สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบของดินตัวอย่างตามสภาพธรรมชาติ

โดยผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของดินเดิมตามสภาพธรรมชาติ ทางด้านกายภาพและวิศวกรรม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลำตะคอง

จากการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางด้านกายภาพของดินลำตะคองในห้องปฏิบัติการแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพของดินลำตะคอง

คุณสมบัติทางด้านกายภาพ		ผลการทดสอบ
ความถ่วงจำเพาะ (Gs)		2.78
กรวด (ขนาด 2 .00 - 76.2 ม.ม.)	%	16
ทราย (ขนาด 0.075 - 2.00 ม.ม.)	%	34.23
ทรายเม็ดละเอียด (ขนาด 0.074 - 0.005 ม.ม.)	%	22.79
ดินเหนียว (ขนาดเล็กกว่า 0.005 ม.ม.)	%	26.98
Liquid Limit (L.L.)	%	26.67
Plastic Limit (P.L.)	%	17.50
ดรรชนีความเหนียว (Plastic Index, P.I.)	%	9.17
การจำแนกประเภทดินตามระเบียบวิธี USC		SC
การจำแนกประเภทดินตามระเบียบวิธี AASHTO		A-4

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินลำตะคอง โดยพบว่าการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน พบว่ามีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.78 และในเบื้องต้นดินลำตะคองอาจมีคุณสมบัติของดินกระจายตัว คือ มีค่า Plastic Index (P.I.) ร้อยละ17.50 และมีอนุภาคดินเหนียวขนาดเล็กกว่า 0.005 มิลลิเมตร ร้อยละ 22.79 ซึ่ง Sherard, et al. (1977) ได้กล่าวว่าดินที่มีอนุภาคดินเหนียวขนาดเล็กกว่า 0.005 มิลลิเมตร ตั้งแต่ ร้อยละ 10- 20 และมีค่า Plastic Index (P.I.) มากกว่า 4 จัดว่าดินลำตะคองอยู่ในกลุ่มที่เป็นดินกระจายตัวได้ในเบื้องต้น และเมื่อทำการจำแนกประเภทของดินลำตะคองโดยระบบ Unified พบว่า จัดอยู่ในกลุ่ม SC และในระบบ AASHTO จัดอยู่ในกลุ่ม A-4

4.1.2 คุณสมบัติทางด้านการกระจายตัวของดินลำตะคอง

1. Double Hydrometer Test

จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 4221 พบว่าดินลำตะคองมีค่าร้อยละของการกระจายตัว (Degree of Dispersion) อยู่ที่ร้อยละ 74.21 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตารางที่ 2.2 พบว่าดินลำตะคองจัดเป็นดินกระจายตัวระดับสูง ซึ่งจะอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 51 –75

2. Pinhole Test

จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D4647 พบว่าเมื่อนำผลการทดสอบไปเปรียบเทียบกับตารางที่ 2.3 และ 2.4 พบว่า ดินลำตะคองจัดเป็นดินกระจายตัว ในกลุ่ม D 1 คือดินกระจายตัวระดับสูง

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติการกระจายตัว ของดินกระจายตัวลำตะคอง

คุณสมบัติทางด้านการกระจายตัว	ผลการทดสอบ
Double Hydrometer Test %	74.21
Pinhole Test	D 1

4.1.3 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินกระจายตัวลำคะตอง

จากการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลำตะคองซึ่งแสดงในตารางที่ 4.3 โดยการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน โดยมาตรฐาน ASTM 698 พบว่าดินลำตะคองมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินตัวอย่าง (Maximum Dry Density) เท่ากับ 1.89 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) เท่ากับร้อยละ 11.50 ในส่วนของทำการทดสอบการรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength) พบว่าดินกระจายตัวลำตะคอง มีกำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด เท่ากับ 2.10 ตันต่อตารางเมตร

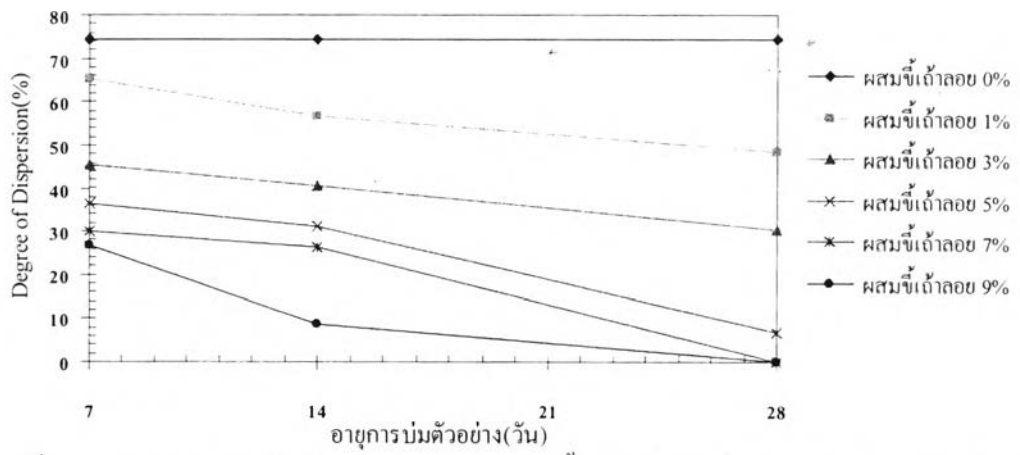
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม ของดินกระจายตัวลำตะคอง

คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม	ผลการทดสอบ
ความหนาแน่นสูงสุด ตัน/ม^3	1.89
ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม %	11.50
Unconfined Compressive Strength ตัน/ม^2	2.10

4.2 คุณสมบัติทางด้านการกระจายตัวของตัวอย่างดินหลังทำการปรับปรุง

4.2.1 ดินลำตะคองผสมกับขี้เถ้าลอย

จากการปรับปรุงคุณสมบัติด้านการกระจายตัวของดินเดิมโดยใช้การผสมขี้เถ้าลอยโดยปริมาณที่ใช้เท่ากับ ร้อยละ 1, 3, 5, 7 และ9 โดยน้ำหนักดินแห้ง ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ28 วัน โดยทำการทดสอบหาคุณสมบัติการกระจายตัวจากการทดสอบ วิธีDouble Hydrometer Test และ วิธี Pinhole Test สามารถสรุปได้ตามรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.4 นั้นเมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบคุณสมบัติการกระจายตัวของดินกระจายตัวลำตะคองภายหลังได้รับการปรับปรุงในห้องปฏิบัติการโดยวิธี Double Hydrometer Test และ Pinhole Test พบว่า เมื่อทำการผสมเถ้าลอยที่ร้อยละ 5 และ 7 โดยน้ำหนักดินแห้งนั้นค่าการกระจายตัวของดินลำตะคองเมื่อผสมขี้เถ้าลอย มีค่าการกระจายตัวที่อายุการบ่ม 28 วัน จากการทดสอบ Double Hydrometer Test มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 6.67 และ 0.00 ตามลำดับ และการทดสอบ Pinhole Test มีค่าการกระจายตัวเป็น ND 3 และ ND 2 ซึ่งจัดว่าเป็นดินที่ไม่มีปัญหาการกระจายตัว



รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบตัวอย่างดินลำตะคองผสมขี้เถาลอยโดยวิธี Double Hydrometer Test

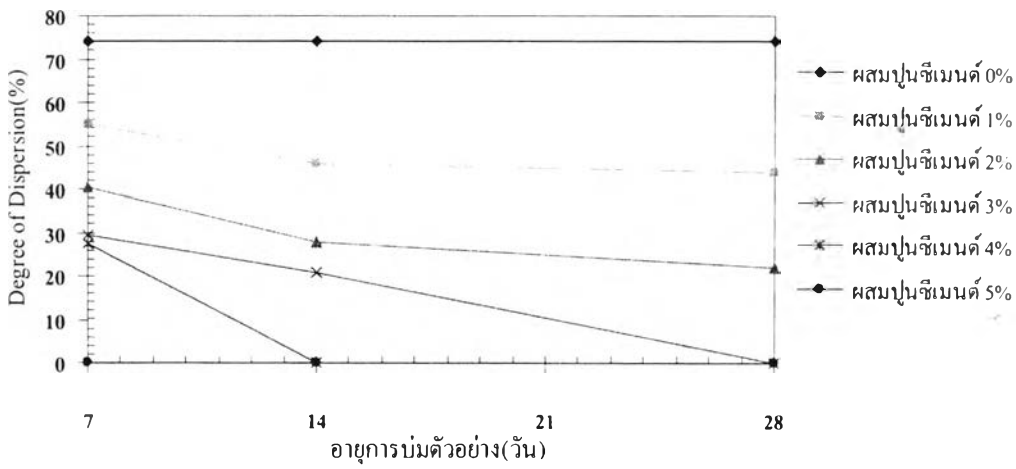
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบตัวอย่างดินลำตะคองผสมขี้เถาลอยโดยวิธี Pinhole Test

ปริมาณขี้เถ้าลอย (%)	Classification of Individual Test Result		
	อายุการบ่มที่ 7 วัน	อายุการบ่มที่ 14 วัน	อายุการบ่มที่ 28 วัน
0	D 1	D 1	D 1
1	D 2	ND 4	ND 4
3	ND 4	ND 4	ND 4
5	ND 4	ND 4	ND 3
7	ND 3	ND 2	ND 2
9	ND 2	ND 2	ND 1

หมายเหตุ : D1 และ D2 : จัดเป็น Dispersive Soil
ND 3 และ ND 4 : จัดเป็น Intermediate Soil
ND 1 และ ND 2 : จัดเป็น Non Dispersive Soil

4.2.2 ดินกระจายตัวลำตะคองผสมกับปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1

จากการปรับปรุงคุณสมบัติด้านการกระจายตัวของดินโดยใช้การผสมปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 โดยปริมาณที่ใช้เท่ากับ ร้อยละ 1, 2, 3, 4 และ5 โดยน้ำหนักดินแห้ง ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ28 วัน โดยวิธี Double Hydrometer Test และ Pinhole Test สามารถสรุปได้ตามรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.5 นั้นเมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบคุณสมบัติการกระจายตัวของดินกระจายตัวลำตะคองภายหลังได้รับการปรับปรุงในห้องปฏิบัติการโดยวิธี Double Hydrometer Test และ Pinhole Test พบว่า เมื่อทำการผสมปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 2 และ 3 โดยน้ำหนักดินแห้งนั้นค่าการกระจายตัวของดินลำตะคองเมื่อผสมปูนซีเมนต์ มีค่าการกระจายตัวที่อายุการบ่ม 28 วัน จากการทดสอบ Double Hydrometer Test มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 21.98 และ 0.00 ตามลำดับ และการทดสอบ Pinhole Test มีค่าการกระจายตัวเป็น ND 2 และ ND 2 ซึ่งจัดว่าเป็นดินที่ไม่มีปัญหาการกระจายตัว



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบตัวอย่างดินลำตะคองผสมปูนซีเมนต์โดยวิธี Double Hydrometer Test

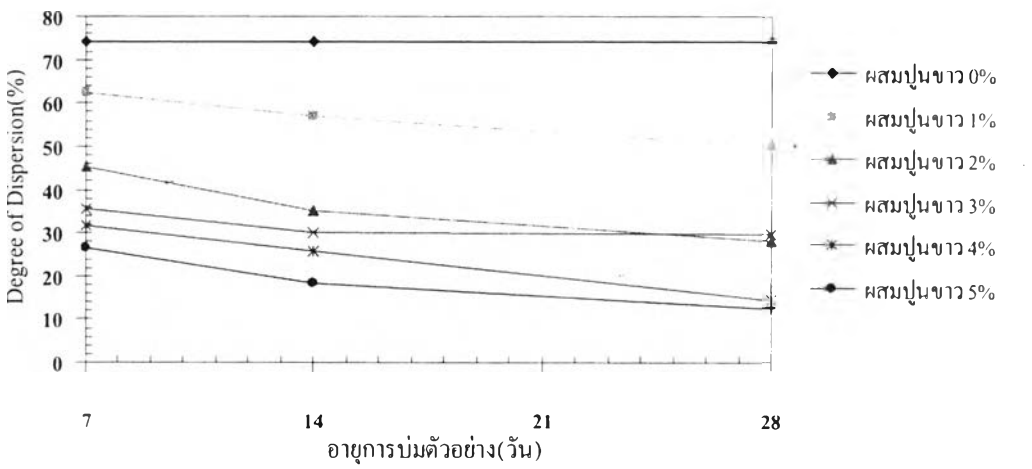
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบตัวอย่างดินกระจายผสมปูนซีเมนต์โดยวิธี Pinhole Test

ปริมาณปูนซีเมนต์ (%)	Classification of Individual Test Result		
	อายุการบ่มที่ 7 วัน	อายุการบ่มที่ 14 วัน	อายุการบ่มที่ 28 วัน
0	D 1	D 1	D 1
1	ND 4	ND 4	ND 3
2	ND 3	ND 3	ND 2
3	ND 3	ND 3	ND 2
4	ND 2	ND 2	ND 1
5	ND 2	ND 1	ND 1

หมายเหตุ : D1 และ D2 : จัดเป็น Dispersive Soil
ND 3 และ ND 4 : จัดเป็น Intermediate Soil
ND 1 และ ND 2 : จัดเป็น Non Dispersive Soil

4.2.3 ดินกระจายตัวลำตะคองผสมกับปูนขาว

จากการปรับปรุงคุณสมบัติด้านการกระจายตัวของดินโดยใช้การผสมปูนขาว โดยปริมาณที่ใช้เท่ากับ ร้อยละ 1 ,2 ,3 ,4 และ5 โดยน้ำหนักดินแห้ง ที่อายุการบ่ม 7 ,14 และ28 วัน โดยวิธี Double Hydrometer Test และ Pinhole Test สามารถสรุปได้ตามรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.6นั้น เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบคุณสมบัติการกระจายตัวของดินกระจายตัวลำตะคองภายหลังได้รับการปรับปรุงในห้องปฏิบัติการโดยวิธี Double Hydrometer Test และ Pinhole Test พบว่า เมื่อทำการผสมปูนขาวที่ร้อยละ 2 และ 3 โดยน้ำหนักดินแห้งนั้นค่าการกระจายตัวของดินลำตะคองเมื่อผสมปูนขาว มีค่าการกระจายตัวที่อายุการบ่ม 28 วัน จากการทดสอบ Double Hydrometer Test มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 28.21 และ 29.63 ตามลำดับ และการทดสอบ Pinhole Test มีค่าการกระจายตัวเป็น ND 3 และ ND 2 ซึ่งจัดว่าเป็นดินที่ไม่มีปัญหาการกระจายตัว



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบตัวอย่างดินลำตะคองผสมปูนขาวโดยวิธี Double Hydrometer Test

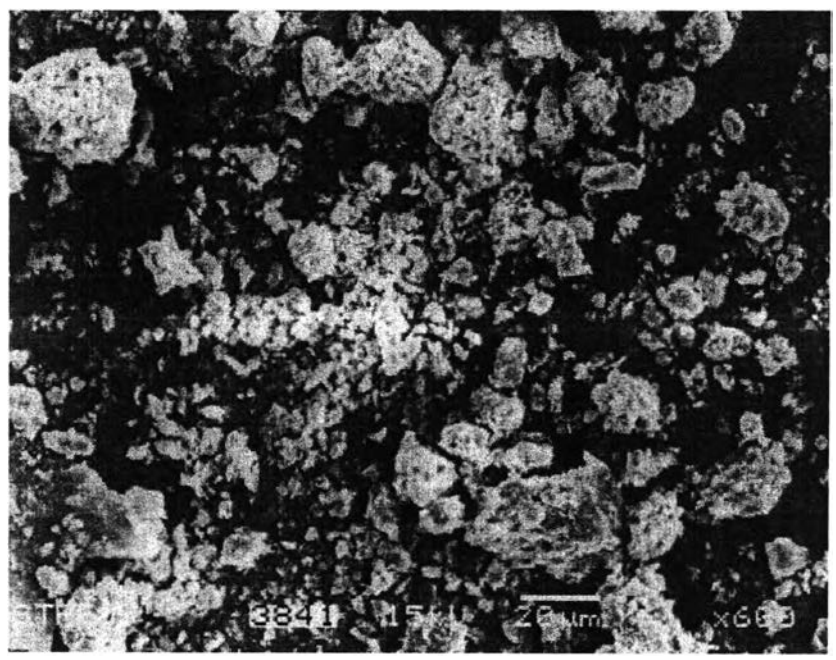
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบตัวอย่างดินลำตะคองผสมปูนขาวโดยวิธี Pinhole Test

ปริมาณปูนขาว (%)	Classification of Individual Test Result		
	อายุการบ่มที่ 7 วัน	อายุการบ่มที่ 14 วัน	อายุการบ่มที่ 28 วัน
0	D 1	D 1	D 1
1	D 2	D 2	ND 4
2	ND 4	ND 4	ND 3
3	ND 3	ND 3	ND 2
4	ND 3	ND 2	ND 2
5	ND 2	ND 2	ND 2

หมายเหตุ : D1 และ D2 : จัดเป็น Dispersive Soil
ND 3 และ ND 4 : จัดเป็น Intermediate Soil
ND 1 และ ND 2 : จัดเป็น Non Dispersive Soil

4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างของดินระดับจุลภาค

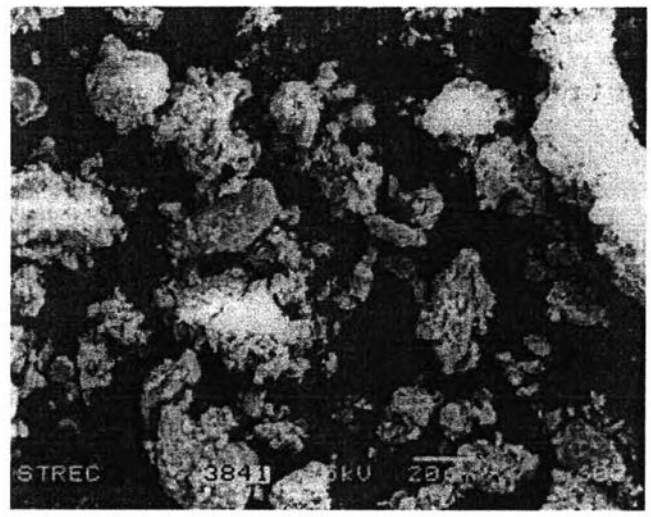
โดยภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยลักษณะเฉพาะของโครงสร้างขนาดเล็ก (Microstructure Feature) ซึ่งเกิดจากการจัดเรียงตัวของอนุภาค กลุ่มของอนุภาค และช่องว่างภายในดินโดยการรวมตัวของอนุภาคจนกลายเป็นผืนแผ่นคล้ายสิ่งทอ (Fabric) โดยภาพถ่ายอนุภาคของดินลำตะคองนี้ขยายที่ขนาด 600 เท่า ในรูปที่ 4.4 เห็นได้ว่าลักษณะของอนุภาคเม็ดดินมีขนาดที่กระจายกันอยู่ระหว่างขนาดเล็กและใหญ่โดยที่ในส่วนของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 20μm เมื่อพิจารณาจากรูปถ่ายแล้วพบว่ามีอยู่ประมาณร้อยละ50ถึง60



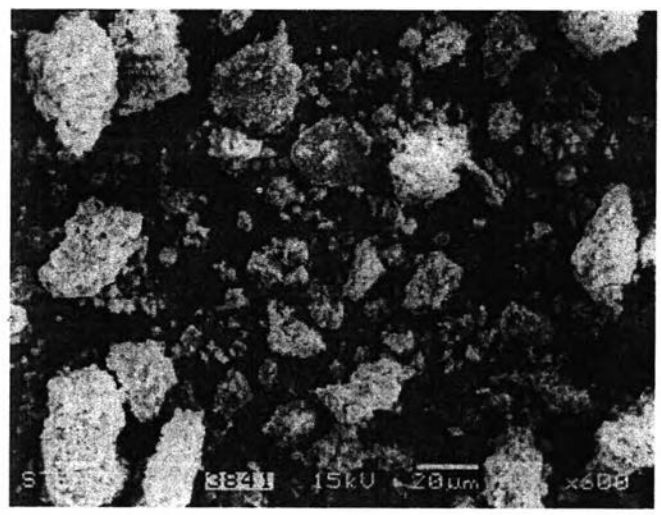
รูปที่4.4 Micrograph ของตัวอย่างดินลำตะคองในสภาพธรรมชาติ

4.3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของดินลำตะคองผสมกับขี้เถ้าลอย โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM

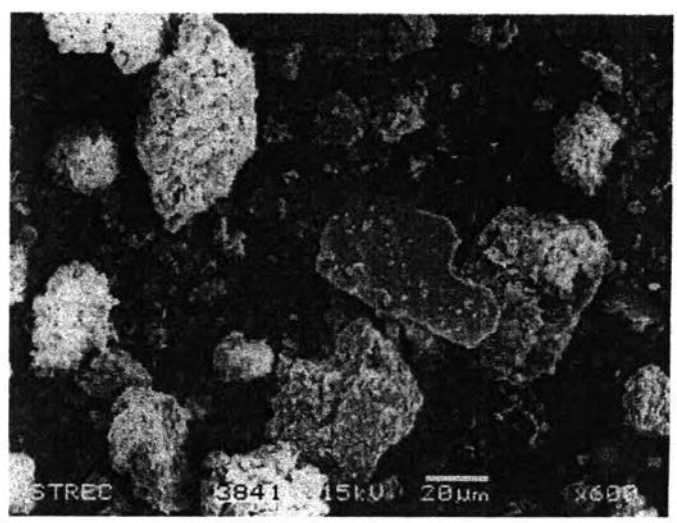
ในรูปที่ 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 และ4.9 ได้แสดง Micrograph ของดินกระจายตัวลำตะคองหลังจากทำการปรับปรุงโดยผสมขี้เถ้าลอยที่อัตราส่วนร้อยละ 1, 3, 5, 7 และ9 ของน้ำหนักดินแห้ง ที่อายุการบ่ม 14 วัน พบว่าเมื่อทำการผสมขี้เถ้าลอยลงไปจะส่งผลทำให้ลักษณะของอนุภาคเม็ดดินมีการเกาะตัวกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับ Micrograph ของดินกระจายตัวลำตะคองในสภาพธรรมชาติ



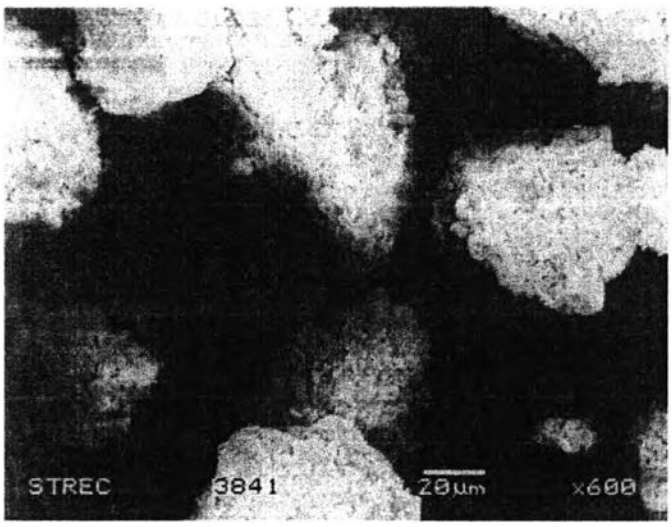
รูปที่ 4.4 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมขี้เถ้าลอยที่ร้อยละ 1 มีอายุการบ่มที่ 14 วัน



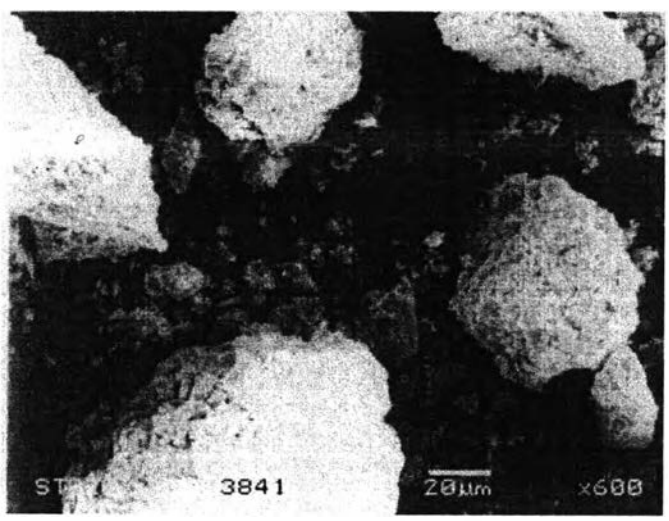
รูปที่ 4.6 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมขี้เถ้าลอยที่ร้อยละ 3 มีอายุการบ่มที่ 14 วัน



รูปที่ 4.7 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมขี้เถ้าลอยที่ร้อยละ 5 มีอายุการบ่มที่ 14 วัน



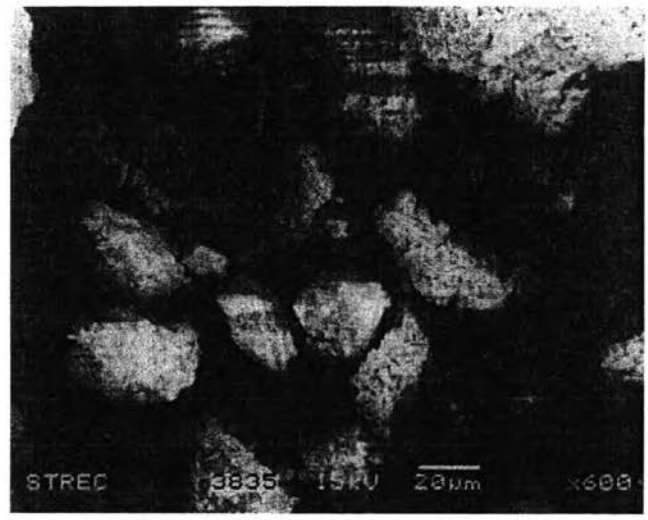
รูปที่ 4.8 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมขี้เถ้าลอยที่ร้อยละ 7 มีอายุการบ่มที่ 14 วัน



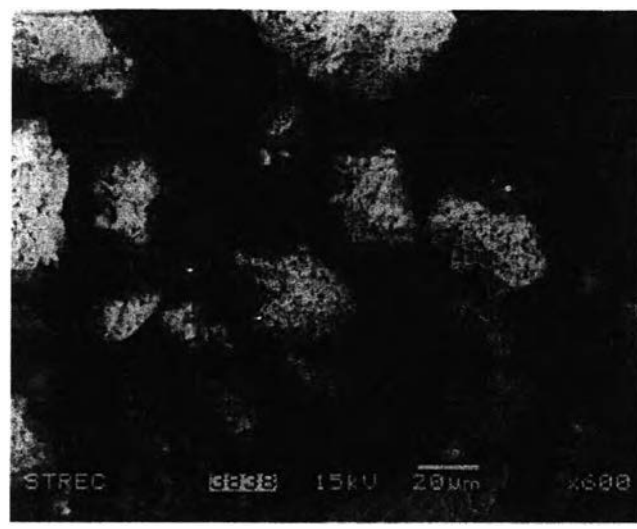
รูปที่ 4.9 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมขี้เถ้าลอยที่ร้อยละ 9 มีอายุการบ่มที่ 14 วัน

4.3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของดินลำตะคองผสมกับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM

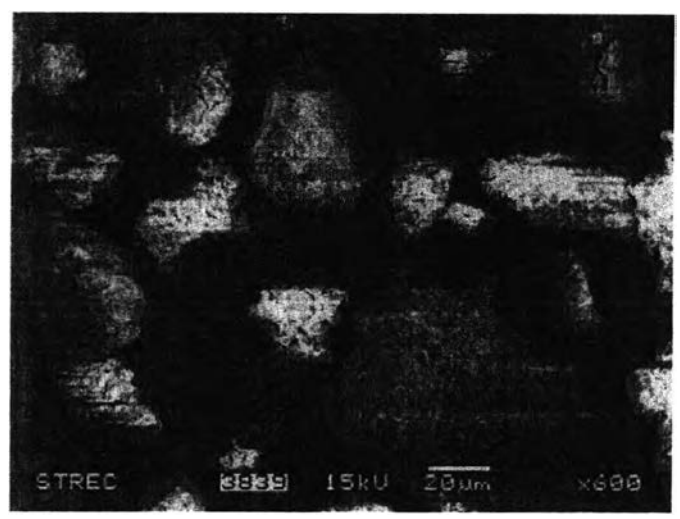
รูปที่ 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 และ4.14 ได้แสดง Micrograph ของดินกระจายตัวลำตะคองหลังจากทำการปรับปรุงโดยผสมปูนซีเมนต์ ที่อัตราส่วนร้อยละ 1, 2, 3, 4 และ5 ของน้ำหนักดินแห้ง ที่อายุการบ่ม 14 วัน พบว่าเมื่อทำการผสมปูนซีเมนต์ ลงไปจะส่งผลทำให้ลักษณะของอนุภาคเม็ดดินมีการเกาะตัวกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับ Micrograph ของดินลำตะคองในสภาพธรรมชาติ



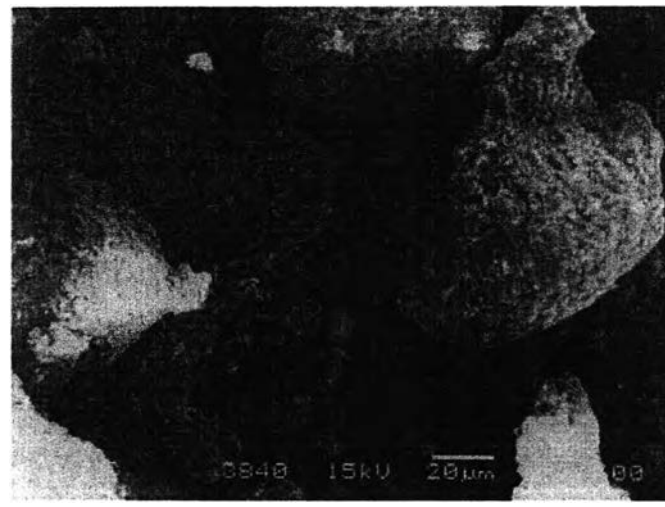
รูปที่ 4.10 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 1 อายุการบ่มที่ 14 วัน



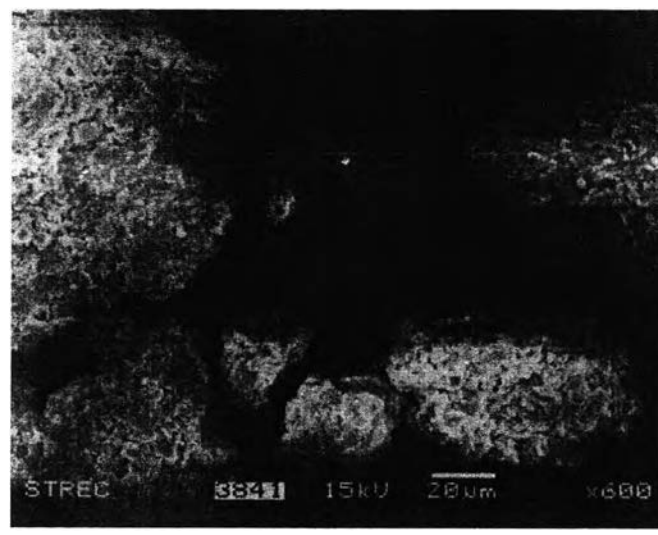
รูปที่ 4.11 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 2 อายุการบ่มที่ 14 วัน



รูปที่ 4.12 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 3 อายุการบ่มที่ 14 วัน



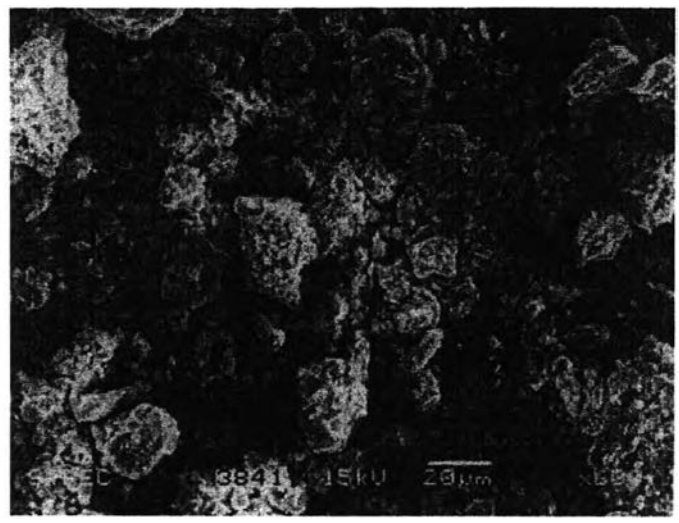
รูปที่ 4.13 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 4 อายุการบ่มที่ 14 วัน



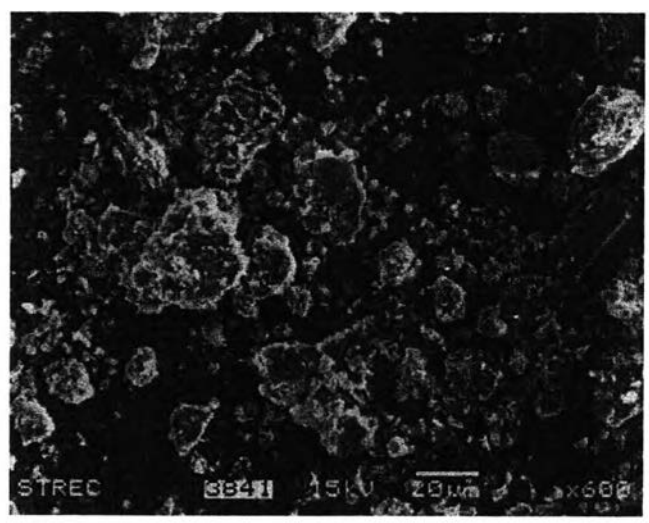
รูปที่ 4.14 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 5 อายุการบ่มที่ 14 วัน

4.3.3 การวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของดินลำตะคองผสมกับปูนขาว โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope, SEM

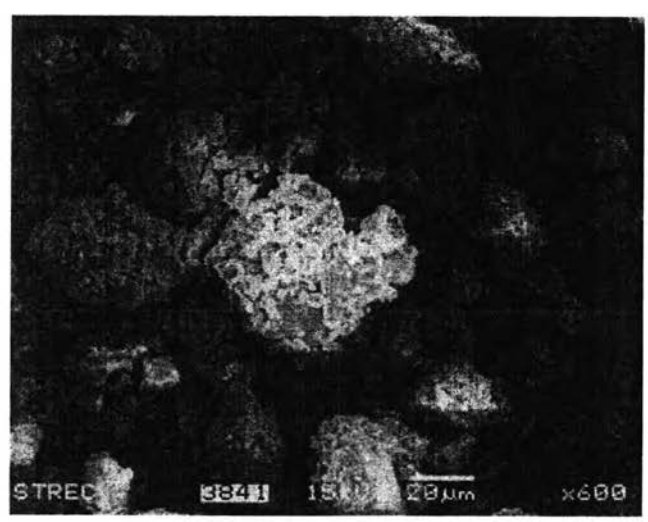
รูปที่ 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 และ4.19 ได้แสดง Micrograph ของดินลำตะคองหลังจากทำการปรับปรุงโดยผสมปูนขาว ที่อัตราส่วนร้อยละ 1, 2, 3, 4 และ5 ของน้ำหนักดินแห้ง ที่อายุการบ่ม 14 วัน พบว่าเมื่อทำการผสมปูนขาวลงไปจะส่งผลทำให้ลักษณะของอนุภาคเม็ดดินมีการเกาะตัวกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับ Micrograph ของดินลำตะคองในสภาพธรรมชาติ



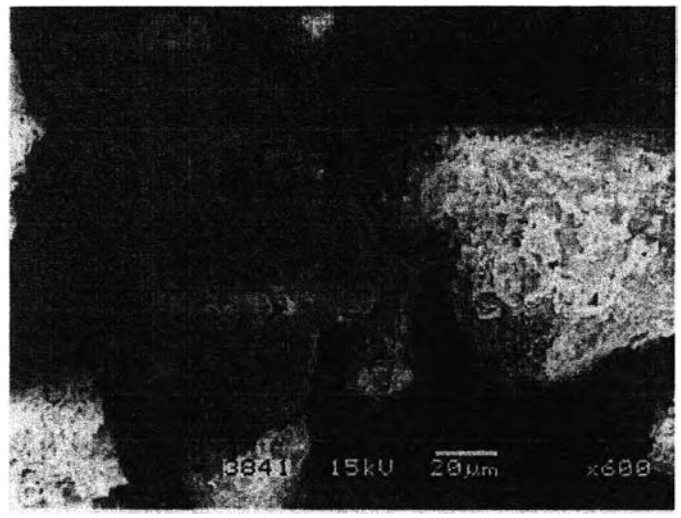
รูปที่ 4.15 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนขาวที่ร้อยละ 1 อายุการบ่มที่ 14 วัน



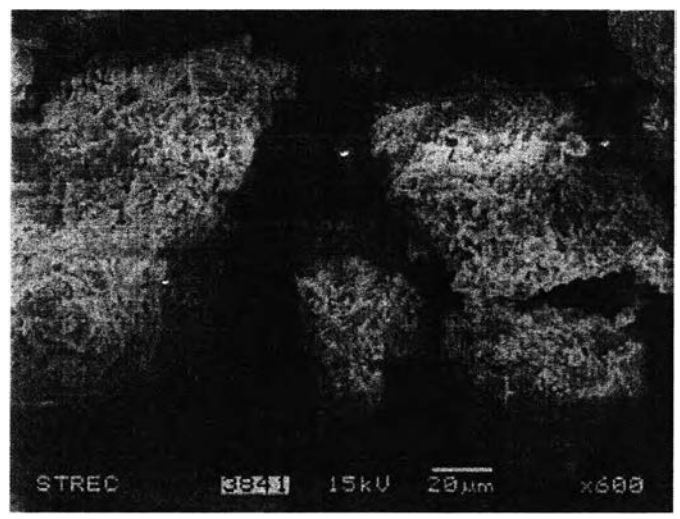
รูปที่ 4.16 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนขาวที่ร้อยละ 2 อายุการบ่มที่ 14 วัน



รูปที่ 4.17 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนขาวที่ร้อยละ 3 อายุการบ่มที่ 14 วัน



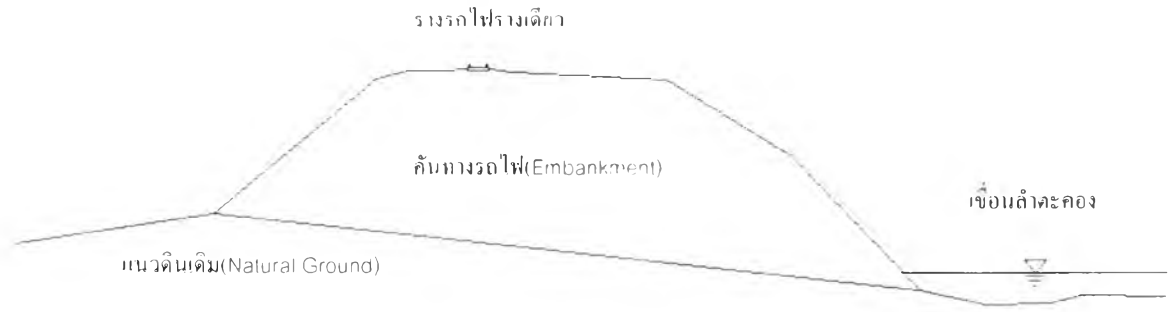
รูปที่ 4.18 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนขาวที่ร้อยละ 4 อายุการบ่มที่ 14 วัน



รูปที่ 4.19 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนขาวที่ร้อยละ 5 อายุการบ่มที่ 14 วัน

4.2.6 การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางรถไฟ

4.2.6.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางก่อนทำการปรับปรุงคันทางบริเวณ STA 200+200 ดังแสดงรูปหน้าตัดของคันทางในรูปที่ 4.20 โดยทำการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของคันทาง โดยใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรม Auto Slope ได้แสดงในรูปที่ 4.21 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณได้แสดงในตารางที่ 4.10 โดยหลังจากทำการคำนวณหาค่าความปลอดภัยของคันทางรถไฟโดยโปรแกรม Auto Slope พบว่าค่าความปลอดภัยของคันทางรถไฟมีค่าดังตารางที่ 4.11



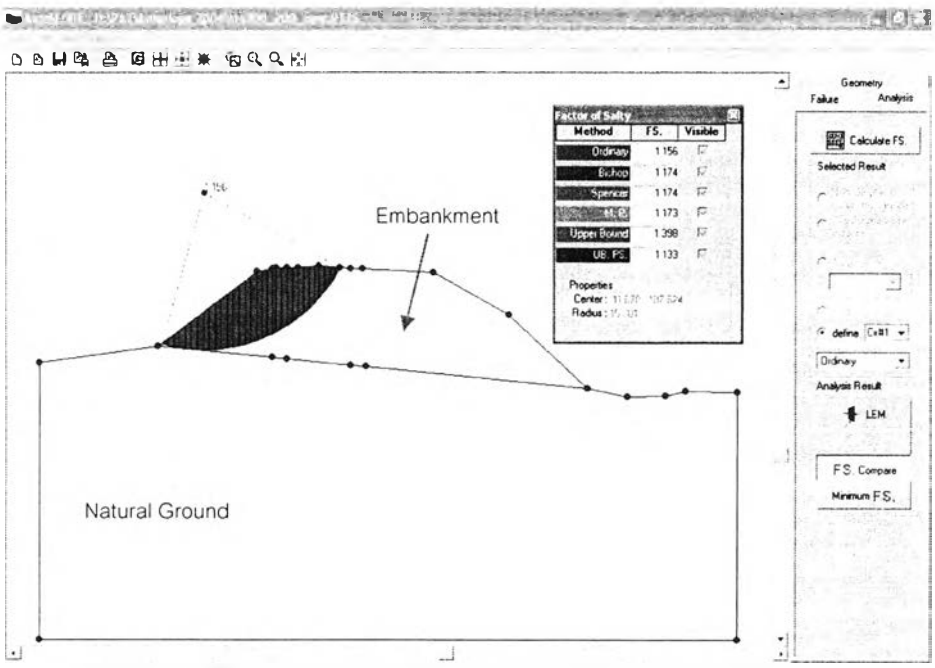
รูปที่4.20 แสดงตัวอย่างรูปตัดคันทาง กม.ที่ 200+200(ภาพตัด A-A) ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าความปลอดภัย

Type	γ (t/m^3)	c_u (t/m^2)	ϕ ($^\circ$)
Natural Ground	2.00	6	28.0
Embankment	2.00	1.90	5.0
Jet Grouting Column	2.20	15	0.0

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความปลอดภัยของคันทางรถไฟโดยคอมพิวเตอร์โปรแกรม Auto Slope

Method	FS.
Ordinary	1.156
Bishop	1.174
Spencer	1.174
M.P.	1.173
Upper Bound	1.398
Properties	
Center	(-11.670,107.624)
Radius	15.701

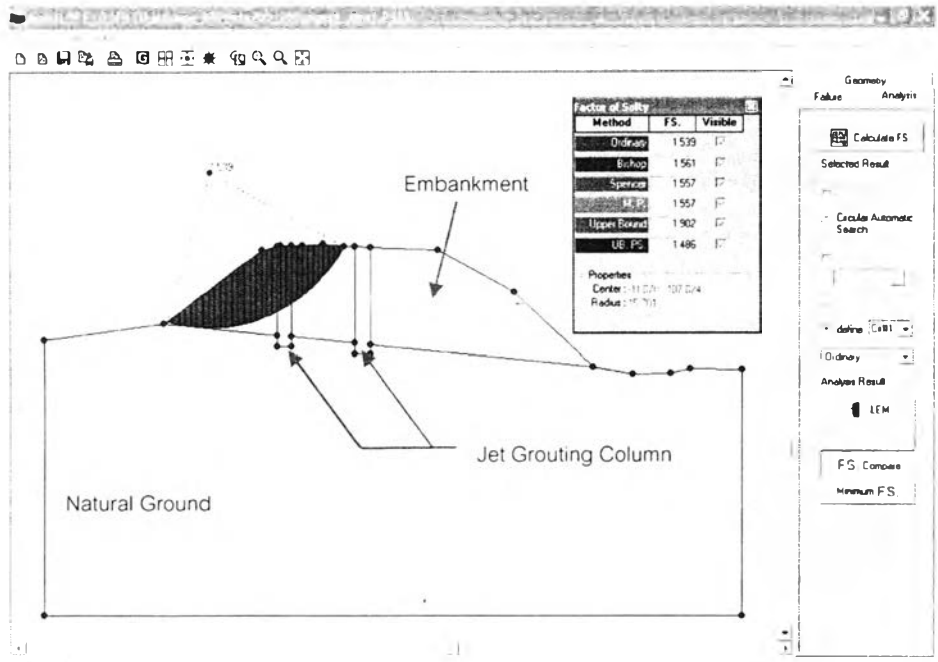


ภาพที่ 4.21สดงหน้าตัดคันทางของคันทางรถไฟภายก่อนที่ทำการปรับปรุงคันทาง บริเวณ STA 200+200 เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.2.6.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางภายหลังทำการปรับปรุงคันทางบริเวณ STA 200+200 โดยใช้รูปหน้าตัดของคันทางในรูปที่ 3.4ข โดยทำการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของคันทาง โดยใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรม Auto Slope แสดงในรูปที่ 4.22 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณได้แสดงในตารางที่ 4.7โดยหลังจากทำการคำนวณหาค่าความปลอดภัยของคันทางรถไฟโดยโปรแกรม Auto Slope พบว่าค่าความปลอดภัยของคันทางรถไฟมีค่าดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงค่าความปลอดภัยของคันทางรถไฟภายหลังทำการปรับปรุงคันทางโดยวิธี Jet Grouting Columnโดยคอมพิวเตอร์โปรแกรม Auto Slope

Method	FS.
Ordinary	1.539
Bishop	1.561
Spencer	1.557
M.P.	1.902
Upper Bound	1.486
Properties	
Center	(-11.670,107.624)
Radius	15.701



รูปที่ 4.22 แสดงหน้าตัดคันทางของคันทางรถไฟภายหลังทำการปรับปรุงคันทางโดยวิธี Jet Grouting Columnบริเวณ STA 200+200 ภายหลังจากการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยในโปรแกรม AutoSlope.