

คุณสมบัติดินที่มีผลต่อการก่อสร้างเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ ในโครงการระบายน้ำบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

Soil Properties Effect on Construction of Soil-Cement Column in Drainage System Suvarnabhumi International Airport Project

สมพงษ์ โรจน์กิ่งสาดล (Sompong Rojkansadarn)¹

รศ.ดร.วรากร ไม้เรียง (Warakorn Mairaing)²

¹ นิสิตปริญญาโท, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, pong_gte@hotmail.com

² รองศาสตราจารย์และหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
mairaing@yahoo.com

บทคัดย่อ : โครงการระบายน้ำบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิตั้งอยู่ในเขตตำบลบางปลา อำเภอบางพลี และตำบลบางปู อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ เนื่องจากโครงการนี้เป็นงานในชั้นดินอ่อนมาก จึงมีการปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากโดยใช้เสาเข็มดิน-ซีเมนต์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงบริเวณลาดคันคลองและเสริมความมั่นคงแข็งแรงของชั้นฐานรากถนน การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดคลองต้องการข้อมูลค่ากำลังรับแรงเฉือนและความลึก ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการจัดทำเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนและความลึก แล้ว 2 รูปแบบคือ 1.เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนและความลึก โดยที่ค่ากำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นตามความลึก (Pattern “A”) 2.เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนและความลึก โดยที่ค่ากำลังรับแรงเฉือนคงที่ตามความลึก (Pattern “B”) ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา วิเคราะห์ ถึงคุณสมบัติดินที่มีผลต่อการก่อสร้างเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ เพื่อจัดทำเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนและความลึก (Pattern “C”) โดยใช้ข้อมูลผลการทดสอบแรงเฉือนของดินในสนาม (Field Vane Shear Test) ของโครงการระบายน้ำบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิจำนวน 74 หลุม เมื่อนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ทำให้เห็นถึงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินสอดคล้องกับทฤษฎี SHANSEP (Ladd and Foott ,1974) ว่าค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวจะเป็นสัดส่วนกับค่า σ'_{vo} ซึ่งเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนและความลึก (Pattern “C”) มีลักษณะค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินในชั้น Crust จะลดลง ส่วนค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินในชั้นดินเหนียวอ่อนจะค่อยๆเพิ่มจากศูนย์ตามความสัมพันธ์ของ Strength Ratio และเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความลึกต่างๆ สามารถนำค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินหาค่าความปลอดภัย โดยอาศัยทฤษฎี Slope Stability Analysis เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเสาเข็มดิน-ซีเมนต์

ABSTRACT: Slope Stability Analysis needs soil strength versus depth data. In the past, to do soil strength versus depth chart was classified into two typical patterns as 1. Pattern “A” chart is soil strength increasing with depth 2. Pattern “B” chart is the soil strength not increasing with depth but constant through depth. Thus, the main objective of this research is to do study and analysis of soil properties with effect on construction of soil-cement column by using soil strength versus depth chart (Pattern “C”) associate with field vane shear test in study area (Drainage System Suvarnabhumi Airport Project), approximately 74 test hole. Fortunately, soil strength data in Pattern “C” chart agree with SHANSEP Theory (Ladd and Foott, (1974)) in which soil strength is proportional to

σ'_{vo} . The soil strength versus depth chart (Pattern “C”) in crust layer is reduced to some depth above soft soil layer. At that point, when extending the soil strength line to original ground line, mostly pass through zero point (origin) and is considerably straight line. This will show that the soil strength in very soft clay layer has been increased from zero by relative strength ratio. In fact, the application of soil strength versus depth chart (Pattern “C”) is used to find factor of safety in case of slope stability analysis.

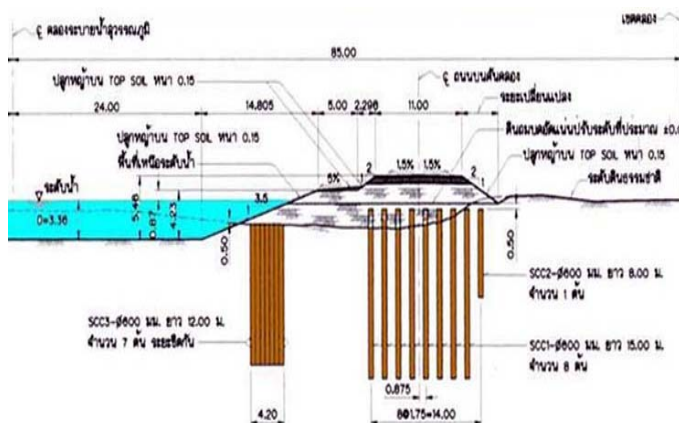
KEYWORDS: Soil-cement column, Slope Stability Analysis, Strength Chart

1. บทนำ

โครงการระบายน้ำบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ เป็นการก่อสร้างคลองระบายน้ำโดยมีดินคลองอยู่ที่คลองลำโรง วางแนวในทิศทางเหนือ-ใต้ ผ่านถนนเทพารักษ์ ไปถึงบริเวณใกล้กับคลองชายทะเลดังกล่าวที่ 1 ประกอบด้วย งานขุดคลองระบายน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ขนาดท้องคลองกว้าง 48 เมตร ความลึกของน้ำในคลอง 3.36 เมตร รวมความยาวประมาณ 11.82 กิโลเมตร มีอัตราการระบายน้ำสูงสุด 100 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ที่ตั้งโครงการระบายน้ำบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ



ภาพที่ 2 รูปตัดแสดงมิติคลองและเสาเข็มดิน-ซีเมนต์

โครงการนี้ตั้งอยู่ในจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนหนึ่งใน 13 จังหวัดที่เป็นชั้นดินเหนียวอ่อน จึงมีการปรับปรุงคุณภาพดินฐานรากโดยใช้เสาเข็มดิน-ซีเมนต์ ทั้งหมด 4 วิธี คือ 1.Low Pressure Mechanical Mixing 2.Jet Grouting 3.Modified Dry Mixing 4. High Pressure Mechanical Mixing เนื่องจากการก่อสร้างและการออกแบบเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ต้องใช้ข้อมูลค่ากำลังรับแรงเฉือนและความลึก แต่ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการจัดทำเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนและความลึก แล้ว 2 รูปแบบดังที่กล่าวมาแล้วนั้นยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ ดังนั้นงานวิจัยนี้ ได้มีการจัดทำเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนและความลึก (Pattern “C”) แล้วนำข้อมูลดินระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมมาศึกษาสหสัมพันธ์ (Correlation) เชิงสถิติเพื่อสะดวกต่อการนำไปใช้งานการก่อสร้างเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ต่อไป

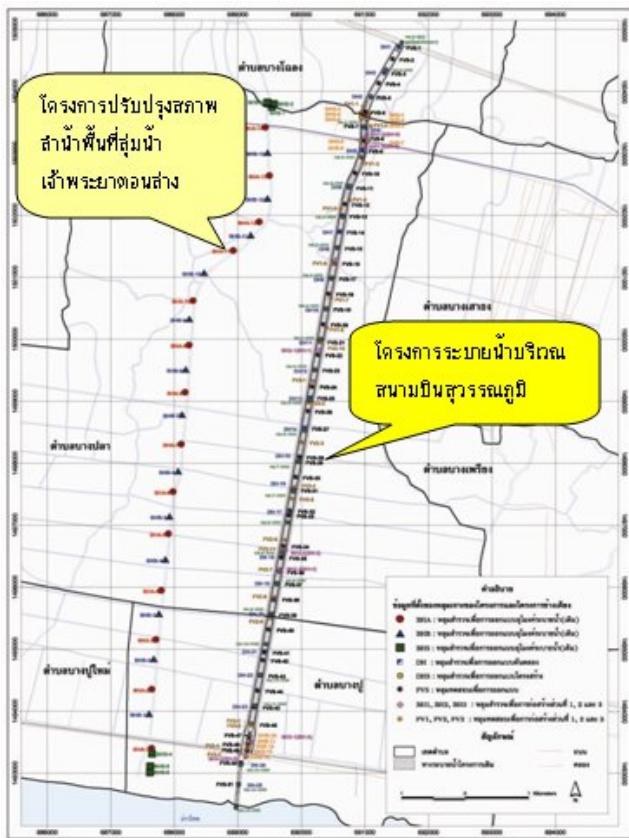
2. วิธีการ

วิจัยโดยใช้ข้อมูลผลการทดสอบแรงเฉือนของดินในสนาม (Field Vane Shear Test) จำนวน 74 หลุม (เป็นข้อมูลของโครงการระบายน้ำบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิจำนวน 23 หลุม และโครงการปรับปรุงสภาพลำน้ำพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างจำนวน 51 หลุม) ดังภาพที่ 3 โดยนำข้อมูลทั้งหมดมาปรับแก้ค่า Van Shear Strength ที่ได้จากการทดสอบแรงเฉือนของดินในสนามดังภาพที่ 4 แล้วนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินและความลึกตลอดจนแสดงขอบเขตบนและขอบเขตล่างของข้อมูลพร้อมทั้งค่าเฉลี่ยในชั้นของ Soft Clay ทำให้สามารถเห็นแนวโน้มคุณลักษณะของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ได้ ซึ่งกราฟมีลักษณะเอียงโดยเริ่มจากศูนย์และค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความลึกดังภาพที่ 5 ตรงกับทฤษฎีของ SHANSEP ย่อมาจาก Stress History and Normalized Soil Engineering

Properties ที่พัฒนาโดย Ladd and Foott (1974) เป็นวิธีที่ใช้หาค่ากำลังความแข็งแรงของดินเหนียว ในสภาพ Undrained Shear Strength (S_u) และใช้ได้สำหรับดินเหนียวอ่อน หลักการพื้นฐานของวิธีการนี้ได้จากการตั้งสมมติฐานว่า ค่ากำลังของดินเหนียว (S_u) จะเป็นสัดส่วนกับค่า σ'_{vo} เมื่อดินเหนียวเกิดการตกตะกอนทับถมกันเป็นชั้นๆ ในระยะเวลาอันนานและเกิดการทรุดตัวภายใต้ น้ำหนักกดทับของตัวเอง ทำให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความลึกที่เพิ่มด้วยคุณสมบัติเช่นนี้ ค่า S_u สามารถเขียนในรูปของสมการดังนี้

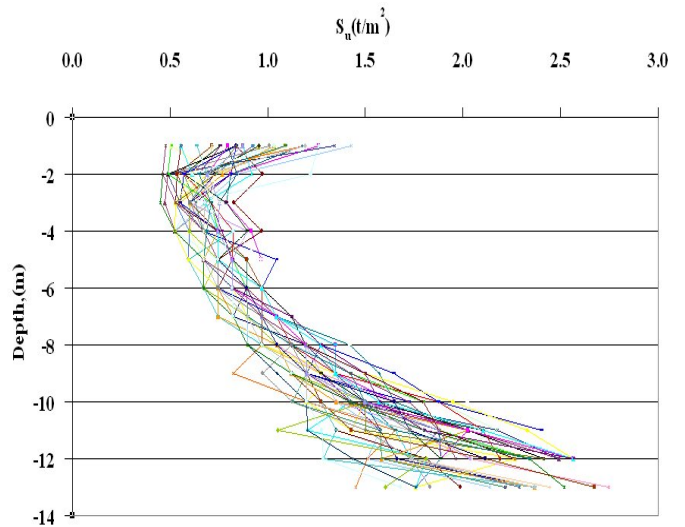
$$\frac{S_u}{\sigma'_{vo}} = S(O.C.R.)^M \quad (1)$$

- เมื่อ ; S_u = Undrained Shear Strength ($\phi=0$)
- σ'_{vo} = Effective Overburden Pressure
- S = Strength Ratio
- O.C.R. = Overconsolidation Ratio
- M = 0.7-0.9

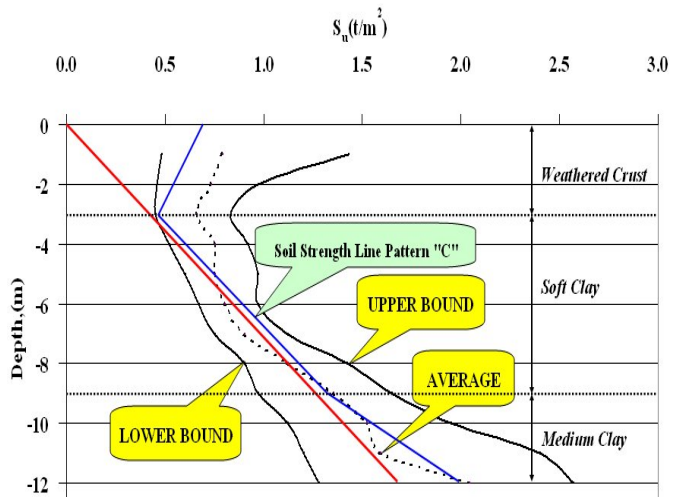


ภาพที่ 3 แสดงตำแหน่งหลุมเจาะของโครงการระบายน้ำบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ และโครงการปรับปรุงสภาพน้ำพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

ค่า Strength Ratio ของดินในแต่ละบริเวณมีค่าคงที่สำหรับการวิเคราะห์ครั้งนี้ค่า Strength Ratio อยู่ระหว่าง 0.15-0.30 เพื่อให้ครอบคลุมในขอบเขตของกลุ่มข้อมูลทั้งหมด แล้วนำไปหาค่า Undrained Shear Strength โดยแปรผันตามค่า Strength Ratio ในการวิเคราะห์ครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงค่า Strength Ratio ของพื้นที่โครงการที่มีช่วงกว้างเนื่องจากข้อมูลผลการทดสอบแรงเฉือนของดินในสนาม (Field Vane Shear Test) ได้ข้อมูลจาก 2 โครงการแล้วนำมารวมกันโดยมีช่วงเวลาของการทดสอบที่แตกต่างกัน และความแปรปรวนของคุณสมบัติดินทั้ง 2 โครงการที่มีระยะห่างกันประมาณ 2 กิโลเมตร

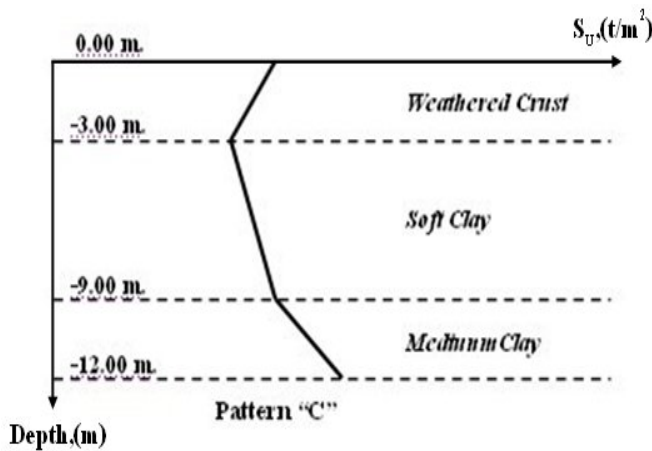


ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินและความลึกจากข้อมูลผลการทดสอบแรงเฉือนของดินในสนามที่ปรับแก้ค่า Vane Shear Strength



ภาพที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินและความลึกเชิงเข้าสู่ศูนย์

เมื่อนำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินและความลึก ดังภาพที่ 5 มาวิเคราะห์สามารถแบ่งระดับความลึกของชั้นดินได้ 3 ระดับ ดังภาพที่ 7 ดังนี้ 1. Weathered Crust (ช่วงความลึก 0.00 ถึง -3.00 เมตร) รูปแบบของเส้นกำลังแบ่งซอยออกเป็นช่วงเท่า ๆ กัน คือ 0.3 t/m^2 มีมุมเริ่มต้นเท่ากับ 18° 2. Soft Clay (ช่วงความลึก -3.00 ถึง -9.00 เมตร) รูปแบบของเส้นกำลังแบ่งซอยออกเป็นช่วงตามค่าของ Strength Ratio 3. Medium Clay (ช่วงความลึก -9.00 ถึง -12.00 เมตร) รูปแบบของเส้นกำลังแบ่งซอยออกเป็นช่วงเท่า ๆ กัน คือ 0.4 t/m^2 มีมุมเริ่มต้นเท่ากับ 47° ทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินและความลึก เรียกว่า Soil Strength Line Pattern "C" ดังภาพที่ 8 ที่หมายถึงเส้นกราฟความสัมพันธ์ที่แปรผันตามค่า Strength Ratio ประกอบด้วย Soil Strength Line (SSL) ทั้งหมด 8 เส้น ที่เรียงตามค่า Soil Strength Line จากน้อยไปหามาก ซึ่งสามารถบอกถึงความแข็งแรงของชั้นดินในแต่ละหลุมที่นำมา plot ได้



ภาพที่ 7 แบบลักษณะกำลังของดินเหนียวอ่อนใน โครงการฯ ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้

จากข้อมูลหลุมเจาะสำรวจสภาพชั้นดินของโครงการระบายน้ำบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ จำนวน 8 หลุม และผลการทดสอบแรงเฉือนของดินในสนาม (Field Vane Shear Test) จำนวน 74 หลุม สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ เพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนในโครงการฯ ในช่วงความลึก 1.00 -15.00 เมตร และวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation, COV) ของคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนในโครงการฯ ซึ่งหา

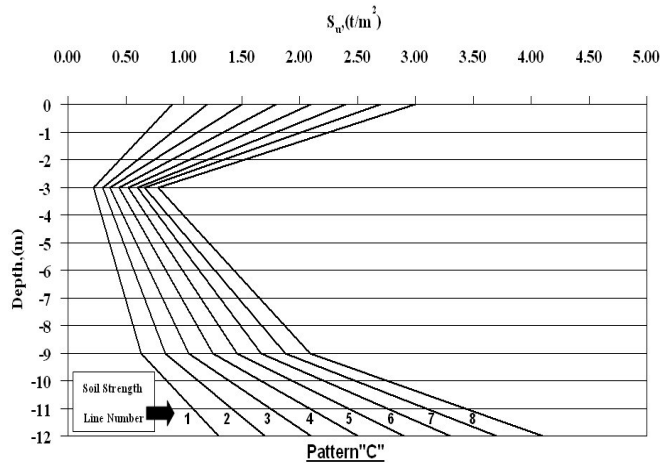
ได้จากอัตราส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าเฉลี่ยเลขคณิตใช้ในการเปรียบเทียบการกระจายของข้อมูล 2 ชุด ที่มีหน่วยแตกต่างกันเป็นวิธีที่นิยมใช้อยู่ในรูปร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์

3. ผลการวิจัย

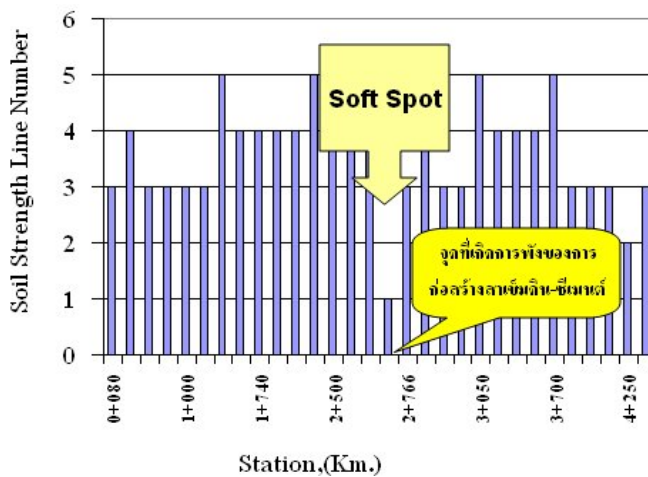
3.1 ได้ลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินและความลึก เรียกว่า Soil Strength Line Pattern "C" ดังภาพที่ 8 มีลักษณะของค่ากำลังรับแรงเฉือนค่อยๆ ลดลงตามความลึกในชั้น Weathered Crust (ช่วงความลึก 0.00 ถึง -3.00 เมตร) แล้วจากนั้นในชั้น Soft Clay (ช่วงความลึก -3.00 ถึง -9.00 เมตร) ค่ากำลังรับแรงเฉือนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น และชั้น Medium Clay (ช่วงความลึก -9.00 ถึง -12.00 เมตร) ค่ากำลังรับแรงเฉือนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น ในการนำ Soil Strength Line Pattern "C" ไปใช้จะนำค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินและความลึกต่างๆ ที่ได้จากการเจาะสำรวจชั้นดินจากโครงการระบายน้ำบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิที่มีการปรับแก้ค่าแล้วนำมา Plot ลงไปใน Soil Strength Line Pattern "C" จากนั้นเลือก Soil Strength Line ที่ใกล้เคียงที่สุด จากภาพที่ 9 เมื่อนำผลการทดสอบแรงเฉือนของดินในสนามที่ปรับแก้ค่า Van Shear Strength มา plot ใน Soil Strength Line Pattern "C" ทำให้ทราบถึงค่า Soil Strength Line ตามความยาวของโครงการฯ เมื่อนำผลการ plot นี้เทียบกับการก่อสร้างเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ในหน้างานจริง พบว่าตรงกับตำแหน่งที่เกิดการพังของการก่อสร้างเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ ดังภาพที่ 10 โดยให้ค่า Soil Strength Line เท่ากับ 1 และจากผลดังกล่าวสามารถบอกถึงตำแหน่งที่เป็น Soft Spot (จุดที่ดินมีลักษณะอ่อนมากกว่าปกติ) ตลอดความยาวของโครงการฯ ทำให้สามารถวางแผนการทดสอบแรงเฉือนของดินในสนาม (Field Vane Shear Test) และการออกแบบเสาเข็มดิน-ซีเมนต์เพิ่มเติมในกรณีที่เป็น Soft Spot เพื่อให้ครอบคลุมและสอดคล้องกับลักษณะของสภาพชั้นดิน

3.2 จากการวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปค่าเฉลี่ยและค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนในโครงการฯ ในช่วงความลึก 1.00 -15.00 เมตร ที่เป็นลักษณะของชั้นดินเหนียวอ่อน ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 จากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนดังตารางที่ 2 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยทั่วไปมีค่ามากกว่า 20% ยกเว้นค่า

สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของค่า γ_t ที่มีค่าค่อนข้างต่ำแสดงว่าข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีความแปรปรวนสูง



ภาพที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินและความลึก เรียกว่า Pattern "C"



ภาพที่ 9 ค่า Soil Strength Line ตามความยาวของโครงการฯ และจุดที่เกิดการพังของการก่อสร้างเสาเข็มดิน-ซีเมนต์



ภาพที่ 10 ตำแหน่งที่เกิดการพังของการก่อสร้างเสาเข็มดิน-ซีเมนต์ ภายในโครงการระบายน้ำบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนในโครงการฯ ในช่วงความลึก 1.00 -15.00 เมตร

พารามิเตอร์	หน่วย	จำนวนข้อมูล	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ยแบบช่วง
W_n	%	121	137.80	18.90	60.87-107.55
LL	%	59	123.40	48.10	75.57-106.11
PL	%	59	47.80	21.20	31.74-42.62
PI	%	59	81.40	26.90	42.70-64.64
γ_t	t/m ³	118	1.89	1.33	1.47-1.67
S_{uc}	t/m ²	117	4.30	0.10	0.55-2.31
S_{FV}	t/m ²	1208	5.59	0.11	0.52-2.08
S_v	-	1161	11.14	1.00	2.90-5.66

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนในโครงการฯ ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน
W_n	%	27.71%
LL	%	16.81%
PL	%	14.63%
PI	%	20.45%
γ_t	t/m ³	6.49%
S_{uc}	t/m ²	61.40%
S_{FV}	t/m ²	60.36%
E_{50}	t/m ²	71.96%
S_v	-	32.17%

4. สรุปผล

4.1 จากข้อมูลผลการทดสอบแรงเฉือนของดินในสนาม (Field Vane Shear Test) จำนวน 74 หลุม ของโครงการระบายน้ำบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิและโครงการปรับปรุงสภาพลำน้ำพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง เมื่อนำมาวิเคราะห์สามารถแบ่งระดับความลึกของชั้นดินได้ 3 ระดับ ดังนี้
 1. Weathered Crust (ช่วงความลึก 0.00 ถึง -3.00 เมตร) ค่ากำลังรับแรงเฉือนค่อยๆ ลดลงตามความลึก
 2. Soft Clay (ช่วงความลึก -3.00 ถึง -9.00 เมตร) ค่ากำลังรับแรงเฉือนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น
 3. Medium Clay (ช่วงความลึก -9.00 ถึง -12.00

เมตร) ค่ากำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นตามความลึกที่เพิ่มขึ้น ทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินและความลึก เรียกว่า Soil Strength Line Pattern “C” ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงเพื่อประโยชน์ในการก่อสร้างเสาเข็มดิน-ซีเมนต์

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจสภาพชั้นดินของโครงการระบายน้ำบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ จำนวน 8 หลุม และผลการทดสอบแรงเฉือนของดินในสนาม (Field Vane Shear Test) จำนวน 74 หลุม โดยใช้โปรแกรมทางสถิติสามารถสรุปค่าเฉลี่ยและค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนในโครงการฯ ในช่วงความลึก 1.00 -15.00 เมตร ว่าข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีการกระจายตัวและความแปรปรวนค่อนข้างสูง ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังกล่าวจะนำไปหาค่าสัดส่วนความปลอดภัย เพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งในการออกแบบเสาเข็มดิน-ซีเมนต์

5. ข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นข้อมูลภายในโครงการระบายน้ำบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ ยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของจังหวัดสมุทรปราการ

5.2 หากมีการทำวิจัยต่อโดยขยายพื้นที่ให้ครอบคลุมมากขึ้น เพื่อประโยชน์ในการนำ Soil Strength Pattern “C” ไปปรับใช้กับโครงการอื่นได้

6. กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณโครงการระบายน้ำบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ ที่ได้ให้ความร่วมมือ และมอบข้อมูลสำหรับงานศึกษาวิจัย ทำให้การเผยแพร่บทความครั้งนี้สำเร็จลงได้

บรรณานุกรม

- [1] ระพินทร์ โพธิ์ศรี, 2549. สถิติเพื่อการวิจัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [2] มณฑา ตันดิพรหมินทร์, 2546. แผนภูมิสำหรับการออกแบบความสูงดินทางบนชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[3] รศศุคนธ์ ชื่นวัฒนา, 2546. การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[4] D.T. Bergado, J.C. Chai, M.C.Alfaro and A.S. Balasubramaniam, 1992. Improvement Techniques of Soft Ground in Subsiding and Lowland Environment. Division of Geotechnical & Transportation Engineering. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.