

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประยุกต์ใช้วิธี STOCHASTIC ทางสถิติธรณีวิทยาเพื่อสำรวจศักยภาพน้ำ  
ใต้ดินในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย กรณีศึกษาพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี

AN APPLICATION OF STOCHASTIC-GEOSTATISTIC APPROACH TO  
GROUNDWATER POTENTIAL EXPLORATION IN THE SOUTHERN PART OF  
THAILAND: A CASE STUDY IN SURAT THANI PROVINCE.



T123116



วสวัต สามประดิษฐ์  
WASAWAT SARMPRADIT

กท.  
ก 375ก  
2555

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 123116  
วัน,เดือน,ปี 18 ต.ค. 2555

b. 12269451  
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น หากนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2012-EN-M-093-030

AN APPLICATION OF STOCHASTIC-GEOSTATISTIC APPROACH TO  
GROUNDWATER POTENTIAL EXPLORATION IN THE SOUTHERN PART OF  
THAILAND: A CASE STUDY IN SURAT THANI PROVINCE.



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไปอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
KMITL-2012-EN-M-093-030



**COPYRIGHT 2012**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิที่ขอใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้วิธี STOCHASTIC ทางสถิติธรณีวิทยาเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย กรณีศึกษาพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี
นักศึกษา	นายวสวัต สามประดิษฐ์
รหัสนักศึกษา	50061511
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2555
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. อุมา สิบบุญเรือง

### บทคัดย่อ

ทรัพยากรน้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำสำคัญแหล่งหนึ่งที่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง แต่ในพื้นที่ทางตอนใต้ของประเทศไทย ซึ่งมีปริมาณแหล่งน้ำผิวดินค่อนข้างต่ำ ทรัพยากรน้ำใต้ดินจึงเป็นแหล่งน้ำสำคัญทางเลือกหนึ่ง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและทำการสำรวจ เพื่อประเมินศักยภาพการให้น้ำและคุณสมบัติของแหล่งน้ำใต้ดิน ในงานวิจัยนี้ “แอ่งสุราษฎร์ธานี” ถูกใช้เป็นกรณีศึกษาแต่เนื่องจากปัญหาการขาดข้อมูลและความซับซ้อนของชั้นดินและชั้นหินในพื้นที่ ทำให้การสำรวจแหล่งน้ำใต้ดินด้วยการเจาะบ่อสิ้นเปลืองเวลาและมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก เพื่อลดความสิ้นเปลืองทรัพยากรต่างๆ การประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณทางสถิติธรณีวิทยาโดยใช้โปรแกรม “TPROGS” (Transition Probability Geostatistical Software) ซึ่งทำการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง 3 มิติแสดงการเรียงตัวของชั้นดินในพื้นที่ อาศัยการรวบรวมข้อมูลในพื้นที่แอ่งน้ำใต้ดินสุราษฎร์ธานีจากบ่อสำรวจจำนวน 427 บ่อ อาทิเช่น ข้อมูลลักษณะรูปแบบดิน การเรียงตัวของชั้นดิน ข้อมูลการสุบทดสอบบ่อบาดาลพบว่าแบบจำลองโดยการแยกชนิดชั้นดินโดยใช้หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (Hydrogeologic) พบว่าแบบจำลองมีความถูกต้องมากที่สุดโดยชั้นดินประเภทหินปูน (Limestone) มีความต่อเนื่องของชั้นดินในแนวตั้งและแนวราบสูงสุด หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลการเรียงตัวของชั้นดินมาสร้างแผนที่ใช้วิเคราะห์ถึงศักยภาพการให้น้ำใต้ดินในพื้นที่ต่อไป

<b>Thesis Title</b>	An Application of Stochastic-Geostatistic Approach to Groundwater Potential Exploration in The Southern Part of Thailand: A Case Study in Surat thani Province.
<b>Student</b>	Mr. Wasawat Sarmpradit
<b>Student ID.</b>	50061511
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Civil Engineering
<b>Year</b>	2012
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof.Dr.Uma Seeboonruang

## ABSTRACT

Groundwater is an important water source that has been exploited extensively. Particularly in southern part of Thailand where surface water resource is minimal, groundwater is the most vital water resource. Therefore, the groundwater study and exploration to assess the groundwater yield potential and properties should be implemented. In this research, Surat Thani groundwater basin is used as the case study. However, because of the lack of data and subsurface soil and rock complexity in the study area, drilling wells to explore groundwater resource becomes time consuming and very expensive. In order to reduce the waste resources, the method of the geostatistic analysis using the program “TPROGS” (Transition Probability Geostatistical Software) is applied here. It generates 3-dimensional realizations illustrating the subsurface arrangement from 427 boring logs in the Surat Thani groundwater basin. The data includes soil texture and layering and pumping test. Modeling the area subsurface complexity applying the hydrogeological Unit yields the most accurate representation. It is found that limestone is continuous both horizontally and vertically. Subsequently, the subsurface layering data is used to produce the potential groundwater yield map of the study area.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อุมา สิบบุญเรือง และ รศ.ดร.สกุล ท่อวโนทยาน ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีทั้งในด้านการเรียนและการทำงานแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณองค์กร International Foundation of Science (IFS) ที่ได้สนับสนุนเงินทุนในการทำงานวิจัยและวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอบคุณสำนักสำรวจทฤษฎีวิทยาและแผนที่น้ำบาดาล สำนักพัฒนากรมอุตุนิยมวิทยา กรมแผนที่ทหาร กรมพัฒนาที่ดิน ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัยรวมทั้งเจ้าหน้าที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยเฉพาะ คุณพัชรา ชัยลิขิตเจริญ ที่ให้ความช่วยเหลือ ในเรื่องต่างๆ

ขอขอบคุณหัวหน้ากองบำรุงรักษาโยธา เชื้อนภูมิพล นายพงษ์เทพ จันทร์ปุม หัวหน้าแผนกบำรุงรักษาอาคาร นางสาวปราณิศา สุภา และ นายจักรี เตโช รุ่นพี่ที่ทำงานที่ให้คำปรึกษาที่มีค่าและช่วยเหลือในหลายเรื่อง

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ โดยเฉพาะ นายสงค์ศักดิ์ วัฒนศักดิ์ นายอานนทพร สุวรรณพลาย และนายประทีป หลือประเสริฐ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา นายชุตติพงษ์ เอื้อธิตาภรณ์ และ นายพีรสันต์ รัตนสุวรรณ นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำแนะนำ และ ช่วยเหลือเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

วสวัต สามประดิษฐ์

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	XIII
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 ที่มาของปัญหา.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	4
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	4
1.5 วิธีการศึกษา.....	5
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์ .....	7
2.1 กล่าวนำ.....	7
2.2 วรรณกรรมปริทัศน์ภาษาไทย .....	7
2.2.1 เจริญ เพียรเจริญ (2525).....	7
2.2.2 ทวีศักดิ์ (2546).....	9
2.2.3 วจี และสมชัย (2541).....	10
2.2.4 โครงการสำรวจจำแนกแอ่งน้ำบาดาลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาล อย่างมีประสิทธิภาพ พ.ศ. 2548 (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล).....	12
2.2.5 โครงการเก็บรวบรวมตัวอย่างน้ำบาดาลและข้อมูลระดับน้ำบาดาล พื้นที่ลุ่มน้ำ ปากพนัง (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล).....	14
2.3 วรรณกรรมปริทัศน์ภาษาอังกฤษ .....	17
2.2.1 Marsily, Ghislain de (1981).....	17
2.2.2 An Application of transition Probability Approach to Geostatistical : A case study in the Lower Chao Phraya Basin, Thailand.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

<b>บทที่ 3 หลักการและทฤษฎี</b> .....	23
3.1 ความหมายและส่วนประกอบของน้ำใต้ดิน .....	23
3.2 ระดับน้ำบาดาล.....	24
3.3 ชั้นหินให้น้ำ (Aquifer).....	25
3.3.1 ชั้นหินให้น้ำไม่มีแรงดัน (Unconfined aquifer) .....	26
3.3.2 ชั้นหินให้น้ำมีแรงดัน (Confined aquifer หรือ Artesian aquifer).....	26
3.3.3 ชั้นหินให้น้ำปลอม (Perched aquifer) .....	27
3.4 คุณสมบัติของชั้นหินให้น้ำ (Aquifer properties).....	28
3.4.1 ความพรุน (Porosity) .....	28
3.4.2 สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ และสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บน้ำ (Hydraulic conductivity, Transmissivity and Storativity) .....	30
3.5 ชลศาสตร์ของบ่อบาดาล (Well Hydraulics).....	34
3.5.1 การสูบทดสอบแบบสมดุล .....	35
3.5.2 การสูบทดสอบแบบไม่สมดุล .....	36
3.5.3 การสูบทดสอบแบบไม่สมดุล ขอบเขตของชั้นหินให้น้ำและการหาตำแหน่งของขอบเขต (Aquifer boundaries and locating the boundaries).....	40
3.6 ธรณีสถิติ (Geostatistic) .....	45
3.6.1 The Transition Probability Approach.....	45
3.6.1 Markov Chain Analysis.....	46
3.7 หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (Hydrogeologic) .....	48
<b>บทที่ 4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน</b> .....	55
4.1 สถานที่ดำเนินงาน.....	55
4.2 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องและการเลือกตำแหน่งเก็บตัวอย่าง.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูลบ่อสำรวจ .....	59
4.3.1 ยึดหลักการแบ่งตามคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำ (Hydraulics Conductivity) .....	59
4.3.2 การยึดหลักการแบ่งตามหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (Hydrogeologic unit).....	60
4.3.3 การยึดหลักการแบ่งตามคุณสมบัติการชนิดของดิน (Texture) .....	61
4.4 วิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นดินและอัตราการสูบน้ำ.....	65
4.4.1 การตรวจสอบข้อมูลการซึมผ่านของน้ำ.....	68
4.5 การสร้างแบบจำลองทางสถิติธรณีวิทยา.....	69
4.5.1 การนำข้อมูลเข้าเพื่อสร้างแบบจำลอง .....	69
4.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง .....	72
4.6.1 การสุ่มเลือกหลุมเจาะเพื่อทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง .....	72
4.6.2 การเปรียบเทียบแบบจำลองกับข้อมูลหลุมจริงโดยการให้คะแนน .....	72
4.7 การแสดงแผนที่เพื่อนำไปใช้งาน .....	74
<b>บทที่ 5 ผลการวิจัย .....</b>	<b>76</b>
5.1 ข้อมูลบ่อการเจาะสำรวจดินในพื้นที่ .....	76
5.2 สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (T) สัมประสิทธิ์ของการเก็บกัก ( $S_c$ ) และสัมประสิทธิ์ของการซึมผ่าน (K).....	77
5.2.1 หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (K) .....	78
5.2.2 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน และ อัตราการสูบต่ออัตราน้ำลด .....	80
5.2.3 วิเคราะห์เงื่อนไขของสมการถดถอย .....	84
5.3 วิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ K-Q/s และ log K-log Q/s .....	92
5.4 ผลการวิจัยจากการสร้างแบบจำลอง.....	93
5.4.1 การเปรียบเทียบ Markov Chain.....	93
5.4.2 การเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลอง .....	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.5 แผนที่แสดงการให้น้ำในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี .....	119
<b>บทที่ 6 การวิเคราะห์และสรุปผล.....</b>	<b>121</b>
6.1 กล่าวนำ.....	121
6.2 สรุปผลข้อมูลแบบจำลอง.....	121
6.3 ข้อเสนอแนะ .....	122
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>124</b>
<b>ภาคผนวก ก.....</b>	<b>126</b>
<b>ภาคผนวก ข.....</b>	<b>135</b>
<b>ประวัติผู้เขียน.....</b>	<b>150</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราการไหลซึมของน้ำฝนที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำบาดาล.....	10
2.2 ปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่ในแอ่งบาดาลและปริมาณน้ำ ที่สามารถพัฒนาได้โดยไม่เกิดกระทบ.....	11
3.1 ค่าความพรุน (Porosity) และ ค่าสัมประสิทธิ์ในการจ่ายน้ำ (Specific yield) .....	30
3.2 คุณสมบัติในการให้น้ำของหินทั่ว ๆ ไป.....	31
4.1 แสดงข้อมูลพิกัดตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดิน (UTM 47) ความลึกเจาะและระดับน้ำใต้ดิน พร้อมทั้งค่าระดับจากระดับน้ำทะเล (ตัวอย่างข้อมูลจากฐานข้อมูล).....	57
4.2 แสดงพิกัดตำแหน่งสถานที่ต่างๆ (UTM47) พร้อมทั้งข้อมูลชั้นดิน (ตัวอย่างข้อมูลจากฐานข้อมูล) .....	58
4.3 แสดงค่าตัวแปรในแนวตั้งในแบบจำลอง markov chain ชุดการทดลองที่ 1.....	60
4.4 แสดงค่าตัวแปรในแนวตั้งในแบบจำลอง markov chain ชุดการทดลองที่ 2.....	61
4.5 แสดงค่าตัวแปรในแนวตั้งในแบบจำลอง markov chain ชุดการทดลองที่ 3.....	61
4.6 ข้อมูลการแบ่งลักษณะของชั้นดินออกเป็นชุดดิน 4 กลุ่ม (กรณีที่1).....	62
4.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ค่าความเชื่อมั่นของตัวแปร K เมื่อเปรียบเทียบ ตัวแปร Q/s รวมถึงที่เปลี่ยนรูป.....	68
5.1 ข้อมูลบ่อการเจาะสำรวจดินในพื้นที่.....	76
5.2 สัดส่วนการกระจายตัวของแต่ละชั้นดินในแบบจำลองกรณีที่ 1.....	77
5.3 สัดส่วนการกระจายตัวของแต่ละชั้นดินในแบบจำลองกรณีที่ 2.....	77
5.4 สัดส่วนการกระจายตัวของแต่ละชั้นดินในแบบจำลองกรณีที่ 3.....	77
5.5 แสดงช่วงของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (K) โดยจำแนกตามชนิดของดิน.....	78
5.6 แสดงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (K) โดยการจำแนกตามชนิดดิน.....	79
5.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ค่าความเชื่อมั่นของตัวแปร K เมื่อเปรียบเทียบ ตัวแปร Q/sรวมถึงที่เปลี่ยนรูป.....	80
5.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ค่าความเชื่อมั่นของตัวแปร log K เมื่อเปรียบเทียบ ตัวแปร Q/sรวมถึงที่เปลี่ยนรูป.....	81
5.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ค่าความเชื่อมั่นของตัวแปร 1/K เมื่อเปรียบเทียบ ตัวแปร Q/s รวมถึงที่เปลี่ยนรูป.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ค่าความเชื่อมั่นของตัวแปร $K^2$ เมื่อเปรียบเทียบ ตัวแปร Q/s รวมถึงที่เปลี่ยนรูป.....	83
5.11 แสดงตาราง Variables Entered/Removed.....	84
5.12 แสดงตาราง Model Summary.....	84
5.13 แสดงตาราง Anova .....	85
5.14 แสดงตาราง Coefficients.....	85
5.15 แสดงตาราง Residuals Statistics.....	86
5.16 แสดงตาราง Variables Entered/Removed.....	88
5.17 แสดงตาราง Model Summary.....	88
5.18 แสดงตาราง Anova .....	89
5.19 แสดงตาราง Coefficients.....	89
5.20 Vertical Markov chain .....	96
5.21 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 10.....	96
5.22 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 15.....	96
5.23 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 20.....	96
5.24 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 25.....	96
5.25 Vertical Markov chain .....	101
5.26 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 5.....	101
5.27 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 10.....	101
5.28 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 15.....	101
5.29 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 20.....	102
5.30 Vertical Markov chain .....	103
5.31 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 5.....	103
5.32 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 7.....	103
5.33 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 10.....	103
5.34 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR10).....	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.35 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR15).....	106
5.36 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR20).....	107
5.37 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR25).....	107
5.38 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR5).....	111
5.39 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR10).....	111
5.40 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR15).....	112
5.41 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR20).....	112
5.42 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR5).....	115
5.43 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR7).....	115
5.44 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR10).....	116

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	แอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2548) ..... 3
1.2	ภาพตัดขวางแอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2548) ..... 3
1.3	วิธีการศึกษางานวิจัย ..... 6
2.1	แผนที่แสดงเขตน้ำบาดาลประเทศไทย (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2548) ..... 9
2.2	แผนที่แสดงปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS) ในชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา พื้นที่โครงการ ลุ่มน้ำปากพนัง ..... 15
2.3	แผนที่อุทกธรณีวิทยา พื้นที่โครงการลุ่มน้ำปากพนัง ..... 16
2.4	แผนที่ระดับน้ำบาดาลที่ลดลงกรณีใช้น้ำเพิ่ม 5 เท่า คาดคะเนที่ 5 ปี พื้นที่โครงการลุ่มน้ำ ปากพนัง ..... 17
2.5	แผนที่แสดงตำแหน่งหลุมสุบทดสอบ และชั้นให้น้ำ Eocene ..... 18
2.6	กราฟการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การให้น้ำ ..... 18
2.7	กราฟแจกแจงความถี่ของค่าสัมประสิทธิ์การให้น้ำ ..... 19
2.8	แผนที่เส้นระดับสัมประสิทธิ์การให้น้ำของ Krige ..... 19
2.9	แผนที่เส้นระดับสัมประสิทธิ์การให้น้ำที่วาดจากค่าที่ได้จากหลุมทดสอบจริง ..... 19
2.10	แผนที่แสดงความไม่แน่นอนของสัมประสิทธิ์การให้น้ำในแผนที่ของ Krige ..... 20
2.11	แผนที่การกระจายตัวของบ่อสำรวจในพื้นที่ศึกษา ..... 22
2.12	แผนที่การกระจายตัวของชั้นดินในพื้นที่ศึกษา ..... 22
3.1	การแบ่งเขตชั้นน้ำและประเภทของน้ำใต้ดินในเขตต่าง ๆ (Fetter, 2001) ..... 23
3.2	การทดลองเพื่อจำลองสภาพธรรมชาติของการเกิดระดับน้ำบาดาล ..... 25
3.3	ชั้นหินให้น้ำไม่มีแรงดัน (Unconfined aquifer) (Fetter, 2001) ..... 26
3.4	ชั้นหินให้น้ำมีแรงดัน (Confined aquifer) บ่อน้ำบาดาลมีแรงดัน (Artesian well) (Fetter, 2001) ..... 27
3.5	ชั้นหินให้น้ำปลอม (Perched aquifer) (Fetter, 2001) ..... 28
3.6	ปัจจัยที่ควบคุมความพรุน (Porosity) (Walton, 1970) ..... 29
3.7	ความหมายของสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (Hydraulic conductivity) และสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (Transmissivity) (Walton, 1970) ..... 32
3.8	ความหมายของสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ (Storativity) (Brassington, 1988) ..... 34
3.9	การสุบทดสอบสูบน้ำบาดาล (Pumping test) จากบ่อน้ำใต้ดิน ..... 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 การสูบทดสอบน้ำ (Pumping Test) จากบ่อบาดาล .....	36
3.11 Theis type curve (None-equilibrium type curve) สำหรับชั้นหินให้น้ำมีแรงดัน (จาก Fetter, 2001) .....	38
3.12 กราฟของระยะน้ำลด (ho-h) กับเวลาหลังการสูบ (t) เขียนบน Logarithmic paper ที่มีขนาดเท่ากับ Type curve (จาก Fetter, 2001) .....	39
3.13 แสดงการทาบทกราฟและการเลือก Match point (จาก Fetter, 2001) .....	39
3.14 กรณีการสูบน้ำจากบ่อก่อนที่เจาะอยู่ใกล้ขอบเขตให้น้ำ (a) และการใช้บ่อเงาเพื่อจำลองให้มีสภาพชลศาสตร์เหมือนในชั้นหินให้น้ำที่ไม่มีขอบเขต (b) (จาก Todd, 1980) .....	41
3.15 กรณีการสูบน้ำจากบ่อก่อนที่เจาะอยู่ใกล้ขอบเขตกั้นน้ำ (a) และการใช้บ่อเงาเพื่อจำลองให้มีสภาพชลศาสตร์เหมือนในชั้นหินให้น้ำที่ไม่มีขอบเขต (b) (จาก Todd, 1980) .....	42
3.16 ผลกระทบต่อระยะน้ำลดในกรณีของขอบเขตให้น้ำและขอบเขตกั้นน้ำเปรียบเทียบกับระยะน้ำลดตามทฤษฎี (จาก Fetter, 2001) .....	43
3.17 วิธีการหาค่าแห่งของขอบเขตกั้นน้ำ โดย Cooper-Jacob Method (a) ลักษณะของ (Cooper-Jacob drawdown curve ซึ่งแสดงผลของขอบเขตกั้นน้ำ (b) สภาพที่ต้องการในสนามเพื่อทำการสูบทดสอบ และหาค่าแห่งของขอบเขตกั้นน้ำ (จาก Todd, 1980) .....	44
3.18 แผนที่อุทกธรณีวิทยาของประเทศไทย (ธรณีวิทยาประเทศไทย, 2542) .....	54
4.1 ขอบเขตการปกครองในพื้นที่แ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานี .....	56
4.2 แสดงฐานข้อมูลที่ถูกต้องแล้ว .....	65
4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (K) .....	66
4.4 แสดงการเลือกช่วงเวลาทำการวิเคราะห์ .....	66
4.5 แสดงการทาบทกราฟให้ผ่านในทุกจุด .....	67
4.6 แสดงการแสดงวิเคราะห์ผล .....	67
4.7 การกระจายตัวของข้อมูลบ่อสำรวจในพื้นที่ศึกษา 3 มิติ จากโปรแกรม GMS .....	70
4.8 ปรับแต่งแบบจำลองในทิศทางแนวตั้ง .....	70
4.9 ปรับแต่งแบบจำลองในทิศทางแนวราบ (Dip, Y) .....	71
4.10 ปรับแต่งแบบจำลองในทิศทางแนวตั้ง (Strike, X) .....	71
4.11 รายชื่อหมายเลขหลุมทำการสูมออกมาโดยการ Randomization .....	72
4.12 แสดงการให้คะแนนตัวแบบจำลองกรณี 1 Len length ratios, (LLR) เท่ากับ 25 .....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 แสดงการให้คะแนนตัวแบบจำลองกรณีที่2 Len length ratios, (LLR) เท่ากับ 15 .....	73
4.14 แสดงการให้คะแนนตัวแบบจำลองกรณีที่3 Len length ratios, (LLR) เท่ากับ 10 .....	74
4.15 ตัวอย่างแผนที่จำลองการให้น้ำของพื้นที่แอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานี .....	75
5.1 แสดงกราฟการแจกแจงความถี่ของข้อมูล .....	86
5.2 แสดงตารางกราฟ P-P Plot of Regression Standardized Residual.....	87
5.3 แสดงตารางกราฟ Scatterplot .....	87
5.4 แสดงกราฟการแจกแจงความถี่ของข้อมูล .....	90
5.5 แสดงตารางกราฟ P-P Plot of Regression Standardized Residual.....	91
5.6 แสดงตารางกราฟ Scatter plot.....	91
5.7 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ log K กับ log(Q/s) เมื่อเปรียบเทียบกับสมการ log K=-0.779+1.062 ( log (Q/s) ) .....	92
5.8 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ K กับ (Q/S) โดยเปรียบเทียบกับสมการ K=0.016+0.171(Q/S) .....	92
5.9 กราฟเปรียบเทียบแบบจำลอง Markov chain กับข้อมูลจริงกรณีที่1.....	93
5.10 กราฟเปรียบเทียบแบบจำลอง Markov chain กับข้อมูลจริงกรณีที่2.....	94
5.11 กราฟเปรียบเทียบแบบจำลอง Markov chain กับข้อมูลจริงกรณีที่3.....	94
5.12 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 10 กริด l=150 Realization 1-10.....	97
5.13 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 15 กริด l=150 Realization 1-10.....	98
5.14 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 20 กริด l=150 Realization 1-10.....	99
5.15 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 25 กริด l=150 Realization 1-10.....	100
5.16 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 5 กริด l=150 Realization 1.....	102
5.17 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 10 กริด l=150 Realization 1 .....	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.18 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 15 กริด l=150 Realization 1 .....	102
5.19 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 20 กริด l=150 Realization 1 .....	102
5.20 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 5 กริด l=150 Realization 1 .....	104
5.21 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 7 กริด l=150 Realization 1 .....	104
5.22 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 10 กริด l=150 Realization 1 .....	104
5.23 แสดงข้อมูลการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิดการซึมผ่านของน้ำดี.....	105
5.24 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิดการซึมผ่านดี .....	108
5.25 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิดการซึมผ่านปานกลาง .....	108
5.26 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิดการซึมผ่านน้อย .....	108
5.27 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิดที่บ้น้ำ.....	109
5.28 แสดงข้อมูลการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด Sedimentary rock .....	110
5.29 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด Sedimentary .....	110
5.30 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด Sedimentary rock.....	113
5.31 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด Limestone.....	113
5.32 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด Igneous rock.....	113
5.33 แสดงข้อมูลการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด Sand.....	114
5.34 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด Sand .....	117
5.35 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด Sand/clay .....	117
5.36 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด Clay .....	117
5.37 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด Stone .....	118
5.38 แผนที่แสดงการให้น้ำในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีแบบจำลองกรณีที่1 (Hydraulic conductivity) .....	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.39 แผนที่แสดงการให้น้ำในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีแบบจำลองกรณีที่2 (Hydrogeologic unit).....	119
5.40 แผนที่แสดงการให้น้ำในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีแบบจำลองกรณีที่3 (Texture).....	120



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



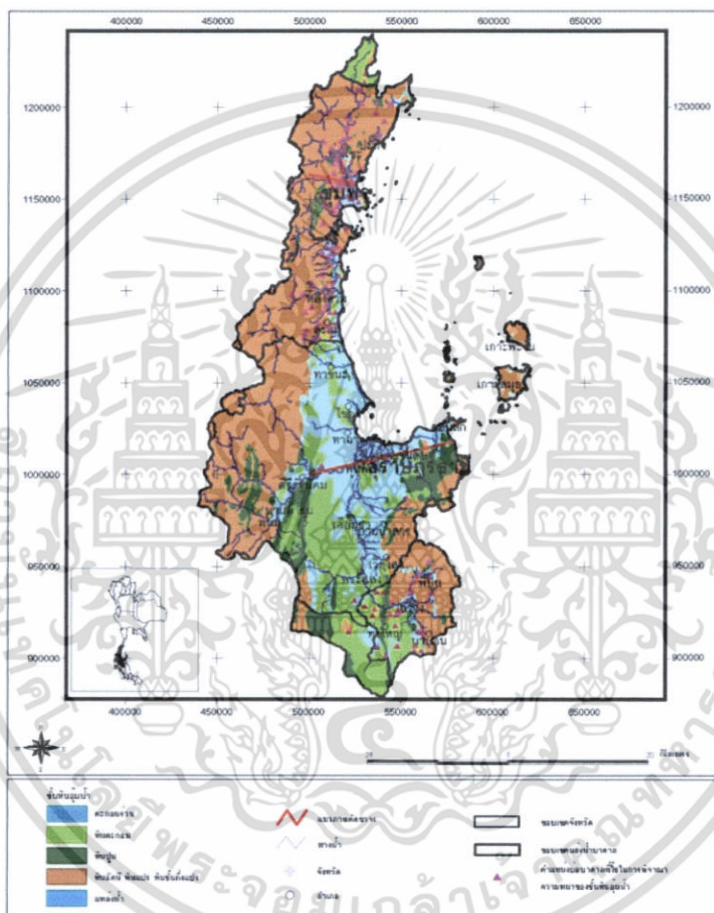
- 3) ความชุ่มชื้นและสีของน้ำบาดาลจะมีน้อยหรือแทบไม่มีเลย เนื่องจากกระบวนการกรองตามธรรมชาติช่วยให้น้ำบาดาลมีความใส และไม่มีตะกอน
- 4) คุณสมบัติและส่วนประกอบทางเคมีมักจะมีค่าคงที่ เนื่องจากน้ำบาดาลกักเก็บอยู่ใต้ผิวดิน จะมีโอกาสที่จะถูกสารปนเปื้อนได้น้อยกว่าน้ำบนผิวดิน จะทำให้สารประกอบเคมีคงที่
- 5) ปริมาณของน้ำบาดาลที่ถูกกักเก็บไว้ในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง มักจะมีปริมาณมากกว่าน้ำผิวดิน เนื่องจากปริมาณของน้ำบาดาลที่ถูกกักเก็บไว้ในช่องหินที่ลึกลงไป ซึ่งอาจลึกลงไปถึงหลายร้อยเมตร จึงทำให้น้ำบาดาลมีปริมาณมากกว่าน้ำบนผิวดินตามแม่น้ำลำธารต่างๆ
- 6) แหล่งน้ำบาดาลมักจะมีหรือพบได้ในบริเวณที่อาจจะไม่มีน้ำผิวดินเลย น้ำบาดาลเกิดจากน้ำฝนซึมลงผ่านชั้นดินชั้นหินลงไปกักเก็บอยู่ในช่องว่างต่างๆ ใต้ผิวดินลงไปในพื้นที่หนึ่งๆ และในช่วงเวลาหนึ่งๆ ในอดีตกาลมีสภาพภูมิอากาศที่เปียกชื้น มีฝนตกต่อเนื่อง และซึมลงผ่านลงไปกักเก็บในช่องว่างใต้ผิวดินลงไป เมื่อเวลาผ่านไป สภาพภูมิอากาศของพื้นที่นั้นอาจเปลี่ยนแปลงไปเป็นสภาพภูมิอากาศที่แห้งแล้ง ทำให้ไม่มีแม้กระทั่งน้ำผิวดินที่กักเก็บอยู่ หรือมีก็เป็นช่วงเวลาสั้นๆ ที่ฝนตกลงมา

ด้วยเหตุนี้จึงจะเห็นได้ว่าแหล่งน้ำบาดาลสามารถพัฒนาขึ้นมาใช้เพื่อแก้ไขภาวะการขาดแคลนน้ำได้อย่างรวดเร็วและทันต่อเหตุการณ์ กล่าวคือหากมีแหล่งน้ำบาดาลอยู่ที่ใดสามารถนำขึ้นมาใช้ได้ที่พื้นที่และหากมีความจำเป็นจะต้องปรับปรุงคุณภาพน้ำบ้าง เช่น ค่าความกระด้างหรือธาตุเหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำก็สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายที่น้อย ดังนั้นจะเห็นว่าน้ำบาดาลมีความสำคัญแต่การพัฒนาบำบัดน้ำบาดาลขึ้นมาใช้นั้นจำเป็นต้องสำรวจข้อมูลด้านต่างๆ ของน้ำบาดาลให้ทราบ เพื่อที่จะช่วยในการพิจารณาวางแผนพัฒนาและจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลไม่ให้เกิดผลกระทบ ไม่ให้เกิดความเสียหายต่อแหล่งน้ำบาดาลและสภาพแวดล้อมต่อไป

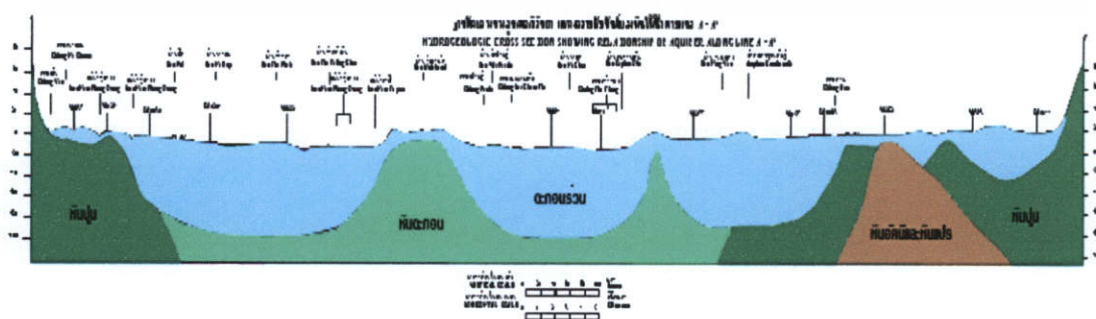
## 1.2 ที่มาของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการน้ำสำหรับการอุปโภค บริโภค อุตสาหกรรมและการเกษตร มีแนวโน้มสูงขึ้น ความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมด้านต่าง ๆ รวมประมาณ 73,400 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ความต้องการใช้น้ำของประชาชนไทยรวมทั้งหมด จะเพิ่มขึ้นเป็น 93,900 ล้านลูกบาศก์เมตร ในปี พ.ศ. 2549 และในปี พ.ศ. 2553 จะเพิ่มขึ้นเป็น 98,800 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ([www.pwa.or.th](http://www.pwa.or.th)) น้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำสำคัญแหล่งหนึ่งที่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ในพื้นที่ทางตอนใต้ของประเทศไทยซึ่งมีปริมาณแหล่งน้ำผิวดินค่อนข้างต่ำ แต่มีความต้องการน้ำใช้ในปริมาณที่สูง ดังนั้นจึงมีการศึกษาและทำการสำรวจเพื่อประเมินศักยภาพการให้น้ำและคุณสมบัติของแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ภาคใต้ แต่เนื่องจากทั้งความไม่แน่นอนและความซับซ้อนของชั้นดินและชั้นหินในพื้นที่ ทำให้การสำรวจแหล่งน้ำใต้ดินด้วยการเจาะบ่อบีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ทางหน่วยงานของรัฐ เช่น กรมทรัพยากรน้ำบาดาลนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำบาดาล เป็นหน่วยงานโดยตรงที่รับผิดชอบเกี่ยวกับข้อมูลน้ำบาดาลได้ทำการศึกษาและได้ทำแผนที่น้ำบาดาลในประเทศไทยขึ้นมา (รูปที่ 1.1 แสดงตัวอย่างแผนที่แอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานี) โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีหน่วยหินทางอุทกวิทยาเป็นแผนที่ในรูปแบบ 2 มิติ ซึ่งสามารถบอกศักยภาพการให้น้ำในพื้นที่ต่างๆได้ แต่ไม่สามารถระบุความลึกที่ต้องทำการเจาะเพื่อนำน้ำบาดาลขึ้นมาพัฒนาได้ และหากว่ามีข้อมูลภาพตัดขวางของการกระจายตัวของชั้นดินในพื้นที่ต่างๆก็เป็นพื้นที่บางส่วนเท่านั้น (รูปที่ 1.2)



รูปที่ 1.1 แอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2548)



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 1.2 ภาพตัดขวางแอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2548) ซึ่งขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างแผนที่น้ำบาดาล การรวบรวมข้อมูลในพื้นที่แอ่งน้ำใต้ดินจากบ่อสำรวจและการประมวลผล อาทิเช่น ข้อมูลลักษณะรูปแบบดิน การเรียงตัวของชั้นดิน ค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในดิน เพื่อพัฒนาแผนที่น้ำบาดาลในรูปแบบ 3 มิติคือมีตำแหน่งพื้นที่รวมถึงความลึกของบ่อที่ต้องทำการพัฒนา จะสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการกำหนดพื้นที่ที่มีศักยภาพในการให้น้ำได้

โดยการประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณทางสถิติธรณีวิทยาที่เรียกว่า Stochastic simulation หรือแบบจำลองทางสถิติธรณีวิทยาเพื่อแสดงข้อมูลการเรียงตัวของชั้นดินออกมาเป็นแบบจำลองเสมือนจริง (realization) ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของการศึกษางานวิจัยนี้ โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวแปรเหล่านี้คือโปรแกรม “TPROGS” ซึ่งทำการสร้างแบบจำลอง 3 มิติแสดงการเรียงตัวของชั้นดินในพื้นที่และนำข้อมูลการเรียงตัวของชั้นดินมาใช้วิเคราะห์ เพื่อหาศักยภาพการให้น้ำใต้ดินแอ่งสุราษฎร์ธานีในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยเป็นกรณีศึกษาตัวอย่างที่จะนำไปประยุกต์กับแอ่งน้ำอื่นๆต่อไป ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้คือการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลอย่างยั่งยืนโดยไม่เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำบาดาลและสิ่งแวดล้อม ในขณะที่ความต้องการน้ำบาดาลมีมากขึ้น แต่การพัฒนาขึ้นมาใช้ประโยชน์กลับทำได้ไม่มากเท่าที่ควร เนื่องจากยังขาดข้อมูลที่สำคัญและจำเป็นในเรื่องของชนิดของชั้นหินอุ้มน้ำ ความหนา และปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาขึ้นมาใช้ได้ และที่สำคัญคือเรื่องของคุณภาพน้ำบาดาลที่ควรจะต้องมีการศึกษาต่อไป

### 1.3 วัตถุประสงค์

- 1) ระบุพื้นที่ที่มีศักยภาพในการให้น้ำใต้ดินในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยภายใต้สภาวะขาดข้อมูลหรือสภาวะข้อมูลน้อยโดยการใช้วิธี Geostatistic simulation
- 2) ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต่างๆเช่น ค่าการซึมผ่านของน้ำและชนิดของดินในพื้นที่อันส่งผลถึงอัตราการให้น้ำของบ่อบาดาล
- 3) เพิ่มทางเลือกรูปแบบวิธีการของการสำรวจน้ำใต้ดินเพื่อให้การจัดการน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด

### 1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1) พื้นที่ทำการศึกษาอยู่ในเขตพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยคือ สุราษฎร์ธานี เนื่องจากเป็นจังหวัดที่มีการขยายตัวของความต้องการใช้น้ำบาดาลสูงที่สุดในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

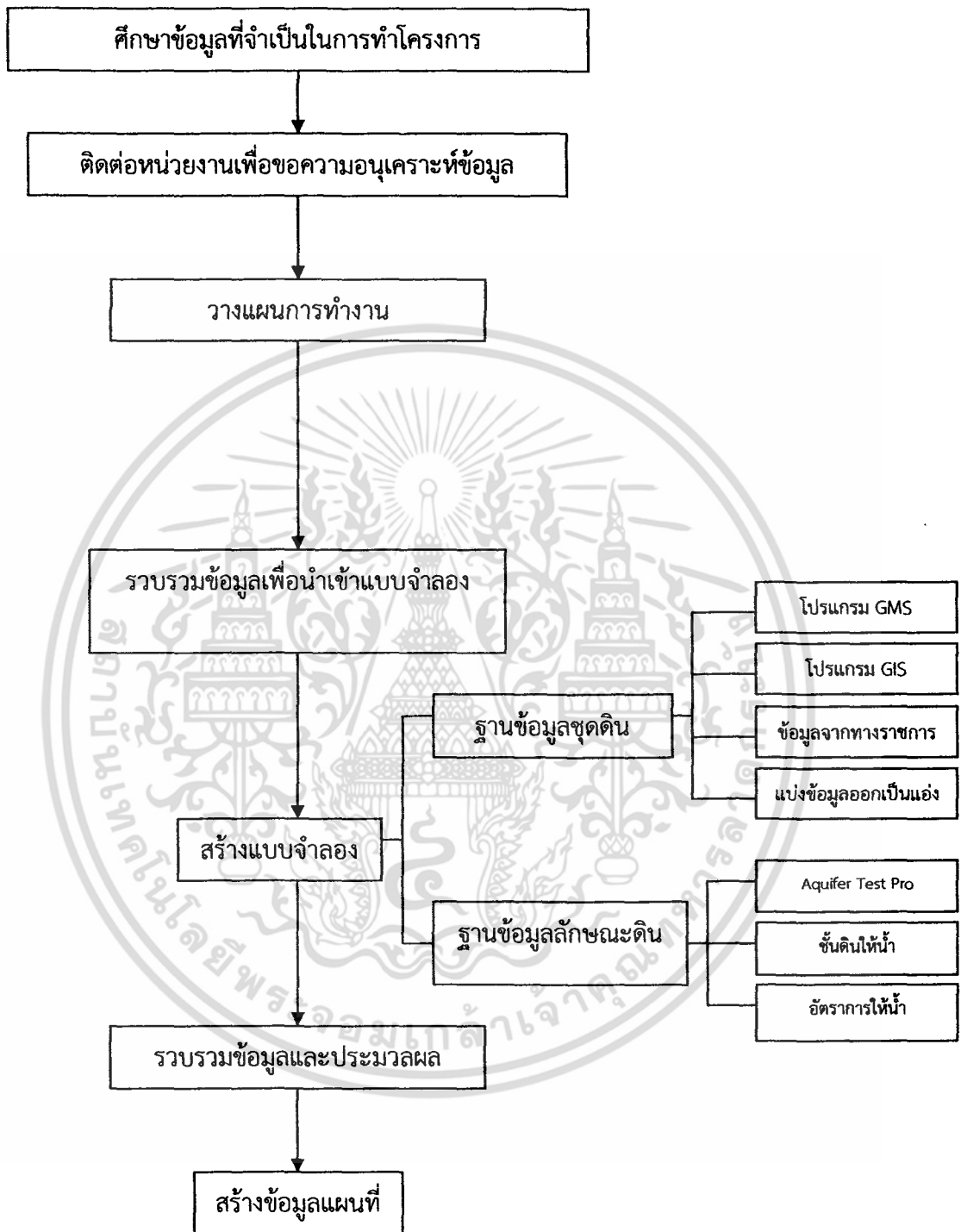
- 2) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินที่ส่งผลค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำใต้ดิน โดยใช้สมมุติฐานว่าเป็นการสุบทดสอบแบบชั้นน้ำใต้ดินแบบมีแรงดันโดยใช้การสุบทดสอบแบบไม่สมดุล
- 3) ระดับชั้นน้ำบาดาลที่ศึกษามีระดับความลึกไม่เกิน – 60.00 ม. รทก.
- 4) ข้อมูลชั้นดินที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) ที่ได้จากการสำรวจในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยเท่านั้น

### 1.5 วิธีการศึกษา

- 1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น
- 2) วางแผนการทำงาน
- 3) ติดต่อขอข้อมูลที่ต้องการและเตรียมตัวกำหนดพื้นที่ในการวิจัย
- 4) ทำการศึกษาข้อมูลที่ได้มาและใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้านต่างๆ
- 5) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองกับข้อมูลจริง
- 6) สรุปผลวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการศึกษาของการวิจัยนี้มีรายละเอียดและสามารถสรุปเป็นผังขั้นตอนการศึกษาได้ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.3 วิธีการศึกษางานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# วรรณกรรมปริทัศน์

### 2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวโดยสรุปเกี่ยวกับการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จากการศึกษาตำรา เอกสาร วารสาร และงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งจะประกอบด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเขตพื้นที่แหล่งน้ำบาดาล (groundwater province) นิยามของแอ่งน้ำบาดาล สันปันน้ำบาดาล ความสามารถในการเก็บกักน้ำบาดาลและการให้น้ำ (groundwater yield) และสถิติพื้นฐานเพื่อคาดเดาสัมประสิทธิ์การให้น้ำของดิน

### 2.2 วรรณกรรมปริทัศน์ภาษาไทย

#### 2.2.1) เจริญ เพียรเจริญ (2525)

แหล่งน้ำบาดาลในประเทศไทยสามารถจำแนกพื้นที่ออกเป็น “เขตน้ำบาดาล” (groundwater province) ตามสภาพทางธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา และภูมิประเทศ ออกได้เป็น 6 เขตน้ำบาดาลใหญ่ ๆ (รูปที่ 2.1) ได้แก่

1) เขตน้ำบาดาลพื้นที่สูงภาคเหนือ (northern highland groundwater province) ลักษณะภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสูง ครอบคลุมพื้นที่สาละวิน โขง ลุ่มน้ำปิง วัง ยม น่านตอนบน ภายในเขตน้ำบาดาลพื้นที่สูงภาคเหนือจะมีแอ่งน้ำบาดาลย่อยๆจำนวนมาก เช่น แอ่งเชียงใหม่ ลำพูน แอ่งแม่เมาะ แอ่งน่าน เป็นต้น

2) เขตน้ำบาดาลภาคกลางตอนบน (upper central plain groundwater province) ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ค่อนข้างราบในบริเวณตอนกลาง และมีลักษณะเป็นเทือกเขาสูงทางด้านทิศตะวันตกและตะวันออกครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ยม น่านตอนล่างและป่าสักตอนบน ก่อนที่จะรวมเป็นแม่น้ำเจ้าพระยาหรือเรียกแอ่งน้ำบาดาลนี้ว่าแอ่งเจ้าพระยาตอนบน (upper Chao Phraya groundwater basin) ประกอบด้วยแอ่งน้ำบาดาลย่อย ๆ เช่น แอ่งให้ม่วง แอ่งตาก แอ่งเพชรบูรณ์ ฯลฯ เป็นต้น

3) เขตน้ำบาดาลภาคกลางตอนล่าง (lower central plain groundwater province) ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่ม ลักษณะเป็นแอ่งน้ำบาดาลขนาดใหญ่ต่อเนื่องมาจากแอ่งน้ำบาดาลในเขตน้ำบาดาลภาคกลางตอนบน ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ท่าจีน ป่าสักตอนล่าง แม่กลอง และ

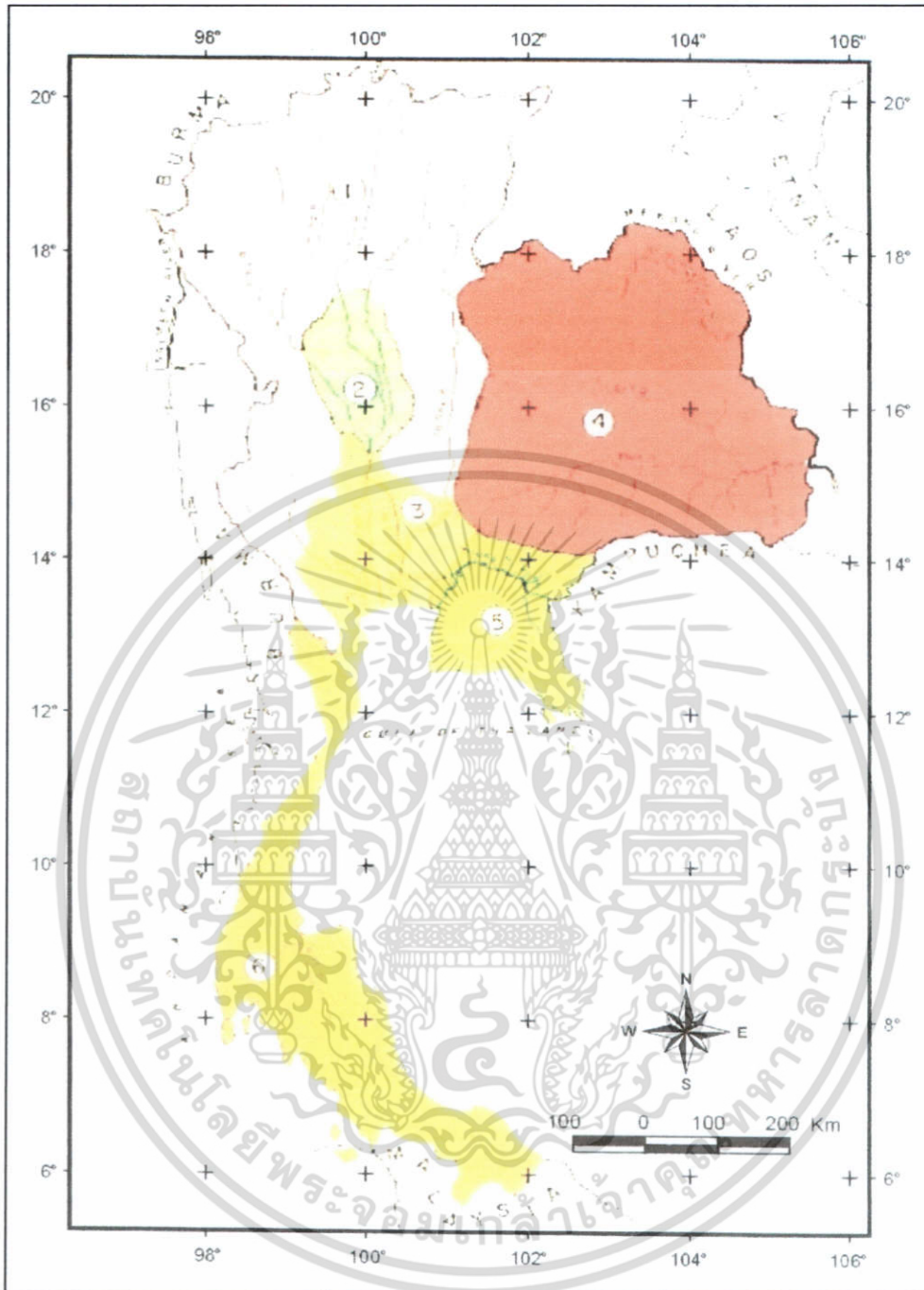
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะแกกรัง หรือเรียกว่าแอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนล่าง (lower Chao Phraya groundwater basin)

4) เขตน้ำบาดาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (north-eastern groundwater province) ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสูง มีสภาพอุทกธรณีวิทยาแตกต่างกับพื้นที่ภาคอื่นๆของประเทศไทย ชัดเจน สามารถแบ่งออกเป็น 2 แอ่งน้ำบาดาลใหญ่ ๆ คือ แอ่งน้ำบาดาลอุดร-สกลนคร ที่ประกอบด้วยพื้นที่ลุ่มน้ำโขงและลุ่มน้ำสงครามและแอ่งน้ำบาดาลโคราช-อุบล ประกอบด้วยพื้นที่ลุ่มน้ำมูลและชี ภายในแอ่งน้ำบาดาลทั้ง 2 นี้ ยังมีแอ่งน้ำบาดาลย่อยๆ อีกหลายแอ่ง ได้แก่ แอ่งน้ำบาดาลลุ่มแม่น้ำมูล แอ่งน้ำบาดาลลุ่มแม่น้ำชี และแอ่งน้ำบาดาลลุ่มแม่น้ำสงคราม เป็นต้น

5) เขตน้ำบาดาลภาคตะวันออก (eastern groundwater province) ลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาสูงและที่ราบชายฝั่งทะเล ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำปราจีนบุรี บางปะกง โตนเลสาบ สามารถแบ่งแอ่งน้ำบาดาลย่อย ได้แก่ แอ่งน้ำบาดาลที่ราบชายฝั่งชลบุรี แอ่งน้ำบาดาลระยอง แอ่งน้ำบาดาลจันทบุรี แอ่งน้ำบาดาลที่ราบชายฝั่งระยอง-จันทบุรี-ตราด เป็นต้น

6) เขตน้ำบาดาลภาคใต้ (southern groundwater basin) ลักษณะพื้นที่เป็นแนวยาวเหนือ-ใต้ ลักษณะภูมิประเทศเป็นเป็นที่อกเขาสูงตอนกลาง และลาดต่ำลงสู่ทิศตะวันตกและตะวันออกเฉียงจรดทะเลอันดามันและอ่าวไทย ประกอบด้วยพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ลุ่มน้ำตาปี ลุ่มน้ำปากพนัง ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ลุ่มน้ำปัตตานี ฯลฯ พื้นที่เขตน้ำบาดาลภาคใต้สามารถแบ่งเป็น แอ่งน้ำบาดาลนราธิวาส ปัตตานี-ยะลา สะบ้าย้อย ทาดใหญ่ สุราษฎร์ธานี กระบี่ รวมทั้งแอ่งน้ำบาดาลที่ราบชายฝั่งทะเลสงขลา-นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี-ชุมพร พังงา-ระนอง สตูล-กระบี่ และแอ่งน้ำบาดาลขนาดเล็กในพื้นที่เกาะตะรุเตา ลันตา เกาะยาว เกาะยาวใหญ่ เกาะพีพี เกาะสมุย เกาะพัง เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงเขตน้ำบาดาลประเทศไทย (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2548)

### 2.2.2) ทวีศักดิ์ (2546)

ให้นิยาม “แอ่งน้ำบาดาล” คือ พื้นที่ใต้ผิวดินทั้งหมดที่น้ำบาดาลมีการไหลรวมลงสู่บริเวณที่น้ำบาดาลไหลออก (discharge zone) โดยมีสันปันน้ำบาดาล (groundwater divide) เป็นตัวแบ่งแอ่งน้ำบาดาลแต่ละแอ่งออกจากกัน ในพื้นที่ใดๆขอบเขตของแอ่งรับน้ำของน้ำผิวดินและขอบเขตของแอ่งน้ำบาดาล อาจจะไม่สอดคล้องเป็นแอ่งหรือพื้นที่รับน้ำเดียวกัน ถึงแม้ว่าสมดุลของน้ำจะส่งผลต่อทั้งน้ำผิวดินและน้ำบาดาลก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบน้ำบาดาลก่อนการพัฒนาใช้น้ำบาดาลขึ้นมาใช้ จะอยู่ในสภาวะสมดุลตามธรรมชาติ กล่าวคือ ปริมาณน้ำไหลเข้าจะเท่ากับปริมาณน้ำไหลออก ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ระบบน้ำบาดาลนั้นๆ ประกอบด้วยน้ำฝนที่ซึมลงไปและน้ำที่ซึมลงมาเพิ่มเติมจากทางน้ำ ทะเลสาบ พื้นที่ชุ่มน้ำ ที่มีความต่อเนื่องกับน้ำบาดาล สำหรับปริมาณน้ำที่ไหลออกจะประกอบด้วยน้ำบาดาลที่ไหลออกไปสู่ทางน้ำ ทะเลสาบ พื้นที่ชุ่มน้ำ น้ำพุ น้ำซับต่าง ๆ ตลอดจนจากกระบวนการระเหยของน้ำ

เมื่อมีการพัฒนาใช้น้ำบาดาลขึ้นมาใช้ สมดุลของน้ำที่มีอยู่เดิมจะเปลี่ยนไป เนื่องจากมีการสูบน้ำออกมาจากระบบ ทำให้ระบบน้ำบาดาลนี้ต้องสร้างสมดุลขึ้นใหม่ ปริมาณน้ำที่สูบขึ้นมาใช้จะมาจาก การปรับตัวหลาย ๆ ส่วนรวมกัน ซึ่งอาจจะมาจากปริมาณน้ำไหลเข้าที่เพิ่มมากขึ้น บวกกับปริมาณน้ำ ที่ดึงออกจากส่วนที่กักเก็บอยู่เดิมบวกกับปริมาณน้ำไหลออกที่ลดลง ดังนั้นปริมาณน้ำที่สูบออกจาก ระบบจะส่งผลกระทบต่อสมดุลและปริมาณน้ำในส่วนต่าง ๆ ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากระบบที่ลดลง อาจส่งผลกระทบต่อทางน้ำ พื้นที่ชุ่มน้ำ น้ำพุที่เคยมีน้ำอยู่เดิมอาจจะแห้งลง เป็นต้น ซึ่งปริมาณน้ำที่ เหมาะสมที่ควรสูบออกจากระบบจะเป็นจำนวนเท่าใดนั้น จะต้องได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบ รวมถึงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

### 2.2.3) วจี และสมชัย (2541)

ปริมาณน้ำฝนที่ไหลซึมลงไปกักเก็บอยู่ในแหล่งน้ำบาดาล (groundwater recharge) จะมี ปริมาณมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความสามารถของชั้นหินใต้ดินที่สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้ กล่าวคือถ้า เป็นหินร่วน (unconsolidated rocks) เช่น กรวด ทราย หรือดินเหนียว ปริมาณน้ำขึ้นอยู่กับความ พรุณของหิน หรือช่องว่างในหิน ถ้าเป็นหินแข็ง (consolidated rocks) ปริมาณน้ำขึ้นอยู่กับ รอยแตก รอยเลื่อน โพรง และช่องว่างระหว่างการวางตัวของชั้นหินต่างชนิดกัน จากข้อมูลการศึกษา โดยทั่วไปกล่าวได้ว่า บริเวณที่เป็นหินร่วน ปริมาณน้ำฝนที่ไหลซึมลงสู่แหล่งน้ำบาดาลประมาณ 10% ของปริมาณน้ำฝนที่ตกเฉลี่ยทั้งปี บริเวณที่เป็นหินแข็งน้ำมาก ประมาณ 5% บริเวณที่เป็นหินแข็งมีน้ำ ปานกลาง ประมาณ 3% และหินแข็งน้ำน้อย ประมาณ 2 % ของปริมาณน้ำฝน (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 อัตราการไหลซึมของน้ำฝนที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำบาดาล

ประเภทแหล่งน้ำบาดาล	อัตราการไหลของน้ำฝนสู่แหล่งน้ำบาดาล คิดเป็น % ของน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี
หินร่วน	10
หินแข็งให้น้ำมาก	5
หินแข็งน้ำปานกลาง	3
หินแข็งน้ำน้อย	2

ปริมาณน้ำฝนที่ไหลซึมลงสู่แหล่งน้ำบาดาลนั้น ส่วนหนึ่งไหลซึมออกไปจากแหล่งน้ำบาดาล สู่อพื้นที่ที่ต่ำกว่าตามทิศทางการไหลของน้ำตามธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ ลำธาร หนอง บึง และทะเล ส่วนหนึ่งเก็บกักอยู่ในแหล่งน้ำบาดาล การคำนวณหาปริมาณน้ำบาดาลที่กักเก็บอยู่ในแหล่งน้ำบาดาลที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้ ข้อมูลที่จำเป็นที่สุด คือ การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในรอบปี ข้อมูลระดับน้ำบาดาลที่ดีที่สุดได้จากการติดตามตรวจวัดระดับน้ำบาดาลอย่างต่อเนื่องโดยการติดตั้งเครื่องบันทึกระดับน้ำ (continuous water level recorder) ข้อมูลที่ได้นำมาจัดทำ hydrograph และแผนที่ระดับน้ำต่ำสุดและระดับน้ำสูงสุด นอกจากนี้ข้อมูลที่จะต้องนำมาใช้อีกคือ พื้นที่ของแหล่งน้ำบาดาล และปริมาณน้ำจำเพาะ (specific yield) ในกรณีของชั้นน้ำบาดาลชนิดไม่มีแรงดัน (unconfined หรือ water table aquifer) ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกักน้ำ (storage coefficient) แทนปริมาณน้ำจำเพาะ โดยใช้สูตร

ปริมาณที่เก็บกัก = การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ × พื้นที่ของชั้นน้ำ × สัมประสิทธิ์การเก็บกักน้ำ

การคำนวณปริมาณน้ำในแอ่งน้ำบาดาลของภาคต่างๆ ได้ใช้ค่าระดับความสูงของการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในชั้นน้ำเฉลี่ย 5 เมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บน้ำในชั้นน้ำชนิดไม่มีแรงดัน (unconfined aquifer) เท่ากับ 0.16 ชั้นน้ำชนิดที่มีแรงดัน (confined aquifer) เท่ากับ  $2 \times 10^{-4}$  และชั้นน้ำกึ่งแรงดัน (semi - confined aquifer) เท่ากับ 0.025 สำหรับปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาขึ้นมาใช้ได้โดยไม่เกิดผลกระทบ (safe yield) คือมีความสมดุลกับปริมาณน้ำที่ไหลเติมลงไปตามธรรมชาติ ในที่นี้ได้ใช้ค่าการคืนตัวของระดับน้ำที่ลดลงไป 5 เมตร กลับสู่ระดับเดิม (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่ในแอ่งบาดาล และปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้โดยไม่เกิดผลกระทบ

แอ่งน้ำบาดาล	ปริมาณน้ำที่เก็บกัก (ล้าน ลบ.ม)	ปริมาณน้ำที่พัฒนาได้ต่อปี (ล้าน ลบ.ม)	ปริมาณน้ำที่พัฒนาได้ต่อวัน (ลบ.ม)
แอ่งเชียงใหม่ - ลำพูน	485	97	265,000
แอ่งลำปาง	295	59	161,000
แอ่งเชียงราย - พะเยา	212	42	115,000
แอ่งแพร่	160	32	87,000
แอ่งน่าน	200	40	110,000
แอ่งเจ้าพระยาตอนเหนือ	6,400	1,280	3,500,000
แอ่งเจ้าพระยาตอนใต้	6,470	1,294	3,500,000
แอ่งท่าฉาง	320	64	175,000
แอ่งนครศรีธรรมราช	420	84	230,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่ในแอ่งบาดาล และปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้โดยไม่เกิด  
กระทบ (ต่อ)

แอ่งน้ำบาดาล	ปริมาณน้ำที่เก็บกัก (ล้าน ลบ.ม)	ปริมาณน้ำที่พัฒนาได้ต่อปี (ล้าน ลบ.ม)	ปริมาณน้ำที่พัฒนาได้ต่อวัน (ลบ.ม)
แอ่งระโนด - สงขลา	400	80	200,000
แอ่งหาดใหญ่	175	35	96,000
แอ่งปัตตานี	340	68	186,000

นอกจากนี้ปริมาณน้ำบาดาลที่เก็บกักอยู่ในแหล่งน้ำบาดาลนั้น ต้องขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของ  
ชั้นหินให้น้ำ เช่น ประสิทธิภาพในการจ่ายน้ำ (specific yield) ประสิทธิภาพในการดูดค้าง (specific  
retention) สัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ (storativity หรือ storage coefficient) และความพรุน  
(porosity)

2.2.4) โครงการสำรวจจำแนกแอ่งน้ำบาดาลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาล  
อย่างมีประสิทธิภาพ พ.ศ. 2548 (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)

หินเกือบทุกชนิดในประเทศเป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลหรือเป็นชั้นหินให้น้ำได้ แต่ก็มี  
คุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยาที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ ลักษณะส่วนประกอบ และ  
สภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยาเป็นสำคัญ การจัดแบ่งหินชุดต่าง ๆ ออกเป็น หน่วยหินทางอุทก  
ธรณีวิทยา (hydrogeologic units) ก็เพื่อให้การพิจารณาสภาพของแหล่งน้ำบาดาลในบริเวณต่าง ๆ  
กระทำได้ง่ายขึ้น หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาจากรายงานของ สมชัย วงศ์สวัสดิ์ (2544), วจี ราม  
ณรงค์และสมชัย วงศ์สวัสดิ์ (2541) ได้จัดแบ่งหน่วยหินต่าง ๆ ที่พบในประเทศตามคุณสมบัติทางอุทก  
ธรณีวิทยาออกเป็น 13 หน่วยดังตัวอย่างเช่น

1) ตะกอนน้ำพา (alluvial deposits) ประกอบด้วยดินเหนียว ทราย กรวด และเศษหินที่พัด  
พามาสะสมโดยน้ำจากแม่น้ำ ลำธาร ตะกอนน้ำพาเป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลที่ดีที่สุด โดยในแต่พื้นที่  
ก็จะมีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำบาดาลแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของการตกตะกอนและ  
ช่วงอายุหรือยุคของการตกตะกอน ที่สำคัญมีอยู่ 2 ยุค คือ

ก. ชั้นกรวดทรายตามลำน้ำยุคปัจจุบัน (recent flood plain deposits) ได้แก่ร่องน้ำของ  
แม่น้ำเจ้าพระยาและสาขา คือ ปิง วัง ยม และน่าน ครอบคลุมบริเวณที่เป็นแอ่งในภาคกลางและ  
ภาคเหนือ ร่องน้ำแม่กลองในภาคตะวันตก แม่น้ำโขงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ลักษณะของเม็ด  
กรวดทรายส่วนใหญ่จะมีลักษณะกึ่งกลมถึงกลม (subrounded – rounded) การคัดขนาดดี ค่า  
สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (hydraulic conductivity) ของกรวดทรายชุดนี้ในบริเวณแอ่งเชียงใหม่ มี  
ค่าอยู่ในเกณฑ์ 5 – 15 เมตรต่อวัน สำหรับกรวดทรายตามลุ่มน้ำที่มีขนาดเล็กหรือแคบๆ หรือสายสั้น  
ๆส่วนใหญ่จะมีการคัดขนาดไม่ดี ลักษณะของเม็ดกรวดทรายเป็นแบบกึ่งเหลี่ยมถึงกลม (subangular

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- subrounded) และมักจะมีขนาดไม่มาก เช่น ลุ่มน้ำกก ลุ่มน้ำแม่ขาน-แม่จัน ลุ่มน้ำอิง จังหวัด เชียงราย ลุ่มน้ำปิง วัง ยม และน่าน ในช่วงที่อยู่ในหุบเขาแคบๆ ลุ่มน้ำมูล-ชี ในภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ กรวดทรายชุดนี้จะมีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำบาดาลปานกลาง ค่าสัมประสิทธิ์ ของการซึมได้ค่อนข้างต่ำ อยู่ในเกณฑ์ 0.1 - 5 เมตรต่อวัน

ข. ชั้นกรวดทรายที่สะสมในใจกลางแอ่งขนาดใหญ่อายุไพลสโตซีน (Pleistocene intermontane basin deposits) ได้แก่ กรวด ทราย ที่สะสมในใจกลางแอ่งขนาดใหญ่ ในยุค Pleistocene กรวดทรายชุดนี้จะมีขนาดมาก เพราะสะสมในแอ่งที่มีลักษณะเป็นหลุมลึก (graben) เช่น แอ่งเจ้าพระยา (เหนือและใต้) แอ่งเชียงใหม่ แอ่งลำปาง รวมถึงที่ราบริมฝั่งทะเล ภาคใต้ด้านตะวันออกคือ บริเวณจังหวัดนครศรีธรรมราชไปถึงสงขลาและบริเวณจังหวัดสงขลาถึง ปัตตานี กรวดทรายแยกกันอยู่หลายๆชั้น เช่น ในที่ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนล่างหรือตอนใต้ มีชั้นกรวด ทรายที่มีน้ำคุณภาพดี เท่าที่พบแล้ว จำนวน 7 ชั้น แต่ละชั้นหนาประมาณ 50 เมตร สำหรับในแอ่ง เชียงใหม่ กรวดทรายที่เป็นชั้นน้ำบาดาลที่ดี จะอยู่ที่ความลึกตั้งแต่ 70-130 เมตร ที่จังหวัด กำแพงเพชร พิจิตร อยู่ที่ความลึก 150 - 200 เมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ของกรวดทรายชุดนี้ บริเวณกรุงเทพมหานคร อยู่ในเกณฑ์เฉลี่ย 55 - 80 เมตรต่อวัน บริเวณพื้นที่ราบเจ้าพระยาตอน เหนือ เฉลี่ย 10 - 30 เมตรต่อวัน

ตะกอนน้ำพาดังกล่าวข้างต้น มีคุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยาที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับ สภาพแวดล้อมในการตกตะกอนและขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่สะสมวางตัวอยู่ด้วย ในพื้นที่ที่อยู่ติดกับทะเล เช่น ที่ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนล่าง ที่ราบริมฝั่งทะเลภาคตะวันออกและภาคใต้ พื้นที่บางส่วนของภูน้ำ ทะเลท่วมถึง ทำให้น้ำทะเลแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างของตะกอนหรือไปแทนที่น้ำจืด เป็นเหตุให้น้ำ บาดาลคุณภาพจืดที่มีอยู่เดิมมีคุณภาพกร่อยหรือเค็ม หรือในกรณีพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตะกอนน้ำพาบางส่วนจะวางตัวอยู่บนชั้นหินเกลือ ทำให้ได้รับอิทธิพลของน้ำเกลือที่ไหลซึมเข้ามา จน เป็นเหตุให้น้ำบาดาลในชั้นตะกอนมีคุณภาพกร่อยหรือเค็ม

ตะกอนน้ำพานี้ถ้าสะสมตัวอยู่ในที่ลึกมากๆ หรือมีชั้นตะกอนปิดทับอยู่หนามากๆ และชั้น กรวดทรายที่เป็นชั้นน้ำบาดาลนั้นเอียงเท ก็จะทำให้มีแรงดันภายในกรวดทรายสูงขึ้นในลักษณะของ ชั้นหินให้น้ำมีแรงดัน (confined aquifer) ถ้าหากเจาะน้ำบาดาลทะลุไปถึงชั้นกรวดทรายดังกล่าว ก็ จะได้น้ำพุ (flowing artesian well) มีน้ำไหลพุ่งออกมาโดยแรงดันธรรมชาติ เช่น ที่บริเวณพื้นที่ ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนเหนือ บริเวณอำเภอขามเฒ่าบุรี อำเภอลองขลุ่ย จังหวัดกำแพงเพชร บริเวณกรุงเทพมหานคร ถ้าเจาะลงไปชั้นกรวดทรายระดับความลึกมากกว่า 450 เมตร ก็จะได้บ่อ น้ำพุ ตลอดจนอุณหภูมิของน้ำบาดาลที่ได้อาจจะสูงถึง 70 - 80 องศาเซลเซียส สำหรับตะกอนน้ำพา ที่สะสมตัวอยู่ในระดับตื้นๆ หรือตามลำน้ำยุคปัจจุบัน จะเป็นชั้นน้ำที่ปราศจากแรงดันหรือชั้นหินให้น้ำ ไม่มีแรงดัน (unconfined aquifer)

2) ตะกอนชายหาด (beach - sand deposits) ในบริเวณพื้นที่ราบริมฝั่งทะเล (coastal plain) ของภาคตะวันออกและภาคใต้ด้านอ่าวไทย มีแหล่งหินร่วนที่เกิดจากการสะสมตัวของกระแส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นและกระแสน้ำทะเล โดยหินร่วนต่างๆ ดังกล่าว สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ ตะกอนทรายชายหาดยุคใหม่ (recent beach – sand deposits) ตะกอนทรายชายหาดยุคเก่า (old beach – sand deposits) ตะกอนท้องทะเลสาบ (lagoonal deposits) และตะกอนปากแม่น้ำ (estuary deposits) สำหรับแหล่งน้ำบาดาลทรายชายหาด หมายถึง แหล่งน้ำบาดาลในชั้นทรายซึ่งสะสมตัวตามบริเวณชายหาดปัจจุบันและแหล่งน้ำบาดาลที่ถูกกักเก็บไว้ในชั้นทรายประเภทเนินทราย (sand dunes) หรือ สันทราย (sand ridges) ในชั้นทรายชายหาดยุคเก่า รวมทั้งน้ำบาดาลที่สะสมตัวในสันทรายนอกชายฝั่ง (off – shore bars) ชั้นทรายชายหาดนับได้ว่าเป็นแหล่งน้ำบาดาลระดับตื้นที่สำคัญของจังหวัดต่างๆ ในภาคตะวันออก ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ที่ระดับความลึกไม่เกิน 10 เมตร วางตัวยาวตามแนวชายฝั่งทะเล มีความกว้างระหว่าง 1-5 กิโลเมตร เนื่องจากชั้นหินให้น้ำดังกล่าวเป็นชั้นน้ำระดับตื้น จึงง่ายต่อการพัฒนาและเป็นแหล่งน้ำจืดที่อำนวยประโยชน์ให้แก่ราษฎรที่อยู่ตามบริเวณริมฝั่งทะเล โดยทั่ว ๆ ไป ชั้นน้ำดังกล่าวเมื่อเจาะบ่อจะให้น้ำในเกณฑ์ระหว่าง 1-5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงสำหรับชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยของจังหวัดภาคใต้ นับตั้งแต่บริเวณจังหวัดนครศรีธรรมราชไปจนถึงจังหวัดนราธิวาส เป็นบริเวณที่ราบชายฝั่งทะเลมีความยาวไม่น้อยกว่า 300 กิโลเมตรและความกว้างโดยเฉลี่ยประมาณ 3 กิโลเมตร น้ำบาดาลในบริเวณที่ราบริมฝั่งทะเลดังกล่าว นับว่าเป็นแหล่งน้ำบาดาลที่สำคัญแห่งหนึ่งของภาคใต้ ความหนาของชั้นทรายชายหาดดังกล่าวแตกต่างกันไป บางแห่งอาจจะพบหินร่วน หนามากกว่า 10 เมตร ชั้นทรายในบริเวณพื้นที่ราบริมฝั่งทะเลนี้ให้น้ำบาดาลในเกณฑ์ระหว่าง 5 ถึง 15 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คุณภาพน้ำบาดาลมีตั้งแต่จืด กร่อยและเค็มเป็นต้น

#### 2.2.5) โครงการเก็บรวบรวมตัวอย่างน้ำบาดาลและข้อมูลระดับน้ำบาดาล ดำเนินการศึกษาศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล พื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)

ลุ่มน้ำปากพนังเป็นลุ่มน้ำขนาดใหญ่ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดนครศรีธรรมราชและบางส่วนของจังหวัดพัทลุงและสงขลา รวมพื้นที่โครงการฯ ประมาณ 5,460 ตารางกิโลเมตร ประกอบด้วยพื้นที่ที่เป็นภูเขาสูง ที่ราบลุ่มและพื้นที่ชายฝั่งทะเล มีประชากรประมาณ 565,570 คน มีการใช้น้ำบาดาลเพื่อการอุปโภค บริโภคอย่างกว้างขวางประมาณวันละ 67,167 ลบ.ม./วัน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลง ก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแทรกตัวของน้ำเค็ม ดังนั้นจึงควรทำการประเมินศักยภาพของน้ำบาดาลในรูปของปริมาณการสูบน้ำที่เหมาะสมโดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยประยุกต์ใช้วิธีแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (ระบบอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่) และแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์จำลองการไหลของน้ำบาดาลและการแพร่กระจายของน้ำเค็มที่ปรับเทียบแล้ว นำไปใช้ในการคาดคะเนระดับน้ำบาดาลและการแพร่กระจายของน้ำเค็มในอนาคตได้ โดยมีหัวข้อการพิจารณาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

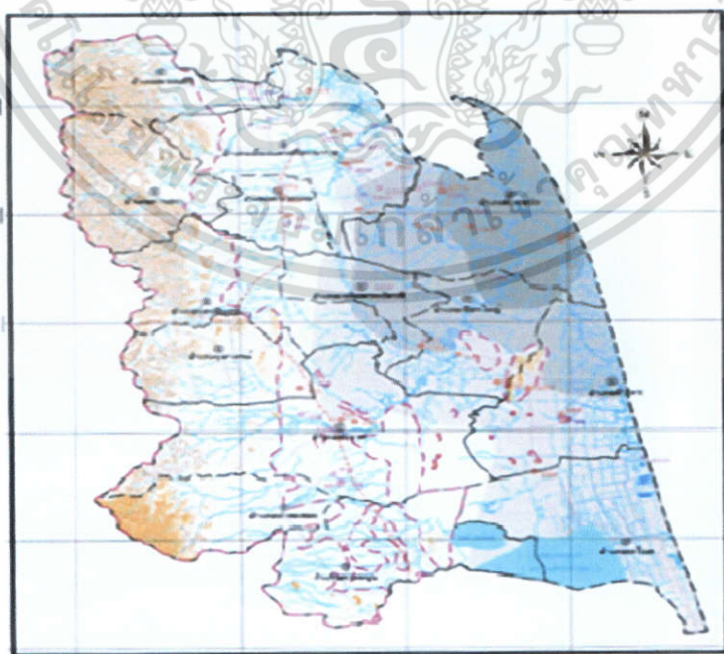
1) แหล่งน้ำบาดาล พื้นที่โครงการประกอบด้วยแหล่งน้ำบาดาลดังนี้

ก. แหล่งน้ำบาดาลในตะกอนหินร่วน (unconsolidated aquifer) ประกอบด้วย ชั้นหินให้น้ำสันทรายชายหาด (Qbs) ให้น้ำในอัตรา 2-10 ลบ.ม./ชม. ชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา (Qfd) ให้น้ำในอัตรา 2-68 ลบ.ม./ชม. ชั้นหินให้น้ำตะกอนเศษหินเชิงเขา (Qcl) ให้น้ำในอัตรา 2-20 ลบ.ม./ชม.

ข. แหล่งน้ำบาดาลในหินแข็ง (consolidated aquifer) ประกอบด้วยชั้นหินให้น้ำประเภทตะกอน ได้แก่ หินปูนอายุออร์โดวิเซียน (Qc) หรือหินปูนกลุ่มหินทุ่งสง) ให้น้ำในอัตรา 2-10 ลบ.ม./ชม. หินปูนอายุเพอร์เมียน (Pc) หรือหินปูนกลุ่มหินราชบุรี) ให้น้ำในอัตรา 2-20 ลบ.ม./ชม. ชั้นหินให้น้ำลำปาง) ให้น้ำในอัตรา 2-10 ลบ.ม./ชม. ชั้นหินให้น้ำประเภทหินตะกอนกึ่งหินแปร (Cms, Cms) ให้น้ำในอัตรา 2-10 ลบ.ม./ชม. ชั้นหินให้น้ำประเภทหินอัคนี (Gr) ให้น้ำในอัตรา 2-10 ลบ.ม./ชม.

2) ระดับน้ำบาดาล พื้นที่โครงการฯ มีระดับน้ำบาดาลอยู่ในช่วง -10 ม. ถึง 30 ม. เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง เมื่อพิจารณาค่าระดับแรงดันน้ำบาดาล ลักษณะภูมิประเทศ และคุณภาพเคมีของน้ำบาดาล พบว่าพื้นที่รับน้ำอยู่ทางแนวเขาสูงทางทิศตะวันตก และพื้นที่เนินเขาสูงทางทิศตะวันออก ส่วนพื้นที่ให้น้ำคือบริเวณพื้นที่ราบลุ่มบริเวณตอนกลางต่อเนื่องไปทางทิศตะวันออก ทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาลจะไหลจากทางทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออก

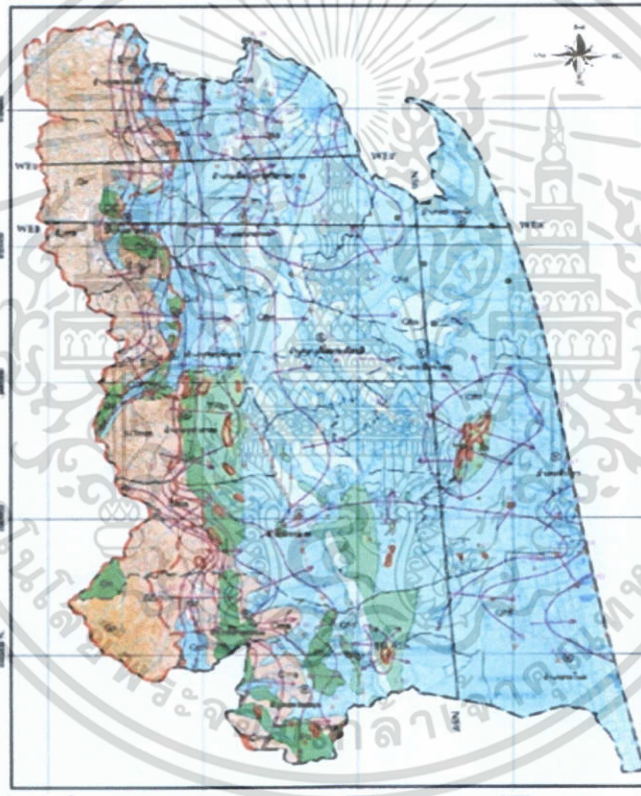
3) คุณภาพของน้ำบาดาล แหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่โครงการฯ ส่วนใหญ่มีคุณภาพดีกล่าวคือ มีค่าปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ ความกระด้างและปริมาณคลอไรด์ ต่ำกว่า 1,500 มก./ล., 300 มก./ล. และ 600 มก./ล. ตามลำดับ ยกเว้นทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ เช่น อำเภอปากพนังที่มีปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้และปริมาณคลอไรด์สูง (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS) ในชั้นหินให้น้ำตะกอนน้ำพา พื้นที่

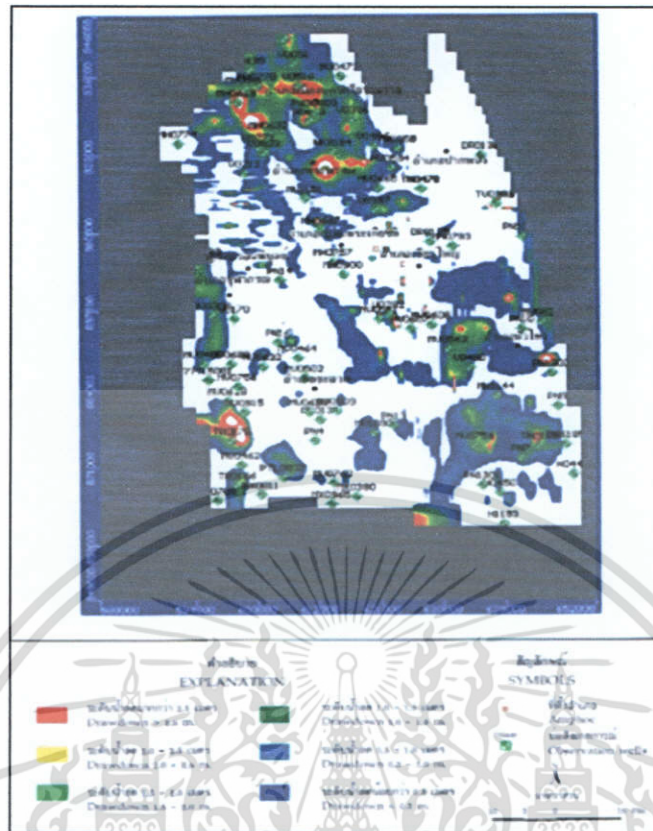
เอกโครงการลุ่มน้ำปากพนังไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) แบบจำลองเชิงโมโนโทคน์ สามารถประเมินได้จากระบบอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่โครงการฯ ซึ่งประกอบด้วยบริเวณเทือกเขาสูงทางทิศตะวันตกเป็นชั้นหินให้น้ำแกรนิต ชั้นหินให้น้ำหินแปรและชั้นหินให้น้ำหินตะกอนกึ่งหินแปรตามแนวเชิงเขา ในพื้นที่ตอนกลางจนถึงชายฝั่งทะเลทางด้านทิศตะวันออก บริเวณด้านบนเป็นชั้นให้น้ำตะกอนทรายชายหาดและตะกอนน้ำพา ที่ประกอบไปด้วยตะกอนดินเหนียวที่มีความหนาและแทรกสลับด้วยตะกอนกรวด ทราย ที่ระดับความลึกต่างๆด้านล่างจะรองรับด้วยชุดหินให้น้ำชุดหินลำปางที่ระดับความลึกประมาณ -100 ม. ชั้นหินให้น้ำระดับตื้นจะเป็นชั้นหินให้น้ำไร้แรงดัน ส่วนชั้นหินที่ลึกลงไปจะเป็นชั้นหินให้น้ำมีแรงดันและกึ่งมีแรงดัน ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่แตกต่างกัน น้ำบาดาลส่วนใหญ่จะไหลตามแนวนอนและไหลจากทิศตะวันตกไปสู่ทิศตะวันออก (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 แผนที่อุทกธรณีวิทยา พื้นที่โครงการลุ่มน้ำปากพนัง

5) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ทำการจำลองในลักษณะ 3 มิติ มีขนาดความกว้าง 72,000 ม. ตามแนวตะวันตก-ตะวันออก ยาว 97,000 ม. ตามแนวตะวันออก-ใต้และมีระดับความสูงของภูมิประเทศตั้งแต่ 200 ม.ถึง -300 ม. และได้จำลองพื้นที่โครงการออกเป็นกริดขนาดเล็ก จำนวน  $90 \times 100 \times 14$  กริดบล็อก ผลการจำลองหลังจากเปรียบเทียบพบว่าทั้งการจำลองในสถานะคงที่และสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลา มีค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำประมาณ 3 เมตร แบบจำลองจึงมีความน่าเชื่อถือในระดับหนึ่งและสามารถนำไปประเมินศักยภาพน้ำบาดาลในอนาคตได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แผนที่ระดับน้ำบาดาลที่ลดลงกรณีใช้น้ำเพิ่ม 5 เท่า คาดคะเนที่ 5 ปี พื้นที่โครงการลุ่มน้ำปากพนัง

### 2.3 วรรณกรรมปริทัศน์ภาษาอังกฤษ

#### 2.3.1) Marsily, Ghislain de (1981)

Marsily, Ghislain de (1981) ได้ศึกษาพื้นที่ชั้นให้น้ำที่เกี่ยวข้องกับธรณีสถิติโดยใช้วิธี Kriging ในรูปที่ 2.5 ประกอบไปด้วยชั้นให้น้ำแบบมีแรงดันของชั้นทราย Eocene ในแอ่งน้ำบาดาล Aquitaine ประเทศฝรั่งเศส มีข้อมูลทั้งหมด 86 หลุม (รูปที่ 2.5) เป็นบ่อสุบทดสอบ 29 บ่อสามารถวิเคราะห์วิธีตรงได้ ที่เหลือสามารถทำได้เพียงอัตราการสูบต่ออัตราน้ำลด 1 หน่วยเท่านั้น ดังนั้นจึงมีแค่ 29 บ่อเท่านั้นที่มีข้อมูลการสูบทดสอบ สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างค่า log ของอัตราการสูบต่ออัตราน้ำลด(Q/S) 1 หน่วย และ ค่า log ของสัมประสิทธิ์การให้น้ำ (T) ใน 29 บ่อสุบทดสอบ โดย 57 หลุมที่เหลือสามารถหาค่าการซึมผ่านจากค่าเฉลี่ยของการถดถอยแบบไม่แน่นอน สามารถคาดการณ์ได้จากสมการถดถอยดังนี้

$$\sigma_j^2 = \sigma^2 \left\{ 1 + \frac{1}{n} + \frac{[\ln(Q/s)_j - \overline{\ln(Q/s)}]^2}{\sum_{i=1}^n [\ln(Q/s)_i - \overline{\ln(Q/s)}]^2} \right\} \quad j = 1, \dots, m \quad (2.1)$$

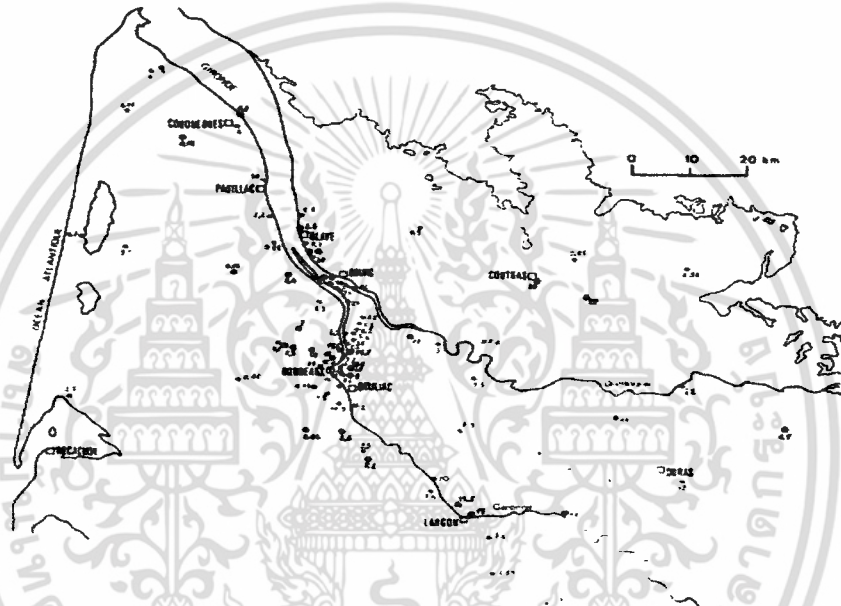
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n [\ln T_i - a \ln(Q/s)_i - b]^2 \quad (2.2)$$

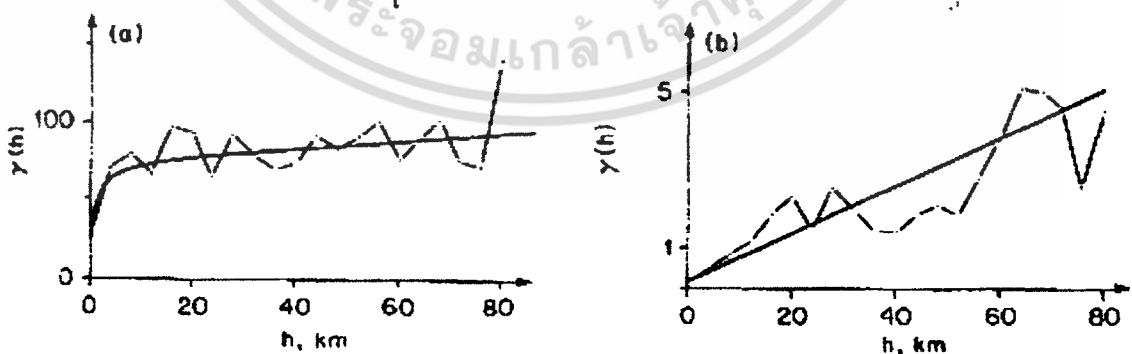
ค่า  $n$  นั้นคือจำนวนเลขของคูในสมการถดถอย

$$\overline{\ln Q/s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(Q/s)_i \quad (2.3)$$

ค่า  $a$  และ  $b$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย

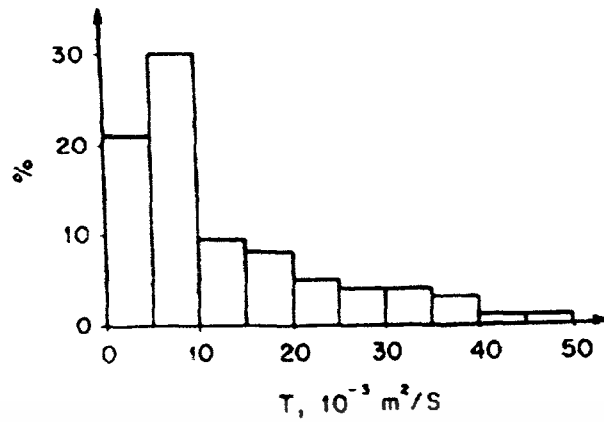


รูปที่ 2.5 แผนที่แสดงตำแหน่งหลุมสูบทดสอบและชั้นหินน้ำ Eocene



รูปที่ 2.6 กราฟการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การให้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 กราฟแจกแจงความถี่ของค่าสัมประสิทธิ์การให้น้ำ



รูปที่ 2.8 แผนที่เส้นระดับสัมประสิทธิ์การให้น้ำของ Kriged

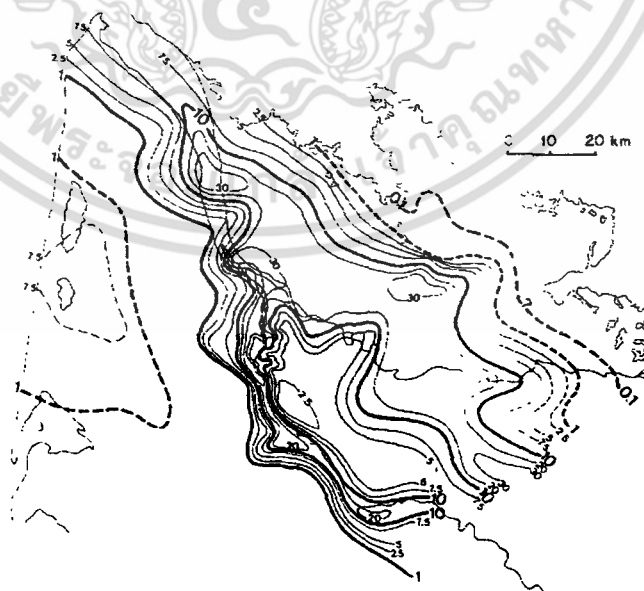


Fig. 11.18. Hand-drawn map of transmissivity

รูปที่ 2.9 แผนที่เส้นระดับสัมประสิทธิ์การให้น้ำที่วาดจากค่าที่ได้จากหลุมทดสอบจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

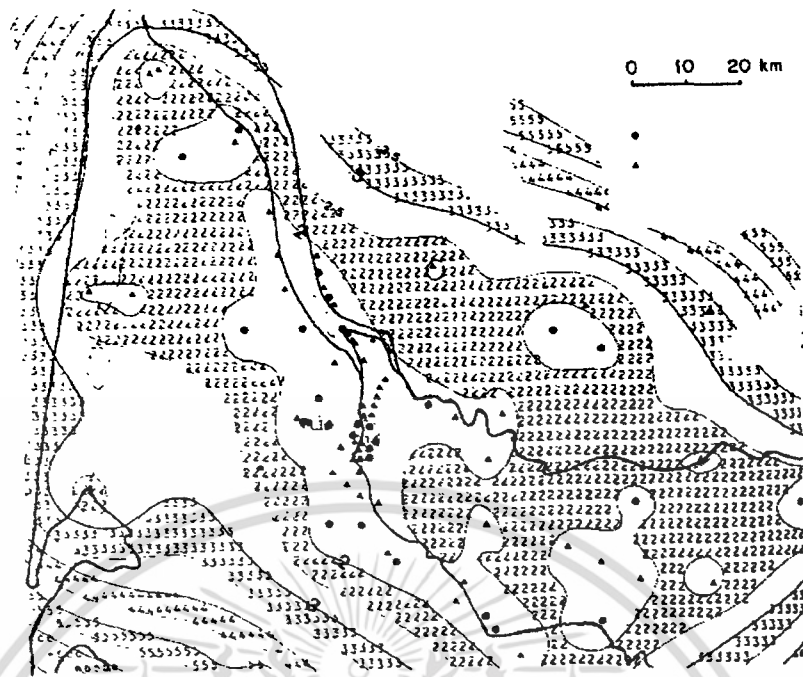


Fig. 11.19. Uncertainty of kriged map of transmissivity ( $\sigma^2$ )

### รูปที่ 2.10 แผนที่แสดงความไม่แน่นอนของสัมประสิทธิ์การให้น้ำในแผนที่ของ Kriged

กราฟ Variogram (รูปที่ 2.6) จะคาดการณ์ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การให้น้ำ 86 ค่า รวมไปถึงค่าที่ทดสอบค่าจริงหน้างาน ในรูปแบบสมการนี้ให้ค่าที่ดีกว่าในสมการอื่นๆ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การให้น้ำจริงนั้นค่อนข้างที่จะกว้าง ดังที่แสดงในกราฟแสดงค่าของสถิติ (รูปที่ 2.7) ค่าเส้นตรง Variogram ที่ได้รับผลกระทบเล็กน้อย ถูกปรับแก้จากสมการต่อไปนี้

$$\gamma(h) = 0.15(1 - \delta) + 0.0625|h| \quad (2.4)$$

ค่า T อยู่ในหน่วย  $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , h ในหน่วยกิโลเมตร และ  $\delta = 1$  ถ้า  $h = 0$

Variogram แสดงถึงความสัมพันธ์ของสมมติฐานของสมการ kriging ซึ่งจะใช้ข้อมูลจากหลุมสุบทดสอบจริง และความแปรปรวนของแต่ละข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือ ได้ถูกใช้มาในการคาดการณ์ทำในพื้นที่กรอบสี่เหลี่ยม ขนาด  $2 \times 2$  กิโลเมตร และใช้ข้อมูลทั้ง 86 บ่อ โดยปราศจากการย้ายบ่อรอบๆ รูปที่ 2.8 แสดงแผนที่เส้นระดับค่า T ของ kriged รูปที่ 2.9 แสดงเส้นระดับทั่วไปที่วาดโดยนักอุทกธรณีวิทยา ดังที่ kriging ได้ทำบน  $\ln T$  95% ของค่าพบว่าจะคลาดเคลื่อนไม่เกิน  $\pm 2\sigma, \sigma$  จากมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ 2.10

จากค่า  $\ln T = (\ln T)^* \pm 2\sigma$  โดยที่ Asterisk ระบุค่าประมาณตัวหนึ่งจาก

$$T^* / e^{2\sigma} \leq T \leq T^* e^{2\sigma} \quad \text{โดย } T^* = e^{(\ln T)^*} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

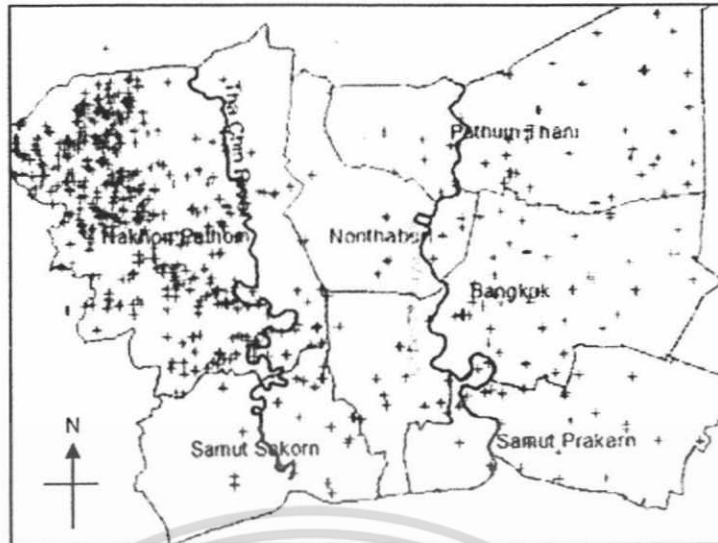
โดยค่า  $T^*$  คือค่ากลางจากการประมาณ และค่าแก้ที่ได้จากค่าที่ไม่เอนอียงของการประมาณ โดยมีจุดประสงค์ไม่ประยุกต์จะเห็นว่าแผนที่สัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำที่ได้โดยวิธีแบบจำลอง Kriging และจากการวาดของการสำรวจจริงมีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 2.8 เทียบกับรูปที่ 2.9)

ตัวอย่างที่เกี่ยวกับชั้นดินให้น้ำปราศจากแรงดันในดินซอร์คที่ Origny Sainte Benoit (Aisne, France) ชั้นให้น้ำถูกระบายถูกถ่ายจากแม่น้ำ 3 สาย ทางตอนเหนือ ตะวันตก และตอนใต้ การสำรวจพิกโซมิเตอร์ถูกทำขึ้นเมื่อวันที่ 31 ธันวาคม 1976 ในพิกโซมิเตอร์ทั้งหมด 88 จุด พบว่า 64 จุดสามารถอธิบายด้วยสมการของ kriging จากระดับน้ำของแม่น้ำโดยรอบชั้นให้น้ำที่ชั้นทั่วไป เนื่องจากแม่น้ำเหล่านี้แสดงให้เห็นขอบเขตของชั้นกักน้ำในชั้นให้น้ำนี้

### 2.3.2) An Application of transition Probability Approach to Geostatistical Simulation: A case study in the Lower Chao Phraya Basin, Thailand.

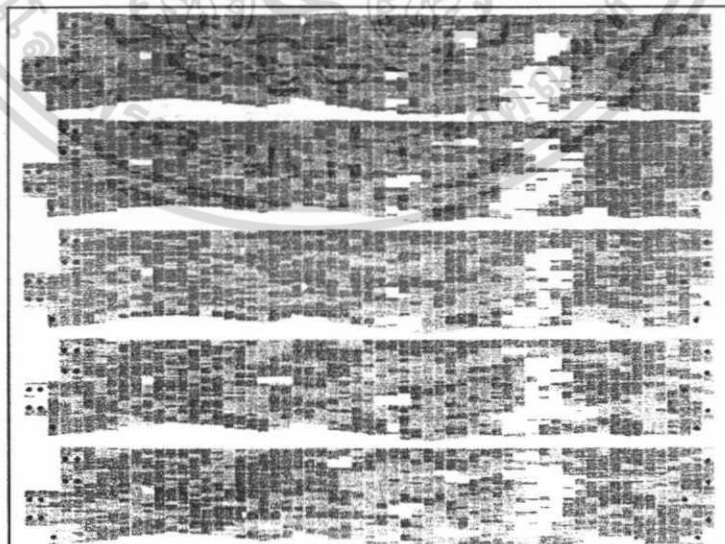
Seebonruang U. (2006) ได้ทำการศึกษาข้อมูลการกระจายตัวของชั้นดินที่สามารถนำมาเพื่อปรับปรุงความน่าเชื่อถือของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำนายการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำบาดาล ซึ่งช่วยในเรื่องการจัดการและการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลอย่างยั่งยืน จากความซับซ้อนของการกระจายตัวของชั้นดินในธรรมชาติ แบบจำลองทางสถิติธรณีวิทยาหลายตัวได้ถูกคิดค้นและพัฒนาเพื่อให้สามารถจำลองข้อมูลชั้นดินให้ใกล้เคียงความถูกต้องมากที่สุด กระบวนการ Transition probability/Makov ได้ถูกดัดแปลงมาเพื่อแปลผลลักษณะของการกระจายตัวของชั้นดินโดยใช้ข้อมูลของตัวชั้นดินที่เป็นตัวแทนมาแปลค่าในแบบจำลอง ซึ่งตัวโปรแกรมมีชื่อว่า “Transition Probability Geostatistic Software (T-PROGS)” พัฒนาโดย Carle (1999)

พื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่แอ่งน้ำบาดาล “แอ่งเจ้าพระยาตอนล่าง” มีพื้นที่ครอบคลุม 6 จังหวัดในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยคือ กรุงเทพมหานคร, นครปฐม, สมุทรปราการ, นนทบุรี, สมุทรสาคร และปทุมธานี โดยสาเหตุที่เลือกพื้นที่แอ่งเจ้าพระยาตอนล่างเป็นพื้นที่ศึกษาเนื่องจากมีข้อมูลบ่อเจาะสำรวจและข้อมูลเป็นจำนวนมาก เพื่อนำข้อมูลไปเปรียบเทียบความถูกต้องกับแบบจำลองที่จะพัฒนาขึ้นมาได้ โดยข้อมูลบ่อสำรวจ โดยข้อมูลบ่อสำรวจมีจำนวนทั้งสิ้น 709 บ่อกระจายตัวกันอยู่ทั่วไปในพื้นที่ 6 จังหวัด (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.11 แผนที่การกระจายตัวของบ่อสำรวจในพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลการกระจายตัวของชั้นดินได้ทำการแบ่งออกเป็น 4 ประเภท (Categories) คือ Clay, Sand, Clay-sand และ Sand-clay ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าค่าสัดส่วนของชั้นดิน (Proportion) แต่ละประเภทมีสัดส่วนอยู่ที่ 0.3579, 0.043, 0.079 และ 0.519 ตามลำดับ มีความต่อเนื่องของการเรียงตัว (Vertical mean length) อยู่ที่ 11.28, 14.76, 13.87 และ 16.08 เมตร ตามลำดับ พบว่าทั้งสัดส่วนและความต่อเนื่องของการเรียงตัวของชั้น Clay มีมากที่สุดในพื้นที่ศึกษา หลังจากนั้นนำข้อมูลไปทำการสร้างแบบจำลองและนำมาทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจพบว่าการเรียงตัวของชั้นทรายต่อเนื่องในแนวนอนจำนวน 7 ชั้น (รูปที่ 2.12) เหมือนกับข้อมูลบ่อสำรวจที่ได้รับมาจึงถือว่าแบบจำลองนี้มีความน่าเชื่อถือในระดับหนึ่ง



รูปที่ 2.12 แผนที่การกระจายตัวของชั้นดินในพื้นที่ศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## หลักการและทฤษฎี

### 3.1 ความหมายและส่วนประกอบของน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดิน (subsurface water) ได้แก่ น้ำที่ไหลซึมผ่านชั้นดินลงไปกัก เก็บอยู่ใต้ผิวดินทั้งหมด ซึ่งจะหมายรวมถึง น้ำที่อยู่ในสภาพความชื้นในดิน และน้ำบาดาลโดยสภาพธรณีวิทยาแล้ว ดินและหิน จะประกอบด้วย ช่องว่าง (voids or interstices) ซึ่งน้ำสามารถแทรกเข้าไปอยู่หรือถูกกักเก็บไว้ ตลอดจนมีการเคลื่อนที่ไปตามช่องว่างเหล่านี้ น้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างของดินและหินจะเรียกรวมๆ กันว่า น้ำใต้ดิน (subsurface water) นอกจากนี้แล้ว ในทางธรณีวิทยายังแบ่งชั้นดินและหินที่อยู่ใต้ ผิวดินลงไปเป็น 2 เขตใหญ่ๆด้วยกัน กล่าวคือบริเวณที่เป็น เขตอิมอากาศ (zone of aeration) และ บริเวณที่เป็น เขตอิมน้ำ (zone of saturation) (รูปที่ 3.1)

เขตอิมอากาศ Zone of aeration (Vadose zone)	น้ำในดิน (Vadose water)	ความชื้น Soil water	Belt of soil water
		Intermediate vadose water	Intermediate belt
		น้ำคูดซึม Capillary water	Capillary fringe
เขตอิมน้ำ Zone of saturation (Phreatic zone)		น้ำบาดาล Ground water	ระดับน้ำบาดาล Water table

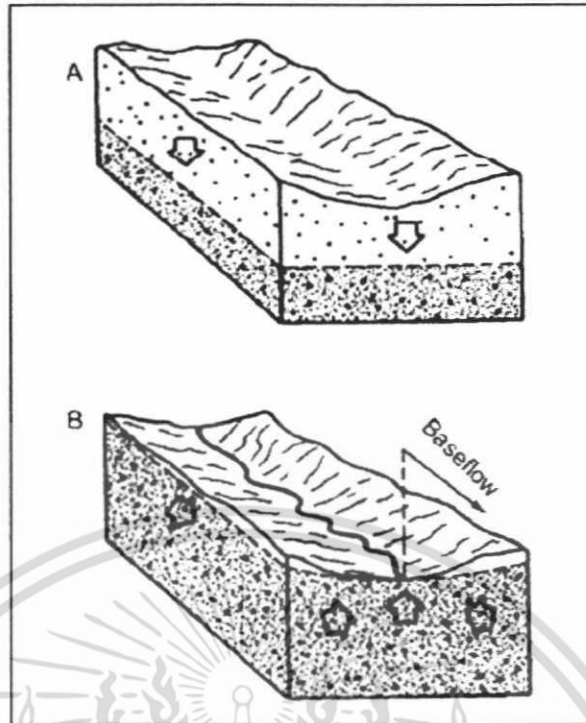
รูปที่ 3.1 การแบ่งเขตชั้นน้ำและประเภทของน้ำใต้ดินในเขตต่าง ๆ (Fetter, 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ระดับน้ำบาดาล

ระดับน้ำบาดาล คือ ระดับบนสุดของเขตอิมน้ำ ในสภาพจริงระดับนี้จะไม่ราบเรียบเป็นเส้นตรง แต่จะมีลักษณะคล้ายผิวคลื่น (undulating surface) ใต้ระดับน้ำบาดาลลงไปช่องว่างที่มีอยู่ทั้งหมดจะมีน้ำแทรกอยู่ ที่เรียกว่า “อิมตัวด้วยน้ำ” ในระดับลึกลงไปจากระดับน้ำบาดาล ความดันของน้ำจะเพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากน้ำหนักของตัวน้ำที่วางทับอยู่ ในระดับตื้นขึ้นมาความดันน้ำจะลดลง และที่ระดับน้ำบาดาลความดันของน้ำจะเท่ากับความดันบรรยากาศ โดยปกติระดับน้ำบาดาลจะมีระดับสอดคล้องกับระดับหรือรูปร่างของภูมิประเทศ กล่าวคือบริเวณที่สูง ระดับน้ำบาดาลก็จะสูงไปด้วยบริเวณที่ต่ำระดับน้ำบาดาลก็จะต่ำไปด้วย แต่ว่าระดับของน้ำบาดาลจะมีความสูงต่ำไม่มากเท่ากับความสูงต่ำของลักษณะภูมิประเทศ เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับระดับน้ำบาดาล ให้พิจารณา รูป 3.2 ซึ่งเป็น การทดลองเพื่อจำลองสภาพธรรมชาติของการเกิดระดับน้ำบาดาล เครื่องมือทดลองเป็นกล่องพลาสติกใสบรรจุทรายไว้ข้างใน ที่ปลายด้านหนึ่งของกล่องทำเป็นร่องคล้ายร่องน้ำหรือช่องทางน้ำไหล และปรับสภาพผิวหน้าทรายให้เรียบ และมีลักษณะคล้ายหุบเขาที่มีร่องทางน้ำไหลออกทางตอนปลายของกล่องทดลองนำน้ำมาฉีดสเปรย์ลงบนผิวหน้าของทราย โดยจำลองคล้ายสภาพฝนที่ตกลงมาปริมาณน้ำที่สเปรย์ให้พอดี ไม่มากเกินไปจนเกิดน้ำไหลบ่าตามผิวหน้า น้ำจะค่อยๆ ซึมผ่านลงไปจนกระทั่งเกิดเขตอิมตัวด้วยน้ำในบริเวณด้านล่างของกล่อง (รูปที่ 3.2 (A)) ระดับบนสุดของเขตอิมน้ำนี้คือ ระดับน้ำบาดาลซึ่งจะมีลักษณะเป็นพื้นระนาบเท่ากัน (level surface) และเมื่อปริมาณน้ำที่สเปรย์ลงไปเพิ่มมากขึ้น ระดับน้ำบาดาลก็จะสูงขึ้นเรื่อยๆ แต่ยังคงมีลักษณะเป็นพื้นระนาบระดับเท่ากันอยู่จนกระทั่งระดับน้ำบาดาลขึ้นมาจนถึงจุดต่ำสุดของร่องน้ำหรือช่องทางน้ำไหล เมื่อสเปรย์น้ำต่อเนื่องซึ่งจำลองปริมาณน้ำฝนที่มีอย่างต่อเนื่อง ระดับน้ำบาดาลจะเริ่มสูงกว่าระดับของร่องน้ำ ณ ขณะนั้น น้ำจะเริ่มไหลออกตามร่องน้ำในขณะที่บริเวณอื่น ๆ ระดับน้ำบาดาลก็จะสูงขึ้นและสะท้อนไปตามระดับความสูงของสภาพภูมิประเทศของหุบเขา ทำให้เกิดความแตกต่างของระดับความดันของน้ำ หรืออีกนัยหนึ่งทำให้เกิดลาดชลศาสตร์ (hydraulic gradient) ในช่วงนี้เอง น้ำบาดาลก็จะเริ่มมีการไหลเคลื่อนที่ในแนวระนาบ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากลาดชลศาสตร์และไหลออกสู่บริเวณที่ต่ำหรือที่เรียกว่า บริเวณน้ำไหลออก (discharge point) ซึ่งก็คือ บริเวณร่องน้ำนั่นเอง (รูปที่ 3.2 (B)) พิจารณาจากการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

- (1) ในขณะที่ยังไม่มีกรไหลของน้ำบาดาล ระดับน้ำบาดาลจะอยู่ในแนวระนาบ
- (2) เมื่อระดับน้ำบาดาลเริ่มมีความลาดเอียง แสดงถึงความดันที่แตกต่างกันน้ำบาดาลจะเริ่มมีการไหล
- (3) น้ำบาดาลจะไหลออกสู่บริเวณที่ต่ำ
- (4) ระดับน้ำบาดาลจะสะท้อนและจำลองระดับของภูมิประเทศ
- (5) น้ำบาดาลจะไหลจากบริเวณภูมิประเทศที่มีระดับสูงสู่บริเวณภูมิประเทศที่มีระดับต่ำ



รูปที่ 3.2 การทดลองเพื่อจำลองสภาพธรรมชาติของการเกิดระดับน้ำบาดาล

รูปที่ 3.2 การทดลองเพื่อจำลองสภาพธรรมชาติของการเกิดระดับน้ำบาดาล (A) เมื่อระดับน้ำบาดาลอยู่ในแนวระนาบจะไม่มีไหลของน้ำบาดาลในแนวระนาบ (B) เมื่อระดับน้ำบาดาลเริ่มมีความลาดเอียงจะเกิดการไหลของน้ำบาดาลในแนวระนาบและไหลออกไปสู่บริเวณที่ต่ำหรือร่องน้ำ ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลออกจากชั้นหินให้น้ำ จะเท่ากับปริมาณน้ำไหลพื้นฐาน (base flow) ของทางน้ำนั้น ๆ (Fetter, 2001)

### 3.3 ชั้นหินให้น้ำ (Aquifer)

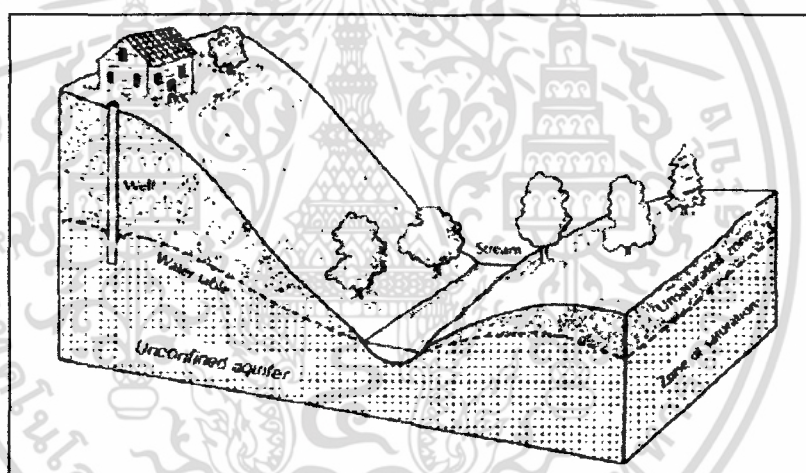
โดยสภาพธรณีวิทยาแล้ว หินประเภทต่างๆ ที่พบบนโลกไม่ว่าจะเป็นหินร่วน (unconsolidated rock) พวกกรวด หทราย ตะกอนธารน้ำ หรือหินแข็ง (consolidated rock) ที่มีรูพรุน อาทิ หินทราย หินที่มีรอยแตกหรือหินที่ละลายน้ำได้ อาทิ หินปูน หินโดโลไมต์ ต่างก็มีช่องว่างที่สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้เรียกรวม ๆ กันว่า หินกักเก็บน้ำ (water bearing rock) แต่หินกักเก็บน้ำนี้อาจจะจ่ายน้ำได้ไม่เพียงพอในการสูบขึ้นมาใช้สอย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางอุทกธรณีของหินเหล่านั้นเป็นสำคัญ ชั้นหินหรือกลุ่มของชั้นหินที่อึดตัวด้วยน้ำและสามารถปล่อยน้ำบาดาลให้ได้เป็นปริมาณมากและเพียงพอต่อการสูบน้ำขึ้นมาใช้สอยเรียกว่า ชั้นหินให้น้ำ (Aquifer) คำว่า Aqua มาจากภาษาลาติน แปลว่าน้ำ Fer มาจากภาษาลาติน Ferre ที่แปลว่าให้ ตัวอย่างของชั้นหินให้น้ำที่สำคัญ ได้แก่ พวกกรวด หทราย หินทราย หินปูน หินโดโลไมต์ หินบะซอลต์ หินอัคนี และหินแปรที่มีรอยแตก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของชั้นหินให้น้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ขึ้นอยู่กับสภาพอุทกธรณีและแรงดันที่มีอยู่ในน้ำบาดาลและชั้นหินให้น้ำ ดังนี้

### 3.3.1 ชั้นหินให้น้ำไม่มีแรงดัน (Unconfined aquifer, Water table aquifer, Phreatic aquifer หรือ Non-artesian aquifer)

ชั้นหินให้น้ำไม่มีแรงดัน หมายถึง ชั้นหินให้น้ำที่ไม่ได้อยู่ภายใต้แรงดัน กล่าวคือไม่มีชั้นหินกั้นน้ำ (confining layer) ปิดทับอยู่ เป็นชั้นหินให้น้ำที่อยู่ถัดจากผิวดินลงไปมีระดับน้ำบาดาลอยู่ตราบนสุดของชั้นหินให้น้ำ ความหนาของเขตอิมม็อน้ำก็คือ ความหนาของชั้นหินให้น้ำชนิดนี้ ระดับน้ำบาดาลจะมีระดับและความลาดชันที่ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ (รูปที่ 3.3) ชั้นหินให้น้ำไม่มีแรงดันนี้ จะได้รับน้ำลงไปเพิ่มเติม (recharge) จากน้ำฝนที่ซึมผ่านเขตอิมม็อน้ำอากาศลงไปโดยตรง ถ้าเจาะบ่อบาดาลลงไปชั้นหินให้น้ำไม่มีแรงดันนี้ ระดับน้ำในบ่อจะแสดงระดับน้ำบาดาลรอบๆบ่อ ซึ่งอยู่ในระดับเดียวกัน



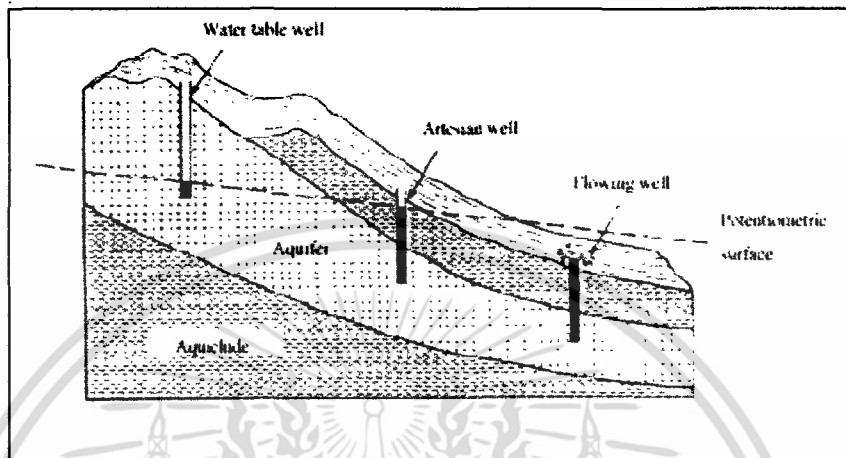
รูปที่ 3.3 ชั้นหินให้น้ำไม่มีแรงดัน (unconfined aquifer) (Fetter, 2001)

### 3.3.2 ชั้นหินให้น้ำมีแรงดัน (Confined aquifer หรือ Artesian aquifer)

ชั้นหินให้น้ำมีแรงดัน หมายถึง ชั้นหินให้น้ำที่มีชั้นหินกั้นน้ำปิดทับอยู่ อาจจะเฉพาะด้านบนหรือรวมทั้งปิดทับด้านบนและรองรับด้านล่าง ทำให้น้ำบาดาลและชั้นหินให้น้ำนี้ อยู่ภายใต้แรงดันที่มากกว่าแรงดันบรรยากาศ ชั้นหินให้น้ำมีแรงดันอาจจะได้รับน้ำลงไปเพิ่มเติมจากน้ำฝนที่ซึมผ่านส่วนของชั้นหินให้น้ำที่ผลัดที่ผิวดิน หรือจากที่น้ำฝนซึมผ่านชั้นหินกั้นน้ำลงไป (รูปที่ 3.4) ถ้าเจาะบ่อบาดาลผ่านชั้นหินกั้นน้ำเข้าไปในตัวชั้นหินให้น้ำมีแรงดันนี้ ระดับน้ำในบ่ออาจจะขึ้นไปสูงกว่าระดับของชั้นหินให้น้ำ ซึ่งแสดงว่าน้ำบาดาลนี้จะอยู่ภายใต้แรงดัน ระดับน้ำในบ่อดังกล่าวจะแสดงระดับแรงดันของน้ำบาดาลในชั้นหินให้น้ำนี้ และจะมีระดับสูงกว่าส่วนที่อิมม็อน้ำด้วยเสมอเรียกแนวหรือระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

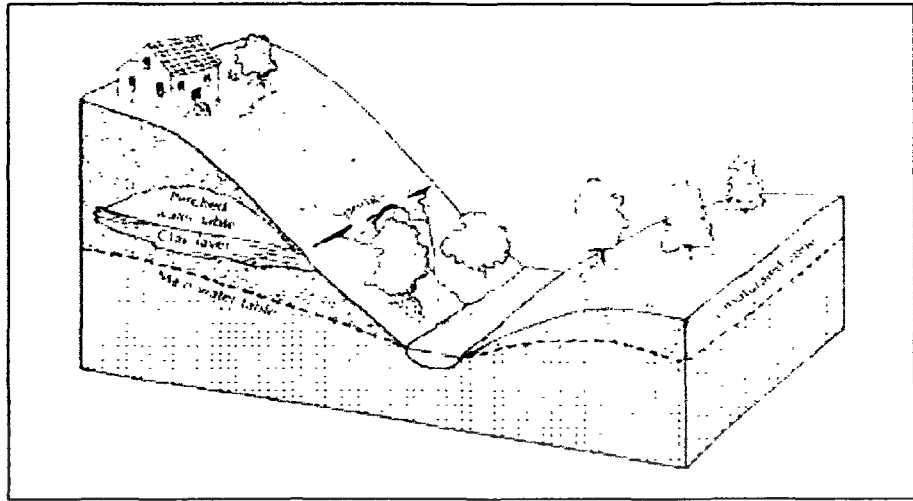
ที่เป็นสมมติแสดงระดับแรงดันน้ำว่าระดับแรงดันน้ำ (potentiometric surface หรือ piezometric surface) ในกรณีที่เจาะบ่อบาดาลในตำแหน่งที่มีระดับแรงดันน้ำอยู่เหนือระดับผิวดิน น้ำในบ่อก็จะพุหรือพุ่งขึ้นมาเองโดยไม่ต้องมีการสูบเรียกบ่อบาดาลนี้ว่าบ่อน้ำพุ (flowing well) โดยระดับที่น้ำพุขึ้นมาจะขึ้นไปจนถึงระดับแรงดันที่มีอยู่ในชั้นหินให้น้ำใน (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 ชั้นหินให้น้ำมีแรงดัน (confined aquifer) บ่อน้ำบาดาลมีแรงดัน (artesian well) (Fetter, 2001)

### 3.3.3 ชั้นหินให้น้ำปลอม (Perched aquifer)

ในบางกรณีในเขตอ้อมอากาศ อาจจะมีชั้นของหินที่น้ำซึมผ่านได้ยาก วางตัวอยู่ในลักษณะโค้งงอคล้ายแฉ่ง (lens shaped) เกิดรวมอยู่ด้วยเมื่อน้ำฝนซึมผ่านลงมาจากผิวดิน น้ำส่วนหนึ่งจะถูกกักเก็บไว้เหนือชั้นหินเนื้อแน่น ในขณะที่น้ำฝนอีกส่วนหนึ่งจะไหลซึมผ่านลงไปสู่เขตอ้อมน้ำที่อยู่ด้านล่าง ในลักษณะเช่นนี้ จะทำให้มีส่วนที่อ้อมตัวด้วยน้ำวางตัวอยู่บนชั้นหินเนื้อแน่น และอยู่ในระดับที่เหนือกว่าเขตอ้อมน้ำ เรียกว่า ชั้นหินให้น้ำปลอม (perched aquifer) (รูปที่ 3.5) ระดับของน้ำบาดาลเรียกว่าระดับน้ำบาดาลปลอม (perched water table) น้ำบาดาลนี้จะมีการไหลเคลื่อนที่ในแนวระนาบ และไหลซึมลงสู่เขตอ้อมน้ำหรือชั้นหินให้น้ำไม่มีแรงดัน ที่วางตัวอยู่ด้านล่าง หรืออาจจะไหลออกที่ผิวดินในรูปของน้ำพุ (spring) ชั้นหินให้น้ำปลอมส่วนใหญ่พบในพื้นที่ตะกอนธารน้ำแข็ง ซึ่งมักจะมีเลนซ์ของดินเหนียวหรือในบริเวณที่มีหินภูเขาไฟซึ่งมักจะมีชั้นของเถ้าภูเขาไฟที่น้ำซึมผ่านได้ยากแทรกกรองรับอยู่ในชั้นของหินบะซอลต์ ปกติชั้นหินให้น้ำปลอมมักจะเป็นขนาดเล็ก เพียงพอสำหรับการใช้ในครัวเรือนเท่านั้น



รูปที่ 3.5 ชั้นหินให้น้ำปริ่ม (perched aquifer) (Fetter, 2001)

### 3.4 คุณสมบัติของชั้นหินให้น้ำ (Aquifer properties)

#### 3.4.1 ความพรุน (Porosity)

ความพรุน หมายถึง ปริมาณของช่องว่างในหิน โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณทั้งหมดของหิน โดยอาจเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

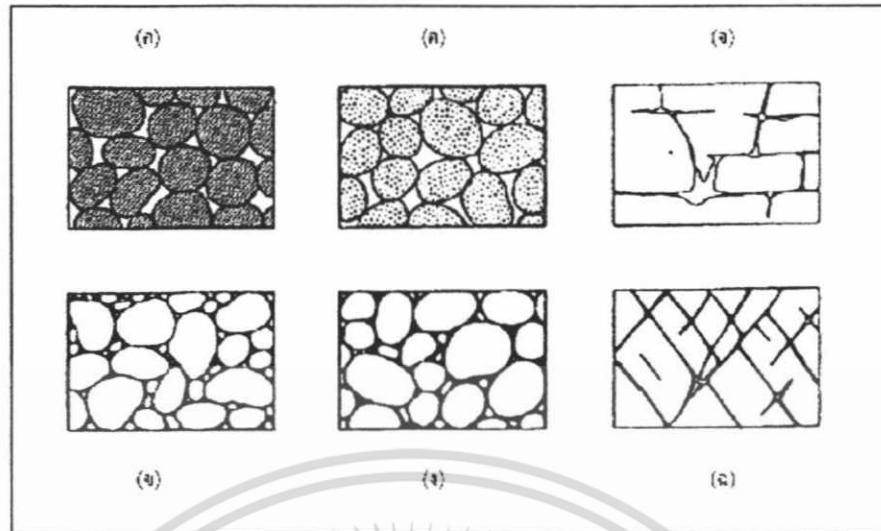
$$n = \frac{V_v}{V} \quad (3.1)$$

โดยมี  $n$  = ความพรุน (%)

$V_v$  = ปริมาตรของช่องว่างในหินหนึ่งหน่วย ( $L^3$ ;  $cm^3$  or  $m^3$ )

$V$  = ปริมาตรทั้งหมดของหินซึ่งรวมทั้งส่วนที่เป็นช่องว่างและของแข็ง ( $L^3$ ;  $cm^3$  or  $m^3$ )

ความพรุนของหินต่างๆ จะถูกควบคุมโดยปัจจัยและกระบวนการทางธรณีวิทยาหลายๆอย่าง (รูปที่ 3.6) ที่สำคัญได้แก่ รูปร่างและการเรียงตัวของเม็ดตะกอน (shapes and packing) ความดีเลวของการคัดขนาด (sorting) การเชื่อมประสาน (cementation) ช่องว่างที่เกิดจากการละลายของเนื้อหิน (solution opening) รอยแตกต่าง ๆ (fractures)



รูปที่ 3.6 ปัจจัยที่ควบคุมความพรุน (porosity) (ก) การคัดขนาดดี มีความพรุนสูง (ข) การคัดขนาดไม่ดี มีความพรุนต่ำ (ค) การคัดขนาดดีเนื้อหินมีความพรุนอยู่แล้วทำให้ความพรุนสูง (ง) ความพรุนลดลง เนื่องจากสารเชื่อมประสาน (จ) ความพรุนเนื่องมาจากเนื้อหินถูกละลายชะล้าง และ (ฉ) ความพรุนเนื่องมาจากรอยแตกในหิน (Walton, 1970)

ในหินตะกอนประเภทที่เกิดจากการตกผลึก (precipitation) อาทิ หินปูน หินโคลโลไมต์ ยิบซั่ม หินเกลือ ความพรุนที่สำคัญจะได้จากช่องว่างที่เกิดจากการชะล้างเนื้อหินออกไป กล่าวคือ เมื่อมีน้ำบาดาลไหลผ่านตามรอยแตก หรือตามแนวระนาบชั้นหิน เนื้อของหินตะกอนเหล่านี้จะค่อยๆ ถูกชะล้างออกไปทำให้ช่องว่างมีขนาดใหญ่มากขึ้นเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป ตัวอย่างเช่นถ้าบางถ้ำที่เกิดจากกระบวนการนี้จะมีขนาดใหญ่โตมาก ถ้ำถ้ำหรือช่องว่างนี้ยังอยู่ใต้ดินก็จัดว่าเป็นช่องว่างขนาดใหญ่มาก ซึ่งน้ำบาดาลสามารถไหลผ่านไปตามช่องว่างเหล่านี้ หินใต้น้ำที่เป็นหินประเภทนี้ในบางกรณีจึงสามารถให้น้ำได้เป็นปริมาณมากๆ ตัวอย่างค่าความพรุนในหินชนิดต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ค่าความพรุน (porosity) และ ค่าสัมประสิทธิ์ในการจ่ายน้ำ (specific yield) (Bassington, 1988)

Material	Porosity (%)	Specific yield (%)
Coarse gravel	28	23
Medium gravel	32	24
Fine gravel	34	25
Coarse sand	39	27
Medium sand	39	28
Fine sand	43	23
Silt	46	8
Fine-grained sandstone	33	21
Medium-grained sandstone	37	27
Clay	42	3
Limestone	30	14
Dolomite	26	-
Dune sand	45	38
Loess	49	18
Peat	92	44
Schist	38	26
Siltstone	35	12
Claystone	43	-
Shale	6	-
Tuff	41	21
Basalt	17	-
Gabbro (weathered)	43	-
Granite (weathered)	45	-

### 3.4.2 สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ และสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บน้ำ (Hydraulic conductivity, Transmissivity and Storativity)

ปริมาณของน้ำบาดาลที่ถูกกักเก็บอยู่ในหิน จะขึ้นอยู่กับช่องว่างที่มีอยู่ในเนื้อหินนั้นๆหรืออีกนัยหนึ่งก็คือความพรุนนั่นเอง แต่ปริมาณของน้ำที่ถูกกักเก็บนั้นไม่ได้เป็นสิ่งที่แสดงถึงปริมาณของน้ำที่เราสามารถสูบน้ำออกมาใช้ในระยะเวลาใดเวลาหนึ่งหรือในสภาวะใดสภาวะหนึ่ง ปัจจัยหรือตัวการที่สำคัญที่จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงจำนวนหรือปริมาณของน้ำที่สามารถนำออกมาใช้ที่สำคัญ ได้แก่ สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำและสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติทางชลศาสตร์ (Hydraulic properties) ที่สำคัญดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.1 สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (hydraulic conductivity หรือ Coefficient of permeability, K) หมายถึง อัตราการไหลของน้ำผ่านวัตถุตัวกลางที่มีพื้นที่หน้าตัดหนึ่งหน่วยซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับการไหลของน้ำภายใต้ลาดชลศาสตร์ (hydraulic gradient) หนึ่งหน่วย (รูปที่ 3.10) และเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$K = \frac{Q}{A(dh/dL)} \quad (3.2)$$

โดยมี  $K$  = สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (L/T; m/d or ft/d)  
 $Q$  = อัตราการไหล (L<sup>3</sup>/T; m<sup>3</sup>/d or ft<sup>3</sup>/d)  
 $A$  = พื้นที่ (L<sup>2</sup>; m<sup>2</sup> or ft<sup>2</sup>)  
 $dh/dL$  = ลาดชลศาสตร์ (L/L; m/m or ft/ft)

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติในการให้น้ำของหินทั่ว ๆ ไป

	สัมประสิทธิ์การซึมได้ (K)	ความพรุน
ค่าสูงสุด	กรวดค้ำขนาดดี	ดินเหนียว
	หินปะ-ซอลต์เนื้อพรุน	ทรายละเอียด
	หินปูนมีโพรง	ทรายค้ำขนาดดี
	ทรายและกรวดค้ำขนาดไม่ดี	ทรายและกรวดค้ำขนาดไม่ดี
	หินทราย	กรวด
	หินอัคนีที่แตกหัก	หินทราย
	ดินเหนียว	หินปะ-ซอลต์เนื้อพรุน
	หินอัคนีเนื้อแน่น	หินปูนมีโพรง
		หินอัคนีที่แตกหัก
ค่าต่ำสุด		หินอัคนีเนื้อแน่น

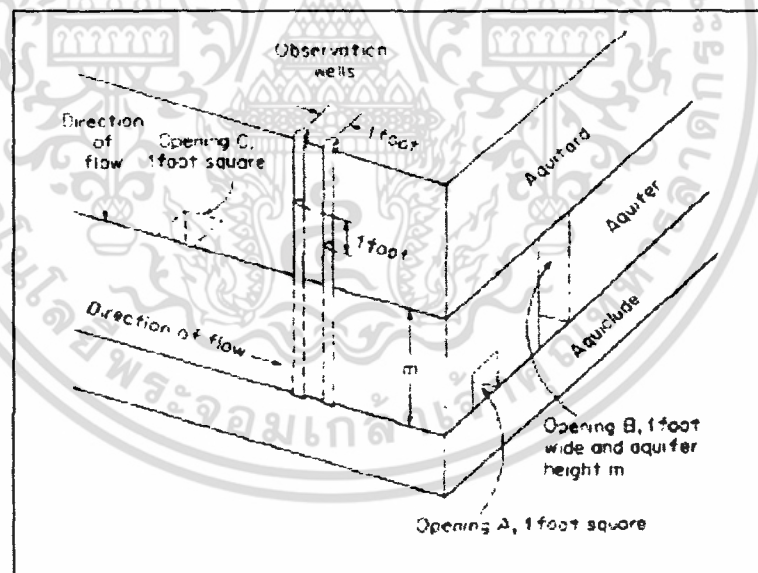
3.4.2.2 สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (Transmissivity หรือ Coefficient of transmissibility, T) หมายถึง อัตราการไหลของน้ำผ่านชั้นหินให้น้ำที่มีพื้นที่หน้าตัดหนึ่งหน่วยและยาวตลอดความหนาของชั้นหินให้น้ำภายใต้ความลาดชลศาสตร์หนึ่งหน่วย (รูปที่ 3.7) และเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$T = Kb \quad (3.3)$$

โดยที่  $T$  = สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (L<sup>2</sup>/T; m<sup>2</sup>/d or ft<sup>2</sup>/d)  
 $K$  = สัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (L/T; m/d or ft/d)  
 $b$  = ความหนาของชั้นหินให้น้ำ (L; m or ft)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.3 สัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ (Storativity หรือ Storage coefficient ,  $S$ ) หมายถึง ปริมาณของน้ำซึ่งชั้นหินให้น้ำสามารถปล่อยออกมาหรือเก็บเข้าไปในตัวของมัน ต่อพื้นที่หน้าตัด หนึ่งหน่วยเมื่อระดับน้ำลดหรือเพิ่มหนึ่งหน่วย (รูปที่ 3.7) ถ้าพิจารณาในเขตที่อิ่มตัวด้วยน้ำระดับหรือ แท่งความสูงของน้ำจะทำให้เกิดแรงดัน ซึ่งส่งผลต่อการเรียงตัวของเม็ดตะกอนและโมเลกุลของน้ำที่มี อยู่ในช่องว่าง เมื่อระดับแรงดันเพิ่มขึ้นโครงสร้างของเม็ดตะกอนก็จะปรับขยายตัวใหญ่ขึ้น หรือเมื่อ ระดับแรงดันลดลงก็จะหดตัวเล็กลง เพื่อปรับสถานะให้สมดุลตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นไปตามความ ยืดหยุ่น (elasticity) ของเม็ดตะกอน ในทำนองเดียวกันเมื่อแรงดันเพิ่มมากขึ้น โมเลกุลของน้ำก็จะ เล็กลงหรือขยายตัวเมื่อแรงดันลดลง ดังนั้นในกรณีของชั้นหินให้น้ำเมื่อมีการลดลงของระดับน้ำบาดาล หรือระดับความดัน โครงสร้างของชั้นหินให้น้ำก็จะมีการหดตัวทำให้น้ำถูกขับเคลื่อนออกมา นอกจากนี้จากการที่โมเลกุลของน้ำขยายตัวเนื่องจากแรงดันลดลง ก็จะเอื้อหนุนให้น้ำถูกขับเคลื่อน ออกมาจากชั้นหินให้น้ำมากขึ้น พฤติกรรมของเม็ดตะกอนและโมเลกุลของน้ำที่ตอบสนองต่อการ เปลี่ยนแปลงของแรงดันในลักษณะยืดหยุ่นเช่นนี้ สามารถอธิบายความหมายของการกักเก็บจำเพาะ (specific storage,  $S_s$ ) ซึ่งหมายถึง ปริมาณของน้ำที่ถูกปล่อยออกมาหรือกักเก็บเข้าไปต่อหนึ่ง หน่วยปริมาตรของชั้นที่อิ่มตัวด้วยน้ำเนื่องมาจากการสนองตอบของเม็ดตะกอน และโมเลกุลของน้ำ ต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความดันหนึ่งหน่วย



รูปที่ 3.7 ความหมายของสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (hydraulic conductivity) และสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (transmissivity) (Walton, 1970)

- ในกรณีของชั้นหินให้น้ำมีแรงดัน (confined aquifer) ถึงแม้ว่าระดับความดันจะลดลงแต่ส่วนที่เป็นชั้นหินให้น้ำจะยังคงอึดตัวด้วยน้ำทั้งหมด (รูปที่ 3.8) ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ ( $S$ ) ของชั้นหินให้น้ำมีแรงดันจะมีค่าเท่ากับ

$$S = S_s b \quad (3.4)$$

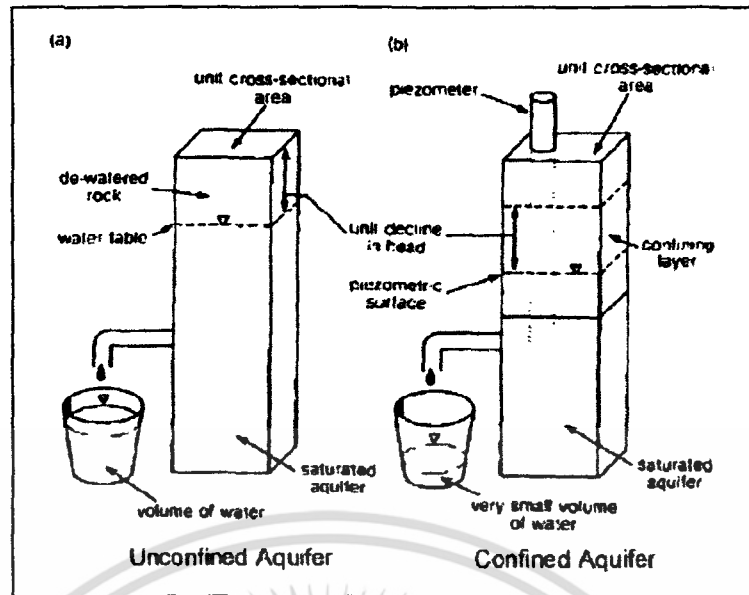
ค่า  $S_s$  มิติ (Dimension) เป็น  $1/L$  และ  $b$  ความหนาของชั้นหินให้น้ำมีมิติเป็น  $L$  ดังนั้น ค่า  $S$  จึงไม่มีมิติ (หน่วย) น้ำทั้งหมดที่ปล่อยออกมาจากชั้นหินให้น้ำมีแรงดันนี้ได้จากการปรับตัวหรือความยืดหยุ่นของเม็ดตะกอนและโมเลกุลของน้ำและได้น้ำมาจากตลอดความหนาของชั้นหินให้น้ำปกติจะมีค่าค่อนข้างน้อยระหว่าง 0.00001-0.001

- ในกรณีของชั้นหินให้น้ำแบบไม่มีแรงดัน (unconfined aquifer) เนื่องจากความหนาของส่วนที่อึดตัวด้วยน้ำ จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ในช่องว่าง เมื่อระดับน้ำลดลงน้ำก็จะถูกปล่อยออกมาจากช่องว่างโดยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการจ่ายน้ำ (specific yield,  $S_y$ ) ของชั้นหินให้น้ำเป็นสำคัญ รวมทั้งน้ำบางส่วนก็จะถูกปล่อยออกมาตามค่าของการกักเก็บจำเพาะ (specific storage,  $S_s$ ) (รูปที่ 3.8) ดังนั้น ในกรณีของชั้นหินให้น้ำแบบไม่มีแรงดัน ค่าสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ (storativity,  $S$ ) จะมีค่าเท่ากับ

$$S = S_y + S_s b \quad (3.5)$$

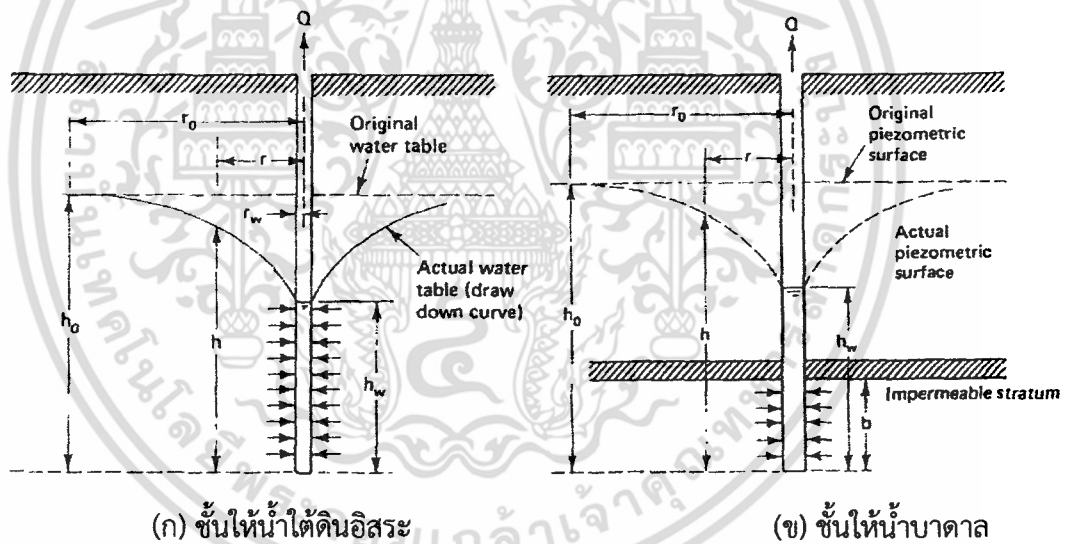
โดยมี  $b =$  ค่าความหนาของส่วนที่อึดตัวด้วยน้ำ ( $L$ )

เนื่องจากค่า ( $S_y$ ) จะมีค่ามากกว่า ( $S_s b$ ) มาก ในกรณีของชั้นหินให้น้ำแบบไม่มีแรงดันนี้จึงมักถือว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ ( $S$ ) จะมีค่าเท่ากับค่าประสิทธิภาพในการจ่ายน้ำ ( $S_y$ ) ค่าสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ ( $S$ ) สำหรับชั้นหินให้น้ำแบบไม่มีแรงดัน จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.02 - 0.30 ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าสูงกว่าในกรณีของชั้นหินให้น้ำแบบมีแรงดันมาก



รูปที่ 3.8 ความหมายของสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ (storativity) (Brassington, 1988)

### 3.5. ชลศาสตร์ของบ่อน้ำบาดาล (Well Hydraulics)



รูปที่ 3.9 การสูบทดสอบสูบน้ำบาดาล (pumping test) จากบ่อน้ำใต้ดิน

การนำน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ประโยชน์ มักจะทำการขุดเจาะและสร้างบ่อน้ำใต้ดินให้ลึกถึงชั้นให้น้ำไม่ว่าจะเป็นชั้นน้ำใต้ดินอิสระหรือชั้นให้น้ำบาดาล โดยการใช้เครื่องสูบลมหรือเครื่องสูบลูกมือ โดยก่อนสูบน้ำระดับน้ำบาดาลในบ่อจะอยู่สูงที่ระดับน้ำนิ่ง (static water level) ซึ่งอาจจะเป็นระดับน้ำใต้ดิน (water table) สำหรับกรณีของชั้นให้น้ำใต้ดินอิสระ (unconfined aquifer) หรือระดับความดัน (piezometer surface) ในกรณีของชั้นให้น้ำบาดาล ดังแสดงในรูปที่ 3.9 เมื่อมีการสูบน้ำขึ้นมาโดยมีอัตราการสูบ (pumping rate, pumpage)  $Q$  คงที่ค่าหนึ่ง จะทำให้ระดับน้ำในบ่อลดลงจนถึงระดับหนึ่งที่ทำให้น้ำใต้ดินไหลผ่านชั้นดินให้น้ำ (aquifer) เข้ามาในบ่อเท่ากับอัตราการสูบ  $Q$  เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับน้ำในบ่อจึงจะหยุดนิ่งตรงบ่อที่ยังมีการสูบอย่างต่อเนื่อง โดยเหตุนี้จะทำให้ระดับน้ำใต้ดินที่ระยะห่างใดๆจากบ่อโดยรอบลดลง เรียกว่าระดับน้ำลด (drawdown) และการเกิดกรวยน้ำลด (cone of depression หรือ drawdown cure) ดังแสดงในรูปที่ 3.9 กรวยน้ำลดจะคงที่อัตราการสูบ  $Q$  คงที่ จะเรียกว่ากรวยน้ำลดสถานะคงที่ (steady state) หากอัตราการสูบ  $Q$  เพิ่มขึ้นกรวยน้ำลดจะลดต่ำลงอีกเพื่อเพิ่มความลาดชัน (hydraulic Gradient) อันจะมีผลให้น้ำไหลผ่านชั้นให้น้ำเข้าบ่อน้ำใต้ดินได้มากขึ้น

ในกรณีที่ชั้นน้ำมีลักษณะชั้นดินสม่ำเสมอ (uniform / homogeneous aquifer) กรวยน้ำลดจะมีลักษณะเหมือนกันโดยรอบบ่อน้ำใต้ดิน (axis-symmetric) การคำนวณเกี่ยวกับการไหลแบบรัศมี (radial flow) ผ่านชั้นให้น้ำเข้าบ่อใต้ดิน เมื่อสถานะสมดุลหรือสถานะคงที่ได้เกิดขึ้นคืออัตราการไหลเข้าบ่อใต้ดินเท่าอัตราการสูบ จากสูตรของคาร์ซี อัตราการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดรัศมี  $R$  จากศูนย์กลางบ่อน้ำใต้ดิน

### 3.5.1. การสูบทดสอบแบบสมดุล

การสูบทดสอบจะเป็นการสูบน้ำจากบ่อสูบ (pumping well) และมีการเจาะบ่อสังเกตระดับน้ำ (observation well) อย่างน้อย 2 บ่อ ระยะทาง  $r_1$  และ  $r_2$  จากบ่อสูบ ดังแสดงในรูป 3.10 การทดสอบจะเริ่มสูบน้ำจากบ่อสูบด้วยอัตราการไหล  $Q$  คงที่และต่อเนื่อง ระดับน้ำในบ่อและบ่อสังเกตจะเริ่มลดลง รอจนกระทั่งสังเกตพบวาระดับน้ำลดในบ่อสูบและบ่อสังเกตคงที่ แสดงว่าได้สูบน้ำจนกระทั่งสภาวะสมดุลหรือสภาวะคงที่ (equilibrium, steady state) จึงทำการวัดระดับน้ำในบ่อสังเกตได้  $h_1$  และ  $h_2$  ดังแสดงในรูป 3.10

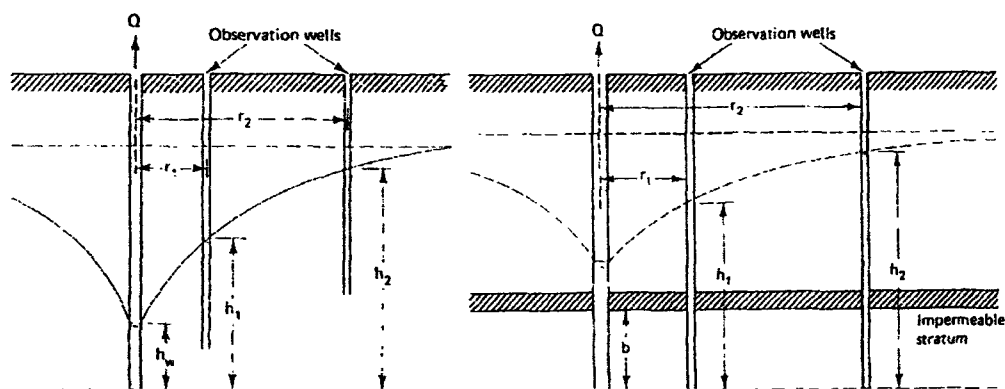
การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้  $K$  สามารถกระทำได้โดยการทำการอินทิเกรตสมการที่ 3.7 และ 3.10 จากบ่อสังเกต  $r_1$ ,  $h_1$  ไปยัง  $r_2$ ,  $h_2$  จะได้ว่ากรณีชั้นให้น้ำใต้ดินอิสระ (รูปที่ 3.10 ก)

$$K = \frac{Q}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad (3.6)$$

กรณีชั้นให้น้ำบาดาล (รูปที่ 3.10 ข)

$$K = \frac{Q}{2\pi b(h_2 - h_w)} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad (3.7)$$

โดยที่สมการที่ 3.6, 3.7 ใช้สมมติว่าชั้นให้น้ำมีเนื้อเดียวกันและสม่ำเสมอ (homogeneous and isotropic aquifer)



(ก) ชั้นให้น้ำได้ดินอิสระ

(Unconfined aquifer)

(ข) ชั้นให้น้ำบาดาล

(Confined aquifer)

รูปที่ 3.10 การสูบทดสอบน้ำ (pumping Test) จากบ่อบาดาล

### 3.5.2 การสูบทดสอบแบบไม่สมดุล

การทดสอบแบบสมดุลที่กล่าวมาแล้ว ได้สมดุลบ่อบาดาลที่ขุดขึ้นมาใหม่สามารถสูบด้วยอัตราสูบคงที่จนกระทั่งระดับน้ำลดลงจนกระทั่งถึงภาวะสมดุล คือระดับน้ำหยุดลดและคงที่ ในความเป็นจริงแล้ว ภาวะสมดุลดังกล่าวจะกินเวลานานมากจนกว่าจะถึง โดยเฉพาะกรณีชั้นให้น้ำบาดาล (confined aquifer) อาจจะใช้เวลาสูบหลายปีจึงจะถึงภาวะสมดุลที่แท้จริงดังนั้นการสูบทดสอบแบบสมดุลจึงยากที่กระทำและไม่นิยม ยกเว้นว่าได้สูบน้ำจากบ่อบาดาลนั้นเป็นเวลานานแล้ว ก็อาจจะใช้วิธีนี้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำได้ โดยเหตุนี้จึงมีผู้คิดค้นวิธีการสูบทดสอบแบบไม่สมดุลสำหรับกรณีของบ่อบาดาลในชั้นให้น้ำบาดาล (confined aquifer) ซึ่งใช้เวลาในการสูบน้ำไม่นานและเป็นที่ยอมรับใช้กัน

3.5.2.1 C.V. theis (1935) ได้เป็นคนแรกที่ทำการวิเคราะห์การไหลเข้าสู่บ่อบาดาล (artesian well) โดยพิจารณาผลของเวลาและคุณสมบัติความจุของชั้นให้น้ำบาดาล โดยเสนอสมการ "Theis Equation"

ระดับน้ำลดที่บ่อสังเกต

$$s = h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = \frac{Q}{4\pi T} \cdot W(u) \quad (3.8)$$

โดยที่  $u$  = ตัวแปรไร้มิติ  $u = \frac{r^2 S_c}{4Tt}$

$S_c$  = สัมประสิทธิ์ความจุของชั้นให้น้ำ (storage coefficient)

$r$  = ระยะห่างของบ่อสังเกต (observation well) จากบ่อสูบ

$T$  = ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่าน (transmissibility),  $T = K \cdot b$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$t$  = เวลาหลังจากเริ่มต้นสูบน้ำในขณะที่วัดระดับน้ำที่บ่อสำรวจ  $s = h_0 - h$

สำหรับ  $W(u)$  เรียกว่า ฟังก์ชันบ่อ (well function)

$$W(u) = -0.5772 - \ln(u) + u - \frac{u^2}{2 \times 2!} + \frac{u^3}{3 \times 3!} - \dots \quad (3.9)$$

$$W(u) \approx -0.5772 - \ln(u) \quad \text{หากค่า } u < 0.01$$

### 3.5.2.2. วิธี Cooper-Jacob

วิธี Cooper-Jacob สามารถหา  $S_c$  และ  $T$  โดยหากค่า  $u < 0.01$  มีค่าน้อยมาก  $W(u) \approx -0.5772 - \ln(u)$  โดยประมาณ ดังนั้นสมการที่ (3.8) จึงเขียนใหม่โดยประมาณตามวิธี Cooper-Jacob จะได้ว่า

$$c = h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} (-0.5772 - \ln(\frac{r^2 S_c}{4Tt}))$$

$$s = h_0 - h = -\frac{2.30Q}{4\pi T} \log(\frac{0.445r^2 S_c}{4\pi T}) \quad (3.10)$$

ตามสมการที่ 3.10 จะพบว่าหากเขียนเส้นกราฟระดับน้ำลด  $S = \int (\ln t)$  จะได้เป็นกราฟเส้นตรง ทั้งนี้เพราะว่าตัวแปรอื่นๆ  $Q, T, r, S_c$  ล้วนแต่เป็นค่าคงที่ ซึ่งเป็นเขียนกราฟจากข้อมูลระดับน้ำลดในบ่อสังเกต 1 บ่อที่เวลาต่างๆหลังจากเริ่มสูบน้ำ

จากกราฟหากอ่านค่าความแตกต่างของระดับน้ำลด ในเวลา 1 รอบของ  $\log$  (log-cycle) เช่นระหว่าง 10 ถึง 100 ชั่วโมงหลังจากการสูบน้ำ จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่าน (transmissibility,  $T$ ) ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \Delta S &= S_1 - S_2 = (h_0 - h_1) - (h_0 - h_2) = (h_2 - h_1) \\ &= -\frac{2.30Q}{4\pi T} [\log(\frac{0.445r^2 S_c}{Tt_1}) - \log(\frac{0.445r^2 S_c}{Tt_2})] \\ &= -\frac{2.30Q}{4\pi T} \log(\frac{t_2}{t_1}) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = -\frac{2.30Q}{4\pi(h_1 - h_2)} \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \quad (3.11)$$

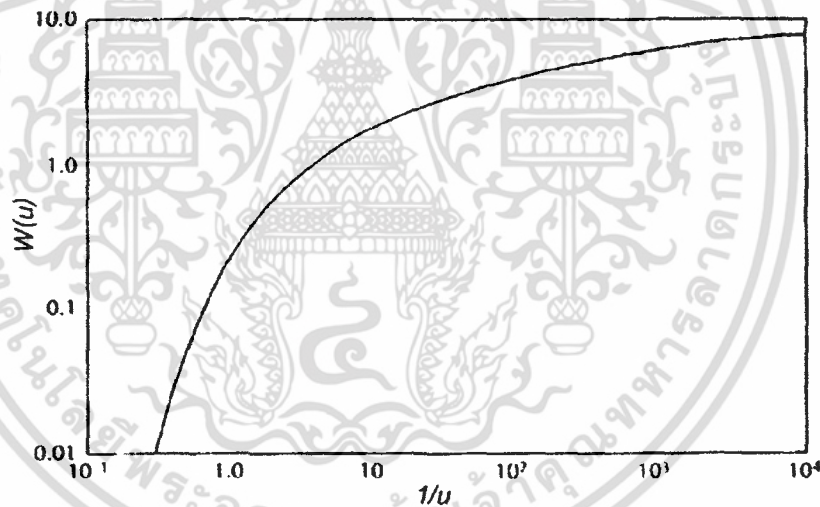
และในกราฟที่แกนของเวลา เส้นกราฟตัดแกนเวลาที่  $t_0$  โดย  $h_0 - h = 0$  เป็นเวลาที่ถือว่าระดับน้ำลดเท่ากับศูนย์ จากสมการที่ (3.11) จะได้ว่า

$$\log\left(\frac{0.445r^2 S_c}{Tt_0}\right) = 0$$

$$\log(1) = 0 \quad \text{จะได้ว่า} \quad \frac{0.445r^2 S_c}{Tt_0} = 1.0$$

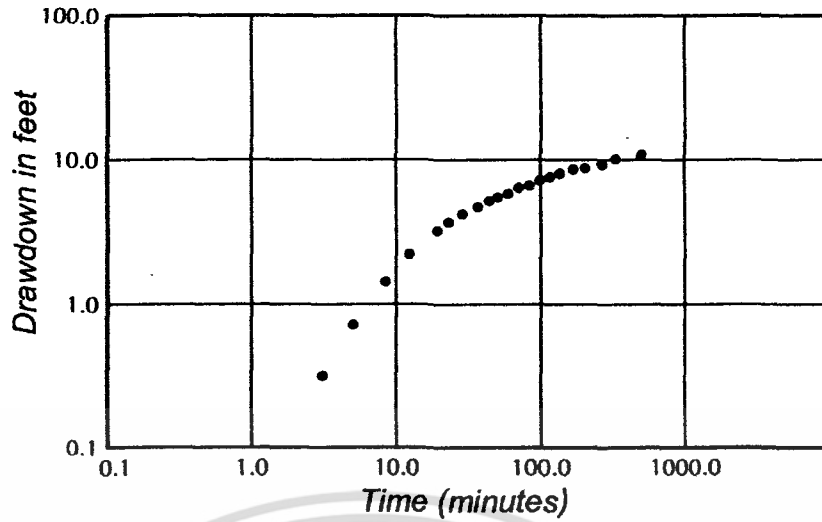
$$\text{ดังนั้น} \quad S_c = \frac{2.24Tt_0}{r^2} \quad (3.12)$$

จากสมการที่ 3.11 และ 3.12 จะสามารถหาค่าสมบัติของชั้นดินให้น้ำบาดาล  $T, S_c$  ได้

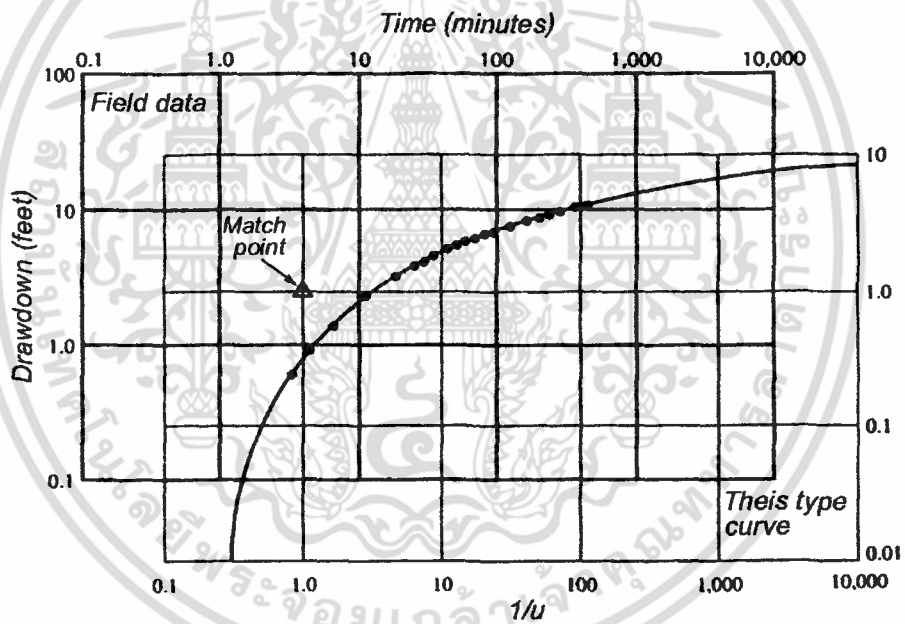


รูปที่ 3.11. This type curve (none-equilibrium type curve) สำหรับชั้นหินให้น้ำมีแรงดัน (Fetter, 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 กราฟของระยะน้ำลด ( $h_0-h$ ) กับเวลาหลังการสูบ ( $t$ ) เขียนบน Logarithmic paper ที่มีขนาดเท่ากับ Type curve (Fetter, 2001)

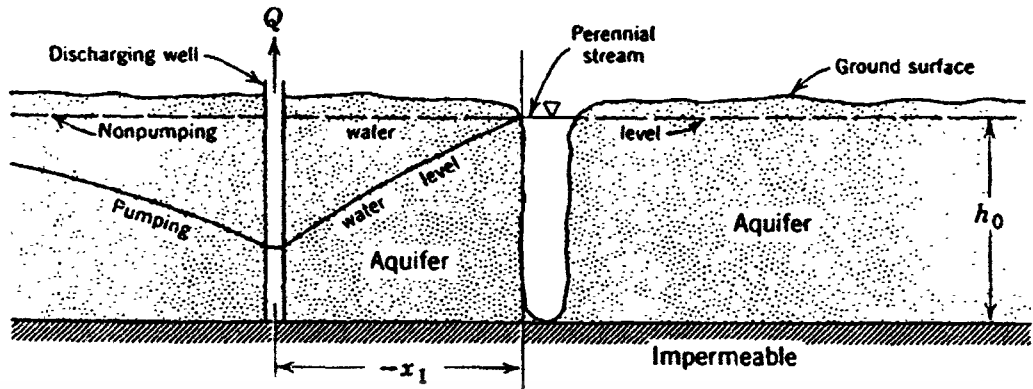


รูปที่ 3.13 แสดงการทับกราฟและการเลือก Match point (Fetter, 2001)

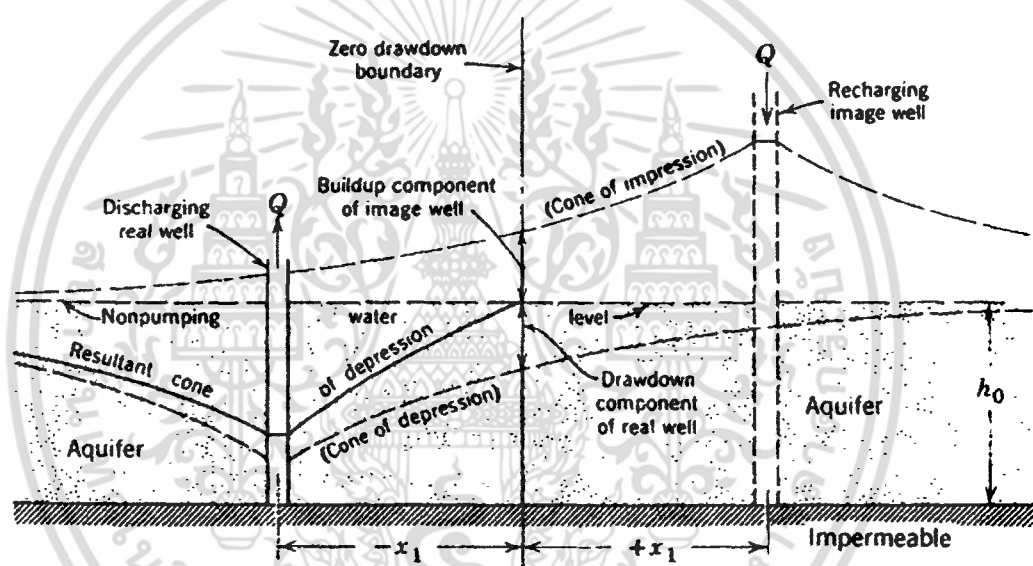
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3 การสุบทดสอบแบบไม่สมดุล ขอบเขตของชั้นหินให้น้ำ และการหาตำแหน่งของขอบเขต (Aquifer boundaries and locating the boundaries)

การวิเคราะห์การไหลของน้ำบาดาลรอบ ๆ บ่อบาดาล โดยทั่วไปแล้วจะตั้งสมมติฐานว่าชั้นหินให้น้ำมีความกว้างไกลไม่จำกัดขอบเขต (infinite areal extent) แต่ในสภาพตามธรรมชาติแล้ว ชั้นหินให้น้ำอาจจะมีขอบเขตที่จำกัดเนื่องมาจากขอบเขตทางอุทกธรณี (hydro geologic boundaries) ที่สำคัญ 2 ประเภท กล่าวคือ (1) ขอบเขตกั้นน้ำ (barrier boundary) ซึ่งอาจจะเป็นชั้นหินเนื้อแน่นน้ำซึมผ่านได้ยาก และ (2) ขอบเขตให้น้ำ (recharge boundary) ซึ่งอาจจะเป็นทางน้ำแม่น้ำ ลำธาร ที่จ่ายน้ำให้กับชั้นหินให้น้ำบ่อน้ำบาดาลที่เจาะในชั้นหินให้น้ำที่มีขอบเขตประเภทใดประเภทหนึ่ง จะส่งผลต่อรูปแบบการไหลการลดลงของระยะน้ำลด และขนาดของกรวยน้ำลดรอบ ๆ บ่อบาดาลดังกล่าว รูปที่ 3.14 แสดงกรณีการสูบน้ำจากบ่อในชั้นหินให้น้ำ ที่มีขอบเขตเป็นขอบเขตให้น้ำ และรูปที่ 3.15 แสดงในกรณีการสูบน้ำ ในชั้นหินให้น้ำที่มีขอบเขตเป็นขอบเขตกั้นน้ำ ในทั้งสองกรณีการที่จะวิเคราะห์คุณสมบัติทางศาสตร์ต่าง ๆ ของชั้นหินให้น้ำ จะใช้ทฤษฎีของ บ่อเงา (image well) มาช่วยในการจำลองเพื่อให้ชั้นหินให้น้ำมีสภาพเสมือนเป็นชั้นหินให้น้ำที่ไม่ได้ถูกจำกัดโดยขอบเขตทางอุทกธรณิดังกล่าว ในกรณีของขอบเขตให้น้ำก็จะใช้ Recharging image well และในกรณีของขอบเขตกั้นน้ำจะได้ Discharging image well ถ้านำค่า Time-drawdown ของบ่อที่เจาะในชั้นหินให้น้ำที่มีขอบเขตทั้งสองประเภทมาเขียนลงบน Semi-logarithmic paper จะเห็นความเบี่ยงเบนออกไปจากเส้นกราฟตามทฤษฎีหรือในกรณีที่ชั้นหินให้น้ำไม่จำกัดด้วยขอบเขต (รูปที่ 3.16) กรณีของขอบเขตให้น้ำระยะน้ำลดจะลดน้อยกว่าระยะตามทฤษฎีเนื่องจากชั้นหินให้น้ำได้รับน้ำเข้ามาเพิ่มเติม เมื่อกรวยน้ำลดขยายไปถึงตำแหน่งของขอบเขตดังกล่าว ในขณะที่กรณีของขอบเขตกั้นน้ำระยะน้ำลดจะลดมากกว่า ระยะตามทฤษฎี เมื่อ กรวยน้ำลดขยายไปถึงตำแหน่งของขอบเขตกั้นน้ำ



(a)

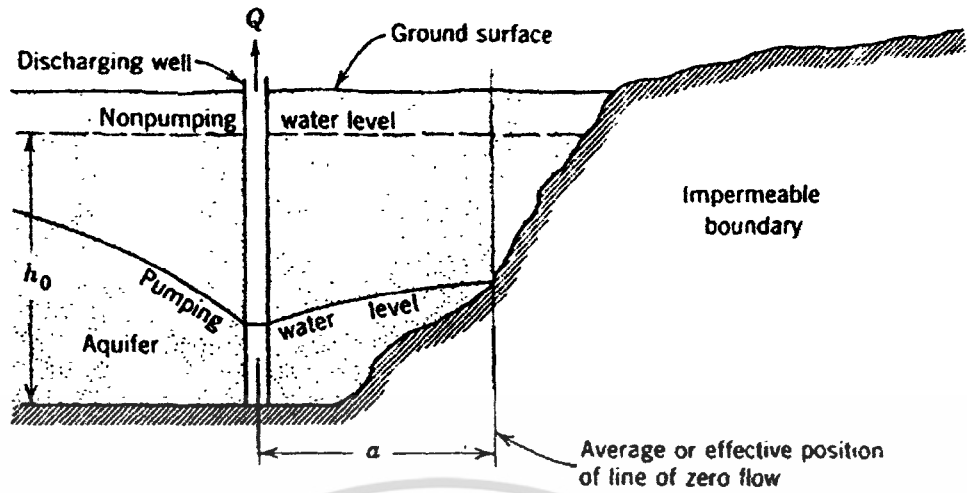


(b)

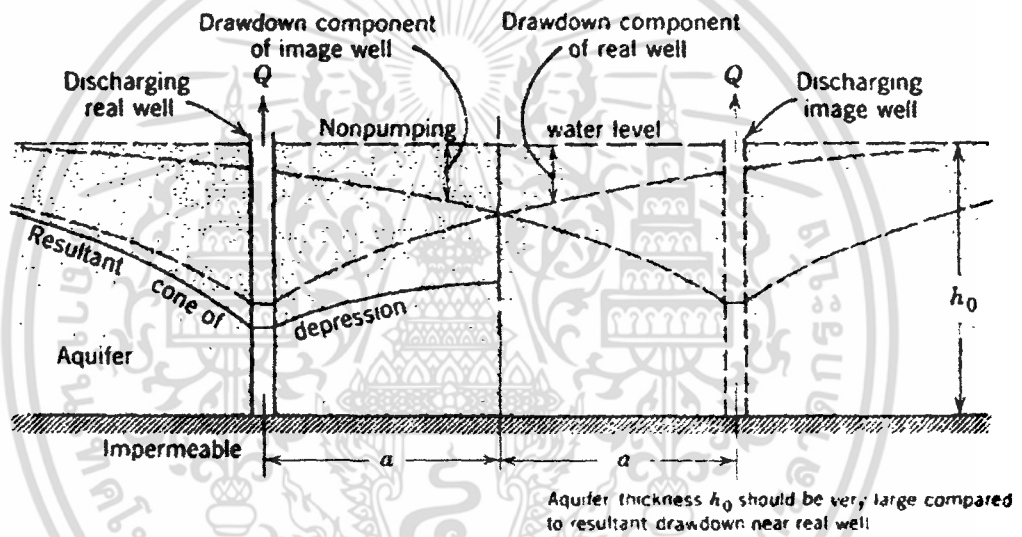
Aquifer thickness  $h_0$  should be very large compared to resultant drawdown near real well

รูปที่ 3.14 กรณีการสูบน้ำจากบ่อที่เจาะอยู่ใกล้ขอบเขตให้น้ำ (a) และการใช้บ่อเงาเพื่อจำลองให้มีสภาพพลศาสตร์เหมือนในชั้นหินให้น้ำที่ไม่มีขอบเขต (b) (Todd, 1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

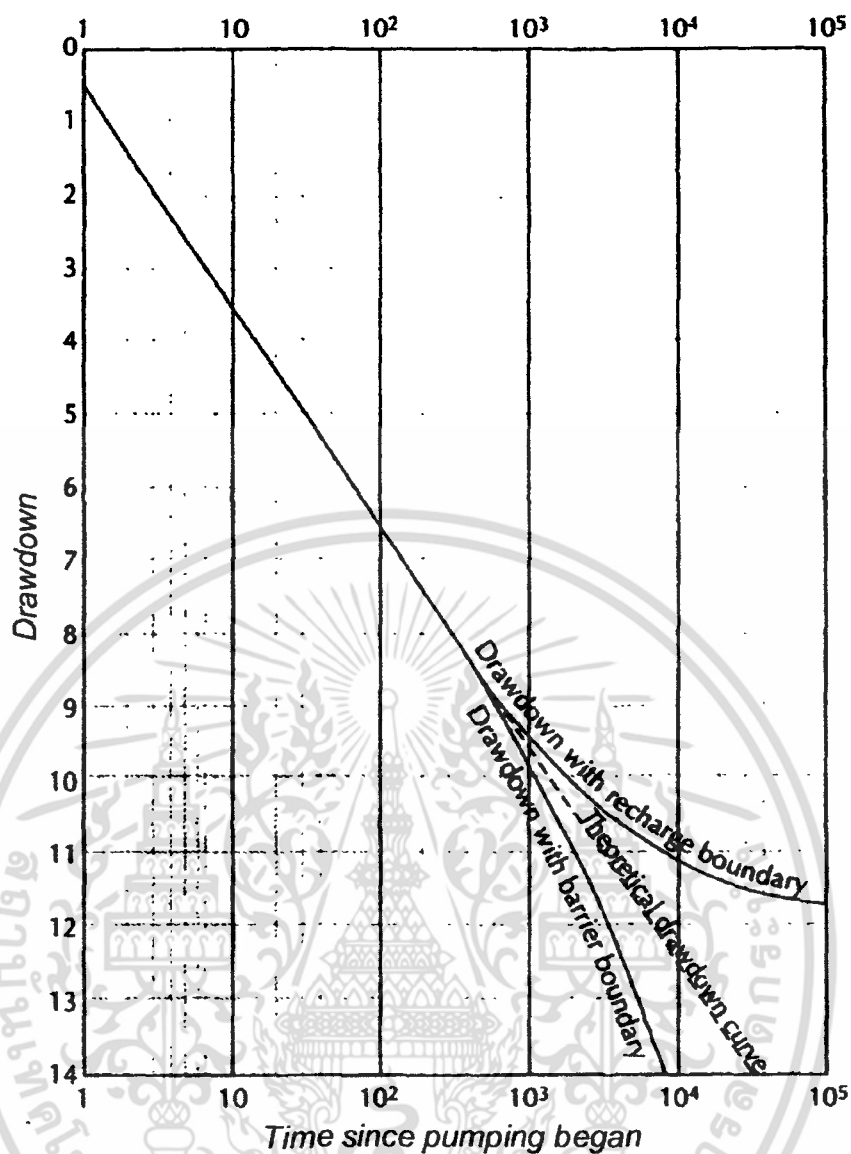


(a)



รูปที่ 3.15 กรณีการสูบน้ำจากบ่อที่เจาะอยู่ใกล้ขอบเขตกั้นน้ำ (a) และการใช้บ่อเงาเพื่อจำลองให้มีสภาพศาสตร์เหมือนในชั้นหินให้น้ำที่ไม่มีขอบเขต (b) (Todd, 1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



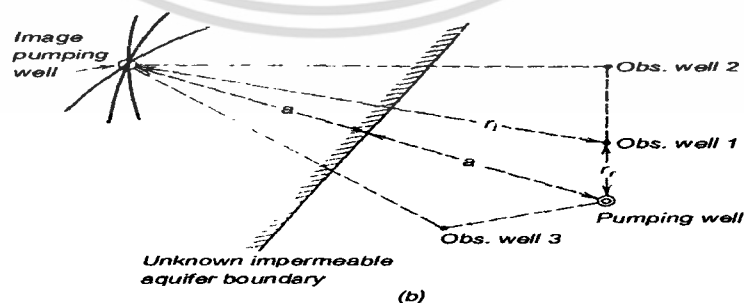
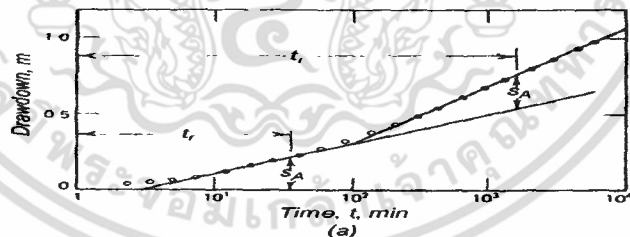
รูปที่ 3.16 ผลกระทบต่อระยะน้ำลดในกรณีของขอบเขตให้น้ำและขอบเขตกั้นน้ำเปรียบเทียบกับระยะน้ำลดตามทฤษฎี (Fetter, 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาตำแหน่งของขอบเขตทางอุทกธรณีหรือขอบเขตของชั้นหินให้น้ำสามารถกระทำ ได้ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบตามวิธีการของ Cooper-Jacob Method ปกติขอบเขตให้น้ำ ซึ่งได้แก่ แม่น้ำ ลำธาร ถ้ามีอยู่ในพื้นที่ศึกษาก็จะสามารถมองเห็นได้อยู่แล้วแต่ในกรณีของขอบเขตกั้นน้ำ ซึ่งอาจจะเป็นชั้นหินเนื้อแน่นอยู่ใต้ผิวดินลงไป หรือเป็นแนวพนัง (dike) หรือเป็นแนวรอยเลื่อนซึ่ง ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ได้แสดงผลออกมาจากข้อมูลของระยะน้ำลดว่ามีขอบเขตกั้นน้ำ อยู่ในพื้นที่ศึกษา ในกรณีนี้จะสามารถหาตำแหน่งของขอบเขตกั้นน้ำดังกล่าวได้ เมื่อนำค่า Time-drawdown มาเขียนลงบน Semi-logarithmic paper

(รูปที่ 3.17a) จะเห็นว่าเส้นกราฟของระยะน้ำลดจะแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนแรกหลังจาก การสูบน้ำไม่นานและเมื่อกวายน้ำลดยังไม่ได้ขยายไปถึงขอบเขตกั้นน้ำระยะน้ำลดในช่วงนี้จะเป็นไป ตามปกติ ในขณะที่ในส่วนที่สองของกราฟระยะน้ำลดจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อกวายน้ำลดได้ขยายไปถึง หรือชนกับขอบเขตกั้นน้ำระยะน้ำลดจะลดมากกว่าปกติซึ่งในส่วนนี้อาจเปรียบเสมือนบ่อเงาที่จ่ายน้ำ ออกมา (discharging image well) ดังนั้น ถ้าสามารถหาตำแหน่งของบ่อเงานี้ได้ ก็จะสามารถหา ตำแหน่งของขอบเขตกั้นน้ำได้วิธีการก็โดยเลือกระยะน้ำลดที่ต้องการ ( $S_A$ ) ขึ้นมา ซึ่งอาจจะเป็นระยะ เท่าใดก็ได้ (ดูรูปที่ 3.17) และทำการอ่านค่า ( $t_r$ ) ซึ่งเป็นเวลาที่อ่านจากกราฟในช่วงที่เป็นไปตามปกติ ในทำนองเดียวกันก็อ่านค่า ( $t_i$ ) ออกมาจากกราฟในช่วงที่สอง สำหรับค่า ( $S_A$ ) อันเดียวกัน เนื่องจาก ทราบระยะห่างระหว่างบ่อสูบทดสอบและบ่อสังเกตการณ์ ( $r_r$ ) ก็จะสามารถหาระยะถึงบ่อเงา ( $r_i$ ) ได้ จาก

$$\frac{r_i^2}{t_i} = \frac{r_r^2}{t_r} \quad (3.13)$$



รูปที่ 3.17 วิธีการหาตำแหน่งของขอบเขตกั้นน้ำ โดย Cooper-Jacob Method (a) ลักษณะของ (cooper-jacob drawdown curve ซึ่งแสดงผลของขอบเขตกั้นน้ำ (b) สภาพที่ต้องการในสนามเพื่อ ทำการสูบทดสอบ และหาตำแหน่งของขอบเขตกั้นน้ำ (Todd, 1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าต่าง ๆ แสดงในรูป 3.17 ระยะ  $r_i$  คือ รัศมีของวงกลมที่ตำแหน่งของบ่อเงาอยู่ห่างจากบ่อสังเกตการณ์ ดังนั้นเพื่อให้ได้ตำแหน่งของบ่อเงาที่ชัดเจนจำเป็นต้องมีบ่อสังเกตการณ์อย่างน้อย 3 บ่อ เพื่อให้จะได้หาบริเวณจุดตัดของเส้นโค้งทั้ง 3 เส้น

เมื่อได้ตำแหน่งของบ่อเงาแล้ว ตำแหน่งของขอบเขตกั้นน้ำ จะอยู่ที่จุดกึ่งกลางและวางตัวเป็นแนวตั้งฉากกับเส้นที่ลากระหว่างบ่อเงากับบ่อจริง (บ่อสุบทดสอบ) อนึ่งวิธีการดังกล่าวนี้สามารถใช้กับการหาขอบเขตให้น้ำ (recharge boundary) ได้เช่นเดียวกันซึ่งจะมีข้อแตกต่างเฉพาะเส้นกราฟของระยะน้ำลตที่จะแสดงทิศทางตรงกันข้ามโดยวิธีการวิเคราะห์จะเหมือนกันทุกประการ

### 3.6 ธรณีสถิติ (Geostatic)

วัตถุประสงค์การสร้างแบบจำลองโดยวิธีสถิตธรณีวิทยา คือ การประยุกต์เอาความน่าจะเป็นเข้ามาช่วยในการหาการเปลี่ยนแปลงลำดับลักษณะของชั้นดิน โปรแกรม T-PROGS ซึ่งได้รับการพัฒนาจาก Carle, S.F. University of California, Davis. มีหลักการงานที่ใช้การเปลี่ยนแปลงของความน่าจะเป็นที่อยู่บนพื้นฐานของวิธีสถิตธรณีวิทยาที่ เรียกว่า Stochastic condition simulation และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงข้อมูลตามระยะทางพร้อมกับสร้างลักษณะชุดข้อมูลทางธรณีวิทยาที่เสมือนจริง (realization) ออกมา การทำงานของโปรแกรม T-PROGS มีขั้นตอนที่ต้องใช้ความรู้ทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

#### 3.6.1 The Transition Probability Approach

วิธีการหาค่าตอบทางหนึ่งสำหรับปัญหาทางด้านสถิตธรณีวิทยาสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของตัวแปรในแบบจำลองเทียบกับค่าลักษณะที่สำรวจได้ของบ่อสำรวจ (basic observation attribute) เช่นค่าการเปลี่ยนแปลงลำดับความต่อเนื่องของดินชนิดต่างๆที่ประกอบด้วย

- 1) ค่าสัดส่วนโดยปริมาตรของดิน (volumetric proportions)
  - 2) ค่าความต่อเนื่องของความหนาชั้นดิน (mean length)
  - 3) ค่าแนวโน้มการเกิดชั้นดินแต่ละประเภทในบริเวณใกล้เคียง(juxtaposition tendencies)
  - 4) ค่าความแตกต่างของชั้นดินในทิศทางต่างๆ (anisotropy direction)
  - 5) ค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะชั้นดินตามระยะทาง (spatial variations of the above)
- ซึ่งค่า Transition probability  $t_{jk}(h)$  แสดงในรูปสมการ

$$t_{jk}(h) = \Pr\{k \text{ occurs at } x+h | j \text{ occurs at } x\} \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อค่า  $x$  คือตำแหน่งที่พิจารณา,  $h$  คือระยะห่างและ  $j,k$  แทนค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องเช่น ประเภทของชั้นดินเป็นต้น โดย  $t_{jk}(h)$  มีหมายถึง ความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงชั้นดิน  $j$  ที่ตำแหน่ง  $x$  ไปเป็นชั้นดิน  $k$  ที่ระยะ  $x+h$

The transition probability เป็นการใช้หลักการทางสถิติธรณีวิทยาที่พิจารณาค่าเปรียบเทียบข้อมูลความสัมพันธ์ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน The transition probability ใช้หลักความเป็นไปได้ของความไม่สมมาตร  $t_{jk}(h) \neq t_{jk}(-h)$  คืออัตราความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงชั้นดินในแต่ละทิศทางที่ไม่เท่ากันและพิจารณาลักษณะทางธรณีวิทยาหลายๆจุดที่แสดงความไม่สมมาตร เช่น แนวโน้มการกระจายตัวของชั้นดินซึ่งมีความสะดวกและแตกต่างจากวิธี Variogram approach (Deutsch and Journel, 1992)

### 3.6.2 Markov Chain Analysis

Markov Chain เป็นวิธีที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายให้เป็นแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงลักษณะชั้นดินแบบ Stochastic ที่มีประสิทธิภาพสูง อย่างเช่นการวิเคราะห์ใน 1 มิติจะมีสมมุติฐานว่าผลที่ตำแหน่งที่พิจารณาจะขึ้นอยู่กับผลของข้อมูลที่ตำแหน่งใกล้เคียงที่สุด Spatial markov chain หรือ MC เชิงพื้นที่ มักพิจารณาค่า Transition probability ในทิศทางแกน  $z$  ณ ช่วงระยะห่างคงที่หรือระยะห่างที่ไม่ต่อเนื่องกัน ( $h_z$ ) ในแบบ 1 มิติตามทิศทางในแกน  $z$  รูปของเมตริกที่สมบูรณ์ระหว่างความสัมพันธ์สำหรับ  $K$  ตัวแปรจะแสดงในรูปเมตริก  $K \times K$

$$T(h_z) = \begin{pmatrix} t_{11}(h_z) & \dots & t_{1K}(h_z) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{K1}(h_z) & \dots & t_{KK}(h_z) \end{pmatrix} \quad (3.15)$$

โดยที่  $t_{KK}(h_z)$  หมายถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงชั้นดิน  $k$  ไปยังชั้นดิน  $k$  ซึ่งมีระยะห่างในแกน  $z$  เท่ากับ  $h$  ค่าในแนวเส้นทแยงมุมแสดงค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนจากชั้นดิน  $k$  เป็นชั้นดิน  $k$  ชนิดเดียวกันและในแนวอื่นๆคือการเปลี่ยนจากชั้นดิน 1 เป็นชั้นดิน  $k$  เป็นต้น จากความรู้ทางทฤษฎีความน่าจะเป็นผลรวมของแต่ละแถวในเมตริกจะได้

$$\sum_{k=1}^k t_{jk}(h) = 1 \quad (3.16)$$

และสมมุติให้มีค่าคงที่จะได้ผลรวมของแต่ละแนวในเมตริกคือ

$$\sum_{k=1}^k p_j t_{jk}(h) = p_k \quad (3.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางทฤษฎีค่าระยะห่างที่ไม่ต่อเนื่องกัน (discrete lag) ใน แบบจำลอง Markov Chain สามารถกำหนดให้เป็นค่าต่อเนื่องได้และในทางคณิตศาสตร์เมื่อกำหนดให้  $T(h_\theta)$  เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับ อัตราการเปลี่ยนแปลง (transition Rate) เขียนในรูปแบบจำลอง Markov Chain ใน 1 มิติและใน ทิศทาง  $\theta$  ได้ดังนี้

$$T(h_\theta) = \exp(R_\theta h_\theta) \quad (3.18)$$

โดย  $h_\theta$  แทนค่าระยะห่างในแนวแกน  $\theta$  และ  $R_\theta$  คือเมตริกอัตราการเปลี่ยนแปลง

$$R_\theta = \begin{pmatrix} r_{11,\theta} & \cdots & r_{1K,\theta} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{K1,\theta} & \cdots & r_{KK,\theta} \end{pmatrix} \quad (3.19)$$

โดยที่  $r_{jk,\theta}$  แทนค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงจากตัวแปรหรือชั้นดิน  $j$  ไปสู่ตัวแปรหรือชั้นดิน  $k$  ต่อระยะทางในทิศทาง  $\theta$  (Krumbein, 1968) และในการพัฒนาแบบจำลอง Markov Chain ซึ่ง แสดงในเรื่องการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับระยะ โดยจะเน้นไปที่ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงซึ่งคือค่าความ ชันของกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงและระยะทาง

ค่าสัดส่วนของชั้นดิน (material proportions) ในตารางมีค่าแสดงถึงค่า Sill ในแบบจำลอง Markov chain ซึ่งหมายถึงค่าปริมาณอัตราส่วนของชั้นดินชนิดต่างๆในพื้นที่จากการคำนวณเบื้องต้น จากข้อมูลบ่อสำรวจและค่าความต่อเนื่องของชั้นดิน (lens length) หรือค่า mean thickness ของ ชั้นดินแต่ละชนิดในแนวตั้งได้ถูกคำนวณด้วย มูลค่าสัดส่วนของชั้นดิน (sill) ค่าความต่อเนื่องหรือ ความหนาชั้นดิน (vertical mean length) การพัฒนาแบบจำลอง Markov chain ที่มีการ เปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่นั้น มุ่งไปที่การอ้างอิงถึงหลักการ Transition rate matrix ซึ่งค่าตัวแปรต่างๆ จะมีความหมาย Transition rate จะมีค่าเท่ากับความชันของโค้ง Transition probability ในขณะที่ ค่า lag มุ่งเข้าใกล้ 0 ค่า Transition rate ในแนวแกนจะมีค่าเป็นลบและนอกแกน (มัก) จะต้องมีค่า เป็นบวกเพื่อให้ค่าผลรวมของค่า Transition rate ในแต่ละชนิดของชั้นดินมีค่าเท่ากับ 0

การสร้างแบบจำลอง Markov chain ในแกน X (strike), Y (dip) ใช้หลักการของ Walter 's Law เพราะข้อมูลจากบ่อสำรวจมีความหมายไม่เพียงพอหรือมีน้อย ไม่สามารถการนำเอาไปใช้เพื่อ แปลความหมายของชั้นดินในแนวราบได้อย่างพอเพียง ดังนั้นการประยุกต์ใช้ Walter's Law ที่มี หลักการว่า "ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินในแนวแกน Z สามารถนำไปใช้ในการหาค่าอัตรา การเปลี่ยนแปลงของชั้นดินในแนวแกน X และ แกน Y" โดยการกำหนดค่าคงที่สองตัวที่มีสมมุติฐาน ว่า ค่าคงที่ตัวแรกคือค่าสัดส่วนของประเภทของชั้นดินที่มีค่าเท่ากันทั้ง 3 ทิศทางและค่าคงที่ตัวที่สอง

คือค่า Lens length ratio ของชั้นดินทุกชั้นต้องค่าเท่ากัน ซึ่งค่าอัตรา Lens length ratios จะมีค่าเท่ากับ หนึ่งต่อ Transition rate ratios ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่า Lens length ratios เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่า Horizontal Lens length กับ Vertical Lens length แต่ค่า Transition rate ratios เป็นค่าระหว่าง Vertical transition rate กับ Horizontal transition rate ด้วย จากข้อสรุปดังกล่าวจึงกล่าวได้ว่าเมื่อชั้นดินมีความต่อเนื่องในทิศแนวราบมากค่า lens length ของชั้นดินนั้นๆจะมีค่ามากและค่า transition rate ของชั้นดินนั้นจะมีค่าน้อยในทิศทางแนวนั้นๆ

### 3.7 หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (Hydrogeologic)

หินเกือบทุกชนิดในประเทศเป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลหรือเป็นชั้นหินให้น้ำได้ แต่ก็มีคุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยาที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ ลักษณะส่วนประกอบ และสภาพแวดล้อมทางธรณีวิทยาเป็นสำคัญ การจัดแบ่งหินชุดต่างๆ ออกเป็น หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (hydrogeologic units) ก็เพื่อให้การพิจารณาสภาพของแหล่งน้ำบาดาลในบริเวณต่างๆ กระทำได้ง่ายขึ้น หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาจากรายงานของ สมชัย วงศ์สวัสดิ์ (2544), วจิ ราม ณรงค์และสมชัย วงศ์สวัสดิ์ (2541) ได้จัดแบ่งหน่วยหินต่าง ๆ ที่พบในประเทศตามคุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยาออกเป็น 13 หน่วยดังนี้

(1) ตะกอนน้ำพา (alluvial deposits) ประกอบด้วยดินเหนียว ทราย กรวด และเศษหินที่พัดพามาสะสมโดยน้ำจากแม่น้ำ ลำธาร ตะกอนน้ำพาเป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลที่ดีที่สุด โดยในแต่พื้นที่ก็จะมีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำบาดาลแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของการตกตะกอน และช่วงอายุหรือยุคของการตกตะกอน ที่สำคัญมีอยู่ 2 ยุค คือ

ก. ชั้นกรวดทรายตามลำน้ำยุคปัจจุบัน (recent flood plain deposits) ได้แก่ ร่องน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาและสาขา คือ ปิง วัง ยม และน่าน ครอบคลุมบริเวณที่เป็นแอ่งในภาคกลางและภาคเหนือ ร่องน้ำแม่กลองในภาคตะวันตก แม่น้ำโขงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ลักษณะของเม็ดกรวดทรายส่วนใหญ่จะมีลักษณะกึ่งกลมถึงกลม (subrounded – rounded) การคัดขนาดดี ค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ (hydraulic conductivity) ของกรวดทรายชุดนี้ในบริเวณแอ่งเชียงใหม่มีค่าอยู่ในเกณฑ์ 5 – 15 เมตรต่อวัน สำหรับกรวดทรายตามลุ่มน้ำที่มีขนาดเล็กหรือแคบ ๆ หรือสายสั้น ๆ ส่วนใหญ่จะมีการคัดขนาดไม่ดี ลักษณะของเม็ดกรวดทรายเป็นแบบกึ่งเหลี่ยมถึงกลม (subangular – subrounded) และมักจะมีควมหนาไม่มาก เช่น ลุ่มน้ำกก ลุ่มน้ำแม่ขาน – แม่จัน ลุ่มน้ำอิง จังหวัดเชียงราย ลุ่มน้ำปิง วัง ยม และน่าน ในช่วงที่อยู่ในหุบเขาแคบๆ ลุ่มน้ำมูล-ชี ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กรวดทรายชุดนี้จะมีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำบาดาลปานกลาง ค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ค่อนข้างต่ำ อยู่ในเกณฑ์ 0.1 – 5 เมตรต่อวัน

ข. ชั้นกรวดทรายที่สะสมในใจกลางแอ่งขนาดใหญ่อายุไพลสโตซีน (Pleistocene intermontane basin deposits) ได้แก่ กรวด ทราย ที่สะสมในใจกลางแอ่งขนาดใหญ่ ในยุค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pleistocene กรวดทรายชุดนี้จะมีความหนามาก เพราะสะสมในแอ่งที่มีลักษณะเป็นหลุมลึก (graben) เช่น แอ่งเจ้าพระยา (เหนือและใต้) แอ่งเชียงใหม่ แอ่งลำปาง รวมถึงที่ราบริมฝั่งทะเลภาคใต้ด้านตะวันออก คือ บริเวณจังหวัดนครศรีธรรมราชไปถึงสงขลา และบริเวณจังหวัดสงขลาถึงปัตตานี กรวดทรายแยกกันอยู่หลาย ๆ ชั้น เช่น ในที่ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนล่างหรือตอนใต้ มีชั้นกรวดทรายที่มีน้ำคุณภาพดีเท่าที่พบแล้ว จำนวน 7 ชั้น แต่ละชั้นหนาประมาณ 50 เมตร สำหรับในแอ่งเชียงใหม่ กรวดทรายที่เป็นชั้นน้ำบาดาลที่ดี จะอยู่ที่ความลึกตั้งแต่ 70 – 130 เมตร ที่จังหวัดกำแพงเพชร พิจิตร อยู่ที่ความลึก 150 – 200 เมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ของกรวดทรายชุดนี้บริเวณกรุงเทพมหานคร อยู่ในเกณฑ์เฉลี่ย 55 – 80 เมตรต่อวัน บริเวณพื้นที่ราบเจ้าพระยาตอนเหนือ เฉลี่ย 10 – 30 เมตรต่อวัน

ตะกอนน้ำพาดังกล่าวข้างต้น มีคุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยาที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในการตกตะกอนและขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่สะสมวางตัวอยู่ด้วย ในพื้นที่ที่อยู่ติดกับทะเล เช่น ที่ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนล่าง ที่ราบริมฝั่งทะเลภาคตะวันออก และภาคใต้ พื้นที่บางส่วนจะถูกน้ำทะเลท่วมถึง ทำให้น้ำทะเลแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างของตะกอนหรือไปแทนที่น้ำจืด เป็นเหตุให้น้ำบาดาลคุณภาพที่ดีมีอยู่เดิมมีคุณภาพกร่อยหรือเค็ม หรือในกรณีพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตะกอนน้ำพาบางส่วนจะวางตัวอยู่บนชั้นหินเกลือ ทำให้ได้รับอิทธิพลของน้ำเกลือที่ไหลซึมเข้ามา จนเป็นเหตุให้น้ำบาดาลในชั้นตะกอนมีคุณภาพกร่อยหรือเค็ม

ตะกอนน้ำพานี้ถ้าสะสมตัวอยู่ในที่ลึกมาก ๆ หรือมีชั้นตะกอนปิดทับอยู่หนามาก ๆ และชั้นกรวดทรายที่เป็นชั้นน้ำบาดาลนั้นเอียงเท ก็จะทำให้มีแรงดันภายในกรวดทรายสูงขึ้นในลักษณะของชั้นหินให้น้ำมีแรงดัน (confined aquifer) ถ้าหากเจาะน้ำบาดาลทะลุไปถึงชั้นกรวดทรายดังกล่าว ก็จะได้น้ำพุ (flowing artesian well) มีน้ำไหลพุพุ่งออกมาโดยแรงดันธรรมชาติ เช่น ที่บริเวณพื้นที่ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนเหนือ บริเวณอำเภอขามเฒ่าลพบุรี อำเภอกลองखูลง จังหวัดกำแพงเพชร บริเวณกรุงเทพมหานคร ถ้าเจาะลงไปชั้นกรวดทรายระดับความลึกมากกว่า 450 เมตร ก็จะได้บ่อน้ำพุ ตลอดจนอุณหภูมิของน้ำบาดาลที่ได้อาจจะสูงถึง 70 – 80 องศาเซลเซียส สำหรับตะกอนน้ำพาที่สะสมตัวอยู่ในระดับตื้น ๆ หรือตามลำน้ำยุคปัจจุบัน จะเป็นชั้นน้ำที่ปราศจากแรงดัน หรือชั้นหินให้น้ำไม่มีแรงดัน (unconfined aquifer)

(2) ตะกอนชายหาด (beach – sand deposits) ในบริเวณพื้นที่ราบริมฝั่งทะเล (coastal plain) ของภาคตะวันออกและภาคใต้ด้านอ่าวไทย มีแหล่งหินร่วนที่เกิดจากการสะสมตัวของกระแสน้ำและกระแสน้ำทะเล โดยหินร่วนต่าง ๆ ดังกล่าว สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ตะกอนทรายชายหาดยุคใหม่ (recent beach – sand deposits) ตะกอนทรายชายหาดยุคเก่า (old beach – sand deposits) ตะกอนท้องทะเลสาบ (lagoon deposits) และตะกอนปากแม่น้ำ (estuary deposits) สำหรับแหล่งน้ำบาดาลทรายชายหาด หมายถึง แหล่งน้ำบาดาลในชั้นทรายซึ่งสะสมตัวตามบริเวณชายหาดปัจจุบัน และแหล่งน้ำบาดาลที่ถูกกักเก็บไว้ในชั้นทรายประเภทเนินทราย (sand dunes) หรือ สันทราย (sand ridges) ในชั้นทรายชายหาดยุคเก่า รวมทั้งน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า -  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บาดาลที่สะสมตัวในสันทรายนอกชายฝั่ง (off - shore bars) ชั้นทรายชายหาดนับได้ว่าเป็นแหล่งน้ำบาดาลระดับตื้นที่สำคัญของจังหวัดต่าง ๆ ในภาคตะวันออก ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ที่ระดับความลึกไม่เกิน 10 เมตร วางตัวยาวตามแนวชายฝั่งทะเล มีความกว้างระหว่าง 1 - 5 กิโลเมตร เนื่องจากชั้นหินให้น้ำดังกล่าวเป็นชั้นน้ำระดับตื้น จึงง่ายต่อการพัฒนาและเป็นแหล่งน้ำจืดที่อำนวยความสะดวกให้แก่ราษฎรที่อยู่ตามบริเวณริมฝั่งทะเล โดยทั่ว ๆ ไป ชั้นน้ำดังกล่าวเมื่อเจาะบ่อจะให้น้ำในเกณฑ์ระหว่าง 1 - 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง สำหรับชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทยของจังหวัดภาคใต้ นับตั้งแต่บริเวณจังหวัดนครศรีธรรมราชไปจนถึงจังหวัดนราธิวาส เป็นบริเวณที่ราบชายฝั่งทะเลมีความยาวไม่น้อยกว่า 300 กิโลเมตร และความกว้างโดยเฉลี่ยประมาณ 3 กิโลเมตร น้ำบาดาลในบริเวณที่ราบริมฝั่งทะเลดังกล่าว นับว่าเป็นแหล่งน้ำบาดาลที่สำคัญแห่งหนึ่งของภาคใต้ ความหนาของชั้นทรายชายหาดดังกล่าวแตกต่างกันไป บางแห่งอาจจะพบหินร่วน หนามากกว่า 10 เมตร ชั้นทรายในบริเวณพื้นที่ราบริมฝั่งทะเลนี้ให้น้ำบาดาลในเกณฑ์ระหว่าง 5 ถึง 15 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง คุณภาพน้ำบาดาลมีตั้งแต่จัด กร่อย และเค็ม

(3) ตะกอนเชิงเขา (colluvial deposits) เป็นชั้นตะกอนที่สะสมตัวอยู่เชิงเขา หรือหุบเขาแคบ ๆ เกิดจากการผุพังของหินแข็งในพื้นที่และหินร่วน ซึ่งสะสมตัวตามหุบเขาบริเวณแคบ ๆ หรือตามบริเวณพื้นที่ลาดเอียงเชิงเขา โดยส่วนใหญ่จะก่อตัวเป็นเนินเขาเตี้ย ๆ ที่มีลักษณะภูมิประเทศสูง ๆ ต่ำ ๆ ในลักษณะรอยคลื่น (rolling hill) ความหนาของหินร่วนประเภทตะกอนเชิงเขา จะแตกต่างกันไปตั้งแต่ไม่เกิน 20 เมตร ในบริเวณจังหวัดชลบุรี ถึงมากกว่า 100 เมตร ในบริเวณอำเภอพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี เนื่องจากหินร่วนประเภทตะกอนเชิงเขามีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นเศษหินเหลี่ยมปะปนกับดินเหนียวที่ผุพังจากหินดั้งเดิม (country rocks) และตกทับจากการผุพังจากภูเขาสูงลงสู่หุบเขาหรือพื้นที่ลาดเอียงเชิงเขาอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่มีการคัดขนาดของตะกอน จึงมีสภาพการตกตะกอนแบบคลุกเคล้ากันระหว่างดินเหนียวและเศษหินเหลี่ยม ทำให้มีความพรุนน้อยและกักเก็บน้ำบาดาลได้น้อย จากสถิติการเจาะบ่อน้ำบาดาลในหินร่วนประเภทนี้ มักได้น้ำไม่เกิน 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือเป็นชั้นหินให้น้ำประเภทให้น้ำน้อยหรือศักยภาพต่ำ

(4) ตะกอนตะพักน้ำใหม่ (younger terrace deposits) ประกอบด้วย ตะกอนกรวดทรายและดินเหนียวที่สะสมตัวในยุคไพลสโตซีน (ตั้งแต่ 8,000 ปีถึง 1.8 ล้านปี) หรือเทอร์เชียรีตอนบน (1.8 - 10 ล้านปี) ชั้นหินให้น้ำนี้มีชื่อว่า ชั้นน้ำเชียงราย (Chiang Rai aquifer) ตะกอนส่วนใหญ่จะประกอบด้วยดินเหนียวและทรายละเอียด โดยมีชั้นน้ำกรวดทรายแทรกเป็นชั้นบาง ๆ พบมากในพื้นที่แอ่งต่าง ๆ ในภาคเหนือและภาคกลางตอนเหนือ ความหนาของชั้นหินให้น้ำอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ย 20 - 50 เมตร บ่อน้ำในเกณฑ์เฉลี่ย 7 - 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เป็นชั้นหินให้น้ำเฉพาะแห่งที่มีศักยภาพต่ำ (local and less productive aquifer)

(5) ตะกอนตะพักน้ำเก่า (older terrace deposits) มีชื่อว่า ชั้นน้ำเชียงใหม่ (Chiang Mai aquifer) ประกอบด้วยตะกอนในยุคเก่า คือ ไพลสโตซีนถึงเทอร์เชียรีตอนบน ซึ่งมักจะผลิตให้เห็นเป็นเนินเขาเตี้ย ๆ สลับอยู่กับหุบเขา ในลักษณะรอยคลื่นหรืออาจก่อตัวตามบริเวณพื้นที่ลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอียงเชิงเขา ตะกอนประกอบด้วยชั้นของกรวดทรายและดินเหนียวเกิดสลับกันเป็นชั้นหนา และในบริเวณใจกลางแอ่งจะมีความหนามาก เช่น ในแอ่งเชียงใหม่ หนาประมาณ 500 เมตร ในแอ่งเจ้าพระยาหรือที่ราบลุ่มภาคกลาง มีความหนาประมาณ 2,000 เมตร ในบริเวณที่ราบลุ่มริมฝั่งทะเลภาคใต้ มีความหนาประมาณ 200 เมตร เป็นต้น

ชั้นหินหน่วยนี้ปกติจะประกอบด้วยชั้นหินให้น้ำหลายชั้นสลับกัน (multiple aquifers) เช่น ในบริเวณพื้นที่ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนใต้จากระดับผิวดินถึงความลึกประมาณ 600 เมตร ประกอบด้วยชั้นหินให้น้ำไม่น้อยกว่า 8 ชั้น ในแอ่งเชียงใหม่ความหนาประมาณ 300 เมตร ประกอบด้วยชั้นหินให้น้ำไม่น้อยกว่า 3 ชั้น และในภาคใต้มีไม่น้อยกว่า 2 ชั้น เป็นต้น ชั้นหินให้น้ำกลุ่มดังกล่าวนี้ถือว่าเป็นชั้นหินให้น้ำในหินร่วนที่มีความสำคัญมากที่สุด เพราะมีคุณสมบัติในการให้น้ำสูง กล่าวคือ ปริมาณน้ำจากบ่ออยู่ในเกณฑ์ 50 – 300 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และถือว่าเป็นชั้นน้ำบาดาลที่มีศักยภาพสูง (extensive and highly productive aquifers)

(6) หน่วยหินแม่สอด (Mae Sot unit) ประกอบด้วยตะกอนในยุคเทอร์เชียรี (1.8 – 65 ล้านปี) ซึ่งจะมีคุณสมบัติกึ่งหินร่วนกึ่งหินแข็ง เช่น ดินมาร์ล หินน้ำมัน ลิกไนต์ หินทราย ชั้นหินให้น้ำในหินกลุ่มนี้ส่วนใหญ่อยู่ในแอ่งเทอร์เชียรี เช่น แอ่งแม่เมาะและแอ่งลี้ เป็นต้น บ่อสามารถให้น้ำอยู่ในเกณฑ์ 2 – 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ยกเว้นบางแห่งอาจได้ถึง 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หินชุดนี้มีศักยภาพน้ำบาดาลค่อนข้างต่ำ

(7) หน่วยหินโคราช (Khorat unit) ประกอบด้วยกลุ่มหินโคราชทั้งหมด (Khorat group) มีอายุระหว่างครีเทเชียส – ไทรแอสซิก หินเป็นพวกหินดินดาน หินทราย หินทรายแป้ง และหินกรวดมน น้ำบาดาลจะอยู่ในรอยแตก รอยเลื่อน และช่องว่างระหว่างชั้นหิน คุณสมบัติในการกักเก็บน้ำบาดาลขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของหิน ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะให้น้ำในเกณฑ์ 5 – 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง แต่ในหลายพื้นที่อาจไม่มีน้ำเลย และในหลายพื้นที่อาจให้น้ำถึง 100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ขึ้นอยู่กับขนาดและความต่อเนื่องของช่องว่างในหิน สำหรับในเขตพื้นที่อื่น เช่น ภาคเหนือและภาคใต้ ชั้นน้ำบาดาลในหินหน่วยนี้จะให้น้ำโดยเฉลี่ยน้อยกว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ชั้นหินให้น้ำในหน่วยหินโคราชนี้จัดว่าเป็นชั้นหินให้น้ำที่มีศักยภาพต่ำถึงปานกลาง แบ่งออกเป็น 3 ชุด คือ

- ก. หน่วยหินโคราชตอนบน (upper Khorat unit) ประกอบด้วย หินชุดมหาสารคาม (Mahasarakham formation) และหินชุดโคกกรวด (Khok Kruat formation) รวมถึงหินชุดภูทอก (Phutok formation) ด้วย
- ข. หน่วยหินโคราชตอนกลาง (middle Khorat unit) ประกอบด้วย หินชุดภูพาน (Phu Phan formation) หินชุดเสาข้าว (Sao Khua formation) และหินชุดพระวิหาร (Phra Wihan formation)

ค. หน่วยหินโคราชตอนล่าง (lower Khorat unit) ซึ่งประกอบด้วย หินชุดภูกระดึง (Phu Kradung formation) และหินชุดน้ำพอง (Nam Pong formation)

(8) หน่วยหินลำปาง (Lampang unit) เป็นกลุ่มหินยุคไทรแอสซิกที่เกิดในสภาพแวดล้อมทะเล (Marine origin) ประกอบด้วย ดินเหนียว ดินทราย หินปูน หินเล้าภูเขาไฟ และหินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ น้ำบาดาลจะกักเก็บอยู่ในรอยแตก รอยเลื่อน และรอยต่อของชั้นหินต่างชนิดกัน โดยทั่วไปจะให้น้ำในเกณฑ์ 2 – 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ยกเว้นในหินปูนอาจจะได้น้ำถึง 10 – 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ในภาพรวมจัดเป็นหน่วยหินที่มีศักยภาพน้ำบาดาลต่ำ

(9) หน่วยหินปูน ( Limestone / Carbonate unit ) ประกอบด้วยหินปูนชุดราชบุรี (Ratburi group) ในยุคเพอร์เมียน หินปูนชุดทุ่งสง (Thung Song group) ในยุคออร์โดวิเซียน และหินปูนชุดลำปาง (Lampang group) หินปูนที่เป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลได้มากที่สุด ได้แก่ หินปูนชุดราชบุรี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หินปูนที่อยู่บริเวณจังหวัดลพบุรี สระบุรี กาญจนบุรี ราชบุรี กระบี่ และพังงา หินปูนบริเวณดังกล่าวนี้จะประกอบด้วย โพรงและถ้ำที่เป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลเป็นจำนวนมาก นอกจากนั้นบางแห่งมีรอยแตก รอยเลื่อนตัดผ่านทำให้มีลักษณะโครงสร้างที่เหมาะสมในการเป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลได้ดียิ่งขึ้น บางแห่งระดับน้ำบาดาลตัดกับระดับผิวดินเกิดเป็นน้ำพุมากมายที่มีขนาดใหญ่ เช่น ที่ธารโบกขรณี อำเภ่อ่าวลึก จังหวัดกระบี่ ปริมาณน้ำที่ไหลออกมาเฉลี่ย 1,500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อีกพื้นที่หนึ่งได้แก่ น้ำพุที่น้ำตกไทรโยคใหญ่ จังหวัดกาญจนบุรี ไหลออกจากถ้ำหินปูนด้วยปริมาณเฉลี่ย 500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง แล้วไหลมาตามลำห้วยตัดกับแม่น้ำแควน้อย ทำให้เกิดเป็นน้ำตกไทรโยค หินปูนราชบุรีในภาคเหนือ เช่น ที่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย น่าน และตาก จะเป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลในระดับปานกลาง เพราะไม่ค่อยมีโพรงขนาดใหญ่ ถึงแม้ว่าบางแห่งจะมีถ้ำขนาดใหญ่ แต่เป็นถ้ำที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาล สำหรับในบริเวณด้านตะวันตกและตะวันตกเฉียงใต้ของที่ราบสูงโคราช ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นชั้น ๆ วางตัวสลับกับชั้นหินดินดาน หรือหินทราย และเชิร์ต มีโพรงน้อย จึงไม่เป็นชั้นหินให้น้ำที่ดี หินปูนชุด ทุ่งสงเป็นหินปูนยุคเก่า จึงมีการถูกแรงบีบอัดหลายครั้ง เป็นเหตุให้โครงสร้างต่าง ๆ ไม่เป็นระบบ นอกจากนั้น ขนาดโพรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นก็ไม่ใหญ่โตมากนักและมีหลายพื้นที่ถูกยกตัวขึ้นมาจนอยู่เหนือระดับน้ำบาดาล เช่น ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดตรัง เป็นเหตุให้หินปูนชุดทุ่งสงเป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลที่ไม่ดี ในพื้นที่ดังกล่าวเมื่อมีการเจาะน้ำบาดาล พบโพรงระดับน้ำตื้นมากมาย แต่เป็นโพรงที่ไม่มีน้ำบาดาลหรือมีเฉพาะฤดูฝน นอกจากนั้น บางแห่งในโพรงยังมีชั้นดินเหนียวและทรายแป้งเข้าไปสะสมอยู่ทำให้น้ำบาดาลที่อยู่ในถ้ำหรือโพรงเดียวกันเป็นตะกอนขุ่น เช่น ที่จังหวัดพังงา และสตูล หินยุคลำปางมีลักษณะคล้ายกับหินปูนทุ่งสง กล่าวคือไม่ค่อยเกิดโพรงขนาดใหญ่ และเกิดสลับกับหินดินดานและหินทราย หินปูนที่อยู่ในหินหน่วยผาก่าน (Pha Khan formation) จะเป็นชั้นหินให้น้ำที่ดีได้ เพราะมีโพรงมากกว่าหินหน่วยอื่น ๆ เช่น บริเวณถ้ำผาไท เส้นทางลำปาง – กาว เป็นต้น

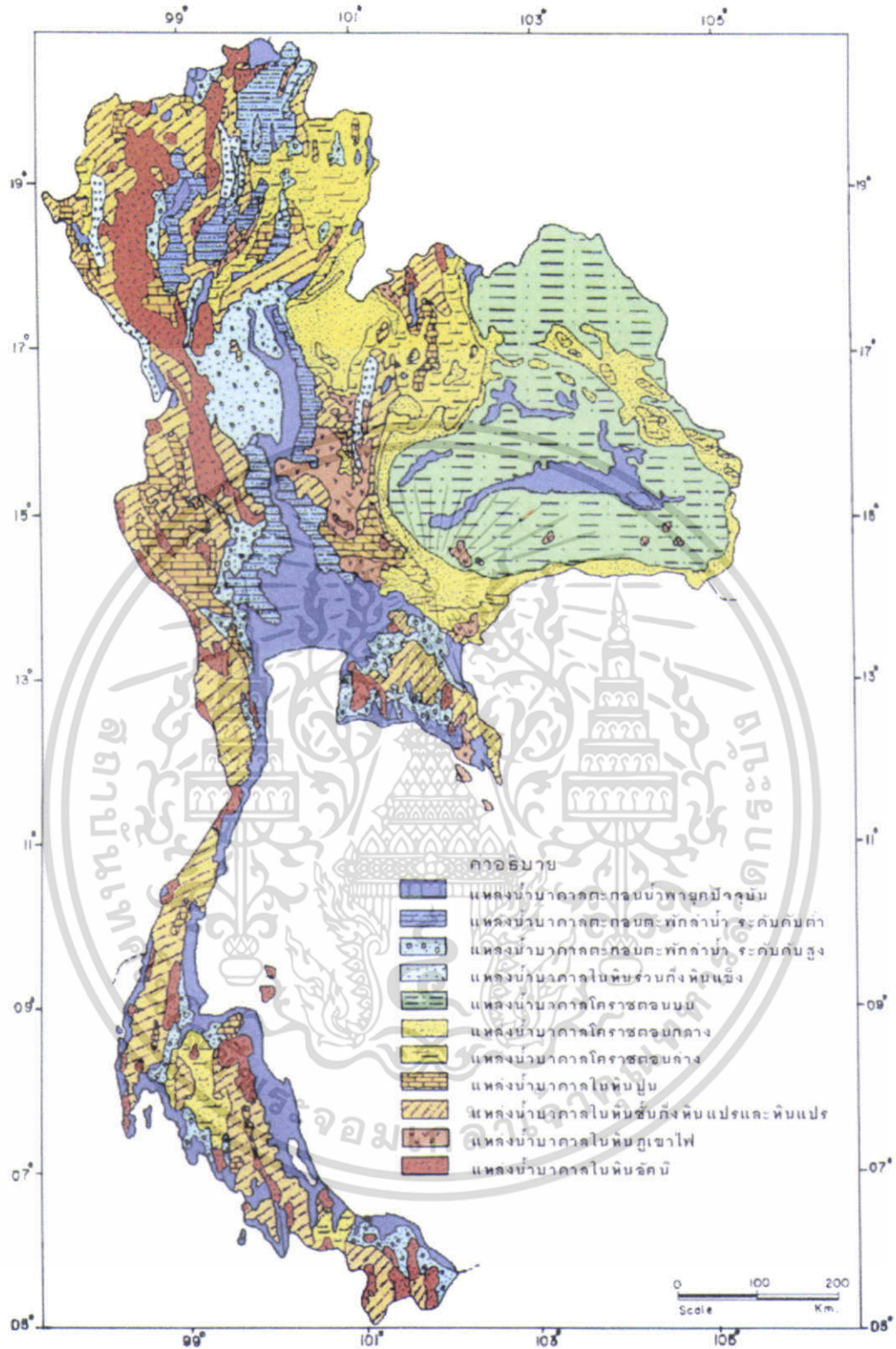
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(10) หน่วยหินชั้นกึ่งหินแปร (metasediment unit) ประกอบด้วยกลุ่มหินชั้นกึ่งหินแปร อายุเพอร์เมียน – คาร์บอนิเฟอรัส หรือหินในชุดแก่งกระจาน (Kaeng Krachan group) ซึ่งมีหินทรายควอร์ต หินทรายเฟลสปาร์ หินดินดานกึ่งหินฟิลไลต์และกึ่งหินชนวน และหินแกรนิตแวก น้ำบาดาลจะอยู่ในรอยแตก รอยเลื่อน และรอยต่อระหว่างชั้นหิน ปริมาณน้ำบาดาลจากบ่อโดยเฉลี่ย จะอยู่ในเกณฑ์ 2 – 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และในหลายพื้นที่ไม่มีน้ำบาดาลกักเก็บอยู่เลย ชั้นหินกลุ่มนี้กระจายอยู่ทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณพื้นที่ด้านตะวันตก ตั้งแต่ภาคเหนือไปถึงภาคใต้และจัดอยู่ในกลุ่มชั้นหินที่มีศักยภาพน้ำบาดาลต่ำ

(11) หน่วยหินแปร (metamorphic unit) ประกอบด้วยกลุ่มหินแปรยุคออร์โดวิเซียน แคมเบรียนถึงก่อนแคมเบรียน หินแปรถึงก่อนแคมเบรียน หินแปรส่วนใหญ่ประกอบด้วย หินชนวน ฟิลไลต์ ควอร์ตไซต์ ซิสต์ และไนส์ ลักษณะของหินส่วนใหญ่จะมีการโค้งงอ มีรอยแตกเกิดขึ้นมากมายแต่รอยแตกต่าง ๆ มักจะไม่ค่อยต่อเนื่องเป็นแนวยาว เป็นสาเหตุให้การกักเก็บน้ำบาดาลไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้หลาย ๆ พื้นที่ ไม่พบแหล่งน้ำบาดาล แต่ก็ยังมีบางพื้นที่มีบ่อน้ำบาดาลให้น้ำในเกณฑ์ 5 – 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง บางแห่งให้น้ำถึง 50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

(12) หน่วยหินภูเขาไฟ (volcanic unit) ประกอบด้วยหินภูเขาไฟประเภทแอนดีไซต์ ไรโอไลต์ แก้วภูเขาไฟ กรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ และบะซอลต์ น้ำบาดาลจะพบเฉพาะในหินที่มีรอยแตก รอยแยก ที่มีขนาดใหญ่และต่อเนื่องเป็นแนวยาวเท่านั้น ในบริเวณที่ไม่มีรอยแตกจะไม่พบน้ำบาดาลเลย โดยเฉลี่ยบ่อน้ำบาดาลจะให้น้ำในเกณฑ์ 2 – 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ยกเว้นในบางแห่งอาจได้ถึง 30 – 50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

(13) หน่วยหินแกรนิต (granitic unit) ประกอบด้วย หินแกรนิต แกรโนไดออไรต์ และแกรนิตไนส์ น้ำบาดาลจะอยู่ในชั้นหินผุ และรอยแตก รอยแยก ส่วนใหญ่จะมีปริมาณน้ำน้อย เพราะรอยแตก ไม่ค่อยต่อเนื่อง บ่อน้ำบาดาลส่วนใหญ่ให้น้ำในเกณฑ์เฉลี่ย 1 – 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ยกเว้นบางแห่งอาจได้ถึง 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง กลุ่มหินชุดนี้พบกระจายอยู่ทั่วประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านตะวันตกของประเทศ ตั้งแต่ภาคเหนือจนถึงใต้ และภาคตะวันออก หน่วยหินแปร หน่วยหินภูเขาไฟ และหน่วยหินแกรนิต จัดอยู่ในกลุ่มชั้นหินที่มีศักยภาพน้ำบาดาลต่ำ แสดงในรูปที่ 3.18 แผนที่อุทกธรณีวิทยาของประเทศไทย



รูปที่ 3.18 แผนที่อุทกธรณีวิทยาของประเทศไทย (ธรณีวิทยาประเทศไทย, 2542)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

#### 4.1 สถานที่ดำเนินงาน

พื้นที่ศึกษาในเบื้องต้นคือพื้นที่แอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานี ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดชุมพร มีอาณาเขตติดต่อจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ของแอ่งน้ำบาดาลเพชรบุรี-ประจวบคีรีขันธ์ ทางทิศเหนือ ทางทิศใต้ติดต่อจังหวัดนครศรีธรรมราชของแอ่งน้ำบาดาลนครศรีธรรมราช-พัทลุง และจังหวัดกระบี่ของแอ่งน้ำบาดาลชายฝั่งทะเลตะวันตก ทางทิศตะวันออกติดต่อกับอ่าวไทย และจังหวัดนครศรีธรรมราช ทิศตะวันตกติดต่อกับจังหวัดพังงาและจังหวัดระนองของแอ่งน้ำบาดาลชายฝั่งทะเลตะวันตก และประเทศสาธารณรัฐสังคมนิยมแห่งสหภาพพม่า มีเนื้อที่รวมทั้งสิ้นประมาณ 18,900 ตร.กม. ลักษณะภูมิประเทศมีพื้นที่ภูเขาประมาณ 68.5% และที่ราบประมาณ 31.5% พื้นที่ภูเขาส่วนใหญ่อยู่ทางทิศตะวันตกของแอ่ง ทอดตัวตามแนวเหนือ-ใต้ ลักษณะภูมิประเทศดังกล่าวก่อให้เกิดลุ่มน้ำน้อยใหญ่ โดยแม่น้ำลำคลองทุกสายจะไหลลงสู่อ่าวไทยทางด้านทิศตะวันออกเกิดเป็นที่ราบชายฝั่งทะเล และที่ราบลุ่มแม่น้ำบริเวณกลางพื้นที่ มีระดับความสูงจากน้ำทะเลปานกลาง 20-30 เมตร

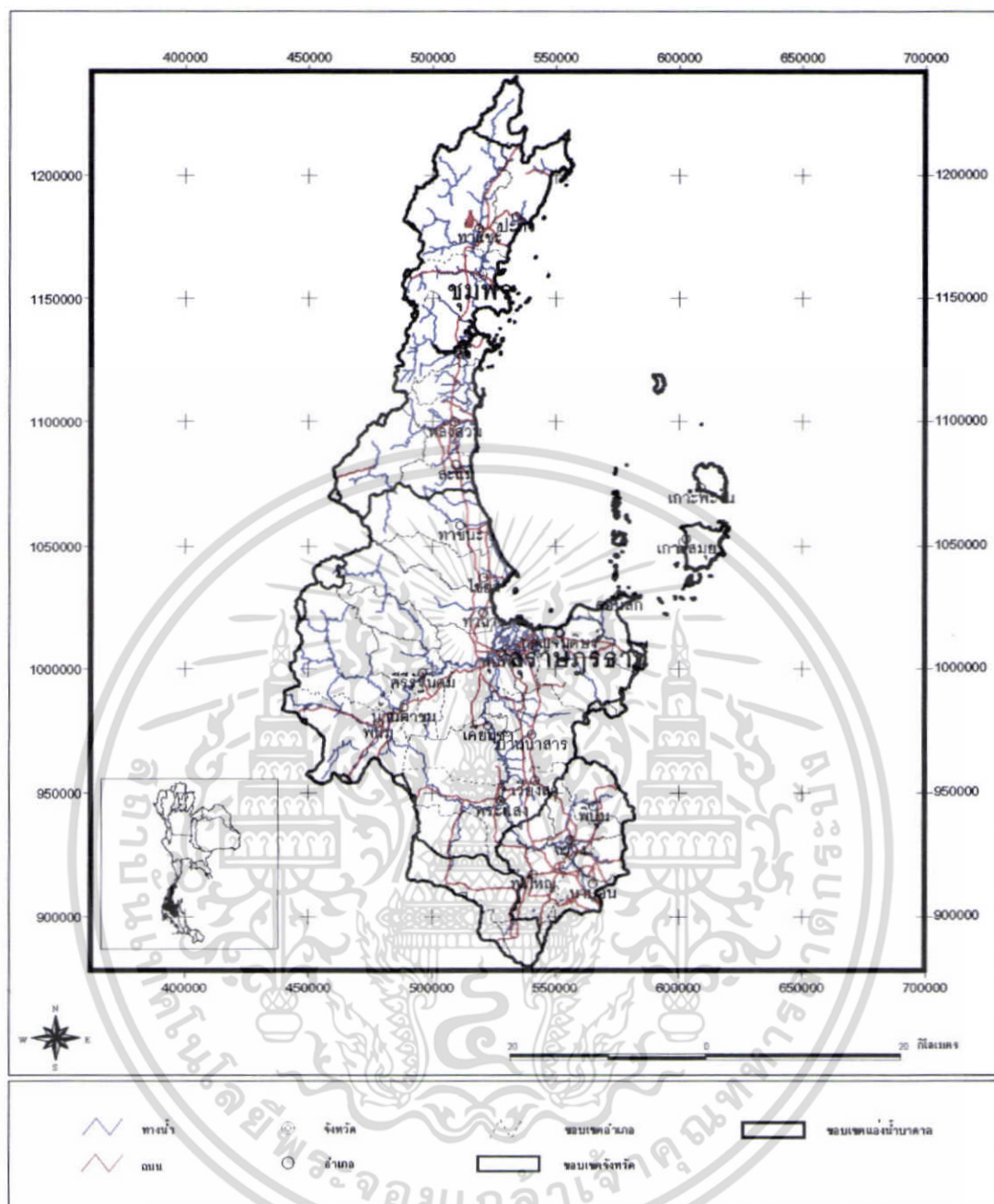
แม่น้ำที่สำคัญของแอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์-ชุมพร คือ คลองท่าแซะ คลองกรูด คลองชุมพร จังหวัดชุมพร แม่น้ำตาปี แม่น้ำพุมดวง คลองท่าทอง คลองราม คลองมะขามเตี้ยและคลองอินปัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยแม่น้ำสายหลักเหล่านี้มีน้ำสาขาครอบคลุมพื้นที่ของแอ่ง มีต้นน้ำจากภูเขาด้านทิศตะวันตกและจะไหลลงสู่อ่าวไทยด้านทิศตะวันออก ดังรูปที่ 4.1

#### 4.2 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องและการนำเข้าข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลที่จะใช้ในการดำเนินการโครงการจะเป็นการดำเนินการขั้นแรกที่จะต้องทำเพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เลือกจุดพื้นที่ทำการสร้างแบบจำลองได้ตรงกับขอบเขตที่ต้องการศึกษาได้ โดยข้อมูลที่ต้องทำการศึกษา รวบรวมในขั้นตอนนี้ประกอบด้วย

- 1) ข้อมูลทางด้านแผนที่ภูมิศาสตร์ จากกรมแผนที่ทหาร
- 2) ข้อมูลลักษณะชั้นดิน จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- 3) ข้อมูลบ่อน้ำใต้ดิน จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- 4) ข้อมูลพิกัดตำแหน่งสถานที่บ่อเจาะและบ่อสังเกตการณ์ จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ขอบเขตการปกครองในพื้นที่แอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลพิกัดตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดิน (UTM 47) ความลึกเจาะและระดับน้ำใต้ดิน พร้อมทั้งค่าระดับจากระดับน้ำทะเล (ตัวอย่างข้อมูลจากฐานข้อมูล)

พิกัด ออก - ตก	พิกัด เหนือ - ใต้	สถานที่	ความลึก เจาะ ( เมตร )	ความลึก น้ำจาก ปากบ่อ ( เมตร )	ความสูงจาก ระดับน้ำทะเล ( เมตร )
550512	996504	บ้านควนระเจะ	45.00	32.85	20.87
522900	940000	บ้านบางหยด	36.00	19.50	62.80
522600	1018800	บ้านคลองลำไย	63.00	0.30	2.00
526600	1038860	บ้านลำไย	90.00	0.54	4.70
519850	1037120	โรงเรียนวัดพระบรมธาตุไชยา	75.00	0.30	12.88
517200	1038300	โรงเรียนบ้านสามสัก	75.00	4.69	16.90
508040	1002450	โรงเรียนวัดบางบอน	19.50	6.00	9.89
513713	1002470	วัดน้ำรอบ	21.00	4.30	8.26
514490	1002626	วัดวิหาร	19.50	4.50	6.77
514050	1002150	วัดหาดน้อย	19.00	4.69	9.35
513336	1001547	บ้านบางมะเดื่อ	21.00	4.73	14.06
518442	1003409	วัดท่าพลาราม	21.00	3.00	2.88
543150	1013025	โรงเรียนบ้านร่ารอง	49.50	1.50	3.20
559100	1009525	บ้านแม่โมกข์	30.00	3.00	21.17
530350	949500	บ้านวังใหญ่	48.00	1.26	43.73
517070	1016000	วัดอัมพาราม	48.00	1.26	21.06
517200	1015980	วัดอัมพาราม	48.00	0.59	20.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงพิกัดตำแหน่งสถานที่ต่างๆ (UTM47) พร้อมทั้งข้อมูลชั้นดิน (ตัวอย่างข้อมูลจากฐานข้อมูล)

พิกัด ออก - ตก	พิกัด เหนือ- ใต้	ที่ตั้ง	ระดับ (ม.รทก.)	Texture1	Texture2
550512	996504	บ้านควนระเจะ	20.87	silt	sand
550512	996504		-9.62	siltstone	-
550512	996504		-17.24	siltstone	-
522900	940000	บ้านบางหยด	62.80	silt	-
522900	940000		39.93	silt	sand
522900	940000		26.21	silt	sand
522600	1018800	บ้านคลองลำโน	3.14	clay	--
522600	1018800		-6.01	laterite	sand
522600	1018800		-12.10	sand	-
522600	1018800		-15.15	laterite	sand
522600	1018800		-19.73	clay	sand
522600	1018800		-34.97	gravel	quartz
522600	1018800		-42.59	sand	-
522600	1018800		-51.74	gravel	-
522600	1018800		-60.88	gravel	-
526600	1038860	บ้านลำไย	4.70	sand	-
526600	1038860		-30.36	clay	-
526600	1038860		-44.08	sand	-
526600	1038860		-53.23	sand	-
550512	996504	บ้านควนระเจะ	20.87	silt	sand
550512	996504		-9.62	siltstone	-
550512	996504		-17.24	siltstone	-
522900	940000	บ้านบางหยด	62.80	silt	-
522900	940000		39.93	silt	sand
522900	940000		26.21	silt	sand
522600	1018800	บ้านคลองลำโน	3.14	clay	-
522600	1018800		-6.01	laterite	sand
522600	1018800		-12.10	sand	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงพิกัดตำแหน่งสถานที่ต่างๆ (UTM47) พร้อมทั้งข้อมูลชั้นดิน (ตัวอย่างข้อมูลจากรานข้อมูล) (ต่อ)

พิกัด ออก - ตก	พิกัดเหนือ-ใต้	ที่ตั้ง	ระดับ (ม.รทก.)	Texture1	Texture2
522600	1018800		-15.15	laterite	sand
519850	1037120	โรงเรียนวัด	-19.73	clay	sand
519850	1037120	พระบรม	-34.97	gravel	quartz
519850	1037120	ธาตุไชยา	-42.59	sand	-
519850	1037120		-51.74	gravel	-
519850	1037120		-60.88	gravel	-
517200	1038300	โรงเรียนบ้าน	12.88	clay	-
517200	1038300	สามสัก	8.31	sand	clay
517200	1038300		-25.23	clay	sand
517200	1038300		-48.10	quartz	feldspars
517200	1038300		-63.34	quartz	feldspars
519850	1037120	โรงเรียนวัด	16.90	clay	-
519850	1037120	พระบรม	13.85	sand	clay
519850	1037120	ธาตุไชยา	6.23	clay	sand
519850	1037120		-47.13	sand	quartz

#### 4.3 การคัดเลือกและตรวจสอบข้อมูลบ่อสำรวจ

ข้อมูลบ่อสำรวจได้รับการอนุเคราะห์จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล และข้อมูลลักษณะชั้นดินจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ซึ่งได้แบ่งข้อมูลออกเป็นคำอธิบายความหมายของลักษณะดินแต่ละชั้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามระดับความลึกของบ่อสำรวจ ซึ่งคำอธิบายความหมายของดินนี้จะนำมาจัดเรียงเพื่อแบ่งแยกชุดดินอีกครั้งหนึ่งโดยส่วนประกอบหลักของดินในแต่ละชั้นนั้นจะให้มีความเป็นส่วนประกอบหลัก (Texture 1) และส่วนที่ 2 คือส่วนประกอบรองหรือส่วนประกอบย่อย (Texture 2) หลังจากนั้นดำเนินการจัดกลุ่มของส่วนประกอบหลักและส่วนประกอบรองโดยแบ่งออกเป็น 3 กรณี เพื่อทำการตรวจสอบแบบจำลอง

##### 4.3.1. ยึดหลักการแบ่งตามคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำ (Hydraulics Conductivity)

โดยในกรณีที่ 1 แบ่งตามคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำ ชุดลักษณะของชั้นดินที่ 1 ส่วนองค์ประกอบหลักคือ กรวดหรือทรายและส่วนองค์ประกอบรองเป็นวัสดุพรุนชนิดอื่นที่มีอัตราการซึมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านของน้ำมากกว่า 1 เมตรต่อวินาที เช่น ทรายจะถูกนำมารวมด้วยกันมีชื่อว่า การซึมผ่านดี และชุดที่ 2 เมื่อองค์ประกอบหลักของชั้นดินเป็นทรายหรือกรวดที่มีอัตราการซึมผ่านของน้ำอยู่ระหว่าง 1 ถึง  $1 \times 10^{-2}$  เมตรต่อวินาทีแต่องค์ประกอบของลักษณะชั้นดินรองเป็นดินลักษณะที่มีความพรุนน้อยเช่น ดินเหนียวหรือตะกอนชั้นดินมีชื่อว่า การซึมผ่านปานกลาง ถัดไปคือชั้นดินประเภทที่ 3 เป็นชั้นที่มีอัตราการซึมผ่านของน้ำอยู่ระหว่าง  $1 \times 10^{-2}$  ถึง  $1 \times 10^{-6}$  เมตรต่อวินาทีเรียกว่าชั้นดินประเภท การซึมผ่านต่ำ และชั้นสุดท้ายคือชั้นดินประเภทที่ 4 เป็นชั้นดินที่มีอัตราการซึมผ่านของน้ำน้อยกว่า  $1 \times 10^{-6}$  เมตรต่อวินาทีประกอบด้วยวัสดุประเภทหินและแร่ธาตุเป็นส่วนใหญ่มีชื่อว่า ทึบน้ำ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (K) ในที่นี้หาจากการสุบทดสอบในชั้นตอนที่ 4.4 แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าตัวแปรในแนวตั้งในแบบจำลอง markov chain ชุดการทดลองที่ 1

Texture Category	Main Texture	Second Texture
1.การซึมผ่านดี	กรวด ทราย	วัสดุที่มีรูพรุนอื่น
2.การซึมผ่านปานกลาง	ทรายหรือดินตะกอน	วัสดุที่มีรูพรุนน้อย
3.การซึมผ่านต่ำ	ดินเหนียว	วัสดุที่มีรูพรุนน้อย
4.ทึบน้ำ	หินและแร่ชนิดต่างๆ	วัสดุอื่นๆ

#### 4.3.2. ยึดหลักการแบ่งตามหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (Hydrogeologic unit)

โดยในกรณีนี้ 2 เป็นชุดการทดลองที่แบ่งลักษณะของชั้นดินออกเป็น 4 ชนิดเช่นกันโดยอาศัยหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (hydrogeological units) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่คือ หินร่วนและหินแข็ง ซึ่งในที่นี้

1) หินร่วน (unconsolidated rocks) หมายถึง ตะกอนชนิดหินต่างๆ ที่ผูกพันโดยขบวนการทางเคมี กายภาพและการกัดเซาะ ได้แก่ กรวด (gravel) ทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) ที่ถูกพัดพาโดยตัวกลางใด ๆ เช่น น้ำ ลม มาสะสมตัวในบริเวณที่มีสภาพเหมาะสมโดยไม่มีการสมานตัวหรือมีการสมานตัวเพียงเล็กน้อย ตะกอนขนาดใหญ่ เช่น กรวด และทราย มีคุณสมบัติ เป็นชั้นหินให้น้ำบาดาลที่ดี เพราะมีความพรุนและความซึมซาบได้สูง ส่วนตะกอนทรายแป้ง และดินเหนียว แม้ว่าจะมีความพรุนสูง แต่มีความซึมซาบได้ต่ำ จึงเป็นชั้นหินให้น้ำที่ไม่ดี มีคุณสมบัติเป็นชั้นกั้นน้ำ (impermeable layer) หรือชั้นหินต้านน้ำ (aquitard)

2) หินแข็ง (consolidated rocks) หมายถึง หิน 3 ประเภทในทางธรณีวิทยา ได้แก่หินอัคนี หินตะกอน และหินแปร ซึ่งแต่ละประเภทสามารถแยกย่อยออกได้อีกหลายชนิด มีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำบาดาล และให้น้ำบาดาลแตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปน้ำบาดาลในหินแข็งถูกกักเก็บอยู่ใน 2 ลักษณะ คือ ภายในรูพรุน หรือช่องว่างระหว่างเม็ดแร่ภายในเนื้อหิน (primary porosity) และภายในช่องว่างที่เกิดขึ้นภายหลัง (secondary porosity) เช่น รอยแตก รอยแยก รอยเลื่อน โพรง และถ้ำ เป็นต้น สำหรับหินแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เป็นเนื้อแน่นไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้เลย เรียกว่า ชั้นหินทึบน้ำ (aquiclude) ซึ่งในโครงการนี้ได้แบ่งหินแข็งออกเป็น 3 ชนิด คือ (1) หินแปรและหินอัคนี (2) หินปูน และ (3) หินตะกอน

ทำให้แบ่งลักษณะชั้นดินเป็น 4 ชนิดคือ ชนิดที่ 1 เป็นชั้นดินที่ประกอบด้วยพวกวัสดุประเภท Sedimentary (ตะกอนทราย) ชนิดที่ 2 เป็นชั้นดินที่ประกอบด้วยพวกวัสดุประเภท Sedimentary Rock (หินแปร) ชนิดที่ 3 เป็นชั้นดินที่ประกอบด้วยพวกวัสดุประเภท Limestone (หินปูน) และชนิดที่ 4 เป็นชั้นดินที่ประกอบด้วยพวกวัสดุประเภท Igneous Rock (หินอัคนี) เพื่อหาหลักการแบ่งประเภทของชนิดชั้นดินที่มีความถูกต้องที่สุด

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าตัวแปรในแนวตั้งในแบบจำลอง markov chain ชุดการทดลองที่ 2

Texture Category	Main Texture	Second Texture
1. Sedimentary	กรวด ทราย ดินตะกอน	วัสดุที่มีรูพรุนอื่น
2. Sedimentary Rock	หินตะกอน	วัสดุที่มีรูพรุนน้อย
3. Limestone	ส่วนประกอบหินปูน	วัสดุที่มีรูพรุนน้อย
4. Igneous Rock	หินและแร่ชนิดต่างๆ	วัสดุอื่นๆ

#### 4.3.3. ยึดหลักการแบ่งตามคุณสมบัติการชนิดของดิน (Texture)

โดยในกรณีนี้ที่ 3 แบ่งตามค่าความพรุนของหินชนิดต่างๆพร้อมทั้งนำค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ ชุดลักษณะของชั้นดินที่ 1 ส่วนองค์ประกอบหลักคือ กรวดหรือทรายที่มีความพรุนสูงและสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำสูง ส่วนองค์ประกอบรองเป็นวัสดุพรุนชนิดอื่นที่ความพรุนลดน้อยลงมาเช่น ทรายหรือเศษหินแตกจะถูกนำมารวมด้วยกันมีชื่อว่าชั้น sand และชุดที่ 2 เมื่อองค์ประกอบหลักของชั้นดินเป็นทรายหรือกรวดแต่องค์ประกอบของลักษณะชั้นดินรองเป็นดินลักษณะที่มีความพรุนน้อยสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำน้อยลงมาเช่น ดินเหนียวหรือตะกอนชั้นดินมีชื่อว่า sand/clay ถัดไปคือชั้นดินประเภทที่ 3 เป็นชั้นที่มีองค์ประกอบของดินที่มีค่าความพรุนและสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำน้อยเรียกว่า ชั้นดินประเภท clay และชั้นสุดท้ายคือชั้นดินประเภทที่ 4 เป็นชั้นดินที่ประกอบด้วยวัสดุประเภทหินและแร่ธาตุเป็นส่วนใหญ่มีชื่อว่า stone ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าตัวแปรในแนวตั้งในแบบจำลอง markov chain ชุดการทดลองที่ 3

Texture Category	Main Texture	Second Texture
1.Sand	กรวด ทราย	วัสดุที่มีรูพรุนสูง
2.Sand/clay	ทรายหรือดินตะกอน	วัสดุที่มีรูพรุนน้อย
3.Clay	ดินเหนียว	วัสดุที่มีรูพรุนน้อย
4.Stone	หินต่างๆเช่นหินดินดาน, หินปูน	วัสดุที่มีรูพรุนน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างข้อมูลการแบ่งลักษณะของชั้นดินออกเป็นชุดดิน 4 กลุ่ม(กรณีที่1)

Material Category	Texture 1	Texture 2
1 การซึมผ่าน ดี	gravel	
	gravel	quartz/sandstone
	gravel	sand
	laterite	
	laterite	gravel
	laterite	sand
	sand	
	sand	gravel
	karst	
	boulder	
2 การซึมผ่าน ปานกลาง	boulder	sand
	boulder	laterite
	sand	clay
	sand	quartz
	gravel	clay
	granite	sand
	rock	sandstone
	sand	sandstone
	limestone	
	organic matter (marsh)	
	diorite	
	quartz	
	quartzite	
	coral	
quartz	sand	
granite	sand	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างข้อมูลการแบ่งลักษณะของชั้นดินออกเป็นชุดดิน 4 กลุ่ม(กรณีที่1) (ต่อ)

Material Category	Texture 1	Texture 2
3 การซึมผ่าน ต่ำ	gravel	feldspar
	gravel	limestone
	gravel	sandstone
	gravel	siltstone
	gravel	silt
	laterite	clay
	laterite	silt
	limestone	chert
	limestone	sand
	phyllite	sand
	quartz	feldspar
	quartz	limestone
	sand	clay
	sand	limestone
	sand	rock
	sand	silt
	sandstone	
	sandstone	gravel
	sandstone	limestone
	sandstone	quartz
	silt	
	silt	gravel
	silt	quartz
	silt	sand
	tuff	clay
	granite	quartz
	clay	
clay	bolder	
clay	gravel	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างข้อมูลการแบ่งลักษณะของชั้นดินออกเป็นชุดดิน 4 กลุ่ม(กรณีที1) (ต่อ)

Material Category	Texture 1	Texture 2
3 การซึมผ่าน ต่ำ	clay	laterite
	clay	limestone
	clay	marl
	clay	quartz
	clay	rock
	clay	sand
	clay	sandstone
	marl	clay
	marl	silt
	chert	
	granite	
	granite	clay
	limestone	clay
	limestone	shale
	sandstone	shale
	silt	
	silt	clay
4 ที่บ้น้ำ	claystone	
	dolomite	
	mudstone	
	rock	
	rock	clay
	siltstone	
	shale	clay
	shale	silt
	shale	slate
slate	sand	
clay	shale	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.4 การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นดินและอัตราการสูบน้ำ

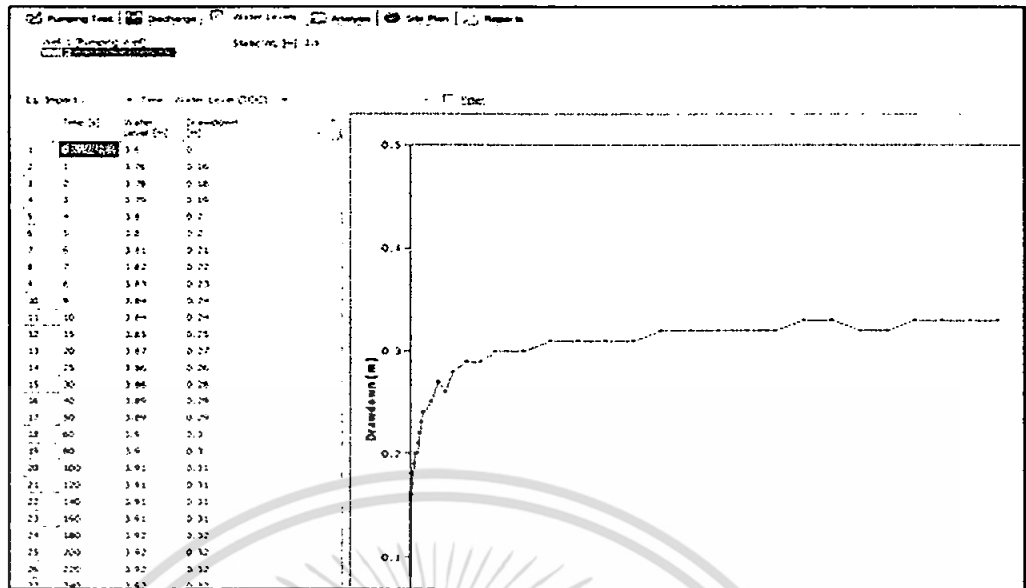
ในขั้นตอนนี้คือการนำข้อมูลที่ได้จัดเก็บลงฐานข้อมูลแล้ว มาใช้วิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (K) เพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบการแบ่งชุดแบบจำลองกรณีที่1 ยึดหลักการแบ่งตามคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำ (Hydraulics Conductivity) โดยฐานข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ (รูปที่ 4.2) นั้น ได้แก่

- 1) ข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์
- 2) ลักษณะของบ่อบาดาล
- 3) อัตราการสูบน้ำ
- 4) ข้อมูลระยะน้ำลด (รูปที่ 4.3)

หมายเลขบ่อ	จุด ต.บ. - พ.	จุด ต.บ. - ล.	ประเภทบ่อ	สถานที่	จุดสูบน้ำ	พื้นที่	ประเภท	อัตราการสูบน้ำ (ลิตร/ชม.)	ระยะน้ำลด (เมตร)	ระยะน้ำลด (Feet)	
314	TA0110	591500	1007470	46272	บ้านโคกสะอาด	01	บ้านเขา	คลองขุด	88.00	24-29.36-43.50-40	150
315	TQ111	591740	1006100	48270	บ้านโคกสะอาด	01	บ้านเขา	คลองขุด	42.00	16-30.21-42	150
317	DA327	518311	1009304		โคกสะอาด	01	บ้านเขา	บ้านเขา	21.90	17.21	150
318	MA1059	534820	940800		บ้านเขา	01	บ้านเขา	บ้านเขา	26.00	24-27.27-38	150
319	MA1064	531284	954207		บ้านเขา	01	บ้านเขา	บ้านเขา	28.90	46.50	150
320	DA21	545790	1011225		บ้านเขา	02	บ้านเขา	คลองขุด	25.5	16-12.18-24	150
321	DA26	517340	1011350		บ้านเขา	01	บ้านเขา	บ้านเขา	30	24.30	150
322	DA351	524250	933025		บ้านเขา	01	บ้านเขา	บ้านเขา	61	66.25	150
323	DA366	494972	998660		บ้านเขา	07	บ้านเขา	บ้านเขา	66	18-24.30-42.50-60	150
324	DA369	518387	1011380		บ้านเขา	01	บ้านเขา	บ้านเขา	56	44.52	150
325	DA370	526049	1041066		บ้านเขา	06	บ้านเขา	บ้านเขา	28	28.86	150
326	DA371	524282	1029219		บ้านเขา	05	บ้านเขา	บ้านเขา	96	84.96	150
327	DA374	511810	1060666		บ้านเขา	03	บ้านเขา	บ้านเขา	52	43.48	150
328	DA380	495772	980393		บ้านเขา	01	บ้านเขา	บ้านเขา	100	41.00	150
329	DA381	499906	986669		บ้านเขา	01	บ้านเขา	บ้านเขา	32	24.32	150
330	DA450	520204	942204		บ้านเขา	10	บ้านเขา	บ้านเขา	138	110-116.120-130	150
331	DA460	530313	985197		บ้านเขา	01	บ้านเขา	บ้านเขา	60	11-19.2735.29-47.51-60	150
332	MA1065	539415	955705		บ้านเขา	05	บ้านเขา	บ้านเขา	60	72.36	150
333	TQ34	551730	11007180		บ้านเขา	01	บ้านเขา	บ้านเขา	40	22-28.22.540.34-22.5	150
334	TQ113	581080	998660		บ้านเขา	02	บ้านเขา	บ้านเขา	55	29.24.28.55	150
335	TQ117	548090	11004590		บ้านเขา	02	บ้านเขา	บ้านเขา	32	22.28	150
336	TQ125	543800	991450		บ้านเขา	02	บ้านเขา	บ้านเขา	56	16-32.40-52	150
337	TRE5008	527583	963229		บ้านเขา	01	บ้านเขา	บ้านเขา	128	109-121	150

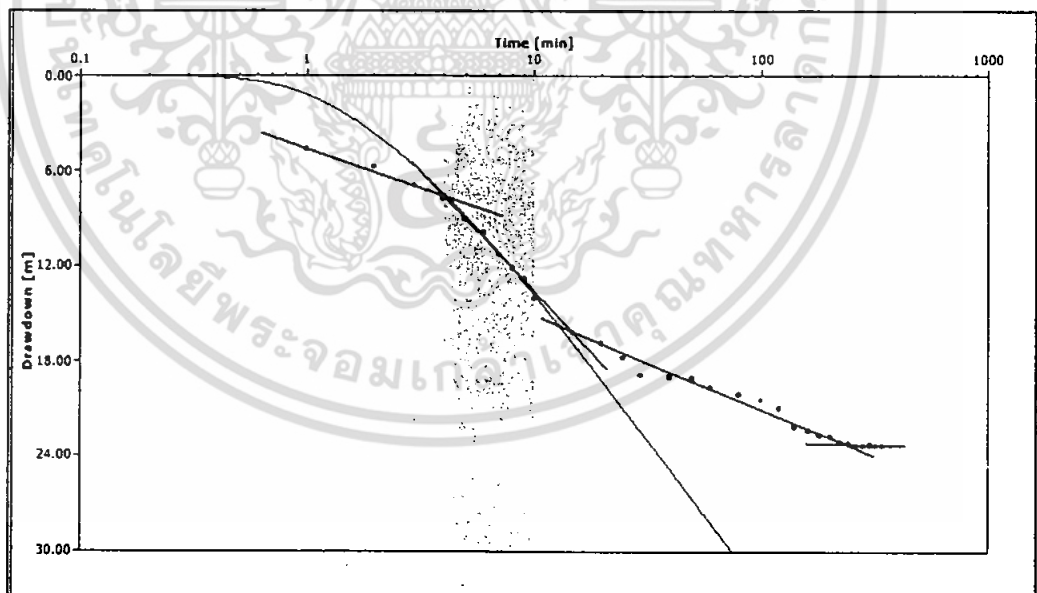
รูปที่ 4.2 แสดงฐานข้อมูลที่ถูกจัดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (K)

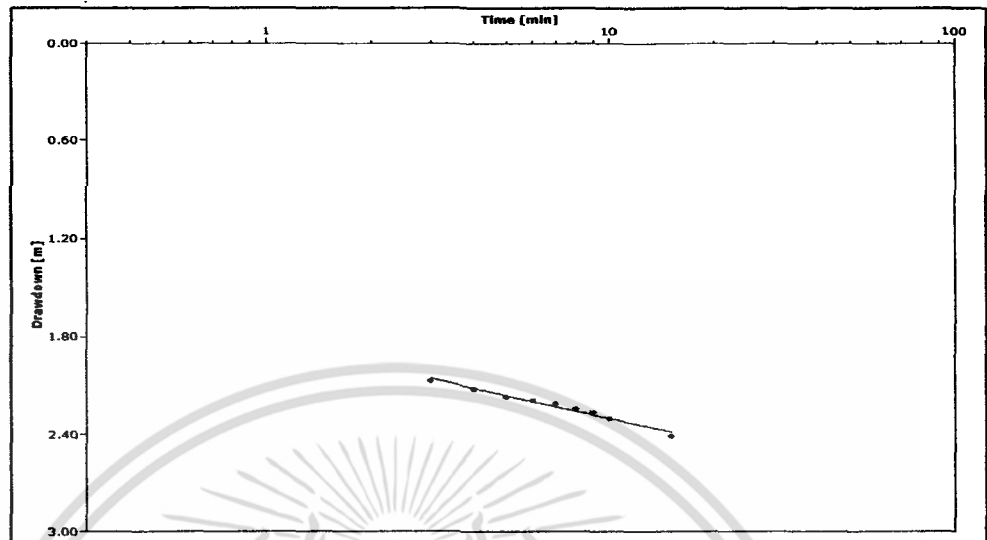
เลือกช่วงที่วิเคราะห์ ให้เลือกช่วงที่ทำการวิเคราะห์ ให้หลีกเลี่ยงช่วงความชันแรก เนื่องจากยังเป็นเส้นน้ำลดนี้ยังเป็นน้ำที่ค้างในบ่อ ไม่ใช่ค่าการสูบที่แท้จริง จึงควรที่จะเลือกช่วงความชันที่ 2 เนื่องจากการสูบน้ำออกจากชั้นดินที่แท้จริง โดยการเลือกช่วงเวลาเพื่อทำการวิเคราะห์ (รูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.4 แสดงการเลือกช่วงเวลาทำการวิเคราะห์

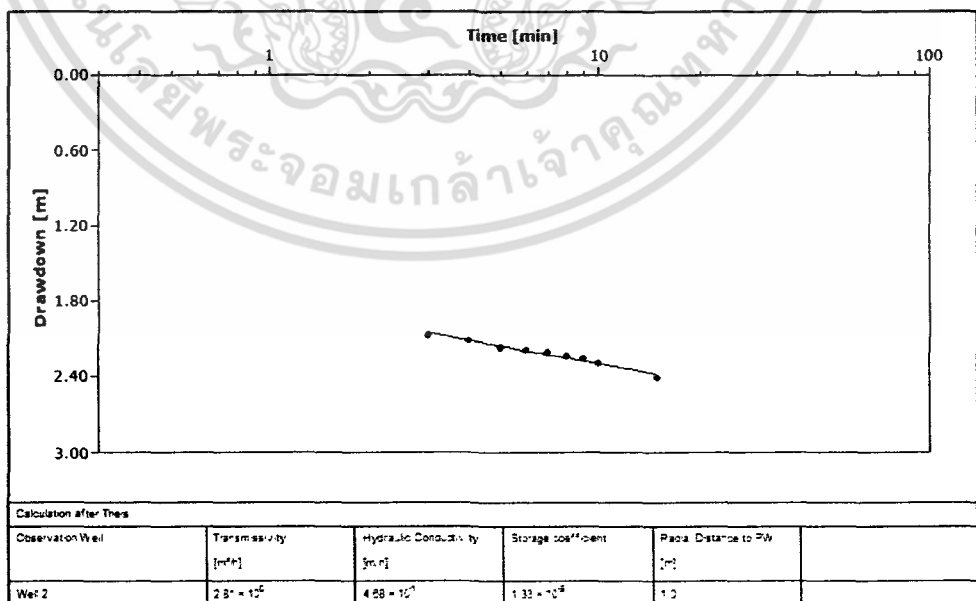
หากไม่สามารถใช้คำสั่ง fit ได้ ให้เลือกคำสั่ง Show Parameter controls โดยค่า T หรือตัวเลื่อนซ้าย จะทำการปรับความชันของกราฟ โดยถ้าปรับค่าให้สูงขึ้น กราฟจะมี Slope ลดลง ในทางกลับกัน ถ้าปรับค่า T ลดลง กราฟจะมี Slope ที่ชันขึ้น และค่า  $S_c$  หรือตัวเลื่อนขวา จะทำหน้าที่ปรับเอกซอร์นนี้เป็นเอกซอร์นที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของกราฟ โดยถ้าค่า S ยิ่งมาก ตำแหน่งกราฟก็ยิ่งสูงเช่นกัน ถ้ามีค่าน้อยตำแหน่งของเส้นกราฟจะต่ำลง โดยการปรับเส้นกราฟต้องให้ผ่านทุกจุดข้อมูล (รูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.5 แสดงการทาบกราฟให้ผ่านในทุกจุด

เมื่อทำการวิเคราะห์เสร็จจะได้แถบ Reports (รูปที่ 4.6) เป็นเอกสารแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ โดนเลือกที่ชื่อ Analysis Graph จะแสดงค่าจากการวิเคราะห์ และนำค่าเหล่านี้ไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งค่าที่ได้คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (K) ค่าที่ได้จากโปรแกรมเป็นค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำที่ต้องนำไปตรวจสอบกับข้อมูลชั้นดินที่ช่องเปิดรับน้ำของบ่อสำรวจก่อนเพื่อหาค่าที่ถูกต้องที่สุด



รูปที่ 4.6 แสดงการแสดงผลวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.1 การตรวจสอบข้อมูลการซึมผ่านของน้ำ

เมื่อได้ค่าจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมแล้ว จัดข้อมูลเหล่านี้ลงในฐานข้อมูล และทำการตรวจสอบข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์กับข้อมูลชั้นดินว่าสอดคล้องกันหรือไม่ เนื่องจากว่าการวิเคราะห์นั้น อาจจะเลือกช่วงข้อมูลผิดพลาด ทำให้ค่าที่ได้ไม่สอดคล้องกับชั้นดิน หากไม่ตรงกัน ให้กลับไปทำการปรับแก้

4.4.1.1 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน และอัตราการสูบต่ออัตราน้ำลด จากชั้นตอนข้างต้น นำตัวแปรที่ต้องการศึกษา คือ อัตราการสูบต่ออัตราน้ำลด และสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน รวมถึงตัวแปรทั้งคู่ในรูปแบบที่ถูกเปลี่ยนรูปแล้ว มาเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การทำนายว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $Q/s$  กับ  $K$  แบบใดบ้างที่มีความถูกต้องมากที่สุด ในรูปโปรแกรม SPSS

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ค่าความเชื่อมั่นของตัวแปร  $K$  เมื่อเปรียบเทียบตัวแปร  $Q/s$  รวมถึงที่เปลี่ยนรูป

		K	Q/S	Log(Q/S)	1/(Q/S)	(Q/S) <sup>2</sup>
K	Pearson Correlation	1	.865(**)	.491(**)	-.066	.681(**)
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.139	.000
	N	500	500	500	500	500
Q/S	Pearson Correlation	.865(**)	1	.481(**)	-.063	.894(**)
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.000	.159	.000
	N	500	500	500	500	500
Log(Q/S)	Pearson Correlation	.491(**)	.481(**)	1	-.528(**)	.276(**)
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.	.000	.000
	N	500	500	500	500	500
1/(Q/S)	Pearson Correlation	-.066	-.063	-.528(**)	1	-.026
	Sig. (2-tailed)	.139	.159	.000	.	.555
	N	500	500	500	500	500
(Q/S) <sup>2</sup>	Pearson Correlation	.681(**)	.894(**)	.276(**)	-.026	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.555	.
	N	500	500	500	500	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.1.2 วิเคราะห์เงื่อนไขของสมการถดถอย

เมื่อทำการตรวจสอบข้อมูลทั้งหมดแล้ว นำเอาข้อมูลอัตราการสูบต่ออัตราน้ำลด และสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน มาหาความสัมพันธ์ว่าอยู่ในรูปแบบใด โดยใช้โปรแกรม SPSS ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย คัดเลือกข้อมูลแบบลำดับขั้น และให้อยู่ในเงื่อนไขของสมการถดถอย มาสร้างเป็นสมการถดถอยเส้นตรงของตัวแปรอิสระ

4.4.1.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง K-Q/s จากการสูบทดสอบจริง กับสมการความสัมพันธ์ K-log Q/s, log K-log Q/s โดยแยกตามลักษณะต่างๆ

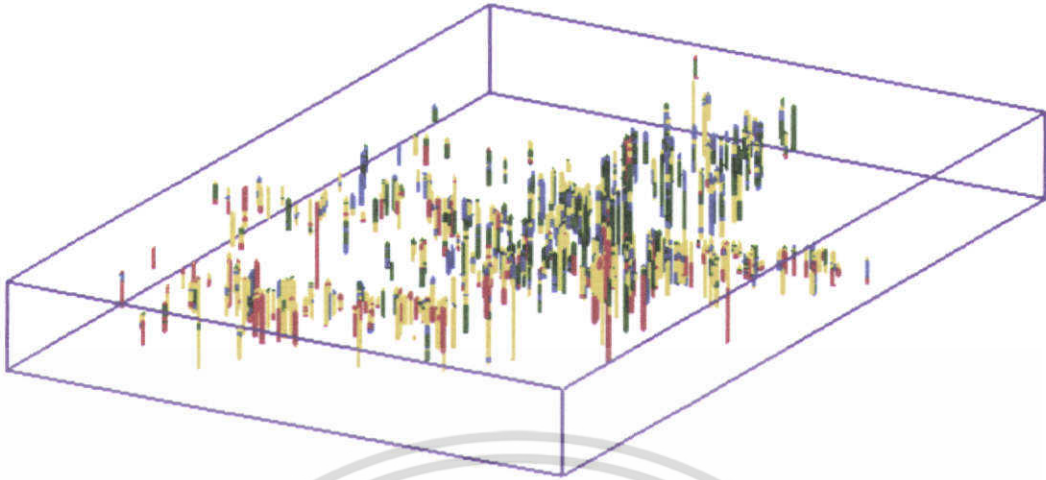
เพื่อที่จะตรวจสอบว่าข้อมูลเหล่านี้มีความสอดคล้องกับสมการที่ได้จากขั้นตอนที่ 4.3.1.1 หรือไม่ โดยการเขียนกราฟเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านกับอัตราการสูบต่ออัตราน้ำลดในกรณีวิเคราะห์จากบ่อสูบทดสอบ และกรณีวิเคราะห์จากสมการความสัมพันธ์ที่หามาได้

### 4.5 การสร้างแบบจำลองทางสถิติธรณีวิทยา

#### 4.5.1 การนำข้อมูลเข้าเพื่อสร้างแบบจำลอง

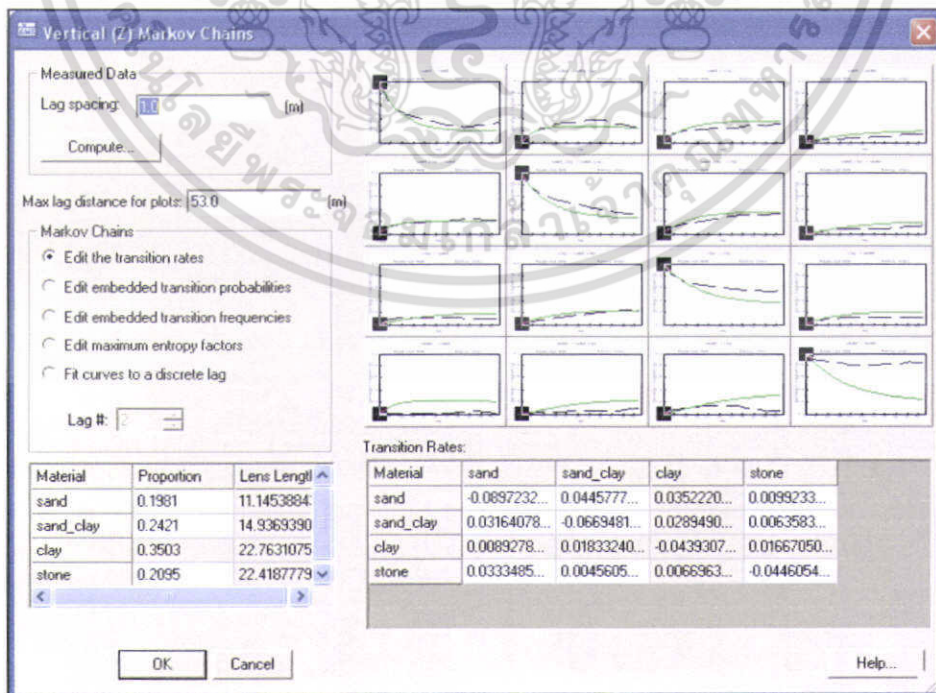
พื้นที่ศึกษาซึ่งมีขนาดพื้นที่ประมาณ  $85000 \times 130000 \times 120$  ม.<sup>3</sup> ได้ทำการแบ่งออกเป็นช่องพื้นที่จำนวน  $170 \times 260 \times 60$  ช่อง โดยแต่ละช่องมีขนาด  $500 \times 500 \times 2$  ม.<sup>3</sup> โดยมีสาเหตุการแบ่งในทิศทางแนวตั้งมีความละเอียด เพื่อความถูกต้องมากที่สุดของการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินในแนวตั้ง ที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะชั้นดินได้ง่าย ซึ่งข้อมูลที่ใช้การจัดแยกประเภทใหม่พร้อมตำแหน่งของบ่อสำรวจจะนำเข้าสู่โปรแกรม TPROGS ซึ่งที่ค่าตัวแปรชนิดชั้นดินที่นำเข้าเป็นข้อมูล 4 ตัวคือ การซึมผ่านดี, การซึมผ่านปานกลาง, การซึมผ่านต่ำ, ทึบน้ำ ในกลุ่มการทดลองกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย Sedimentary, Sedimentary rock, Limestone และ Igneous rock และในกรณีที่ 3 ซึ่งประกอบด้วย Sand, Sand/clay, Clay/sand และ Rock เพื่อสุ่มหาลักษณะการแบ่งประเภทของชั้นดินที่มีศักยภาพในการสร้างแบบจำลองที่นำไปใช้อ้างอิงทางสถิติธรณีวิทยาได้ โดยวัตถุประสงค์การสร้างแบบจำลองโดยวิธีสถิติธรณีวิทยาคือ การประยุกต์เอาความน่าจะเป็นเข้ามาช่วยในการหาการเปลี่ยนแปลงลำดับลักษณะของชั้นดิน โปรแกรม T-PROGS ซึ่งมีหลักการทำงานที่ใช้การเปลี่ยนแปลงของความน่าจะเป็นที่อยู่บนพื้นฐานของวิธีสถิติธรณีวิทยาที่ เรียกว่า Stochastic condition simulation และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงข้อมูลตามระยะทางพร้อมกับสร้างลักษณะชุดข้อมูลทางธรณีวิทยาที่เสมือนจริง (realization) ออกมา โดยมีหลักการนำเข้าข้อมูลบ่อสำรวจมาหา ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินชนิดต่างๆ (transition probability) ดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



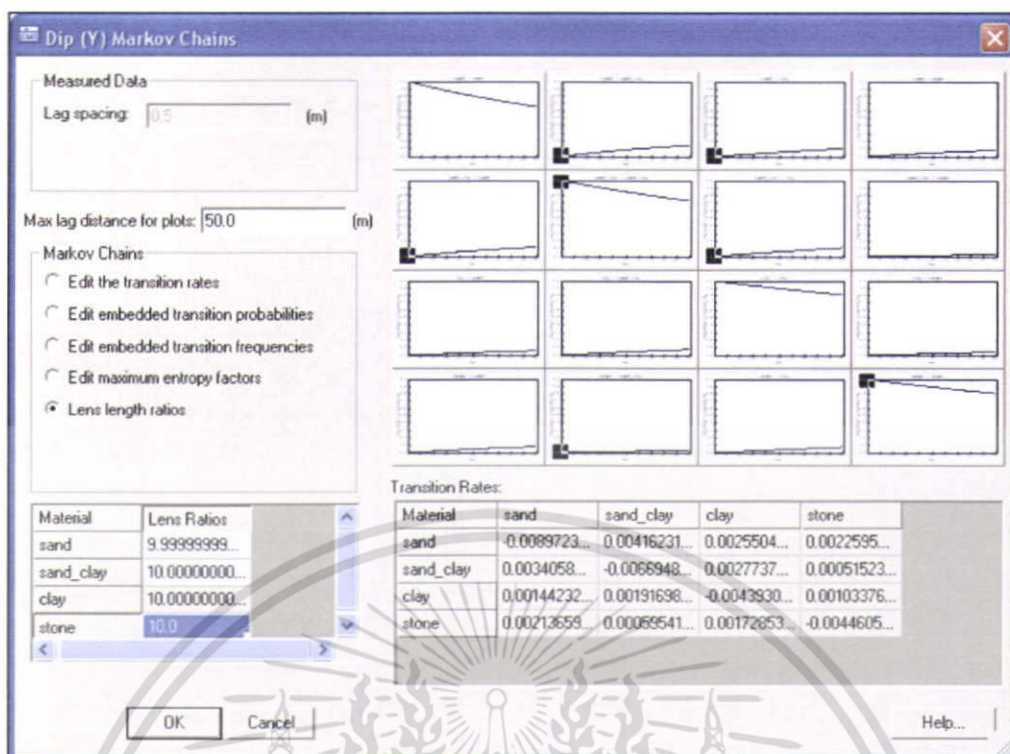
รูปที่ 4.7 การกระจายตัวของข้อมูลบ่อสำรวจในพื้นที่ศึกษา 3 มิติ จากโปรแกรม GMS

หลังจากนั้นทำการปรับแต่งแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลในพื้นที่มากที่สุดโดยการปรับเส้นประ (makrov chain) โดยวิธีการต่างๆเช่น ปรับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินชนิดต่างๆ (transition rate) ปรับค่าสัดส่วนปริมาณชั้นดิน (proportion) ให้มีลักษณะใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจริงเป็นเส้นทึบ (measured data) ในทิศทางแนวตั้งดังรูปที่ 4.8 และในทิศทางแนวราบทั้งแกน x และ y ในรูป 4.9 และ 4.10 โดยใช้หลักของ Walter's Law ตามลำดับ

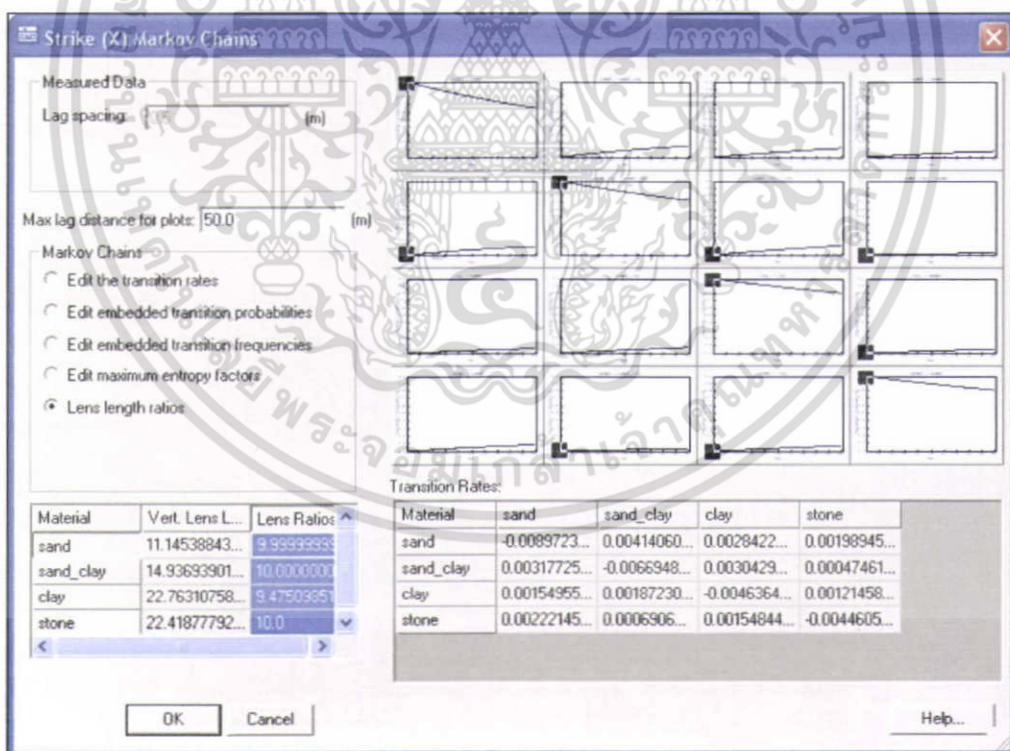


รูปที่ 4.8 ปรับแต่งแบบจำลองในทิศทางแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ปรับแต่งแบบจำลองในทิศทางแนวราบ (dip, Y)



รูปที่ 4.10 ปรับแต่งแบบจำลองในทิศทางแนวตั้ง (strike, X)

หลังจากนั้นจึงใช้วิธี Stochastic condition simulation วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงข้อมูลตาม

ระยะทางพร้อมกับสร้างลักษณะชุดแผนที่ข้อมูลทางธรณีวิทยาที่เสมือนจริง (realization) ออกมา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

### 4.6.1 การสุ่มเลือกหลุมเจาะเพื่อทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการกระจายตัวของชั้นดินที่มีศักยภาพการให้น้ำที่ต่างกัน ในทั้ง 3 กรณี จึงทำการทดลองสุ่มข้อมูลหลุมตัวอย่างเพื่อทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดย วิธีการสร้างตัวเลขสุ่ม (random number generation) ซึ่งเป็นวิธีในการสุ่มข้อมูลในชุดข้อมูลนั้นๆที่มีความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบด้วยค่าเชิงปริมาณ โดยปกติข้อมูลเชิงปริมาณมักมีค่าไม่แน่นอนตายตัว ในการที่จะได้ผลลัพธ์จากแบบจำลอง ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับผลลัพธ์จากระบบงานจริง จะต้องมีการใส่ค่าเชิงปริมาณลงในแบบจำลองที่มีลักษณะไม่แน่นอนเหมือนกับข้อมูลจริง เพื่อในการสร้างค่าที่ไม่แน่นอน จะใช้หลักการสร้างตัวเลขสุ่ม และใช้วิธีการทางสถิติ โดยใช้หลักการคำนวณหาในรูปของค่าความน่าจะเป็น สุ่มข้อมูลหลุมเจาะออกมาเป็นจำนวน 10% ของหลุมเจาะทั้งหมดในพื้นที่แอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานีซึ่งเท่ากับ 42 หลุม เพื่อนำออกจากแบบจำลองก่อนที่จะเข้ากระบวนการสร้างแบบจำลองและนำข้อมูลหลังจากสร้างแบบจำลองมาเปรียบเทียบ

RANDOM NUMBER GENERATION					
Suratthani	427	Holes	random	10%	= 42 Holes
No.	Name	No.	Name	No.	Name
1	6	22	163		
2	7	23	174		
3	14	24	182		
4	19	25	199		
5	23	26	200		
6	32	27	236		
7	43	28	255		
8	60	29	301		
9	70	30	320		
10	85	31	331		
11	94	32	344		
12	105	33	349		
13	109	34	369		
14	122	35	378		
15	128	36	384		
16	130	37	389		
17	146	38	406		
18	150	39	409		
19	153	40	415		
20	154	41	417		
21	159	42	423		

รูปที่ 4.11 รายชื่อหมายเลขหลุมที่ทำการสุ่มออกมาโดยการ Randomization

### 4.6.2 การเปรียบเทียบแบบจำลองกับข้อมูลหลุมจริงโดยการให้คะแนน

เพื่อทำการเปรียบเทียบแบบจำลองเสมือนจริง (realization) กับข้อมูลหลุมจริงได้ทำการเลือกการให้คะแนน (rating) โดยใช้วิธี Binary numeral system คือให้คะแนนแต่ละช่อง (cell)

เท่ากับ 1 คะแนน เมื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละช่องของแบบจำลองกับข้อมูลชั้นดินในหลุมเจาะ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ได้คัดเลือกไว้แล้ว หากว่าแสดงข้อมูลที่สอดคล้องกันจะได้คะแนน 1 คะแนน หากว่าข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองไม่ถูกต้องกับข้อมูลชั้นดินในหลุมเจาะที่ได้คัดเลือกไว้แล้วจะได้คะแนน 0 คะแนน

หมายเลขหลุมเจาะ	หลุมเจาะ	Elevation (m.)	Real OUT (m.)	Real OOB (m.)	Texture 1	Texture 2	Material based on	Real 1	Real 2	Real 3	Real 4	Real 5	Real 6	Real 7	Real 8	Real 9	Real 10
DA21	01200	021180	28.58	-21.11	-34.89	clay	sand	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DA20	01210	048380	17.70	17.72	14.87	sand	sand	2	0	0	0	0	0	0	0	22	12
DA20	01210	048380	17.70	14.87	8.82	sand	sand	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 4.12 แสดงการให้คะแนนตัวแบบจำลองกรณีที่1 Len length ratios, (LLR) เท่ากับ 25

หมายเลขหลุมเจาะ	หลุมเจาะ	Elevation (m.)	Real OUT (m.)	Real OOB (m.)	Texture 1	Texture 2	Material based on	Real 1	Real 2	Real 3	Real 4	Real 5	Real 6	Real 7	Real 8	Real 9	Real 10
DA20	01200	030300	38.99	38.99	38.99	clay	clay	3	2	4	0	4	0	1	0	2	0
DA20	01200	030300	38.99	38.99	38.99	clay	clay	2	1	7	4	0	2	2	0	2	1
DA20	01200	030300	38.99	38.99	38.99	clay	sand	3	3	3	4	0	3	3	0	3	3

รูปที่ 4.13 แสดงการให้คะแนนตัวแบบจำลองกรณีที่2 Len length ratios, (LLR) เท่ากับ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LL-15		442		AI 195	AI 258	AI 289	AI 241	AI 171	AI 172	AI 272	AI 163	AI 177	AI			
ชั้นดิน	ความหนา	ค่าดิน	ดิน	digit %	digit %	digit %	digit %	digit %	digit %	digit %	digit %	digit %	digit %			
M.L.	0-20	จำนวน	226	Matera base1	= 138	digit	= 51.37	= 97.70	= 29.57	= 69.50	= 74.54	= 84.61	= 106.77	= 66.48	= 82.59	= 7.5
M.L.	0-40	จำนวน	346	Matera base2	= 215	digit	= 51.12	= 40.93	= 20.47	= 31.72.1	= 18.42	= 7.16	= 25.58	= 10.23	= 25.98	= 2
M.L.	0-60	จำนวน	427	Matera base4	= 46	digit	= 139.65	= 121.56	= 151.70	= 141.65.6	= 68.32	= 81.38	= 103.48	= 87.46	= 70.33	= 6
						digit	= 0.0	= 0.0	= 39.85	= 0.0	= 11.24	= 0.0	= 38.83	= 0.0	= 0.0	= 0
							0.4	0.6	0.7	0.53	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	

No.	ID	Elevation	X	Y	Texture 1	Texture 2	Material based on Hydro facies	Real Score														
								Real 1	Real 2	Real 3	Real 4	Real 5	Real 6	Real 7	Real 8	Real 9	Real 10					
23	j=54	DA247	512815	1021215	clay	3																
		DA25	513100	1011100	sand	1		0	12	0	0	0	12	0	12	12	12	12	12	12	12	
		DA25	513100	1011100	sand	quartz	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		DA25	513100	1011100	sand	clay	2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		DA25	513100	1011100	clay	3		5	0	0	5	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	
		DA25	513100	1011100	gravel	1		0	3	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0	
		DA25	513100	1011100	clay	gravel	3		3	0	0	3	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0
		DA25	513100	1011100	sand	clay	2		0	8	8	0	0	0	8	1	0	0	0	0	0	
		DA25	513100	1011100	clay	sand	3		5	0	0	5	5	1	0	0	0	0	0	0	0	
		DA25	513100	1011100	gravel	clay	2		0	3	3	2	0	3	3	3	3	1	0	4	0	
24	DA25	513100	1011100	clay	sand	3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	DA26	517340	1011350	clay	3																	
	DA26	517340	1011350	sand	clay	2																
	DA26	517340	1011350	clay	3																	
	DA26	517340	1011350	sand	gravel	1																
25	DA26	517340	1011350	gravel	sand	1																
	DA26	517340	1011350	gravel	sand	1																
	DA26	517340	1011350	gravel	sand	1																
	DA26	517340	1011350	gravel	sand	1																
	DA26	517340	1011350	gravel	sand	1																
26	DA26	517340	1011350	gravel	sand	1																
	DA26	517340	1011350	gravel	sand	1																
	DA26	517340	1011350	gravel	sand	1																
	DA26	517340	1011350	gravel	sand	1																
	DA26	517340	1011350	gravel	sand	1																

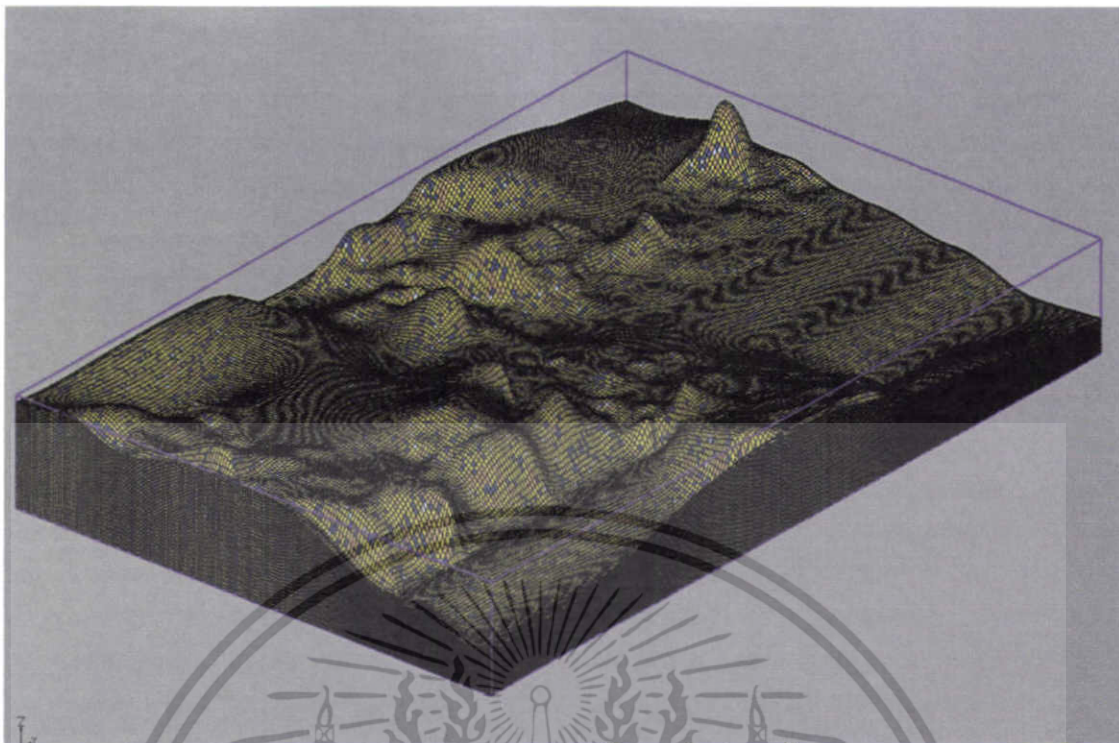
รูปที่ 4.14 แสดงการให้คะแนนตัวแบบจำลองกรณีที่ 3 Len length ratios, (LLR) เท่ากับ 10

หลังจากได้คะแนนรวมของแบบจำลองทั้ง 3 กรณีอื่นประกอบด้วย 1) การแบ่งตามคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำ (hydraulic Conductivity) 2) การแบ่งตามหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (hydrogeologic unit) และ 3) ยึดหลักการแบ่งตามคุณสมบัติการชนิดของดิน (texture) ซึ่งแต่ละกรณีก็จะมีค่าการแบ่งความต่อเนื่องของชั้นดิน (len length ratio) ออกเป็น 4 ความต่อเนื่องของชั้นดิน และแต่ละความต่อเนื่องของชั้นดิน (len length ratio) จะมีลักษณะชุดข้อมูลทางธรณีวิทยาที่เสมือนจริง (realization) จำนวน 10 ชุด ซึ่งจะมีข้อมูลที่ถูกเปรียบเทียบความถูกต้องกับแบบจำลองทั้งหมดรวมกันเป็นจำนวน 4,620 ข้อมูลเพื่อหาแบบจำลองพื้นที่ที่มีศักยภาพการให้น้ำที่มีความถูกต้องมากที่สุด

#### 4.7 การแสดงแผนที่เพื่อนำไปใช้งาน

จากหัวข้อ 4.6.2 เมื่อนำคะแนนที่ได้จากแบบจำลองทั้งหมดไปจัดเรียงจะพบแบบจำลองพื้นที่ที่มีศักยภาพการให้น้ำที่มีความถูกต้องมากที่สุด ซึ่งสามารถนำไปเป็นตัวแทนพื้นที่ที่มีศักยภาพการให้น้ำในพื้นที่แอ่งสุราษฎร์ธานี โดยเมื่อทราบพิกัดของพื้นที่ในพิกัดที่ต้องการ (UTM) ในแนวทิศเหนือถึงทิศใต้ และ ทิศตะวันออกถึงทิศตะวันตก ก็สามารถระบุจุดที่ต้องการในพื้นที่และจะสามารถรู้ค่าความลึกที่ต้องพัฒนาศักยภาพการให้น้ำเพื่อนำน้ำใต้ดินมาใช้ได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างแผนที่สามมิติจำลองการให้น้ำของพื้นที่แอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

#### 5.1. ข้อมูลบ่อการเจาะสำรวจดินในพื้นที่

ข้อมูลบ่อการเจาะสำรวจดินในพื้นที่แอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานีที่ได้รับจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาลนั้น ประกอบด้วยข้อมูลที่อธิบายถึงการกระจายตัวของชั้นดินที่หลากหลาย ตัวอย่างเช่น ข้อมูลที่ระดับความลึก -10 เมตรถึง -25 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางของบ่อเจาะสำรวจหมายเลข V89 เป็นทรายที่ละเอียดขนาดไม่ดีและมีดินเหนียวปนบ้างเล็กน้อย (poorly graded sand with clay) เป็นต้น ซึ่งข้อมูลบ่อการเจาะสำรวจดินในพื้นที่แอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานีมีจำนวนทั้งหมด 429 หลุม ระดับความลึกของหลุมเจาะสำรวจดินมีการกระจายตัวตั้งแต่ระดับตื้นที่ 4.57 เมตรจนถึงระดับลึกที่ 157 เมตรโดยความลึกเฉลี่ยของหลุมเจาะสำรวจดินคือ 39.06 เมตร (ตารางที่ 5.1)

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลบ่อการเจาะสำรวจดินในพื้นที่

พื้นที่	จำนวนหลุมเจาะ สำรวจ (บ่อ)	ความลึกน้อยสุด (ม.)	ความลึกมากที่สุด (ม.)	ความลึกเฉลี่ย (ม.)
สุราษฎร์ธานี	427	4.57	157.01	39.06

จากข้อมูลการเรียงตัวของชั้นดินเมื่อนำชั้นดินมาแบ่งออกเป็น 3 กรณี ซึ่งแต่ละกรณีแบ่งออกเป็น 4 ประเภท (categories) ตามหัวข้อที่ 4.3 ตัวอย่างเช่นกรณีที่ 1 แบ่งตามคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำ ลักษณะของชั้นดินที่ 1 ประกอบด้วย กรวดหรือทรายและองค์ประกอบรองเป็นวัสดุพรุนที่มีอัตราการซึมผ่านของน้ำมากกว่า 1 เมตรต่อวินาที เช่น ทรายหรือเศษหินแต่รวมกันมีชื่อว่าชั้นการซึมผ่านดี และชุดที่ 2 เมื่อประกอบด้วยชั้นดินเป็นทรายหรือกรวดที่มีอัตราการซึมผ่านของน้ำอยู่ระหว่าง 1 ถึง  $1 \times 10^{-2}$  เมตรต่อวินาทีแต่องค์ประกอบของชั้นดินรองเป็นดินลักษณะที่มีความพรุนน้อย เช่น ดินเหนียวหรือตะกอนชั้นดินมีชื่อว่า การซึมผ่านปานกลาง ถัดไปคือชั้นดินประเภทที่ 3 เป็นชั้นที่มีอัตราการซึมผ่านของน้ำอยู่ระหว่าง  $1 \times 10^{-2}$  ถึง  $1 \times 10^{-6}$  เมตรต่อวินาทีเรียกว่าชั้นดินประเภท การซึมผ่านต่ำ และชั้นสุดท้ายคือชั้นดินประเภทที่ 4 เป็นชั้นดินที่มีอัตราการซึมผ่านของน้ำน้อยกว่า  $1 \times 10^{-6}$  เมตรต่อวินาทีและประกอบด้วยหินเป็นส่วนใหญ่มีชื่อว่า ทึบน้ำ เมื่อนำข้อมูลความลึกของชั้นดินแต่ละชนิดมาหารด้วยความลึกของชั้นดินรวมทั้งหมดและคำนวณออกมาเป็นสัดส่วนของการกระจายตัวของแต่ละชั้นดินที่อยู่ในแบบจำลองทั้งหมดในกรณีที่ 1 ถึง 3 (ตารางที่ 5.2-5.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 สัดส่วนการกระจายตัวของแต่ละชั้นดินในแบบจำลองกรณีที่ 1

ประเภท (Categories)	สัดส่วนการกระจายตัว (%)
1.การซึมผ่านดี	15.74
2.การซึมผ่านปานกลาง	2.38
3.การซึมผ่านต่ำ	59.09
4.ที่บน้ำ	22.79

ตารางที่ 5.3 สัดส่วนการกระจายตัวของแต่ละชั้นดินในแบบจำลองกรณีที่ 2

ประเภท (Categories)	สัดส่วนการกระจายตัว (%)
1.Sedimentary	17.30
2. Sedimentary Rock	16.34
3. Limestone	44.75
4. Igneous Rock	2.16

ตารางที่ 5.4 สัดส่วนการกระจายตัวของแต่ละชั้นดินในแบบจำลองกรณีที่ 3

ประเภท (Categories)	สัดส่วนการกระจายตัว (%)
1.Sand	17.45
2.Sand/clay	30.93
3.Clay	46.37
4.Stone	5.24

ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้นพบว่าประเภท (categories) ที่ 3 ของทุกกรณีคือ “การซึมผ่านต่ำ, Limestone, Clay” เป็นประเภทที่มีสัดส่วนมากที่สุดซึ่งมากกว่าค่าสัดส่วนของข้อมูลชนิดดินอื่นๆ ในแบบจำลอง แต่ประเภทของดินชนิด “การซึมผ่านดี, การซึมผ่านปานกลาง, Sedimentary, Sedimentary rock และ Sand, Sand/clay” จะเป็นประเภทของดินที่มีศักยภาพของการเกิดแอ่งน้ำบาดาลที่ให้ปริมาณของน้ำบาดาลค่อนข้างสูง

## 5.2. สัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (T) สัมประสิทธิ์ของการเก็บกัก ( $S_c$ ) และสัมประสิทธิ์ของการซึมผ่าน (K) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองกรณีที่ 1

เพื่อเป็นข้อมูลตรวจสอบในการสร้างแบบจำลองกรณีที่ 1 จากข้อมูลบ่อสุบทดสอบในพื้นที่ศึกษาที่ได้จัดลงฐานข้อมูลแล้ว ได้นำมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่าย และสัมประสิทธิ์ของการซึมผ่าน โดยใช้โปรแกรม Aquifer Test Pro ได้ผลการวิเคราะห์โดยแยกเป็นจังหวัด และชั้นดิน

### 5.2.1 หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (K)

ในขั้นตอนนี้คือการนำข้อมูลที่ได้จัดเก็บลงฐานข้อมูลแล้ว มาใช้วิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (K) จำแนกตามชนิดของดินเพื่อที่นำไปใช้ในการตรวจสอบการแบ่งชุดแบบจำลองกรณีที่1 ยึดหลักการแบ่งตามคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำ (hydraulics conductivity) แสดงดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงช่วงของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน(K) โดยจำแนกตามชนิดของดิน

ชนิดของดิน	1.00E+00	1.00E-01	1.00E-02	1.00E-03	1.00E-04	1.00E-05	1.00E-06	1.00E-07
Boulder (1)								
Chert (1)								
Clay (53)								
Clay Gravel (3)								
Clay Rock (4)								
Clay Sand (4)								
Clay Sandstone (1)								
Granite (5)								
Gravel (24)								
Gravel Boulder (1)								
Laterite (1)								
Limestone (12)								
Quartz Sand (1)								
Rock (19)								
Sand (43)								
Sand Clay (11)								
Sand Gravel (8)								
Sand Laterite (1)								
Sandstone (11)								
Shale (5)								
Silt Clay (1)								
Silt Sand (2)								
Slate (7)								

สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน(K) หน่วยเป็นเมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 แสดงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (K) โดยการจำแนกตามชนิดดิน

ชนิดของดิน	ค่าK ที่มากที่สุด	ค่าK ที่น้อยสุด	ค่าK เฉลี่ย	จำนวนหลุม
Boulder	-	-	2.76E+00	1
Chert	-	-	1.13E-02	1
Clay	9.31E-02	1.60E-06	3.86E-04	53
Clay/Gravel	3.26E-01	1.25E-02	6.38E-02	3
Clay/Rock	2.08E-01	5.98E-04	1.12E-02	4
Clay/Sand	1.62E-01	4.95E-06	8.95E-04	4
Clay/Sandstone	-	-	1.41E-02	1
Granite	9.44E-03	4.80E-06	2.13E-04	5
Gravel	4.04E+00	1.14E-01	6.79E-01	24
Gravel/Boulder	-	-	3.44E-01	1
Gravel/Clay	-	-	1.49E-02	1
Gravel/Sand	-	-	2.51E+00	1
Gravel/Silt	-	-	1.27E-01	1
Laterite	-	-	7.27E-03	1
Limestone	3.23E-01	8.84E-04	1.69E-02	12
Quardz/Sand	-	-	1.06E+00	1
Rock	3.02E+00	1.57E-03	6.89E-02	19
Sand	6.13E+00	1.92E-03	1.08E-01	43
Sand/Clay	1.35E+00	1.67E-04	1.50E-02	11
Sand/Gravel	2.19E+00	1.30E-02	1.69E-01	8
Sand/Laterite	-	-	5.47E-01	1
Sandstone	6.47E-01	1.05E-05	2.61E-03	11
Shale	3.26E-05	3.33E-06	1.04E-05	5
Silt/Clay	-	-	2.67E-01	1

สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน(K) หน่วยเป็นเมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 แสดงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (K) โดยการจำแนกตามชนิดดิน (ต่อ)

ชนิดของดิน	ค่าK ที่มากที่สุด	ค่าK ที่น้อยสุด	ค่าKเฉลี่ย	จำนวนหลุม
Silt/Sand	4.13E-02	4.51E-03	1.36E-02	2
Slate	6.51E-05	5.34E-07	5.90E-06	7
Sample lost	-	-	-	4
No Data in Lithology	-	-	-	280

สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน(K) หน่วยเป็นเมตร/วินาที

### 5.2.2 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน และ อัตราการสูบน้ำต่ออัตราการน้ำลด

จากการวิเคราะห์ดังที่แสดงในตารางที่ 5.7 พบว่า ตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมผ่าน(K) และ อัตราการสูบน้ำต่ออัตราการน้ำลด (Q/s) มีสัมประสิทธิ์ค่าความเชื่อมั่นที่ 0.865 (อยู่ที่ 86.5%) ซึ่งจาก ทฤษฎีสมการถดถอยเชิงเส้น ค่าสัมประสิทธิ์การทำนายเข้าใกล้ 1.000 หมายความว่าตัวแปรทั้งคู่มีความสัมพันธ์ในเชิงสมการถดถอย ดังที่แสดงในตารางที่ 5.7 นอกจากนี้ ยังพบว่าตัวแปร  $\log K$  และ  $\log Q/s$  สามารถให้ค่าสัมประสิทธิ์ค่าความเชื่อมั่นได้ถึง 0.966 (อยู่ที่ 96.6%) ดังที่แสดงในตารางที่ 5.8 ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สามารถนำไปวิเคราะห์เงื่อนไขสมการถดถอยได้ มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร  $K - Q/s$  และ  $\log K - \log Q/s$

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ค่าความเชื่อมั่นของตัวแปร K เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปร Q/s รวมถึง ที่เปลี่ยนรูป

		K	Q/S	Log(Q/S)	1/(Q/S)	(Q/S) <sup>2</sup>
K	Pearson	1	.865(**)	.491(**)	-.066	.681(**)
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.139	.000
	N	500	500	500	500	500
Q/S	Pearson	.865(**)	1	.481(**)	-.063	.894(**)
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.159	.000
	N	500	500	500	500	500
Log(Q/S)	Pearson	.491(**)	.481(**)	1	-.528(**)	.276(**)
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.000	.000
	N					

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ค่าความเชื่อมั่นของตัวแปร K เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปร Q/s (ต่อ)

		LogK	Q/S	Log(Q/S)	(Q/S) <sup>2</sup>	1/(Q/S)
(Q/S) <sup>2</sup>	N	500	500	500	500	500
	Pearson Correlation	.681(**)	.894(**)	.276(**)	-.026	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.555	.
1/(Q/S)	N	500	500	500	500	500
	Pearson Correlation	-.066	-.063	-.528(**)	1	-.026
	Sig. (2-tailed)	.139	.159	.000	.	.555

ตารางที่ 5.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ค่าความเชื่อมั่นของตัวแปร log K เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปร Q/s อื่นๆ

		LogK	Q/S	Log(Q/S)	(Q/S) <sup>2</sup>	1/(Q/S)
LogK	N	500	500	500	500	500
	Pearson Correlation	1	.464(**)	.966(**)	.253(**)	-.490(**)
	Sig. (2-tailed)	.	.000	.000	.000	.000
Q/S	N	500	500	500	500	500
	Pearson Correlation	.464(**)	1	.481(**)	.894(**)	-.063
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.000	.000	.159
Log(Q/S)	N	500	500	500	500	500
	Pearson Correlation	.966(**)	.481(**)	1	.276(**)	-.528(**)
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.	.000	.000
(Q/S) <sup>2</sup>	N	500	500	500	500	500
	Pearson Correlation	.253(**)	.894(**)	.276(**)	1	-.026
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.	.555
1/(Q/S)	N	500	500	500	500	500
	Pearson Correlation	-.490(**)	-.063	-.528(**)	-.026	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.159	.000	.555	.
	N	500	500	500	500	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ค่าความเชื่อมั่นของตัวแปร 1/K เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปร Q/s รวมถึงที่เปลี่ยนรูป

		1/K	Q/S	Log(Q/S)	(Q/S) <sup>2</sup>	1/(Q/S)
1/K	Pearson	1	-.060	-.497(**)	-.025	.914(**)
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)	.	.183	.000	.577	.000
	N	500	500	500	500	500
Q/S	Pearson	-.060	1	.481(**)	.894(**)	-.063
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)	.183	.	.000	.000	.159
	N	500	500	500	500	500
Log(Q/S)	Pearson	-.497(**)	.481(**)	1	.276(**)	-.528(**)
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.	.000	.000
	N	500	500	500	500	500
(Q/S) <sup>2</sup>	Pearson	-.025	.894(**)	.276(**)	1	-.026
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)	.577	.000	.000	.	.555
	N	500	500	500	500	500
1/(Q/S)	Pearson	.914(**)	-.063	-.528(**)	-.026	1
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)	.000	.159	.000	.555	.
	N	500	500	500	500	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ค่าความเชื่อมั่นของตัวแปร  $K^2$  เมื่อเปรียบเทียบตัวแปร Q/s รวมถึงที่เปลี่ยนรูป

		$K^2$	Q/S	Log(Q/S)	1/Q	$(Q/S)^2$
$K^2$	Pearson	1	.818(**)	.329(**)	-.035	.773(**)
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)					
	N					
Q/S	Pearson	.818(**)	1	.481(**)	-.063	.894(**)
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)					
	N					
Log(Q/S)	Pearson	.329(**)	.481(**)	1	-.528(**)	.276(**)
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)					
	N					
1/Q	Pearson	-.035	-.063	-.528(**)	1	-.026
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)					
	N					
$(Q/S)^2$	Pearson	.773(**)	.894(**)	.276(**)	-.026	1
	Correlation					
	Sig. (2-tailed)					
	N					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.3. วิเคราะห์เงื่อนไขของสมการถดถอย

#### 5.2.2.1. การวิเคราะห์ k - (Q/s)

ตารางที่ 5.11 แสดงตาราง Variables Entered/Removed

**Variables Entered/Removed (a)**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	(Q/s)	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a Dependent Variable: K

จากตารางที่ 5.11 คือ ตาราง Variables Entered/Removed ซึ่งแสดงให้เห็นวิธีการในการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย ซึ่งในที่นี้ใช้วิธี Stepwise และตัวแปรอิสระที่ถูกเลือกคือ (Q/s)

ตารางที่ 5.12 แสดงตาราง Model Summary

**Model Summary (b)**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.942(a)	.888	.888	.11439	.888	3811.454	1	481	.000	1.896

a Predictors: (Constant), Q/s

b Dependent Variable: K

จากตารางที่ 5.12 คือ ตาราง Model Summary แสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรตาม และ ตัวแปรอิสระ โดยมีค่า Adjusted  $R^2 = 0.888$  หรือ 88.8% หมายถึง ค่า K ที่ได้จากการทำนายในแต่ละจุด มีโอกาสใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบจริง 88.8%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Durbin-Watson = 1.896 เป็นค่าที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขที่ว่าตัวแปรทั้งสองเป็นอิสระกันหรือไม่ ในที่นี้ค่า Durbin-Watson = 1.896 อยู่ในช่วง 1.5-2.5 จึงสรุปได้ว่าเงื่อนไขที่ว่าตัวแปรทั้งคู่เป็นอิสระกัน นั้นเป็นจริง

ตารางที่ 5.13 แสดงตาราง Anova

**ANOVA(b)**

Mode		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	49.875	1	49.875	3811.454	.000(a)
	Residual	6.294	481	.013		
	Total	56.170	482			

a Predictors: (Constant), Q

b Dependent Variable: K

จากตารางที่ 5.13 คือ ตาราง ANOVA เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระทุกตัวกับตัวแปรตาม ในที่นี้ Sig. = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า (Q/S) มีผลต่อ K

ตารางที่ 5.14 แสดงตาราง Coefficients

**Coefficients (a)**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error				Beta	Tolerance
1	(Constant)	0.016	0.006		2.841	.005		
	Log Q	0.171	0.003	.942	61.737	.000	1.000	1.000

a Dependent Variable: K

จากตารางที่ 5.14 คือ ตาราง Coefficients เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรอิสระด้วยตัวเอง โดยดูจากค่า Tolerance ซึ่งในที่นี้ค่า Tolerance = 1.000 ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายความว่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากในที่นี่มีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว  
ที่ถูกเลือกเข้าสมการถดถอย และสมการที่ได้คือ

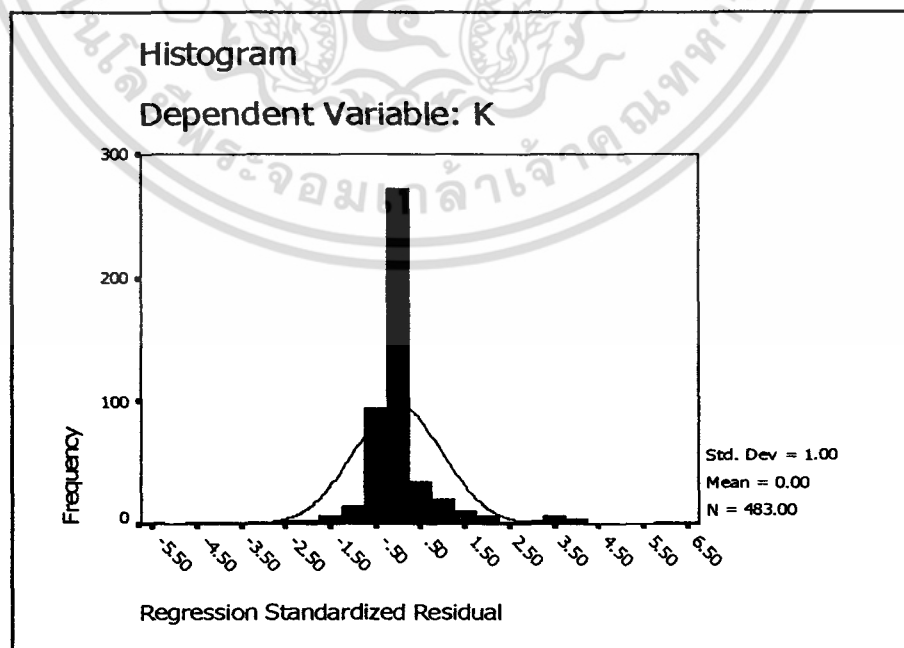
$$K = 0.016 + 0.717(Q / s) \quad (5.1)$$

โดยที่  $K$  = สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ  
 $Q$  = อัตราการสูบน้ำออกจากบ่อทดสอบ  
 $s$  = ระยะน้ำลต

ตารางที่ 5.15 แสดงตาราง Residuals Statistics

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	.0162	3.3639	.1575	.32168	483
Residual	-.6098	.7433	.0000	.11427	483
Std. Predicted Value	-.439	9.968	.000	1.000	483
Std. Residual	-5.331	6.498	.000	.999	483

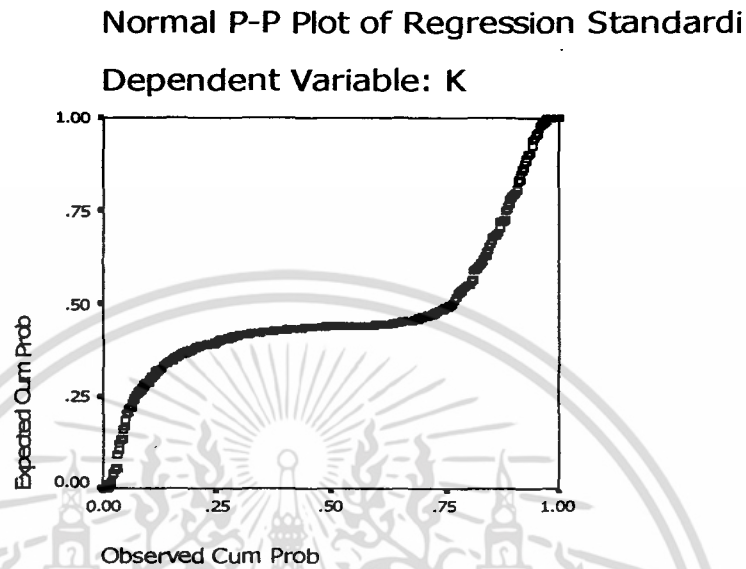
a Dependent Variable: K



รูปที่ 5.1. แสดงกราฟการแจกแจงความถี่ของข้อมูล

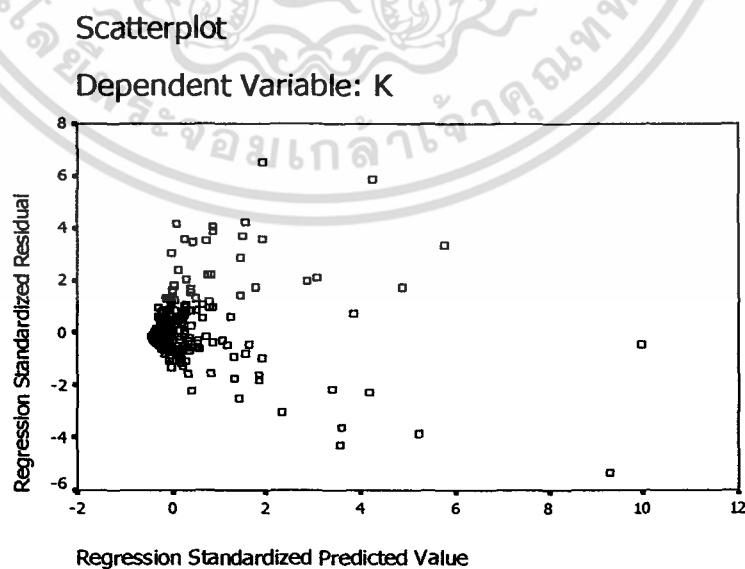
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.1. คือ กราฟ Histogram ใช้ในการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ซึ่งในที่นี้กราฟมีความสมมาตร ซึ่งหมายความว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 5.2 แสดงตารางกราฟ P-P Plot of Regression Standardized Residual

จากรูปที่ 5.2. คือ กราฟ P-P Plot of Regression Standardized Residual ใช้ในการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ซึ่งในที่นี้ข้อมูลอยู่หลายข้อมูลที่อยู่บนเส้นตรง 45 องศา และข้อมูลตัวอื่นๆก็อยู่ใกล้เส้นตรง 45 องศา ซึ่งหมายความว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ



รูปที่ 5.3 แสดงตารางกราฟ Scatter plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.3 คือ กราฟ Scatter plot ในการตรวจสอบว่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่หรือไม่ ซึ่งในที่นี้ข้อมูลค่อนข้างที่จะกระจายแบบมีรูปแบบ ซึ่งหมายความว่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่

#### 5.2.2.2. การวิเคราะห์ log K – log Q/s

ตารางที่ 5.16 แสดงตาราง Variables Entered/Removed

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Log(Q/S)	.	Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter <= .050, Probability-of-F-to-remove >= .100).

a Dependent Variable: log K

จากตารางที่ 5.16 คือ ตาราง Variables Entered/Removed ซึ่งแสดงให้เห็นวิธีการในการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย ซึ่งในที่นี้ใช้วิธี Stepwise และตัวแปรอิสระที่ถูกเลือกคือ log (Q/s)

ตารางที่ 5.17 แสดงตาราง Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.976(a)	.952	.952	.27577	.952	9575.125	1	486	.000	1.705

a Predictors: (Constant), LQ

b Dependent Variable: LK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.17 คือ ตาราง Model Summary แสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรตาม และ ตัวแปรอิสระ โดยมีค่า Adjusted  $R^2 = 0.952$  หรือ 95.2% หมายถึงการที่ log K เกิดขึ้นในปริมาณที่แตกต่างกันเนื่องจากได้รับ log (Q/s) ต่างกัน 95.2%

Durbin-Watson = 1.705 เป็นค่าที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขที่ว่า  $e_i$  และ  $e_j$  เป็นอิสระกันหรือไม่ ในที่นี้ค่า Durbin-Watson = 1.705 อยู่ในช่วง 1.5-2.5 จึงสรุปได้ว่าเงื่อนไขที่ว่า  $e_i$  และ  $e_j$  เป็นอิสระกัน นั้นเป็นจริง

ตารางที่ 5.18 แสดงตาราง Anova

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	728.157	1	728.157	9575.125	.000(a)
	Residual	36.959	486	.076		
	Total	765.116	487			

a Predictors: (Constant), LQ

b Dependent Variable: LK

จากตารางที่ 5.18 คือ ตาราง ANOVA เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระทุกตัวกับตัวแปรตาม ในที่นี้ Sig. = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า log (Q/s) มีผลต่อ log K

ตารางที่ 5.19 แสดงตาราง Coefficients

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	-.779	.015		-52.623	.000		
	LQ	1.062	.011	.976	97.853	.000	1.000	1.000

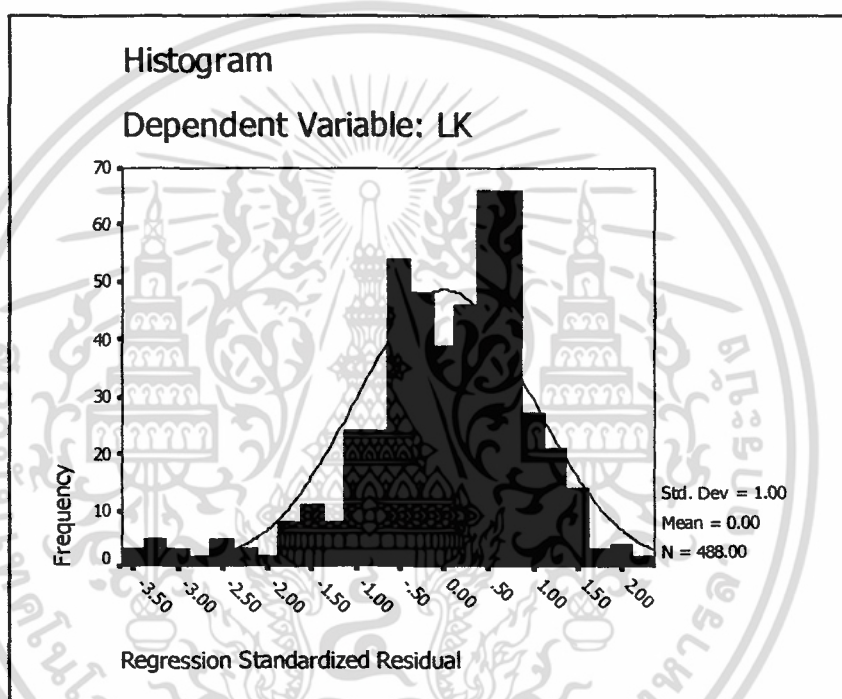
a Dependent Variable: LK

จากตารางที่ 5.19 คือ ตาราง Coefficients เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรอิสระด้วยตนเอง โดยดูจากค่า Tolerance ซึ่งในที่นี้ค่า Tolerance = 1.000 ซึ่ง

หมายความว่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากในที่นี้มีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว ที่ถูกเลือกเข้าสมการถดถอย และสมการที่ได้คือ

$$\text{Log } K = -0.779 + 1.062(\log(Q / s)) \quad (5.2)$$

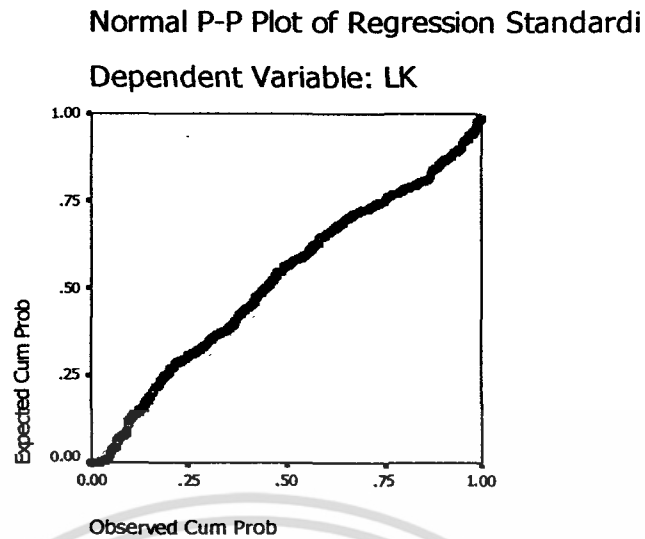
โดยที่  $K$  = สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ  
 $Q$  = อัตราการสูบน้ำออกจากบ่อทดสอบ  
 $s$  = ระยะน้ำลต



รูปที่ 5.4 แสดงกราฟการแจกแจงความถี่ของข้อมูล

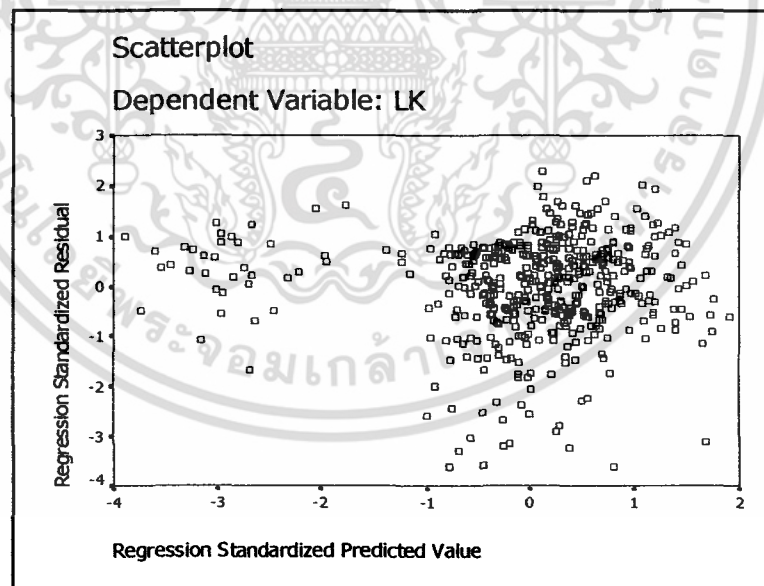
จากรูปที่ 5.4. คือ กราฟ Histogram ใช้ในการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ซึ่งในที่นี้กราฟมีความสมมาตร ซึ่งหมายความว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5. แสดงตารางกราฟ P-P Plot of Regression Standardized Residual

จากกราฟที่ 5.5. คือ กราฟ P-P Plot of Regression Standardized Residual ใช้ในการตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ซึ่งในที่นี้ข้อมูลอยู่หลายข้อมูลที่อยู่บนเส้นตรง 45 องศา และข้อมูลตัวอื่นๆก็อยู่ใกล้เส้นตรง 45 องศา ซึ่งหมายความว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

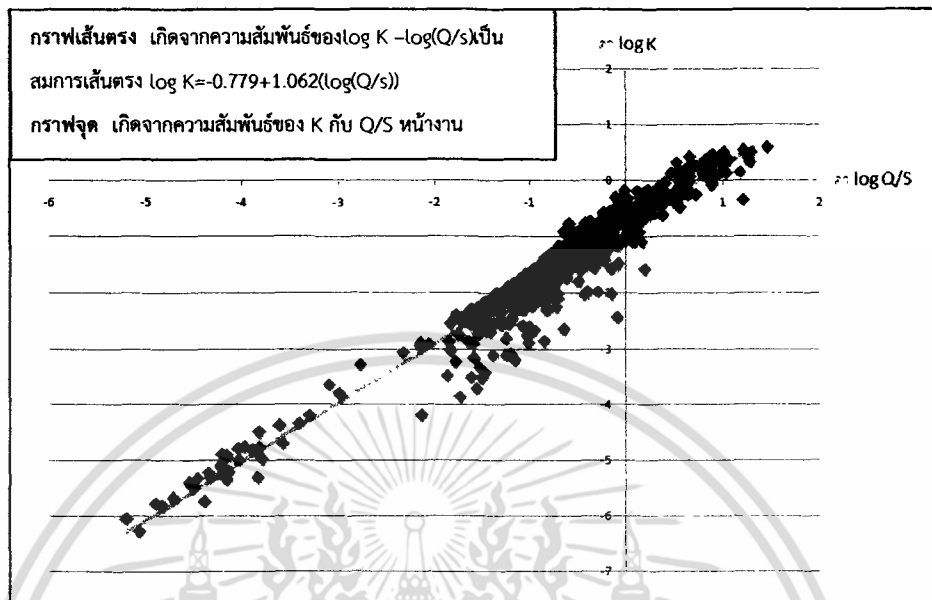


รูปที่ 5.6. แสดงตารางกราฟ Scatter plot

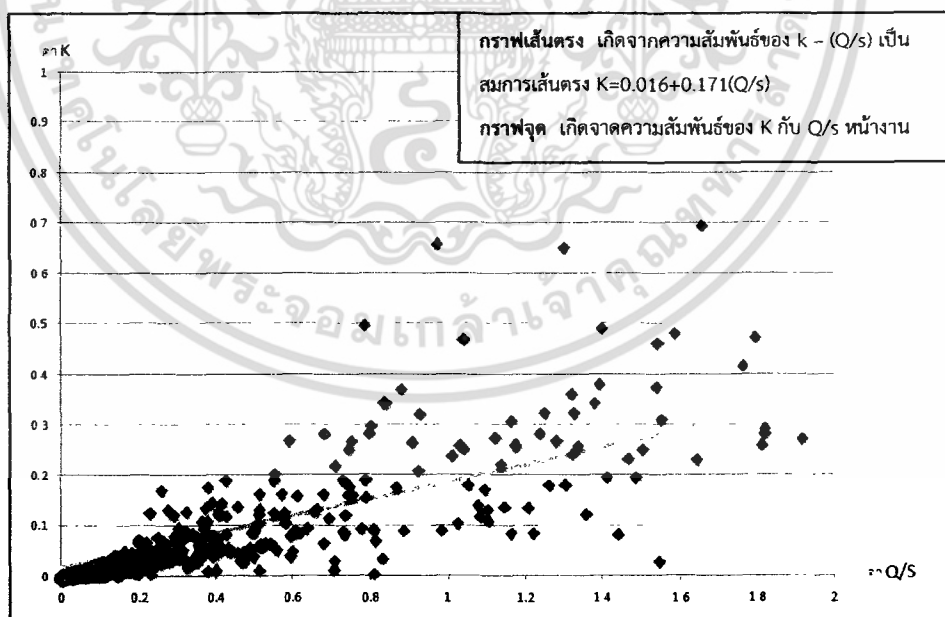
จากกราฟที่ 5.6. คือ กราฟ Scatter plot ในการตรวจสอบว่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่หรือไม่ ซึ่งในที่นี้ข้อมูลค่อนข้างที่จะกระจายแบบไม่มีรูปแบบ ซึ่งหมายความว่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3. วิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ K-Q/s และ log K-log Q/s



รูปที่ 5.7. แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ Log K กับ  $\log(Q/s)$  เมื่อเปรียบเทียบกับสมการ  $\log K = -0.779 + 1.062(\log(Q/s))$



รูปที่ 5.8. แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ K กับ (Q/S) โดยเปรียบเทียบกับสมการ  $K = 0.016 + 0.171(Q/S)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.7 เมื่อนำข้อมูลค่าความสัมพันธ์  $\log K$  กับ  $\log (Q/s)$  ที่ได้จากการวิเคราะห์ที่หน้างาน และความสัมพันธ์จากสมการ  $\log K = -0.779+1.062 (\log (Q/s))$  มาลงในกราฟ โดยกำหนดสเกลของกราฟให้แกนราบในเป็น  $\log (Q/s)$  และแกนตั้งเป็น  $\log K$  พบว่าข้อมูลที่ได้จากหน้างาน มีลักษณะการกระจายตัวบริเวณบนเส้นตรงที่เกิดจากสมการความสัมพันธ์มีข้อมูลที่กระจายตัวใกล้เส้นตรงที่เกิดจากความสัมพันธ์สูง จึงอธิบายได้ว่าสมมติฐานมีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากหน้างาน จากรูปที่ 5.8 เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากวิเคราะห์หน้างาน และข้อมูลที่ได้จากสมการความสัมพันธ์  $K=0.016+0.171(Q/s)$  มาลงในกราฟ โดยกำหนดให้แกนราบเป็นค่า  $Q/S$  และแกนตั้งเป็นค่า  $K$  พบว่า ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หน้างานมีการกระจายตัวอยู่บริเวณใกล้กับเส้นตรงที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ แต่เมื่อค่า  $Q/s$  มากขึ้น พบว่ามีการกระจายตัวห่างจากเส้นตรงมากขึ้น จึงอธิบายได้ว่าสมมติฐานสอดคล้องกับค่าที่ได้จากหน้างานเฉพาะช่วงค่า  $Q/s$  มีค่าค่อนข้างต่ำ จึงได้นำสมการที่ 5.2 มาเป็นสมการแทนความสัมพันธ์กันระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ( $K$ ) กับค่าอัตราการสูบน้ำต่อระยะน้ำลดของชั้นดิน

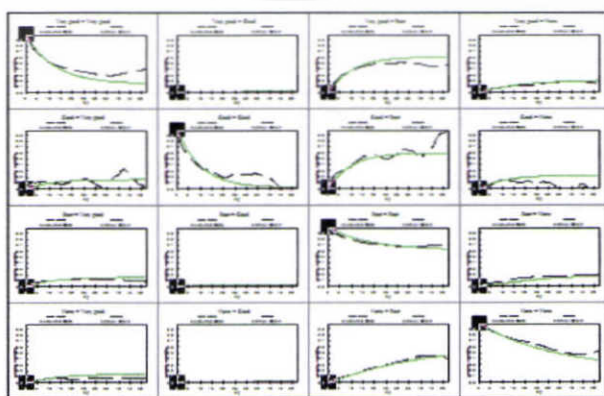
## 5.4 ผลการวิจัยจากการสร้างแบบจำลอง

### 5.4.1 การเปรียบเทียบ Markov Chain

1) กรณีแบบจำลองที่ 1 ชั้นดินประเภทที่ 3 การซึมผ่านปานกลาง ถูกเลือกเป็นชั้นดินพื้นฐานเพื่อดำเนินการใส่ในพื้นที่ว่างเมื่อไม่มีชั้นดินอื่นๆเนื่องจากเป็นชั้นดินส่วนใหญ่ในพื้นที่ทำศึกษา รูปที่ 5.9 แสดงกราฟเปรียบเทียบแบบจำลองโดยวิธี Markov Chain ในแนวดิ่ง (z) กับข้อมูลที่วัดจริง

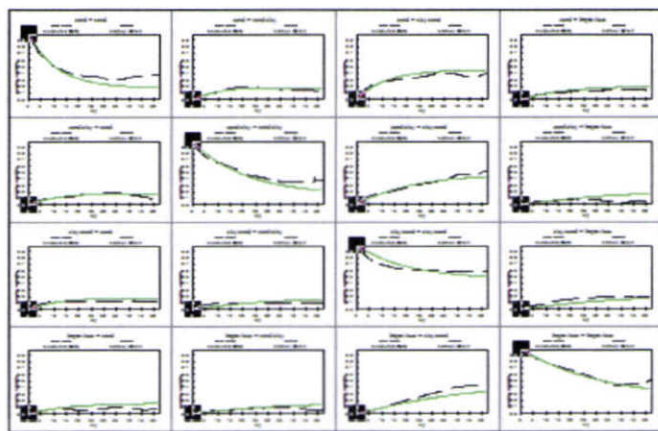
2) กรณีแบบจำลองที่ 2 ชั้นดินประเภทที่ 3 Limestone ถูกเลือกเป็นชั้นดินพื้นฐานเพื่อดำเนินการใส่ในพื้นที่ว่างเมื่อไม่มีชั้นดินอื่นๆเนื่องจาก เป็นชั้นดินส่วนใหญ่ในพื้นที่ทำศึกษา รูปที่ 5.10 แสดงกราฟเปรียบเทียบแบบจำลองโดยวิธี Markov Chain กับข้อมูลที่วัดจริงชุด

3) ชุดการทดลองที่ 3 ชั้นดินประเภทที่ 3 clay ถูกเลือกเป็นชั้นดินพื้นฐานเพื่อดำเนินการใส่ในพื้นที่ว่างเมื่อไม่มีชั้นดินอื่นๆเนื่องจาก clay เป็นชั้นดินส่วนใหญ่ในพื้นที่ทำศึกษา รูปที่ 5.11 แสดงกราฟเปรียบเทียบแบบจำลองโดยวิธี Markov Chain ในแนวดิ่ง (z) กับข้อมูลที่วัดจริง

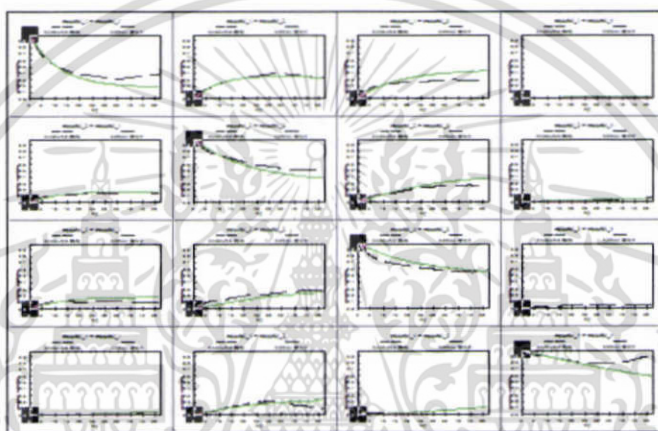


รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบแบบจำลอง Markov chain กับข้อมูลจริงกรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบแบบจำลอง Markov chain กับข้อมูลจริงกรณีที่ 2



รูปที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบแบบจำลอง Markov chain กับข้อมูลจริงกรณีที่ 3

จากกราฟการทดลองเห็นได้ว่าการแบ่งลักษณะของชั้นดินตามกรณีแบบจำลองที่ 1, 2 และ 3 มีค่าความใกล้เคียงกับข้อมูลที่วัดจริง โดยการปรับแต่งค่า discrete lag ในแบบจำลอง markov chain ในแนวแกน z เปรียบเทียบกับข้อมูลจากบ่อสำรวจกับค่าสัดส่วนและค่า transition rate ของชั้นดินทุกชั้นยกเว้นชั้นดินการซึมผ่านปานกลาง ที่ถูกเลือกเป็นชั้นดินพื้นฐานเป็นตัวแปรอิสระที่สามารถแก้ไขจนกระทั่งแบบจำลอง markov chain มีค่าใกล้เคียงกับเส้นกราฟข้อมูลที่ได้จากบ่อสำรวจ ตารางที่ 5.20 แสดงค่าตัวแปรที่มีความเหมาะสมที่สุดต่อแบบจำลอง markov chain โดยเทียบกับข้อมูลชั้นดินที่ได้มาจากการแบ่งประเภทของชั้นดินเป็น 4 รูปแบบในกรณีที่ 1 ก่อนหน้าและรูปที่ 5.9 เป็นรูปแสดงผลเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง markov chain กับค่าชั้นดินที่เป็นข้อมูลเดิมของแบบจำลองกรณีที่ 1 ค่าสัดส่วนของชั้นดิน (material proportions) ในตารางมีค่าแสดงถึงค่า sill ในแบบจำลอง markov chain ซึ่งหมายถึงค่าปริมาณอัตราส่วนของชั้นดินชนิดต่างๆในพื้นที่จากการคำนวณเบื้องต้นจากข้อมูลบ่อสำรวจและค่าความต่อเนื่องของชั้นดิน (lens length) หรือค่า mean thickness ของชั้นดินแต่ละชนิดในแนวตั้งได้ถูกคำนวณดังนี้ มูลค่าสัดส่วนของชั้นดิน (sill) มีค่าเป็น 0.157 สำหรับการซึมผ่านดี, 0.023 สำหรับการซึมผ่านปานกลาง, 0.590

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการซึมผ่านน้อย และ 0.227 สำหรับชั้นที่บ้น้ำ ซึ่งแสดงว่าชั้นดินการซึมผ่านน้อย เป็นชั้นดิน ส่วนประกอบหลักของพื้นที่ศึกษา ค่าความต่อเนื่องหรือความหนาชั้นดิน (vertical mean length) ของการซึมผ่านดี, การซึมผ่านปานกลาง, การซึมผ่านน้อย และชั้นที่บ้น้ำคือ 14.874, 10.256, 43.949 และ 40.991 ซึ่งเห็นว่าชั้นดินที่มีค่า vertical mean length สูงสุดคือชั้นดินการซึมผ่านน้อย

การพัฒนาแบบจำลอง markov chain ที่มีการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่นั้น มุ่งไปที่การอ้างอิง ถึงหลักการ transition rate matrix ซึ่งค่าตัวแปรต่างๆจะมีความหมาย ค่า transition rate จะมีค่า เท่ากับความชันของโค้ง transition probability ในขณะที่ค่าระยะทาง lag มุ่งเข้าใกล้ 0 ค่า transition rate ในแนวแกนจะมีค่าเป็นลบและนอกแกน (มัก) จะต้องมีค่าเป็นบวกเพื่อให้ค่าผลรวม ของค่า transition rate ในแต่ละชนิดของชั้นดินมีค่าเท่ากับ 0

การสร้างแบบจำลอง markov chain ในแกน X, Y ใช้หลักการของ Walter 's law เพราะ ข้อมูลจากบ่อสำรวจมีความหมายไม่เพียงพอหรือมีน้อย ไม่สามารถการนำเอาไปใช้เพื่อแปล ความหมายของชั้นดินในแนวราบได้อย่างพอเพียง ดังนั้นการประยุกต์ใช้ Walter's law ที่มีหลักการ ว่า "ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินในแนวแกน Z สามารถนำไปใช้ในการหาค่าอัตราการ เปลี่ยนแปลงของชั้นดินในแนวแกน X และ แกน Y" โดยการกำหนดค่าคงที่สองตัวที่มีสมมุติฐานว่า ค่าคงที่ตัวแรกคือ ค่าสัดส่วนของชั้นดิน (material proportions) เป็นสัดส่วนที่มีค่าเท่ากับทั้ง 3 ทิศทางและค่าคงที่ตัวที่สองคือค่า lens length ratio ของชั้นดินทุกชั้นต้องค่าซึ่งค่าอัตรา lens length ratios จะมีค่าเท่ากับ หนึ่งต่อ transition rate ratios ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่า lens length ratios เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่า horizontal Lens length กับ vertical Lens length แต่ค่า transition rate ratios เป็นค่าระหว่าง vertical transition rate กับ horizontal transition rate ด้วย จากข้อสรุปดังกล่าวจึงกล่าวได้ว่าเมื่อชั้นดินมีความต่อเนื่องในทิศแนวราบมากค่า lens length ของชั้นดินนั้นๆจะมีค่ามากและค่า transition rate ของชั้นดินนั้นๆจะมีค่าน้อยในทิศทางแนวนั้นๆ

#### 5.4.1.1 การแบ่งรูปแบบโดยใช้ Hydraulics Conductivity

ในการศึกษาวิจัยนี้ เนื่องจากการมีข้อมูลในพื้นที่ค่อนข้างน้อยและข้อมูลไม่ต่อเนื่องกันในแต่ละระดับชั้นดินทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนค่า len length ratios หลายค่าเพื่อตรวจสอบค่าชั้นดินที่เป็นไปได้มากที่สุด ซึ่งค่า len length ratios ที่ทำการสร้างแบบจำลองคือ 10, 15, 20 และ 25 สำหรับแบบจำลองกรณีที่ 1 โดยที่ยังมีค่า len length ratios ที่มากจะยังมีความต่อเนื่องของชั้นดินในแนวราบของแต่ละชั้นดินมากขึ้นดังตารางที่ 5.20 - 5.24

ตารางที่ 5.20 Vertical Markov chain

Material	Proportion	Lens Length	Transition Rate			
การซึมผ่านดี	0.15740	14.8742590	-0.06723	0.019780	0.055892	0.013109
การซึมผ่านปานกลาง	0.02378	10.2568432	0.100332	-0.09749	0.067024	0.020139
การซึมผ่านต่ำ	0.59090	43.9490165	0.013699	0.003947	-0.022753	0.005106
ที่บ้น้ำ	0.22790	40.9915461	0.009834	0.001161	0.013399	-0.02439

ตารางที่ 5.21 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 10

Material	Lens Length	Lens Ratio	Transition Rate			
การซึมผ่านดี	148.742590	10.0000	-0.00715	0.005392	0.005392	0.001207
การซึมผ่านปานกลาง	102.568432	10.0000	0.003341	-0.00989	0.005093	0.001462
การซึมผ่านต่ำ	439.490165	10.3590	0.001436	0.000204	-0.00222	0.000588
ที่บ้น้ำ	409.915461	9.99999	0.000834	0.000152	0.001525	-0.00251

ตารางที่ 5.22 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 15

Material	Lens Length	Lens Ratio	Transition Rate			
การซึมผ่านดี	223.113885	15.0000	-0.00448	0.000504	0.002769	0.001207
การซึมผ่านปานกลาง	153.854764	15.0000	0.003341	-0.00649	0.001696	0.001462
การซึมผ่านต่ำ	949.944806	21.6171	0.000737	0.000068	-0.00105	0.000246
ที่บ้น้ำ	614.832200	14.9999	0.000834	0.000152	0.000639	-0.00162

ตารางที่ 5.23 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 20

Material	Lens Length	Lens Ratio	Transition Rate			
การซึมผ่านดี	297.485180	19.9999	-0.00336	0.000504	0.0016487	0.001207
การซึมผ่านปานกลาง	205.136864	20.0000	0.003341	-0.00487	0.000071	0.001462
การซึมผ่านต่ำ	1880.07739	42.7786	0.000439	2.878235	-0.00053	0.000089
ที่บ้น้ำ	819.421006	19.9999	0.000834	0.000152	0.000232	-0.00121

ตารางที่ 5.24 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 25

Material	Lens Length	Lens Ratio	Transition Rate			
การซึมผ่านดี	371.856475	25.0000	-0.00268	0.000504	0.000976	0.001207
การซึมผ่านปานกลาง	256.421080	25.0000	0.003314	-0.00389	-0.00090	0.001462
การซึมผ่านต่ำ	4556.13740	103.6687	0.000260	-0.00003	-0.00021	-4.25798
ที่บ้น้ำ	1024.78865	24.9999	0.000834	0.000152	-0.00001	-0.00097

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผลการสร้างแบบจำลองทางสถิติจริงจะได้ออกมาทั้งหมดจำนวน 4 ชุดซึ่งแต่ละชุดจะมีแบบจำลองเสมือนจริงอีกชุดละ 10 แบบจำลองเสมือนจริง (realizations) รวมทั้งหมดเป็น 40 ความน่าจะเป็น รูปที่ 5.12 -5.15 แสดงถึงภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้ของการกระจายของชั้นดินแต่ละชนิดในพื้นที่ทำการทดลองโดยมีค่า len length ratios เรียงกันดังนี้ 10, 15, 20 และ 25 ณ ตำแหน่งที่กริด  $l=150$  และพื้นที่ในแนวตั้งมีขนาดขยายเป็นจำนวน 150 เท่า



รูปที่ 5.12 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios

= 10 กริด  $l=150$  Realization 1-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 15 กริด I=150 Realization 1-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 20 กริด I=150 Realization 1-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 25 กริด  $l=150$  Realization 1-10

ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดินที่แสดงออกมา จะเห็นได้ว่า มีความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดินที่เป็นชั้นให้น้ำ (สีน้ำเงิน) ชัดเจนในกรณีที่ค่า Len length ratios ที่สูงส่งผลให้ค่าความต่อเนื่องของชั้นดินในแนวราบสูงขึ้นด้วย (Len length ratios = 20) เนื่องจากทำให้ค่า lens length ในแนวระนาบที่มากขึ้น ส่วนค่า Len length ratios ที่ต่ำ (Len length ratios = 10) ภาพตัดขวางดังเช่นรูปที่ 5.12 จะเห็นความต่อเนื่องของชั้นให้น้ำไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.4.1.2 การแบ่งรูปแบบโดยใช้ Hydrogeologic Unit

เนื่องจากการมีข้อมูลในพื้นที่ค่อนข้างน้อยและข้อมูลไม่ต่อเนื่องกันในแต่ละระดับชั้นดินทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนค่า len length ratios หลายค่าเพื่อตรวจสอบค่าชั้นดินที่เป็นไปได้มากที่สุด ซึ่งค่า len length ratios ที่ทำการสร้างแบบจำลองคือ 5, 10, 15 และ 20 สำหรับแบบจำลองกรณีที่ 2 โดยที่ยังมีค่า len length ratios ที่มากจะยังมีความต่อเนื่องของชั้นดินในแนวราบของแต่ละชั้นดินมากขึ้นดังตารางที่ 5.25 - 5.29

ตารางที่ 5.25 Vertical Markov chain

Material	Proportion	Lens Length	Transition Rate			
Sand	0.1730	13.7123876	-0.07292	0.097804	0.040332	0.012814
Sand/clay	0.1634	22.9477791	0.016773	-0.04357	0.021354	0.005448
Clay	0.4475	36.1365186	0.016520	0.005883	-0.02767	0.005269
Stone	0.2160	39.5233466	0.011493	0.004933	0.008874	-0.02530

ตารางที่ 5.26 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 5

Material	Lens Length	Lens Ratio	Transition Rate			
Sand	68.561938	4.9999	-0.01458	0.001740	0.011731	0.001113
Sand/clay	114.738895	4.9999	0.001842	-0.00871	0.005919	0.000953
Clay	119.604649	3.3098	0.004535	0.002161	-0.00836	0.001663
Stone	197.616733	4.9999	0.000892	0.000721	0.003447	-0.00506

ตารางที่ 5.27 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 10

Material	Lens Length	Lens Ratio	Transition Rate			
Sand	137.123876	9.9999	-0.00729	0.001740	0.004438	0.001113
Sand/clay	229.477791	10.0000	0.001842	-0.00435	0.001562	0.000953
Clay	361.365186	10.1405	0.001715	0.000570	-0.00272	0.000442
Stone	395.233466	10.0000	0.000892	0.000721	0.000916	-0.00253

ตารางที่ 5.28 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 15

Material	Lens Length	Lens Ratio	Transition Rate			
Sand	205.685800	15.0000	-0.00486	0.001740	0.002007	0.001113
Sand/clay	344.216686	14.9999	0.001842	-0.00290	0.000109	0.000953
Clay	1174.13330	32.4916	0.000776	0.000040	-0.00085	0.000035
Stone	592.850199	14.9999	0.000892	0.000721	0.000073	-0.00168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

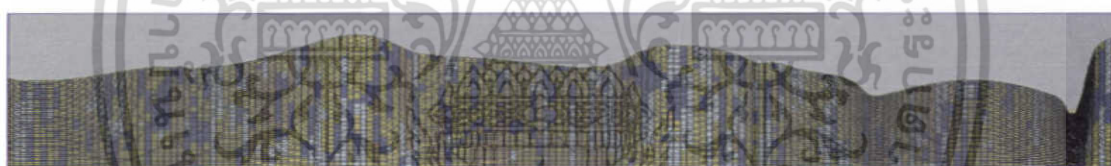
ตารางที่ 5.29 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 20

Material	Lens Length	Lens Ratio	Transition Rate			
Sand	274.247752	20.0000	-0.00371	0.001740	0.000860	0.001113
Sand/clay	458.955582	20.0000	0.001842	-0.00231	-0.00047	0.000953
Clay	464109.059	12843.2145	0.000332	-0.00017	-2.23489	-0.00015
Stone	790.466932	20.0000	0.000892	0.000721	-0.00032	-0.00128

สำหรับผลการสร้างแบบจำลองทางสถิติจริงจะได้ดังรูปที่ 5.16 แสดงถึงภาพตัดขวางแบบจำลองการกระจายของชั้นดินแต่ละชนิดในพื้นที่ทำการทดลองโดยมีค่า len length ratios เท่ากับ 5 ตำแหน่งที่กริด I=150 และพื้นที่ในแนวดิ่งมีขนาดขยายเป็นจำนวน 150 เท่า



รูปที่ 5.16 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 5 กริด I=150 Realization 1



รูปที่ 5.17 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 10 กริด I=150 Realization 1



รูปที่ 5.18 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 15 กริด I=150 Realization 1



รูปที่ 5.19 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 20 กริด I=150 Realization 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.4.1.3 การแบ่งรูปแบบโดยใช้ Texture

เนื่องจากการมีข้อมูลในพื้นที่ค่อนข้างน้อยและข้อมูลไม่ต่อเนื่องกันในแต่ละระดับชั้นดินทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนค่า len length ratios หลายค่าเพื่อตรวจสอบค่าชั้นดินที่เป็นไปได้มากที่สุด ซึ่งค่า len length ratios ที่ทำการสร้างแบบจำลองคือ 5, 7, และ 10 สำหรับแบบจำลองกรณีที่ 2 โดยที่ยังมีค่า len length ratios ที่มากจะยังมีความต่อเนื่องของชั้นดินในแนวราบของแต่ละชั้นดินมากขึ้นดังตารางที่ 5.30 - 5.33

ตารางที่ 5.30 Vertical Markov chain

Material	Proportion	Lens Length	Transition Rate			
Sand	0.1745	14.3137926	-0.06986	0.038275	0.030342	0.001245
Sand/clay	0.3093	301158967	0.016697	-0.03320	0.014110	0.002396
Clay	0.4637	47.7734451	0.015274	0.006527	-0.02093	0.000869
Stone	0.0524	94.4716672	0.001071	0.010757	0.000899	-0.01058

ตารางที่ 5.31 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 5

Material	Lens Length	Lens Ratio	Transition Rate			
Sand	71.568963	4.9999	-0.01397	0.003594	0.010283	0.000094
Sand/clay	150.57948	5.0000	0.002027	-0.00664	0.004419	0.000194
Clay	145.09750	3.0372	0.003869	0.002947	-0.00689	0.000074
Stone	472.35833	4.9999	0.000315	0.001145	0.000656	-0.00211

ตารางที่ 5.32 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 7

Material	Lens Length	Lens Ratio	Transition Rate			
Sand	101.627926	7.1000	-0.00983	0.003594	0.00615	0.000094
Sand/clay	210.811274	7.0999	0.002027	-0.00467	0.002454	0.000194
Clay	252.721524	5.2918	0.002314	0.001637	-0.00395	3.395485
Stone	661.301670	7.1000	0.000315	0.001145	0.000030	-0.00149

ตารางที่ 5.33 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 10

Material	Lens Length	Lens Ratio	Transition Rate			
Sand	143.137926	9.9999	-0.00698	0.003594	0.003297	0.000094
Sand/clay	301.158967	10.0000	0.002027	-0.00332	0.001098	0.000194
Clay	477.734451	10.8563	0.001240	0.007327	-0.00192	-0.00004
Stone	944.716672	10.0000	0.000315	0.001145	-0.00040	-0.00105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผลการสร้างแบบจำลองทางสถิติวิธีนี้จะได้ออกมาทั้งหมดจำนวน 3 ชุดซึ่งแต่ละชุดจะมีแบบจำลองความเป็นไปได้อีกชุดละ 10 แบบจำลองเสมือนจริง รวมทั้งหมดเป็น 30 แบบจำลองเสมือนจริง รูปที่ 5.20 แสดงถึงภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้ของความแตกต่าง และการกระจายของชั้นดินแต่ละชนิดในพื้นที่ทำการทดลองโดยมีค่า Len length ratios เรียงกันดังนี้ 5, 7, 10 ณ ตำแหน่งที่กริด  $I=150$  และพื้นที่ในแนวดิ่งมีขนาดขยายเป็นจำนวน 150 เท่า



รูปที่ 5.20 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 5 กริด  $I=150$  Realization 1



รูปที่ 5.21 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 7 กริด  $I=150$  Realization 1



รูปที่ 5.22 ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดิน Len length ratios = 10 กริด  $I=150$  Realization 1

ภาพตัดขวางแบบจำลองความเป็นไปได้การกระจายตัวของชั้นดินที่แสดงออกมา จะเห็นได้ว่ามีความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดินที่เป็นชั้นหน้า (สีน้ำเงิน) ชัดเจนในกรณีที่มีค่า len length ratios ที่สูง (len length ratios = 15) เนื่องจากทำให้ค่า len length ในแนวระนาบที่มากขึ้นตั้งเปรียบเทียบกับตารางที่ 5.31 กับตารางที่ 5.32 ค่า len length ของชั้นดิน clay มีค่าเป็น 252.72 ม. ส่วนค่า len length ratios ที่ต่ำ (len length ratios = 5) ค่า len length ของชั้นดิน clay มีค่าเป็น 145.09 ม. ตามลำดับ ภาพตัดขวางดังเช่นรูปที่ 5.20 จะเห็นความต่อเนื่องของชั้นหน้าไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 5.34 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR10)

Category	R1	%	R2	%	R3	%	R4	%	R5	%	R6	%	R7	%	R8	%	R9	%	R10	%
1	14	7.37	22	11.58	73	38.42	21	11.05	12	6.32	35	18.42	50	26.32	45	23.68	37	19.47	65	34.21
2	16	13.79	9	7.759	15	12.93	3	2.59	54	46.55	1	0.86	14	12.07	36	31.03	8	6.90	11	9.48
3	272	61.96	341	77.68	341	77.68	313	71.30	205	46.70	206	46.92	324	73.80	202	46.01	280	63.78	247	56.26
4	20	30.30	4	6.061	4	6.06	18	27.27	41	62.12	11	16.67	14	21.21	58	87.88	7	10.61	28	42.42
All	322	39	376	46	447	46	355	43	312	38	253	31	402	49	341	41	332	40	381	46

ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Summary): 0.427

(R1-10 = Realization1-10)

ตารางที่ 5.35 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR 15)

Category	R1	%	R2	%	R3	%	R4	%	R5	%	R6	%	R7	%	R8	%	R9	%	R10	%
1	35	18.42	46	24.21	36	18.95	25	13.16	26	13.68	25	13.16	40	21.05	36	18.95	22	11.58	36	18.95
2	11	9.48	32	27.59	40	34.48	20	17.24	13	11.21	2	1.72	22	18.97	17	14.66	22	18.97	21	18.10
3	246	56.04	186	42.37	309	70.39	330	75.17	247	56.26	258	58.77	238	54.21	265	60.36	255	58.09	304	69.25
4	4	6.06	29	43.94	21	31.82	9	13.64	47	71.21	6	9.09	15	22.73	47	71.21	17	25.76	32	48.48
All	296	36	293	36	406	49	384	47	333	40	330	40	370	45	365	44	370	45	393	48

ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Summary): 0.429

(R1-10 = Realization1-10)

ตารางที่ 5.36 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR 20)

Category	R1	%	R2	%	R3	%	R4	%	R5	%	R6	%	R7	%	R8	%	R9	%	R10	%
1	48	25.26	23	12.11	39	20.53	11	5.79	21	11.05	23	12.11	24	12.63	58	30.53	66	34.74	62	32.63
2	23	19.83	13	11.21	14	12.07	21	18.10	30	25.86	18	15.52	7	6.03	35	30.17	6	5.17	12	10.34
3	258	58.77	282	64.24	343	78.13	281	64.01	253	57.63	371	84.51	329	74.94	237	53.99	209	47.61	263	59.91
4	47	17.21	7	10.61	2	3.03	25	37.88	15	22.73	17	25.76	26	39.39	2	3.03	3	4.55	2	3.03
All	376	46	325	39	398	48	338	41	319	39	429	52	386	47	332	40	305	37	339	41

ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Summary): 0.430

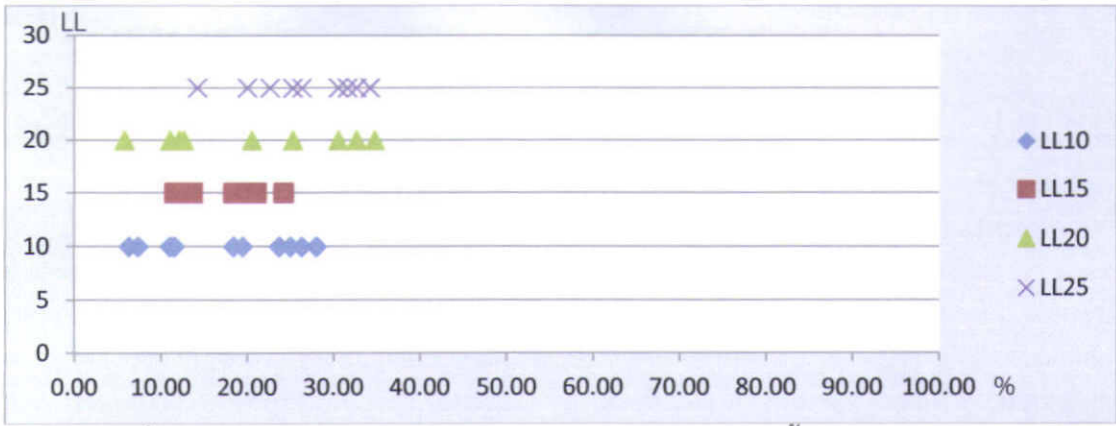
(R1-10 = Realization1-10)

ตารางที่ 5.37 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR 25)

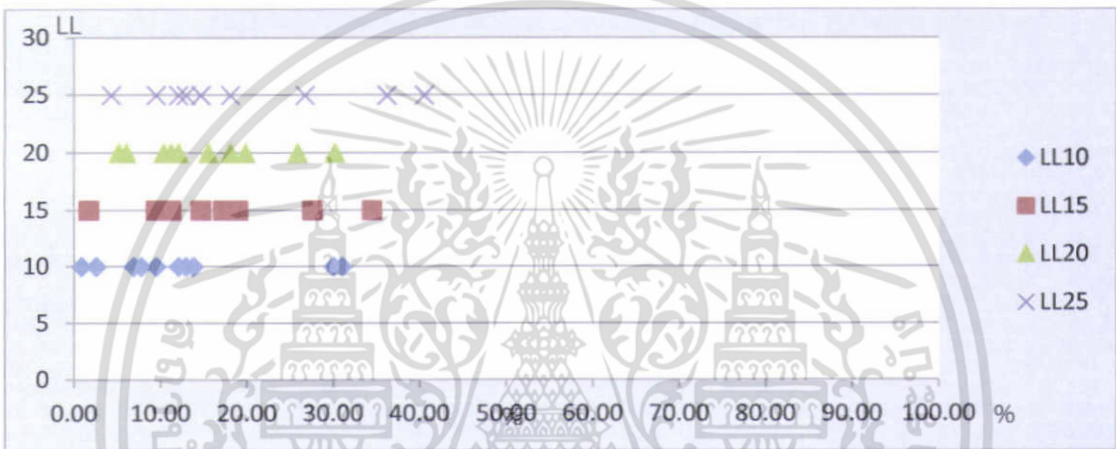
Category	R1	%	R2	%	R3	%	R4	%	R5	%	R6	%	R7	%	R8	%	R9	%	R10	%
1	50	26.32	27	14.21	38	20.00	60	31.58	48	25.26	43	22.63	27	14.21	62	32.63	58	30.53	65	34.21
2	21	18.10	14	12.07	11	9.48	17	14.66	31	26.72	5	4.31	15	12.93	42	36.21	47	40.52	11	9.48
3	257	58.54	256	58.31	260	59.23	247	56.26	323	73.58	223	50.80	303	69.02	314	71.53	282	64.24	247	56.26
4	2	3.03	11	16.67	27	40.91	16	24.24	13	19.70	2	3.03	19	28.79	6	9.09	2	3.03	28	42.42
All	330	40	308	37	336	41	340	41	415	50	273	33	364	44	424	51	389	47	351	43

ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Summary): 0.428

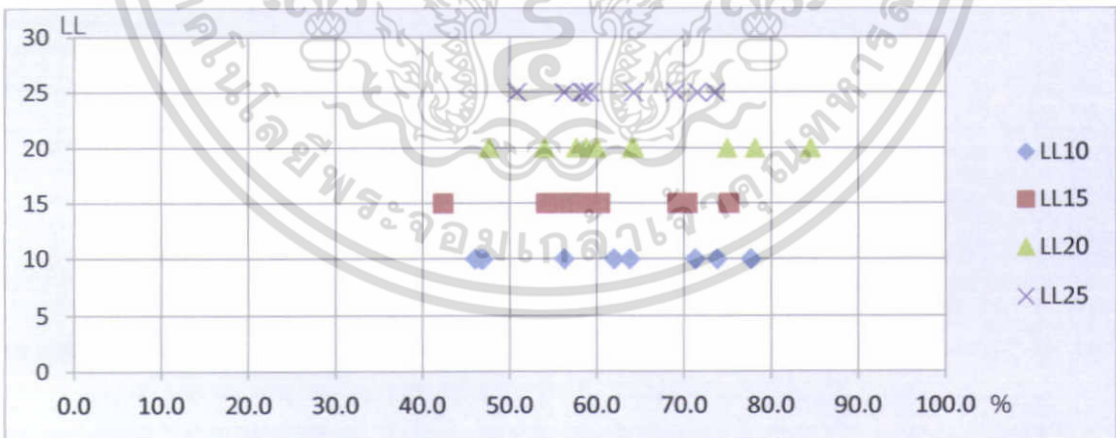
(R1-10 = Realization1-10)



รูปที่ 5.24 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินเหนียวชนิด การซึมผ่านดี

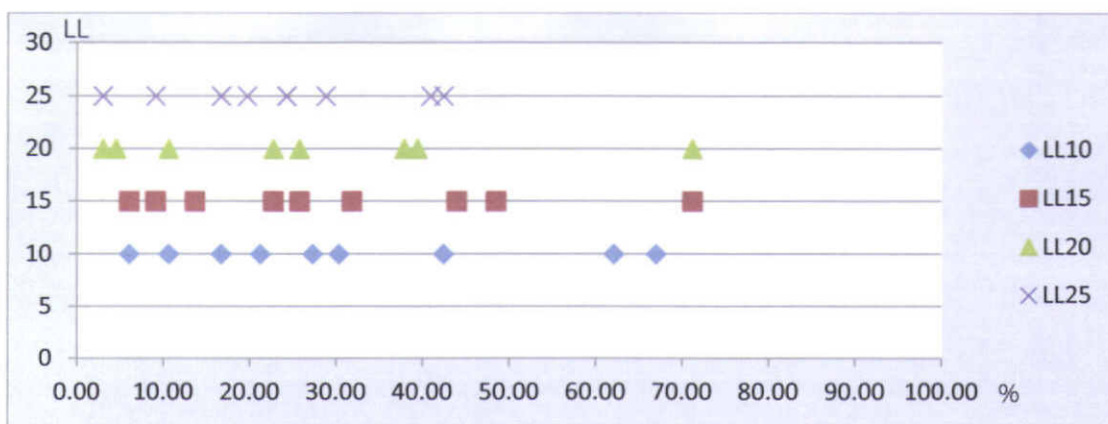


รูปที่ 5.25 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินเหนียวชนิด การซึมผ่านปานกลาง



รูปที่ 5.26 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินเหนียวชนิด การซึมผ่านน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.27 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด ที่บ้น้ำ

จากข้อมูลในตารางที่ 5.34-5.37 จะเห็นว่าเมื่อทำการเลือกการให้คะแนน (rating) โดยใช้วิธี binary numeral system ผลคะแนนค่าความถูกต้องโดยรวมของแบบจำลอง hydraulics conductivity ที่มีสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) เท่ากับ 10 มีค่า 42.7% แบบจำลอง hydraulics conductivity ที่มีสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) เท่ากับ 15 มีค่า 42.9% แบบจำลอง hydraulics conductivity ที่มีสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) เท่ากับ 20 มีค่า 43.0% และแบบจำลอง hydraulics conductivity ที่มีสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) เท่ากับ 25 มีค่า 42.8% ซึ่งแสดงถึงให้เห็นว่า เมื่อที่มีสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) มีค่ามากขึ้น ความต่อเนื่องของการกระจายตัวของดินแต่ละชนิดจะมีค่ามากขึ้น ส่งผลต่อให้ความถูกต้องของแบบจำลองมีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกันแต่ถ้าค่า (len length ratio, LLR) ที่กำหนดให้แก่แบบจำลองสูงเกินไป (len length ratio =25) จะส่งผลให้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงนอกแนวแกนติดลบ (-) ให้ความถูกต้องของแบบจำลองลดลงเช่นกัน (ตารางที่ 5.31)

และเมื่อนำข้อมูลมาพล็อตกราฟดังรูปที่ 5.24-5.27 ดูแนวโน้มเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของชนิดดินแต่ละประเภทที่มีความเกี่ยวข้องกับค่า len length ratio, (LLR) จะพบว่าเมื่อค่า len length ratio, (LLR) เพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแบบจำลองลักษณะดินแต่ละชั้นก็มีแนวโน้มค่าที่สูงขึ้นโดยมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2.2. การเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลอง Hydrogeologic unit

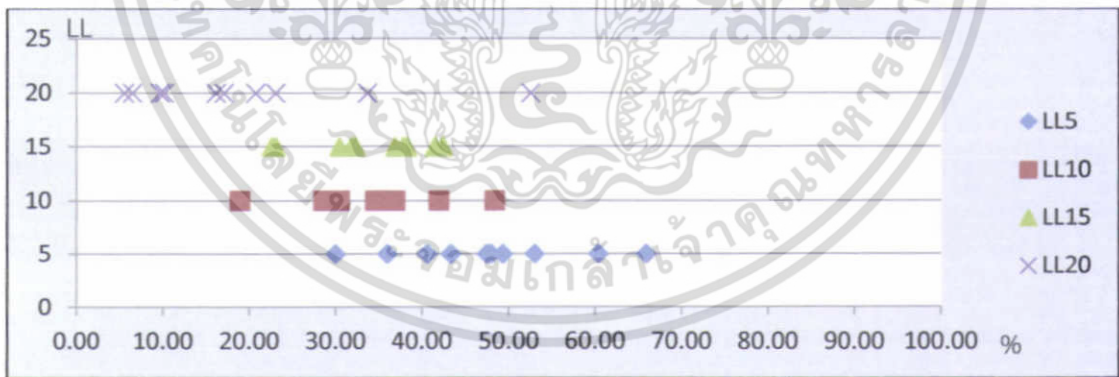
LLR		AI 284		AI 437		AI 364		AI 369		AI 438		AI 453		AI 443		AI 366		AI 341		AI	
frase	468 sa	digit	%	digit	%	digit	%	digit	%	digit	%	digit	%	digit	%	digit	%	digit	%	digit	%
ml.	0-20	7	1.5	217	48	62	17	63	17	76	16	66	15	86	19	75	16	41	11	49	10
ml.	0-40	1	0.2	100	22	29	8	46	12	18	4	57	12	45	10	41	11	49	10	49	10
ml.	0-60	1	0.2	436	95	29	8	255	70	176	37	252	55	249	55	245	57	250	56	250	56
				78	17	11	3	8	2	11	2	41	9	69	15	6	7	8	7	8	7

	Material based on	Hydro facies	Real Score	Raw Score	Real Score	Raw Score	Real Score	Raw Score	Real Score	Raw Score	Real Score	Raw Score	Real Score	Raw Score	Real Score	Raw Score	Real Score	Raw Score	Real Score	Raw Score	Real Score	Raw Score
6	SA202 517281 1020300 clay	3	3	3	4	6	3	3	2	0	3	3	3	3	1	0	3	3	3	3	3	3
6	SA202 517281 1020300 sand	2	3	0	4	6	3	0	3	0	3	0	3	0	1	5	3	0	3	0	3	0
6	SA202 517281 1020300 clay	3	1,4	0	1,4	31	1	36	2	22	3	42	3	42	1,2,4	0	1,2,4	4	3	42	4	3
6	SA202 517281 1020300 sand	1	4	0	3	6	3	0	2	0	3	0	2,3	0	4	0	4	0	3	0	3	0
6	SA202 517281 1020300 sand	1	4	0	3	6	3	0	2	0	3	0	2,3	0	4	0	4	0	3	0	3	0
7	SA202 50840 1002400 clay	3	4	0	3	14	3	14	1,2,4	2	2	8	4	0	3	14	1	2	1	8	3	3
7	SA202 50840 1002400 sand	1	4	0	3	6	3	0	3	0	3	0	4	0	3	6	3	4	1	6	3	3
7	SA202 50840 1002400 gravel	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	SA202 50840 1002400 gravel	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14(29)	SA225 543601 999400 sand	1	3,4	0	3,4	0	4	0	3	0	3,4	0	3,4	0	3	0	4	0	2,3	0	3	3
14(29)	SA225 543601 999400 sand	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14(29)	SA225 543601 999400 sand	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14(29)	SA225 543601 999400 sand	2	3	0	3	0	4	0	3	0	3	2	3	5	3	0	3,4	0	3	0	3	3
14(29)	SA225 543601 999400 gravel	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14(29)	SA225 543601 999400 gravel	1	4	0	3,4	0	3	0	1	12	2	0	3	0	3	4	3	0	3	0	3	3
14(29)	SA225 543601 999400 gravel	3	1	0	0	0	4	0	1	0	4	0	1	0	1	0	3	7	3	7	3	3
19(43)	SA227 519151 1013400 sand	1	3	24	4	0	3,4	10	3	4	2,4	11	4	0	3,4	1	3	0	3	0	3	3
19(43)	SA227 519151 1013400 sand	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19(43)	SA227 519151 1013400 sand	1	2	0	3	0	2,0	0	2,0	0	3	0	4	0	3	0	4	1	2,3	0	2	2
19(43)	SA225 519151 1011100 sand	1	2	0	3	0	3	0	3	0	3	0	4	0	3	0	4	0	3	0	3	3
19(43)	SA225 519151 1011100 sand	1	2	0	3	0	3	0	3	0	3	0	4	0	3	0	4	0	3	0	3	3
19(43)	SA225 519151 1011100 clay	2	2	0	3	5	3	2	2,4	0	3	5	4	0	3	5	4	0	1,2	3	2	2
19(43)	SA225 519151 1011100 clay	1	2	0	3	2	3	0	4	0	3	0	4	1	3	0	4	0	3	0	3	3
19(43)	SA225 519151 1011100 gravel	2	0	0	0	4	3	4	4	1	3	0	1	0	3	4	4	0	1	2	1	1
19(43)	SA225 519151 1011100 gravel	2	1,3	3	3	0	5	0	3	0	4	0	1	0	3	0	4	0	3	0	3	3
19(43)	SA225 519151 1011100 clay	2	3	0	3	0	2	4	4	0	3	0	1	0	3	0	4	0	3	0	3	3
19(43)	SA225 519151 1011100 clay	2	3	0	3	0	2	4	4	0	3	0	1	0	3	0	4	0	3	0	3	3

รูปที่ 5.28 แสดงข้อมูลการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด Sedimentary rock

คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองกรณีที่ 1 แบ่งตาม hydrogeologic unit ตามอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) ของชั้นดินสมมติ 4 ตัวได้ค่าตามตารางที่ 5.38 - 5.41



รูปที่ 5.29 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด Sedimentary

รูปที่ 5.29 แสดงชั้นดิน Sedimentary มีความต่อเนื่องน้อยเนื่องจากเมื่อเพิ่มค่าความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) จะมีค่าความถูกต้องของแบบจำลองน้อยลงซึ่งค่าความถูกต้องของแต่ละ (len length ratio, LLR) นั้นหาโดยเอาข้อมูลแบบจำลองชั้นดินนั้นๆมาเปรียบเทียบกับข้อมูลแต่ละช่องของแบบจำลองกับข้อมูลชั้นดินในหลุมเจาะที่ได้คัดเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.38 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR5)

Category	R1	%	R2	%	R3	%	R4	%	R5	%	R6	%	R7	%	R8	%	R9	%	R10	%
1	104	47.93	103	47.47	131	60.37	107	49.31	94	94	88	40.55	78	35.94	115	53.00	143	65.90	65	29.95
2	32	32.00	32	32.00	53	53.00	70	70.00	51	51	49	49.00	64	64	53	53.00	18	18.00	11	11.00
3	163	37.91	250	58.14	167	38.84	222	51.63	243	243	285	66.28	232	53.95	206	47.91	150	34.88	247	57.44
4	5	6.41	5	6.41	17	21.79	39	50.00	28	28	17	21.79	16	20.51	4	5.12	25	32.05	28	35.90
All	304	37	390	47	368	44	438	53	416	50	439	53	390	47	378	46	336	41	412	50

ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Summary): 0.469

(R1-10 = Realization1-10)

ตารางที่ 5.39 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR 10)

Category	R1	%	R2	%	R3	%	R4	%	R5	%	R6	%	R7	%	R8	%	R9	%	R10	%
1	105	48.39	62	28.57	63	29.03	91	41.94	76	35.02	66	30.41	80	36.87	75	34.56	41	18.89	79	36.41
2	29	29.00	55	55.00	40	40.00	82	82	18	18.00	57	57.00	45	45.00	41	41.00	40	40.00	47	47.00
3	126	29.30	309	71.86	255	59.30	178	41.40	323	75.12	292	67.91	249	57.91	245	56.98	254	59.07	234	54.42
4	24	30.77	11	14.10	6	7.69	18	23.08	41	52.56	38	48.72	69	88.46	5	6.41	6	7.69	36	46.15
All	284	34	437	53	364	44	369	45	458	56	453	55	443	54	366	44	341	41	396	48

ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Summary): 0.473

(R1-10 = Realization1-10)

ตารางที่ 5.40 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR 15)

Category	R1	%	R2	%	R3	%	R4	%	R5	%	R6	%	R7	%	R8	%	R9	%	R10	%
1	69	31.80	66	30.41	92	42.40	90	41.47	49	22.58	80	36.87	83	38.25	70	32.26	50	23.04	82	37.79
2	27	27.00	67	67.00	23	23.00	12	12.00	77	77.00	53	53.00	61	61.00	16	16.00	25	25.00	12	12.00
3	184	42.79	267	69.07	279	64.88	343	79.77	213	49.53	270	62.79	232	53.95	305	70.93	248	57.67	212	49.30
4	42	53.85	35	44.87	5	6.41	5	6.41	4	5.13	49	62.82	28	35.90	15	19.23	10	12.82	21	26.92
All	322	39	465	56	399	48	450	55	343	42	452	55	404	49	406	49	333	40	330	40

ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Summary): 0.474

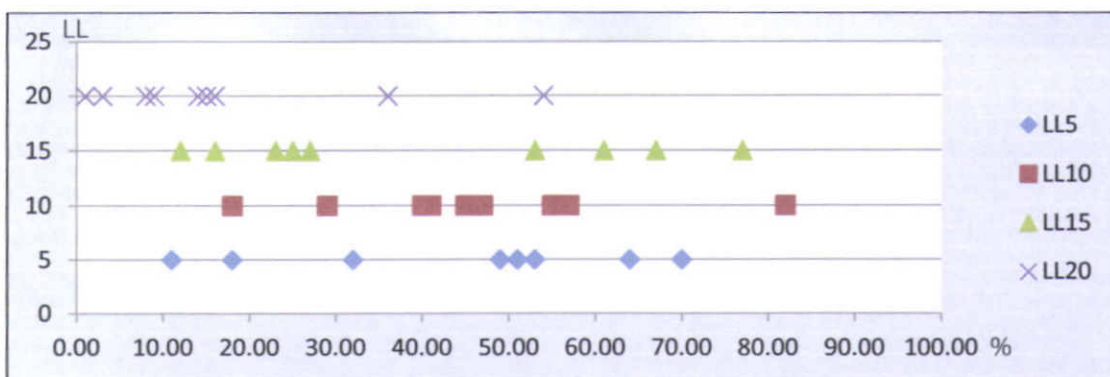
(R1-10 = Realization1-10)'

ตารางที่ 5.41 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR 20)

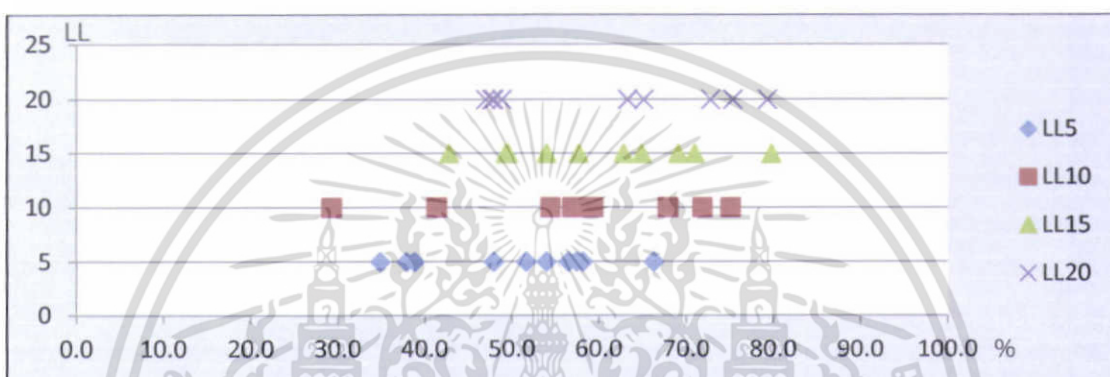
Category	R1	%	R2	%	R3	%	R4	%	R5	%	R6	%	R7	%	R8	%	R9	%	R10	%
1	14	6.45	22	10.14	73	33.64	21	9.68	12	5.53	35	16.13	50	23.04	45	20.74	37	17.05	114	52.53
2	16	16.00	9	9.00	15	15.00	3	3.00	54	54.00	1	1.00	14	14.00	36	36.00	8	8.00	36	36.00
3	272	63.26	341	79.30	341	79.30	313	72.79	205	47.67	206	47.91	324	75.35	202	46.98	280	65.12	210	48.84
4	20	25.64	4	5.13	18	23.08	18	23.08	41	52.56	11	14.10	14	17.95	58	74.36	7	8.97	38	48.72
All	366	44	312	38	300	36	312	38	420	51	366	44	331	40	333	40	390	47	398	48

ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Summary): 0.428

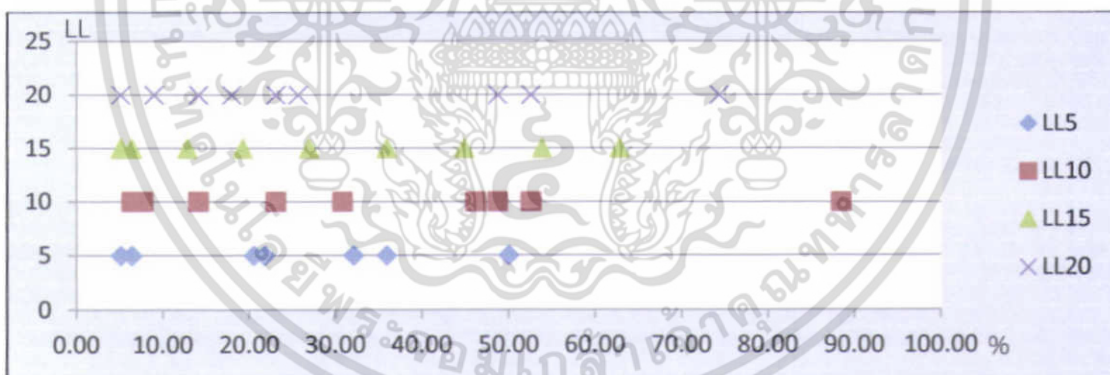
(R1-10 = Realization1-10)



รูปที่ 5.30 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินเหนียวชนิด Sedimentary rock



รูปที่ 5.31 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินเหนียวชนิด Limestone



รูปที่ 5.32 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินเหนียวชนิด Igneous rock

จากข้อมูลในตารางที่ 5.38-5.41 จะเห็นว่าเมื่อทำการเลือกการให้คะแนน (rating) โดยใช้วิธี binary numeral system ผลคะแนนค่าความถูกต้องโดยรวมของแบบจำลอง hydrogeologic unit ที่มีสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) เท่ากับ 5 มีค่า 46.9% แบบจำลอง hydrogeologic unit ที่มีสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) เท่ากับ 10 มีค่า 47.3% แบบจำลอง hydrogeologic unit ที่มีสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) เท่ากับ 15 มีค่า 47.4% และแบบจำลอง hydrogeologic unit ที่มีสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) เท่ากับ 20 มีค่า 47.4%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 20 มีค่า 42.8% ซึ่งแสดงถึงให้เห็นว่า เมื่อค่าสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) มีค่ามากขึ้น ความต่อเนื่องของการกระจายตัวของดินแต่ละชนิดจะมีค่ามากขึ้น ส่งผลต่อให้ความถูกต้องของแบบจำลองมีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้นแต่ถ้าค่า len length ratio, (LLR) ที่กำหนดให้แก่แบบจำลองสูงเกินไปจะส่งผลให้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงนอกแนวแกนติดลบ (-) ให้ความถูกต้องของแบบจำลองลดลงเช่นกัน (ตารางที่ 5.41)

และเมื่อนำข้อมูลมาพล็อตกราฟดังรูปที่ 5.29-5.32 ดูแนวโน้มเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของชนิดดินแต่ละประเภทที่มีความเกี่ยวข้องกับค่า len length ratio, (LLR) จะพบว่าเมื่อค่า len length ratio, (LLR) เพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแบบจำลองลักษณะดินแต่ละชั้นก็มีแนวโน้มค่าที่สูงขึ้นโดยมีนัยสำคัญและถ้าวิเคราะห์โดยแยกชนิดของชั้นดินพบว่าดินให้น้ำชนิด Limestone หากมีการเพิ่มค่า len length ratio, (LLR) เพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแบบจำลองก็มากขึ้น หมายความว่ามีความต่อเนื่องของชั้นดินประเภท Limestone มาก แต่ชั้นดินประเภทอื่นๆค่าความถูกต้องของแบบจำลองจะน้อยลงคือ มีความต่อเนื่องของชั้นดินประเภทนั้นๆน้อย

5.4.2.3. การเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลอง Texture

รูปที่ 5.33 แสดงข้อมูลการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด Sand

คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองกรณีที่ 1 แบ่งตาม texture ตามสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) ของชั้นดินสมมุติ 3 ตัวได้ค่าตามตารางที่ 5.42 – 5.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.42 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR5)

Category	R1	%	R2	%	R3	%	R4	%	R5	%	R6	%	R7	%	R8	%	R9	%	R10	%
1	95	37.15	136	53.18	58	22.68	58	22.68	110	43.01	91	35.58	28	10.95	235	91.89	202	78.98	73	28.54
2	63	76.36	69	83.64	45	54.55	6	7.27	9	10.91	49	59.39	75	90.91	21	25.45	58	70.30	36	43.64
3	170	42.05	406	26.22	248	61.35	168	41.56	162	40.07	121	29.93	278	68.77	207	51.21	246	60.85	175	43.29
4	7	8.48	10	12.12	12	14.55	5	6.06	7	8.48	5	6.06	7	8.48	9	10.91	11	13.33	6	7.27
All	328	40	312	38	351	43	231	28	282	34	261	31	381	46	463	56	506	61	284	34

ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Summary): 0.412

(R1-10 = Realization1-10)

ตารางที่ 5.43 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR 7)

Category	R1	%	R2	%	R3	%	R4	%	R5	%	R6	%	R7	%	R8	%	R9	%	R10	%
1	118	46.14	73	28.54	62	24.24	90	35.19	99	38.71	136	53.18	196	76.64	114	44.57	207	80.94	93	36.36
2	50	60.61	30	36.36	15	18.18	62	75.15	45	54.55	24	29.09	5	6.06	60	72.73	17	20.61	17	20.61
3	82	20.28	179	44.28	263	65.06	274	67.78	205	50.71	50	12.37	175	43.29	284	70.25	203	50.22	194	47.99
4	5	6.06	5	6.06	17	20.61	41	49.70	28	33.94	17	20.61	16	17.39	4	4.85	25	30.30	28	33.94
All	250	30	282	34	340	41	467	56	349	42	211	27	371	45	457	55	427	52	304	37

ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Summary): 0.437

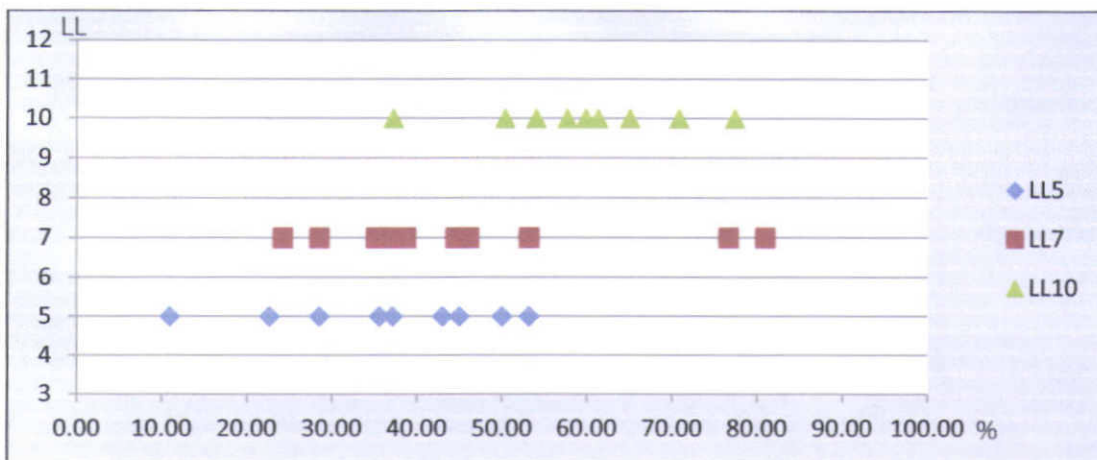
(R1-10 = Realization1-10)

ตารางที่ 5.44 คะแนนความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดิน (LLR 10)

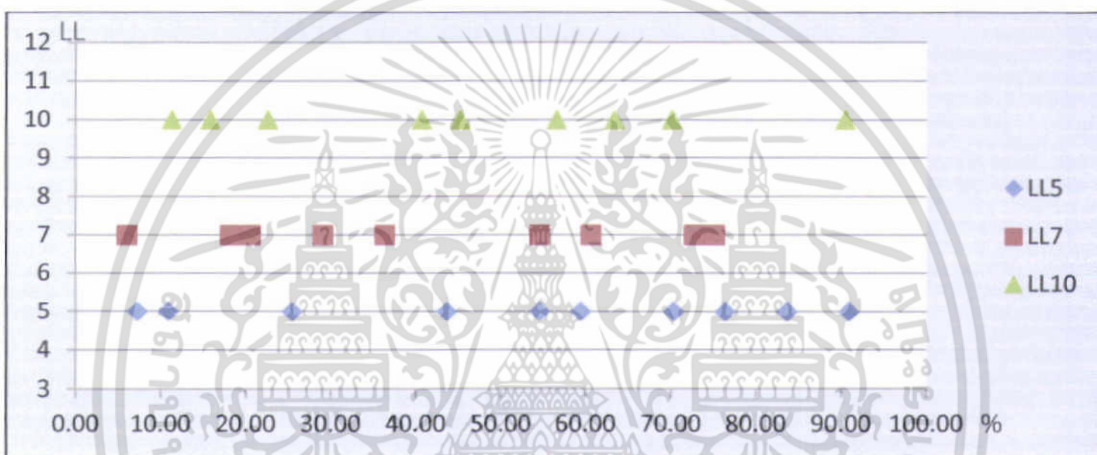
Category	R1	%	R2	%	R3	%	R4	%	R5	%	R6	%	R7	%	R8	%	R9	%	R10	%
1	95	37.21	181	70.77	147	57.64	129	50.34	138	53.99	157	61.29	198	77.34	100	40.21	153	59.83	95	37.21
2	9	11.31	75	90.47	37	45.24	58	70.12	34	40.71	13	15.83	47	56.55	19	22.62	47	56.55	52	63.33
3	259	64.16	226	55.85	282	69.70	263	65.08	127	31.39	151	37.39	192	47.54	162	10.16	131	32.31	155	38.31
4	9	11.31	4	4.52	73	88.21	7	9.05	21	24.88	4	4.52	71	85.95	37	45.24	19	22.62	6	6.79
All	315	38	420	51	450	54	421	51	319	39	321	39	400	49	304	37	310	38	302	37

ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Summary): 0.432

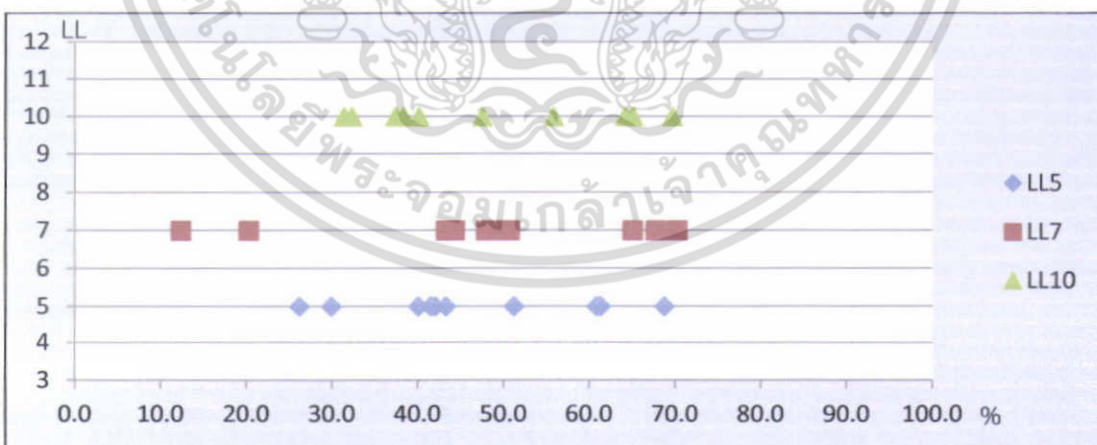
(R1-10 = Realization1-10)



รูปที่ 5.34 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินเหนียวชนิด Sand



รูปที่ 5.35 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินเหนียวชนิด Sand/clay



รูปที่ 5.36 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินเหนียวชนิด Clay

จากรูปที่ 5.34-5.36 ไม่แสดงแนวโน้มความต่อเนื่องที่ชัดเจนของแต่ละ len length ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



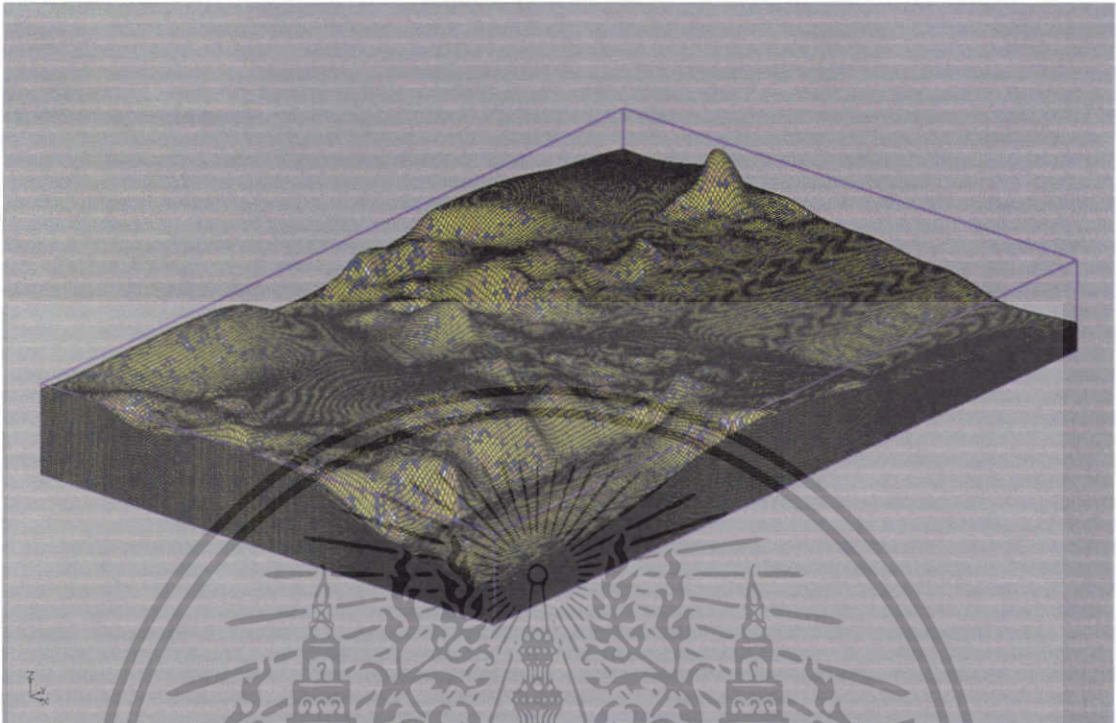
รูปที่ 5.37 แสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด Stone

จากรูปที่ 5.37 แสดงแนวโน้มความต่อเนื่องที่ชัดเจนของแต่ละ len length ratio แสดงให้เห็นว่าชั้นดิน Stone ในพื้นที่เป็นชั้นดินที่มีความต่อเนื่องในพื้นที่ศึกษาและจากข้อมูลในตารางที่ 5.42-5.44 จะเห็นว่าเมื่อทำการเลือกการให้คะแนน (rating) โดยใช้วิธี binary numeral system ผลคะแนนค่าความถูกต้องโดยรวมของแบบจำลอง texture ที่มีสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) เท่ากับ 5 มีค่า 41.2% แบบจำลอง texture ที่มีสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) เท่ากับ 7 มีค่า 41.9% แบบจำลอง texture ที่มีสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) เท่ากับ 10 มีค่า 41.6% และแบบจำลอง ซึ่งแสดงถึงให้เห็นว่า เมื่อค่าสัดส่วนความต่อเนื่องของการกระจายตัวชั้นดิน (len length ratio, LLR) มีค่ามากขึ้น ความต่อเนื่องของการกระจายตัวของดินแต่ละชนิดจะมีค่ามากขึ้น ส่งผลต่อให้ความถูกต้องของแบบจำลองมีความถูกต้องเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกันแต่ถ้าค่า (len length ratio, LLR) ที่กำหนดให้แก่แบบจำลองสูงเกินไปจะส่งผลให้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงนอกแนวแกนติดลบ (-) ให้ความถูกต้องของแบบจำลองลดลงเช่นกัน (ตารางที่ 5.44)

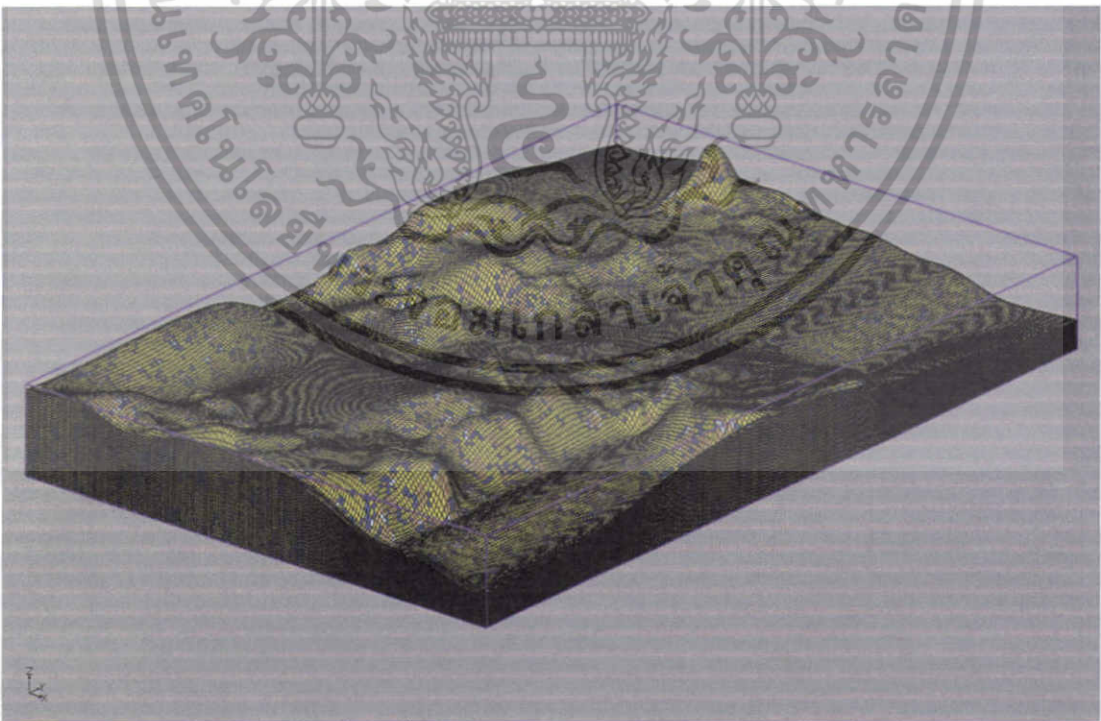
และเมื่อนำข้อมูลมาพล็อตกราฟดังรูปที่ 5.35-5.37 ดูแนวโน้มเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของชนิดดินแต่ละประเภทที่มีความเกี่ยวข้องกับค่า len length ratio, (LLR) จะพบว่าเมื่อค่า len length ratio, (LLR) เพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแบบจำลองลักษณะดินแต่ละชั้นก็มีแนวโน้มค่าที่สูงขึ้นโดยมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน แต่ในรูปที่ 5.35 และ 5.37 ซึ่งแสดงการกระจายตัวของค่าความถูกต้องของดินให้น้ำชนิด Sand/clay และ Stone นั้นมีการกระจายตัวที่ไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน เพราะความถูกต้องของแบบจำลองมีค่าน้อยเนื่องจากข้อมูลน้อยมากนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.5 แผนที่แสดงพื้นที่ที่มีศักยภาพการให้น้ำบาดาลในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

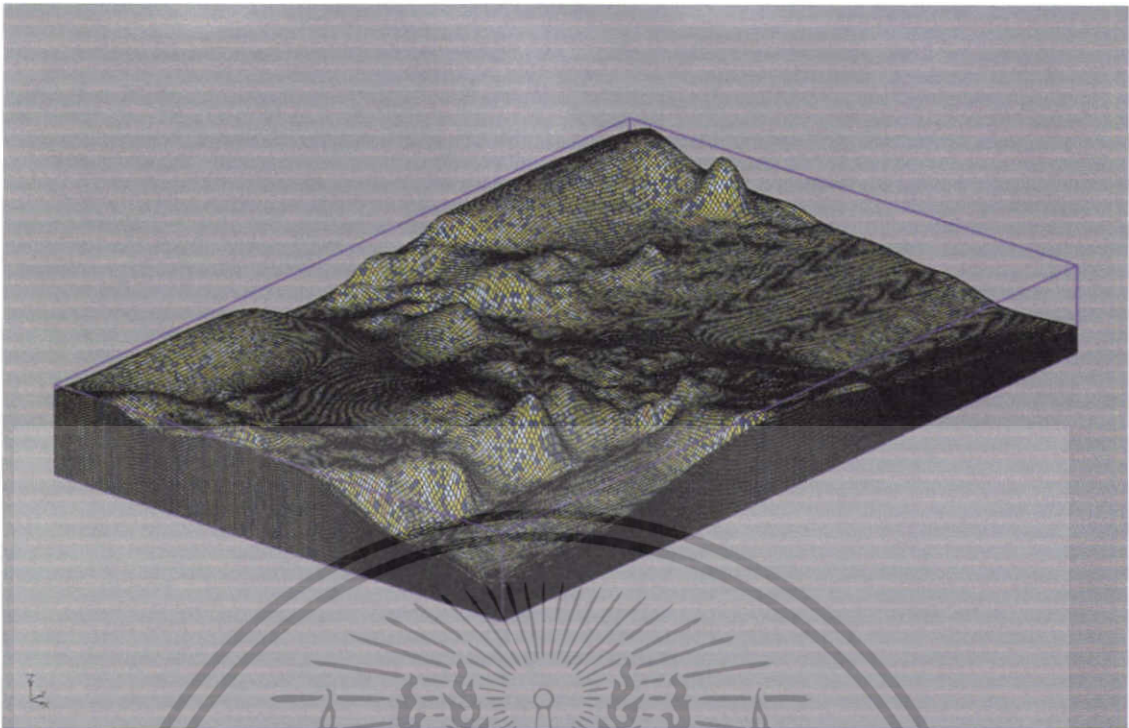


รูปที่ 5.38 แผนที่แสดงการให้น้ำในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีแบบจำลองกรณีที่1 (Hydraulic conductivity)



รูปที่ 5.39 แผนที่แสดงการให้น้ำในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีแบบจำลองกรณีที่2 (Hydrogeologic unit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.40 แผนที่แสดงการให้น้ำในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีแบบจำลองกรณีที่3 (Texture)

กล่าวโดยทั่วไปแล้วแบบจำลองพื้นที่ที่มีศักยภาพการให้น้ำบาดาลซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กรณีดัง ข้อมูลข้างต้นพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีนั้นค่าความถูกต้องของกรณีที่ 1 แบ่งตามคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำ (hydraulics conductivity มีค่าความถูกต้องของแบบจำลองเฉลี่ยที่ 43% กรณีที่ 2 แบ่งตามหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (hydrogeologic unit) มีค่าความถูกต้องของแบบจำลองเฉลี่ยที่ 47% และกรณีที่ 3 แบ่งตามคุณสมบัติการชนิดของดิน (texture) มีค่าความถูกต้องของแบบจำลองเฉลี่ยที่ 42% ซึ่งประเภทของชั้นดิน (categories) ที่ถูกต้องส่วนใหญ่ก็เป็นประเภท “การซึมผ่านดี, Limestone และ Clay” ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 ประเภทนั้นเป็นประเภทที่มีสัดส่วนของชนิดดินมากที่สุดในแต่ละแบบจำลองนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# การวิเคราะห์และสรุปผล

### 6.1 กล่าวนำ

น้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำสำคัญแหล่งหนึ่งที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ แต่เนื่องจากทั้งความไม่แน่นอนและความซับซ้อนของชั้นดินและชั้นหินในพื้นที่ ทำให้การสำรวจแหล่งน้ำใต้ดินด้วยการเจาะบ่อบีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ทางหน่วยงานของรัฐ เช่น กรมทรัพยากรน้ำบาดาล เป็นหน่วยงานโดยตรงที่รับผิดชอบเกี่ยวกับข้อมูลน้ำบาดาลได้ทำการศึกษาและได้ทำแผนที่น้ำบาดาลในประเทศไทยขึ้นมา โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีหน่วยหินทางอุทกวิทยา ซึ่งสามารถบอกศักยภาพการให้น้ำในพื้นที่ต่างๆได้ แต่ไม่สามารถระบุความลึกที่ต้องทำการเจาะเพื่อนำน้ำบาดาลขึ้นมาพัฒนาได้ และมีภาพตัดแสดงการเรียงตัวน้อย จึงได้มีความพยายามในการคิดค้นวิธีการสำรวจ คั่นคว่ำและประยุกต์วิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการใช้วิธี Geostatistic simulation เพื่อสามารถใช้เป็นแนวทางการศึกษาศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลต่อไป

### 6.2 สรุปผลข้อมูลแบบจำลอง

การศึกษาโดยแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 3 กรณีคือ 1)แบ่งตามคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำ (hydraulics conductivity) 2)แบ่งตามหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (hydrogeologic unit) 3)แบ่งตามคุณสมบัติการชนิดของดิน (texture) ผลที่ได้เบื้องต้นสรุปว่าลักษณะชั้นดินระดับต้นที่มีความลึกตั้งแต่ +60.00 ม.รทก. ถึง -60.00 ม.รทก. ลักษณะชั้นดินในพื้นที่ศึกษาถูกแบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ การซึมผ่านดี, การซึมผ่านปานกลาง, การซึมผ่านน้อย และ ชั้นที่บ้ำน้ำ สำหรับกรณีที่ ส่วนกรณีที่ 2 คือ Sedimentary, Sedimentary Rock, Limestone และ Igneous Rock และกรณีที่ 3 Sand, Sand/clay, Clay และStone โดยตรวจสอบจากค่าแบบจำลอง makrov chain ที่มีรูปกราฟที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบภาคสนามจริง แต่เนื่องจากการแบ่งรูปแบบของชนิดดินในแต่ละชั้นดินมีการกระจายตัวที่ไม่ดีพอ ทำให้รูปกราฟแบบจำลองออกมามีค่าคลาดเคลื่อนออกไป โดยประเภทชั้นดิน การซึมผ่านน้อย และ Clay ที่มีมากที่สุดในพื้นที่ศึกษาคือมากกว่าร้อยละ 45 ของชนิดดินทั้งหมดในพื้นที่ ชั้นดินประเภท การซึมผ่านดี, Sand และ การซึมผ่านปานกลาง, Sand/clay ที่เป็นชั้นดินที่มีความสำคัญต่อการเกิดน้ำใต้ดินมีส่วนประกอบประมาณร้อยละ 15 และ 30 ตามลำดับในแต่ละกรณี ส่วนที่เหลือคือ Stone มีค่าการกระจายตัวระหว่างร้อยละ 5-20 ค่า vertical mean length ของชั้นดินทั้ง 4 เรียงตามลำดับคือ การซึมผ่านดี, การซึมผ่านปานกลาง, การซึมผ่านน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ ชั้นตึบน้ำ รวมถึง ชั้นดิน Sand, Sand/clay, Clay และ Stone จะเห็นว่าชั้นดิน Clay เป็นชั้นดินที่มีค่าความต่อเนื่องในแนวแกน Z สูงสุดและค่าการเปลี่ยนแปลงชั้นดินจากชั้นดิน การซึมผ่านน้อย, Sand กลายเป็นชั้นดินตึบน้ำ, clay มีค่ามากที่สุดด้วยและเมื่อนำไปแปลงเพื่อหาค่าความต่อเนื่องที่สูงที่สุดในแนวระนาบ ค่า transition rate ในแนวแกน X,Y พบว่าเมื่อใช้ค่า transition rate ratio (TRR) ที่สูงที่สุดโดยที่ไม่ทำให้ค่า transition rate นอกแนวแกนไม่ติดลบจะสร้างแบบจำลองความแตกต่างของชั้นดินออกมาจำนวน 10 แบบจำลองในแต่ละกรณีรวมทั้งหมด 110 แบบจำลองเสมือนจริง (realization)

และจากการเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองกับข้อมูลจริงพบว่าค่าโดยทั่วไปแล้วแบบจำลองพื้นที่ที่มีศักยภาพการให้น้ำบาดาลซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กรณีดังข้อมูลข้างต้นพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานั้นค่าความถูกต้องของกรณีที่ 1 แบ่งตามคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำ (hydraulics conductivity) มีค่าความถูกต้องของแบบจำลองเฉลี่ยที่ 43% กรณีที่ 2 แบ่งตามหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (hydrogeologic unit) มีค่าความถูกต้องของแบบจำลองเฉลี่ยที่ 47% และกรณีที่ 3 แบ่งตามคุณสมบัติการชนิดของดิน (texture) มีค่าความถูกต้องของแบบจำลองเฉลี่ยที่ 42% ซึ่งประเภทของชั้นดิน (categories) ที่ถูกต้องส่วนใหญ่ก็เป็นประเภท “การซึมผ่านน้อย, Limestone และ Clay” ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 ประเภทนั้นเป็นประเภทที่มีสัดส่วนของชนิดดินมากที่สุดในพื้นที่ศึกษาในแบบจำลองนั่นเอง ส่วนชั้นดินประเภท การซึมผ่านดี, การซึมผ่านปานกลาง, Sedimentary, Sedimentary Rock, Sand, Sand/clay นั้นซึ่งเป็นชั้นดินที่มีศักยภาพในการให้น้ำนั้น กระจายตัวอยู่ทั่วไป การสร้างแบบจำลองพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเก็บกักและให้น้ำใต้ดินโดยใช้วิธี Geostatistic simulation นี้ระบุว่าสร้างแบบจำลองโดยการแบ่งหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาให้ความถูกต้องของแบบจำลองมากที่สุด

รวมถึงจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การให้น้ำ (K) กับค่าอัตราการสูบน้ำต่อระยะน้ำลด (Q/S) พบว่า ในพื้นที่ศึกษา 14 จังหวัดภาคใต้ของประเทศไทย ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\log k - \log (Q/s)$  นั้นสามารถใช้นำไปหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านจากหลุมสูบทดสอบได้ถูกต้องถึง 96.6% และสมการความสัมพันธ์ ที่ใช้สำหรับทำนายค่าคือ  $\text{Log } k = -0.779 + 1.062(\log (Q/S))$

### 6.3 ข้อเสนอแนะ

1) รูปแบบการวิเคราะห์ในกรณีศึกษานี้สามารถนำไปวิเคราะห์ในพื้นที่อื่นๆได้เพิ่มเติมแต่อาจต้องมีการปรับหรือเพิ่มเติมกรณีการแบ่งประเภทของชั้นดินเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความถูกต้องของแบบจำลอง รวมถึงการตรวจสอบแบบจำลองซึ่งเป็นการสุ่มหลุมทดสอบมาเพียง 10% ของหลุมเจาะทั้งหมด ซึ่งหากมีการเพิ่มการสุ่มหลุมทดสอบจะได้ค่าความถูกต้องที่ใกล้เคียงความเป็นจริงของแบบจำลองนั้นๆ

2) ผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นเป็นค่าจากการวิเคราะห์ข้อมูลบ่อเจาะสำรวจดินที่มีอยู่แล้วแต่เนื่องจากข้อมูลมีจำกัดเมื่อเทียบกับพื้นที่ศึกษา ซึ่งในอนาคตควรมีการศึกษา รวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อเป็นข้อมูลปรับปรุงแบบจำลองให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ที่ต้องการศึกษาและได้ผลลัพธ์แบบจำลองหรือแผนที่แสดงศักยภาพการให้น้ำบาดาลที่มีผลลัพธ์ใกล้เคียงกับความจริงที่สุด

3) ในการศึกษาหรือการสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของชั้นดินเพื่อหาศักยภาพการให้น้ำในกรณีนี้เลือกใช้ค่า len length ratio (LLR) ที่เท่ากันแต่ละชนิดของชั้นดิน (categories) แต่ในการสร้างแบบจำลองตัวต่อไปควรมีการลองปรับเปลี่ยนค่า len length ratio (LLR) ของแต่ละชนิดของชั้นดินแต่ละชนิดให้มีค่าที่แตกต่างกันไป แล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2547. รายงานฉบับสมบูรณ์: การศึกษาผลกระทบจากการแก้ปัญหาการใช้ น้ำบาดาลเกินปริมาณสมดุลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2547. โครงการเก็บรวบรวมตัวอย่างน้ำบาดาล และข้อมูลระดับน้ำบาดาล ดำเนินการศึกษาศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล การวิเคราะห์ผลและจัดทำรายงานพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง. กรุงเทพฯ : บริษัท ไอ. อาร์. ดี. ซี. เอ็กพลอเรชั่น แอนด์ มายนิ่ง จำกัด.
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2548. รายงานการศึกษฉบับสมบูรณ์: โครงการศึกษาประเมินศักยภาพแอ่งน้ำบาดาล (แอ่งเชียงใหม่ แอ่งเจ้าพระยาตอนบน และแอ่งแม่กลอง. กรุงเทพฯ: บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด.
- กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2548. รายงานโครงการสำรวจจำแนกแอ่งน้ำบาดาลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลอย่างมีประสิทธิภาพ พ.ศ. 2548. 208 หน้า
- เกรียงศักดิ์ ศรีสุข. 2542. การบริหารจัดการแหล่งน้ำใต้ดิน. ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 65 หน้า.
- เจริญ เพ็ชรเจริญ. 2540. น้ำบาดาล-บ่อน้ำบาดาล. กองควบคุมกิจการน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี. กรุงเทพฯ: พิมพ์ครั้งที่ 3. 150 หน้า.
- วชิ รามณรงค์ และสมชัย วงศ์สวัสดิ์. 2541. ศักยภาพน้ำบาดาลในประเทศไทย. วารสารชมรมนักอุทกวิทยา ปีที่ 2 ฉบับที่ 2-2541. หน้า 240-276.
- วสวัต สามประดิษฐ์, อูมา สิบบุญเรือง. 2551 “การประยุกต์ใช้วิธี STOCHASTIC ทางสถิติธรณีวิทยาในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยเบื้องต้น กรณีศึกษาพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี.” ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13. พัทยา : โรงแรมจอมเทียน ปาล์ม บีช
- สมาคมธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย. 2545. น้ำบาดาล: ธรณีวิทยานำรู้. กรุงเทพฯ : ทีซีจี พรินติ้ง จำกัด. หน้า 71-80.
- Carle, S.F., T-PROGS: Transition Probability Geostatistical Software Version 2.1, Hydrologic Sciences Graduate Group, 1999, 75 p.
- Carle, S.F., A transition probability-based approach to geostatistical characterization of hydrostratigraphic architecture, PhD Dissertation, University of California, Davis.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Department of Mineral Resources, Ministry of Industry and Public Works  
Department, Ministry of Interior the Kingdom of Thailand and Japan  
International Cooperation Agency. 1992. Interim report (1): **The study on  
management of groundwater and land subsidence in the Bangkok  
metropolitan area and its vicinity**. Japan: Tokyo, Kokusai kogyo co., Ltd.
- Deutsch, C.V., and Journel, A. L., 1992, **Geostatistical software library and  
user's guide**: Oxford University Press, New York, 340 p.
- Fetter, C. W. 2001. **Applied hydrogeology**. Prentice-Hall, New Jersey. 4th ed.  
598 p.
- Fletcher G. Driscoll. 1987. **A summary of Groundwater Resources of North  
America: Groundwater and Wells**. Johnson Division, St. Paul, Minnesota.  
2nd edition. P118-149.
- Roert W. Ritzi, David F. Dominic, A. L., 1996. Aquitard Distribution in a Norther  
Reach of the Miami Valley Aquifer, OHIO, USA: Part1. Three-Dimensional  
Geostatistical Evaluation of Physical Heterogeneity. **Hydrogeology Journal**,  
v.4, no.2. P12-23.
- Seeboonruang U., 2006. An Application of Transition Probability Approach to  
Geostatistical Simulation: A case study in the Lower Chao Phraya Basin,  
Thailand. **Regional Conference on Mathermatic, Statistics and  
Application**, Universiti Sains, Penang, Malaysia, June13-15, 2006.
- Sarnpradit W., Seeboonruang U., 2009 . An Application of Stochastic-Geostatistic  
Approach to Groundwater Potential Exploration in the Southen Part of  
Thailand: A Case Study in Suratthani Province., **An International  
Perspective on Environtment ans Water Resource**, Bangkok, Thailand.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table1 ตัวอย่างข้อมูลการแบ่งลักษณะของชั้นดินออกเป็นชุดดิน 4 กลุ่ม(กรณีที1)

Material Category	Texture 1	Texture 2
1 การซึม ผ่านดี	gravel	
	gravel	quartz/sandstone
	gravel	sand
	laterite	
	laterite	gravel
	laterite	sand
	sand	
	sand	gravel
	karst	
	boulder	
2 การซึม ผ่านปาน กลาง	boulder	sand
	boulder	laterite
	sand	clay
	sand	quartz
	gravel	clay
	granite	sand
	rock	sandstone
	sand	sandstone
	limestone	
	organic matter (marsh)	
	diorite	
	quartz	
	quartzite	
	coral	
quartz	sand	
granite	sand	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table1 ตัวอย่างข้อมูลการแบ่งลักษณะของชั้นดินออกเป็นชุดดิน 4 กลุ่ม(กรณีที1) (ต่อ)

Material Category	Texture 1	Texture 2
3 การซึม ผ่านน้อย	gravel	feldspar
	gravel	limestone
	gravel	sandstone
	gravel	siltstone
	gravel	silt
	laterite	clay
	laterite	silt
	limestone	chert
	limestone	sand
	phyllite	sand
	quartz	feldspar
	quartz	limestone
	sand	clay
	sand	limestone
	sand	rock
	sand	silt
	sandstone	
	sandstone	gravel
	sandstone	limestone
	sandstone	quartz
	silt	
	silt	gravel
	silt	quartz
	silt	sand
	tuff	clay
	granite	quartz
	clay	
	clay	bolder
	clay	gravel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table1 ตัวอย่างข้อมูลการแบ่งลักษณะของชั้นดินออกเป็นชุดดิน 4 กลุ่ม(กรณีที1) (ต่อ)

Material Category	Texture 1	Texture 2
3 การซึม ผ่านน้อย	clay	laterite
	clay	limestone
	clay	marl
	clay	quartz
	clay	rock
	clay	sand
	clay	sandstone
	marl	clay
	marl	silt
	chert	
	granite	
	granite	clay
	limestone	clay
	limestone	shale
	sandstone	shale
	silt	
silt	clay	
4 ชั้นที่บ่น้ำ	claystone	
	dolomite	
	mudstone	
	rock	
	rock	clay
	siltstone	
	shale	clay
	shale	silt
	shale	slate
	slate	sand
clay	shale	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table2 ตัวอย่างข้อมูลการแบ่งลักษณะของชั้นดินออกเป็นชุดดิน 4 กลุ่ม(กรณีที2)

Material Category	Texture 1	Texture 2
1 Sedimentary	gravel	
	gravel	quartz/sandstone
	gravel	sand
	laterite	
	laterite	gravel
	laterite	sand
	sand	
	sand	gravel
	karst	
	boulder	
2 Sedimentary Rock	boulder	sand
	boulder	laterite
	sand	clay
	sand	quartz
	gravel	clay
	granite	sand
	rock	sandstone
	sand	sandstone
	limestone	
	organic matter (marsh)	
	diorite	
	quartz	
	quartzite	
	coral	
	quartz	sand
	granite	sand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table2 ตัวอย่างข้อมูลการแบ่งลักษณะของชั้นดินออกเป็นชุดดิน 4 กลุ่ม(กรณีที่2) (ต่อ)

Material Category	Texture 1	Texture 2
3 Limestone	gravel	feldspar
	gravel	limestone
	gravel	sandstone
	gravel	siltstone
	gravel	silt
	laterite	clay
	laterite	silt
	limestone	chert
	limestone	sand
	phyllite	sand
	quartz	feldspar
	quartz	limestone
	sand	clay
	sand	limestone
	sand	rock
	sand	silt
	sandstone	
	sandstone	gravel
	sandstone	limestone
	sandstone	quartz
	silt	
	silt	gravel
	silt	quartz
	silt	sand
	tuff	clay
	granite	quartz
	clay	
	clay	bolder
clay	gravel	

- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table2 ตัวอย่างข้อมูลการแบ่งลักษณะของชั้นดินออกเป็นชุดดิน 4 กลุ่ม(กรณีที2) (ต่อ)

Material Category	Texture 1	Texture 2
3 Limestone	clay	laterite
	clay	limestone
	clay	marl
	clay	quartz
	clay	rock
	clay	sand
	clay	sandstone
	marl	clay
	marl	silt
	chert	
	granite	
	granite	clay
	limestone	clay
	limestone	shale
	sandstone	shale
	silt	
	silt	clay
	4 Igneous Rock	claystone
dolomite		
mudstone		
rock		
rock		clay
siltstone		
shale		clay
shale		silt
shale		slate
slate	sand	
clay	shale	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table3 ตัวอย่างข้อมูลการแบ่งลักษณะของชั้นดินออกเป็นชุดดิน 4 กลุ่ม(กรณีที3)

Material Category	Texture 1	Texture 2
1 Sand	gravel	
	gravel	quartz/sandstone
	gravel	sand
	laterite	
	laterite	gravel
	laterite	sand
	sand	
	sand	gravel
	karst	
	boulder	
2 Sand/clay	boulder	sand
	boulder	laterite
	sand	clay
	sand	quartz
	gravel	clay
	granite	sand
	rock	sandstone
	sand	sandstone
	limestone	
	organic matter (marsh)	
	diorite	
	quartz	
	quartzite	
	coral	
	quartz	sand
granite	sand	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table3 ตัวอย่างข้อมูลการแบ่งลักษณะของชั้นดินออกเป็นชุดดิน 4 กลุ่ม(กรณีที่3) (ต่อ)

Material Category	Texture 1	Texture 2
3 Clay	gravel	feldspar
	gravel	limestone
	gravel	sandstone
	gravel	siltstone
	gravel	silt
	laterite	clay
	laterite	silt
	limestone	chert
	limestone	sand
	phyllite	sand
	quartz	feldspar
	quartz	limestone
	sand	clay
	sand	limestone
	sand	rock
	sand	silt
	sandstone	
	sandstone	gravel
	sandstone	limestone
	sandstone	quartz
	silt	
	silt	gravel
	silt	quartz
	silt	sand
	tuff	clay
	granite	quartz
	clay	
	clay	bolder
clay	gravel	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table3 ตัวอย่างข้อมูลการแบ่งลักษณะของชั้นดินออกเป็นชุดดิน 4 กลุ่ม(กรณีที3) (ต่อ)

Material Category	Texture 1	Texture 2
3 Clay	clay	laterite
	clay	limestone
	clay	marl
	clay	quartz
	clay	rock
	clay	sand
	clay	sandstone
	marl	clay
	marl	silt
	chert	
	granite	
	granite	clay
	limestone	clay
	limestone	shale
	sandstone	shale
	silt	
silt	clay	
4 Stone	claystone	
	dolomite	
	mudstone	
	rock	
	rock	clay
	siltstone	
	shale	clay
	shale	silt
	shale	slate
slate	sand	
clay	shale	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# AN APPLICATION OF STOCHASTIC-GEOSTATISTIC APPROACH TO GROUNDWATER POTENTIAL EXPLORATION IN THE SOUTHERN PART OF THAILAND: A CASE STUDY IN SURATTANI PROVINCE

WASAWAT SARMPRADIT<sup>1</sup>

UMA SEEBOONRUANG<sup>2</sup>

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand  
[s\\_wasawat7@hotmail.com](mailto:s_wasawat7@hotmail.com)<sup>1</sup>  
[kseuma@kmitl.ac.th](mailto:kseuma@kmitl.ac.th)<sup>2</sup>

**Abstract:** Groundwater is an important water resource particularly in southern part of Thailand where surface water resource is minimal. Hence, the groundwater study and exploration in this area, example Suratthani basin, is challenging. Effect of uncertain subsurface textural heterogeneity in study area make difficulties to deal with technique investigating groundwater yield. Conventional technique take very long times and funds. So the objective for this project is characterization of the subsurface textural heterogeneity of the area (short-term objective). One way to deal with this problem is to apply the stochastic-geostatistic approach. The technique focuses on reclassifying the subsurface into four main categories, which area sand, sand/clay, clay and rock. According to the spatial structure of soil texture that collected from 354 boring logs data in the Suratthani area. The reclassified groups will be applied to "TPROGS" to construct many realizations of the subsurface textural description. The results display sills or material proportions are 0.198 for "sand", 0.242 for "sand/clay", 0.350 for "clay" and 0.209 for "rock". "Clay" is the main component in this basin. The vertical mean length of "sand", "sand/clay", "clay" and "rock" are 11.145, 14.937, 22.763, 22.419. So "clay" has the most thickness of layers. There is two to three continuous "sand" and "sand/clay" layers can be identified as interconnected aquifer under the geologic setting and these can be combined as "Suratthani aquifer. This outcome will be beneficial and can be used as a tool for the better groundwater management system.

**Key words:** Geostatistic, Subsurface heterogeneity

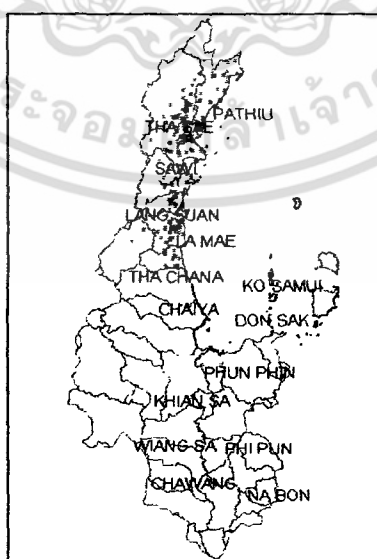
## 1. Introduction

Groundwater occurs almost everywhere beneath the land surface and is used as a resource for water supply everywhere in the world particularly those area with limited surface water supplies. With the increasing of industries and human

evolution, such as pumping and heavy land uses, the groundwater flow system can be changed. Detailed characterization of subsurface heterogeneity can substantially improve reliability of models of groundwater flow and especially contaminant transport, which in turn help to manage and sustain the groundwater resource. Due the highly complicated subsurface environments, several geostatistical models have been implemented in order to fully characterize many subsurface systems. Understanding the groundwater flow system enables scientists to manage the groundwater resource sustainably. Many realizations are potential geologic settings of the aquifer system and highly possible consequences can be explored and assessed. In this case ‘The transition probability/Markov approach’ that can improves consideration of spatial cross-correlations and facilitates the integration of geologic interpretation of subsurface architecture into the model development process. Transition Probability Geostatistic Software (T-PROGS), developed by Carle (1999), offer a transition probability-based geostatistical approach to stochastic condition simulation of spatial distribution of categorical variables is applied here.

## 2. Study Area

The study region covers the areas of two provinces in the southern part of Thailand. These provinces are Suratthani and Chumporn (Figure1). The total area approximately 18,900 square kilometer. The width of the study is in the East-West direction is approximately 110 kilometer and the width in the North-South direction is approximately 150 kilometer. Major River ‘‘Tapee’’, which is located in Suratthani province, runs through the study area from west to east. Topography of the region has mountain area about 68.5% and the plain about 31.5%, major mountain area stays west of study area and lies following north-south line. Under this topography cause a little basin to a big river that every river will flow down in the Gulf of Thailand of the east. Terrains in the east of region height are varying from about 20-30 m. above mean sea level. The boundary to the East is the Gulf of Thailand, while other directional boundaries are the nearby provinces.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Figure1. Location of Lithologic logging

Geologic setting in this area originates from rock in the great Precambrian that consists of nice rock and mica-sheets and in the great Paleozoic that compose of sandstone; limestone alternating with powder sandstone, shale, and the shale mixing the pebbles and thick limestone. There is also fossil which, approximately deposited since the great Cambium, Ordovician, Silurian-Devonian until Permian age. The rocks in the great Mesozoic that consist of the sandstone, powder sandstone and the shale in Quaternary have been heavily eroded which results in many layers of sedimentary sand and layer of igneous rock.

### 3. Background Theory (Carle, 1999)

The purpose of a geostatistical modeling is to enable implementation of a probability approach to geostatistical simulation of categorical variable. T-PROGS offer a transition probability-based geostatistical approach to stochastic *conditional simulation* of spatial distribution of categorical variables. T-PROGS can be used to analyze spatial variability and generate *realizations* of geologic units of *facies*. Importantly, the realizations attempt to honor existing data and display consistency with the spatial variability evident in data or other geologic observations.

#### 3.1 The transition probability approach

Some key answers to the problems of practical application of categorical geostatistics can be found by linking model parameters to basic observable attributes, which for categorical variables, are volumetric proportions, mean lengths, juxtapositional tendencies, anisotropy directions, and spatial variations. In this case, T-PROGS was developed to encourage infusion of subjective interpretation by simplifying the relationship between observable attributes and model parameters. Understanding the impacts of model parameters will improve condition simulation results whether data are abundant or sparse. The transition probability  $t_{jk}(h)$  is defined by

$$t_{jk}(h) = \Pr\{k \text{ occurs at } x+h \mid j \text{ occurs at } x\} \quad (3.1)$$

where  $x$  is a spatial location,  $h$  is the lag (separation vector), and  $j, k$  denote mutually exclusive categories such as geologic units or facies. The transition probability approach empowers the geostatistic method by considering all juxtapositional (cross-correlation) information, which has been otherwise considered tedious and impractical in the Variogram approach (Deutsch and Journel, 1992). The transition probability allow for the possibility of asymmetry,

$$t_{jk}(h) \neq t_{jk}(-h) \quad (3.2)$$

Considering that many geologic systems display asymmetries such as fining or coarsening-upward tendencies, the transition probability can be a more informative and diagnostic statistic than the conventional indicator Variogram.

### 3.2 Markov chain analysis

Markov chain offers an interpretable and mathematically simple yet powerful stochastic model for categorical variables. In time-series applications, the markov chain model assumes, in theory that “*the future depends on the present and not the past*”. Analogously for 1-D spatial applications, the markov chain assumes that the spatial occurrences depend entirely on the nearest data.

*Spatial Markov chain.* A spatial dependency can be incorporated into a Markov chain analysis. As such markov chain can be used as geostatistical models of spatial variability. Most geological applications of spatial markov chain have considered vertical (z)-direction transition probabilities at a fixed sampling interval (discrete lag), ( $h_z$ ). In one-dimension, along the vertical (z), the complete set of spatial auto-cross correlation for K categories can be represented by K x K matrix

$$T(h_z) = \begin{pmatrix} t_{11}(h_z) & \cdots & t_{1K}(h_z) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{K1}(h_z) & \cdots & t_{KK}(h_z) \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

The diagonal entries represent the transition probabilities from one category to itself, and the off-diagonal entries represent the transition probability from one category to another. As a matter of basic probability theory row sums in any transition probability matrix should equal unity

$$\sum_{k=1}^K t_{jk}(h) = 1 \quad (3.4)$$

And, assuming stationary, the column should be

$$\sum_{k=1}^K p_j t_{jk}(h) = p_k \quad (3.5)$$

Where  $P_j$  denotes the proportion. And then in theory, the discrete-lag markov chain model assumes that the spatial variability can be characterized entirely by the transition probability matrix at a fixed lag interval. Mathematically, the markov property is evident when  $T(h_z)$  depends entirely on transition rates. A markov chain model applied to one-dimensional categorical data in a direction  $\theta$  assumes the matrix exponential form

$$T(h_\theta) = \exp(R_\theta h_\theta) \quad (3.6)$$

Where  $h_\theta$  denotes the lag in the direction  $\theta$  and  $R_\theta$  denotes the transition rate matrix

$$R_\theta = \begin{pmatrix} r_{11,\theta} & \cdots & r_{1K,\theta} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{K1,\theta} & \cdots & r_{KK,\theta} \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

With entries  $r_{jk,\theta}$  representing the rate of change from category j to category k per unit length in the direction  $\theta$  (Krumbein, 1968). Typically, development of the markov chain model of spatial variability focuses on establishing the entries in the transition rate matrix. Transition rates infers as a slope or the tangent line of transition

probability curve as lag approach zero. The diagonal entries are negative and off-diagonal entries are non-negative, which ensures that the sum of all rates in the same category (row) is equal to zero.

#### 4. Simulation Procedure

The data of boring logs in the study area is obtained from the Department of Groundwater Resource (Thailand). The logging information describes the subsurface lithology as mixing of several soil textures. For example, the soil at the certain depth can be explained as poorly graded sand with clay or as filled deposits. The data is originally in the pdf format and then is rearranged into a useable format. The total numbers of borings logs are 354 logs distributed in the study area particularly in Suratthani province as shown in the figure1. The depths of the available logs are varied from as shallow as 12.00 meter to as deep as 140.00 meter. The average depth of the boring logs is approximately 41.96 meter.

Boring log data provide details on soil textural profiles. This descriptive information of soil textures is first rediscrbed as a main texture and secondary texture. Then, the sets of these organized textures are grouped together according to their ease of hydraulics conductivity. For example, the soil textures with main texture as gravel or sand and second texture as other porous texture, e.g. sand or broken rock, are sorted together and classified as material category1 called “sand”. When the soil consists predominantly of a porous texture and to the lesser extent other less porous medium such as clay or silt, the type of this soil is characterized as material category2 and is named “sand/clay”. And then, common texture has less degree of hydraulics conductivity and minor particles are made of porous soil, the soil is classified as material category3 and is called “clay”. Material category4 is called “rock” consists of many type of stone and minerals. Figure2 display locations of the boring logging and soil textural distribution in the area.

The study area is discreted into 100 x 150 x 50 grid cells. Size of the grid cell is 1000 x 1000 x 2 m<sup>3</sup>. The reason for the refined small layering system is that the actual vertical heterogeneity will be captured accurately.

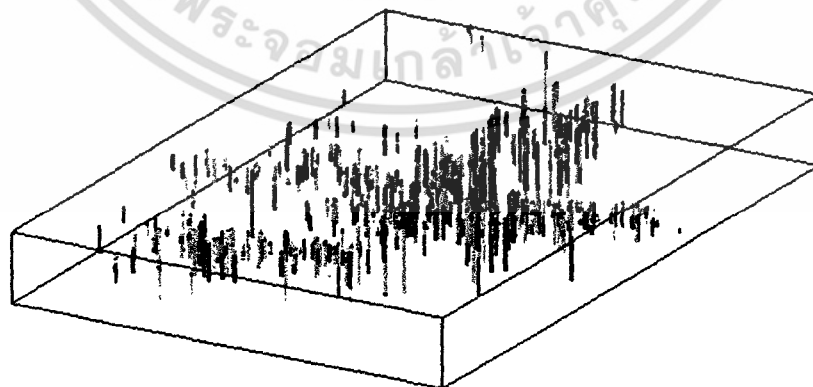


Figure 2. Lithological distribution data in the study area.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The reclassified log data and their locations are imported into T-PROGS. There are four random variables, which are “sand”, “sand/clay”, “clay” and “rock”. The simulation results are provided below.

## 5. Simulation Results

“Clay” category is selected as the background category according to geologic interpretation as the category that fills in the space not occupied by other categories because “clay” is the predominant texture in the basin. Figure 3 compares the Markov chain models to the measured data. The sills or material proportions are 0.198 for “sand”, 0.242 for “sand/clay”, 0.350 for “clay” and 0.209 for “rock”. “Clay” is the main component in this basin. The vertical mean length of “sand”, “sand/clay”, “clay” and “rock” are 11.145, 14.937, 22.763, 22.419. So “clay” has the largest thickness of layers.

The vertical Markov chain model is obtained from the boring log information by trial and error method. Proportions and lens lengths of all materials except the selected background material, which is clay, are the independent parameters and varied until the measured transition rates match the Markov chain model. Table 1 shows Markov chain model parameters and Figure 3 displays the measured transition rates and Markov chain models between all materials. The slope of the Markov chain model near zero lag defines the transition rate and the flat part of the models in a column defines the material proportion.

The dip and strike Markov chain models are established using the concept of lens length ratio. This is because the borehole data are not sufficiently dense in these directions to develop meaningful data. Therefore, Walter's Law is applied in the modeling to develop the strike and dip Markov chain. Walter's Law states that vertical successions of deposited facies represent the lateral succession of environments of deposition. In other words, the transition rates in the horizontal directions can be derived from the transition rates in the vertical direction. To do so, two significant assumptions are made. The first assumption is that the proportions are the same in all three directions. The second assumption is that the lens length ratios of all materials are equivalent. These ratios represent the lens length in the horizontal direction divided by the lens length in the vertical direction. In addition, lens length ratios are equivalent to the transition rate ratios. For this study, the vertical transition rate ratio for all materials is used to define the transition rate matrix in the horizontal direction and thus horizontal lens length. The transition rate ratio is assumed to be 15. Table 2 displays strike and dip Markov chain model in transition rate ratio of 15.

Table 1 Vertical Markov chain

Material	Proportion	Lens Length	Transition Rate			
sand	0.1981	11.145	-0.0897	0.0445	0.0352	0.0099
sand/clay	0.2421	14.936	0.0316	-0.0669	0.0289	0.0063
clay	0.3503	22.763	0.0089	0.0183	-0.0439	0.01667
stone	0.2095	22.418	0.0333	0.0045	0.0066	-0.0446

Table 2 Strike and dip Markov Chain Models with rate ratio of 15

Material	Proportion	Lens Length	Transition Rate			
sand	0.1981	167.18082	-0.00598	0.00297	0.00235	0.00066
sand/clay	0.2421	224.054085	0.00211	-0.00446	0.00193	0.00042
clay	0.3503	341.446605	0.00059	0.00122	-0.00293	0.00111
stone	0.2095	336.281655	0.00222	0.00030	0.00044	-0.00297

Once the 3-D transition probability model is obtained, the conditional simulation generates five realizations of the geologic setting. Figure 4 displays the five realizations of subsurface textural heterogeneity with the transition rate ratio of 15 in the cross sectional direction at the grid I=150. The light color represents sand and sand/clay while grey color represents clay and dark color displays rock deposits. The vertical directional view is enlarged by 150 times. The cross-sections reveal 2 layers of aquifer, which can be identified as isolated continuous sand deposits, that spread away all in the basin. However, this not quite obvious yet. Further study must verify this finding.

## 6. Summary

Subsurface soil textures are classified into four categories and these are “sand”, “sand/clay”, “clay” and “rock”. The main component is clay, which make up of more than 35% of all textures. “Sand” which is the main groundwater paths, is composes of approximately 20% and the reminders are “sand/clay” and “rock”. The vertical mean lengths of these particular materials are 11.145, 14.937, 22.763, and 22.419 m. for “sand”, “sand/clay”, “clay” and “rock”. “Clay” material is the most continuous in the vertical direction than other materials. The vertical transition rate of “sand” to “sand/clay” shows the highest value. The transition rates for the dip and strike directions are derived from the vertical transition rate by applying Walter’s Law. Walter’s Law states that vertical successions of deposited facies represent the lateral succession of environments of deposition.

The geologic setting with rate ratio of 15 is constructed and displays with 5 realizations or equally likely heterogeneous subsurface. There is two to three continuous “sand” and “sand/clay” layers can be identified as interconnected aquifer under the geologic setting and these can be combined as “Suratthani aquifer”

The next step of this project is identification of the groundwater yield capacity of the southern Thailand (long-term objective).

## 7. Reference

- [1] Carle, S.F., 1999, T-PROGS: Transition probability Geostatistical Software.
- [2] Department of Groundwater Resource, Minister of Natural Resource and Environment (Thailand) 2003. The study on the application of the zoning system to the complete groundwater management, by Panya Consultants Co. LTD.

- [3] Department of Groundwater Resource, Minister of Natural Resource and Environment (Thailand) 2004, the simulation of groundwater condition in the lower central plain by numerical modeling, by Metrix Associate Co.LTD
- [4] Deutsch, C.V., and Journel, A. L., 1992, Geostatistical software library and user's guide: Oxford University Press, New York, 340 p.

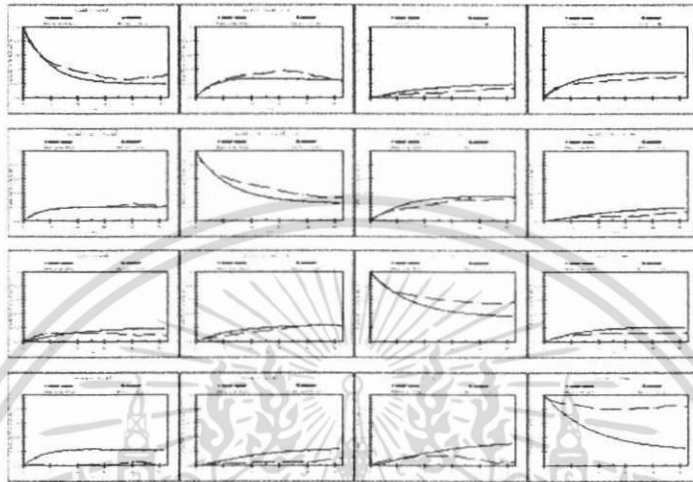


Figure3 displays the measured transition rates and markov chain models between all materials

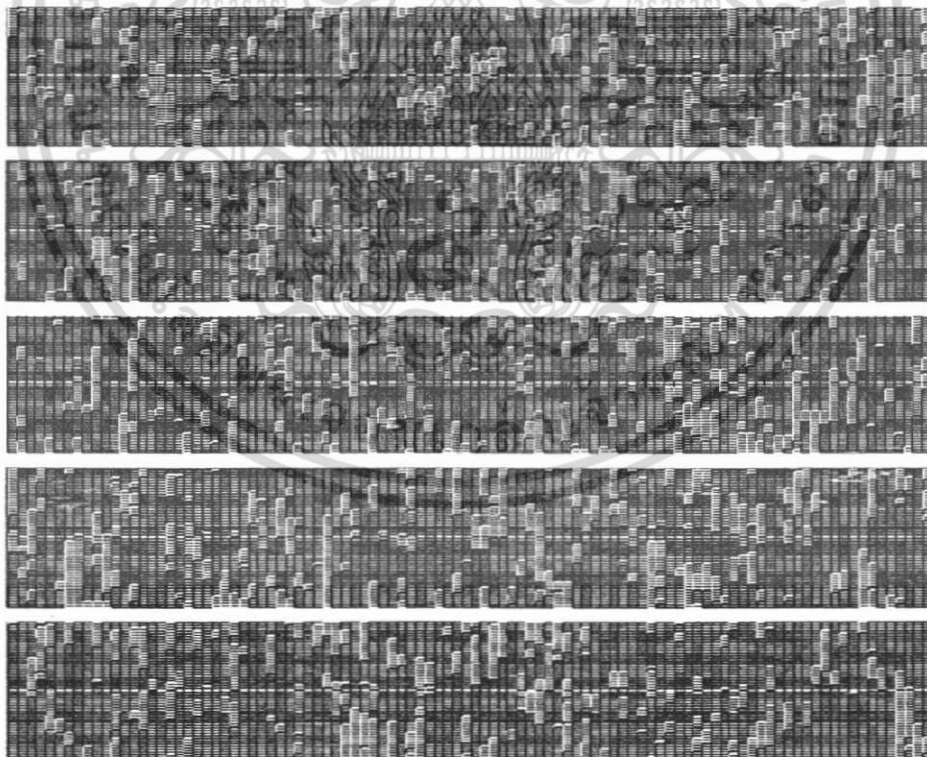


Figure4 displays the five realizations of subsurface textural heterogeneity with the transition rate ratio of 15 in the cross sectional direction at the grid I=150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การประยุกต์ใช้วิธี STOCHASTIC ทางสถิติธรณีวิทยาในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยเบื้องต้น  
กรณีศึกษาพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี

AN APPLICATION OF STOCHASTIC-GEOSTATISTIC IN THE SOUTHERN PART OF  
THAILAND : A CASE STUDY IN SURAT THANI PROVINCE

วสวัต สามประดิษฐ์ (Wasawat Sarmpradit)<sup>1</sup>

อูมา สีนุญเรือง (Uma Seeboonruang)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

<sup>2</sup> อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง kseuma@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ: ทรัพยากรน้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำสำคัญแหล่งหนึ่งที่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในพื้นที่ทางตอนใต้ของประเทศไทยซึ่งมีปริมาณแหล่งน้ำผิวดินค่อนข้างต่ำ ดังนั้นควรมีการศึกษาและทำการสำรวจเพื่อประเมินศักยภาพการให้น้ำและคุณสมบัติของแหล่งน้ำใต้ดินหลายแห่ง ในงานวิจัยนี้เองสุราษฎร์ธานีจึงเป็นกรณีศึกษาตัวอย่างที่จะนำไปประยุกต์กับแอ่งน้ำอื่นๆต่อไป เนื่องจากทั้งความไม่แน่นอนและความซับซ้อนของชั้นดินและชั้นหินในพื้นที่ทำให้การสำรวจแหล่งน้ำใต้ดินด้วยการเจาะป้อมมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก เพื่อลดความเสี่ยงต่อการพยากรณ์ การรวบรวมข้อมูลในพื้นที่แอ่งน้ำใต้ดินสุราษฎร์ธานีจากบ่อสำรวจจำนวน 354 บ่อ อาทิเช่น ข้อมูลลักษณะรูปแบบดิน การเรียงตัวของชั้นดินจะสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการกำหนดพื้นที่ให้น้ำได้โดยการประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณทางสถิติธรณีวิทยาที่เรียกว่า Stochastic simulation หรือแบบจำลองทางสถิติธรณีวิทยาเพื่อแสดงข้อมูลการเรียงตัวของชั้นดินออกมาเป็นแบบจำลองซึ่งเป็นวัตถุประสงค์แรกของการศึกษางานวิจัยนี้ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นนี้จะนำมาใช้แบบจำลอง "TPROGS" ซึ่งทำการสร้างแบบจำลอง 3 มิติแสดงการเรียงตัวของชั้นดินในพื้นที่ และนำข้อมูลการเรียงตัวของชั้นดินมาใช้วิเคราะห์ถึงศักยภาพการให้น้ำใต้ดินในพื้นที่ต่อไป

**ABSTRACT:** Groundwater is an important water source particularly in southern part of Thailand where surface water resource is minimal. Therefore, the groundwater study and exploration in this area, example Suratthani basin, is challenging. Effect of uncertain subsurface textural heterogeneity in study area take difficulties to deal with technique investigating groundwater yield that take very long times and funds. One way to deal with this problem is to apply the stochastic-geostatistic approach. The technique focuses on reclassifying the subsurface into four groups according to the spatial structure of soil texture that collected from 354 boring logs data in the Suratthani area. The reclassified groups will be applied to "TPROGS" to construct many realizations of the subsurface textural description. This outcome will be beneficial and can be used as a tool for the better groundwater management system.

**KEYWORDS:** Groundwater exploration, Geostatistic, Subsurface heterogeneity.



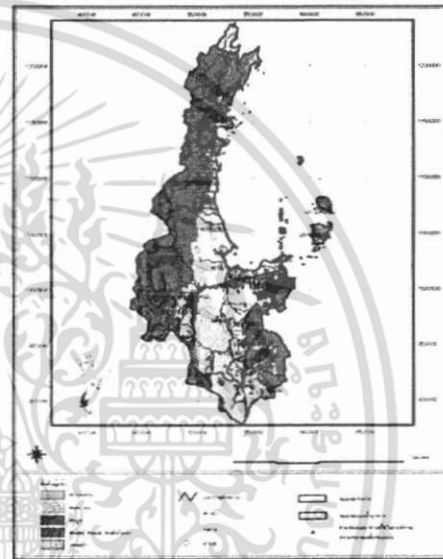
1. บทนำ

น้ำใต้ดินซึ่งมีต้นกำเนิดจากบริเวณพื้นที่ภายใต้ชั้นผิวดินเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญแหล่งหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในพื้นที่อันประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำผิวดิน และจากการเจริญเติบโตของพื้นที่เมืองต่างๆที่เพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ต่อการใช้น้ำใต้ดิน อาทิเช่น การสูบน้ำใต้ดินไปใช้ การใช้พื้นที่บางเกินไปอันจะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างระบบการไหลของน้ำใต้ดิน ดังนั้นการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับระบบการไหลของน้ำใต้ดินจะส่งผลให้สามารถจัดการการใช้ทรัพยากรน้ำใต้ดินอย่างยั่งยืนได้ โดยในพื้นที่ทางตอนใต้ของประเทศไทยซึ่งมีปริมาณแหล่งน้ำผิวดินค่อนข้างต่ำ แหล่งน้ำใต้ดินเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อนำมาใช้ ดังนั้นการศึกษานี้และสำรวจเพื่อประเมินศักยภาพการให้น้ำและคุณสมบัติของแอ่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาแห่งสุราษฎร์ธานีจึงเป็นกรณีตัวอย่างที่จะนำไปประยุกต์กับแอ่งน้ำอื่นๆต่อไป แต่เนื่องจากทั้งความไม่แน่นอนและความแตกต่างของชั้นดินและชั้นหินในพื้นที่และการสำรวจแหล่งน้ำใต้ดินทำให้การเจาะบ่อนสำรวจข้อมูลลักษณะความแตกต่างของชั้นดินนั้นจะมีความใช้ร่วมที่สุ่มยาก เพื่อลดความเสี่ยงและเพิ่มประสิทธิภาพการสำรวจ การรวบรวมข้อมูลต่างๆ อาทิเช่น ข้อมูลลักษณะรูปแบบดิน การเรียงตัวของชั้นดินจะสามารถช่วยเพิ่มข้อมูลในการกำหนดจุดพื้นที่ให้น้ำใต้ดินโดยการประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณทางสถิติหรือวิธีที่เรียกว่า Stochastic simulation แสดงข้อมูลการเรียงตัวของชั้นดินซึ่งเป็นวัตถุประสงค์แรกของการศึกษาวิจัยนี้ ก่อนที่นำข้อมูลการเรียงตัวของชั้นดินไปหาความสัมพันธ์กับข้อมูลลักษณะรูปแบบดิน ค่าความต้านทานไฟฟ้าในดิน ค่าการซึมผ่านของน้ำในแต่ละชั้นดินเพื่อหาศักยภาพของพื้นที่ที่ให้น้ำใต้ดินและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินซึ่งมีผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำใต้ดินจากการปนเปื้อน ข้อมูลการศึกษาขั้นสุดท้ายจะแสดงในรูปแบบสามมิติแบบจำลองแสดงความสามารถในการให้น้ำแบบเสมือนจริงเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นฐานข้อมูลและเครื่องมือในการบริหารจัดการระบบน้ำใต้ดินในพื้นที่

2. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่แอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานี ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดชุมพร มีเนื้อที่รวมทั้งสิ้นประมาณ 18,900 ตร.กม. ลักษณะภูมิประเทศมีพื้นที่ภูเขาประมาณ 68.5% และที่

ราบประมาณ 31.5% พื้นที่ภูเขาส่วนใหญ่อยู่ทางทิศตะวันตกของแอ่ง ทอดตัวตามแนวเหนือ-ใต้ ลักษณะภูมิประเทศดังกล่าวก่อให้เกิดลุ่มน้ำน้อยใหญ่ โดยแม่น้ำลำคลองทุกสายจะไหลลงสู่อ่าวไทยทางด้านทิศตะวันออกเกิดเป็นที่ราบชายฝั่งทะเล และที่ราบลุ่มแม่น้ำบริเวณกลางพื้นที่ มีระดับความสูงจากน้ำทะเลปานกลาง 20-30 เมตร [1]



ภาพที่ 1 พื้นที่ตามแอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานี แอ่งน้ำบาดาลสุราษฎร์ธานี ประกอบด้วยชั้นดินหินชนิดต่างๆ หลายชนิด ทั้งที่เป็นตะกอนหินร่วนและหินแข็ง มีอายุแตกต่างกันไปตามเวลาทางธรณีกาล ดังภาพที่ 1 และมีโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เอื้ออำนวยต่อคุณสมบัติในการเป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลปรากฏอยู่ทั่วไป เช่น รอยเลื่อน (Faults) รอยแตก (Fractures) รอยคดโค้งรูปประทุนคว่ำ (Anticlines) และรอยคดโค้งรูปประทุนหงาย (Synclines) เป็นต้น [2]

3. ทฤษฎีการวิจัย

วัตถุประสงค์การสร้างแบบจำลองโดยวิธีสถิติหรือวิธีที่เรียกว่า การประยุกต์เอาความน่าจะเป็นเข้ามาช่วยในการหาการเปลี่ยนแปลงค่าลักษณะของชั้นดิน โปรแกรม T-PROGS [3] มีหลักการทำงานที่ใช้การเปลี่ยนแปลงของความน่าจะเป็นที่อยู่บนพื้นฐานของวิธีสถิติหรือวิธีที่เรียกว่า Stochastic condition simulation และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงข้อมูลตามระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พร้อมทั้งสร้างลักษณะจุดข้อมูลทางธรณีวิทยาที่เป็นจริงออกมา เพื่อตรวจสอบจุดข้อมูลทางอุทกวิทยาที่ได้จากการสร้างแบบจำลองกับจุดข้อมูลทางอุทกวิทยาที่ได้จากการสำรวจจริง การทำงานของโปรแกรม T-PROGS มีขั้นตอนที่ต้องใช้ความรู้ทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

3.1 The Transition Probability Approach

วิธีการหาค่าของพารามิเตอร์สำหรับปัญหาทางด้านสถิติธรณีวิทยาสามารถหาได้จากการใช้ความสัมพันธ์ของตัวแปร (Linking model parameter) ในแบบจำลองเทียบกับค่าลักษณะที่สำรวจได้ของปัจจัยสำรวจ (Basic observation attribute) เช่นค่าการเปลี่ยนแปลงลำดับชั้นต่างๆที่ประกอบด้วย

- ค่าสัดส่วนโคปริมาตรของดิน (Volumetric proportions)
- ค่าความต่อเนื่องของความหนาชั้นดิน (Mean length)
- ค่าแนวโน้มการเกิดลักษณะชั้นดินในบริเวณใกล้เคียง (Juxtaposition tendencies)
- ค่าความแตกต่างของชั้นดินในทิศทางต่างๆ (Anisotropy direction)
- ค่าการเปลี่ยนแปลงของดินตามระยะทาง (Spatial variations of the above)

ซึ่งค่า The transition probability  $t_{jk}(h)$  แสดงในรูป

$$t_{jk}(h) = \Pr\{k \text{ occurs at } x+h | j \text{ occurs at } x\} \quad (1)$$

เมื่อค่า  $x$  คือตำแหน่งที่ตั้งของระยะ  $h$  คือระยะห่างและ  $j, k$  แทนค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องเช่นลักษณะของชั้นดินเป็นดิน โคล  $t_{jk}(h)$  มีหมายถึงอัตราความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงชั้นดิน  $j$  ที่ระยะ  $x$  ไปเป็นชั้นดิน  $k$  ที่ระยะ  $x+h$

The transition probability เป็นการนำหลักการทางสถิติธรณีวิทยาที่พิจารณาค่าเฉลี่ยเพื่อข้อมูลความสัมพันธ์ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน The transition probability ใช้หลักความเป็นไปได้ของความเป็นสมมาตร  $t_{jk}(h) \neq t_{kj}(-h)$  คืออัตราความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงชั้นดินในแต่ละทิศทางที่ไม่เท่ากัน และพิจารณาลักษณะทางธรณีวิทยาหลายๆจุดที่แสดงความไม่สมมาตรเช่น แนวโน้มการกระจายตัวของชั้นดินซึ่งมีความสะดวกและแตกต่างจากวิธี Vanogram approach (Deutsch and Journel, 1992) [4]

3.2 Markov Chain Analysis

Markov Chain เป็นวิธีที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายให้เป็นแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงลักษณะชั้นดินแบบ Stochastic ที่มีประสิทธิภาพสูง อย่างเช่นการวิเคราะห์ผลของระยะห่างใน 1 มิติจะมีข้อสมมุติว่าผลที่ตำแหน่งนี้จะขึ้นอยู่กับผลของข้อมูลที่ตำแหน่งใกล้เคียงที่สุด

Spatial markov Chain มักพิจารณาค่า transition probability ในทิศทางแกน  $z$  ณ ช่วงระยะห่างคงที่หรือระยะห่างที่ไม่ต่อเนื่องกัน ( $h_z$ ) ในแบบ 1 มิติตามทิศทางในแกน  $z$  รูปของเมตริกที่สัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์สำหรับ  $K$  ตัวแปรจะแสดงในรูปเมตริก  $K \times K$

$$T(h_z) = \begin{pmatrix} t_{11}(h_z) & \dots & t_{1K}(h_z) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{K1}(h_z) & \dots & t_{KK}(h_z) \end{pmatrix} \quad (2)$$

โดยที่  $t_{kk}(h_z)$  หมายถึงอัตราความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงชั้นดิน  $k$  ไปยังชั้นดิน  $k$  ซึ่งจะมีระยะห่างในแกน  $z$  เท่ากับ  $h$  ค่าในแนวเส้นทแยงมุมแสดงค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนจากชั้นดิน  $k$  เป็นชั้นดิน  $k$  ชนิดเดียวกันและในแนวอื่น ๆ คือการเปลี่ยนจากชั้นดิน  $j$  เป็นชั้นดิน  $k$  เป็นต้น ลากความรูทางทฤษฎีความน่าจะเป็นผลรวมของแต่ละแถวในเมตริกจะ

$$\sum_{k=1}^K t_{jk}(h) = 1 \quad (3)$$

และสมมุติให้มีค่าคงที่จะได้ผลรวมของแต่ละแถวในเมตริกคือ

$$\sum_{j=1}^K p_j t_{jk}(h) = p_k \quad (4)$$

ในทางทฤษฎีการระยะห่างที่ไม่ต่อเนื่องกัน (Discrete lag) ในแบบจำลอง Markov Chain สามารถกำหนดให้เป็นค่าคงที่ได้ และในทางคณิตศาสตร์เมื่อกำหนดให้  $T(h)$  เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลง (Transition Rate) เขียนในรูปแบบจำลอง Markov Chain ใน 1 มิติและในทิศทาง  $\theta$  ได้ดังนี้

$$T(h_\theta) = \exp(R_\theta h_\theta) \quad (5)$$

โดย  $h_\theta$  แทนค่าระยะห่างในแนวแกน  $\theta$  และ  $R_\theta$  คือเมตริกอัตราการเปลี่ยนแปลง



$$R_{ij} = \begin{pmatrix} r_{11,0} & \dots & r_{1k,0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k1,0} & \dots & r_{kk,0} \end{pmatrix} \quad (6)$$

โดยที่  $r_{k,j,0}$  แทนค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงจากตัวแปร  $j$  ไปสู่ตัวแปร  $k$  ต่อระยะเวลาในทิศทาง  $\theta$  (Krumbein, 1968)(5) และด้วยการพัฒนาแบบจำลอง Markov Chain ในเรื่องการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับระยะเวลานั้นไปที่ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงซึ่งคือค่าความชันของกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงและระยะเวลา โดยค่าในเส้นทแยงมุมจะมีค่าเป็น 0 และค่านอกจากเส้นทแยงมุมนั้นจะมีค่าเป็นบวก และผลบวกของอัตราเปลี่ยนแปลงในแถวเดียวกันจะมีค่าเท่ากับศูนย์

4. ระเบียบวิธีวิจัย

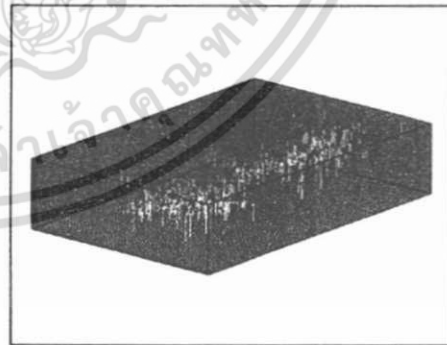
ข้อมูลลักษณะการเรียงตัวของชั้นดินจากบ่อสำรวจในพื้นที่ศึกษาได้รับจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ข้อมูลการเรียงตัวของชั้นดินอธิบายถึงส่วนประกอบของชั้นดินที่ปะปนกันหลายชนิด อาทิเช่น ชั้นดินในระดับลึก 5-8 เมตรจะเป็นลักษณะตะกอนทรายหยาบ ชั้นดินในระดับลึก 0-20 เมตรจะเป็นลักษณะแบบดินตะกอนร่วนที่มีกรวดปะปนของเศษหินแตก ความลึก 20-60 เมตรชั้นตะกอนที่เกิดจากทรพิดของทางน้ำเช่น กรวด ทรายชั้นน้ำ หินตะกอนเนื้อผสมออก โทรพอัสซิด-จูเรตติก และระดับลึก 60-120 เมตรเป็นหินอครีทและหินแปร [5] ข้อมูลดินแบบอยู่ในรูปไฟล์ PDF และนำมาจัดเรียงรูปแบบใหม่ให้สามารถใช้งานได้ โดยรวมทั้งหมดแล้วมีจำนวนบ่อสำรวจจำนวน 354 บ่อกระจายในพื้นที่ที่ทำการศึกษาคือจังหวัดสุราษฎร์ธานีดังรูปที่ 1 ความลึกของบ่อสำรวจในพื้นที่ที่มีค่าตั้งแต่ความลึกเริ่มต้นที่ 10.50 เมตรจนถึงระดับความลึกที่ 126 เมตรและมีระดับความลึกเฉลี่ยที่ 40 เมตร

ข้อมูลบ่อสำรวจแบ่งรายละเอียดของลักษณะชั้นดินออกเป็นแต่ละชั้นซึ่งถูกนำมาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนองค์ประกอบหลักและส่วนองค์ประกอบรอง หลังจากนั้นชุดของข้อมูลที่ถูกแบ่งจะถูกนำมาทำการจัดกลุ่มใหม่โดยใช้คุณสมบัติทางด้านค่าการซึมผ่านของน้ำ (Hydraulic conductivity) ซึ่งแสดงผลออกมาเป็นตารางดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงค่าตัวแปรในแนวตั้งในแบบจำลอง markov chain

Texture Category	Main Texture	Second Texture
1.sand	กรวด ทราย	วัสดุที่มีทรุนอื่น
2.sand/clay	ทรายหรือดินตะกอน	วัสดุที่มีทรุนน้อย
3.clay	ดินเหนียว	วัสดุที่มีทรุนน้อย
4.stone	หินและแร่ชนิดต่างๆ	วัสดุอื่นๆ

โดยที่ชุดลักษณะของชั้นดินที่ 1 ส่วนองค์ประกอบหลักคือ กรวดหรือทรายและส่วนองค์ประกอบรองเป็นวัสดุทรุนชนิดอื่นเช่น ทรายหรือเศษหินแตกจะถูกนำมารวมด้วยกันมีชื่อว่าชั้น sand และชุดที่ 2 เมื่อองค์ประกอบหลักของชั้นดินเป็นทรายหรือกรวดแล้วองค์ประกอบรองหลักของชั้นดินจะเป็นดินเหนียวหรือดินทรายน้อยเช่น ดินเหนียวหรือตะกอนชั้นดินมีชื่อว่า sand/clay ดินไปคือชั้นดินประเภทที่ 3 เป็นชั้นที่มีองค์ประกอบของดินที่มีค่าการซึมผ่านของน้ำน้อยเรียกว่าชั้นดินประเภท clay และชั้นสุดท้ายคือชั้นดินประเภทที่ 4 เป็นชั้นดินที่ประกอบด้วยวัสดุประเภทหินและแร่ธาตุชิ้นส่วนใหญ่มี่ชื่อว่า stone รูปที่ 2 แสดงค่าหมายของบ่อสำรวจและการกระจายตัวของชั้นดินในพื้นที่ศึกษาซึ่งมีความชันค่อนข้างน้อย พื้นที่ศึกษาถูกแบ่งออกเป็นตารางขนาด 320 x 300 x 60 ช่อง พื้นที่แต่ละช่องมีขนาด 500 x 500 x 4 ตารางเมตร โดยส่วนพื้นที่แบ่งขนาดชั้นในแนวแกน Z มีขนาดเล็กเพื่อเพิ่มความถูกต้องของข้อมูลในกรณีแบ่งชั้นดิน ซึ่งข้อมูลที่ทำการจัดแยกประเภทไว้พร้อมค่าหมายของบ่อสำรวจจะนำเข้าสู่โปรแกรม TPROGS ซึ่งที่ศึกษาแปรแบบสุ่มจำนวน ตัวคือ sand, sand/clay, clay, stone ซึ่งผลขอแบบจำลองเป็นไปตามหัวข้อผลทรวีธี



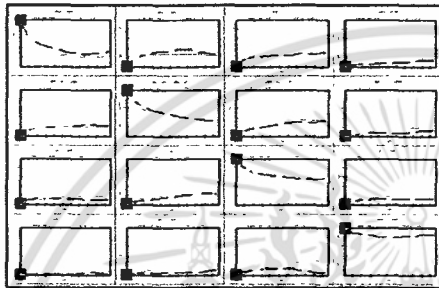
ภาพที่ 2 ผลการกระจายตัวของชั้นดิน และข้อมูลชั้นดินในพื้นที่ศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5. ผลการวิจัย

ชั้นดินประเภทที่ 3 clay ถูกเลือกเป็นชั้นดินพื้นฐานเพื่อ  
ดำเนินการใส่ในพื้นที่ว่างเมื่อไม่มีชั้นดินอื่นๆ เนื่องจาก clay เป็น  
ชั้นดินส่วนใหญ่ในพื้นที่ทำศึกษา รูปที่ 3 แสดงกราฟเปรียบเทียบ  
แบบจำลองโดยวิธี Markrov Chain กับข้อมูลที่วัดจริง



ภาพที่ 3 กราฟเปรียบเทียบแบบจำลอง Markrov chain กับข้อมูลจริง

แบบจำลอง markrov chain ในแนวแกน z ได้มาจากการใช้วิธี  
trial and error เปรียบเทียบข้อมูลจากบ่อสำรวจ ค่าสัดส่วน  
และค่า lens length ของชั้นดินทุกชั้นของชั้นดิน clay ที่ถูก  
เลือกเป็นชั้นดินพื้นฐานเป็นตัวแปรอิสระที่สามารถแก้ไขจนกระทั่ง  
แบบจำลอง markrov chain มีค่าใกล้เคียงกับเส้นกราฟข้อมูลที่  
ได้จาก บ่อสำรวจ ตารางที่ 1 แสดงค่าตัวแปรในแนวตั้งที่ทำการ  
ปรับเพื่อให้แบบจำลอง markrov chain มีค่าใกล้เคียงกับ  
เส้นกราฟข้อมูล โดยที่ค่าความชันของกราฟในแบบจำลอง  
markrov chain ในส่วนตอนต้นที่ระยะ lag ใกล้เคียงกับ 0 แสดง  
ค่า transition rate และส่วนท้ายที่มีลักษณะเรียบแสดงถึงสัดส่วน  
ของชั้นดิน (Volumetric Proportion) ในพื้นที่ศึกษา ตารางที่ 3  
แสดงค่าตัวแปรในแนวอนที่ทำการปรับเพื่อให้แบบจำลอง  
markrov chain มีค่าใกล้เคียงกับเส้นกราฟข้อมูล

ค่า Sill หรือค่า Material proportion มีค่าเป็น 0.198 สำหรับ  
sand, 0.242 สำหรับ sand/clay, 0.350 สำหรับ clay และ 0.209  
สำหรับ stone ซึ่งแสดงว่า clay เป็นชั้นดินส่วนประกอบหลักของ  
พื้นที่ศึกษา ค่าความต่อเนื่องของความหนาชั้นดิน (vertical mean  
length) ของ sand, sand/clay, clay และ stone คือ 11.145, 14.937,  
22.763 และ 22.419 ซึ่งเห็นว่าชั้นดินที่มีค่า vertical mean length  
สูงสุดคือชั้น clay

แบบจำลอง Markrov chain ในแกน X, Y ใช้หลักการของ Lens  
length ratio เพราะข้อมูลจากบ่อสำรวจไม่เพียงพอต่อการนำเอา  
ไปใช้แปลความหมายของชั้นดินโดยแนวแกน x ได้ ดังนั้นการ  
ประยุกต์ใช้ Walter's Law ที่มีหลักการว่า ค่าอัตราการ  
เปลี่ยนแปลงของชั้นดินในแนวแกน z สามารถนำไปใช้ในการ  
หาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินในแนวแกน X และ แกน  
Y โดยการกำหนดค่าคงที่สองตัวที่มีสมมติฐานว่า ค่าคงที่ตัวแรก  
เป็นสัดส่วนที่เหมือนกันทั้ง 3 ทิศทางและค่าคงที่สองตัวคือค่า  
lens length ratio ของชั้นดินทุกชั้นต้องค่าเท่ากัน ซึ่งค่าอัตรา lens  
length ratios จะมีค่าเท่ากับ transition rate ratios ดังนั้นจึงกล่าว  
ได้ว่าค่า lens length ratios เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่า vertical  
transition rate กับ horizontal transition rate ด้วย จากข้อสรุป  
ดังกล่าวจึงกล่าวได้ว่าเมื่อชั้นดินมีความต่อเนื่องในทิศแนวราบ  
มากค่า lens length ของชั้นดินนั้นๆจะมีค่ามากและค่า transition  
rate ของชั้นดินนั้นๆจะมีค่าน้อยในทิศทางแนวราบ

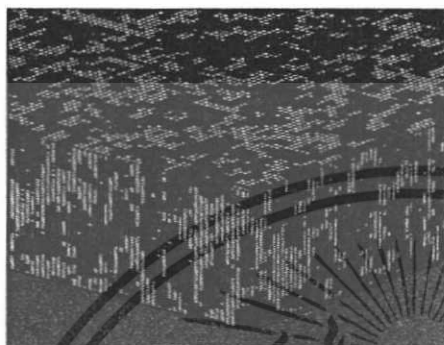
ตารางที่ 2 แสดงค่าตัวแปรในแนวตั้งในแบบจำลอง markrov chain

Material	Proportions	Lens Length	Transition Rates			
			Sand	Sand/Clay	Clay	Stone
Sand	0.1981	11.145	-0.0897	0.0445	0.0352	0.0099
Sand/Clay	0.2421	14.937	0.0316	-0.0669	0.0209	0.0063
Clay	0.3503	22.763	0.0089	0.0183	-0.0439	0.0166
Stone	0.2095	22.419	0.0333	0.0045	0.0066	-0.0446

ตารางที่ 3 แสดงค่าตัวแปรในแนวแกน x,y ในแบบจำลอง markrov chain มี  
ค่า Ratio เท่ากับ 13.5

Material	Proportions	Lens Length	Transition Rates			
			Sand	Sand/Clay	Clay	Stone
Sand	0.1981	150.4575	-0.0066	0.0041	0.0005	0.0019
Sand/Clay	0.2421	201.6495	0.0031	-0.0049	0.0013	0.0004
Clay	0.3503	307.3005	0.0002	0.0006	-0.0014	0.0005
Stone	0.2095	302.6565	0.0022	0.0006	0.0003	-0.0003

หลังจากนั้นทำการสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงทางสถิติ  
ธรณีวิทยาแบบ 3 มิติ โดยมีรูปแบบความเป็นไปได้จำนวน 5  
แบบจำลอง ภาพที่ 4 แสดงลักษณะพื้นที่การเรียงตัวของชั้นดิน  
ในแบบจำลองโดยแสดงในรูปแบบ 3 มิติ



ภาพที่ 4 แสดงลักษณะพื้นที่การเรียงตัวของชั้นดินในรูป 3 มิติ

##### 5. สรุปผล

ลักษณะชั้นดินในพื้นที่ศึกษาถูกแบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ sand, sand/clay, clay และ stone มีส่วนประกอบหลักเป็น clay ที่มีมากที่สุดในพื้นที่ศึกษาคิดมากกว่าร้อยละ 35 ของชั้นดินทั้งหมดในพื้นที่ ชั้นดินประเภท sand และ sand/clay ที่เป็นชั้นดินที่มีความสำคัญต่อการเกิดน้ำใต้ดินมีส่วนประกอบประมาณร้อยละ 20 และ 24 ตามลำดับ ส่วนที่เหลือคือ stone ประมาณร้อยละ 20 ค่า vertical mean length ของชั้นดินทั้ง 4 เรียงตามลำดับ sand, sand/clay, clay และ stone คือ 11, 145, 14, 937, 22, 763 และ 22, 419 จะเห็นว่าชั้นดิน clay เป็นชั้นดินที่มีความต่อเนื่องในแนวแกน Z สูงสุดและค่า vertical transition rate ของ sand กลายเป็น clay มีค่ามากที่สุดและนำไปแปลงหาค่า transition rate ในแนวแกน X,Y โดยประยุกต์ใช้วิธี Walther's Law ที่มีหลักการว่า "ถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินในแนวแกน Z สามารถนำไปใช้ในการหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินในแนวแกน X และ แกน Y" พบว่าเมื่อใช้ค่า Rate Ratio เท่ากับ 13.5 สร้างแบบจำลองความแตกต่างของชั้นดินออกมาจำนวน 5 แบบจำลองมีชั้นดิน sand และ sand/clay ที่มีความต่อเนื่องกันในบริเวณพื้นที่ศึกษาแต่มีชั้นดิน clay ขนาดใหญ่จะไปอยู่ที่ระดับความลึกต่ำกว่า - 40 เมตรและมีกรกระจายของชั้นหินในส่วนล่างอยู่ทั่วไปที่ระดับความลึกต่ำกว่า - 60 เมตร

##### 5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานานวิจัยเรื่องนี้มีรับการดำเนินการ โดยการสนับสนุนทุนวิจัยจาก International Foundation for Science (IFS) และได้รับการสนับสนุนด้านความรู้ ข้อมูลและคำแนะนำในการแก้ปัญหาต่างๆ ให้สำเร็จจาก ดร.อุมา ศิษุอยู่เรื่อง อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พร้อมทั้งอาจารย์ อูมะ สิริแก้ว ที่สนับสนุนความช่วยเหลือด้านเทคนิค และขอขอบคุณข้อมูลทั้งหมดที่ได้รับ ความอนุเคราะห์จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี กรมแผนที่ทหาร

##### 6. บรรณานุกรม

- [1], [2] ธรรมนูญโครงการสำรวจแยกแ่งน้ำบาดาลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลของกรมประจักษ์ภาคท.ศ. 2548
- [3] Carle, S.F., 1999, T-PROGS: Transition Probability Geostatistical Software Version 2.1
- [4] Deutsch, C.V. and Journel, A. L., 1992, Geostatistical software library and user's guide: Oxford University Press, New York, 340 p.
- [5] รอยง เณโรภการสำรวจชั้นดินของน้ำบาดาลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลของกรมประจักษ์ภาคท.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อผู้เขียน	นายสวัสดิ์ สามประดิษฐ์
วัน เดือน ปีเกิด	22 พฤศจิกายน 2527
ที่อยู่	48/98 หมู่บ้านไทยสมุทร ซ.ไทยสมุทร6/1 หมู่ 2 ถ.กะโรม ต.โพธิ์เสด็จ อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช 80000
ประวัติการศึกษา	2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์ทำงาน	
พ.ศ. 2551-2552	วิศวกรโยธา สำนักอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวง ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
พ.ศ. 2552-ปัจจุบัน	วิศวกรโยธา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เขื่อนภูมิพล
ผลงานวิจัย	
2551	การประยุกต์ใช้วิธี STOCHASTIC ทางสถิติธรณีวิทยาในพื้นที่ภาคใต้ของ ประเทศไทยเบื้องต้น กรณีศึกษาพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี, การประชุม วิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่13, 14-16 พฤษภาคม 2551, โรงแรม จอมเทียนปาล์ม บีช, พัทยา, ประเทศไทย.
2552	An Application of Stochastic-Geostatistic Approach to Groundwater Potential Exploration in The Southern Part of Thailand: A Case Study in Surat thani Province, An International Perspective on Environmental and Water Resources, 5-7 January 2009, Bangkok, Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้