

การวิเคราะห์เสถียรภาพของทางหลวงชนบทที่ซ่อมบำรุงด้วยการเสริมแผ่นใย

สังเคราะห์ : กรณีศึกษา สาย สท. 4003 แยกทางหลวงหมายเลข 3030 –

บ้านบางมอญ อำเภอเมืองสิงห์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2557

การวิเคราะห์เสถียรภาพของทางหลวงชนบทที่ซ่อมบำรุงด้วยการเสริมแผ่นใย  
สังเคราะห์ : กรณีศึกษา สาย สท. 4003 แยกทางหลวงหมายเลข 3030 –  
บ้านบางมอญ อำเภอเมืองสิงห์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำโครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงการ

---

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

ประธานกรรมการ

---

(ศ. ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ)

---

(ผศ. ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์)

กรรมการ

---

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อำนาจ ปิ่นเพ็ชร : การวิเคราะห์เสถียรภาพของทางหลวงชนบทที่ซ่อมบำรุงด้วยการเสริม  
 แผ่นใยสังเคราะห์ : กรณีศึกษา สาย สท. 4003 แยกทางหลวงหมายเลข 3030 – บ้านบาง  
 มอญ อำเภอเมืองสิงห์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี (STABILITY ANALYSIS OF A RURAL  
 ROAD REINFORCED WITH GEOTEXTILES : A CASE STUDY AT ROUTE NO.  
 4003 INTERSECTION HIGHWAY NO. 3030 – BANBANGMON MUANGSINGBURI  
 DISTRICT, SINGBURI) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้แผ่นใยสังเคราะห์เสริมสร้างความกว้างคันทาง  
 ในถนนทาง-หลวงชนบทสาย สท. 4003 แยก ทล. 3030 – บ. บางมอญ อ. เมืองฯ จ. สิงห์บุรี คันทาง  
 วางอยู่บนชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางหนาประมาณ 12.50 เมตร (จากผิวจราจร) ที่มีหน่วยน้ำหนัก  
 รวมและหน่วยน้ำหนักอิ่มตัวด้วยน้ำ เท่ากับ 16 และ 18 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ มุม  
 เสียดทานภายในประสิทธิผล ( $\phi'$ ) มีค่าเท่ากับ 25 องศา ยัง โมดูลัสเท่ากับ 20,000 กิโลนิวตันต่อ  
 ตารางเมตร อัตราส่วนปัวของเท่ากับ 0.35 ได้ชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางเป็นชั้นทราย หน่วย  
 น้ำหนักรวมและหน่วยน้ำหนักอิ่มตัวด้วยน้ำของชั้นทรายมีค่า เท่ากับ 17 และ 19 กิโลนิวตันต่อ  
 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ มุมเสียดทานภายในประสิทธิผล ( $\phi'$ ) มีค่าเท่ากับ 40 องศา ยัง โมดูลัส  
 เท่ากับ 50,000 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร อัตราส่วนปัวของเท่ากับ 0.30 เสถียรภาพของคันทางเสริม  
 แผ่นใยสังเคราะห์ Polyfelt PEC 200 เปรียบเทียบกับคันทางไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์วิเคราะห์ด้วย  
 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Plaxis 2D เงื่อนไขการวิเคราะห์ประกอบด้วยสถานะสิ้นสุดการก่อสร้าง  
 สถานะการใช้งานเป็นระยะเวลานาน และสถานะการลดลงของระดับน้ำในคลองอย่างรวดเร็ว  
 น้ำหนักบรรทุกทุกจรสำหรับการวิเคราะห์ทั้งสามสถานะเท่ากับ 20 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ผล  
 การศึกษาแสดงให้เห็นว่าคันดินที่เสริมและไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์มีเสถียรภาพในสถานะสิ้นสุด  
 การก่อสร้างและในสถานะหลังใช้งานเป็นเวลานาน การเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ช่วยเพิ่มเสถียรภาพ  
 ให้กับคันดินถึงร้อยละ 53 และ 34 สำหรับสถานะสิ้นสุดการก่อสร้างและในสถานะหลังใช้งานเป็น  
 เวลานาน ตามลำดับ คันดินที่ไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์เกิดการวิบัติในสถานะการลดลงของระดับ  
 น้ำในคลองอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ อัตราส่วนปลอดภัยของคันดินที่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์มีค่าสูง  
 ถึง 1.579 ผลงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับคันดินที่  
 ตั้งอยู่บนชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางภายใต้เงื่อนไขสถานะสิ้นสุดการก่อสร้าง สถานะการใช้งาน  
 เป็นระยะเวลานาน และสถานะการลดลงของระดับน้ำในคลองอย่างรวดเร็วอย่างเห็นได้ชัด

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนักศึกษา \_\_\_\_\_

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา \_\_\_\_\_

AMNAT PINPHET : STABILITY ANALYSIS OF A RURAL ROAD  
REINFORCED WITH GEOTEXTILES : A CASE STUDY AT ROUTE NO.  
4003 INTERSECTION HIGHWAY NO. 3030 – BANBANGMON  
MUANGSINGBURI DISTRICT, SINGBURI. ADVISOR : PROF. SUKSAN  
HORPIBULSUK, Ph.D., P.E.

This research investigates a possibility of geotextiles reinforcement in a half width of embankment of a rural road at Route No. 4003 Intersection Highway No. 3030 – Banbangmon Muangsingburi district, Singburi province. The embankment founds on a 12.5 m thick medium clay, having a total unit weight and saturated unit weight of 16 and 18 kN/m<sup>3</sup>, respectively, friction angle of 25 degrees, modulus of 20,000 kPa, and poison ratio of 0.35. Under the medium clay, there is a sand layer having a total unit weight and saturated unit weight of 17 and 19 kN/m<sup>3</sup>, respectively, friction angle of 40 degrees, modulus of 50,000 kPa and poison ratio of 0.30. The slope stability analysis of Polyfelt PEC 200 reinforced embankment compared with that of unreinforced embankment was performed by Plaxis 2D program. The simulated conditions includes end of construction, long term and rapid drawdown. The live load of 20 kPa was assumed for the three simulated conditions. The simulated results show that both the reinforced and unreinforced embankments are stable at the end of construction and long-term conditions. The geotextile reinforcement improves the stability of the embankment to 53% and 34% at the end of construction and long-term conditions, respectively. The unreinforced embankment fails under a rapid drawdown condition while the factor of safety of reinforced embankment is as high as 1.579. It is evident from this research that the geotextile reinforcement improve the slope stability of an embankment founded on medium clay at the end of construction, long-term and rapid drawdown conditions.

School of Civil Engineering  
Academic Year 2014

Student's Signature \_\_\_\_\_  
Advisor's Signature \_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือสนับสนุนด้านวิชาการต่างๆ รวมทั้งคณะกรรมการสอบโครงการ ที่ช่วยแนะนำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ขึ้น ขอขอบคุณบริษัท TenCate ที่สนับสนุนแผ่นใยสังเคราะห์ในการวิจัย แขนงทางหลวงชนบทสิงห์บุรี ที่ได้สนับสนุน แปลงทดลอง เครื่องจักร บุคลากรดำเนินงาน และนายอาทิตย์ อุดมชัย พร้อมด้วยเจ้าหน้าที่ของ สาขาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำการดำเนินงานวิจัยให้มีความเรียบร้อย

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง ทุกคนในครอบครัว รวมถึงเพื่อน ๆ และ ผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

อำนาจ ปิ่นเพชร



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ช
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วิธีการแก้ปัญหาด้านเสถียรภาพ.....	4
2.1.1 การใช้น้ำหนักกดทับลวงหน้าแบบถมเป็นขั้นตอน.....	4
2.1.2 การใช้ชันทางขนานข้าง.....	4
2.1.3 การใช้แผ่นวัสดุสังเคราะห์.....	5
2.2 แนวคิดและหลักการใช้งานแผ่นวัสดุสังเคราะห์.....	6
2.3 ประเภทของแผ่นวัสดุสังเคราะห์.....	7
2.4 วัสดุที่ใช้ผลิต Geosynthetics.....	9
2.5 Geotextiles.....	9
2.6 แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน.....	12
2.7 การต่อเชื่อม Geosynthetics.....	14
2.8 ทฤษฎีการวิเคราะห์เสถียรภาพคันดิน.....	16
2.9 การวิเคราะห์การเสียรูปแบบ Elastic.....	17
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18

3	วิธีดำเนินการศึกษา.....	24
3.1	บทนำ.....	24
3.2	ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล.....	25
3.3	ขั้นตอนการตรวจสอบเสถียรภาพ.....	28
3.4	ขั้นตอนการก่อสร้างแปลงทดลอง.....	29
4	การศึกษาและวิเคราะห์ผล.....	32
4.1	บทนำ.....	32
4.2	รูปแบบของคันทางที่เสริมและไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์.....	32
4.3	ขั้นตอนการก่อสร้างแปลงทดลอง.....	34
4.4	ข้อเสนอแนะของปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	40
4.5	ข้อมูลการวิเคราะห์เสถียรภาพคันทาง.....	41
4.6	เสถียรภาพคันทาง.....	43
5	สรุปผล.....	51
	เอกสารอ้างอิง.....	52
	ประวัติผู้เขียน.....	54



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุสังเคราะห์ Geotextile และ Geogrids ที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมกำลังของคันทางบนดินอ่อน.....	14
2.2 ระยะเวลาของวัสดุสังเคราะห์ที่ต้องการ ซึ่งขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของดินฐานราก.....	15
4.1 สรุปผลการวิเคราะห์เสถียรภาพคันทาง.....	50





## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการทำงานของงานทางขนานข้าง.....	4
2.2 หลักการทำงานของแผ่นวัสดุสังเคราะห์.....	5
2.3 การวิบัติเมื่อไม่มีการใช้แผ่นวัสดุสังเคราะห์.....	6
2.4 แนวทางแก้ไขโดยใช้วัสดุแผ่นสังเคราะห์ช่วยในการรับแรง.....	6
2.5 ตัวอย่างวัสดุสังเคราะห์ที่ใช้งานโดยทั่วไป.....	8
2.6 แผนผังการทำงานของเครื่องทอ Woven Geotextiles.....	11
2.7 ขั้นตอนการผลิต Woven Geotextiles.....	11
2.8 รูปแบบต่างๆของการเย็บ Geotextiles ที่อยู่ติดกัน.....	16
2.9 รูปแบบการเสริมแรงในแนวราบ.....	20
2.10 รูปแบบการเสริมแรงให้สัมพันธ์กับระนาบวิบัติพอดี.....	21
2.11 รูปแบบการพังทลายแบบคันทางส่วนที่ถมอยู่เหนือวัสดุแผ่นสังเคราะห์เกิดการเลื่อน.....	21
2.12 รูปแบบการพังทลายแบบคันทางวัสดุแผ่นสังเคราะห์ขาดออกจากกัน.....	22
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนความปลอดภัย และการเสริมวัสดุสังเคราะห์เพื่อ เสริมแรงในถนนคันทางบนดินอ่อนที่มีค่ากำลัง (Su) ต่างๆ ซีรชาติ (2540).....	23
3.1 แผนผังการดำเนินโครงการ.....	24
3.2 ที่ตั้งโครงการ.....	25
3.3 ลักษณะความเสียหายของถนน กม. ที่ 0+600 ทางหลวงชนบทสาย สท.4003 จังหวัดสิงห์บุรี.....	26
3.4 ลักษณะความเสียหายของถนน กม. ที่ 0+650 ทางหลวงชนบทสาย สท.4003 จังหวัดสิงห์บุรี.....	26
3.5 ผลการสำรวจลักษณะของถนนเดิม กม. ที่ 0+645.....	27
3.6 ผลการสำรวจลักษณะของถนนเดิม กม. ที่ 0+655.....	28
3.7 ผลการสำรวจลักษณะของถนนเดิม กม. ที่ 0+665.....	28
3.8 Polyfelt PEC 200 Reinforcing Geotextile.....	29
3.9 แผนผังการก่อสร้างแปลงทดลอง.....	31
4.1 รูปตัดของแปลงทดลองที่ 1 คันทางเสริมเสถียรภาพด้วยแผ่นใยสังเคราะห์.....	33
4.2 รูปตัดของแปลงทดลองที่ 2 คันทางไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์.....	33

4.3 ก. การรื้อผิวทาง โครงสร้างทาง และคันทางเดิมแปลงทดลองที่ 1	35
4.3 ข. การรื้อผิวทาง โครงสร้างทาง และคันทางเดิมแปลงทดลองที่ 2	35
4.4 ก. การตรวจสอบความลึกของคันทางที่รื้อออกในแปลงทดลองที่ 1	35
4.4 ข. การตรวจสอบความลึกของคันทางที่รื้อออกในแปลงทดลองที่ 2	35
4.5 ก. การกองเก็บดินคันทางที่รื้อออกด้วยรถขุดไฮดรอลิก	36
4.5 ข. การกองเก็บดินคันทางที่รื้อออกด้วย รถบรรทุกเทท้ายแบบ 6 ล้อ	36
4.6 ก. การบดอัดดินฐานราก	36
4.6 ข. การตรวจสอบความแน่นของดินฐานราก	36
4.7 ก. การปูแผ่นใยสังเคราะห์ ชั้นที่ 1 ของแปลงทดลองที่ 1	36
4.7 ข. การปูแผ่นใยสังเคราะห์ ชั้นที่ 1 ของแปลงทดลองที่ 2	36
4.8 ก. การติดตั้ง Settlement Plate ในแปลงทดลองที่ 1	37
4.8 ข. การติดตั้ง Settlement Plate ในแปลงทดลองที่ 2	37
4.9 ก. การถมกลับด้วยรถขุดไฮดรอลิก	37
4.9 ข. การถมกลับด้วยรถบรรทุกเทท้ายแบบ 6 ล้อ	37
4.10 ก. การพับปลายแผ่นใยสังเคราะห์กลับบนดินถมคันทางชั้นที่ 1	37
4.10 ข. การต่อแกนเหล็กของ Settlement Plate	37
4.11 ก. การปูแผ่นใยสังเคราะห์ ชั้นที่ 2 ในแปลงทดลองที่ 1	38
4.11 ข. การปูแผ่นใยสังเคราะห์ ชั้นที่ 2 ในแปลงทดลองที่ 1	38
4.12 ก. การบดอัดดินด้วยรถบดแบบล้อผสมในแปลงทดลองที่ 1	38
4.12 ข. การบดอัดดินด้วยรถบดแบบล้อผสมในแปลงทดลองที่ 2	38
4.13 ก. การถมกลับลูกรังในแปลงทดลองที่ 1	38
4.13 ข. การถมกลับลูกรังในแปลงทดลองที่ 2	38
4.14 ก. การบดอัดลูกรังด้วยรถบดแบบล้อผสม	39
4.14 ข. การทดสอบความแน่นในสนามของดินลูกรัง	39
4.15 ก. การถมกลับชั้นหินคลุก	39
4.15 ข. การทดสอบความแน่นในสนามของชั้นหินคลุก	39
4.16 ก. การทำผิวจราจรในแปลงทดลองที่ 1	39
4.16 ข. การทำผิวจราจรในแปลงทดลองที่ 2	39
4.17 การปูวัสดุเสริมแรงในคันทางที่ถูกรื้อ	41
4.18 Mesh สำหรับวิเคราะห์เสถียรภาพคันดินกรณีไม่เสริม Geotextile	42

4.19 Mesh สำหรับวิเคราะห์เสถียรภาพคันดินกรณีเสริม Geotextile.....	43
4.20 ลักษณะการวิบัติในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้าง (กรณีไม่มี Geotextile).....	44
4.21 ระบายวิบัติในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้าง (กรณีไม่มี Geotextile).....	45
4.22 ลักษณะการวิบัติในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้าง (กรณีมี Geotextile).....	45
4.23 ระบายวิบัติในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้าง (กรณีมี Geotextile).....	46
4.24 ลักษณะการวิบัติในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้างเป็นเวลานานและรับน้ำหนักบรรทุก (กรณีไม่มี Geotextile).....	46
4.25 ระบายวิบัติในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้างเป็นเวลานานและรับน้ำหนักบรรทุก (กรณีไม่มี Geotextile).....	47
4.26 ลักษณะการวิบัติในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้างเป็นเวลานานและรับน้ำหนักบรรทุก (กรณีมี Geotextile).....	47
4.27 ระบายวิบัติในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้างเป็นเวลานานและรับน้ำหนักบรรทุก (กรณีมี Geotextile).....	48
4.28 ลักษณะการวิบัติในสถานะระดับน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็ว (กรณีไม่มี Geotextile).....	48
4.29 ระบายวิบัติในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้างเป็นเวลานานและรับน้ำหนักบรรทุก (กรณีไม่มี geotextile).....	49
4.30 ลักษณะการวิบัติในสถานะระดับน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็ว (กรณีมี Geotextile).....	49
4.31 ระบายวิบัติในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้างเป็นเวลานานและรับน้ำหนักบรรทุก (กรณีมี geotextile).....	50

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ทางหลวงชนบทมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาประเทศ เนื่องจากเป็นเส้นทางที่ใช้ในการคมนาคมขนส่ง การท่องเที่ยว รวมทั้งช่วยแก้ไขปัญหาการจราจร โดยการใช้เป็นทางเชื่อม (Missing Link) ทางเลี้ยว (By Pass) ทางลัด (Short Cut) ส่งผลให้เกิดการพัฒนาเมืองอย่างบูรณาการและยั่งยืน รวมทั้งเป็นโครงข่ายทางหลวงสายรองที่ช่วยขนส่งสินค้าอุปโภคบริโภคสู่ทางหลวงสายหลัก ก่อให้เกิดการขนส่งสินค้าและการเดินทางของประชาชนได้สะดวกและรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ ด้วยปัจจัยพื้นฐานดังกล่าว รัฐจึงพัฒนาและซ่อมบำรุงทางหลวงชนบทอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหน่วยงานหลักของกรมทางหลวงชนบทที่ทำหน้าที่ซ่อมบำรุงถนน ประกอบด้วย สำนักบำรุงทาง สำนักงานทางหลวงชนบท แขวงทางหลวงชนบท และหมวดบำรุงทางหลวงชนบท แขวงทางหลวงชนบทสิงห์บุรีเป็นหนึ่งในหลายหน่วยงานที่รับผิดชอบการซ่อมบำรุงถนนของกรมทางหลวงชนบท มีหน้าที่บำรุงรักษาโครงข่ายทางหลวงชนบท จำนวน 30 สายทาง ระยะทางประมาณ 260 กิโลเมตร ในจำนวนนี้มี 17 สายทาง ระยะทางประมาณ 170 กิโลเมตร เป็นถนนบนคันคลองชลประทานที่มีปัญหาด้านเสถียรภาพและพื้นที่ของถนนจำกัด ถนนส่วนใหญ่ตั้งอยู่บนชั้นดินอ่อน ส่งผลให้เกิดการทรุดแอ่นตัวของผิวจราจร และเกิดน้ำขังได้ง่าย นอกจากความเสียหายดังกล่าวข้างต้น ถนนบางช่วงยังขาดเสถียรภาพเกิดการวิบัติของคันทาง เนื่องจากการลดระดับน้ำในคลองแบบฉับพลัน ส่งผลให้ถนนเกิดการขาดเสถียรภาพของเชิงลาดคันทาง ทำให้ถนนเสียหายการจราจรติดขัด

ระยะเวลากว่า 10 ปี กรมทางหลวงชนบทได้ศึกษาหาวิธีการแก้ไขปัญหาเสถียรภาพของคันทางหลายวิธี อาทิเช่น 1) การใช้น้ำหนักกดทับล่วงหน้าแบบถมเป็นขั้นตอน (Preloading-Staged Construction) 2) การใช้ชันทางขนานข้าง (Berm) และ 3) การใช้แผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) เป็นวัสดุเสริมแรง เป็นต้น

การใช้แผ่นใยสังเคราะห์เป็นวัสดุเสริมแรง มีวิธีการก่อสร้างที่ไม่ซับซ้อน ใช้ประเภทเครื่องจักรน้อย หาผู้รับเหมาง่าย การขนย้ายวัสดุทำได้ง่ายและรวดเร็ว มีราคาไม่สูงมาก และยังเหมาะสมกับการใช้ในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านเขตทาง ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะถนนโครงข่ายของแขวงทางหลวงชนบทสิงห์บุรีที่เป็นหน่วยงานที่ผู้วิจัยสังกัดอยู่ จึงเป็นสาเหตุให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาวิจัยการประยุกต์ใช้แผ่นใยสังเคราะห์เป็นวัสดุเสริมแรงในคันทาง เพื่อสร้างองค์ความรู้แก่

หน่วยงาน และพัฒนาแนวทางการแก้ปัญหาให้กับประชาชนที่สัญจรบนถนนในพื้นที่ความ  
รับผิดชอบ

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาเสถียรภาพของคันทางที่เสริมและไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) ที่สภาวะสิ้นสุดการก่อสร้าง การใช้งานเป็นเวลานาน และการลดลงของระดับน้ำในคลองอย่างรวดเร็ว ด้วยโปรแกรม Plaxis 2D
- 1.2.2 เพื่อเป็นองค์ความรู้แก่ศูนย์ความรู้ (Knowledge Center) ของกรมทางหลวงชนบท และแขวงทางหลวงชนบทสิงห์บุรี
- 1.2.3 เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ตามภารกิจการเป็นที่เลี้ยง  
ให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ในการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการซ่อมบำรุงทาง

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจความเสียหายของคันทาง ถนนทางหลวงชนบทสาย สท. 4003 แยก  
ทางหลวงหมายเลข 3030 – บ้านบางมอญ อำเภอเมืองสิงห์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี ซึ่งอยู่ในความ  
รับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบทและกรมชลประทาน หลังจากนั้นได้เลือกคันทางที่เกิดการ  
วิบัติ เพื่อใช้เป็นแปลงศึกษา หลังจากนั้นผู้วิจัยจะทำการรวบรวมข้อมูลชั้นดิน (Soil  
investigation) เพื่อสรุปลักษณะของชั้นดินใต้คันทาง ถนนที่วิบัตินี้จะถูกรื้อออก เพื่อก่อสร้างใหม่  
ทดแทนโดยการเสริมวัสดุสังเคราะห์ (Geosynthetics) ที่ได้คันทาง และทำการตรวจสอบเสถียรภาพ  
ของคันทางด้วยวิธีเชิงตัวเลข โดยโปรแกรม Plaxis แล้วเปรียบเทียบเสถียรภาพของคันทางในกรณี  
ที่มีและไม่มีแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) เป็นวัสดุเสริมแรง

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบเสถียรภาพของคันทางที่เสริมและไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) ที่  
สภาวะสิ้นสุดการก่อสร้าง การใช้งานเป็นเวลานาน และการลดลงของระดับน้ำใน  
คลองอย่างรวดเร็ว
- 1.4.2 ทราบและเข้าใจแนวทางในการซ่อมบำรุงทางหลวงชนบทด้วยการเสริมแผ่นใย  
สังเคราะห์

- 1.4.3 ได้องค์ความรู้แก่ศูนย์ความรู้ของกรมทางหลวงชนบท และแขวงทางหลวงชนบท สิบบุรี ซึ่งจักได้นำไปถ่ายทอดตามกระบวนการจัดการความรู้ (Knowledge Management) ต่อไป
- 1.4.4 ทราบและเข้าใจแนวทางในการซ่อมบำรุงทางหลวงท้องถิ่น ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในพื้นที่จังหวัดสิบบุรี



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

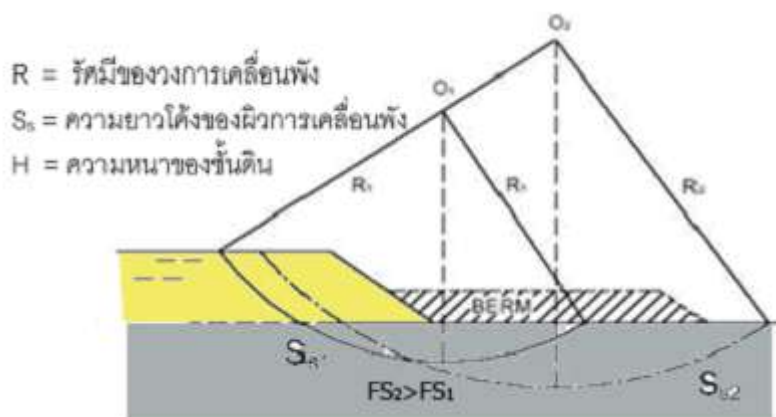
#### 2.1 วิธีการแก้ปัญหาด้านเสถียรภาพ

##### 2.1.1 การใช้น้ำหนักกดทับล่วงหน้าแบบถมเป็นขั้นตอน (Preloading-staged construction)

ในการก่อสร้างคันทางสูงบนดินอ่อน การถมดินในครั้งเดียวให้เสร็จถึงชั้นพื้นทางมักจะเกิดปัญหาด้านการเคลื่อนตัวของคันทางก่อนที่จะถึงระดับสุดท้ายที่ต้องการ วิธีการก่อสร้างคันทางโดยใช้น้ำหนักกดทับล่วงหน้าแบบถมเป็นขั้นตอนจึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว และเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในประเทศไทย การก่อสร้างจะทำการถมดินทีละชั้นเพื่อควบคุมหน่วยแรงที่เกิดจากดินถมให้สอดคล้องกับกำลังรับแรงเฉือนของดินฐานราก ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการวิบัติของดินฐานราก การถมดินในแต่ละชั้นจะถูกปล่อยทิ้งไว้เป็นระยะเวลาที่สอดคล้องกับการสลายไปของความดันน้ำส่วนเกิน (Excess pore water pressure) เพื่อรอให้กำลังของดินฐานรากพัฒนาขึ้น แล้วจึงทำการถมดินชั้นต่อไป การถมดินจะกระทำเช่นนี้จนถึงชั้นพื้นทางที่มีความสูงตามที่ออกแบบ อย่างไรก็ตามการเคลื่อนตัวด้านข้างของคันทางจะเกิดขึ้นค่อนข้างสูง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งปลูกสร้างข้างเคียงและเป็นการสิ้นเปลืองวัสดุที่ใช้ถมมากขึ้น

##### 2.1.2 การใช้ขนทางขนานข้าง (Berm)

การก่อสร้างขนทางขนานข้างคันทางใช้อย่างแพร่หลายเพื่อแก้ปัญหาเสถียรภาพของคันทาง เพราะเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และประหยัดงบประมาณ ดินถมขนทางจะทำหน้าที่เป็นน้ำหนักถ่วง (Counter weight) น้ำหนักถ่วงจะช่วยเพิ่มรัศมีการวิบัติของดินคันทาง ซึ่งจะส่งผลให้เสถียรภาพโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้น อีกประการหนึ่งคือ การเพิ่มแรงต้านทานการเคลื่อนตัวของมวลดินทำให้คันทางมีความมั่นคงแข็งแรง หลักการทำงานของขนทางขนานข้าง (Berm) แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของขนทางขนานข้าง (Berm)

วิธีการนี้เหมาะสำหรับดินคันทางที่มีความสูงไม่มากนัก หากใช้ในกรณีที่ดินคันทางมีความสูงมากจะต้องใช้ชนทางขนานข้างที่มีความสูงและความยาวเพิ่มขึ้นมาก ซึ่งสิ้นเปลืองวัสดุมากและไม่ประหยัด ดังนั้น การก่อสร้างในบางพื้นที่จึงมักใช้ชนทางขนานข้างร่วมกับการก่อสร้างแบบถมเป็นขั้นตอน เพื่อลดปริมาณดินที่ใช้ในการถมชนทางลง วิธีนี้ข้อจำกัดคือไม่สามารถใช้กับพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านเขตทาง

### 2.1.3 การใช้แผ่นวัสดุสังเคราะห์ (Geosynthetics)

การใช้ชนทางขนานข้าง (Berm) เหมาะสำหรับบริเวณที่มีพื้นที่กว้าง เนื่องจากต้องถมดินขนานทั้งสองข้างของคันทาง การก่อสร้างวิธีนี้จึงไม่เหมาะกับบริเวณที่มีพื้นที่เขตทางจำกัด การใช้วัสดุสังเคราะห์เสริมในคันทาง จึงได้ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้น เพื่อช่วยเสริมกำลังให้กับคันทาง โดยจะทำให้หน้าตัดรับแรงดึงและกระจายแรงลงสู่ดินฐานราก ส่งผลให้เสถียรภาพของคันทางเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แผ่นใยสังเคราะห์ยังช่วยทำให้การทรุดตัวมีความสม่ำเสมอมากขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ และยังช่วยเรื่องการระบายน้ำจากคันทางออกสู่ทางด้านข้าง รวมทั้งทำหน้าที่เป็นตัวแยกชั้นวัสดุระหว่างดินเดิมกับวัสดุดินถม เพื่อป้องกันการจมตัวของวัสดุดินถม ข้อเสียและข้อจำกัดของแผ่นใยสังเคราะห์คือ ไม่ทนต่อการตัดไฟ และการใช้แผ่นใยสังเคราะห์ไม่ได้ช่วยลดการทรุดตัวเนื่องจากกระบวนการยุบอัดตัวคายน้ำแต่อย่างใด หลักการทำงานของแผ่นใยสังเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 2.2



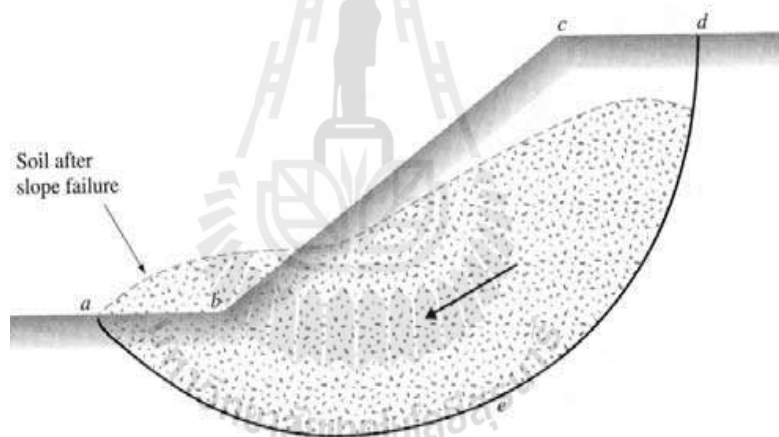
รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของแผ่นวัสดุสังเคราะห์



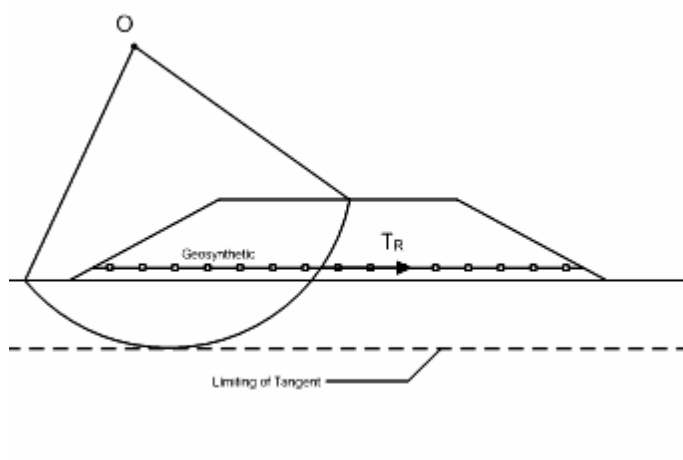
## 2.2 แนวคิดและหลักการใช้งานแผ่นวัสดุสังเคราะห์ (Geosynthetic)

มนุษย์เรารู้จักการเสริมกำลังในดินโดยนำเอาวัสดุธรรมชาติมาใช้ตั้งแต่โบราณ South Carolina Highway Department เป็นหน่วยงานที่เริ่มนำผ้าฝ้ายหนา ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับวัสดุสังเคราะห์มาเสริมแรงให้กับคันทาง โดยการปูผ้าบนดินเดิมก่อนแล้วใช้แอสฟัลต์ร้อนเททับบนผ้า และใช้ทรายชั้นบางๆ ปูทับอีกหนึ่งชั้นก่อนดำเนินการก่อสร้างคันทางในชั้นตอนสุดท้าย ในปี ค.ศ. 1935 ได้มีการทดลองวิธีการนี้กับถนนคันทาง ซึ่งสามารถใช้ได้ดินผ้าฝ้ายเสื่อมชำรุดตามกาลเวลา และก็เป็นสาเหตุให้ถนนคันทางชำรุดลงด้วย การทดลองครั้งนั้นเป็นจุดนำไปสู่การเริ่มต้นของการพัฒนาวัสดุสังเคราะห์ มาจนถึงปัจจุบัน

โดยทั่วไป การก่อสร้างคันทางบนชั้นดินอ่อนมักจะประสบปัญหาเรื่องความสามารถในการรับน้ำหนักมีค่าน้อยและเสถียรภาพต่ำ ซึ่งก่อให้เกิดการพังทลายในลาดคันทาง เนื่องจากการทรุดตัวของดินคันทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 การใช้วัสดุสังเคราะห์ในการเสริมแรงตามรูปที่ 2.4 จะช่วยเพิ่มโมเมนต์ต้านทานการวิบัติ



รูปที่ 2.3 การวิบัติเมื่อไม่มีการใช้แผ่นวัสดุสังเคราะห์



รูปที่ 2.4 แนวทางแก้ไขโดยใช้แผ่นวัสดุสังเคราะห์ช่วยในการรับแรง

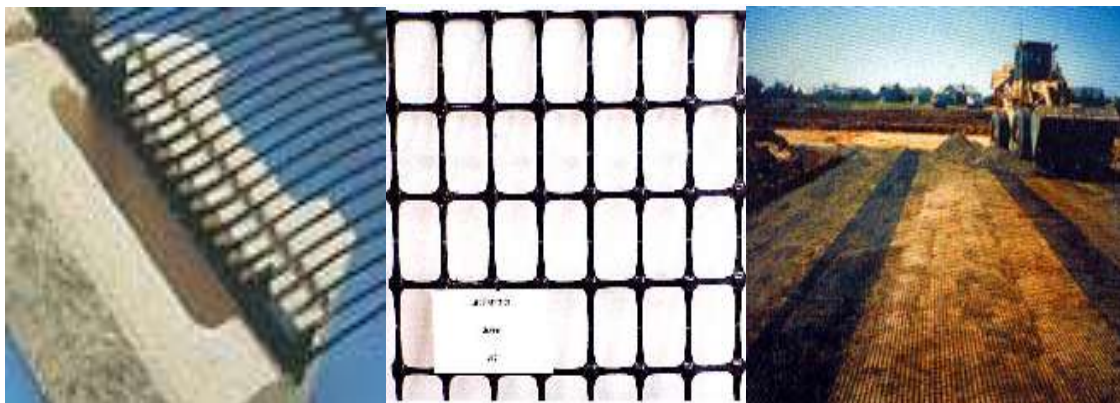
## 2.3 ประเภทของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ (Type of Geosynthetics)

วัสดุสังเคราะห์สามารถจำแนกได้หลายประเภท ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่าง วัสดุที่ใช้ในการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2.5 วัสดุสังเคราะห์ที่พบบ่อยในงานด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค มี 4 ประเภท ดังนี้

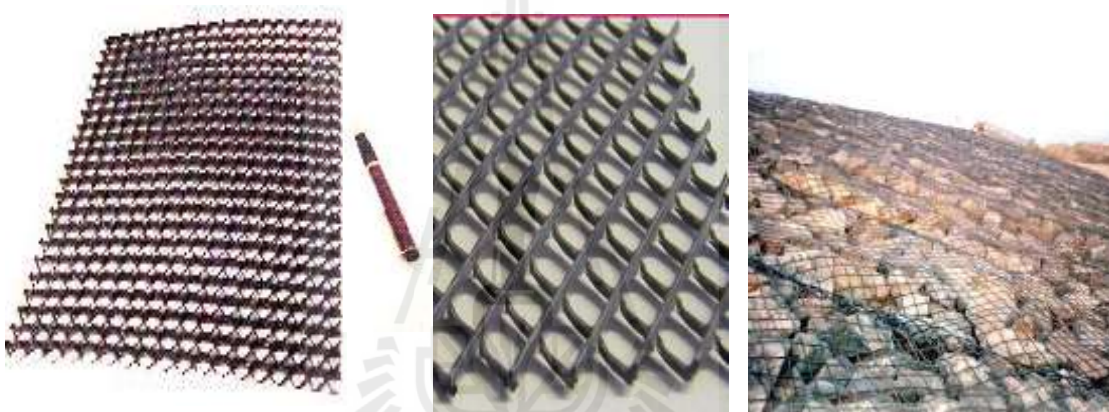
- 2.3.1 Geotextiles มีลักษณะเป็นแผ่นผลิตจากเส้นใยจำพวก Synthetic Fiber ซึ่งมีความคงทนดีกว่าเส้นใยธรรมชาติ มีคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นสูงและสม่ำเสมอ ผลิตเป็นแผ่นโดยการถักหรือทอเหมือนผ้า นำมาใช้เพื่อประโยชน์ในการแยกชั้นวัสดุ (Separation) การเสริมแรง (Reinforcement) การกรองวัสดุ (Filtration) การระบายน้ำ (Drain) และป้องกันการกัดเซาะ (Erosion Control)
- 2.3.2 Geogrids มีลักษณะเป็นแผ่น ผลิตโดยการประสานเส้นวัสดุจำพวก Polymer ให้เป็นตารางขนาดต่างๆ มีช่องว่างและขนาดเส้นใยโตกว่า Geotextiles แต่เทคนิคการประสานเส้นใยเหมือนกันนำมาใช้เพื่อประโยชน์ในการเสริมแรงเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมีคุณสมบัติด้านการยึดตัวในระยะยาวต่ำกว่า และสามารถผลิตให้มีความสามารถในการรับแรงดึงได้สูงๆ
- 2.3.3 Geonets หรือ Geospaces มีลักษณะเป็นแผ่นตาข่ายผลิตจากวัสดุประเภท Polyethylene เป็นส่วนใหญ่ สามารถผลิตช่องเปิดกว้างได้ตามต้องการ นำมาใช้เพื่อประโยชน์ในการระบายน้ำโดยเฉพาะ และต้องใช้ร่วมกับ Geotextiles ประกอบหน้าหลังเพื่อกรองวัสดุเข้าไปอุดตันช่องระบายน้ำใน Geonets เสมอ
- 2.3.4 Geomembranes มีลักษณะเป็นแผ่นที่ผลิตจากวัสดุประเภท Polyethylene หรือพลาสติก หรือยางมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของน้ำได้ต่ำมาก นำมาใช้เพื่อประโยชน์ในการควบคุมการไหลซึมของน้ำเสียไม่ให้ไหลซึมมากับแหล่งน้ำดี หรือใช้ในการป้องกันการไหลเข้าออกของน้ำ และใช้เป็นวัสดุป้องกันการกัดกร่อนได้ด้วย ซึ่งปกติจะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Coefficients of Permeability) ประมาณ  $10^{-7}$  ซม./วินาที



ก) Geotextile



๗) Geogrids



๘) Geonets



๙) Geomembranes

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างวัสดุสังเคราะห์ที่ใช้งานโดยทั่วไป

## 2.4 วัสดุที่ใช้ผลิต Geosynthetics

วัสดุที่ใช้ในการผลิต Geosynthetics คือ Synthetic Polymer Materials สามารถแบ่งออกเป็นหลายชนิดเพื่อความเหมาะสมสำหรับงานแต่ละประเภท โดยส่วนใหญ่จะนำมาใช้เพียง 5 ชนิด คือ

- 2.4.1 Polyethene (PE) ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถใช้ผลิตเป็นแผ่นได้ดีมีความคงทน และสามารถทนต่อกรด ด่าง ในช่วง pH ระหว่าง 2-13 และต้านทานปฏิกิริยา Oxidation ได้ดี และคงทนต่อแสง UV เนื่องจากมีการผสม Carbon ลงในวัสดุประมาณร้อยละ 2 โดยทั่วไป Polyethene ใช้ในการผลิต Geomembranes
- 2.4.2 Polyimide (PA), Nylon ได้แก่ Nylon6 และ Nylon66 ปกติไม่ใช้ในการผลิต Geotextiles แต่ใช้เป็นวัสดุผลิตใน Geosynthetics หลายประเภท
- 2.4.3 Polyester (PES or PET) ใช้ผลิต Geotextiles ในปริมาณร้อยละ 14 ถึง 35 ของปริมาณ Geotextiles ที่ใช้ในปัจจุบัน โดยวัสดุสามารถทน pH ได้สูงกว่า 9
- 2.4.4 Polypropylene (PP) เป็นวัสดุที่ได้จากการพัฒนา Polypropylene โดยมีคุณสมบัติสามารถทน PH ได้ระหว่าง 3-13 โดย Geotextiles ส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุชนิดนี้ในปริมาณร้อยละ 65 ถึง 85 ของปริมาณที่ใช้ในปัจจุบัน
- 2.4.5 Polyvinyl Chloride (PVC) ซึ่งเรารู้จักกันดีในอุตสาหกรรมการผลิตท่อน้ำใช้เป็นวัสดุในการผลิต Geosynthetics บางประเภทหรือใช้เป็นวัสดุเคลือบประกอบเพื่อเสริมความคงทนหรือใช้ฉาบผิวหน้าของ Geosynthetics บางประเภทด้วย

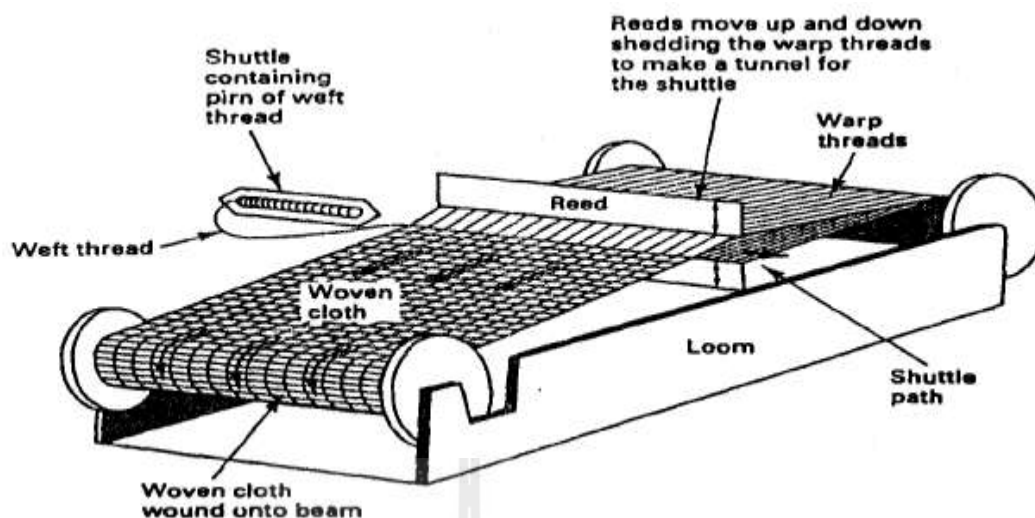
นอกจากวัสดุทั้ง 5 ชนิดแล้วยังมีวัสดุ Synthetic Polymers บางชนิดที่ใช้ในการผลิต Geosynthetics แต่มีจำนวนน้อย เช่น Chlorosulphonated Polyethylene (CPE), Polystyrene (PS), และ Chlorosulphonated Polyethylene (CSPE) เป็นต้น วัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติที่เฉพาะตัวจึงนำมาใช้ในการผลิตสำหรับงานที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ

## 2.5 Geotextiles

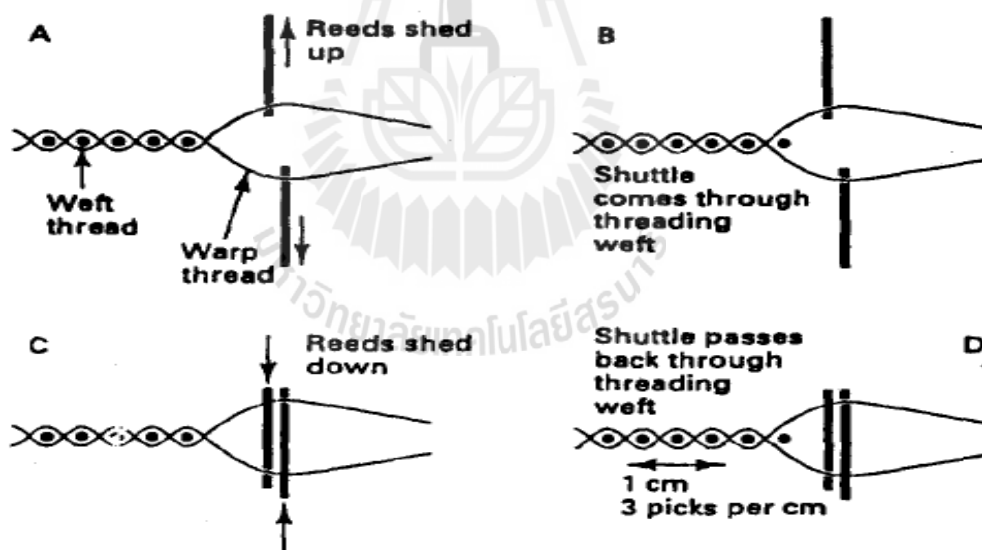
Geotextiles เป็นวัสดุประเภทหนึ่งใน Geosynthetics ซึ่งถูกนำมาใช้และมีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ทุกปี Geotextiles เริ่มใช้ใน ช่วง ค.ศ.1950 – 1960 โดยในเบื้องต้นใช้เป็นวัสดุกรอง (Filter) เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุมวลดินหลุดออกไปตามน้ำที่ไหลเข้าหรือออกจากมวลดิน และต่อมามีการนำมาใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น การเสริมแรงในถนน และการแยกชั้นดินในถนน เป็นต้น จนถึงปัจจุบัน Geotextiles ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวาง ในการก่อสร้างหลายประเภท

2.5.1 ประเภท Geotextiles สามารถแบ่งตามลักษณะของการประสานเส้นใยและคุณสมบัติได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- ก. Woven Geotextiles เป็นประเภทแรกที่มีมนุษย์ผลิตขึ้น โดยการพัฒนาเทคนิคมาจากการทอผ้า แต่เปลี่ยนมาใช้วัสดุประเภท Synthetic Polymers แทนเส้นใย ทำให้เกิดแผ่นทอประสานของ Geotextiles ซึ่งมีส่วนประกอบของแผ่นอยู่ 2 ส่วน คือเส้นใยแนวตามความยาวแผ่นเรียกว่า Warp และเส้นใยในแนวขวางเรียกว่า Weft (ดังรูปที่ 2.6 และ 2.7) เส้นใยที่ใช้ในการทอประสานหนาประมาณ 1 ถึง 2 มม. จึงทำให้แผ่น Geotextiles ที่ได้มีช่องว่างจำนวนมาก และมีค่าการซึมผ่านของน้ำสูง และสามารถให้วัสดุอนุภาคเล็กๆ จำพวกดินเหนียว หรือทรายแบ่งผ่านไปได้บ้าง โดยทั่วไปกำลังดึงของ Geotextiles ในแนว Warp Direction จะมีค่าสูงกว่าแนว Weft Direction
- ข. Nonwoven Geotextiles เป็นการประสานเส้นใย Synthetic Polymers ด้วยพันธะต่างๆ ตามกรรมวิธีการผลิต ดังนี้
- Heat or Thermal Bonding คือการใช้อุณหภูมิในการละลายเส้นใยเข้าประสานกันเป็นแผ่น แผ่น Geotextiles ที่ผลิตได้มีความบางได้ถึง 0.5 ถึง 1 มิลลิเมตร กำลังดึงของแผ่นจะใกล้เคียงกันทุกๆ ทิศทาง การซึมผ่านของน้ำมีค่าในช่วงกว้างมากกว่า Woven Geotextiles
  - Mechanical Bonding or Needle Punched โดยการใช้เข็มชุดที่ได้ออกแบบไว้สำหรับทำการตอก หรือถักร้อยเส้นใยให้ประสานกันเป็นแผ่น แผ่น Geotextiles ที่ผลิตได้มีความหนาระหว่าง 0.5 ถึง 5 มิลลิเมตร คุณสมบัติของ Geotextiles มีแน่นอนและสม่ำเสมอในทุกทิศทางกว่า Geotextiles ที่ผลิตด้วยวิธีอื่น กำลังอัด และการซึมผ่านน้ำมีค่าสูงกว่าแผ่น Geotextiles ที่ผลิตด้วยวิธีอื่น
  - Chemical Bonding โดยใช้สารเคมีในการประสานเส้นใย ได้แก่ Acrylic Resin เป็นต้น วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากควบคุมผลิตภัณฑ์ให้มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการทำได้ยากกว่าวิธีอื่นๆ



รูปที่ 2.6 แผนผังการทำงานของเครื่องทอ Woven Geotextiles



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการผลิต Woven Geotextiles

2.5.2 การประยุกต์ใช้หน้าที่ Geotextiles สามารถใช้ประโยชน์อย่างมากในหลายด้านของงานวิศวกรรมปฐพีที่สามารถสรุปได้เป็น 5 หัวข้อหลัก คือ

- ก. Separation คือการแยกชั้นของดินแต่ละชั้นออกจากกันและไม่ปนกันอย่างถาวร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองวัสดุในการก่อสร้าง และเป็นประโยชน์ทางอ้อมที่ทำให้เกิดการทรุดตัวของชั้นดินแต่ละชั้นใกล้เคียงกัน

- ข. Drainage คือการระบายน้ำออกจากมวลดิน ทำให้ลดน้ำใต้ดินหรือลดแรงดันน้ำ หากใช้ร่วมกับ Geonets จะสามารถระบายน้ำได้ดีมากขึ้นอีก
- ค. Filtration คือการกรองวัสดุไม่ให้น้ำที่ไหลผ่านมวลดินพัดพาเอาอนุภาคของดิน หรือทรายออกไปด้วย มีประโยชน์ในงานเกี่ยวกับการกัดเซาะของน้ำโดยเฉพาะ บริเวณชายฝั่งตลิ่ง และงานกรองในด้านอื่นๆ
- ง. Reinforcement คือการเสริมแรงในดินเพื่อเพิ่มความสามารถในการก่อสร้าง โครงสร้างงานดิน เช่นการเพิ่มอัตราส่วนปลอดภัยต่อเสถียรภาพเชิงลาด หรือเพิ่มกำลังในการรับน้ำหนัก (Bearing Capacity) ของดินเป็นต้น มีประโยชน์ในการก่อสร้าง โครงสร้างงานดินหลายประเภท และเป็นคุณสมบัติที่ในการวิจัย ครั้งนี้นำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการเสริมแรงทางหลวงชนบทที่ขาดเสถียรภาพทางลาด Bowles (1984) และ Des (1990) ได้กล่าวว่า Geotextiles เป็นวิธีหนึ่งในการปรับปรุงความแข็งแรงของดินและใช้ในการเสริมแรงถนนคันทางหรือกำแพงกันดินได้
- จ. Protection คือการป้องกันเพื่อการใช้งานในระยะยาวหรือเพิ่มอายุการใช้งานของ โครงสร้างงานดิน เช่น ลดการกัดเซาะบริเวณริมฝั่ง และปัญหาจากการผสมกันของชั้นรองพื้นทางกับดินเดิม เป็นต้น

### 2.5.3 ข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของ Geotextiles

- ก. ข้อดีของการใช้แผ่นใยสังเคราะห์
- คุณภาพของวัสดุสม่ำเสมอ เนื่องจากผลิตจากโรงงานที่ได้มาตรฐาน
  - การติดตั้งสะดวก ประหยัดเวลา น้ำหนักเบา ราคาถูก
  - อายุการใช้งานยาวนาน เพราะผลิตจากสารสังเคราะห์ทำให้ทนต่อการย่อยสลาย
  - มีความสามารถในการระบายน้ำสูง
  - มีความสามารถในการทนต่อรังสี UV
- ข. ข้อเสียของการใช้แผ่นใยสังเคราะห์
- การยึดตัวสูง

## 2.6 แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrids)

ประเทศสหราชอาณาจักร เป็นประเทศแรกที่ผลิต Geogrids และจัดจำหน่ายไปยัง สหรัฐอเมริกาและแคนาดา ในปี ค.ศ.1982 ในช่วงเริ่มต้น Geogrids ผลิตจาก Polyester ด้วย

เทคนิคการสานเป็นแผ่น ต่อมาจึงมีการพัฒนาวัสดุดิบ การเคลือบผิว และวิธีการผลิตต่างๆ อย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

- 2.6.1 ประเภท Geogrids เป็น Geosynthetic ชนิดหนึ่งซึ่งใช้ประโยชน์ในงานเสริมแรง (Reinforcement) ในโครงสร้างงานดินโดยเฉพาะ มีลักษณะเป็นแผ่นตารางที่ผลิตจาก Synthetic Polymers แผ่น Geogrids จะมีส่วนประกอบหลักๆ อยู่ 2 ส่วน คือ เส้นตามแนวยาวของแผ่น (Longitudinal Rids) และเส้นตามแนวขวางของแผ่น (Transverse Rids) นำมาสานกันและมีช่องเปิดอยู่ทั่วทั้งแผ่น เรียกช่องเปิดเหล่านั้นว่า “Apertures” Geogrids จะสามารถรับแรงดึงได้สูงและการยึดตัวในระยะยาวมีค่าน้อยกว่า Geotextiles จึงเหมาะสมในการใช้รับแรงดึงสูงๆ และใช้ประกอบกับ Geotextiles เพื่อเสริมประโยชน์ในการกรองหรือแบ่งชั้นของวัสดุ การใช้ Geogrids นอกจากต้องพิจารณาถึงความแข็งแรงของเส้นวัสดุที่นำมาสานเป็นแผ่นแล้ว ยังต้องคำนึงถึงกำลังของจุดเชื่อมประสานระหว่างเส้นตามแนวยาวและเส้นตามแนวขวาง ชนิดของ Geogrids สามารถแบ่งได้ตามแนวแกนของการรับแรงดึงได้เป็น 2 ประเภท
- ก. Uniaxial Geogrids คือ Geogrids ที่ผลิตขึ้นมาเพื่อรับแรงในแนวเดียว โดยกำลังดึงในแนวตามยาวจะสูงกว่ากำลังตามแนวขวางมาก Uniaxial Geogrids มีประโยชน์ในการเสริมแรงถนนคันทาง และกำแพงกันดิน เป็นต้น
  - ข. Biaxial Geogrids คือ Geogrids ที่สามารถรับแรงดึงได้สูงทั้ง 2 แกนและใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างพื้นที่ขนาดใหญ่ และงานเสริมแรงได้ฐานราก เป็นต้น

2.6.2 หน้าที่การใช้งาน Geogrids มีประโยชน์ในด้านการเสริมแรง (Reinforcement) ในงานโครงสร้างดิน เช่น งานถนนคันทาง กำแพงกันดิน เป็นต้น เนื่องจาก Geogrids สามารถรับแรงดึงได้สูงกว่า Geosynthetics ประเภทอื่นๆ อีกทั้งมีโมดูลัสสูงและความยืดหยุ่นต่ำ ช่องเปิดของ Geogrids สามารถผลิตได้หลายรูปร่าง เช่น วงรี และสี่เหลี่ยม เป็นต้น จึงใช้แยกส่วนของวัสดุขนาดใหญ่ ที่มีรูปร่างต่างๆ ได้ โดยปกติ Geogrids จะไม่ใช่ในงานแยกส่วนของชั้นวัสดุต่างๆ ไปการใช้ประโยชน์ของ Geogrids นอกเหนือจากที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ยังสามารถใช้ในงานเสริมแรงใน Asphalt Concrete การเสริมแรงเพื่อเพิ่มค่า Bearing Capacity ในดินอ่อน ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงดึงในโครงสร้างกำแพงกันดินให้มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น และใช้ในการเสริมแรงหรือรับแรงดึงใน 3 มิติ รวมทั้งใช้งานร่วมกับ Geotextiles หรือ Geomembranes เพื่อเสริมประโยชน์ ในการแยกชั้นวัสดุ หรือการกรอง หรือการควบคุมอัตราการซึมผ่านของน้ำในโครงสร้างงานดิน



### 2.6.3 ข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดของ Geogrids

#### ก. ข้อดีของการใช้แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน

- มี Strain ช่วงการใช้งานต่ำใกล้เคียงกับดิน
- การรับแรงได้สูงเพราะเกิดจากการ Interlock ระหว่างช่องเปิดของตาข่ายกับดิน
- คุณภาพสม่ำเสมอเพราะผลิตจากโรงงานที่ได้มาตรฐาน
- สามารถผลิตวัสดุที่รับกำลังแรงดึงได้สูงสุดถึง 800kN/m
- มั่นใจได้ในการใช้งานระยะยาว เนื่องจากสามารถออกแบบควบคุมการคืบของวัสดุได้
- มีความสามารถในการทนทานต่อรังสี UV

#### ข. ข้อเสียของการใช้แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน

- ราคาค่อนข้างสูง

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุสังเคราะห์ Geotextile และ Geogrids ที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมกำลังของคันทางบนดินอ่อน

Properties	Geotextile	Geogrid
กำลังรับแรงดึง (kN/m)	10 - 35	> 35
การขยายตัวออกได้, Elongation (%)	> 50	< 12
การยึดติดกับดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ	ต่ำกว่า Geogrid	สูงกว่า Geotextile
พฤติกรรมแบบ Isotropic	มี	ไม่มี
ความทนทานต่อรังสี UV	มี	ดีกว่า Geotextile
ความทนทานการกัดกร่อนทางเคมี	มี	มี
ความสามารถในการระบายน้ำ	สูง	-
ค่าการคืบของวัสดุ	สูง	ต่ำ

## 2.7 การต่อเชื่อม Geosynthetics

วัตถุประสงค์สำหรับการทาบหรือการเย็บติดกันของ Geotextiles ที่วางอยู่ในตำแหน่งติดกันในการประยุกต์ใช้กับการเสริมเข้าไปรับแรงในสองแนวแกน ได้แก่ Mechanically Stabilized Earth Wall, Slope and Embankment ซึ่งจำเป็นจะต้องควบคุมให้อยู่ในสภาพ 100% ในขณะที่ทำการ

ถมดินทับ การควบคุมคุณภาพในการถมดินให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์จะมีผลให้กำลังของวัสดุเสริมแรงมีความสามารถในการรับแรงตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ การพยายามรักษาสภาพของ Geotextiles ให้อยู่ในสภาพ 100% จะต้องมีการควบคุมการเชื่อมต่อที่ดีเพื่อที่จะป้องกันการฉีกขาดในบริเวณรอยต่อซึ่งจะมีผลต่อกำลังของ Geotextiles โดยทั่วไป การเชื่อมต่อ Geotextiles จะนิยมใช้การวางทาบหรือเย็บติดกัน

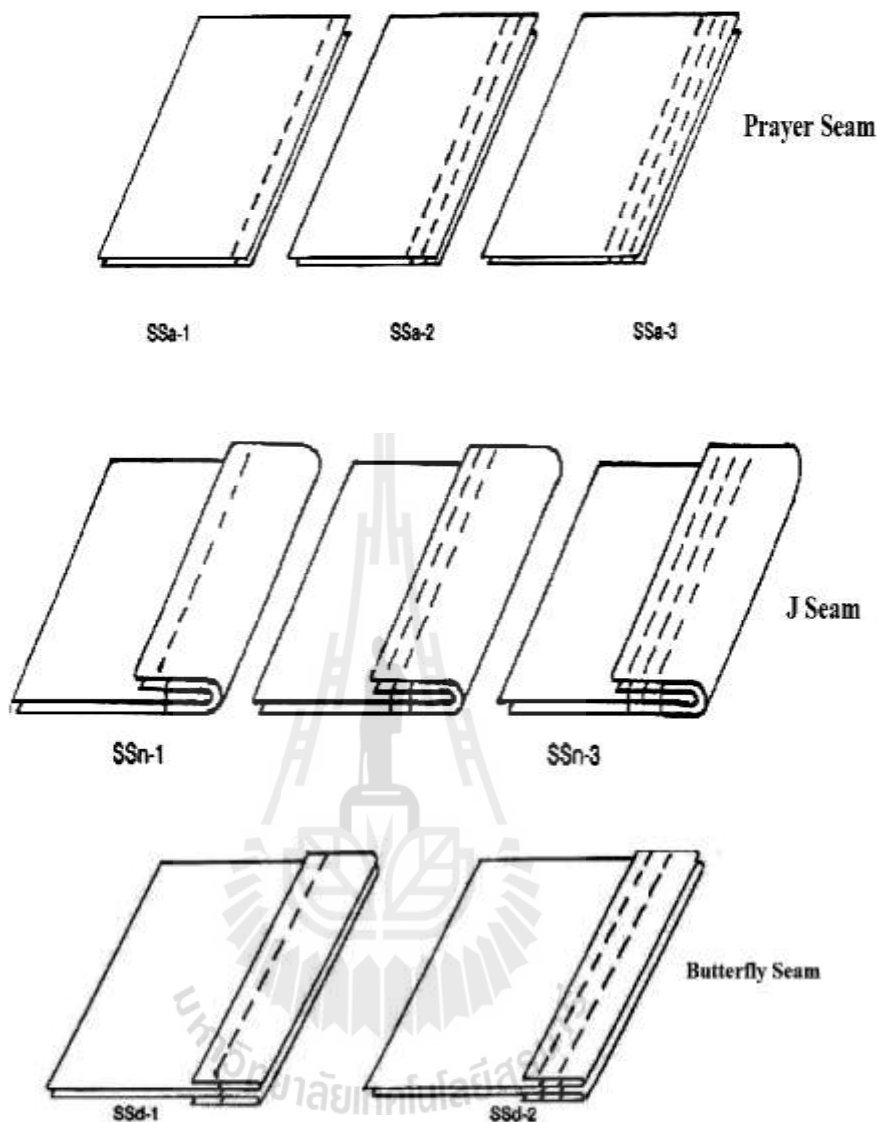
- 2.7.1 การวางทาบและการเย็บติดกันการเลือกลักษณะการเชื่อมต่อว่าเป็นแบบวางทาบกันหรือเย็บติดกันจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของดินฐานรากโดยกำหนดด้วยค่าCBR ดังสรุปไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระยะทาบของวัสดุสังเคราะห์ที่ต้องการ ซึ่งขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของดินฐานราก

Soil CBR	ระยะทาบที่ต่ำที่สุด
> 3	0.30 - 0.45 เมตร
1 - 3	0.60 - 1.00 เมตร
0.5 - 1	1 เมตร หรือ เย็บเชื่อมต่อ
< 0.5	เย็บเชื่อมต่อ

- 2.7.2 รูปแบบการเย็บ (Seam Type) การเย็บเชื่อมที่ถูกต้องใช้บ่อยๆ มี 3 ประเภทดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งได้แก่
- การเย็บเชื่อมแบบ “Flat” หรือ “Prayer”
  - การเย็บเชื่อมแบบ “J” และ
  - การเย็บเชื่อมแบบ “Butterfly”

การเย็บเชื่อมแบบ “Prayer” เป็นการเชื่อมที่ง่ายที่สุดและปกติถูกใช้สำหรับค่ากำลังรับแรงของรอยเย็บที่ต้องการ 42 kN/m หรือมีค่าน้อยกว่า การเย็บเชื่อมแบบ “J” และ “Butterfly” เป็นวิธีการเชื่อมที่ยากจะกระทำและปกติถูกใช้เพื่อที่จะพัฒนาความสามารถในการรับแรงของรอยเย็บเชื่อมที่สูงกว่าแบบแรก



รูปที่ 2.8 รูปแบบต่างๆ ของการเย็บ Geotextiles ที่อยู่ติดกัน

## 2.8 ทฤษฎีการวิเคราะห์เสถียรภาพคันดิน

เทคนิคการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม PLAXIS เรียกว่าการลดมุมเสียดทานภายในและหน่วยแรงเหนี่ยวหน้า (Phi-c reduction) การคำนวณจะลดพารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือน และมุมเสียดทานภายในของดินในสัดส่วนที่เท่ากัน จนกระทั่งเกิดการวิบัติ ดังแสดงในสมการที่ 2.1

$$\sum Msf = \frac{\tan \varphi_{input}}{\tan \varphi_{reduced}} = \frac{c_{input}}{c_{reduced}} \quad (2.1)$$

กระบวนการลดมุมเสียดทานภายในและหน่วยแรงเหนี่ยวนำในโปรแกรม PLAXIS จะถูกดำเนินการโดยการเพิ่มค่า  $\sum Msf$  จนกระทั่งการวิบัติเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ค่า  $\sum Msf$  ของการวิบัติที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์นี้ จะเรียกว่าค่า Factor of safety ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$FS = \frac{\text{available strength}}{\text{equilibrium strength}} = \text{value of } \sum Msf \text{ at failure} \quad (2.2)$$

โดยค่า Factor of safety เสถียรภาพของคันดินที่อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยจะมีค่าตั้งแต่ 1.300 เป็นต้นไป

## 2.9 การวิเคราะห์การเสียรูปแบบ Elastic

แบบจำลองที่ใช้แบบใน PLAXIS เป็นแบบจำลองที่มีความสัมพันธ์ของการเสียรูปแบบ Elastic ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective stress rate,  $\{\dot{\sigma}'\}$ ) และอัตราความเครียด (Strain rate,  $\{\dot{\epsilon}\}$ ) ดังแสดงในสมการที่ 2.3

$$\{\dot{\sigma}'\} = [M]\{\dot{\epsilon}\} \quad (2.3)$$

$$\{\dot{\sigma}'\} = \{\dot{\sigma}'_{xx}, \dot{\sigma}'_{yy}, \dot{\sigma}'_{zz}, \dot{\sigma}'_{xy}, \dot{\sigma}'_{yz}, \dot{\sigma}'_{xz}\}^T \quad (2.4)$$

$$\{\dot{\epsilon}\} = \{\dot{\epsilon}_{xx}, \dot{\epsilon}_{yy}, \dot{\epsilon}_{zz}, \dot{\gamma}_{xy}, \dot{\gamma}_{yz}, \dot{\gamma}_{xz}\}^T \quad (2.5)$$

เมื่อ  $\{\dot{\sigma}'\}$  คือ Effective stress rate  
 $\{\dot{\epsilon}\}$  คือ Strain rate  
 $[M]$  คือ Material stiffness matrix

เมื่อใช้กฎของฮุก (Hooke's Law) สำหรับพฤติกรรมแบบ Isotropic and linear elastic จะมีความสัมพันธ์ในรูปของเมตริกซ์ดังสมการที่ 2.6

$$\begin{Bmatrix} \dot{\sigma}'_{xx} \\ \dot{\sigma}'_{yy} \\ \dot{\sigma}'_{zz} \\ \dot{\sigma}'_{xy} \\ \dot{\sigma}'_{yz} \\ \dot{\sigma}'_{xz} \end{Bmatrix} = \frac{E'}{(1-2\nu')(1+\nu')} \begin{bmatrix} 1-\nu' & \nu' & \nu' & 0 & 0 & 0 \\ \nu' & 1-\nu' & \nu' & 0 & 0 & 0 \\ \nu' & \nu' & 1-\nu' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5-\nu' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5-\nu' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5-\nu' \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\epsilon}_{xx} \\ \dot{\epsilon}_{yy} \\ \dot{\epsilon}_{zz} \\ \dot{\gamma}_{xy} \\ \dot{\gamma}_{yz} \\ \dot{\gamma}_{xz} \end{Bmatrix} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $E'$  คือ Effective Young's modulus

$\nu'$  คือ Effective Poisson's ratio

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Koerner (1994), Ducan และคณะ (1994) ได้กล่าวถึงกลไกการเพิ่มค่าอัตราส่วนปลอดภัยเมื่อมีการเสริมแรงโดยใช้วัสดุสังเคราะห์ในคันทาง (ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และ 2.10) พื้นฐานในการวิเคราะห์ใช้สมการ 2.7 และความสมดุลของโมเมนต์ที่กระทำรอบจุดหมุน O ซึ่งจะได้สมการของค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเมื่อมีการเสริมแรงด้วย Geotextiles หรือ Geogrids ดังสมการที่ 2.8

$$FS = \frac{(M_R + M_T)}{M_D} \quad (2.7)$$

$$FS = \frac{FS_0 + M_T}{M_D} \quad (2.8)$$

เมื่อ FS คือ ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ของถนนคันดินที่ได้รับการเสริมแรง

$M_R$  คือ โมเมนต์ต้านการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนของดิน

$M_D$  คือ โมเมนต์วิบัติเนื่องจากน้ำหนักของมวลดินที่วิบัติ

$M_T$  คือ โมเมนต์ต้านการวิบัติเนื่องจากการเสริมแรง

$FS_0$  คือ อัตราส่วนความปลอดภัยของคันดินขณะยังไม่ได้เสริมแรง

ค่า  $M_T$  สามารถหาได้จากสมการสมดุลของโมเมนต์รอบจุด O โดยจะได้ 2 สมการในแต่ละกรณีดังนี้

$$M_{Th} = [T_i(Y_c - Y_i)] \quad (2.9)$$

$$M_{Ti} = [T_i(R)] \quad (2.10)$$

- เมื่อ  $M_{Th}$  คือ โมเมนต์ต้านการวิบัติกรณีเสริมแรงกระทำตามแนวราบ  
 $M_{Ti}$  คือ โมเมนต์ต้านการวิบัติกรณีการเสริมแรงกระทำสัมผัสกับส่วนโค้งของการวิบัติ  
 พอดี  
 $T_i$  คือ ขนาดของการเสริมแรงโดย Geotextiles และ Geogrids แนวที่  $i$   
 $Y_i$  คือ ระยะในแนวดิ่ง (แกน Y) ของแนวการเสริมแรง  
 $Y_c$  คือ ระยะในแนวดิ่ง (แกน Y) ของจุดศูนย์กลางวงกลมของระนาบวิบัติ  
 $R$  คือ รัศมีของระนาบวิบัติแบบโค้ง (Radius of Circle)

ค่าความปลอดภัยของคันทางเพิ่มขึ้นจากค่า  $M_T$  ที่ได้จากการเสริมแรงเป็นหลัก จากสมการ 2.9 และ 2.10 พบว่าค่าของ  $M_{Th}$  น้อยกว่าค่า  $M_{Ti}$  เสมอในกรณีที่มีการเสริมแรงเท่ากัน เนื่องจากแกนของแนวแรงกระทำในการเสริมแรงในแนวราบจะน้อยกว่าเสมอ แต่โดยปกติในการก่อสร้างการเสริมแรงให้สัมผัสกับวงกลมวิบัติเป็นเรื่องที่ทำได้ยากมาก ดังนั้น ในการวิเคราะห์จึงใช้การเสริมแรงในแนวราบ (Horizontal Orientation) เท่านั้น

การหาค่ากำลังของวัสดุเสริมแรงสำหรับเพิ่มเสถียรภาพของลาดคันทางให้ได้ค่าความปลอดภัยตามที่ต้องการ เพื่อให้ได้ค่าความปลอดภัยตามที่ได้กำหนดไว้ วัสดุสังเคราะห์จะต้องมีกำลังอย่างน้อยเท่ากับ  $T_g$  โดย

$$T_g = \frac{FS(M_D) - M_R}{Y_c - Y_i} \quad (2.11)$$

- เมื่อ  $T_g$  คือ แรงต้านการวิบัติที่วัสดุสังเคราะห์ช่วยรับแรงเพื่อที่จะได้ค่าความปลอดภัยตามที่ต้องการ

Hoerner and Hooi (1994) ได้กล่าวถึงวัสดุใยสังเคราะห์ ว่าเป็นวัสดุที่ผลิตจากวัสดุประเภทโพลิเมอร์ (Polymeric Material) เพื่อนำมาใช้งานที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมธรณีเทคนิค (Geotechnical Engineering) รวมทั้งงานที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างในงานดินหรืองานระบบระบายน้ำงานป้องกันการกัดเซาะของชายฝั่งทะเลหรือริมฝั่งแม่น้ำ

ธีรชาติ (2540) สรุปผลการศึกษาการเสริมใยสังเคราะห์ในคันทางบนดินอ่อน ในทางสายจะนะ-ปากน้ำเทพา ในจังหวัดสงขลา ก่อสร้างในปี ค.ศ. 1972 และทางสายบางพลี - บางบ่อ ก่อสร้างในปี ค.ศ.1975 เป็นประเด็นทางวิชาการต่างๆ ได้ ดังต่อไปนี้

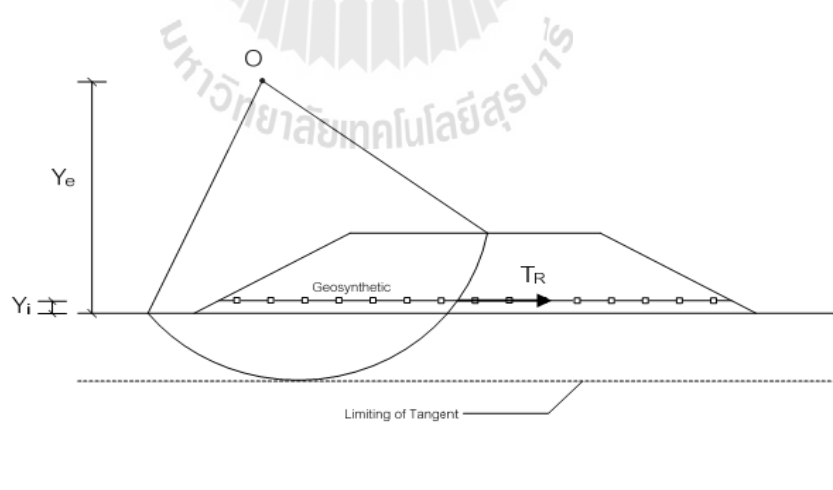
2.10.1 ใยสังเคราะห์ควรใช้เสริมคันทางบนดินอ่อนที่มีความหนาไม่มาก ควรอยู่ในช่วง 4-8 เมตร

2.10.2 Geotextiles ที่มีอัตราการระบายน้ำสูงจะทำให้คันทางทรุดตัวได้เร็วกว่า Geotextiles ที่มีอัตราการระบายน้ำต่ำ

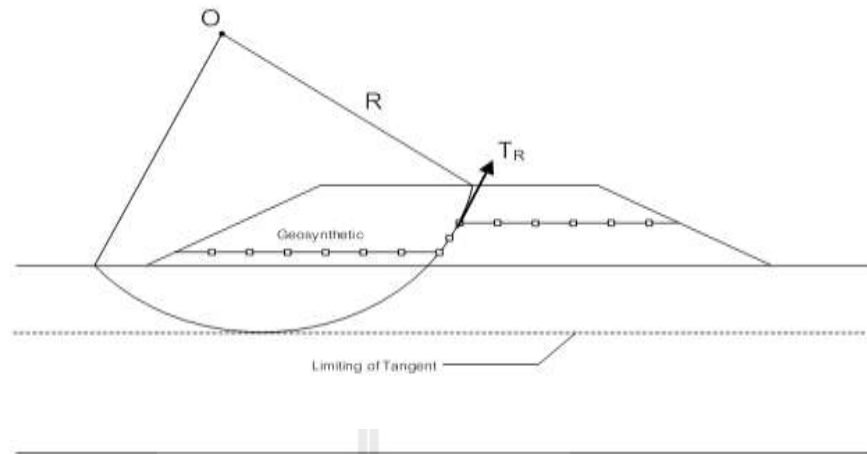
2.10.3 Geotextiles กำลังสูงจะทำให้คันทางทรุดตัวสม่ำเสมอมากกว่า Geotextiles ที่มีกำลังต่ำ

2.10.4 หน้าที่หลักของ Geotextiles คือช่วยเพิ่ม Stability และช่วยเพิ่มอัตราการทรุดตัวที่ผิวหน้าถนนได้มาก ช่วยให้ชั้นทางถนนมีความมั่นคงแข็งแรง และมีอายุการใช้งานได้นาน

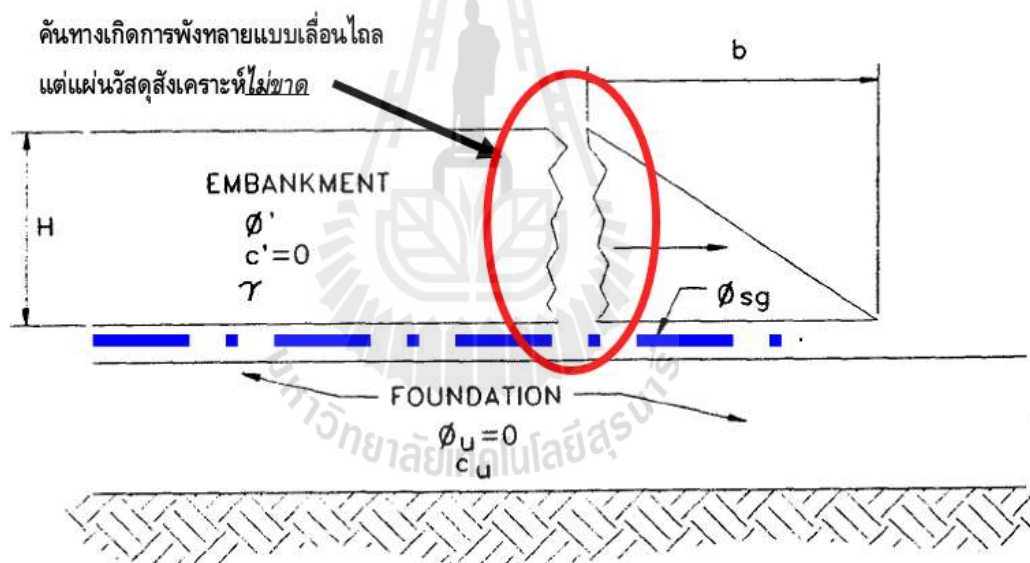
ธีรชาติ และสมปาน (2540) ได้จัดทำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนความปลอดภัยและการเสริมวัสดุสังเคราะห์เพื่อเสริมแรงในถนนคันทางบนดินอ่อนที่มีค่ากำลังด้านทานแรงเฉือน ( $S_u$ ) ต่างๆ ซึ่งเมื่อทราบข้อมูลของความสูงของถนนคันทาง ความหนาของชั้นดินอ่อน กำลังด้านทานแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อน และค่าการเสริมแรงของถนนแล้ว ก็จะสามารถประมาณค่าอัตราส่วนความปลอดภัยได้ ตัวอย่างกราฟการออกแบบสำหรับความสูงคันทาง 2 เมตร และดินเหนียวอ่อนหนา 5 เมตร แสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.9 รูปแบบการเสริมแรงในแนวราบ (ที่มา : ธีรชาติ และ สมปาน 2540)

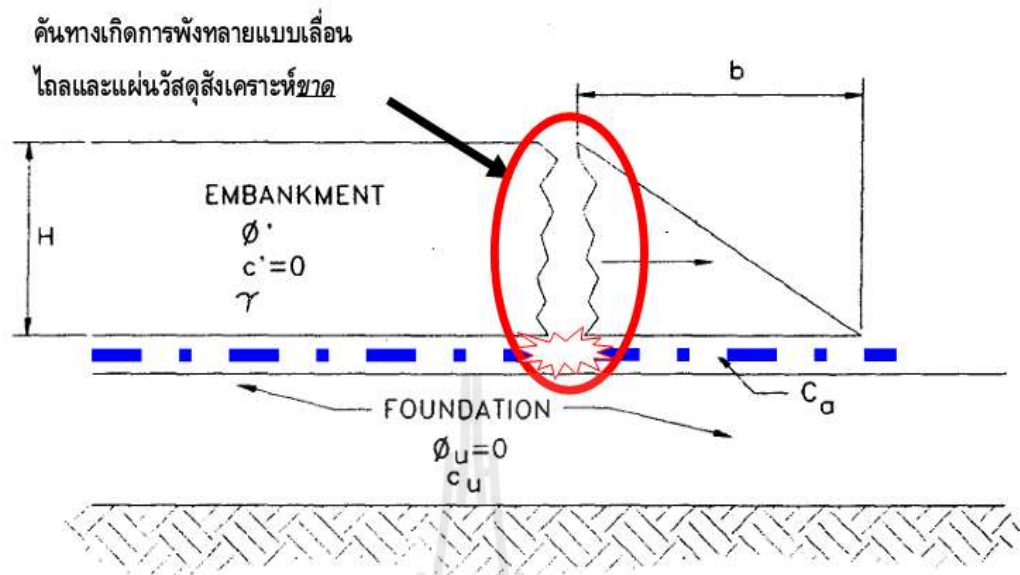


รูปที่ 2.10 รูปแบบการเสริมแรงให้สัมพันธ์กับระนาบวิบัติพอดี (ที่มา : ธีรชาติ และ สมปาน 2540)



รูปที่ 2.11 รูปแบบการพังทลายแบบคันทงส่วนที่จมอยู่เหนือวัสดุแผ่นสังเคราะห์เกิดการเลื่อน (Sliding) (ที่มาจาก Holtz และคณะ, 1997)



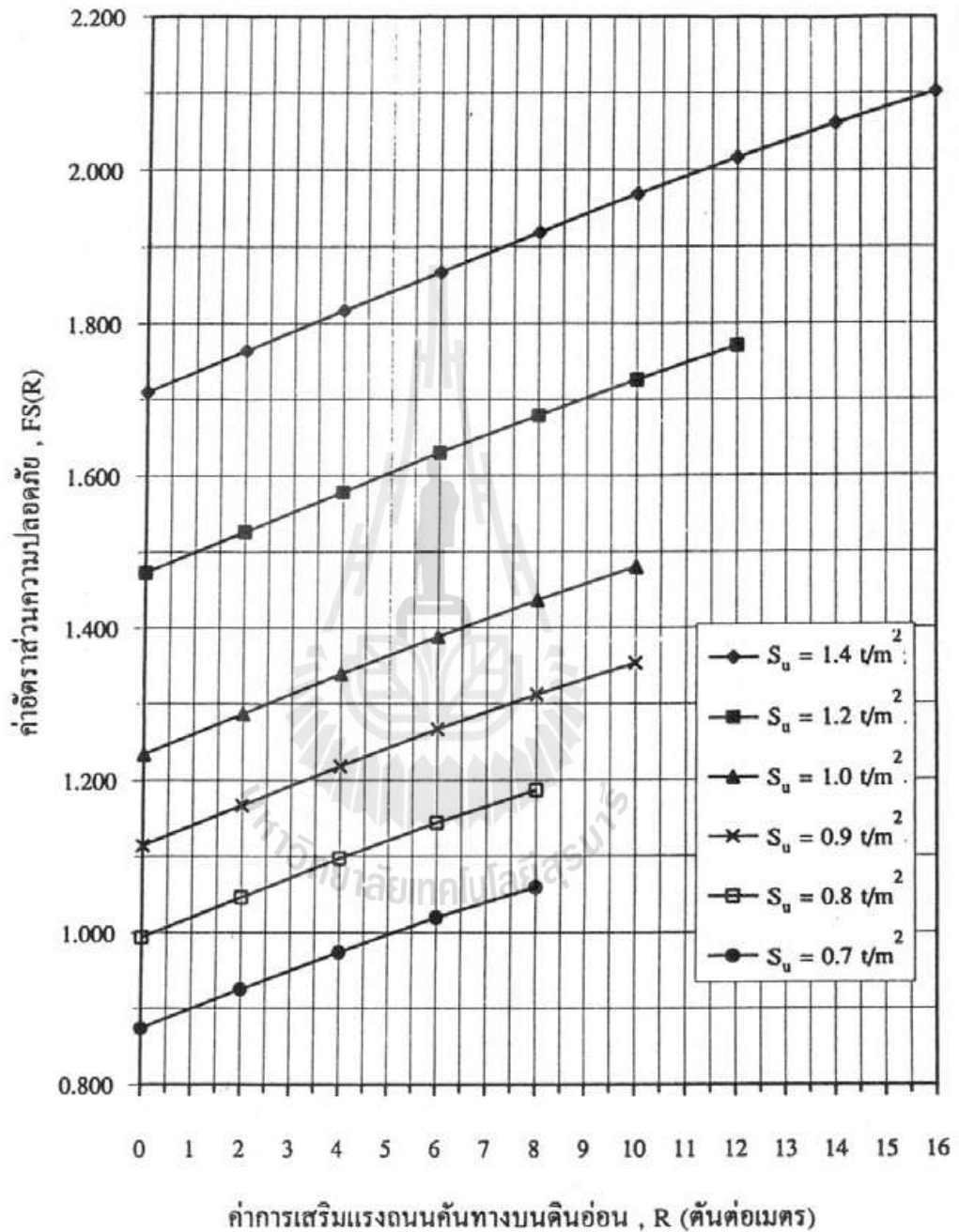


รูปที่ 2.12 รูปแบบการพังทลายแบบคันทงวัสดุแผ่นสังเคราะห์ขาดออกจากกัน (Rupture) (ที่มาจาก Holtz และคณะ, 1997)



ความสูงของถนนคันทาง ( H ) = 2.0 เมตร

ความหนาของชั้นดินอ่อน ( D ) = 5.0 เมตร



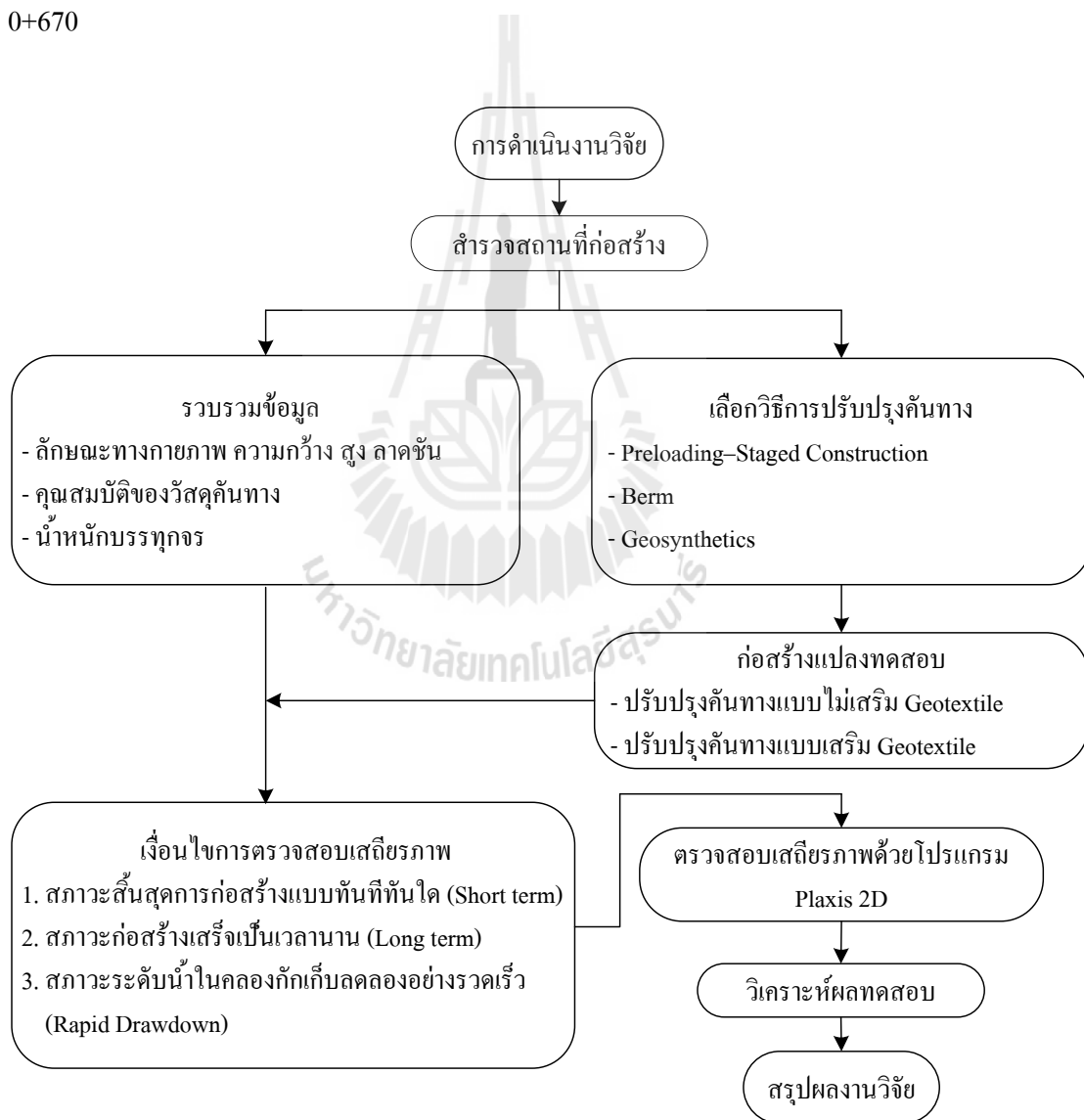
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนความปลอดภัย และการเสริมวัสดุสังเคราะห์เพื่อเสริมแรง ในถนนคันทางบนดินอ่อนที่มีค่ากำลัง ( $S_u$ ) ต่างๆ ชีรชาติ (2540)

### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการศึกษา

#### 3.1 บทนำ

บทนี้กล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานในสนาม ตั้งแต่แผนการดำเนินงาน ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล และขั้นตอนการก่อสร้างแปลงทดลองบริเวณถนนสาย สท. 4003 แยกทางหลวงหมายเลข 3030 – บ้านบางมอญ อำเภอเมืองสิงห์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี บริเวณ กม.ที่ 0+640 ถึง กม.ที่ 0+670



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินโครงการ

### 3.2 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล

#### 3.2.1 ลักษณะทางกายภาพและประวัติสายทาง

ทางหลวงชนบทสายนี้เป็นถนนผิวจราจรลาดยางแบบ ASPHALTCONCRETE ผิวจราจรกว้าง 6.00 เมตร ไม่มีไหล่ทาง พิกัดจุดเริ่มต้นสายทาง 14.88530 N, 100.38794 E และพิกัดจุดสิ้นสุดสายทาง 14.86338 N, 100.38846 E ระยะทางตลอดสายเท่ากับ 2.758 กิโลเมตร ตามรูปที่ 3.2 มี Traffic count 600 PCU โดย กม.ที่ 0 + 000 ถึง กม.ที่ 0 + 600 มีคลองชลประทานและไม้ยืนต้นอยู่ด้านซ้ายทาง และช่วง กม.ที่ 0 + 600 ถึง กม.ที่ 2 + 758 มีคลองชลประทานอยู่ด้านขวาทาง แขวงทางหลวงชนบทสิงห์บุรีได้ดำเนินการบำรุงพิเศษ (Special Maintenance) โดยซ่อมสร้างผิวทาง ASPHALTCONCRETE ช่วง กม.ที่ 0 + 000 ถึง กม.ที่ 0 + 700 เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2554 และช่วง กม.ที่ 0 + 700 ถึง กม.ที่ 2 + 758 เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2555



รูปที่ 3.2 ที่ตั้งโครงการ

#### 3.2.2 ลักษณะความเสียหาย

จากการสำรวจด้วยสายตา (Visual Inspection) พบว่าผิวจราจรด้านเลียบบคลองชลประทานเกิดการฉีกขาดตามแนวยาว เนื่องจาก Slope failure และมีการทรุดแอ่นตัวของผิวจราจรตามแนวร่องล้อ ส่งผลให้เกิดแอ่งน้ำขังบนผิวทาง ผู้วิจัยได้บันทึกภาพความเสียหายเพื่อนำมาประกอบการศึกษาและออกแบบดังแสดงในรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 ลักษณะความเสียหายของถนน กม.ที่ 0 + 600 ทางหลวงชนบทสาย สท. 4003  
จังหวัดสิงห์บุรี

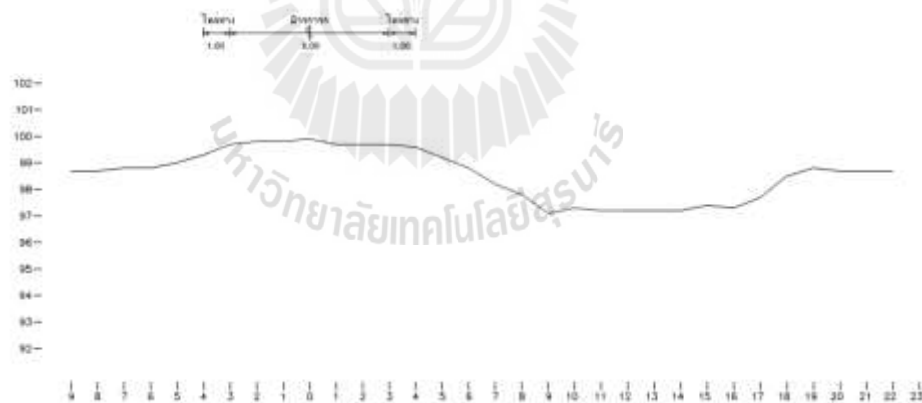


รูปที่ 3.4 ลักษณะความเสียหายของถนน กม.ที่ 0 + 650 ทางหลวงชนบทสาย สท. 4003  
จังหวัดสิงห์บุรี

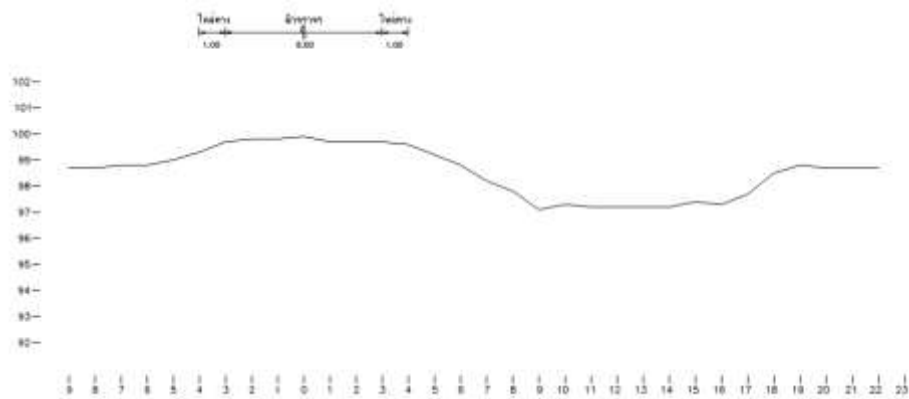
### 3.2.3 การสำรวจพื้นที่ดำเนินการด้วยเครื่องมือสำรวจ

รูปที่ 3.5 ถึง 3.7 แสดงผลการสำรวจถนนด้วยเครื่องมือสำรวจ ผู้วิจัยได้สำรวจสภาพคันทางบริเวณ กม.ที่ 0 + 645, กม.ที่ 0 + 655 และ กม.ที่ 0 + 665 พิกัด 14.88052 N, 100.39064 E ด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์สำรวจ (Instrument Measurement) อย่างละเอียดเพื่อทำรูปตัดขวางของคันทางเดิมประกอบการออกแบบและตรวจสอบ ติดตาม ประเมินผล ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์สำรวจดังกล่าวประกอบด้วย

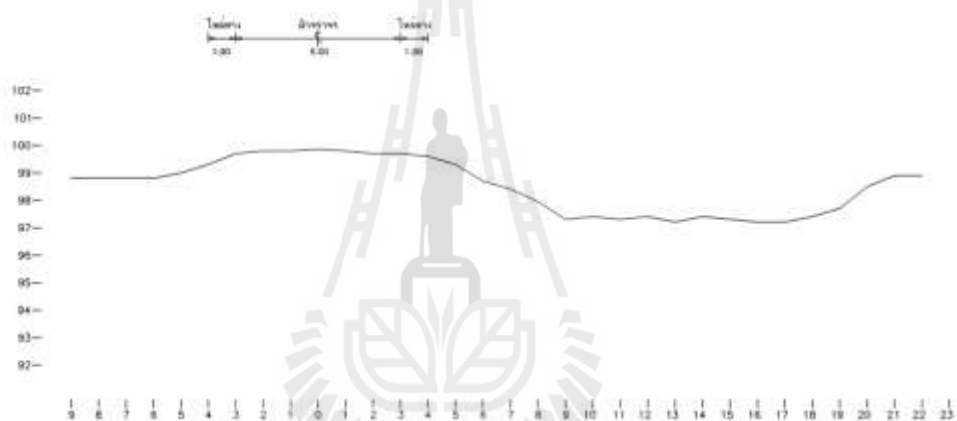
- Rural road of Map
- DigitalTheodolite
- Automatic Level
- Leveling Staff
- Poll
- Steel Tape
- Stake
- อื่น ๆ เช่น ฆ้อน ตะปู สี เชือกฟาง



รูปที่ 3.5 ผลการสำรวจลักษณะของถนนเดิม กม.ที่ 0 + 645



รูปที่ 3.6 ผลการสำรวจลักษณะของถนนเดิม กม.ที่ 0 + 655



รูปที่ 3.7 ผลการสำรวจลักษณะของถนนเดิม กม.ที่ 0 + 665

### 3.3 ขั้นตอนการตรวจสอบการเสถียรภาพ

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลลักษณะทางกายภาพ ประวัติสายทาง ลักษณะความเสียหายของคันทาง การสำรวจพื้นที่ดำเนินการด้วยเครื่องมือสำรวจ และการสำรวจลักษณะชั้นดินมาวิเคราะห์และใช้แผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) ช่วยเสริมแรงในคันทาง การตรวจสอบเสถียรภาพใช้โปรแกรม PLAXIS ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนการตรวจสอบเสถียรภาพได้ดังต่อไปนี้

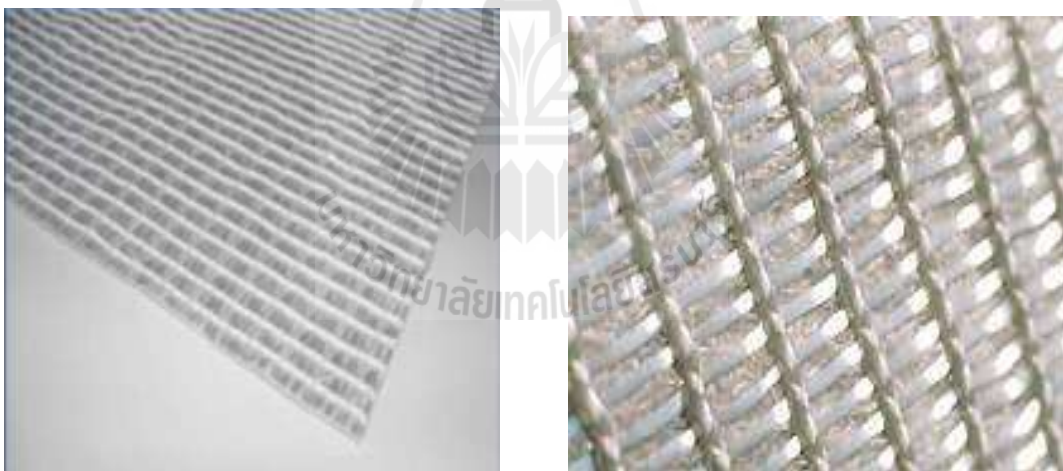
#### 3.3.1 กำหนดข้อมูลของคันทางและน้ำหนักที่กระทำต่อคันทาง

- ความกว้าง ความสูง และความลาดชันของคันทาง
- คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุที่ถมคันทาง
- น้ำหนักบรรทุกจร ซึ่งโดยปกติใช้  $20 \text{ kN/m}^2$

### 3.4 ขั้นตอนการก่อสร้างแปลงทดลอง

รูปที่ 3.9 แสดงแผนผังการก่อสร้างแปลงทดลอง ผู้วิจัยได้แบ่งกันทางออกเป็นด้านซ้ายทางและขวาทาง โดยด้านซ้ายทางมิได้ดำเนินการใด ๆ คงไว้เป็นทางสัญจรตามปกติ ด้านขวาทางแบ่งพื้นที่เป็นแปลงทดลอง จำนวน 3 แปลง ให้มีพื้นที่ต่อเนื่องกัน เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง โดยแปลงทดลองที่ 1 ช่วง กม.ที่ 0 + 640 ถึง กม.ที่ 0 + 650 ขวาทาง ก่อสร้างคันทางแบบเสริมแผ่นใยสังเคราะห์จำนวน 4 Layer @ 0.50 m. แปลงทดลองที่ 2 ช่วง กม.ที่ 0 + 650 ถึง กม.ที่ 0 + 660 ขวาทาง ก่อสร้างคันทางแบบไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์ โดยบดอัดวัสดุคันทางเดิมจำนวน 4 Layer @ 0.50 m. และแปลงทดลองที่ 3 ช่วง กม.ที่ 0 + 660 ถึง กม.ที่ 0 + 670 ขวาทาง มิได้ดำเนินการใด ๆ ซึ่งการก่อสร้างใช้วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือเครื่องจักรในการก่อสร้างแปลงทดลองดังนี้

- ดินถมจากคันทางเดิม
- วัสดุรองพื้นทางเดิม
- วัสดุพื้นทางเดิม
- Polyfelt PEC 200 Reinforcing Geotextile ตามรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 Polyfelt PEC 200 Reinforcing Geotextile

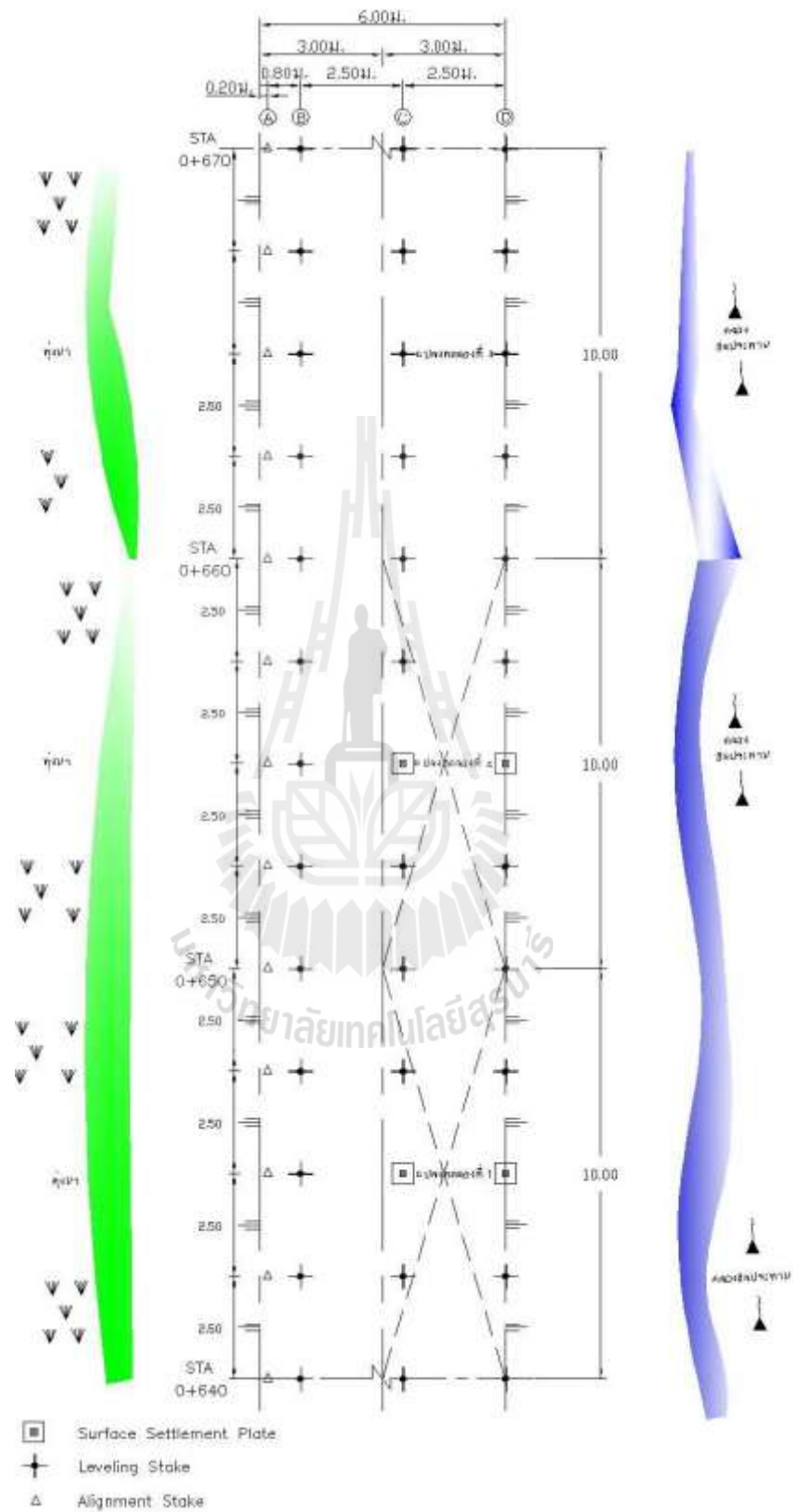
- เครื่องมือทดสอบ Field Density Test (Sand Cone)
- รถขุดตักไฮดรอลิก (Hydraulic Excavator) ขนาด 123 แรงม้า น้ำหนักรถ 19 ตัน
- รถบรรทุกขนาด 6 ตัน 6 ล้อ แบบกระบะเท้าย
- รถบดแบบล้อผสม



การก่อสร้างแปลงทดลองมีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

- 3.4.1 รื้อผิวจราจรเดิม กม.ที่ 0 + 640 ถึง กม.ที่ 0 + 660 ขวาทางออก แล้วขนทิ้ง
- 3.4.2 รื้อคันทางเดิม กม.ที่ 0+640 ถึง กม.ที่ 0 + 660 ขวาทางออกตั้งแต่ชั้นโครงสร้างทางจนถึงระดับที่ต้องเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ชั้นล่างสุด (ลึกประมาณ 2.00 เมตร จากผิวจราจร) และขนย้ายวัสดุออกไปกองไว้ใกล้เคียงกับแปลงทดลอง
- 3.4.3 ปรับ เกลี่ย แต่ง พร้อมบดอัดแน่นพื้นแปลงทดลองให้เรียบและมีระดับเท่ากันทั้ง 2 แปลงทดลอง
- 3.4.4 ปูแผ่นใยสังเคราะห์ให้เต็มพื้นที่แปลงทดลองที่ 1
- 3.4.5 ถมดินและบดอัดชั้นโครงสร้างทาง และก่อสร้างผิวจราจรใหม่ ทั้ง 2 แปลงทดลองตามแบบที่กำหนด พร้อมต่อปลายแกนเหล็กให้มีความสูงเหนือระดับดินถมแต่ละ Layer และผิวจราจรพอที่จะตรวจสอบได้





รูปที่ 3.9 แผนผังการก่อสร้างแปลงทดลอง

## บทที่ 4

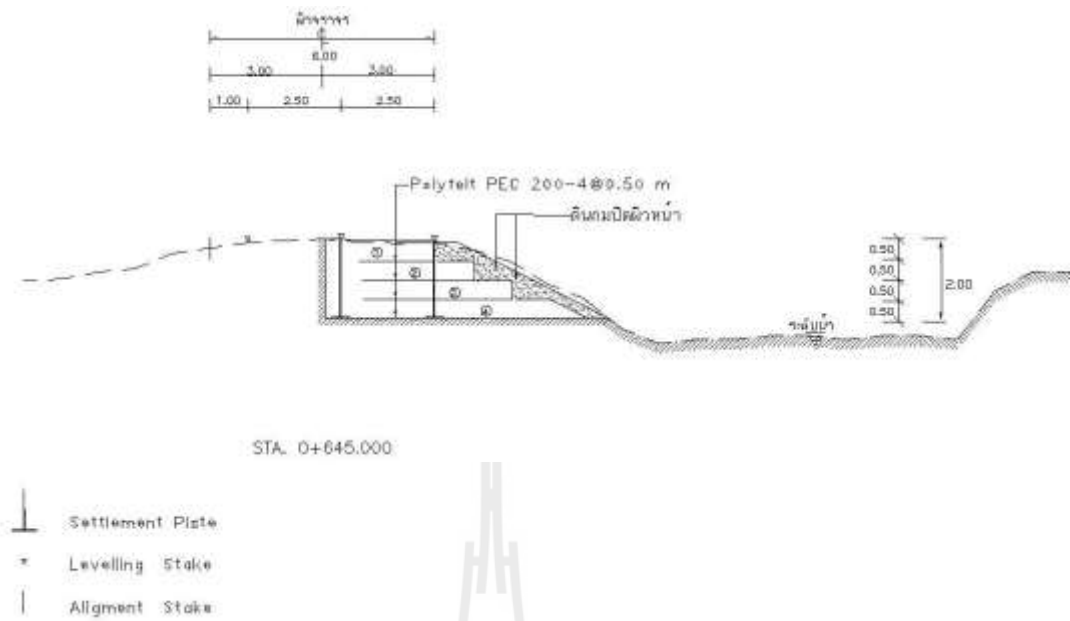
### การศึกษาและวิเคราะห์ผล

#### 4.1 บทนำ

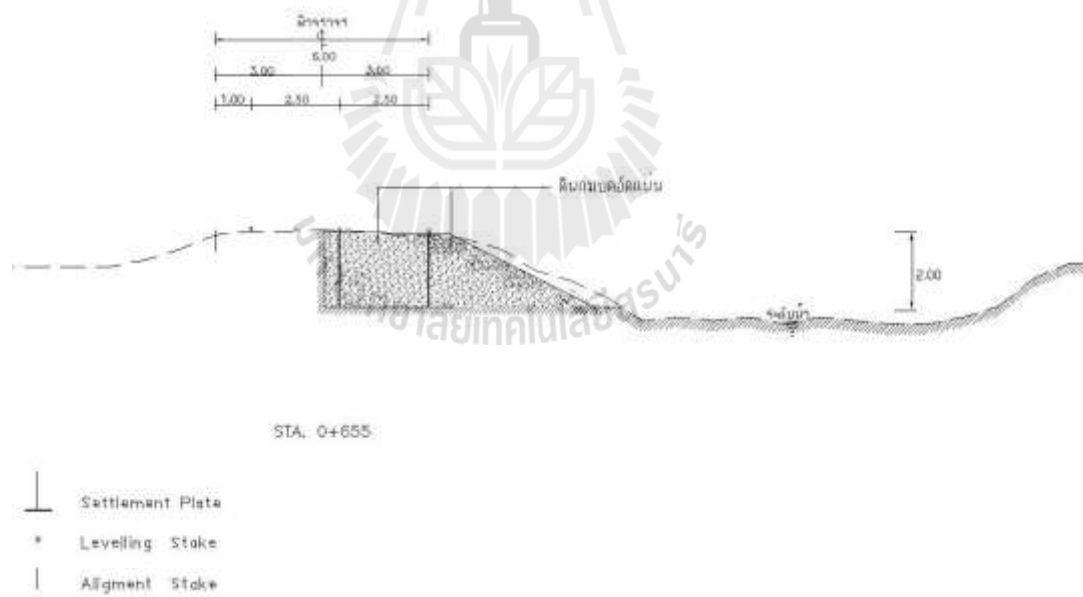
บทนี้นำเสนอขั้นตอนการก่อสร้างแปลงทดลองที่เสริมและไม่เสริมเสถียรภาพของคันทางด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) จากนั้นจะทำการวิเคราะห์เสถียรภาพและการทรุดตัวด้วยโปรแกรม PLAXIS เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของทั้ง 2 กรณี จำนวน 3 เงื่อนไข ประกอบด้วย 1) สภาวะสิ้นสุดการก่อสร้างดินถมแบบทันทีทันใด ระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ท้องคลอง (Short term) 2) สภาวะถมดินคันทางเป็นเวลานาน ระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ท้องคลอง (Long term) และ 3) สภาวะระดับน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็ว อยู่ที่ชั้นพื้นทางของถนนและลดระดับไปจนถึงท้องคลอง และคันทางในทั้ง 3 เงื่อนไข รับน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 2 ตันต่อตารางเมตร

#### 4.2 รูปแบบของคันทางที่เสริมและไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์

รูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงรูปตัดขวางของคันทางแปลงทดลองที่ 1 และ 2 สำหรับกรณีที่เสริมและไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์ ตามลำดับ การก่อสร้างทางหลวงชนบททั้ง 2 แปลง มีลักษณะทางกายภาพที่เหมือนกัน ยกเว้นในส่วนของการเสริมเสถียรภาพของคันทางแปลงทดลองที่ 1 ได้ทำการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ตามหน้าตัดของถนนจำนวน 4 ชั้น ชั้นที่ 1 ยาว 2.00 เมตร ชั้นที่ 2 ยาว 3.00 เมตร ชั้นที่ 3 ยาว 4.00 เมตร และชั้นที่ 4 ยาว 7.00 เมตร แปลงทดสอบทั้ง 2 แปลง มีผิวจราจรกว้างเท่ากับ 6.00 เมตร และไหล่ทางกว้างข้างละ 1.00 เมตร ความสูงเท่ากับ 2.00 เมตร ด้านซ้ายทางเป็นทุ่งนาและด้านขวาทางเป็นคลองชลประทานความลึก 2.50 เมตร จากผิวจราจร มีความชันลาดคันทางเท่ากับ 1:2



รูปที่ 4.1 รูปตัดของแปลงทดลองที่ 1 คันทางเสริมเสถียรภาพด้วยแผ่นใยสังเคราะห์



รูปที่ 4.2 รูปตัดของแปลงทดลองที่ 2 คันทางไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์

### 4.3 ขั้นตอนการก่อสร้างแปลงทดลอง

#### 4.3.1 การรื้อคันทางเดิม

รูปที่ 4.3 ก. และ รูปที่ 4.3 ข. แสดงการรื้อผิวทางแปลงทดลองที่ 1 และ 2 บริเวณด้านขวาของคันทางช่วง กม.ที่ 0+640 ถึง กม.ที่ 0+650 และช่วง กม.ที่ 0+650 ถึง กม.ที่ 0+660 สำหรับกรณีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ การรื้อผิวทางและคันทางเดิมใช้รถขุดตักไฮโดรลิกขุดรื้อจนถึงระดับความลึก 2.00 เมตร จากผิวทาง (เรียกชั้นนี้ว่า “ชั้นดินฐานราก”) แล้วนำวัสดุที่รื้อออกกองเก็บที่ด้านข้างของคันทาง (รูปที่ 4.5 ก. และ รูปที่ 4.5 ข.) จากนั้นทำการปรับหน้าดินฐานรากให้เรียบโดยการเกลี่ยดินให้ได้ระดับ แล้วใช้รถบดอัดผสม บดอัดชั้นฐานรากให้ได้ความแน่นร้อยละ 95 ของการบดอัดมาตรฐาน (Standard Proctor) ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ก. ถึง 4.6 ข.

#### 4.3.2 การปูแผ่นใยสังเคราะห์ ชั้นที่ 1 ของแปลงทดสอบที่ 1

นำม้วนแผ่นใยสังเคราะห์ที่เตรียมไว้มาปูบนพื้นที่ทำการปรับพื้นที่เสร็จสิ้นแล้วในแปลงทดลองที่ 1 โดยการปูจะต้องปูตามทิศทางการเสริมแรงของเส้นใย ตามรูปที่ 4.7 ก. การติดตั้งแผ่นใยสังเคราะห์ ต้องให้ความยาวของแผ่นเลเยอร์ออกไปด้านริมคลองชลประทานอย่างน้อย 2.12 เมตร เรียกส่วนนี้ว่า Tail เพื่อพับกลับเข้ามาในคันทาง เพื่อช่วยให้การรับแรงดึงได้อย่างปลอดภัย และมีประสิทธิภาพสูง สำหรับแปลงทดลองที่ 2 กรณีไม่เสริมแผ่นใยสังเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 4.7 ข.

#### 4.3.3 การติดตั้ง Settlement Plate และถมกลับคันดิน

รูปที่ 4.8 ก. และ 4.8 ข. แสดงการติดตั้ง Settlement Plate ที่ 0+645 และ กม.ที่ 0+655 ของแปลงทดสอบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ การติดตั้ง Settlement Plate ทั้ง 2 แปลงจะติดตั้งบริเวณแนวเดียวกัน โดยแผ่นที่ 1 ติดตั้งห่างจากแนวกึ่งกลางถนนไปด้านขวาทาง 0.50 และแผ่นที่ 2 ติดตั้งบริเวณขอบผิวจราจรด้านขวาทางห่างจากแผ่นแรก 2.50 เมตร และการติดตั้ง Settlement Plate จะติดตั้งที่ระดับความลึกเดียวกัน คือติดตั้งบนแผ่นใยสังเคราะห์ชั้นที่ 1 และติดตั้งบนดินฐานราก สำหรับแปลงทดสอบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

รูปที่ 4.9 ก. และ 4.9 ข. แสดงการถมดินคันทาง การถมดินทั้ง 2 แปลง จะถมที่ความหนาประมาณชั้นละ 0.50 เมตร (หลังจากทำการบดอัด) แล้วทำการบดอัดดินด้วยรถบดแบบล้อผสม เพื่อให้ได้ความแน่นเท่ากับร้อยละ 95 ของการบดอัดมาตรฐาน จากนั้นทำการปรับผิวหน้าดินถมให้เรียบและอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 1.50 เมตรจากผิวจราจร ปรับลาดคันทางชั้นที่ 1 ด้านริมคลองให้ลาดเอียง 1 : 2 (ตั้ง : ราบ) แล้วพับปลายแผ่นใยสังเคราะห์กลับเข้ามาบนดินถมคันทางชั้นที่ 1 ให้มีความยาวประมาณ 1.00 เมตร แล้วต่อเหล็กแกนของ Settlement Plate ให้สูงขึ้นประมาณ 0.50 เมตร หลังจากนั้น ผู้วิจัยได้ทำการปูแผ่นใยสังเคราะห์ ถมดินคันทาง และตรวจสอบความหนาแน่นของดินคันทาง ของชั้นที่ 2 ถึง 4 ในลักษณะเดียวกับชั้นที่ 1

#### 4.3.4 การบดอัดชั้นรองพื้นทางและพื้นทาง และการทำผิวจราจร

รูปที่ 4.13 ก. ถึง 4.14 ข. แสดงการบดอัดและทดสอบความแน่นชั้นรองพื้นทาง ชั้นรองพื้นทางและชั้นหินคลุกจะวางอยู่บนวัสดุโยสียงเคราะห์ชั้นสุดท้าย ชั้นลูกรังมีความหนาหลังการบดอัดเท่ากับ 0.20 เมตร การบดอัดลูกรังบดอัดด้วยรถบดแบบล้อผสมให้ได้ความแน่นร้อยละ 95 ของการบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน หลังจากนั้นปรับผิวลูกรังให้เรียบและอยู่ที่ความลึกประมาณ 0.25 เมตรจากผิวจราจร แล้วทำการตักหินคลุกที่กองไว้ด้านข้างคันทางถมกลับให้ได้ความหนาหลังการบดอัดเท่ากับ 0.20 เมตร และความหนาแน่นเท่ากับร้อยละ 95 ของการบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน (รูปที่ 4.15 ก. และ 4.15 ข.) จากนั้นทำการปรับชั้นพื้นทางให้เรียบ และทำความสะอาด แล้วทำผิวจราจรแบบ Cold Mix หนา 4 เซนติเมตร ทั้งสองแปลงทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ก. และ 4.16 ข.



รูปที่ 4.3 ก. การรื้อผิวทาง โครงสร้างทาง และ คันทางเดิมแปลงทดลองที่ 1

รูปที่ 4.3 ข. การรื้อผิวทาง โครงสร้างทาง และ คันทางเดิมแปลงทดลองที่ 2



รูปที่ 4.4 ก. การตรวจสอบระดับความลึกของ คันทางที่รื้อออกในแปลงทดลองที่ 1

รูปที่ 4.4 ข. การตรวจสอบระดับความลึกของ คันทางที่รื้อออกในแปลงทดลองที่ 2



รูปที่ 4.5 ก. การกองเก็บดินคันทางที่รี้ออก  
ด้วยรถขุดไฮดรอลิก



รูปที่ 4.5 ข. การกองเก็บดินคันทางที่รี้ออก  
ด้วยรถบรรทุกเทท้ายแบบ 6 ล้อ



รูปที่ 4.6 ก. การบดอัดดินฐานราก



รูปที่ 4.6 ข. การตรวจสอบความแน่นของดิน  
ฐานราก



รูปที่ 4.7 ก. การปูแผ่นใยสังเคราะห์ ชั้นที่ 1  
ของแปลงทดลองที่ 1



รูปที่ 4.7 ข. การปูแผ่นใยสังเคราะห์ ชั้นที่ 1  
ของแปลงทดลองที่ 2



รูปที่ 4.8 ก. การติดตั้ง Settlement Plate  
ในแปลงทดลองที่ 1



รูปที่ 4.8 ข. การติดตั้ง Settlement Plate  
ในแปลงทดลองที่ 2



รูปที่ 4.9 ก. การถมกลับด้วยรถขุดไฮดรอลิก



รูปที่ 4.9 ข. การถมกลับด้วยรถบรรทุกเท  
ท้าย แบบ 6 ล้อ



รูปที่ 4.10 ก. การพับปลายแผ่นใยสังเคราะห์  
กลับบนดินถมคันทางชั้นที่ 1



รูปที่ 4.10 ข. การต่อแกนเหล็กของ  
Settlement Plate





รูปที่ 4.11 ก. การปูแผ่นใยสังเคราะห์ ชั้นที่ 2  
ในแปลงทดลองที่ 1



รูปที่ 4.11 ข. การปูแผ่นใยสังเคราะห์ ชั้นที่  
2 ในแปลงทดลองที่ 1



รูปที่ 4.12 ก. การบดอัดดินด้วยรถกดแบบล้อ  
ผสมในแปลงทดลองที่ 1



รูปที่ 4.12 ข. การบดอัดดินด้วยรถกดแบบ  
ล้อผสมในแปลงทดลองที่ 2



รูปที่ 4.13 ก. การถมกลับลูกรังในแปลง  
ทดลองที่ 1



รูปที่ 4.13 ข. การถมกลับลูกรังในแปลง  
ทดลองที่ 2



รูปที่ 4.14 ก. การบดอัดลูกรังด้วยรถบดแบบล้อผสม



รูปที่ 4.14 ข. การทดสอบความแน่นในสนามของดินลูกรัง



รูปที่ 4.15 ก. การถมกลับชั้นหินคลุก



รูปที่ 4.15 ข. การทดสอบความแน่นในสนามของชั้นหินคลุก



รูปที่ 4.16 ก. การทำผิวจราจรแปลงทดลองที่ 1



รูปที่ 4.16 ข. การทำผิวจราจรแปลงทดลองที่ 2

#### 4.4 ข้อเสนอนะของปัญหาและแนวทางการแก้ไข

- การเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ในดินคันทางจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับคันทางเนื่องจากแผ่นใยดังกล่าวจะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงดึงของดินคันทาง
- การเสริมแผ่นใยสังเคราะห์สามารถทำได้ง่าย ไม่ต้องใช้เครื่องมือ เครื่องจักรเพิ่มเป็นพิเศษเนื่องจากมีวิธีการก่อสร้างที่ไม่ซับซ้อน ดังนั้นจึงสามารถหาผู้รับเหมาก่อสร้างได้ง่าย
- มีราคาไม่สูงมาก
- การก่อสร้างให้ประสิทธิภาพอย่างรวดเร็ว เพราะแผ่นใยสังเคราะห์มีกำลังเสริมแรงที่สามารถต้านทานการวิบัติของลาดคันทางได้ทันทีหลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จ ไม่จำเป็นต้องรอให้วัสดุมีกำลังเสริมแรงเพิ่มขึ้นตามเวลาอย่างวิธีการอื่นเช่น เสาเข็มดินซีเมนต์
- ในบริเวณพื้นที่ที่จำกัด การเสริมแผ่นใยสังเคราะห์มีความสะดวกมากเนื่องจากมีน้ำหนักเบาและเครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้งเป็นเครื่องมือแบบง่ายๆ หาได้ทั่วไป
- โดยทั่วไปแผ่นใยสังเคราะห์จะมีกำลังรับแรงดึงตามแนวยาวมากกว่าแนวขวาง ดังนั้นการปูแผ่นใยสังเคราะห์ จะต้องปูขวาง (ตั้งฉาก) กับแนวถนน เพื่อให้สามารถรับแรงให้ได้ตามที่ออกแบบไว้ดังแสดงใน รูปที่ 4.17
- แผ่นใยสังเคราะห์ไม่สามารถช่วยเพิ่มเสถียรภาพในด้านกำลังรับน้ำหนัก (Bearing Capacity) ดังนั้นหากดินฐานรากอ่อนมากวิธีการนี้ก็จะไม่เหมาะสม
- การเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ในคันทางจำเป็นต้องขุดดินคันทาง ดังนั้นหากเป็นถนนเลียบคลองชลประทานหรือแม่น้ำจะต้องระมัดระวังเรื่องความสูงของระดับน้ำ
- การเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ในคันทางนั้น ถ้าหากแผ่นใยสังเคราะห์ดังกล่าวไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดก็จะไม่สามารถรับแรงได้ตามที่ออกแบบไว้ จึงยากสำหรับการควบคุมคุณภาพงานก่อสร้าง
- แผ่นใยสังเคราะห์เกิดความเสียหายง่าย ในระหว่างการก่อสร้างจึงต้องระมัดระวังการฉีกขาดและติดไฟอย่างมาก
- แผ่นใยสังเคราะห์มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีลักษณะภายนอกคล้ายกันมาก ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบอย่างละเอียดรอบคอบ



รูปที่ 4.17 การปูวัสดุเสริมแรงในคันทางที่ถุกวิธี

#### 4.5 ข้อมูลการวิเคราะห์เสถียรภาพคันทาง

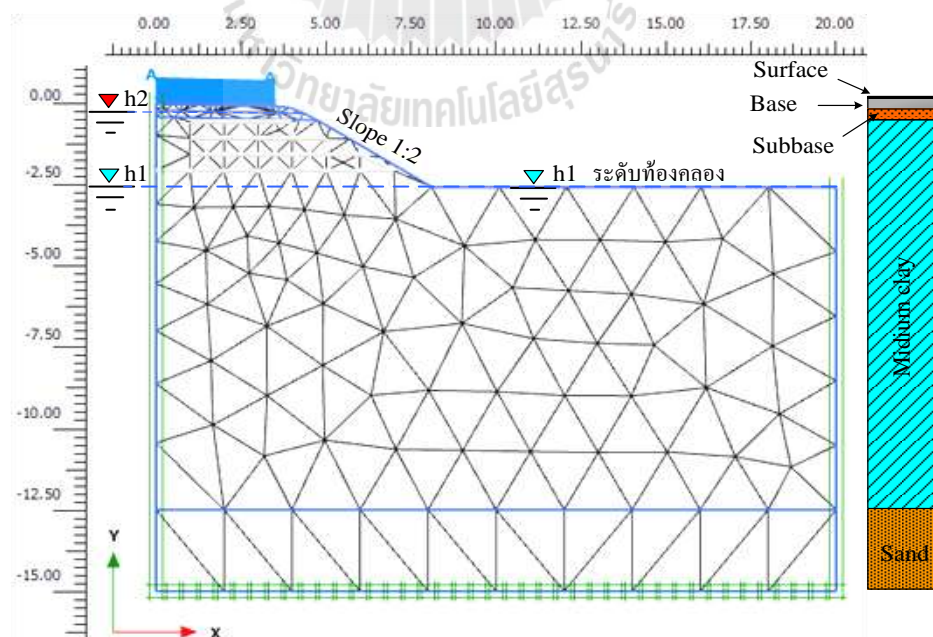
การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ใช้โปรแกรม PLAXIS 2D โดยการจำลองเป็นระนาบ 2 มิติ (Plane strain) ดินคันทางจำลองด้วยเอลิเมนต์สามเหลี่ยมชนิด 15 จุดต่อ Geotextile สำหรับเสริมแรงดึงจำลองด้วย Geogrid element รอยต่อระหว่างดินถมและ Geotextile จำลองด้วยเอลิเมนต์อินเตอร์เฟซ (Interface element) ซึ่งใช้จำลองการแยกและการเฉือนตามขอบบริเวณรอยต่อระหว่าง Geotextile กับดินถม

รูปที่ 4.18 และ 4.19 แสดง Mesh ที่ใช้วิเคราะห์เสถียรภาพดินคันทาง สำหรับกรณีที่เสริมและไม่เสริม Geotextile ตามลำดับ การวิเคราะห์เสถียรภาพดินคันทางใช้โมเดล Mohr-Coulomb และใช้พารามิเตอร์กำลังประสิทธิผล (Effective strength parameters) ในการวิเคราะห์เสถียรภาพคันดินทั้ง 3 เงื่อนไข ได้แก่ 1) สถานะสิ้นสุดการถมดินคันทางแบบทันทีทันใด (Short term) 2.) สถานะถมดินคันทางเป็นเวลานาน (Long term) และ 3) สถานะระดับน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid drawdown) พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพดินคันทางทั้ง 3 เงื่อนไข ประกอบด้วย

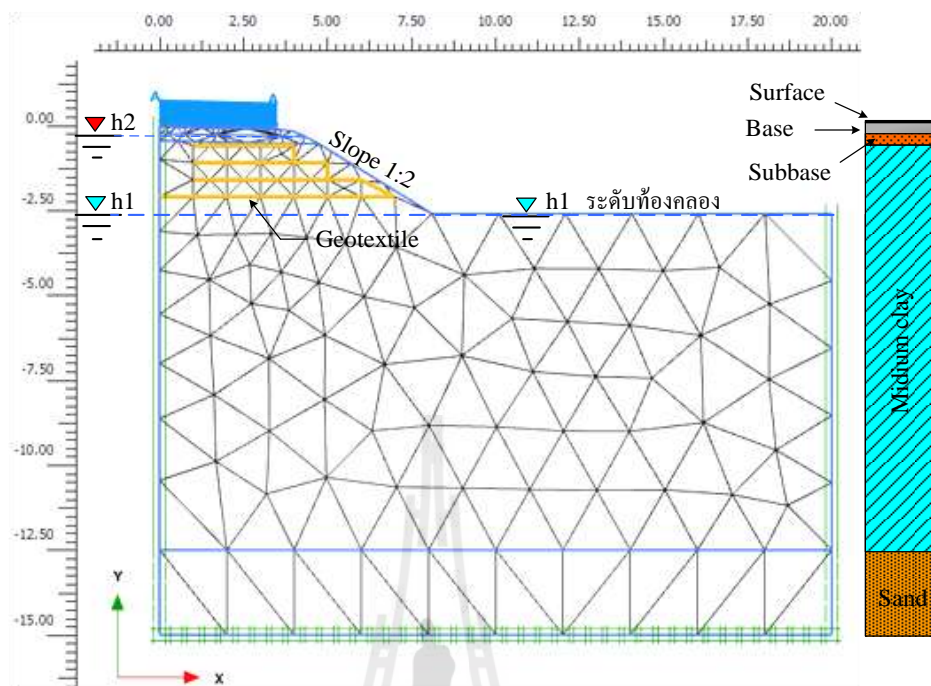
- 4.5.1 ชั้นทราย (Sand) มีหน่วยน้ำหนักรวมและหน่วยน้ำหนักอิ่มตัวด้วยน้ำเท่ากับ 17 และ 19 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ มุมเสียดทานภายในประสิทธิผล ( $\phi'$ ) มีค่าเท่ากับ 40 องศา ยังโมดูลัสเท่ากับ 50,000 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร อัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.30
- 4.5.2 ชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง (Medium clay) มีหน่วยน้ำหนักรวมและหน่วยน้ำหนักอิ่มตัวด้วยน้ำเท่ากับ 16 และ 18 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ มุมเสียดทาน

ภายในประสิทธิผล ( $\phi'$ ) มีค่าเท่ากับ 25 องศา ยังโมดูลัสเท่ากับ 20,000 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร และอัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.35

- 4.5.3 ชั้นดินลูกรัง (Subbase) มีหน่วยน้ำหนักรวมและหน่วยน้ำหนักอิ่มตัวด้วยน้ำเท่ากับ 21 และ 23 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ มุมเสียดทานภายในประสิทธิผล ( $\phi'$ ) มีค่าเท่ากับ 30 องศา หน่วยแรงเหนี่ยวนำประสิทธิผล ( $c'$ ) มีค่าเท่ากับ 50 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร Dilatancy ( $\Psi$ ) มีค่าเท่ากับ 6 องศา ยังโมดูลัสเท่ากับ 80,000 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร และอัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.30
- 4.5.4 ชั้นหินคลุก (Base) มีหน่วยน้ำหนักรวมและหน่วยน้ำหนักอิ่มตัวด้วยน้ำเท่ากับ 20 และ 22 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ มุมเสียดทานภายในประสิทธิผล ( $\phi'$ ) มีค่าเท่ากับ 45 องศา Dilatancy ( $\Psi$ ) มีค่าเท่ากับ 6 องศา ยังโมดูลัสเท่ากับ 80,000 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร และอัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.30
- 4.5.5 ชั้นแอสฟัลต์ติกคอนกรีต (Surface) มีหน่วยน้ำหนักรวมและหน่วยน้ำหนักอิ่มตัวด้วยน้ำเท่ากับ 18 และ 20 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ มุมเสียดทานภายในประสิทธิผล ( $\phi'$ ) มีค่าเท่ากับ 1 องศา หน่วยแรงเหนี่ยวนำประสิทธิผล ( $c'$ ) มีค่าเท่ากับ 120 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ยังโมดูลัสเท่ากับ 60,000 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร และอัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.30



รูปที่ 4.18 Mesh สำหรับวิเคราะห์เสถียรภาพคันดินกรณีไม่เสริม Geotextile



รูปที่ 4.19 Mesh สำหรับวิเคราะห์เสถียรภาพคันดินกรณีเสริม Geotextile

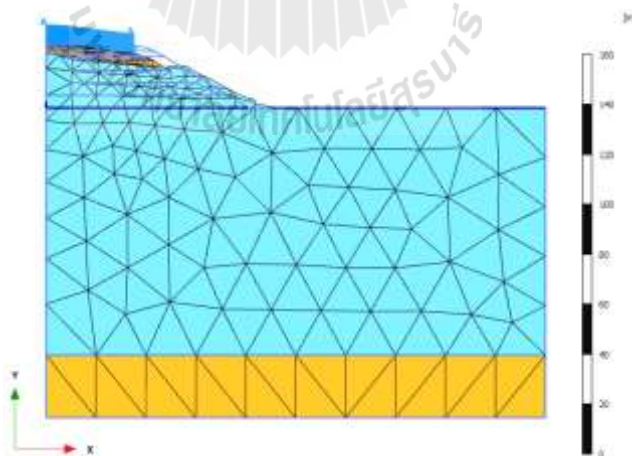
#### 4.6 เสถียรภาพคันทาง

รูปที่ 4.20 ถึง 4.21 แสดงผลการรันเสถียรภาพคันทางที่ไม่มี Geotextile ในสภาวะสิ้นสุดการก่อสร้างและรับน้ำหนักบรรทุกทุกทันทีทันใด (Short term) ของแปลงทดลองที่ 2 พบว่ามีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) 1.124 ซึ่งมีการเคลื่อนพังของคันทาง (Slope Stability Failure) และถนนทรุดตัวมากกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งเกิดจากการขาดเสถียรภาพของคันทาง เมื่อคันทางมีความสูงเกินกว่าความแข็งแรงของดินอ่อนใต้คันทางที่จะแบกรับได้ ก็จะเกิดการพังทลายขึ้น รูปที่ 4.22 ถึง 4.23 แสดงผลการรันเสถียรภาพคันทางที่เสริมด้วย Geotextile ในสภาวะสิ้นสุดการก่อสร้างและรับน้ำหนักบรรทุกทุกทันทีทันใด (Short term) ของแปลงทดลองที่ 1 พบว่า Geotextile จะช่วยเสริมกำลังให้กับคันทาง โดยจะทำให้หน้าที่ยรับแรงดึงส่งผลให้เสถียรภาพของคันทางเพิ่มขึ้น ดังพิจารณาได้จากค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) เพิ่มขึ้นเป็น 1.727

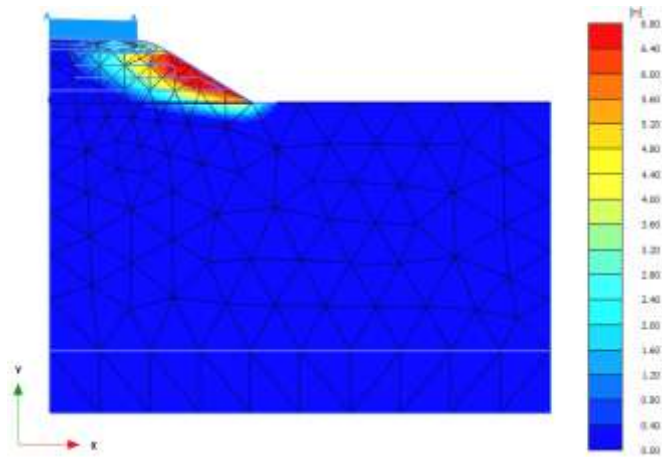
รูปที่ 4.24 ถึง 4.25 แสดงผลการรันเสถียรภาพคันทางที่ไม่มี Geotextile ในสภาวะสิ้นสุดการก่อสร้างเป็นระยะเวลานานและรับน้ำหนักบรรทุกทุก (Long term) ของแปลงทดลองที่ 2 พบว่ามีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) 1.405 ซึ่งอาจมีการเคลื่อนพังของคันทาง (Slope Stability Failure) บ้างเล็กน้อยแต่ถนนจะมีการทรุดตัวมากเกินไป ซึ่งการทรุดตัวที่มากเกินไปเกิดภายหลังจากการก่อสร้างเป็นระยะเวลานาน เกิดจากการกระบวนการยุบอัดตัวของชั้นดินเหนียว

อ่อน (Consolidation) ทั้งนี้เนื่องจากดินเหนียวอ่อนมีคุณสมบัติที่มีการยุบตัวสูง และระบายน้ำได้ช้า ดังนั้นเมื่อดินเหนียวอ่อนถูกกดทับด้วยน้ำหนักของคันทางก็จะทำให้เกิดการทรุดตัวอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนานหลายปี รูปที่ 4.26 ถึง 4.27 แสดงผลการรันเสถียรภาพคันทางที่เสริมด้วย Geotextile ในสภาวะสิ้นสุดการก่อสร้างเป็นระยะเวลานานและรับน้ำหนักบรรทุก (Long term) ของแปลงทดลองที่ 1 พบว่า Geotextile จะทำหน้าที่เสริมกำลังให้กับคันทาง โดยจะทำหน้าที่กระจายแรงลงสู่ชั้นดินฐานรากที่อยู่ใต้โครงสร้างทาง ช่วยทำให้การทรุดตัวมีความสม่ำเสมอมากขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่เสริม Geotextile ส่งผลให้การทรุดตัวของคันทางลดลง ดังพิจารณาได้จากมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) เพิ่มขึ้นเป็น 1.877

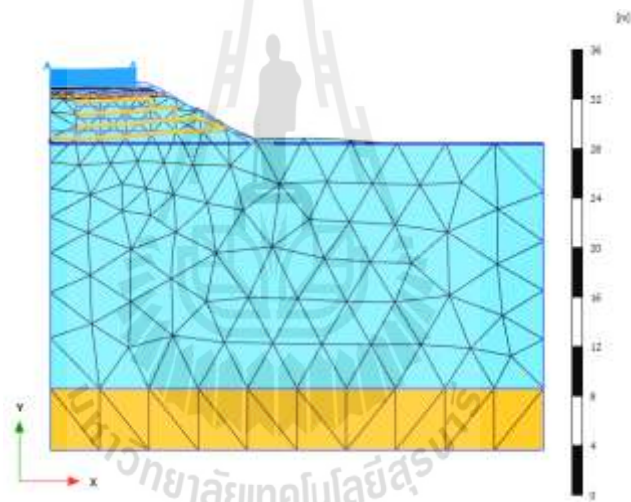
รูปที่ 4.28 ถึง 4.29 แสดงผลการรันเสถียรภาพคันทางที่ไม่มี Geotextile ในสภาวะระดับน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็วของแปลงทดลองที่ 2 จะพบว่าการลดระดับของน้ำในคลองอย่างรวดเร็ว (Rapid drawdown) มีอิทธิพลอย่างมากต่อเสถียรภาพของคันทาง คือเมื่อระดับน้ำในคลองลดลงจะทำให้อัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดต่อการพังทลายลดลงอย่างมาก จนเกิดการวิบัติของคันทาง (Soil body collapses) รูปที่ 4.30 ถึง 4.31 แสดงผลการรันเสถียรภาพคันทางที่เสริมด้วย Geotextile ในสภาวะระดับน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็วของแปลงทดลองที่ 1 พบว่า Geotextile จะทำหน้าที่เสริมกำลังให้กับคันทาง โดยจะทำหน้าที่รับแรงดึงและกระจายแรงลงสู่ชั้นดินฐานรากที่อยู่ใต้โครงสร้างทาง ทำให้คันทางมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) 1.579 และสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.20 ลักษณะการวิบัติในสภาวะสิ้นสุดการก่อสร้าง (กรณีไม่มี geotextile)

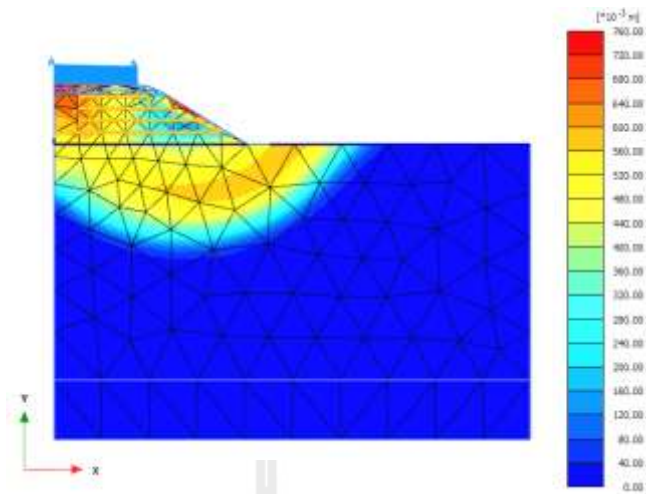


รูปที่ 4.21 ระนาบวิบัติในสภาวะสิ้นสุดการก่อสร้าง (กรณีไม่มี geotextile)

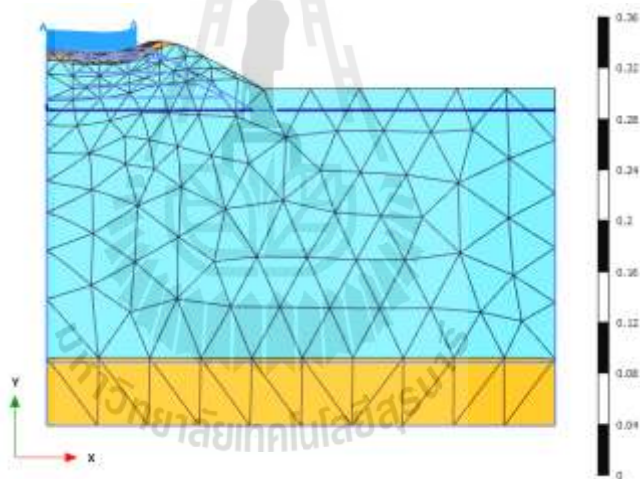


รูปที่ 4.22 ลักษณะการวิบัติในสภาวะสิ้นสุดการก่อสร้าง (กรณีมี geotextile)

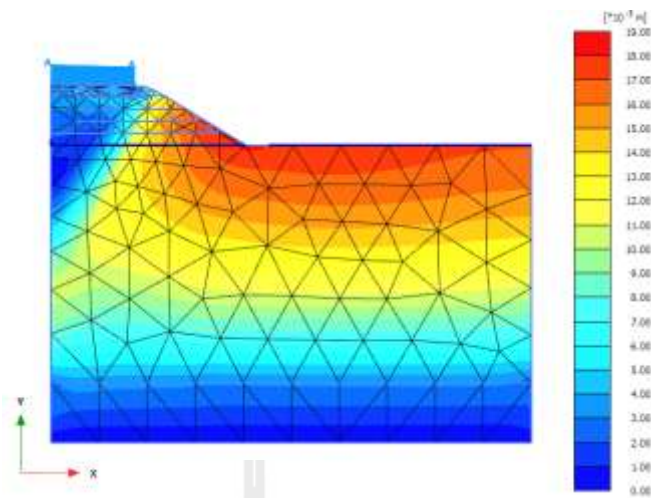




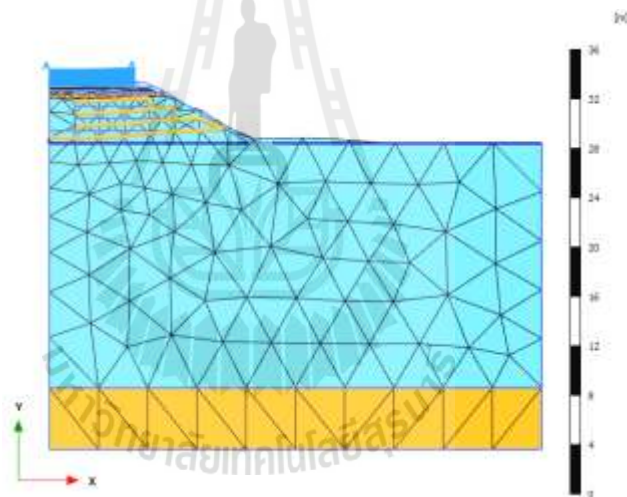
รูปที่ 4.23 ระนาบวิบัติในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้าง (กรณีมี geotextile)



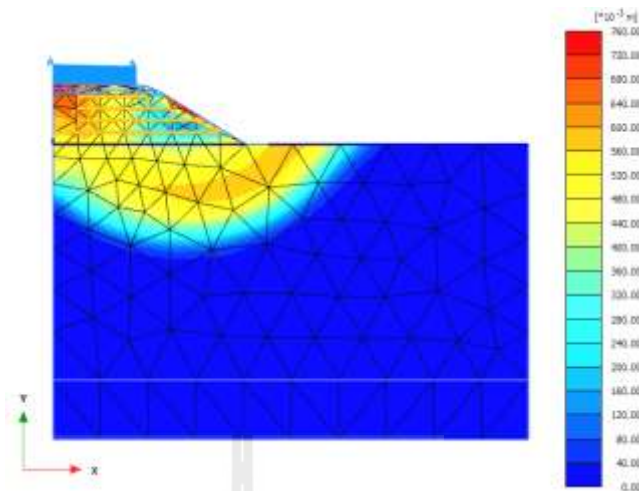
รูปที่ 4.24 ลักษณะการวิบัติในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้างเป็นเวลานานและรับน้ำหนักบรรทุก (กรณีไม่มี geotextile)



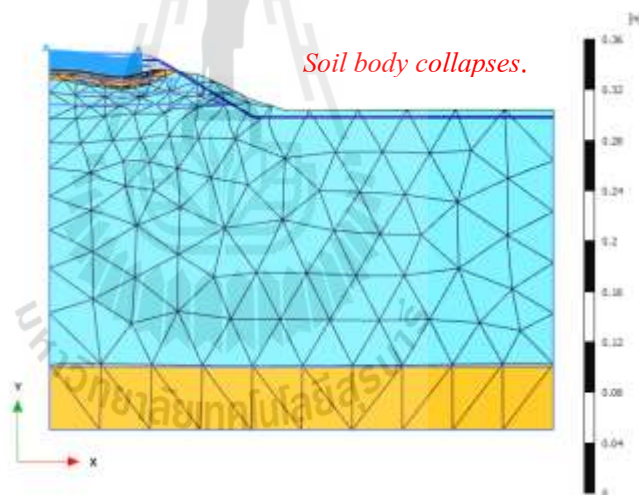
รูปที่ 4.25 ระบายความชื้นในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้างเป็นเวลานานและรับน้ำหนักบรรทุก (กรณีไม่มี geotextile)



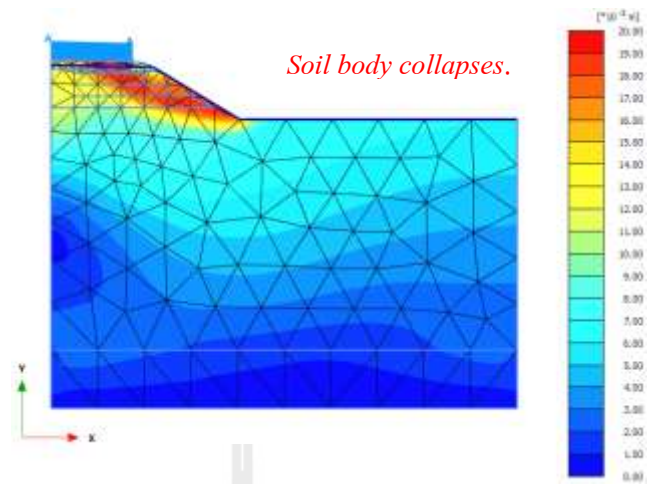
รูปที่ 4.26 ลักษณะการระบายความชื้นในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้างเป็นเวลานานและรับน้ำหนักบรรทุก (กรณีมี geotextile)



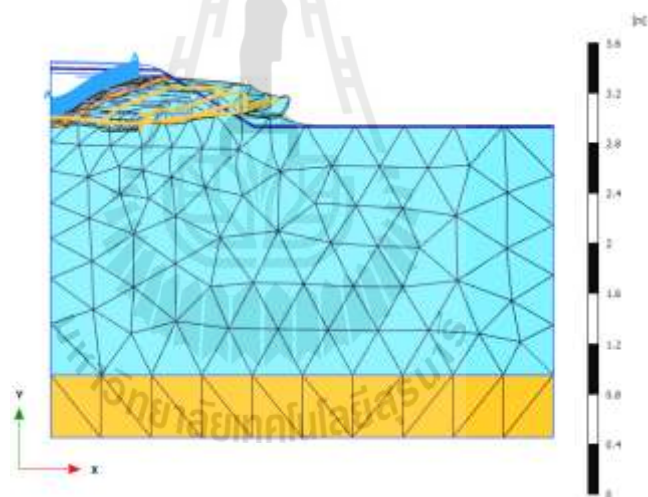
รูปที่ 4.27 ระบายวิบัติในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้างเป็นเวลานานและรับน้ำหนักบรรทุก (กรณีมี geotextile)



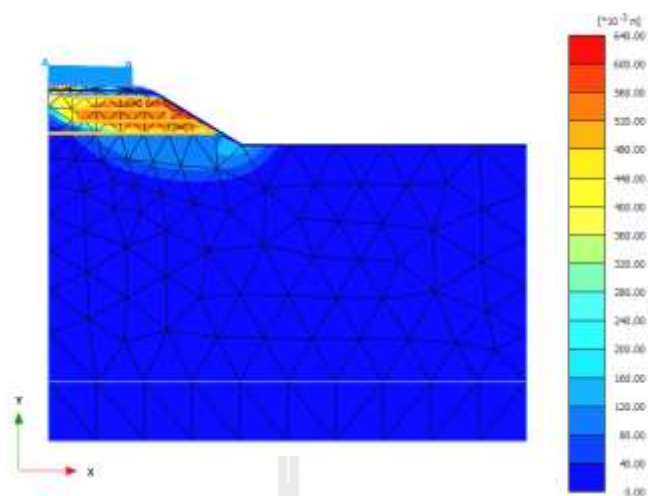
รูปที่ 4.28 ลักษณะการวิบัติในสถานะระดับน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็ว (กรณีไม่มี geotextile)



รูปที่ 4.29 ระบายวิบัติในสภาวะสิ้นสุดการก่อสร้างเป็นเวลานานและรับน้ำหนักบรรทุก (กรณีไม่มี geotextile)



รูปที่ 4.30 ลักษณะการวิบัติในสภาวะระดับน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็ว (กรณีมี geotextile)



รูปที่ 4.31 ระบายวิถีในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้างเป็นเวลานานและรับน้ำหนักบรรทุก (กรณีมี geotextile)

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการวิเคราะห์เสถียรภาพคันทาง

เงื่อนไขการวิเคราะห์	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.)	หมายเหตุ
1.สถานะสิ้นสุดการก่อสร้างและรับน้ำหนักบรรทุกแบบทันทีทันใด (With out geotextile)	1.124	
2.สถานะการใช้งานเป็นเวลานาน (With out geotextile)	1.405	
3.สถานะระดับน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็ว (With out geotextile)	<i>Soil body collapses</i>	คันทางวิบัติ
4.สถานะสิ้นสุดการก่อสร้าง และรับน้ำหนักบรรทุกแบบทันทีทันใด (With geotextile)	1.727	
5.สถานะการใช้งานเป็นเวลานาน (With geotextile)	1.877	
6.สถานะระดับน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็ว (With geotextile)	1.579	

## บทที่ 5

### สรุปผล

การวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) ในคันทางจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับคันทางเนื่องจากแผ่นใยสังเคราะห์ดังกล่าวจะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงดึงในสถานะสิ้นสุดการก่อสร้างและรับน้ำหนักบรรทุกทุกทันทีทันใด (Short term) โดยเพิ่มค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ได้ประมาณร้อยละ 53 ซึ่งแสดงว่าการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์สามารถต้านทานการวิบัติของลาดคันทางได้ทันทีหลังการก่อสร้างเสร็จ ไม่จำเป็นต้องรอให้วัสดุเสริมแรงมีกำลังเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา และการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ยังเพิ่มเสถียรภาพให้กับคันทางได้อย่างมีประสิทธิภาพในสถานะการรับน้ำหนักบรรทุกและใช้งานเป็นระยะเวลานาน (Long term) โดยเพิ่มค่าอัตราส่วนความปลอดภัยได้ประมาณร้อยละ 34 นอกจากนี้ในสถานะการลดลงของระดับน้ำในคลองอย่างรวดเร็ว (Rapid drawdown) แผ่นใยสังเคราะห์ก็สามารถเพิ่มเสถียรภาพให้กับคันทางได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นอย่างยิ่ง โดยจะทำหน้าที่เสริมกำลังให้กับคันทางมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) เพิ่มขึ้นเป็น 1.579

อนึ่ง การเพิ่มเสถียรภาพให้กับคันทางด้วยการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ ยังมีข้อดีคือการก่อสร้างสามารถทำได้ง่ายเนื่องจากมีวิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ใกล้เคียงกับการก่อสร้างทั่วไปไม่ต้องใช้เครื่องจักรหรือเครื่องมือหลายประเภท ดังนั้นจึงหาผู้รับเหมาทำงานได้ง่ายทำให้เกิดการแข่งขันราคาที่ต่ำลง และการก่อสร้างสามารถทำได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากแผ่นใยสังเคราะห์มีลักษณะเป็นม้วนขนย้ายได้ง่าย รวดเร็ว ในบริเวณพื้นที่จำกัด การก่อสร้างคันทางด้วยการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์มีความสะดวกมากเนื่องจากแผ่นใยสังเคราะห์มีน้ำหนักเบา และเครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้งเป็นเครื่องมือแบบง่ายๆ และหาได้ทั่วไป ดังนั้นการซ่อมบำรุงทางหลวงชนบทด้วยการเสริมแผ่นใยสังเคราะห์เพื่อแก้ปัญหาด้านการขาดเสถียรภาพของลาดคันทาง จึงมีราคาไม่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น แต่การใช้แผ่นใยสังเคราะห์ต้องมีความระมัดระวังอยู่บ้างเนื่องจากไม่ทนต่อการตีไฟ เกิดความเสียหายง่ายในระหว่างก่อสร้าง และอาจมีความยุ่งยากในการตรวจสอบชนิดของแผ่นใยสังเคราะห์ เนื่องจากมีลักษณะภายนอกเหมือนกัน นอกจากนั้นแผ่นใยสังเคราะห์จะมีกำลังรับแรงดึงตามแนวยาวมากกว่าแนวขวาง ดังนั้นการปูเสริมแผ่นใยสังเคราะห์ในคันทางจะต้องปูขวาง (ตั้งฉาก) กับแนวถนน เพื่อให้สามารถรับแรงได้ตามที่ออกแบบไว้

## เอกสารอ้างอิง

- กรมทางหลวงชนบท. (2547). รายงานผลการทดสอบและเจาะสำรวจชั้นดิน SOIL BORING TEST สะพานข้ามแม่น้ำน้อย ต.ท่าข้าม/โพสังโหม อ.ค่ายบางระจัน จ.สิงห์บุรี. สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม.
- กรมทางหลวงชนบท. (2547). การพัฒนาความมั่นคงของคันทางบนพื้นที่ดินอ่อน ถนนสายเลียบบคลองเจริญฝั่งตะวันออก ม.2 ต.สองคลอง อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา. สำนักทางหลวงชนบทที่ 3 (ชลบุรี) สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม
- กรมทางหลวงชนบท. (2552). คู่มือแนะนำการก่อสร้างถนนบนพื้นที่ดินอ่อน. โครงการงานศึกษาจัดทำคู่มือการก่อสร้างถนนบนพื้นที่ดินอ่อน บริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเม้นท์ จำกัด บริษัท วิศวกรรมธรณีและฐานราก จำกัด.
- กรมทางหลวงชนบท. (2553). รายงานผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินในสนาม ด้วยวิธี In Situ Vane Shear Test สาย สท. 4003 แยก ทล. 3030 – บ.บางมอญ อ.เมืองฯ จ.สิงห์บุรี. สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม.
- กรมทางหลวงชนบท. (2554). คู่มือการใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบเสถียรภาพคันทางถนนเลียบบคลองและถนนในพื้นที่ดินอ่อน ของกรมทางหลวงชนบท. คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. (2540). การวิเคราะห์ความคงตัวของคันทางเสริมใยสังเคราะห์ บนดินอ่อน. รายงานวิจัย ฉบับที่ วพ.161 ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม.
- มานะ อภิพัฒนะมนตรี. (2538). วิศวกรรมปฐพีและฐานราก. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).
- ยิ่งยศ บุญยานันต์. (2556). การประยุกต์ใช้วัสดุสังเคราะห์ในการเพิ่มเสถียรภาพของคันทางถนนในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. โครงการงานมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุรัชย์ ทรัพย์เพิ่ม. (2545). เสถียรภาพความคงตัวของถนนคันทังเสริมด้วยแผ่นใยสังเคราะห์แบบ  
ผสมดินทรายหลวม. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาโยธา  
ภาควิชาครุศาสตร์โยธา บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.





## ประวัติผู้เขียน

นายอำนาจ ปิ่นเพชร เกิดวันที่ 2 เมษายน 2512 ที่อยู่ปัจจุบัน 55/1 หมู่ที่ 6 ตำบลท่าช้าง อำเภอวิเศษ-ชัยชาญ จังหวัดอ่างทอง 14110 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี ปัจจุบันรับราชการตำแหน่งวิศวกรโยธาชำนาญการ แขวงทางหลวงชนบทสิงห์บุรี สำนักงานทางหลวงชนบทที่ 2 (สระบุรี) กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม

