

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาค่าความไวตัวของดินเหนียวในจังหวัดสมุทรปราการ
A STUDY ON THE SENSITIVITY OF CLAYS IN SAMUT PRAKARN
PROVINCE OF THAILAND



T117956



วพ.

จ 33/ก

2554

เลขหมู่.....
ภาคทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

117956

22 ค.ศ. 2554

1224992

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2554

KMITL-2011-EN-M-093-098

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A STUDY ON THE SENSITIVITY OF CLAYS IN SAMUT PRAKARN
PROVINCE OF THAILAND**



**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**

2011

KMITL-2011-EN-M-093-098

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาค่าความไวตัวของดินเหนียวในพื้นที่จังหวัด

สมุทรปราการ

นักศึกษา

นายถาวร

พรมรัมย์

รหัสนักศึกษา

49061522

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

พ.ศ.

2554

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.อุมา

สิบุญเรือง

บทคัดย่อ

ค่าความไวตัวของชั้นดินเหนียวเป็นค่าดัชนีชี้วัดคุณสมบัติของชั้นดินเหนียวอ่อนค่าหนึ่ง ซึ่งแสดงถึงค่าอัตราส่วนของกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ลดลงเมื่อถูกรบกวน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าความไวตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (Bangkok Clay) และคุณสมบัติทางกายภาพที่เกี่ยวข้อง มีพื้นที่ศึกษาอยู่ในจังหวัดสมุทรปราการ ความหนาของชั้นดินเหนียวฐานรากมีค่าอยู่ระหว่าง 12.00 ถึง 18.00 เมตร ได้ทำการทดสอบแรงเฉือนของดินคงสภาพและดินเปลี่ยนแปลงแบบไม่ระบายน้ำ โดยใช้เครื่องมือทดสอบแรงเฉือนแบบไบเวน (Field Vane Shear Test) จำนวน 50 หลุม พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างดินมาทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพในห้องทดสอบ และใช้วิธีการทางสถิติในการพยากรณ์ค่าความไวตัวของดินจากสมการถดถอยเชิงพหุด้วยโปรแกรม SPSS ผลการพยากรณ์ค่าความไวตัวของดินเป็นดังนี้ เมื่อพิจารณาตลอดช่วงความลึกทั้งหมดจะได้สมการคือ $SENSITIVITY = -4.457 + 1.525(L.I) + 3.278(\gamma) + 0.027(P.I)$ มีค่าความเชื่อมั่นของการพยากรณ์ (R^2) เท่ากับร้อยละ 59.90 สำหรับช่วงความลึกระหว่าง -3.00 ถึง -9.00 เมตร ซึ่งเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนมากถึงดินเหนียวอ่อน สมการคือ $SENSITIVITY = -5.767 + 1.548(L.I) + 4.236(\gamma) + 0.022(P.I)$ โดยมีค่าความเชื่อมั่นของการพยากรณ์ (R^2) เท่ากับร้อยละ 52.20 และสำหรับช่วงความลึก -9.00 ถึง -18.00 เมตร ซึ่งชั้นดินเป็นดินเหนียวอ่อนถึงปานกลาง สมการคือ $SENSITIVITY = -4.562 + 0.047(Wn) + 3.591(\gamma) - 0.033(P.L)$ สมการที่ได้มีค่าความเชื่อมั่นของการพยากรณ์ (R^2) เท่ากับร้อยละ 63.00 และจากการเปรียบเทียบค่าความไวตัวจากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ใช้ในความลึกสามแบบข้างต้นนั้น พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ร้อยละ 1.24 ร้อยละ 0.60 และร้อยละ 0.89 ตามลำดับ ซึ่งสมการข้างต้นจะถูกนำไปคาดคะเนค่าความไวตัวของดินเหนียวจากคุณสมบัติทางกายภาพอันเป็นประโยชน์เพื่อการพิจารณาสัดส่วนค่าความปลอดภัยสำหรับการออกแบบและระมัดระวังสำหรับการวางแผนในการก่อสร้างหรือการสร้างกิจกรรมต่างๆ ในดินที่มีค่าความไวตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Study on The Sensitivity of Clays in Samut Prakarn Province of Thailand
Student	Mr. Thavorn Promrassamee
Student ID.	49061522
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2011
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Uma Seeboonruang

ABSTRACT

Sensitivity of clay, one of the index properties, refers to a degree of reduction in the undrained shear strength of clay as any disturbance causes remoulding or volume change. This research aims to study the sensitivity of Bangkok Clay and related physical properties. The study area is located in Samut Prakarn province of Thailand. Undrained shear strength and remold shear strength of clay are determined by field vane shear test for 50 bore holes. Soil sampling and laboratory testing are carried out, as well. SPSS Statistic software; multiple linear regression analysis, is applied to modeling the relationship between clay sensitivity and more variables. Three equations are modeled and are based on the soil depth profiles. For the whole depth of soft clay; $SENSITIVITY = -4.457 + 1.525(L.I) + 3.278(\gamma) + 0.027(P.I)$ with 59.90 percentage of the coefficient of determination (R^2). At the depth inbetween of -3.00 to 9.00 meters of very soft clay to soft clay, $SENSITIVITY = -5.767 + 1.548(L.I) + 4.236(\gamma) + 0.022(P.I)$ with the 52.20 percentage of the coefficient of determination (R^2). And at the depth inbetween of -9.00 to -18.00 meters of soft clay to medium clay, $SENSITIVITY = -4.562 + 0.047(W_n) + 3.591(\gamma) - 0.033(P.L)$ with the 63.00 percentage of the coefficient of determination (R^2). The percentage value of an error of the mentioned model equation presents as 1.24, 0.60 and 0.89, respectively. Thus, prediction on clay sensitivity can be applied by those of equations and related physical parameters of clay. Sensitivity of clay is a helpful parameter for a safety consideration of design, construction planning and management, construction and for any activity has undergone in clay.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจากท่าน ผศ.ดร.อุมมา สีนุญเรือง ซึ่งเป็นอาจารย์ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน อาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณท่าน ผศ.สุพจน์ ศรีนิล ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำ วิทยานิพนธ์ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์อุษะ ศิริแก้ว ที่คอยช่วยเหลือทุกสิ่งอย่าง ทั้งให้คำแนะนำให้ คำปรึกษา ตลอดจนช่วยผลักดันให้ลูกศิษย์คนนี้ทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับ ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณกองทุนวิจัย สจล. และเงินงบประมาณรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2552 ที่อนุเคราะห์เงินทุนในการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และน้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา โดยเฉพาะนายส่งศักดิ์ วัฒนศักดิ์ และนายนรินทร์ นิลรัตน์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจข้าพเจ้าเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวของข้าพเจ้าที่ ช่วยเหลือให้กำลังใจ ให้ความรักและความห่วงใย จนทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายถาวร

พรมรศมี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา.....	5
2.2.1 การศึกษาค่าความไวตัวของดินเหนียว.....	5
2.2.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดินเหนียว.....	10
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	12
2.3.1 ความเป็นมาของดิน.....	12
2.3.2 ส่วนประกอบของดิน.....	12
2.3.3 รูปร่างของดิน.....	13
2.3.4 โครงสร้างของดิน (Structure of soil).....	16
2.3.5 ดินเหนียว (Clay).....	18
2.3.6 ชนิดของแร่ประกอบดินเหนียว.....	18
2.3.7 ดินเหนียวกรุงเทพฯ (Bangkok clay).....	19
2.3.8 คุณสมบัติของชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ฯ.....	20
2.3.9 สถานภาพของดิน.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ IV และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.10	การจำแนกประเภทของดินในระบบ Unified.....	23
2.3.11	การทดสอบแรงเฉือนด้วยไบนเวน	29
2.3.12	การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear regression) แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น.....	30
บทที่ 3	พื้นที่การศึกษา.....	36
3.1	ที่ตั้ง ขนาด และอาณาเขต.....	36
3.2	ลักษณะภูมิประเทศ.....	37
3.3	ลักษณะทางธรณีวิทยา.....	37
3.4	ลักษณะภูมิอากาศ.....	37
3.5	การใช้ที่ดิน.....	38
3.5.1	ประเภทการใช้ที่ดิน.....	38
3.5.2	การตั้งถิ่นฐาน.....	38
3.6	ทรัพยากรธรรมชาติและแหล่งน้ำ.....	38
3.6.1	ทรัพยากรน้ำผิวดิน ได้แก่.....	39
3.6.2	ทรัพยากรดิน.....	39
3.7	สภาพเศรษฐกิจ.....	40
3.8	เขตการปกครอง และจำนวนประชากร.....	40
บทที่ 4	ขั้นตอนและวิธีการทำงาน.....	42
4.1	กล่าวนำ.....	42
4.2	ดินที่ใช้ในการทดสอบ.....	42
4.3	การเลือกสุ่มพื้นที่ตัวแทน.....	42
4.4	วิธีการทดสอบ.....	45
4.4.1	การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ.....	45
4.4.2	การทดสอบแรงเฉือนในสนามด้วยไบนเวน (Field vane shear test).....	49
4.5	การใช้โปรแกรมในการช่วยวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	50
4.5.1	การใช้โปรแกรม GIS Arc view และ Surfer.....	50
4.5.2	ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS 11.5 for Windows.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การวิเคราะห์ผลการศึกษา.....	84
5.1 กล่าวนำ.....	84
5.2 คุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ.....	84
5.3 ผลจากการวิเคราะห์ค่าความไวตัวของดินผ่านโปรแกรม Surfer กับ Arc view GIS.....	89
5.3.1 ช่วงความลึก 3.00 ถึง 9.00 เมตร (Very soft clay to Soft clay).....	89
5.3.2 ช่วงความลึก 9.00 ถึง 16.00 เมตร (Soft clay to Medium clay)	90
5.4 ผลจากโปรแกรม SPSS 11.5 for Windows	91
5.4.1 แบบจำลองที่ 1 วิเคราะห์ตลอดช่วงความลึก 2.00 ถึง 18.00 เมตร.....	91
5.4.2 แบบจำลองที่ 2 วิเคราะห์ที่ช่วงความลึก 3.00 ถึง 9.00 เมตร (Very soft clay to Soft clay).....	97
5.4.3 แบบจำลองที่ 3 วิเคราะห์ที่ช่วงความลึก 9.00 ถึง 18.00 เมตร (Soft clay to Medium clay).....	103
บทที่ 6 การทดสอบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ค่าความไวตัวของดินเหนียว.....	109
6.1 กล่าวนำ.....	109
6.2 ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ค่าความไวตัว.....	110
6.2.1 เปรียบเทียบค่าความไวตัวจากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ 1 กับค่าความไวตัว ในการทดสอบ	111
6.2.2 เปรียบเทียบค่าความไวตัวจากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ 2 กับค่าความไวตัว ในการทดสอบ	112
6.5.3 เปรียบเทียบค่าความไวตัวจากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ 3 กับค่าความไวตัว ในการทดสอบ	113
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย	
7.1 กล่าวนำ.....	114

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.2 ผลศึกษาคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อน ในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ.....	114
7.3 ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม SPSS 11.5 for Windows	115
7.3.1 การพยากรณ์ค่าความไวตัวในแบบจำลองที่ 1 วิเคราะห์ตลอดช่วงความลึก 2.00 ถึง 18.00 เมตร	115
7.3.2 การพยากรณ์ค่าความไวตัวในแบบจำลองที่ 2 วิเคราะห์ช่วงความลึก 3.00 ถึง 9.00 เมตร (Very soft clay to Soft clay)	116
7.3.3 การพยากรณ์ค่าความไวตัวในแบบจำลองที่ 3 วิเคราะห์ช่วงความลึก 9.00 ถึง 18.00 เมตร (Soft clay to Medium clay).....	116
7.4 แนวทางการประยุกต์ใช้ค่าความไวตัวของดิน	117
7.5 ข้อเสนอแนะ	117
7.6 การบูรณาการงานวิจัย	117
บรรณานุกรม.....	118
ภาคผนวก ก.....	121
ภาคผนวก ข.....	172
ภาคผนวก ค.....	174
ประวัติผู้เขียน.....	187

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำแนกระดับความไวตัวของดินเหนียว.....	4
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Plasticity Index กับ Liquid Limit สำหรับดินเหนียวกรุงเทพฯ	10
2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (วสท:2545).....	20
2.4 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (วสท:2545).....	21
2.5 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการจำแนกประเภทของดิน โดยระบบ Unified (มณเฑียร กังศศิเทียม, 2547).....	23
2.6 รายละเอียดการจำแนกประเภทของดินเม็ดหยาบ (มณเฑียร กังศศิเทียม, 2547)	26
2.7 รายละเอียดการจำแนกประเภทของดินเม็ดละเอียด (มณเฑียร กังศศิเทียม, 2547)	27
2.8 1-WAY ANOVA สำหรับการวิเคราะห์ความถดถอย	31
3.1 จำนวนของตำบล หมู่บ้าน ชุมชน ตามการปกครองและประชากร จังหวัดสมุทรปราการ จำแนกรายอำเภอ	61
4.1 แสดงข้อมูลพิกัด (UTM) และตำแหน่งสถานที่ทดสอบ Field Vane Shear Test	42
4.2 ความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ (ค่าองค์ประกอบปรับแก้อุณหภูมิตัว, GT).....	47
4.3 แสดงการจำแนกระดับความไวตัวของดินเหนียว (Bowles, 1979).....	50
4.4 ตาราง Statistics แสดงค่าความเบ้ (Skewness) และค่าความโด่ง (Kurtosis).....	81
5.1 แสดงการกระจายตัวของเม็ดดินและชนิดดินในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ	86
5.2 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 1	91
5.3 แสดงข้อมูลที่ตัดออกครั้งที่ 1	91
5.4 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 2	92
5.5 แสดงข้อมูลที่ตัดออกครั้งที่ 2	92
5.6 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 3	92
5.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์โดยวิธี Stepwise ตัวแปร 3 ตัว.....	93
5.8 ตาราง Model Summary สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1	93
5.9 ตาราง ANOVA สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1	94
5.10 ตาราง Coefficients สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1	94
5.11 ตาราง Statistics ของ Regression standardize residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1	95
5.12 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 1	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VIII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.13 แสดงข้อมูลที่ตัดออกครั้งที่ 1	97
5.14 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 2	97
5.15 แสดงข้อมูลที่ตัดออกครั้งที่ 2	98
5.16 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 3	98
5.17 แสดงค่าสัมประสิทธิ์โดยวิธี Stepwise ตัวแปร 3 ตัว	99
5.18 ตาราง Model Summary สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 2	99
5.19 ตาราง ANOVA สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 2	100
5.20 ตาราง Coefficients สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 2	100
5.21 ตาราง Statistics ของ Regression standardize residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 2	101
5.22 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 1	102
5.23 แสดงข้อมูลที่ตัดออกครั้งที่ 1	102
5.24 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 2	104
5.25 แสดงข้อมูลที่ตัดออกครั้งที่ 2	104
5.26 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 3	104
5.27 แสดงค่าสัมประสิทธิ์โดยวิธี Stepwise ตัวแปร 3 ตัว	105
5.28 ตาราง Model Summary สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3	105
5.29 ตาราง ANOVA สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3	106
5.30 ตาราง Coefficients สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3	106
5.31 ตาราง Statistics ของ Regression standardize residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3	107
6.1 ตารางเปรียบเทียบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ของค่าความไวตัวใน แต่ละแบบจำลอง	110
7.1 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อน ในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ ในช่วงความลึก 2.00 ถึง 18.00 เมตร	115
7.2 แสดงถึงข้อควรปฏิบัติต่อค่า ค่าความไวตัวของดินที่เกิดขึ้นในพื้นที่	118

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	ขั้นตอนการศึกษางานวิจัย..... 3
2.1	กำลังรับแรงเฉือนที่เปลี่ยนแปลงตามความลึกเมื่ออัตราการหมุนไบนเวนต่างกัน..... 6
2.2	Bjerrum's Correction Factor (μ) 7
2.3	อัตราส่วนค่า ($S_{u(v)}$) / ($q_u/2$) เทียบกับค่า I_p 7
2.4	อัตราส่วนค่า $\mu(S_{u(v)}) / (q_u/2)$ เทียบกับค่า I_p 8
2.5	หน่วยแรงอัดแกนเดียวเฉลี่ยที่แปรผันตามอัตราการเพิ่มของ Strain..... 8
2.6	ความไวตัวแปรผันตามอัตราการเพิ่มของ Strain..... 8
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง Liquidity index, Maximum past pressure และ Sensitivity index 10
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง Coefficient of consolidation กับ Liquid limit ที่มา: After U.S. Department of the Navy (1971)..... 11
2.9	ส่วนประกอบของเม็ดดิน 12
2.10	รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นก้อนหรือเป็นเม็ด..... 13
2.11	รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นแผ่นหรือเป็นเกล็ด..... 14
2.12	รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นเส้น..... 14
2.13	โครงสร้างของดินเม็ดเดี่ยว..... 15
2.14	สภาพการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน..... 15
2.15	โครงสร้างแบบรวงผึ้ง..... 16
2.16	โครงสร้างแบบเป็นระเบียบ..... 16
2.17	โครงสร้างแบบระเกะระกะ..... 17
2.18	แสดงขอบเขตของชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ฯ(วสท. 2545)..... 19
2.19	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำแนกประเภทดินโดยระบบ Unified (มณเฑียร กังศศิเทียม, 2547)..... 23
2.20	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำแนกประเภทของดินเม็ดหยาบ (มณเฑียร กังศศิเทียม, 2547) ... 24
2.21	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำแนกประเภทของดินเม็ดละเอียด (มณเฑียร กังศศิเทียม, 2547). 25
2.21	การกระจายของแรงในไบนเวน 28
3.1	แสดงที่ตั้งของจังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดที่อยู่โดยรอบ 35
3.2	สัดส่วนประชากร ตามกลุ่มอายุที่สำคัญ ปี พ.ศ. 2551 จังหวัดสมุทรปราการ..... 40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 แสดงตำแหน่งพื้นที่ทดสอบ Field vane shear test.....	44
4.2 กราฟแสดงสถานะต่างๆของดิน	45
4.3 แสดงขนาดใบพัดทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินของเครื่องมือทดสอบ Field vane shear test.....	49
4.4 แสดงเครื่องมือทดสอบ Field vane shear borer (Geonor H – 70).....	49
4.5 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินด้วยเครื่องมือทดสอบ Field vane shear test	50
4.6 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินด้วยเครื่องมือทดสอบ Field vane shear test	51
4.7 แสดงการเปิดโปรแกรม Arc View แล้วเปิดหน้าต่างเพิ่มข้อมูลในโปรแกรม	51
4.8 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูง โดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยเลือกเมนู Analysis คำสั่ง Properties.....	52
4.9 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูง โดยผ่าน โปรแกรม Arc View ช่องบน Same As Amphoe3.shp Cell Size 50 กด Enter แล้วกด OK.....	52
4.10 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูง โดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยเลือกเมนู Themes คำสั่ง Convert to Grid.....	53
4.11 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูง โดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยเซฟและตั้งชื่อไฟล์ แล้วกด OK	53
4.12 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูง โดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยกด Yes ..	54
4.13 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูง โดยผ่าน โปรแกรม Arc View จะได้ Grid ของ 6 อำเภอที่ทำการสำรวจ.....	54
4.14 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูง โดยผ่าน โปรแกรม Excel โดยเปิด Excel เรียงข้อมูลพิกัด กับความสูงจากระดับน้ำทะเล แล้ว save นามสกุล .xls	55
4.15 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูง โดยผ่าน โปรแกรม Surfer โดยเปิด Surfer เลือกเมนู Grid คำสั่ง Data.....	55
4.16 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูง โดยผ่าน โปรแกรม Surfer โดยเปิดไฟล์ที่ Save ไว้ในขั้นตอนรูปที่ 4.9	56
4.17 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูง โดยผ่าน โปรแกรม Surfer โดยเลือก Contour 48.....	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Surfer โดยจะปรากฏหน้าตาที่ขึ้นมา เปิดค้างไว้ก่อนแล้วทำขั้นตอนต่อไป..... 57
4.19	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc View โดยคลิกไอคอนดังกล่าวค้างไว้ แล้วเลือกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า..... 57
4.20	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc View โดยลากกรอบสี่เหลี่ยมคลุมพื้นที่ 6 อำเภอทั้งหมด..... 58
4.21	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc View โดยจากการลากกรอบสี่เหลี่ยมคลุมพื้นที่ทั้งหมดให้คลิกขวาเลือก Shape Properties..... 58
4.22	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc View โดยจะได้ค่าพิกัดตำแหน่งของมุมกรอบทั้ง 4 มุม 59
4.23	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Surfer โดยจากรูปที่ 4.17 ให้นำค่าพิกัดแต่ละมุม มาใส่เป็นค่า X Y (min, max)..... 59
4.24	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Surfer โดยใส่ค่า X Y (min, max) เสร็จแล้วก็ Save ไฟล์..... 60
4.25	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Surfer โดยเลือกเมนู Grid คำสั่ง Convert 60
4.26	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Surfer 61
4.27	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Surfer โดย Save ไฟล์ไว้ในนามสกุล..... 61
4.28	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Surfer โดยเลือกเมนูFile คำสั่ง Open..... 62
4.29	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Surfer โดยเลือกไฟล์ที่ Save ไว้ในนามสกุล..... 62
4.30	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Surfer โดยจะได้ค่าเป็นตารางเหมือน Excel แต่ค่าที่ได้จะมีจำนวนมากว่า..... 63
4.31	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Surfer โดยเลือกข้อมูล ทั้งแล้วเลือกคำสั่ง Copy..... 63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Excel โดยนำข้อมูลใน ขั้นตอนรูปที่ 4.26 มาวาง..... 64
4.33	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Excel โดยจะได้ข้อมูล จากขั้นตอนรูปที่ 4.27 64
4.34	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Excel โดยแทรกแถวช่อง บนสุด 1 ช่องเพื่อแทรกคำอธิบายแต่ละค่า..... 65
4.35	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Excel โดยใส่คำอธิบาย 65
4.36	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Excel โดยทำการจัดรูป แบบเซลล์ของเลขข้อมูลแต่ละช่อง 66
4.37	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Excel โดยกำหนด ตำแหน่งเลขทศนิยม 2 ช่องแรกเป็นศูนย์ ช่องที่ 3 ให้ใส่เลขทศนิยม 2 ตำแหน่ง 66
4.38	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Excel โดย Save ไฟล์ที่ ตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว 67
4.39	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Excel โดย Save ไฟล์ใน รูปนามสกุล .txt (Text MS-DOS) 67
4.40	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยเพิ่มตาราง ของข้อมูลที่ Save ไว้ในขั้นตอนรูปที่ 4.34..... 68
4.41	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยจะได้ ตารางข้อมูลเพิ่มขึ้น 1 ตาราง..... 68
4.42	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยเลือกเมนู View คำสั่ง Add Event Theme..... 69
4.43	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยเลือกช่อง Title เป็นชื่อ .txt ที่ Save ในขั้นตอนรูปที่ 4:34 แล้วช่องต่อไป Utme และ Utmnตามลำดับ . 69
4.44	ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยจะได้เป็น เส้น Grid ดังรูป..... 70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.45 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยเลือกเมนู Theme คำสั่ง Convert to Shape file.....	70
4.46 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดย Save ไฟล์ แล้วกด OK.....	71
4.47 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยเลือก กด Yes.....	71
4.48 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยเมนู Analysis คำสั่ง Properties.....	72
4.49 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยช่องบน เลือก Save As Grid Contour.....	72
4.50 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยเลือกเมนู Surface คำสั่ง Interpolate Grid.....	73
4.51 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยจะได้ เส้นชั้นความสูงออกมาตามข้อมูล.....	73
4.52 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc View โดยจะได้ เส้นชั้นความสูงเทียบกับตำแหน่งข้อมูลเส้นชั้นความสูงใน 6 อำเภอ.....	74
4.53 Variable View ใช้ในการกำหนดชื่อและรายละเอียดของตัวแปร.....	75
4.54 Data View ใช้ในการกำหนดข้อมูลของตัวแปรต่างๆ.....	75
4.55 การใช้คำสั่ง Analysis – Regression – Linear.....	76
4.56 แสดงการใช้คำสั่ง Analysis – Regression – Linear – Option.....	77
4.57 แสดงการใช้คำสั่ง Analysis – Regression – Linear – Plot.....	78
4.58 การใช้คำสั่ง Analysis – Regression – Linear – Statistics.....	79
4.59 กราฟ Histogram ที่แสดงความถี่ของ Regression standardized residual.....	81
4.60 กราฟ Scatterplot ที่แสดง Regression standardized predicted value และ Regression standardized residual.....	82
5.1 แสดงค่าดัชนีความเหลว (Liquidity index, L.I.) เทียบกับความลึก.....	84
5.2 แสดงค่าความชื้นในดินธรรมชาติ (Natural water content) เทียบกับความลึก.....	85
5.3 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักรวม (Total unit weight) เทียบกับความลึก.....	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4 แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือน(Shear strength) เทียบกับความลึก	87
5.5 แสดงชั้นดินในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ	88
5.6 แผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงของค่าระดับความไวดัวในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ ในชั้น Very soft clay to Soft clay	88
5.7 แผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงของค่าระดับความไวดัวในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ ในชั้น Soft clay to Medium clay	89
5.8 กราฟ Histogram ของ Regression standardize residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1.....	95
5.9 กราฟ Scatterplot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Regression standardized predicted value กับ Regression standardized residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1	96
5.10 กราฟ Histogram ของ Regression standardize residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 2.....	101
5.11 กราฟ Scatterplot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Regression standardized predicted value กับ Regression standardized residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 2.....	102
5.12 กราฟ Histogram ของ Regression standardize residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3.....	107
5.13 กราฟ Scatterplot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Regression standardized predicted value กับ Regression standardized residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3	102
6.1 กราฟเปอร์เซ็นต์สะสมของ ค่าความไวดัวจากการทดสอบ Field vane shear test กับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ 1	111
6.2 กราฟเปอร์เซ็นต์สะสมของ ค่าความไวดัวจากการทดสอบ Field vane shear test กับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ 2.....	112
6.3 กราฟเปอร์เซ็นต์สะสมของ ค่าความไวดัวจากการทดสอบ Field vane shear test กับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ 3.....	113

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การลดลงของกำลังรับแรงเฉือนของดิน ได้รับความสนใจจากวิศวกรมาเป็นเวลานาน เนื่องจากบ่อยครั้งที่การพังทลายของฐานราก และโครงสร้างอาคารมีสาเหตุมาจากการลดลงของกำลังรับแรงเฉือนของดินบริเวณนั้น สมุทรปราการเป็นจังหวัดที่ประสบกับปัญหาดังกล่าวอย่างมาก เนื่องจากมีสภาพชั้นดินเหนียวอ่อนค่อนข้างหนา ประกอบกับมีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมอย่างสูง จึงมีการขยายตัวของสิ่งปลูกสร้าง ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมและอาคารบ้านเรือนเป็นจำนวนมาก แต่เนื่องจากสภาพดินของดินส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินเหนียวอ่อน ซึ่งมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ ทำให้ดินบริเวณสิ่งปลูกสร้างเกิดปัญหาการทรุดตัวและปัญหาการเคลื่อนพังอันเนื่องมาจากกำลังรับแรงเฉือนของดินลดลง ส่งผลและก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้างดินบางชนิดเมื่อถูกรบกวนจะทำให้โครงสร้างของดินเปลี่ยนแปลงไป มีผลทำให้ความต้านทานแรงเฉือนของดินลดลง เรียกว่าดินมีความไวตัว (Sensitivity) หากดินมาความไวตัวสูง เมื่อดินถูกรบกวนกำลังรับแรงเฉือนของดินก็จะลดลงมากด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาค่าความไวตัว เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการพิจารณาสัดส่วนความปลอดภัยสำหรับการออกแบบรวมทั้งการให้ความระมัดระวังสำหรับการวางแผนในการก่อสร้างหรือการสร้างกิจกรรมใดๆ บนชั้นดินที่มีค่าความไวตัว

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.) เพื่อศึกษาค่าความไวตัวของดินเหนียวในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ
- 2.) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวอ่อนในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ
- 3.) เพื่อศึกษาการสร้างสมการ Multiple linear regression จากโปรแกรม SPSS ในการพยากรณ์ค่าความไวตัวของดินเหนียวโดยใช้ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพของดิน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการศึกษาถึงคุณสมบัติและค่าความไวตัวของดินเหนียวอ่อนถึงปานกลาง บริเวณพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ ที่ระดับความลึก 2.00 ถึง 16.00 เมตร หรือจนถึงความลึกที่ประสิทธิภาพของเครื่องมือไม่สามารถทำได้ โดยทำการทดสอบหาแรงเฉือนของดินในสถานะที่ดินคงสภาพและในสถานะดินเปลี่ยนสภาพด้วยไบเวน (Field vane shear test) จำนวน 50 หลุม ครอบคลุมพื้นที่การศึกษา และเก็บตัวอย่างดินมาศึกษาคุณสมบัติของดินทางกายภาพในห้องทดลอง พร้อมทั้งทำการพยากรณ์ค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ โดยนำข้อมูลที่ได้จากห้องทดลอง มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้สมการถดถอยเชิงพหุ (Multiple regression analysis) เพื่อหาสมการสำหรับพยากรณ์ค่าความไวตัวของดิน สำหรับคุณสมบัติของดินเหนียวที่ทำการทดสอบมีดังนี้

- 1.) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ประกอบด้วย
 - ความชื้นในดินธรรมชาติ (Natural water content)
 - ขีดพิกัดเหลว (Liquid limit)
 - ขีดพิกัดพลาสติก (Plastic limit)
 - ดัชนีความเหนียว (Plasticity index)
 - ดัชนีความเหลว (Liquidity index)
 - ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)
 - หน่วยน้ำหนักรวม (Total unit weight)
 - ขนาดของเม็ดดิน
- 2.) ทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินในสนามด้วยไบเวน เพื่อหาค่า
 - กำลังรับแรงเฉือนของดินในสถานะดินคงสภาพ
 - กำลังรับแรงเฉือนของดินในสถานะดินเปลี่ยนสภาพ
 - ความไวตัวของดินเหนียว

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1.) ทำการศึกษาข้อมูลในการทำโครงการเพื่อที่จะทำความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับสภาพปัญหาปัจจุบัน และนำข้อมูลที่ไปวางแผนในการทำงานจริงเพื่อช่วยให้ได้ข้อมูลที่จำเป็นจริงๆ และประหยัดเวลา ค่าใช้จ่ายในการทำงาน ข้อมูลเบื้องต้น เช่น ลักษณะชั้นดิน ความหนาของชั้นดิน เป็นต้น

2.) ติดต่อหน่วยงานเพื่อขออนุญาตและข้อมูล

3.) นำข้อมูลที่มีทั้งหมดมาพิจารณาเพื่อกำหนดจุดทดสอบและจุดเก็บตัวอย่างดิน

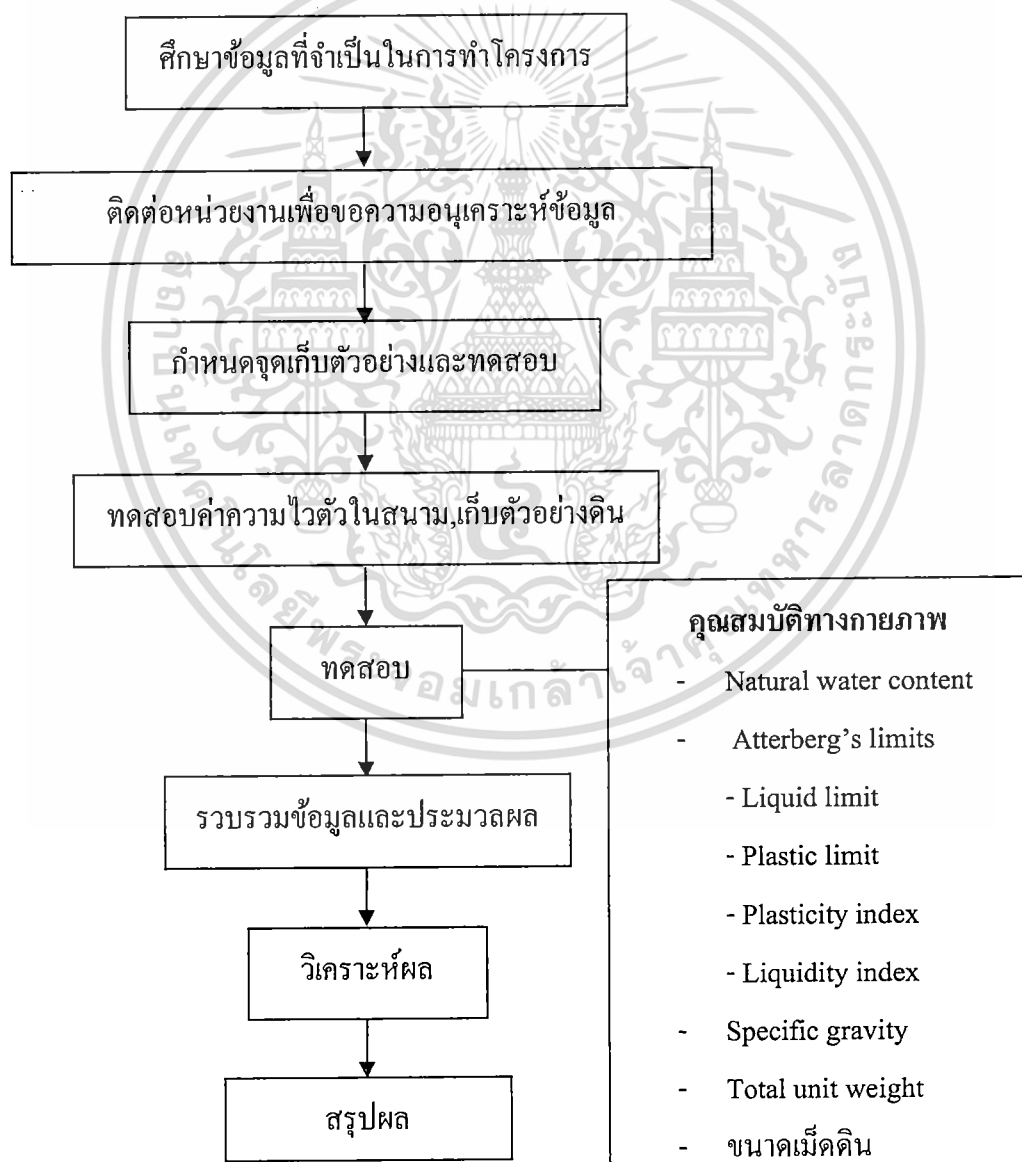
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) ทำการทดสอบค่าความไวตัวของดินเหนียว โดยใช้เครื่องมือการทดสอบค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินด้วยใบเวน (Field vane shear test) โดยทำการทดสอบครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ จำนวน 50 หลุม ที่ความลึก 2.00 ถึง 16.00 เมตร ซึ่งเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวอ่อนปานกลางพร้อมทั้งเก็บตัวอย่างดินเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินตัวอย่าง

5.) นำดินตัวอย่างที่ได้มาทำการทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านกายภาพ

6.) การวิเคราะห์ข้อมูล โดยนำข้อมูลที่ได้จากภาคสนามและห้องทดลองมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพของดินกับค่าความไวตัว จาก โปรแกรม SPSS 11.5 for Window เพื่อให้ได้สมการในการพยากรณ์ค่าความไวตัวของดิน

วิธีการศึกษาของการวิจัยนี้สามารถแสดงเป็นแผนผังของขั้นตอนการศึกษาได้ดังรูปที่ 1.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 1.1 ขั้นตอนการศึกษางานวิจัย อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย

- 1.) ได้ทราบถึงค่าความไวตัวของดินเหนียวในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาสัดส่วนค่าความปลอดภัยสำหรับการออกแบบและระมัดระวังสำหรับการวางแผนในการก่อสร้างหรือการสร้างกิจกรรมต่างๆ บนดินที่มีค่าความไวตัวที่สูงต่อไปในอนาคต
- 2.) ได้ทราบค่าครรชนีต่างๆของดินที่เป็นปัจจัยต่อค่าความไวตัวของดินเหนียวในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ
- 3.) สามารถนำค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบ Field vane shear test ไปใช้สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเหนียวในจังหวัดสมุทรปราการต่อไป
- 4.) สามารถนำสมการที่ได้จากการวิเคราะห์การลดเชิงพหุ มาใช้พยากรณ์ค่าความไวตัวของดินเหนียวในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวโดยสรุปเกี่ยวกับการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จากการศึกษาตำรา, เอกสาร, วารสาร และงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งจะประกอบด้วยเนื้อหาเกี่ยวกับการศึกษาค่าความไวตัวของดินเหนียว รวมทั้งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

2.2.1 การศึกษาค่าความไวตัวของดินเหนียว

Terzaghi (1943) ได้นิยามความหมายของความไวตัว (Sensitivity) ของดินเหนียวว่าเป็นค่าอัตราส่วนของค่าความต้านทานแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินคงสภาพ ต่อค่าความต้านทานแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินที่เปลี่ยนสภาพ แสดงเป็นสมการได้ดังสมการที่ (2.1)

$$\text{ความไวตัว} = \frac{\text{กำลังของดินคงสภาพ}}{\text{กำลังของดินเปลี่ยนสภาพ}} \quad (2.1)$$

Bowles (1979) ได้จำแนกดินเหนียวบนพื้นฐานของความไวตัว ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การจำแนกระดับความไวตัวของดินเหนียว

จำแนกระดับความไวตัว	ค่าความไวตัวของดิน
ดินเหนียวที่ไม่มีควมไว (Insensitve clay)	< 2
ดินที่มีความไวอยู่ในขั้นปานกลาง (Medium Sensitive clay)	2 ถึง 4
ดินเหนียวที่มีความไว (Sensitive clay)	4 ถึง 8
ดินเหนียวที่มีความไวสูง (Very sensitive clay)	8 ถึง 16
ดินเหนียวที่มีความไวสูงมาก (Quick clay)	> 16

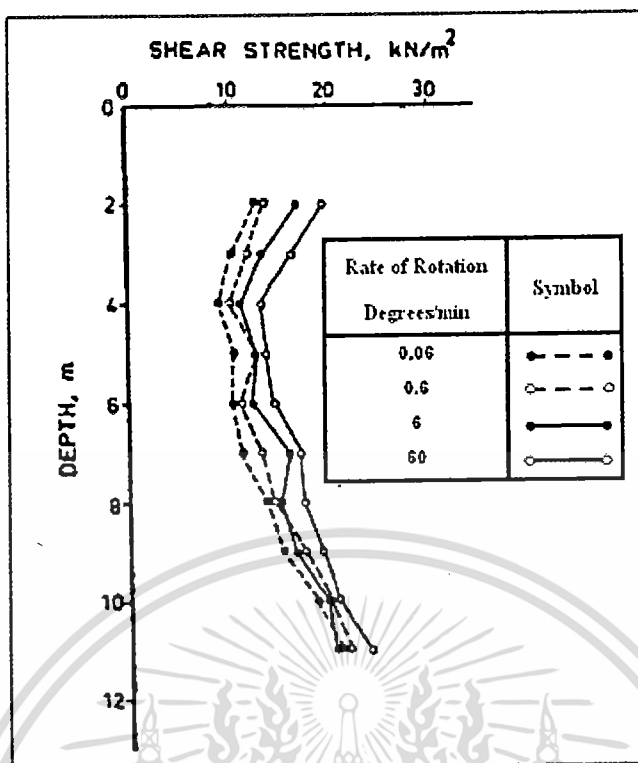
พฤติกรรมความไวตัวนี้ได้รับการศึกษาเพิ่มเติมออกไปอย่างมาก ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ดินเหนียวส่วนใหญ่จะสูญเสียกำลังบางส่วนเมื่อดินถูกรบกวน

Vongthieres (1966) ได้ทำศึกษาดินบริเวณกรุงเทพฯ หรือที่รู้จักกันว่า “ Bangkok clay ” ทั้งในชั้น Soft clay และ Stiff clay ในสภาพตามธรรมชาติ พบว่าตัวอย่างดินเหนียวที่มีความลึก 18 ถึง 22 ฟุต เป็นชั้น Soft clay และที่ความลึก 45 ถึง 50 ฟุต เป็นชั้น Stiff clay โดยทำการทดสอบแรงเฉือนด้วยใบเวน (Laboratory vane test) พบว่า ถ้า Soft clay ถูกรบกวนอย่างสมบูรณ์ (Complete remolded) จะทำให้กำลังรับแรงเฉือนลดลง 90 % จากกำลังรับแรงเฉือนในตัวอย่างคงสภาพ

ชาญยุทธ ยอดปรีชาวิจิตร และคณะ (2542) ได้ทำการศึกษาความไวตัวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ที่ระดับความลึก 2 ถึง 15 เมตร โดยการทดสอบแรงเฉือนในสนามด้วยใบเวน และการทดสอบแรงอัดแกนเดียว พบว่า จากการทดสอบแรงเฉือนในสนามด้วยใบเวนมีค่าความไวตัวอยู่ในช่วง 2 ถึง 4 โดยมีค่าความไวตัวเฉลี่ย 2.81 ส่วนการทดสอบแรงอัดแกนเดียวค่าความไวตัวอยู่ในช่วง 1 ถึง 3.5 โดยมีค่าความไวตัวเฉลี่ย 2.50

การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินในสนามด้วยใบเวน (Field vane shear test) ได้ถูกพัฒนาขึ้นในสวีเดนในช่วงระหว่างปี 1940 ถึง 1949 ตั้งแต่นั้นมาการทดสอบแรงเฉือนในสนามด้วยใบเวนก็ได้รับความนิยมอย่างมากในแถบ Scandinavia เนื่องจากเป็นวิธีการทดสอบที่สะดวก รวดเร็ว และมีค่าใช้จ่ายน้อยในการทดสอบ หลังจากนั้นจึงมีการศึกษากันอย่างแพร่หลายถึงปัจจัยที่มีผลจากการทดสอบแรงเฉือนในสนามด้วยใบเวน

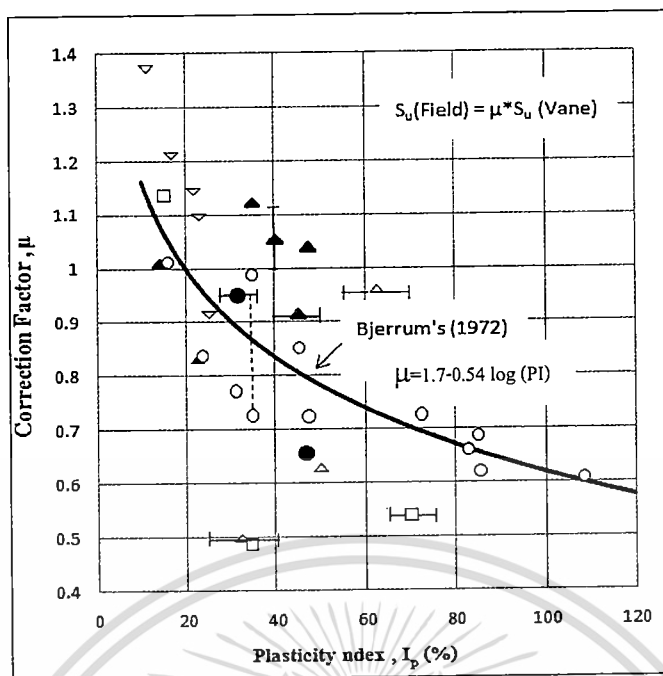
Wiesel (1973) ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดของใบเวน และอัตราการหมุนใบเวน ที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินในการทดสอบแรงเฉือนในสนามด้วยใบเวน โดยใช้ใบเวนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน แต่มีความสูงต่างกัน พบว่า ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินและมุมที่หมุนไปจนถึงจุดพังวิบัติ (Angle of rotation at failure) จะมียาลดลงเมื่อความสูงของใบเวนลดลง และค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจะต่ำลงเมื่ออัตราการหมุนใบเวนต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กำลังรับแรงเฉือนที่เปลี่ยนแปลงตามความลึกเมื่ออัตราการหมุนใบเวนต่างกัน

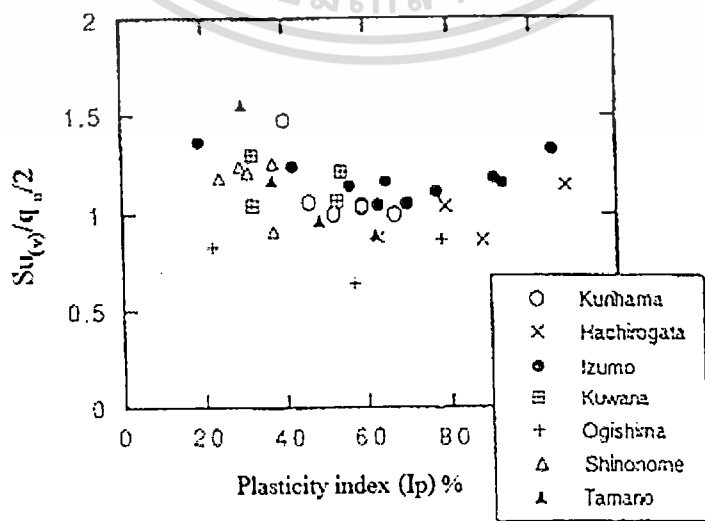
Brand และคณะ (1999) ทำการทดสอบดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯบริเวณรังสิต พบว่ากำลังรับแรงเฉือนของดินในสนามที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนด้วยใบเวน ช่วงความลึกจากผิวดินถึง 1.50 เมตร กำลังรับแรงเฉือนมีค่าประมาณ 0.3 ถึง 0.4 ksc. สำหรับช่วงความลึก 1.50 ถึง 2.00 เมตร กำลังรับแรงเฉือนมีค่าประมาณ 0.24 ถึง 0.35 ksc. และช่วงความลึก 2.00 ถึง 8.00 เมตร กำลังรับแรงเฉือนมีค่าประมาณ 0.15 ถึง 0.3 ksc. ซึ่งจะเห็นว่ากำลังรับแรงเฉือนมีค่าลดลงตามระดับความลึก และมีค่าความไวตัวอยู่ในช่วง 3 ถึง 8 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 4 และจากการทดสอบแรงอัดแกนเดียวได้ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่กระจายตัวมาก โดยมีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 0.09 ถึง 0.4 ksc. และมีค่าความไวตัวอยู่ในช่วง 3.5 ถึง 14 โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 6

Bjerrum (1973) ได้ทำการศึกษาถึงผลของ Anisotropy ของดินเหนียวที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนในสนามด้วยใบเวน พบว่าค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนด้วยใบเวน จะมีค่ามากกว่ากำลังรับแรงเฉือนของดินในสนามจริงๆ เมื่อดินมีค่า Plasticity index (I_p) มากกว่า 20% ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบด้วยใบเวน โดยใช้ Correction factor (μ) ที่แปรผันตามค่า I_p ดังแสดงในรูปที่ 2.2



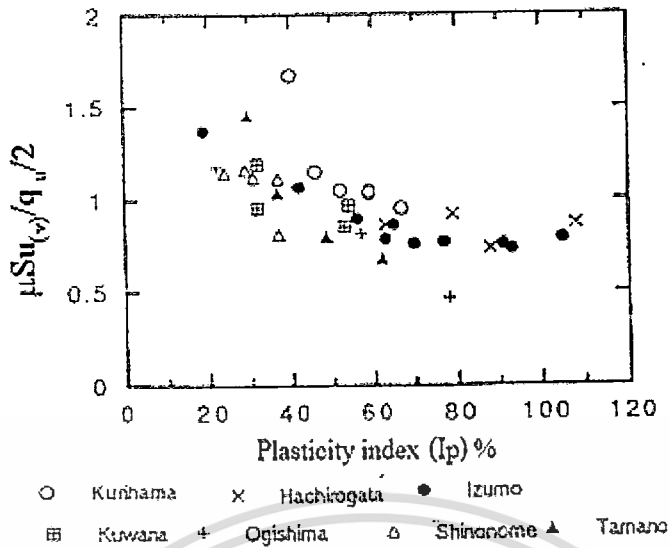
รูปที่ 2.2 Bjerrum's correction factor (μ)

Tanaka (1995) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนในสนามด้วยไบเวน กับค่า Bjerrum's correction factor ใน Japanese marine clay พบว่าการใช้ค่า μ ใน Japanese marine clay จะทำให้เกิดการออกแบบที่ปลอดภัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ I_p มีค่ามากกว่า 50 % และทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนของค่าแรงเฉือนในสนามจากการทดสอบแรงเฉือนในสนามด้วยไบเวน ($S_{u(v)}$) กับค่าแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบแรงอัดแกนเดียว ($q_u/2$) พบว่าอัตราส่วนของค่า ($S_{u(v)} / (q_u/2)$) จะแปรผันตามค่า I_p เล็กน้อย โดยเมื่อ I_p มีค่าต่ำกว่า 40 % อัตราส่วนของค่า ($S_{u(v)} / (q_u/2)$) จะมีค่ามากกว่า 1 ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และ 2.4



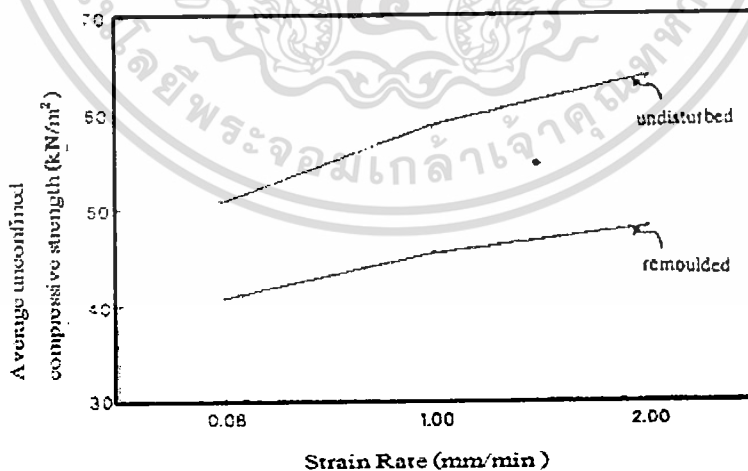
รูปที่ 2.3 อัตราส่วนค่า ($S_{u(v)} / (q_u/2)$) เทียบกับค่า I_p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



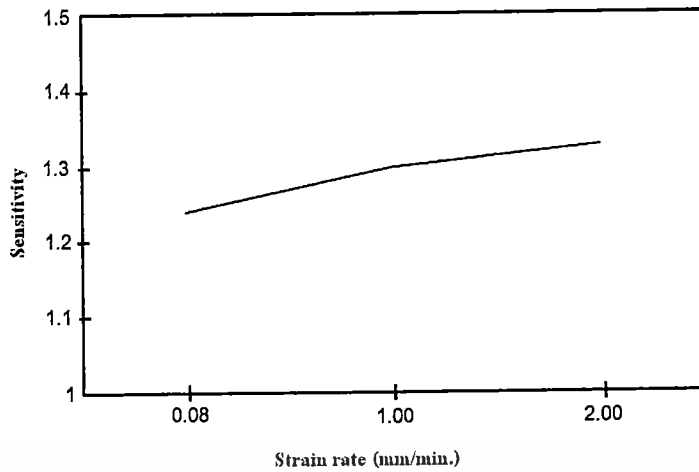
รูปที่ 2.4 อัตราส่วนค่า $\mu(S_{u(v)}) / (q_u/2)$ เทียบกับค่า I_p

Awolaye และคณะ (1991) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราการทดสอบที่มีผลต่อกำลังรับแรง และความไวตัวของดินเหนียวที่มีความเป็น Plastic สูง พบว่ากำลังของดินจะเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการเพิ่มของ Strain สูงขึ้น โดยในตัวอย่างคงสภาพจะมีกำลังเพิ่มขึ้นมากกว่ากำลังที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่างที่ถูกรบกวนที่อัตราการเพิ่มของ Strain เดียวกัน จึงทำให้ค่าความไวตัวเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการเพิ่มของ Strain (Strain rate) สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.5 หน่วยแรงอัดแกนเดียวเฉลี่ยที่แปรผันตามอัตราการเพิ่มของ Strain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความไวตัวแปรผันตามอัตราการเพิ่มของ Strain

Eide (1968) ได้ทำการเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนแบบไร้การระบายน้ำที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนในสนามด้วยไบเวนกับการทดสอบแรงอัดแกนเดียวในดินเหนียวบริเวณกรุงเทพ พบว่าแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนในสนามด้วยไบเวน จะมีค่ามากกว่าแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบแรงอัดแกนเดียวอยู่ประมาณ 1.2 เท่า

2.2.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดินเหนียว

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติต่างๆของดิน ได้มีผู้วิจัยไว้หลายท่าน โดยแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติดัชนี (Index properties) และคุณสมบัติทางกำลัง (Strength properties) คุณสมบัติทางการยุบอัดตัว (Compressibility characteristics) คุณสมบัติที่แสดงประวัติการกำเนิดของดิน (Stress history) ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติต่างๆได้ดังนี้

1.) Plasticity Index กับ Liquid Limit

เป็นความสัมพันธ์ที่มีความสำคัญเนื่องจาก Plasticity chart ใช้ในการจำแนกดินเม็ดละเอียดในวิธี Unified soil classification system (USCS) ความสัมพันธ์ดังกล่าวซึ่งวิเคราะห์จากดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ มีผู้วิจัยไว้หลายท่านดังแสดงในตารางที่ 2.2

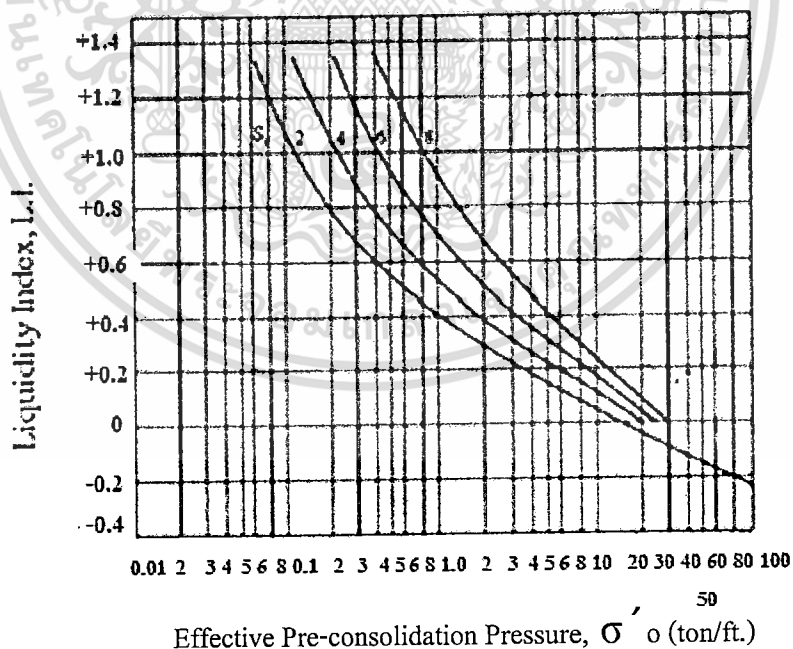
ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Plasticity index กับ Liquid limit สำหรับดินเหนียว

กรุงเทพฯ

สมการถดถอย	R^2	ชนิดของดิน	ผู้วิจัย
$PI=0.74LL-9.21$	-	กรุงเทพฯ (Soft-Medium Clay)	Muktabhant et al. (1966)
$PI=0.805LL-11.48$	-	เขตรังสิต (Soft-Medium Stiff Clay)	Dumn Muh (1977)
$PI= 0.745LL-9.89$	0.968	เขตปทุมวัน (All Clay)	Tongyagate (1978)
$PI=0.74LL-11.47$	0.934	กรุงเทพฯ (Soft Clay)	Kerdsuwan (1984)
$PI=0.753LL-12.26$	0.934	กรุงเทพฯ (Soft Clay)	กวีวงษ์ (2530)

2.) Liquidity index กับ Pre-consolidation pressure และ Sensitivity index

ความสัมพันธ์ดังกล่าววิเคราะห์โดย Kullhaway and Mayne (1990) ซึ่งได้เสนอความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.7 โดยพบว่าค่า σ'_{mp} เพิ่มขึ้นเมื่อ LI ลดลง

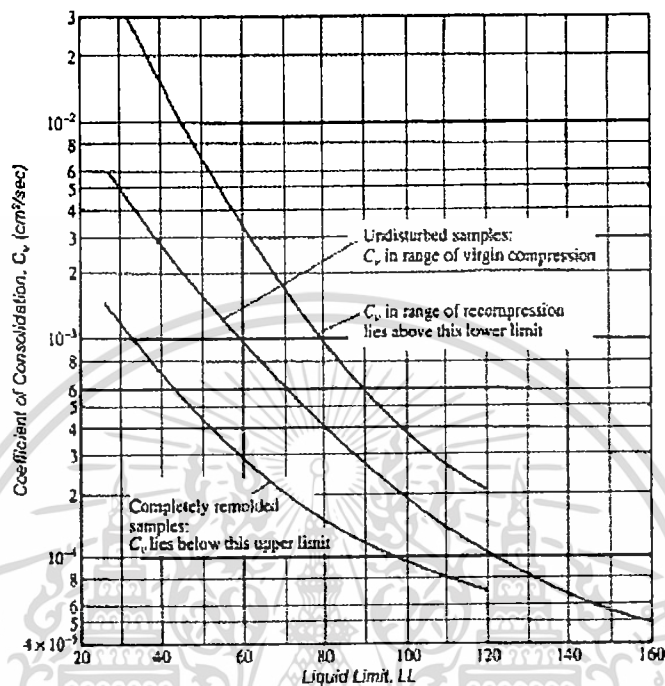


รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Liquidity index, Maximum past pressure และ Sensitivity index

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) Coefficient of consolidation กับ Liquid limit

การหาค่า Coefficient of consolidation ในสนามทำได้ยาก ดังนั้น U.S. Department of the navy (1971) จึงได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง C_c กับ LL ได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Coefficient of consolidation กับ Liquid limit
ที่มา: After U.S. Department of the navy (1971)

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 ความเป็นมาของดิน

ดินเกิดจากการกัดกร่อน ผุพัง และแตกสลายของหินต่างๆ โดยธรรมชาติ จะประกอบไปด้วย กรวด (Gravel) ทราย (Sand) ทรายเม็ดปน (Silt) ดินเหนียว (Clay) น้ำ (Water) และอากาศหรือก๊าซ (Air) โดยมีเม็ดแร่ธาตุต่างๆ ที่ตกตะกอนทับถมกัน ไม่นานมารวมกัน แต่สามารถแยกให้ออกจากกันได้ เม็ดดินส่วนมากมีขนาดเล็กกว่า 300 มิลลิเมตร เชื่อมยึดติดกันด้วยแรงยึดเหนี่ยว (Bond) ระหว่างอนุภาคแล้วแต่สถานะของดิน แต่การเชื่อมยึดไม่ได้ยึดแน่นเหมือนการยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของหิน วัสดุต้นกำเนิดดินแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ อนินทรีย์วัตถุ ได้แก่ หินและแร่ต่างๆ และอินทรีย์วัตถุ ได้แก่ ซากพืชและสัตว์ที่ย่อยสลายแล้ว

2.3.2 ส่วนประกอบของดิน

ส่วนประกอบของมวลดิน มี 3 ส่วนใหญ่ๆ ส่วนแรกคือส่วนที่เป็นเม็ดดินหรือของแข็ง (Solid) ส่วนที่สองคือส่วนที่เป็นน้ำหรือของเหลว (Water) และส่วนที่สามคือส่วนที่เป็นอากาศหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซ (Air) ซึ่งองค์ประกอบทั้งหมดนี้จะมีสัดส่วนมากหรือน้อยเท่าใดต่อมวลดินหนึ่งหน่วยปริมาตร จะเป็นตัวบอก คุณสมบัติ คุณภาพในการรับกำลังของดินนั้นๆ

2.3.2.1 เม็ดดินหรือของแข็ง (Solid) เป็นส่วนที่มีเม็ดดินหรือมวลดิน ที่เกิดจากหินผ่านกระบวนการทางฟิสิกส์ ให้ผุพัง แตกสลาย หรือจากตะกอนที่ทับถมกันมา ซึ่งมีแร่และสารอินทรีย์ เป็นองค์ประกอบ ดังรูปที่ 2.9 ก.

2.3.2.2 น้ำหรือของเหลว (Water) น้ำเป็นส่วนประกอบอีกอย่างของดิน ซึ่งอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ถ้าช่องว่างระหว่างเม็ดดินเต็มไปด้วยน้ำเรียกว่า ดินอิ่มตัว (Saturated soil) ดังรูปที่ 2.9 ข.

2.3.2.3 อากาศหรือก๊าซ (Air) ซึ่งอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ถ้าช่องว่างระหว่างเม็ดดินเต็มไปด้วยอากาศเรียกว่า ดินแห้ง (Dry soil) ถ้าช่องว่างระหว่างเม็ดดินเต็มไปด้วยน้ำและอากาศเรียกว่า ดินชื้นหรือดินเปียก (Unsaturated หรือ Wet soil) ดังรูปที่ 2.9 ค.



ก. เม็ดดินหรือมวลดิน

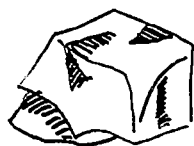
รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของดิน

2.3.3 รูปร่างของเม็ดดิน

รูปร่างของเม็ดดินมีลักษณะแตกต่างกันไปตามถิ่นกำเนิดของดิน จากสภาวะการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ หรือปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดดินประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆ รวมตัวกัน จึงทำให้มีรูปร่างแตกต่างกันไป และรูปร่างของเม็ดดินจะมีอิทธิพลทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินเปลี่ยนแปลงไป โดยส่วนใหญ่รูปร่างของเม็ดดินจะมี 3 กลุ่มดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.รูปร่างเหลี่ยม



เหลี่ยมคม

เหลี่ยมปานกลาง

เหล็มน้อย

ข.รูปร่างเหลี่ยมมน



เหลี่ยมมน

เหลี่ยมมนปานกลาง

เหลี่ยมมนน้อย

ค.รูปร่างกลมเหลี่ยม



กลมเหลี่ยม

กลมเหลี่ยมปานกลาง

กลมเหล็มน้อย

ง.รูปร่างกลมมน



กลมมน

กลมมนปานกลาง

กลมมนน้อย

จ.รูปร่างกลม



กลม

กลมปานกลาง

กลมน้อย

รูปที่ 2.10 รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นก้อนหรือเป็นเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.1 รูปร่างเป็นก้อนหรือเป็นเม็ด (Bulky grains) มีลักษณะเป็นเม็ดกลม กกลมมน เหลี่ยมมน และเหลี่ยมคม ดังรูปที่ 2.10 ก. ถึง จ. ได้แก่ ดินพวกเม็ดหยาบเช่น กรวด ทราย ซึ่งประกอบด้วยแร่พวก Quarts และ Feldspar ดินกลุ่มนี้มีความสามารถในการรับน้ำหนักได้มากและมี การยุบตัวน้อย ถ้ารูปร่างเป็นเหลี่ยมจะสามารถบดอัดได้ง่ายด้วยแรงสั่นสะเทือนและแรงกระทำ

2.3.3.2 รูปร่างเป็นแผ่นหรือเป็นเกล็ด (Flakey หรือ Plate-like grains) มีลักษณะเป็น แผ่นแบนและบาง ดังรูปที่ 2.11 ก. และ ข. ดินกลุ่มนี้ได้แก่ ดินเม็ดละเอียดเช่น ตะกอนทราย และ ดินเหนียว ซึ่งประกอบด้วยแร่พวก Mega และแร่ดินเหนียวบางชนิดเช่น Kaolinite คุณสมบัติที่สำคัญของดินกลุ่มนี้คือ สามารถยุบตัวได้ง่ายภายใต้ น้ำหนักคงที่ การบดอัดด้วยแรงสั่นสะเทือนและ แรงกระทำทำให้ดินอัดตัวกันแน่นได้ยาก



ก. Mica

ข. Kaolinite

รูปที่ 2.11 รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นแผ่นหรือเป็นเกล็ด

2.3.3.3 รูปร่างเป็นเส้น (Elongated หรือ Needle-like grains) ส่วนมากเป็นรูปร่าง ของแร่ Halloysite พวกใยหิน ก็ถ้าภูเขาไฟบางชนิด และพวกอินทรีย์สาร เช่น Peat ดังรูปที่ 2.12



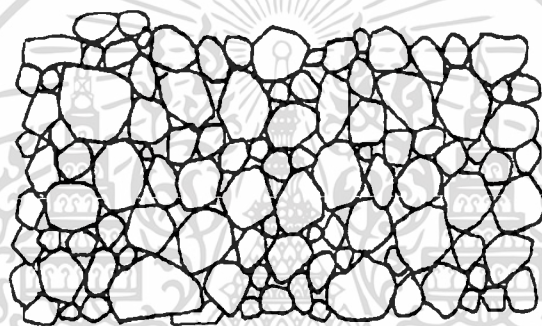
รูปที่ 2.12 รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4. โครงสร้างของดิน (Structure of soil)

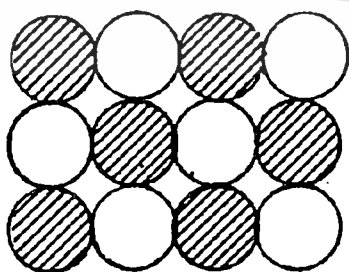
โครงสร้างของเม็ดดิน คือการจัดเรียงตัวตามธรรมชาติ ตามขนาดและรูปร่างของเม็ดดิน รวมทั้งแร่ที่ประกอบกันเป็นเม็ดดิน เนื่องจากแรงดึงดูดที่ผิวของเม็ดดินและแรงดึงดูดของโลก ดังนั้นโครงสร้างของดินเหล่านี้จึงมีผลต่อคุณสมบัติของดิน สามารถแบ่งออกได้ 4 กลุ่มดังนี้

2.3.4.1 โครงสร้างดินแบบเม็ดเดี่ยว (Single-grained structure) ส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างของพวกทราย หรือตะกอนทราย ที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.02 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเม็ดดินตกตะกอนทับถมกันจะเรียงตัวกันแบบเป็นเม็ดต่อเม็ดซ้อนกันอยู่ ดังรูปที่ 2.13 โดยธรรมชาติจะอยู่ในสภาพหลวม เมื่อดินได้รับน้ำหนักกดทับหรือแรงสั่นสะเทือน จะทำให้โครงสร้างของเม็ดดินขยับตัวอยู่ในเรียงชิดติดกันจนอยู่ในสภาพแน่น ดินประเภทนี้จึงมีการทรุดตัวสูงมากในทันที ทันใด และ จะเริ่มทรุดตัวต่อไปน้อยหรือไม่มีเลยหลังจากที่ได้รับน้ำหนักกดทับหรือแรงสั่น สะเทือนแล้ว

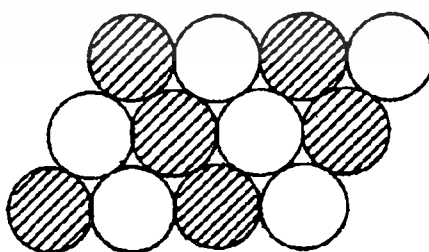


รูปที่ 2.13 โครงสร้างของดินเม็ดเดี่ยว

ลักษณะความแตกต่างของอัตราส่วนช่องว่าง (Void ratio) ของโครงสร้างดินขึ้นอยู่กับรูปแบบการจัดเรียงตัวกันของเม็ดดิน เช่นการเรียงตัวกันในสภาพหลวม ซึ่งจะมีอัตราส่วนของช่องว่างมากดังรูปที่ 2.14 ก. และการเรียงตัวในสภาพแน่นจะมีอัตราส่วนช่องว่างน้อย ดังรูปที่ 2.14 ข.



(ก) สภาพหลวม



(ข) สภาพแน่น

รูปที่ 2.14 สภาพการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนมหุศมูกกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3.4.2 โครงสร้างแบบรวงผึ้ง (Honeycomb structure)

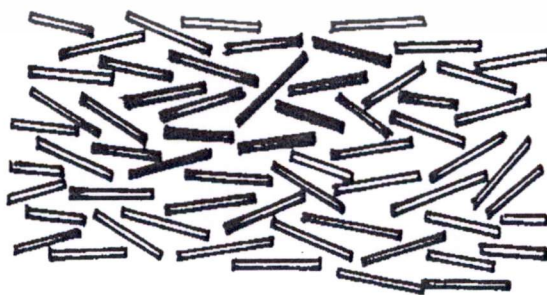
เป็นโครงสร้างดินตะกอนทรายที่มีขนาดเล็กกว่า 0.02 มิลลิเมตร เมื่อดินพวกนี้จะตกตะกอนและเกาะติดกันเป็นรูปร่างคล้ายรวงผึ้ง ดังรูปที่ 2.15 ลักษณะของโครงสร้างนี้จะมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินสูงมากและรับน้ำหนักได้จำกัด ถ้าน้ำหนักที่กระทำต่อมวลดินมีค่ามากพอที่จะทำให้ลายรูปร่างของโครงสร้างนี้ได้ ก็จะทำให้โครงสร้างนี้เปลี่ยนแปลงไปเป็นโครงสร้างแบบดินเม็ดเดี่ยว และอัตราส่วนช่องว่างก็จะลดลงไปด้วย ทำให้เกิดการทรุดตัวมาก ถ้าก่อสร้างอาคารหรือมีน้ำของโครงสร้างอยู่บนชั้นดินประเภทนี้ก็อาจจะเกิดการพิบัติได้ เนื่องจากการลดลงของปริมาตรดินหรือจากการทรุดตัว



รูปที่ 2.15 โครงสร้างแบบรวงผึ้ง

2.3.4.3 โครงสร้างแบบเป็นระเบียบ (Dispersed structure)

เป็นโครงสร้างของดินเหนียวมีลักษณะเป็นผลึกแผ่นบาง มีคุณลักษณะที่สามารถดึงดูดน้ำได้ดี ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนในน้ำจืด มีคุณสมบัติการยึดเกาะกันด้วยแรงไฟฟ้าเคมี (Electrochemical forces) แรงยึดเกาะนี้เรียกว่าแรงเชื่อมแน่น (Cohesion) แต่ผลลัพท์จากประจุไฟฟ้าของเม็ดดินขณะตกตะกอนทับถมกันเกิดการจัดเรียงตัวแบบ Face to face ได้เป็นโครงสร้างแบบเป็นระเบียบ ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 โครงสร้างแบบเป็นระเบียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.4 โครงสร้างแบบระเกะระกะ (Flocculent structure)

เป็นโครงสร้างของดินเหนียวที่เกิดจากการตกตะกอนในทะเล และผลลัพท์จากประจุไฟฟ้าของเม็ดดินทำให้เมื่อเม็ดดินตกตะกอนและทับถมกันนั้น จากจัดเรียงตัวแบบ Edge to face เม็ดดินจะยึดติดกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างผิวที่จุดสัมผัส ได้เป็นโครงสร้างแบบระเกะระกะ ดังรูปที่ 2.17 และโดยทั่วไปโครงสร้างแบบนี้จะไม่มั่นคงและมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินมาก ส่วนการตกตะกอนในน้ำสะอาดจะมีแนวโน้มเป็นทั้งสองแบบก้ำกึ่งกัน



รูปที่ 2.17 โครงสร้างแบบระเกะระกะ

2.3.5 ดินเหนียว (Clay)

ดินเหนียวเป็นดินเม็ดละเอียดขนาดของเม็ดดินตั้งแต่ 0.002 มิลลิเมตรลงมา (จำแนกตาม AASHTO M146-70) ซึ่งมีแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคสูงความสามารถในการซึมผ่านต่ำ มีคุณสมบัติเปลี่ยนไปตามปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและปริมาตรได้ง่าย ไม่ว่าจะมึน้ำหนักมากกระทำหรือไม่ แร่ธาตุดินเหนียว สามารถแบ่งตามลักษณะของ Basic Sheets 2 ชนิด คือ Tetrahedral sheet (Silica sheet) และ Octahedral sheet (Alumina sheet) ซึ่งการจัดตัวของ Basic Sheets ทั้ง 2 ชนิดนี้ ทำให้เกิดโครงสร้างหลัก ๆ ของแร่ธาตุดินเหนียว 2 กลุ่ม คือ Two Layer Clay Minerals ที่พบมากได้แก่ เกอโอลิไนต์ (Kaolinite) ส่วนกลุ่มที่ 2 คือ Three layer Clay Minerals ที่พบมากได้แก่ อิลไลต์ (Illite) และ มอนต์โมริลไอไนต์ (Montmorillonite)

2.3.6 ชนิดของแร่ประกอบดินเหนียวที่สำคัญมีดังนี้

1) Kaolinite โครงสร้างเป็นประเภท Two-Layer sheet ที่พบบอกนอกจาก Kaolinite แล้วยังมี Halloysite และ Dickite kaolinite มีสูตรทางเคมีคือ $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ โครงสร้างประกอบด้วยแผ่น Silica sheet ประกบทับแผ่น Gibbsite Sheet ขนาดของโครงสร้างจะขยายตัวออกไปในแนวราบโดยไม่จำกัด ระหว่างโครงสร้างจะยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ทำให้โมเลกุลของน้ำและไอออนไม่สามารถแทรกตัวอยู่ได้ทำให้ดินเหนียวประเภทนี้ไม่ขยายตัวและหดตัวมากนักเมื่อ

เอกความชื้นในดินเปลี่ยนแปลง ดินเหนียวประเภทนี้ถือได้ว่ามีเฉพาะ External surface ไม่มี Internal การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

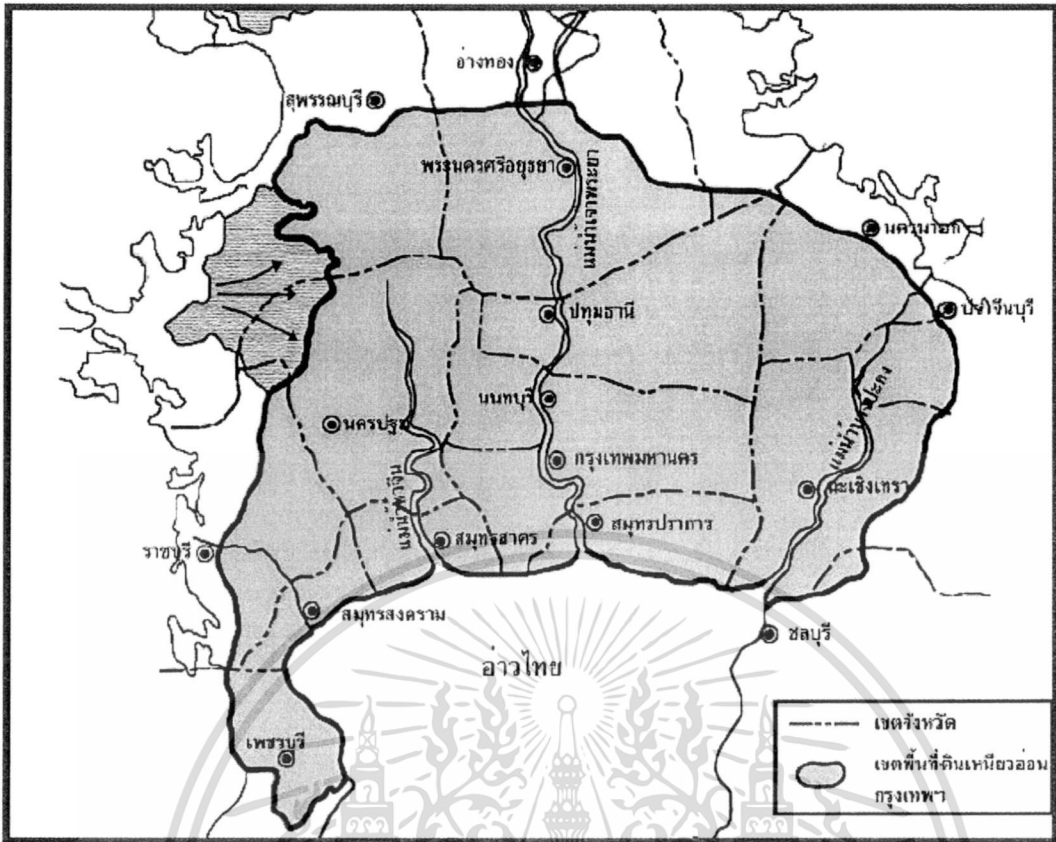
surface ดังนั้นการดูดซับคอลลอยด์อินทรีย์จึงมีค่าน้อยดินเหนียวประเภทนี้มักมีการเรียงตัวแน่น มีขนาดอนุภาคประมาณ $1 \mu\text{m}$

2) Illite โครงสร้างเป็นประเภท Three-layer sheets โครงสร้างโดยทั่วไปเหมือนกับพวก Montmorillonite แต่จะแตกต่างกันตรงที่ระยะระหว่างแผ่นผลึกมีระยะคงที่เนื่องมาจาก Si อะตอมบางส่วนถูกแทนที่โดย Al อะตอม ดังนั้นประจุที่เหลือค้างจะถูกชดเชยโดย K อีออน ดังรูปที่ 2.3 ดังนั้นสูตรทางเคมีของ Illite จึงเขียนสูตรทางเคมีได้เป็น $\text{K}_{1.33}(\text{Si}_{6.66}\text{Al}_{1.33})\text{Al}_4\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ ซึ่งทำให้ระยะระหว่างแผ่นผลึกไม่ขยับเขยื้อน มีขนาดอนุภาคประมาณ $0.1 \mu\text{m}$

3) Montmorillonite โครงสร้างเป็นประเภท Three-Layer Sheets ที่พบบ่อยนอกจาก Montmorillonite แล้วยังมี Beidellite, Nontronite, Saponite โดย Montmorillonite มีสูตรทางเคมีคือ $\text{Si}_8(\text{Al}_{3.34}\text{Mg}_{0.66})\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ โครงสร้างประกอบด้วยแผ่น Silica Sheet สองแผ่น และ Gibbsite Sheet หนึ่งแผ่นอยู่ระหว่างกลาง ระหว่างแผ่นไม่มีพันธะไฮโดรเจนทำให้ระยะห่างระหว่างโครงสร้างผลึกเปลี่ยนแปลงได้ ทำให้โมเลกุลของน้ำและไอออนต่าง ๆ สามารถแทรกตัวอยู่ใน Internal surface ได้การพองตัวและหดตัวสูงเมื่อความชื้นของดินเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดซับน้ำและไอออนบวกสูง โครงสร้างผลึกไม่แข็งแรง และมี Specific surface สูงมาก มีขนาดอนุภาคประมาณ $0.01 \mu\text{m}$

2.3.7 ดินเหนียวกรุงเทพฯ (Bangkok clay)

ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Bangkok clay) เป็นดินที่เกิดจากการพัดพาของน้ำ หรือดินแขวนลอย ไหลตามน้ำมา เมื่อความเร็วของน้ำชะลดลงเพราะกระแสน้ำมาปะทะกับน้ำทะเลในอ่าวไทย ทำให้ดินที่แขวนลอยมากับน้ำตกตะกอน บางส่วนวิ่งไปตกตะกอนในอ่าวไทย และบางส่วนของตะกอนมาก ๆ จะกลับมากัดตะกอนบริเวณกรุงเทพฯ ใหม่ โดยแขวนลอยมากับน้ำทะเลหนุน (น้ำขึ้น) ดังนั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ จะเป็นดินที่มีเม็ดละเอียดมาก มีปริมาณน้ำบรรจุ (Water content) อยู่ระหว่างร้อยละ 60 ถึง 120 มีขีดจำกัดเหลว (Liquid limit) อยู่ระหว่างร้อยละ 60 ถึง 120 มีค่าความซึมได้ตามแนวตั้งอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 1.0 เมตรต่อปี มีอัตราส่วนโพรง (Void rate) 1.80 ถึง 3.50 มีค่า Undrained shear strength อยู่ระหว่าง 300 ถึง 1,500 กิโลเมตรต่อตารางเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ รับน้ำหนักได้น้อยมากยุบตัวได้สูงมาก พร้อมจะเลื่อนไหลเมื่อมีน้ำหนักกดทับ โดยขอบเขตของชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ แสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงขอบเขตของชั้นดินเหนียวกรุงเทพ ฯ (วสท.: 2545)

2.3.8 คุณสมบัติของชั้นดินเหนียวกรุงเทพ ฯ

คุณสมบัติพื้นฐาน ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวกรุงเทพ ฯ แสดงในตารางที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ โดยคุณสมบัติที่แสดงไว้นี้คือ Natural water content, Atterberg's limit, Total unit weight, Specific gravity, Vane shear strength, Unconfined compressive strength และค่า SPT (Standard penetration test) จากคุณสมบัติของดินเหนียวในเขตกรุงเทพมหานคร และพื้นที่ข้างเคียงตามที่เสนอมานี้ จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติของดินมีการกระจายตัวค่อนข้างสูงมาก ลักษณะเช่นนี้อาจมีสาเหตุที่สำคัญจากข้อสมมติฐานที่ว่า ชั้นดินในเขตพื้นที่นี้ อาจมีสภาพของเนื้อดินแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณ กล่าวคือดินแต่ละแห่งมีอิทธิพลจากน้ำทะเลและน้ำจืดที่แตกต่างกันในระหว่างการตกตะกอน จึงทำให้โครงสร้างของดินและปริมาณน้ำที่อยู่ในดินแตกต่างกันมาก กำลังและความหนาแน่นของดินก็ย่อมแตกต่างกันไปด้วย แต่ถ้าพิจารณาถึงค่า Specific gravity ของดินแล้ว จะเห็นได้ว่ามีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งอาจแสดงได้ว่าเนื้อของเม็ดดินมาจากส่วนผสมของแร่ที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (วสท:2545)

	W_n %	W_L %	W_p %	LI	γ_t (t/m^3)	G_s
Weathered Clay	Gulacchol (1970) Weathesed Clay	51.2 ± 6.9	77.5 ± 2.1	33.9 ± 0.5	0.4	2.71 ± 0.1
	Brand (1971) Weathesed Clay	62.9 ± 4.2	89.6 ± 5.1	38.6 ± 2.4	0.60 - 1.00	2.69 ± 0.01
	Phuong (1973) Weathesed Clay	50 - 90	80 - 100	30 - 45	0.2 - 2.0	1.55 - 1.9
	TASEENART (1984) Weathesed Clay	30 - 100	30 - 90	20 - 35		1.40 - 1.72
	ปญญา (2546) Weathesed Clay	50 - 86.9	58 - 91.5	11.94 - 49.4		
Soft to Medium Clay	Moh et.al. (1969) Soft Clay 2.86-14.6 m.	31.9 - 83.6	44.9 - 84.5	24 - 35.8	0.75 - 1.00	2.68 - 2.73
	Phoung (1973) (AIT) 4.6-9.0 m.	60 - 120	80 - 120	25 - 65	0.64 - 1.00	2.66 - 2.72
	ศรัญญูฤทธิ์ (1977) 2-14 m.	61.1 ± 11.5	63.5 ± 12.8		1.17 ± 0.58	2.66 ± 0.03
	TSAI (1982) (AIT)	70 - 85	79 - 95	30 - 34	0.76 - 0.91	
	TSAI (1982) (Nong Ngoo Hao)	65 - 125	80 - 122	25 - 52	0.92 - 1.1	1.5 - 1.75
	TSAI (1982) (Pathumwan)	48 - 65	58 - 72	26 - 33	0.68 - 0.78	
	TSAI (1982) (Pom Prachan)	62 - 82	75 - 110	26 - 40	0.61 - 0.88	1.6 - 1.7
	TASEENART (1984) Soft Clay	40 - 90	40 - 90	20 - 40	0.2 - 2.0	
	กำธร 2529 0-14.2 m.	60.35 ± 9.3	63.61 ± 6.8	28.20 ± 2.6	1.65 ± 0.07	2.65 ± 0.03
	กวีวงษ์ (2530) Soft-Medium Clay	57 - 63	62 - 63	28 - 30	0.8 - 1.0	1.40 - 1.80
	สุทัศน์ (2530) นางเขน	68.22 ± 7.9	66.9 ± 10.4	37.92 ± 8.4		2.68 ± 0.05
	อาคม (2542)	94.36	93.9	31.7	1.58 ± 0.06	2.57
ปญญา (2546) 6-16 m.	39.4 - 74	51.6 - 82.6	22.8 - 34.4	1.01		
Stiff to Very Stiff Clay	Muktabhant et. al. (1966) 26-36 ft	20 - 40	45 - 70	20 - 30		1.54 - 1.60
	Vongthiereg (1966) 48ft.	30	58	24		1.49
	Hengchaovanich (1969) 36 ft.	20 - 30	59.3 ± 5.9	22.6 ± 1.6	0.1	1.61
	ศรัญญูฤทธิ์ (1977) 14-25 m.	26.1 ± 12.1	49.1 ± 15.1			2.74 ± 0.02
	PARENTILLA (1983)	26.1 ± 7.6	49.9 ± 9.7	22.5 ± 3.9	0.16 ± 0.31	2.67 - 2.81
	TASEENART (1984) First Stiff Clay	15 - 40	25 - 90	15 - 40	(-0.25) - 0.5	1.80 - 2.15
	TASEENART (1984) Second Stiff Clay	15 - 35	30 - 70	15 - 35	(-0.35) - 0.75	1.80 - 2.25
	กวีวงษ์ (2530) Stiff-Very Stiff Clay	27 - 30	52 - 58	23 - 26	0.1 - 0.2	1.9 - 2.0
ปญญา (2546) 16-25 m.	17.9 - 48.3	39.7 - 69.1	19.1 - 31.7		1.86 - 2.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (วสท:2545)

Layers	ผู้วิจัย	S_u (UC) (t/m^2)	Sensitivity (UC)	S_u (Vane) (t/m^2)	Sensitivity (Vane)	SPT	e_0	C_c	C_r	C_v $10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$	RR	P_m (t/m^2)
Soft to Medium Clay	ศรีบุญฤทธิ์ (1977) 2-14 m.	3.13 ± 1.98	2.60 ± 1.87	2.72 ± 1.7	2.59 ± 1.67		1.73 ± 0.33	0.81 ± 0.3	0.29 ± 0.09			
	TSAI (1982) (AIT)						2.06 ± 0.32	1.11 ± 0.21	0.17 ± 0.04	1.64 ± 0.59		8.2 - 10.6
	TSAI (1982) (Nong Ngoo Hao)						2.99 ± 0.51	1.42 ± 0.49	0.2 ± 0.07	1.47 ± 0.5		3.5 - 11.8
	TSAI (1982) (Pathumwan)						1.68 ± 0.38	0.78 ± 0.2	0.14 ± 0.07	1.86 ± 0.44		10.1 - 15.3
	TSAI (1982) (Pom Prachan)						2.19 ± 0.38	0.87 ± 0.13	0.17 ± 0.06	2.04 ± 1.1		2.34 ± 11
	กำธร (2529) 0-14.2 m.	2.85 ± 1.22				2-12						
	กวีวงษ์ (2530) Soft-Medium Clay	2.4 - 3.4		2.4 - 4.9			1.1 - 1.6	0.5 - 0.6	0.05 - 0.14		0.02 - 0.06	
ปณญา (2546) 6-16 m.	4.48 ± 2.6											
Stiff to Very Stiff Clay	Vongthierreg (1966) 48ft.		1.3 - 1.5									
	Hengchaovanich (1969) 36 ft	5.0 - 15	1.3									
	ศรีบุญฤทธิ์ (1977) 14-25 m.	15.6 ± 9.15					0.896 ± 0.322	0.30 ± 0.22	0.15 ± 0.08			
	PARENTILLA (1983)						0.67 ± 0.15	0.21 ± 0.14	0.16 ± 0.18		0.03 ± 0.011	63.0 ± 0.6
	TASEENART (1984) First Stiff Clay									0.034 - 0.125		
	TASEENART (1984) Second Stiff Clay									0.035 - 0.135		
	กำธร (2529)	6.93 ± 2.4				16 - 30						
	กวีวงษ์ (2530) Stiff-Very Stiff Clay	10.0 - 12				23 - 25	0.74 - 0.84	0.74 - 0.84	0.03 - 0.08		0.03 - 0.04	
ปณญา (2546) 16-25 m.	12.1 - 8.8											

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (วสท:2545)

Layers	ผู้วิจัย	S_u (UC) (t/m ²)	Sensitivity (UC)	S_u (Vane) (t/m ²)	Sensitivity (Vane)	SPT	e_0	C_c	C_c	C_v 10 ⁴ cm ² /sec	RR	P_m (t/m ²)
Soft to Medium Clay	ศรีบุญฤทธิ์ (1977) 2-14 m.	3.13 ± 1.98	2.60 ± 1.87	2.72 ± 1.7	2.59 ± 1.67		1.73 ± 0.33	0.81 ± 0.3	0.29 ± 0.09			
	TSAI (1982) (AIT)						2.06 ± 0.32	1.11 ± 0.21	0.17 ± 0.04	1.64 ± 0.59		8.2 - 10.6
	TSAI (1982) (Nong Ngoo Hao)						2.99 ± 0.51	1.42 ± 0.49	0.2 ± 0.07	1.47 ± 0.5		3.5 - 11.8
	TSAI (1982) (Pathumwan)						1.68 ± 0.38	0.78 ± 0.2	0.14 ± 0.07	1.86 ± 0.44		10.1 - 15.3
	TSAI (1982) (Pom Prachan)						2.19 ± 0.38	0.87 ± 0.13	0.17 ± 0.06	2.04 ± 1.1		2.34 ± 11
	กำธร (2529) 0-14.2 m.	2.85 ± 1.22				2-12						
	กวีวงษ์ (2530) Soft-Medium Clay	2.4 - 3.4		2.4 - 4.9			1.1 - 1.6	0.5 - 0.6	0.05 - 0.14		0.02 - 0.06	
ปณิชา (2546) 6-16 m.	4.48 ± 2.6											
Stiff to Very Stiff Clay	Vongthiareg (1966) 48ft.		1.3 - 1.5									
	Heugchaovanich (1969) 36 ft	5.0 - 15	1.3									
	ศรีบุญฤทธิ์ (1977) 14-25 m.	15.6 ± 9.15					0.896 ± 0.322	0.50 ± 0.22	0.15 ± 0.08			
	PARENTILLA (1983)						0.67 ± 0.15	0.21 ± 0.14	0.16 ± 0.18		0.03 ± 0.011	63.0 ± 0.6
	TASEENART (1984) First Stiff Clay									0.034 - 0.125		
	TASEENART (1984) Second Stiff Clay									0.035 - 0.135		
	กำธร (2529)	6.93 ± 2.4				16 - 30						
	กวีวงษ์ (2530) Stiff-Very Stiff Clay	10.0 - 12				23 - 25	0.74 - 0.84	0.74 - 0.84	0.03 - 0.08		0.03 - 0.04	
ปณิชา (2546) 16-25 m.	12.1 - 8.8											

2.3.9 สถานภาพของดิน

ดินพวกเม็ดละเอียดโดยเฉพาะดินเหนียว จะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปตามจำนวนน้ำที่มีอยู่ในดิน และจำนวนน้ำในดินนี้จะมีความสำคัญต่อสถานภาพของดิน เพราะจะทำให้ดินอยู่ในสภาพต่างๆ กัน เช่น ดินอาจมีสถานภาพเป็นของเหลว (Liquid state) เมื่อมีน้ำมากจนกระทั่งเนื้อดินมีลักษณะคล้ายของเหลวข้น ไม่สามารถทรงรูปอยู่ได้ และเมื่อปริมาณน้ำลดลงดินก็จะมีสถานภาพเป็นพลาสติก (Plastic state) มีลักษณะเหนียว สามารถปั้นเป็นรูปต่างๆ ได้ง่ายโดยไม่มีรอยแตกร้าว และเมื่อปริมาณน้ำลดลงอีก ดินก็จะมีสถานภาพเป็นวัสดุกึ่งของแข็ง (Semi-solid state) เพราะปั้นเป็นรูปต่างๆ ได้ยาก มักจะมีรอยแตกร้าว จนในที่สุดอาจมีสถานภาพเป็นของแข็ง (Solid state) เมื่อมีปริมาณน้ำน้อยมากหรือไม่มีเลย ปริมาณน้ำที่เป็นจุดแบ่งสถานภาพต่างๆ ของดินนี้เรียกว่า Consistency limits หรือ Atterberg's limits ได้แก่

- Liquid limit (L.L.) คือ ปริมาณน้ำในดินที่จุดซึ่งดินเริ่มเปลี่ยนสถานภาพจากของเหลวเป็น พลาสติก หรือคือปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ดินสามารถไหลไปได้ด้วยน้ำหนักของดิน

- Plastic limit (P.L.) คือ ปริมาณน้ำในดินที่จุดซึ่งดินเริ่มเปลี่ยนสถานภาพจากพลาสติกเป็นวัสดุกึ่งของแข็ง หรือคือปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ดินสามารถถูกกลึงเป็นเส้นกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) ได้โดยไม่เกิดรอยแตกที่ผิว

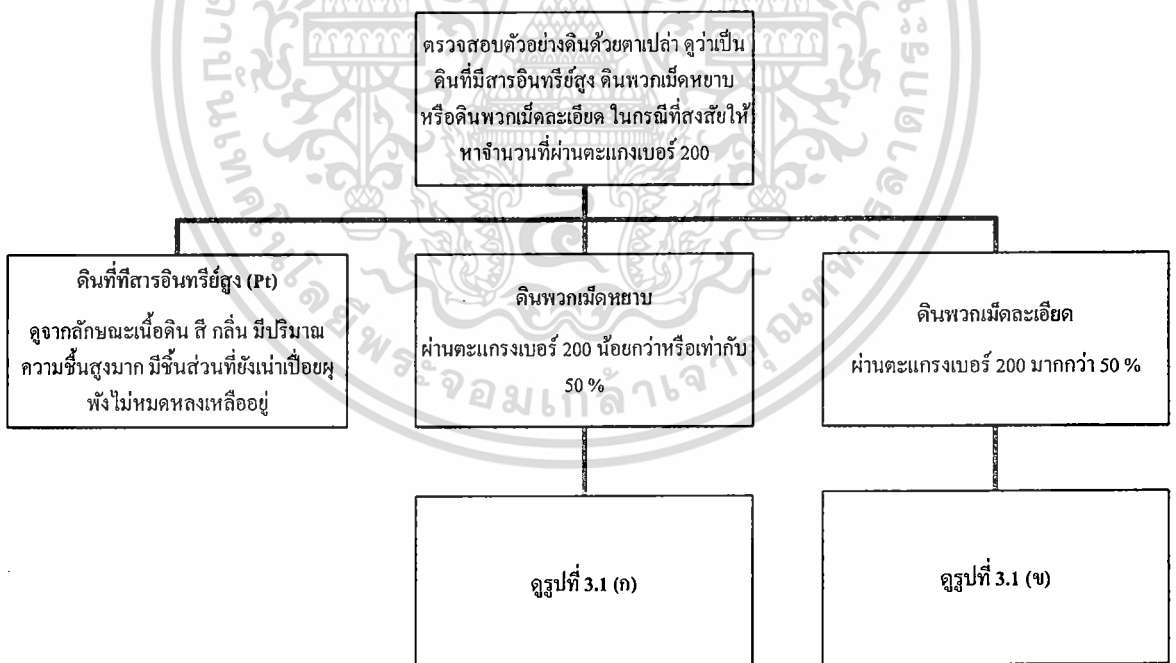
- Shrinkage limit (S.L.) คือปริมาณน้ำในดินที่จุดซึ่งดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากวัสดุกึ่งของแข็งเป็น ของแข็ง หรือคือปริมาณน้ำที่มากที่สุดซึ่งถึงแม้ว่าจะมีการสูญเสียน้ำอีกต่อไปก็ไม่ทำให้ดินหดตัวหรือลดปริมาตรลง

2.3.10 การจำแนกประเภทของดินในระบบ Unified

การจำแนกประเภทของดิน โดยวิธีนี้ เป็นที่นิยมแพร่หลายมากกว่าวิธีอื่น เหมาะกับงานวิศวกรรมทั่วไป เช่น งานดินถมและงานฐานราก เป็นต้น โดยแบ่งดินออกเป็นกลุ่มๆ ใช้อักษรภาษาอังกฤษเป็นสัญลักษณ์แทนชื่อกลุ่มของดิน แต่ละกลุ่มจะมีอักษรอย่างน้อย 2 ตัว ตัวแรกจะเป็นกลุ่มหลัก และตัวที่สองจะเป็นกลุ่มย่อยลงไป ซึ่งตัวอักษรแต่ละตัวจะมีความหมายในตัวของมันเอง ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการจำแนกประเภทของดินโดยระบบ Unified (มณฑิยร กังศศิเทียม , 2547)

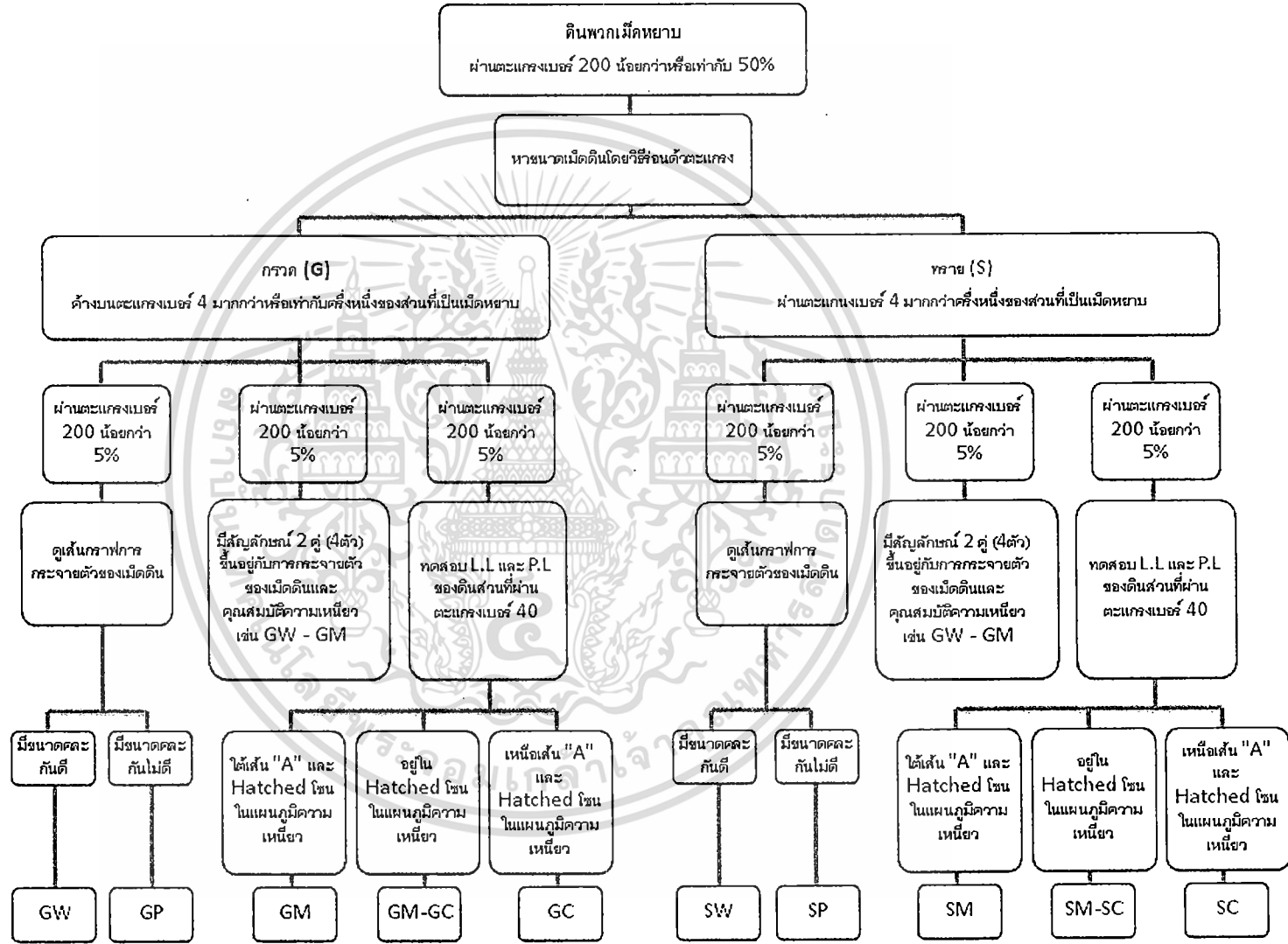
สัญลักษณ์	ลักษณะดิน	ย่อมาจาก
G	พวกกรวด	Gravel
S	พวกทราย	Sand
M	พวกตะกอนทราย	Mo = Silt
C	พวกดินเหนียว	Clay
O	พวกสารอินทรีย์	Organic
Pt	มีสารอินทรีย์สูง	Peat
W	มีขนาดคละกันดี	Well graded
P	มีขนาดคละกันไม่ดี	Poorly graded
L	L.L.น้อยกว่า 50%	Low Liquid Limit
H	L.L.มากกว่า50%	High Liquid Limit

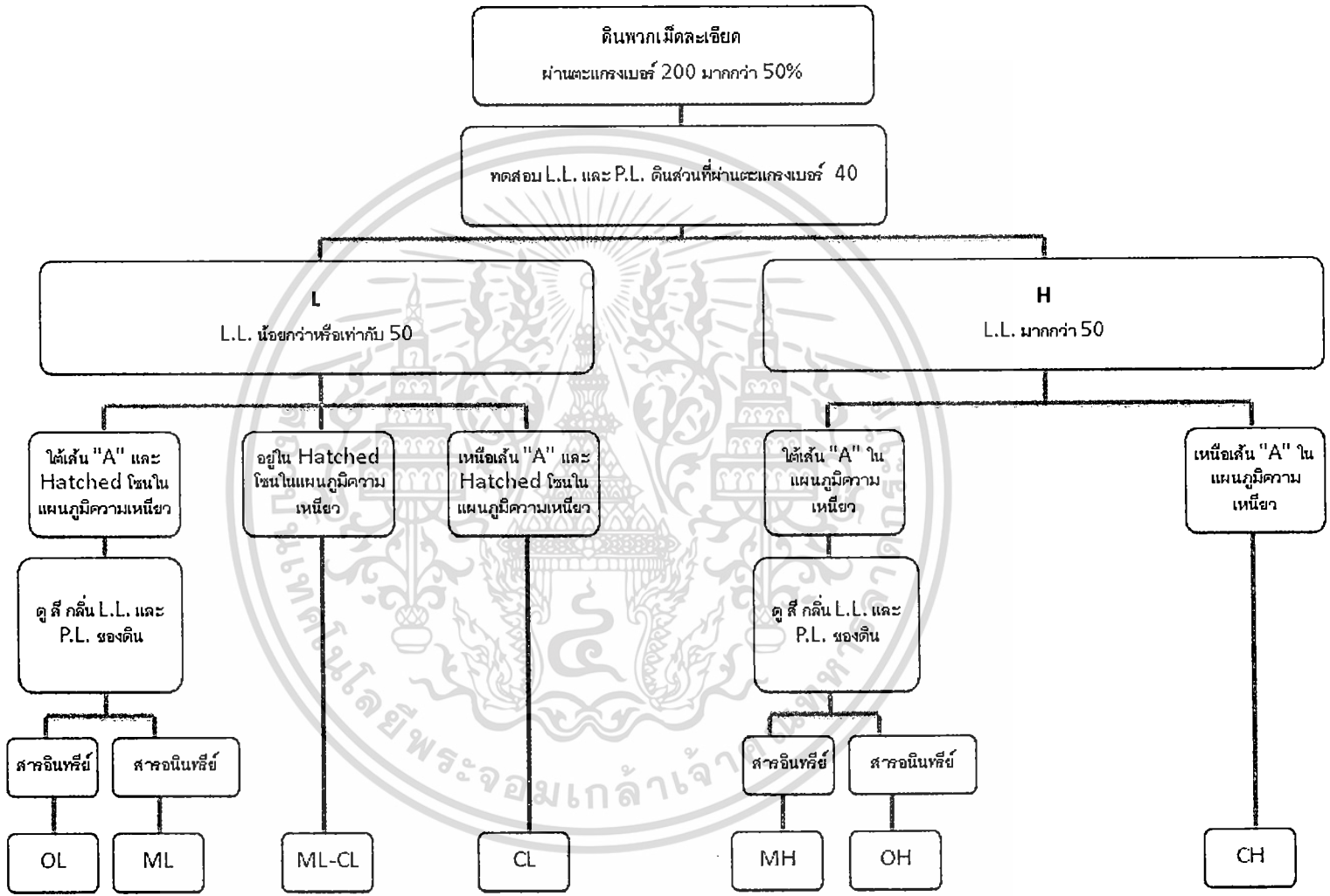


รูปที่ 2.19 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำแนกประเภทดิน โดยระบบ Unified (มณฑิยร กังศศิเทียม, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.20 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำแนกประเภทของดินเม็ดหยาบ (มณฑลเชียร ปีการศึกษา 2547)





รูปที่ 2.21 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการจำแนกประเภทของดินเม็ดละเอียด (มณฑลเชียร กังสดลิตียม, 2547)

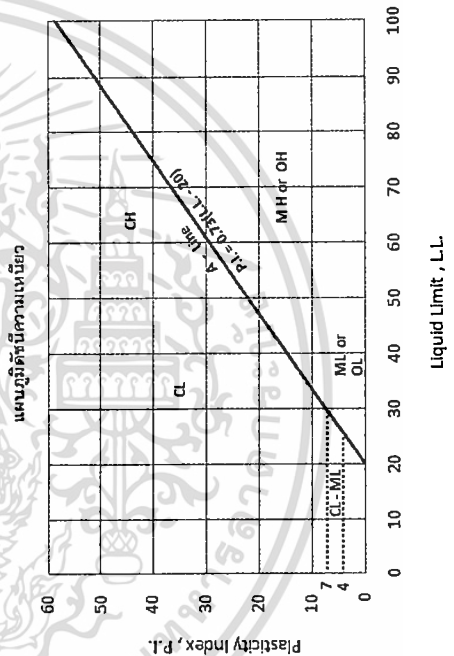
ตารางที่ 2.6 รายละเอียดการจำแนกประเภทของดินเม็ดหยาบ (มณฑล กังคสีเทียม , 2547)

การจำแนกประเภททั่วไป		สัญลักษณ์กลุ่ม	ชื่อกลุ่มดิน	เกณฑ์การจำแนกประเภท					
ดินพวกเม็ดหยาบ ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 50%	กรวด	กรวดสะอาด	กรวดมีขนาดคละกันดี	การจำแนกประเภทโดยอาศัยเปอร์เซ็นต์พวกเม็ดละเอียด ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่า 5% : GW , GP , SW , SP ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 5% : GM , GC , SM , SC ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ระหว่าง 5 - 12 % : ความเกี่ยวข้องใช้สัญลักษณ์ 2 คู่ (4 ตัว)	$Cu = D_{60} / D_{10}$ มากกว่า 4	ไม่มีเม็ดละเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย	GW	$Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ อยู่ระหว่าง 1 - 3	
			กรวดมีขนาดคละกันไม่ดี		ไม่เข้าเกณฑ์ประเภท GW				
		กรวดมีเม็ดละเอียดปน	กรวดมีเม็ดละเอียดปน		กรวดมีตะกอนทรายปน	Atterberg limit อยู่ใต้เส้น "A" หรือ P.I. น้อยกว่า 4	Atterberg limit อยู่ใน Hatch โขน ถือว่าคาบเกี่ยวกัน ใช้สัญลักษณ์ 2 คู่		
					กรวด - ทราย - ตะกอน ทรายผสมกัน	Atterberg limit อยู่เหนือเส้น "A" หรือ P.I. มากกว่า 7			
			กรวดมีดินเหนียวปน		กรวด - ทราย - ดินเหนียวผสมกัน	Atterberg limit อยู่เหนือเส้น "A" หรือ P.I. มากกว่า 7			
					ทรายมีขนาดคละกันดี	$Cu = D_{60} / D_{10}$ มากกว่า 6		ไม่มีเม็ดละเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย	SW
	ทรายปนกรวด	ไม่เข้าเกณฑ์ประเภท SW							
	ทราย	ทรายสะอาด	ทรายมีขนาดคละกันไม่ดี	ทรายปนกรวด	การจำแนกประเภทโดยอาศัยเปอร์เซ็นต์พวกเม็ดละเอียด ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่า 5% : GW , GP , SW , SP ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 5% : GM , GC , SM , SC ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ระหว่าง 5 - 12 % : ความเกี่ยวข้องใช้สัญลักษณ์ 2 คู่ (4 ตัว)	Atterberg limit อยู่ใต้เส้น "A" หรือ P.I. น้อยกว่า 4	SM	ทราย - ตะกอนทรายผสมกัน	Atterberg limit อยู่ใน Hatch โขน ถือว่าคาบเกี่ยวกัน ใช้สัญลักษณ์ 2 คู่
				ทรายมีดินเหนียวปน				Atterberg limit อยู่เหนือเส้น "A" หรือ P.I. มากกว่า 7	
		ทรายมีเม็ดละเอียดปน	ทรายมีเม็ดละเอียดปน	ทรายปนกรวด		ทราย - ดินเหนียวผสมกัน	ไม่เข้าเกณฑ์ประเภท SW		
						ไม่มีเม็ดละเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย			
			ทรายมีดินเหนียวปน	ทราย - ดินเหนียวผสมกัน		ไม่มีเม็ดละเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย		SP	
ทรายมีดินเหนียวปน									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 รายละเอียดการจำแนกประเภทของดินเม็ดละเอียด (มณเทียร กังศศิเทียม , 2547)

การจำแนกประเภททั่วไป	สัญลักษณ์กลุ่ม	ชื่อกลุ่มดิน	เกณฑ์การจำแนกประเภท
ดินพวกเม็ดละเอียด ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 50%	ตะกอนทรายและดินเหนียว L.L. น้อยกว่าหรือเท่ากับ 50	ML	ตะกอนทรายอินทรีย์และ ทรายละเอียดมาก หินฝุ่น ทรายละเอียดปนตะกอนทราย หรือดินเหนียว มีความเหนียวเล็กน้อย
		CL	ดินเหนียวอนินทรีย์ที่มีความเหนียวต่ำถึงปานกลาง ดินเหนียวปนกรวด ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนตะกอนทราย ดินเหนียวล้วน
		OL	ตะกอนทรายอินทรีย์และดินเหนียวปนตะกอนทรายอินทรีย์ มีความเหนียวต่ำ
	ตะกอนทรายและดินเหนียว L.L. มากกว่า 50	MH	ตะกอนอนินทรีย์ ทรายละเอียดหรือตะกอนทรายปนไมก้า หรือดินเบา ตะกอนทรายที่ยึดหยุ่น
		CH	ดินเหนียวอนินทรีย์ที่มีความเหนียวสูง ดินเหนียวที่มีความหนืดสูง
		OH	ดินเหนียวอินทรีย์ มีความเหนียวปานกลางถึงสูง ตะกอนทรายอินทรีย์
ดินพวกสารอินทรีย์สูง	PT	โคลนสีดำ และดินอินทรีย์สูงอื่นๆ	แยกได้โดย สี กลิ่น การสัมผัสและลักษณะเนื้อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.11 การทดสอบแรงเฉือนด้วยใบเวน : ตามมาตรฐาน ASTM – 2573-72

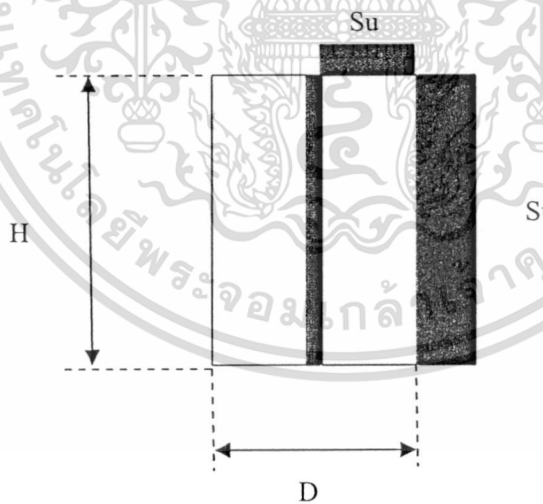
เหมาะสำหรับทดสอบเฉพาะดินเหนียวอ่อนที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือนประมาณ 0.5 ถึง 0.6 ksc. ซึ่งค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้จะเป็นค่ากำลังรับแรงเฉือนในสภาวะที่ไม่มีภาวะระบายน้ำ (Undrained shear strength) ซึ่งค่ากำลังรับแรงเฉือนสามารถหาได้จากสมการที่ (2.1) สมมติให้ S_u เกิดขึ้นเต็มพื้นที่ผิวใบเวนทั้งหมด

มาตรฐานการทดสอบ

- 1.) หมุนใบเวนด้วยอัตราเร็ว 6 องศา/นาที
- 2.) ทำการทดสอบทุกระยะความลึก 1 เมตร
- 3.) ทำการทดสอบดินเหนียวคงสภาพ ได้ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ หลังจากนั้นทำการรบกวนดินโดยการหมุนใบเวนอย่างรวดเร็วประมาณ 20 ถึง 30 รอบ หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเปลี่ยนสภาพ

4.) อ่านค่าโมเมนต์บิด (Torque, T) เฉพาะค่าสูงสุดที่จุดวิบัติ

จากการทดสอบจะได้ค่าโมเมนต์บิดสูงสุด ซึ่งจะได้นำเครื่องมือวัดโมเมนต์บิดมาทำการ Calibrate หาค่าที่ถูกต้อง หลังจากนั้นจึงนำมาคำนวณหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำโดยสมมติว่า กำลังต้านทานแรงเฉือนบนระนาบแนวราบและแนวตั้งมีค่าเท่ากันทุกจุดบนระนาบของการวิบัติ ดังแสดงในสมการที่ (2.2) ถึง (2.5)



รูปที่ 2.22 การกระจายของแรงในใบเวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = \frac{\pi D^2 H S u_{FV}}{2} + 2 \int_0^{D/2} 2\pi r * r * \delta r * S u_{FV} \quad (2.2)$$

$$T = \frac{\pi D^2 H S u_{FV}}{2} + \left[\frac{4\pi r^3 S u_{FV}}{3} \right]_0^{D/2} \quad (2.3)$$

$$T = \frac{\pi D^2 H}{2} \left[1 + \frac{D}{3H} \right] * S u_{FV} \quad (2.4)$$

แทนค่า $H = 2D$

จะได้ $S u_{FV} = \frac{6T}{7\pi D^3} \quad (2.5)$

เมื่อ $S u =$ กำลังต้านทานแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (ksc.)
 $S u_{FV} =$ กำลังต้านทานแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ได้จากการทดสอบ
 แรงเฉือนในสนามด้วยไบนอน (ksc.)
 $T =$ ค่าโมเมนต์บิด (kg.-cm.)
 $D =$ ความกว้างของไบนอน (cm.)

หลังจากที่ได้ $S u_{FV}$ แล้วจะต้องนำมาปรับแก้เนื่องจากความแตกต่างของคุณสมบัติดินโดยใช้ Bjerrum's Correction Factor (μ) จะได้ค่า $S u$ ที่ปรับแก้ดังแสดงในสมการที่ (2.6)

โดย $S u = \mu S u_{FV} \quad (2.6)$
 เมื่อ $\mu = 1.7 - 0.54 \log(PI)$
 $PI =$ Plasticity Index

2.3.12 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น

2.3.12.1 ความหมายของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรหลายตัวแปร โดยประกอบด้วย

1.) ตัวแปรตาม(Dependent variable) 1 ตัว ต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ซึ่งหมายถึง ตัวแปรสเกลแบบช่วง (Interval scale) หรือสเกลอัตราส่วน(ratio scale)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) ตัวแปรอิสระ(Independent variables) หรือตัวแปรต้นเหตุ จำนวน k ตัว ($k \geq 2$) โดยตัวแปรอิสระทั้ง k ตัวนี้อาจเป็นตัวแปรเชิงปริมาณทั้ง k ตัว หรือมีตัวแปรบางตัวเป็นตัวแปรเชิงปริมาณและตัวแปรบางตัวเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มหรือตัวแปรเชิงคุณภาพก็ได้

2.3.12.2 การสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร

จากสมการที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ k ตัว คือ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e \quad (4.7)$$

การใช้ตัวอย่างขนาด k ในการประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ ด้วย a, b_1, b_2, \dots, b_k ตามลำดับด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

จากการประมาณค่า β_i ด้วย b_i และประมาณค่า β_0 ด้วย a จะทำให้ได้สมการความถดถอยเชิงพหุ ดังแสดงในสมการที่ 4.8

$$\hat{Y} = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k \quad (4.8)$$

โดยที่ \hat{Y} = ค่าประมาณ หรือค่าพยากรณ์ของตัวแปรของ Y

ค่า $e = Y - \hat{Y}$ = ค่าคลาดเคลื่อนหรือความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์การประมาณ β_i ด้วย b_i และประมาณ β_0 ด้วย a จะใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) ซึ่งเป็นการหาค่า a, b_1, \dots, b_k ที่ทำให้ $\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2 =$ มีค่าต่ำสุด

2.3.12.3 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

1.) เพื่อศึกษาว่าปัจจัยหรือตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่ส่งผลหรือมีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม หรือกล่าวได้ว่า เพื่อศึกษาว่าตัวแปรตามขึ้นกับตัวแปรอิสระใดบ้าง เช่น คาดว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อคะแนนความพึงพอใจ คือ อายุ รายได้ และจำนวนครั้งที่มาใช้บริการ ในที่มีตัวแปรตามคือคะแนนความพึงพอใจ (Y) ส่วนตัวแปรอิสระมี 3 ตัวคือ อายุ รายได้ และจำนวนครั้งที่เคยมาใช้บริการ สมการที่คาดไว้คือ คะแนนความพึงพอใจ = $a + b_1$ อายุ + b_2 รายได้ + b_3 จำนวนครั้งที่มาใช้บริการ

2.) เพื่อประมาณหรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม เมื่อทราบค่าตัวแปรอิสระ จากวัตถุประสงค์ข้อแรก เมื่อตัดสินใจได้ว่าตัวแปรอิสระใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม จะใช้สมการดังกล่าวพยากรณ์ตัวแปรตาม จากตัวอย่างเรื่องความพึงพอใจ เมื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือทดสอบแล้ว พบว่าคะแนนความพึงพอใจไม่ขึ้นกับอายุ สมการแสดงความสัมพันธ์จะกลายเป็น คะแนนความพึงพอใจ = $a + b_1$ รายได้ + b_2 จำนวนครั้งที่มาใช้บริการ และจะใช้สมการดังกล่าวพยากรณ์หรือประมาณคะแนนความพึงพอใจของลูกค้า เมื่อทราบรายได้ และจำนวนครั้งที่ลูกค้ามาใช้บริการ

2.3.12.4 เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

- 1.) ค่าความคลาดเคลื่อน (error or residual : e) จะต้องมีการแจกแจงแบบปกติ ด้วยค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์
- 2.) ค่าแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนต้องคงที่
- 3.) ค่าคลาดเคลื่อนที่ i และ j ต้องเป็นอิสระกัน
- 4.) ตัวแปรอิสระกันต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน กรณีที่ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันจะเรียกว่าเกิดปัญหา Multicollinearity

2.3.12.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

- 1.) การพิจารณาว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่จะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม
- 2.) การสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ ถ้าคาดว่าตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นจะได้สมการดังนี้

- กรณีใช้ประชากร : $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e$

- กรณีที่ใช้ตัวอย่าง : $\hat{Y} = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k$

- 3.) การใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (1- WAY ANOVA) ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ X_1, \dots, X_k โดยตั้งสมการดังนี้

- H_0 : ตัวแปรตามไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระทั้ง k ตัว

- H_1 : ตัวแปรตามขึ้นกับตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว

$$\text{สถิติทดสอบ } F = \frac{\text{"MS Regression"}}{\text{"MS Error"}} = \frac{\text{"MS Regression"}}{\text{"MS Residual"}}$$

ซึ่งค่า MS Regression และ MS Error ได้จากตาราง 1- WAY ANOVA ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.8 1-WAY ANOVA สำหรับการวิเคราะห์ความถดถอย

แหล่งแปรปรวน	องศาอิสระ DF	ผลบวกกำลังสอง SS	ผลบวกกำลังสองเฉลี่ย MS = SS/DF	F
ตัวแปรอิสระทั้ง k ตัว	k	SS Regression	MS Regression	$\frac{\text{"MS Regression"}}{\text{"MS Residual"}}$
ค่าความคลาดเคลื่อน	n-k-1	SS Residual	MS Residual	
ผลรวม	n-1	SS Total		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสรุปผลการทดสอบ

- ถ้ายอมรับสมมติฐาน H_0 แสดงว่าไม่มีตัวแปรอิสระตัวใดมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม หรือตัวแปรตามไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระทั้ง k ตัวจึงไม่ต้องทำต่อในขั้นที่ 4

- ถ้าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (ยอมรับสมมติฐาน H_1) แสดงว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม หรือกล่าวได้ว่าตัวแปรตามขึ้นกับตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว จึงต้องทำการทดสอบต่อไปในขั้นที่ 4 ว่าตัวแปรตามขึ้นกับตัวแปรอิสระตัวใดบ้าง

4.) การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระครั้งละ 1 ตัว โดยต้องทำการทดสอบสมมติฐาน k ครั้ง สำหรับตัวแปรอิสระ k ตัว สำหรับการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ X สามารถตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบได้ดังนี้

- H_0 : ตัวแปรตาม (Y) ไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระตัวที่ i (X_i) ; $i = 1, 2, \dots, k$

- H_1 : ตัวแปรตาม (X) ขึ้นกับตัวแปรอิสระตัวที่ i (X_i)

$$\text{สถิติทดสอบ } t = \frac{b_i - 0}{SE(b_i)}$$

$SE(b_i)$ = ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ b_i

การสรุปผลการทดสอบ

- ถ้ายอมรับสมมติฐาน H_0 แสดงว่าตัวแปรตามไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระ X_i

- ถ้าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 แสดงว่าตัวแปรตามขึ้นกับตัวแปรอิสระ X_i

- ถ้า $k = 10$ และผลการทดสอบพบว่าจากตัวแปรอิสระ 10 ตัว มีเพียง 4 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับ Y คือ X_1, X_4, X_7, X_9 สมการความถดถอยจะเป็น $\hat{Y} = a + b_1 X_1 + b_4 X_4 + b_7 X_7 + b_9 X_9$

5.) ศึกษาระดับความสัมพันธ์ จากขั้นที่ 4 ทำให้ทราบว่าไม่มีตัวแปรอิสระใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y จากนั้นจะต้องศึกษาความสัมพันธ์ ในที่นี้จะใช้ R^2 หรือ Adjusted R^2 ในการหาระดับความสัมพันธ์ โดยที่

$$R^2 = \frac{\text{"SS Regression"}}{\text{"SS Total"}} \quad \text{และ} \quad 0 \leq R^2 \leq 1$$

- ถ้าค่า R^2 หรือ Adjusted R^2 มีค่าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระชุดนั้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมาก

- แต่ถ้า R^2 หรือ Adjusted R^2 มีค่าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปรอิสระชุดนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามหรือมีความสัมพันธ์น้อยมาก

สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร (Coefficient of determination, R^2) ค่า

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจในการวิเคราะห์แนะนำโดย Draper and Smith (1966)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $R^2 < 0.25$ มีความสัมพันธ์กันน้อย
- $R^2 = 0.25-0.50$ มีความสัมพันธ์กันปานกลาง
- $R^2 = 0.50-0.80$ มีความสัมพันธ์กันดี
- $R^2 > 0.80$ มีความสัมพันธ์กันดีมาก

6.) การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ สมการความถดถอยที่ดีจะต้องเป็นสมการที่ประกอบด้วยตัวแปรอิสระที่จะทำให้ค่าพยากรณ์ของตัวแปรตาม Y ใกล้เคียงกับค่าจริงของ Y มากที่สุด

การเลือกตัวแปรอิสระ 4 เทคนิคดังนี้

6.1) Enter

เป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอย โดยผู้วิจัยจะต้องทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม โดยใช้ F test จากตาราง ANOVA และ t-test ผู้วิจัยจะต้องสรุปผลการทดสอบเองว่าควรจะมีตัวแปรอิสระใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม โดยใช้ผลการทดสอบ F – test และ t-test ตามลำดับ

6.2) Forward selection

เป็นวิธีการพิจารณาว่าตัวแปรอิสระใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม โดยจะเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยครั้งละ 1 ตัว ซึ่งจะทำการเลือกหลาย ๆ ครั้ง ในแต่ละครั้งจะเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการเพียง 1 ตัว โดยเลือกตัวแปรอิสระตัวที่ทำให้ความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y เพิ่มขึ้นมากที่สุด และจะหยุดนำตัวแปรอิสระเข้าสมการ

6.3) Backward elimination

เป็นการเลือกตัวอย่างที่ตรงข้ามกับวิธี Forward selection โดยจะทำการตัดตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์กับ Y ออกจากสมการถดถอยครั้งละ 1 ตัว

6.4) Stepwise

เป็นการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการ โดยใช้หลักการทั้งวิธี Forward selection และวิธี Backward elimination ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

(1) ใช้หลัก Forward โดยเลือกตัวแปรอิสระที่สัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุดและทดสอบแล้วพบว่ามีความสัมพันธ์จริง (ยอมรับ H_1) ดังนั้นจึงมีตัวแปรอิสระในสมการ 1 ตัว

(2) ใช้หลักการของวิธี Forward โดยเลือกตัวแปรอิสระตัวที่สองเข้าสมการซึ่งพิจารณาจากตัวแปรที่เหลือทั้งหมดว่าตัวใดมีความสัมพันธ์กับ Y มากที่สุดและทำการทดสอบความสัมพันธ์ด้วย

ขั้นต่อไปจะทำซ้ำขั้นที่ 2 คือเลือกตัวแปรอิสระจากที่เหลือเข้าสมการในขณะเดียวกันก็จะใช้หลักการของวิธี Backward ในการตรวจสอบว่าควรตัดตัวแปรอิสระใดที่อยู่ในสมการออกจากสมการความถดถอยบ้าง สำหรับหลักเกณฑ์ในการพิจารณาว่าควรตัดตัวแปรใดออกจะตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกันเองที่อยู่ในสมการถดถอย ในการตัดตัวแปรอิสระออกจากสมการ จนกระทั่งไม่สามารถเลือกตัวแปรอิสระใดเข้าและไม่สามารถตัดตัวแปรอิสระใดออกจากสมการได้อีก ก็จะหยุดและจะได้สมการความถดถอยที่เหมาะสม



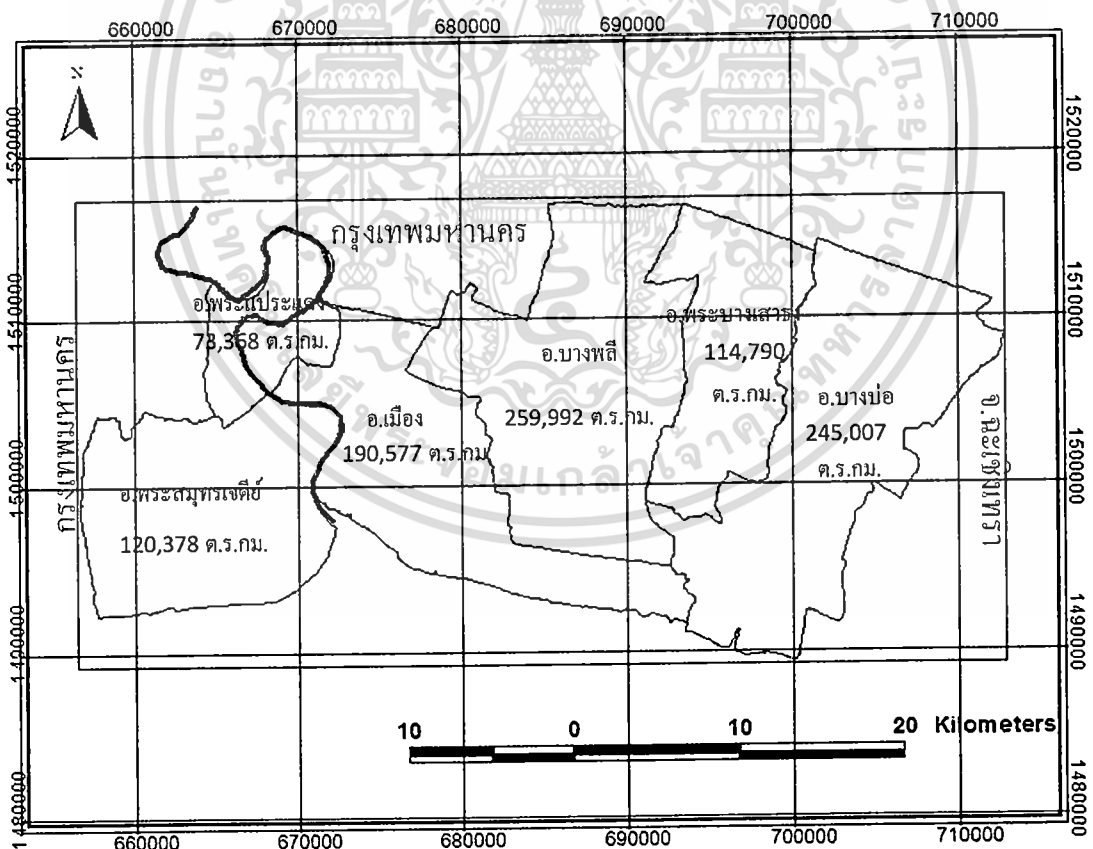
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

พื้นที่การศึกษา

3.1 ที่ตั้ง ขนาด และอาณาเขต

จังหวัดสมุทรปราการตั้งอยู่ริมฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา โดยอยู่ตอนปลายสุดของแม่น้ำเจ้าพระยา และเหนืออ่าวไทย ระหว่างเส้นรุ้งที่ 13 ถึง 14 องศาเหนือ และเส้นแวงที่ 100 ถึง 101 องศาตะวันออก มีเนื้อที่ประมาณ 1,004,092 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 627,557.50 ไร่ อยู่ห่างจากกรุงเทพฯ ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้เป็นระยะทางประมาณ 30 กิโลเมตร มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง ดังนี้ ทิศเหนือ ติดต่อกับ กรุงเทพมหานคร ทิศใต้ ติดต่อกับ อ่าวไทย ทิศตะวันออก ติดต่อกับ จังหวัดฉะเชิงเทรา ทิศตะวันตก ติดต่อกับ กรุงเทพมหานคร ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงที่ตั้งของจังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดที่อยู่โดยรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ลักษณะภูมิประเทศ

พื้นที่ของจังหวัดส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม ไม่มีภูเขา มีแม่น้ำเจ้าพระยาไหลผ่านและมีลำคลองมากมาย เช่น คลองสำโรง คลองสรรพสามิต คลองพระองค์เจ้าไชยานุชิต ฯลฯ ซึ่งมีความสำคัญในด้านการชลประทานเพื่อการเกษตรและใช้เป็นเส้นทางคมนาคมขนส่งทางน้ำด้วย โดยทั่วไปแล้วลักษณะภูมิประเทศของจังหวัด แบ่งพื้นที่ออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

- 1.) บริเวณริมแม่น้ำทั้งสองฝั่ง เป็นที่ราบลุ่มทั้งหมด เหมาะสมสำหรับการทำนาและทำสวน
- 2.) บริเวณตอนใต้ใกล้ชายฝั่งทะเล น้ำทะเลท่วมถึงและพื้นที่ดินจะเค็มจัดในฤดูแล้ง

โดยมากจะเป็นที่ราบลุ่มเหมาะแก่การทำป่าจาก และป่าฝืน

- 3.) บริเวณที่ราบกว้างใหญ่ทางตอนเหนือและตะวันออก เป็นที่กว้างเหมาะแก่การทำนา มีประตูชลประทานหลายแห่งสำหรับกักกั้นน้ำเค็มและระบายน้ำจืดในการทำนา นับเป็นที่ที่มีความสำคัญของจังหวัด

3.3 ลักษณะทางธรณีวิทยา

ตั้งอยู่บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำตอนล่าง หรือเรียกบริเวณดินดอนสามเหลี่ยมปากน้ำที่เกิดขึ้นจากการทับถมของตะกอนหนาระดับความสูงของพื้นที่ประมาณ 0.5 ถึง 1.5 เมตร มีความลาดเอียงโดยเฉลี่ยต่ำกว่า 1 % ลักษณะของชั้นดินในช่วงบน ความลึกประมาณ 0 ถึง 1.5 เมตร จะเป็นดินเหนียวอ่อนตัว มีความสามารถในการอุ้มน้ำ กำลังรับน้ำหนักค่ามากประมาณ 0.5 ถึง 3 ตันต่อตารางเมตร เมื่อรับน้ำหนักจะมีการยุบตัวได้ง่าย ถัดลงไปเป็นชั้นดินเหนียว ซึ่งมีกำลังรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ จนถึงชั้นทรายที่ความลึกประมาณ 22-25 เมตร

3.4 ลักษณะภูมิอากาศ

เป็นอากาศแบบชายทะเล เย็นสบาย ไม่ร้อนจัดในช่วงฤดูร้อนมีความชื้นในอากาศสูง เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมทะเลอ่าวไทยและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ปริมาณฝนตกหนักในช่วงเดือน กันยายน ถึง ตุลาคม ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของร่องความกดอากาศต่ำ ทำให้เกิดการก่อตัวของพายุไต้ฝุ่น และพายุโซนร้อนในทะเลจีนใต้ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปี 1,175.72 มิลลิเมตร เฉลี่ยฝนตกต่อปี 37 วัน เดือนตุลาคมเป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การใช้ที่ดิน

3.5.1 ประเภทการใช้ที่ดิน

การใช้ที่ดินประเภทเนื้อที่ถือครองทางการเกษตรลดลงเป็นจำนวนมาก โดยมีการเปลี่ยนแปลงเป็นที่อยู่อาศัย โรงงานอุตสาหกรรม และอื่น ๆ เนื่องจากการขยายตัวของประชากร และการขยายตัวด้านอุตสาหกรรม

3.5.2 การตั้งถิ่นฐาน

มีพื้นที่อยู่บนสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาฝั่งตะวันตก ประกอบด้วยที่ตั้งของอำเภอพระประแดง และอำเภอพระสมุทรเจดีย์ ฝั่งตะวันออกเป็นที่ตั้งของอำเภอเมืองสมุทรปราการ อำเภอบางพลี อำเภอบางปะอิน และอำเภอบางเสาธง ลักษณะการตั้งถิ่นฐานของบริเวณฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา จะเกาะกลุ่มหนาแน่นอยู่ระหว่างริมฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาถึงถนนประชาอุทิศ โดยมีศูนย์กลางทางการค้าและการบริการอยู่บริเวณเทศบาลเมืองพระประแดงต่อเนื่องมาถึงถนนสุขสวัสดิ์ บริเวณถนนสุขสวัสดิ์ทั้งสองฝั่งเป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นย่านอุตสาหกรรมที่สำคัญบริเวณหนึ่งของจังหวัด บริเวณฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งเป็นที่ตั้งของตัวจังหวัด เป็นศูนย์กลางด้านการบริหาร การค้า และการบริการจังหวัดสมุทรปราการมีการขยายตัวเมืองออกไปทางทิศตะวันออก มีการเกาะกลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมบริเวณถนนปู่เจ้าสมิงพราย ถนนเทพารักษ์ ถนนกิ่งแก้ว ถนนสุขุมวิท และถนนบางนาตราด ย่านที่อยู่อาศัย จะเกาะกลุ่มรอบ ๆ ย่านการค้าที่สำคัญ คือเทศบาลเมืองสมุทรปราการ ย่านสำโรงเหนือ บางพลี บางปะอิน และคลองด่าน

3.6 ทรัพยากรธรรมชาติและแหล่งน้ำ

เนื่องจากจังหวัดสมุทรปราการ เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม และที่ราบลุ่มปากแม่น้ำ ในปัจจุบันจึงยังไม่พบทรัพยากรทางธรณีจำพวกแร่ธาตุ น้ำมัน หรือก๊าซธรรมชาติ และสำหรับป่าไม้ ส่วนใหญ่เป็นป่าไม้ประเภทไม้ผลัดใบและป่าชายเลน มีเนื้อที่ป่าประมาณ 12,030 ไร่ หรือร้อยละ 1.92 ของเนื้อที่ของจังหวัด แต่พื้นที่ป่าชายเลนในบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยามีการบุกรุก และถูกทำลาย ดินในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการมีลักษณะเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแห้ง มีความเป็นกรดของดินมากถึงปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ของดินปานกลางถึงสูง แต่ก็มีดินเค็มและเป็นกรดบริเวณน้ำท่วม จึงเป็นอุปสรรคต่อการเกษตร มีแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ 2 ประเภทได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1 ทรัพยากรน้ำผิวดิน ได้แก่

1.) แม่น้ำเจ้าพระยา ไหลผ่านอำเภอพระประแดง อำเภอพระสมุทรเจดีย์ และอำเภอเมืองสมุทรปราการใช้เป็นทางคมนาคมติดต่อกับกรุงเทพมหานคร มีเรือเดินสมุทรจากต่างประเทศแล่นผ่านไปมาทั้งเรือขนาดใหญ่ และเรือเดินสมุทรขนาดใหญ่

2.) คลองสำโรง เป็นคลองแยกจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่ตำบลสำโรงใต้ อำเภอพระประแดง ผ่านท้องที่ตำบลสำโรงเหนือ อำเภอเมืองสมุทรปราการไปยังอำเภอบางพลี และที่ว่าการอำเภอบางบ่อ ไปถึงอำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา

3.) คลองสรรพสามิต แยกจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่ตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ ผ่านไปยังตำบลนาเกลือออกไปคลองขุนราชพินิจ จังหวัดสมุทรสาคร

4.) คลองด่าน เป็นคลองแยกจากคลองสำโรงที่บริเวณที่ว่าการอำเภอบางบ่อไหลผ่านตำบลต่าง ๆ ในท้องที่อำเภอบางบ่อ ตัดผ่านถนนสุขุมวิทลงสู่อ่าวไทยเป็นคลองที่มีประตูน้ำชลประทานตั้งอยู่

5.) คลองบางโหลง เป็นคลองแยกจากคลองสำโรงที่วัดบางโหลงนอกอำเภอบางพลี ผ่านท้องที่ตำบลบางโหลง ตำบลหนองปรือ อำเภอบางพลี

6.) คลองบางปลา แยกจากคลองสำโรงที่ลาดบางปลา อำเภอบางพลีถึงคลองตาเจี้ย อำเภอเมืองสมุทรปราการผ่านอำเภอบางพลีและเมืองสมุทรปราการ

7.) คลองบางเสาธง เริ่มจาก หมู่ 5 ตำบลบางเสาธง อำเภอบางพลีถึงคลองประเวศ เขตลาดกระบัง ผ่านท้องที่อำเภอบางพลี

8.) คลองพระองค์เจ้าไชยานุชิต เป็นคลองชลประทานที่คั่นระหว่างคลองประเวศบุรีรมย์กับคลองสำโรงที่อำเภอบางบ่อ

9.) คลองประเวศบุรีรมย์ เป็นคลองชลประทาน และเป็นเส้นทางคมนาคม ทางตอนเหนือของจังหวัด

3.6.2 ทรัพยากรดิน

ลักษณะดินโดยทั่วไปเกิดจากกระบวนการ 3 ลักษณะ

1.) เกิดจากการทับถมของตะกอน น้ำทะเลบนขวากทะเล (estuarine)

2.) เกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำกร่อย หรือตะกอนน้ำทะเลบนที่ราบน้ำทะเลเคย

ท่วมถึง

3.) เกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำกร่อยทับตะกอนน้ำทะเลบนที่ราบน้ำทะเลเคยท่วมถึง ลักษณะเนื้อดินบนและดินล่างเป็นดินเหนียว หรือดินเหนียวปนทรายแข็ง ดินเป็นกรดจัดมากถึงด่างปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ของดินปานกลางถึงสูง บางบริเวณเป็นดินเค็มและดินกรดเนื่องจากมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำทะเลท่วมถึง และพบปริมาณกำมะถันหรือสารจาโรโซต์ในดินสูง ลักษณะดินที่พบในจังหวัด สามารถจำแนกได้ทั้งหมด 8 ชุดดิน คือดินชุดท่าจีน ดินชุดบางปะกง ดินชุดชะอำ ดินชุดสมุทรปราการ ดินชุดสมุทรสงคราม ดินชุดบางกอกดินชุดบางน้ำเปรี้ยว และดินชุดชะเชิงเทรา

3.7 สภาพเศรษฐกิจ

ประชากรส่วนใหญ่ ประกอบอาชีพรับจ้าง (ภาคอุตสาหกรรม) ร้อยละ 55.9 รองลงมาคือ อาชีพเกษตรกรรม ร้อยละ 17.0 นอกจากนี้ยังประกอบอาชีพค้าขาย รับราชการ/รัฐวิสาหกิจและอื่นๆ (ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจของสังคมแห่งชาติ, 2544)

จังหวัดสมุทรปราการ มีผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP: Gross Provincial Product of Samut Prakam) ปี พ.ศ. 2549 มีมูลค่าเท่ากับ 273,446.39 ล้านบาท ลดลง 21,560.61 ล้านบาท จากปี พ.ศ. 2548 ซึ่งมีมูลค่าเท่ากับ 295,007 ล้านบาท และมีมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัดต่อหัวประชากร(Per Capita GPP) เท่ากับ 215,190 บาท/คน/ปี ซึ่งลดลงจากปี 2548 เป็นเงิน จำนวน 24,350 บาท(มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัดต่อหัวประชากร(Per Capita GPP) เท่ากับปี 2548 เท่ากับ 239,540 บาท) (ที่มา: คลังจังหวัดสมุทรปราการ พ.ศ. 2549)

3.8 เขตการปกครอง และจำนวนประชากร

จังหวัดสมุทรปราการ เป็นจังหวัดในเขตปริมณฑล แบ่งการปกครองเป็นส่วนภูมิภาค ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 อำเภอ 50 ตำบล 399 หมู่บ้าน 148 ชุมชน และการปกครองส่วนท้องถิ่น แบ่งออกเป็น องค์การบริหารส่วนจังหวัด จำนวน 1 แห่ง เทศบาล จำนวน 17 แห่ง และองค์การบริหารส่วนตำบล จำนวน 31 แห่ง รายละเอียดในตารางที่ 3.1 โดยจำนวนประชากร ณ วันที่ 1 กรกฎาคม 2551 จำนวน 1,138,034 คน จำแนกเป็นเพศชาย จำนวน 550,924 คน (ร้อยละ 48.41) เพศหญิง จำนวน 587,110 คน (ร้อยละ 51.59) และจำแนกเป็นกลุ่มอายุที่สำคัญพบว่ามียุวกวัยเด็ก (0-4 ปี) ร้อยละ 7.55 วัยเรียน (5 ถึง 14 ปี) ร้อยละ 15.01 วัยแรงงาน (15 ถึง 59 ปี) ร้อยละ 69.25 และวัยสูงอายุ (60 ปีขึ้นไป) ร้อยละ 9.37 ซึ่งสามารถแสดงสัดส่วนประชากร ตามกลุ่มอายุ ได้ดังรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 จำนวนของตำบล หมู่บ้าน ชุมชน ตามการปกครองและประชากร จังหวัดสมุทรปราการ จำแนกรายอำเภอ

อำเภอ	ตำบล	หมู่บ้าน	ชุมชน	หลังคา เรือน	เทศ บาล	อบต.	พื้นที่ (ตร.กม.)	ประชากร (คน)	ความ หนาแน่น ปชก./ตร.กม.
เมืองฯ	13	95	44	193,971	7	5	190.557	488,686	2,564.51
บางป่อ	8	74	-	30,117	3	7	245.007	94,819	387
บางพลี	6	83	-	90,195	1	6	259.992	178,000	665.49
พระประแดง	15	67	104	80,779	3	6	73.368	208,130	2,836.79
พระสมุทรเจดีย์	5	42	-	39,269	2	4	120.378	107,943	896.7
บางเสาธง	3	38	-	38,623	1	3	114.79	60,456	526.66
รวม	50	399	148	472,954	17	31	1,004.09	1,138,034	1,133.39

ที่มา : สำนักทะเบียนราษฎร กรมการปกครองจังหวัด กระทรวงมหาดไทย ข้อมูล ณ วันที่ 1 กรกฎาคม 2551



รูปที่ 3.2 สัดส่วนประชากร ตามกลุ่มอายุที่สำคัญ ปี พ.ศ. 2551 จังหวัดสมุทรปราการ
ที่มา : กลุ่มพัฒนายุทธศาสตร์สาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสมุทรปราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ขั้นตอนและวิธีการทำงาน

4.1 กล่าวนำ

ขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในการศึกษาคือ การเก็บรวบรวมข้อมูล ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างสมการในการพยากรณ์ค่าความไวตัวของดิน ต้องมีความถูกต้อง เนื่องจากโปรแกรม SPSS จะนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างปัจจัยนำเข้า (Input) และผลลัพธ์ (Output) ถ้าข้อมูลที่ให้มีความผิดพลาด ก็จะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องหรือความแม่นยำในการพยากรณ์

4.2 ดินที่ใช้ในการทดสอบ

ดินที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้คือ ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ บริเวณพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ โดยทำการเก็บตัวอย่างจนถึงระดับความลึก 17.00 เมตรจากผิวดิน ดินที่ได้เป็นตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Soil) สำหรับใช้ทดสอบคุณสมบัติของดินทางกายภาพในห้องปฏิบัติการ

4.3 การเลือกสุ่มพื้นที่ตัวแทน

หากการตั้งสมมติฐานให้สภาพพื้นที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน จึงสามารถอนุมานให้ตัวอย่างที่เลือกแทนที่ข้อมูลจุดสำรวจและบริเวณข้างเคียง สำหรับการเลือกพื้นที่กลุ่มตัวแทนนั้น จะเลือกพื้นที่ในการทำการทดสอบค่าความไวตัวของดินเหนียวจำนวน 50 หลุม ทดสอบในระดับชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft clay) ถึงระดับดินเหนียวอ่อนปานกลาง (Medium clay) ครอบคลุมพื้นที่ 6 อำเภอ ในจังหวัดสมุทรปราการ อันได้แก่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ อำเภอพระประแดง อำเภอบางพลี อำเภอบางบ่อ อำเภอพระสมุทรเจดีย์ และอำเภอบางเสาธง ซึ่งตำแหน่งในการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลพิกัด (UTM) และตำแหน่งสถานที่ทดสอบ Field vane shear test

สถานที่	อำเภอ	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้
วัดบางพึ้ง	อ.พระประแดง	665347	1510044
บางครุ	อ.พระประแดง	666069	1508703
บางยอ	อ.พระประแดง	666894	1510766
บางกระสอบ	อ.พระประแดง	668389	1510508
บางน้ำผึ้ง	อ.พระประแดง	670246	1511798
บางกอบัว	อ.พระประแดง	671175	153551
บางกะเจ้า	อ.พระประแดง	669163	1513912
บางหญ้าแพรก	อ.พระประแดง	667771	1507311
บางจาก	อ.พระประแดง	671587	1508858
บ้านพักทหารเรือ	อ.พระสมุทรเจดีย์	670143	1499214
ร.ร.วัดคลองมอญ	อ.พระสมุทรเจดีย์	662097	1502256
วัดแหลมฟ้าผ่า	อ.พระสมุทรเจดีย์	665811	1500090
สถานีอนามัยนาเกลือ	อ.พระสมุทรเจดีย์	661375	1498440
บ้านคลองสวน	อ.พระสมุทรเจดีย์	658848	1500400
วัดช่องพลอย	อ.เมือง	675816	1509683
ร.ร.วัดหนามแดง	อ.เมือง	678446	1506589
บางโปรง	อ.เมือง	669627	1505970
กรมเจ้าท่า	อ.เมือง	671741	1504165
บางเมือง	อ.เมือง	675146	1503970
ท้ายบ้าน	อ.เมือง	672721	1499678
แพรกษา	อ.เมือง	678498	1499317
นิคมฯบางปู	อ.เมือง	681282	1496429
แพรกษาใหม่	อ.เมือง	683706	1498285
วัดศรีจันทร์ประดิษฐ์	อ.เมือง	678085	1494881
กิ่งแก้ว ซ.45	อ.บางพลี	686234	1515202
วัดกิ่งแก้ว	อ.บางพลี	687574	1512004
บางพลี สนามบิน	อ.บางพลี	678001	1510605
บางพลี กม.20	อ.บางพลี	685202	1504990
บางแก้ว	อ.บางพลี	681128	1510456

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลพิกัด (UTM) และตำแหน่งสถานที่ทดสอบ Field vane shear test (ต่อ)

สถานที่	อำเภอ	พิกัด ออก-ตก	พิกัด เหนือ-ใต้
บางนา-ตราด กม.16	อ.บางพลี	684274	1508548
บางนา-ตราด กม.20	อ.บางพลี	685872	1507671
บางปลา	อ.บางพลี	688554	1500039
หนองปรือ	อ.บางพลี	691494	1509993
ราชาเทวะ	อ.บางพลี	691958	1512674
วัดหัวคู	อ.บางเสาธง	696187	1512983
ปากคลองมอญ	อ.บางเสาธง	694485	1509889
วัดศรีวารีน้อย	อ.บางเสาธง	693763	1506846
ร.ร.วัดจรเข้ใหญ่	อ.บางเสาธง	692680	1505351
ร.ร.วัดมงคลนิมิตร	อ.บางเสาธง	6922525	1501859
ร.ร.วัดเสาธงกลาง	อ.บางเสาธง	697941	1505557
บางเสาธง	อ.บางเสาธง	697373	1503649
วัดปรัง	อ.บางบ่อ	702497	1512622
คลองสวน	อ.บางบ่อ	708616	1509734
ร.ร.คลองพระยานาคราช	อ.บางบ่อ	706966	1504216
บ้านระกาศ	อ.บางบ่อ	704954	1500400
กรมชล คลองด่าน	อ.บางบ่อ	694331	1494933
ร.ร.คลองกันยา	อ.บางบ่อ	701551	1497461
วัดสุคันธาวาส	อ.บางบ่อ	701086	1504319
วัดโคธาราม	อ.บางบ่อ	697528	1497873
บางเพ็ญ	อ.บางบ่อ	692422	1497254

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

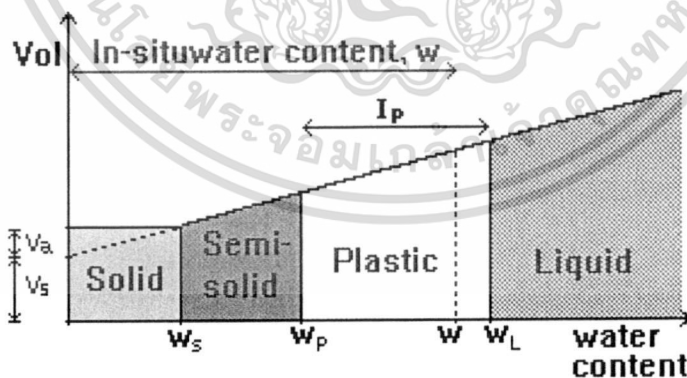
ฟองอากาศจะเริ่มแทรกเข้าไปในมวลดิน (โดยที่ปริมาณยังคงที่) และทำให้เกิดสถานะไม่อิ่มตัวเกิดขึ้น จนกระทั่งไม่มีความชื้นอยู่เลย และเมื่อปริมาณน้ำน้อยลง สีของมวลดินก็จะอ่อนลง

4.) Plastic limit (W_p , W_{PL} หรือ P.L.) คือปริมาณน้ำในมวลดินที่มีเป็นขีดแบ่งระหว่างสถานะ Plastic กับสถานะ Semi-Solid ของดิน เมื่อดินใดๆ ก็ตามมีปริมาณน้ำเท่ากับ ดินนั้นจะมีสถานะอยู่ระหว่าง กับ สถานะ ถ้ามีปริมาณน้ำในมวลดินมากกว่าขีดจำกัดนี้ ดินจะอยู่ในสถานะเป็น Plastic แต่ถ้าปริมาณน้อยกว่านี้ ดินก็จะอยู่ในสถานะ Semi-Solid

5.) Liquid limit (W_L , W_{LL} หรือ L.L.) คือ ปริมาณน้ำในดินที่เป็นขีดแบ่งระหว่างสถานะ Plastic กับสถานะ Liquid ของดิน หรือจะกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า เป็นปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ทำให้ดินอยู่ในสภาวะไหลตัวได้

ต่อมาในปี ค.ศ. 1932 ได้นำค่าพิคตมาประยุกต์ใช้ในด้านวิศวกรรมศาสตร์ของดิน โดยได้กำหนดรูปแบบเครื่องมือและวิธีการทดสอบ Liquid limit และ Plastic limit ซึ่งเป็นดัชนีที่สำคัญของดินซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

ในปัจจุบันนิยมนำมาใช้เพียง 3 ลิมิตสุดท้ายเท่านั้น โดยเราสามารถนำค่า Liquid limit และ Plastic limit ไปใช้ในการจำแนกประเภทของดิน (Soil Classification) และคาดคะเนการทรุดตัว (Settlement) ของชั้นดิน คาดคะเนการซึมผ่านของน้ำในดิน (Permeability) ความสามารถในการอัดตัว (Compressibility) ของดิน รวมไปถึงใช้ในการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนัก (Strength) ของดิน ส่วน Shrinkage limit จะบอกถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากสภาพเปียกเป็นแห้งของดิน เมื่อความชื้นในดินลดลง กำลังดินจะเพิ่มขึ้น แต่ปริมาตรของดินก็ลดลงเช่นกัน มีผลกระทบในการก่อสร้าง เช่น คันถนน คันทางรถไฟ เขื่อน เป็นต้น



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงสถานะต่างๆของดิน

หมายเหตุ วิธีการทดสอบโดยละเอียดศึกษาได้จาก คู่มือปฏิบัติการทดลอง ปรุพิทกลศาสตร์ (สุพจน์ ศรีนิล , แหลมทอง เหล่าคงถาวร, และ ชลธิ์ เร่บ้านเกาะ, 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.2 ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (ASTM D 854)

ความถ่วงจำเพาะเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของมวลดิน สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราส่วนช่องว่าง (Void ratio) ความพรุน (Porosity) ความอิ่มตัว (Degree of saturation) หน่วยน้ำหนัก (Unit weight) และค่าอื่นๆ ได้ รวมทั้งใช้คาดคะเนแร่ธาตุซึ่งเป็นองค์ประกอบของมวลดินนั้น เช่น ดินที่มี Iron อยู่มากจะมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าดินที่มี Silica เป็นส่วนประกอบ หรือดินเหนียวจะมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าทราย เนื่องจากดินเหนียวมีส่วนประกอบของแร่ธาตุซึ่งหนักกว่า (Quartz) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของทราย นอกจากนี้ค่าความถ่วงจำเพาะยังต้องนำไปใช้ในการทดลองอีกด้วย เช่น ใช้ในสูตรการตกตะกอนของเม็ดดินในการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินด้วย Hydrometer

ค่าความถ่วงจำเพาะของวัตถุใดๆ คือค่าที่แสดงให้เห็นว่าวัตถุนั้นมีความหนาแน่นเป็นกี่เท่าของน้ำ ซึ่งจะเท่ากับอัตราส่วนของน้ำหนักของวัตถุในอากาศ ต่อ น้ำหนักที่อุณหภูมิตั้ง 4 องศา ที่มีปริมาตรเท่าวัตถุนั้น

ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน G_s มีค่าเท่ากับ

$$G_s = \frac{\text{น้ำหนักดิน}}{\text{น้ำหนักที่มีปริมาตรเท่ากันที่ } 4^\circ\text{C}} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w(\text{ที่ } 4^\circ\text{C})} = \frac{W_s/V_s}{W_w(\text{ที่ } 4^\circ\text{C})/V_s} = \frac{W_s}{W_w(\text{ที่ } 4^\circ\text{C})}$$

เมื่อ	γ	=	หน่วยน้ำหนักเฉพาะเนื้อดินหรือน้ำ (ไม่รวมช่องว่าง)
	W_s	=	น้ำหนักของเนื้อดิน
	W_w	=	น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับมวลดินที่อุณหภูมิตั้ง 4 องศา

ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน ที่ได้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้น้ำขยายตัว ดังนั้นปริมาตรน้ำในขวดจะสูงขึ้น ซึ่งถ้าอุณหภูมิต่ำจะทำให้ปริมาตรลดลงเช่นกัน เราต้องทำการปรับแก้ค่าปริมาตรน้ำที่ขึ้นกับอุณหภูมิตามสภาวะที่ทำการทดลอง เนื่องจากน้ำหนักน้ำที่ล้นออกมาเป็นการทดสอบที่อุณหภูมิตั้ง 4 องศา แต่เราต้องการน้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับมวลดินที่อุณหภูมิตั้ง 4 องศา เราจึงทำการปรับแก้ค่าปริมาตรที่ขึ้นกับอุณหภูมิตามสภาวะที่ทำการทดลองนั้น

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ (ค่าองค์ประกอบปรับแก้อุณหภูมิ, G_T)

$^{\circ}\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.9999	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999	0.9999	0.9998
10	0.9997	0.9996	0.9995	0.9994	0.9993	0.9991	0.9990	0.9988	0.9986	0.9984
20	0.9982	0.9980	0.9978	0.9976	0.9973	0.9971	0.9986	0.9965	0.9963	0.9960
30	0.9957	0.9954	0.9951	0.9947	0.9944	0.9941	0.9937	0.9934	0.9930	0.9926
40	0.9922	0.9919	0.9915	0.9911	0.9907	0.9902	0.9898	0.9894	0.9890	0.9885
50	0.9881	0.9876	0.9872	0.9867	0.9862	0.9857	0.9852	0.9848	0.9842	0.9838
60	0.9832	0.9827	0.9822	0.9817	0.9811	0.9806	0.9800	0.9795	0.9789	0.9784
70	0.9778	0.9772	0.9767	0.9761	0.9755	0.9749	0.9743	0.9737	0.9731	0.9724
80	0.9718	0.9712	0.9706	0.9699	0.9693	0.9686	0.9680	0.9673	0.9667	0.9660
90	0.9653	0.9647	0.9640	0.9633	0.9626	0.9619	0.9612	0.9605	0.9598	0.9591

หมายเหตุ ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ จะเท่ากับค่าความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ
ต่างๆ ด้วย

ที่มา: คู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์

หมายเหตุ วิธีการทดสอบ โดยละเอียดศึกษาได้จาก คู่มือปฏิบัติการทดลอง ปฐพีกลศาสตร์
(สุพจน์ ศรีนิล , แผลมทอง เหล่าคงถาวร, และ ชลธิ์ เร่บ้านเกาะ, 2544)

4.4.1.3 การหาค่าหน่วยน้ำหนักของดิน (ASTM D 3282)

ค่าน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร (Total unit weight) มีความสำคัญ เป็นพื้นฐานในการ
คำนวณค่าหน่วยแรงกดทับของชั้นดินตามธรรมชาติที่ความลึกต่างๆ ซึ่งเป็นค่าคงตัวที่เป็นตัวแปร
ในสูตรการคำนวณต่างๆ เช่นการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกของฐานราก การคำนวณการทรุดตัว
ของดิน เป็นต้น การทดลองหาค่าน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร (Total unit weight) โดยทั่วไปจะ
จำกัดเฉพาะดินเหนียวที่สามารถตั้งรูปทรงได้ ตัวอย่างที่ทดสอบต้องเป็นตัวอย่างดินคงสภาพ ซึ่ง
เป็นข้อจำกัดที่ไม่สามารถทดลองกับตัวอย่างทราย-กรวดได้ เพราะไม่สามารถเก็บตัวอย่างแบบคง
สภาพได้ (การเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกโดยทั่วไปถือว่าตัวอย่างจะถูกรบกวนไปบ้างแล้ว) อย่างไรก็ตาม
ในบางกรณีที่มีความจำเป็นจะต้องได้ค่าน้ำหนักรวมต่อหน่วย ปริมาตร (Total unit weight) ของ
ดินสามารถทำได้หลายวิธี คือ

- 1.) วิธีใช้วงแหวนตัวอย่าง (Sample ring) มีข้อดีที่ทดลองได้สะดวก รวดเร็วใช้ตัวอย่างดิน
น้อย ซึ่งเป็นตัวอย่างการทดลองในบ่อนี้ แต่อาจจะไม่เหมาะกับดินที่มีกรวด-ทรายปน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) วิธีใช้วัดปริมาตรดินในกระบอก สำหรับตัวอย่างดินที่แข็งมาก ไม่สามารถดันตัวอย่างดินออกจากกระบอกได้ และดินที่มีกรวด-ทรายผสม เมื่อดันตัวอย่างดินออกมาแล้ว อาจจะไม่ทรงตัว

3.) วิธีใช้หาปริมาตรของดินด้วยการแทนที่น้ำหรือปรอท สำหรับดินเหนียวที่มีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำที่จะไม่ซึมซับน้ำเข้าไปใน ตัวอย่างในระยะเวลาสั้นๆ สามารถใช้วิธีแทนที่น้ำได้ ส่วนดินที่แห้งและแตกง่ายควรใช้วิธีแทนที่ปรอทวิธีนี้สามารถใช้กับตัวอย่าง ดินที่ไม่เป็นรูปทรงแน่นอน (Irregular shape)

4.4.1.4 การหาขนาดเม็ดดิน (ASTM D-422)

การหาขนาดและการกระจายตัวของเม็ดดินทำได้หลายวิธี ตามความเหมาะสมของขนาดเม็ดดิน และตามชนิดของดิน ดังนี้

1.) วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) สำหรับเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 เป็นส่วนใหญ่ (0.075 มม.)

2.) วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer analysis) สำหรับดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 เป็นส่วนใหญ่ (ขนาด 0.075 มม.) เช่น ดินเหนียว (Clay) ดินเหนียวปนตะกอน (Silty clay)

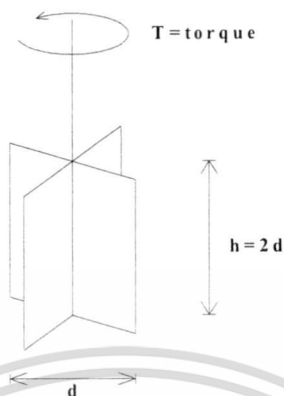
สำหรับดินโดยทั่วไปจะใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันในการวิเคราะห์ขนาดของเม็ดดิน
หมายเหตุ วิธีการทดสอบ โดยละเอียดศึกษาได้จาก คู่มือปฏิบัติการทดลอง วิชาฟิสิกส์ศาสตร์ (สุพจน์ ศรีนิล , แผลมทอง เหล่าคงถาวร, และ ชลธิ์ เร่บ้านเกาะ, 2544)

4.4.2 การทดสอบแรงเฉือนในสนามด้วยไบนเวน (Field vane shear test)

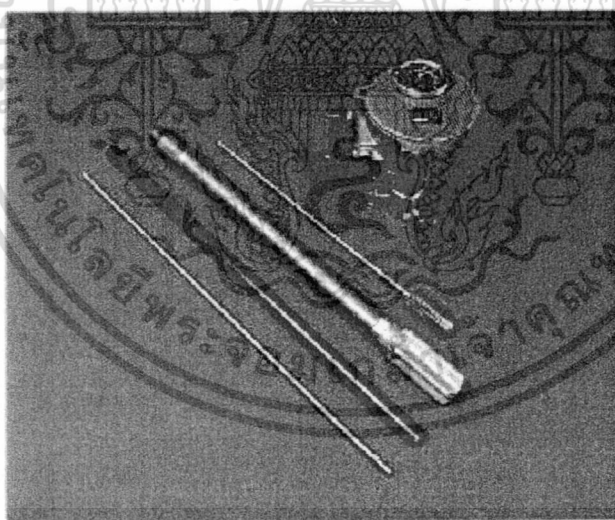
การทดสอบ Field vane shear เป็นการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength, S_u) ทำได้ในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงปานกลาง (Soft to medium clay) ในสภาพธรรมชาติปราศจากการกระทบกระเทือนต่อโครงสร้างดินทำโดยกคไบนเวน ซึ่งเป็นแผ่นเหล็กบาง ๆ รูปสี่เหลี่ยมคล้ายใบมีด 4 อัน เชื่อมติดอยู่ด้วยกันมีความสูงต่อความกว้างของใบเท่ากับ 2:1 (แสดงในรูปที่ 4.3) กดลงไปบนชั้นดินที่ต้องการทราบค่า Shear strength จากนั้นติดตั้งเครื่องส่งถ่ายแรงบิดเข้ากับก้านของไบนเวน แล้วทำการหมุนไบนเวน ให้ตัดมวลดินจนดินขาดออกจากกัน(Failure) นำค่าที่อ่านได้สูงสุดมาเข้าสมการหาค่า Undrained shear strength, S_u หากต้องการหาค่า Remolded shear strength ก็ให้หมุนไบนเวน ประมาณ 25 รอบเพื่อกวนชั้นดินจากนั้นให้ดำเนินการทดสอบหมุนไบนเวน อีกครั้งหนึ่งโดยนำค่าแรงบิดที่อ่านได้เข้าสมการเพื่อหาค่า Remolded shear strength ปัจจุบันได้มีการแปลงค่าแรงบิดที่อ่านได้เป็นค่าของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) ซึ่งสามารถอ่านได้โดยตรงจากเกดที่ติดตั้งกับตัวเครื่องมือ ทำให้เกิดความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะดวกในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น รูปเครื่องมือการทดสอบและการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5 ถึง 4.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 แสดงขนาดใบเวนทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินของเครื่องมือทดสอบ Field vane shear test



รูปที่ 4.4 แสดงเครื่องมือทดสอบ Field vane shear borer (Geonor H – 70)

จากค่า Shear strength และค่า Remolded shear strength ที่ได้จากการทดสอบ Field vane shear ทำให้สามารถหาค่า Sensitivity ของชั้นดินได้ ซึ่งหาได้จากสมการที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี(4.1)นำไปใช้

$$\text{Sensitivity (St.)} = \frac{\text{Peak Shear Strength}}{\text{Remolded Shear Strength}} \quad (4.1)$$

โดยสามารถจำแนกค่าความไวตัว (Sensitivity, St.) ของดินเหนียวตามขนาดของความไวตัว ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงการจำแนกระดับความไวตัวของดินเหนียว (Bowles, 1979)

การจำแนกความไว	ค่าความไวตัวของดิน
ดินเหนียวที่ไม่มีควมไว (Insensitive clay)	< 2
ดินที่มีความไวอยู่ในขั้นปานกลาง (Medium Sensitive clay)	2 ถึง 4
ดินเหนียวที่มีความไว (Sensitive clay)	4 ถึง 8
ดินเหนียวที่มีความไวสูง (Very sensitive clay)	8 ถึง 16
ดินเหนียวที่มีความไวสูงมาก (Quick clay)	> 16



รูปที่ 4.5 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินด้วยเครื่องมือทดสอบ Field vane shear test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

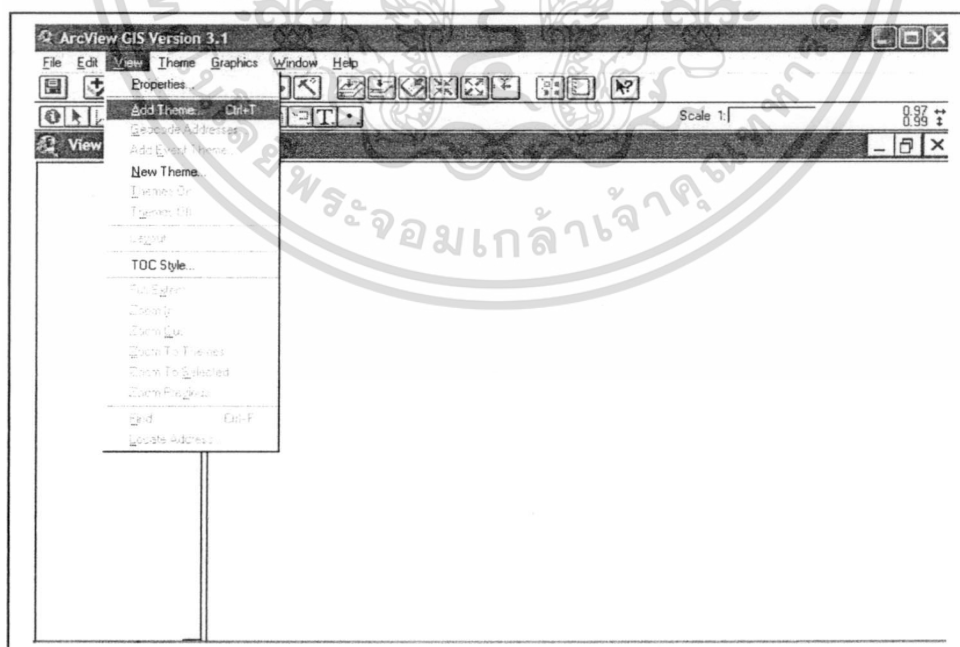


รูปที่ 4.6 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินด้วยเครื่องมือทดสอบ Field vane shear test

4.5 การใช้โปรแกรมในการช่วยวิเคราะห์ผลการทดสอบ

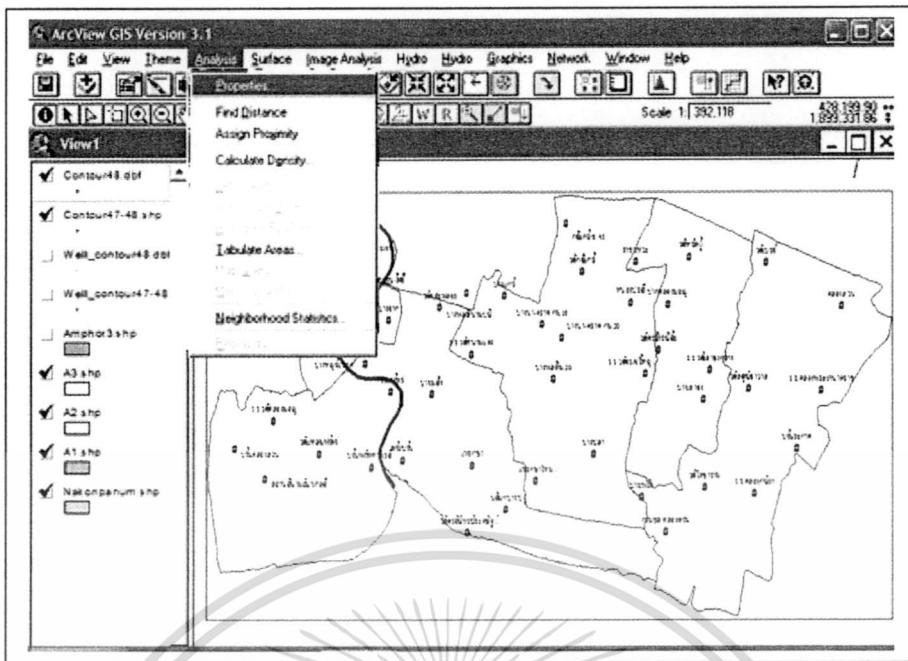
4.5.1 การใช้โปรแกรม GIS Arc View และ Surfer

โปรแกรม GIS Arc view และ Surfer ใช้สำหรับการแสดงผลข้อมูลให้เป็นรูปภาพเพื่อช่วยต่อการวิเคราะห์และเข้าใจ

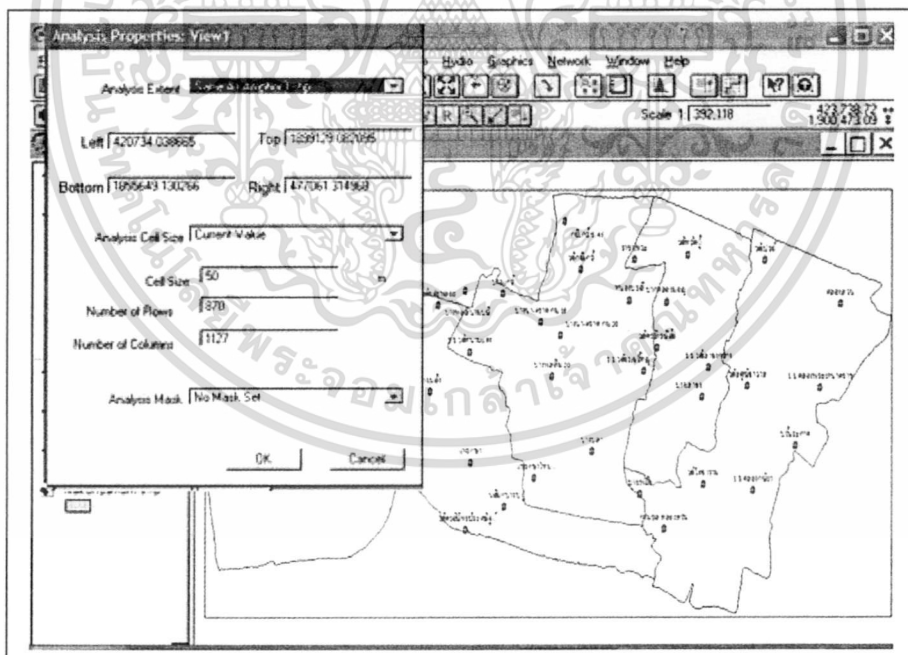


รูปที่ 4.7 การเปิดโปรแกรม Arc view แล้วเปิดหน้าต่างเพิ่มข้อมูลในโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

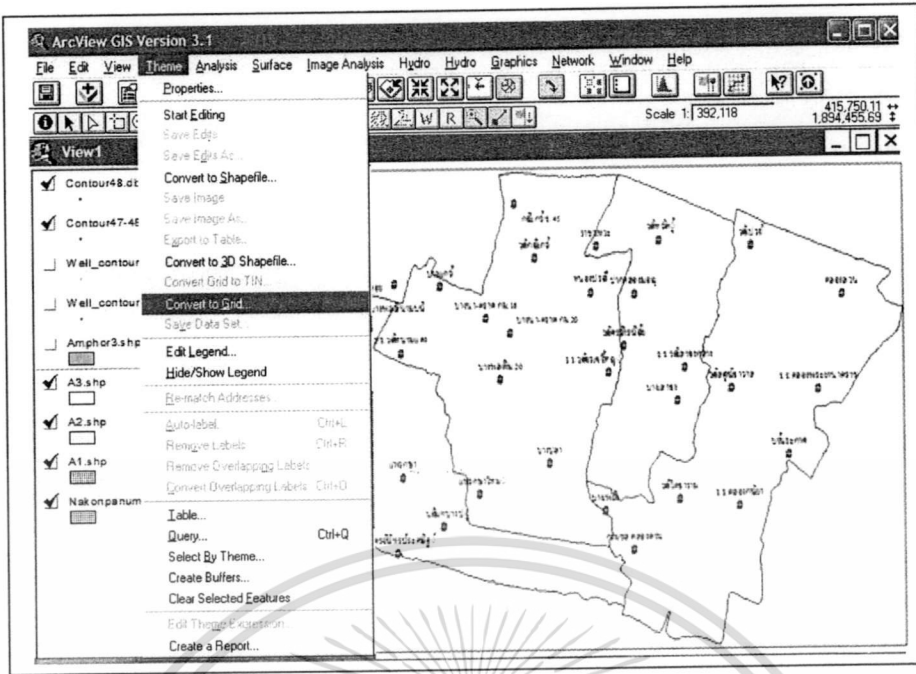


รูปที่ 4.8 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc view โดยเลือกเมนู Analysis คำสั่ง Properties

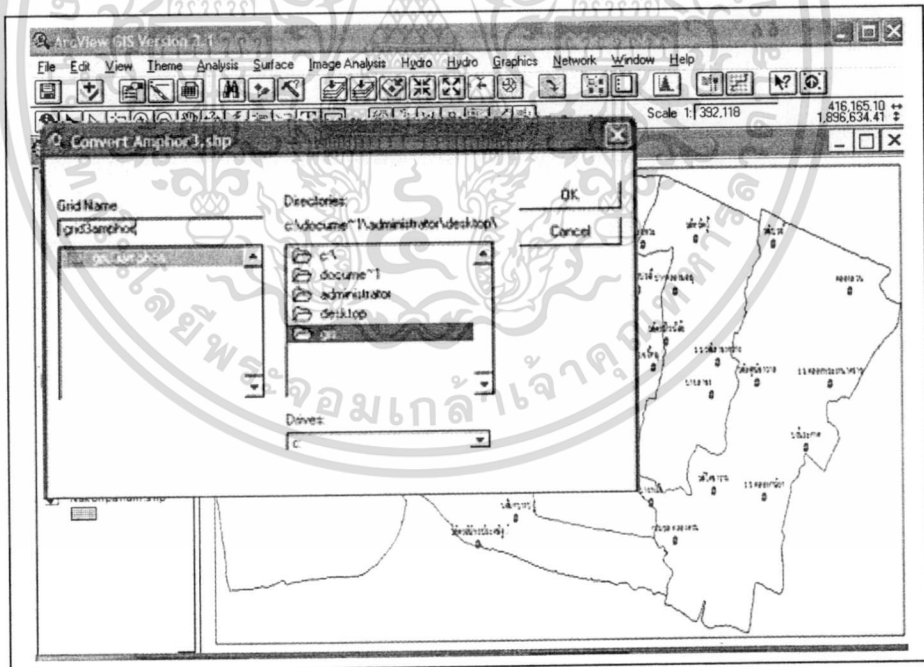


รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc view ช่องบน Same as Amphoe3.shp, Cell Size 50 กด Enter แล้วกด OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

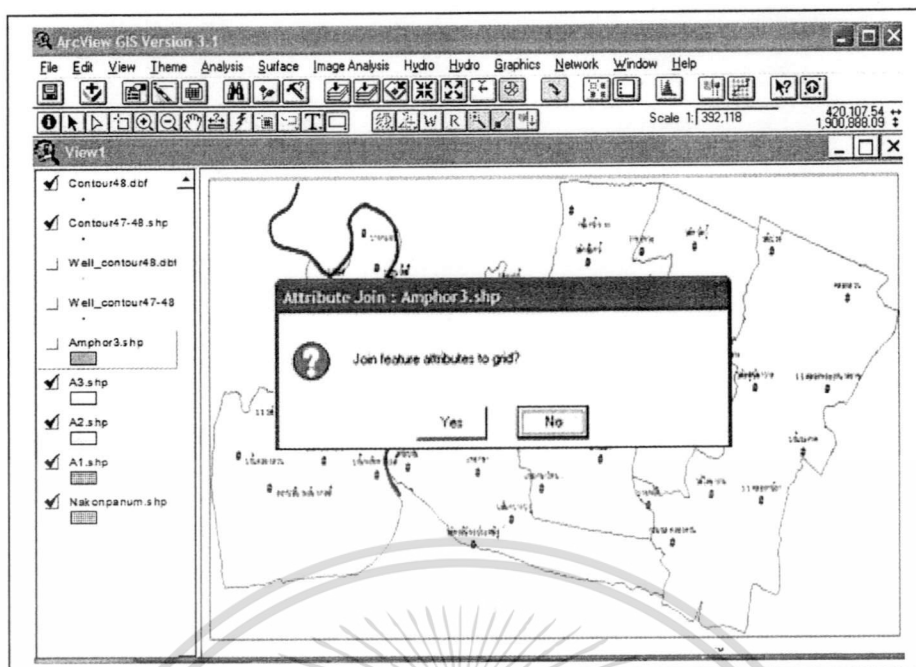


รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc view โดยเลือกเมนู Themes ค้างไว้ Convert to grid

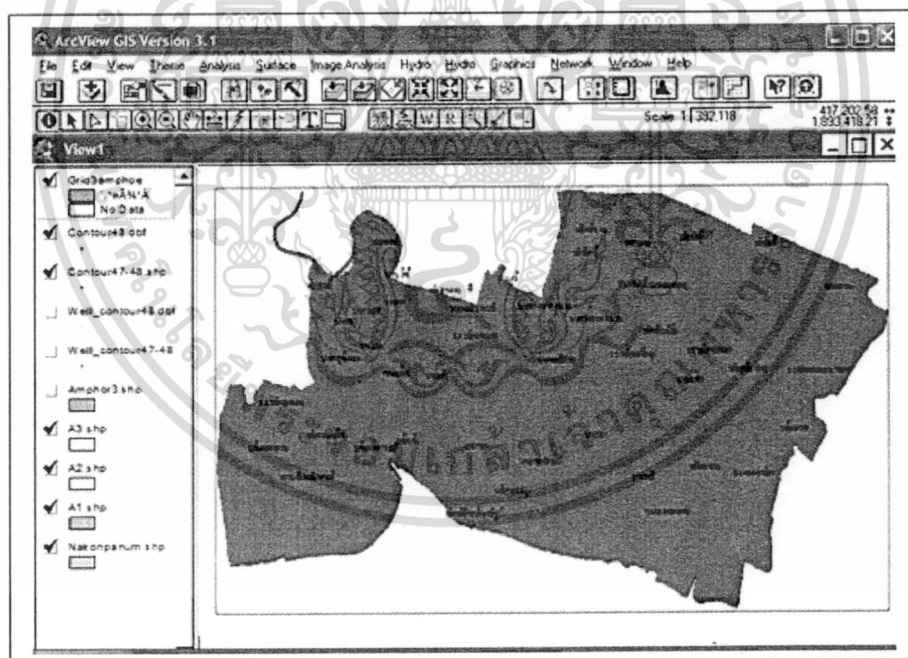


รูปที่ 4.11 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc view โดยเซฟและตั้งชื่อไฟล์ แล้วกด OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

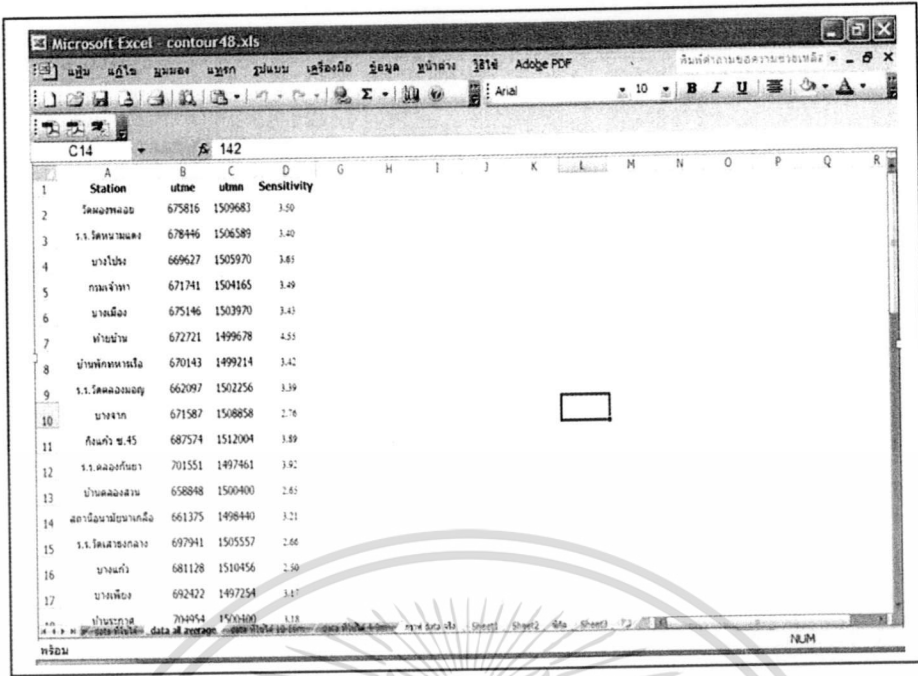


รูปที่ 4.12 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc view โดยกด Yes



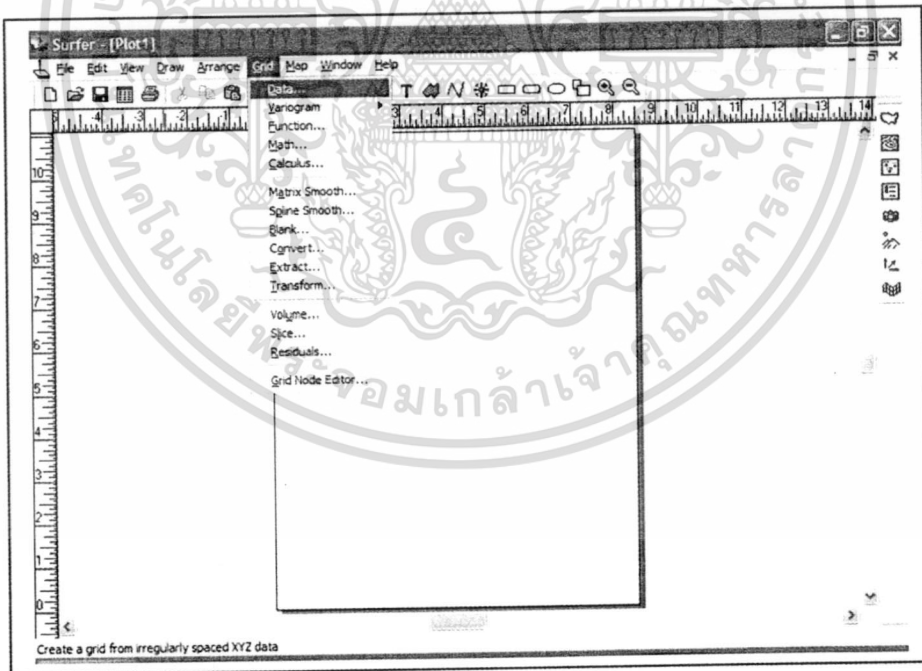
รูปที่ 4.13 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc view จะได้ Grid ของ 6 อำเภอที่ทำการสำรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



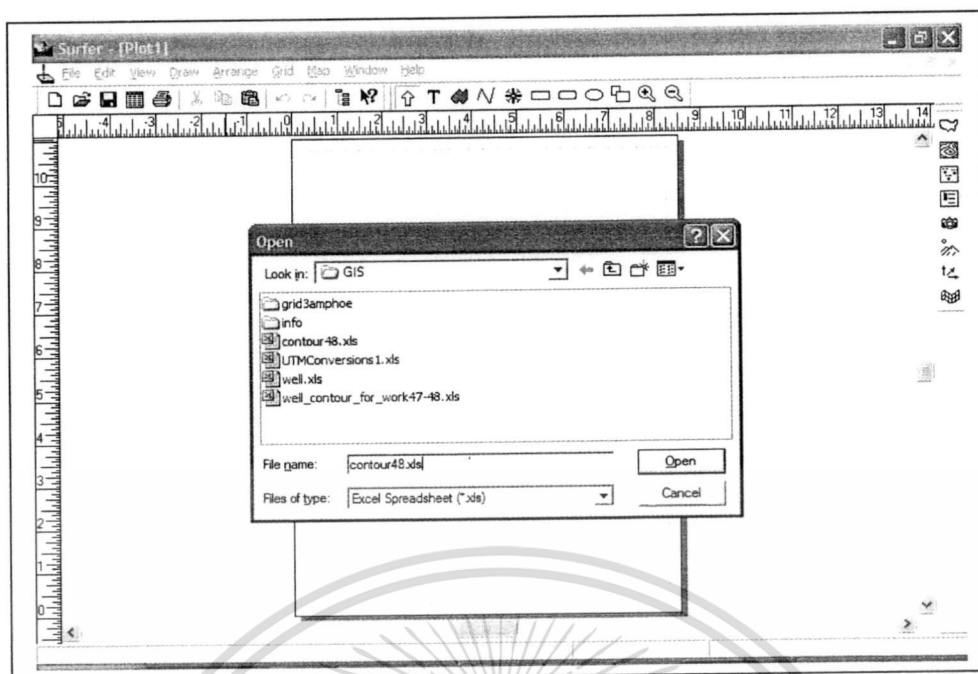
Station	utme	utmN	Sensitivity
วัดทองแดง	675816	1509683	3.50
ร.ร. โสภณมณเฑียร	678446	1506589	3.40
บางโพธิ์	669627	1505970	3.85
กรมเจ้าท่า	671741	1504165	3.49
บางเมือง	675146	1503970	3.43
พาดน้ำวน	672721	1499678	4.55
บ้านท่าหินเหนือ	670143	1499214	3.42
ร.ร. โสภณมณเฑียร	662097	1502256	3.39
บางจาก	671587	1508858	2.76
ถนนกม. 45	687574	1512004	3.89
ร.ร. คลองกรกษา	701551	1497461	3.92
บ้านคลองสวน	658848	1500400	2.65
สถานีอนามัยบางแก้ว	661375	1498440	3.21
ร.ร. โสภณกลาง	697941	1505557	2.66
บางแก้ว	681128	1510456	2.50
บางโพธิ์	692422	1497254	3.11
บ้านกรวด	704454	1490400	3.78

รูปที่ 4.14 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Excel โดยเปิด Excel
เรียงข้อมูลพิกัด กับความสูงจากระดับน้ำทะเล แล้ว save นามสกุล .xls

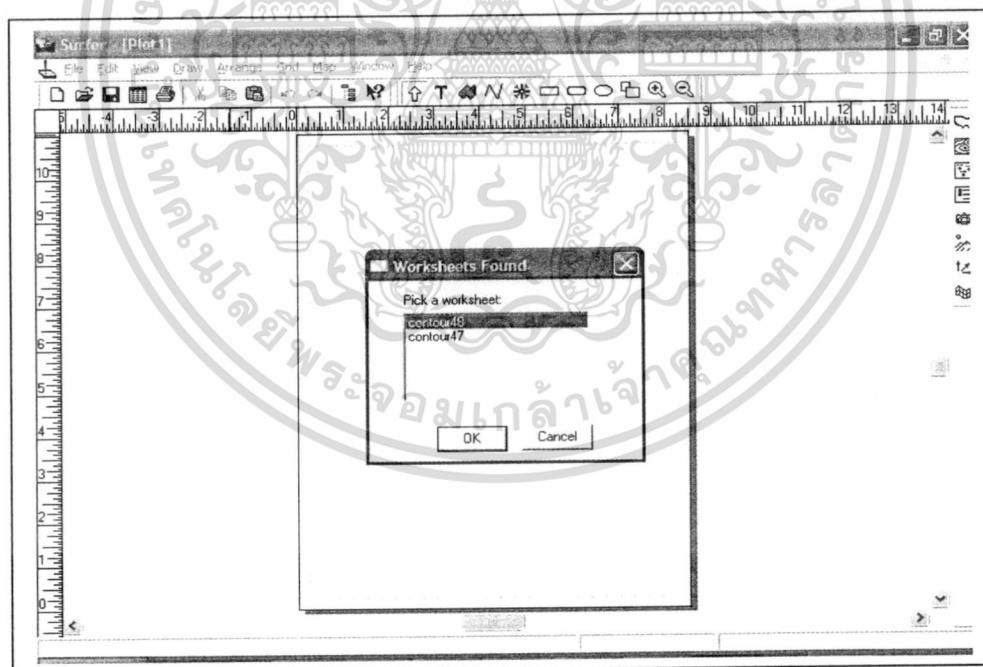


รูปที่ 4.15 แสดงขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Surfer โดยเปิด
Surfer เลือกเมนู Grid คำสั่ง Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

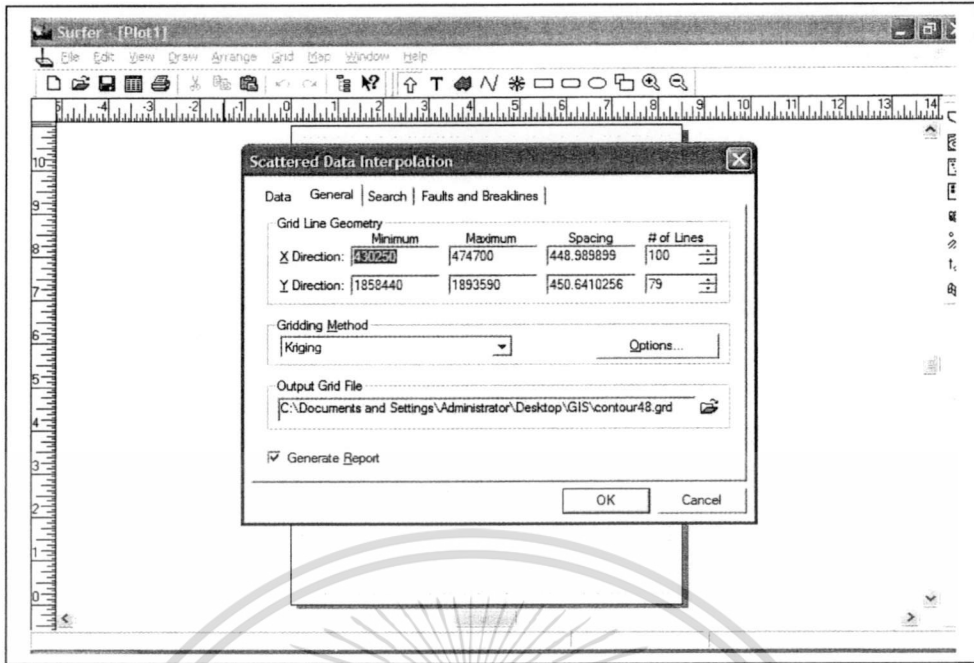


รูปที่ 4.16 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Surfer โดยเปิดไฟล์
ที่ Save ไว้ในขั้นตอนรูปที่ 4.9

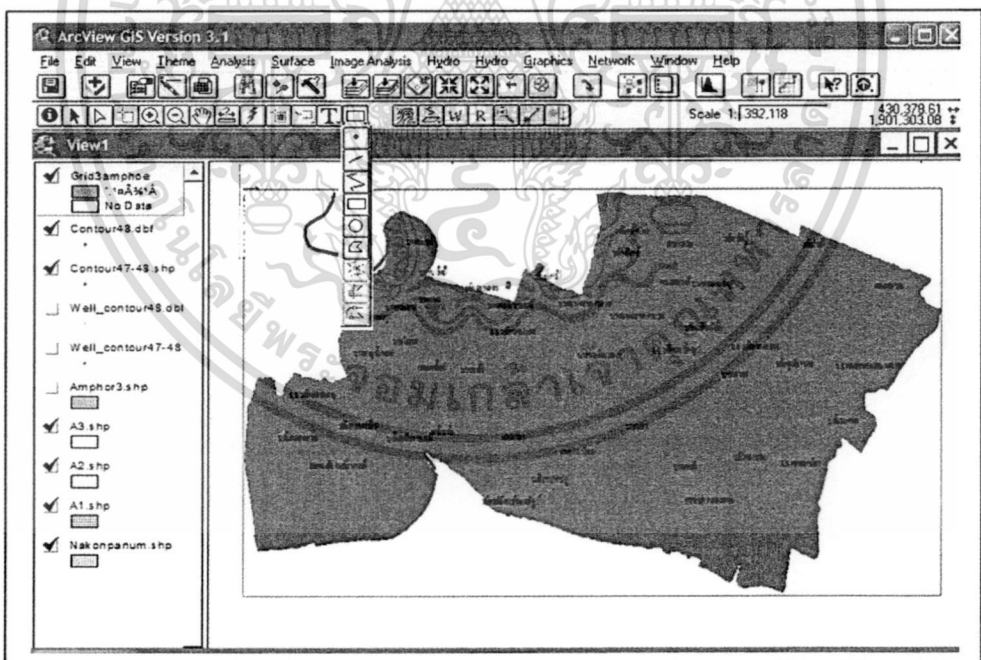


รูปที่ 4.17 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Surfer โดยเลือก
Contour 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

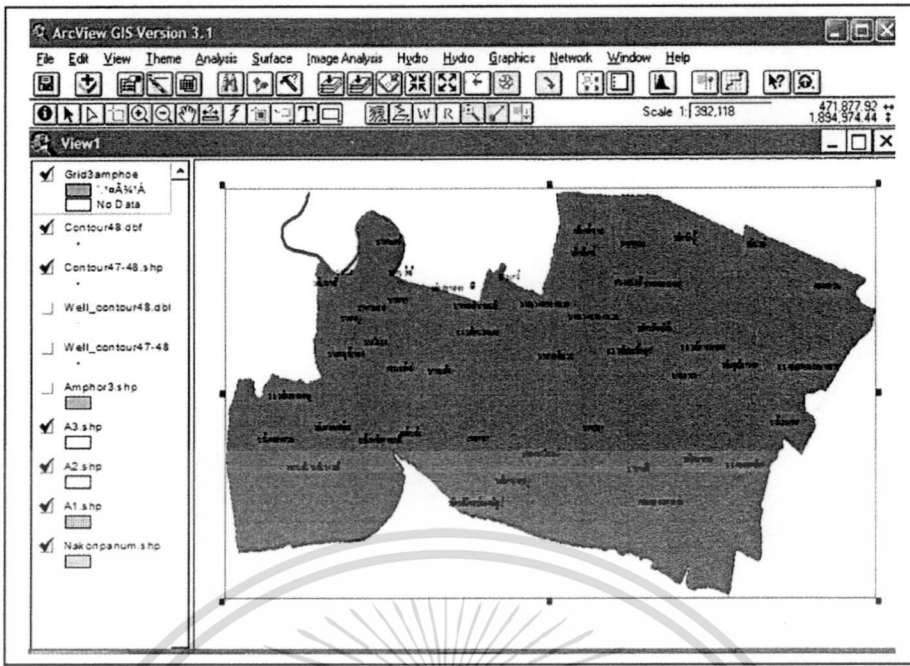


รูปที่ 4.18 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Surfer โดยจะปรากฏหน้าต่างนี้ขึ้นมา เปิดค้างไว้ก่อนแล้วทำขั้นตอนต่อไป

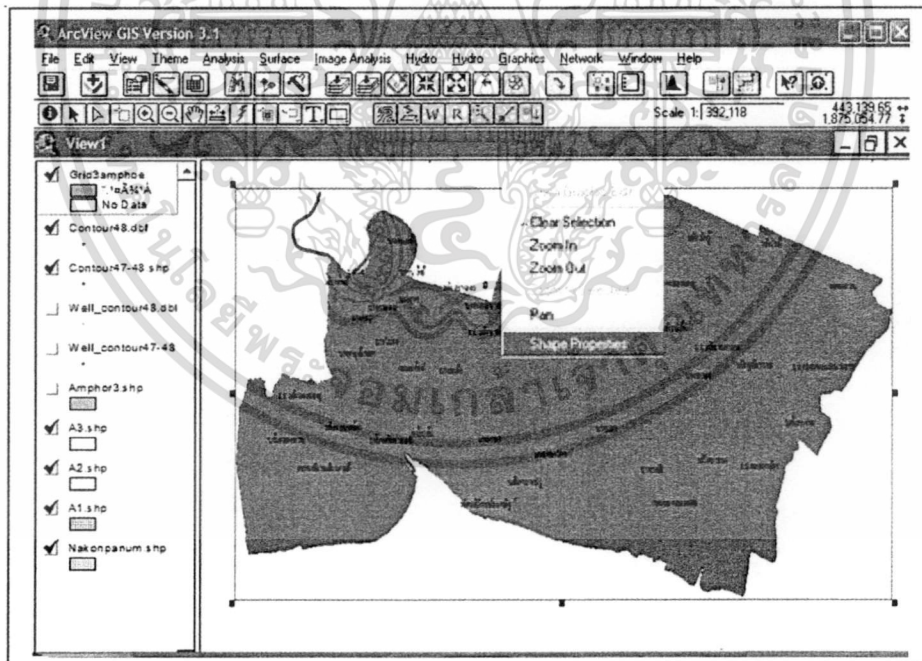


รูปที่ 4.19 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc view โดยคลิกไอคอนดังกล่าวค้างไว้แล้วเลือกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

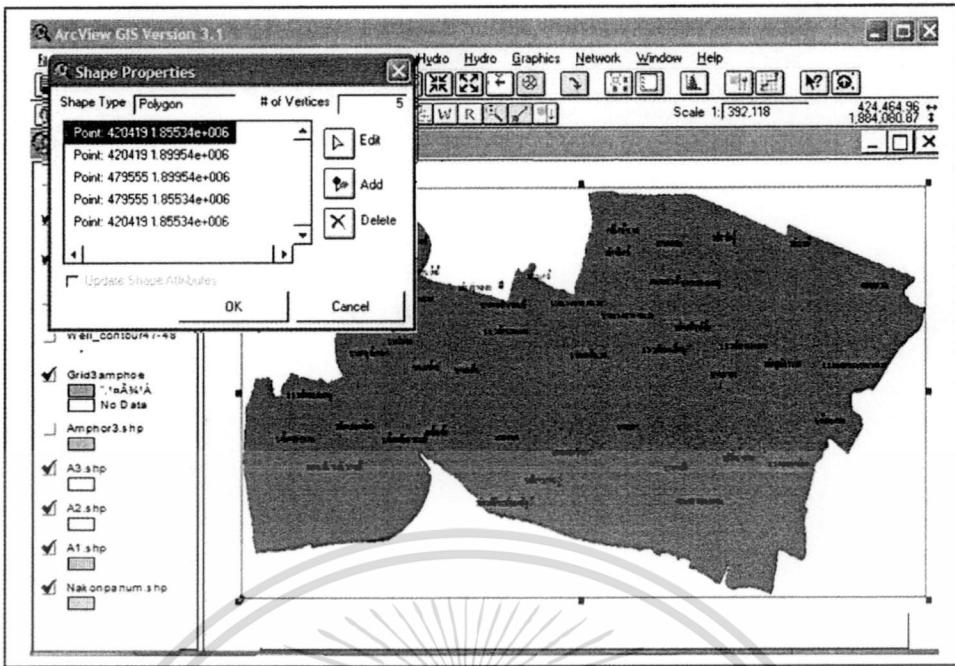


รูปที่ 4.20 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc view โดยลากกรอบสี่เหลี่ยมคลุมพื้นที่ 6 อำเภอทั้งหมด

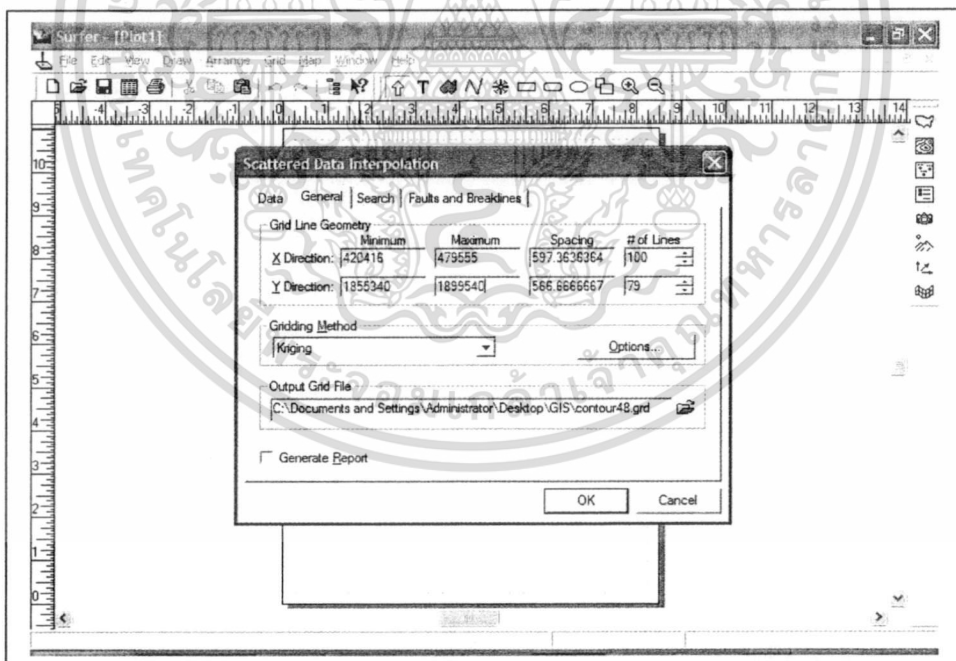


รูปที่ 4.21 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc view โดยการลากกรอบสี่เหลี่ยมคลุมพื้นที่ทั้งหมดให้คลิกขวาเลือก Shape properties

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

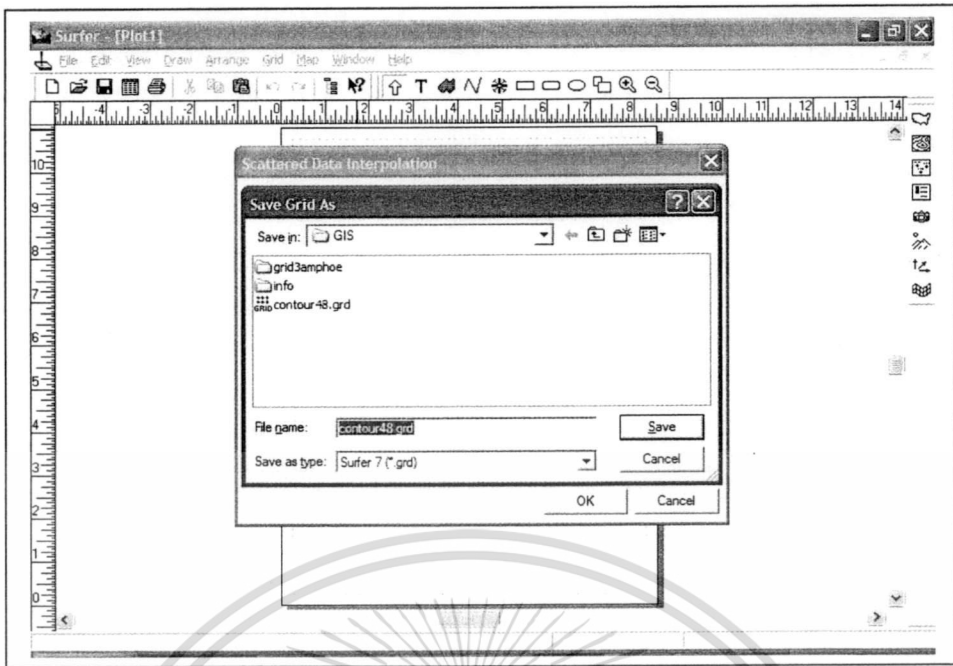


รูปที่ 4.22 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc view โดยจะได้ค่าพิกัดตำแหน่งของมุมรอบทั้ง 4 มุม

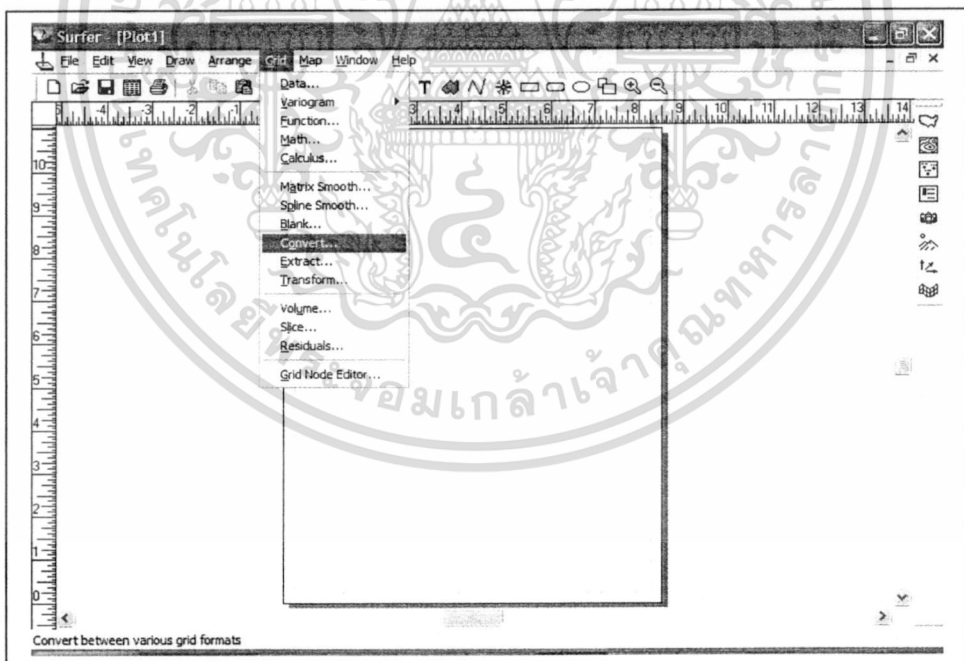


รูปที่ 4.23 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Surfer โดยจากรูปที่ 4.17 ให้นำค่าพิกัดแต่ละมุม มาใส่เป็นค่า X Y (min, max)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

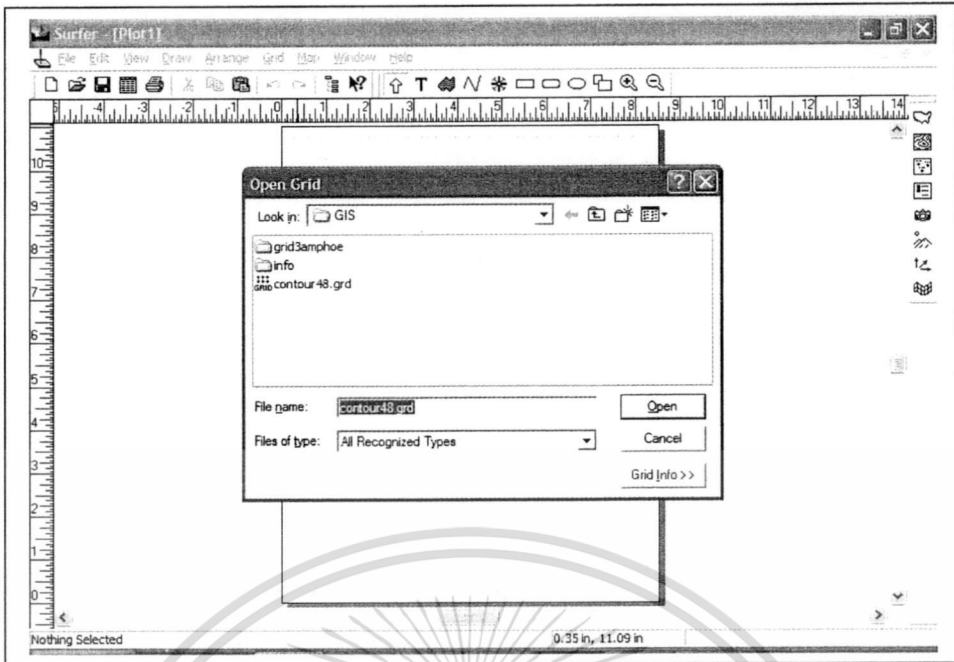


รูปที่ 4.24 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Surfer โดยใส่ค่า X Y (min, max) เสร็จแล้วก็ Save ไฟล์

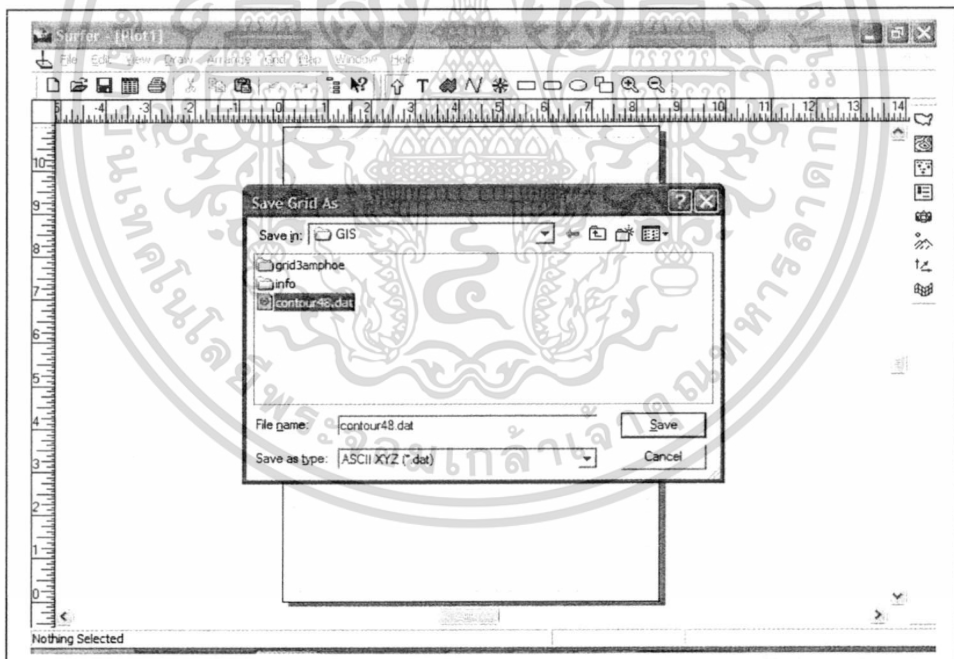


รูปที่ 4.25 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Surfer โดยเลือกเมนู Grid คำสั่ง Convert

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

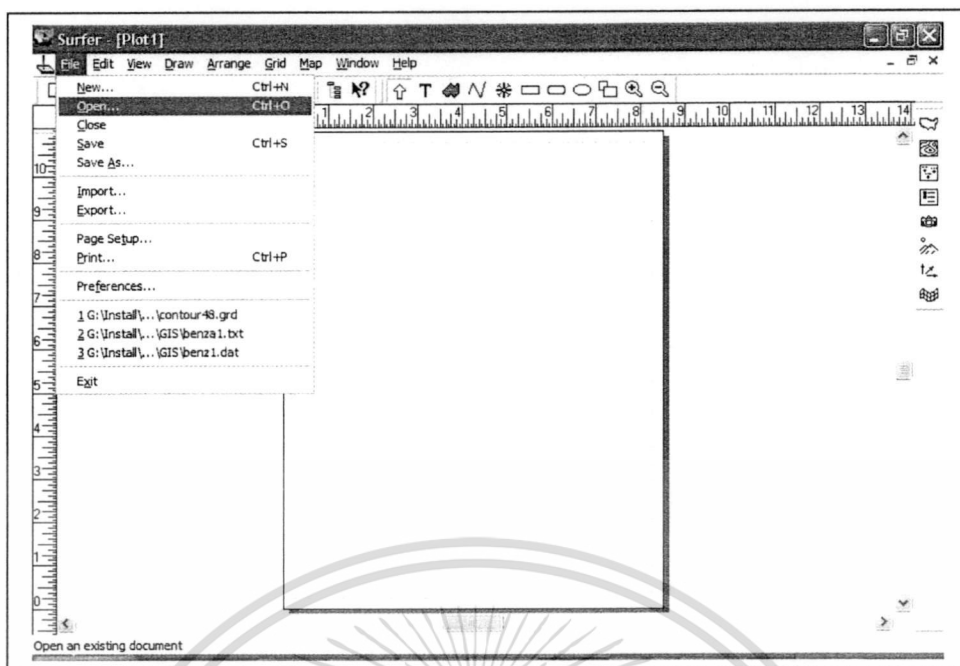


รูปที่ 4.26 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Surfer

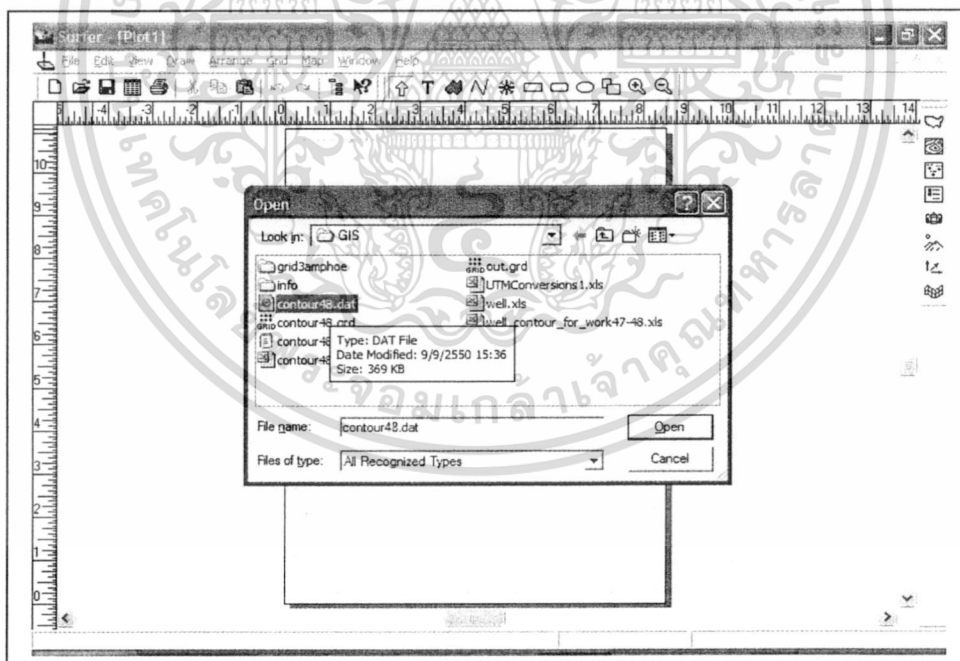


รูปที่ 4.27 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Surfer โดย Save ไฟล์ไว้ในนามสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Surfer โดยเลือกเมนู File คำสั่ง Open



รูปที่ 4.29 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Surfer โดยเลือกไฟล์ที่ Save ไว้ในนามสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

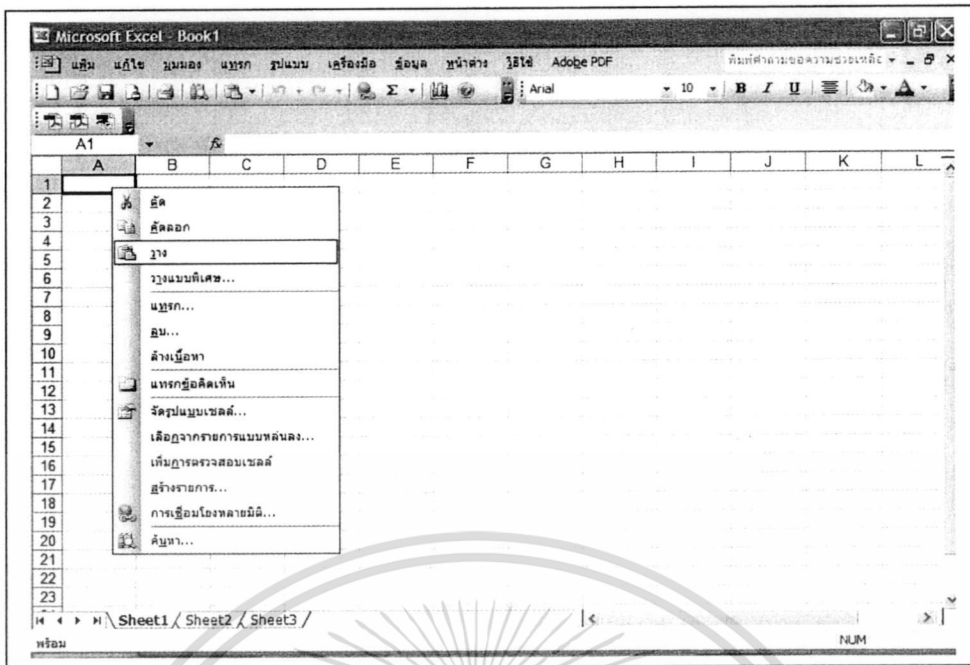
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	420523	1855450	159 62196								
2	421128.72	1855450	159.43324								
3	421734.43	1855450	159.23779								
4	422340.15	1855450	159.03550								
5	422945.87	1855450	158.82628								
6	423551.59	1855450	158.61005								
7	424157.30	1855450	158.38679								
8	424763.02	1855450	158.15648								
9	425368.74	1855450	157.91915								
10	425974.45	1855450	157.67485								
11	426580.17	1855450	157.42369								
12	427185.89	1855450	157.16578								
13	427791.61	1855450	156.90132								
14	428397.32	1855450	156.63051								
15	429003.04	1855450	156.35361								
16	429608.76	1855450	156.07092								
17	430214.47	1855450	155.78277								
18	430820.19	1855450	155.48956								
19	431425.91	1855450	155.19169								
20	432031.63	1855450	154.88961								
21	432637.34	1855450	154.58380								
22	433243.06	1855450	154.27478								
23	433848.78	1855450	153.96308								
24	434454.49	1855450	153.64925								
25	435060.21	1855450	153.33388								

รูปที่ 4.30 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Surfer โดยจะได้ค่าเป็นตารางเหมือน Excel แต่ค่าที่ได้จะมีจำนวนมากกว่า

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
7877	466557.51	1899850	152.46347								
7878	467163.22	1899850	151.99327								
7879	467768.94	1899850	151.47360								
7880	468374.66	1899850	150.90991								
7881	468980.37	1899850	150.30479								
7882	469586.09	1899850	149.66176								
7883	470191.81	1899850	148.98399								
7884	470797.53	1899850	148.27449								
7885	471403.24	1899850	147.53610								
7886	472008.96	1899850	146.77174								
7887	472614.68	1899850	145.98468								
7888	473220.39	1899850	145.18003								
7889	473826.11	1899850	144.36330								
7890	474431.83	1899850	143.54261								
7891	475037.55	1899850	142.72710								
7892	475643.26	1899850	141.92								
7893	476248.98	1899850	141.15								
7894	476854.70	1899850	140.41								
7895	477460.41	1899850	139.72								
7896	478066.13	1899850	139.07								
7897	478671.85	1899850	138.46								
7898	479277.57	1899850	137.91								
7899	479883.29	1899850	137.40								
7900	480489	1899850	136.93737								

รูปที่ 4.31 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Surfer โดยเลือกข้อมูลทั้งหมดแล้วเลือกคำสั่ง Copy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ขั้นตอนการแปลงพิคัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Excel โดยนำข้อมูล
ในขั้นตอนรูปที่ 4.26 มาวาง

	A	B	C
1	420523	1855450	159.622
2	421128.7	1855450	159.4332
3	421734.4	1855450	159.2378
4	422340.2	1855450	159.0355
5	422945.9	1855450	158.8263
6	423551.6	1855450	158.6101
7	424157.3	1855450	158.3868
8	424763	1855450	158.1585
9	425368.7	1855450	157.9192
10	425974.5	1855450	157.6749
11	426580.2	1855450	157.4237
12	427185.9	1855450	157.1658
13	427791.6	1855450	156.9013
14	428397.3	1855450	156.6305
15	429003	1855450	156.3536
16	429608.8	1855450	156.0709
17	430214.5	1855450	155.7828
18	430820.2	1855450	155.4896
19	431425.9	1855450	155.1917
20	432031.6	1855450	154.8896
21	432637.3	1855450	154.5838
22	433243.1	1855450	154.2748
23	433848.8	1855450	153.9631

รูปที่ 4.33 ขั้นตอนการแปลงพิคัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Excel โดยจะได้ข้อมูล
จากขั้นตอนรูปที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

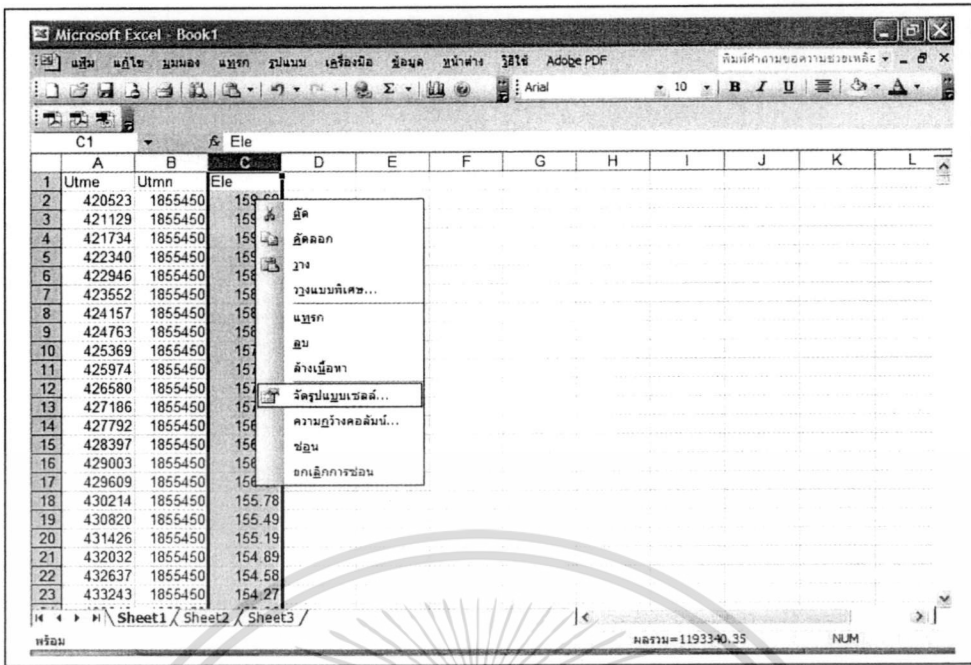
Item	Price
ส้ม	159.4332
สัคคอก	159.2378
วาง	159.0355
วุ้นนมทสด...	158.8263
แบริก	158.6101
สน	158.3868
ล้างเนื้อหา	158.1565
จัดรูปแบบเซลล์...	157.9192
ความสูงของแถว...	157.6749
ขลุ่ย	157.4237
ยกเลิกการซ่อน	157.1658
	156.9013
	156.6305
	156.3536
	156.0709
430214.5	1855450
430820.2	1855450
431425.9	1855450
432031.6	1855450
432637.3	1855450
433243.1	1855450
433848.8	1855450

รูปที่ 4.34 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Excel โดยแทรกแถว
ช่องบนสุด 1 ช่องเพื่อแทรกคำอธิบายแต่ละค่า

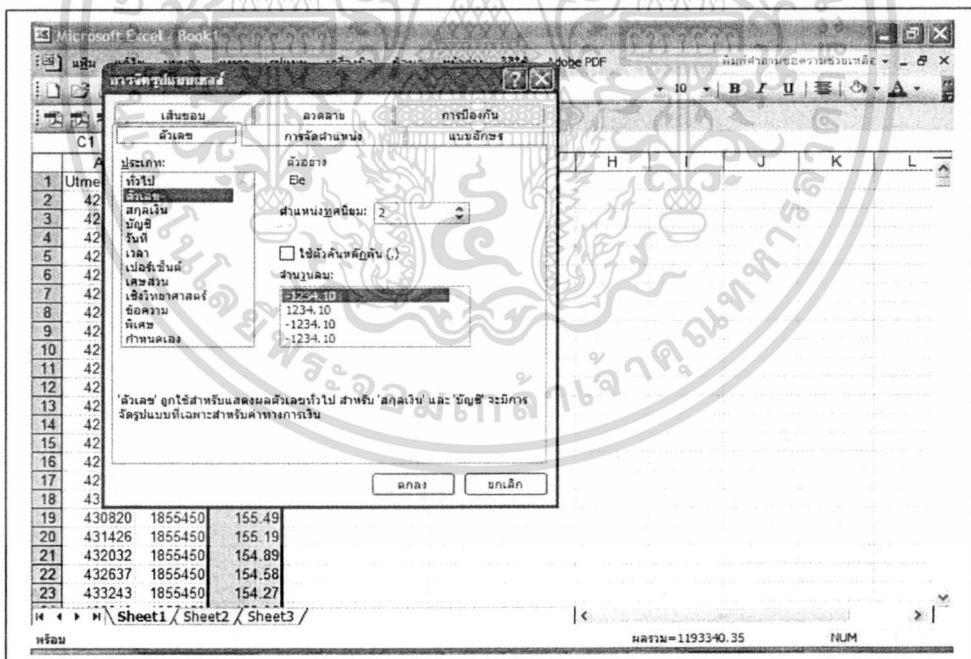
	A	B	C
1	Utime	Utmn	Ele
2	420523	1855450	159.62
3	421129	1855450	159.43
4	421734	1855450	159.24
5	422340	1855450	159.04
6	422946	1855450	158.83
7	423552	1855450	158.61
8	424157	1855450	158.39
9	424763	1855450	158.16
10	425369	1855450	157.92
11	425974	1855450	157.67
12	426580	1855450	157.42
13	427186	1855450	157.17
14	427792	1855450	156.90
15	428397	1855450	156.63
16	429003	1855450	156.35
17	429609	1855450	156.07
18	430214	1855450	155.78
19	430820	1855450	155.49
20	431426	1855450	155.19
21	432032	1855450	154.89
22	432637	1855450	154.58
23	433243	1855450	154.27

รูปที่ 4.35 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Excel โดยใส่
คำอธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

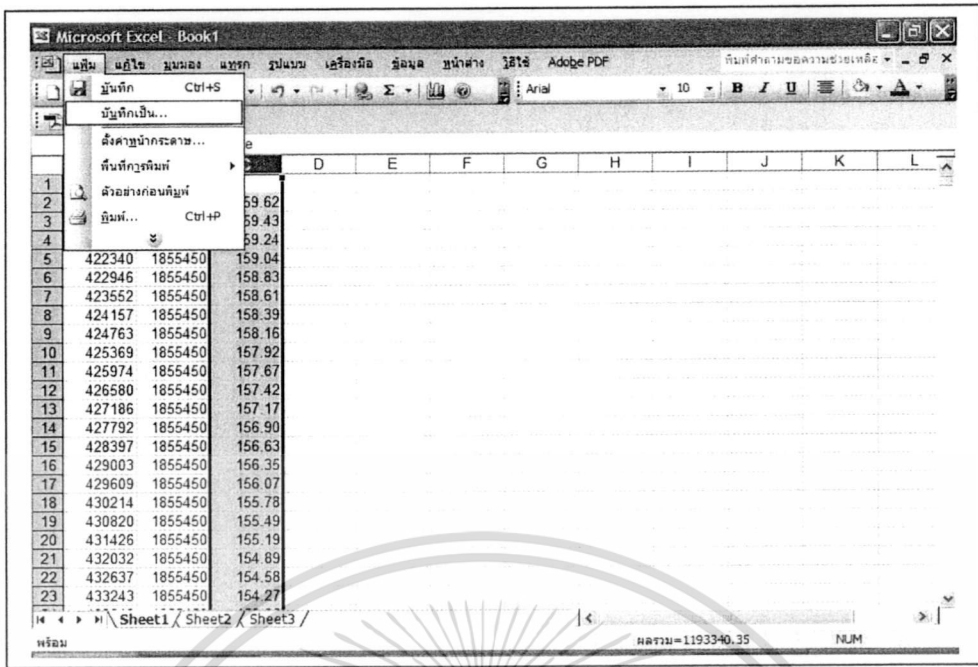


รูปที่ 4.36 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Excel โดยทำการจัดรูปแบบเซลล์ของเลขข้อมูลแต่ละช่อง

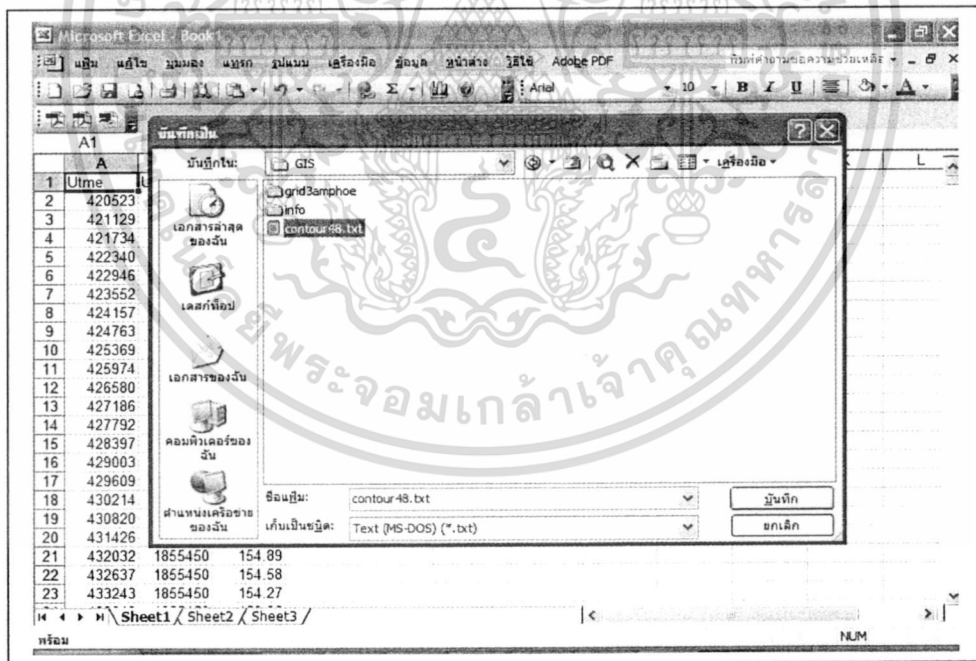


รูปที่ 4.37 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Excel โดยกำหนดตำแหน่งเลขทศนิยม 2 ช่องแรกเป็นศูนย์ ช่องที่ 3 ให้ใส่เลขทศนิยม 2 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

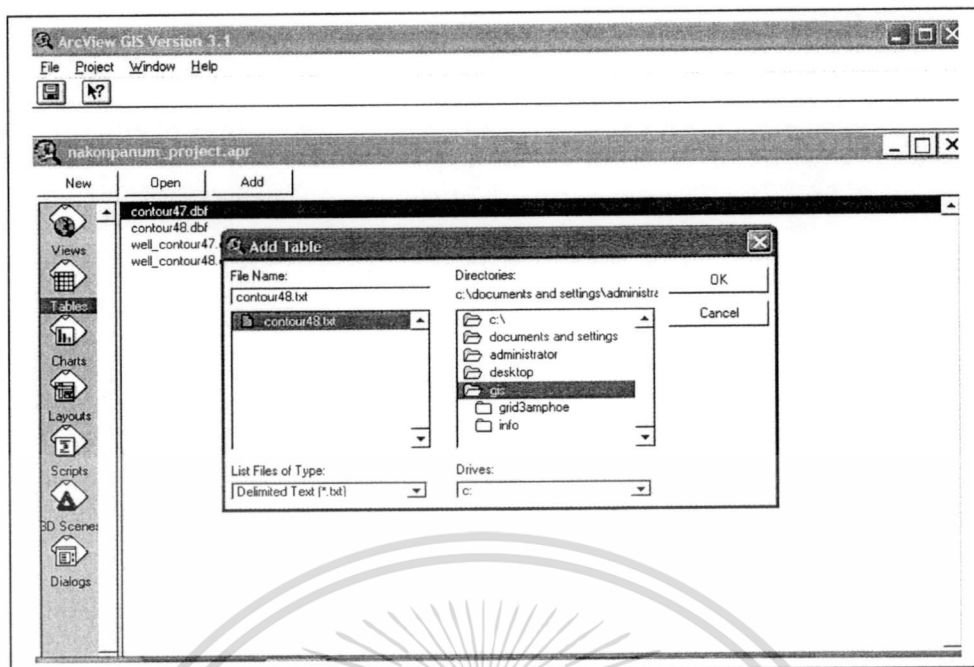


รูปที่ 4.38 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Excel โดย Save ไฟล์ที่ตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว

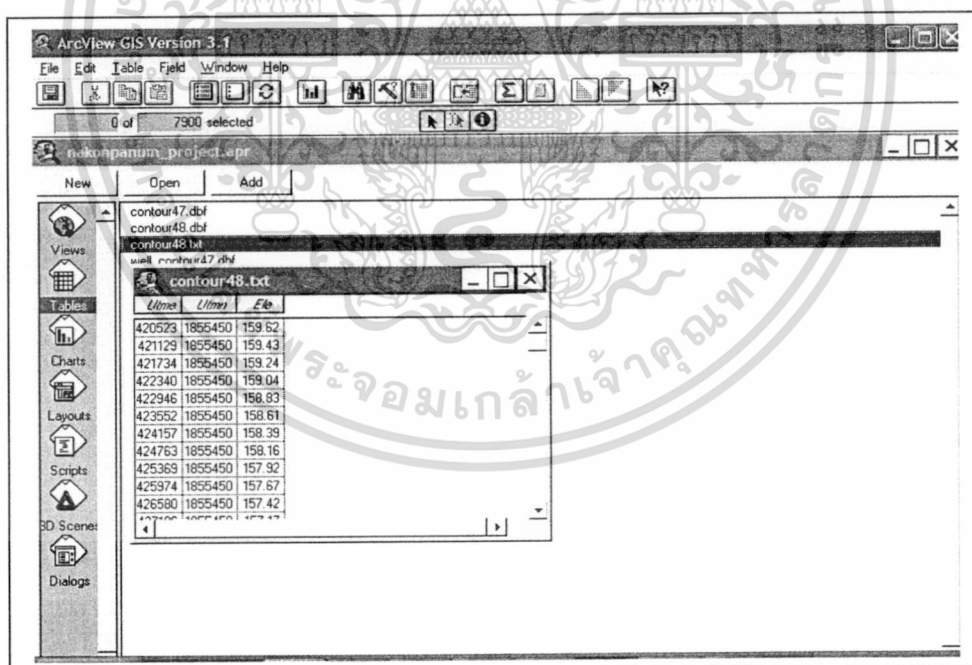


รูปที่ 4.39 แสดงขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Excel โดย Save ไฟล์ในรูปนามสกุล .txt (Text MS-DOS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

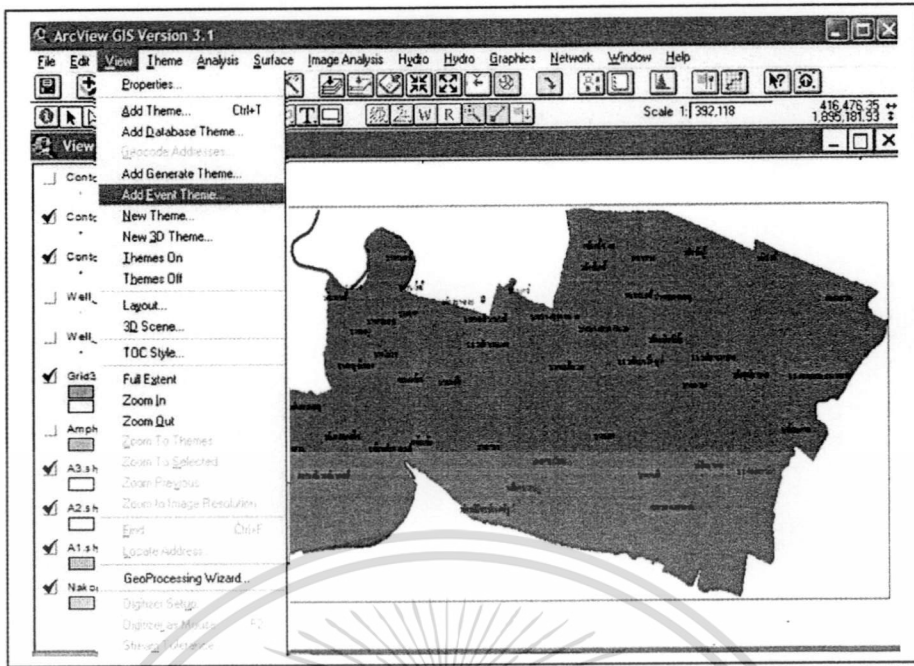


รูปที่ 4.40 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc view โดยเพิ่มตารางของข้อมูลที่ Save ไว้ในขั้นตอนรูปที่ 4.34

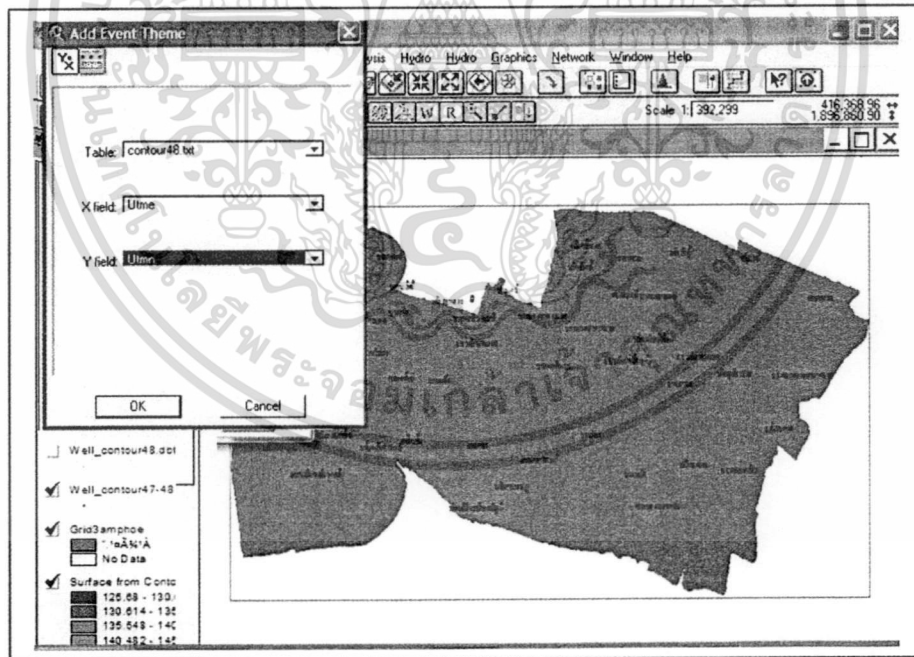


รูปที่ 4.41 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc view โดยจะได้ตารางข้อมูลเพิ่มขึ้น 1 ตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

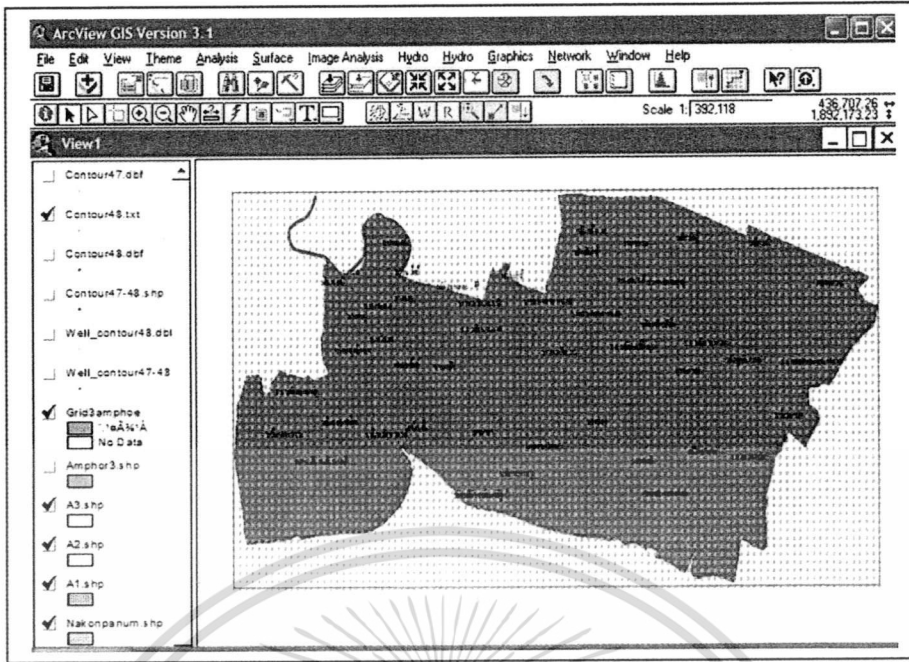


รูปที่ 4.42 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc view โดยเลือกเมนู View คำสั่ง Add Event Theme...

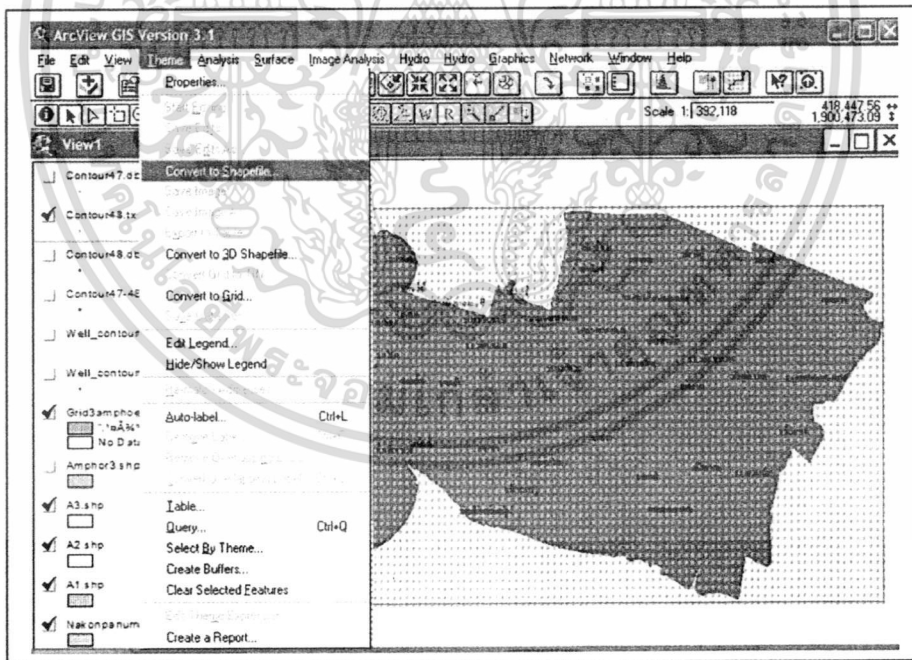


รูปที่ 4.43 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc view โดยเลือกช่อง Title เป็นชื่อ .txt ที่ Save ในขั้นตอนรูปที่ 4.34 แล้วช่องต่อไป Utme และ Utmn ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

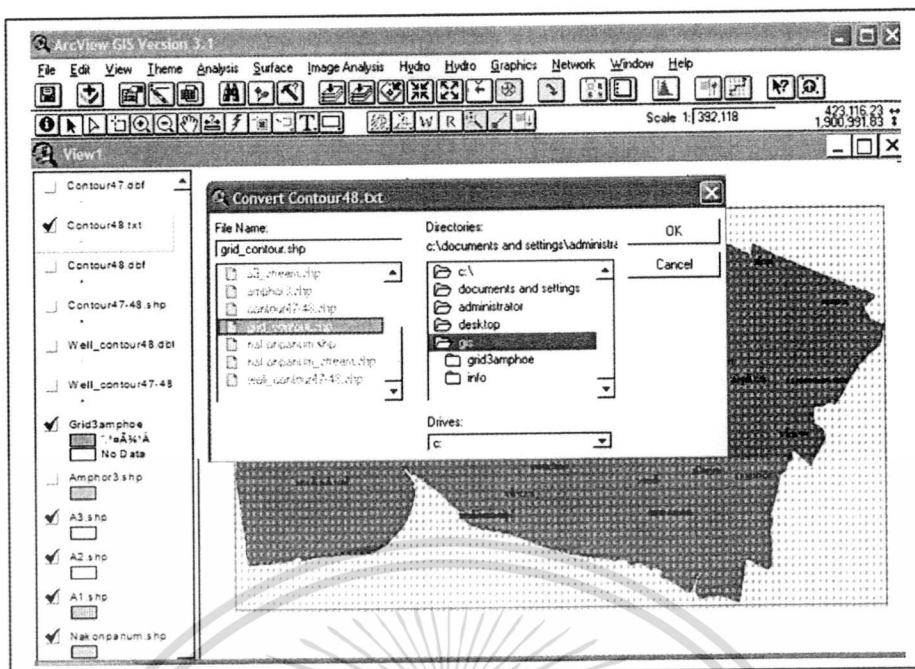


รูปที่ 4.44 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc view โดยจะได้เป็นเส้น Grid

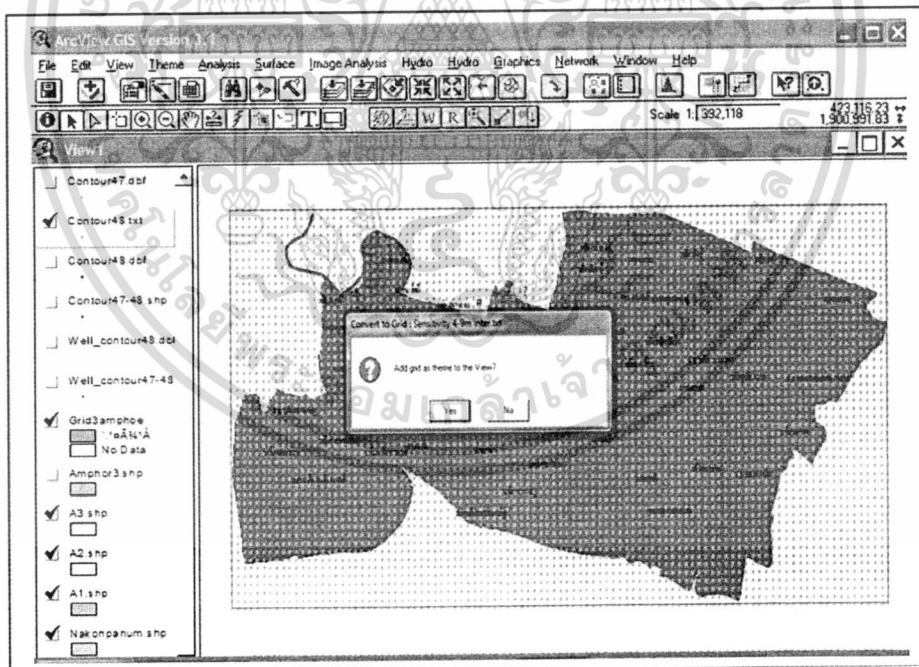


รูปที่ 4.45 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc view โดยเลือกเมนู Theme คำสั่ง Convert to Shape file...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

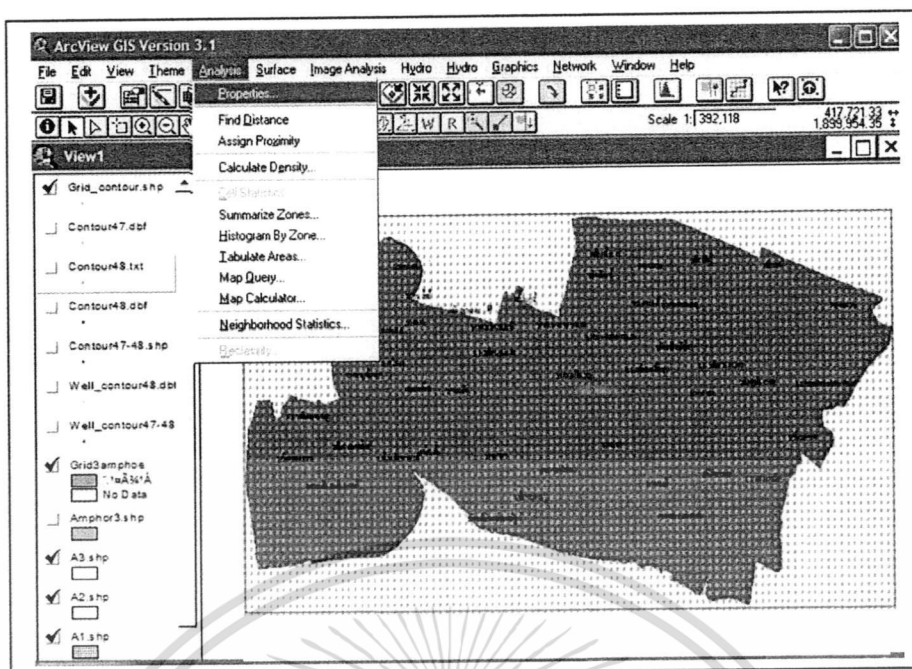


รูปที่ 4.46 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc view โดย Save ไฟล์แล้วกด OK

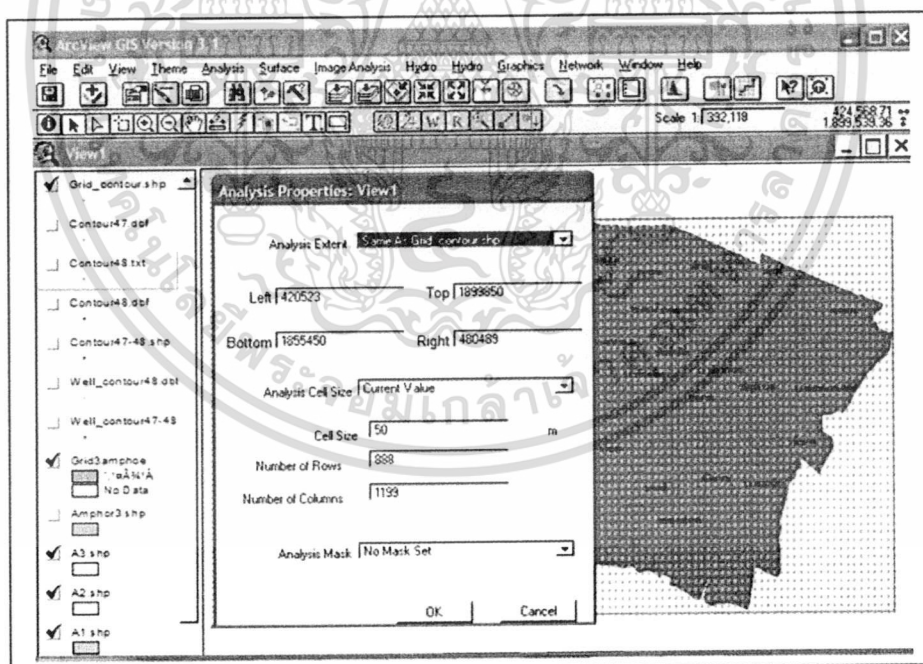


รูปที่ 4.47 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc view โดยเลือกกด Yes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

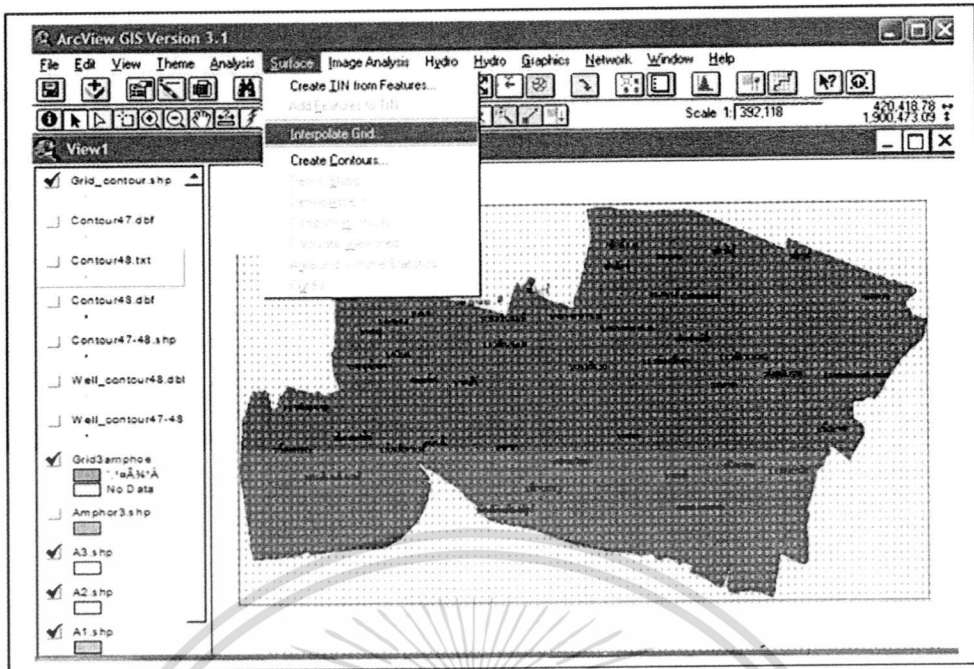


รูปที่ 4.48 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc view โดยเมนู Analysis คำสั่ง Properties

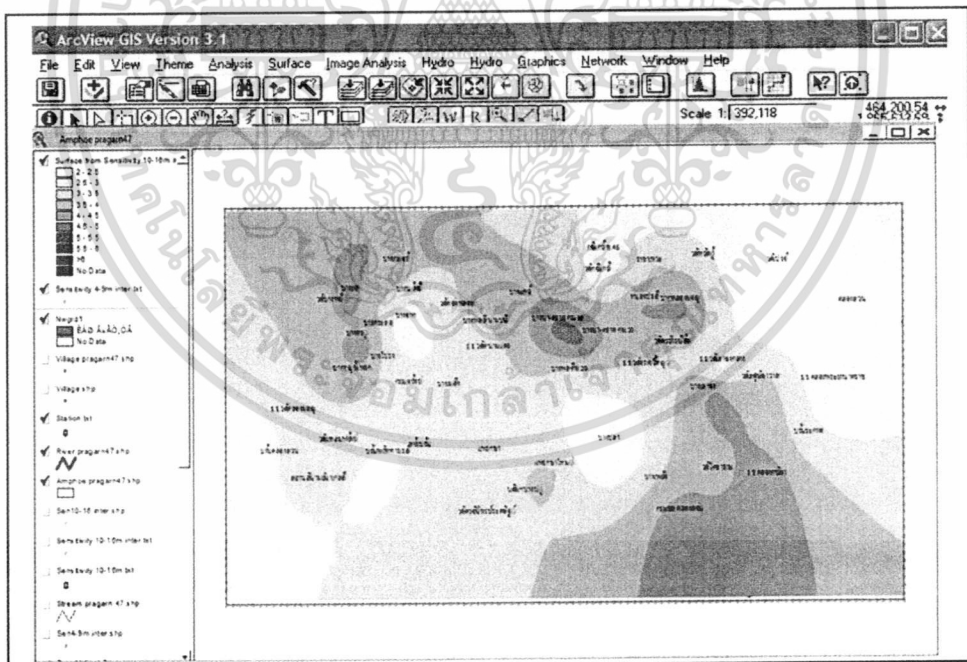


รูปที่ 4.49 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc view โดยช่องบนเลือก Save As Grid Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

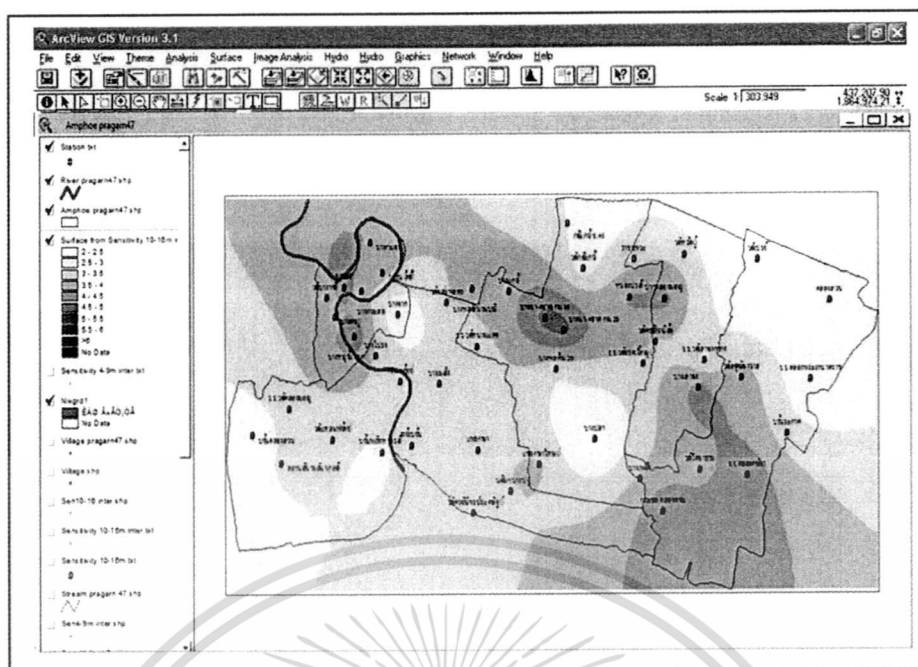


รูปที่ 4.50 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc view โดยเลือกเมนู Surface คำสั่ง Interpolate grid



รูปที่ 4.51 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่าน โปรแกรม Arc view โดยจะได้เส้นชั้นความสูงออกมาตามข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.52 ขั้นตอนการแปลงพิกัดที่ได้เป็นเส้นชั้นความสูงโดยผ่านโปรแกรม Arc view โดยจะได้เส้นชั้นความสูงเทียบกับตำแหน่งข้อมูลเส้นชั้นความสูงใน 6 อำเภอ

จากรูปที่ 4.7 ถึง 4.52 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลในพื้นที่จริง ทำได้โดยนำข้อมูลไป Interpolate โดยใช้โปรแกรม Surfer แล้วนำค่าจากการ Interpolate เข้าไปแสดงในโปรแกรม Arc view GIS ซึ่งสามารถนำค่าความไวตัวของดิน เป็นข้อมูลในการ Interpolate เพื่อหาความสัมพันธ์ต่างๆในพื้นที่ที่ทำการสำรวจ

4.5.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS 11.5 for Windows

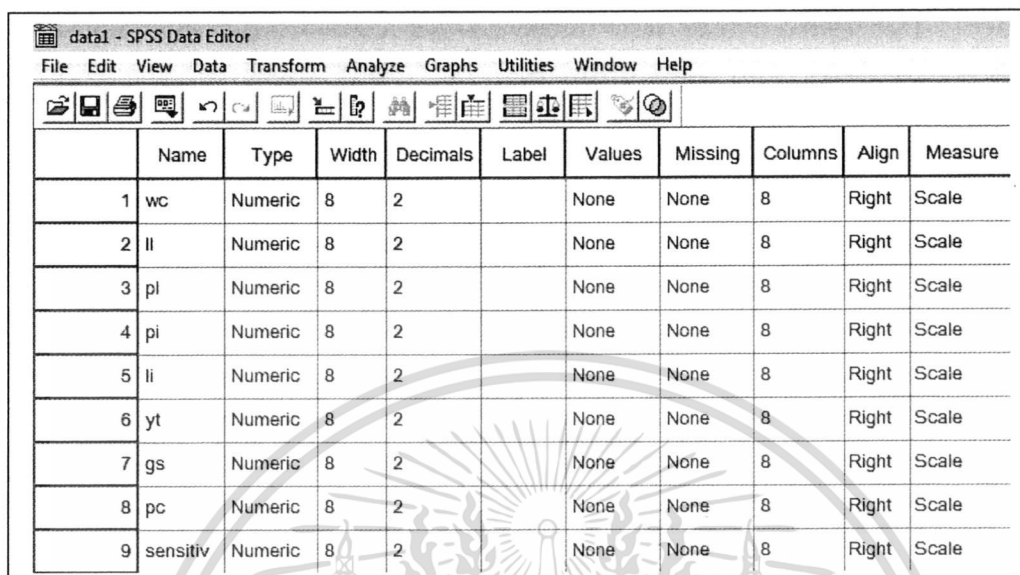
โปรแกรม SPSS เป็นโปรแกรมทางสถิติที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุเพื่อให้ได้สมการสำหรับพยากรณ์ค่าความไวตัวของดินซึ่งเป็นตัวแปรตาม จากตัวแปรอิสระทั้ง 8 ตัว

4.5.2.1 การนำข้อมูลเข้าโปรแกรม

การกำหนดชื่อและรายละเอียดของตัวแปรจะทำการกำหนดใน Variable View ที่แสดงอยู่ในรูปที่ 4.53 แถวที่ 1 คือ ค่าปริมาณน้ำในมวลดิน(Natural Water content), แถวที่ 2 คือ ค่าขีดจำกัดเหลว(Liquid limit), แถวที่ 3 คือ ค่าพิกัดพลาสติก (Plastic limit), แถวที่ 4 คือ ค่าดัชนีความเหลว(Liquidity index), แถวที่ 5 คือ ค่าดัชนีความเหนียว(Plasticity index),แถวที่ 6 คือ หน่วยน้ำหนักดิน(Unit weight), แถวที่ 7 คือ ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific gravity of solid particles),แถวที่ 8 คือ เปอร์เซ็นต์ดินเหนียว (Percent of clay soil), และแถวที่ 9 คือ ค่าความไวตัว

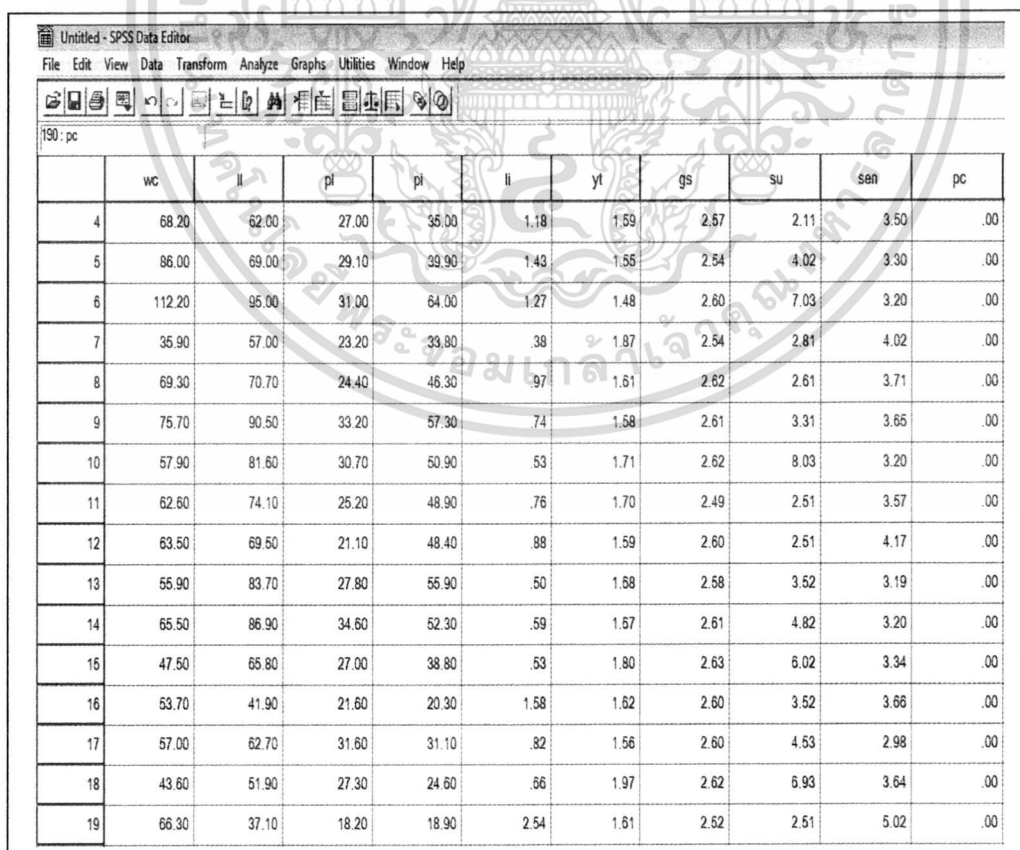
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Sensitivity) การนำข้อมูลเข้าจะนำเข้าไปใน Data view ที่แสดงอยู่ในรูปที่ 4.54 คือข้อมูลตัวแปรต่างๆ คือตัวแปรอิสระ 8 ตัว และตัวแปรตาม 1 ตัว



	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure
1	wc	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
2	ll	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
3	pl	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
4	pi	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
5	li	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
6	yt	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
7	gs	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
8	pc	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
9	sensitiv	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale

รูปที่ 4.53 Variable view ใช้ในการกำหนดชื่อและรายละเอียดของตัวแปร



	wc	ll	pl	pi	li	yt	gs	su	sen	pc
4	68.20	62.00	27.00	35.00	1.18	1.59	2.57	2.11	3.50	.00
5	86.00	69.00	29.10	39.90	1.43	1.55	2.54	4.02	3.30	.00
6	112.20	95.00	31.00	64.00	1.27	1.48	2.60	7.03	3.20	.00
7	35.90	57.00	23.20	33.80	.38	1.87	2.54	2.81	4.02	.00
8	69.30	70.70	24.40	46.30	.97	1.61	2.62	2.61	3.71	.00
9	75.70	90.50	33.20	57.30	.74	1.58	2.61	3.31	3.65	.00
10	57.90	81.60	30.70	50.90	.53	1.71	2.62	8.03	3.20	.00
11	62.60	74.10	25.20	48.90	.76	1.70	2.49	2.51	3.57	.00
12	63.50	69.50	21.10	48.40	.88	1.59	2.60	2.51	4.17	.00
13	55.90	83.70	27.80	55.90	.50	1.58	2.58	3.52	3.19	.00
14	65.50	86.90	34.60	52.30	.59	1.57	2.61	4.82	3.20	.00
16	47.50	65.80	27.00	38.80	.53	1.80	2.63	6.02	3.34	.00
16	53.70	41.90	21.60	20.30	1.58	1.62	2.60	3.52	3.66	.00
17	57.00	62.70	31.60	31.10	.82	1.56	2.60	4.53	2.98	.00
18	43.60	51.90	27.30	24.60	.56	1.97	2.62	6.93	3.64	.00
19	66.30	37.10	18.20	18.90	2.54	1.61	2.52	2.51	5.02	.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.54 Data view ใช้ในการกำหนดข้อมูลของตัวแปรต่างๆ โดยใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ(Multiple regression analysis)

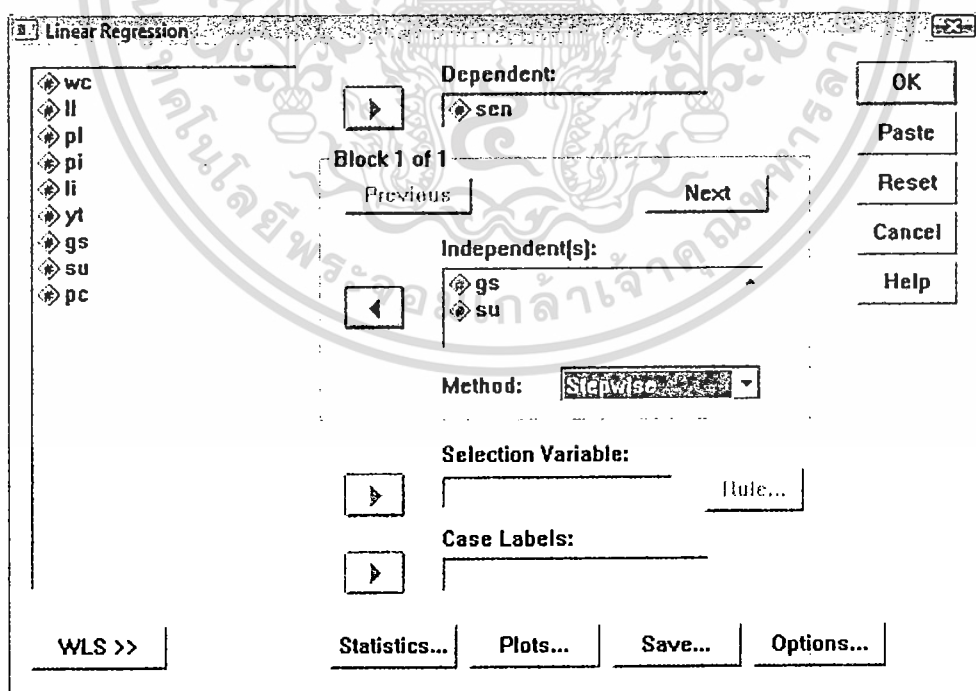
1.) Analysis – Regression – Linear ดังแสดงในรูปที่ 4.55

- ใน Dependent box จะต้องเลือกตัวแปรตาม คือ Sensitivity
- ใน Independent(s) box จะสามารถเลือกตัวแปรอิสระได้อย่างน้อย 1 ตัว ในที่นี้

จะทำการเลือก 8 ตัว คือ

- ค่าปริมาณน้ำในมวลดิน(Water content)
- ค่าขีดจำกัดเหลว(Liquid limit)
- ค่าพิกัดพลาสติก (Plastic limit)
- ค่าดัชนีความเหลว(Liquidity index)
- ค่าดัชนีความเหนียว(Plasticity index)
- หน่วยน้ำหนักดิน(Unit weight)
- ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific gravity of solid particles)
- เปอร์เซ็นต์ดินเหนียว (Percent of clay soil)

• Method คือ วิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอย จะใช้เมื่อมีตัวแปรอิสระหลายตัว ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 5 วิธี คือ 1.Enter 2.Remove 3.Forward 4.Backward 5.Stepwise ซึ่งในที่นี้จะใช้ Stepwise



รูปที่ 4.55 การใช้คำสั่ง Analysis – Regression – Linear

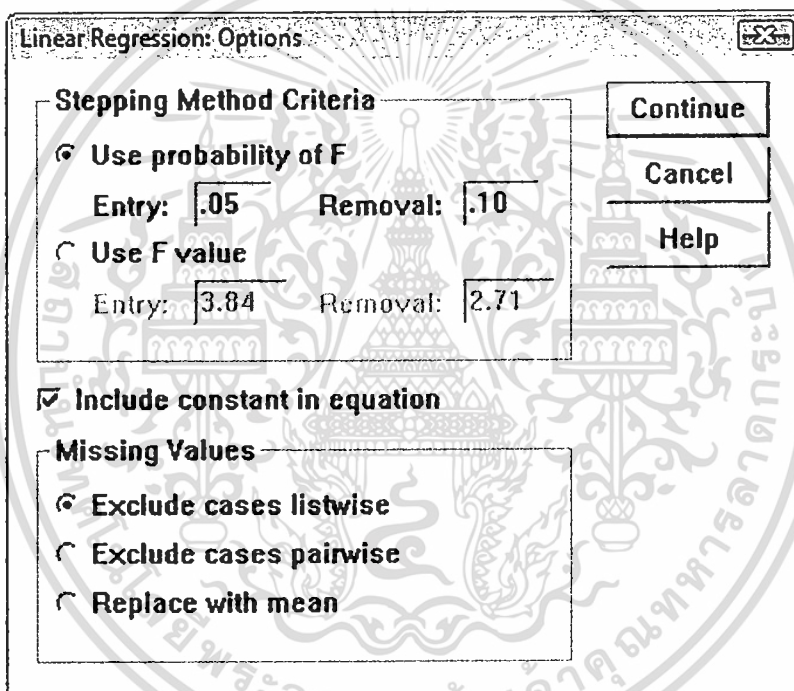
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) Analysis – Regression – Linear – Option ดังแสดงในรูปที่ 4.56

- Stepping Method Criteria จะเป็นการกำหนดค่าระดับนัยสำคัญของสถิติทดสอบ F สำหรับการเลือกตัวแปรเข้าหรือคัดตัวแปรออกจากสมการความถดถอย อาจกำหนดเป็นค่าสถิติทดสอบ F ก็ได้ โดยเลือก Use probability of F หมายถึงใช้ระดับนัยสำคัญของ F เป็นเกณฑ์การเลือกตัวแปรอิสระ

- Include constant in equation โดยปกติจะรวมค่าคงที่ในสมการความถดถอยด้วย ถ้าไม่เลือกแสดงว่าไม่ต้องการค่าคงที่ในสมการ

- Missing values ผู้วิเคราะห์ต้องเลือก Exclude cases listwise: case ที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีค่าทุกตัวแปร



รูปที่ 4.56 แสดงการใช้คำสั่ง Analysis – Regression – Linear – Option

3.) Analysis – Regression – Linear - Plots ดังแสดงในรูปที่ 4.57

- *ZPRED : Standardized predicted values หรือค่าประมาณ Y ในรูปมาตรฐาน

$$ZPRED = \frac{\hat{Y} - E(\hat{Y})}{SE(\hat{Y})} \quad (4.6)$$

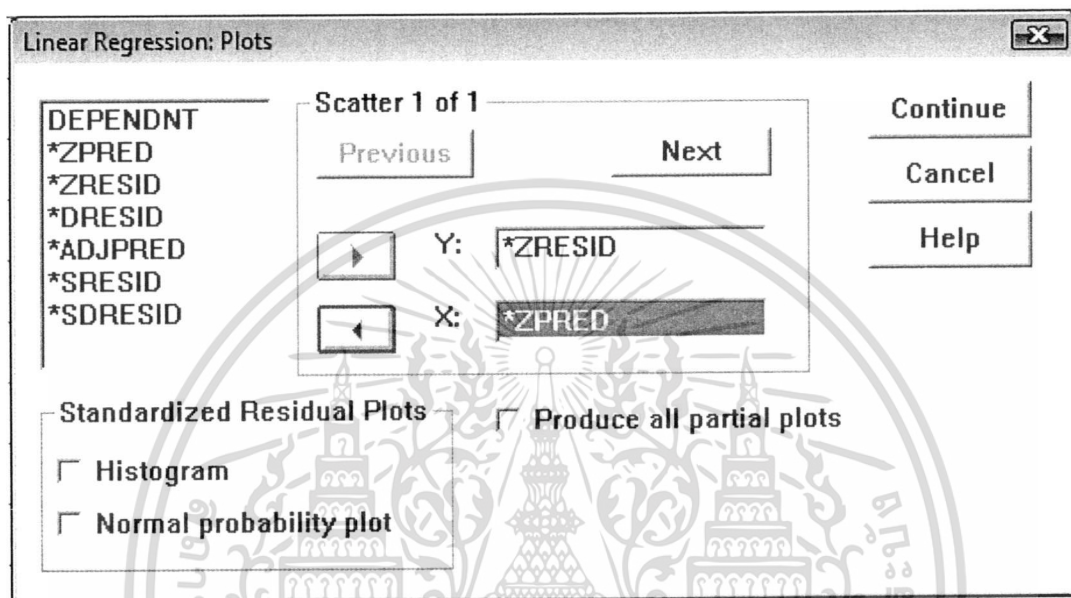
- *ZRESID : Standardized residuals หรือค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

$$ZRESID = \frac{e - E(e)}{SE(e)} \quad (4.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Histogram แสดงฮิสโตแกรมของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ใช้ในการตรวจสอบการแจกแจงของค่าคลาดเคลื่อนว่าเป็นแบบปกติหรือไม่

- Normal probability plot แสดง Normal probability (P-P) plot ของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ใช้ในการตรวจสอบการแจกแจงของค่าคลาดเคลื่อนว่าเป็นแบบปกติหรือไม่



รูปที่ 4.57 แสดงการใช้คำสั่ง Analysis – Regression – Linear – Plot

4.) Analysis – Regression – Linear - Statistics ดังแสดงในรูปที่ 4.58

- Regression coefficient หมายถึง สัมประสิทธิ์ความถดถอย ผู้วิเคราะห์สามารถเลือกทางเลือกต่อไปนี้ได้

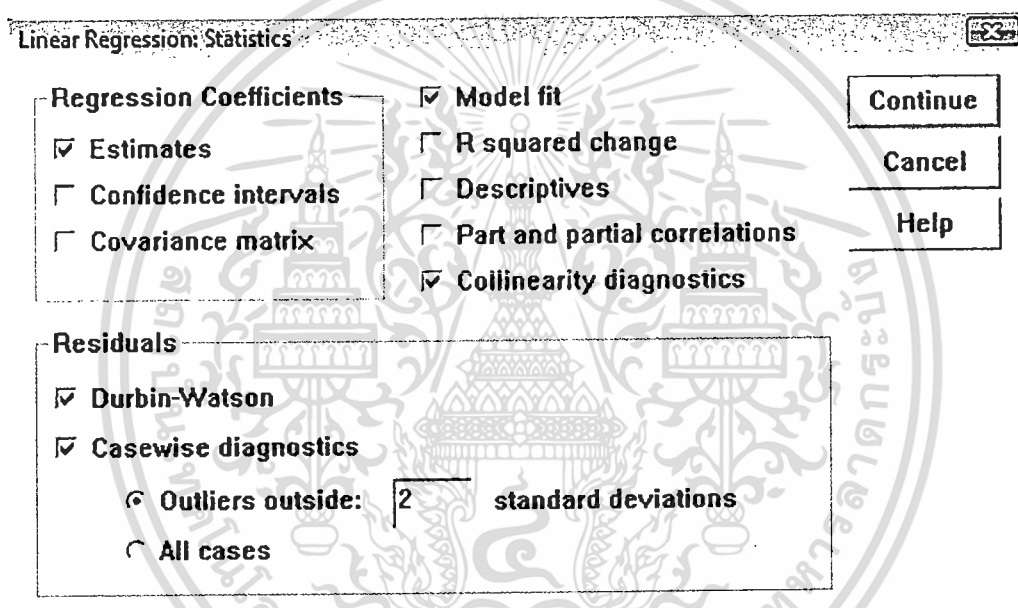
Estimate ถ้าเลือกทางเลือกนี้ SPSS จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย (b) ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ b (SE(b)) สถิติทดสอบ t ของการทดสอบเกี่ยวกับ β และ Significant ของสถิติทดสอบ t สำหรับการทดสอบแบบ 2 ข้าง นอกจากนั้นยังคำนวณค่าเบต้า (Beta) โดยที่ Beta คือ สัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐาน (Standardized regression coefficient)

- Model fit แสดงค่า
 - ตัวแปรที่นำเข้าและเอาออกจากสมการความถดถอย
 - Multiple R
 - R^2 และ adjusted R^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Standard error of estimate $S(SE(\hat{Y})) =$ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าประมาณ \hat{Y}

- Collinearity diagnostics จะแสดงค่า
 - Eigen values
 - Variance inflation factors (VIF)
 - Tolerances
- Residuals จะมีทางเลือก 2 ทางดังนี้
 - Durbin-Watson สำหรับทดสอบความเป็นอิสระกันของค่าคลาดเคลื่อน
 - Casewise diagnostics จะแสดงค่าที่มากกว่าที่เท่าของค่า Standard deviation



รูปที่ 4.58 การใช้คำสั่ง Analysis – Regression – Linear – Statistics

4.5.2.3. เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

สมมติฐานหรือเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุมี 4 ข้อ ซึ่งเป็นเงื่อนไขเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อน การที่ผู้วิเคราะห์จะนำสมการไปประยุกต์ต้องมีความมั่นใจในความถูกต้องของสมการ โดยจะต้องตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุเกี่ยวกับค่าคลาดเคลื่อนดังนี้

1.) ตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าคลาดเคลื่อน

ค่าคลาดเคลื่อนที่ e_i และ e_j ต้องเป็นอิสระต่อกัน(ค่าคลาดเคลื่อนของตัวแปรอิสระเป็นอิสระต่อกัน) โดยใช้สถิติทดสอบ Durbin-Watson โดยจะพิจารณาจากค่า Durbin-Watson หากค่า Durbin-Watson มีค่าใกล้ 2 หรืออยู่ในช่วง 1.5-2.5 จะสรุปได้ว่า e_i และ e_j เป็นอิสระต่อกัน

$$\sum_{i=2}^n \frac{(e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (4.8)$$

e = Standardized Residual

2.) ตรวจสอบความเป็นอิสระของ X_i และ X_j

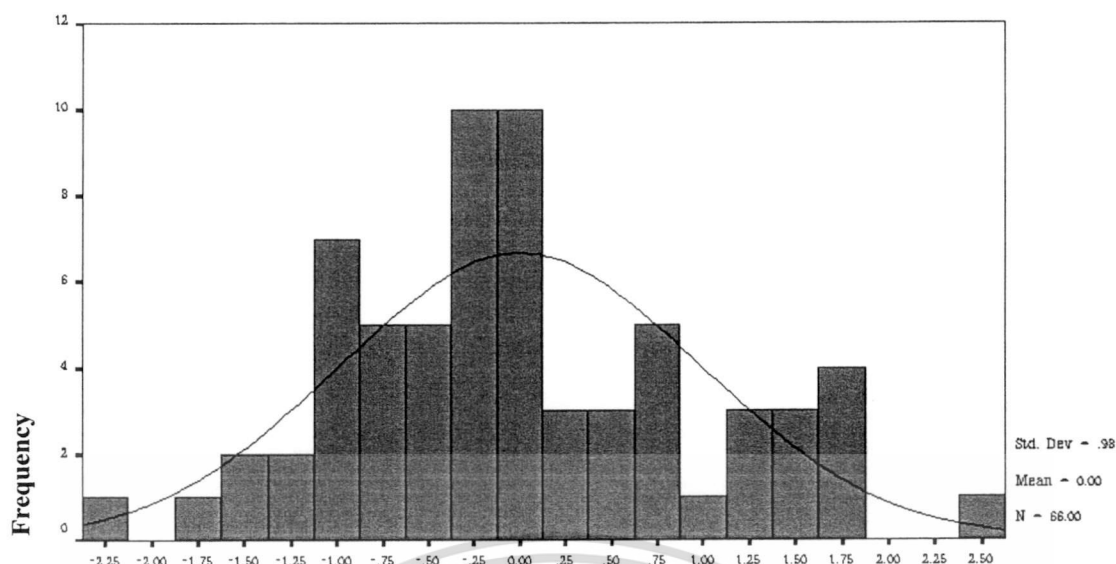
ตัวแปรอิสระแต่ละตัวต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน กรณีที่ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันจะเรียกว่าเกิดปัญหา Multicollinearity โดยดูจากค่า Tolerance ของตัวแปร X_i หากมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปร X_i มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆ น้อย

$$\text{Tolerance} = 1 - R_i^2 \quad (4.9)$$

R คือ multiple correlation coefficient ของสมการความถดถอย หรือเป็นการพยากรณ์
 ค่า $X_i = a + b_1X_1 + \dots + b_{i-1}X_{i-1} + b_{i+1}X_{i+1} + \dots + b_kX_k$

3.) ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่

ค่าคลาดเคลื่อน(error or residual : e) จะต้องมีการแจกแจงแบบปกติด้วย ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ โดยดูจากฮิสโตแกรมของค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน แกน X คือค่าคลาดเคลื่อน (Regression standardize residual) แกน Y คือความถี่(Frequency) หากเส้นแนวโน้มเป็นรูปประฆังคว่ำและมีความสมมาตร แสดงว่าการแจกแจงของค่าคลาดเคลื่อนเป็นแบบปกติ ดังในรูปที่ 4.59 หรือดูจาก ตาราง Statistics ตารางที่ 4.4 โดยดูค่าความเบ้ (Skewness) หากมีค่าใกล้เคียง 0 แสดงว่ากราฟมีสมมาตรในแนวราบ และค่าความโค้ง(Kurtosis) หากมีค่าใกล้เคียง 0 แสดงว่ากราฟมีความสมมาตรทางด้านแนวตั้ง ซึ่งสรุปได้ว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ



Regression standardize residual

รูปที่ 4.59 กราฟ Histogram ที่แสดงความถี่ของ Regression standardized residual

ตารางที่ 4.4 ตาราง Statistics แสดงค่าความเบ้ (Skewness) และค่าความโค้ง (Kurtosis)

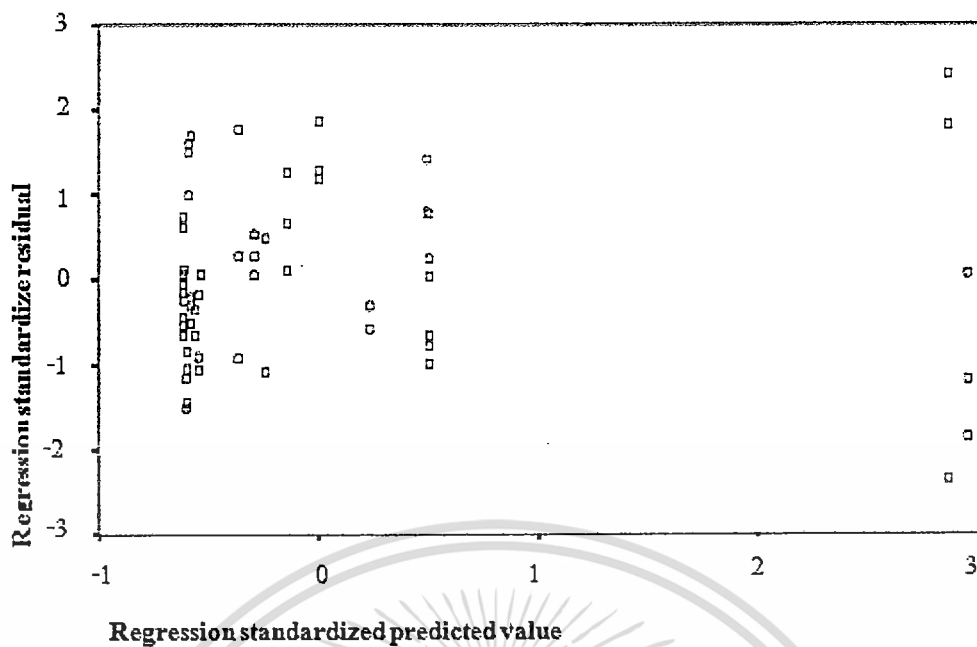
Standardized Residual		
N	Valid	66
	Missing	89
Mean		.0000000
Median		-.1001419
Mode		-.51655 ^a
Skewness		.277
Std. Error of Skewness		.295
Kurtosis		-.174
Std. Error of Kurtosis		.582
Sum		.000000
Percentiles	25	-.6617238
	50	-.1001419
	75	.6786466

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

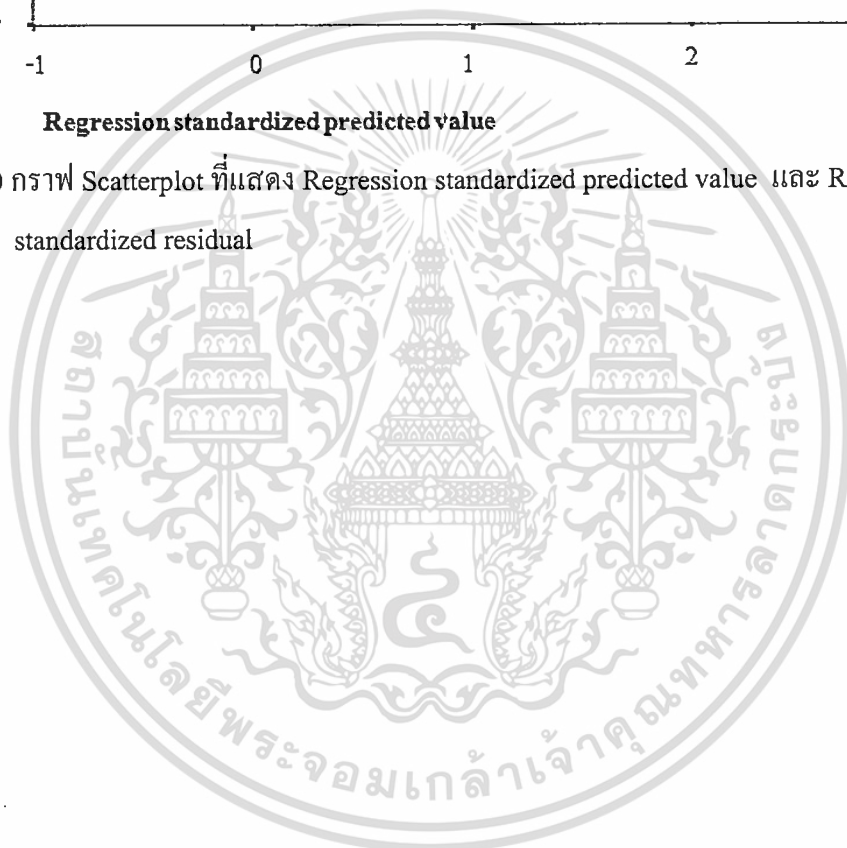
4.) ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนว่ามีความแปรปรวนคงที่หรือไม่

ค่าแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนต้องคงที่ โดยดูจากการพล็อตกราฟระหว่าง X คือค่า Y ที่ได้จากการพยากรณ์ (Regression standardized predicted) Y คือ ค่าคลาดเคลื่อน (Regression standardize residual) ถ้าลักษณะของข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่เป็นรูปแบบแสดงว่าค่าความแปรปรวนของค่า e คงที่ ดังในรูปที่ 4.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.60 กราฟ Scatterplot ที่แสดง Regression standardized predicted value และ Regression standardized residual



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การวิเคราะห์ผลการศึกษา

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของดินเหนียวทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่าคุณสมบัติทางกายภาพ กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ค่าความไวตัว ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม GIS Arc view และ Surfer และผลวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ในการพยากรณ์ค่าความไวตัวของดิน โดยมีเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ เพื่อใช้ในการตรวจสอบ

5.2 คุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินตัวอย่าง ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อน และค่าความไวตัวของดินในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ แสดงในภาคผนวก ก. โดยมีความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนอยู่ในช่วง 12.00 ถึง 18.00 เมตร ซึ่งเมื่อนำผลการทดสอบของมาจำแนกประเภทของดินโดยใช้ระบบ USCS (Unified soil classification system) พบว่าดินเหนียวอ่อนในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการส่วนใหญ่เป็นดินจำพวก High plasticity clay (CH) โดยดินมีค่า Liquid limit สูงกว่า ค่าความชื้นในดินธรรมชาติ และค่าความชื้นในดินธรรมชาติ มีค่า สูงกว่า Plastic limit ($L.L. \geq W_n \geq P.L.$) แสดงว่าดินเหนียวอ่อนในพื้นที่ศึกษาอยู่ในสภาพเป็นพลาสติก

ผลการทดสอบดินเหนียวอ่อนในสนามและการทดสอบในห้องทดลอง ได้ค่าคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรม โดยสามารถนำมาวิเคราะห์ผลการทดสอบและสรุปค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินเหนียวอ่อนในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ ได้ดังนี้

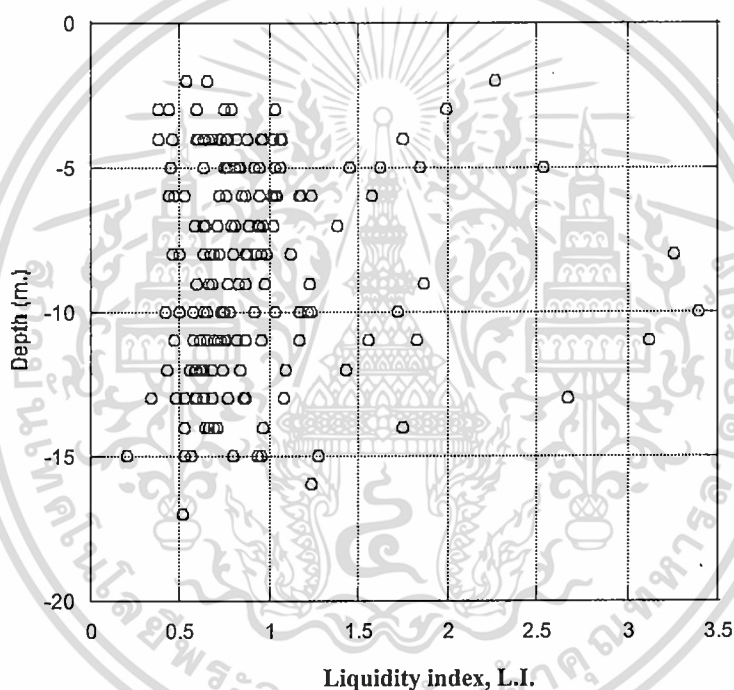
ขีดพิกัดเหลว (Liquid limit, L.L.) จากการทดสอบตัวอย่างดินพบว่า ดินตัวอย่างมีค่าขีดพิกัดเหลวต่ำสุดอยู่ที่ 31.11 % ค่าสูงสุดอยู่ที่ 113.80 % โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 72.95 % แสดงว่าดินตัวอย่างมีความเหนียวมาก เนื่องจากค่า L.L. มีค่ามากกว่า 50 %

ขีดพิกัดพลาสติก (Plastic limit, P.L.) จากการทดสอบตัวอย่างดินพบว่า ดินตัวอย่างมีค่าขีดพิกัดพลาสติกต่ำสุดอยู่ที่ 15.80 % ค่าสูงสุดอยู่ที่ 57.89 % โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.52 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

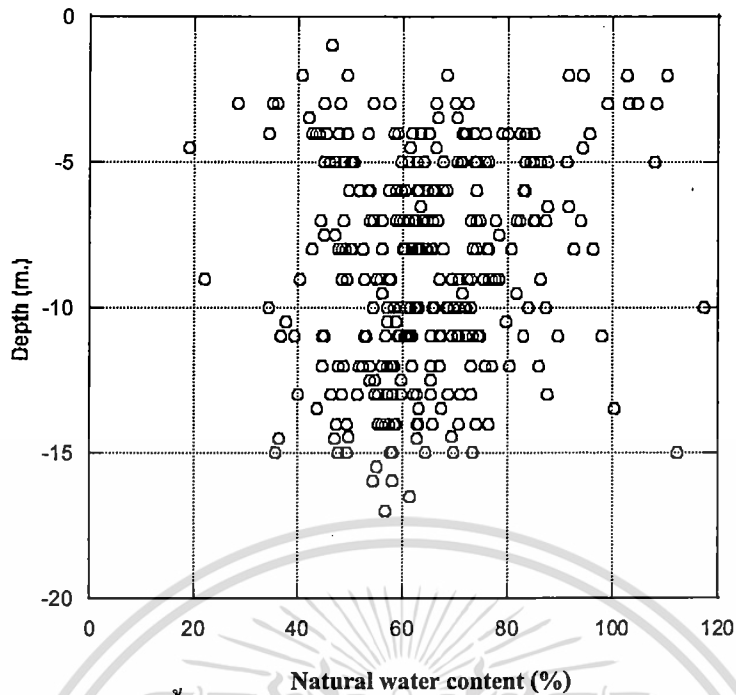
ดัชนีความเหนียว (Plasticity index, P.I.) จากการทดสอบตัวอย่างดินพบว่า ดินตัวอย่างมีค่าดัชนีความเหนียวต่ำสุดอยู่ที่ 13.50 % ค่าสูงสุดอยู่ที่ 82.40 % โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 40.20 % ซึ่งจะเห็นว่าค่าดัชนีความเหนียวมีค่าค่อนข้างสูง แสดงว่าดินเหนียวในพื้นที่การศึกษาจะเกิดการยุบตัวหรือหดตัวสูงเมื่อน้ำระเหยออกไปจากมวลดิน

ดัชนีความเหลว (Liquidity index, L.I.) จากการทดสอบตัวอย่างดินพบว่า ดินตัวอย่างมีค่าดัชนีความเหลวต่ำสุดอยู่ที่ 0.38 ค่าสูงสุดอยู่ที่ 3.39 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.90 เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความเหลว เทียบกับความลึกของชั้นดิน พบว่า ค่าดัชนีความเหลว มีแนวโน้มลดลงตามความลึกของชั้นดิน ดังแสดงในรูปที่ 5.1



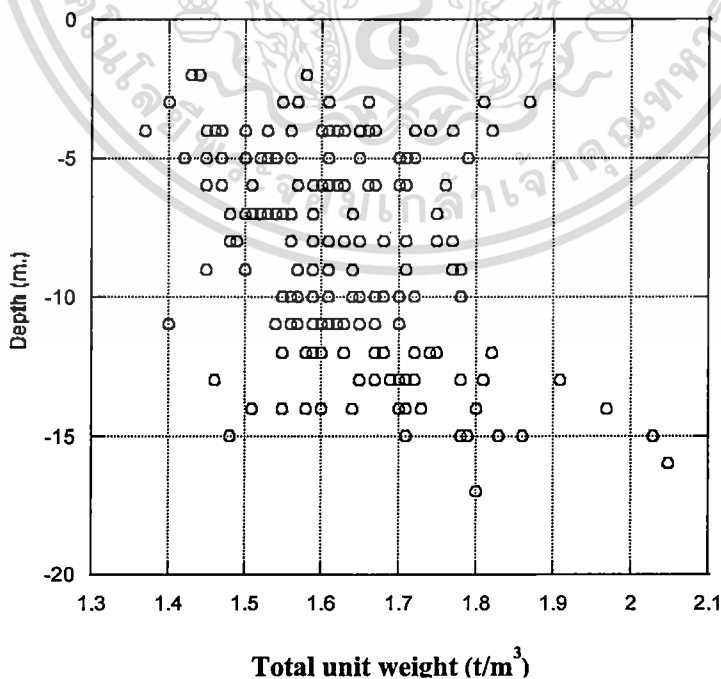
รูปที่ 5.1 แสดงค่าดัชนีความเหลว (Liquidity index, L.I.) เทียบกับความลึก

ความชื้นในดินธรรมชาติ (Natural water content) จากตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบ พบว่าค่าความชื้นในดินธรรมชาติดีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 34.90 % ค่าสูงสุดอยู่ที่ 117.24 % โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 65.90 % และเมื่อพิจารณาค่าความชื้นในดินธรรมชาติ เทียบกับความลึกของชั้นดิน พบว่า ค่าความชื้นในดินธรรมชาติดีแนวโน้มลดลงตามความลึกของชั้นดิน ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงค่าความชื้นในดินธรรมชาติ (Natural water content) เทียบกับความลึก

หน่วยน้ำหนักรวม (Total unit weight) จากการทดสอบด้วยดินพบว่า ดินตัวอย่างมีค่าหน่วยน้ำหนักรวม ต่ำสุดอยู่ที่ 1.37 t/m^3 ค่าสูงสุดอยู่ที่ 2.05 t/m^3 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.63 t/m^3 เมื่อพิจารณาค่าหน่วยน้ำหนักรวม เทียบกับความลึกของชั้นดิน พบว่า ค่าหน่วยน้ำหนักรวม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของชั้นดิน ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักรวม (Total unit weight) เทียบกับความลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

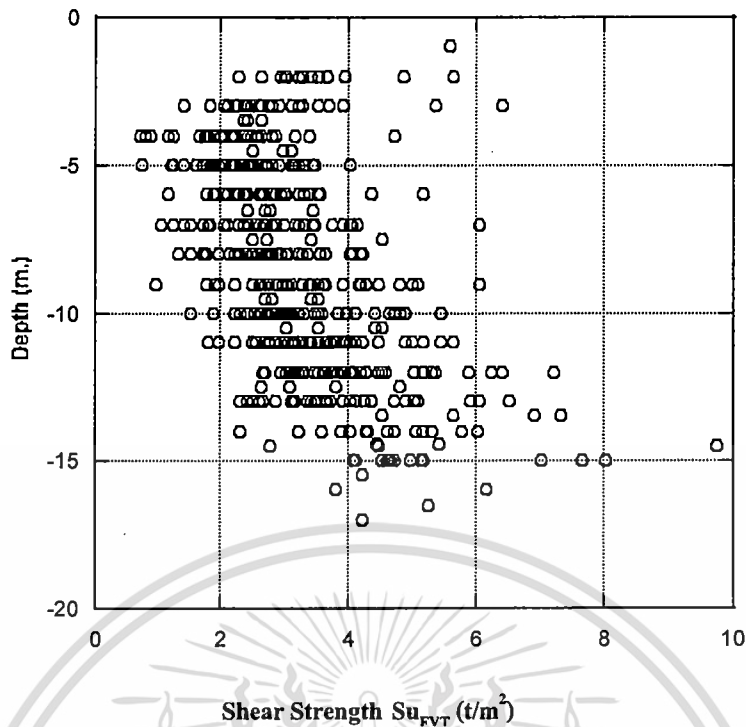
ขนาดของเม็ดดิน จากการวิเคราะห์ขนาดของเม็ดดินด้วยวิธี Hydrometer analysis ซึ่งจากข้อมูลจะเห็นว่าที่ความลึก 5 เมตรจากระดับผิวดิน จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ Silt อยู่ที่ 17.417 % และมีค่าเปอร์เซ็นต์ Clay อยู่ที่ 82.583 % ที่ความลึก 5.5 เมตรจากระดับผิวดิน จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ Silt อยู่ที่ 17.099 % และมีค่าเปอร์เซ็นต์ Clay อยู่ที่ 82.901 % และมีแนวโน้มที่เปอร์เซ็นต์ Silt จะมีค่าที่ลดลงตามระดับของความลึกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ที่ความลึก ระดับ 15.00 เมตร จากระดับผิวดิน ค่าเปอร์เซ็นต์ silt จะเหลือเพียง 5.391 % เท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงการกระจายตัวของเม็ดดินและชนิดดินในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ

Depth (m)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
4.0	0	17.417	82.583
5.5	0	17.099	82.901
8.0	0	11.386	88.614
10.0	0	7.035	92.965
10.5	0	7.004	92.996
12.0	0	9.645	90.354
12.5	0	9.488	90.512
15.0	0	5.391	94.609

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) จากการทดสอบตัวอย่างดินพบว่า ดินตัวอย่างมีค่าความถ่วงจำเพาะ ต่ำสุดอยู่ที่ 2.43 ค่าสูงสุดอยู่ที่ 2.72 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.61

กำลังรับแรงเฉือน (Shear strength) ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนไม่ระบายน้ำ โดยการทดสอบ Field vane shear test ในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0.45 t/m^2 ค่าสูงสุดอยู่ที่ 7.68 t/m^2 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.84 t/m^2 เมื่อพิจารณาค่ากำลังรับแรงเฉือนเทียบกับความลึกของชั้นดิน พบว่า ค่ากำลังรับแรงเฉือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของชั้นดิน ดังแสดงในรูปที่ 5.4



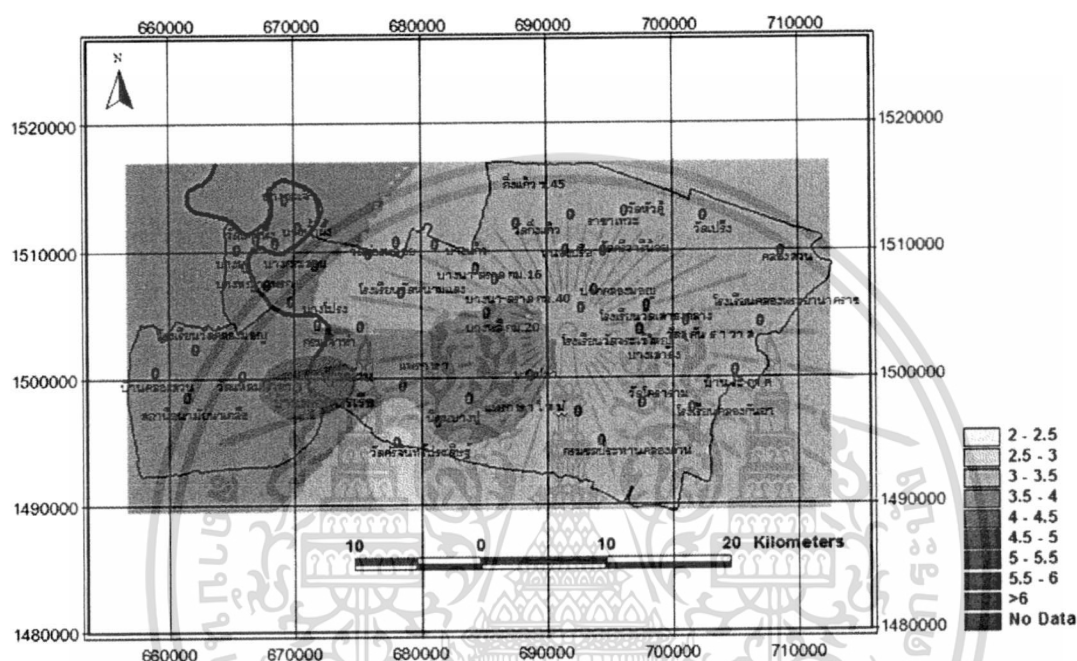
รูปที่ 5.4 แสดงค่ากำลังรับแรงเฉือน (Shear strength) เทียบกับความลึก

ค่าความไวตัวของดิน (Sensitivity of clay) จากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในชั้นดินเหนียวอ่อนของดินคงสภาพและดินเปลี่ยนสภาพแบบไม่ระบายน้ำ โดยการทดสอบ Field vane shear test ในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการจำนวน 50 หลุม สามารถหาค่าความไวตัวของดินได้จากสมการที่ 4.1 ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า ค่าความไวตัวจะมีความแปรปรวนในแต่ละความลึกของชั้นดินฐานราก โดยมีค่าความไวตัวต่ำสุดอยู่ที่ 1.09 และค่าสูงสุดอยู่ที่ 7.96 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.44 มีความไวตัวอยู่ระดับปานกลาง (Medium Sensitive clay)

จากข้อมูลผลการทดสอบแรงเฉือนของดินในสนามด้วยไวน (Field vane shear test) ในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการจำนวน 50 หลุม ที่ระดับความลึก 2.00 ถึง 18.00 เมตร สามารถจำแนกชั้นดินได้ 3 ระดับ คือ Weathered crust (ช่วงความลึก 0.00 ถึง -3.00 เมตร) Very soft clay to Soft clay (ช่วงความลึก -3.00 ถึง -9.00 เมตร) Soft clay to Medium clay (ช่วงความลึก -9.00 ถึง -18.00 เมตร) แสดงในรูปที่ 5.5

จากรูปที่ 5.6 แสดงผลหลังจากทำการ Interpolate ค่าความไวตัว โดยใช้โปรแกรม Surfer และนำผลที่ได้มาแสดงในโปรแกรม GIS พบว่าพื้นที่บริเวณตำบลท้ายบ้าน ในอำเภอเมือง มีค่าความไวตัวสูงสุดอยู่ในช่วง 5.0 ถึง 5.50 โดยสามารถจำแนกระดับความไวตัวของดินอยู่ในระดับมีความไว (Sensitive clay)

5.3.2 ช่วงความลึก 9.00 ถึง 18.00 เมตร (Soft clay to Medium clay)



รูปที่ 5.6 แผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงของค่าระดับความไวตัวในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี
ในชั้น Soft clay to Medium clay

จากรูปที่ 5.6 แสดงผลหลังจากทำการ Interpolate ค่าความไวตัว โดยใช้โปรแกรม Surfer และนำผลที่ได้มาแสดงในโปรแกรม GIS พบว่าพื้นที่บริเวณตำบลท้ายบ้านในอำเภอเมืองและบริเวณบ้านพักทหารเรือ อำเภอพระสมุทรเจดีย์ มีค่าความไวตัวสูงสุดอยู่ในช่วง 3.5 ถึง 4.0 โดยสามารถจำแนกระดับความไวตัวของดินอยู่ในระดับปานกลาง (Medium sensitive clay)

5.4 ผลจากโปรแกรม SPSS 11.5 for Windows

แบบจำลองถูกสร้างขึ้นเพื่อพยากรณ์ค่าความไวด์ตัวของดิน โดยใช้สมการความถดถอยเชิงพหุ ซึ่งมีตัวแปรอิสระ 8 ตัว และตัวแปรตาม 1 ตัว แบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นมีทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ

5.4.1 แบบจำลองที่ 1 วิเคราะห์ตลอดช่วงความลึก 2.00 ถึง 18.00 เมตร

ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรอิสระ 8 ตัว และตัวแปรตาม 1 ตัว ดังในสมการที่ 5.1

$$Y = a_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 + b_7x_7 + b_8x_8 \quad (5.1)$$

Y คือ ตัวแปรค่าความไวด์

a_0 คือ ค่า Constant

b_1 คือ ค่า Coefficient ของความชื้นในดินธรรมชาติ (Natural water content, Wn)

b_2 คือ ค่า Coefficient ของขีดพิกัดเหลว (Liquid limit, L.L.)

b_3 คือ ค่า Coefficient ของขีดพิกัดพลาสติก (Plastic limit, P.L.)

b_4 คือ ค่า Coefficient ของดัชนีความเหนียว (Plasticity index, P.I.)

b_5 คือ ค่า Coefficient ของดัชนีความเหลว (Liquidity index, L.I.)

b_6 คือ ค่า Coefficient ของหน่วยน้ำหนักรวม (Total unit weight, γ_t)

b_7 คือ ค่า Coefficient ของความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity, Gs)

b_8 คือ ค่า Coefficient ของเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว (Percent of clay)

x_1 คือ ค่าความชื้นในดินธรรมชาติ (Natural water content, Wn)

x_2 คือ ค่าขีดพิกัดเหลว (Liquid limit, L.L.)

x_3 คือ ค่าขีดพิกัดพลาสติก (Plastic limit, P.L.)

x_4 คือ ค่าดัชนีความเหนียว (Plasticity index, P.I.)

x_5 คือ ค่าดัชนีความเหลว (Liquidity index, L.I.)

x_6 คือ ค่าหน่วยน้ำหนักรวม (Total unit weight, γ_t)

x_7 คือ ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity, Gs)

x_8 คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว (Percent of clay)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 1

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.695(a)	.482	.473	.51325	1.436

(a) Predictors: (Constant), L.I., γ , P.I.

เนื่องจากผลที่ได้มีค่า R^2 ที่น้อยและค่า Durbin-Watson มีค่าไม่ใกล้เคียง 2 จึงทำการปรับแก้ข้อมูลโดยการตัดข้อมูลที่มีค่า Error มากกว่า 2 เท่าของ Std. Error ออกแล้ว (ตัดออก 11 ข้อมูล) หรือคิดเป็น 6.91% ของข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 5.3 แสดงข้อมูลที่ตัดออกครั้งที่ 1

Case Number	Std. Residual	Sensitivity	Predicted Value	Residual
35	2.179	5.20	3.8489	1.3511
36	2.079	4.88	3.6937	1.1863
47	-2.178	1.99	3.3402	-1.3502
53	-2.051	2.40	3.6715	-1.2715
83	-2.025	1.97	3.1259	-1.1559
95	2.079	4.88	3.6937	1.1863
109	2.222	5.15	3.7721	1.3779
127	2.191	4.99	3.7395	1.2505
167	2.374	5.06	3.5885	1.4715
176	2.041	5.23	4.0653	1.1647
183	-2.052	2.84	4.1123	-1.2723

จากตารางที่ 5.3 ข้อมูลที่ตัดออกเป็นข้อมูลจากการเก็บข้อมูลจากตัวอย่างในพื้นที่ทั้ง 6 อำเภอ ซึ่งอาจเกิดได้จากการเก็บข้อมูลที่ผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 2

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
3	.717(a)	.515	.506	.49098	1.478

(a) Predictors: (Constant), L.I., γ_p , P.I.

เนื่องจากผลที่ได้มีค่า R^2 ที่น้อยและค่า Durbin-Watson มีค่าไม่ใกล้เคียง 2 จึงทำการปรับแก้ข้อมูลโดยการตัดข้อมูลที่มีค่า Error มากกว่า 2 เท่าของ Std. Error ออก (ตัดออก 6 ข้อมูล) หรือคิดเป็น 3.39% ของข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ทางสถิติ แล้วทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง

ตารางที่ 5.5 แสดงข้อมูลที่ตัดออกครั้งที่ 2

Case Number	Std. Residual	Sensitivity	Predicted Value	Residual
22	-2.022	2.81	3.8028	-.9928
44	-2.022	2.32	3.3129	-.9929
85	-2.099	2.33	3.3607	-1.0307
139	2.125	4.51	3.4667	1.0433
160	-2.037	2.28	3.2799	-.9999
167	-2.140	4.01	5.0608	-1.0508

จากตารางที่ 5.5 ข้อมูลที่ตัดออกเป็นข้อมูลจากการเก็บข้อมูลจากตัวอย่างในพื้นที่ทั้ง 4 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมือง 2 ข้อมูล อำเภอบางเสาธง 2 ข้อมูล อำเภอบางพลี 1 ข้อมูล และอำเภอพระสมุทรเจดีย์ 1 ข้อมูล ซึ่งอาจเกิดได้จากการเก็บข้อมูลที่ผิดพลาด

ตารางที่ 5.6 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 3

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
3	.774(a)	.599	.591	.43830	1.567

(a) Predictors: (Constant), L.I., γ_p , P.I.

จากตารางที่ 5.6 ได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่น่าพอใจ โดยมีตัวแปรตามคือ ค่า Sensitivity และมีตัวแปรต้นดังตารางที่ 5.7 มีความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ 59.9% ไม่ว้ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์โดยวิธี Stepwise ตัวแปร 3 ตัว

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-4.457	.666		-6.691	.000
L.I.	1.525	.105	.903	14.591	.000
γ_1	3.278	.339	.558	9.661	.000
P.I.	.027	.003	.555	8.973	.000

- การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุสมมติฐานหรือเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุมี 4 ข้อ ซึ่งเป็นเงื่อนไขเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อน การที่ผู้วิเคราะห์จะนำสมการไปประยุกต์ต้องมีความมั่นใจในความถูกต้องของสมการ โดยจะต้องตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุเกี่ยวกับค่าคลาดเคลื่อนดังนี้

- 1) ตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 5.8 ตาราง Model Summary สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.774(a)	.599	.591	.43830	1.567

(a) Predictors: (Constant), L.I., γ_1 , P.I.

จากตารางที่ 5.8 คือ ตาราง Model Summary สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1 แสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรตาม และ ตัวแปรอิสระ โดยมีค่า $R^2 = 0.599$ หรือ 59.9% หมายถึงอิทธิพลของ Liquidity index(L.I.), Total unit weight (γ_1) และ Plasticity index(P.I.) ที่มีต่อ Sensitivity คิดเป็น 59.9% ที่เหลืออีก 40.1% เป็นผลเนื่องมาจากตัวแปรอื่น

ค่า Durbin-Watson เป็นค่าที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขที่ว่า e_t และ e_{t-1} เป็นอิสระกันหรือไม่ ในที่นี้ค่า Durbin-Watson = 1.567 อยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2.5 (หรือมีค่าเข้าใกล้ 2) จึงสรุปได้ว่าเงื่อนไขที่ว่า e_t และ e_{t-1} เป็นอิสระต่อกัน นั้นเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ตรวจสอบความเป็นอิสระของ X_i และ X_j

ตารางที่ 5.9 ตาราง ANOVA สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	44.124	3	14.708	76.561	.000(a)
Residual	29.585	154	.192		
Total	73.709	157			

(a) Predictors: (Constant), L.I., γ_i , P.I.

จากตารางที่ 5.9 คือ ตาราง ANOVA สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1 เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระทุกตัวกับตัวแปรตาม ในที่นี้ Sig. = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า Liquidity index(L.I.), Total unit weight (γ_i) และ Plasticity index(P.I.) มีผลต่อ Sensitivity

ตารางที่ 5.10 ตาราง Coefficients สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1

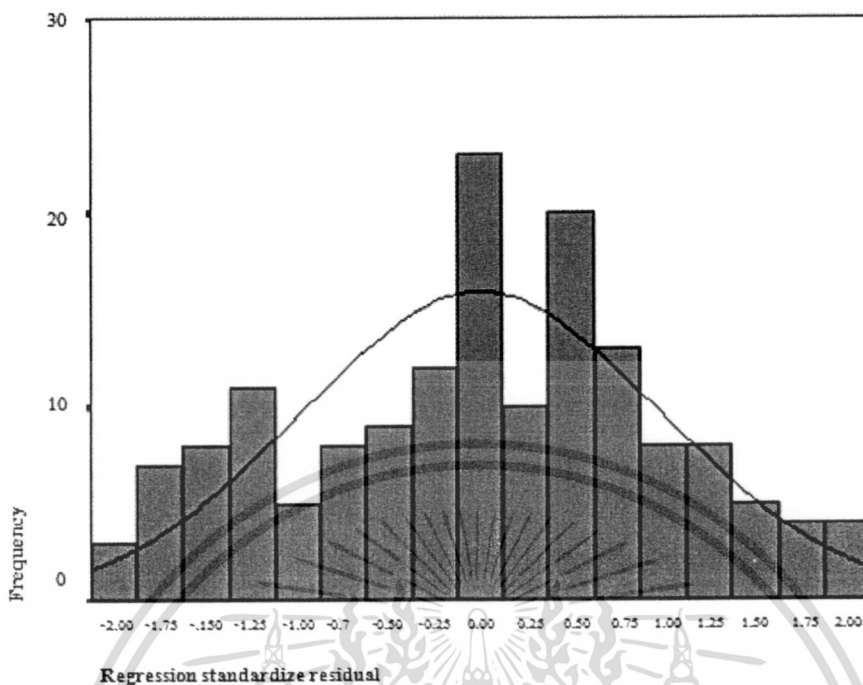
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
	1 (Constant)	-4.457	.666				
L.I.	1.525	.105	.903	14.591	.000	.738	1.468
γ_i	3.278	.339	.558	9.661	.000	.791	1.281
P.I.	.027	.003	.555	8.973	.000	.701	1.469

จากตารางที่ 5.10 คือ ตาราง Coefficients สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1 เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรอิสระด้วยกันเอง โดยดูจากค่า Tolerance ซึ่งในที่นี้ Liquidity index มีค่า Tolerance = 0.738 Total unit weight มีค่า Tolerance = 0.791 และ Plasticity index มีค่า Tolerance = 0.701 มีค่าเข้าใกล้ 1.00 ซึ่งหมายความว่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นจะได้สมการถดถอยดังแสดงในสมการที่ 5.2

$$\text{เอกสารนี้เป็น SENSITIVITY} = -4.457 + 1.525(\text{L.I.}) + 3.278(\gamma_i) + 0.027(\text{P.I.}) \quad (5.2)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่



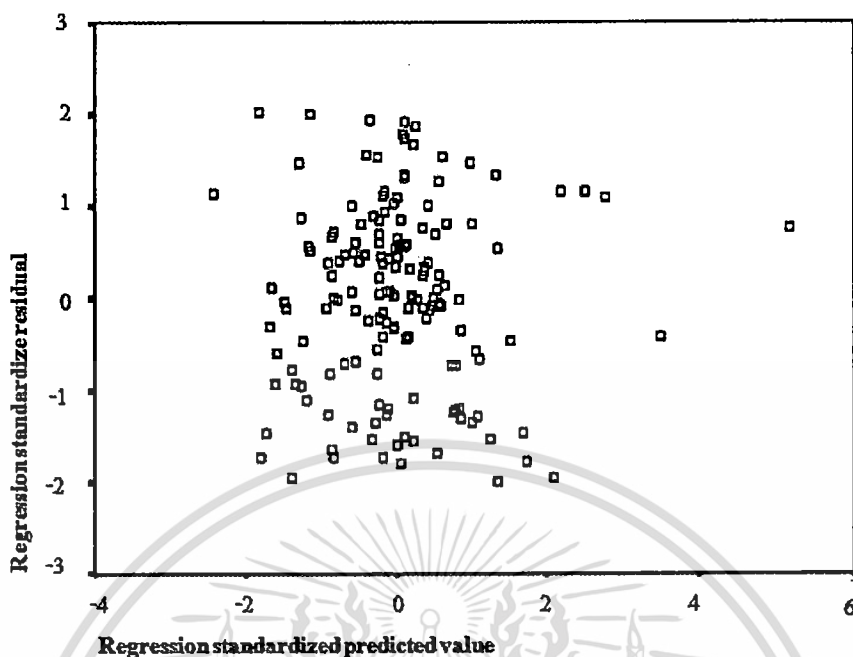
รูปที่ 5.8 กราฟ Histogram ของ Regression standardize residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1

ตารางที่ 5.11 ตาราง Statistics ของ Regression standardize residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1

N Valid	158
Missing	0
Skewness	-.018
Std. Error of Skewness	.193
Kurtosis	-.332
Std. Error of Kurtosis	.384

รูปที่ 5.8 คือ กราฟ Histogram ของ Regression standardize residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1 แกนนอนแสดงค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน(Regression standardized residual) ส่วนแกนตั้งแสดงความถี่(Frequency) เพื่อพิจารณาว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยตารางที่ 5.11 เป็นข้อมูลทางสถิติของกราฟ Histogram (รูปที่ 5.8) ซึ่งค่าความเบ้ (Skewness) มีค่าเท่ากับ -0.018 มีค่าเป็นลบ (มีค่าใกล้เคียง 0) และค่าความโด่ง(Kurtosis) มีค่าเท่ากับ -0.332 (มีค่าใกล้เคียง 0) แสดงว่ากราฟมีสมมาตร สรุปได้ว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติเนื่องจากค่าความเบ้และค่าความโด่งมีค่าใกล้เคียงศูนย์(0) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนว่ามีความแปรปรวนคงที่หรือไม่



รูปที่ 5.9 กราฟ Scatterplot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Regression standardized predicted value กับ Regression standardized residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1

รูปที่ 5.9 คือ กราฟ Scatterplot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Regression standardized predicted value กับ Regression standardized residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1 ใช้ในการตรวจสอบว่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่หรือไม่ ซึ่งในที่นี้ค่าคลาดเคลื่อน (Residual) ส่วนมากกระจายตัวอยู่รอบๆ ค่าศูนย์ และมีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบ ไม่ว่าจะค่าพยากรณ์ (Predicted value) จะเปลี่ยนไปอย่างไรค่าคลาดเคลื่อนจะมีค่าคงที่

โดยสรุปในการพยากรณ์ค่า Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1 ผ่านเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ได้

5.4.2 แบบจำลองที่ 2 วิเคราะห์ที่ช่วงความลึก 3.00 ถึง 9.00 เมตร (Very Soft Clay to Soft Clay) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรอิสระ 8 ตัว และตัวแปรตาม 1 ตัว เช่นเดียวกับสมการที่ 5.1

ตารางที่ 5.12 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 1

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
2	.657(a)	.432	.415	.64360	1.967

(a) Predictors: (Constant), LI, γ_p , PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากผลที่ได้มีค่า R^2 ที่น้อย จึงทำการปรับแก้ข้อมูลโดยการตัดข้อมูลที่มีค่า Error มากกว่า 2 เท่าของ Std. Error ออกแล้ว (ตัดออก 4 ข้อมูล) หรือคิดเป็น 3.85 % ของข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 5.13 แสดงข้อมูลที่ตัดออกครั้งที่ 1

Case Number	Std. Residual	Sensitivity	Predicted Value	Residual
23	2.012	3.69	2.3952	1.2948
46	2.242	5.06	3.6170	1.4430
55	-2.265	1.99	3.4477	-1.4577
85	-2.239	2.40	3.8407	-1.4407

จากตารางที่ 5.13 ข้อมูลที่ตัดออกเป็นข้อมูลจากการเก็บข้อมูลจากตัวอย่างในพื้นที่ 3 อำเภอ คือ อำเภอพระสมุทรเจดีย์ 1 ข้อมูล อำเภอบางเสาธง 2 ข้อมูล และอำเภอบางบ่อ 1 ข้อมูลซึ่งอาจเกิดได้จากการเก็บข้อมูลที่ผิดพลาด

ตารางที่ 5.14 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 2

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
2	.710(a)	.504	.488	.58893	2.118

(a) Predictors: (Constant), L.I., γ , P.I.

เนื่องจากผลที่ได้มีค่า R^2 ที่น้อย จึงทำการปรับแก้ข้อมูลโดยการตัดข้อมูลที่มีค่า Error มากกว่า 2 เท่าของ Std. Error ออก (ตัดออก 3 ข้อมูล) หรือคิดเป็น 2.88% ของข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ทางสถิติ แล้วทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง

ตารางที่ 5.15 แสดงข้อมูลที่ตัดออกครั้งที่ 2

Case Number	Std. Residual	Sensitivity	Predicted Value	Residual
4	2.073	4.99	3.7929	1.1971
65	-2.036	2.33	3.4831	-1.1531
97	2.120	5.15	3.9014	1.2486

จากตารางที่ 5.15 ข้อมูลที่ตัดออกเป็นข้อมูลจากการเก็บข้อมูลจากตัวอย่างในพื้นที่ 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมือง 1 ข้อมูล อำเภอพระประแดง 1 ข้อมูล และอำเภอบางพลี 1 ข้อมูล ซึ่งอาจเกิดได้จากการเก็บข้อมูลที่ผิดพลาด

ตารางที่ 5.16 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 3

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
2	.723(a)	.522	.507	.55614	1.938

(a) Predictors: (Constant), L.I., γ_i , P.I.

จากตารางที่ 5.16 ได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่น่าพอใจ โดยมีตัวแปรตามคือ ค่า Sensitivity และมีตัวแปรต้นดังตารางที่ 5.17 มีความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ 52.2 %

ตารางที่ 5.17 แสดงค่าสัมประสิทธิ์โดยวิธี Stepwise ตัวแปร 3 ตัว

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
2	(Constant)	-6.775	1.307		-5.184	.000
	L.I.	1.578	.177	.824	8.913	.000
	γ_i	4.792	.678	.599	7.067	.000
	P.I.	.025	.005	.441	4.585	.000

- การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ

สมมติฐานหรือเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุมี 4 ข้อ ซึ่งเป็นเงื่อนไขเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อน การที่ผู้วิเคราะห์จะนำสมการ ไปประยุกต์ต้องมีความมั่นใจในความถูกต้องของสมการ โดยจะต้องตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุเกี่ยวกับค่าคลาดเคลื่อนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 5.18 ตาราง Model Summary สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 2

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
2	.723(a)	.522	.507	.55614	1.938

(a) Predictors: (Constant), L.I., γ_p , P.I.

จากตารางที่ 5.18 คือ ตาราง Model Summary สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1 แสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรตาม และ ตัวแปรอิสระ โดยมีค่า $R^2 = 0.522$ หรือ 52.2% หมายถึงอิทธิพลของ Liquidity index, Total unit weight และ Plasticity index ที่มีต่อ Sensitivity คิดเป็น 52.2% ที่เหลืออีก 47.8% เป็นผลเนื่องมาจากตัวแปรอื่น

ค่า Durbin-Watson เป็นค่าที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขที่ว่า e_t และ e_{t+1} เป็นอิสระกันหรือไม่ ในที่นี้ค่า Durbin-Watson = 1.938 อยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2.5 (หรือมีค่าเข้าใกล้ 2) จึงสรุปได้ว่าเงื่อนไขที่ว่า e_t และ e_{t+1} เป็นอิสระต่อกัน นั้นเป็นจริง

2) ตรวจสอบความเป็นอิสระของ X_t และ X_{t+1}

ตารางที่ 5.19 ตาราง ANOVA สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 2

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
2	Regression	31.446	3	10.482	33.891	.000(a)
	Residual	28.764	93	.309		
	Total	60.210	96			

(a) Predictors: (Constant), L.I., γ_p , P.I.

จากตารางที่ 5.19 คือ ตาราง ANOVA สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 2 เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระทุกตัวกับตัวแปรตาม ในที่นี้ Sig. = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า Liquidity index, Total unit weight และ Plasticity index มีผลต่อ Sensitivity

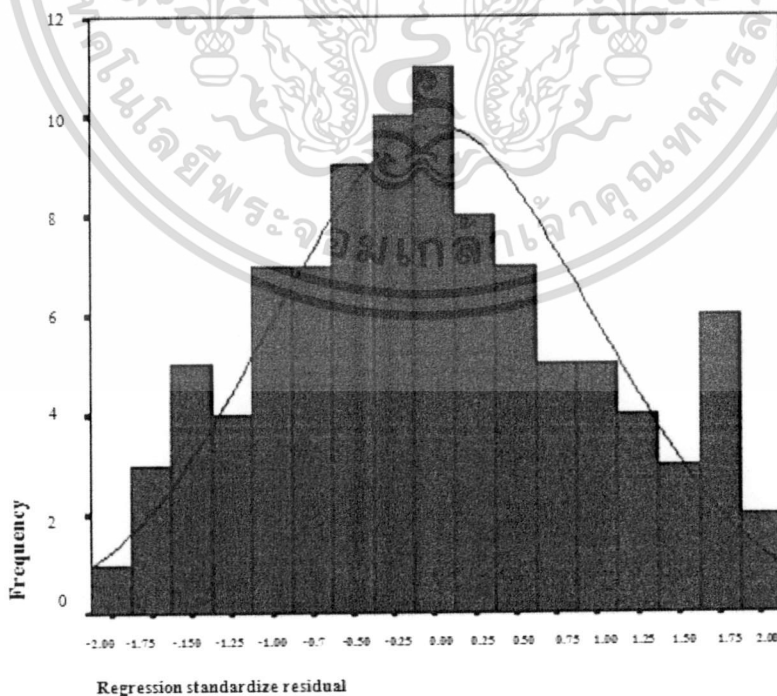
ตารางที่ 5.20 ตาราง Coefficients สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 2

Model	Unstandardized		Standardized	t	Sig.	Collinearity	
	Coefficients		Coefficients			Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
2 (Constant)	-5.767	1.298		-4.442	.000		
L.I.	1.548	.171	.841	9.077	.000	.713	1.638
γ_1	4.236	.677	.539	6.260	.000	.796	1.415
P.I.	.022	.005	.408	4.171	.000	.698	1.827

จากตารางที่ 5.20 คือ ตาราง Coefficients สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 2 เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรอิสระด้วยตัวเอง โดยดูจากค่า Tolerance ซึ่งในที่นี้ Liquidity index มีค่า Tolerance = 0.713 Total unit weight มีค่า Tolerance = 0.796 และ Plasticity index มีค่า Tolerance = 0.698 มีค่าเข้าใกล้ 1.00 ซึ่งหมายความว่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นจะได้สมการถดถอยดังแสดงในสมการที่ 5.3

$$\text{SENSITIVITY} = -5.767 + 1.548(\text{L.I.}) + 4.236(\gamma_1) + 0.022(\text{P.I.}) \quad (5.3)$$

3) ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่



รูปที่ 5.10 กราฟ Histogram ของ Regression standardize residual สำหรับ Sensitivity ใน

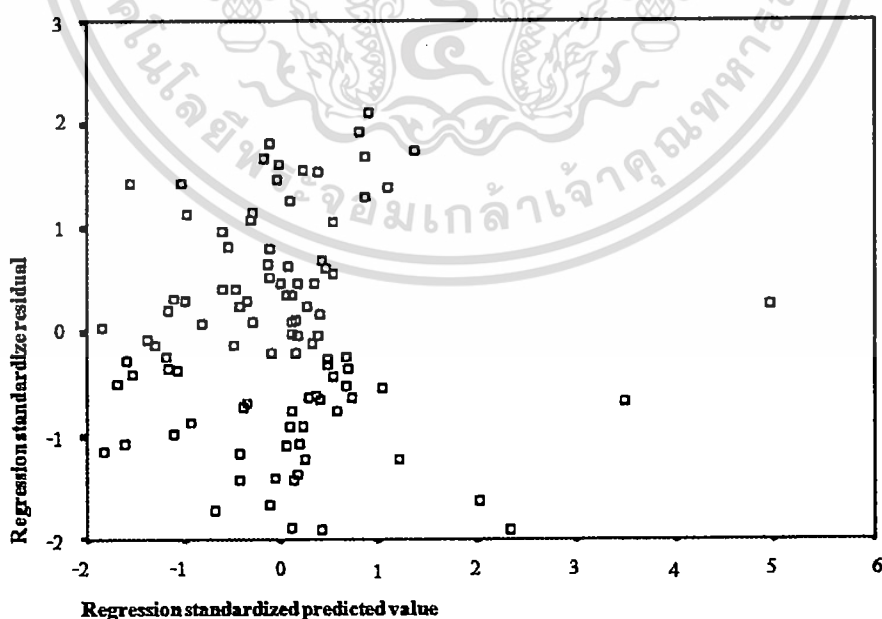
แบบจำลองที่ 2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.21 ตาราง Statistics ของ Regression standardize residual สำหรับ Sensitivity
ในแบบจำลองที่ 2

N Valid	96
Missing	0
Skewness	.028
Std. Error of Skewness	.246
Kurtosis	-.612
Std. Error of Kurtosis	.488

รูปที่ 5.10 คือ กราฟ Histogram ของ Regression standardize residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1 แกนนอนแสดงค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน(Regression standardized residual) ส่วนแกนตั้งแสดงความถี่(Frequency) เพื่อพิจารณาว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยตารางที่ 5.21 เป็นข้อมูลทางสถิติของกราฟ Histogram (รูปที่ 5.10) ซึ่งค่าความเบ้ (Skewness) มีค่าเท่ากับ 0.028 (มีค่าใกล้เคียง 0) และค่าความโด่ง(Kurtosis) มีค่าเท่ากับ -0.612 (มีค่าใกล้เคียง 0) แสดงว่ากราฟมีความสมมาตร สรุปได้ว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากค่าความเบ้ และค่าความโด่งมีค่าใกล้เคียงศูนย์ (0)

4) ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนว่ามีความแปรปรวนคงที่หรือไม่



รูปที่ 5.11 กราฟ Scatterplot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Regression standardized predicted value กับ Regression standardized residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.11 คือ กราฟ Scatterplot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Regression standardized predicted value กับ Regression standardized residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1 ใช้ในการตรวจสอบว่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่หรือไม่ ซึ่งในที่นี้ค่าคลาดเคลื่อน (Residual) ส่วนมากกระจายตัวอยู่รอบๆ ค่าศูนย์ และมีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบ ไม่ว่าค่าพยากรณ์ (Predicted value) จะเปลี่ยนไปอย่างไรค่าคลาดเคลื่อนจะมีค่าคงที่

โดยสรุปในการพยากรณ์ค่า Sensitivity ในแบบจำลองที่ 2 ผ่านเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ได้

5.4.3 แบบจำลองที่ 3 วิเคราะห์ที่ช่วงความลึก 9.00 ถึง 18.00 เมตร (Soft clay to Medium clay) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรอิสระ 8 ตัว และตัวแปรตาม 1 ตัว เช่นเดียวกับกับสมการที่ 5.1

ตารางที่ 5.22 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 1

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
3	.690(a)	.477	.458	.51118	2.122

(a) Predictors: (Constant), Wn, γ_p , P.L.

เนื่องจากผลที่ได้มีค่า R^2 ที่น้อย จึงทำการปรับแก้ข้อมูลโดยการตัดข้อมูลที่มีค่า Error มากกว่า 2 เท่าของ Std. Error ออกแล้ว (ตัดออก 8 ข้อมูล) หรือคิดเป็น 7.47 % ของข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 5.23 แสดงข้อมูลที่ตัดออกครั้งที่ 1

Case Number	Std. Residual	Sensitivity	Predicted Value	Residual
11	-2.398	2.54	3.5898	-1.0498
13	-2.025	1.76	2.7950	-1.0350
16	-2.075	4.40	5.4607	-1.0607
19	2.070	4.11	3.0516	1.0584
48	2.113	4.38	3.2998	1.0802
64	2.257	4.90	3.9121	.9879
79	2.003	5.23	4.2062	1.0238
80	2.087	5.15	4.2362	.9138

จากตารางที่ 5.23 ข้อมูลที่ตัดออกเป็นข้อมูลจากการเก็บข้อมูลจากตัวอย่างในพื้นที่ 4 อำเภอ คือ อำเภอบางพลี 1 ข้อมูล อำเภอบางเสาธง 2 ข้อมูล อำเภอบางเสาธง 2 ข้อมูล และอำเภอบางบ่อ 3 ข้อมูล ซึ่งอาจเกิดได้จากการเก็บข้อมูลที่ผิดพลาด

ตารางที่ 5.24 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 2

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
3	.752(a)	.565	.547	.41410	1.880

(a) Predictors: (Constant), Wn, γ , P.L.

เนื่องจากยังสามารถตัดข้อมูลที่มีค่า Error มากกว่า 2 เท่าของ Std. Error ออกได้อีก จึงทำการตัดออกอีก 5 ข้อมูล หรือคิดเป็น 5.05 % ของข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ทางสถิติ แล้วทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง

ตารางที่ 5.25 แสดงข้อมูลที่ตัดออกครั้งที่ 2

Case Number	Std. Residual	Sensitivity	Predicted Value	Residual
4	-2.098	2.80	3.5777	-.7777
5	2.039	4.31	3.5165	.7935
40	-2.043	3.30	4.0947	-.7947
43	2.122	3.28	2.4936	.7864
72	-2.069	3.34	4.1069	-.7669

จากตารางที่ 5.25 ข้อมูลที่ตัดออกเป็นข้อมูลจากการเก็บข้อมูลจากตัวอย่างในพื้นที่ 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอบางบ่อ 1 ข้อมูล อำเภอพระประแดง 3 ข้อมูล และอำเภอบางพลี 1 ข้อมูล ซึ่งอาจเกิดได้จากการเก็บข้อมูลที่ผิดพลาด

ตารางที่ 5.26 แสดงค่า R Square การวิเคราะห์โดยวิธี stepwise ครั้งที่ 3

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
3	.794(a)	.630	.614	.37065	1.743

(a) Predictors: (Constant), Wn, γ_i , P.L.

จากตารางที่ 5.26 ได้ผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่น่าสนใจ โดยมีตัวแปรตามคือ ค่า Sensitivity และมีตัวแปรต้นดังตารางที่ 5.27 มีความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ 63.0 %

ตารางที่ 5.27 แสดงค่าสัมประสิทธิ์โดยวิธี Stepwise ตัวแปร 3 ตัว

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
3	(Constant)	-4.562	.932		-4.894	.000
	Wn.	.047	.005	.988	10.094	.000
	γ_i	3.591	.441	.740	8.148	.000
	P.L.	-.033	.006	-.454	-5.601	.000

- การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

สมมติฐานหรือเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุมี 4 ข้อ ซึ่งเป็นเงื่อนไขเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อน การที่ผู้วิเคราะห์จะนำสมการไปประยุกต์ต้องมีความมั่นใจในความถูกต้องของสมการ โดยจะต้องตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุเกี่ยวกับค่าคลาดเคลื่อนดังนี้

- 1) ตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 5.28 ตาราง Model Summary สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
3	.794(a)	.630	.614	.37065	1.743

เอกสาร (a) Predictors: (Constant), Wn, γ_i , P.L. การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.28 คือ ตาราง Model Summary สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3 แสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรตาม และ ตัวแปรอิสระ โดยมีค่า $R^2 = 0.630$ หรือ 63.0% หมายถึงอิทธิพลของ Natural water content, Total unit weight และ Plasticity limit ที่มีต่อ Sensitivity คิดเป็น 63.0% ที่เหลืออีก 37.0% เป็นผลเนื่องมาจากตัวแปรอื่น

ค่า Durbin-Watson เป็นค่าที่ใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขที่ว่า e_t และ e_{t+1} เป็นอิสระกันหรือไม่ ในที่นี้ค่า Durbin-Watson = 1.743 อยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2.5(หรือมีค่าเข้าใกล้ 2) จึงสรุปได้ว่าเงื่อนไขที่ว่า e_t และ e_{t+1} เป็นอิสระต่อกัน นั้นเป็นจริง

2) ตรวจสอบความเป็นอิสระของ X_i และ X_j

ตารางที่ 5.29 ตาราง ANOVA สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
3	Regression	16.358	3	5.453	39.691	.000(a)
	Residual	9.617	70	.137		
	Total	25.975	73			

(a) Predictors: (Constant), W_n , γ_p , P.L.

จากตารางที่ 5.29 คือ ตาราง ANOVA สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3 เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระทุกตัวกับตัวแปรตาม ในที่นี้ Sig. = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า Natural water content, Total unit weight และ Plasticity limit มีผลต่อ Sensitivity

ตารางที่ 5.30 ตาราง Coefficients สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3

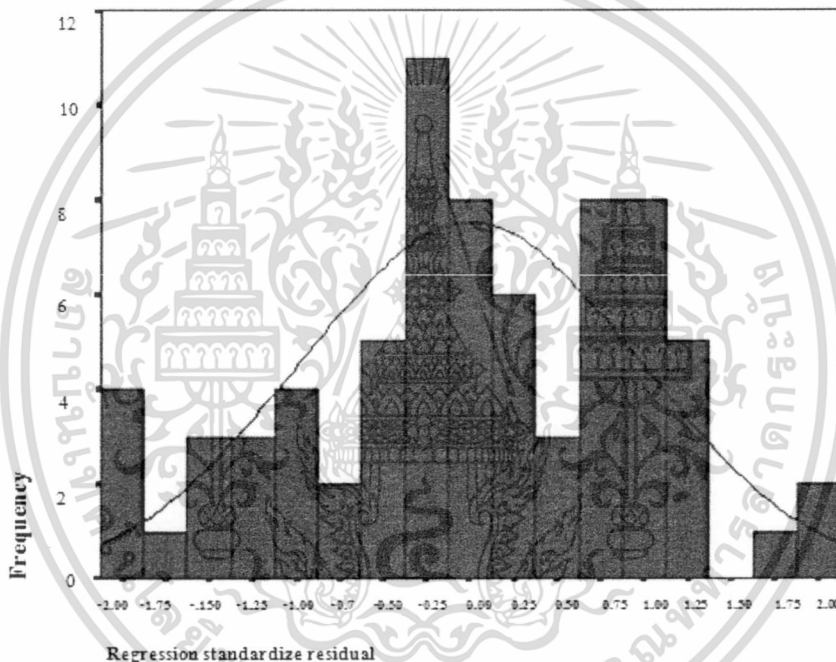
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
3	(Constant)	-4.562	.932		-4.894	.000		
	W_n	.047	.005	.988	10.094	.000	.692	1.811
	γ_p	3.591	.441	.740	8.148	.000	.740	1.562
	P.L.	-.033	.006	-.454	-5.601	.000	.806	1.241

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.30 คือ ตาราง Coefficients สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3 เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรอิสระด้วยตัวเอง โดยดูจากค่า Tolerance ซึ่งในที่นี้ Natural water content มีค่า Tolerance = 0.692 Total unit weight มีค่า Tolerance = 0.740 และ Plasticity limit มีค่า Tolerance = 0.806 มีค่าเข้าใกล้ 1.00 ซึ่งหมายความว่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นจะได้สมการถดถอยดังแสดงในสมการที่ 5.4

$$\text{SENSITIVITY} = -4.562 + 0.047(\text{Wn.}) + 3.591(\text{Y}_r) - 0.033(\text{P.L.}) \quad (5.4)$$

3) ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่



รูปที่ 5.12 กราฟ Histogram ของ Regression standardize residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3

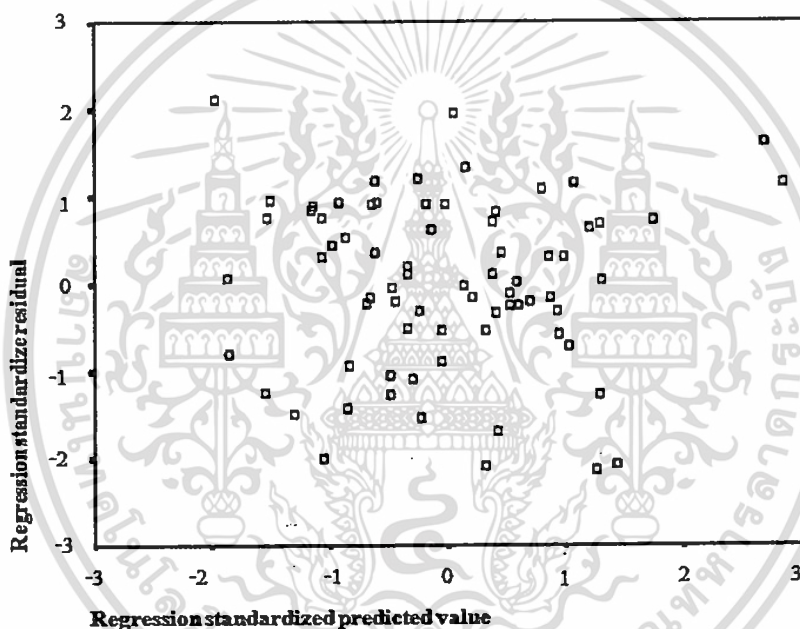
ตารางที่ 5.31 ตาราง Statistics ของ Regression standardize residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3

N Valid	76
Missing	0
Skewness	-.406
Std. Error of Skewness	.276
Kurtosis	-.252
Std. Error of Kurtosis	.545

เอกสารนี้เป็นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.12 คือ กราฟ Histogram ของ Regression standardize residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1 แกนนอนแสดงค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน(Regression standardized residual) ส่วนแกนตั้งแสดงความถี่(Frequency) เพื่อพิจารณาว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยตารางที่ 5.31 เป็นข้อมูลทางสถิติของกราฟ Histogram (รูปที่ 5.12) ซึ่งค่าความเบ้ (Skewness) มีค่าเท่ากับ -0.406 (มีค่าใกล้เคียง 0) และค่าความโด่ง(Kurtosis) มีค่าเท่ากับ -0.252(มีค่าใกล้เคียง 0) แสดงว่ากราฟมีความสมมาตร สรุปได้ว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากค่าความเบ้ และค่าความโด่งมีค่าใกล้เคียงศูนย์ (0)

4) ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนว่ามีความแปรปรวนคงที่หรือไม่



รูปที่ 5.13 กราฟ Scatterplot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Regression standardized predicted value กับ Regression standardized residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3

รูปที่ 5.13 คือ กราฟ Scatterplot แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Regression standardized predicted value กับ Regression standardized residual สำหรับ Sensitivity ในแบบจำลองที่ 1 ใช้ในการตรวจสอบว่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่หรือไม่ ซึ่งในที่นี้ค่าคลาดเคลื่อน (Residual) ส่วนมากกระจายตัวอยู่รอบๆ ค่าศูนย์ และมีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบ ไม่ว่าจะค่าพยากรณ์ (Predicted value) จะเปลี่ยนไปอย่างไรค่าคลาดเคลื่อนจะมีค่าคงที่

โดยสรุปในการพยากรณ์ค่า Sensitivity ในแบบจำลองที่ 3 ผ่านเงื่อนไขของการวิเคราะห์ ความถดถอยเชิงพหุ สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ได้

บทที่ 6

การทดสอบประสิทธิภาพในการพยากรณ์

ค่าความไวตัวของดิน

6.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลองค่าความไวตัวของดินเหนียว จากสมการความถดถอยเชิงพหุซึ่งใช้ข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินในการสร้างสมการ และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ของแต่ละแบบจำลองว่าแบบจำลองใดที่ผ่านเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ แล้วนำสมการที่ผ่านเงื่อนไขมาทำการพยากรณ์ และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลในแต่ละแบบจำลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ค่าความไวตัว

ตารางที่ 6.1 ตารางเปรียบเทียบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ของค่าความไวตัวในแต่ละแบบจำลอง

Sensitivity	R ²	เงื่อนไขที่ 1	เงื่อนไขที่ 2					เงื่อนไขที่ 3		เงื่อนไขที่ 4
		Durbin-Watson	Tolerance					Skewness	Kurtosis	ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อน
			L.I.	γ_i	P.I.	Wn.	P.L.			
แบบจำลองที่ 1	59.9%	1.567	0.738	0.791	0.701	-	-	-0.018	-0.332	คงที่
แบบจำลองที่ 2	52.2%	1.938	0.713	0.796	0.698	-	-	0.028	-0.612	คงที่
แบบจำลองที่ 3	63.0%	1.743	-	0.740	-	0.692	0.806	-0.406	-0.252	คงที่

หมายเหตุ เงื่อนไขที่ 1 ตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าคลาดเคลื่อน

เงื่อนไขที่ 2 ตรวจสอบความเป็นอิสระของ X_i และ X_j

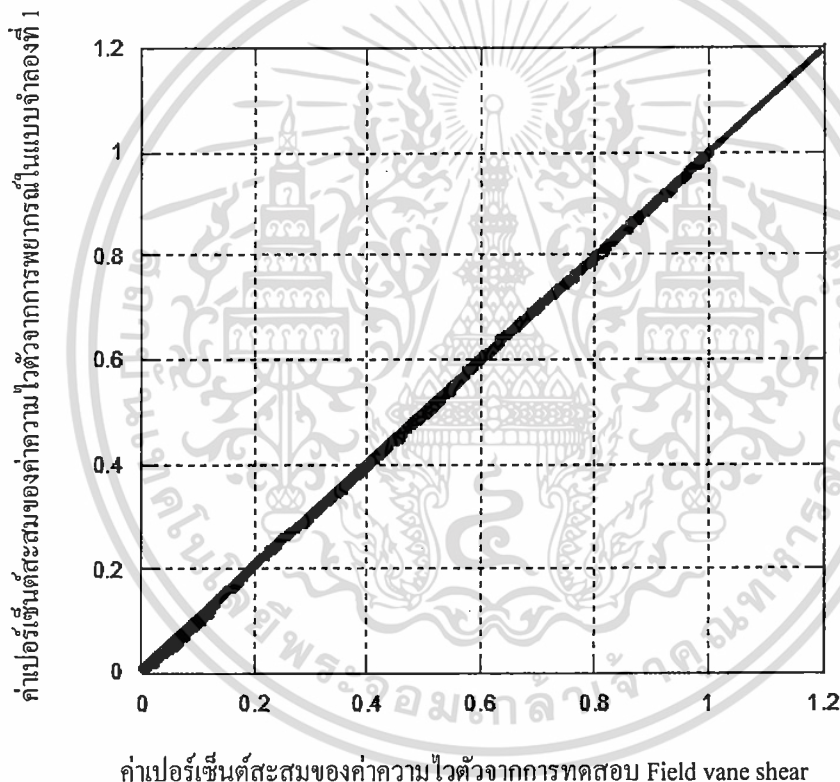
เงื่อนไขที่ 3 ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่

เงื่อนไขที่ 4 ตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนว่ามีความแปรปรวนคงที่หรือไม่

จากตารางที่ 6.1 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองทั้ง 3 ผ่านเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

6.2.1 เปรียบเทียบค่าความไว้วางใจจากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ 1 กับค่าความไว้วางใจในการทดสอบ

จากตารางที่ 6.1 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ 1 นั้นผ่านเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ และพบว่า ค่าความไว้วางใจมีความสัมพันธ์กับค่า Liquidity index, Total unit weight และค่า Plasticity index อยู่ 59.9 % จึงนำค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของค่าความไว้วางใจที่ได้จากการในแบบจำลองที่ 1 (สมการที่ 5.2) มาทำการพยากรณ์เทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของค่าความไว้วางใจในการทดสอบ Field vane shear จะได้ดังรูปที่ 6.1



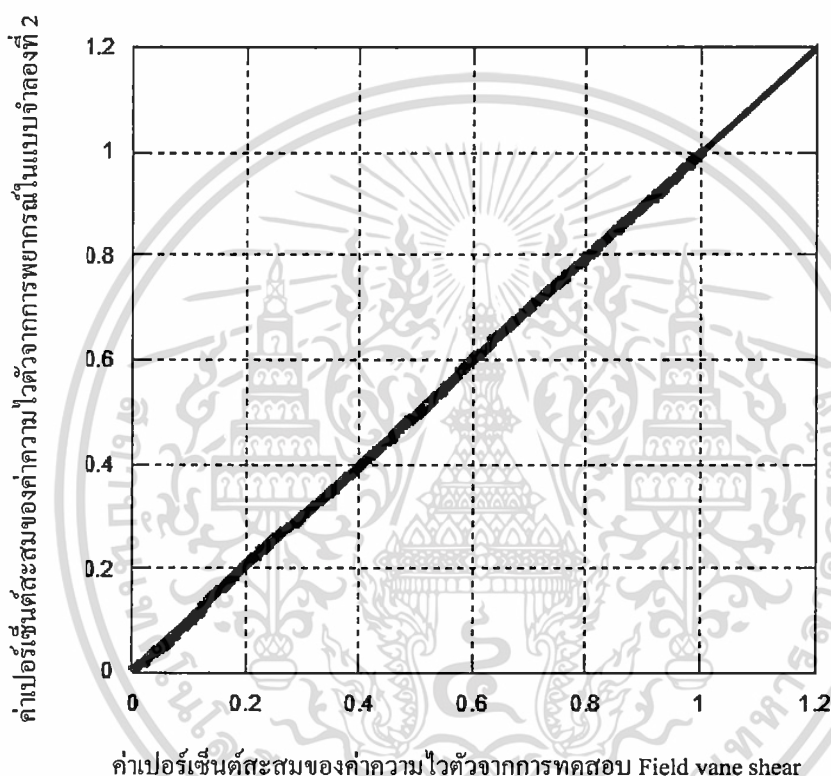
รูปที่ 6.1 กราฟเปอร์เซ็นต์สะสมของ ค่าความไว้วางใจจากการทดสอบ Field vane shear กับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ 1

จากรูปที่ 6.1 จะพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของค่าความไว้วางใจ ส่วนใหญ่จะอยู่รอบ ๆ เส้นตรง (เหนือหรือใต้เส้นตรง) ค่าที่อยู่เหนือเส้นตรงแสดงว่าค่าที่ได้จากการพยากรณ์มากกว่าค่าในการตรวจวัด ส่วนค่าที่อยู่ใต้เส้นตรงแสดงว่าค่าในการตรวจวัดน้อยกว่าค่าที่ได้จากการพยากรณ์ ซึ่งจากรูปสามารถบอกได้ว่าค่าความไว้วางใจที่ได้จากการทดสอบ Field vane shear กับค่าที่ได้จากการพยากรณ์มีความใกล้เคียงกัน โดยมีความคลาดเคลื่อนกันอยู่ 1.24%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 เปรียบเทียบค่าความไว้วางใจจากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ 2 กับ ค่าความไว้วางใจ ในการทดสอบ

จากตารางที่ 6.1 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ 2 นั้นผ่านเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ และพบว่า ค่าความไว้วางใจมีความสัมพันธ์กับค่า Liquidity index, Total unit weight และค่า Plasticity index อยู่ 52.2 % จึงนำค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของค่าความไว้วางใจ จากสมการในแบบจำลองที่ 2 (สมการที่ 5.3) มาทำการพยากรณ์มาเทียบ กับ ค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของค่าความไว้วางใจ จากการทดสอบ Field vane shear จะได้ดังรูปที่ 6.2

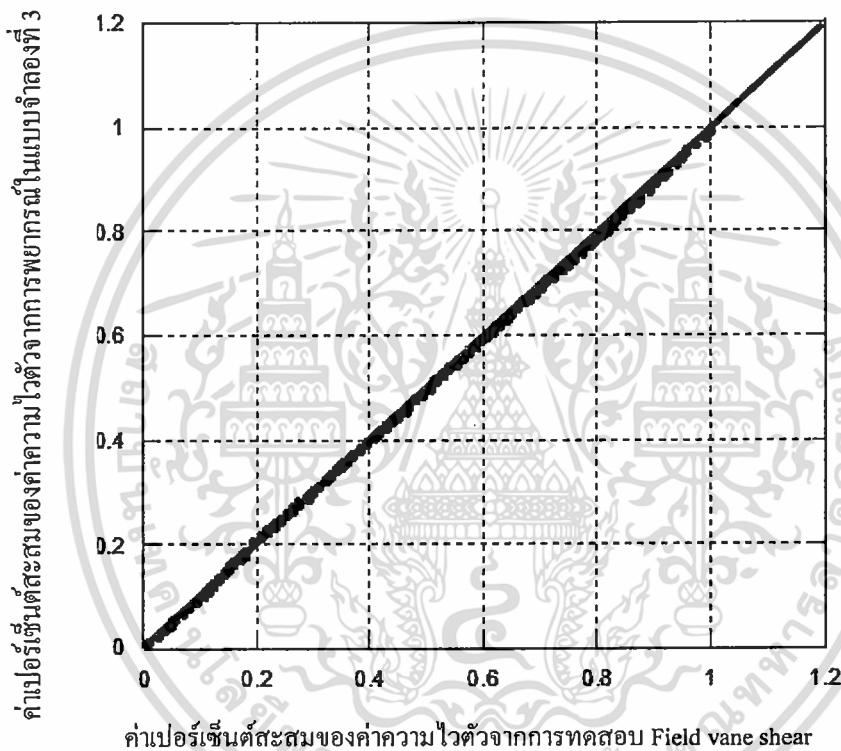


รูปที่ 6.2 กราฟเปอร์เซ็นต์สะสมของ ค่าความไว้วางใจจากการทดสอบ Field vane shear กับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ 2

จากรูปที่ 6.2 จะพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของค่าความไว้วางใจ ส่วนใหญ่จะอยู่รอบ ๆ เส้นตรง (เหนือหรือใต้เส้นตรง) ค่าที่อยู่เหนือเส้นตรงแสดงว่าค่าที่ได้จากการพยากรณ์มากกว่าค่าในการตรวจวัด ส่วนค่าที่อยู่ใต้เส้นตรงแสดงว่าค่าในการตรวจวัดน้อยกว่าค่าที่ได้จากการพยากรณ์ ซึ่งจากรูปสามารถบอกได้ว่าค่าความไว้วางใจที่ได้จากการทดสอบ Field vane shear กับค่าที่ได้จากการพยากรณ์มีความใกล้เคียงกัน โดยมีความคลาดเคลื่อนกันอยู่ 0.60%

6.2.3 เปรียบเทียบค่าความไว้วางจากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ 3 กับ ค่าความไว้วาง ในการทดสอบ

จากตารางที่ 6.1 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ 3 นั้นผ่านเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ และพบว่า ค่าความไว้วางมีความสัมพันธ์กับค่า Natural water content, Total unit weight และค่า Plastic limit อยู่ 63.0 % จึงนำค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของค่าความไว้วาง จากสมการในแบบจำลองที่ 3 (สมการที่ 5.4) มาทำการพยากรณ์เทียบ กับ ค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของค่าความไว้วาง ในการทดสอบ Field vane shear จะได้ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 กราฟเปอร์เซ็นต์สะสมของ ค่าความไว้วางจากการทดสอบ Field vane shear กับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ 3

จากรูปที่ 6.3 จะพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของค่าความไว้วาง ส่วนใหญ่จะอยู่รอบ ๆ เส้นตรง (เหนือหรือใต้เส้นตรง) ค่าที่อยู่เหนือเส้นตรงแสดงว่าค่าที่ได้จากการพยากรณ์มากกว่าค่าในการตรวจวัด ส่วนค่าที่อยู่ใต้เส้นตรงแสดงว่าค่าในการตรวจวัดน้อยกว่าค่าที่ได้จากการพยากรณ์ ซึ่งจากรูปสามารถบอกได้ว่าค่าความไว้วางที่ได้ในจากการทดสอบ Field vane shear กับค่าที่ได้จากการพยากรณ์มีความใกล้เคียงกัน โดยมีความคลาดเคลื่อนกันอยู่ 0.89%

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัย

7.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะสรุปผลการทดสอบคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ ที่ใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการพยากรณ์ค่าความไวตัวของดิน จากการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุโดยใช้โปรแกรม SPSS 11.5 for Windows

7.2 ผลศึกษาคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อน ในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตัวอย่างดินเหนียวอ่อนในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ สามารถสรุปผลการทดสอบทั้งหมดได้ดังแสดงในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ ในช่วงความลึก 2.00 ถึง 18.00 เมตร

พารามิเตอร์	หน่วย	จำนวนข้อมูล	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย
W _n	%	340	117.20	34.90	65.90
L.L.	%	225	113.80	31.11	72.95
P.L.	%	225	57.89	15.80	30.52
P.I.	%	225	82.40	13.50	40.20
L.I.	-	225	3.39	0.38	0.90
γ_t	t/m ³	225	2.05	1.37	1.63
G _s	-	225	2.72	2.43	2.61
Su _{FVT}	t/m ²	480	7.68	0.45	2.84
Sensitivity	-	480	7.96	1.09	3.44

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินตัวอย่าง ของดินเหนียวอ่อนในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ เมื่อนำค่ามาวิเคราะห์สามารถจำแนกประเภทของดินโดยใช้ระบบ USCS (Unified) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

soil classification system) พบว่าดินเหนียวอ่อนในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการส่วนใหญ่เป็นดินจำพวก High plasticity clay (CH) โดยดินมีค่า Liquid limit สูงกว่า ค่าความชื้นในดินธรรมชาติ และค่าความชื้นในดินธรรมชาติ มีค่า สูงกว่า Plastic limit ($L.L. \geq W_n \geq P.L.$) แสดงว่าดินเหนียวอ่อนในพื้นที่ศึกษาอยู่ในสภาพเป็นพลาสติก

ผลการทดสอบแรงเฉือนของดินในสนาม (Field vane shear test) จำนวน 50 หลุม ในพื้นที่ 6 อำเภอ ของจังหวัดสมุทรปราการ เมื่อนำมาวิเคราะห์สามารถแบ่งระดับความลึกของชั้นดินได้ 3 ระดับ ดังนี้

- 1.) Weathered crust (ช่วงความลึก 0.00 ถึง -3.00 เมตร) ค่ากำลังรับแรงเฉือนค่อยๆ ลดลงตามความลึก
- 2.) Very soft clay to Soft clay (ช่วงความลึก-3.00 ถึง -9.00 เมตร) ค่ากำลังรับแรงเฉือนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น
- 3.) Soft clay to Medium clay (ช่วงความลึก -9.00 ถึง -18.00 เมตร) ค่ากำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.4

ค่าความไวตัวของดิน (Sensitivity of clay) จากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในชั้นดินเหนียวอ่อนของดินคงสภาพและดินเปลี่ยนสภาพแบบไม่ระบายน้ำ โดยการทดสอบ Field vane shear test) พบว่าดินเหนียวอ่อนในพื้นที่ตำบลท้ายบ้าน อำเภอเมือง มีค่าความไวตัวสูงสุด มีค่าความไวตัวระหว่าง 5.0-5.5 เป็นดินเหนียวที่มีความไว (Sensitive clay) โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ในจังหวัดสมุทรปราการ มีค่าความไวตัวอยู่ระดับปานกลาง (Medium Sensitive clay)

7.3 ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม SPSS 11.5 for Windows

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุในโปรแกรม SPSS ต้องมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์ 4 ข้อ ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ซึ่งจะถือว่าเป็นสมการเชิงเส้น และสามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ได้

7.3.1 การพยากรณ์ค่าความไวตัวแบบจำลองที่ 1 (วิเคราะห์ตลอดช่วงความลึก 2.00 ถึง 18.00 เมตร)

จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุโดยใช้วิธี Stepwise เป็นตัวเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการพบว่าค่า Liquidity index (L.I.), ค่า Total unit weight (γ_t) และ ค่า Plasticity index (P.I.) ถูกเลือกเข้าสมการ และมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอยู่ 59.9% และผ่านเงื่อนไขของการถดถอยเชิงพหุ ซึ่งจะได้สมการดังสมการที่ 7.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{SENSITIVITY} = -4.457 + 1.525(L.I.) + 3.278(\gamma) + 0.027(P.I.) \quad (7.1)$$

การเปรียบเทียบค่าความไวตัวจากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ 1 กับ ค่าความไวตัว ที่ได้จากการทดสอบมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ 1.24 %

7.3.2 การพยากรณ์ค่าความไวตัวแบบจำลองที่ 2 วิเคราะห์ช่วงความลึก 3.00 ถึง 9.00 เมตร (Very Soft Clay to Soft Clay)

จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุโดยใช้วิธี Stepwise เป็นตัวเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการพบว่าค่า Liquidity index (L.I.), ค่า Total unit weight (γ) และ ค่า Plasticity index (P.I.) ถูกเลือกเข้าสมการ และมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอยู่ 52.20% และผ่านเงื่อนไขของการถดถอยเชิงพหุ ซึ่งจะได้สมการดังสมการที่ 7.2

$$\text{SENSITIVITY} = -5.767 + 1.548(L.I.) + 4.236(\gamma) + 0.022(P.I.) \quad (7.2)$$

การเปรียบเทียบค่าความไวตัวจากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ 2 กับ ค่าความไวตัวที่ได้จากการทดสอบมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ 0.60 %

7.3.3 การพยากรณ์ค่าความไวตัวแบบจำลองที่ 3 วิเคราะห์ช่วงความลึก 9.00 ถึง 18.00 เมตร (Soft clay to Medium clay)

จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุโดยใช้วิธี Stepwise เป็นตัวเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการพบว่าค่า Liquidity index (L.I.), ค่า Natural water content (W_n) และ ค่า Plasticity index (P.I.) ถูกเลือกเข้าสมการ และมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอยู่ 63.00% และผ่านเงื่อนไขของการถดถอยเชิงพหุ ซึ่งจะได้สมการดังสมการที่ 7.3

$$\text{SENSITIVITY} = -4.562 + 0.047(W_n) + 3.591(\gamma) - 0.033(P.I.) \quad (7.3)$$

การเปรียบเทียบค่าความไวตัวจากการพยากรณ์ในแบบจำลองที่ 3 กับ ค่าความไวตัวที่ได้จากการทดสอบมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ 0.89 %

7.4 แนวทางการประยุกต์ใช้ค่าความไวตัวของดิน

จากค่า ความไวตัวของดินที่ทำการสำรวจและสรุปผลออกมาได้นั้นเราสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับพื้นที่หน้างานในการทำกิจกรรมใดๆ บนพื้นที่นั้นๆ ได้ดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 แสดงถึงข้อควรปฏิบัติต่อค่า ค่าความไวตัวของดินที่เกิดขึ้น ในพื้นที่

ค่าความไวตัว	ข้อควรปฏิบัติ
<2	สามารถทำการก่อสร้างหรือทำกิจกรรมใดๆ โดยไม่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพดิน
2-4	ควรมีการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยง หากสภาพพื้นที่มีความลาดชันหรือมีสภาพที่เสี่ยงต่อการเกิดการวิบัติของชั้นดินก็ควรปรับปรุงคุณภาพชั้นดินในพื้นที่นั้นๆเสียก่อน
>4	ควรมีการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินก่อนทำการก่อสร้างหรือสร้างกิจกรรมใดๆในบริเวณพื้นที่นั้นๆ

หมายเหตุ ข้อควรปฏิบัติข้างต้น เป็นเพียงแนวทางการปฏิบัติเท่านั้น การปฏิบัติงานจริงควรขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของวิศวกร ผู้ควบคุมงานในการพิจารณาเลือกแนวทางในการปฏิบัติต่อค่าความไวตัวดังกล่าว

7.5 ข้อเสนอแนะ

การทดสอบในภาคสนามไม่ควรทำการทดสอบให้คาบเกี่ยวกับช่วงฤดูฝน เพราะจะทำให้ปริมาณความชื้นในดินเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ส่วนการทดสอบในห้องทดสอบ ควรทำการทดสอบในห้องที่มีสภาพอากาศปิด มีการควบคุมอุณหภูมิในห้องทดสอบให้คงที่ เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นในดินระหว่างการทดสอบ

7.6 การบูรณาการงานวิจัย

1.) สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ สำหรับใช้ในการพยากรณ์ค่าความไวตัวของเหนียวดิน จะพบความสัมพันธ์ระหว่าง ความไวตัวกับคุณสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น ในสมการที่ 1 $SENSITIVITY = -4.457 + 1.525(L.I.) + 3.278(\gamma_p) + 0.027(P.I.)$ จากสมการดังกล่าวสามารถนำไปใช้สำหรับศึกษาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินคงสภาพ จากการทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพในห้องทดสอบได้

2.) การทดสอบค่าความไวตัวของดินสามารถทำการทดสอบได้จากหลายวิธี ได้แก่ การทดสอบด้วย Field vane shear test การทดสอบ Torvane shear test และการทดสอบ Direct shear test ซึ่งในแต่ละวิธี ค่าที่ได้อาจแตกต่างกัน ดังนั้นหากมีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบในแต่ละวิธี เพื่อหาปรับแก้ผลที่ได้จากการทดสอบให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน จะทำให้การนำผลการทดสอบไปใช้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- Awolaye, O.a., Bouazza, A. and Rama-Rao, R., 1991, **“Time Effect on The Unconfined Compressive Strength and Sensitivity of a Clay”**, **Clay in Engineering Geology**, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 345-351.
- Bjerrum,L., 1973, **“Problems of Soil Mechanics and Construction of Soft Clays”**, Proceedings of the Eighth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 3, No. 2 pp. 111-159.
- Brand, E.W., Muktabhat, C. and Taechathummarak. A., 1999, **“Load Test on Small Foundations in Soft Clay”**, Proceedings of Specialty of Conference on Performance of Earth and Earth Supported Structures, American Society of Civil Engineers, Vol. 1,Part 2,pp.903-928.
- Dumn Muh, J.(1977). **“Geotechnical Observation from a Deep Borehole at Rangsit”**, M. Eng. Thesis, AIT
- Eide, O., 1968, **“Comparative Study of Undrained Strength Measurements of a Soft Clay”**, Proceedings of The Third Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Vol. 25, No. 3, pp. 199-204.
- Kerduwan, T. (1984). **“Basic Properties and Compressibility Characteristics of First and Second Layers of Bangkok Subsoils”**, M. Eng. Thesis, AIT.
- Kulhaway, F.H. and Mayne, P.W. (1990). **“Manual on Estimating Soil Properties of Foundation Design”**, Electric Power Research Institute, California.
- Skempton, A. W. and Northey, R.D., 1952, **“The Sensitive of Clays”**, Geotechnique, Vol.2, No. 1, pp.30-33.
- Tanaka, H., 1995, **“Vane Shear Strength of Japanese Marine Clay and Applicability of Bjerrum’s Correction Factor”**, Geotechnical Engineering Bulletin, Vol. 4, No. 3, pp. 173-185.
- Terzaghi, K., 1943, **“Theoretical Soil Mechanics”**, John Wiley & Sons, New York, p.8.
- Tonyagate, W. (1978). **“Geotechnical Properties of Bangkok Subsoils for Subsidence Analysis”**, M. Eng. Thesis, AIT.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Vongthieres, D., 1966, "An Evaluation of Pile Foundation in Bangkok Area", Master of Engineering Thesis, Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, SEATO Graduate School of Engineering, pp.39-41.
- Wiesel, C.E., 1973, "Some Factor Influencing In-Situ Vane Results", Proceedings of the Eighth International Conference on Soil Mechanic and foundation Engineering, Vol. 1, No.2, pp.475-479.
- กวีวงษ์ ภูสุวรรณ, 2530. "การประเมินค่าสถิติของคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินกรุงเทพ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชาญยุทธ ยอดปรีชาวิจิตร, ดำรงฤทธิ์ พรหมณีวัฒน์ และสกล ศิริพันธ์, 2542, "การศึกษาพฤติกรรม การคืบกำลังและความไวตัวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 54-56.
- มณเฑียร กังศศิเทียม, 2547. "กลศาสตร์ของดินทางด้านวิศวกรรม", กรุงเทพมหานคร : สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์
- ผศ.ดร.วิจิต อุ๋อัน และ ผศ.อำนาจ วัจจัน, "การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS", 2550.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2545. "ข้อมูลสภาพดินบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง"
- สุพจน์ ศรีนิล, แหลมทอง เหล่าคงถาวร, และ ชลธี เร่บ้านเกาะ, 2544. "คู่มือปฏิบัติการทดลอง ปฐพีกลศาสตร์", กรุงเทพฯ. แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.
ผลทดสอบดินเหนียวในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณวัดพ่องพลอย อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
2.00	วัดพ่องพลอย	675816	1509683								3.41	1.10		3.10
3.00	อ.เมือง										3.21	1.01		3.20
4.00				47.80	61.50	23.40	38.10	0.64	1.77	2.57	2.81	0.81	7.09	3.50
5.00				73.90					1.62		3.31	1.10	8.10	3.00
6.00											3.31	1.01		3.30
7.00				58.80					1.72		3.31	0.70	12.06	3.30
8.00				67.60					1.67		2.31	1.20	13.37	2.90
9.00											3.52	1.30		3.70
10.00				34.50	31.10	15.90	15.20	1.22	1.97	2.62	4.82	1.61	19.67	3.50
11.00				39.20					1.75		5.63	1.61	19.29	3.30
12.00											5.32	1.41		3.60
13.00				65.40					1.63		5.03	1.80	21.20	3.30
14.00				55.20	85.60	30.70	54.90	0.45	1.73	2.60	6.02			

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณโรงเรียนวัดหนามแดง อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิทัก		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม				
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity	
		N	E	%	%	%	%		(t/m^3)		(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)		
3.00	ร.ร.วัดหนามแดง	678446	1506589	48.00								6.43	2.01		3.20
5.00	อ.เมือง			60.90	47.30	25.50	21.80	1.62	1.72	2.48	2.92	0.81	8.61	3.60	
6.00				68.20	62.00	27.00	35.00	1.18	1.59	2.57	2.11	0.60	9.54	3.50	
7.50											2.71	0.70		3.90	
9.00				72.20					1.63		3.41	1.01	14.68	3.40	
10.50				37.70					1.82		3.52	1.01	19.16	3.50	
12.00				86.00	69.00	29.10	39.90	1.43	1.55	2.54	4.02	1.20	18.59	3.30	
13.50				100.50					1.46		4.53	1.20	19.68	3.80	
15.00				112.20	95.00	31.00	64.00	1.27	1.48	2.60	7.03	2.21	22.17	3.20	

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางโปรง อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m^3)		(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	
3.00	บางโปรง	669627	1505970	35.90	57.00	23.20	33.80	0.38	1.87	2.54	2.81	0.70	5.60	4.02
4.50	อ.เมือง			18.90					1.44		2.51	0.60	6.47	4.17
6.00				63.00					1.66		2.61	0.70	9.97	3.71
7.50				45.00					1.86		2.51	0.60	13.91	4.17
9.00				69.30	70.70	24.40	46.30	0.97	1.61	2.62	2.61	0.70	14.50	3.71
10.50				58.70					1.68		3.02	0.81	17.66	3.75
12.00				75.70	90.50	33.20	57.30	0.74	1.58		3.31	0.91	18.96	3.65
13.50				67.20					1.62		5.63	1.61	21.88	3.49
15.00				57.90	81.60	30.70	50.90	0.53	1.71	2.61	8.03	2.51	25.69	3.20

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณกรมเจ้าท่า อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m^3)		(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	
3.50	กรมเจ้าท่า	671741	1504165	66.60							2.42	0.60		4.02
5.00	อ.เมือง			62.60	74.10	25.20	48.90	0.76	1.70	2.49	2.51	0.70	8.51	3.57
6.50											2.42	0.70		3.43
8.00				63.50	69.50	21.10	48.40	0.88	1.59	2.60	2.51	0.60	12.72	4.17
9.50				55.90	83.70	27.80	55.90	0.50	1.68	2.58	3.52	1.10	15.98	3.19
11.00				66.90					1.64		4.22	1.10	18.05	3.83
12.50				65.50	86.90	34.60	52.30	0.59	1.67	2.61	4.82	1.51	20.90	3.20
14.00				47.50	65.80	27.00	38.80	0.53	1.80	2.63	6.02	1.80	25.26	3.34

ตารางที่ 5 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางเมือง อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	LL	PL	PI	LI	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m^3)		(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	
3.00	บางเมือง	675146	1503970								3.21	0.60		5.34
4.50	อ.เมือง			61.40					1.66		3.12	0.60	7.46	5.19
6.00				53.70	41.90	21.60	20.30	1.58	1.62	2.60	3.52	0.96	9.73	3.66
7.50				46.90					1.73		3.41	0.96	12.95	3.56
9.00				66.90					1.52		3.62	1.00	13.72	3.62
10.50				57.00	62.70	31.60	31.10	0.82	1.56	2.59	4.53	1.52	16.43	2.98
12.00				52.40					1.62		6.43	1.51	19.47	4.26
13.50				43.60	51.90	27.30	24.60	0.66	1.97	2.60	6.93	1.91	26.56	3.64
14.50				36.30	56.30	26.80	29.50	0.32	1.84	2.62	9.75		26.62	

ตารางที่ 6 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณท้ายบ้าน อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G _s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%	(t/m ³)	(t/m ²)		(t/m ²)	(t/m ²)		
3.00	ท้ายบ้าน	672721	1499678	34.90							2.21	0.60		3.68
4.50	อ.เมือง			66.30	37.10	18.20	18.90	2.54	1.61	2.57	2.51	0.50	7.24	5.02
6.00				59.80					1.67		2.11	0.50	10.01	4.22
7.50				78.20	38.90	21.50	17.40	3.26	1.56	2.60	4.53	0.70	11.68	6.43
9.00				77.10					1.55		3.02	0.70	13.93	4.29
10.50				79.60	56.10	27.70	28.40	1.83	1.54	2.58	4.42	1.12	16.13	3.95
12.00				47.80					1.76		5.03	1.20	21.17	4.18
13.50				63.10	47.80	27.50	20.30	1.75	1.58	2.60	7.33	2.61	21.36	2.81

ตารางที่ 7 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณนิคมฯบางปู อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m^3)		(t/m^2)	(t/m^2)		
3.50	นิคมฯบางปู	681282	1496429								2.35	0.71		3.31
6.00	อ.เมือง			83.40	97.60	39.20	58.40	0.76	1.45	2.49	2.23	0.64	8.70	3.48
7.00				73.90	98.00	32.60	65.40	0.63		2.57	4.06	1.13		3.59
9.00				69.30	75.70	25.60	50.10	0.87	1.57	2.53	5.00	1.16	14.13	4.31

ตารางที่ 8 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณแพรกษา อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n %	L.L %	P.L %	P.I %	L.I	γ_t (t/m ³)	G _s	Su _(undis) (t/m ²)	Su _(dis) (t/m ²)	σ_v (t/m ²)	Sensitivity
		N	E											
4.00	แพรกษา	678498	1499317								4.73	0.62		7.61
5.00	อ.เมือง			46.10	45.00	28.00	17.00	1.06	1.71	2.57	3.21	0.90	8.56	3.58
6.00											2.05	1.07		1.91
7.00				53.80					1.69		1.43	0.62	11.85	2.30
8.00				42.80	52.20	23.90	28.30	0.67	1.77	2.63	4.06	0.72	14.19	5.63
9.00											3.39	0.90		3.78
10.00											3.83	0.90		4.27
11.00				53.10	42.30	22.90	19.40	1.56	1.62	2.63	4.02	1.07	17.83	3.75
12.00				48.60					1.67		5.35	1.07	20.06	5.00
13.00				68.80					1.58		4.37	1.34	20.57	3.27
14.00				56.70	72.10	29.90	42.20	0.64	1.60	2.63	5.18	1.61	22.36	3.22

ตารางที่ 9 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณแพรक्षाใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
4.00	แพรक्षाใหม่	683706	1498285	71.60	86.20	33.10	53.10	0.73	1.47	2.49	1.25	0.43	5.88	2.92
5.00	อ.เมือง			71.30					1.59		1.88	0.71	7.97	2.63
6.00											3.39	0.90		3.78
7.00				66.80	69.30	29.40	39.90	0.94	1.59	2.58	3.92	0.90	11.11	4.38
8.00				60.20					1.59		3.57	1.07	12.70	3.33
9.00											1.97	0.90		2.19
10.00				65.70					1.60		3.48	1.69	15.96	2.05
11.00				59.20	54.90	29.20	25.70	1.17		2.63	2.50	0.70		3.57
12.00				65.30					1.60		6.25	2.32	19.23	2.69

ตารางที่ 10 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณวัดศรีจันทร์ประดิษฐ์ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ _t	G _s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ _v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%	(t/m ³)	(t/m ²)		(t/m ²)	(t/m ²)		
2.00	วัดศรีจันทร์ประดิษฐ์	678085	1494881								4.85	0.82		5.91
3.00	อ.เมือง			108.30							2.61	0.76		3.43
4.00											1.99	1.15		1.73
5.00				86.30	109.70	67.25	42.45	0.45	1.53	2.60	2.17	1.32	7.65	1.64
6.00											1.90	0.76		2.50
7.00				85.30							2.44	0.93		2.62
8.00											2.23	1.04		2.14
9.00				72.90	97.70	36.60	61.10	0.59	1.64	2.61	3.05	1.09	14.77	2.80
10.00											3.11	1.32		2.36
11.00											3.00	1.15		2.61
12.00				65.32	79.80	34.80	45.00	0.68	1.72	2.63	3.94	1.21	20.67	3.26

ตารางที่ 11 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบ้านพักทหารเรือ อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%	(t/m^3)	(t/m^2)		(t/m^2)	(t/m^2)		
4.00	บ้านพักทหารเรือ	670143	1499214	71.90	73.70	33.40	40.30	0.96	1.56	2.48	0.71	0.18	6.24	3.89
5.00	อ.พระสมุทรเจดีย์			71.00	70.00	30.50	39.50	1.03	1.54	2.56	2.32	0.71	7.70	3.26
6.00				65.70	64.50	28.80	35.70	1.03	1.61	2.62	3.57	0.98	9.66	3.65
7.00											3.92	1.16		3.38
8.00				62.70							1.97	1.16		1.69
9.00				49.40					1.71		4.28	1.52		2.82
10.00				56.90	43.00	23.60	19.40	1.72	1.65	2.61	4.11	1.43	16.51	2.88

ตารางที่ 12 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณ โรงเรียนวัดคลองมอญ อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%	(t/m ³)	(t/m ²)		(t/m ²)	(t/m ²)		
4.00	ร.ร.วัดคลองมอญ	662097	1502256	73.80	71.40	31.10	40.30	1.06	1.62	2.58	1.88	0.54	6.48	3.47
5.00	อ.พระสมุทรเจดีย์			59.70					1.66		1.78	0.71	8.31	2.50
6.00				62.70					1.67		3.04	0.98	10.03	3.10
7.00											4.02	1.78		2.25
8.00				50.30	52.60	24.00	28.60	0.92	1.75	2.61	4.02	1.16	14.03	3.46
9.00				55.70					1.75		3.12	1.34	15.78	2.34
10.00											3.83	1.69		2.27
11.00				69.20					1.66		4.46	1.34	18.28	3.34
12.00				76.90	72.70	27.70	45.00	1.09	1.63	2.60	7.23	2.23	19.57	3.24

ตารางที่ 13 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบ้านคลองสวน อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
4.00	บ้านคลองสวน	658848	1500400	58.20	59.40	30.40	29.00	0.96	1.61	2.47	2.23	0.81	6.44	2.77
5.00	อ.พระสมุทรเจดีย์										1.61	0.81		2.00
6.00				64.60					1.59		1.78	1.61	9.54	1.11
7.00											1.52	0.81		1.89
8.00				59.90	72.40	31.60	40.80	0.69	1.63	2.62	1.52	0.62	13.05	2.44
9.00				57.20					1.63		0.98	0.90	14.68	1.09
10.00											1.52	0.90		1.69
11.00				58.90	73.20	32.90	40.30	0.65	1.61	2.58	1.97	0.90	17.72	2.19
12.00				53.70					1.63		4.19	1.25	19.57	3.34
13.00				51.30	69.00	26.60	42.40	0.58	1.65	2.63	4.02	1.25	21.47	3.20

ตารางที่ 14 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณสถานีอนามัยนาเกลือ อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม				
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity	
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)		
3.00	สถานีอนามัยนาเกลือ	661375	1498440									5.35	2.05		2.61
4.00	อ.พระสมุทรเจดีย์			58.90					1.62			2.85	0.62	6.48	4.59
5.00												4.02	0.98		4.10
6.00				83.00	80.80	29.90	50.90	1.04	1.47	2.54		3.21	0.96	8.81	3.34
7.00												3.21	0.98		3.28
8.00				65.60					1.61			2.32	0.54	12.88	4.30
9.00												3.92	0.90		4.38
10.00				63.10					1.75			2.32	0.90	17.53	2.59
11.00				65.50	87.90	29.90	58.00	0.61	1.59	2.63		4.11	1.34	17.49	3.08
12.00				57.90					1.69			3.48	1.61	20.31	2.16
13.00				70.90					1.71			2.68	1.16	22.26	2.31

ตารางที่ 15 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณวัดแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G _s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%	(t/m ³)	(t/m ²)		(t/m ²)	(t/m ²)		
2.00	วัดแหลมฟ้าผ่า	665811	1500090	102.57	63.80	33.29	30.51	2.27	1.43	2.54	3.27	0.65		5.03
3.00	อ.พระสมุทรเจดีย์			99.08	66.60	33.88	32.72	1.99	1.40	2.58	3.11	0.67		4.64
4.00				95.60	69.40	34.47	34.93	1.75	1.37	2.49	2.82	0.78		3.62
5.00				76.25	58.30	37.29	21.01	1.85	1.42	2.49	3.11	0.88		3.53

ตารางที่ 16 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางจาก อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m^3)		(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	
4.00	บางจาก	671587	1508858	53.20	62.10	25.00	37.10	0.76	1.67	2.53	0.90	0.36	6.69	2.51
5.00	อ.พระประแดง			50.00					1.69		1.25	0.54	8.46	2.32
6.00				66.10	65.30	32.80	32.50	1.02	1.66	2.60	1.16	0.36	9.97	3.23
7.00											2.05	0.81		2.54
8.00				60.50					1.65		3.57	1.52	13.21	2.35
9.00				22.00					1.70		4.28	1.69	15.32	2.53
10.00				71.90	85.80	30.50	55.30	0.75	1.61	2.58	5.44	2.14	16.11	2.54
11.00				36.80						2.63	5.18	2.14		2.42

ตารางที่ 17 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณวัดบางพึ้ง อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m^3)		(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	
4.00	วัดบางพึ้ง	665347	1510044	42.70	54.30	33.00	21.30	0.46	1.65	2.49	1.66	0.45	6.61	3.69
5.00	อ.พระประแดง			50.30							2.02	0.58		3.48
7.00				61.00	78.30	37.00	41.30	0.58	1.75	2.59	1.84	0.58	12.27	3.17
8.00											1.75	0.54		3.24
10.00				62.20	82.10	28.40	53.70	0.63	1.78	2.61	2.73	0.72	17.84	3.79
11.00				67.30							2.78	0.72		3.86
12.00				57.10							3.18	0.90		3.53
13.00											3.36	1.00		3.36
14.00				76.20	93.00	35.90	57.10	0.71	1.64	2.61	4.71	1.28	22.98	3.68
15.00											4.62	1.30		3.55

ตารางที่ 18 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางจาก อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม				
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity	
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)		
4.00	บางครุ	666069	1508703									3.18	0.54		5.89
5.00	อ.พระประแดง			48.80	57.60	22.20	35.40	0.75	1.71	2.49		3.45	1.00	8.56	3.45
7.00				54.30								3.18	1.00		3.18
8.00				67.60	95.70	39.30	56.40	0.50	1.59	2.57		3.27	1.00	12.72	3.27
10.00				70.60								3.59	1.20		2.99
11.00				61.60	79.80	16.30	63.50	0.71	1.62	2.60		3.77	1.00	17.83	3.77
12.00												4.08	1.23		3.32
13.00												4.35	1.23		3.54
14.00				58.80	75.30	21.50	53.80	0.69	1.70	2.63		4.71	1.50	23.83	3.14
15.00												5.16	1.81		2.85

ตารางที่ 19 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางยอ อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m^3)		(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	
4.00	บางยอ	666894	1510766	34.30	35.00	17.40	17.60	0.96	1.74	2.57	3.18	0.54	6.97	5.89
5.00	อ.พระประแดง			45.00							3.32	0.67		4.96
7.00				59.40	72.10	26.20	45.90	0.72	1.71	2.61	4.13	0.81	11.99	5.10
8.00				76.30							3.05	0.90		3.39
10.00				68.50							2.87	0.85		3.38
11.00				72.00	84.00	32.70	51.30	0.77	1.61	2.62	3.05	0.63	17.72	4.84
12.00				61.60	87.30	25.90	61.40	0.58	1.72	2.60	3.77	1.08	20.67	3.49
13.00				51.30							4.71	1.12		4.21
14.00				49.30							5.78	1.35		4.28

ตารางที่ 20 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางจาก อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิทัก		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m^3)		(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	
4.00	บางกระสอบ	668389	1510508	45.30	53.20	27.50	25.70	0.69	1.72	2.43	1.66	0.58	6.89	2.86
5.00	อ.พระประแดง										1.21	0.40		3.03
7.00				48.80	51.40	15.80	35.60	0.93	1.59	2.48	2.56	0.67	11.13	3.82
8.00											2.38	0.76		3.13
10.00				59.30	61.50	36.00	25.50	0.91	1.65	2.55	2.96	0.72	16.51	4.11
11.00											2.87	0.80		3.59
12.00											3.54	1.08		3.28
13.00				73.10	68.00	39.90	28.10	1.18	1.60	2.60	4.26	0.99	20.81	4.30
14.00				65.70	67.00	29.90	37.10	0.96	1.71	2.61	4.71	1.30	23.98	3.62

ตารางที่ 21 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางน้ำผึ้ง อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว						คุณสมบัติทางวิศวกรรม				
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
4.00	บางน้ำผึ้ง	670246	1511798								2.21	0.85		2.61
5.00	อ.พระประแดง										3.31	0.92		3.61
7.00				73.10	60.50	27.10	33.40	1.38	1.64	2.56	2.71	0.81	11.49	3.37
8.00											3.02	0.91		3.33
10.00				74.23	65.47	29.42	36.05		1.64	2.60	3.31	0.91		3.65
11.00											4.12	1.20		3.42
12.00											4.53	1.41		3.22
13.00				62.00	59.70	29.20	30.50	1.08	1.65	2.61	5.92	1.61	21.47	3.68

ตารางที่ 22 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางกอบัว อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิทัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
4.00	บางกอบัว	671175	153551	83.30	100.30	31.40	68.90	0.75	1.55	2.58	0.81	0.12	6.20	6.75
5.00	อ.พระประแดง			84.90							0.76	0.15		5.07
7.00				77.70	84.50	33.80	50.70	0.87	1.57	2.60	2.29	0.43	10.99	5.33
8.00				74.00							2.69	0.36		7.47
10.00				73.00							2.82	0.99		2.85
11.00				70.70	83.70	40.00	43.70	0.70	1.61	2.61	3.27	1.03	17.72	3.17
12.00				66.90							3.14	0.58		5.41
13.00											3.18	1.03		3.09
14.50				62.70	65.40	26.60	38.80	0.93	1.83	2.62	4.48	0.58	26.61	7.72

ตารางที่ 23 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางหญ้าแพรก อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	LL	PL	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		%	%	%	%		(t/m^3)	(t/m^2)	(t/m^2)		(t/m^2)			
4.50	บางหญ้าแพรก	667771	1507311	94.50							2.96	0.94		3.15
5.00	อ.พระประแดง										2.82	0.67		4.21
6.50				87.80	90.00	28.10	61.90	0.96	1.55	2.50	2.69	0.78	10.07	3.45
9.50				81.60							2.82	0.99		2.85
11.00				74.60	77.10	23.90	53.20	0.95	1.60	2.49	3.14	0.72	17.60	4.36
12.50				53.80							3.09	0.85		3.64
13.00				48.40	60.60	22.20	38.40	0.68	1.71	2.59	3.14	0.90	22.26	3.49
14.50				46.90							2.78	0.40		6.95
15.50				55.10							4.22	0.63		6.70
16.50				61.30	55.30	30.70	24.60	1.24	2.05	2.63	5.25	0.99	33.81	5.30

ตารางที่ 24 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางกระเจ้า อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
3.00	บางกระเจ้า	669163	1513912	44.90					1.83		2.38	0.58	5.50	4.10
4.00	อ.พระประแดง										2.82	1.08		2.61
5.00				87.70							3.14	0.78		4.03
7.00				64.60	75.80	30.10	45.70	0.75	1.70	2.54	3.45	1.03	11.92	3.35
8.00				75.90							2.73	0.99		2.76
10.00				69.60	79.20	27.40	51.80	0.81	1.64	2.57	2.87	0.72	16.41	3.99
11.00				60.20							3.23	0.90		3.59
12.00									1.71	2.63	2.69	0.72	20.55	3.74
13.00				59.60							2.87	0.49		5.86
14.00				63.00							4.71	0.67		7.03
15.00				73.30	82.70	21.00	61.70	0.85	1.58	2.60	4.98	0.76	23.70	6.55

ตารางที่ 25 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณกิ่งแก้ว ซ.45 อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม				
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity	
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)		
4.00	กิ่งแก้ว ซ.45	687574	1512004									3.39	1.61		2.11
5.00	อ.บางพลี			62.70	72.60	29.60	43.00	0.77	1.65	2.47	3.48	1.25	8.26	2.77	
6.00				53.30	53.10	22.00	31.10	1.01	1.76	2.49	5.18	1.07	10.58	4.84	
7.00											6.07	2.50		2.43	
8.00				50.00					1.79		4.19	1.69	14.35	2.48	
9.00				48.30	43.30	21.80	21.50	1.23	1.77	2.57	5.09	0.98	15.96	5.20	
10.00				60.60					1.68		4.73	1.07	16.82	4.42	
11.00											4.99	1.61		3.10	
12.00				51.60					1.77		5.89	1.61	21.28	3.66	
13.00				40.10	66.70	26.60	40.10	0.34	1.91	2.61	4.90	1.78	24.78	2.75	

ตารางที่ 26 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางแก้ว อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)		
4.00	บางแก้ว	681128	1510456	83.60	82.60	36.60	46.00	1.02	1.53	2.58	1.25	0.54	6.12	2.32
5.00	อ.บางพลี										1.43	0.71		2.01
6.00				67.70					1.59		2.23	0.71	9.54	3.13
7.00											1.25	0.71		1.76
8.00				63.10	65.10	27.10	38.00	0.95	1.63	2.60	1.34	0.50	13.05	2.67
9.00											2.76	1.25		2.20
10.00				58.50	60.12	28.21	31.91	0.94	1.65		1.88	1.52	16.51	1.23
11.00				52.70					1.66		3.92	1.16	18.28	3.38
12.00											3.83	1.34		2.87
13.00				57.10					1.67		5.09	1.07	21.73	4.75
14.00				70.70	68.25	34.12	34.13	1.07	1.57		4.02	0.90	21.98	4.48

ตารางที่ 27 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณวัดกิ่งแก้ว อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิคัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
2.00	วัดกิ่งแก้ว	687574	1512004								3.23	1.15		2.80
3.00	อ.บางพลี										2.05	0.98		2.08
4.00				49.27	62.53	29.87	32.66	0.59	1.56	2.43	2.58	1.43	6.24	1.80
5.00											2.64	0.87		3.02
6.00				49.55	71.67	30.20	41.47	0.47	1.63	2.54	2.94	0.98	9.78	2.98
7.00											3.23	1.21		2.67
8.00				61.79	71.88	41.32	30.56	0.67	1.68	2.58	3.64	1.21	13.44	3.01
9.00											4.17	1.21		3.45
10.00				61.20	87.50	42.49	45.01	0.42	1.61	2.58	4.41	1.43	16.10	3.07
11.00											4.88	1.43		3.40
12.00											5.35	1.77		3.02
13.00				54.67	77.54	36.71	37.67	0.48	1.70	2.63	6.06	1.99	22.10	3.04

ตารางที่ 28 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณหนองปรือ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิสัย		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
2.00	หนองปรือ	691494	1509993	91.60							2.94	1.26		2.33
3.00	อ.บางพลี										2.35	1.37		1.72
4.00				78.89	89.40	56.87	32.53	0.68	1.56	2.43	2.35	0.93	6.24	2.53
5.00											2.35	0.81		2.90
6.00											2.64	0.93		2.84
7.00											2.35	0.93		2.53
8.00											2.88	1.04		2.77
10.00				83.90	74.30	41.47	41.21	1.03	1.67	2.56	3.53	0.87	16.70	4.06

ตารางที่ 29 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางพลี กม.20 อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	LL	PL	PI	LI	γ _t	G _s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ _v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
2.00	บางพลี กม.20	685202	1504990								2.28	1.04		2.19
3.00	อ.บางพลี			57.40							1.84	0.98		1.88
4.00											1.89	0.70		2.70
5.00				73.80	91.50	43.70	47.80	0.63	1.47	2.49	2.23	0.98	7.34	2.28
6.00											2.39	0.81		2.95
7.00				81.70							2.56	1.51		1.70
8.00											3.35	1.40		2.39
9.00				75.40	95.10	33.30	61.80	0.68	1.59	2.56	3.63	1.21	14.31	3.00
10.00											3.96	1.26		3.14
12.00				80.50	97.40	56.10	41.30	0.59	1.67	2.57	4.58	1.49	20.06	3.07

ตารางที่ 30 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางพลี – สนามบินสุวรรณภูมิ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G _s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%			(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)		
4.00	บางพลี-สนามบิน	678001	1510605	53.30	70.60	30.70	39.90	0.57	1.91	2.49	1.82	0.54	7.62	3.37
5.00	อ.บางพลี										1.97	0.63		3.13
7.00				44.40	50.20	27.80	22.40	0.74	1.79	2.54	1.82	0.45	12.56	4.04
8.00				64.40							1.79	0.72		2.49
10.00				65.90	100.70	38.80	61.90	0.44	1.60	2.58	2.42	0.72	16.00	3.36
11.00				60.80							2.78	0.81		3.43
12.00				58.40	92.50	34.40	58.10	0.41	1.67	2.57	3.02	0.98	20.06	3.08
13.00											3.50	0.90		3.89
14.00											4.30	0.76		5.66
15.00				49.30	89.20	35.90	53.30	0.25	1.70	2.60	4.66	0.81	25.54	5.75

ตารางที่ 31 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางปลา อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G _s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ²)		(t/m ²)	(t/m ²)		
2.00	บางปลา	688554	1500039								3.94	0.87		4.53
3.00	อ.บางพลี			69.90	80.00	32.50	47.50	0.79	1.66	2.47	3.70	0.82	4.98	4.51
4.00											2.46	1.15		2.14
5.00											2.70	1.32		2.05
6.00				51.80	75.30	24.80	50.50	0.53	1.57	2.55	2.81	1.21	9.42	2.32
7.00											2.99	1.38		2.17
8.00				47.60	64.00	33.40	30.60	0.46	1.65	2.60	2.64	1.04	13.21	2.54
9.00											3.29	0.93		3.54
10.00											2.94	1.21		2.43
11.00				45.10	62.50	29.90	32.60	0.47	1.70	2.59	2.70	1.21	18.73	2.23

ตารางที่ 32 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณราชาทวะ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
2.00	ราชาทวะ	691958	1512674								3.68	1.23		2.99
3.00	อ.บางพลี			102.90							2.25	0.61		3.69
4.00											1.74	0.82		2.12
5.00				91.40							2.04	1.12		1.82
6.00											2.25	0.94		2.39
7.00				87.20	111.40	49.00	62.40	0.71	1.51	2.58	2.66	0.82	10.56	3.24
8.00											3.06	1.12		2.73
9.00				86.40	113.80	52.70	61.10	0.66	1.50	2.60	2.96	1.02	13.49	2.90
10.00											2.76	0.66		4.18
11.00				73.36	82.50	31.10	51.40	0.82	1.56	2.61	2.86	0.82	17.16	3.49
12.00											3.27	0.77		4.25
13.00				68.80	74.40	30.50	43.90	0.87	1.72	2.60	3.68	0.98	22.40	3.76
14.00											4.60	1.40		3.29
15.00				47.60	63.90	27.00	36.90	0.56	1.78	2.63	4.09	1.50	26.76	2.73

ตารางที่ 33 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางนา-ตราด กม.16 อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม				
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity	
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)		
3.00	บางนา-ตราด กม.16	684274	1508548	54.40								3.29	0.99		3.32
4.00	อ.บางพลี											2.01	0.53		3.79
5.00				107.90	113.20	55.42	57.78	0.91	1.50	2.46		1.83	0.43	7.49	4.26
6.00												1.92	0.34		5.65
7.00				94.00	92.90	39.10	53.80	1.02	1.52	2.57		1.82	0.52	10.63	3.50
8.00				92.70								2.41	0.53		4.55
9.00												2.50	0.62		4.03
10.00				84.10	96.50	41.00	55.50	0.78	1.72	2.61		2.80	0.62	17.23	4.52
11.00				61.00								3.00	0.71		4.23
12.00												4.07	0.86		4.73
13.00				62.80	72.30	31.80	40.50	0.77	1.81	2.62		3.48	0.71	23.59	4.90
14.00												5.05	0.90		5.61

ตารางที่ 34 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางนา-ตราด กม.20 อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	คำพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
5.00	บางนา-ตราด กม.20	685872	1507671	84.20	95.57	27.87	67.70	0.83	1.54	2.58	1.72	0.34	7.70	5.06
6.00	อ.บางพลี										3.00	0.81		3.70
7.00				82.50	102.26	34.56	67.70	0.71	1.53	2.60	1.81	0.43	10.70	4.21
8.00											1.72	0.34		5.06
9.00				77.60							1.92	0.43		4.47
10.00											3.48	0.71		4.90
11.00				70.30	83.70	27.00	56.70	0.76	1.65	2.58	1.81	0.43	18.17	4.21
12.00											3.09	0.53		5.83
13.00											2.60	0.53		4.91
14.00											3.88	0.90		4.31
15.00				69.78	79.70	29.30	50.40	0.80	1.79	2.61	5.15	1.00	26.91	5.15

ตารางที่ 35 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณ โรงเรียนคลองกันยา อำเภอบางป้อ จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		%	%	%	%		(t/m^3)	(t/m^2)	(t/m^2)		(t/m^2)			
3.00	ร.ร.คลองกันยา	701551	1497461								1.43	0.71		2.00
4.00	อ.บางป้อ			65.10					1.69		1.16	0.71	6.77	1.63
5.00											3.48	0.81		4.32
6.00				58.70	51.80	23.40	28.40	1.24	1.67	2.63	4.37	0.90	10.03	4.88
7.00											3.48	0.62		5.59
8.00				48.90					1.73		1.34	1.16	13.86	1.15
9.00				40.30	44.20	21.70	22.50	0.83	1.78	2.54	1.78	0.71	16.06	2.50
10.00											4.64	0.98		4.74
11.00				61.10					1.69		3.66	0.81	18.61	4.54
12.00				47.60	61.50	23.70	37.80	0.63	1.75	2.61	4.28	0.98	21.04	4.38
13.00				55.40					1.65		2.41	1.07	21.47	2.25

ตารางที่ 36 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางเพรียง อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
4.00	บางเพรียง	692422	1497254	44.10	56.60	23.10	33.50	0.63	1.61	2.58	2.59	0.71	6.46	3.63
5.00	อ.บางบ่อ			75.80					1.62		2.59	0.98	8.09	2.65
6.00											2.85	1.25		2.28
7.00				62.20					1.69		3.75	1.16	11.80	3.23
8.00				64.70	60.70	26.90	33.80	1.12	1.68	2.63	3.21	1.34	13.47	2.40
9.00				54.90					1.68		4.46	1.61	15.14	2.77
10.00											4.82	0.90		5.38
11.00				56.80	66.70	30.60	36.10	0.73	1.67	2.62	3.39	0.98	18.40	3.46
12.00				57.70					1.70		2.68	0.81	20.35	3.33

ตารางที่ 37 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบ้านระกาศ อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
4.00	บ้านระกาศ	704954	1500400								1.78	0.45		3.98
5.00	อ.บางบ่อ			46.10	45.00	28.00	17.00	1.06	1.71	2.57	1.61	0.54	8.56	2.98
6.00											2.68	1.34		2.01
7.00				53.80					1.69		3.30	0.90	11.85	3.68
8.00				42.80	52.20	23.90	28.30	0.67	1.77	2.63	2.41	0.72	14.19	3.34
9.00											4.19	1.61		2.60
10.00											4.73	1.97		2.40
11.00				53.10	42.30	22.90	19.40	1.56	1.62	2.63	5.44	1.69	17.83	3.22
12.00				48.60					1.67		5.18	2.50	20.06	2.07

ตารางที่ 38 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณวัดเป็ริง อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G _s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%	(t/m ³)	(t/m ²)		(t/m ²)	(t/m ²)		
2.00	วัดเป็ริง	702497	1512622	49.27	56.73	36.71	23.35	0.54	1.44	2.48	3.53	1.27	2.87	2.78
3.00	อ.บางบ่อ										2.41	1.09		2.21
4.00				61.78	75.40	36.71	41.69	0.60	1.50	2.54	2.41	1.15	5.99	2.10
5.00											2.45	0.87		2.82
6.00											2.23	1.43		1.56
7.00				65.80	80.00	36.71	50.50	0.58	1.48	2.56	2.82	1.26	10.35	2.24
9.00											2.88	1.15		2.50
10.00				54.20	54.40	36.71	30.60	0.57	1.64	2.58	2.53	1.44	16.41	1.76
11.00											3.41	1.15		2.97
12.00				44.60							3.64	1.26		2.89
13.00											4.12	1.43		2.88
14.00				58.20	62.50	36.71	32.60	0.66	1.55	2.61	3.23	1.43	21.69	2.26
15.00											4.65	1.43		3.25
16.00				57.90					2.07		6.18	1.94	33.11	3.19

ตารางที่ 39 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณวัดเป็ริง อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		%	%	%	%		(t/m^3)	(t/m^2)	(t/m^2)		(t/m^2)			
3.00	กรมชลประทานคลองด่าน	694331	1494933	72.43	49.50	33.92	13.28	2.90			2.64	1.10		2.40
5.00	อ.บางบ่อ			70.40	76.83	42.32	34.51	0.81	1.45	2.60	2.05	0.88	7.25	2.33
6.00											2.41	1.16		2.08
7.00				64.15	53.05	24.20	28.85	1.38	1.53	2.62	2.05	0.88	10.71	2.33
8.00											2.29	1.16		1.97
9.00											2.23	0.93		2.40
10.00				117.24	49.12	20.45	28.56	3.39	1.57	2.63	2.64	0.60	15.70	4.40
11.00				98.09	47.78	21.82	25.96	2.94			2.94	0.65		4.52

ตารางที่ 40 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณคลองสวน อำเภอบางป่อ จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
4.00	คลองสวน	708616	1509734	71.60	86.20	33.10	53.10	0.73	1.47	2.57	2.65	0.67	5.88	3.96
5.00	อ.บางป่อ			67.80							3.18	1.17		2.72
7.00				63.70	78.40	38.50	39.90	0.63	1.59	2.63	2.73	1.12	11.11	2.44
8.00				60.20							2.73	0.72		3.79
10.00				65.70							3.05	0.76		4.01
11.00				59.20	54.90	22.20	32.70	1.13	1.59	2.58	3.96	0.76	17.49	5.21
12.00											3.72	0.58		6.41
13.00				65.30							4.22	1.03		4.10
14.00				52.60							4.80	0.94		5.11
15.00				62.60	68.20	32.80	35.40	0.84	1.59	2.60	4.89	0.72	15.94	6.79

ตารางที่ 41 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณโรงเรียนคลองพระยานครราชสีมา อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ²)		(t/m ²)	(t/m ²)		
2.00	ร.ร.คลองพระยา	706966	1509889	94.50	107.20	38.20	69.00	0.82			3.02	0.81		3.75
4.00	นาคราช			71.40					1.61				6.44	
5.00	อ.บางบ่อ			46.90	48.40	24.30	24.10	0.94	1.56		2.92	0.81	7.80	3.62
7.00											2.61	0.70		3.71
8.00				52.30	56.90	22.40	34.50	0.87	1.71	2.49	2.81	0.70	13.70	4.00
10.00				71.80					1.62		2.61	0.70	16.21	3.71
11.00				83.10	87.30	32.90	54.40	0.92	1.55	2.58	4.02	1.56	17.04	2.57
13.00									1.61		6.53	1.80	20.94	3.62
14.00				55.90	65.00	29.90	35.10	0.74	1.71				23.98	
16.00				54.23	61.30	22.60	38.70	0.82	1.91	2.61			30.50	

ตารางที่ 42 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณวัดสุคันธาวาส อำเภอบางป่อ จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity
		%	%	%	%		(t/m ³)	(t/m ²)	(t/m ²)		(t/m ²)			
2.00	วัดสุคันธาวาส อ.บางป่อ	701086	1504319	40.80							5.65	2.28		2.48
3.00											2.76	1.38		2.00
4.00				75.70	98.40	30.80	67.60	0.66	1.50	2.53	2.64	1.16	5.99	2.28
5.00											2.35	1.21		1.94
6.00											2.35	1.16		2.03
7.00				82.27	94.70	36.30	58.40	0.79	1.51	2.57	2.70	0.99	10.56	2.73
8.00											2.76	1.10		2.51
10.00				87.20	104.80	39.40	65.40	0.73	1.56	2.60	3.00	0.82	15.60	3.66
11.00											2.76	1.49		1.85
12.00				73.00	98.00	33.90	64.10	0.61	1.60	2.62	3.23	0.93	19.20	3.47
13.00											3.11	1.04		2.99
14.00				73.90	75.70	25.60	50.10	0.96	1.73	2.60	4.29	0.82	24.26	5.23
15.00											4.12	2.00		2.06
16.00											3.82	1.16		3.29
17.50				56.75	87.56	22.86	64.70	0.52	1.80	2.61	4.23	1.49	30.67	2.84

ตารางที่ 43 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณวัด โศธาราม อำเภอบางป่อ จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
3.50	วัดโศธาราม	697528	1497873	70.22	67.70	33.30	34.40	1.07	1.46	2.49	2.64	1.04	5.11	2.54
5.00	อ.บางป่อ										2.58	0.76		3.39
6.00				74.05	68.01	33.31	34.70	1.17	1.62	2.57	2.41	0.60	9.72	4.02
7.00											2.11	0.88		2.40
8.00											2.64	0.71		3.72
9.00				70.52	49.80	25.92	23.88	1.87	1.45	2.49	2.88	0.88	13.05	3.27
10.00											3.03	0.71		4.27
11.00				89.56	45.62	24.94	20.68	3.12	1.40	2.53	3.29	0.82	15.40	4.01
12.00											2.94	0.93		3.16
13.00				87.62	47.96	24.26	23.70	2.67	1.46	2.60	3.53	0.99	18.98	3.57

ตารางที่ 44 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณ โรงเรียนวัดเสาธงกลาง อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
3.00	ร.ร.วัดเสาธงกลาง	697941	1512983	66.40	65.50	35.00	30.50	1.03	1.57	2.49	3.92	1.20	4.70	3.27
4.00	อ.บางเสาธง			80.10					1.67		0.90	0.62	6.68	1.44
5.00											2.21	0.45		4.93
6.00				57.40	51.20	25.40	25.80	1.24	1.60	2.54	1.78	0.90	9.62	1.99
7.00				61.90					1.70		1.07	0.71	11.92	1.50
8.00											2.14	0.62		3.44
9.00				78.30					1.61		6.07	1.78	14.53	3.40
10.00											2.23	1.78		1.25
11.00				61.60	65.00	37.90	27.10	0.87	1.63	2.57	2.23	0.71	17.94	3.13
12.00				75.80					1.67		4.46	0.81	20.05	5.54
13.00											2.32	2.14		1.09
14.00				62.80					1.71		2.32	0.90	23.98	2.59
16.00				35.70	57.30	30.20	27.10	0.20	1.86	2.62	7.68	3.39	27.89	2.26

ตารางที่ 45 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณวัดหัวคู อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม				
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity	
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)			
1.00	วัดหัวคู	696187	1512983	46.20								5.59	0.70		7.99
2.00	อ.บางเสาธง			110.40								2.64	1.43		1.85
3.00												2.46	0.98		2.51
4.00				82.23	89.67	57.89	31.78	0.77	1.56	2.47		2.17	0.87	6.24	2.49
5.00												1.87	0.98		1.91
6.00												2.29	0.93		2.46
7.00				74.60	82.45	41.22	41.23	0.81	1.54	2.53		2.73	0.93	10.77	2.94
8.00				80.70								2.94	0.84		3.50
9.00				76.40								2.70	1.15		2.35
10.00				54.30	62.67	32.07	30.60	0.73	1.65	2.60		3.32	1.04	16.51	3.19
11.00				44.60								3.53	1.04		3.39
12.00				58.30								3.76	1.43		2.63
13.00				57.90	62.50	29.90	32.60	0.86	1.69	2.63		3.91	1.18	22.00	3.31

ตารางที่ 46 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณปากคลองมอญ อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity
		%	%	%	%		(t/m ³)	(t/m ²)	(t/m ²)		(t/m ²)			
2.00	ปากคลองมอญ	694485	1509889	68.40	87.50	32.60	54.90	0.65	1.58	2.49	3.00	1.15	3.16	2.61
3.00	อ.บางเสาธง			104.70							2.11	1.09		1.94
4.00				84.90	109.34	37.94	71.40	0.66	1.45	2.57	2.05	1.04	5.79	1.97
5.00											1.93	0.87		2.22
6.00				60.50	95.10	32.80	62.30	0.44	1.51	2.57	2.28	0.81	9.05	2.81
7.00				55.90							2.41	1.09		2.21
8.00				56.10	87.50	29.70	57.80	0.46	1.48	2.60	2.88	0.87	11.82	3.31
9.00				57.70							2.64	1.15		2.30
10.00											3.23	0.87		3.71
11.00				61.20	72.56	26.89	45.67	0.75	1.67	2.61	3.64	0.87	18.39	4.18

ตารางที่ 47 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณบางเสาธง อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		%	%	%	%	(t/m ³)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)					
3.00	บางเสาธง	697373	1503649	28.40					1.92		2.92	0.81	5.75	3.62
4.00	อ.บางเสาธง			43.20	66.00	29.10	36.90	0.38	1.66	2.60	2.57	1.01	6.65	2.55
5.00				50.70					1.69		2.42	0.60	8.46	4.02
7.00				59.90							1.71	0.60		2.85
8.00				48.30							2.79	0.91		3.08
10.00				65.70	88.30	27.50	60.80	0.63	1.55	2.61	2.21	0.70	15.49	3.14
11.00				74.30							3.72	0.81		4.62
12.00											3.62	0.70		5.14
13.00				68.76	90.13	33.03	57.10	0.63	1.78	2.60	3.41	0.81	23.19	4.24
14.00											5.32	1.01		5.27
15.00				57.67	59.40	21.10	38.30	0.95	2.03	2.63	4.72	0.91	30.43	5.20

ตารางที่ 48 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณวัดศรีวารีน้อย อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ

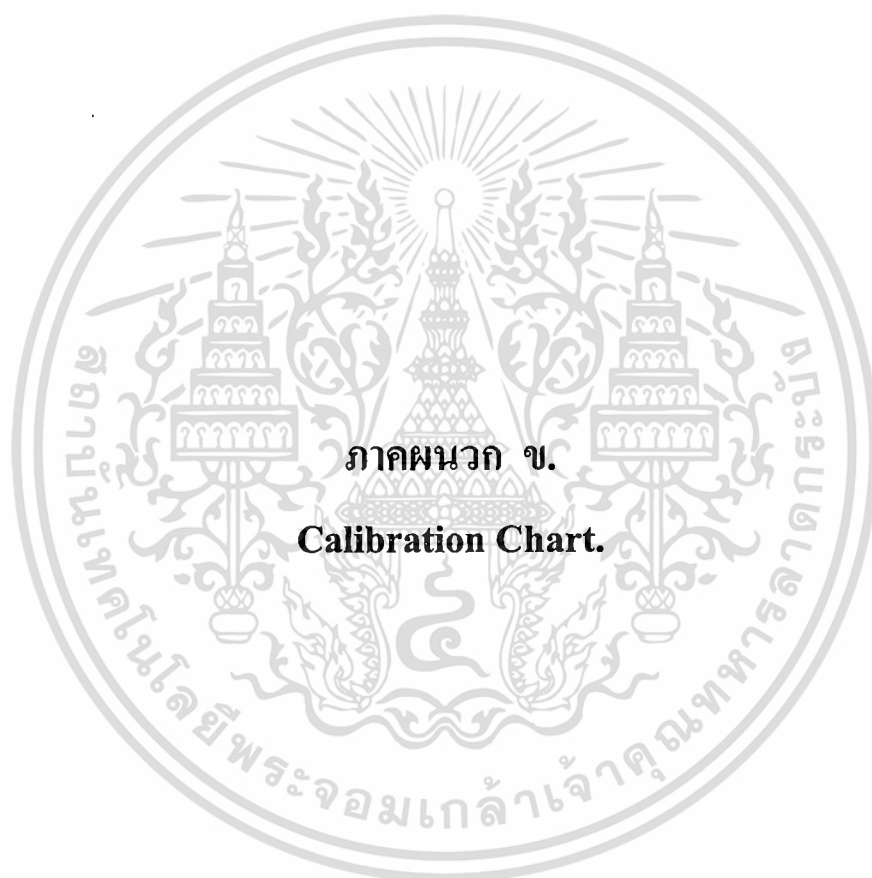
ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		%	%	%	%	(t/m^3)	(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)					
4.00	วัดศรีวารีน้อย	693763	1506846	63.50					1.63		2.82	0.99	6.52	2.85
5.00	อ.บางเสาธง			64.00	84.10	31.50	52.60	0.62	1.68	2.44	2.82	0.90	8.41	3.13
7.00				85.00							2.87	0.67		4.28
8.00											2.78	0.72		3.86
10.00				68.70	71.90	26.70	45.20	0.93	1.61	2.53	3.09	0.40	16.11	7.73
11.00											3.18	0.58		5.48
12.00				56.10	63.20	28.00	35.20	0.80	1.59	2.60	3.27	0.76	19.08	4.30
13.00											2.51	0.67		3.75
14.00											3.59	0.40		8.98
15.50				64.50	62.40	30.70	31.70	1.07	1.71	2.62	4.53	0.58	25.69	7.81

ตารางที่ 49 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณ โรงเรียนวัดวัดจระเข้ใหญ่ อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ

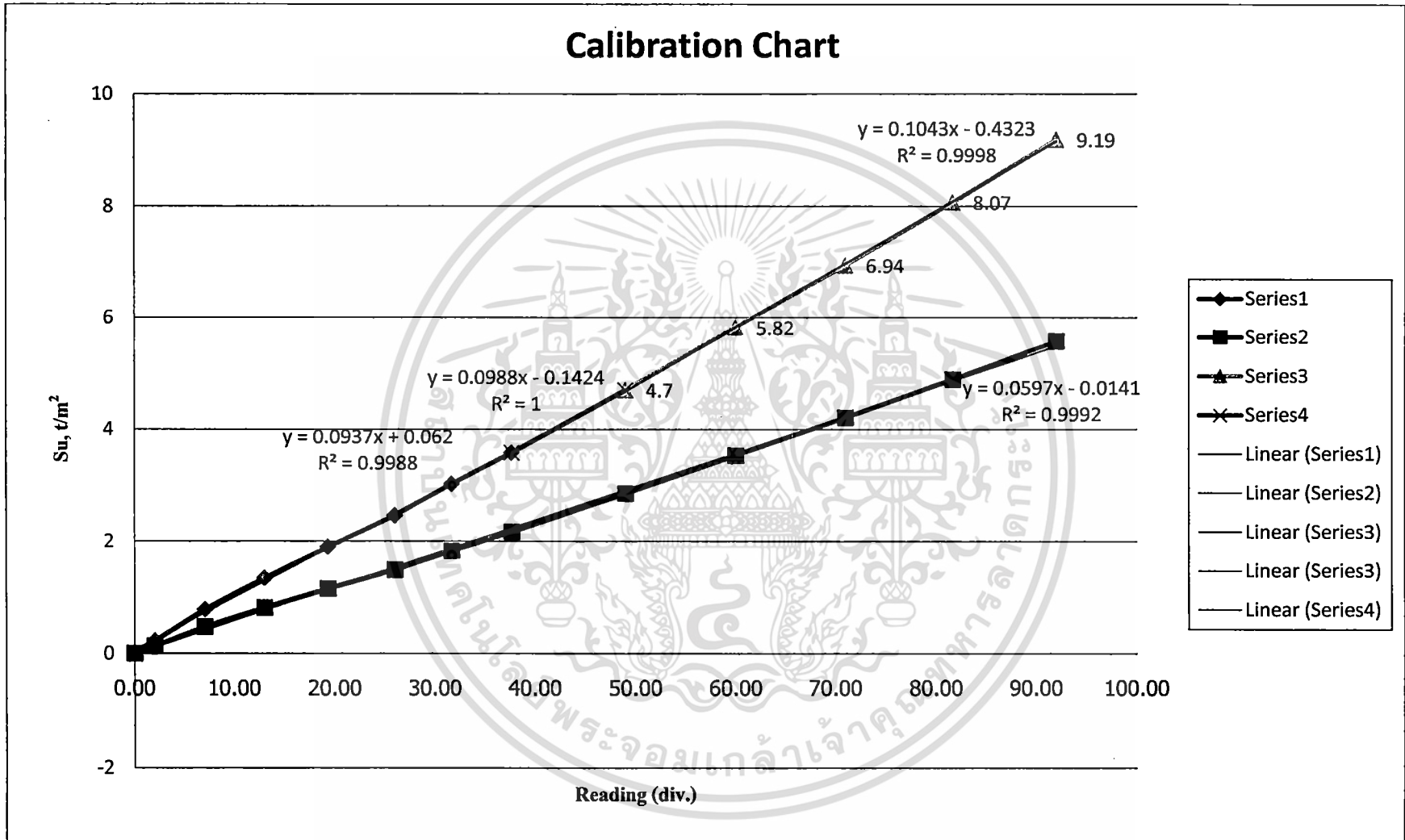
ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				Wn	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	$Su_{(undis)}$	$Su_{(dis)}$	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m^3)		(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	
3.50	ร.ร.วัดจระเข้ใหญ่	692680	1505351	41.90	68.10	26.30	41.80	0.37	1.79	2.47	2.65	0.67	6.28	3.96
5.00	อ.บางเสาธง			83.50							3.23	0.85		3.80
6.50				91.60	98.80	33.60	65.20	0.89	1.51	2.57	3.45	0.49	9.81	7.04
8.00				96.30	94.60	31.70	62.90	1.03	1.49	2.57	3.63	0.40	11.91	9.08
9.50											3.41	0.72		4.74
11.00											3.81	0.58		6.57
12.50				54.60	65.80	26.80	39.00	0.71	1.68		3.81	0.54	21.02	7.06
13.00				59.70							3.72	0.57		6.53
14.45				69.50	81.30	22.30	59.00	0.80	1.60	2.60	4.44	0.63	23.13	7.05

ตารางที่ 50 แสดงคุณสมบัติของดินเหนียวบริเวณ โรงเรียนวัดมงคลนิมิตร อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ

ความลึก m.	ตำแหน่ง	ค่าพิกัด		คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว							คุณสมบัติทางวิศวกรรม			
				W _n	L.L	P.L	P.I	L.I	γ_t	G_s	Su _(undis)	Su _(dis)	σ_v	Sensitivity
		N	E	%	%	%	%		(t/m ³)		(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	
4.00	ร.ร.วัดมงคลนิมิตร	6922525	1501859								2.20	0.81		2.72
5.00	อ.บางเสาธง			70.90	80.20	30.40	49.80	0.81	1.64	2.49	2.73	0.67	8.21	4.07
6.50				63.20							2.78	0.85		3.27
8.00				73.40	100.50	32.80	67.70	0.60	1.65	2.57	2.65	0.72	13.21	3.68
9.50				71.30							2.70	0.76		3.55
11.00				70.30							2.55	0.68		3.75
12.50				59.70	86.50	23.40	63.10	0.58	1.74		2.65	0.76	21.79	3.49
13.00				46.40							3.63	1.17		3.10
14.00				57.20							4.71	0.81		5.81
14.45				49.60	53.90	22.80	31.10	0.86	2.04	2.63	5.43	0.81	29.46	6.70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟผลการ Calibrate เครื่องมือวัดโมเมนต์บิด (Geonor H-70)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 16
PROCEEDINGS OF THE 16th NATIONAL CONVENTION ON CIVIL ENGINEERING

วิศวกรรมโยธากับการเผชิญวิกฤตปัญหาโลก
CIVIL ENGINEERING AND GLOBAL CRISES



การศึกษาค่าความไวตัวของดินเหนียวในจังหวัดสมุทรปราการ A STUDY ON SENSITIVITY OF CLAYS IN SAMUT PRAKARN PROVINCE IN THAILAND

ถาวร พรหมรสีมี (Thavorn Promrasamee)¹

อุมา สีนุญเรือง (Uma Sriboonrueng)²

สุพจน์ ศรีนิล (Supot Srinil)³

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง E-Mail: ongdam@hotmail.com

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง E-Mail: muggletong@hotmail.com

³ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง E-Mail: pte208@yahoo.com

บทคัดย่อ

ค่าความไวตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เป็นค่าดัชนีชี้วัดคุณสมบัติของชั้นดินเหนียวอ่อน ซึ่งแสดงถึงค่าอัตราส่วนของกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ลดลงเมื่อถูกรบกวน ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าความไวตัวของชั้นดินเหนียวอ่อน และคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับค่าความไวตัวของดินเหนียวอ่อนในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ โดยสุ่มเลือกพื้นที่ตัวแทนสำหรับทดสอบจำนวน 50 ตำแหน่ง ทำการทดสอบแรงเฉือนในชั้นดินเหนียวอ่อนของดินคงสภาพและดินเปลี่ยนสภาพแบบไม่ระบายน้ำ โดยใช้เครื่องมือทดสอบแรงเฉือนแบบใบพัด (Field Vane Shear Test) พร้อมทั้งสุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพจำนวน 30 ตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติต่างๆของดินเหนียวในห้องปฏิบัติการ ข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจชั้นดินเหนียวอ่อนแสดงให้เห็นว่าชั้นดินเหนียวอ่อนมีความหนาของชั้นดินอยู่ระหว่าง 15-20 เมตร ถึงแม้ว่าค่าความไวตัวจะมีความแปรปรวนในแต่ละความลึกของชั้นดินฐานราก โดยส่วนใหญ่ชั้นดินที่ความลึก 2.00-5.50 เมตร มีค่าความไวตัวอยู่ระหว่าง 2.0-3.2 (ดินมีความไวตัวต่ำ) ชั้นดินที่ความลึก 5.50-6.50 เมตรเป็นดินเหนียวที่ไม่มีความไวตัว (ค่าความไวตัวอยู่ระหว่าง 1.0-1.5) และที่ความลึก 6.50-19.00 เมตร มีค่าความไวตัวอยู่ระหว่าง 2.1-8.0 (ดินมีค่าความไวตัวต่ำถึงปานกลาง) ตามลำดับ ค่าดัชนีของเหลว (Liquidity Index) มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกับค่าความไวตัวของดิน การเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่าง ค่ากำลังแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำกับค่าแรงดันดินกดทับประสิทธิภาพ กับค่าความไวตัวของดินเหนียวมีความสัมพันธ์แบบผกผัน ส่วนการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของดัชนีที่ไม่แสดงนัยสำคัญและค่าคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องอื่นๆกับค่าความไวตัวของดินเหนียว รายละเอียดของผลการศึกษานี้ได้ถูกอภิปรายวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลในบทความนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

Sensitivity of the soft Bangkok Clay is the index property, which refers to a reduction in undrained shear strength as it undergoes any disturbance that causes remolding of a clay soil. The research aims to study the sensitivity of clay and its related property in the area of Samut Prakarn Province. It is randomly sampling 50 boreholes of the field vane shear tests and about 30 representative soil samples for the laboratory test are randomly investigating and sampling. The data obtained from the soil boring shows that the thickness of soft clay presented in the range of 15-20 meters. Though, there are the variations on the sensitivity values with the depths of the soil foundation, on the average, the sensitivity values of those investigated depths of the clay soil at 2.0-5.5 m, 5.5-6.5 m, and 6.5-19.0 m, were classified as the 2.0-3.2 (low sensitive clay), 1.0-1.5 (insensitive clay) and 2.1-8.0 (low to medium sensitive clay), respectively. It reveals that the liquidity index of clay showed significantly in a correlation with its sensitivity value. The inverse relationship between the ratio of the undrained shear strength and the effective overburden pressure and the sensitivity value of clay, has been found. A insignificant correlation among the index properties, the related property and the sensitivity value, and the result of the study are discussed, analyzed and summarized.

KEYWORDS: Sensitivity of clay, Bangkok clay, Field vane shear test, Liquidity Index

1. ที่มาและปัญหา

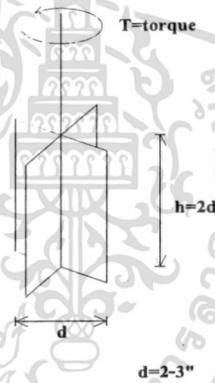
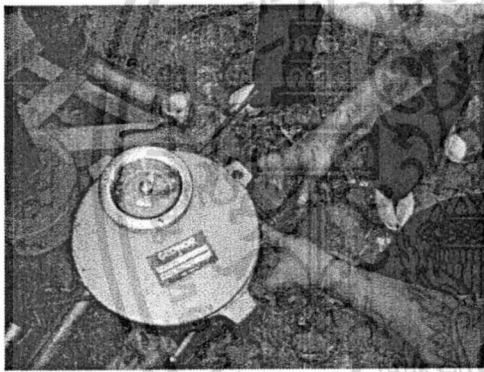
เนื่องจากปัญหาการเคลื่อนพังของดินเมื่อถูกกระทบกระเทือน เป็นปัญหาที่พบมากในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งปัญหาดังกล่าวส่งผลและก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างที่วางตัวบนดินชนิดนี้ ดินบางชนิดเมื่อถูกกระทบกระเทือนจะทำให้โครงสร้างของดินเปลี่ยนไป ซึ่งมีผลทำให้ความต้านทานแรงเฉือนลดลง เรียกว่าดินมีความไวตัว หากดินมีค่าความไวตัวที่สูง เมื่อถูกกระทบกระเทือนกำลังต้านทานแรงเฉือนจะลดลงมาก ดังนั้นจึงมีการศึกษาค่าความไวตัวเพื่อที่จะใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาสัดส่วนค่าความปลอดภัยสำหรับการออกแบบ และระมัดระวังสำหรับการวางแผนในการก่อสร้างหรือการสร้างกิจกรรมต่างๆ บนดินที่มีค่าความไวตัวที่สูงต่อไป การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาและทำการทดสอบค่าความไวตัวของดินเหนียว โดยใช้เครื่องมือการทดสอบค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบใบพัด (Field Vane Shear Test) จำนวน 50 หลุม ที่ระดับความลึก 2.00-16.00 เมตร หรือจนกระทั่งความลึกที่ประสิทธิภาพของเครื่องมือไม่สามารถทำได้ ซึ่งจะทำการหาค่า Undrained Shear Strength (S_u) พร้อมทั้งสุ่มเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพจำนวน 30 ตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติต่างๆของดินเหนียวในห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งเป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน และทำการวิเคราะห์ผลของชั้นดินทั้งหมดครอบคลุมพื้นที่ศึกษา จะทำให้ได้ลักษณะชั้นดินซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ ซึ่งมีข้อจำกัดของการเข้าถึงพื้นที่อาจจะไม่ได้รับอนุญาตให้ทดสอบภายในที่ แต่ควรมีตัวแทนพื้นที่ โดยสมมติฐานความเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อเดียวกันของชั้นดิน ผู้วิจัยได้ให้ความสนใจไปที่ค่าความไวตัวของดินเหนียว ในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการและค่าธรรมชาติต่างๆของดินที่เป็นปัจจัยต่อค่าความไวตัวของดินเหนียว ซึ่งโดยทั่วไปแล้วปัญหาการทรุดตัวจะพบมากในดินเหนียวอ่อนที่มีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ แต่ถ้าหากดินมีค่าความไวตัวสูงด้วยแล้ว กำลังของดินจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อถูกกระทบกระเทือน ทำให้ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ในที่สุด

2. แนวความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

การทดสอบการหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนจะทำการทดสอบทั้งคงสภาพและดินเปลี่ยนแปลงแบบไม่ระบายน้ำ โดยใช้เครื่องมือการทดสอบแรงเฉือนของดินแบบใบพัด (Field Vane Shear Test) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบกำลังของดินในสนามโดยตรง ไม่จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ จึงสามารถหลีกเลี่ยงผลของการรบกวนดินจากการเก็บตัวอย่างดินได้



Geonor : Casing

รูปที่ 1.1 แสดงเครื่องมือทดสอบทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินและขนาดใบพัดของเครื่องมือทดสอบ

การทดสอบ Field Vane Shear Test (FVT) ในสนาม เครื่องมือในการทดสอบและขั้นตอนตามมาตรฐาน ASTM D2573 ทดสอบโดยใช้อัตราเร็ว $d\theta/dt = 6^\circ/\text{min}$ โดยใช้ระบบเกียร์ในการทำงาน ส่วนใบพัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งค่ากำลังรับแรงเฉือนสามารถหาได้จากสมการที่ (1) สมมติให้ S_u เกิดขึ้นเต็มพื้นที่ผิวใบพัดทั้งหมด

$$S_{u_{FV}} = \frac{6T}{7\pi D^3} \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

- Su_{FV} = ค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนในสนามด้วยไบนเวน (ksc.)
 D = ความกว้างของไบนเวน (cm.)
 T = ค่าโมเมนต์บิด (kg.-cm.)

$$T = T_G \times k_1 \quad (2)$$

เมื่อ

- T_G = ค่าที่อ่านจากเครื่องมือทดสอบแรงเฉือนในสนามด้วยไบนเวน
 k_1 = ค่าปรับแก้โมเมนต์บิด

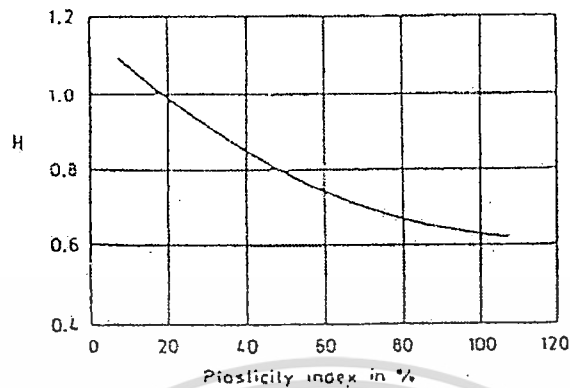
ค่าระดับความไวตัวของดินเหนียวถูกจำแนกได้ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การจำแนกระดับความไวตัวของดินเหนียว (Skempton et al 1952)

ความไวตัว	ชนิดของดินเหนียว
< 2	ไม่มีความไวตัว
2-4	ความไวตัวต่ำ
4-8	ความไวตัวปานกลาง
8-16	ไวตัวมาก
> 16	Quick-clays

พฤติกรรมความไวตัวนี้ได้รับการศึกษาเพิ่มเติมออกไปอย่างมาก ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ดินเหนียวส่วนใหญ่จะสูญเสียกำลังบางส่วนเมื่อดินถูกรบกวน Vongthieres (1966) ได้ทำศึกษาดินบริเวณกรุงเทพฯ หรือที่รู้จักกันดีว่า " Bangkok Clay " ทั้งในชั้น Soft Clay และ Stiff Clay ในสภาพตามธรรมชาติ พบว่าตัวอย่างดินเหนียวที่ความลึก 18 ถึง 22 ฟุต เป็นชั้น Soft Clay และที่ความลึก 45 ถึง 50 ฟุต เป็นชั้น Stiff Clay โดยทำการทดสอบแรงเฉือนด้วยไบนเวน (Laboratory Vane Test) พบว่าถ้า Soft Clay ถูกรบกวนอย่างสมบูรณ์ (Complete Remolded) จะทำให้กำลังรับแรงเฉือนลดลง 90 % จากกำลังรับแรงเฉือนในตัวอย่างคงสภาพ Bjerrum (1973) ได้ทำการศึกษาถึงผลของ Anisotropy ของดินเหนียวที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนในสนามด้วยไบนเวน พบว่าค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนด้วยไบนเวน จะมีค่ามากกว่ากำลังรับแรงเฉือนของดินในสนามจริงๆ เมื่อดินมีค่า Plasticity Index (PI) มากกว่า 20% ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบด้วยไบนเวน โดยใช้ Correction Factor (μ) ที่แปรผันตามค่า PI ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 Bjerrum's Correction Factor (μ)

3. วิธีการดำเนินงาน

1. ทำการศึกษาข้อมูลในการทำโครงการและติดต่อหน่วยงานเพื่อขออนุเคราะห์ข้อมูล เพื่อที่จะทำความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับสภาพปัญหาปัจจุบัน และนำข้อมูลที่ได้ไปวางแผนในการทำงานจริงเพื่อช่วยให้ได้ข้อมูลที่จำเป็นจริงๆ และประหยัดเวลา ค่าใช้จ่ายในการทำงาน ข้อมูลเบื้องต้น เช่น ลักษณะชั้นดิน ความหนาของชั้นดิน เป็นต้น

2. ทำการเก็บตัวอย่าง จะมีการเก็บตัวอย่างของดิน ตามจุดต่างๆที่ทำการวางแผนไว้ก่อน เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมของตัวอย่าง

3. การเลือกสุ่มพื้นที่ตัวแทน หากการตั้งสมมุติฐานให้สภาพพื้นที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน จึงสามารถอนุมานให้ตัวอย่างที่เลือกแทนที่ข้อมูลจุดสำรวจและบริเวณข้างเคียง สำหรับการเลือกพื้นที่กลุ่มตัวแทนนั้น จะใช้พื้นที่ในการทำการทดสอบและเก็บตัวอย่างครอบคลุมพื้นที่ 6 อำเภอ ในจังหวัดสมุทรปราการ อันได้แก่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ อำเภอพระประแดง อำเภอบางพลี อำเภอบางบ่อ อำเภอพระสมุทรเจดีย์ และอำเภอบางเสาธง โดยสุ่มเลือกพื้นที่ตัวแทนสำหรับทดสอบจำนวน 50 ตำแหน่ง

4. ทำการทดสอบค่าความไวตัวของดินเหนียว โดยใช้เครื่องมือการทดสอบค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบใบพัด (Field Vane Shear Test) โดยทดสอบครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ จำนวน 50 หลุม ที่ระดับความลึก 2.00-16.00 เมตร ซึ่งเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนถึงดินเหนียวอ่อนปานกลางหรือถึงชั้นดินที่ไม่สามารถทดสอบได้

5. การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้จากภาคสนามและห้องทดลองมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติต่างๆของดินกับค่าความไวตัว เพื่อหาค่าดัชนีของดินที่เป็นปัจจัยต่อค่าความไวตัวของดินเหนียว

6. การจัดทำฐานข้อมูลของค่าความไวตัวของดิน เพื่อเป็นประโยชน์ในงานก่อสร้างและใช้ในการพิจารณาสัดส่วนค่าความปลอดภัยสำหรับการออกแบบและระมัดระวังสำหรับการวางแผนในการก่อสร้างหรือการวางกิจกรรมต่างๆ บนดินที่มีค่าความไวตัวที่สูงต่อไป











4. ผลการศึกษา

4.1 ลักษณะทั่วไปของชั้นดินเหนียวอ่อนของพื้นที่ศึกษา

จากการเจาะสำรวจ ทดสอบ FVT ในที่และทดสอบคุณสมบัติของชั้นดินในห้องปฏิบัติการ พบลักษณะของชั้นดินได้ 3 กลุ่มดังนี้

กลุ่มชั้นดินที่ 1 มีค่าความไวตัวแปรปรวนอยู่ในช่วงกว้าง ค่าความไวตัวของดินระหว่าง Non sensitivity to Medium Sensitivity แสดงขอบเขตในพื้นที่ฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา อาทิ พื้นที่เขตอุตสาหกรรมพระประแดงและบริเวณข้างเคียงที่มีการใช้พื้นที่เพื่องานก่อสร้าง เช่น งานถนนทางหลวง อาคารโรงงานและอาคารขนาดใหญ่ มีค่าความไวตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนอยู่ในระดับ Non Sensitivity to Low Sensitivity ส่วนพื้นที่ที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่มีเพียงอาคารบ้านเรือน ที่อยู่อาศัย ชั้นดินมีค่าความไวตัวของดินในระดับ Low Sensitivity to Medium Sensitivity ซึ่งตัวแทนของชั้นดินบริเวณดังกล่าวแสดงในตารางที่ 4.1

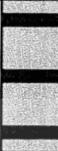

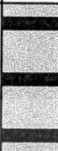













ตารางที่ 4.1 แสดงค่าระดับความไวตัวของดินในพื้นที่ตัวแทนชั้นดินกลุ่มที่ 1

Laem-Fa-Pha			Farm Area		
Depth, m from-to	Sensitivity	Symbol	Depth, m from-to	Sensitivity	Symbol
2.0-3.0 OH-MH	4-6		2.0-4.0 OH-MH	2.0-2.8	
4.0-5.0	1.5		4.0-6.0	1.5	
5.0-19.1 CH	2.1-3.1		6.0-10.0 CH	2.1-3.1	
			10.0-13.0	5.8-7.0	
19.2	hard layer		13.0-15.0	2.3-3.5	
			15.2	Stiff Clay	

กลุ่มชั้นดินที่ 2 มีค่าความไวตัวในช่วงแคบ มีค่าความไวตัวของชั้นดินระหว่าง Low sensitivity to Medium Sensitivity อยู่ในพื้นที่ฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา ส่วนใหญ่พื้นที่ในเขตอุตสาหกรรม เช่น นิคมอุตสาหกรรมบางปู นิคมอุตสาหกรรมบางพลี แสดงในตารางที่ 4.2










เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าระดับความไวตัวของดินในพื้นที่ตัวแทนชั้นดินกลุ่มที่ 2






นิคมบางปู			วัดสุทัศน์ธรรม อ.บางบ่อ			คลองสวน		
Depth m	Sensitivity	Symbol	Depth m	Sensitivity	Symbol	Depth m	Sensitivity	Symbol
2.5-5.5	2.5-3.2		2.0	2.5		2.0-6.0	2.7-3.1	
OH-MH			3.0	2.0				
			4.0	2.2				
5.5-6.5	1.5		5.0	1.9				
6.5-10.0	4.5-5.2		6.0-8.0	2.0-3.1		6.1-10.0	2.1-3.5	
CH								
10-11	2.5							
11-14	4.0-5.2		9.0	1.8				
CH								
			10.0-14.0	2.0-4.0		10.1-14.0	3.0-3.5	
			14.0	5.1		14.0-15.0	1.8	
						15.0-16.0	3.5	
			15.0-17.0	2.0-3.2				

กลุ่มชั้นดินที่ 3 มีค่าความไวตัวของชั้นดินอยู่ในระดับ Non Sensitivity to Low Sensitivity เป็นพื้นที่ข้างเคียงบริเวณที่ชั้นดินเหนียวอ่อนได้รับการปรับปรุงคุณภาพบริเวณ ถนนบางนา-ตราด ถนนกิ่งแก้ว และพื้นที่ถนนรอบสนามบินสุวรรณภูมิ โดยการทดสอบในพื้นที่บริเวณดังกล่าวสามารถได้ลึกมากที่สุดเพียง 9-13 เมตรเท่านั้น แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าระดับความไวตัวของดินในพื้นที่ตัวแทนชั้นดินกลุ่มที่ 3

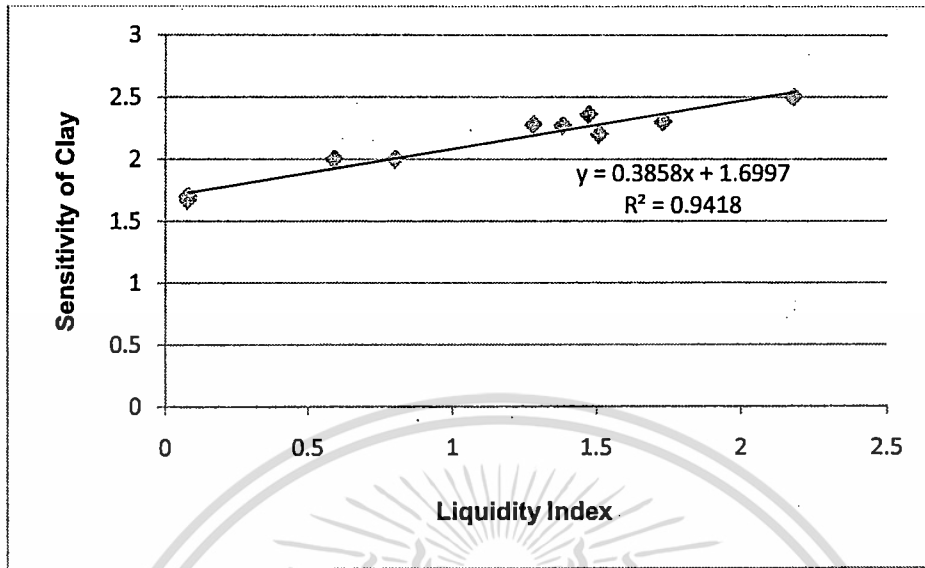
South Airport		
Depth m	Sensitivity	Symbol
2.0-2.15	2.3	
3.0	1.9	
4.0	2.4	
5.0	2.8	
6.0	2.8	
7.0	2.4	
8.0	2.7	
9.0	4.0	
CH		
10.0	Hard Clay	

SYMBOL

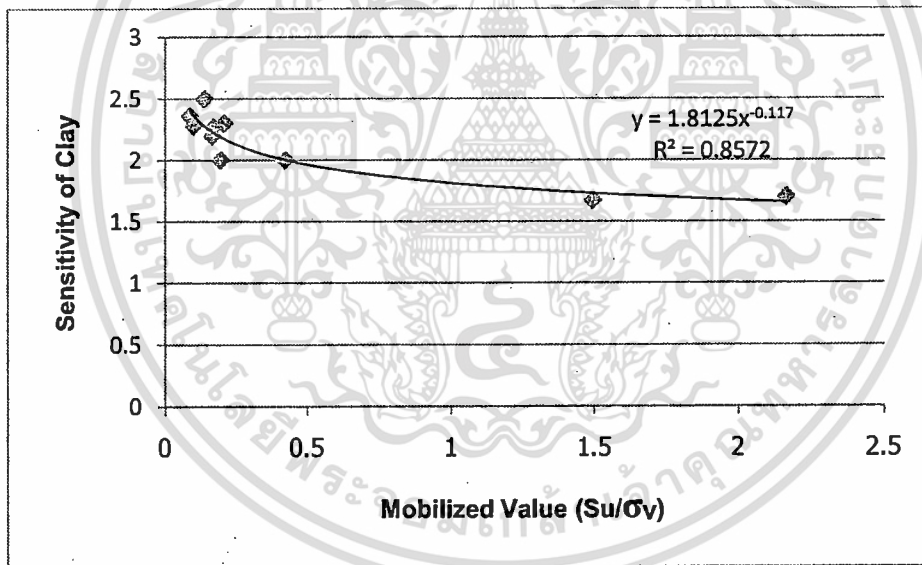
< 2		Insensitive Clay
2-4		Low Sensitive Clay
4-8		Medium Sensitive Clay
8-16		Extra Sensitive Clay
16 up		Quick Clay

การหาค่าความสัมพันธ์ของค่าดัชนีของเหลว (Liquidity Index) กับค่าความไวตัวของดินเหนียวพบว่า ค่าดัชนีของเหลว (Liquidity Index) มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันตามกับค่าความไวตัวของดิน แสดงในรูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่าง ค่ากำลังแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำกับค่าแรงดันดินกดทับประสิทธิผลกับค่าความไวตัวของดินเหนียวพบว่ามีความสัมพันธ์แบบผกผัน แสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Liquidity Index (L.I) กับค่า Sensitivity of Clay



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Mobilized Value (S_u/σ_v) กับค่า Sensitivity of Clay

ส่วนคุณสมบัติพื้นฐานด้านวิศวกรรมของชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ มีค่าที่แปรปรวนและมีช่วงของค่าคุณสมบัติกว้าง ซึ่งเมื่อพล็อตหาค่าความสัมพันธ์ไม่พบความสัมพันธ์ที่เด่นชัด

6. เอกสารอ้างอิง

1. Skempton, A. W. and Northey, R.D., 1952, "The Sensitive of Clays", Geotechnique, Vol.2, No. 1, pp.30-33.
2. Vongthieres, D., 1966, An Evaluation of Pile Foundation in Bangkok Area, Master of Engineering Thesis, Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, SEATO Graduate School of Engineering, pp.39-41.
3. Bjerrum, L., 1973, "Problems of Soil Mechanics and Construction of Soft Clays", Proceedings of the Eighth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 3, No. 2 pp. 111-159.
4. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2545. ข้อมูลสภาพดินบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายถาวร พรหมรัมย์
 วัน เดือน ปีเกิด 4 กุมภาพันธ์ 2522
 ที่อยู่ 158/9 หมู่ที่ 3 ต.วังขนาบ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี 71110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2547 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2548-2553 วิศวกรโยธา บริษัท ไทยเอนจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด
 พ.ศ. 2553-ปัจจุบัน วิศวกรโยธา บริษัท โซติจินดา มูเชล คอนซัลแตนท์ จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้