



การวิเคราะห์แผนที่ความสูงสูงสุดของคันทางในจังหวัดปทุมธานี

Analyzing Maximum Embankment Height Map in Pathumthani Province

ประเทือง กันธสมาส (Pratuang Kuntasamas)¹สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์ (Suttisak Soralump)²¹นิสิตปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการบริหาร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ : การก่อสร้างถนนภายใต้ความรับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนจังหวัดปทุมธานี มักเกิดปัญหาการพิบัติของคันทางเนื่องจากสภาพดินฐานรากที่มีกำลังรับแรงต่ำการแก้ปัญหาโดยการปรับปรุงฐานรากดินอ่อนเป็นไปได้ยากเนื่องจากข้อจำกัดด้านงบประมาณ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพยายามลดการพิบัติของถนนในจังหวัดปทุมธานีที่จะก่อสร้างในอนาคต โดยการสร้างแผนที่ความสูงคันทางสูงสุดที่สามารถสร้างได้อย่างปลอดภัยตามคุณสมบัติของชั้นดินเหนียวอ่อนในจังหวัดปทุมธานี การดำเนินการเริ่มโดยการรวบรวมข้อมูลคุณสมบัติของชั้นดิน มาทำการวิเคราะห์และแบ่งพื้นที่ด้วยการสร้างเส้นชั้นความลึกของชั้นดินเหนียวอ่อน และนำข้อมูลคุณสมบัติของชั้นดินในแต่ละพื้นที่มาทำการวิเคราะห์เพื่อกำหนดความสูงสูงสุดของถนนที่ดินจะไม่เกิดการพิบัติโดยการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชัน ภายใต้อัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.) เท่ากับ 1.80 และแยกวิเคราะห์เป็นถนนบนดินเหนียวอ่อนและถนนที่ก่อสร้างริมคลอง จากผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของถนนริมคลองค่าความสูงคันทางที่ยอมรับมีค่าค่อนข้างน้อยทำให้ไม่สามารถนำไปก่อสร้างจริงได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้เสนอแนวทางแก้ไขให้คันทางมีความสูง 1.00 เมตร และปรับปรุงเสถียรภาพคันทาง โดยการตอกเสาเข็มการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และการจัดทำแผนที่ดำเนินการ โดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ABSTRACT: Embankment failure due to soft clay foundation always is found in Pathumthani province. Using ground improvement technique is not possible due to limited construction budget. This study tries to reduce the embankment failure by developing maximum embankment height map. The map is developed by collecting the sub soil data and creating the soft clay depth contour in order to indicate soft clay thickness zone. Soil properties of each zone are summarized and performed stability analyses in order to determine embankment height that gives factor safety of 1.8. Two cases were done, embankment on soft clay and embankment along the canal. 1.0 m height and concrete pile need to be use in the case of embankment along the canal. The analyses were done using the application of geographic information system.

KEYWORDS : Stability Analysis, Road Embankment, Soft Bangkok Clay Embankment on Soft Clay

1. บทนำ

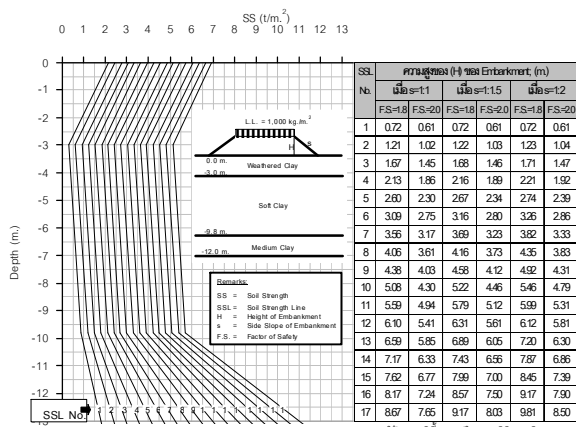
การก่อสร้างถนนที่อยู่ในความรับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนจังหวัดปทุมธานีมักประสบปัญหาการพิบัติอันเนื่องมาจากดินฐานรากที่มีสภาพเป็นดินเหนียวอ่อน โดยเฉพาะถนนที่อยู่ริมคลอง (รูปที่ 1) การออกแบบและก่อสร้างถนนให้เหมาะสมตาม

หลักวิชาด้านวิศวกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับปรุงฐานรากดินอ่อนพบว่าหน่วยงานมีข้อจำกัดทั้งด้านงบประมาณและบุคลากร ทั้งนี้เนื่องจากต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ประกอบกับงบประมาณในการปรับปรุงฐานรากมีราคาสูงกว่าปกติ ปัญหาดังกล่าวทำให้องค์การบริหารส่วนจังหวัดปทุมธานี

ต้องสูญเสียงบประมาณในการซ่อมบำรุงเอง เนื่องจากเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับฐานรากอันไม่อยู่ในความรับผิดชอบของผู้ดำเนินการก่อสร้าง วิชาญและมณฑา (2547) ได้เสนอแผนภูมิการออกแบบถนนบนดินอ่อน โดยใช้ข้อมูลดินในเขตกรุงเทพฯ (รูปที่ 2) อย่างไรก็ตามแผนภูมิดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ข้อมูลความแข็งแรงของชั้นดินจากการเจาะสำรวจในการนำไปออกแบบ



รูปที่ 1 ตัวอย่างความเสียหายของถนนริมคลอง

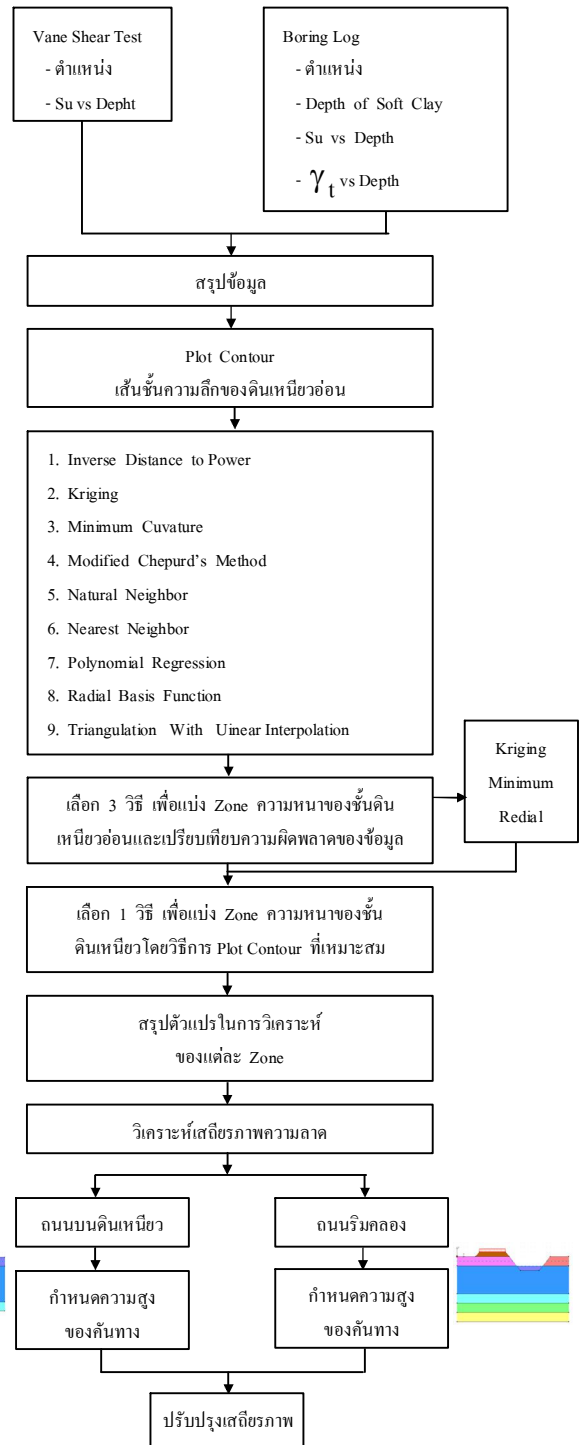


รูปที่ 2 ตัวอย่างแผนภูมิการออกแบบถนนบนดินอ่อน (วิชาญ และมณฑา, 2547)

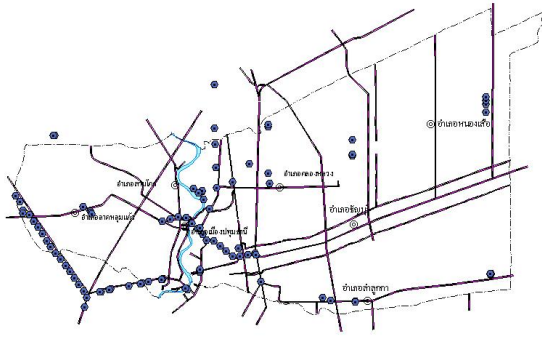
2. การดำเนินการศึกษา

แผนภูมิการศึกษาแสดงดังรูปที่ 3 การศึกษาได้รวบรวมข้อมูลจากการเจาะสำรวจดินและผลการทดสอบ Vane Shear จำนวนรวม 99 ตำแหน่ง (รูปที่ 4) โดยนำค่าความลึกของชั้นดินเหนียวอ่อนมาสร้างเส้นชั้นความลึก ด้วยโปรแกรม Golden Surfer 8 โดยใช้วิธีการสร้างเส้นชั้นความลึก 9 วิธี และเลือกวิธีที่ให้ค่าตามความเป็นจริงของพื้นที่การทับถมของตะกอนดินเหนียวอ่อน มา 3 วิธี แบ่งพื้นที่ความลึกของชั้นดินเหนียวอ่อนออกเป็น 4 กลุ่มพื้นที่ และเปรียบเทียบความผิดพลาดของข้อมูลระหว่างข้อมูลจริงกับการคาดการณ์ แล้วจึงสรุปเลือกใช้วิธีของ Kriging เนื่องจากมีความผิดพลาดต่ำและให้ลักษณะเส้นชั้น

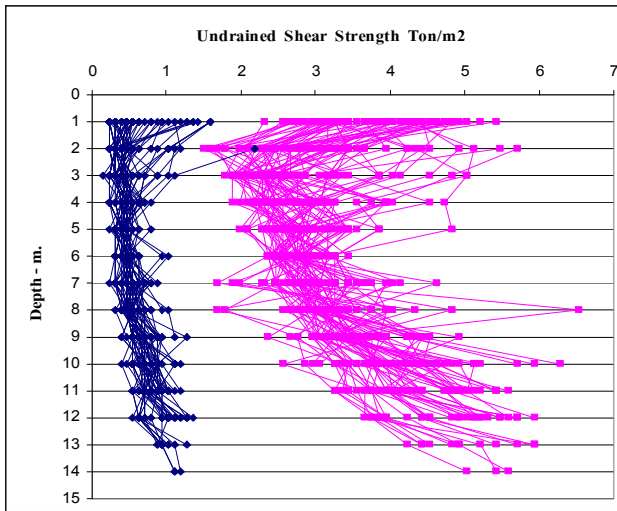
ความลึกใกล้เคียงกับธรรมชาติจากนั้นจึงนำค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) และ ค่าน้ำหนัก (Unit Weight) มาสรุปหาค่าตัวแปรในเชิงสถิติเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพความลาด (รูปที่ 5) และนำผลที่ได้มาจัดทำแผนที่กำหนดความสูงสูงสุดของคันทางของแต่ละพื้นที่โดยแยกเป็นถนนบนดินเหนียวอ่อนและถนนริมคลอง โดยถนนริมคลองได้ปรับปรุงคุณภาพให้ได้คันทางสูง 1.00 เมตร โดยวิธีการตอกเสาเข็ม



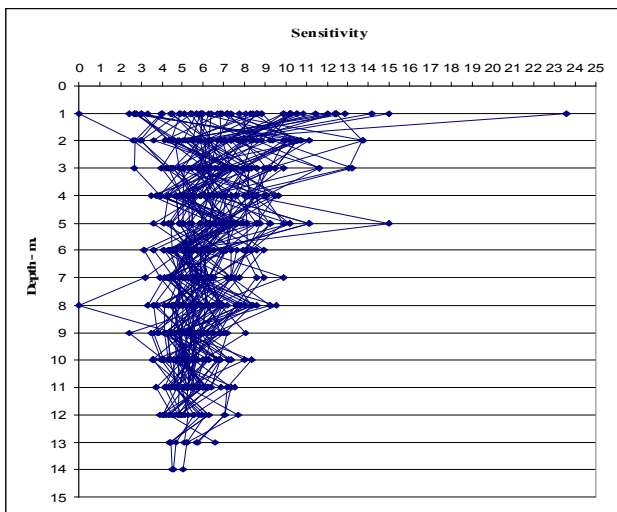
รูปที่ 3 แผนภูมิการดำเนินการ



รูปที่ 4 ตำแหน่งหลุมเจาะที่นำเอาคุณสมบัติมาทำการวิเคราะห์



รูปที่ 5 (ก) ตัวอย่างข้อมูลการทดสอบ Vane Shear



รูปที่ 5 (ข) ตัวอย่างค่า Sensitivity

3. การแบ่งขอบเขตตามความลึกของดินเหนียวอ่อน

การวิเคราะห์ดำเนินการ โดยการรวบรวมค่าความลึกของชั้นดินเหนียวอ่อนมาสร้างเส้นความลึกของชั้นดินเหนียวอ่อนด้วยโปรแกรม Golden Software Surfer 8.0 เพื่อกำหนดพื้นที่ความลึกของชั้นดินเหนียวอ่อนของแต่ละพื้นที่ที่โดยสร้างด้วยวิธีต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้อง 9 วิธี ได้แก่

1. Inverse Distance to Power
2. Kriging
3. Minimum Curvature
4. Modified Chepurd's Method
5. Natural Neighbor
6. Nearest Neighbor
7. Polynomial Regression
8. Radial Basis Function
9. Triangulation With Linear Interpolation

จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความถูกต้องของการสร้างเส้นชั้นความลึกโดยพิจารณาความเป็นไปได้จากลักษณะการวางตัวและทับถมของชั้นดินเหนียวอ่อน กรุงเทพฯ ทำให้สามารถคัดเส้นชั้นความลึกที่เป็นไปได้ตามธรรมชาติ 3 วิธี ได้แก่

1. Kriging
2. Minimum Curvature
3. Radial Basis Function

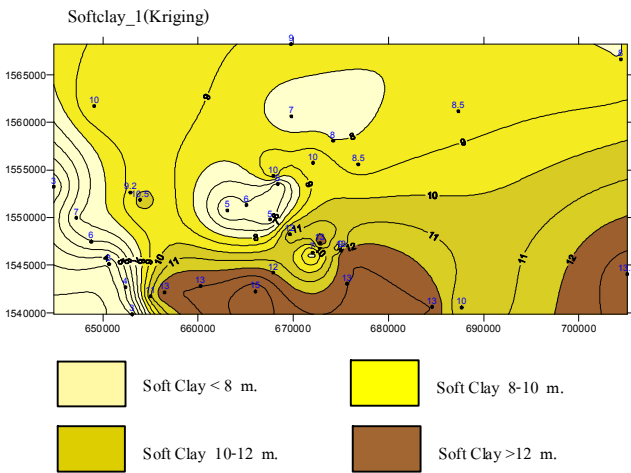
ผลของการสร้าง Contour ทั้ง 3 วิธี ได้นำมาแบ่งกลุ่มพื้นที่ที่ความลึกของชั้นดินเหนียวอ่อน เป็น 4 กลุ่มพื้นที่ ได้แก่

1. Soft Clay < 8 เมตร
2. Soft Clay = 8-10 เมตร
3. Soft Clay = 10-12 เมตร
4. Soft Clay > 12 เมตร

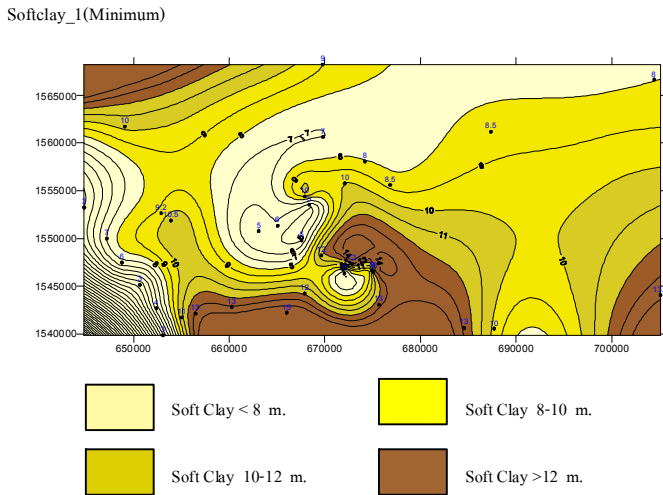
ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7

ธรรมชาติ ดังนั้นผู้ศึกษาจึงเลือกเส้นชั้นความลึกที่สร้างโดยวิธี Kriging มาใช้ในการศึกษาต่อไป

จากผลการวิเคราะห์เส้นชั้นความลึกของดินเหนียวอ่อน เมื่อนำมาพิจารณาตามรูปร่างของขอบเขตจังหวัดปทุมธานี จะได้รูปแสดงดังรูปที่ 8 จากรูปจะเห็นได้ว่าบริเวณด้านทิศตะวันออกของทางหลวงหมายเลข 9 (ถนนมอเตอร์เวย์) มีข้อมูลหลุมเจาะน้อยมาก หากมีการนำเอาข้อกำหนดความสูงของคันทางในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวไปใช้งาน อาจเกิดข้อผิดพลาดและเสียหายได้ จึงได้ตัดพื้นที่บริเวณด้านทิศตะวันออกของถนนสายมอเตอร์เวย์ออก ให้เหลือเฉพาะด้านทิศตะวันตก



รูปที่ 6 เส้นชั้นความลึกของดินเหนียวอ่อนโดยวิธี Kriging

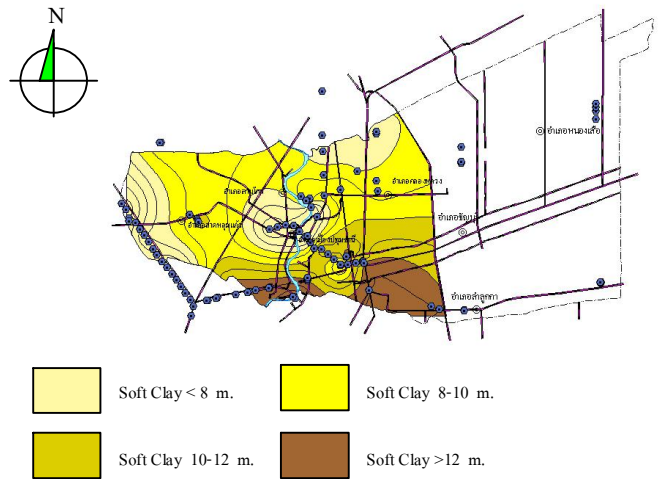


รูปที่ 7 เส้นชั้นความลึกของดินเหนียวอ่อน โดยวิธี Minimum Curvature

ตารางที่ 1 สรุปความถูกต้องเชิงตัวเลข

สร้างโดยวิธี	จำนวนหลุมเจาะ	ผิด	เฉลี่ยค่าความผิด (%)
Kriging	35	4	15.75
Minimum	35	-	-
Redial	35	8	14.56

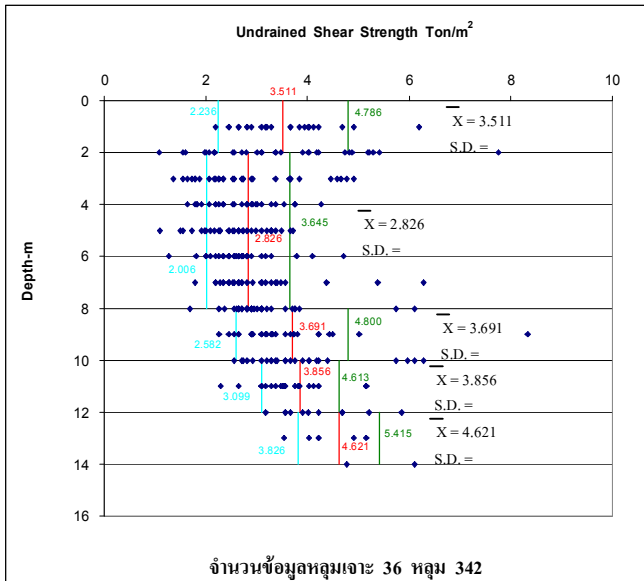
ตารางที่ 1 สรุปการเปรียบเทียบผลการสร้างเส้นชั้นความลึกกับข้อมูลจากการสำรวจจริง จะเห็นว่าวิธี Minimum Curvature ให้เส้นชั้นความลึกที่ผิดพลาดน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามลักษณะการวางตัวของเส้นชั้นความลึกดังกล่าวมีลักษณะไม่เป็นไปตาม



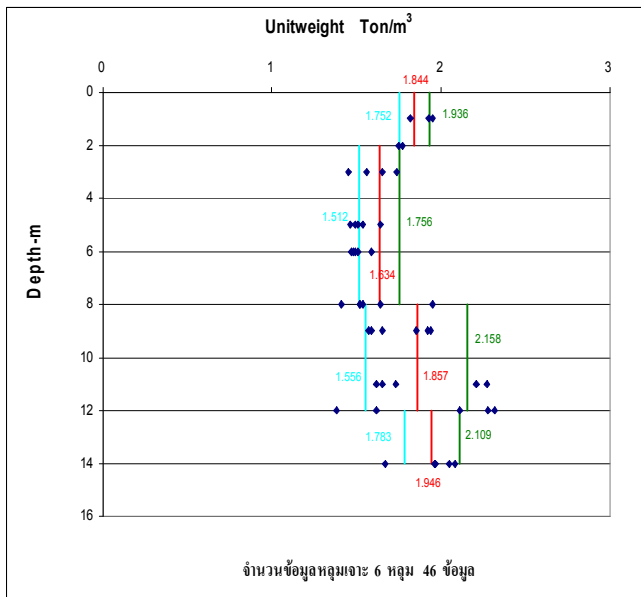
รูปที่ 8 ตำแหน่งหลุมเจาะและขอบเขตพื้นที่ศึกษา

4. การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชัน

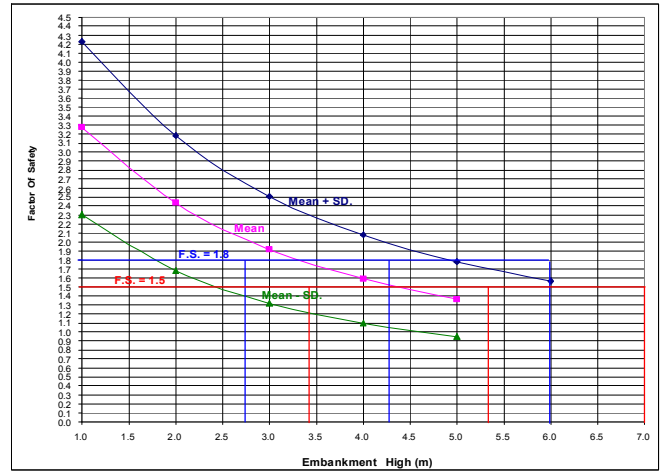
การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชัน ดำเนินการโดยสรุปหาค่าตัวแปรโดยการนำค่ากำลังรับแรงเฉือน (Undrained Shear Strength) และค่าหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ของดินเหนียวอ่อนที่ความลึกต่างๆ มาสรุปเชิงสถิติ เพื่อหาค่า Mean, Mean - S.D. และ Mean + S.D. (รูปที่ 9 และ รูปที่ 10)และนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์เสถียรภาพความลาด โดยโปรแกรม KUSlope (วารการและรัฐธรรม, 2546) ภายใต้วิธีวิเคราะห์แบบ Limit Equilibrium โดยวิธีของ Bishop (Bishop,1955) ซึ่งแยกการวิเคราะห์ออกเป็น 2 กรณี คือ ถนนบนดินเหนียวอ่อน และถนนริมคลอง และนำค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.) กับค่าความสูงคันทางมาหาความสัมพันธ์เพื่อหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.) ที่ 1.50 และ 1.80 เพื่อนำไปกำหนดความสูงของคันทาง ของถนนในแต่ละพื้นที่(รูปที่11)



รูปที่ 9 ตัวอย่างค่า Undrained Shear Strength ที่นำไปใช้เป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ค่าเสถียรภาพความลาดชัน กรณีดินเหนียวอ่อนความลึกมากกว่า 12 เมตร



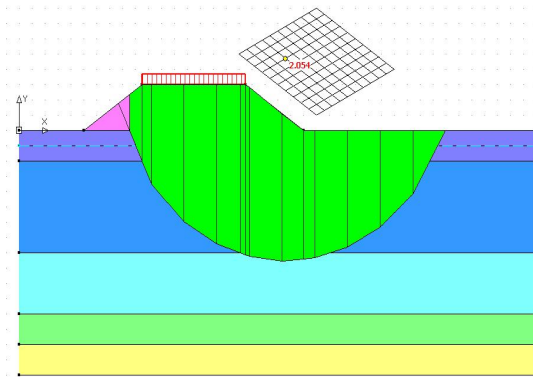
รูปที่ 10 ตัวอย่างค่า Unit Weight ที่นำไปใช้เป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ค่าเสถียรภาพความลาดชัน กรณีดินเหนียวอ่อนความลึกมากกว่า 12 เมตร



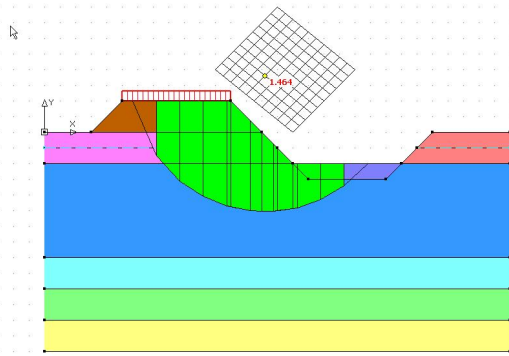
รูปที่ 11 ตัวอย่างกราฟความสูงของคันทาง (เมตร) กับค่า F.S. ของถนนบนดินเหนียวอ่อน

5. ผลการศึกษา

ผลของการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชัน ของถนนบนดินเหนียวอ่อน (รูปที่ 12) และถนนริมคลอง (รูปที่ 13) ทำให้ได้ความสูงของคันทางภายใต้อัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.) เท่ากับ 1.50 และ 1.80 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยตัวแปร Mean, Mean-S.D. และ Mean+S.D. โดยได้สรุปเป็นตารางความสูงคันทางของถนนบนดินเหนียวอ่อนและถนนริมคลอง (ตารางที่ 2) จากนั้นจึงได้จัดทำแผนที่เพื่อกำหนดความสูงสูงสุดที่ปลอดภัยของคันทางของถนนบนดินเหนียวอ่อนในแต่ละพื้นที่ (รูปที่ 14) ส่วนถนนริมคลองความสูงสูงสุดของคันทางค่อนข้างต่ำ และต่ำกว่ามาตรฐานถนนขององค์การบริหารส่วนจังหวัดปทุมธานี ซึ่งจะมีความสูงคันทางประมาณ 1.00 เมตร จึงได้เสนอแนวทางแก้ไขด้วยการปรับปรุงเสถียรภาพของคันทางให้มีความสูง 1.00 เมตร โดยวิธีการตอกเสาเข็ม และได้จัดทำแผนที่การปรับปรุงคุณภาพถนนริมคลองให้มีความสูง 1.00 เมตร (รูปที่ 15)



รูปที่ 12 การวิเคราะห์ถนนบนดินเหนียวอ่อนด้วยโปรแกรม KUSlope



รูปที่ 13 การวิเคราะห์ถล่มดินริมคลองด้วยโปรแกรม KUslope

ตารางที่ 2 สรุปความสูงคันทางของถนนบนดินเหนียวอ่อนและถนนริมคลอง โดยกำหนดค่า F.S. = 1.50 และ 1.80

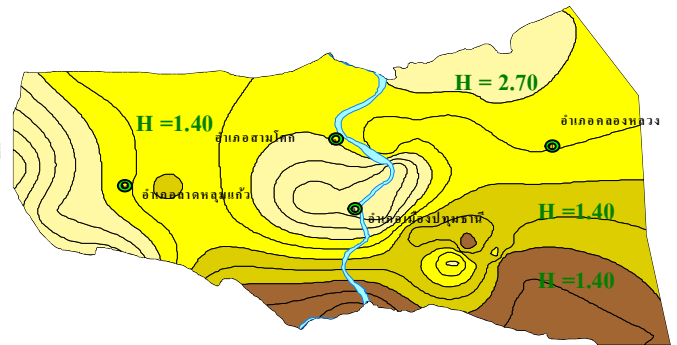
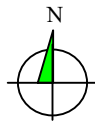
ถนนบนดินเหนียวอ่อน		ความสูงสูงสุดของคันทาง (เมตร)			
		Soft Clay < 8 เมตร	Soft Clay 8-10 เมตร	Soft Clay 10-12 เมตร	Soft Clay > 12 เมตร
F.S. = 1.50	$\bar{x} - S.D.$	3.40	1.60	1.70	1.70
	\bar{x}	5.40	5.20	4.20	3.90
	$\bar{x} + S.D.$	7.00	7.00	6.00	6.50
F.S. = 1.80	$\bar{x} - S.D.$	2.70	1.40	1.40	1.40
	\bar{x}	4.30	4.20	3.40	3.30
	$\bar{x} + S.D.$	6.00	7.00	5.00	5.20
ถนนริมคลอง		Soft Clay < 8 เมตร	Soft Clay 8-10 เมตร	Soft Clay 10-12 เมตร	Soft Clay > 12 เมตร
F.S. = 1.50	$\bar{x} - S.D.$	0.65	*	*	*
	\bar{x}	1.85	1.85	1.35	1.35
	$\bar{x} + S.D.$	3.20	3.50	2.60	2.45
F.S. = 1.80	$\bar{x} - S.D.$	0.25	**	**	**
	\bar{x}	1.18	1.25	0.85	0.80
	$\bar{x} + S.D.$	2.22	3.0	1.65	1.60

* ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยในสภาพก่อนการก่อสร้างน้อยกว่า 1.50

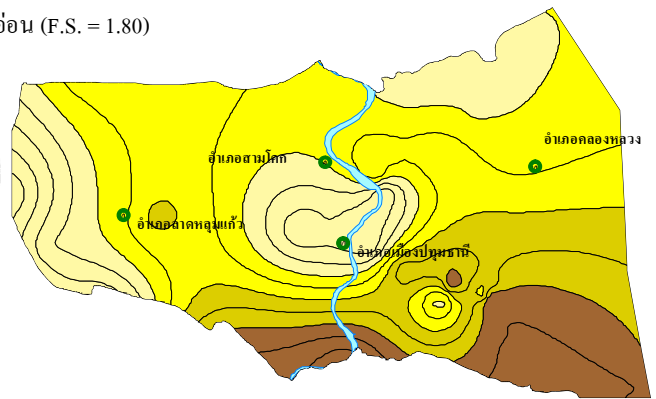
** ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยในสภาพก่อนการก่อสร้างน้อยกว่า 1.80

6. การใช้แผนที่และข้อจำกัด

ประโยชน์ของแผนที่ความสูงคันทางคือการนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบถนนในกรณีที่ไม่มีแผนหรืองบประมาณในการเจาะสำรวจหรือขาดบุคลากรในการวิเคราะห์เสถียรภาพ ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันการก่อสร้างที่จะเกิดการพิบัติตามมา อย่างไรก็ตาม การใช้แผนที่ดังกล่าวอย่างระมัดระวังเนื่องจากได้ดำเนินการวิเคราะห์ภายใต้ข้อมูลที่จำกัด การพัฒนาแผนที่ต่อโดยการเพิ่มจำนวนข้อมูลหลุมเจาะจะทำให้ความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 14 แผนที่กำหนดความสูงสูงสุดที่ปลอดภัยของถนนบนดินเหนียวอ่อน (F.S. = 1.80)



รูปที่ 15 แผนที่การปรับปรุงเสถียรภาพถนนริมคลองให้ได้คันทางสูง 1.00 เมตร โดยการตอกเสาเข็ม

7. สรุป

จากผลของการศึกษาที่ได้ ทำให้องค์การบริหารส่วนจังหวัด ปทุมธานี และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่น ได้มีแนวทางเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบและก่อสร้างถนนให้มีมาตรฐานและปลอดภัยต่อการพิบัติเนื่องจากปัญหาฐานราก ทำให้ลดปัญหาการพิบัติของโครงสร้างพื้นฐาน และประหยัดงบประมาณในการซ่อมบำรุงรักษา อย่างไรก็ตามเพื่อให้มีความถูกต้องมากขึ้น การศึกษาต่อไปควรพิจารณาพฤติกรรมการเกิด Plastic Flow และควรประเมินความสูงต่ำสุดที่ไม่ทำให้เกิดการพิบัติโดยร่องลือต่อไป

8. เอกสารอ้างอิง

1. วรากร ไม้เรียง และรัฐธรรม อิศโรพาร, 2546. การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดินโดยโปรแกรม KUslope รุ่น 2.0 เอกสารประกอบการสัมมนา วิศวกรรมฐานราก '46, คณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 95-114.

2. วิชาญ กุพัฒน์ และมณฑา ดันดิพรหมินทร์. 2547. แผนภูมิสำหรับการออกแบบความสูงคันทางบนชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ร่วมกับวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ, เพชรบุรี.

3. Bishop, A.W. 1955. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. **Geotechnique** Vol. 5(1): 7-17.