

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดิน เพื่อวิเคราะห์ถนนเลียบบคันคลอง ในบริเวณดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ

Correlation between Electrical Resistivity and Undrained Shear Strength

For Analysis of Canal Embankment Road in Bangkok Soft Clay Area

ณัฐ สุทธิ¹ ศลิษา ไชยพุทธ² และ ทวีพงษ์ สุขสวัสดิ์^{3,*}

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

³ สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา, กรมทางหลวงชนบท, กระทรวงคมนาคม

*Corresponding author; E-mail address: nutsutti@hotmail.com

บทคัดย่อ

ถนนเลียบบคันคลองที่ก่อสร้างอยู่ในพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (Bangkok Soft Clay) ครอบคลุมพื้นที่มากกว่า 14 จังหวัด ในเขตภาคกลางและภาคตะวันออก จากวิกฤตการณ์ภัยแล้งที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ส่งผลให้ถนนหลายเส้นทางเกิดการทรุดตัว เนื่องจากระดับน้ำในคลองลดระดับอย่างรวดเร็ว รัฐบาลต้องสูญเสียงบประมาณจำนวนมาก ในการซ่อมแซม การวิเคราะห์เสถียรภาพถนนเลียบบคันคลอง เพื่อหาแนวทางป้องกันก่อนเกิดเหตุ เป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาข้างต้น โดยปัจจุบันข้อมูลตัวแปรของชั้นดิน (Parameters) ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ล้วนเป็นข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจดินในสนาม (Field Investigation) ซึ่งเป็นข้อมูลดินเพียงไม่กี่จุด เพื่อเป็นตัวแทน บอกลักษณะชั้นดินในบริเวณที่ต้องการวิเคราะห์เสถียรภาพ การสำรวจ ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของดิน (Resistivity Survey) ซึ่งเป็น เครื่องมือสำรวจสภาพธรณีวิทยา ที่ใช้ในการทดสอบค่าความต้านทาน ทางไฟฟ้าของดิน ซึ่งทดสอบได้ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง แต่ยังไม่สามารถใช้หาค่ากำลังของดินได้ ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ จึงเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้าและกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดิน (Undrained Shear Strength) ที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี Screw Driving Sounding Test (SDS) เมื่อทราบค่ากำลังรับแรงเฉือนของชั้นดิน จะสามารถนำไปแปลงเป็นตัวแปรอื่นได้ เช่น หน่วยแรงยึดเกาะ, มุมเสียดทานภายใน และหน่วยแรงอัด ของดิน เป็นต้น

คำสำคัญ: ถนนเลียบบคันคลอง, ดินเหนียวอ่อน, ความต้านทานไฟฟ้า, กำลังรับแรงเฉือน

Abstract

Canal embankment road that is constructed in Bangkok Soft Clay area which cover among 14 provinces of the central and the east of Thailand. During the drought every year, there are

several roads collapsed because the water level in canals decreases rapidly. The government must pay the large amount of budget for repair and prevent recurrence. Accordingly, the slope stability analysis is one method of remedy the problem. Recently, the parameters of soil is used for analysis, design and remedy the problem. The data obtained from Soil Boring Test which the field Investigation. The test results are only a few points to represent the soil layer for slope stability analysis. Resistivity survey is one of the tools that used to explore the underground geological in wide area. This tool use for measure Electrical Resistivity of soil however this tool cannot estimate the shear strength. In consequence, this research studied the Correlation between Electrical Resistivity and Undrained Shear Strength (Su) by screw driving sounding test (SDS). When knowing the value of Shear Strength of the soil layer, we can be converted to other parameters such as Cohesion (C), Friction angle (ϕ) and Unconfined compressive strength (q_u).

Keywords: Canal Embankment Road, Soft Clay, Electrical Resistivity, Shear Strength

1. คำนำ

เนื่องจากปัญหาถนนเลียบบคันคลองที่ก่อสร้างอยู่ในพื้นที่ดินเหนียวอ่อน กรุงเทพฯ (Bangkok Soft Clay) เกิดการทรุดตัวบ่อยครั้งในช่วงฤดูร้อน สาเหตุหนึ่งเกิดจากดินในพื้นที่มีกำลังรับน้ำหนักขที่ต่ำ ประกอบกับระดับน้ำในคลองที่เปรียบกับถนนลดระดับอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown) ส่งผลให้น้ำในมวลดินระบายออกมาไม่ทัน ดินบริเวณเชิงลาดของถนน (Toe Slope) จึงอุ้มน้ำและเกิดแรงดันเนื่องจากน้ำพยายามที่จะไหลออกมา มวลดิน แรงดันน้ำดังกล่าวถ้ามากพอจะทำให้คันทางที่อยู่ด้านบนเกิดการพิบัติ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปัญหาดินถนนเลียบคันคลองทรุดตัวเนื่องจากระดับน้ำในคลองลดระดับลงถนนสาย อย.1043 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา กรมทางหลวงชนบท (มกราคม 2563)

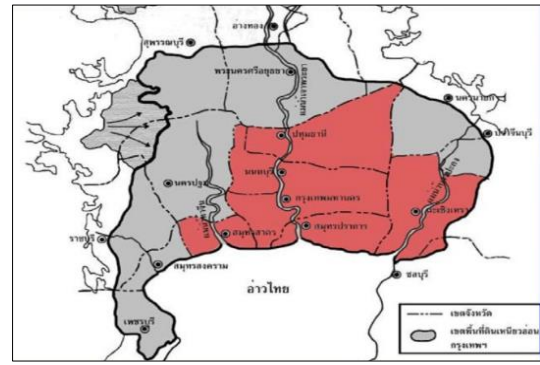
การวิเคราะห์เสถียรภาพคันทางของถนนเลียบคันคลองในปัจจุบันจำเป็นต้องใช้ข้อมูลตัวแปรของชั้นดิน (Parameters) หลายค่า โดยข้อมูลดังกล่าวต้องอาศัยการเจาะสำรวจดินในสนาม (Field Investigation) ซึ่งการออกสำรวจต้องทำการทดสอบดินในสนามและเก็บตัวอย่างดินไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ ส่งผลให้ต้องรอผลทดสอบเป็นเวลานาน

การสำรวจค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของดิน (Resistivity Survey) แต่เดิมเป็นเครื่องมือที่ใช้ในงานทางธรณีวิทยาเพื่อใช้สำรวจกายภาพของดิน โดยดูจากความต่างของความต้านทานทางไฟฟ้าของแต่ละชั้นดิน ซึ่งให้ผลได้ทันทีหลังการทดสอบ เครื่องมือสำรวจค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของดินได้ถูกนำมาใช้ในงานวิศวกรรมเมื่อไม่นานมานี้ เพื่อใช้สำรวจหาจุดที่มีความเสี่ยงต่อการวิบัติ (Soft Spot) ของเชิงลาดถนน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพ แต่ยังไม่มีการศึกษาถึงกำลังความแข็งแรงของดินที่สัมพันธ์กับความต้านทานไฟฟ้า ในงานวิจัยฉบับนี้จัดทำเพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสอง เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้งานวิเคราะห์เสถียรภาพและออกแบบแนวทางการแก้ไขต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขอบเขตพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

ชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เป็นดินตะกอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ (Holocene epoch) ที่ได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีน เป็นส่วนใหญ่ มีแม่น้ำแม่กลองและแม่น้ำบางปะกงเสริมอยู่ทางทิศตะวันตกและตะวันออกตามลำดับ ครอบคลุมพื้นที่ 14 จังหวัด ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขอบเขตของพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (รศ.ดร.วรารักษ์ ไม้เรียง, 2553)

2.2 หลักเกณฑ์พิจารณาคุณสมบัติความเป็นดินอ่อน

โดยทั่วไปคำว่า “ดินอ่อน” จะมีความหมายครอบคลุมถึง ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay Soil) ดินที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นดินจำพวก ดินแป้ง (Silty Soil) หรือดินเหนียว (Clayey Soil) ที่มีความชื้นในมวลดิน (Natural Water Content, W_n) สูง ดินที่ประกอบด้วยวัสดุจำพวกอินทรีย์สาร (Peat) หรือทรายหลวมที่ตกตะกอนใกล้หรือใต้ระดับน้ำ (Kamon และ Bergado 1991) โดยสามารถแบ่งคุณสมบัติได้ 2 รูปแบบ คือ

2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) คือ ค่าความชื้น

ในมวลดินตามธรรมชาติ (Water Content, W_n) พิกัดเหลว (Liquid Limit, LL) พิกัดพลาสติก (Plastic Limit, PL) ดัชนีพลาสติก (Plastic Index, PI) ดัชนีเหลว (Liquid Index, LI) และ หน่วยน้ำหนักของดิน (Unit weight, γ)

2.2.2 คุณสมบัติทางวิศวกรรม (Engineering Properties)

ในงานทางวิศวกรรม เช่น งานถนน การออกแบบโครงสร้างชั้นทาง จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึงว่า ชั้นฐานรากมีกำลังเพียงพอหรือไม่ที่จะรับน้ำหนักภายนอกที่มากระทำ ด้วยเหตุนี้เองคุณสมบัติที่ใช้ชี้วัดความเป็นดินอ่อน จึงใช้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเป็นหลัก ซึ่งโดยทั่วไปค่ากำลังรับแรงเฉือนจะถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการแบ่งระดับความเป็นดินอ่อนดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตอกแบบมาตรฐาน (SPT-N) กับค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดิน (S_u) และเกณฑ์ในการแบ่งระดับความเป็นดินอ่อน (Terzaghi และ Peck, 1967)

ค่าการตอกแบบมาตรฐาน, SPT-N (blows/ft)	กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, S_u (kPa)	ระดับความเป็นดินอ่อน, Consistency
< 2	0 – 12.5	อ่อนมาก (very soft)
2 – 4	12.5 – 25.0	อ่อน (soft)
4 – 8	25.0 – 50.0	ปานกลาง (medium stiff, firm)
8 – 15	50.0 – 100.0	แข็ง (stiff)
15 – 30	100.0 – 200.0	แข็งมาก (very stiff)
> 30	> 200	แข็งที่สุด (hard)

2.3 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดิน (Field Test)

2.3.1 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดิน โดยวิธีใบมีดสามมุม (Field Vane Shear Test, FVT)

การทดสอบ FVT ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D-2573 ทำได้โดยใช้ใบมีด ซึ่งเป็นแผ่นเหล็กบางๆ รูปสี่เหลี่ยมคล้ายใบมีด 4 อัน เชื่อมอยู่ด้วยกันและติดกับแท่งเหล็ก (Inner Rod) เพื่อส่งใบมีด (Vane) ลงไปในดินที่ความลึกที่ต้องการ แล้วทดสอบโดยการกดใบมีด โดยขณะทดสอบใบมีดจะถูกหมุนด้วย Torque จาก Measuring Instrument ด้วยอัตราการหมุน 6 องศา/นาที จนกระทั่งดินเหนียวรอบๆ ใบมีดเกิดการวิบัติและบันทึกค่า Torque สูงสุด และหมุนใบมีดโดยเร็วอย่างน้อย 10 รอบและบันทึกค่า Torque ของดินที่ถูกทำลาย (Remold) ทันทีภายใน 1 นาที เพื่อนำมาคำนวณหาค่า Su_{FVT} ได้จากสมการที่ (1)

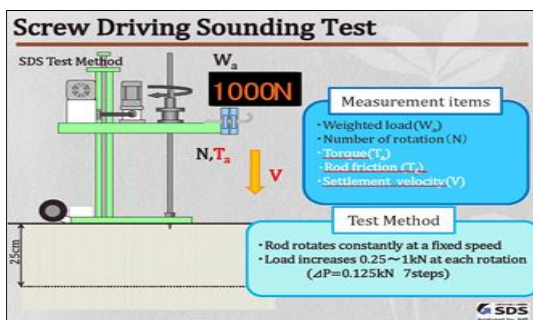
$$Su_{FVT} = T/K \quad (1)$$

โดย T = ค่า Torque (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
K = ค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของใบมีด (m^3)

2.3.2 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดิน โดยวิธี Screw Driving Sounding Test (SDS)

การทดสอบ Screw Driving Sounding Test (SDS) เป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่จากประเทศญี่ปุ่น ซึ่งได้รับการสนับสนุนเครื่องมือจาก Japan Home Shield Co.,Ltd. และ Tokyo City University เพื่อมาใช้ในการทดสอบหาลำดับรับน้ำหนักของดินในสนามในประเทศไทย ในการนี้ ผู้ขอประเมินได้ขอความอนุเคราะห์ไปยังมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อนำเครื่องมือดังกล่าวมาใช้ในการสำรวจทางธรณีวิศวกรรมในหลายๆ โครงการของกรมทางหลวงชนบท

การทดสอบ SDS Test สามารถทดสอบได้สูงสุดที่ 1,000 นิวตัน โดยใช้ Weight Load เป็นแรงกด เมื่อให้แรงกดจะเกิดรอบของการหมุน Torque (Ta) , Rod friction (Tf) , Settlement velocity (V) รอบในการหมุนครั้งที่แรงในการหมุนจะเพิ่มระหว่าง 0.25-1.0 kN ดังรูปที่ 3 การทดสอบจะวัดแรง Torque ที่เกิดจาก Rod friction (Tf) ที่ระยะทุกๆ 25 ซม. เมื่อเริ่มให้ Weight Load พร้อมกับแรง Torque จะเกิดแรงต้านของ Rod friction โดยรอบของแรง Torque จะเพิ่มขึ้นตามความอ่อน-แน่นของชั้นดินที่ทำการทดสอบ



รูปที่ 3 การทำงานของเครื่องทดสอบ Screw Driving Sounding Test (Japan Home Shield Co.,Ltd. & Tokyo City University)

การทดสอบ SDS Test ซึ่งจะให้ค่าเป็น Torque ทุกๆระยะ 25 ซม. แต่ในการใช้งานของประเทศไทย ซึ่งนิยมวัดค่ากำลังของดินในลักษณะรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ หรือ Su ดังนั้น จึงต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibration) เพื่อให้เครื่องมือทดสอบให้ผลที่มีความแม่นยำ ซึ่งการสอบเทียบเครื่องมือ นั้นจะเปรียบเทียบกับค่าแรงบิด (Torque) ในรูปแบบของพลังงานที่ใช้ในการกดหัวเจาะลง 0.25 ม. หรือ E0.25 ซึ่งได้มาจากสมการที่ (2)

$$dE = Tdw + Wdst \quad (2)$$

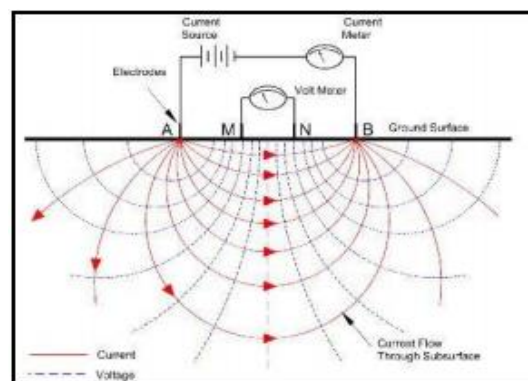
โดย E = พลังงานในการกด
T = ค่า Torque (กิโลนิวตันเมตร)
W = ค่า Weight (กิโลนิวตัน)

2.4 การสำรวจความต้านทานไฟฟ้าของดิน (Electrical Resistivity Surveying)

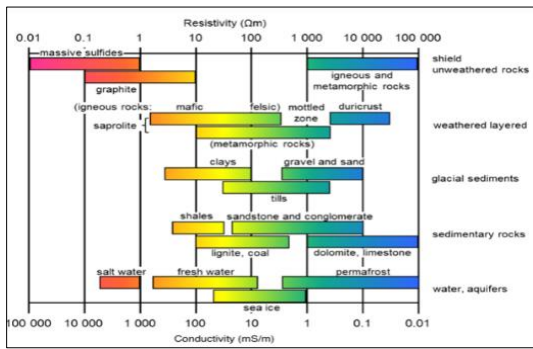
ความต้านทานไฟฟ้าของดิน (Electrical Resistivity) คือ การหาความชันในชั้นดิน ที่มีความผิดปกติ โดยการหาค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของชั้นดินนั้นๆ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในมวลดิน กล่าวคือดินที่มีความชื้นในมวลดินสูงจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำ และในทางตรงกันข้ามดินที่มีความชื้นในมวลดินต่ำก็จะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่สูง

วิธีการวัดความต้านทานไฟฟ้าอาศัยการปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไปได้ดิน จากขั้วไฟฟ้าสองขั้วและวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนผิวดินระหว่างขั้วความต่างศักย์อีกสองขั้ว (รูปที่ 4) วิธีการนี้จะวัดความสามารถในการต้านทานไฟฟารวมของดินหรือหินและปริมาณของเหลวรวมถึงความสามารถในการนำไฟฟ้าของของเหลวในช่องว่างในเนื้อดินหรือหิน

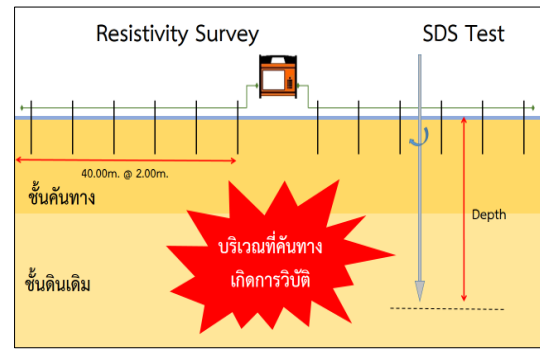
ลักษณะของข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้านั้นมีหน่วยเป็น โอห์ม ($\Omega \cdot m$) จึงจำเป็นจะต้องใช้ตารางการแปรค่าตามรูปที่ 5 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้ากับชนิดของดิน ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถบอกถึงลักษณะของโครงสร้างของดินตามความลึกนั้นๆ



รูปที่ 4 หลักการของวิธีการวัดความต้านทานไฟฟ้า (ที่มา adopted from Sharma, 1997)



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่าความต้านทานไฟฟ้าและลักษณะของชั้นดิน (ที่มา www.gpg.geosci.xyz)

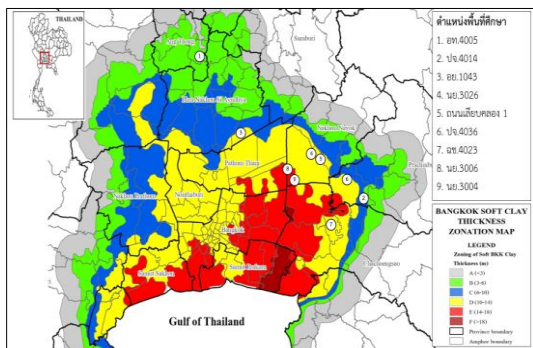


รูปที่ 7 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ ในงานวิจัย

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

ในผลการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้เลือกพื้นที่ศึกษา คือถนนในโครงข่ายของกรมทางหลวงชนบท ที่อยู่ในเขตพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Bangkok Soft Clay Area) ซึ่งเกิดปัญหาการรบกวนแบบถนนทรุดตัว จำนวน 9 เส้นทาง (11 แห่ง) ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตำแหน่งพื้นที่ศึกษา บนแผนที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ดัดแปลงมาจาก [www.gerd.eng.ku.ac.th/Map/Map.html]

3.2 การออกแบบการทดลอง

ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลอง โดยได้ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบข้อมูลดินทั้ง 3 ประเภท ดังนี้

- 1) เครื่องมือทดสอบความต้านทานไฟฟ้าของดิน โดยวิธี Resistivity Survey ทดสอบโดยการตอกขั้ว Electrode ทุกระยะ 2.00 ม. ตามความยาวถนน แล้วเชื่อมต่อกันด้วยสาย Main Cable ความยาวเส้นละ 40.00 ม. จำนวน 2 เส้น รวมความยาวในการทดสอบ 80.00 ม.
- 2) เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินโดยวิธี Screw Driving Sounding Test (SDS) ทดสอบโดยการติดตั้งเครื่องมือบริเวณจุดกึ่งกลางของการทดสอบ Resistivity Survey ดังรูปที่ 7 โดยเป็นจุดใกล้เคียงการรบกวน เพื่อต้องการค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ยังไม่ถูกรบกวน (Undisturbed Soil)
- 3) ข้อมูลกำลังรับแรงเฉือนของดิน ทดสอบโดยวิธีไวน์สแตม (Field Vane Shear Test, FVT) ได้จากฐานข้อมูลผลทดสอบดิน จากกรมทางหลวงชนบท

ซึ่งเป็นผลทดสอบดินก่อนการรบกวน โดยผู้วิจัยได้นำผลทดสอบดินดังกล่าวมาเพื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินโดยวิธี Screw Driving Sounding Test (SDS)

3.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลดิน

จากการศึกษาคุณสมบัติของดินทั้งสองประเภท กำลังรับแรงเฉือนและความต้านทานไฟฟ้าของดิน พบว่าพารามิเตอร์ของดินทั้งสองประเภทมีการแปรผันตรงต่อกัน โดยได้นำข้อมูลดินทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี Regression Analysis คือวิธีการทางสถิติที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (X) และตัวแปรตาม (Y) และเป็น ขั้นตอนวิธีที่สำคัญในการทำนายหรือคาดการณ์ข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้รูปแบบ Simple Linear Regression ในการอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูล ดังสมการที่ (3)

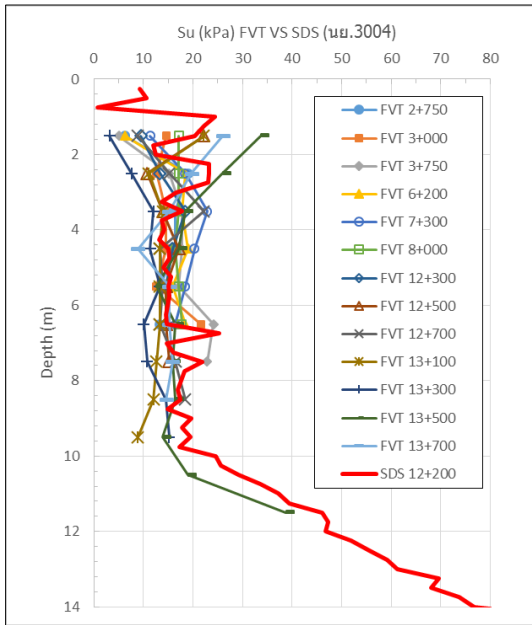
$$Y = aX + b, \quad R^2 \quad (3)$$

- โดย
- Y = ตัวแปรต้น
 - X = ตัวแปรตาม
 - a = ความชันของสมการตรง
 - b = จุดตัดแกนตั้ง (y-intercept)
 - R^2 = ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) ซึ่งหากค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1.00 ถือว่าสมการ Regression มีความน่าเชื่อถือสูง

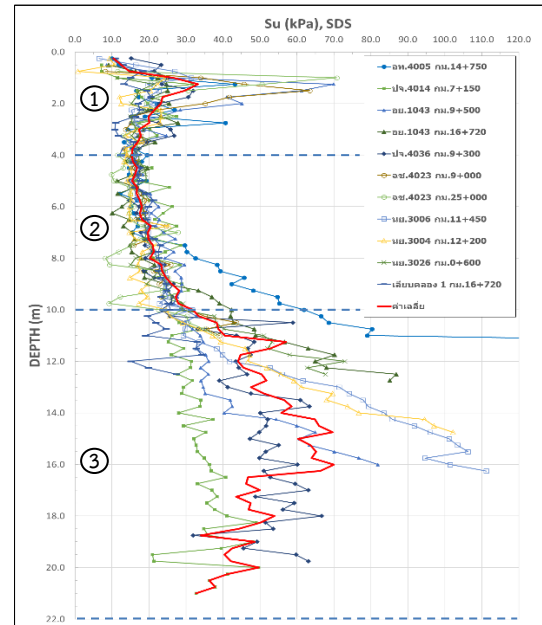
4. ผลการทดลอง

4.1 การดำเนินการเปรียบเทียบผลทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดิน (S_u) ระหว่างวิธี SDS และวิธี FVT

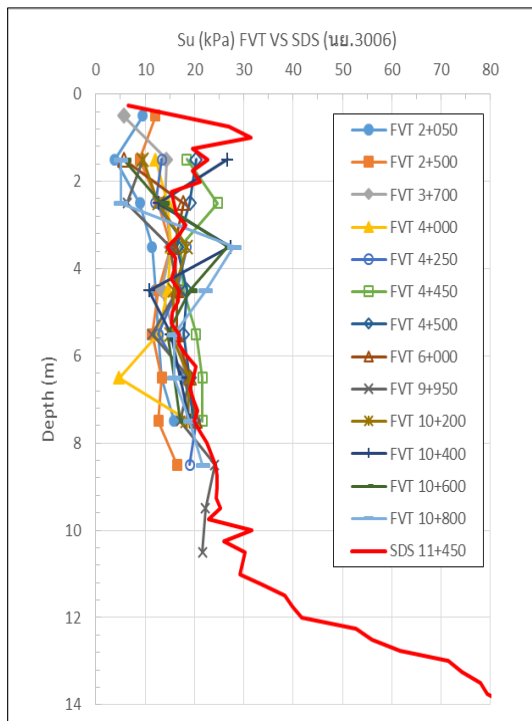
ผู้วิจัย ได้ดำเนินการเปรียบเทียบผลทดสอบระหว่าง SDS และ FVT ในรูปแบบของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ หรือ S_u ในหลายพื้นที่ซึ่งพบว่าได้ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี SDS ไม่แตกต่างจากวิธี FVT เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 ดังนั้น วิธีการทดสอบแบบ SDS สามารถตรวจวัดค่ากำลังของดินในสนามได้เช่นเดียวกับวิธีการทดสอบเดิม แต่วิธี SDS ใช้แรงงานน้อยกว่า รวดเร็วกว่า และมีความละเอียดของการตรวจวัดมากกว่า รวมทั้งมีความน่าเชื่อถือมากกว่าเนื่องจากลดปัญหาจาก Human error ได้



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบผลทดสอบ SDS และ FVT
ถนนสาย นย.3004 จังหวัดนครนายก



รูปที่ 10 กราฟผลทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดิน (Su) โดยวิธี SDS
ในพื้นที่ศึกษา ถนนเลียบบคลองที่เกิดการวิบัติ



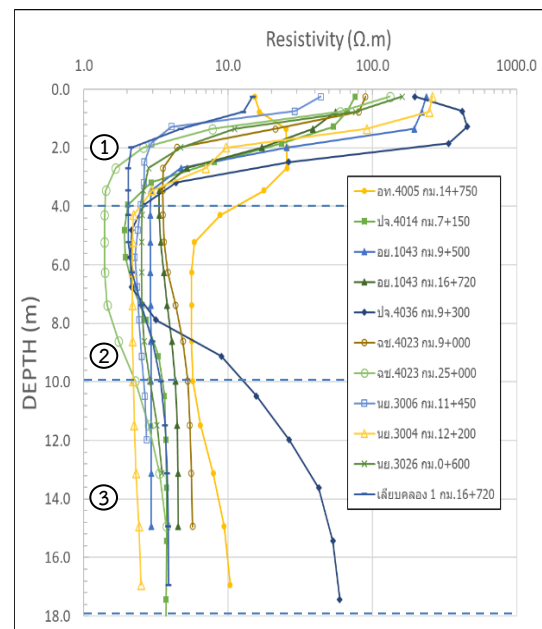
รูปที่ 9 การเปรียบเทียบผลทดสอบ SDS และ FVT
ถนนสาย นย.3006 จังหวัดนครนายก

4.2 ผลทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดิน (Su)

ผลทดสอบของเครื่อง Screw Driving Sounding Test (SDS) ซึ่งบอกค่าหน่วยแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดิน (Su) มีหน่วยเป็นกิโลปาสกาล (kPa) เทียบกับความลึกของชั้นดินมีหน่วยเป็น ม. ของถนนในพื้นที่ศึกษาทั้ง 11 แห่ง สามารถแสดงได้ในรูปที่ 10

จากรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน จากการทดสอบด้วยวิธี SDS จะแบ่งได้เป็น 3 ช่วงตามความลึกของดิน ดังนี้

- 1) ช่วงความลึก 0.00-4.00 ม. จากผิวดิน ชั้นนี้ประกอบไปด้วยวัสดุดินถมในการก่อสร้างถนน ได้แก่ วัสดุหินคลุก, ดินลูกรัง และวัสดุคัดเลือก ในชั้นนี้จะมีกำลังรับแรงเฉือนที่สูง
- 2) ช่วงความลึก 4.00-10.00 ม. เป็นชั้นดินเดิมที่เป็นดินอ่อน (Soft Soil) มีกำลังรับแรงเฉือน 12.50-25.00 kPa
- 3) ช่วงความลึกมากกว่า 10.00 ม. เป็นชั้นดินเดิมซึ่งเป็นชั้นดินที่มีความแข็งปานกลาง (Medium Stiff Soil) ถึงชั้นดินแข็ง (Hard Soil) ค่ากำลังรับแรงเฉือนมากกว่า 25.00 kPa



รูปที่ 11 ผลทดสอบความต้านทานไฟฟ้าของดิน Resistivity Survey

4.3 ผลทดสอบ Resistivity Survey

ผลการวิเคราะห์การสำรวจด้วยวิธีวัดความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity survey) ของดินใต้ถนนเลียบรินคั่นคลองชลประทาน ใน 11 ตัวอย่าง สามารถประมวลผลออกมาเป็นกราฟความต้านทานไฟฟ้าของดิน มีหน่วยเป็น $\Omega \cdot m$ เทียบกับความลึกของชั้นดินมีหน่วยเป็น m โดยแสดงผลในรูปแบบกราฟ Log Scale ได้ดังรูปที่ 11

จากรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่าความต้านทานไฟฟ้าของดิน จากการทดสอบ Resistivity Survey จะแบ่งได้เป็น 3 ช่วงตามความลึกของดิน ซึ่งสอดคล้องกับกราฟกำลังรับแรงเฉือนของดินในรูปที่ 10 โดยให้ผลดังนี้

- 1) ช่วงความลึก 0.00-4.00 ม. จะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่สูงมากบริเวณผิวดิน (100-400 $\Omega \cdot m$) เนื่องจากเป็นวัสดุประเภทหินคลุก และจะลดต่ำลงตามประเภทวัสดุก่อสร้างคันทาง
- 2) ช่วงความลึก 4.00-10.00 ม. มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 0.50-6.00 $\Omega \cdot m$
- 3) ช่วงความลึกมากกว่า 10.00 ม. มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1.00-40.00 $\Omega \cdot m$

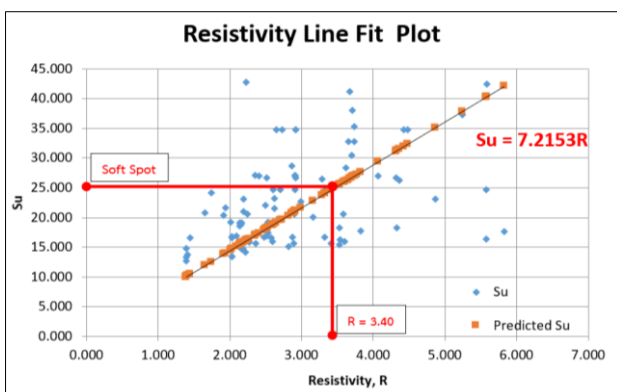
4.4 ความสัมพันธ์ของ SDS และ Resistivity Survey

การนำโปรแกรม Microsoft Excel มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนและความต้านทานไฟฟ้าของดิน สามารถชี้ให้เห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ของดินทั้งสองมีความแปรผันตามกันดังรูปที่ 12 และได้ทำการสร้างสมการทำนายค่ากำลังรับแรงเฉือนจากค่าความต้านทานไฟฟ้า ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$Su_{\text{Predicted}} = 7.2152 (\text{Resistivity}, R_T), R^2 = 0.889 \quad (4)$$

โดย R_T = ค่าความต้านทานไฟฟ้าของดินที่ได้จากการทดสอบ Resistivity Survey

จากรูปที่ 13 สมการทำนายค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินสามารถนำมาใช้งานได้ทำความต้านทานไฟฟ้าของดินอยู่ระหว่าง 1.40-5.80 $\Omega \cdot m$ โดยมีความคลาดเคลื่อนประมาณ ± 10 kPa และการกำหนดค่าความเป็นชั้นดินอ่อน (Soft Spot) ที่กำลังรับแรงเฉือนน้อยกว่า 25.00 kPa คือจุดที่ความต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 3.40 $\Omega \cdot m$



รูปที่ 12 กราฟการทำนายค่ากำลังรับแรงเฉือน (Predicted Su) จากค่าความต้านทานไฟฟ้าของดิน (Resistivity)

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดิน (S_u) กับความต้านทานไฟฟ้า (R) และเกณฑ์ในการแบ่งระดับความเป็นดินอ่อน

กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ, S_u (kPa)	ความต้านทานไฟฟ้า, R ($\Omega \cdot m$)	ระดับความเป็นดินอ่อน, Consistency
12.5 – 25.0	1.40 - 3.40	อ่อน (soft)
25.0 – 50.0	3.40 – 5.80	ปานกลาง (medium stiff, firm)

5. สรุป

บทความนี้ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ของความต้านทานไฟฟ้า และกำลังรับแรงเฉือนของดิน โดยพื้นที่ศึกษาคือถนนเลียบรินคั่นคลองในโครงการทางหลวงชนบทที่ได้รับความเสียหายจากถนนทรุดตัวเนื่องจากน้ำในคลองล้นระดับ จำนวน 9 เส้นทาง (11 แห่ง) โดยผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าและกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ความลึกต่างๆ ได้ชั้นโครงสร้างทาง พบว่าพารามิเตอร์ของดินทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน ดังนี้

- 1) การพิจารณาความเป็นดินอ่อนของดินฐานรากคันทาง ซึ่งเป็นจุดเสี่ยงต่อการวิบัติ (Soft Spot) พบว่าที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าของดินต่ำกว่า 3.40 $\Omega \cdot m$ ถือเป็นดินอ่อนและมีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดถนนทรุดตัวหากน้ำในคลองเกิดการล้นระดับ
- 2) การประมาณค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน (S_u) เบื้องต้น จากค่าความต้านทานไฟฟ้า (R) ที่ได้จากการทดสอบ Resistivity Survey สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ใช้คำนวณในสมการจะต้องเป็นเป็นค่าความต้านทานของชั้นดินเดิม ที่ความลึกประมาณ 4.00 ม. จากผิวดินขึ้นไป และอยู่ในช่วงระหว่าง 1.40-5.80 $\Omega \cdot m$ โดยสามารถสรุปความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ดินทั้งสอง ได้ดังตารางที่ 2

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ สามารถสำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้คำสั่งสอนและที่ๆ จากสำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา, สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวงชนบท ที่อนุเคราะห์ข้อมูลดินและให้คำปรึกษาในงานวิจัย สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติมิตรทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนด้วยดีเสมอมา

เอกสารอ้างอิง

- [1] พรพจน์ ดันเส็ง. 2554. Soil Mechanics: ปฐพีกลศาสตร์. ประเทศไทย. (เอกสารเผยแพร่)
- [2] สุพจน์ ศรีนิล, แหลมทอง เหล่าคงถาวร และ ชลธิ์ เร่งบ้านเกาะ. 2555. คู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์ LABORATORY TESTING. ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- [3] รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์. 2558. การพิบัติของถนนริมคันคลอง กรณีภัยแล้ง พ.ศ.2558. วศิ วิศวกรรมสาร ปีที่ 68 ฉบับที่ 68: หน้า 42-53.
- [4] บริษัท ทีเอ็ม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเม้นท์ จำกัด และ บริษัท วิศวกรรมธรณีและฐานราก จำกัด. 2552. โครงการศึกษาจัดทำ คู่มือการก่อสร้างถนนบนพื้นที่ดินอ่อน.
- [5] สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยศรีนครินทรวิโรฒและกรมทางหลวงชนบท. 2552. คู่มือแนวทางการออกแบบและก่อสร้างถนนเลียบบคันคลอง โครงการศึกษาและจัดทำคู่มือแนวทางการออกแบบและการก่อสร้างถนนเลียบบคันคลอง (ระยะที่ 1) พื้นที่ศึกษา : จังหวัดปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา และฉะเชิงเทรา. กรุงเทพฯ : กรมทางหลวงชนบท