การปรับปรุงคันทางรถไฟที่ก่อสร้างด้วยดินกระจายตัว

นายปฏิเวช เหระยัง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2415-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SOIL IMPROVEMENT ON RAILWAY EMBANKMENT CONSTRUCTED BY DISPERSIVE SOIL

Mr. Fatiwed Hayrayoung

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-53-2415-9

481838

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงคันทางรถไฟที่ก่อสร้างด้วยดินกระจายตัว
โดย	นายปฏิเวช เหระยัง
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย เทพรักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย เทพรักษ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐิรวัตร บุญญะฐี)

ปฏิเวช เหระยัง : การปรับปรุงคันทางรถไฟที่ก่อสร้างด้วยดินกระจายตัว (SOIL IMPROVEMENT ON RAILWAY EMBANKMENT CONSTRUCTED BY DISPERSIVE SOIL) อ. ที่ปรึกษา: รศ. ดร. วันชัย เทพรักษ์, 80 หน้า. ISBN 974-53-2415-9

ดินกระจายตัวจัดเป็นดินที่สร้างปัญหาให้กับงานด้านวิศวกรรมที่ต้องใช้ดินเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง โดยความเสียหายส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปการเกิดรูโพรง ซึ่งเกิดจากพฤติกรรมการกัดเซาะภายในอนุภาคของดิน ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะพัดพาอนุภาคของดินจนกระทั่งเกิดรูโพรงขึ้น ซึ่งนำไปสู่การศึกษาหาแนวทางแก้ไขปัญหาการกระจายตัวของดินคันทางรถไฟ บริเวณริมอ่างเก็บน้ำลำคะคอง จากสถานีคลองขนานจิตรมายังสถานีปากช่อง จ.นครราชสีมา มีปัญหาในด้านเสถียรภาพของคันทางรถไฟเนื่องจากคันทางได้ก่อสร้างกั้นรองรับน้ำที่ไหลมาจากบริเวณเชิงเขาก่อนไหลลงอ่างเก็บน้ำซึ่งส่งผลให้คันทางมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับเขื่อนกั้นน้ำ โดยการก่อสร้างคันทางรถไฟได้นำดินจากบริเวณเชิงเขาใกล้เคียงซึ่งลักษณะดินดังจัดเป็นดินกระจายตัวเมื่อมีการกักเก็บน้ำก่อนไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำส่งผลให้เกิดการไหลซึมของน้ำและได้พาเอาเม็ดดิน ทำให้เกิดโพรงใต้คันทางและเกิดการยุบตัวลงของผิวคันทาง นอกจากนี้ยังเกิดปัญหาโพรงใต้รางรถไฟเนื่องมาจากน้ำฝนชะล้างเม็ดดินใต้รางรถไฟ การแก้ไขปัญหาดังกล่าวการรถไฟได้นำการก่อสร้างระบบ Jet Grouting เข้ามาแก้ไขปัญหาโดยทำการก่อสร้างกำแพงเสาเข็มซีเมนต์สองแถวต่อเนื่อง(Jet Grouting Wall)ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 เมตร ตลอด 2 ข้างของคันทางรถไฟและก่อสร้างกำแพงทึบน้ำ(Slurry Wall)ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร กั้นบริเวณแอ่งเชิงเขา

ในส่วนการทดสอบคุณสมบัติของดินกระจายตัวที่ทำการเก็บตัวอย่างดิน และได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติการกระจายตัวของดินโดยทำการผสมตัวอย่างดินกับวัสดุผสมได้แก่ เถ้าลอย ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และปูนขาว โดยได้ทำการทดสอบการกระจายตัวด้วยวิธี Double Hydrometer Test และ Pinhole Test พบว่าเมื่อทำการทดสอบโดยวิธี Double Hydrometer Test ดินจะเริ่มมีคุณสมบัติด้านการกระจายตัวที่ดีขึ้นเมื่อทำการผสมเถ้าลอย ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และปูนขาว ตั้งแต่อัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ร้อยละ 5, 2และ 2 ตามลำดับ และเมื่อทดสอบด้วยวิธี Pinhole Test ดินจะเริ่มมีคุณสมบัติด้านการกระจายตัวที่ดีขึ้นเมื่อทำการผสมเถ้าลอย ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และปูนขาว ตั้งแต่อัตราส่วนโดยน้ำหนักที่ร้อยละ 7, 2 และ 3 ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2548

4570396621 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: / DISPERSIVE SOIL / RAILWAY EMBANKMENT / PINHOLE TEST / DOUBLE HYDROMETER TEST

PATIWET HAYRAYOUNG : SOIL IMPROVEMENT ON RAILWAY EMBANKMENT CONSTRUCTED BY DISPERSIVE SOIL. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. WANCHAI TEPARAKSA, D.Eng., 80p. ISBN 974-53-2415-9.

Dispersive soil is identified as the troublesome constructed soil. The collapse is caused by a large cavity from internal erosion. This internal erosion create the failure and lead to improvement of dispersive soil of the railway embankment along Lamtaklong reservoir, Nakornratchasima province, from Klong Kananjit Station to Pakchong Station. Along this railway line, the embankment was constructed along the bank of reservoir and blocks the valley. Therefore, the railway embankment acts as the small dyke close the flow water from valley to the reservoir. The railway embankment was constructed by backfilling the material from borrow pit next to its embankment. This backfilled material was the dispersive soils. When water in the valley flows through the railway embankment, soil particle is also flows together. This lead to induce a big hole or cavity and cause the deformation of embankment. Some holes on the railway embankment was caused by surface rain erosion of the soil particle under railway embankment. For permanent improvement, the double jet grouting wall (2-ϕ0.80 m.) system was constructed along both sides of the embankment, while the jet grouting slurry wall of 0.30 m. in diameter, was constructed in the valley area.

The characteristic of dispersive and improvement was carried out by improving with stabilized agent such as fly ash, type I Portland cement and lime. The degree of dispersive was determined by means of double hydrometer test and pinhole test. The results of double hydrometer test on treated soil showed that the dispersive soil was changed to be stable by mixing with fly ash, type I Portland cement and lime of 5%, 2% and 2%, respectively. The results of pinhole tests on treated soil showed that the dispersive soil was changed to be stable by mixing with fly ash, type I Portland cement and lime of 7%, 2% and 3%, respectively.

Department Civil Engineering Student's signature Patiwet Hayrayoung

Field of study Civil Engineering Advisor's signature Wanchai Tep~~

Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ต้องขอแสดงความขอบคุณ

รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย เทพรักษ์ ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไขและชี้แนะแนวทางในการทำวิจัยจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาสละเวลา และให้คำแนะนำ รวมทั้งให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำวิทยานิพนธ์

คุณพนม ฉัตรพิมลกุล กิจการร่วมค้า บริษัท ดี รีไซคลิ่ง จำกัด และ บริษัท เคนเบอร์ จีโอเทคนิค (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลและตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

คุณอรรถพล เก่าประเสริฐ วศธ.อท. คุณสำราญ พรกัน วศธ.ตรี กองทางถาวร การรถไฟแห่งประเทศไทย คุณสมเจตน์ ถิ่นนคร นักวิทยาศาสตร์ 8ว คุณสมบูรณ์ ดีเจริญ นักวิทยาศาสตร์ 7ว และเจ้าหน้าที่กลุ่มงานดินด้านวิทยาศาสตร์ ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน ที่ให้คำแนะนำ เอื้อเฟื้อข้อมูลและสถานที่ในการวิจัยครั้งนี้

บิดา-มารดา และครอบครัว ที่สนับสนุนส่งเสริมในเรื่องการศึกษา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้เอ่ยถึงในที่นี้ทุกท่าน ที่ได้มีส่วนร่วมในวิทยานิพนธ์ ผู้จัดทำขอขอบคุณทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ทั่วไป 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎี 4

2.1 การศึกษาหาลักษณะของดินกระจายตัว 4

2.2 สาเหตุของการเกิดดินกระจายตัว 4

2.3 ต้นกำเนิดของดินกระจายตัว 5

2.4 แหล่งกำเนิดทางธรณี 6

2.5 คุณลักษณะของดินกระจายตัว 6

2.6 ดินกระจายตัวในประเทศไทย 7

2.7 ปัญหาในการนำดินกระจายตัวมาใช้ในงานวิศวกรรม 14

2.8 วิธีการแก้ไขปัญหาการกระจายตัวของดิน 16

2.9 การป้องกัน 17

2.10 การทดสอบดินกระจายตัวและหลักการวิเคราะห์ 18

2.11 ปัจจัยที่ต้องควบคุมในการทดสอบ 25

2.12 เหตุผลที่มีการทดสอบดินกระจายตัว 26

2.13 ใช้สารปรับปรุงคุณภาพ (Stabilizing agent) เพื่อปรับปรุงแก้ไขดินกระจายตัว 27

2.14 การปรับปรุงด้วยการผสมแบบอัดฉีดความดันสูง (Jet Grouting) 43

หน้า

บทที่ 3 การรวบรวมและวิธีการดำเนินการทดลอง 45
3.1 บทนำ 45
3.2 งานซ่อมคันทางโดยวิธีปรับปรุงคุณภาพดิน แบบ Jet Grouting 46
3.3 การเก็บตัวอย่างดินบริเวณคันทางเพื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพดินในห้องปฏิบัติการ 57
3.4 มาตรฐานการทดสอบ 60
3.5 วัสดุที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพ 60

บทที่ 4 ผลการทดสอบ 61
4.1 ผลการทดสอบของดินตัวอย่างตามสภาพธรรมชาติ 61
4.2 คุณสมบัติทางด้านการกระจายตัวของตัวอย่างดินหลังทำการปรับปรุง 63
4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างของดินระดับจุลภาค 66
4.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางรถไฟ 73

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 76
5.1 สรุปผลการวิจัย 76
5.2 ข้อเสนอแนะ 77

รายการอ้างอิง 78

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 80

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การจำแนกดินกระจายตัวโดยการทดสอบแบบ Crumb Test 18
ตารางที่ 2.2 การแบ่งแยกชนิดของดินกระจายตัวโดยวิธี Double Hydrometer 19
ตารางที่ 2.3 การประเมินผลการทดสอบ Pinhole Test 21
ตารางที่ 2.4 การแยกประเภทของดิน Pinhole Test 21
ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของเถ้าลอยลิกไนต์จากห้องปฏิบัติการ 34
ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการของตัวอย่างที่เจาะขึ้นมาของการทำ
Jet Grouting Columnด้วยระบบSingle Tubeซึ่งมีการอัดฉีดน้ำปูนเพียงอย่างเดียว 55
ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการของตัวอย่างที่เจาะขึ้นมาของการทำ
Jet Grouting Columnด้วยระบบDouble Tubeซึ่งมีการอัดฉีดน้ำปูนกับแรงดันลม 56
ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการของตัวอย่างที่เจาะขึ้นมา
ในส่วนของ Slurry Wall 57
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพของดินลำตะคอง 61
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติการกระจายตัว ของดินกระจายตัวลำตะคอง 62
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม ของดินกระจายตัวลำตะคอง 62
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบตัวอย่างดินลำตะคองผสมขี้เถ้าลอยโดยวิธี Pinhole Test 63
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบตัวอย่างดินกระจายผสมปูนซีเมนต์โดยวิธี Pinhole Test 64
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบตัวอย่างดินลำตะคองผสมปูนขาวโดยวิธี Pinhole Test 65
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าความปลอดภัย 73
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความปลอดภัยของคันทางรถไฟโดยคอมพิวเตอร์โปรแกรม Auto Slope 73
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงค่าความปลอดภัยของคันทางรถไฟภายหลังทำการปรับปรุง
คันทางโดยวิธี Jet Grouting Column โดยคอมพิวเตอร์โปรแกรมAuto Slope 74

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 1.1 การทรุดตัวของดินคันทางอันเกิดจากโพรงดินใต้คันทาง 1
รูปที่ 1.2 ตำแหน่งและแนวการก่อสร้าง Jet Grouting Coloum และ Slurry Wall 2
รูปที่ 2.1 จังหวัดที่ตรวจพบดินกระจายตัวในประเทศไทย 13
รูปที่ 2.2 น้ำในบริเวณที่เป็นดินกระจายตัวจะมีลักษณะขุ่นอย่างชัดเจน 14
รูปที่ 2.3 การทรุดตัวของพื้นผิวดินอันเนื่องมาจากเกิดโพรงใต้คันทางรถไฟ 14
รูปที่ 2.4 การทดสอบหาคุณสมบัติการกระจายตัวโดยวิธี Crumb Test 18
รูปที่ 2.5 การทดสอบ Double Hydrometer Test โดย Part A ผสมสารเร่งการกระจายตัว
และ Part B ผสมน้ำกลั่น 19
รูปที่ 2.6 ลักษณะอุปกรณ์ทดสอบ Pinhole Test ตามมาตรฐาน ASTM D4647 20
รูปที่ 2.7 ลักษณะอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง Pinhole Test 20
รูปที่ 2.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scan Electron Microscope, SEM) 22
รูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน 24
รูปที่ 2.10 แสดง Secondary Electron ถูกจับโดยอุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ 25
รูปที่ 2.11 การทำงานโดยวิธีการผสมแบบอัดฉีดความดันสูง (Jet Grouting) 44
รูปที่ 3.1 แผนที่โครงการงานแก้ไขคันทางยุบตัว อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา 45
รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายจากดาวเทียมโครงการงานแก้ไขคันทางยุบตัว
ที่ช่วง กม.199+500 ถึง กม.202+937 46
รูปที่ 3.3 แสดงภาพรวมของ Section ต่างๆ ของโครงการปรับปรุงคันทางรถไฟ 47
รูปที่ 3.4ก แสดงตัวอย่างรูปตัดคันทาง กม.ที่ 200+200(ภาพตัด A-A)
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ 47
รูปที่ 3.4ข แสดงตัวอย่างรูปตัดคันทาง กม.ที่ 200+200(ภาพตัด A-A)
หลังการปรับปรุงคุณภาพ 47
รูปที่ 3.5 ทำการสำรวจเพื่อกำหนดตำแหน่งของการทำ Jet Grouting 48
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างตำแหน่งหมุดต้นเสาขณะเตรียมการเพื่อทำการ Jet Grouting 48
รูปที่ 3.7 ชุดถังผสมปูนซีเมนต์และชุดอัดแรงดันน้ำปูนซีเมนต์ 49
รูปที่ 3.8 รูปแบบลำดับของการทำ Jet Grouting Column 49
รูปที่ 3.9 ขณะทำ Jet Grouting Column ในบริเวณไหล่คันทางด้านซ้าย 50
รูปที่ 3.10 รูปแบบขั้นตอนการทำ Jet Grouting เพื่อทำแผงทึบน้ำ
ด้านบนผิวหน้าคันทางรถไฟ 51

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 3.11 ขณะทำ Jet Grouting เพื่อทำแผงทึบน้ำบริเวณผิวหน้าคันทาง 51
รูปที่ 3.12 รูปตัดของคันทางรถไฟที่ทำการปรับปรุงคุณภาพดิน
แสดงให้เห็นแนว Slurry Wall 52
รูปที่ 3.13 รูปแบบขั้นตอนการทำ Slurry Wall 52
รูปที่ 3.14 ทำการเจาะเก็บตัวอย่างหน้างานโยใช้เครื่องมือเจาะเก็บตัวอย่าง 54
รูปที่ 3.15 ตัวอย่างที่เจาะเก็บขึ้นมาเพื่อเตรียมส่งไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ 54
รูปที่ 3.16 ตัวอย่างที่ขุดเจาะขึ้นมาเพื่อเตรียมไปทดสอบ 58
รูปที่ 3.17 ตัวอย่างดินที่ย่อยและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 10 58
รูปที่ 3.18 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) 59
รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบตัวอย่างดินลำตะคองผสมขี้เถ้าลอย
โดยวิธี Double Hydrometer Test 63
รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบตัวอย่างดินลำตะคองผสมปูนซีเมนต์
โดยวิธี Double Hydrometer Test 64
รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบตัวอย่างดินลำตะคองผสมปูนขาว
โดยวิธี Double Hydrometer Test 65
รูปที่ 4.4 Micrograph ของตัวอย่างดินลำตะคองในสภาพธรรมชาติ 66
รูปที่ 4.5 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมขี้เถ้าลอย
ที่ร้อยละ 1 มีอายุการบ่มที่ 14 วัน 67
รูปที่ 4.6 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมขี้เถ้าลอย
ที่ร้อยละ 3 มีอายุการบ่มที่ 14 วัน 67
รูปที่ 4.7 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมขี้เถ้าลอย
ที่ร้อยละ 5 มีอายุการบ่มที่ 14 วัน 67
รูปที่ 4.8 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมขี้เถ้าลอย
ที่ร้อยละ 7 มีอายุการบ่มที่ 14 วัน 68
รูปที่ 4.9 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมขี้เถ้าลอย
ที่ร้อยละ 9 มีอายุการบ่มที่ 14 วัน 68
รูปที่ 4.10 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนซีเมนต์
ที่ร้อยละ 1 อายุการบ่มที่ 14 วัน 69

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.11 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนซีเมนต์
ที่ร้อยละ 2 อายุการบ่มที่ 14 วัน 69
รูปที่ 4.12 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนซีเมนต์
ที่ร้อยละ 3 อายุการบ่มที่ 14 วัน 69
รูปที่ 4.13 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนซีเมนต์
ที่ร้อยละ 4 อายุการบ่มที่ 14 วัน 70
รูปที่ 4.14 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนซีเมนต์
ที่ร้อยละ 5 อายุการบ่มที่ 14 วัน 70
รูปที่ 4.15 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนขาว
ที่ร้อยละ 1 อายุการบ่มที่ 14 วัน 71
รูปที่ 4.16 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนขาว
ที่ร้อยละ 2 อายุการบ่มที่ 14 วัน 71
รูปที่ 4.17 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนขาว
ที่ร้อยละ 3 อายุการบ่มที่ 14 วัน 71
รูปที่ 4.18 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนขาว
ที่ร้อยละ 4 อายุการบ่มที่ 14 วัน 72
รูปที่ 4.19 Micrograph ของดินลำตะคองภายหลังผสมปูนขาว
ที่ร้อยละ 5 อายุการบ่มที่ 14 วัน 72
รูปที่ 4.20 แสดงตัวอย่างรูปตัดคันทาง กม.ที่ 200+200(ภาพตัด A-A)
ก่อนการปรับปรุงคุณภาพ 73
รูปที่ 4.21 แสดงหน้าตัดคันทางของคันทางรถไฟภายก่อนที่ทำการปรับปรุงคันทางบริเวณ
STA 200+200 เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 74
รูปที่ 4.22 แสดงหน้าตัดคันทางของคันทางรถไฟภายหลังทำการปรับปรุงคันทางโดย
วิธี Jet Grouting ColumnบริเวณSTA 200+200 ภายหลังจากการวิเคราะห์
ค่าความปลอดภัยในโปรแกรม Auto Slope 75