีอายุในยุคหินคาร์บอนิเฟอรัสตอนปลาย อายุประมาณ 280 ล้านปี

9.5.5 หินยุคเพอร์เมียน (Permian, P) หินชุดนี้ประกอบด้วยหินปูน บางส่วนเป็นหินปูนตผลึกใหม่ แทรกสลับด้วยชั้นหินดินดานสีน้ำตาลอมเหลืองถึงน้ำตาลอมเขียว และชั้นของหินทรายเม็ดละเอียดสีน้ำตาลอมแดง ประกอบตัวเป็นเทือกเขาอำเภอบ่อทอง-กิ่งอำเภอเขาชะเมา

9.5.6 หินยุคไทรแอสซิก (Triassic, TR) พบที่เขาสุขไพบรวัน ซึ่งอยู่ห่างจากอำเภอแกลงไปทางตะวันออก 16 กิโลเมตร และเขาวงซึ่งอยู่ทางทิศเหนือของเขาสุขไพบรวัน 10 กิโลเมตร ประกอบด้วยหินปูนสีเทา เทาคำ น้ำตาลอมม่วง มีเม็ดไขปลานขนาดเล็กกว่า 0.50 เซนติเมตร ตอนล่างมีหินดินดานแทรกสลับ ในหินปูนพบซากสาหร่ายที่ระบุอายุไทรแอสซิกตอนต้นถึงตอนกลาง

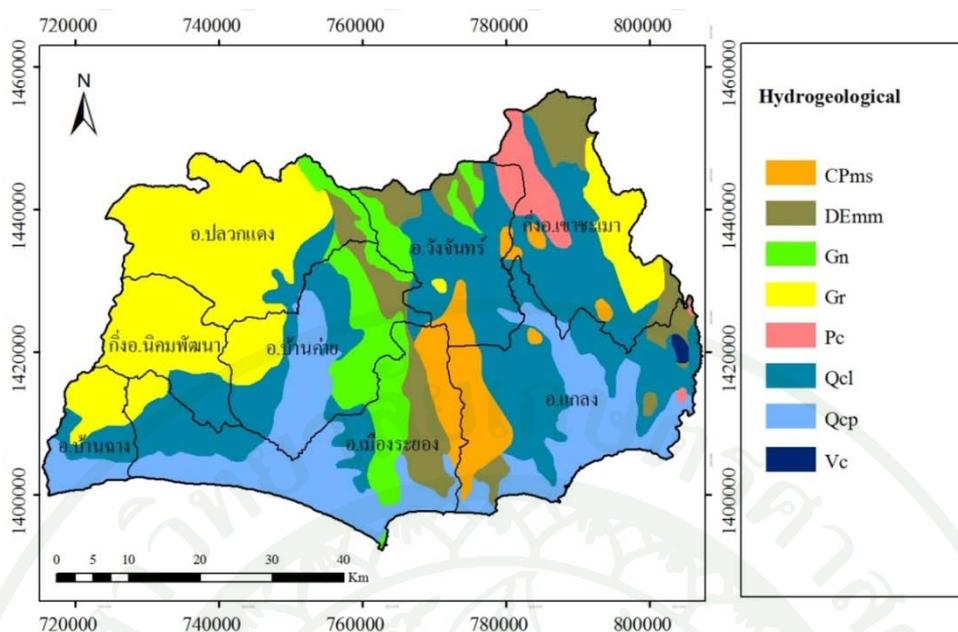
9.5.7 ตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Quaternary, Q) ยุคนี้เป็นยุคสุดท้ายทางธรณีวิทยา มีอายุตั้งแต่ 1.8 ล้านปีที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ตะกอนจึงยังไม่แข็งตัวเป็นหิน ประกอบด้วย เศษหิน กรวด ทราย ดินเหนียว ประกอบด้วย ตะกอนธารน้ำพา (fluvial deposits) ที่ราบน้ำท่วม (flood plain) ตะพักลำน้ำ (terrace) และเศษหินเชิงเขา (colluvium) สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ ตะกอนลุ่มน้ำ และตะกอนตะพักลุ่มน้ำ

ก. ตะกอนลุ่มน้ำ (Alluvial deposit and beach sand, Qa) มักสะสมอยู่ในพื้นที่ราบลุ่ม โดยตะกอนถูกพัดพามากับทางน้ำ และสะสมตัวอยู่ในพื้นที่ลุ่ม ประกอบด้วย กรวด ทราย และดินเหนียว สลับชั้นกันหลายชั้น ชั้นบนสุดปกคลุมด้วยทรายแป้งและทรายเม็ดละเอียด มีสารอินทรีย์ปนแทรกอยู่ด้วย ซึ่งเกิดจากการสะสมตัวในช่วงน้ำท่วมเกิดเป็นที่ราบน้ำท่วมถึงอยู่สองข้างตลิ่ง บางบริเวณทรายจากตะกอนนี้จะถูกสูบไปใช้ เป็นวัสดุก่อสร้าง จะพบการคูดทรายตามลำคลองใหญ่ของจังหวัดระยอง

ข. ตะกอนตะพักลุ่มน้ำ (Terrace deposit, Qt) เป็นตะกอนที่สะสมตัวบนที่ราบตามไหล่เขาในลักษณะขั้นบันไดระดับสูง 20-50 ม.จากระดับน้ำทะเล และระดับต่ำ 10-20 เมตรจากระดับน้ำทะเล ประกอบด้วย สีลาแลง กรวด ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว และเศษหิน

## 9.6 สภาพทางอุทกธรณีวิทยา

ชั้นน้ำใต้ดินแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ชั้นน้ำใต้ดินในหินร่วนและชั้นน้ำใต้ดินในหินแข็ง ซึ่งมีขอบเขตของชั้นน้ำและการเรียงลำดับ ดังภาพที่ 9 โดยมีรายละเอียดของชั้นน้ำใต้ดิน (กรมทรัพยากรธรณี, 2542ค) ดังนี้



ภาพที่ 9 สภาพทางอุทกธรณีวิทยาของจังหวัดระยอง

- DEmm = ชั้นน้ำหินแปร (Cambrian-Devonian metamorphic aquifer)
- Gn = น้ำหินไนส์ (Gneissic aquifer)
- Gr = ชั้นน้ำหินแกรนิต (Granitic aquifer)
- CPms = ชั้นน้ำหินชั้นกึ่งหินแปร (Carboniferous Permian metasediments aquifer)
- Pc = ชั้นน้ำหินปูน (Permian carbonate aquifer)
- Qcl = ตะกอนตะกักน้ำ (Colluvial aquifer)
- Qcp = ตะกอนน้ำพา (Chao Phraya aquifer)
- Vc = ชั้นน้ำหินภูเขาไฟ (Volcanic aquifer)

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2552)

9.6.1 แหล่งน้ำใต้ดินในหินร่วน น้ำใต้ดินที่กักเก็บอยู่ในหินร่วนทั้งหมดจะแตกต่างกันออกไปทั้งปริมาณและคุณภาพ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอน ลักษณะการเกิดและลักษณะโครงสร้างของพื้นที่บริเวณที่ตะกอนสะสมตัว แหล่งน้ำใต้ดินในหินร่วนในจังหวัดระยอง แบ่งได้ดังนี้

ก. แหล่งน้ำใต้ดินในตะกอนน้ำพา (Chao Phraya aquifer, Qcp) กรวดทรายของ ตะกอนน้ำพายุคปัจจุบันที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะมีความหนาไม่มาก เพราะเป็นทางน้ำขนาดเล็กและมีความยาวสั้นๆ โดยมีความหนาเฉลี่ย 5-20 เมตร และอยู่บริเวณสองข้างฝั่งแม่น้ำหรือทางน้ำเท่านั้น ตะกอนที่สะสม ประกอบด้วยทรายละเอียดและดินเหนียว ส่วนพื้นที่ที่เป็นหินแกรนิตจะมีตะกอนประเภทกรวดและทรายหยาบผสมดินเหนียว ที่ราบตะกอนน้ำพาของแม่น้ำระยอง ตะกอนส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรวดทรายและดินเหนียว โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากหินแกรนิต ความหนาเฉลี่ย 10-15 เมตร ปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์ 2-7 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่ราบตะกอนน้ำพาแม่น้ำประแสร์ เริ่มตั้งแต่บริเวณตอนเหนือของอำเภอแกลงขึ้นไปประมาณ 10 กิโลเมตร ตะกอนประกอบด้วยกรวด ทรายดินเหนียวและเศษหิน ที่ผสมกันอย่างไม่ค่อยเป็นระเบียบ ความหนาของตะกอนเฉลี่ย 10-20 เมตร ปริมาณน้ำจากชั้นกรวดทรายอยู่ในเกณฑ์ 2-3 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ข. แหล่งน้ำใต้ดินในตะกอนตะพักลำน้ำ (Colluvial aquifer, Qcl) การสะสมตัวของตะกอนชุดนี้รวมเอาตะกอนที่ราบเชิงเขา ตะกอนจากลำน้ำยุคเก่า ตะกอนที่เกิดจากการทับถมในร่องน้ำเข้าไว้ด้วยกัน มีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำไม่ดึ้นกและคลุมพื้นที่แคบๆ บริเวณพื้นที่ราบเล็กๆ เขตอำเภอเมืองต่อกับอำเภอแกลง จังหวัดระยอง มีชั้นกรวดทรายที่เกิดจากการสะสมตัวของ ตะกอนจากหุบเขาหนาประมาณ 30 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 200 ตารางกิโลเมตร ตะกอน ประกอบด้วย กรวด ทราย เศษหินและดินเหนียว การัดขนาดดีพอใช้ ความหนาของชั้นกรวดทรายที่เป็นชั้นน้ำ 10-14 เมตร ปริมาณน้ำใต้ดินในเกณฑ์ 10-40 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ถัดไปคือบริเวณที่ราบแกลง บริเวณนี้มีตะกอนจากตะพักกลุ่มน้ำ ซึ่งประกอบด้วยกรวด ทราย และดินเหนียวที่มีความหนาประมาณ 30-60 เมตร ตอนล่างเป็นดินเหนียว และบางแห่งเป็นชั้นน้ำเค็ม ปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์ 5-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

9.6.2 แหล่งน้ำใต้ดินในหินแข็ง จากสภาพธรณีวิทยา โครงสร้างทางธรณีวิทยา คุณสมบัติการกักเก็บน้ำ ทำให้จัดแบ่งกลุ่มชั้นน้ำขึ้นมาใหม่ โดยรวมชั้นหินที่มีคุณสมบัติทาง อุทกธรณีวิทยาที่ใกล้เคียงกันเป็นชั้นน้ำเดียวกัน ดังนี้

ก. ชั้นน้ำหินแปร (Cambrian-Devonian metamorphic aquifer, DEmm) เป็นการรวมหินชีสต์ (PEsch) จากมหายุคพรีแคมเบรียลกับหินแปรจากยุคแคมเบรียน ไซลูเรียน และดีโวเนียน ปกติไม่เป็นแหล่งกักเก็บน้ำที่ดี ได้น้ำในอัตรา 2-5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ยกเว้นบริเวณที่

มีรอยเลื่อนตัดผ่าน เช่น ตำบลสำนักทอง และตำบลแก่งกระเจ็ด อำเภอแก่ง จังหวัดระยอง ได้น้ำถึง 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ข. ชั้นน้ำหินปูน (Permian carbonate aquifer, Pc) ประกอบด้วยหินปูนยุคเพอร์เมียน (P) และยุคไทรแอสซิก (TR) ซึ่งหินปูนเพอร์เมียนจะให้น้ำมากที่สุด กรณีที่เจาะผ่าน โพรงหรือรอยแตกของชั้นหิน ซึ่งอาจได้มากถึง 10-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง แต่โดยปกติแล้วหินปูนในพื้นที่นี้ให้น้ำในเกณฑ์ 5-10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ค. ชั้นน้ำหินชั้นกึ่งหินแปร (Carboniferous Permian metasediments aquifer, CPms) ประกอบด้วยหินทราย หินดินดาน และหินปูนจากยุคเพอร์โม-คาร์บอนิเฟอรัส (CP) ปกติแล้วเป็นหินเนื้อแน่น ได้น้ำจากรอยแตกของหินในอัตรา 5-15 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ง. ชั้นน้ำหินไนส์ (Gneissic aquifer, Gn) เป็นหินแปรเกรดสูง ซึ่งอาจเกิดจากการแปรสภาพของหินแกรนิต และหินแปรเกรดต่ำ มีเนื้อแน่น จึงมีความสามารถในการเป็นชั้นหินอุ้มน้ำเหมือนหินแกรนิต

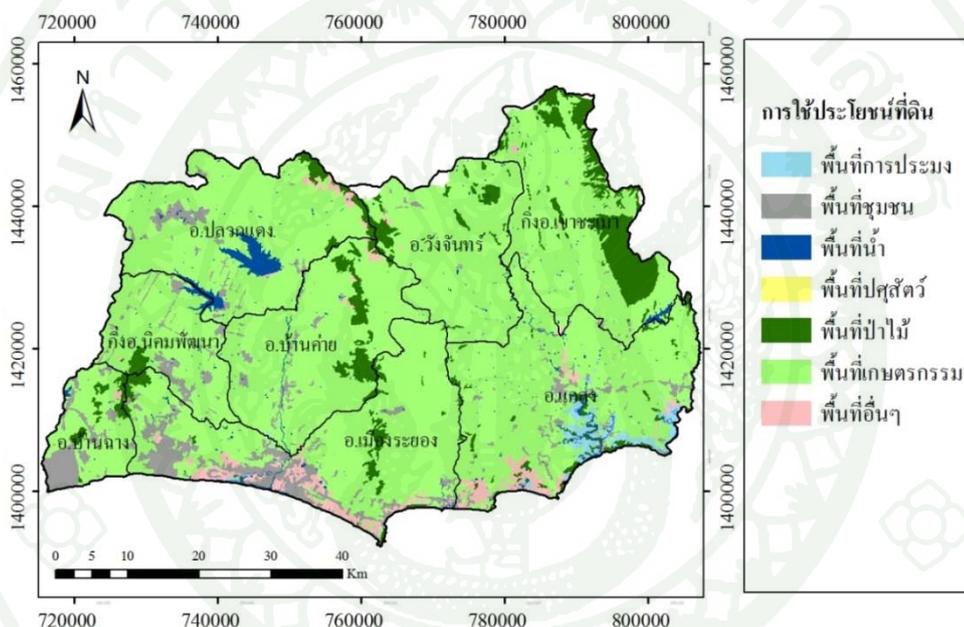
จ. ชั้นน้ำหินแกรนิต (Granitic aquifer, Gr) เป็นหินอัคนีเนื้อแน่น ซึ่งโผล่ให้เห็น 2 บริเวณ คือ อำเภอบ้านฉาง อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง และบริเวณเทือกเขาฝั่งตะวันออกของกิ่งอำเภอเขาชะเมา ซึ่งทั้งสองบริเวณให้น้ำน้อย เว้นแต่เป็นแกรนิตผุให้น้ำได้ถึง 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ฉ. ชั้นน้ำหินภูเขาไฟ (Volcanic aquifer, Vc) ประกอบด้วยหินไรโอไลต์และหินแอนดีไซต์ ซึ่งอยู่ทางตะวันตกของพื้นที่ ปกติให้น้ำน้อย 2-5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่ความลึกมากกว่า 30 เมตร

## 9.7 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดระยอง พิจารณาจากการใช้ที่ดินระดับจังหวัด ปี พ.ศ.2545 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) สามารถแบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ออกเป็น 7 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ปศุสัตว์ พื้นที่การประมง พื้นที่

ป่าไม้ พื้นที่น้ำ และพื้นที่อื่นๆ โดยพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างคิดเป็นร้อยละ 6.59 ส่วนใหญ่เป็นที่ตั้งหมู่บ้าน ตัวเมือง ย่านการค้า สถานที่ราชการ เขตอุตสาหกรรม เป็นต้น พื้นที่การเกษตรคิดเป็นร้อยละ 75.94 พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่สวนยางพารา นาข้าว พืชไร่ พื้นที่ปลูกพืชหมุนเวียน ไม้ผล เป็นต้น พื้นที่ปศุสัตว์ คิดเป็นร้อยละ 0.03 เป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ พื้นที่การประมงคิดเป็นร้อยละ 1.13 ส่วนใหญ่เป็นสถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ พื้นที่ป่าคิดเป็นร้อยละ 7.95 ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าดิบเขา ป่าดิบชื้น ป่าเบญจพรรณ ป่าชายเลน เป็นต้น พื้นที่น้ำคิดเป็นร้อยละ 1.78 ได้แก่ แหล่งน้ำตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น ส่วนพื้นที่อื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 6.59 ได้แก่ ไม้พุ่ม ที่ลุ่มชื้นแฉะ เหมืองแร่ บ่อลูกรัง บ่อดิน เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 10 และตารางที่ 11



ภาพที่ 10 การใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดระยอง

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมพัฒนาที่ดิน (2545)

การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่จังหวัดระยอง ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม พืชที่ปลูกส่วนใหญ่จะใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบส่งโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ ส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอุตสาหกรรมซึ่งถือเป็นแหล่งอุตสาหกรรมที่สำคัญที่สุดของประเทศไทย แม้ว่าจะมีพื้นที่เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมด แต่รายได้หลักของจังหวัดส่วนใหญ่มาจากภาคอุตสาหกรรมมากถึงร้อยละ 80 (สำนักงานอุตสาหกรรม จังหวัดระยอง, 2550) โดยแหล่งอุตสาหกรรมในจังหวัด

ระของ ส่วนใหญ่ตั้งกระจายอยู่ตามพื้นที่ แนวท่าเทียบเรือ หรือตามเส้นทางคมนาคม เช่น ถนน  
แม่น้ำ เป็นต้น เพื่อความสะดวกในการลำเลียงวัตถุดิบและสินค้า

ตารางที่ 11 การใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดระยอง ปี 2545

ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	เนื้อที่ (ตารางกิโลเมตร)
1. พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	10.9
1.1 ตัวเมืองและย่านการค้า	16.7
1.2 เขตอุตสาหกรรม	34.5
1.3 สถานที่ราชการ หมู่บ้าน สนามบิน ที่พักผ่อนหย่อนใจ	78.5
รวมพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	165.3
2. พื้นที่เกษตรกรรม	143.3
2.1 นาข้าว	132.1
2.2 ยางพารา	162.9
2.3 พืชไร่	281.7
2.4 ไม้ผล ไม้ยืนต้น และพืชผัก	210.0
รวมพื้นที่เกษตรกรรม	58.2
3. พื้นที่การประมง	4.7
4. พื้นที่ป่าไม้	1,298.8
5. พื้นที่ป่าไม้	4.7
6. พื้นที่น้ำ	1,298.8
7. พื้นที่อื่นๆ	4.7
รวมพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งหมด	1,298.8

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมพัฒนาที่ดิน (2545)

## 10. การประยุกต์ใช้แบบจำลองคราสติก และฟิซซีเซต ในทางสิ่งแวดล้อม

แบบจำลองคราสติกซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม PCSM และฟิซซีเซตที่มีหลักใช้กับความคลุมเครือที่เกิดขึ้นกับข้อมูล ถือเป็นวิธีการหรือขั้นตอนการทำงาน ซึ่งเป็น 1 ใน 5 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ขณะที่การวิเคราะห์ตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์โดยใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่นั้น มีความซับซ้อนและเกี่ยวพันกันระหว่างหลักเกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในการตัดสินใจ ดังนั้น การนำแบบจำลองคราสติกและฟิซซีเซตมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ตัดสินใจเพื่อใช้งานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จึงเป็นการผสมผสานทฤษฎีการตัดสินใจสมัยใหม่กับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ขั้นสูง โดยเฉพาะในการคัดทางเลือกที่เหมาะสม ที่ต้องอาศัยหลักเกณฑ์ที่ประเมินค่าได้จากข้อมูลเชิงพื้นที่ การให้น้ำหนักความสำคัญของหลักเกณฑ์ การจัดลำดับความสำคัญ และการคัดทางเลือกเพื่อแก้ไขสถานการณ์ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนวางแผนเพื่อป้องกันการเกิดมลพิษ และใช้สนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารในการกำหนดนโยบายได้ดียิ่งขึ้น

### 10.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Babiker *et al.* (2005) ใช้เทคนิคทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับแบบจำลองคราสติกในการประเมินความเปราะบางของพื้นที่ต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาเมือง Kakamigahara ประเทศญี่ปุ่น ผลการศึกษาพบว่าทางทิศตะวันตกของพื้นที่มีระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนสูงกว่าทางทิศตะวันออก อันเนื่องมาจากระดับน้ำใต้ดินทางทิศตะวันตกอยู่ในระดับสูงกว่าทางทิศตะวันออก ขณะที่การเพิ่มเติมน้ำสุทธิตั้งในพื้นที่นั้นมีผลต่อระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนที่แตกต่างกันของพื้นที่

Chatchada (2006) ได้ใช้เทคนิคฟิซซีลอจิกและการวิเคราะห์ตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์เพื่อจำแนกพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งจังหวัดบุรีรัมย์ โดยศึกษาจากข้อมูลเกณฑ์มาตรฐานภัยแล้งในประเทศไทย อุดนียมหาวิทยาลัย ดิน ภูมิประเทศ อุทกวิทยา และอุทกธรณีวิทยา และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับผลการวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่ (potential surface analysis, PSA) โดยใช้แผนที่พื้นที่ภัยแล้ง ซึ่งสำรวจโดยกรมพัฒนาที่ดิน เป็นข้อมูลตรวจสอบความแม่นยำ ผลการศึกษาการจำแนกพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งโดยใช้เทคนิคฟิซซีลอจิก พบว่ามีพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งสูง ร้อยละ 85.14 พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งปานกลาง ร้อยละ 14.86 ขณะที่การวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่ พบว่ามีพื้นที่เสี่ยงสูง ร้อยละ 16.14 พื้นที่เสี่ยงปานกลาง ร้อยละ 78.52 และพื้นที่เสี่ยงต่ำ ร้อยละ 5.34 เมื่อเปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพของทั้ง 2 วิธี กับแผนที่พื้นที่ภัยแล้งของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่า การใช้เทคนิคพืชซีลอลจิก มีแผ่นขามากกว่า (ร้อยละ 75) การวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่ (ร้อยละ 47)

Naqa *et al.* (2006) ทำการประเมินความอ่อนไหวของพื้นที่ต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ Amman-Zerqa ประเทศจอร์แดน ซึ่งเป็นที่ตั้งของหลุมฝังกลบขยะ Russeifa ที่มีปัญหาการจัดการที่ไม่ดีพอ โดยใช้เทคนิคทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับแบบจำลองตราสติก พารามิเตอร์ที่ใช้ทั้งหมด 7 พารามิเตอร์ ได้มีการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักตามความเหมาะสมของการศึกษา ผลการประเมินความอ่อนไหวพบว่า บริเวณที่ตั้งหลุมฝังกลบขยะนั้นมีระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินอยู่ในช่วงปานกลางจนถึงสูง ซึ่งมีโอกาสในการเกิดการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินสูง

Mao *et al.* (2006) ได้ประยุกต์ใช้รูปแบบการจดจำพืชซีแทนการให้ค่าคะแนนตามช่วงค่าในแบบจำลองตราสติก เพื่อประเมินความเปราะบางของน้ำใต้ดินทางตอนใต้ของเมืองซูโจว ผลการศึกษาพบว่า ค่าดัชนีที่ได้จากพืชซีและตราสติกมีความแตกต่างกัน โดยพืชซีสามารถแยกแยะระดับความเปราะบางได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความเป็นธรรมชาติมากกว่า

Terdsak (2006) ได้ทำการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน อำเภอ เชียงใหม่ ภาคเหนือ ประเทศไทย โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านอุทกธรณีวิทยาด้วยแบบจำลองตราสติก พบว่าพื้นที่ที่มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนสูง อยู่ในบริเวณตะกอนตะพักลำน้ำของแม่น้ำปิง และแม่น้ำสาขา ซึ่งมีค่าความชื้นได้สูง มีลักษณะเป็นที่ราบ และมีปริมาณฝนตกสูง และถึงแม้ว่าบริเวณที่มีความเปราะบางสูงในบางพื้นที่ อาจยังไม่เกิดการปนเปื้อน แต่การป้องกันระบบน้ำใต้ดินในบริเวณที่ยังไม่มีการปนเปื้อนก็มีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยแผนที่แสดงความเปราะบางต่อการปนเปื้อนสามารถช่วยในการวางแผนควบคุมได้อีกทางหนึ่ง

Uddameri and Honnugar (2007) ได้ใช้เทคนิคทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ กำหนดความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดิน พื้นที่ศึกษาทางตอนใต้ของรัฐ Texas โดยใช้พารามิเตอร์ตามแบบจำลองตราสติก ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ที่มีระดับความเปราะบางสูงส่วนใหญ่อยู่ทางตอนเหนือของพื้นที่ ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะของดินที่มีเนื้อหยาบ และการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ ขณะที่บริเวณชายฝั่งทะเลนั้น ความลาดชันของพื้นที่มีส่วนทำให้มีระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนสูง

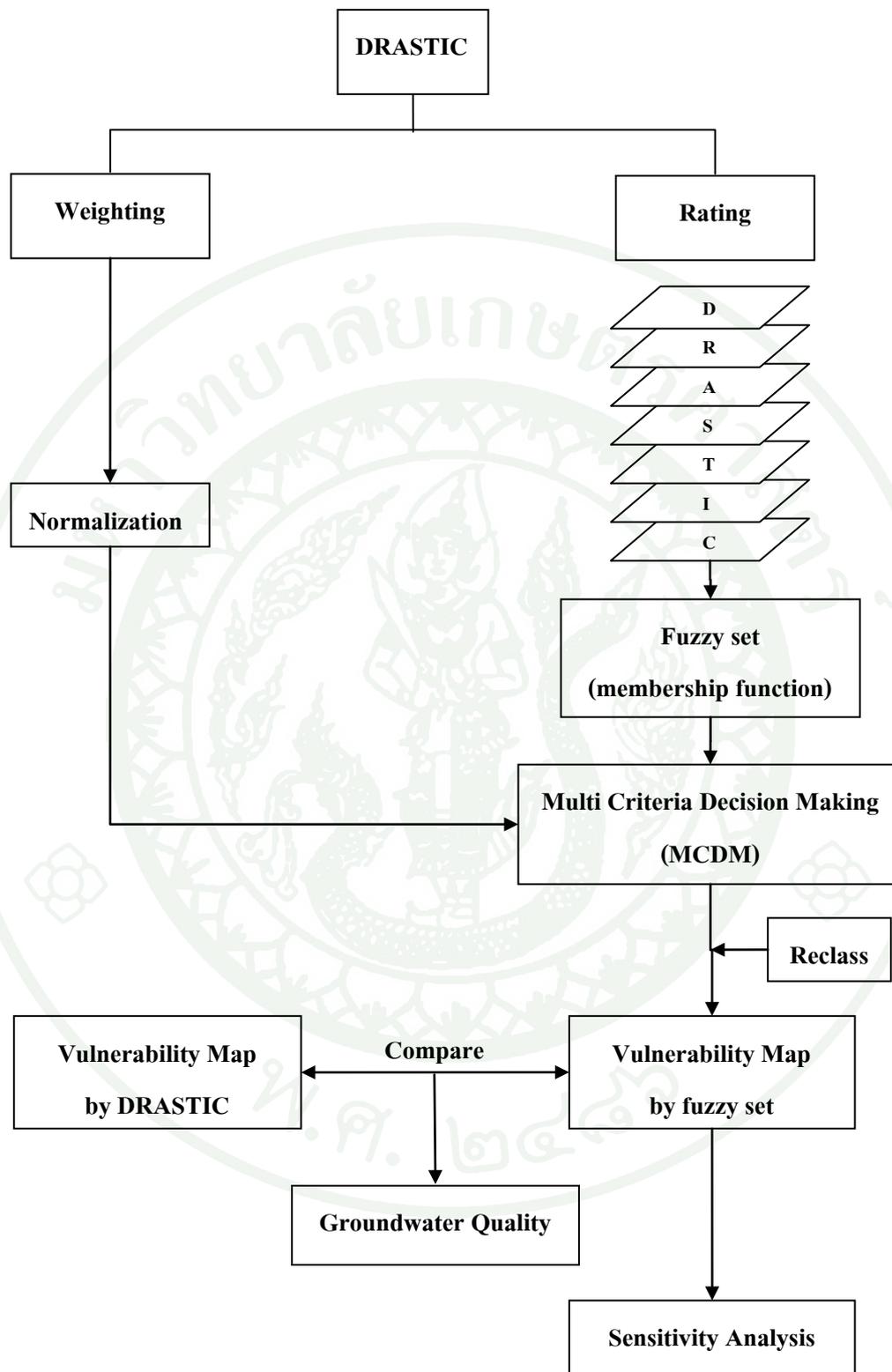
## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. ชุดระบบอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โดยมีคุณลักษณะ ดังนี้
  - 1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ PC
  - 1.2 หน่วยประมวลผลกลาง Pentium 4 CPU 3.20 GHz Ram 2.00 GB
  - 1.3 หน่วยความจำหลัก 250 GB
  - 1.4 หน่วยความจำสำรอง External Drive 320 GB
2. เครื่องพิมพ์ (printer)
3. โปรแกรมจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcGIS รุ่น 9.3.1 ลิขสิทธิ์ © 1999-2009 จากบริษัท ESRI (Thailand) Co., Ltd.)

### วิธีการ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ แบ่งวิธีการดำเนินการออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลจำเป็นพื้นฐาน การประเมินประมงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินด้วยพีซีเซต การเปรียบเทียบความสอดคล้องการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน และการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง (ภาพที่ 11) โดยมีรายละเอียดวิธีการศึกษาวิจัย ดังนี้



ภาพที่ 11 ขั้นตอนและวิธีการศึกษา

## 1. ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลจำเป็นพื้นฐาน

ค้นคว้า และรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการงานวิจัย โดยการศึกษาครั้งนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการใหม่ในพื้นที่ศึกษาที่เคยมีการศึกษาแล้ว จึงได้เลือกใช้ข้อมูลชุดเดียวกันกับการศึกษาเดิม เพื่อใช้ในวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล ประกอบไปด้วย

- 1.1 แผนที่ขอบเขตการปกครองจังหวัดระยอง มาตรฐาน 1 : 50,000 จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- 1.2 แผนที่กลุ่มชุดดินจังหวัดระยอง มาตรฐาน 1 : 50,000 จากกรมพัฒนาที่ดิน
- 1.3 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2545 มาตรฐาน 1 : 50,000 จากกรมพัฒนาที่ดิน
- 1.4 แผนที่ธรณีวิทยา 1:100,000 จากกรมทรัพยากรธรณี
- 1.5 แผนที่น้ำบาดาล 1 : 100,000 จังหวัดระยอง จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- 1.5 แผนที่การเพิ่มเติมน้ำสุทธิ จังหวัดระยอง จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- 1.6 แผนที่ภูมิประเทศ 1 : 50,000 จากกรมแผนที่ทหาร
- 1.7 แผนที่ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนน้ำใต้ดินจังหวัดระยอง จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

รวมไปถึงการศึกษา และรวบรวมข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับจังหวัดระยอง เช่น ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ย 30 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2514 - 2543 จากกรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลทางธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา จากกรมทรัพยากรธรณี และข้อมูลบ่อน้ำบาดาล จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล เป็นต้น และศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการงานวิจัยนี้

## 2. การประเมินประเภทบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินด้วยพีชชีเซต

### 2.1 การเตรียมข้อมูลตามแบบจำลองคราสติก

การเตรียมข้อมูล ข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวม จะถูกจัดเตรียมแยกตามปัจจัยที่อยู่ในแบบจำลองคราสติก ทั้ง 7 ปัจจัย ได้แก่ ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน การเพิ่มเติมน้ำสุทธิตั้งชั้นหินอุ้มน้ำ ชนิดดิน สภาพภูมิประเทศ ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ และสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ (ตารางที่ 12) ข้อมูลที่อยู่ในรูปชั้นข้อมูลแบบเวกเตอร์ จะนำมาปรับเปลี่ยน (conversion) ให้อยู่ในรูปชั้นข้อมูลแบบราสเตอร์ โดยใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcGIS เวอร์ชัน 9.3.1 ขนาดช่องกริด (grid cell) ที่ใช้คือ 100 x 100 เมตร (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551ก) การจัดเตรียมข้อมูลแบ่งได้ดังนี้

ตารางที่ 12 ประเภทชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ แยกตามแบบจำลองคราสติก

ปัจจัย	ประเภทชั้นข้อมูล
ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน	ราสเตอร์
การเพิ่มเติมน้ำสุทธิตั้งชั้นหินอุ้มน้ำ	ราสเตอร์
ชนิดดิน	เวกเตอร์
สภาพภูมิประเทศ	เวกเตอร์
ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ	ราสเตอร์
สัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ	ราสเตอร์

#### 2.1.1 ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน

ชั้นข้อมูลความลึกของระดับน้ำใต้ดิน ได้รับข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ในรูปแบบราสเตอร์ ขนาดช่องกริด 100 x 100 เมตร ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความลึกของระดับน้ำใต้ดิน โดยพิจารณาจากข้อมูลชั้นดินและชั้นหินจากหลุมเจาะน้ำบาดาล จากฐานข้อมูลพสุธาธา 2545 (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551ก) เนื่องจากชั้นข้อมูลนี้อยู่ในรูปแบบราสเตอร์แล้ว จึงสามารถนำไปใช้ในขั้นตอนการประเมินได้เลย

### 2.1.2 การเพิ่มเติมน้ำสุทธิ

ชั้นข้อมูลการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ ได้รับข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ในรูปแบบราสเตอร์ ขนาดช่องกริด 100 x 100 เมตร ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หาการเพิ่มเติมน้ำสุทธิโดยใช้เทคนิคการทำสมดุลน้ำบาดาล (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551ก) เนื่องจากชั้นข้อมูลนี้อยู่ในรูปแบบราสเตอร์แล้ว จึงสามารถนำไปใช้ในขั้นตอนการประเมินได้เลย

### 2.1.3 ชั้นหินอุ้มน้ำ

ชั้นข้อมูลชั้นหินอุ้มน้ำ ได้รับข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ในรูปชั้นข้อมูลแบบเวกเตอร์ โดยชั้นข้อมูลนี้มีลักษณะข้อมูลที่ไม่อยู่ในรูปของค่าตัวเลข การแปลงลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำให้อยู่ในรูปตัวเลข จึงใช้เกณฑ์ตามการศึกษายของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551ก) (ตารางที่ 13) เกณฑ์การให้คะแนนนี้ จะพิจารณาจากวัสดุของชั้นหินอุ้มน้ำว่าเป็นตะกอนร่วนหรือหินแข็ง ซึ่งหินแข็งที่มีรอยแตกร้าวหรือรอยเลื่อนมากหรือมีขนาดใหญ่ จะทำให้ความสามารถในการซึมผ่านได้ของชั้นน้ำใต้ดินดี และมีความเปราะบางของชั้นน้ำใต้ดินมาก ส่วนชั้นน้ำใต้ดินที่เป็นตะกอนร่วน อัตราการซึมผ่านของน้ำ จะขึ้นอยู่กับความเร็วตัวของเม็ดตะกอนที่ประกอบเป็นชั้นน้ำ หลังจากให้ค่าคะแนนแทนลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำแล้ว จะแปลงชั้นข้อมูลให้อยู่ในรูปของราสเตอร์ โดยใช้ขนาดช่องกริด เท่ากับ 100 x 100 เมตร

#### ตารางที่ 13 ค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชั้นหินอุ้มน้ำ

ลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำ	ค่าคะแนน
Chao Phraya aquifer (Qcp)	9
Carbonate aquifer : Permo-carboniferous limestone (Cp)	8
Carbonate aquifer : Ordovician limestone and quartzite (Oc)	7
Phanat Nikhom aquifers Colluvium (Qcl)	6
Metasediment aquifers (CPms)	6
Granitic aquifer (Gr)	4
Gniessic aquifer (Gr)	3
Volcanic aquifer (Vc)	3

### ตารางที่ 13 (ต่อ)

ลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำ	ค่าคะแนน
Metamorphic aquifer (DEmm)	2

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551ก)

#### 2.1.4 ชนิดดิน

ชั้นข้อมูลชนิดดิน ได้รับข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดินในรูปแบบชั้นข้อมูลแบบเวกเตอร์ เนื่องจากชั้นข้อมูลนี้มีลักษณะข้อมูลที่ไม่อยู่ในรูปของตัวเลข จึงแปลงให้อยู่ในรูปของตัวเลขโดยใช้เกณฑ์ตามการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551ก) (ตารางที่ 14) หลังจากให้ค่าคะแนนแทนแล้ว จะแปลงชั้นข้อมูลให้อยู่ในรูปของราสเตอร์ โดยใช้ขนาดช่องกริด เท่ากับ 100 x 100 เมตร

ตารางที่ 14 ค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชนิดดิน

ลักษณะของดิน	ค่าคะแนน
ทราย (Sand)	10
ดินภูเขา (Mountain soil)	9
ทรายปนดินร่วน (Loamy sand)	9
ดินร่วนปนทราย (Sandy loam)	6
ดินร่วนปนกรวด (Gravelly loams)	6
ดินร่วน (Loam)	5
ดินตะกอนทราย (Silt)	4
ดินเหนียวปนตะกอนทราย (Silty clay)	3
ดินร่วนปนตะกอนทราย (Silty loam)	3
ดินเหนียวปนกรวด (Gravelly clay)	2
ดินเหนียว (Clay)	1

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551ก)

### 2.1.5 สภาพภูมิประเทศ

ชั้นข้อมูลสภาพภูมิประเทศ ได้รับข้อมูลจากกรมแผนที่ทหาร ซึ่งเป็นข้อมูลเส้นชั้นความสูง ในรูปแบบเวกเตอร์ โดยจะทำการแปลงชั้นข้อมูลให้อยู่ในรูปของราสเตอร์ ขนาดช่องกริด 100 x 100 เมตร แต่ชั้นข้อมูลราสเตอร์ที่ได้นี้ เป็นเพียงระดับความสูงของพื้นที่เท่านั้น จึงทำการคำนวณหาความลาดชัน เพื่อให้สอดคล้องกับเกณฑ์ในแบบจำลองคราสติก โดยใช้โปรแกรม ArcGIS ในการคำนวณหาความลาดชัน ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของร้อยละ

### 2.1.6 ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

ชั้นข้อมูลชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยปกติข้อมูลในปัจจุบันนี้ ไม่สามารถหาค่าซึ่งอยู่ในรูปของตัวเลขได้ จะต้องใช้การแปลงข้อมูลซึ่งอยู่ในเชิงคุณลักษณะให้เป็นตัวเลข ก่อนที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนการประเมิน (ตารางที่ 15) แต่ในการศึกษาครั้งนี้ ได้รับข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ในรูปแบบราสเตอร์ ขนาดช่องกริด 100 x 100 เมตร ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติของชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ และได้ประเมินชนิดของตัวกลาง ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำใต้ดินไว้แล้ว จึงนำไปใช้ในขั้นตอนการประเมินได้เลย

ตารางที่ 15 ค่าคะแนนสำหรับปัจจัยชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

ลักษณะของวัสดุชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ	ค่าคะแนน
ดินเหนียว	1
ดินเหนียวปนกรวด	2
ดินเหนียวปนลูกรัง	2
ดินเหนียวปนทราย	2
ลูกรัง	3
ดินทรายแป้ง	3
หินอัคนีและหินแปร	4
หินดินดาน	5
หินทราย	6
หินปูน	6

## ตารางที่ 15 ต่อ

ลักษณะของวัสดุชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ	ค่าคะแนน
ทราย	8
ทรายกรวด	9
กรวด	10

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551ก)

### 2.1.7 สัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ

ชั้นข้อมูลสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ ได้รับข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ในรูปแบบราสเตอร์ ขนาดช่องกริด 100 x 100 เมตร ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากผลการสุบทดสอบจากบ่อที่มีตำแหน่งท่อกรองอยู่ในช่วงไม่เกิน 30 เมตรจากผิวดิน นำมาหาสัดส่วนค่าปริมาณการให้น้ำ (yield) ของบ่อ และการลดลงของระดับน้ำ (drawdown) (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551ก) เนื่องจากชั้นข้อมูลนี้อยู่ในรูปแบบราสเตอร์แล้ว จึงสามารถนำไปใช้ในขั้นตอนการประเมินได้เลย

### 2.2 การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและค่าคะแนน

ชั้นข้อมูลราสเตอร์จากขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูล จะทำการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและค่าคะแนน ด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงคำนวณ (map algebra) ในโปรแกรม ArcGIS ดังต่อไปนี้

#### 2.2.1 ค่าถ่วงน้ำหนัก

ค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งเป็นค่าความสำคัญตามแบบจำลองตราสติก (Aller *et al.*, 1987) ทั้งหมด 7 ปัจจัย จะทำการปรับฐานให้อยู่ในรูป 0 ถึง 1 ตามลำดับความสำคัญ (Chen and Fu, 2003; Mao *et al.*, 2006) เพื่อใช้ในขั้นตอนการประเมิน ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าถ่วงน้ำหนักตราสดิก และค่าถ่วงน้ำหนักที่ปรับฐาน

ปัจจัย	ค่าถ่วงน้ำหนัก	
	ตราสดิก	ค่าปรับฐาน
ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน	5	0.22
การเพิ่มเติมน้ำสุทธิ	4	0.17
ชั้นหินอุ้มน้ำ	3	0.13
ชนิดดิน	2	0.09
สภาพภูมิประเทศ	1	0.04
ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ	5	0.22
สัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ	3	0.13

### 2.2.2 ค่าคะแนน

ชั้นข้อมูลราสเตอร์ทั้งหมด 7 ปัจจัย ซึ่งเป็นข้อมูลกริด ขนาดช่องกริด 100 x 100 ที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมข้อมูล จะนำเข้าสู่ฟuzzyเซต โดยการปรับฐานค่าคะแนนและให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ใช้เกณฑ์สูงสุด และเกณฑ์ต่ำสุด ดังตารางที่ 17 (Chen and Fu, 2003; Mao *et al.*, 2006; กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551ก; Javadi *et al.*, 2011)

ตารางที่ 17 เกณฑ์สูงสุด และเกณฑ์ต่ำสุดที่ใช้ในการปรับฐาน

ปัจจัย	หน่วย	เกณฑ์ปรับฐาน	
		สูงสุด	ต่ำสุด
ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน	เมตร	30.5	0
การเพิ่มเติมน้ำสุทธิ	มิลลิเมตร	350	0
ชั้นหินอุ้มน้ำ	-	10	0
ชนิดดิน	-	10	0
สภาพภูมิประเทศ	ร้อยละ	18	0
ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ	-	10	0
สัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ	เมตรต่อวัน	82	0

การปรับฐานเพื่อแสดงระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละปัจจัย จะใช้สมการในการปรับฐานตามสมการที่ (7) (Mao *et al.*, 2006) โดยปัจจัยที่ใช้ในการปรับฐานตามสมการนี้ได้แก่ การเพิ่มเติมน้ำสุทธิ ชั้นหินอุ้มน้ำ ชนิดดิน ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ และสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งความแปรปรวนจะมีความแปรผันไปตามค่าคะแนนที่ใช้ในการนำเข้า และในกรณีปัจจัยที่ไม่สามารถวัดเป็นตัวเลขได้โดยตรง คือ ปัจจัยชั้นหินอุ้มน้ำ ชนิดดิน ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ จะมีกำหนดค่าคะแนนโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนจากตารางที่ 13, 14 และ 15 ตามลำดับ ซึ่งได้กล่าวไว้ในขั้นตอนการเตรียมข้อมูล (2.1) แล้ว

$$r_{i,j} = \begin{cases} 0 & x_{i,j} \leq x_{i,\min} \\ (x_{i,j} - x_{i,\min}) / (x_{i,\max} - x_{i,\min}) & x_{i,\min} < x_{i,j} < x_{i,\max} \\ 1 & x_{i,j} \geq x_{i,\max} \end{cases} \quad (7)$$

เมื่อ  $r_{i,j}$  = ค่าปรับฐาน ณ ตำแหน่งกริด  $i$   
 $x_{i,j}$  = ค่าคะแนน ณ ตำแหน่งกริด  $i$   
 $x_{i,\max}$  = ค่าเกณฑ์สูงสุดของปัจจัย  
 $x_{i,\min}$  = ค่าเกณฑ์ต่ำสุดของปัจจัย

ขณะที่ปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดิน และสภาพภูมิประเทศ จะมีความแปรปรวนของปัจจัยแปรผกผันกับค่าคะแนน กล่าวคือ เมื่อมีความลึกของระดับน้ำใต้ดินที่เพิ่มขึ้น ทำให้ต้องใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของมลสารมากขึ้น กว่าที่จะมาถึงชั้นน้ำใต้ดิน ศักยภาพที่จะเกิดการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินจึงลดลง ขณะที่สภาพภูมิประเทศที่มีความลาดชันสูง ศักยภาพการเกิดการปนเปื้อนสู่ชั้นน้ำใต้ดินก็จะต่ำ เนื่องจากมีอัตราการไหลของน้ำและอัตราการกักเซาะสูง (วิญญูเพ็ญ, 2547) ดังนั้น ใน 2 ปัจจัยนี้ จึงใช้สมการในการปรับฐานตามสมการที่ (8) (Zhou *et al.*, 1999)

$$r_{i,j} = \begin{cases} 0 & x_{i,j} \geq x_{i,\max} \\ (x_{i,\max} - x_{i,j}) / (x_{i,\max} - x_{i,\min}) & x_{i,\max} > x_{i,j} > x_{i,\min} \\ 1 & x_{i,j} \leq x_{i,\min} \end{cases} \quad (8)$$

เมื่อ  $r_{i,j}$  = ค่าคะแนนที่ปรับฐานแล้ว ณ ตำแหน่งกริด  $i$

$x_{i,j}$  = ค่าคะแนน ณ ตำแหน่งกริด  $i$

$x_{i,\max}$  = ค่าเกณฑ์สูงสุดของปัจจัย

$x_{i,\min}$  = ค่าเกณฑ์ต่ำสุดของปัจจัย

### 2.3 การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนน้ำใต้ดินด้วยวิธีการวิเคราะห์ตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์

ค่าคะแนนที่กำหนดผ่านฟัซซีเซตจะนำมาประเมินหาความเปราะบางด้วยวิธีการวิเคราะห์ตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ ตามสมการที่ (9) โดยใช้การวัดระยะแบบยูคลิเดียน ตามการศึกษาของ (Mao *et al.*, 2006) ค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในการประเมิน ใช้ค่าที่ได้ทำการปรับฐานแล้วตามตารางที่ 16 และคำนวณโดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงคำนวณ ในโปรแกรม ArcGIS

$$U_i = \frac{1}{1 + \frac{\sum_{i=1}^7 [w_i (r_{i,j} - 1)]^p}{\sum_{i=1}^7 (w_i r_{i,j})^p}}^{2/p} \quad (9)$$

เมื่อ  $U_i$  = ระดับความเป็นสมาชิกรวม

$w_i$  = ค่าถ่วงน้ำหนักที่ปรับฐานแล้ว

$r_{i,j}$  = ค่าคะแนนที่ปรับฐานแล้ว ณ ตำแหน่งกริด

$p$  = ค่าการวัดระยะ (Euclidean distance = 2)

ผลของระดับความเป็นสมาชิกรวม ( $U_i$ ) จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 แทนระดับความ  
 เปรียบจากต่ำไปสูง

### 2.3.1 การจำแนกกลุ่มข้อมูล (reclassification)

ผลของระดับความเป็นสมาชิกรวมซึ่งแทนระดับความเปรียบาง จะนำมา  
 จำแนกกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีการแบ่งช่วงเท่า (equal interval) (ชญา, 2548) โดยแบ่งระดับความ  
 เปรียบบางออกเป็น 5 ระดับ คือ ต่ำ ก่อนข้างต่ำ ปานกลาง ก่อนข้างสูง และสูง ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกับการ  
 การจัดกลุ่มข้อมูลด้วยแบบจำลองคราสติก (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551ก)

## 3. การเปรียบเทียบความสอดคล้องการประเมินความเปรียบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน

### 3.1 การเปรียบเทียบการประเมินความเปรียบางด้วยพีชชีเซตกับแบบจำลองคราสติก

ผลการประเมินความเปรียบางด้วยพีชชีเซต จะถูกเปรียบเทียบกับผลการประเมิน  
 ความเปรียบางด้วยแบบจำลองคราสติก โดยผลการประเมินความเปรียบางด้วยแบบจำลองครา  
 สติกนั้น จะใช้ข้อมูลแผนที่ความเปรียบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจังหวัดระยอง จากกรม  
 ทรัพยากรน้ำบาดาล (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2552) และในการเปรียบเทียบการประเมินความ  
 เปรียบบาง จะใช้เทคนิคการซ้อนทับข้อมูล (overlay) ของ 2 ชั้นข้อมูล เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของ  
 ระดับความเปรียบางที่เปลี่ยนแปลงไป

### 3.2 การเปรียบเทียบการประเมินความเปรียบางกับผลคุณภาพน้ำใต้ดิน

การเปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างการประเมินความเปรียบางด้วยพีชชีเซต  
 และการประเมินความเปรียบางด้วยแบบจำลองคราสติก จะทำการทดสอบความสอดคล้องกันโดย  
 ใช้ผลคุณภาพน้ำใต้ดิน ซึ่งได้มาจากข้อมูลพสุธาธา ปี 2545 จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 100 บ่อ (กรม  
 ทรัพยากรน้ำบาดาล, 2545) พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ ไนเตรต โดยนำข้อมูลความเข้มข้น  
 ของไนเตรตมาจัดกลุ่มข้อมูลใหม่ด้วยวิธีการแบ่งช่วงเท่า แบ่งออกเป็น 5 ระดับ และใช้เทคนิคการ  
 ซ้อนทับข้อมูล เพื่อดูความสอดคล้องของระดับความเปรียบางจากทั้ง 2 วิธี กับระดับความเข้มข้น

ของไนเตรต โดยใช้เกณฑ์การให้ความสอดคล้องกันของระดับความแปรปรวนกับระดับความเข้มข้นของไนเตรต ตามการศึกษาของ Ckkraborty *et al.* (2007) (ตารางที่ 18)

**ตารางที่ 18** ความสอดคล้องกันของระดับความแปรปรวนกับระดับความเข้มข้นของไนเตรต

กลุ่มที่	ระดับความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน	ระดับความเข้มข้นของไนเตรต
1	ต่ำ	ต่ำ
2	ต่ำ	ค่อนข้างต่ำ
3	ค่อนข้างต่ำ	ต่ำ
4	ค่อนข้างต่ำ	ค่อนข้างต่ำ
5	ค่อนข้างต่ำ	ปานกลาง
6	ปานกลาง	ค่อนข้างต่ำ
7	ปานกลาง	ปานกลาง
8	ปานกลาง	ค่อนข้างสูง
9	ค่อนข้างสูง	ปานกลาง
10	ค่อนข้างสูง	ค่อนข้างสูง
11	ค่อนข้างสูง	สูง
12	สูง	ค่อนข้างสูง
13	สูง	สูง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Ckkraborty *et al.* (2007)

#### 4. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง (sensitivity analysis) เพื่อตรวจสอบผลกระทบของปัจจัยต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความแปรปรวนรวม เป็นการประเมินความอ่อนไหวของผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นเมื่อค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

#### 4.1 ความอ่อนไหวของค่าดัชนีความแปรปรวน

ความอ่อนไหวของค่าดัชนีความแปรปรวน จะทดสอบโดยการดึงปัจจัยออก 1 ปัจจัย หรือหลายปัจจัย (Lodwick *et al.*, 1990) เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีความแปรปรวนรวม โดยใช้สมการในการวัดความอ่อนไหวตามการศึกษาของ Babiker *et al.* (2005) ดังสมการที่ 10

$$S = \left( \frac{|(V/N) - (V'/n)|}{V} \right) \times 100 \quad (10)$$

เมื่อ  $S$  = ความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีความแปรปรวน

$V$  = ค่าดัชนีความแปรปรวนรวม 7 ปัจจัย

$V'$  = ค่าดัชนีความแปรปรวนของปัจจัยที่ใช้

$N$  = จำนวนปัจจัยที่ใช้คำนวณค่าดัชนีความแปรปรวนรวม

$n$  = จำนวนปัจจัยที่ใช้คำนวณค่าดัชนีความแปรปรวน

#### 4.2 ประสิทธิภาพของการถ่วงน้ำหนัก

ประสิทธิภาพของการถ่วงน้ำหนัก (effective weight) เป็นการทดสอบความอ่อนไหวของปัจจัย เพื่อดูความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อค่าดัชนีความแปรปรวนที่ได้จากการประเมินว่ามีความสอดคล้องกับการให้ค่าถ่วงน้ำหนักตามแบบจำลองมากน้อยเพียงใด (Napolitano and Fabbri, 1996) การวัดประสิทธิภาพของการถ่วงน้ำหนักจะใช้สมการตามการศึกษาของ Babiker *et al.* (2005) ดังสมการที่ 11

$$W = \left( \frac{P_r P_w}{V} \right) \times 100 \quad (11)$$

เมื่อ  $W$  = ค่าประสิทธิภาพของการถ่วงน้ำหนัก

$P_r$  = ค่าคะแนนของแต่ละปัจจัย

$P_w$  = ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย

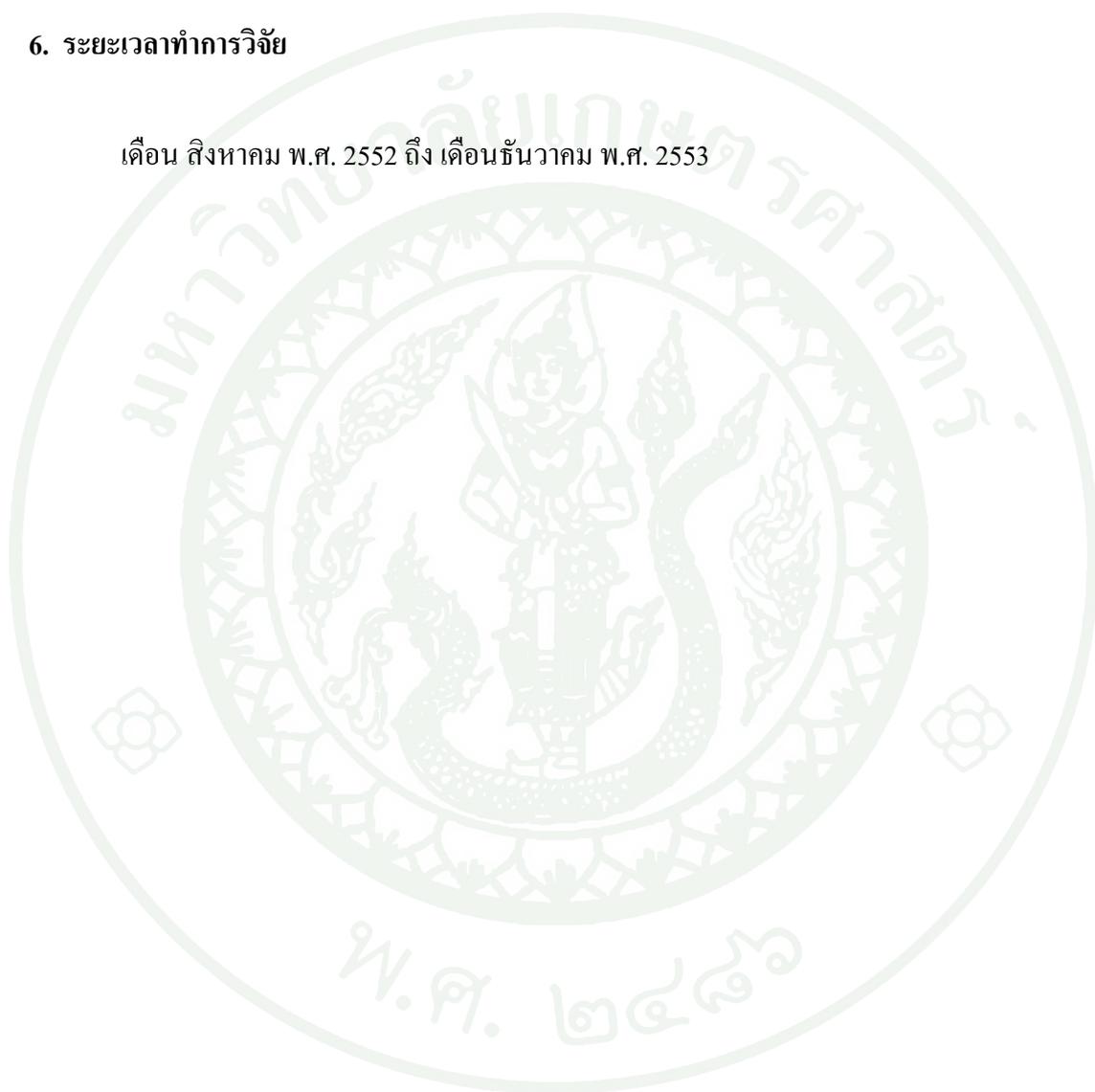
$V$  = ดัชนีความแปรปรวนรวม

## 5. สถานที่ทำการวิจัย

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ อาคารปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ชั้น 8 และ  
อาคารวิทยาศาสตร์ 25 ปี ชั้น 5

## 6. ระยะเวลาทำการวิจัย

เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2552 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553

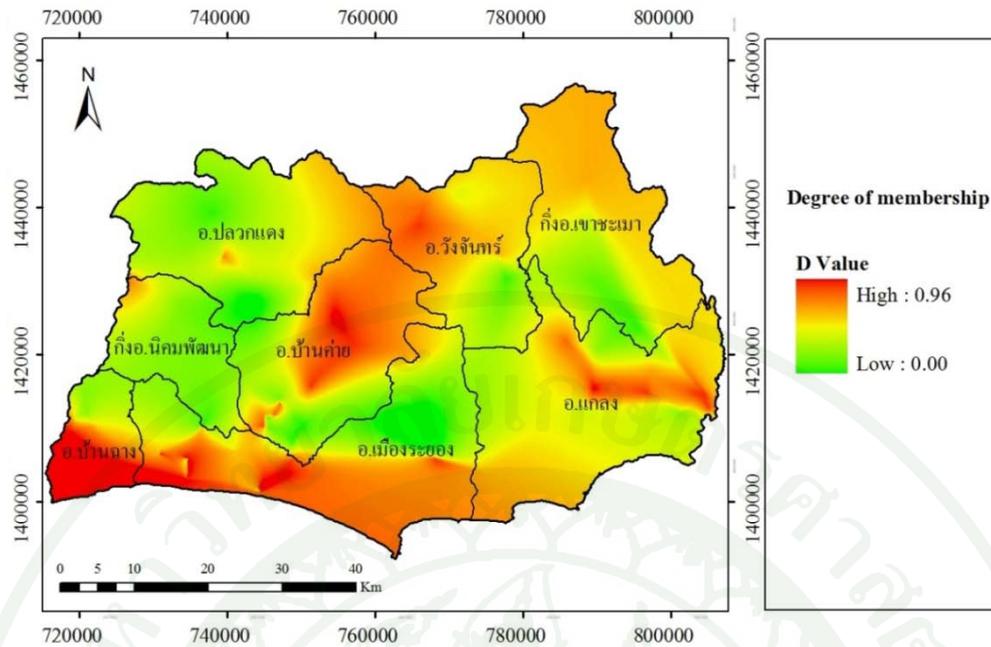


## ผลและวิจารณ์

### 1. การกำหนดค่าคะแนนสำหรับการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน

#### 1.1 ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน (depth to water table, D)

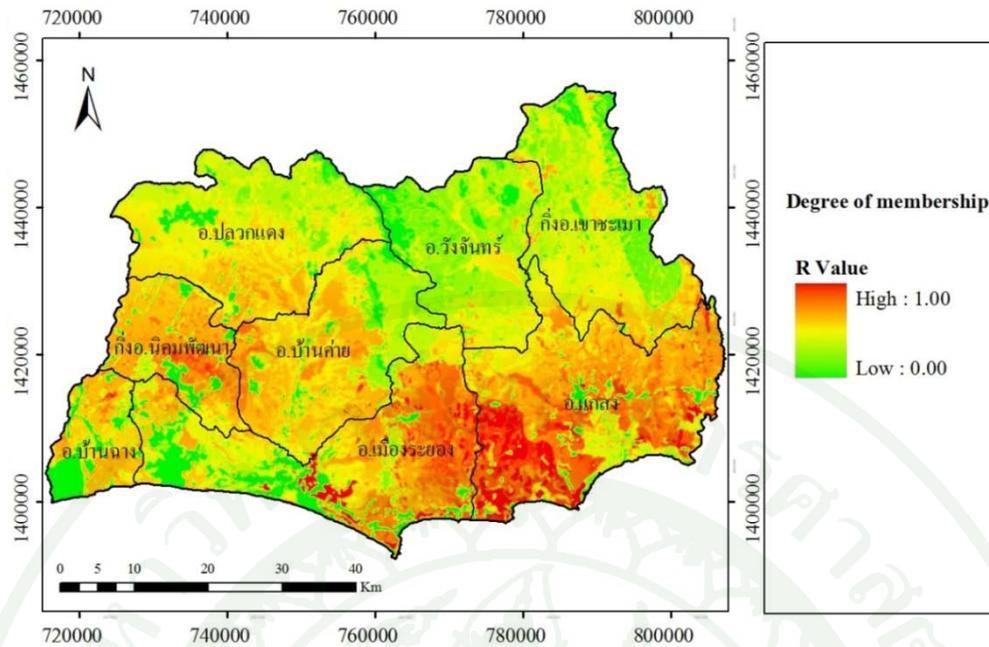
ความลึกของระดับน้ำใต้ดินในการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน แสดงถึง ระยะทางที่มลสารใช้เวลาเดินทางไป ก่อนที่จะถึงระดับน้ำใต้ดิน การคำนวณหาระดับความลึกของระดับน้ำใต้ดินในจังหวัดระยอง จะพิจารณาจากชนิดของชั้นน้ำใต้ดินที่เป็นชั้นน้ำแบบไม่มีแรงดัน ซึ่งค่าความลึกของระดับน้ำจะเท่ากับระยะทางจากผิวดินจนถึงระดับน้ำใต้ดิน หากมีความลึกน้อย แสดงว่ามีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนมากกว่า บริเวณที่มีความลึกมากกว่า ผลที่ได้จากการกำหนดค่าคะแนนด้วยฟิชเชอร์ พบว่า มีระดับความเปราะบางอยู่ในช่วง 0.00 - 0.96 ระดับความเปราะบางเฉลี่ยเท่ากับ 0.74 ดังตารางที่ 19 โดยพื้นที่ที่มีระดับความเปราะบางสูง พบในบริเวณตะกอนน้ำพาของที่ราบลุ่มแม่น้ำระยอง และที่ราบลุ่มน้ำประแสร์ โดยเฉพาะบริเวณริมชายฝั่งทะเล ซึ่งส่วนใหญ่เป็นตะกอนหินร่วนที่มีลักษณะเป็นชั้นทรายชายหาด (beach sand deposits) วางตัวเป็นแนวยาวนานกับชายฝั่งทะเล มีความหนาของชั้นน้ำเฉลี่ยไม่มาก ประมาณ 1 - 3 เมตร (ทวิศักดิ์, 2546) ระดับน้ำใต้ดินที่พบในบริเวณนี้มีความลึกจากผิวดินประมาณ 0.6 - 4 เมตร ส่วนพื้นที่ที่มีระดับความเปราะบางต่ำ พบมากทางด้านตะวันตก เนื่องจากมีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นหินแข็ง ชั้นหินที่ให้น้ำส่วนใหญ่เป็นชั้นน้ำในหินแข็ง โดยมีค่าความลึกของระดับน้ำใต้ดินประมาณ 2 - 10 เมตร ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ผลการกำหนดค่าคะแนนปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดิน

### 1.2 การเพิ่มเติมน้ำสุทธิ (net recharge, R)

การเพิ่มเติมน้ำสุทธิแสดงถึงปริมาณน้ำซึ่งเป็นตัวละลายและนำมลสารลงไปยังชั้นเหนือระดับน้ำใต้ดิน (vadose zone) และจากนั้นจึงลงไปยังชั้นอิมตัวด้วยน้ำ พื้นที่ใดมีการเพิ่มเติมน้ำสุทธิมาก ศักยภาพการเกิดมลพิษในน้ำใต้ดินก็จะมากขึ้น (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551ก) ผลที่ได้จากการกำหนดค่าคะแนนด้วยฟuzzyเซต พบว่า มีระดับความแปรปรวนอยู่ในช่วง 0.00 - 1.00 ระดับความแปรปรวนเฉลี่ยเท่ากับ 0.39 ดังตารางที่ 19 โดยพื้นที่ที่มีระดับความแปรปรวนสูง พบในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูง และมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินทราย หรือดินร่วนปนทราย จึงทำให้สามารถส่งผ่านน้ำ ให้เติมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินได้มาก (Rahman, 2008) ส่วนพื้นที่ที่มีระดับความแปรปรวนต่ำ พบได้ในบริเวณที่มีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทเขตชุมชนและเขตเมือง ซึ่งมีสิ่งปลูกสร้างเป็นชั้นปกคลุมดิน การเพิ่มเติมน้ำสุทธิจึงเกิดขึ้นได้น้อย (Ckkraborty *et al.*, 2007) ดังภาพที่ 13

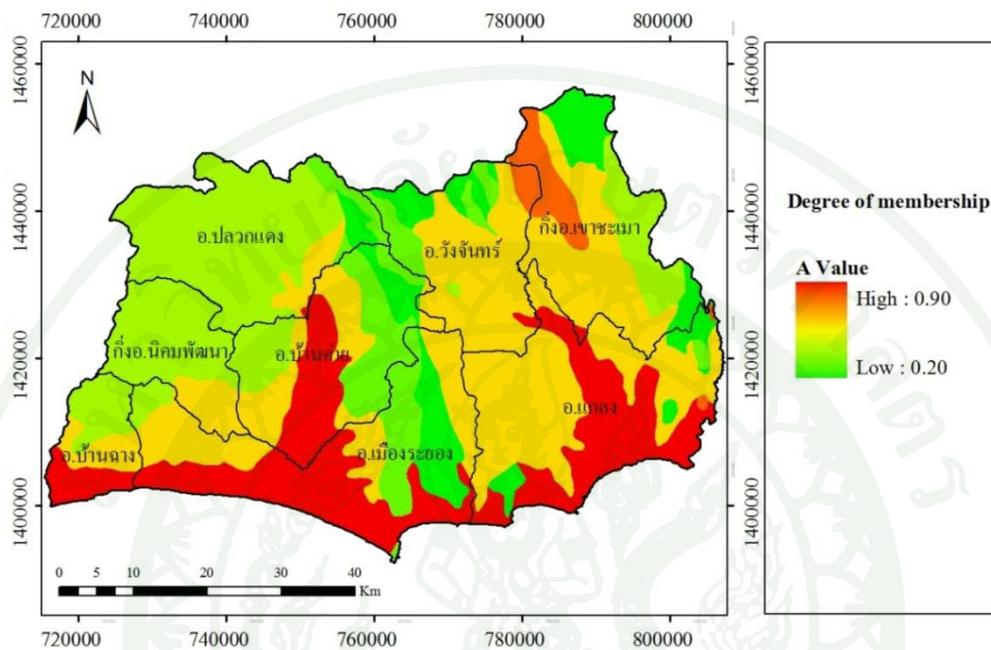


ภาพที่ 13 ผลการกำหนดค่าคะแนนปัจจัยการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ

### 1.3 ชั้นหินอุ้มน้ำ (aquifer media, A)

ลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำจะเป็นตัวกำหนดอัตราการไหลของน้ำใต้ดินและมลสาร ตลอดจนการสลายตัวของมลสารในชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งคุณสมบัติของชั้นหินอุ้มน้ำนั้นจะสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่าน ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถของน้ำหรือมลสารที่จะเคลื่อนที่ได้ในตัวกลางของชั้นหินอุ้มน้ำนั้นๆ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551ก) จังหวัดระยองมีชนิดของชั้นหินอุ้มน้ำ ทั้งที่เป็นชั้นหินแข็ง และชั้นหินร่วน จึงทำให้มีระดับความแปรปรวนของชั้นหินอุ้มน้ำค่อนข้างหลากหลาย ผลที่ได้จากการกำหนดค่าคะแนนด้วยฟuzzyเซต พบว่า มีระดับความแปรปรวนอยู่ในช่วง 0.20 - 0.90 ระดับความแปรปรวนเฉลี่ยเท่ากับ 0.55 ดังตารางที่ 19 โดยพื้นที่ที่มีระดับความแปรปรวนสูง พบในบริเวณแม่น้ำระยอง แม่น้ำประแสร์ และตามแนวชายฝั่งทะเลในจังหวัดระยอง เนื่องจากบริเวณนี้มีชั้นหินอุ้มน้ำในชั้นหินร่วน ได้แก่ ที่ราบตะกอนน้ำพาแม่น้ำระยอง ที่ราบตะกอนน้ำพาแม่น้ำประแสร์ ตะกอนตะพิกล้า น้ำ และทรายชายหาด ซึ่งประกอบไปด้วย กรวด ทราย ดินเหนียว และเศษหิน ที่ผสมกันอย่างไม่ค่อยเป็นระเบียบ (ทวีศักดิ์, 2546) นอกจากนี้ยังพบในบริเวณตอนบนของกิ่งอำเภอเขาชะเมา ซึ่งมีชั้นหินอุ้มน้ำเป็นหินปูนที่มีโพรงหรือรอยแตก ทำให้การเคลื่อนที่ของมลสารลงไปสู่ชั้นน้ำใต้ดินได้ในปริมาณมาก (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551ก) ส่วนพื้นที่ที่มีระดับความแปรปรวนต่ำ พบมากในบริเวณของอำเภอเมืองระยอง

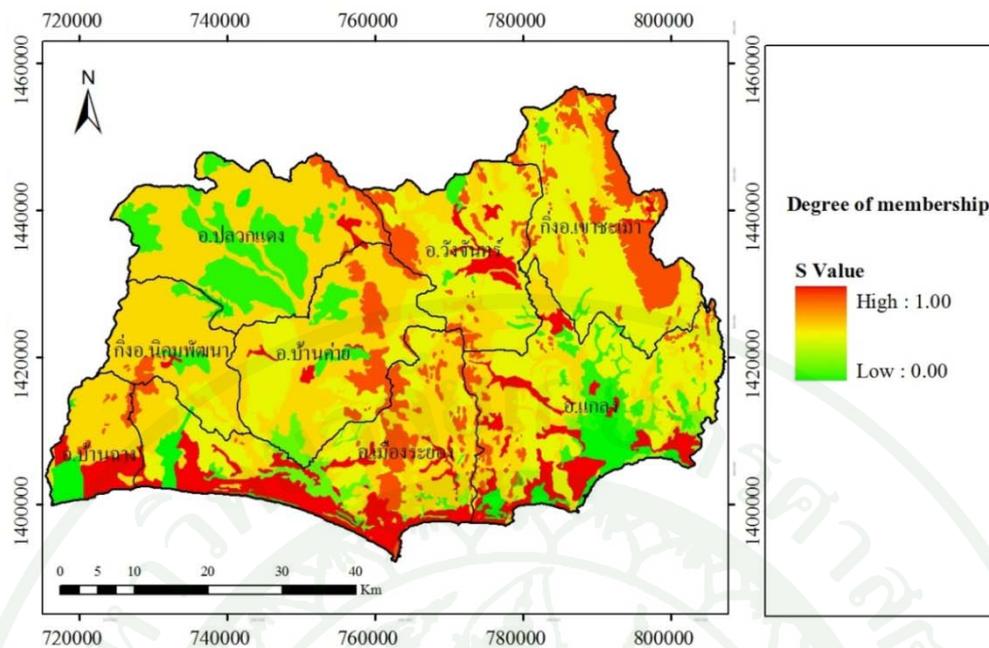
และอำเภอบ้านค่าย มีลักษณะชั้นหินอุ้มน้ำเป็นชั้นน้ำหินไนส์ ซึ่งเป็นชั้นหินแข็ง โดยชั้นน้ำหินไนส์ นั้นเป็นหินแปรเกรดสูง มีเนื้อแน่น ทำให้การเคลื่อนที่ของมลสารลงไปสู่ชั้นน้ำใต้ดินเป็นไปได้ยาก ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ผลการกำหนดค่าคะแนนปัจจัยชั้นหินอุ้มน้ำ

1.4 ชนิดดิน (soil media, S)

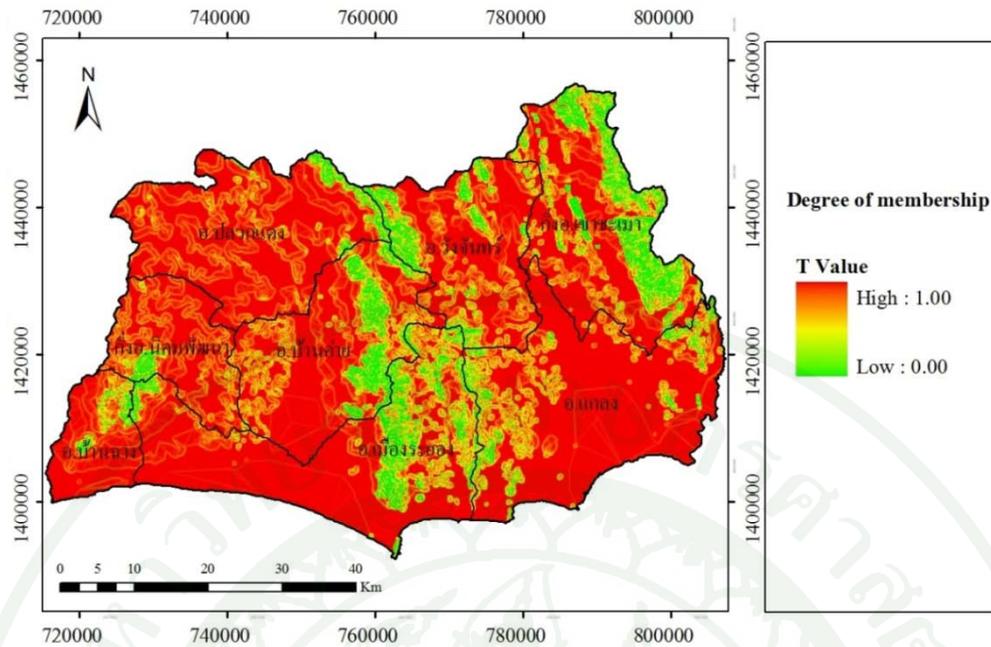
ชนิดดิน มีผลต่อปริมาณน้ำที่สามารถซึมลงสู่ชั้นใต้ดินเป็นอย่างมาก จากการนำข้อมูล ลักษณะของดินที่ได้จากแผนที่กลุ่มชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน (ภาพที่ 7) มากำหนดค่าคะแนนด้วย ฟัซซีเซต ผลที่ได้พบว่า มีระดับความแปรปรวนอยู่ในช่วง 0.00 - 1.00 ระดับความแปรปรวนเฉลี่ย เท่ากับ 0.57 ดังตารางที่ 19 เนื่องมาจากจังหวัดระยอง ส่วนใหญ่มีลักษณะของดินเป็นดินร่วนปนทราย ซึ่งพบกระจายอยู่ทั่วทุกอำเภอ โดยพื้นที่ที่มีระดับความแปรปรวนสูง พบได้ในบริเวณแนวชายฝั่งทะเล ซึ่งมีลักษณะของดินเป็นดินทราย และบริเวณที่เป็นภูเขาสูง ซึ่งเป็นดินภูเขาที่มีลักษณะภูมิประเทศแบบหินแกรนิต โดยหินแกรนิตเมื่อสลายตัว จะให้ดินที่มีเนื้อหยาบ ส่วนพื้นที่ที่มีระดับความแปรปรวนต่ำ พบได้ในบริเวณที่มีลักษณะดินเป็นดินเหนียว เช่น อำเภอปลวกแดง เป็นต้น ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ผลการกำหนดค่าคะแนนปัจจัยชนิดดิน

### 1.5 สภาพภูมิประเทศ (topography, T)

สภาพภูมิประเทศเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อ โอกาสที่มลสารจะลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ผลที่ได้จากการกำหนดค่าคะแนนด้วยฟัซซีเซต พบว่า มีระดับความเปราะบางอยู่ในช่วง 0.00 - 1.00 ระดับความเปราะบางเฉลี่ยเท่ากับ 0.93 ดังตารางที่ 19 โดยพื้นที่ที่มีระดับความเปราะบางสูง พบเป็น ส่วนมากของพื้นที่ศึกษา เนื่องจาก จังหวัดระยองมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบ ได้แก่ บริเวณพื้นที่ริม ชายหาดทะเลอ่าวไทย และพื้นที่ราบระหว่างภูเขาสูง ซึ่งมีความลาดชันในช่วง ร้อยละ 0 - 6 ส่วน พื้นที่ที่มีระดับความเปราะบางต่ำ พบได้ในพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาสูง ได้แก่ พื้นที่ บางส่วนของอำเภอเมืองระยอง อำเภอบ้านฉาง อำเภอบ้านค่าย อำเภอแกลง อำเภอวังจันทร์ กิ่ง อำเภอนิคมพัฒนา และกิ่งอำเภอเขาชะเมา ซึ่งมีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 12 ดังภาพที่ 16

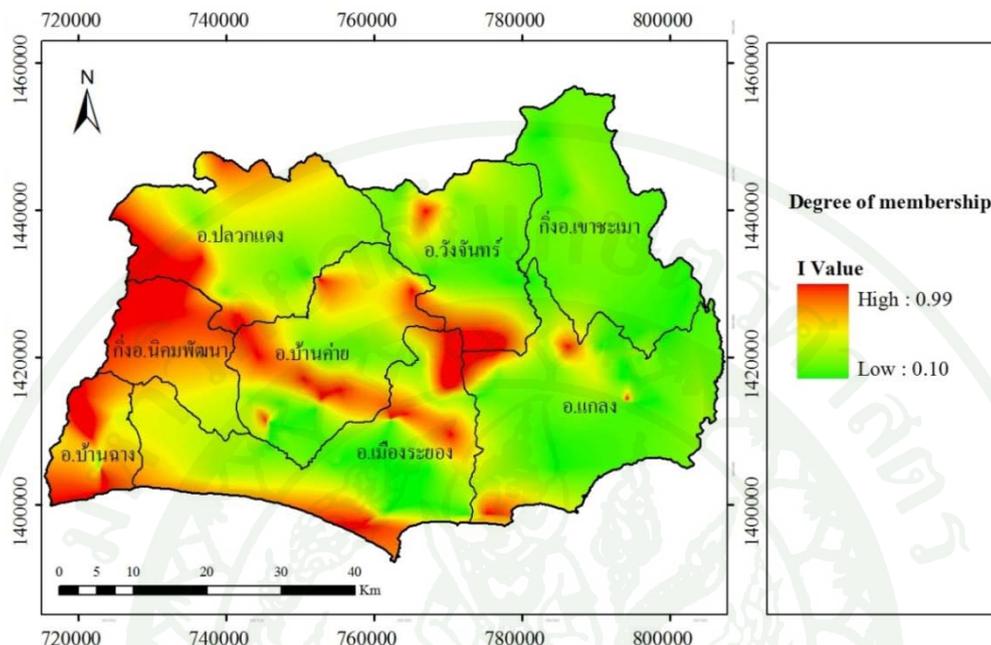


ภาพที่ 16 ผลการกำหนดค่าคะแนนปัจจัยภูมิประเทศ

#### 1.6 ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (impact of vadose zone media, I)

ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ เป็นการพิจารณาสมบัติของวัสดุที่อยู่เหนือชั้นน้ำใต้ดิน โดยการกระจายของมลสารที่จะปนเปื้อนลงไปสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ถูกควบคุมโดยลักษณะของชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วย ตะกอนกรวดทราย เศษหิน และดินทุกชนิดที่อยู่ชั้นใต้ดิน และอยู่เหนือชั้นน้ำใต้ดินขึ้นไป สมบัติของวัสดุชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ จำแนกตามลักษณะทางธรณีวิทยา และอุทกธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551ก) ผลที่ได้จากการกำหนดค่าคะแนนด้วยฟuzzyเซต พบว่ามีระดับความแปรปรวนอยู่ในช่วง 0.10 - 0.99 ระดับความแปรปรวนเฉลี่ยเท่ากับ 0.37 ดังตารางที่ 19 โดยพื้นที่ที่มีระดับความแปรปรวนสูง พบมากทางตะวันตก และบางส่วนของตอนกลางในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ บริเวณอำเภอบ้านฉาง กิ่งอำเภอนิคมพัฒนา อำเภอปลวกแดง และบริเวณรอยต่อระหว่างอำเภอวังจันทร์ถึงอำเภอเมืองระยอง เป็นต้น เนื่องจากพื้นที่บริเวณนี้มีวัสดุเหนือชั้นน้ำใต้ดินที่ประกอบไปด้วยตะกอนทราย กรวดทราย และกรวด ซึ่งเป็นเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ ส่วนพื้นที่ที่มีระดับความแปรปรวนต่ำ พบมากทางตะวันออกและตอนกลางของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ บริเวณอำเภอแกลง อำเภอวังจันทร์ และกิ่งอำเภอเขาชะเมา ซึ่งเป็นบริเวณที่มีวัสดุเหนือชั้นน้ำใต้ดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว โดยดินเหนียวมีความสามารถในการสกัดกั้นการเคลื่อนที่ของมลสาร ดังนั้น

ตัวกลางที่มีปริมาณดินเหนียวสูง จึงถือว่ามีศักยภาพในการปนเปื้อนต่ำ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551ก) ดังภาพที่ 17

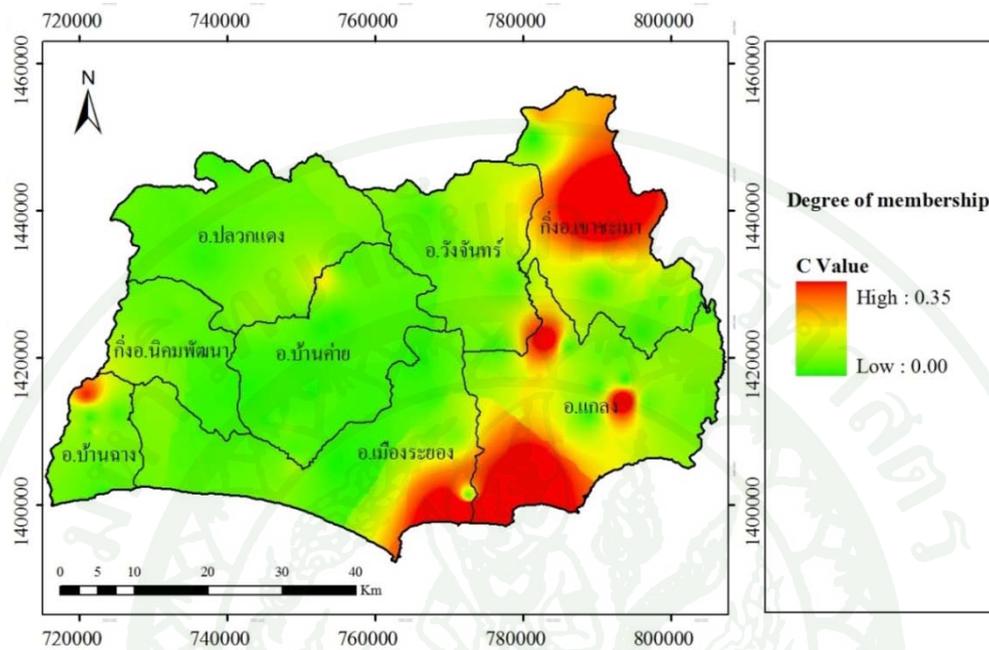


ภาพที่ 17 ผลการกำหนดค่าคะแนนปัจจัยชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

1.7 สัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ (hydraulic conductivity of the aquifer, C)

สัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ เป็นความสามารถของน้ำที่เดินทางผ่านชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่จะไหลเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำ โดยอัตราการไหลของน้ำจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับจำนวนและการเชื่อมต่อของช่องว่างภายในชั้นหินอุ้มน้ำ ผลที่ได้จากการกำหนดค่าคะแนนด้วยฟัซซีเซต พบว่า มีระดับความแปรปรวนอยู่ในช่วง 0.00 - 0.35 ระดับความแปรปรวนเฉลี่ยเท่ากับ 0.04 ดังตารางที่ 19 โดยพื้นที่ที่มีระดับความแปรปรวนสูง พบได้ในบริเวณกิ่งอำเภอเขาชะเมา เนื่องจากบริเวณนี้มีลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำ เป็นหินแกรนิต ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่าน อยู่ในช่วง 1.07 - 13.53 เมตรต่อวัน (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551ก) และบริเวณที่ราบรอบแม่น้ำระยอง เขตรอยต่ออำเภอเมืองระยองกับอำเภอแกลง ซึ่งมีชนิดของชั้นหินอุ้มน้ำเป็นชั้นกรวดและทราย มีค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่าน อยู่ในช่วง 0.05 - 24.57 เมตรต่อวัน (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551ก) ส่วนพื้นที่ที่มีระดับความ

เพราะบางตำ พบเป็นส่วนมากในพื้นที่ศึกษา โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านระหว่าง 0.05 - 3.00 เมตรต่อวัน ดังภาพที่ 18



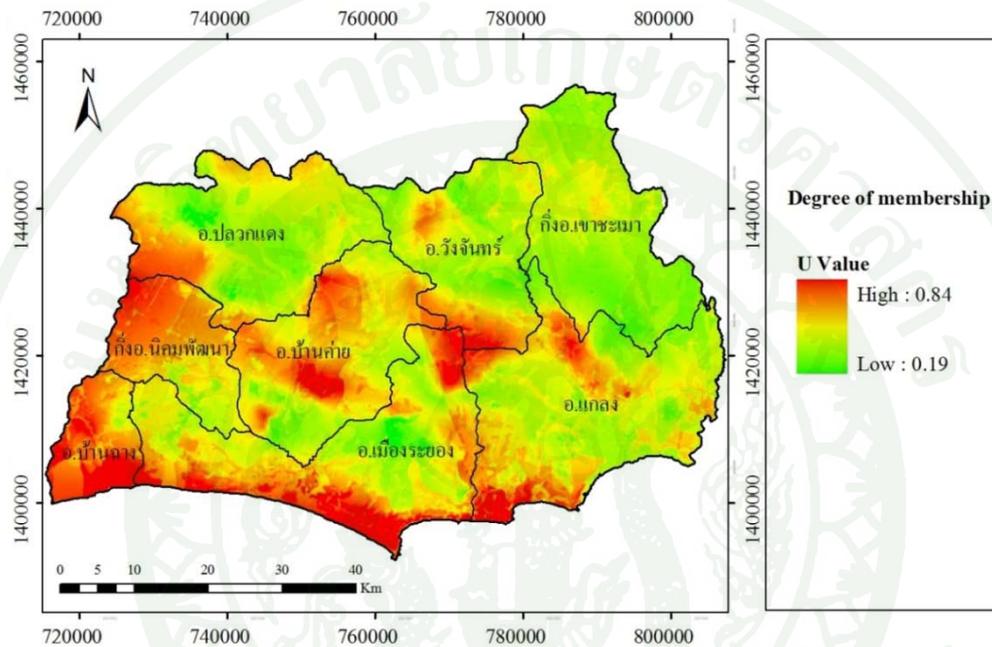
ภาพที่ 18 ผลการกำหนดค่าคะแนนปัจจัยสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ

ตารางที่ 19 ผลการกำหนดค่าคะแนนด้วยฟิชเชอร์ทั้ง 7 ปัจจัย

ปัจจัย	ค่าต่ำสุด (minimum)	ค่าสูงสุด (maximum)	ค่าเฉลี่ย (mean)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)	สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variation)
D	0.00	0.96	0.74	0.09	12.22
R	0.00	1.00	0.39	0.11	28.82
A	0.20	0.90	0.55	0.22	39.33
S	0.00	1.00	0.57	0.25	44.08
T	0.00	1.00	0.93	0.13	13.84
I	0.10	0.99	0.37	0.20	54.90
C	0.00	0.35	0.04	0.04	100.00

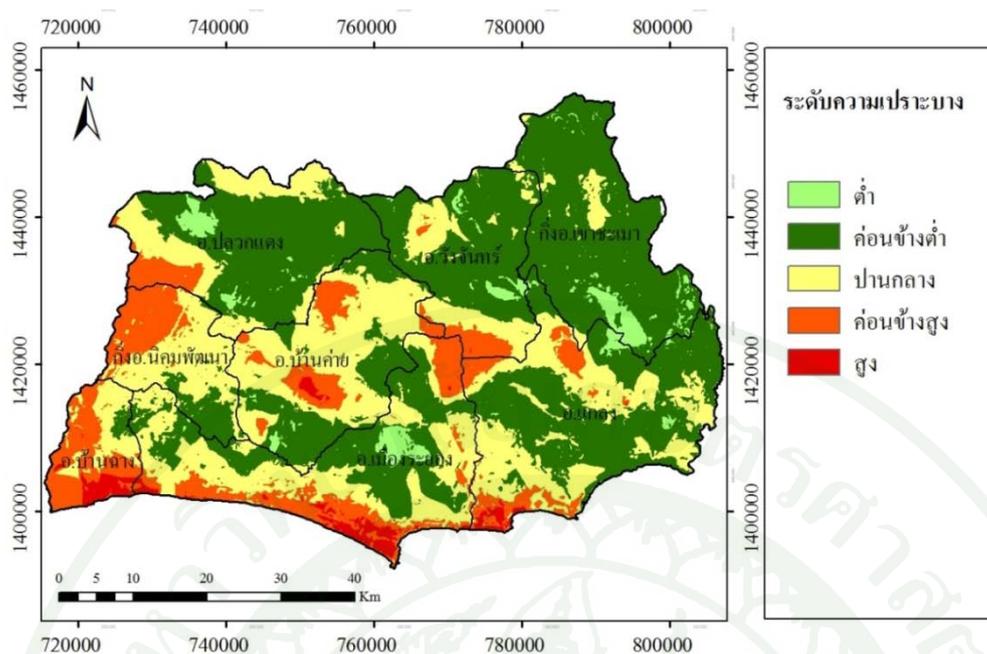
## 2. การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในจังหวัดระยองด้วยฟuzzyเซต

ผลการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนน้ำใต้ดินในจังหวัดระยองด้วยฟuzzyเซต พบว่า มีระดับความเปราะบางอยู่ในช่วง 0.19 - 0.84 ระดับความเปราะบางเฉลี่ยเท่ากับ 0.46 ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ผลการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในจังหวัดระยองด้วยฟuzzyเซต

เมื่อนำมาจัดกลุ่มข้อมูลใหม่ด้วยวิธีการแบ่งช่วงเท่า โดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ตามระดับความเปราะบาง คือ ระดับต่ำ (0.19 - 0.32) ระดับค่อนข้างต่ำ (0.32 - 0.45) ระดับปานกลาง (0.45 - 0.58) ระดับค่อนข้างสูง (0.58 - 0.71) และ ระดับสูง (0.71 - 0.84) แสดงดังภาพที่ 20



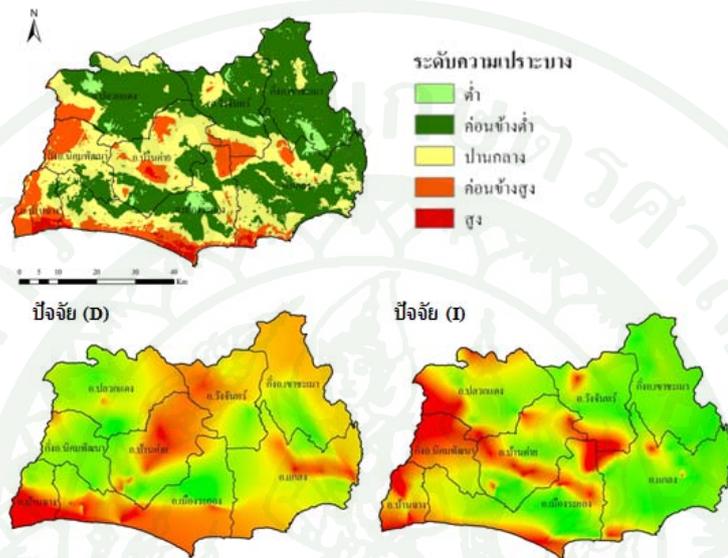
ภาพที่ 20 ระดับความประบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในจังหวัดระยองด้วยพีชชีเซต

จากตารางที่ 20 สรุปได้ว่า ระดับความประบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในจังหวัดระยอง มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 20 ระดับความประบางจากการประเมินด้วยพีชชีเซตและแบบจำลองคราสติก

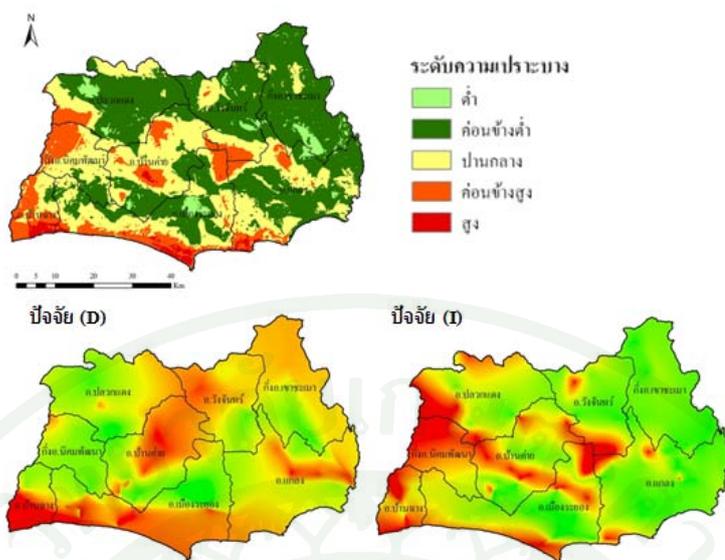
ระดับความประบาง	พีชชีเซต (ตารางกิโลเมตร)	คราสติก (ตารางกิโลเมตร)
ระดับต่ำ	109.41	3.67
ระดับค่อนข้างต่ำ	1,836.58	1,305.78
ระดับปานกลาง	1,197.57	2,054.29
ระดับค่อนข้างสูง	485.14	316.41
ระดับสูง	63.34	11.89
รวม	3,692.04	3,692.04

2.1 ระดับความเปราะบางต่ำ มีพื้นที่เท่ากับ 109.41 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 2.96 พบมากบริเวณกิ่งอำเภอเขาชะเมา อำเภอปลวกแดง และอำเภอเมืองระยอง โดยบริเวณที่มีระดับความเปราะบางต่ำนี้ มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่าบริเวณอื่นๆ และมีวัสดุเหนือชั้นน้ำใต้ดินเป็นดินเหนียว ทำให้มีศักยภาพการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินอยู่ในระดับต่ำ แสดงดังภาพที่ 21



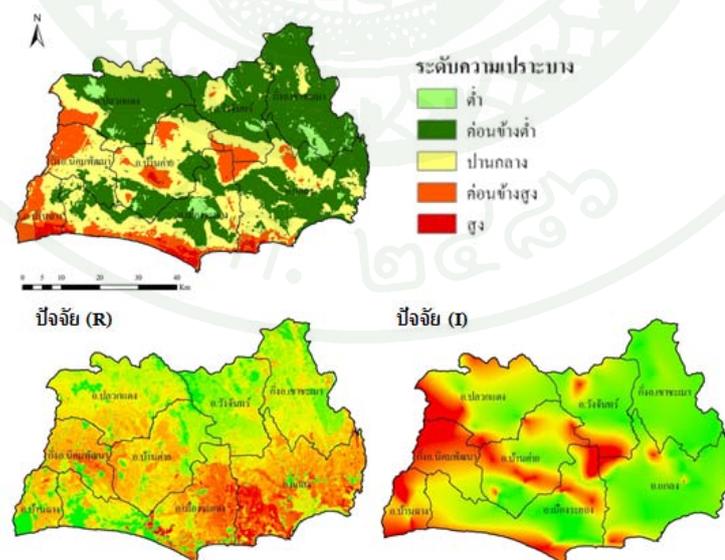
ภาพที่ 21 ระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินต่ำ และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2 ระดับความเปราะบางค่อนข้างต่ำ มีพื้นที่เท่ากับ 1,836.58 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 49.74 เป็นระดับความเปราะบางที่พบมากที่สุดในช่วงของ พบมากบริเวณกิ่งอำเภอเขาชะเมา อำเภอแกลง อำเภอวังจันทร์ อำเภอบ้านค่าย อำเภอปลวกแดง และอำเภอเมืองระยอง โดยบริเวณที่มีระดับความเปราะบางค่อนข้างต่ำนี้ ส่วนใหญ่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ค่อนข้างลึก และมีวัสดุเหนือชั้นน้ำใต้ดินเป็นดินเหนียว ทำให้มีศักยภาพการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ แสดงดังภาพที่ 22



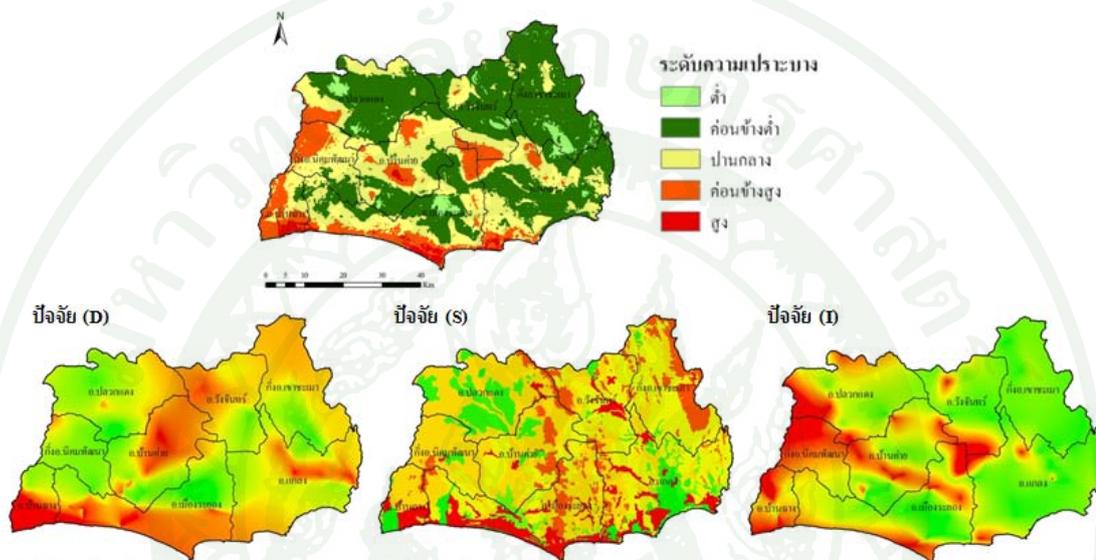
ภาพที่ 22 ระดับความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินค่อนข้างต่ำ และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3 ระดับความแปรปรวนปานกลาง มีพื้นที่เท่ากับ 1,197.57 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 32.44 พบมากรองจากระดับค่อนข้างต่ำ บริเวณที่มีระดับความแปรปรวนปานกลาง ได้แก่พื้นที่ส่วนใหญ่ของกิ่งอำเภอนิคมน้ำจืด อำเภอแกลง อำเภอบ้านค่าย และอำเภอเมืองระยอง ซึ่งเป็นผลมาจากวัสดุเหนือชั้นน้ำใต้ดินเป็นกรวด หินทราย ประกอบกับการเพิ่มเติมน้ำสุทธิตั้งสูงขึ้นไป ทำให้มีศักยภาพการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินอยู่ในระดับปานกลาง แสดงดังภาพที่ 23



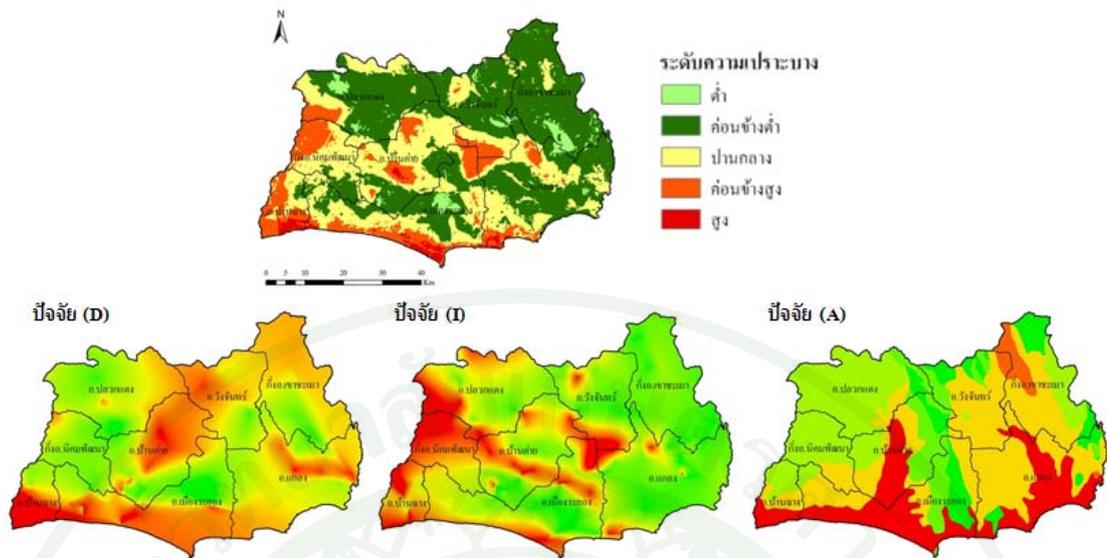
ภาพที่ 23 ระดับความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินปานกลาง และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4 ระดับความเปราะบางค่อนข้างสูง มีพื้นที่เท่ากับ 485.14 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 13.14 พบมากบริเวณกิ่งอำเภอนิคมพัฒนา อำเภอบ้านค่าย อำเภอบ้านฉาง และอำเภอเมืองระยอง โดยบริเวณที่มีระดับความเปราะบางค่อนข้างสูงนี้ เนื่องจากมีระดับน้ำใต้ดินตื้น ประกอบกับ ลักษณะของดินซึ่งเป็นดินทราย ดินร่วนปนทราย และมีวัสดุเหนือชั้นน้ำใต้ดินเป็นกรวด ทราย ทำให้มีศักยภาพการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินอยู่ในระดับค่อนข้างสูง แสดงดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินค่อนข้างสูง และปิจจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5 ระดับความเปราะบางสูง มีพื้นที่เท่ากับ 63.34 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 1.72 พบมากบริเวณ อำเภอแกลง อำเภอบ้านค่าย อำเภอบ้านฉาง และอำเภอเมืองระยอง โดยบริเวณที่มีระดับความเปราะบางสูงนี้ เป็นที่ราบตะกอนน้ำพา ตะกอนส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรวดทราย มีวัสดุเหนือชั้นน้ำใต้ดินเป็นกรวด ทราย และมีระดับน้ำใต้ดินตื้น ซึ่งปิจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลทำให้มีศักยภาพการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินอยู่ในระดับสูงเมื่อเทียบกับพื้นที่อื่น แสดงดังภาพที่ 25

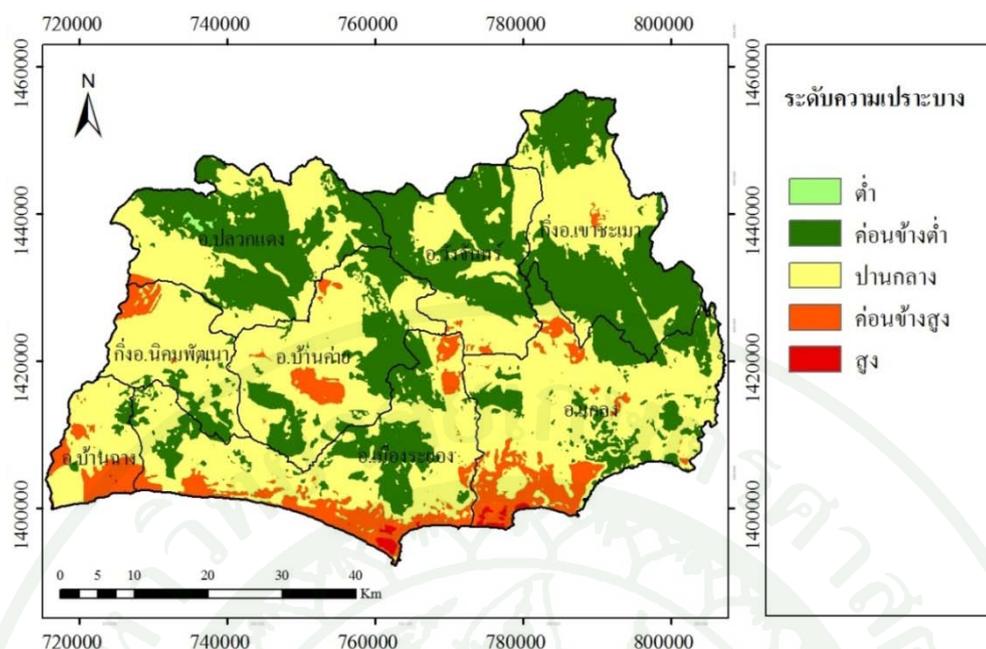


ภาพที่ 25 ระดับความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินสูง และปิจจัยที่เกี่ยวข้อง

### 3. การเปรียบเทียบความสอดคล้องการประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน

#### 3.1 การเปรียบเทียบการประเมินความแปรปรวนด้วยฟิซซีเซตกับแบบจำลองคราสติก

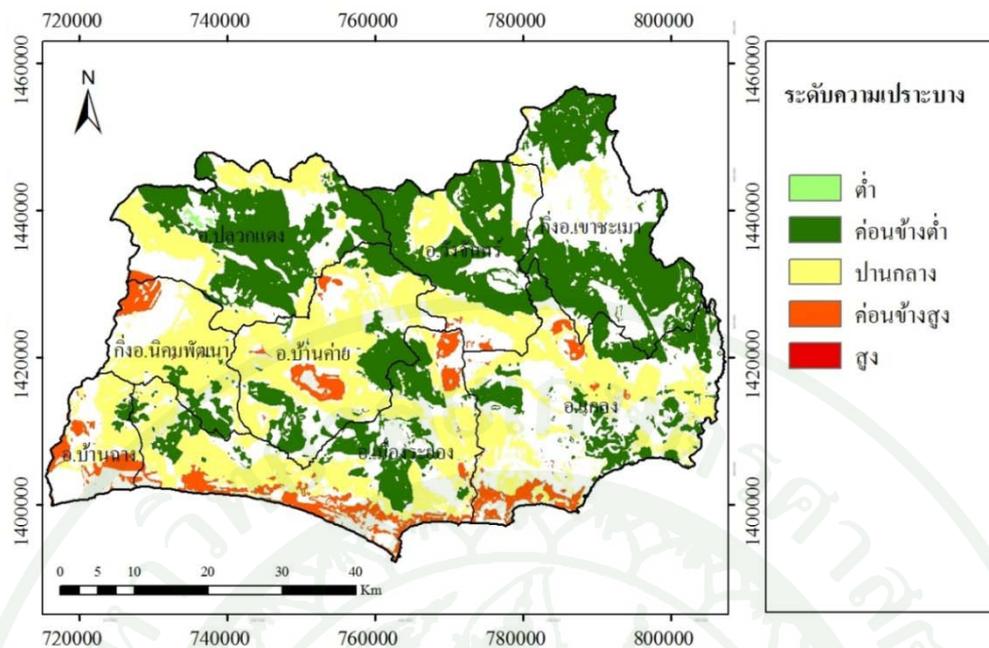
แผนที่ความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน เป็นแผนที่แสดงศักยภาพในเชิงเปรียบเทียบสำหรับการให้มลสารต่างๆ จากผิวดินซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินของแต่ละพื้นที่ ผลการประเมินความแปรปรวนด้วยฟิซซีเซตถูกเปรียบเทียบกับ แผนที่ความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในจังหวัดระยองที่ศึกษาด้วยแบบจำลองคราสติก ซึ่งจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีการแบ่งช่วงเท่า โดยมีระดับความแปรปรวน 5 ระดับ คือ ต่ำ (60 - 90) ค่อนข้างต่ำ (91 - 120) ปานกลาง (121 - 150) ค่อนข้างสูง (151 - 180) และสูง (181 - 210) แสดงดังภาพที่ 26 และ ตารางที่ 20



ภาพที่ 26 ระดับความประบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในจังหวัดระยองด้วยแบบจำลอง  
คราสติก

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2552)

ผลการเปรียบเทียบระดับความประบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินทั้ง 2 วิธี พบว่า มีระดับความประบางที่สอดคล้องกัน คือ กลุ่มที่ 1, 4, 8, 13 และ 16 มีพื้นที่ทั้งหมด 2,375.31 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 64.34 และมีระดับความประบางที่ไม่สอดคล้องกัน คือ กลุ่มที่ 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12 และ 14 มีพื้นที่ทั้งหมด 1,316.73 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 36.66 โดยการเปลี่ยนแปลงของระดับความประบางที่มากที่สุด คือ กลุ่มที่ 7 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงจากระดับความประบางปานกลางด้วยแบบจำลองคราสติก เป็นระดับความประบางค่อนข้างต่ำด้วย ฟิชเชอร์ มีพื้นที่ทั้งหมด 715.91 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 19.39 (ตารางที่ 21) พบมากบริเวณ กิ่งอำเภอเขาชะเมา อำเภอปลวกแดง อำเภอแกลง อำเภอวังจันทร์ และเขตติดต่ออำเภอบ้านค่ายกับ อำเภอเมืองระยอง ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงระดับเปรี้ยวต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจากการประเมินทั้ง 2 วิธี

เมื่อนำตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดินทั้งหมด 100 บ่อ จากฐานข้อมูลคุณภาพน้ำใต้ดินของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลมาพิจารณากระดับความเปรี้ยวที่ได้จากทั้ง 2 วิธี พบว่า บ่อน้ำใต้ดินที่มีค่าดัชนีตราสติกและมีค่าคะแนนในทุกปัจจัยเท่ากัน แบ่งได้เป็น 5 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 (บ่อที่ 11 และ 12) มีค่าดัชนีตราสติกเท่ากับ 113 กลุ่มที่ 2 (บ่อที่ 20 และ 21) มีค่าดัชนีตราสติกเท่ากับ 117 กลุ่มที่ 3 (บ่อที่ 31, 32, 34, 35 และ 36) มีค่าดัชนีตราสติกเท่ากับ 123 กลุ่มที่ 4 (บ่อที่ 60 และ 61) มีค่าดัชนีตราสติกเท่ากับ 134 และกลุ่มที่ 5 (บ่อที่ 69 และ 71) มีค่าดัชนีตราสติกเท่ากับ 137 ดังตารางผนวกที่ 1 โดยทั้ง 5 กลุ่มนี้ มีระดับความเปรี้ยวที่ได้จากการประเมินด้วยพีชชีเซตแตกต่างกัน คือ กลุ่มที่ 1 (บ่อที่ 11 และ 12) มีค่าดัชนีพีชชีเซตเท่ากับ 0.33 และ 0.36 กลุ่มที่ 2 (บ่อที่ 20 และ 21) มีค่าดัชนีพีชชีเซตเท่ากับ 0.38 และ 0.40 กลุ่มที่ 3 (บ่อที่ 31, 32, 34, 35 และ 36) มีค่าดัชนีพีชชีเซตเท่ากับ 0.36, 0.38, 0.41, 0.41 และ 0.45 กลุ่มที่ 4 (บ่อที่ 60 และ 61) มีค่าดัชนีพีชชีเซตเท่ากับ 0.40 และ 0.41 และกลุ่มที่ 5 (บ่อที่ 69 และ 71) มีค่าดัชนีพีชชีเซตเท่ากับ 0.47 และ 0.49 ดังตารางผนวกที่ 2

ตารางที่ 21 การเปลี่ยนแปลงระดับความประปรายต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในจังหวัดระยอง

กลุ่มที่	ระดับความประปราย		เนื้อที่ (ตารางกิโลเมตร)
	คราสติก	พีชชีเซต	
1	ต่ำ	ต่ำ	3.64
2	ต่ำ	ค่อนข้างต่ำ	0.03
3	ค่อนข้างต่ำ	ต่ำ	105.65
4	ค่อนข้างต่ำ	ค่อนข้างต่ำ	1,120.30
5	ค่อนข้างต่ำ	ปานกลาง	79.83
6	ปานกลาง	ต่ำ	0.12
7	ปานกลาง	ค่อนข้างต่ำ	715.91
8	ปานกลาง	ปานกลาง	1,047.09
9	ปานกลาง	ค่อนข้างสูง	291.13
10	ปานกลาง	สูง	0.04
11	ค่อนข้างสูง	ค่อนข้างต่ำ	0.34
12	ค่อนข้างสูง	ปานกลาง	70.65
13	ค่อนข้างสูง	ค่อนข้างสูง	193.20
14	ค่อนข้างสูง	สูง	52.22
15	สูง	ค่อนข้างสูง	0.81
16	สูง	สูง	11.08
	รวม		3,692.04

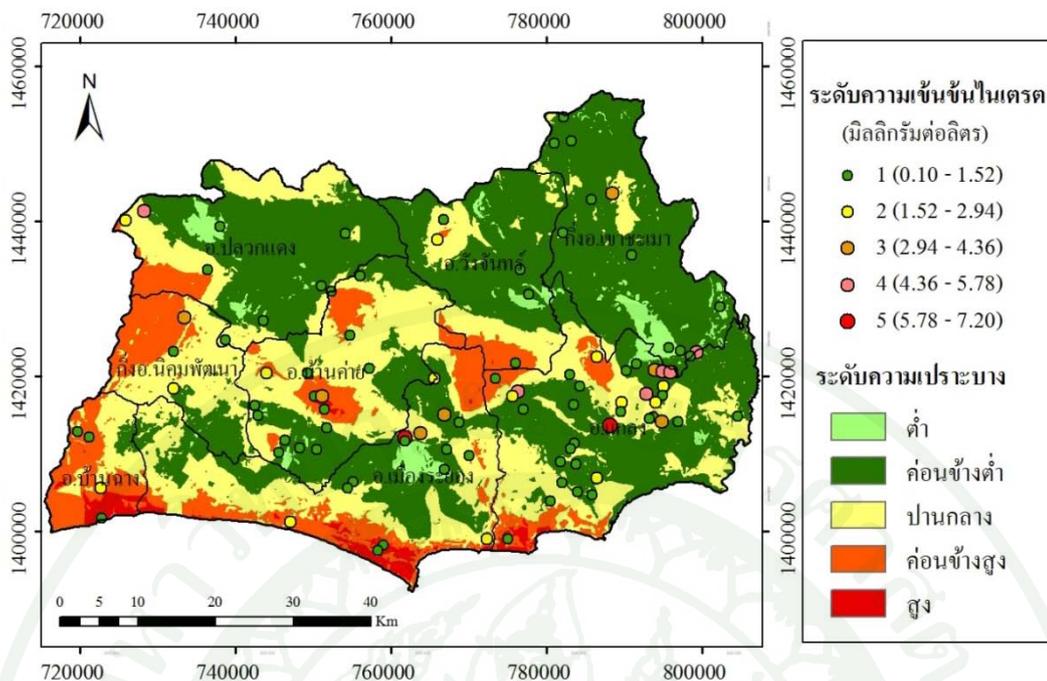
### 3.2 การเปรียบเทียบการประเมินความประปรายกับผลคุณภาพน้ำใต้ดิน

การเปรียบเทียบการประเมินความประปรายต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินระหว่างพีชชีเซตกับแบบจำลองคราสติก โดยใช้ผลความเข้มข้นของไนเตรตที่ได้จากการตรวจวัดในบ่อน้ำใต้ดิน จำนวน 100 บ่อ เป็นตัวทดสอบ โดยนำผลความเข้มข้นของไนเตรตมาจัดกลุ่มด้วยวิธีการแบ่งช่วงเท่า แบ่งออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับ 1 คือ ระดับต่ำ (0.10 - 1.52 มิลลิกรัมต่อลิตร) ระดับ 2 คือ ระดับค่อนข้างต่ำ (1.52 - 2.94 มิลลิกรัมต่อลิตร) ระดับ 3 คือ ระดับปานกลาง (2.94 - 4.36

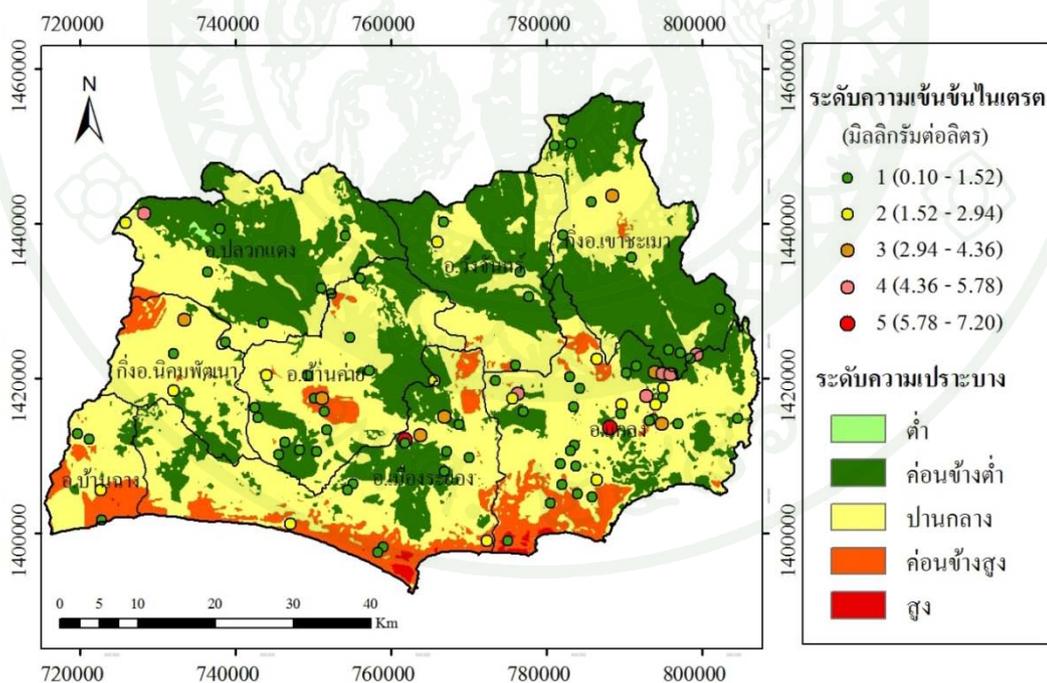
มิลลิกรัมต่อลิตร) ระดับ 4 คือ ระดับค่อนข้างสูง (4.36 - 5.78 มิลลิกรัมต่อลิตร) และระดับ 5 คือ ระดับสูง (5.78 - 7.20 มิลลิกรัมต่อลิตร) จากตารางที่ 22 (รายละเอียดแสดงดังตารางผนวกที่ 1 และ 2) พบว่า ฟิซซีเซตมีความสอดคล้องกับระดับความเข้มข้นของไนเตรตทั้งหมด 56 บ่อ คิดเป็นร้อยละ 56 และแบบจำลองตราสตึกมีความสอดคล้องกับระดับความเข้มข้นของไนเตรตทั้งหมด 39 บ่อ คิดเป็นร้อยละ 39 ดังภาพที่ 28 และ 29 ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Chatchada (2006) ที่พบว่าเทคนิคฟิซซีให้ความแม่นยำร้อยละ 75 มากกว่าแบบจำลองเดิมที่มีความแม่นยำร้อยละ 47

ตารางที่ 22 ความสอดคล้องระหว่างระดับความเปราะบาง กับระดับความเข้มข้นของไนเตรต

กลุ่มที่	ระดับความเปราะบาง		จำนวนบ่อน้ำใต้ดิน (แยกตามระดับไนเตรต)					
	ตราสตึก	ฟิซซีเซต	1	2	3	4	5	รวม
1	ต่ำ	ต่ำ	-	-	-	-	-	-
2	ต่ำ	ค่อนข้างต่ำ	-	-	-	-	-	-
3	ค่อนข้างต่ำ	ต่ำ	4	-	-	-	-	4
4	ค่อนข้างต่ำ	ค่อนข้างต่ำ	10	3	2	4	1	20
5	ค่อนข้างต่ำ	ปานกลาง	1	-	-	-	-	1
6	ปานกลาง	ต่ำ	-	-	-	-	-	-
7	ปานกลาง	ค่อนข้างต่ำ	25	4	1	1	-	31
8	ปานกลาง	ปานกลาง	14	3	2	1	1	21
9	ปานกลาง	ค่อนข้างสูง	5	5	1	-	-	11
10	ปานกลาง	สูง	-	-	-	-	-	-
11	ค่อนข้างสูง	ค่อนข้างต่ำ	-	-	-	-	-	-
12	ค่อนข้างสูง	ปานกลาง	3	-	-	-	-	3
13	ค่อนข้างสูง	ค่อนข้างสูง	3	-	-	-	-	3
14	ค่อนข้างสูง	สูง	5	-	1	-	-	6
15	สูง	ค่อนข้างสูง	-	-	-	-	-	-
16	สูง	สูง	-	-	-	-	-	-
	รวม		70	15	7	6	2	100



ภาพที่ 28 การประเมินความเปรอะบางด้วยพีซีเซตกับระดับความเข้มข้นของไนเตรต



ภาพที่ 29 การประเมินความเปรอะบางด้วยแบบจำลองฟัซซีเซตกับระดับความเข้มข้นของไนเตรต

ความสอดคล้องของการประเมินด้วยพืชซีเซตกับระดับความเข้มข้นของไนเตรต ที่มีมากกว่าการประเมินด้วยแบบจำลองคราสติก พบได้เป็นส่วนใหญ่ (ตารางที่ 22) ทั้งในกลุ่มของระดับความแปรปรวนที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง ได้แก่ กลุ่มที่ 1, 4, 8, 13 และ 16 และในกลุ่มของระดับความแปรปรวนที่มีการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ กลุ่มที่ 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14 และ 15 โดยเฉพาะในกลุ่มที่ 7 ที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับความแปรปรวนมากที่สุด ซึ่งพบว่า พืชซีเซตมีความสอดคล้องกับระดับความเข้มข้นของไนเตรตทั้งหมด 30 บ่อ คิดเป็นร้อยละ 30 ขณะที่แบบจำลองคราสติกมีความสอดคล้องกับระดับความเข้มข้นของไนเตรตทั้งหมด 6 บ่อ คิดเป็นร้อยละ 6 ซึ่งให้เห็นว่า พืชซีเซตเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกว่าแบบจำลองคราสติกในการประเมินความแปรปรวน โดยเฉพาะในกลุ่มของผลการประเมินความแปรปรวนที่แตกต่างกัน

โดยเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความแปรปรวนจากทั้ง 2 วิธี ที่มีความสอดคล้องกับระดับความเข้มข้นของไนเตรต พบว่า ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้ เกิดจากการกำหนดค่าคะแนนแต่ละปัจจัยของทั้ง 2 วิธี (Zhou *et al.*, 1999; Chen and Fu, 2003; Mao *et al.*, 2006) โดยการกำหนดค่าคะแนนตามช่วงค่าในแบบจำลองคราสติก เป็นการนำข้อมูลตั้งต้นมาจัดกลุ่มตามช่วงค่าและให้ค่าคะแนนตามช่วงค่านั้นๆ (Aller *et al.*, 1987) เช่น ปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดิน ในบ่อที่ 32 และ 36 มีค่าคะแนนในปัจจัยเท่ากัน คือ 9 ซึ่งมีช่วงค่าเท่ากับ 1.5 - 4.5 เมตร ขณะที่พืชซีเซตนำค่าความลึกซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.87 และ 2.39 เมตร ตามลำดับ มาปรับฐานให้อยู่ในรูป 0 ถึง 1 (Zhou *et al.*, 1999) ทำให้มีค่าคะแนนที่แตกต่างกัน คือ 0.74 และ 0.84 ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าดัชนีความแปรปรวนมีความแตกต่างกัน โดยบ่อน้ำใต้ดินลำดับที่ 32 และ 36 ซึ่งมีค่าดัชนีคราสติกเท่ากับ 123 (ตารางผนวกที่ 1) ขณะที่ดัชนีพืชซีเซตมีค่าเท่ากับ 0.38 และ 0.45 ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 2) ผลการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่า การกำหนดค่าคะแนน โดยการแบ่งช่วงชั้นของแบบจำลองคราสติก ในบางกรณีอาจยอมให้ความแตกต่างในสภาพทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ ตกอยู่ในช่วงชั้นเดียวกัน ซึ่งอาจไม่สะท้อนอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางอุทกธรณีวิทยานบนความแปรปรวนของน้ำใต้ดินในพื้นที่นั้นได้ (Pathak *et al.*, 2008) ขณะที่การปรับฐานด้วยพืชซีเซตทำให้ผลลัพธ์ในแต่ละปัจจัยมีความละเอียดและเป็นธรรมชาติมากขึ้นกว่าการกำหนดช่วงตามรูปแบบเดิม และสอดคล้องกับความซับซ้อนของการปนเปื้อนน้ำใต้ดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และเวลา (Dixon *et al.*, 2002) จึงสรุปได้ว่าการประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในจังหวัดระยองด้วยพืชซีเซต ทำให้สามารถแยกความแตกต่างของความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าแบบจำลองคราสติก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Mao *et al.*, (2006)

ในส่วนของการตัดสินใจเพื่อวางแผนบริหารจัดการทรัพยากรน้ำใต้ดินซึ่งเป็นแนวทางในการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำใต้ดินนั้น บางครั้งอาจต้องตัดสินใจบนสถานการณ์ที่มีข้อจำกัด เช่น งบประมาณ ระยะเวลา เป็นต้น การพิจารณาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด จึงจำเป็นที่จะต้องข้อมูลประกอบการตัดสินใจที่มีความละเอียดมากขึ้น (Zhou *et al.*, 1999) ดังเช่น บ่อน้ำใต้ดินในลำดับที่ 11 และ 12 ซึ่งมีค่าดัชนีตราสติกเท่ากัน คือ 113 (ตารางผนวกที่ 1) ทำให้เกิดปัญหาในกรณีที่มีความจำเป็นต้องเลือกพื้นที่ในการอนุรักษ์หรือฟื้นฟูบนข้อจำกัดต่างๆ ขณะที่พืชซีเซตสามารถช่วยแก้ปัญหาค่าดัชนีตราสติกนี้ได้ โดยบ่อน้ำใต้ดินที่ควรให้ความสำคัญก่อน คือ บ่อน้ำในลำดับที่ 12 เนื่องจากมีค่าดัชนีพืชซีเซตมากที่สุด คือ 0.36 (ตารางผนวกที่ 2) นอกจากนี้ ยังพบได้ในบ่อน้ำใต้ดินที่มีค่าดัชนีตราสติกที่เท่ากัน ในลำดับอื่นๆ เช่น บ่อน้ำใต้ดินในลำดับที่ 32 และ 36 (มีค่าดัชนีตราสติกเท่ากับ 123) และบ่อน้ำใต้ดินในลำดับที่ 86 และ 87 (มีค่าดัชนีตราสติกเท่ากับ 149) เป็นต้น (ตารางผนวกที่ 1) ผลการศึกษานี้ จึงชี้ให้เห็นว่า พืชซีเซตนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดสินใจ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการวางแผนการจัดการได้ดีกว่าแบบจำลองตราสติก (Uddameri and Honnungar, 2007)

## 5. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

### 5.1 ความอ่อนไหวของค่าดัชนีความเปราะบาง

การวิเคราะห์ความอ่อนไหว เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของค่าคะแนนและค่าน้ำหนักที่ส่งผลกระทบต่อประเมิน เมื่อมีการดัดแปลงที่ใช้ในการประเมิน ผลการทดสอบการดัดแปลง (ตารางที่ 23) พบว่า ปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดิน มีความอ่อนไหวต่อค่าดัชนีความเปราะบางมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 3.36) ซึ่งสอดคล้องกับการกำหนดความสำคัญของปัจจัยในแบบจำลองตราสติก (Aller *et al.*, 1987) โดยความลึกของระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดระยอง ซึ่งเป็นชั้นน้ำแบบไม่มีแรงดัน มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.6 - 12 เมตร และมีความลึกเฉลี่ยเท่ากับ 4 เมตร ทำให้มีระดับความเปราะบางของปัจจัยสูง และมีผลอย่างมากต่อความเปราะบางในพื้นที่ (Napolitano and Fabbri, 1996; Chitsazan and Akhtari, 2009) ขณะที่ปัจจัยที่มีความอ่อนไหวต่อดัชนีความเปราะบางน้อยที่สุด คือ ปัจจัยการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ (ค่าเฉลี่ย 0.50) เนื่องมาจากการเพิ่มเติมน้ำสุทธิในพื้นที่ศึกษา จังหวัดระยองส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างต่ำ (ค่าเฉลี่ย 0.39)

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากการดึงปัจจัยออก 1 ปัจจัย

ปัจจัยที่ถูกดึงออก	ค่าความอ่อนไหว (ร้อยละ)			
	ค่าต่ำสุด (minimum)	ค่าสูงสุด (maximum)	ค่าเฉลี่ย (mean)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)
D	1.13	6.74	3.36	0.83
R	0.00	2.38	0.50	0.41
A	0.00	3.09	0.76	0.49
S	0.00	2.38	0.78	0.57
T	0.17	2.38	1.06	0.23
I	0.00	4.46	1.28	0.81
C	0.50	2.37	2.14	0.24

เมื่อทดสอบการดึงปัจจัย โดยเพิ่มการดึงปัจจัยออก ตามปัจจัยที่มีความอ่อนไหวจากน้อยไปมาก ดังตารางที่ 24 พบว่า ดัชนีความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อดึงปัจจัยการเพิ่มเติมน้ำสุทธออก และมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อมีการดึงปัจจัยในลำดับต่อๆ ไปออก แสดงให้เห็นว่า ในการประเมินความแปรปรวน ควรระมัดระวังหากมีจำนวนปัจจัยที่ใช้ในการประเมินน้อย (Samake *et al.*, 2011) ขณะที่เมื่อดึงปัจจัยสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำออก ทำให้ค่าเฉลี่ยลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Babiker *et al.* (2005) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความผันแปรภายในตัวปัจจัย หรือเกิดจากการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักที่ไม่สามารถเป็นตัวแทนของสภาพพื้นที่จริง นอกจากนี้ การใช้ข้อมูลที่ไม่มีความละเอียด เช่น แผนที่ที่มีมาตราส่วนขนาดเล็ก และการขาดข้อมูลในพื้นที่ศึกษา ล้วนส่งผลต่อความแม่นยำในการประเมิน (Hamza *et al.*, 2007)

ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากการดึงปัจจัยออกหลายปัจจัย

ปัจจัยที่ใช้	ค่าความอ่อนไหว (ร้อยละ)			
	ค่าต่ำสุด (minimum)	ค่าสูงสุด (maximum)	ค่าเฉลี่ย (mean)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)
D, A, S, T, I, C	0.00	2.38	0.50	0.41
D, S, T, I, C	0.00	4.47	1.05	0.74
D, T, I, C	0.00	7.17	1.42	1.05
D, I, C	0.00	12.22	3.33	1.83
D, C	0.00	14.15	3.80	2.49
D	0.00	14.29	2.99	2.45

## 5.2 ประสิทธิภาพของการถ่วงน้ำหนัก

ประสิทธิภาพของการถ่วงน้ำหนัก จะแสดงถึงความสำคัญของทั้ง 7 ปัจจัย ที่มีผลในการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาจังหวัดระยอง การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการถ่วงน้ำหนักนี้ จะวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของน้ำหนักที่ได้จากการประเมินความเปราะบางในพื้นที่ศึกษาจังหวัดระยอง เปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักตามแบบจำลองตราสติก โดยปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการประเมินความเปราะบาง สอดคล้องกับการให้ค่าถ่วงน้ำหนักตามแบบจำลองตราสติกนั้น ควรมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของน้ำหนักมากกว่าค่าถ่วงน้ำหนักที่กำหนดไว้ตามแบบจำลองตราสติก (Babiker *et al.*, 2005)

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการถ่วงน้ำหนักในแต่ละปัจจัย (ตารางที่ 25) พบว่า ปัจจัยที่มีประสิทธิภาพของการถ่วงน้ำหนักสอดคล้องกับถ่วงน้ำหนักตามแบบจำลองตราสติก คือ ปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดิน ชั้นหินอุ้มน้ำ ชนิดดิน และสภาพภูมิประเทศ โดยปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดิน เป็นปัจจัยที่ประสิทธิภาพของการถ่วงค่าน้ำหนักตามแบบจำลองตราสติกมากที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพน้ำหนัก เท่ากับ 34.45 (มากกว่า 21.70) แสดงให้เห็นว่า ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน ชั้นหินอุ้มน้ำ ชนิดดิน สภาพภูมิประเทศ เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญตามแบบจำลอง

ตราสติก ที่เป็นตัวควบคุมความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดระยอง สอดคล้องกับการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551ก) ที่สรุปว่า ความแปรปรวนของชั้นน้ำใต้ดินในจังหวัดระยอง แปรผันไปตามความหนาของชั้นปิดทับและสมบัติของชั้นปิดทับน้ำใต้ดินเป็นหลัก ขณะที่ ปัจจัยการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ และสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งมีประสิทธิผลของการถ่วงน้ำหนักน้อยกว่าค่าถ่วงน้ำหนักที่ถูกกำหนดตามแบบจำลองตราสติก โดยเฉพาะปัจจัยสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำ ที่มีค่าประสิทธิผลน้ำหนัก เท่ากับ 1.43 (น้อยกว่า 13.00) แสดงให้เห็นว่า ระดับความแปรปรวนของปัจจัย ที่ส่งผลต่อค่าดัชนีรวม เกิดขึ้นจากความแปรผันของค่าคะแนนในปัจจัย (Babiker *et al.*, 2005) มากกว่าการกำหนดค่าน้ำหนักตามแบบจำลองตราสติก ทำให้ประสิทธิผลของน้ำหนักที่ได้จริง มีค่าน้อยกว่าค่าถ่วงน้ำหนักที่กำหนดไว้ในแบบจำลองตราสติก ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าในการพิจารณาการประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในจังหวัดระยอง ควรให้ความสำคัญกับความละเอียด ความถูกต้อง และการเป็นตัวแทนที่ดีของปัจจัยที่นำมาใช้ในการประเมิน (Hamza *et al.*, 2007; Zhaohui and Kabera, 2008) นอกจากนี้ ควรระมัดระวังในการเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับแต่ละปัจจัย (Terdsak, 2006)

ตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิผลของการถ่วงน้ำหนัก

ปัจจัย	ค่าน้ำหนักตราสติก (ร้อยละ)	ประสิทธิผลน้ำหนัก (ร้อยละ)			
		ค่าเฉลี่ย (mean)	ค่าต่ำสุด (minimum)	ค่าสูงสุด (maximum)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)
D	21.70	34.45	0.00	54.71	4.99
R	17.40	13.87	0.00	28.52	3.84
A	13.00	14.96	3.99	32.82	5.37
S	8.70	10.72	0.00	24.43	4.55
T	4.30	7.92	0.00	13.26	1.39
I	21.70	16.66	3.90	41.08	7.98
C	13.00	1.43	0.08	11.27	1.43

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้พีชชีเซตในการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในจังหวัดระยอง โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 7 ปัจจัย ประกอบไปด้วย ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน การเพิ่มเติมน้ำสุทธิตั้งหินอุ้มน้ำ ชนิดดิน สภาพภูมิประเทศ ชั้นที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ และสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านของของชั้นหินอุ้มน้ำ โดยเปรียบเทียบกับผลการประเมินกับแบบจำลองคราสติก และตรวจสอบความสอดคล้องกับผลการตรวจวัดในพื้นที่

ผลการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในจังหวัดระยองด้วยพีชชีเซตพบว่า มีระดับความเปราะบาง 5 ระดับคือ ระดับความเปราะบางต่ำ (0.19 - 0.32) มีพื้นที่เท่ากับ 109.41 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 2.96 พบมากบริเวณกิ่งอำเภอเขาชะเมา อำเภอปลวกแดง อำเภอเมืองระยอง ซึ่งบริเวณนี้มีระดับความลึกของน้ำใต้ดินลึกกว่าบริเวณอื่นๆ และมีวัสดุเหนือชั้นน้ำใต้ดินเป็นดินเหนียว ทำให้มีศักยภาพการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินอยู่ในระดับต่ำ ระดับความเปราะบางค่อนข้างต่ำ (0.32 - 0.45) มีพื้นที่เท่ากับ 1,836.58 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น ร้อยละ 49.74 เป็นระดับความเปราะบางที่พบมากที่สุด ในจังหวัดระยอง พบมากบริเวณ กิ่งอำเภอเขาชะเมา อำเภอแกลง อำเภอวังจันทร์ อำเภอบ้านค่าย อำเภอปลวกแดง อำเภอเมืองระยอง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีวัสดุเหนือชั้นน้ำใต้ดินเป็นดินเหนียว และมีระดับความลึกของน้ำใต้ดินอยู่ในระดับค่อนข้างลึก ระดับความเปราะบางปานกลาง (0.45 - 0.58) มีพื้นที่เท่ากับ 1,197.57 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 32.44 เป็นระดับความเปราะบางที่พบรองจากระดับค่อนข้างต่ำ พบได้ในพื้นที่ส่วนใหญ่ของ กิ่งอำเภอนิคมน้ำจืด อำเภอแกลง อำเภอบ้านค่าย อำเภอเมืองระยอง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีวัสดุเหนือชั้นน้ำใต้ดินที่มีลักษณะเป็นกรวด ทราย ประกอบกับในบางพื้นที่มีการเพิ่มเติมน้ำสุทธิสูงขึ้น ระดับความเปราะบางค่อนข้างสูง (0.58 - 0.71) มีพื้นที่เท่ากับ 485.14 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 13.14 พบมากบริเวณ กิ่งอำเภอนิคมน้ำจืด อำเภอบ้านค่าย อำเภอเมืองระยอง เนื่องจากบริเวณนี้มีระดับน้ำใต้ดินตื้น ประกอบกับลักษณะของดินซึ่งเป็นดินทราย ดินร่วนปนทราย และมีวัสดุเหนือชั้นน้ำใต้ดินที่มีลักษณะเป็นกรวด ทราย และ ระดับความเปราะบางสูง (0.71 - 0.84) มีพื้นที่เท่ากับ 63.34 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 1.72 พบมากบริเวณ อำเภอแกลง อำเภอบ้านค่าย อำเภอเมืองระยอง โดยบริเวณนี้ เป็นที่ราบตะกอนน้ำพา ตะกอนส่วนใหญ่ ประกอบด้วย กรวดทราย วัสดุเหนือชั้นน้ำใต้ดินที่มีลักษณะเป็นกรวด ทราย มีระดับน้ำใต้ดินตื้น

ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลทำให้มีศักยภาพการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินอยู่ในระดับสูงเมื่อเทียบกับพื้นที่อื่น

จากการเปรียบเทียบระดับความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ทั้ง 2 วิธี พบว่าระดับความเปราะบางที่สอดคล้องกัน มีพื้นที่ทั้งหมด 2,375.31 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 64.34 และระดับความเปราะบางที่ไม่สอดคล้องกันในระดับสูงถึงต่ำ มีพื้นที่ทั้งหมด 1,316.73 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 36.66 โดยการเปลี่ยนแปลงของระดับความเปราะบางที่มากที่สุด คือ การเปลี่ยนแปลงจากระดับความเปราะบางปานกลางด้วยแบบจำลองคราสติก เป็นระดับความเปราะบางค่อนข้างต่ำด้วยฟิชเชอร์ มีพื้นที่ทั้งหมด 715.91 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 19.39 พบมากบริเวณ กิ่งอำเภอเขาชะเมา อำเภอปลวกแดง อำเภอแกลง อำเภอวังจันทร์ และเขตติดต่ออำเภอบ้านค่ายกับอำเภอเมืองระยอง

ผลการเปรียบเทียบการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินระหว่างฟิชเชอร์กับแบบจำลองคราสติก โดยใช้ผลความเข้มข้นของไนเตรตที่ได้จากข้อมูลคุณภาพน้ำใต้ดิน พบว่า การประเมินความเปราะบางด้วยฟิชเชอร์มีความสอดคล้องกับระดับความเข้มข้นของไนเตรตทั้งหมด 56 บ่อ คิดเป็นร้อยละ 56 ขณะที่การประเมินความเปราะบางด้วยแบบจำลองคราสติกมีความสอดคล้องกับระดับความเข้มข้นของไนเตรตทั้งหมด 39 บ่อ คิดเป็นร้อยละ 39 เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความเปราะบางจากทั้ง 2 วิธี พบว่า มีความแตกต่างกัน เนื่องจาก การกำหนดค่าคะแนนแต่ละปัจจัยของทั้ง 2 วิธี โดยการนำข้อมูลตั้งต้นมาปรับฐานให้อยู่ในรูป 0 ถึง 1 ตามหลักฟิชเชอร์ ทำให้ผลลัพธ์ในแต่ละปัจจัยที่มีความละเอียดและเป็นธรรมชาติมากขึ้นกว่าการกำหนดช่วงตามรูปแบบเดิม และสอดคล้องกับความซับซ้อนของการปนเปื้อนน้ำใต้ดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และเวลา ดังนั้น การประเมินความเปราะบางด้วยฟิชเชอร์ในจังหวัดระยอง จึงทำให้สามารถแยกความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าแบบจำลองคราสติก และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดสินใจ บนสถานการณ์ที่มีข้อจำกัด เช่น งบประมาณ ระยะเวลา เป็นต้น

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของค่าคะแนนและค่าน้ำหนักที่ส่งผลต่อการประเมิน พบว่า ปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดินมีความอ่อนไหวต่อค่าดัชนีความเปราะบางมากที่สุด เนื่องจากในพื้นที่จังหวัดระยอง เป็นชั้นน้ำแบบไม่มีแรงดัน ซึ่งมีระดับความลึกของน้ำใต้ดินไม่มาก ทำให้มีระดับความเปราะบางของปัจจัยสูง และส่งผลต่อค่าดัชนี

ความแปรปรวนรวม ซึ่งยืนยันผลได้จากการทดสอบประสิทธิผลของการถ่วงน้ำหนัก เปรียบเทียบกับการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักตามแบบจำลองคราสติก ซึ่งพบว่า ปัจจัยความลึกของระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาจังหวัดระยองนั้น มีประสิทธิผลมากที่สุด ขณะที่ปัจจัยการเพิ่มเติมน้ำสุทธีในพื้นที่จังหวัดระยอง มีความอ่อนไหวต่อค่าดัชนีความแปรปรวนรวมน้อยที่สุด เนื่องจากระดับความแปรปรวนของปัจจัยต่ำ และมีความแปรผันของปัจจัยน้อย ซึ่งแตกต่างจากปัจจัยสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านในชั้นหินอุ้มน้ำ ที่แม้ว่าจะมีระดับความแปรปรวนของปัจจัยต่ำที่สุด แต่กลับมีผลต่อค่าดัชนีความแปรปรวนรวม ทั้งนี้ เนื่องจากมีความแปรผันของปัจจัยสูง ทำให้ส่งผลต่อดัชนีความแปรปรวนรวม และจากการทดสอบประสิทธิผลของการถ่วงน้ำหนักเห็นได้ชัดว่า ไม่สอดคล้องกับการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักตามแบบจำลองคราสติก ดังนั้น การพิจารณาการประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินในจังหวัดระยอง จึงควรให้ความสำคัญกับความละเอียด ความถูกต้อง และการเป็นตัวแทนที่ดีของปัจจัยที่นำมาใช้ในการประเมิน นอกจากนี้ ควรระมัดระวังในการเลือกใช้ข้อมูลให้เหมาะสมกับแต่ละปัจจัยด้วย

#### ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้เป็นการประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นความแตกต่างกันของสภาพทางอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษาจังหวัดระยอง ไม่รวมถึงขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินทั้งหมด ผลที่ได้จากการประเมินจึงไม่สามารถชี้วัดความเสี่ยงของพื้นที่ได้ทั้งหมด
2. ปัจจัยที่ใช้ในการประเมินบางปัจจัย มีข้อจำกัด เช่น ความละเอียด ความทันสมัย เป็นต้น หากมีการปรับปรุงในส่วนนี้ ก็จะทำให้ผลการประเมินมีความแม่นยำมากขึ้น
3. การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักในแบบจำลองคราสติกนั้น ได้แบ่งตามประเภทของสารมลพิษซึ่งพิจารณาโดยผู้เชี่ยวชาญ แต่จากผลการศึกษาพบว่า บางปัจจัยไม่สอดคล้องกับการให้ค่าถ่วงน้ำหนักตามแบบจำลอง ดังนั้น ในการศึกษาครั้งต่อไป อาจใช้วิธีการให้ค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม เพื่อให้ผลการประเมินมีความแม่นยำสอดคล้องกับลักษณะของสารมลพิษนั้นๆ

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2553. มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค. **PCD: Water quality standards**. แหล่งที่มา: [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/reg\\_std\\_water01.html](http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water01.html), 29 ธันวาคม 2553.
- กรมทรัพยากรธรณี. 2542ก. **แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย**. (ไฟล์ข้อมูล). กรมทรัพยากรธรณี.
- \_\_\_\_\_. 2542ข. ทรัพยากรแร่. **รายงานประจำปี 2542**, รายงานวิชาการ ฉบับที่ กผ. 7/2542.
- \_\_\_\_\_. 2542ค. **ธรณีวิทยาประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ.
- \_\_\_\_\_. 2551ก. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการประเมินศักยภาพด้านคุณภาพน้ำบาดาล วางระบบติดตามการปนเปื้อน และวางแผนรายละเอียดการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี.
- \_\_\_\_\_. 2551ข. รายงานฉบับสมบูรณ์ เล่มที่ 9/10 ชุดคู่มือการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล.
- \_\_\_\_\_. 2552. **ฐานข้อมูลสารสนเทศกิตติศาสตร์** โครงการประเมินศักยภาพด้านคุณภาพน้ำบาดาล วางระบบติดตามการปนเปื้อน และวางแผนรายละเอียดการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี. (ไฟล์ข้อมูล). กรมทรัพยากรน้ำบาดาล.
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2545. **ฐานข้อมูลพสุธารา**. (ไฟล์ข้อมูล). กรมทรัพยากรน้ำบาดาล.
- \_\_\_\_\_. 2553. **ข้อมูลบ่อน้ำบาดาลเอกชนในจังหวัดระยอง 2549**. แหล่งที่มา: <http://www.dgr.go.th>, 29 สิงหาคม 2553
- กรมแผนที่ทหาร. ม.ป.ป. **แผนที่ลักษณะภูมิประเทศ**.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2545. **ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์จังหวัดระยอง.** (ไฟล์ข้อมูล). กรมพัฒนา  
ที่ดิน.

\_\_\_\_\_. 2553. **ข้อมูลดิน. ดินและพัฒนาการด้านการสำรวจจำแนกดินของประเทศไทย.**  
แหล่งที่มา: [http://oss101.idd.go.th/survey\\_1/DATA\\_gr1.htm](http://oss101.idd.go.th/survey_1/DATA_gr1.htm), 5 ตุลาคม 2553.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2549. **ข้อมูลสภาพภูมิอากาศในคาบ 30 ปี ของจังหวัดระยอง.** (ไฟล์ข้อมูล). กรม  
อุตุนิยมวิทยา.

กิริติ ลีวัจนกุล. ม.ป.ป. **อุทกวิทยา. SPEC, ปทุมธานี.**

แก้ว นวลฉวี และสุภัค วงษ์ปาน. 2536. **ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม  
ด้วยคอมพิวเตอร์.** สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี  
และสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2543. **กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินออกตามความใน  
พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535.**

ฉลอง บัวพันธ์. 2538. **น้ำบาดาล.** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ชญา ณรงค์ฤทธิ. 2548. **ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้านสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1 ภาควิชา  
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและ  
สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.**

ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์. 2546. **น้ำบาดาล. ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,  
เชียงใหม่.**

- บุญโชค แซ่โจ้ว และ คณางค์ วงศ์เชื่อน. 2550. การปรับปรุงแผนที่น้ำบาดาลและการประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล จังหวัดระยอง, น 63-69. ใน การประชุมวิชาการทรัพยากรน้ำบาดาล. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล.
- วันเพ็ญ บัวระพา. 2547. การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำใต้ดินในลุ่มน้ำพองตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ. 2537. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประเมินค่าทรัพยากรที่ดิน. ศูนย์พัฒนาหนังสือ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงศึกษาธิการ, กรุงเทพฯ.
- สุพจน์ นิตย์สุวัฒน์. 2548. พีชชีเซต – ตอนที่ 1 นิยามและฟังก์ชันระดับความเป็นสมาชิก วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ 1(1): 57-64
- สุเพชร จิรขจรกุล. 2552. เรียนรู้ระบบภูมิสารสนเทศด้วยโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3.1. พิมพ์ครั้งที่ 1 บริษัท เอส.อาร์ พรินติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด, นนทบุรี.
- สุระ พัฒนเกียรติ. 2545. ระบบภูมิสารสนเทศในทางนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ; โรงพิมพ์ยูไนเต็ดโปรดักชั่น.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2552. ผลิตภัณฑ์มวลรวม ปี 2551. แหล่งที่มา: <http://www.nesdb.go.th>, 20 กันยายน 2552.
- สำนักงานจังหวัดระยอง. 2552. สภาพทั่วไป. สภาพทั่วไป. แหล่งที่มา: [http://123.242.173.4/v2/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=66&Itemid=136&limitstart=2](http://123.242.173.4/v2/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=66&Itemid=136&limitstart=2), 20 กันยายน 2553.
- สำนักงานอุตสาหกรรม จังหวัดระยอง. 2550. โรงงานอุตสาหกรรม. แผนที่แสดงแหล่งกำเนิดมลพิษในเขตจังหวัดระยอง. แหล่งที่มา: [http://www.reo13.go.th/img\\_data\\_envi/factory\\_rayong.jpg](http://www.reo13.go.th/img_data_envi/factory_rayong.jpg), 20 กันยายน 2553.

อนุรักษ์ สว่างวงศ์. 2552. การประยุกต์กระบวนการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์แบบฟัซซี่ในการ  
คัดเลือกพื้นที่จัดตั้งและระบบเชื่อมต่อของสถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดเชียงใหม่แห่งที่ 3.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Albinet, M. and J. Margat. 1970. **Mapping of ground water vulnerability to contamination.**  
France.

Aller, L., T. Bennet, J.H. Lehr, R.J. Petty and G. Hackett. 1987. **DRASTIC: a standardized  
system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings.**  
U.S. Environmental Protection Agency. USA.

Babiker, I.S., M.A.A. Mohamed, T. Hiyama and K. Kato. 2005. A GIS-based DRASTIC model  
for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central  
Japan. **Science of the Total Environment** 345: 127-140.

Bachmat, Y. and M. Collin. 1987. Mapping to assess groundwater vulnerability to pollution, pp.  
297-307. *In* Duijvenbooden, W.V. and H.G.V. Waegeningh, eds. **Vulnerability of soil  
and groundwater to pollutants TNO Committee on Hydrological Research**, The  
Hague, Proceedings and Information.

Belton, V. and T.J. Stewart. 2002. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach.**  
Boston: Kluwer Academic Publications.

Benacchio, S. 1988. **The protection of aquifers of the higher part of Venetian Plain,  
contamination assessment and ground water vulnerability of the Brenta River  
basin.** vol. 50.

Burrough, P.A. 1986. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources  
Assessment.** Clarendon, Oxford.

- Burrough, P.A. and R.A. McDonnell. 1998. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press, Inc. New York.
- Chankong, V. and Y.Y. Haimes. 1983. **Multiobjective Decision Making Theory and Methodology**. New York: Elsevier Science.
- Chatchada, K. 2006. **Fuzzy Logic Technique for Drought Risk Identification of Burirum Province**. M.E. Thesis, Mahidol University.
- Chen, S.Y. and G.T. Fu. 2003. A DRASTIC-based fuzzy pattern recognition methodology for groundwater vulnerability evaluation. **Hydrological Science** 48(2): 211-220.
- Chitsazan, M. and Y. Akhtari. 2009. A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kherran Plain, Khuzestan, Iran. **Water Resour Manage** 23: 1137-1155.
- Ckakraborty, S., P.K. Paul and P.K. Sikdar. 2007. Assessing aquifer vulnerability to arsenic pollution using DRASTIC and GIS of North Bengal Plain: a case study of English Bazar Block, Malda Distric, West Bengal, India. **Journal of Spatial Hydrology** 7: 101-121.
- Dixon, B., H.D. Scott, J.C. Dixon and K.F. Steele. 2002. Prediction of aquifer vulnerability to pesticides using fuzzy rule-based models at the regional scale. **Physical Geography** 23(2) 130-153.
- Domenico, P.A. and F.W. Schwartz. 1990. **Physical and Chemical Hydrogeology**. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Fried, J.J. 1975. **Groundwater Pollution**. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

- Friesel, P. 1987. Vulnerability of groundwater in relation to subsurface behaviour of organic pollutants, pp. 729-740. *In* Duijvenbooden, W.V. and H.G.V. Waageningh, eds. **Vulnerability of soil and groundwater to pollutants TNO Committee on Hydrological Research**. The Hague, Proceedings and Information.
- Hamza, M.H., A. Addeda, R. Rodriguez, S. Abdeljaoueda and A.B. Mammoua. 2007. A GIS-based DRASTIC vulnerability and net recharge reassessment in an aquifer of a semi-arid region (Metline-Ras Jebel-Raf Raf aquifer, Northern Tunisia). **Environmental Management** 84: 12-19
- Janssen, R. 1992. **Multiobjective decision support for environmental management**. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands.
- Javadil, S., N. Kavehkar, M.H. Mousavizadeh and K. Mohammadil. 2011. Modification of DRASTIC model to map groundwater vulnerability to pollution using nitrate measurements in agricultural areas. **J. Agr. Sci. Tech.** 13: 239-249
- Johnston, R.H. 1988. Factors affecting ground-water quality, pp. 403-407. *In* Duijvenbooden, W.V. and H.G.V. Waageningh, eds. **Vulnerability of soil and groundwater to pollutants TNO Committee on Hydrological Research**. The Hague, Proceedings and Information.
- Keeney, R.L. and H. Raiffa. 1976. **Decisions with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs**. Wiley, New York.
- Kirkwood, C.W. 1997. **Strategic Decision Making: Multiobjective Decision Analysis with Spreadsheets**. Duxbury Press, Belmont, CA
- Lamoreaux, P.E., M.M. Soliman, B.A. Memon, J.W. Lamoreaux and F.A. Assaad. 2009. **Environmental Hydrogeology**. 2<sup>nd</sup> ed. Taylor and Francis Group. Boca Raton, Florida.

- Lodwick, W.A., W. Monson and L. Svoboda. 1990. Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical information systems: suitability analysis. **Geographical Information Systems** 4(4): 413–428
- Malczewski, J. 1997. Propagation of errors in multicriteria location analysis: a case study. multiple criteria decision making: pp. 154-165. *In Proceedings of the Twelfth International Conference*. Hagen, Germany.
- \_\_\_\_\_. 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis. Wiley, New York.
- Mao, Y.Y., X.G. Zhang and L.S. Wang. 2006. Fuzzy pattern recognition method for assessing groundwater vulnerability to pollution in the Zhangji area. **J Zhejiang Univ SCIENCE A** 7(11): 1917-1922.
- Napolitano, P. and A.G. Fabbri. 1996. Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS. pp. 559-566. *In Proceedings of the Vienna Conference*. IAHS.
- Naqa, A.E., N. Hammouri and M. Kuisi. 2006. GIS-based evaluation of groundwater vulnerability in the Russeifa area, Jordan. **Revista Mexicana de Ciencias Geologicas** 23: 277-287.
- Pathak, D.R., A. Hiratsuka, I. Awata and L. Chen. 2008. GIS based fuzzy optimization method to groundwater vulnerability evaluation, pp. 2716-2719. *In Processings of the 2<sup>nd</sup> Bioinformatics and Biomedical Engineering*. 16-18 May 2008, Shanghai Jiaotong University, China.
- Pohekar, S.D. and M. Ramachandran. 2004. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning ? a review, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Vol.8, No. 4. pp 365-81.

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

Remote sensing and GIS division from National informatics centre (NIC), New delhi. 2010. GIS concepts: vector data models. **GIS primer**.

Available source: <http://gis.nic.in/gisprimer/data4.html>, January, 22, 2010.

Saaty, T.L. 1990. The analytic hierarchy process in conflict management. **The International Journal of Conflict Management** 1(1): 47.

Samake, M., Z. Tang, W. Hlaing, I.N. Mbue, K. Kasereka and W.O. Balogun. 2011. Groundwater vulnerability assessment in shallow aquifer in Linfen Basin, Shanxi Province, China using DRASTIC model. **Sustainable Development** 4(1): 53-71.

Spitz, K. and Moreno J. 1996. **A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling**. John Wiley and Sons Inc., New York.

Sotornikova, R. and J. Vrba. 1987. Some remarks on the concept of vulnerability maps, pp. 471-476. *In* Duijvenbooden, W.V. and H.G.V. Waegeningh, eds. **Vulnerability of soil and groundwater to pollutants TNO Committee on Hydrological Research**. The Hague, Proceedings and Information.

Terdsak, S. 2006. **Vulnerability Assessment of roundwater Resources, Chiang Mai Basin, Northern Thailand**. M.E. Thesis, Chiang Mai University.

Todd, D.K. 1980. **Groundwater Hydrology**. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley and Sons, Inc. New York.

Uddameri, V. and V. Honnungar. 2007. Combining rough sets and GIS techniques to assess aquifer vulnerability characteristics in the semi-arid South Texas. **Environmental Geology** 51: 931-939.

Vierhuff, F. 1981. Classification of groundwater resources for regional planning with regard to their vulnerability to pollution. **Elsevier** 17: 1101-1105.

Vrba, J. 1991. **Mapping of groundwater vulnerability: Intl. Assoc. of Hydrogeologists,** Ground Water Protection Commission. USA: N.P.

Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy sets. **Information and Control** 8: 38-53.

Zhaohui, L. and T. Kabera. 2008. A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater in shallow aquifer in Yuncheng Basin, Shanxi, China. **Applied Sciences** 3(3): 195-205.

Zhou, H., G. Wang and Q. Yang. 1999. A multi-objective fuzzy pattern recognition model for assessing groundwater vulnerability based on the DRASTIC system. **Hydrological Sciences** 44(4): 611-618.



ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ผลการเปรียบเทียบการประเมินความเปราะบางด้วยแบบจำลองตราสติกกับระดับความเข้มข้นของไนเตรต

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนตราสติก							ดัชนีตราสติก	ระดับตราสติก	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
1	797215	1423334	7	1	6	5	10	2	2	93	2	1.10	1
2	738017	1439253	7	1	4	6	9	4	2	98	2	0.60	1
3	766817	1407953	5	6	2	5	10	4	2	101	2	0.60	1
4	765528	1419736	9	4	3	5	10	3	1	108	2	2.30	2
5	796116	1420624	7	4	6	5	9	3	2	109	2	2.10	2
6	732124	1418431	7	1	4	6	10	6	2	109	2	2.30	2
7	795718	1423736	7	6	6	5	10	2	1	110	2	0.10	1
8	802220	1428929	9	6	2	5	9	2	2	110	2	1.00	1
9	790222	1420728	7	6	6	1	10	3	2	110	2	0.20	1
10	757223	1421039	9	6	6	1	10	2	1	112	2	0.30	1
11	791523	1421631	7	6	6	5	10	2	2	113	2	0.10	1
12	793914	1420833	7	6	6	5	10	2	2	113	2	3.80	3
13	783120	1450335	9	4	6	5	10	2	2	115	2	0.10	1

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนตราสติก							ดัชนีตราสติก	ระดับตราสติก	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
14	777027	1415745	7	6	6	6	10	2	2	115	2	0.30	1
15	776323	1418044	7	4	6	5	10	4	2	115	2	5.60	4
16	748325	1410739	7	4	9	6	10	2	2	116	2	0.10	1
17	799211	1423134	9	6	6	5	3	2	2	116	2	4.60	4
18	766817	1415053	7	8	2	6	9	4	1	117	2	3.60	3
19	751036	1431627	9	4	6	6	10	2	2	117	2	0.10	1
20	794821	1420842	7	6	6	5	9	3	2	117	2	0.50	1
21	794908	1420634	7	6	6	5	9	3	2	117	2	4.40	4
22	781018	1450043	9	4	8	5	9	2	1	117	2	0.40	1
23	795906	1420537	7	6	6	5	10	3	2	118	2	5.60	4
24	788116	1413639	9	4	6	5	10	3	2	120	2	6.50	5
25	768729	1414032	7	8	2	6	9	4	2	120	2	0.20	1
26	751728	1413339	7	6	9	6	10	2	1	121	3	0.40	1

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนตราสติก							ดัชนีตราสติก	ระดับตราสติก	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
27	742518	1416251	7	6	4	6	10	5	1	121	3	0.80	1
28	728324	1441234	7	4	4	6	10	6	2	121	3	5.20	4
29	777728	1430534	7	6	6	10	9	2	2	122	3	0.30	1
30	745624	1410143	7	6	6	6	10	4	1	122	3	1.10	1
31	798420	1422634	9	6	6	5	10	2	2	123	3	0.90	1
32	795027	1418731	9	6	6	5	10	2	2	123	3	2.10	2
33	782022	1438454	9	4	6	5	10	3	3	123	3	0.60	1
34	783421	1416338	9	6	6	5	10	2	2	123	3	0.90	1
35	794920	1417535	9	6	6	5	10	2	2	123	3	0.90	1
36	794022	1416635	9	6	6	5	10	2	2	123	3	2.10	2
37	756031	1432932	9	6	3	6	10	4	1	123	3	0.80	1
38	750421	1410529	7	6	9	6	10	2	2	124	3	0.60	1
39	743629	1427132	7	6	4	6	10	5	2	124	3	1.50	1

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนตราสติก							ดัชนีตราสติก	ระดับตราสติก	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
40	782206	1453439	9	4	8	5	10	2	3	124	3	0.40	1
41	796918	1414143	9	4	9	5	10	2	2	124	3	0.40	1
42	775616	1417438	7	6	6	6	10	4	2	125	3	2.10	2
43	746413	1411737	9	6	6	5	10	3	1	125	3	0.10	1
44	761823	1411641	7	8	3	6	5	6	1	126	3	1.50	1
45	804518	1414840	9	4	8	5	10	3	2	126	3	1.10	1
46	785714	1442759	9	4	8	5	1	2	7	127	3	0.30	1
47	786430	1406934	9	4	9	5	10	2	3	127	3	2.10	2
48	742917	1414953	9	6	6	6	10	3	1	127	3	1.00	1
49	725935	1440128	7	6	4	1	9	8	2	128	3	2.10	2
50	790925	1435643	9	4	6	5	10	3	5	129	3	0.10	1
51	754120	1438424	9	6	4	6	10	4	2	129	3	0.30	1
52	755123	1406434	9	6	9	5	10	2	1	129	3	0.10	1

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนตราสติก							ดัชนีตราสติก	ระดับตราสติก	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
53	732123	1423237	7	4	4	6	9	8	2	130	3	1.20	1
54	767133	1410532	5	8	2	6	10	8	2	131	3	0.90	1
55	792824	1417732	9	6	9	5	10	2	2	132	3	4.40	4
56	754723	1425243	10	6	6	1	10	5	1	132	3	0.10	1
57	766717	1440148	9	4	2	6	10	8	1	132	3	0.30	1
58	776623	1433753	9	6	6	10	10	2	2	133	3	0.70	1
59	784214	1418731	9	6	6	6	10	3	3	133	3	0.10	1
60	783723	1408729	9	8	6	5	10	2	3	134	3	0.10	1
61	783014	1410641	9	8	6	5	10	2	3	134	3	0.10	1
62	788407	1443543	9	4	6	5	9	3	7	134	3	3.30	3
63	749311	1420437	9	6	6	5	10	5	1	135	3	0.50	1
64	783524	1411339	9	8	6	6	10	2	3	136	3	0.90	1
65	719817	1412837	7	4	4	6	10	9	2	136	3	0.70	1

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนตราสตึก							ดัชนีตราสตึก	ระดับตราสตึก	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
66	736417	1433724	7	6	4	6	10	8	1	136	3	1.50	1
67	765926	1437631	9	4	6	6	10	6	2	137	3	2.00	2
68	773418	1419751	7	4	6	6	5	9	2	137	3	0.30	1
69	782922	1420234	9	6	6	6	10	3	5	139	3	0.20	1
70	754409	1405636	9	6	9	10	10	2	1	139	3	0.50	1
71	794819	1414140	9	6	6	6	10	3	5	139	3	3.30	3
72	738723	1424732	7	6	4	6	10	8	2	139	3	0.30	1
73	781719	1408950	9	8	6	5	10	2	5	140	3	1.00	1
74	761830	1412032	7	8	3	6	9	8	1	140	3	7.20	5
75	752327	1430928	9	4	6	6	10	6	3	140	3	0.10	1
76	722716	1405632	10	6	6	10	10	3	1	140	3	1.80	2
77	763814	1412628	7	8	3	6	10	8	1	141	3	3.60	3
78	770021	1409825	7	8	2	6	10	8	2	141	3	1.00	1

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนตราสติก							ดัชนีตราสติก	ระดับตราสติก	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
79	744024	1420450	7	8	4	5	9	8	1	141	3	2.60	2
80	721229	1412131	7	6	4	6	10	9	1	141	3	0.10	1
81	747123	1401232	9	1	9	10	10	6	2	142	3	1.70	2
82	776023	1421738	7	4	6	5	10	10	1	142	3	0.20	1
83	793202	1414532	9	6	9	1	10	3	7	144	3	1.40	1
84	733521	1427534	7	6	4	6	10	9	2	144	3	4.20	3
85	786416	1422527	9	6	9	1	10	6	2	144	3	2.60	2
86	772323	1399037	9	4	9	10	10	2	7	149	3	2.10	2
87	789616	1416631	9	6	9	10	10	4	1	149	3	2.20	2
88	785828	1404723	9	8	6	10	10	2	5	150	3	0.40	1
89	781926	1406334	9	8	6	10	5	2	7	151	4	0.50	1
90	789518	1415453	10	6	9	10	10	3	2	152	4	0.70	1
91	783916	1405144	9	8	6	10	10	2	7	156	4	0.20	1

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนตราสติก							ดัชนีตราสติก	ระดับตราสติก	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
92	780521	1403923	9	8	9	4	10	3	7	158	4	0.40	1
93	775015	1399035	9	4	9	0	10	8	7	159	4	0.30	1
94	751424	1415730	9	6	9	6	10	8	1	161	4	0.40	1
95	793718	1414740	9	8	9	1	10	5	7	162	4	0.60	1
96	758316	1397548	9	4	9	10	10	8	2	164	4	1.20	1
97	750213	1417433	9	6	9	10	10	8	1	169	4	0.10	1
98	722817	1401743	10	6	9	10	10	8	1	174	4	0.70	1
99	751214	1417432	9	8	9	10	10	8	1	177	4	3.20	3
100	759021	1398237	9	8	9	10	10	8	2	180	4	0.70	1

ตารางผนวกที่ 2 ผลการเปรียบเทียบการประเมินความเปราะบางด้วยพืชชี้เขตกับระดับความเข้มข้นของไนเตรต

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนพืชชี้เขต							ดัชนีพืชชี้เขต	ระดับพืชชี้เขต	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
1	797215	1423334	0.66	0.21	0.60	0.50	1.00	0.16	0.01	0.30	1	1.10	1
2	738017	1439253	0.57	0.12	0.40	0.60	0.97	0.34	0.01	0.27	1	0.60	1
3	766817	1407953	0.41	0.48	0.20	0.50	1.00	0.35	0.04	0.25	1	0.60	1
4	765528	1419736	0.80	0.34	0.30	0.50	0.86	0.22	0.00	0.37	2	2.30	2
5	796116	1420624	0.67	0.39	0.60	0.50	0.83	0.25	0.02	0.38	2	2.10	2
6	732124	1418431	0.63	0.12	0.40	0.60	0.96	0.57	0.03	0.41	2	2.30	2
7	795718	1423736	0.57	0.44	0.60	0.50	1.00	0.11	0.01	0.29	1	0.10	1
8	802220	1428929	0.76	0.45	0.20	0.50	0.99	0.10	0.03	0.33	2	1.00	1
9	790222	1420728	0.64	0.43	0.60	0.10	1.00	0.27	0.02	0.36	2	0.20	1
10	757223	1421039	0.90	0.46	0.60	0.10	1.00	0.20	0.01	0.45	3	0.30	1
11	791523	1421631	0.62	0.47	0.60	0.50	1.00	0.12	0.02	0.33	2	0.10	1
12	793914	1420833	0.65	0.45	0.60	0.50	1.00	0.18	0.02	0.36	2	3.80	3
13	783120	1450335	0.79	0.28	0.60	0.50	1.00	0.10	0.03	0.36	2	0.10	1

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนพืชชี้เขต							ดัชนีพืชชี้เขต	ระดับพืชชี้เขต	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
14	777027	1415745	0.67	0.46	0.60	0.60	1.00	0.19	0.04	0.39	2	0.30	1
15	776323	1418044	0.67	0.33	0.60	0.50	0.98	0.33	0.03	0.39	2	5.60	4
16	748325	1410739	0.62	0.22	0.90	0.60	1.00	0.11	0.02	0.32	2	0.10	1
17	799211	1423134	0.75	0.39	0.60	0.50	0.73	0.12	0.02	0.36	2	4.60	4
18	766817	1415053	0.60	0.52	0.20	0.60	0.85	0.33	0.01	0.35	2	3.60	3
19	751036	1431627	0.77	0.28	0.60	0.60	1.00	0.12	0.05	0.36	2	0.10	1
20	794821	1420842	0.66	0.45	0.60	0.50	0.93	0.23	0.02	0.38	2	0.50	1
21	794908	1420634	0.66	0.46	0.60	0.50	0.98	0.27	0.02	0.40	2	4.40	4
22	781018	1450043	0.79	0.34	0.80	0.50	1.00	0.13	0.01	0.41	2	0.40	1
23	795906	1420537	0.67	0.45	0.60	0.50	0.94	0.24	0.02	0.39	2	5.60	4
24	788116	1413639	0.75	0.12	0.60	0.50	1.00	0.22	0.03	0.34	2	6.50	5
25	768729	1414032	0.58	0.54	0.20	0.60	0.87	0.32	0.01	0.35	2	0.20	1
26	751728	1413339	0.69	0.41	0.90	0.60	1.00	0.19	0.01	0.43	2	0.40	1

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนพืชชี้เขต							ดัชนีพืชชี้เขต	ระดับพืชชี้เขต	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
27	742518	1416251	0.66	0.48	0.40	0.60	1.00	0.42	0.00	0.45	2	0.80	1
28	728324	1441234	0.67	0.35	0.40	0.60	1.00	0.54	0.02	0.48	3	5.20	4
29	777728	1430534	0.58	0.41	0.60	1.00	0.99	0.11	0.01	0.33	2	0.30	1
30	745624	1410143	0.61	0.45	0.60	0.60	1.00	0.34	0.01	0.41	2	1.10	1
31	798420	1422634	0.71	0.41	0.60	0.50	1.00	0.14	0.02	0.36	2	0.90	1
32	795027	1418731	0.74	0.40	0.60	0.50	1.00	0.17	0.03	0.38	2	2.10	2
33	782022	1438454	0.76	0.33	0.60	0.50	1.00	0.20	0.09	0.39	2	0.60	1
34	783421	1416338	0.74	0.46	0.60	0.50	0.80	0.19	0.06	0.41	2	0.90	1
35	794920	1417535	0.80	0.48	0.60	0.50	1.00	0.12	0.03	0.41	2	0.90	1
36	794022	1416635	0.84	0.47	0.60	0.50	1.00	0.17	0.02	0.45	2	2.10	2
37	756031	1432932	0.80	0.40	0.30	0.60	0.97	0.36	0.01	0.45	2	0.80	1
38	750421	1410529	0.56	0.45	0.90	0.60	1.00	0.13	0.01	0.36	2	0.60	1
39	743629	1427132	0.51	0.43	0.40	0.60	1.00	0.49	0.03	0.39	2	1.50	1

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนพืชชี้เขต							ดัชนีพืชชี้เขต	ระดับพืชชี้เขต	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
40	782206	1453439	0.79	0.32	0.80	0.50	0.97	0.17	0.09	0.40	2	0.40	1
41	796918	1414143	0.83	0.24	0.90	0.50	1.00	0.10	0.02	0.41	2	0.40	1
42	775616	1417438	0.66	0.39	0.60	0.60	0.80	0.34	0.03	0.42	2	2.10	2
43	746413	1411737	0.84	0.43	0.60	0.50	1.00	0.27	0.01	0.48	3	0.10	1
44	761823	1411641	0.54	0.53	0.30	0.60	0.84	0.51	0.01	0.42	2	1.50	1
45	804518	1414840	0.89	0.27	0.80	0.50	1.00	0.26	0.02	0.49	3	1.10	1
46	785714	1442759	0.79	0.27	0.80	0.50	0.04	0.11	0.13	0.39	2	0.30	1
47	786430	1406934	0.74	0.30	0.90	0.50	1.00	0.11	0.08	0.40	2	2.10	2
48	742917	1414953	0.70	0.46	0.60	0.60	1.00	0.28	0.00	0.43	2	1.00	1
49	725935	1440128	0.69	0.38	0.40	0.10	0.94	0.72	0.02	0.54	3	2.10	2
50	790925	1435643	0.70	0.31	0.60	0.50	0.99	0.22	0.12	0.37	2	0.10	1
51	754120	1438424	0.76	0.39	0.40	0.60	1.00	0.31	0.02	0.42	2	0.30	1
52	755123	1406434	0.74	0.44	0.90	0.50	1.00	0.14	0.00	0.43	2	0.10	1

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนพืชชี้เขต							ดัชนีพืชชี้เขต	ระดับพืชชี้เขต	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
53	732123	1423237	0.63	0.12	0.40	0.60	0.99	0.72	0.02	0.48	3	1.20	1
54	767133	1410532	0.48	0.51	0.20	0.60	1.00	0.60	0.02	0.43	2	0.90	1
55	792824	1417732	0.79	0.44	0.90	0.50	1.00	0.13	0.02	0.45	2	4.40	4
56	754723	1425243	0.94	0.46	0.60	0.10	0.89	0.42	0.00	0.56	3	0.10	1
57	766717	1440148	0.86	0.31	0.20	0.60	1.00	0.72	0.01	0.59	4	0.30	1
58	776623	1433753	0.80	0.40	0.60	1.00	0.99	0.14	0.03	0.44	2	0.70	1
59	784214	1418731	0.78	0.49	0.60	0.60	1.00	0.22	0.06	0.45	3	0.10	1
60	783723	1408729	0.74	0.51	0.60	0.50	1.00	0.11	0.09	0.40	2	0.10	1
61	783014	1410641	0.73	0.52	0.60	0.50	1.00	0.13	0.08	0.41	2	0.10	1
62	788407	1443543	0.80	0.27	0.60	0.50	1.00	0.28	0.17	0.45	2	3.30	3
63	749311	1420437	0.80	0.41	0.60	0.50	0.92	0.46	0.01	0.54	3	0.50	1
64	783524	1411339	0.73	0.52	0.60	0.60	1.00	0.14	0.07	0.41	2	0.90	1
65	719817	1412837	0.70	0.12	0.40	0.60	1.00	0.85	0.04	0.56	3	0.70	1

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนพืชชี้เขต							ดัชนีพืชชี้เขต	ระดับพืชชี้เขต	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
66	736417	1433724	0.66	0.38	0.40	0.60	0.94	0.76	0.01	0.59	4	1.50	1
67	765926	1437631	0.90	0.25	0.60	0.60	1.00	0.56	0.01	0.59	4	2.00	2
68	773418	1419751	0.67	0.32	0.60	0.60	0.77	0.81	0.02	0.62	4	0.30	1
69	782922	1420234	0.77	0.46	0.60	0.60	0.85	0.28	0.11	0.47	3	0.20	1
70	754409	1405636	0.79	0.48	0.90	1.00	1.00	0.12	0.00	0.49	3	0.50	1
71	794819	1414140	0.83	0.32	0.60	0.60	1.00	0.32	0.12	0.49	3	3.30	3
72	738723	1424732	0.59	0.46	0.40	0.60	1.00	0.72	0.02	0.56	3	0.30	1
73	781719	1408950	0.74	0.38	0.60	0.50	0.95	0.14	0.12	0.38	2	1.00	1
74	761830	1412032	0.55	0.52	0.30	0.60	0.93	0.64	0.01	0.50	3	7.20	5
75	752327	1430928	0.80	0.12	0.60	0.60	1.00	0.53	0.06	0.53	3	0.10	1
76	722716	1405632	0.96	0.47	0.60	1.00	1.00	0.31	0.01	0.58	4	1.80	2
77	763814	1412628	0.55	0.53	0.30	0.60	0.85	0.75	0.01	0.55	3	3.60	3
78	770021	1409825	0.58	0.52	0.20	0.60	0.98	0.75	0.02	0.55	3	1.00	1

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนพืชชี้เขต							ดัชนีพืชชี้เขต	ระดับพืชชี้เขต	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
79	744024	1420450	0.64	0.51	0.40	1.00	0.83	0.77	0.01	0.64	4	2.60	2
80	721229	1412131	0.64	0.44	0.40	0.60	0.98	0.89	0.01	0.64	4	0.10	1
81	747123	1401232	0.87	0.12	0.90	1.00	1.00	0.55	0.03	0.60	4	1.70	2
82	776023	1421738	0.66	0.33	0.60	0.50	1.00	0.96	0.01	0.67	4	0.20	1
83	793202	1414532	0.85	0.40	0.90	0.10	1.00	0.24	0.17	0.50	3	1.40	1
84	733521	1427534	0.64	0.43	0.40	0.60	1.00	0.80	0.02	0.61	4	4.20	3
85	786416	1422527	0.81	0.46	0.90	0.10	1.00	0.58	0.03	0.63	4	2.60	2
86	772323	1399037	0.83	0.26	0.90	1.00	1.00	0.12	0.34	0.50	3	2.10	2
87	789616	1416631	0.87	0.32	0.90	1.00	1.00	0.35	0.01	0.57	3	2.20	2
88	785828	1404723	0.76	0.59	0.60	1.00	1.00	0.12	0.12	0.47	3	0.40	1
89	781926	1406334	0.76	0.59	0.60	1.00	1.00	0.15	0.14	0.49	3	0.50	1
90	789518	1415453	0.94	0.46	0.90	1.00	0.99	0.29	0.02	0.61	4	0.70	1
91	783916	1405144	0.76	0.67	0.60	0.50	1.00	0.11	0.14	0.46	3	0.20	1

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	พิกัด X	พิกัด Y	คะแนนพืชชี้เขต							ดัชนีพืชชี้เขต	ระดับพืชชี้เขต	ความเข้มข้นไนเตรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับไนเตรต
			D	R	A	S	T	I	C				
92	780521	1403923	0.78	0.53	0.90	0.40	1.00	0.25	0.17	0.54	3	0.40	1
93	775015	1399035	0.83	0.21	0.90	0.00	1.00	0.72	0.23	0.64	4	0.30	1
94	751424	1415730	0.90	0.41	0.90	0.60	1.00	0.69	0.00	0.72	5	0.40	1
95	793718	1414740	0.86	0.59	0.90	0.10	1.00	0.39	0.16	0.62	4	0.60	1
96	758316	1397548	0.86	0.31	0.90	1.00	1.00	0.78	0.04	0.74	5	1.20	1
97	750213	1417433	0.83	0.49	0.90	1.00	1.00	0.74	0.01	0.76	5	0.10	1
98	722817	1401743	0.95	0.45	0.90	1.00	1.00	0.78	0.01	0.78	5	0.70	1
99	751214	1417432	0.87	0.50	0.90	1.00	1.00	0.69	0.01	0.75	5	3.20	3
100	759021	1398237	0.85	0.48	0.90	1.00	1.00	0.72	0.04	0.76	5	0.70	1

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายภานุกร ศรีติชาติ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	4 กรกฎาคม 2524
สถานที่เกิด	อำเภอป้อมปราบศัตรูพ่าย จังหวัดกรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	วท.บ. วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ภูมิศาสตร์) มหาวิทยาลัยบูรพา
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-เจ้าหน้าที่ระบบงานคอมพิวเตอร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-กรมพัฒนาที่ดิน
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-