

การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของพื้นทางดินซีเมนต์
จากกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก

A STUDY OF ENGINEERING PROPERTIES OF
SOIL-CEMENT BASE FROM MICROCRACKING PROCESS

เลอสรณ์ ปรางเพ็ชร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของพื้นทางดินซีเมนต์
จากกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก

เลอสรרך ปรางเพ็ชร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของพื้นทางดินซีเมนต์จากกระบวนการ
สร้างรอยร้าวขนาดเล็ก
A Study of Engineering Properties of Soil – Cement Base from
Microcracking Process
ชื่อ - นามสกุล นายเลอสรณ์ ปรางเพ็ชร
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์พุทธพล ทองอินทร์ดำ, Dr.-Ing.
ปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปิติสานต์ กร้ามาตร, ปร.ด.) ประธานกรรมการ

.....
(อาจารย์วัชร สัตยาประเสริฐ, D.Eng.) กรรมการ

.....
(อาจารย์บุญชัย ผึ้งไผ่งาม, ปร.ด.) กรรมการ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พุทธพล ทองอินทร์ดำ, Dr.-Ing.) กรรมการ

.....
(อาจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.) กรรมการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.) คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 28 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของพื้นทางดินซีเมนต์จากกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก
ชื่อ - นามสกุล	นายเลอสรณ์ ปรางเพ็ชร
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ค
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พุทธพล ทองอินทร์ดำ, Dr.-Ing.
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

ปัญหาการขาดแคลนหินคลุกสำหรับก่อสร้างพื้นทาง ทำให้ต้องมีการนำเอาซีเมนต์มาปรับปรุงคุณภาพของดิน แต่กลับพบว่ารอยร้าวแบบหดตัวที่เกิดขึ้นในชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ทำให้เกิดปัญหาการร้าวแบบสะท้อนมายังชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต กระบวนการที่แก้ปัญหารอยร้าวในพื้นที่ทางดินซีเมนต์ที่ประสบความสำเร็จอย่างมากในต่างประเทศคือการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาวิธีการก่อสร้างพื้นทางดินซีเมนต์โดยวิธีการปรับปรุงในที่ที่เหมาะสม โดยทำการทดสอบตัวอย่างดินซีเมนต์ในห้องปฏิบัติการ ทำการสร้างแปลงทดสอบควบคุมและแปลงทดสอบที่ทำการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก เพื่อศึกษาแนวโน้มของรอยร้าวและความรุนแรงที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังทำการทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างโดยรวมระหว่างแปลงทดสอบทั้งสอง

จากผลการศึกษาพบว่า การสร้างรอยร้าวขนาดเล็กในพื้นที่ทางดินซีเมนต์ สามารถลดรอยร้าวให้มีจำนวนและความยาวที่น้อยลง รวมถึงระดับความรุนแรงของรอยร้าวที่เกิดขึ้น แต่ในการทดสอบนี้พบว่าความแข็งแรงโดยรวมจากแปลงทดสอบที่มีการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำกว่าแปลงควบคุมประมาณกึ่งหนึ่งจึงได้ข้อสรุปให้ลดกำลังในการบดอัดลดลง

คำสำคัญ: การสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก พื้นทางดินซีเมนต์ พัฒนาการของความแข็งแรง

Thesis Title	A Study of Engineering Properties of Soil – Cement Base from Microcracking Process
Name - Surname	Mr.Lersun Prangpetch
Program	Civil Engineering
Thesis Advisor	Jatupon Tungpakasit, Ph.D.
Thesis Co-Advisor	Assistant Professor Puttapon Thongindam, Dr.-Ing.
Academic Year	2015

ABSTRACT

The shortage of crushed rocks in base construction leads to soil improvement with cement for construction projects. In most asphalt concrete, this problem creates shrinkage cracks on the base layer of the cement and eventually causing reflective cracks on the surface. These days, many countries are using the process of microcracking as the appropriate solution for this problem.

This research aimed to study the improvement of construction of soil-cement base using in-place method. Full scale test sections were conducted and soil materials were tested using standard laboratory testing procedures. Microcracking and conventional construction method were used in the construction of the test sections. Severity of cracks was observed periodically and the development of stiffness of the soil-cement materials were also tested and discussed.

The results of this study found that microcracking method significantly reduced major cracks in both length and width of the construction project. However, the stiffness of soil-cement, which was constructed using microcracking method, only resulted to half of those in the control section. It is, therefore, recommended in this study to have the less compaction energy in the construction process in order to produce optimum results.

Keywords: microcracking, soil cement base, stiffness development

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ดร.จตุพล ตั้งปกาศิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พุทธพล ทองอินทร์คำ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม เช่นเดียวกับผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิตุสาคันต์ กร้ามาตร ประธานกรรมการสอบ ดร.บุญชัย ผึ้งไผ่งาม กรรมการสอบ และ ดร.วัชร สัตยาประเสริฐ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้แนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เนื่องด้วยงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย “การใช้ค่าการทรุดตัวจากตุ้มกระแทกขนาดเบาเพื่อควบคุมรอยร้าวขนาดเล็กในชั้นพื้นทางดินซีเมนต์เพื่อลดรอยร้าวแบบสะท้อน” ซึ่งมีผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พุทธพล ทองอินทร์คำ เป็นหัวหน้าโครงการฯ ข้าพเจ้าจึงขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (มทร.ธัญบุรี) และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่อนุมัติทุนสนับสนุนทุนวิจัยโครงการดังกล่าว

ขอขอบคุณบุคลากร สำนักงานบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือแนะนำตลอดจนให้คำปรึกษาตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ องค์การบริหารส่วนจังหวัดฉะเชิงเทรา ที่เอื้อเฟื้อและสนับสนุนให้ทุนการศึกษาเรียนต่อในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ เพื่อนพี่น้องกลุ่ม RAPTRE ที่เป็นกัลยาณมิตรทุกคนที่คอยช่วยเหลือกันมาตลอดจนวินาทีสุดท้ายก่อนเข้าห้องสอบ

ขอขอบพระคุณ และมอบความดีทั้งหมดนี้ให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ พี่น้อง ภรรยา และ บุตร ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอด แม้ว่าจะเหน็ดเหนื่อยแค่ไหนก็อยู่เคียงข้างกันมาเสมอ จนสามารถดำเนินการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจหากวิจัยฉบับนี้ขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขอภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เลอสรณ์ ปรางเพ็ชร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	11
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	11
1.2 วัตถุประสงค์.....	12
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	13
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	13
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	14
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.1 การปรับปรุงคุณภาพพื้นทางด้วยดินซีเมนต์.....	15
2.2 รอยร้าวในพื้นที่ทางดินซีเมนต์.....	19
2.3 วิธีการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก (Microcracking).....	21
2.4 การทดสอบความแข็งแรงดินซีเมนต์ด้วยวิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว.....	23
2.5 การทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่อง Light Weight Deflectometer [21].....	25
2.6 โปรแกรม BISAR 3.0 [22].....	27
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	33
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	33
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ.....	34
3.3 แปลงทดสอบพื้นทางดินซีเมนต์.....	38
3.4 ขั้นตอนการสร้างแปลงทดสอบและสร้างรอยร้าวขนาดเล็กในสนาม.....	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ	43
3.6 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ผล	43
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์	45
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของดินและผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว	45
4.2 ผลการสำรวจรอยร้าวของพื้นทางดินซีเมนต์	48
4.3 ผลการทดสอบความแข็งแรงของพื้นทางดินซีเมนต์	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผลการศึกษา	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก	59
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบจากเครื่อง LWD	60
ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม BISAR 3.0	64
ภาคผนวก ค. ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ	66
ภาคผนวก ง. ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	87
ประวัติผู้เขียน	105

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 กำลังรับแรงอัดแกนเดียวที่อายุ 3 และ 7 วัน	46



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 รอยร้าวแบบสะท้อนบนชั้นผิวทาง.....	12
รูปที่ 2.1 รถบดล้อเหล็กน้ำหนัก 12 ตันแบบสันสะท้อนในงานศึกษาของ Scullion	21
รูปที่ 2.2 การตรวจสอบความแข็งแรงในชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ในงานศึกษาของ Scullion	22
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะเมื่อตัวอย่างดินเหนียวรับแรงกด.....	23
รูปที่ 2.4 โมดูลัสซีแคนต์.....	24
รูปที่ 2.5 การทดสอบผิวทางด้วยเครื่องมือ LWD.....	26
รูปที่ 2.6 ค่าเฉลี่ยของโมดูลัสในชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ในงานศึกษาของ Scullion.....	28
รูปที่ 2.7 รอยแตกแบบสะท้อนที่มีลักษณะแคบ (น้อยกว่า 3 มิลลิเมตร).....	29
รูปที่ 2.8 รอยแตกแบบสะท้อนที่มีลักษณะกว้าง (มากกว่า 3 มิลลิเมตร).....	30
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของค่าโมดูลัสจากเครื่อง LWD แปรผันตามจำนวนที่ยาบดอัดและจำนวนวัน หลังก่อสร้าง.....	31
รูปที่ 3.1 เครื่องกดแท่งตัวอย่าง (Loading Machine).....	35
รูปที่ 3.2 ชุดทดสอบความแน่นของดินในสนาม (Compaction Test)	35
รูปที่ 3.3 ลักษณะของรถบดล้อเหล็กที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป น้ำหนัก 19 ตัน	36
รูปที่ 3.4 ลักษณะของรถน้ำที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป.....	36
รูปที่ 3.5 ลักษณะของรถเกรดเดอร์ที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป.....	37
รูปที่ 3.6 ลักษณะของรถบรรทุกซีเมนต์ผงที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป.....	37
รูปที่ 3.7 สถานที่ก่อสร้างแปลงทดสอบ.....	38
รูปที่ 3.8 การเกรดและบดอัดดินลูกรัง	39
รูปที่ 3.9 การปล่อยปูนซีเมนต์ในแปลงทดสอบ.....	40
รูปที่ 3.10 การผสมแห้งเพื่อคลุกเคล้าให้เข้ากัน.....	40
รูปที่ 3.11 การผสมแบบเปียก.....	41
รูปที่ 3.12 การเก็บก้อนตัวอย่างดินซีเมนต์ในสนาม.....	41
รูปที่ 3.13 วิธีการเก็บตัวอย่าง.....	42
รูปที่ 3.14 สภาพพื้นที่ชั้นดินซีเมนต์ของแปลงทดสอบ	42
รูปที่ 3.15 กระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก.....	43

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.16 ระบบโครงสร้างชั้นทางสำหรับจำลองใน BISAR 3.0	44
รูปที่ 3.17 การทดสอบความแข็งแรงพื้นทางด้วย LWD	44
รูปที่ 4.1 โมดูลสปีดหยุนของดินซีเมนต์จากการทดสอบ UCS ก่อนและหลังการสร้างรอยร้าวขนาด เล็กที่อายุ 3 และ 7 วัน	46
รูปที่ 4.2 ความเครียดตามแนวรัศมีของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จากการทดสอบ UCS ก่อนและหลังการ สร้างรอยร้าวขนาดเล็กที่อายุ 3 และ 7 วัน	47
รูปที่ 4.3 รอยร้าวในแปลงควบคุมที่อายุ 3 วัน	48
รูปที่ 4.4 รอยร้าวในแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กที่อายุ 3 วัน	48
รูปที่ 4.5 รอยร้าวในแปลงควบคุมที่อายุ 7 วัน	49
รูปที่ 4.6 รอยร้าวในแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กที่อายุ 7 วัน	49
รูปที่ 4.7 ความยาวของรอยร้าวในพื้นที่ 1 ตารางเมตร จากแปลงควบคุมที่อายุ 3 วัน	50
รูปที่ 4.8 ความยาวของรอยร้าวในพื้นที่ 1 ตารางเมตร จากแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กที่อายุ 3 วัน ..	50
รูปที่ 4.9 ความยาวของรอยร้าวในพื้นที่ 1 ตารางเมตร จากแปลงควบคุมที่อายุ 7 วัน	51
รูปที่ 4.10 ความยาวของรอยร้าวในพื้นที่ 1 ตารางเมตร จากแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กที่อายุ 7 วัน	51
รูปที่ 4.11 รอยร้าวจากแปลงทดสอบ	52
รูปที่ 4.12 สภาพผิวของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ที่เกิดความรุนแรงจนเป็นเหตุให้ชั้นพื้นทางเสียหาย	52
รูปที่ 4.13 สภาพผิวของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ที่ไม่พบรอยร้าวแบบสะท้อนในแปลงสร้างรอยร้าว	53
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบความแข็งแรงโดยรวมของพื้นทางดินซีเมนต์โดยรวมที่อายุ 20 วัน	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

กรมทางหลวงเป็นหน่วยงานหลักมีหน้าที่รับผิดชอบกำกับดูแลและบำรุงรักษา ถนน จำเป็นต้องดำเนินการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานนี้เพื่อรองรับการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจที่กำลังขยายตัวออกสู่ภูมิภาคต่างๆ แต่ในปัจจุบันกลับพบว่าด้วยในบางพื้นที่เกิดการขาดแคลนวัสดุที่ได้มาตรฐานหรือมีปัญหาอันเนื่องมาจากแหล่งวัสดุซึ่งอยู่ห่างไกลจากสถานที่ก่อสร้างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการก่อสร้างทางหลวงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยซึ่งสภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่ประกอบด้วยพื้นที่ที่เป็นดินลูกรังหรือดินทราย [1] ประกอบกับความต้องการในด้านคุณภาพของวัสดุชั้นทางและความสามารถในการรับน้ำหนักที่ดีจึงทำให้วิธีการปรับปรุงคุณภาพวัสดุที่อยู่ในท้องถิ่นที่มีคุณภาพต่ำกว่าหินคลุก ซึ่งถือได้ว่าเป็นวัสดุพื้นทางทั่วไป ให้มีคุณสมบัติทางด้านต่างๆที่ดียิ่งขึ้น

จากสาเหตุดังกล่าวการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังหรือดินทรายโดยทั่วไปมักใช้วัสดุปอร์ตแลนด์ซีเมนต์มาปรับปรุงคุณภาพพื้นทางทดแทนหินคลุกในงานก่อสร้างทาง ซึ่งจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในด้านขนส่งวัสดุในภูมิภาคอื่นที่อยู่ห่างไกลและลดการเสื่อมสภาพของโครงสร้างทางจากการที่บรรทุกน้ำหนักเกินได้โดยตรง ดินลูกรังหรือดินทรายที่ผสมกับซีเมนต์นี้ ถูกเรียกว่า ดินซีเมนต์ (Soil Cement) การปรับปรุงคุณภาพพื้นทางด้วยดินซีเมนต์มี [2] วิวัฒนาการในประเทศไทยมาอย่างยาวนานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 โดยกรมทางหลวง ร่วมมือกับปูนซีเมนต์ไทย ได้จัดสร้างถนนโดยได้นำดินซีเมนต์มาก่อสร้างเป็นชั้นพื้นทางในถนนสายต่างๆในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือในระยะแรกสายทางมีความยาวเพียง 5 กิโลเมตร และหลังจากนั้นได้ทำการก่อสร้างถนนที่มีชั้นทางเป็นดินซีเมนต์เพิ่มอีกหลายสายทางในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงปีพ.ศ.2508 ถึง พ.ศ.2515 รวมเป็นความยาวทั้งสิ้น 1,400 กิโลเมตร แต่ปัญหาที่พบในถนนดังกล่าวอันเนื่องมาจากการขาดองค์ความรู้และความเข้าใจถึงพฤติกรรมของดินซีเมนต์ทำให้ถนนบางช่วงของบางสายทางเกิดความเสียหายในลักษณะของรอยแตกสะท้อนเนื่องจากการหดตัวของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ (Reflective Crack) เป็นจำนวนมากดังรูปที่ 1.1 ซึ่งทำให้กรมทางหลวงต้องสูญเสียงบประมาณซ่อมบำรุงทางมหาศาลและส่งผลให้กรมทางหลวงทำการระงับโครงการก่อสร้างถนนที่ใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุชั้นทางไว้ในปีพ.ศ.2515 เพื่อศึกษาปัญหาให้ละเอียดลงไปก่อนตัดสินใจนำกลับมาใช้ใหม่



รูปที่ 1.1 รอยร้าวแบบสะทอนบนชั้นผิวทาง [3]

การศึกษาวิจัยในประเทศออสเตรเลียได้เสนอวิธีการที่เรียกว่า “การสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก (Microcracking)” ซึ่งจะช่วยลดรอยแตกขนาดใหญ่ (Major Crack) ที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการหดตัวของโครงสร้างฐานดินซีเมนต์ อีกทั้งยังไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการรับกำลังของโครงสร้างฐานดินซีเมนต์ในระยะยาวด้วย [4] งานวิจัยนี้จึงทำศึกษาคูณสมบัติทางวิศวกรรมของพื้นทางดินซีเมนต์ที่ผ่านกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก รวมถึงการศึกษาพฤติกรรมของรอยร้าวในชั้นพื้นทางดินซีเมนต์หลังผ่านกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาคูณสมบัติทางวิศวกรรมของพื้นทางดินซีเมนต์ในกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กตามมาตรฐานกรมทางหลวง

1.2.2 ศึกษาพฤติกรรมการเกิดรอยร้าวในพื้นที่ทางดินซีเมนต์หลังจากการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของโครงสร้างพื้นทางดินซีเมนต์ทั้งก่อนและหลังการ
สร้างรอยร้าวขนาดเล็ก

1.2.4 เพื่อศึกษาความเหมาะสมของวิธีการตรวจสอบความแข็งแรงของพื้นทางดินซีเมนต์
ในกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กด้วยการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียวตามมาตรฐานกรม
ทางหลวงและการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดค่าการยุบตัวด้วยดรัมกระแทกแบบเบา

1.3 ขอบเขตการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีแนวทางหลักเพื่อจะศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของพื้นทางดินซีเมนต์
จากกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก โดยมีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

1.3.1 ศึกษาเฉพาะจากกรณีแปลงทดสอบจำลองขนาดเล็กใช้ใช้เครื่องจักรในงานก่อสร้าง
จริง

1.3.2 ศึกษาเฉพาะแปลงทดสอบที่สร้างจากแหล่งวัสดุก่อสร้างในประเทศไทย

1.3.3 ศึกษาพฤติกรรมการเกิดรอยแตกร้าวในชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ในสภาพและระยะเวลา
การบ่มน้ำ

1.3.4 ศึกษาพฤติกรรมด้านความแข็งแรงของโครงสร้างพื้นทางดินซีเมนต์ทั้งก่อนและหลัง
ช่วงเวลา 3 และ 7 วันหลังการก่อสร้างแปลงทดสอบ

1.3.5 ศึกษาพฤติกรรมด้านขนาดและความรุนแรงของโครงสร้างพื้นทางดินซีเมนต์ทั้งก่อน
และหลังช่วงเวลา 20 วันหลังการก่อสร้างแปลงทดสอบ

1.3.6 สภาพภูมิอากาศในขณะดำเนินการวิจัยอยู่ในช่วงฤดูฝน

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ศึกษารวบรวมเอกสารทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ศึกษาวิธีการก่อสร้างพื้นทางดินซีเมนต์ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทำการเลือก
สถานที่ทดสอบพร้อมทั้งเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อไปตรวจสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นของดิน

1.4.3 สร้างแปลงทดสอบตามมาตรฐานการก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ของกรมทางหลวง
ขั้นตอนดังนี้

1. แปลงที่ 1 ให้ทำการบ่มเปียก (Wet Curing) ด้วยน้ำเพียงอย่างเดียวโดยไม่มี การสร้างรอยร้าวขนาดเล็กเก็บตัวอย่างดินไปทดสอบหาค่ารับกำลังแบบแกนเดี่ยว

2. แปลงที่ 2 ให้ทำการบ่มเปียกด้วยน้ำ เริ่มทำการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กในวันที่ 3 เก็บตัวอย่างดินไปทดสอบหาค่าการรับกำลังแบบแกนเดี่ยว

1.4.4 ทดสอบตัวอย่างดินซีเมนต์ในห้องปฏิบัติการที่อายุ 3 และ 7 วัน

1.4.5 ทำการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) พฤติกรรมและการเกิดรอยร้าวและ ความรุนแรงของรอยร้าวและวัดความยาวของรอยร้าวที่เกิดขึ้นในแปลงทดสอบพื้นทางดินซีเมนต์

1.4.6 ประเมินหาค่าความแข็งแรงของ โครงสร้างพื้นทางดินซีเมนต์โดยใช้เครื่องวัดค่าการยุบตัวของผิวทางด้วยคัมกระแทกแบบเบา

1.4.7 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

1.4.8 ตีพิมพ์ผลงานวิจัยเผยแพร่ในการประชุมวิชาการหรือวารสารวิชาการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการศึกษาในครั้งนี้คาดว่าจะเกิดประโยชน์อย่างยิ่งกับงานพื้นทางดินซีเมนต์ในการ ลดรอยร้าวในพื้นที่ดินซีเมนต์เพื่อป้องกันความเสียหายจากรอยแตกแบบสะท้อนได้ อีกทั้งยังทราบ ถึงกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กบนชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ และการ ประเมินตรวจสอบความแข็งแรงของ โครงสร้างพื้นทางดินซีเมนต์

บทที่ 2

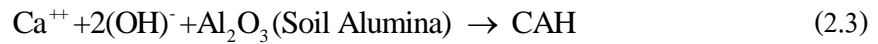
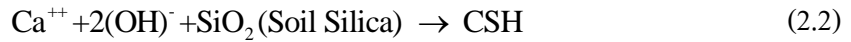
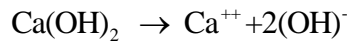
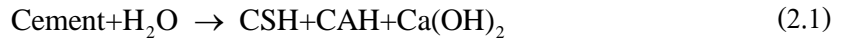
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาอิทธิพลของรอยร้าวที่มีต่อความแข็งแรงของพื้นทางดินซีเมนต์ โดยใช้กระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กและตรวจสอบความแข็งแรงด้วยการทดสอบในสนามและในห้องปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดของทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 การปรับปรุงคุณภาพพื้นทางด้วยดินซีเมนต์

พื้นทาง (Base Course) เป็นโครงสร้างชั้นทางถัดลงมาจากผิวทาง โดยทั่วไปจะมีหน้าที่ที่แตกต่างกันออกไปตามชนิดของผิวทาง สำหรับพื้นทางในผิวทางคอนกรีตและผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจะป้องกันการความเสียหายจากน้ำใต้ดินแข็งตัวในประเทศที่มีอากาศหนาว (Frost Action) ช่วยในการระบายน้ำใต้ผิวทาง และช่วยเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างผิวทาง นอกจากนี้แล้วเมื่อพิจารณาในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต พื้นทางจะต้องกระจายน้ำหนักล้อสู่ชั้นรองพื้นทางและดินคันทางได้โดยไม่เกิดความเสียหาย วัสดุที่ใช้ก่อสร้างพื้นทางโดยทั่วไปได้แก่หินคลุก (Crushed Rock) ค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของดิน มากกว่า ร้อยละ 80 ค่าความสูญเสียจากการทดสอบด้วยวิธี การทนต่อการขัดสี (Los Angeles Test) ไม่เกินร้อยละ 50 และการบดอัดชั้นพื้นทางต้องมีความหนาแน่นเพียงพอเพื่อป้องกันมิให้เกิดจุดอ่อน (Soft Spot) ในบางช่วงของการก่อสร้าง [5] แต่เนื่องจากวัสดุพื้นทางเกิดการขาดแคลนอย่างมากในปัจจุบัน ทำให้มีการปรับปรุงคุณภาพดินโดยปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมให้ดีขึ้นเป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาดังกล่าว

ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นวัสดุที่มักถูกนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพทางเคมีของดินที่มีคุณภาพด้อย ซึ่งการผสมและการทำงานมีความง่าย อีกทั้งปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ยังสามารถหาซื้อได้ง่าย มีคุณสมบัติที่สม่ำเสมอและมาตรฐานรองรับ สามารถใช้ได้กับชั้นดินคันทาง (Subgrade), รองพื้นทาง (Subbase Course) และพื้นทาง โดยกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำเช่นเดียวกับปฏิกิริยาจากการผสมคอนกรีต โดยทั่วไปเมื่อปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ผสมเข้ากับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเนื่องมาจากส่วนประกอบทางเคมีของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ได้แก่ $MgOCaO$, CaO , Al_2O_3 , SiO_2 และ Fe_2O_3 ดังนี้



จากสมการข้างต้นพบว่าผลของปฏิกิริยาไฮเดรชันของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (Hydration of Cement) ในดินจะทำให้เกิดสาร CSH และ CAH ซึ่งทำให้เกิดคุณสมบัติการยึดเกาะขึ้น โดย CSH และ CAH เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันโดยตรง ซึ่งจะเรียกว่า ปฏิกิริยาเริ่มต้น ในขณะที่ปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic Reaction) เกิดขึ้นต่อเนื่องในภายหลังและใช้ระยะเวลายาวนาน เป็นเหตุให้กำลังของดินซีเมนต์สามารถเพิ่มขึ้นได้อีกในระยะยาวอย่างช้าๆ [6]

2.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ [6]

1. คุณสมบัติของดิน (Soil Properties) ของดินโดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งถือได้ว่าเป็นลักษณะเฉพาะตัว จิรพัฒน์ [5] ได้อธิบายไว้ว่าชนิดของดิน ขนาดของเม็ดดิน ปริมาณของซีเมนต์ที่ใช้ผสมกับดิน มีผลต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินซีเมนต์ นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบหลัก เช่น เกลือซัลเฟต หรือคลอไรด์ และสัดส่วนของดินถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบหลักที่มีผลต่อคุณสมบัติของดินซีเมนต์โดยทั่วไปพบว่าปริมาณซีเมนต์ระหว่างร้อยละ 3 ถึง 5 สามารถให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 7 วัน อยู่ในช่วง 200 ถึง 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และมีความเหมาะสมกับสภาพเงื่อนไขจราจรในประเทศไทย [6]

2. วัสดุผสมเพิ่ม (Stabilizing Agent) จากคู่มือการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ได้ระบุว่าวัสดุผสมเพิ่มชนิดเดียวกันที่ผสมในปริมาณมากกว่าจะให้กำลังที่มากกว่า โดยกำหนดเงื่อนไขว่าตัวแปรอื่นๆคงที่ และดินซีเมนต์จะต้องมีปริมาณความชื้นเพียงพอในการทำปฏิกิริยา ทั้งนี้เมื่อวัสดุผสมเพิ่มต่างกันจะทำให้การพัฒนากำลังของดินซีเมนต์มีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารเชื่อมประสาน (Cementitious Compounds) รวมถึงชนิดและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของดินกับวัสดุผสมเพิ่ม โดยในปี พ.ศ.2553 นิโรจน์ [7] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุสำหรับพื้นทาง ได้แก่ ดินลูกรัง ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ และตะกรันเหล็ก โดยพบว่าพื้นที่ที่ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างดินลูกรังร้อยละ 95 ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ร้อยละ 3.5 และตะกรันเหล็กร้อยละ 1.5 อยู่ในเกณฑ์ระดับดีมาก (CBR ระหว่างร้อยละ 50 – 80)

3. น้ำ (Water) ถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากที่สุด เนื่องจากในกระบวนการของปฏิกิริยาไฮเดรชันจะต้องอาศัยน้ำในการช่วยทำปฏิกิริยา ส่งผลให้กำลังของดินสามารถเพิ่มขึ้นได้ หากว่าปริมาณน้ำมีมากเกินไปจะทำให้มีส่วนเกินที่เหลือกระจายในโครงสร้างของดินซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้วและจะทำให้กำลังต่ำลงได้

4. เทคนิคการปรับปรุง (Techniques of Stabilization) กำลังของดินยังขึ้นอยู่กับเทคนิคในการปรับปรุงคุณภาพ เช่น ระยะเวลาในการผสม, ระยะเวลาและวิธีการบ่มเป็นต้น การออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงจะใช้วิธีการของ Portland Cement Association (PCA) ของสหรัฐอเมริกาแต่จะใช้ข้อกำหนดของ Road Research Laboratory (RRL)

2.1.2 มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ในประเทศไทย

เนื่องจากกรมทางหลวงได้นำวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยซีเมนต์มาใช้ในประเทศไทยเป็นระยะเวลานานกว่า 30 ปีมาแล้ว [6] โดยมาตรฐานของพื้นทางดินซีเมนต์ได้มีพัฒนาการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 (ทล.-ม.204/2533) จนกระทั่งในปัจจุบัน มาตรฐานงานก่อสร้างทางฉบับล่าสุดได้แก่ ทล.-ม.204/2556 โดยรายละเอียดของเนื้อหาประกอบไปด้วยหัวข้อหลักได้แก่ วัสดุ, เครื่องจักร และเครื่องมือ, ข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ และวิธีการก่อสร้าง ซึ่งจะอธิบายดังต่อไปนี้

1. วัสดุเมื่อพิจารณาตามมาตรฐาน ทล.-ม.204/2556 ได้ให้รายละเอียดและข้อกำหนดสำหรับดินที่ใช้สร้างพื้นทางว่าจะต้องปราศจากหน้าดิน วัชพืช อินทรีย์วัตถุ หรือสารอื่นใดที่อาจเป็นอันตรายต่อคุณภาพของดินเจือปน โดยต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(1) มีขนาดคละที่ดีเมื่อทดสอบตาม ทล.-ท 205 : วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis) มีขนาดเม็ดโตสุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร มีส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ไม่เกินร้อยละ 70 และส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่เกินร้อยละ 25

(2) มีค่าความชื้นในมวลดินขณะที่ยกดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเมื่อทดสอบตาม ทล.-ท.102 : วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลวไม่เกินร้อยละ 40

(3) มีค่าความชื้นในสถานภาพพลาสติกของดินเมื่อทดสอบตาม ทล.-ท 103 : วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติกไม่เกินร้อยละ 15

(4) มีค่าความสึกหรอ เมื่อทดสอบตาม ทล.-ท 202 : วิธีการทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (Coarse Aggregate) โดยใช้ los Angeles Abrasion ไม่เกินร้อยละ 60

(5) ในกรณีที่ค่าความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากของเหลวหรือค่าความชื้นในสถานภาพพลาสติกของดินเกินกว่าค่าที่กำหนดจะต้องใช้ปูนขาวผสมเพื่อลดค่าดังกล่าวให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด แต่ทั้งนี้ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของดิน

สำหรับปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมกับดินต้องมีคุณสมบัติที่ถูกต้องและเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.15 ประเภท 1 โดยอาจจะบรรจุปูนซีเมนต์ในรูปแบบถุงหรือในไซโล และหากว่าเป็นการบรรจุในถุงจะต้องมีการป้องกันไม่ให้ปูนซีเมนต์เกิดความชื้น โดยจัดทำโรงเก็บที่มีความเหมาะสมในกรณีที่ดินมีค่า Liquid Limit หรือ Plastic Index เกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ จะต้องใช้ปูนขาวผสมเข้ากับดินเพื่อลดค่า Liquid Limit หรือ Plastic Index โดยปูนขาวที่ใช้จะต้องทำการทดลองตาม ทล.-ท.205 “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล่าง” ให้มีส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ในส่วนของน้ำที่ใช้ผสมหรือบ่มพื้นทางดินซีเมนต์จะต้องปราศจากสารต่างๆที่อาจส่งผลกระทบต่อพื้นทางดินซีเมนต์

2. เครื่องจักรและเครื่องมือโดยรายละเอียดของเครื่องจักรและเครื่องมือสำหรับดำเนินงานด้านวัสดุและการก่อสร้าง จะอธิบายได้ดังต่อไปนี้

(1) โรงผสมแบบติดตั้งกบที่ (Central Mixing Plant) มีลักษณะคือ วัสดุของส่วนผสมดินซีเมนต์ให้จัดอยู่ในรูปของอัตราส่วนเป็นน้ำหนักทั้งหมด และผสมรวมกันในโรงผสม ซึ่งแบ่งออกได้เป็น โรงผสมดินซีเมนต์แบบชุด และโรงผสมดินซีเมนต์แบบผสมต่อเนื่อง

(2) เครื่องจักรผสมแบบเคลื่อนที่ (Travelling Mixing Machine) เป็นเครื่องจักรที่มีใบมีดผสมแบบแกนหมุน ซึ่งผสมได้ตลอดความลึกสำหรับผสมดิน ปูนซีเมนต์ น้ำและปูนขาวติดตั้งอยู่ โดยวัสดุสำหรับสร้างพื้นทางจะต้องมีเครื่องจักรหรืออุปกรณ์จ่ายวัสดุที่ควบคุมอัตราการจ่ายได้สม่ำเสมอตามกำหนด

(3) เครื่องจักรบดทับ ต้องเป็นแบบขับเคลื่อนได้ตัวเอง

3. ข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ โดยข้อกำหนดของอัตราส่วนผสมของวัสดุพื้นทางดินซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับวิธีการทดลองในห้องปฏิบัติการและการทำพื้นทางทดลองในสนาม สำหรับปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมจะถือเอาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength) ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 105 โดยอนุโลม ทั้งนี้แบ่งตัวอย่างดินซีเมนต์จะต้องทดสอบด้วยการบดอัดตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.108 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน”

โดยที่ค่ากำลังรับแรงอัดภายหลังการบ่มในถุงพลาสติกเป็นระยะเวลา 7 วัน และแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง ต้องไม่น้อยกว่า 1,724 กิโลพาสคัล (250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) หรือตามแบบที่กำหนด

ปริมาณน้ำที่ใช้เตรียมแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ให้ใช้ปริมาณน้ำที่ค่าความชื้นที่ความหนาแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content) ซึ่งได้จากการบดอัดตัวอย่างดินซีเมนต์แบบสูงกว่ามาตรฐาน

4. วิธีการก่อสร้าง ทำการสร้างแปลงทดลองความยาวประมาณ 200 – 500 เมตร ใช้อัตราส่วนผสม ปริมาณน้ำ การเก็บตัวอย่าง และหลักเกณฑ์ในการพิจารณาความแข็งแรงของก้อนตัวอย่างดินซีเมนต์ตามที่กล่าวมาข้างต้น โดยที่ปูนซีเมนต์สำหรับผสมขณะก่อสร้างพื้นทางจะต้องคิดเพื่อประสิทธิภาพของการผสม ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์จากการผสมด้วยเครื่องผสมต่อกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์จากการผสมในห้องทดลอง โดยทั่วไปกำลังรับแรงอัดที่ได้จากการผสมด้วยเครื่องผสมจะต่ำกว่าจากการผสมในห้องทดลอง ดังนั้นตามหลักเกณฑ์ของตัวอย่างดินซีเมนต์ที่กล่าวมาข้างต้นจะต้องนำค่าประสิทธิภาพของการผสมมาปรับแก้ค่ากำลังรับแรงอัดในการก่อสร้างสำหรับกรณีทั้ง โรงผสมแบบติดตั้งกับที่และกรณีใช้เครื่องจักรผสมแบบเคลื่อนที่ ระยะเวลาในกระบวนการผสมจนทำการบดทับแล้วเสร็จไม่ควรเกิน 2 ชั่วโมง และทำการแต่งระดับชั้นสุดท้ายทันที (Fine Grading) ในระหว่างการบดทับและหลังเสร็จสิ้นการบดทับจะต้องทำการพ่นน้ำเลี้ยงผิวหน้าพื้นทางดินซีเมนต์ติดต่อกันตลอดระยะเวลารวม 3 วันแรก เพื่อช่วยให้การเกิดปฏิกิริยาระหว่างส่วนผสมสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ช่วยให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นและสามารถช่วยลดรอยแตกอันเนื่องมาจากการสูญเสียความชื้นหลังการบดทับ

2.2 รอยร้าวในพื้นทางดินซีเมนต์

ปัญหาใหญ่จากการนำวัสดุตามท้องถิ่นอย่างดินลูกรังมาใช้ปรับปรุงคุณภาพชั้นพื้นทางคือการแตกร้าวในชั้นทางดินซีเมนต์ และส่งผลต่อเนื่องมายังชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตในลักษณะของรอยแตกแบบสะเก็ดหิน แม้ว่าการแก้ปัญหาโดยการใช้การปูผิวทับจะช่วยป้องกันความเสียหายรุนแรงตามมาได้ แต่หากว่าไม่มีการแก้ไขและปล่อยทิ้งไว้จะทำให้หน้าสามารถซึมผ่านรอยแตกร้าวลงไปทำลายชั้นโครงสร้างด้านล่างจนทำให้ผิวทางเกิดการเสื่อมโทรมอย่างรวดเร็ว นำมาซึ่งงบประมาณมหาศาลในการบำรุงซ่อมแซมความเสียหาย หรืออาจจำเป็นต้องมีการยกเลิกการใช้พื้นทางดินซีเมนต์ในเวลาต่อมากรมทางหลวงพบว่าสาเหตุของความเสียหายนี้ซึ่งมีผลมาจากกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่สูงเกินไปเนื่องจากใช้ปริมาณปูนซีเมนต์มาก ดังนั้นกรมทางหลวงจึงได้กำหนดค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (ไว้ไม่ให้สูงเกิน 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ตาม ทล.-ม.204/2556 นอกจากนั้นเมื่อขนาดคละของดินไม่ดีและมีปริมาณของดินเม็ดละเอียดมากเกินไป จึงต้องแก้ปัญหาโดยการใช่วัสดุที่มีขนาดคละเหมาะสมและควบคุมปริมาณของเม็ดดินละเอียด ในขณะที่ชั้นคันทางที่รองรับชั้นดินซีเมนต์เกิดการยุบตัวทำให้ดินซีเมนต์แตกให้ทำการปรับชั้นคันทางให้สูงขึ้นและบดอัดให้แน่น

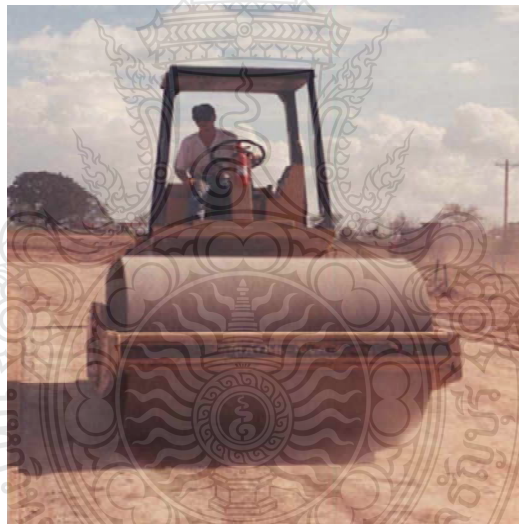
อย่างไรก็ดีพบว่าแม้จะมีการควบคุมเคร่งครัดอย่างไรก็อาจเกิดการแตกขึ้นได้ในดินซีเมนต์ซึ่งอาจเรียกได้ว่าการแตกในดินซีเมนต์นั้นเป็นธรรมชาติของดินซีเมนต์เองที่จะต้องเกิดการแตกขึ้นทั้งนี้ความสอดคล้องของการศึกษาของ Nakayama และ Handy [8] ที่ได้กล่าวว่าการเกิดรอยแตกในดินซีเมนต์นั้นไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้เนื่องจากดินซีเมนต์จะต้องเกิดการหดตัว (Shrinkage) ซึ่งถือได้ว่าเป็นพฤติกรรมโดยธรรมชาติของชั้นทางดินซีเมนต์ [9] แต่อย่างไรก็ดี Otte [10] ได้ให้คำอธิบายไว้ว่าการแตกร้าวในระยะแรก (Initial Cracking) จะแสดงพฤติกรรมที่ดี โดยการแตกร้าวนี้ไม่ได้เกิดจากการรับน้ำหนักบรรทุกแต่อย่างใด การแตกร้าวในระยะแรกสามารถเกิดได้จากสภาพแวดล้อม ปัญหาจากดินที่ใช้ผสมพื้นทาง การหดตัวเนื่องจากการบดทับไม่แน่นของชั้นคันทาง และปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ผสมมีค่ามากเกินไป ทั้งนี้จากที่กล่าวมาข้างต้นว่าการหดตัวเป็นพฤติกรรมธรรมชาติ และสามารถทำให้เกิดรอยแตกร้าวในดินซีเมนต์ได้ George [11] ได้อธิบายว่าการหดตัวของดินซีเมนต์เป็นผลอันเนื่องมาจากการสูญเสียความชื้นการบดอัดชั้นดินซีเมนต์ขณะที่มีปริมาณน้ำในดินซีเมนต์น้อยเกินไป ชนิดของดินเหนียว โดยการบ่มชั้นดินซีเมนต์เป็นระยะเวลานาน สามารถทำให้เกิดการหดตัวหลังเสร็จสิ้นการบ่มได้มากขึ้น การหดตัวสามารถลดได้โดยการบดอัดให้ได้ความแน่นมากๆ

ในขณะที่การศึกษาของ Lilley และ Williams [13] ในปี ค.ศ.1973 ได้อธิบายถึงสาเหตุหลักที่ของรอยแตกร้าวระยะแรกในดินซีเมนต์ว่าเกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในดินซีเมนต์ได้ รวมถึงความเค้นจากอุณหภูมิ (Thermal Stress) จากการศึกษาของ George [12] อธิบายว่าเมื่อความเค้นดึง (Tensile Stresses) ในชั้นดินซีเมนต์มากเกินไปกำลังของดินซีเมนต์จะทำให้เกิดรอยแตกร้าวขึ้นในชั้นดินซีเมนต์ เมื่อพิจารณาถึงการหดตัวของดินซีเมนต์โดยธรรมชาติถือว่าไม่มีอันตรายแต่อย่างใด

Otte [10] ได้สรุปผลการทดสอบจากการเจาะตัวอย่างดินซีเมนต์ที่มีรอยแตกและบริเวณที่ไม่มีรอยแตกมาตัดเป็นคานและทดสอบกำลังรับแรงดัดว่าความแข็งแรงของดินซีเมนต์แปรผันกับการเกิดรอยแตกในดินซีเมนต์ ในการก่อสร้างถนนดินซีเมนต์จำเป็นต้องก่อสร้างด้วยปริมาณปูนซีเมนต์ตามอัตราส่วนที่ได้คำนวณไว้และไม่บ่มนานจนเกินไป เมื่อบดอัดเสร็จจะอนุญาตให้รถวิ่งผ่านทันทีเพื่อให้ถนนพื้นทางดินซีเมนต์มีสภาพที่ไม่ดีนักเช่นเดียวกับ Yamanouchi [14] ที่ได้รายงานว่าการเปิดการจราจรก่อนกำหนด และยอมให้ยานพาหนะวิ่งผ่านบนชั้นดินซีเมนต์จะช่วยทำให้ลดรอยแตกร้าวขนาดใหญ่ได้

2.3 วิธีการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก (Microcracking)

วิธีการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กถูกอธิบายครั้งแรกโดยนักวิจัยจากประเทศออสเตรียได้แก่ Litzka และ Haslehner [15] ในปี ค.ศ.1995 โดยทำการบดอัดชั้นทางที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์เพิ่มเติมหลายเที่ยวหลังก่อสร้างระหว่าง 24 ถึง 72 ชั่วโมง ด้วยจำนวนเที่ยวประมาณ 5 เที่ยว เพื่อสร้างโครงข่ายของรอยร้าวขนาดเล็กขึ้น ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ.2001 Scullion [16] ได้นำวิธีการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กไปใช้ในโครงการถนนดินซีเมนต์ มีชื่อว่าโครงการ Edelweiss ประกอบด้วยถนน 4 สาย Satzburg Court, Vontrapp, Newburg Court และ Sophia Lane โครงการดังกล่าวนี้ถูกสร้างขึ้นในเดือนตุลาคม ค.ศ. 2000 มีพื้นฐานของโครงสร้างชั้นดินชั้นพื้นทางเดิมความหนา 15 เซนติเมตร และมีโครงสร้างชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ความหนา 15 เซนติเมตร พร้อมทั้งปูทับหน้าด้วยยางแอสฟัลต์คอนกรีตหนา 5 เซนติเมตร ดำเนินการในช่วงฤดูฝน วิธีการคือใช้รถบดล้อเหล็กน้ำหนัก 12 ตันแบบสันสะเทือนดังรูปที่ 2.1 วิ่งบดทับผิวโดยใช้ความเร็วที่ 2 ไมล์ต่อชั่วโมง



รูปที่ 2.1 รถบดล้อเหล็กน้ำหนัก 12 ตันแบบสันสะเทือนในงานศึกษาของ Scullion [16]

เก็บข้อมูลทั้งก่อนและหลังการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก ส่วนโครงการ Vontrapp และ Newburg ใช้กระบวนการที่ใกล้เคียงกัน โดยที่โครงการ Vontrapp จะทิ้งเวลาในการบ่มไว้ 2 วัน ก่อนก่อสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก ส่วน Sophia ก่อสร้างในช่วงเวลาเดียวกัน แต่ไม่ได้อยู่ภายใต้การก่อสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก ตรวจสอบความแข็งแรงโดยใช้เครื่อง Stiffness Gauge และ Falling Weight Deflectometer (FWD) ดังรูปที่ 2.2 ก่อนและหลังทุกๆการบดทับ 2 เที่ยวในทุกๆระยะ 100 เมตร



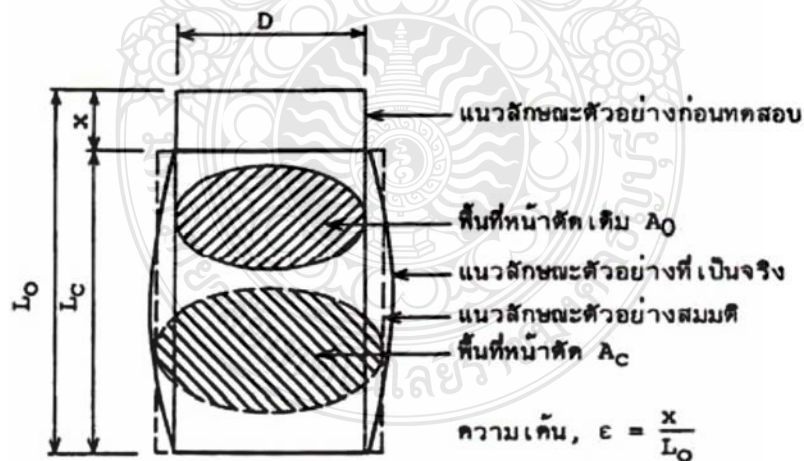
รูปที่ 2.2 การตรวจสอบความแข็งแรงในชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ในงานศึกษาของ Scullion [16]

ในขณะที่กรมทางหลวงได้ทำการศึกษาถึงกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กเช่นกัน โดยในปี ค.ศ.2007 Sunitkul และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาในโครงการทางหลวงหมายเลข 201 และ 3510 โดยที่ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์มีความหนา 20 เซนติเมตร โดยกระบวนการก่อสร้างได้เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ในการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กได้ทำการบดอัดพื้นทางเพิ่มเติมมากถึง 8 ครั้ง และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้นทางลดลงไม่ถึงร้อยละ 60 จึงทำการหยุดกระบวนการดังกล่าวเพื่อป้องกันการวิบัติของพื้นทางสำหรับในสายทางหลวงหมายเลข 3510 เท่านั้น

ทั้งนี้ในกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กที่จำเป็นต้องอาศัยการบดอัดชั้นทางเพื่อให้ความแข็งแรงลดลง พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงในระยะยาว เช่น จากการตรวจสอบความแข็งแรงที่มีความสอดคล้องกับค่าออกแบบ [15] หรือการตรวจสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องมือทดสอบแบบไม่ทำลายที่พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของโครงสร้างหลังสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก 2 วัน เพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 70 เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงที่ยังไม่ได้สร้างรอยร้าวขนาดเล็ก [16] ดังนั้นในการศึกษาจึงควรเลือกใช้วิธีการทดสอบพื้นฐานของดินซีเมนต์ที่เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง และยังจำเป็นที่จะต้องพิจารณาเครื่องมือทดสอบแบบไม่ทำลายที่จะสามารถประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างทางได้อย่างรวดเร็ว โดยจะอธิบายลักษณะของเครื่องมือและวิธีการทดสอบในหัวข้อถัดจากนี้ไป

2.4 การทดสอบความแข็งแรงดินซีเมนต์ด้วยวิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว

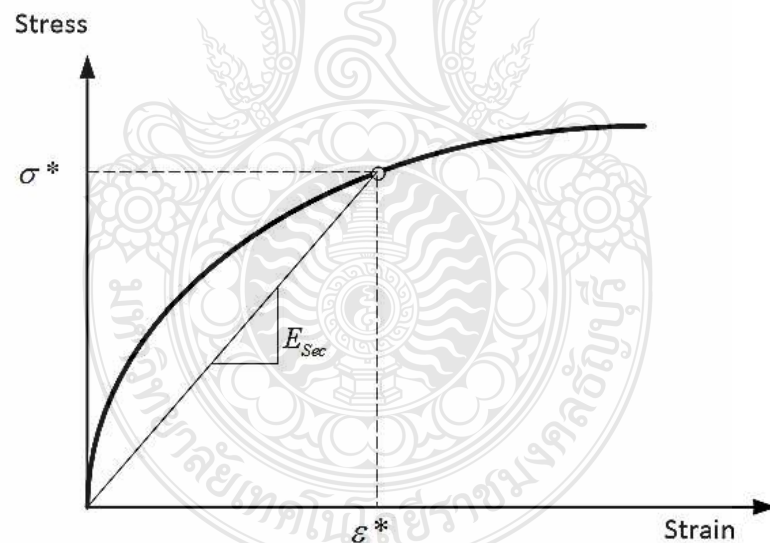
การทดสอบคุณภาพของดินซีเมนต์สามารถทำการทดสอบได้หลายวิธีในห้องปฏิบัติการ เช่น การทดสอบความคงทน (Durability Test) ตามมาตรฐานของ AASHTO ทั้งนี้พบว่าในปัจจุบันวิธีการทดสอบหาลำรับแรงอัดแกนเดียวซึ่งถือว่าเป็นวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Destructive Test) เป็นวิธีการที่นิยมใช้สำหรับทดสอบดินซีเมนต์ [5] เนื่องจากความง่าย ประหยัด และมีความรวดเร็วอย่างมากในการหาค่าความต้านทานแรงเฉือนของดิน [18] วิธีการดังกล่าวเป็นการทดสอบแท่งตัวอย่างด้วยแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดด้านข้างคล้ายคลึงกับการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต โดยตัวอย่างดินเหนียวจะถูกวางในเครื่องทดสอบแรงอัด ทำการวัดความเค้นและความเครียดจนกระทั่งตัวอย่างดินวิบัติดังรูปที่ 2.3 การทดลองกำลังรับแรงอัดแกนเดียว ทำให้สองวิธีคือ แบบควบคุมความเค้น (Stress Control) และแบบควบคุมความเครียด (Strain Control) วิธีที่นิยมใช้กันมากคือแบบควบคุมความเครียดเนื่องจากความง่ายในการทดสอบ ในการทดลองการรับแรงอัดของแท่งดินตัวอย่างจะควบคุมความเครียดในอัตราร้อยละ 0.5 ถึง 2 ต่อนาที (ถ้าแท่งดินมีความยาว 50 มิลลิเมตรและต้องการควบคุมความเครียดที่ร้อยละ 1 ก็หมายความว่าให้ดินรับแรงอัดแล้วเกิดการยุบตัวลงในอัตรา 0.5 มิลลิเมตร/นาที และทดลองไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดที่ต้องการทราบหรือจุดที่ดินวิบัติ



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะเมื่อตัวอย่างดินเหนียวรับแรงกด [19]

การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียวนั้น ดินตัวอย่างจะไม่มีอะไรห่อหุ้มและทดลองในห้องที่มีสภาพแห้ง ดังนั้นการทดลองจะต้องทำให้เสร็จสิ้นภายในเวลาน้อยที่สุดไม่เกิน 10 นาที เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในดินจะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงกดเพิ่มขึ้น ตัวอย่างดินที่นำมาทดลองจะทำการทดลองจนกระทั่งน้ำหนักที่กดลงบนตัวอย่างลดลง หรือทดลองจนถึงร้อยละ 20 ของค่าความเครียด เมื่อดินรับน้ำหนักกด ดินจะหดสั้นเข้าและไปออกทางข้าง พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงก็มากขึ้น ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องมีการปรับค่าพื้นที่หน้าตัดของดิน ทั้งนี้ก็เพื่อให้เหมือนกับสภาพที่ดินในสนามรับน้ำหนักจริง นอกจากนี้การปรับพื้นที่ให้มากขึ้นยังช่วยลดค่าของความเค้น เมื่อแรงที่มากระทำมีค่ามากขึ้น ทำให้ความปลอดภัยมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พื้นที่หน้าตัดเดิมตลอดเวลา

เนื่องจากความแข็งแรงของวัสดุชั้นทางมักจะอยู่ในรูปของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ในการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมส่วนมากมักจะนำเสนอค่าโมดูลัสยืดหยุ่นในรูปของโมดูลัสซีแคนต์ (Secant Modulus) ซึ่งหมายถึงความชันของเส้นที่ลากจากระดับความเค้นที่กำหนดไปยังจุดกำเนิดดังรูปที่ 2.4 โดยพิจารณาที่ครึ่งหนึ่งของกำลังสูงสุด โมดูลัสซีแคนต์คำนวณได้ดังสมการที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โมดูลัสซีแคนต์

$$E_{Sec} = \frac{\sigma^*}{\epsilon^*} \quad (2.4)$$

ในปี ค.ศ.2013 ได้มีการสร้างสมการสำหรับนำผลจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว ไปใช้ในการคาดการณ์ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินซีเมนต์ โดย Jaritngam และคณะ [20] ได้ทำการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโดยใช้ความชันที่ตำแหน่งรอยละ 50 ของค่าน้ำหนักประลัย โดยค่าความชันอ้างอิงจากเส้นตรง 2 จุด ได้แก่ จุดที่ 1 ตำแหน่งที่ความเครียดเท่ากับ 50×10^{-6} และตำแหน่งที่ 2 กำลังรับแรงอัดเท่ากับรอยละ 50 ของค่าน้ำหนักประลัย เพื่อความง่ายต่อการคำนวณ จากผลตัวอย่างดินซีเมนต์ในจังหวัดสงขลาที่มีการบ่มที่อายุ 3, 7, 14, 28 วัน และปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 3, 5, 7 และ 9 ถูกนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นสำหรับทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินซีเมนต์ ซึ่งมีค่า R^2 อยู่ในเกณฑ์ที่ดีเท่ากับ 0.984 แสดงได้ดังสมการที่ 2.5

$$ES = -71.83 + 188.28UCS \quad (2.5)$$

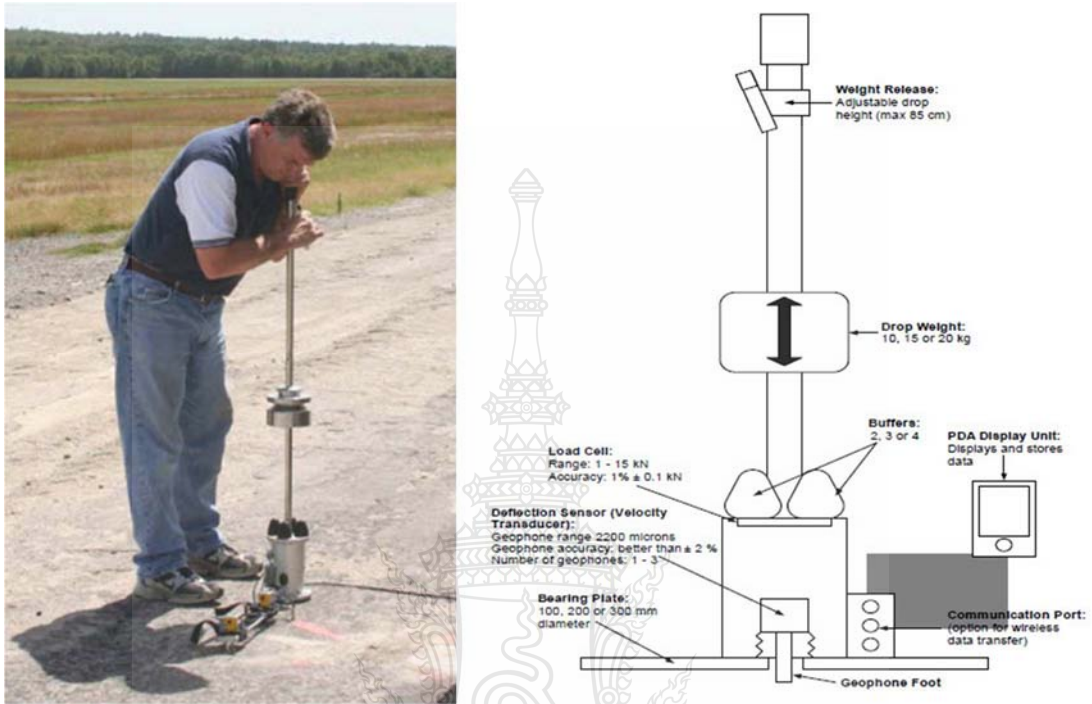
โดยที่ ES = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินซีเมนต์ (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

2.5 การทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่อง Light Weight Deflectometer [21]

เครื่องมือ Light Weight Deflectometer (LWD) หรือเครื่องมือ Portable Falling Weight Deflectometer (PFWD) แสดงดังรูปที่ 2.5 เป็นเครื่องมือทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Test) ที่วัดค่าการแอ่นตัว (Deflection) พัฒนาขึ้นโดยมีหลักการเช่นเดียวกันกับเครื่องมือที่ได้รับความนิยมในการทดสอบผิวทางในที่ (In Situ) อย่างเครื่องมือ FWD เพียงแต่มีขนาดเล็กกว่า เคลื่อนย้ายได้ง่าย ที่สำคัญคือ LWD ใช้เซ็นเซอร์วัดการแอ่นตัวที่ตำแหน่งน้ำหนักกระทำเพียงตัวเดียว แตกต่างจากเครื่องมือ FWD ซึ่งวัดแอ่งการแอ่นตัว (Deflection Basin) จากเซ็นเซอร์หลายตัว ผลคือ LWD จะสามารถวัดความแรงแ้งได้เฉพาะในชั้นที่ผิวทางได้จุดทดสอบเท่านั้น แต่จากความได้เปรียบเรื่องความคล่องตัวของเครื่องมือดังกล่าว ใน 15 ปีมาในการประเมินความแรงแ้งของโครงสร้างผิวทางนิยมใช้เครื่องมือ LWD มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดสอบระหว่างการก่อสร้างควบคู่ไปกับผลทดสอบในห้องปฏิบัติการ ทดสอบชั้นดินเดิมหรือชั้นฐานรองรับ

หลักการทำงานของเครื่องมือ LWD คือเมื่อปลดตุ้มน้ำหนัก (10 -20 กิโลกรัม) ที่ระดับความสูงต่างๆบนก้านจับ ให้ตกกระทบบนแผ่นยาง (Buffer) สู่แผ่นเหล็กพื้นผิวสัมผัสรูปวงกลม โดยแผ่นเหล็กมีขนาดตั้งแต่ 100-300 มิลลิเมตร น้ำหนักที่ตกกระทบจะไปกระตุ้น (Impulse) ให้เกิดค่าการแอ่นตัว วัดค่าดังกล่าวด้วยเซ็นเซอร์ Geophone สามารถนำค่าที่ได้จากการทดสอบคำนวณย้อนกลับหาค่าความแรงแ้ง (Stiffness) หรือกำลังรับน้ำหนัก (Bearing Capacity) ของชั้นดิน โดยทั่วไปแสดงผลการ

คำนวณในรูปของโมดูลัสความแข็งแรง (Stiffness Modulus, E) หรือในบางกรณีเรียกโมดูลัสแบบไดนามิก (Dynamic Modulus) แสดงผลการคำนวณดังสมการที่ 2.6



รูปที่ 2.5 การทดสอบผิวทางด้วยเครื่องมือ LWD [21]

$$E = \frac{APr(1-\nu^2)}{d} \quad (2.6)$$

- เมื่อ E คือ โมดูลัสความแข็งแรง (เมกะปาสคาล)
- A คือ ค่าความแข็งแรงของแผ่นเหล็ก (แผ่นยึดหยุ่น = 2 และแผ่นแข็งเกร็ง = $\pi/2$)
- P คือ แรงดันที่ผิวสัมผัสสูงสุด (กิโลปาสคาล)
- R คือ รัศมีของแผ่นเหล็ก (เมตร)
- ν คือ อัตราส่วนปัวซอง
- D คือ ค่าแอนตัวสูงสุด (Peak Deflection, มิลลิเมตร)

สำหรับการทดสอบการแอนตัวด้วยเครื่องมือ LWD ตามข้อกำหนดของ American Society Testing Material (ASTM) Specification 2583-07, "Standard Test Method for Measuring Deflections

with a Light Weight Deflectometer” กำหนดให้ปล่อยตุ้มน้ำหนักที่ความสูง 720 มิลลิเมตรทั้งผลทดสอบจากงานวิจัยของ Fleming และคณะพบว่าผลทดสอบ LWD มีความสัมพันธ์ที่แตกต่างจากการทดสอบ FWD ปัจจัยของอุณหภูมิไม่ค่อยส่งผลต่อการทดสอบ LWD และความสามารถของเครื่องมือในการอ่านค่า Peak Load เป็นปัจจัยหลักที่อาจส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดในการคำนวณได้

2.6 โปรแกรม BISAR 3.0 [22]

เป็นโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างผิวทางได้แก่ หน่วยแรง, ความเครียด และการยุบตัวของโครงสร้างภายใต้น้ำหนักกระทำ เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ.1978 โดย Shell โดยอาศัยระบบยืดหยุ่นหลายชั้นทาง (Multilayered Elastic System) โดยมีสมมุติฐานว่าชั้นทางในแนวราบมีความสม่ำเสมอ วางอยู่บนวัสดุกึ่งอนันต์ที่แผ่ออกไปด้านข้างไม่สิ้นสุด (Half Space) โดยที่ชั้นทางดังกล่าวแผ่ไปด้านข้างไม่สิ้นสุด วัสดุในแต่ละชั้นทางมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และตอบสนองต่อแรงภายนอกเหมือนกันในทุกทิศทาง (Isotropic) นอกจากนี้วัสดุชั้นทางมีความเป็นอิลาสติกและมีความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดแบบเชิงเส้น

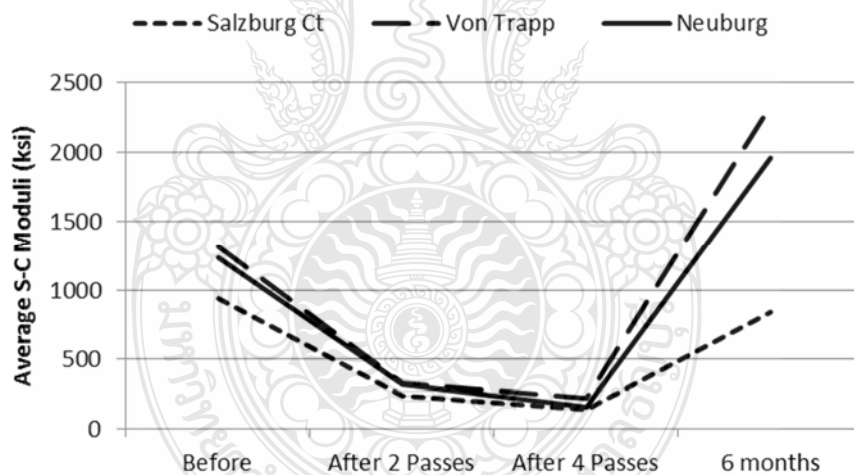
โปรแกรม BISAR 3.0 อาศัยระบบที่กำหนดให้น้ำหนักที่มีพื้นที่วงกลมกระทำเหนือผิวบนสุดของระบบโครงสร้างชั้นทาง มีหน่วยแรงกระจายแบบสม่ำเสมอบนพื้นที่น้ำหนักกระทำ โปรแกรมจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลนำเข้าได้แก่ จำนวนชั้นทาง, ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแต่ละชั้นทาง, ค่าอัตราส่วนปัวของแต่ละชั้นทาง, ความหนาของโครงสร้างชั้นทางยกเว้นชั้นล่างสุด, ค่า Interface Shear Spring Compliance ของแต่ละรอยต่อระหว่างชั้นทาง, จำนวนของน้ำหนักกระทำ, ตำแหน่งของน้ำหนักกระทำ, ข้อมูลของน้ำหนักกระทำ (น้ำหนักล้อ, รัศมีของพื้นที่สัมผัสล้อ และแรงดันลมยาง), แรงกระทำในแนวราบ และตำแหน่งที่ต้องการวิเคราะห์ผล

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ

ในช่วงแรกการแก้ไขปัญหาการแตกร้าวแบบสะท้อนในชั้นทางที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ ได้ถูกศึกษาวิจัยคิดค้นและพัฒนาขึ้นในต่างประเทศเป็นจำนวนมากโดยนักวิจัยหลายท่าน และต่อมาเมื่อมีการเริ่มก่อสร้างถนนที่ก่อสร้างด้วยชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ขึ้นในประเทศไทย จึงเริ่มมีการศึกษาวิจัยถึงการปรับใช้ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในประเทศไทย ซึ่งสามารถทบทวนวรรณกรรมและสรุปในส่วนที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

ในปี ค.ศ.1995 Litzka และ Haslehner [15] ได้มีการนำเอาวิธีการปรับปรุงบรูณะถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ (Low – volume roads) โดยใช้วิธีหมุนเวียนวัสดุชั้นทางมาใช้ใหม่แบบผสมเย็นในที่ (Cold in –place recycling) ร่วมกับการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กหลังทำการปรับปรุงคุณภาพชั้นทาง 3 วัน ได้ทำการบดอัดเพิ่มเติมโดยใช้รถบดล้อเหล็กชั้นสะท้อน เพื่อสร้างรอยร้าวขนาดเล็กและป้องกันการเกิดหน่วยแรงซึ่งเป็นสาเหตุของการแตกร้าวและพบว่าการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กสามารถช่วยลดรอยแตกแบบสะท้อนได้โดยที่ค่าของชั้นดินซีเมนต์ยังคงฟื้นฟูกลับมาได้ดีดังเดิมซึ่งในปี ค.ศ.2001 Scullion [16] ได้นำกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก มาใช้ในถนนที่ปรับปรุงคุณภาพพื้นทางด้วยซีเมนต์ทั้งหมด 3 สาย ได้แก่ Salzburg Court, Von Trapp และ Neuburg CT โดยมีเป้าหมายในขณะที่ทำการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กแล้วเสร็จค่าความแข็งแรงของชั้นดินซีเมนต์ต้องลดลงจากเดิมไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 โดยใช้เครื่อง Geogauge และ FWD ในการควบคุมค่าความแข็งแรงของชั้นดินซีเมนต์ ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน ค่าความแข็งแรงที่ลดลงไปได้มีการฟื้นฟูกลับมาและมีค่ามากกว่าค่าความแข็งแรงที่วัดได้ตอนแรกเริ่มดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ค่าเฉลี่ยของ โมดูลัสในชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ในงานศึกษาของ Scullion [16]

ในปี ค.ศ.2004 Sebast และ Scullion [23] ได้มุ่งเป้าไปยังการประเมินประสิทธิภาพของแนวคิดในการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กเพื่อลดการแตกร้าวในพื้นที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ อันเนื่องมาจากการหดตัวในโครงการ SH 47 และ SH 16 ใช้ปริมาณซีเมนต์ในการปรับปรุงคุณภาพพื้นทาง ร้อยละ 3 เปรียบเทียบกับ โครงการควบคุมที่ Texas A&M Riverside Campus ที่ใช้ปริมาณ

ซีเมนต์ในการปรับปรุงคุณภาพพื้นทางร้อยละ 4 และ 8 ทำการบดอัดชั้นทางดินซีเมนต์จนค่าความแข็งแรงลดลงจากเดิมร้อยละ 60 ผลที่ได้จากกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผิวทาง และการฟื้นฟูความแข็งแรงของโครงสร้าง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่สร้างรอยร้าวขนาดเล็กพบว่าปริมาณซีเมนต์ที่สูงเกินไปส่งผลให้เกิดรอยแตกร้าวในพื้นที่ เพิ่มความกว้างของรอยแตกและความยาวโดยรวม การบ่มขึ้นเพียงอย่างเดียวส่งผลให้เกิดรอยแตกร้าวที่มีระดับความรุนแรง และสามารถสะท้อนขึ้นมายังชั้นผิวทางได้ในขณะที่สำหรับการทดสอบที่ Riverside แสดงเวลาในการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กที่เหมาะสมอยู่ที่ 2 วัน หลังจากการบดอัดแล้วเสร็จ

ทั้งนี้ในปีเดียวกัน Adaska และ Luhr [24] ได้กล่าวถึงรอยแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวด้วยตัวเองนี้เป็นธรรมชาติของชั้นทางที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ ซึ่งโดยทั่วไปรอยแตกแบบสะท้อนที่เกิดขึ้นที่ผิวทางหากมีลักษณะแคบ (น้อยกว่า 3 มิลลิเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 นั้นจะไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของถนนแต่หากว่ารอยแตกดังกล่าวเริ่มมีความกว้างมากกว่า 3 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.8 นั้นจะเป็นต้นเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำสามารถแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างชั้นทางได้ และเป็นสาเหตุของกระบวนการต่อเนื่องทำให้เกิดการอัดทะลัก (Pumping) เมื่อเวลาผ่านไปไม่นาน อันจะนำมาซึ่งความสูญเสียกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างอย่างมากได้ และนำไปสู่การเสื่อมสภาพไม่เหมาะกับการใช้งานในระยะเวลาสั้นกว่าที่ออกแบบไว้

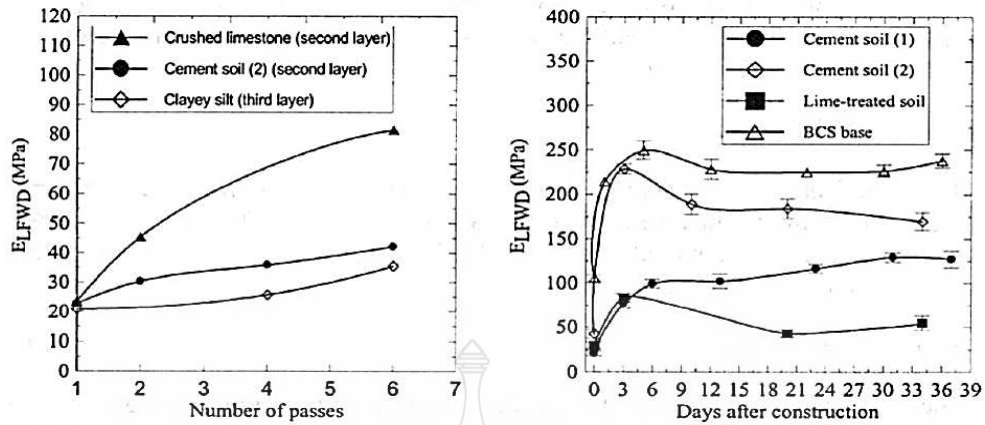


รูปที่ 2.7 รอยแตกแบบสะท้อนที่มีลักษณะแคบ (น้อยกว่า 3 มิลลิเมตร) [24]



รูปที่ 2.8 รอยแตกแบบสะท้อนที่มีลักษณะกว้าง(มากกว่า 3 มิลลิเมตร) [24]

ในปีเดียวกัน Nazzal และคณะ [25] ได้นำเอาเครื่อง LWD มาใช้ประเมินหาคุณสมบัติของชั้นทางต่างๆรวมไปถึงพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ในสัดส่วนร้อยละ 6 เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดจากการทดสอบด้วยวิธี Plate Bearing ที่ต้องอาศัยเครื่องจักรขนาดใหญ่หรือเฟรมสำหรับรับน้ำหนักจากแม่แรงในการทดสอบ โดยการทดสอบได้เลือกส่วนทดสอบของถนนทางหลวงทั้งหมด 6 จุด โดยในส่วนของพื้นทางคุณภาพมีขนาดแปลง กว้าง 3 เมตร ยาว 3 เมตร หนา 25 เซนติเมตร จากรูปที่ 2.9 (ซ้าย) ผลของค่าโมดูลัสของดินซีเมนต์ที่ได้จากเครื่อง LWD จะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนเที่ยวของการบดทับในสนามเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถยืนยันว่าจะมีค่าสูงสุดเมื่อใด ในขณะที่เมื่อพิจารณาค่าโมดูลัสยึดหยุ่นกับจำนวนวันหลังจากการก่อสร้างดังรูปที่ 2.9 (ขวา) พบว่าในสายทางที่ใช้วัสดุดินซีเมนต์ตัวอย่างที่ 1 มีแนวโน้มของค่าโมดูลัสเพิ่มขึ้นจนเวลาผ่านไป 33 วันจึงจะลดลงเล็กน้อย ในขณะที่วัสดุดินซีเมนต์ตัวอย่างที่ 2 ดินที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยหินปูน และชั้นทางที่ผสมด้วยแคลเซียมซัลเฟต ค่าโมดูลัสจะเริ่มลดลงระหว่างเวลาผ่านไป 3-7 วัน



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของค่าโมดูลัสจากเครื่อง LWD แปรผันตามจำนวนเที่ยวบดอัดและจำนวนวันหลังก่อสร้าง [25]

ในปี ค.ศ. 2008 ทีมนักวิจัยของ Portland Cement Association โดย Scullion และคณะ [26] ได้ทำการศึกษาวิธีการคำนวณออกแบบโครงสร้างผิวทางที่ใช้วัสดุดินซีเมนต์เป็นชั้นพื้นทางโดยมีการศึกษาตั้งแต่แนวทางการทดสอบคุณสมบัติในห้องทดลองเพื่อหาค่าความแข็งแรงของแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ ในรูปแบบต่างๆ เช่น Seismic modulus, Dynamic modulus, และ Resilient modulus เป็นต้น รวมทั้งทำการศึกษาการออกแบบโครงสร้างความหนาจากผลการทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนามด้วยเครื่องมือ LWD และ FWD และทำการออกแบบความหนาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CTB และ CTBANA ตามข้อแนะนำหลักการออกแบบผิวทางด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์-เชิงประจักษ์ (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide, MEPDG) ซึ่งในปัจจุบันกำลังอยู่ในขั้นตอนการจัดทำเป็นมาตรฐานการออกแบบ

2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย

ในปี พ.ศ.2531 สุรเชษฐ์ [27] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความคงทนของดินซีเมนต์ ในส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ถนนสายพังโคน-บึงกาฬช่วง กม. 50+600 ทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวกับน้ำหนักสูญเสียน้ำที่อายุการบ่มต่างๆพบว่า การวิเคราะห์ค่าความลาดชันที่เกิดขึ้นในความสัมพันธ์ ดังกล่าว สามารถแสดงให้เห็นผลของการบ่มที่อายุไม่เกิน 7 วัน จะมีความคงทนของดินซีเมนต์เป็นอย่างมาก

ในปี พ.ศ.2534 ศิริพงษ์ [28] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างถนนที่มีดินซีเมนต์ที่แตกเป็นพื้นทางและรองพื้นทาง เพื่อหาแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงแนวทางการออกแบบจากวิธีเชิงประจักษ์ (Empirical) เป็นวิธีเชิงวิเคราะห์ (Analytical) เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมของวัสดุ

ชั้นทางได้ดียิ่งขึ้น โดยได้กล่าวว่า การนำดินซีเมนต์มาใช้เป็นวัสดุชั้นทาง นอกจากเป็นการแก้ปัญหา การขาดแคลนแหล่งหินในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือแล้ว ดินซีเมนต์ยังเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการต้านทานค่า Radial Tensile Strain ได้ดีกว่าวัสดุ ที่ไม่มีการยึดแน่นทั้งนี้ดินซีเมนต์ เป็นวัสดุที่เกิดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวได้ง่าย โดยระยะเวลาที่รอยร้าวจากชั้นพื้นทางจะลามไป ยังผิวทางแอสฟัลต์ประมาณ 5 สัปดาห์หลังทำการก่อสร้าง โดยได้มีการหาวิธีลดรอยแตกดังกล่าว เช่น การเปิดจราจรทันทีหลังการก่อสร้างชั้นทางดินซีเมนต์เสร็จ เพื่อให้แรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคใน ดินซีเมนต์น้อยลง ส่งผลให้กำลังของดินซีเมนต์ลดลง แต่จะไม่ลดลงมากไปกว่าเดิมเมื่อเวลาผ่านไป

ต่อมาในปี พ.ศ.2550 กรมทางหลวงได้นำเอาวิธีการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กน้อยมาใช้ใน ประเทศไทยที่ถนนสาย 201 และ 3510 โดย Sunitsakul และคณะ [17] ร่วมทำการทดสอบคุณสมบัติ ทางวิศวกรรมของดินลูกรัง และดินซีเมนต์ส่วนกระบวนการสร้างรอยร้าวได้ใช้หลักการเดียวกันกับ Sebesta และ Scullion [23] เลือกใช้ FWD ในการควบคุมค่าความแข็งแรงของชั้นทางให้มีค่าลดลงร้อยละ 60 หลังการบดอัดเพิ่มเติมซึ่งหาได้จากการคำนวณย้อนกลับโดยใช้โปรแกรม ELMOD โดยถนน สาย 201 ต้องทำการบดอัด 6 เทียบ เพื่อให้ความแข็งแรงลดลงร้อยละ 60 ส่วนถนนสาย 3501 ต้องทำ การบดอัด 8 เทียบ และความแข็งแรงของโครงสร้างไม่ลดลงตามเป้าหมาย ซึ่งในตอนท้ายนั้นค่าความ แข็งแรงของชั้นทางเพิ่มขึ้นตามอายุที่เปลี่ยนไป และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินซีเมนต์พบว่า ค่า การรับน้ำหนักแกนเดี่ยวและค่าการทดสอบแรงดึงโดยตรง จะเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม

วสันต์ และคณะ [29] ได้นำดินจากแหล่งวัสดุชั้นทางในประเทศไทยจำนวน 6 แหล่ง จาก 6 จังหวัด ซึ่งเป็นวัสดุหินคลุกและวัสดุมวลรวมมาใช้สำหรับวิจัยศึกษาค้นพื้นฐานทางวิศวกรรม การทดสอบกำลังรับแรงอัด และการทดสอบสมบัติความคงทน อ่างอิงขั้นตอนและวิธีทดสอบตาม มาตรฐานกรมทางหลวง และ ASTM Standard โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ ร้อยละ 1, 2, 3 และ 4 ค่อน้ำหนักดินแห้ง สำหรับหินคลุก และที่ร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 ค่อน้ำหนักดิน แห้ง สำหรับวัสดุมวลรวม จากการทดสอบความคงทนด้วยวิธี แบบเปียกและแบบแห้งสามารถใช้เป็น เกณฑ์ในการกำหนดปริมาณซีเมนต์ที่มีความเหมาะสมที่มีกำลังรับน้ำหนักที่เพียงพอ มีความคงทนต่อ สภาพการใช้งาน โดยอาศัยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบดังกล่าวกับกำลังรับ แรงอัด แต่เมื่อเทียบกับ Slake Durability Test การทดสอบแบบเปียกและแบบแห้งยังมีความรวดเร็ว น้อยกว่า

ในปี พ.ศ.2559 ทรงพล [30] ได้ทำการทดสอบกำลังอัดของดินลูกรังผสมซีเมนต์และ สรุปรูปว่ากำลังอัดของดินจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์และอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้น โดยที่จะเพิ่มขึ้นอย่าง รวดเร็วในช่วง 7 วันแรกหลังจากนั้นอัตราการเพิ่มของกำลังอัดจะลดลง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

กระบวนการของงานวิจัยนี้ได้มีการดำเนินการวิจัยโดยสร้างแปลงทดสอบเพื่อหาความแตกต่างของรอยร้าวในพื้นที่ทางดินซีเมนต์ทั้งก่อนและหลังการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กรวมทั้งแนวโน้มของการเกิดรอยร้าวขนาดเล็กลงโดยทำแปลงทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานในการศึกษาวิจัยในขั้นตอนนี้จะเป็นวิธีการวิจัยในเชิงวิเคราะห์และทดลอง ทั้งในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ ซึ่งวิธีที่ใช้ในการวิจัยทั้งหมด เป็นไปตามขั้นตอนการวิจัยดังนี้

- 3.1.1 ศึกษาขั้นตอนการดำเนินงานโดยภาพรวม รวบรวมทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.1.2 ศึกษาวิธีการใช้งานเครื่องมือ และเครื่องจักรสำหรับทดสอบ
- 3.1.3 สร้างแปลงทดสอบจำลอง จำนวน 2 แปลง แปลงที่ 1 สร้างเป็นแปลงควบคุม แปลงที่ 2 สร้างแปลงโดยการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก
- 3.1.4 เก็บตัวอย่างดินซีเมนต์จากแปลงทดสอบทั้งสอง นำไปวิเคราะห์ความแข็งแรงของดินซีเมนต์ โดยการใช้การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวในห้องปฏิบัติการ
- 3.1.5 เก็บสภาพรอยร้าวของแปลงควบคุมเปรียบเทียบกับแปลงที่สร้างรอยร้าวแบบสะท้อนวิเคราะห์ผลข้อมูล
- 3.1.6 ทำการทดสอบความแข็งแรงโดยรวมของพื้นที่ทางซีเมนต์ในแปลงควบคุมเปรียบเทียบกับแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก
- 3.1.7 วิเคราะห์ผลการศึกษาและสรุปผลการศึกษา
- 3.1.8 ตีพิมพ์เผยแพร่งานวิจัยในวารสารหรืองานประชุมวิชาการภายในประเทศ

3.2 เครื่องมือที่และอุปกรณ์ทดสอบ

3.2.1 เครื่องกดแท่งตัวอย่าง (Loading Machine) เป็นเครื่องมือสำหรับทดสอบตัวอย่างดินซีเมนต์ โดยอาจใช้แบบมือหมุนหรือแบบมอเตอร์ไฟฟ้าที่สามารถควบคุมอัตราเร็วของแรงกด และมีกำลังกดที่เพียงพอ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.2.2 ชุดเครื่องมือทดสอบหาค่าความแน่นของดินในสนามสำหรับทดสอบหาค่าความแน่นของดินในสนามแบบสูงกว่ามาตรฐานตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท.108/2517 สำหรับการเตรียมแท่งตัวอย่างชนิดดินบดอัด (Compacted Soil) ดังรูปที่ 3.2

3.2.3 รถบดล้อเหล็กแบบสั่นสะเทือน (Vibratory Roller) เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป แบบสั่นสะเทือนสองล้อ รถบดจะต้องอยู่ในสภาพดี สามารถบดทับโดยการเดินหน้าและถอยหลังได้ การขับเคลื่อนไปข้างหน้า การหยุดและการถอยหลังจะต้องเรียบสม่ำเสมอ ล้อทั้ง 2 ล้อ จะต้องตรงแนว ที่ผิวล้อเหล็กจะต้องเรียบ ไม่ลึกลงเป็นหลุมหรือเป็นรอยบุ๋ม สลักล้อและลูกปืนล้อ ต้องไม่สึกหรอมากเกินไป จนทำให้ล้อหลวม ต้องมีถังน้ำ มีระบบฉีดน้ำ มีอุปกรณ์คราดผิวล้อ และแผ่นวัสดุสำหรับซึมซับน้ำและเกลี่ยกระจายน้ำเลี้ยงล้อรถบด เพื่อป้องกันไม่ให้ดินซีเมนต์ติดล้อขณะบดทับ มีระบบการสั่นสะเทือนที่อยู่ในสภาพดีดังแสดงในรูปที่ 3.3

3.2.4 รถบรรทุกน้ำ เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ใช้ในการพ่นหรือฉีดเพื่อบ่มน้ำในงานดินซีเมนต์ ตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ในมาตรฐานการออกแบบดังแสดงในรูปที่ 3.4

3.2.5 รถเกรดเดอร์ (Motor Grader) เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการเกรดและคลุกเคล้าผสมระหว่างดินลูกรังกับปูนซีเมนต์ให้เข้ากัน ก่อนที่จะดำเนินการบดอัดแน่นดังรูปที่ 3.5

3.2.6 รถบรรทุกซีเมนต์ผง (Trailer Cement Tank) เป็นเครื่องจักรที่ใช้ปล่อยปูนซีเมนต์เพื่อผสมกับดินลูกรัง ดังแสดงในรูปที่ 3.6

3.2.7 รถบรรทุก 6 ล้อประกอบด้วยเพลาหน้า 2 ล้อ และเพลาหลัง 4 ล้อ เป็นล้อคู่หน้าหนัก เพลาหลังขณะทำการทดลอง 8,200 กิโลกรัม (18,000 ปอนด์) ขนาดของยาง 10 x 20 แรงดันลมในล้อ 85 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีช่องว่างระหว่างแก้มยางของคู่ล้อ 25 - 40 มิลลิเมตรและช่องว่างระหว่างพื้นผิวสัมผัสของคู่ล้อ 100 - 150 มิลลิเมตร

3.2.8 เครื่องมือวัดค่าการยุบตัวแบบตุ้มกระแทกแบบเบา (LWD) รุ่น TC-351F สำหรับทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างโดยรวมจากแปลงทดสอบ

3.2.9 โปรแกรม BISAR 3.0 สำหรับวิเคราะห์พฤติกรรมตอบสนองของโครงสร้างพื้นทางในแปลงควบคุมและแปลงที่ทำการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก



รูปที่ 3.1 เครื่องกดแท่งตัวอย่าง (Loading Machine)



รูปที่ 3.2 ชุดทดสอบความแน่นของดินในสนาม (Compaction Test)



รูปที่ 3.3 ลักษณะของรถบดล้อเหล็กที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป น้ำหนัก 19 ตัน



รูปที่ 3.4 ลักษณะของรถน้ำที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป



รูปที่ 3.5 ลักษณะของรถเกรดเดอร์ที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป

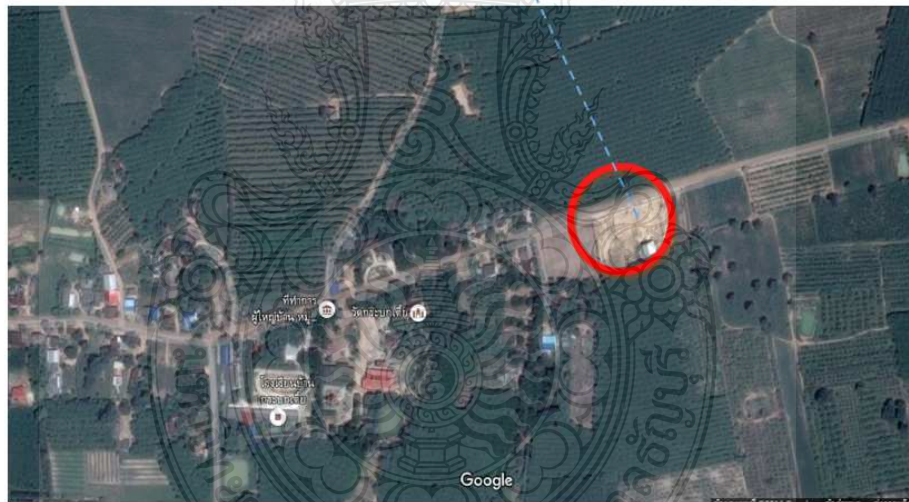


รูปที่ 3.6 ลักษณะของรถบรรทุกซีเมนต์ผงที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป

3.3 แปลงทดสอบพื้นทางดินซีเมนต์

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแปลงทดสอบพื้นทางดินซีเมนต์ในพื้นที่บริเวณลานอเนกประสงค์ บ้านกระบกเตี้ย ตำบลท่ากระดาน อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา ดังรูปที่ 3.7 โดยแปลงทดสอบก่อสร้างตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ม. 204/2556 และเพื่อให้แนวโน้มการเกิดรอยร้าวมีสูงจึงเลือกใช้ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 8 ซึ่งมีค่าสูงกว่าปกติ (ประมาณร้อยละ 3 ถึง 5) เนื่องจากมีจุดประสงค์เพื่อยืนยันว่าพื้นทางดินซีเมนต์จากแปลงทดสอบทั้งสองจะเกิดการแตกร้าวอย่างแน่นอน โดยแปลงทดสอบมีขนาดความกว้าง 3 เมตร ยาว 10 เมตร พื้นทางดินซีเมนต์หนา 15 เซนติเมตร โดยแบ่งแปลงทดสอบออกเป็น 2 แปลง ได้แก่ แปลงควบคุม (Control section) ซึ่งจะก่อสร้างตามมาตรฐานปกติ และแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก (Microcracking section)

สถานที่ดำเนินการ บ้านกระบกเตี้ย ตำบลท่ากระดาน อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา



รูปที่ 3.7 สถานที่ก่อสร้างแปลงทดสอบ

3.4 ขั้นตอนการสร้างแปลงทดสอบและสร้างรอยร้าวขนาดเล็กลงในสนาม

3.4.1 เลือกวัสดุสำหรับก่อสร้างดินซีเมนต์ จากแหล่งวัสดุและกำหนดแปลงทดสอบที่มีลักษณะดินที่เหมาะสมในการที่จะเป็นตัวแทนของถนนแอสฟัลต์คอนกรีตที่ก่อสร้างในประเทศไทย ทั้งนี้ได้เลือกพื้นที่บ้านกระบกเดี่ยว ตำบลท่ากระดาน อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นสถานที่สร้างแปลงทดสอบ เก็บข้อมูลคุณสมบัติของดินที่นำมาทดสอบ

3.4.2 สร้างแปลงทดสอบขึ้นมาโดยการปรับเตรียมชั้นดินคันทางตามมาตรฐานการก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงและทำชั้นพื้นทางของแปลงทดสอบโดยใช้ส่วนผสมที่ได้ ออกแบบไว้โดยไม่ต้องมีการปูวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตทับหน้า ทั้งนี้เพื่อที่จะได้ศึกษาพฤติกรรมการเกิดรอยร้าวได้อย่างถูกต้องชัดเจน

3.4.3 รถเกรดเข้าสถานที่ก่อสร้าง ปรับพื้นที่แปลงก่อสร้าง เกรดและบดอัดชั้นดินซีเมนต์ เพื่อเตรียมพื้นที่ดำเนินการดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การเกรดและบดอัดดินลูกรัง

3.4.4 การผสมปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยรถบรรทุกพวงซีเมนต์ ให้เต็มพื้นที่ก่อสร้างแปลงทดสอบในอัตราส่วนร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยที่วิธีการผสมแบบแห้งโดยเครื่องจักร คลุกเคล้าให้เข้ากันดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 การปล่อยปูนซีเมนต์ในแปลงทดสอบ



รูปที่ 3.10 การผสมแห้งเพื่อคลุกเคล้าให้เข้ากัน

3.4.5 ทำการผสมแบบเปียก โดยวิธีการพ่นน้ำทั้งนี้จะต้องให้แล้วเสร็จภายใน 2 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การผสมแบบเปียก

3.4.6 ทำการเก็บก้อนตัวอย่างเตรียมดำเนินการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การเก็บก้อนตัวอย่างดินซีเมนต์ในสนาม

3.4.7 ทำการบ่มควบคุมอุณหภูมิในถุงพลาสติก ที่อายุ 7 วัน ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วิธีการเก็บตัวอย่าง

3.4.8 เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการสร้างชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ดังรูปที่ 3.14 ขั้นตอนต่อไปคือกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กดำเนินการตามงานศึกษาของ Sebesta และ Scullion [23] โดยทำบดอัดด้วยรถบดล้อเหล็กสันสะเทือน (Vibratory Roller Compactor) จำนวน 3 เที่ยว ที่อายุการบ่มชั้น 3 วัน แต่ใช้รถบดทดสอบที่น้ำหนัก 19 ตัน เนื่องจากเป็นรถบดที่ใช้ในโครงการก่อสร้างจริงดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 สภาพพื้นที่ชั้นดินซีเมนต์ของแปลงทดสอบ



รูปที่ 3.15 กระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก

3.5 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างที่เก็บจะต้องทดสอบหาคคุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างดินซีเมนต์ได้แก่

3.5.1 วิธีการทดลอง Liquid Limit (LL) ของดิน ทล.- ท. 102/2515

3.5.2 วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis) ทล.-ท 205/2517

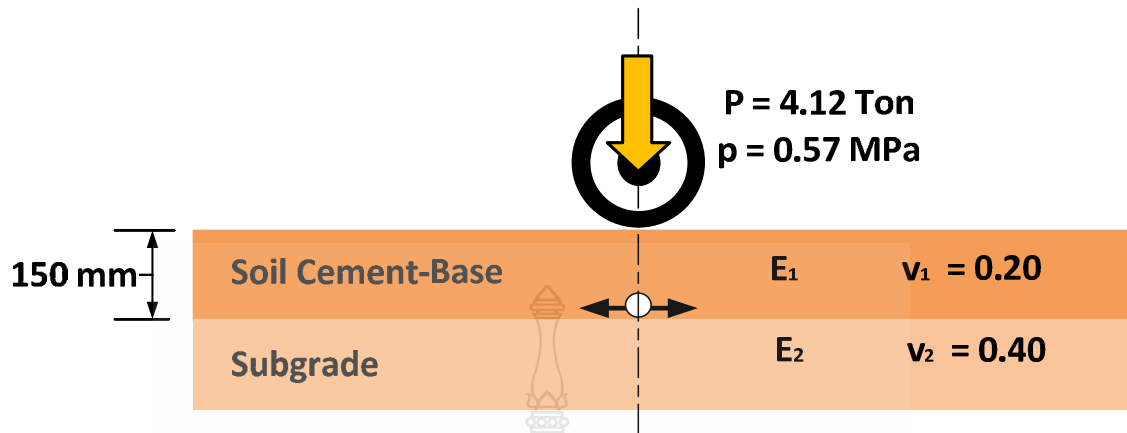
3.5.3 วิธีการทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (Coarse Aggregate) โดยใช้ los Angeles Abrasion ทล.-ท 202

3.5.4 วิธีการทดลอง Compaction Test ทล. - ท. 107/2517

3.5.5 วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดินซีเมนต์ ตามมาตรฐาน ทล. – ท. 105/2515

3.6 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ผล

ทำการเก็บตัวอย่างดินซีเมนต์เพื่อนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียวจากแปลงควบคุมและแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กที่อายุ 3 วัน และ 7 วัน และจำลองโครงสร้างชั้นทางระบบ 2 ชั้นทางใน โปรแกรม BISAR 3.0 โดยที่โครงสร้างดังกล่าวรองรับน้ำหนักเพลาดเดียวมาตรฐานขนาด 4.1 ตัน แรงดันลมยาง 0.57 เมกะปาสคาล พื้นทางดินซีเมนต์หนา 15 เซนติเมตร มีความแข็งแรงเป็นไปตามผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียวที่อายุ 3 วัน ก่อนและหลังการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก ในขณะที่ความแข็งแรงของดินเดิมกำหนดให้ใช้ค่าที่ได้จากการทดสอบด้วย LWD จากรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ระบบโครงสร้างชั้นทางสำหรับจำลองใน BISAR 3.0

นอกจากนี้ยังสามารถทำการตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) และเก็บรวบรวมแนวโน้มพัฒนาการของรอยร้าวในพื้นที่ทางดินซีเมนต์จากแปลงทดสอบทั้งสองที่อายุ 3, 7 และ 20 วัน หลังจากนั้นเมื่อพื้นที่ทางดินซีเมนต์มีอายุครบ 20 วัน จึงทำการทดสอบด้วย LWD ด้วยตุ้มน้ำหนัก 5 กิโลกรัม ความสูงของระยะตกกระทบ 500 มิลลิเมตร ใช้เส้นผ่าศูนย์กลางแผ่นเหล็ก 10 เซนติเมตร เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของพื้นที่ทางดินซีเมนต์ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การทดสอบความแข็งแรงพื้นที่ทางด้วย LWD

บทที่ 4

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์

ผลการทดสอบนี้ เป็นผลการทดสอบที่ได้จากการสร้างแปลงทดสอบซึ่งในโครงการนี้มีอยู่ 2 แปลงมีขนาดความหนาเท่าโครงสร้างจริง (Full Scale Test) ซึ่งดำเนินการอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคม 2559 โดยแปลงทดสอบใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ในการปรับปรุงคุณภาพพื้นทางร้อยละ 8 ภายใต้การบดอัดตามมาตรฐานกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท ซึ่งในที่นี้สามารถแสดงผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของดินและผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว

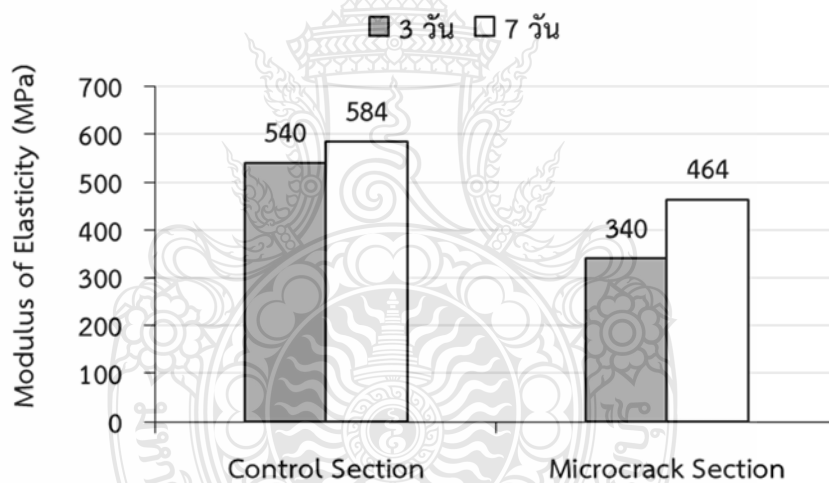
จากตัวอย่างวัสดุดินลูกรังที่นำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการและผสมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก.15 ผลการทดสอบหาค่าคุณสมบัติเบื้องต้นพบว่าตัวอย่างมีขนาดคละที่ดีเมื่อทดสอบด้วยวิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis) มีขนาดเม็ดโตสุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร มีส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ไม่เกินร้อยละ 70 และส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่เกินร้อยละ 25 มีค่าความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเมื่อทดสอบตามวิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลวไม่เกินร้อยละ 40 มีค่าความชื้นในสถานภาพพลาสติกของดินเมื่อทดสอบตามวิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติกไม่เกินร้อยละ 15 มีค่าความสึกหรอ เมื่อทดสอบตามวิธีการทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (Coarse Aggregate) โดยใช้วิธีทนต่อการสึกกร่อนไม่เกินร้อยละ 60 พบว่าผ่านเกณฑ์กำหนด

งานวิจัยนี้เลือกใช้การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียวเนื่องจากเป็นวิธีที่ระบุในมาตรฐานกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของพื้นทางดินซีเมนต์จากทั้งสองแปลงทดสอบดังตารางที่ 4.1 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวของตัวอย่างดินซีเมนต์มีค่าสูงกว่า 17.5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (ตามมาตรฐาน ทล.-ม. 204/2556) ทั้งหมด เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 จากการทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นด้วยสมการความสัมพันธ์ของ Jaritngam และ คณะ [20] หลังการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กที่อายุ 3 วัน มีค่าลดลงประมาณร้อยละ 37 เมื่อเปรียบเทียบกับผลจากแปลงควบคุม โดยความแข็งแรงของพื้นทางดินซีเมนต์ที่ลดลงไม่เป็นไปตามงานศึกษาของ Sebesta และ Scullion [23] ที่แนะนำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างโดยรวมลดลงร้อยละ 60 ผลดังกล่าวแสดงว่าการทดสอบด้วยกำลังอัดแกนเดียวซึ่งต้องรอ

ผลจากห้องปฏิบัติการไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ควบคุมการสร้งรอยร้าวขนาดเล็กในสภาพของงานก่อสร้าง โดยค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุ 3 วัน ในแปลงควบคุมและแปลงสร้งรอยร้าวขนาดเล็กมีการพัฒนาความแข็งแรงเมื่ออายุ 7 วัน ร้อยละ 8 และ 36 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 กำลังรับแรงอัดแกนเดียวที่อายุ 3 และ 7 วัน

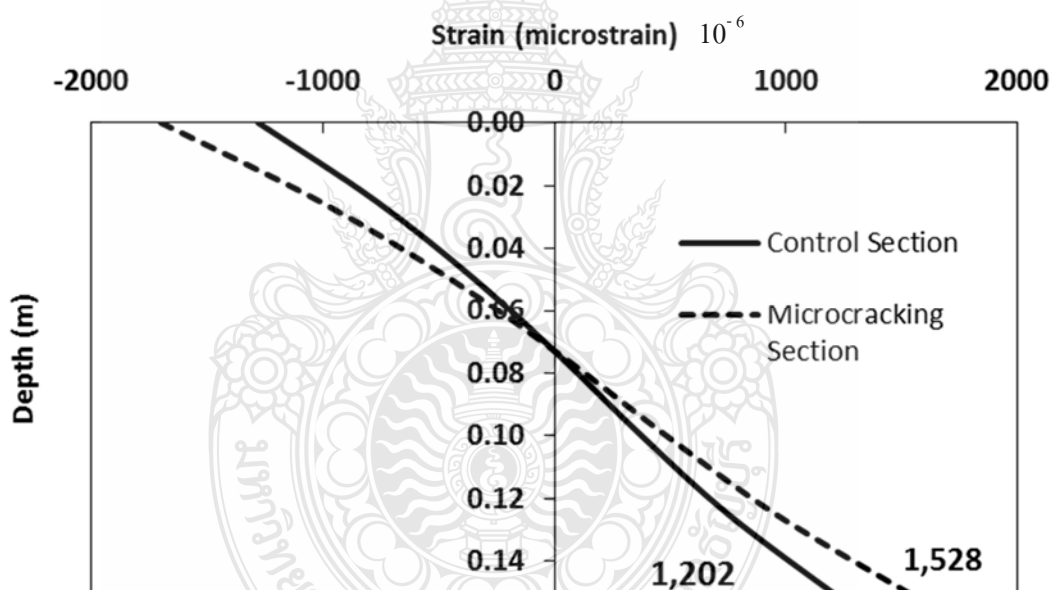
อายุ	แปลงควบคุม	แปลงสร้งรอยร้าวขนาดเล็ก
3 วัน	29.6 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร	18.8 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
7 วัน	32.0 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร	25.5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.1 โมดูลัสยืดหยุ่นของดินซีเมนต์จากการทดสอบ UCS ก่อนและหลังการสร้งรอยร้าวขนาดเล็กที่อายุ 3 และ 7 วัน

เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบของโครงสร้างพื้นทางในเชิงกลศาสตร์ที่บริเวณผิวล่างของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์โดยการจำลองโครงสร้างชั้นทางระบบ 2 ชั้นทาง ที่ประกอบไปด้วยชั้นทางที่ 1 เป็นวัสดุดินซีเมนต์ ที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเป็นไปตามผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักแกนเดียวดังรูปที่ 4.1 เท่ากับ 540 และ 340 เมกะปาสคาล กรณีแปลงควบคุมและแปลงสร้งรอยร้าวขนาดเล็กที่อายุ 3 วัน

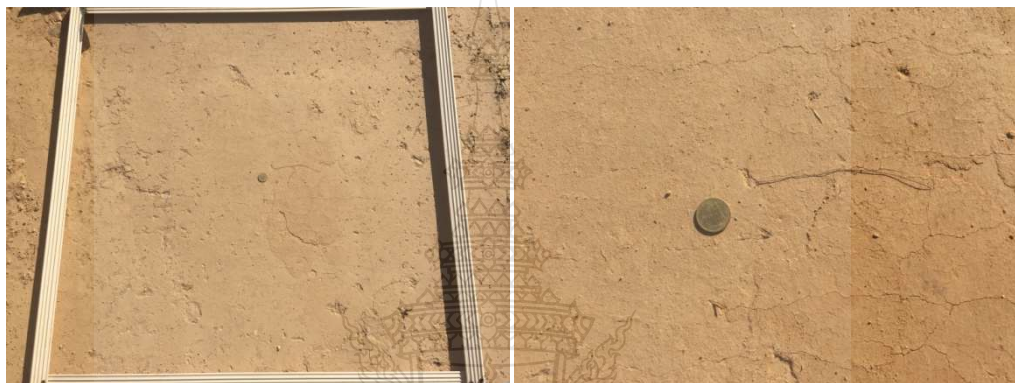
ตามลำดับ และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินเดิมจากผลการทดสอบด้วยเครื่อง LWD จำนวน 4 ตำแหน่ง เท่ากับ 37 เมกะปาสคาล พบว่าจากรูปที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์พฤติกรรมตอบสนองของ โครงสร้างชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จากโปรแกรม BISAR 3.0 ในรูปของความเครียดดึงตามแนวรัศมี เนื่องจากดินซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ดังนั้นความเสียหายจะเกิดขึ้นจากความเครียดที่บริเวณผิวล่าง ของชั้นดินซีเมนต์โดยพบว่าความเครียดตามแนวรัศมีที่ตำแหน่งศูนย์กลางน้ำหนักระทำบริเวณผิว ล่างของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จะเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 27 อันเนื่องมาจากกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาด เล็กที่ส่งผลให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของโครงสร้างลดลงร้อยละ 37 ผลกระทบที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นถึง แนวโน้มของพฤติกรรมทางกลศาสตร์ของความเครียดดึงที่เพิ่มขึ้นในทุกครั้งหากว่ามีการบดทับด้วย จำนวนที่เยอะเพิ่มมากขึ้นและสามารถนำไปสู่การวิบัติได้เมื่อความเครียดดึงที่บริเวณดังกล่าวมีค่าสูง เกินไป



รูปที่ 4.2 ความเครียดตามแนวรัศมีของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์จากการทดสอบ UCS ก่อนและหลังการ สร้างรอยร้าวขนาดเล็กที่อายุ 3 และ 7 วัน

4.2 ผลการสำรวจรอยร้าวของพื้นทางดินซีเมนต์

จากการสังเกตพฤติกรรมของรอยร้าวในพื้นที่ทางดินซีเมนต์ ช่วงเวลาที่ 3 หลังจากการสร้างรอยร้าวพบรอยร้าวในแปลงควบคุมรอยร้าวขนาดเล็ก (ขนาดน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร) เป็นจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก ลักษณะของรอยร้าวแสดงดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ตามลำดับ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nakayama และ Handy [8] ที่กล่าวว่า การแตกในดินซีเมนต์นั้นไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้



รูปที่ 4.3 รอยร้าวในแปลงควบคุมที่อายุ 3 วัน



รูปที่ 4.4 รอยร้าวในแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กที่อายุ 3 วัน

จากการสังเกตพฤติกรรมของรอยร้าวแบบสะท้อนในวันที่ 3 พบว่าแปลงควบคุมเกิดรอยร้าวขนาดเล็กขึ้นและมีการเพิ่มจำนวนของรอยร้าวอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่แปลงทดสอบที่สร้างรอยร้าวขนาดเล็กมีการเพิ่มขนาดจำนวนและความยาวของรอยร้าวเช่นกัน แต่เล็กน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบ

กับแปลงควบคุม เมื่อพิจารณาจากความยาวของรอยร้าวที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่กำหนดขอบเขตของการพิจารณาไว้ที่พื้นที่ 1 ตารางเมตร แสดงดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 พบว่ารอยร้าวที่เกิดขึ้นในแปลงควบคุมหลังจาก 3 วันผ่านไปนั้น เกิดการพัฒนาความยาวขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในทางตรงกันข้ามพบว่า รอยร้าวบนพื้นทางดินซีเมนต์ที่เกิดขึ้นในแปลงที่สร้างรอยร้าวขนาดเล็กเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หลังจากนั้น 7 วันได้ตรวจสอบรอยร้าวทั้งสองแปลงทดสอบและพบว่ารอยร้าวที่เกิดขึ้นในแปลงควบคุมมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นตามอายุ ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับแปลงที่สร้างรอยร้าวขนาดเล็กพบว่าความยาวและจำนวนของรอยร้าวมีน้อยกว่าแปลงควบคุมอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงในรูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.5 รอยร้าวในแปลงควบคุมที่อายุ 7 วัน



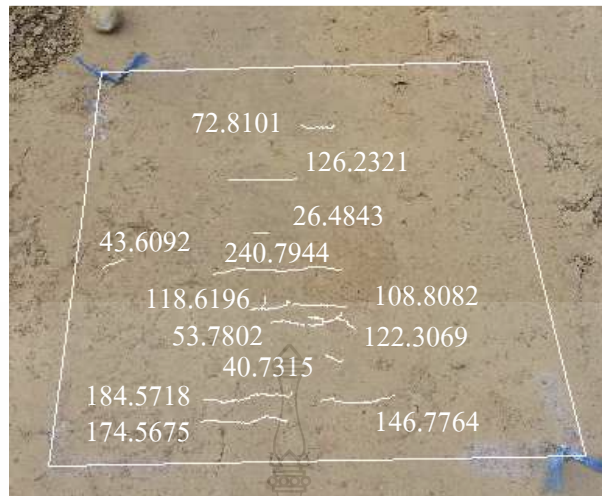
รูปที่ 4.6 รอยร้าวในแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กที่อายุ 7 วัน



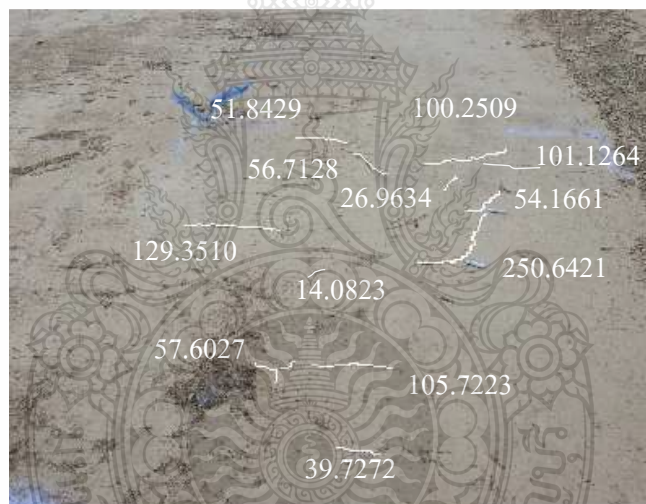
รูปที่ 4.7 ความยาวของรอยร้าวในพื้นที่ 1 ตารางเมตรจากแปลงควบคุมที่อายุ 3 วัน



รูปที่ 4.8 ความยาวของรอยร้าวในพื้นที่ 1 ตารางเมตรจากแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กที่อายุ 3 วัน

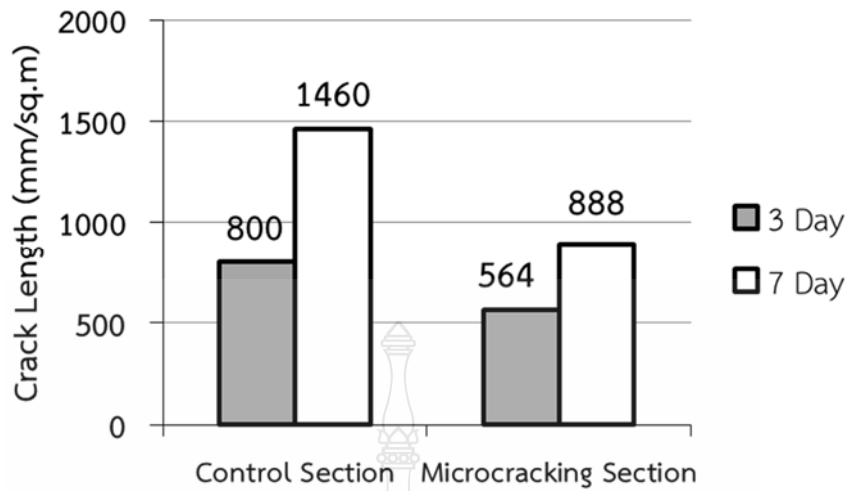


รูปที่ 4.9 ความยาวของรอยร้าวในพื้นที่ 1 ตารางเมตรจากแปลงควบคุมที่อายุ 7 วัน



รูปที่ 4.10 ความยาวของรอยร้าวในพื้นที่ 1 ตารางเมตรจากแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กที่อายุ 7 วัน

เมื่อพิจารณาความยาวโดยรวมของรอยร้าวที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของความยาวรอยร้าวจากแปลงควบคุมจากอายุ 3 วัน ไปยัง 7 วัน เพิ่มขึ้น 1.8 เท่า ในขณะที่แปลงสร้างรอยร้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 1.5 เท่าวิเคราะห์ได้ว่าวิธีการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กแสดงแนวโน้มการลดลงของรอยร้าวในพื้นที่ทางดินซีเมนต์ได้ดี ซึ่งช่วยลดปัญหาการเกิดรอยร้าวที่รุนแรงและลุกลามไปสู่ชั้นผิวทางได้เมื่อมีการปูผิวจราจร



รูปที่ 4.11 รอยร้าวจากแปลงทดสอบ

เมื่อพิจารณาความรุนแรงของรอยร้าวในพื้นที่ทางดินซีเมนต์ที่อายุ 20 วัน ดังรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 พบว่ารอยร้าวในแปลงควบคุมมีความกว้างของรอยร้าวมากกว่า 3 มิลลิเมตร (Major Cracks) ในขณะที่แปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กไม่พบรอยร้าวที่มีความกว้างมากกว่า 3 มิลลิเมตร ซึ่งกล่าวได้ว่ากระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กในพื้นที่ทางดินซีเมนต์นอกจากจะลดจำนวนและความยาวของรอยร้าวแล้ว ยังช่วยลดระดับความรุนแรงของรอยร้าวได้



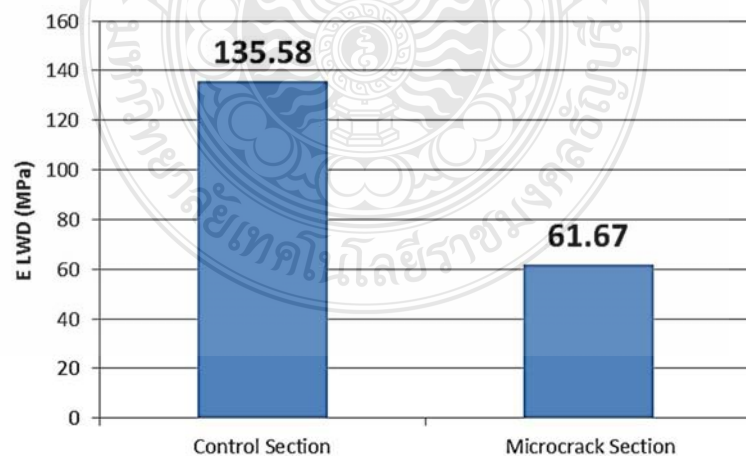
รูปที่ 4.12 สภาพผิวของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ที่เกิดความรุนแรงจนเป็นเหตุให้ชั้นพื้นทางเสียหาย



รูปที่ 4.13 สภาพผิวของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ที่ไม่พบรอยร้าวแบบสะท้อนในแปลงสร้างรอยร้าว

4.3 ผลการทดสอบความแข็งแรงของพื้นทางดินซีเมนต์

จากการประเมินความแข็งแรงด้วยเครื่องมือทดสอบแบบไม่ทำลาย LWD ในพื้นทางดินซีเมนต์ที่อายุ 20 วัน จากรูปที่ 4.14 พบว่าในแปลงควบคุมจะมีความแข็งแรงที่สูงกว่าแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กถึง 2.2 เท่า ซึ่งพอจะประเมินความแข็งแรงได้ว่าในพื้นที่ทางดินซีเมนต์ที่สร้างรอยร้าวขนาดเล็กโดยการบดอัดด้วยรถบดล้อเหล็กสันสะเทือนขนาด 19 ตัน 3 เทียว ทำให้สภาพภายในโครงสร้างพื้นทางเกิดความเสียหายมากเกินไปจนทำให้การพัฒนากำลังของดินซีเมนต์ถูกรบกวน



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบความแข็งแรงโดยรวมของพื้นทางดินซีเมนต์โดยรวมที่อายุ 20 วัน

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของพื้นทางดินซีเมนต์โดยการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก ด้วยรถบดล้อเหล็กสันสะเทือนขนาด 19 ตัน จำนวน 3 เที่ยว สามารถนำมาสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

5.1.1 จากการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินซีเมนต์เบื้องต้นในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ม.204/2556 “มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์” พบว่าตัวอย่างดินซีเมนต์ที่อายุ 3 และ 7 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด โดยที่ค่ากำลังรับแรงอัดในแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กจะมีค่าต่ำกว่าแปลงควบคุมทั้งหมด

5.1.2 จากการสำรวจด้วยตาเปล่าในแปลงทดสอบในสนามพบว่ากระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กสามารถลดจำนวนและความยาวของรอยร้าวที่เกิดขึ้นบนชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ได้อย่างชัดเจน รวมทั้งยังสามารถลดระดับความรุนแรงของรอยร้าวที่เกิดขึ้นได้ โดยพบว่าในแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กไม่พบรอยร้าวที่มีความกว้างมากกว่า 3 มิลลิเมตร ส่งผลให้ในระยะยาวหากทำการปูผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแล้วเสร็จ จะสามารถช่วยลดโอกาสในการเกิดรอยแตกแบบสะท้อนขึ้นมายังชั้นผิวทางได้

5.1.3 จากค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ที่ได้จากค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว พบว่าความแข็งแรงของพื้นทางดินซีเมนต์ที่อายุ 3 วัน ลดลงไม่ถึงค่าที่แนะนำตามงานศึกษาของ Scullion ที่ร้อยละ 60 และเมื่อทำการตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างโดยรวมด้วยเครื่องวัดค่าการยุบตัวด้วยคัมกระแทกแบบเบาที่อายุ 20 วัน แสดงให้เห็นถึงความไม่เหมาะสมของกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กในเทอมของความแข็งแรง เนื่องมาจากกำลังของโครงสร้างโดยรวมในแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กยังคงมีค่าต่ำกว่าในแปลงควบคุมอยู่ถึงหนึ่ง อาจคาดการณ์ได้ว่ามีสาเหตุมาจากน้ำหนักของรถบดล้อเหล็กสันสะเทือนที่มีค่าสูงเกินไป ดังนั้นเพื่อผลลัพธ์ในการลดรอยร้าวขนาดเล็กและพื้นทางดินซีเมนต์ยังคงมีกำลังที่ดีควรปรับลดจำนวนเที่ยวในการบดอัดเพิ่มเติมให้น้อยกว่า 3 เที่ยว

5.1.4 จากวิธีการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างในกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กพบว่าการประเมินตรวจสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นด้วยเครื่องวัดค่าการยุบตัวด้วยตุ้มกระแทกแบบเบา มีความเหมาะสม และรวดเร็วกว่าการทดสอบหาค่ารับแรงอัดแบบแกนเดียว ซึ่งเป็นวิธีที่ระบุตามมาตรฐานงานทางในปัจจุบัน อีกทั้งการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่อายุ 3 และ 7 วัน ให้ผลลัพธ์ที่ไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมของโครงสร้างที่แท้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบด้วยเครื่องวัดค่าการยุบตัวด้วยตุ้มกระแทกแบบเบาที่สามารถประเมินความแข็งแรงในที่ได้ทันที

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการเปรียบเทียบวิธีการประเมินความแข็งแรงในที่ด้วยเครื่องวัดค่าการยุบตัวด้วยตุ้มกระแทกแบบเบากับการทดสอบหาค่ารับน้ำหนักแกนเดียว ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานงานทางของกรมทางหลวง เพื่อพัฒนาวิธีการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมและความแข็งแรงของพื้นทางดินซีเมนต์ในที่มีแนวโน้มเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ควรทำการศึกษาเปรียบเทียบกับวิธีการประเมินความแข็งแรงในรูปแบบอื่นๆเพิ่มเติม เช่น การทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) การทดสอบด้วยวิธี Plate Bearing หรือวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายในรูปแบบอื่นๆ เป็นต้น นอกจากนี้ควรทำการศึกษาผลกระทบที่ตามมาหลังจากการปูผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเสร็จสิ้น เพื่อประเมินผลลัพธ์ที่แท้จริงจากการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก

บรรณานุกรม

- [1] ชีระชาติ รื่นไกรฤกษ์, 2531. “การออกแบบก่อสร้างทาง Soil cement” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ปีที่ 41 ฉบับที่ 5
- [2] Ruenkairergsa, T., 1982 “principle of Soil Stabilization” Group Training in Road Construction, Department of Highways, Bangkok, Thailand.
- [3] Asphalt Zipper, *Improving Long-Term Performance of Cement-Treated Aggregate Base Materials (online)*, Available: <http://asphaltzipper.com/resources/studies/cement-treated-aggregates> (2 June 2016).
- [4] Sebesta, S. and Scullion, T., Effectiveness of Minimizing Reflective Cracking in Cement-Treated Bases by Microcracking, Texas : FHWA/TX-05/0-4502-1, 2004.
- [5] จิรพัฒน์ ไซติกไกร, การออกแบบทาง, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.
- [6] กลุ่มงานตรวจสอบและแนะนำวัสดุสร้างทาง, การออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์, สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ, กรมทางหลวง, 2557.
- [7] นิโรจน์ เงินพรหม, “การศึกษาคุณสมบัติของชั้นทางผสมดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และตะกรันเหล็ก,” RMUTP Research Journal, ฉบับที่ 4, หน้า 25-31, 2553.
- [8] Nakayama, H., and Handy, R.L., 1965, “Factors Influencing Shrinkage of Soil-Cement,” Highway Research Record No. 86, Vol. 3, pp. 15-27,
- [9] Norling, L.T., 1973 “Minimizing Reflective Cracks in Soil-Cement Pavement,” Highway Research Record No. 442, Vol. 10, pp. 22-32.
- [10] Otte, E., 1973 “A Comparison of the Equivalent Elastic Modulus as Measured by the Plate Bearing and Benkelman Beam Tests,” NITRR Technical Report, pp.15-25.
- [11] George, K.P., 1971, “Shrinkage Cracking of Soil-Cement Base : Theoretical and Model Studies,” Highway Research Record 351, Vol. 6, pp. 115-133.
- [12] George, K.P. 1968, “Cracking in Cement-Treated Bases and Means for Minimizing It,” Highway Research Record No. 225, Vol. 4, pp. 59-71.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [13] Lilley, A.A. and Williams, R.I.T., 1973, "Cement-Stabilized Materials in Great Britain," Highway Research Record No. 442, Vol. 7, pp. 230-240.
- [14] Yamanouchi, T., 1973 "Some Studies on the Cracking of Soil-Cement in Japan," Highway Research Record No. 442, Vol. 10, pp. 83-90.
- [15] Litaka, L. and Haslehner, W. "Cold In-Place Recycling on Low-Volume Road in Austria," in the 6th International conference on Low-Volume Road, Minnesota, 1995, pp.189-194.
- [16] Scullion, T., "Pre Cracking of Soil-Cement Bases to Reduce Reflective Cracking", Transportation Research Board, Washington, D.C., 2001.
- [17] Sunitsakul, J., Sawatparnich, A., Apimeteetamrong, S. and Faikatok, T., "Microcracks to Reduce Reflective Crack in Soil Cement Road in Thailand," Bureau of Road Research and Development, Department of Highways, 2007.
- [18] สันชัย อินทพิชัย และ พานิชย์ วุฒิพฤกษ์, *ปฏิวัติกลศาสตร์*, ครั้งที่ 1. 2547. กรุงเทพฯ: สกายบุ๊กส์, 2547.
- [19] กลุ่มงานตรวจสอบและแนะนำวัสดุสร้างทาง, *คู่มือปฏิบัติงานทดลอง : งานดินและวัสดุมวลรวม, สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ, กรมทางหลวง, 2555.*
- [20] Jaritngam, S., Yandell, W.O. and Taneerananon, P., Development of Strength Model of Lateritic Soil-Cement. *Engineering Journal*, Vol.7, pp.69-77, 2013.
- [21] A Review of the lightweight Deflotometer (LWD) for routine assessment of Pavement material, TRB 2007 Annual Meeting, 2009.
- [22] Bitumen Business Group, *BISAR 3.0 User Manual*. [n.p.] 1997.
- [23] Sebesta, S. and Scullion, T. "Effectiveness of Minimizing Reflective Cracking in Cement – Treated Bases by Microcracking," Texas Transportation Institute, 2004.
- [24] Adaska, W. S. and Luhr, D. R. "Control of Reflective Cracking in Cement Stabilized Pavements," in the 5th International RILEM Conference, Limoges, France, 2004.

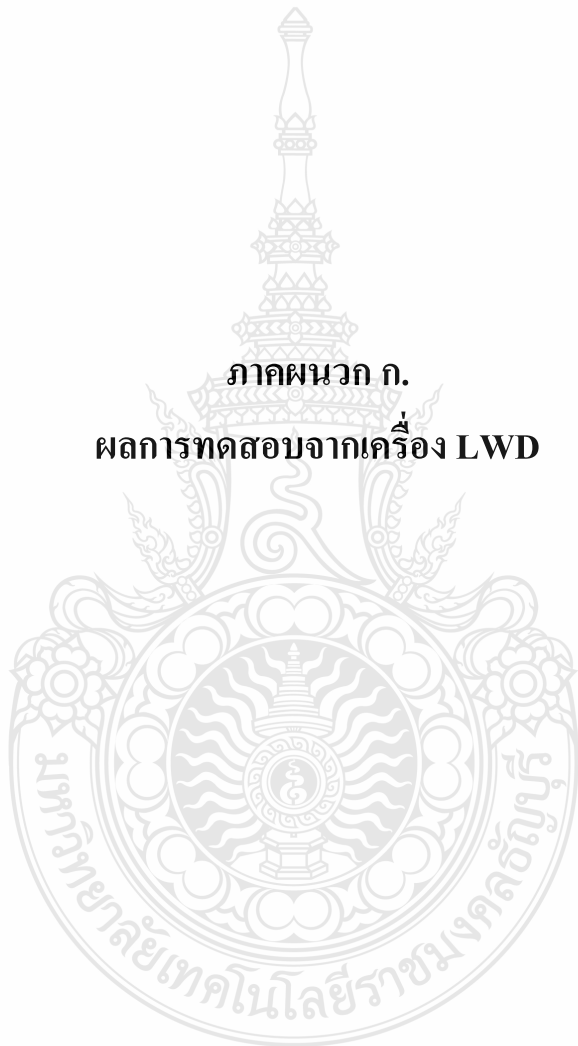
บรรณานุกรม (ต่อ)

- [25] Nazzal, M., Farsakh, M.A., Alshibli, K.A. and Mohammad, L., Evaluatiing the Potentail Use of A Portable LFWD for Characterizing Pavement Layers and Subgrades. Geotechnical Engineering for Transportation Projects, Geo-Trans 2004, Vol.1, No.5, pp.915-924, 2004.
- [26] Scullion, T., Uzan, J., Hillbrich, S., and Chen, P. “Thickness Desigh System for Pavements Containing Soil – Cement Bases” Research & Development Information, PCA R&D SN2863, Portland Cement Association (PCA) 2008.
- [27] สุเชษฐ์ เอี่ยมเมษ. “ความคทนของดินซีเมนต์,” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, 2531.
- [28] ศิริพงษ์ ทรงศิริ. “การวิเคราะห์โครงสร้างถนนที่มีดินซีเมนต์ที่แตกเป็นพื้นทางและรองพื้นทาง,” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, 2534.
- [29] วสันต์ ปั้นสังข์, บารเมศ วรรณะภูติ, กฤษณะ เพ็ญสมบุรณ์ และจิรโรจน์ ศุภรัตน์. “คุณสมบัติด้านความคทนและความแข็งแรงของวัสดุชั้นพื้นทางที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์,” “วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 74, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2553.
- [30] ทรงพล บุญมาดี, ความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive Strength กับ Unsoaked CBR ของดินลูกรังผสมซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขา วิศวกรรมโยธาสถาบันพระจอมเกล้าธนบุรี 2559.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก.
ผลการทดสอบจากเครื่อง LWD



ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบ LWD ในแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก

Dia=100 Poi=0.200

No.	date time	P ₀ N	D ₀ mm	K-TML MN/m ³	E-TML MN/m ²
1	2/7/2016 19:29	4207	3.967	45	13
2	2/7/2016 19:29	4743	2.51	80	23
3	2/7/2016 19:29	4931	2.113	99	29
4	2/7/2016 19:30	5009	1.947	109	31
5	2/7/2016 19:30	5400	2.201	104	30
6	2/7/2016 19:30	5533	1.355	173	50
7	2/7/2016 19:30	5583	1.211	196	56
8	2/7/2016 19:31	5603	1.115	213	61
9	2/7/2016 19:31	5684	1.793	135	39
10	2/7/2016 19:31	5262	0.798	280	81
11	2/7/2016 19:31	5351	0.913	249	72
12	2/7/2016 19:31	5320	0.8	282	81
13	2/7/2016 19:32	6168	1.696	154	44
14	2/7/2016 19:32	5058	0.768	280	81
15	2/7/2016 19:32	4978	0.709	298	86
16	2/7/2016 19:32	5017	0.688	309	89

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบ LWD ในแปลงควบคุม

Dia=100 Poi=0.200

No.	date time	P ₀ N	D ₀ mm	K-TML MN/m ³	E-TML MN/m ²
1	2/7/2016 19:33	6295	1.147	233	67
2	2/7/2016 19:33	5007	0.542	392	113
3	2/7/2016 19:33	4964	0.512	411	119
4	2/7/2016 19:33	5024	0.515	414	119
5	2/7/2016 19:34	5550	0.773	305	88
6	2/7/2016 19:34	5021	0.353	604	174
7	2/7/2016 19:34	5050	0.318	674	194
8	2/7/2016 19:34	4976	0.331	638	184
9	2/7/2016 19:35	6690	1.321	215	62
10	2/7/2016 19:35	4962	0.458	460	132
11	2/7/2016 19:35	4974	0.429	492	142
12	2/7/2016 19:36	6178	1.009	260	75
13	2/7/2016 19:36	6496	1.689	163	47
14	2/7/2016 19:36	5000	0.568	374	108
15	2/7/2016 19:36	4979	0.556	380	109
16	2/7/2016 19:36	5167	0.656	334	96

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบ LWD ชั้นดินเดิม

Dia=100 Poi=0.200

No.	date time	P ₀ N	D ₀ mm	K-TML MN/m ³	E-TML MN/m ²
1	2/7/2016 19:38	4571	3.312	59	17
2	2/7/2016 19:38	5114	1.722	126	36
3	2/7/2016 19:38	5271	1.459	153	44
4	2/7/2016 19:38	5360	1.423	160	46
5	2/7/2016 19:42	5284	1.21	185	53
6	2/7/2016 19:42	4792	3.733	54	16
7	2/7/2016 19:43	5347	1.557	146	42
8	2/7/2016 19:43	5443	1.418	163	47
9	2/7/2016 19:43	5499	1.333	175	50
10	2/7/2016 19:43	5532	1.261	186	54
11	2/7/2016 19:44	4288	3.721	49	14
12	2/7/2016 19:44	4686	2.137	93	27
13	2/7/2016 19:44	4863	1.943	106	31
14	2/7/2016 19:44	4955	1.832	115	33
15	2/7/2016 19:45	5039	1.697	126	36
16	2/7/2016 19:45	4038	4.527	38	11
17	2/7/2016 19:45	4524	2.67	72	21
18	2/7/2016 19:46	4747	2.335	86	25
19	2/7/2016 19:46	4871	2.236	92	27
20	2/7/2016 19:46	4916	2.139	98	28
21	2/7/2016 19:47	5054	2.027	106	30

ภาคผนวก ข.

ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม BISAR 3.0

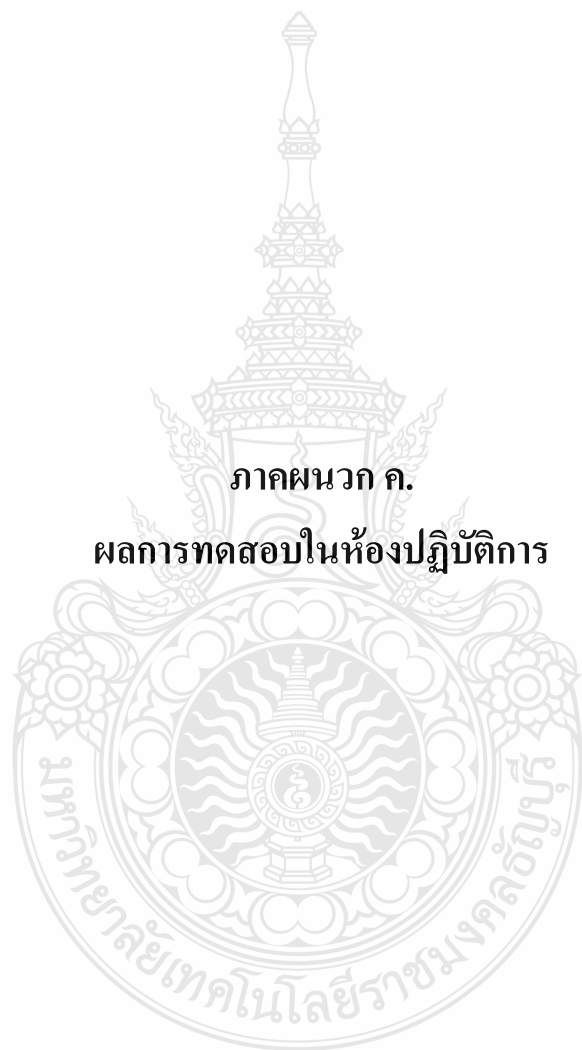


ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์กรณีหลังการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก

Project:	Tum MTS												
Calculated:	13/7/2016 5:41												
System:	Microcracking Section												
Layer Number	Thickness (m)	Modulus Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horz. (Shear) Load (kN)	Horz. (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coordinate (m)	Y-Coordinate (m)	Shear Angle (Degrees)	
1	0.15	340.00	0.20	1.00	40.40	0.57	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	
2		37.10	0.40										
Position Number	Layer Number	X-Coordinate (m)	Y-Coordinate (m)	Depth (m)	Stress XX (MPa)	Stress YY (MPa)	Stress ZZ (MPa)	Strain XX (µstrain)	Strain YY (µstrain)	Strain ZZ (µstrain)	Displacement UX (µm)	Displacement UY (µm)	Displacement UZ (µm)
1	1	0.00	0.00	0.00	-0.87	-0.87	-0.57	-1701.00	-1701.00	-658.40	0.00	0.00	1934.00
2	1	0.00	0.00	0.03	-0.57	-0.57	-0.55	-1015.00	-1015.00	-949.30	0.00	0.00	1913.00
3	1	0.00	0.00	0.05	-0.31	-0.31	-0.49	-443.50	-443.50	-1086.00	0.00	0.00	1888.00
4	1	0.00	0.00	0.08	-0.09	-0.09	-0.41	39.91	39.92	-1108.00	0.00	0.00	1860.00
5	1	0.00	0.00	0.10	0.13	0.13	-0.32	484.90	484.90	-1083.00	0.00	0.00	1833.00
6	1	0.00	0.00	0.13	0.35	0.35	-0.24	956.50	956.50	-1103.00	0.00	0.00	1806.00
7	1	0.00	0.00	0.15	0.60	0.60	-0.19	1528.00	1528.00	-1265.00	0.00	0.00	1776.00
8	2	0.00	0.00	0.15	-0.03	-0.03	-0.19	1528.00	1528.00	-4416.00	0.00	0.00	1776.00

ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์กรณีก่อนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก

Project:	(untitled)												
Calculated:	11/7/2016 0:40												
System:	Before												
Layer Number	Thickness (m)	Modulus Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Vertical Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horz. (Shear) Load (kN)	Horz. (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coordinate (m)	Y-Coordinate (m)	Shear Angle (Degrees)	
1	0.15	5.84E+02	0.2	1	4.04E+01	5.70E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.50E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	
2		3.71E+01	0.4										
					0.211601		312.00	0.271068636					
Position Number	Layer Number	X-Coordinate (m)	Y-Coordinate (m)	Depth (m)	Stress XX (MPa)	Stress YY (MPa)	Stress ZZ (MPa)	Strain XX (µstrain)	Strain YY (µstrain)	Strain ZZ (µstrain)	Displacement UX (µm)	Displacement UY (µm)	Displacement UZ (µm)
1	1	0.00	0.00	0.00	-1.03	-1.03	-0.57	-1217.00	-1217.00	-269.70	0.00	0.00	1637.00
2	1	0.00	0.00	0.03	-0.67	-0.67	-0.55	-733.10	-733.10	-475.40	0.00	0.00	1628.00
3	1	0.00	0.00	0.05	-0.36	-0.36	-0.48	-325.70	-325.70	-578.00	0.00	0.00	1614.00
4	1	0.00	0.00	0.08	-0.08	-0.08	-0.39	27.28	27.30	-608.30	0.00	0.00	1599.00
5	1	0.00	0.00	0.10	0.19	0.19	-0.28	360.50	360.50	-614.20	0.00	0.00	1584.00
6	1	0.00	0.00	0.13	0.48	0.48	-0.19	718.40	718.40	-656.40	0.00	0.00	1568.00
7	1	0.00	0.00	0.15	0.80	0.80	-0.15	1151.00	1151.00	-801.70	0.00	0.00	1550.00
8	2	0.00	0.00	0.15	-0.03	-0.03	-0.15	1151.00	1151.00	-3381.00	0.00	0.00	1550.00



ภาคผนวก ค.

ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ ก.1 Unconfined Compression Test ชุดตัวอย่างที่ 1

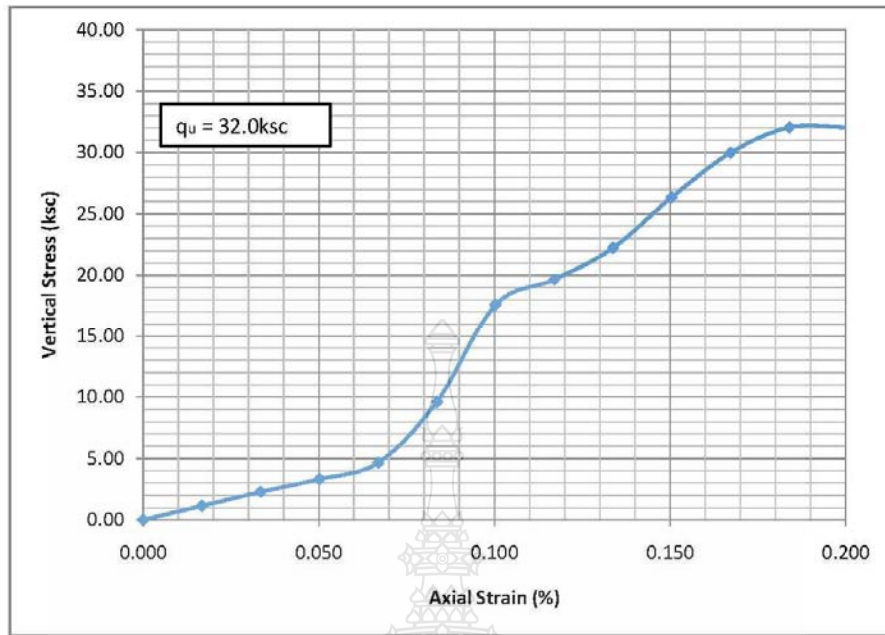
Load Ring Constant :		8.03	kg / div	Load ring Number :		
Specimen						
Diameter (cm)		Area (cm ²)		Height (cm)		
9.988		78.351		12.760		
Water Content				Sampel Volume :	919.10	(cm ³)
Wt. Of Water :	24.45	g	Wet Density :	2.24	g/cm ³	
Wt. Of Dry Soil :	142.9	g	Dry Density :	1.91	g/cm ³	
Water Content :	16.96	%	Weigth of Sample :	2062.08	g	
UNCONFINED COMPRESSIVE TEST						
Deformation Dial Reading	Vertical Deformation(mm)	Axial Strain %	Corrected area cm ²	Load Proving Ring (div)	Axial Load kg	Vertical Stress (ksc)
0	0.00	0.000	78.351	0	0.00	0.00
20	0.20	0.016	78.364	11	88.33	1.13
40	0.40	0.031	78.376	22	176.66	2.25
60	0.60	0.047	78.388	32	256.96	3.28
80	0.80	0.063	78.401	45	361.35	4.61
100	1.00	0.078	78.413	93	746.79	9.52
120	1.20	0.094	78.425	170	1365.10	17.41
140	1.40	0.110	78.437	190	1525.70	19.45
160	1.60	0.125	78.450	215	1726.45	22.01
180	1.80	0.141	78.462	255	2047.65	26.10
200	2.00	0.157	78.474	290	2328.70	29.67
220	2.20	0.172	78.487	310	2489.30	31.72
240	2.40	0.188	78.499	310	2489.30	31.71
260	2.60	0.204	78.511	310	2489.30	31.71

ตารางที่ ก.2 Unconfined Compression Test ชุดตัวอย่างที่ 2

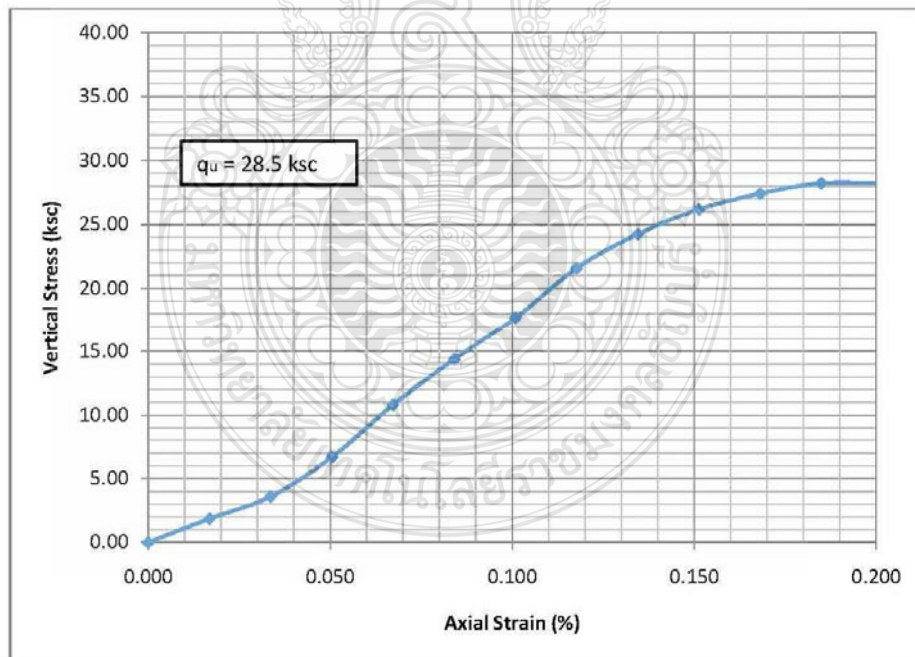
kg						
8.03 /			Load ring Number :			
Load Ring Constant :			div			
Specimen						
Diameter (cm)		Area (cm ²)			Height (cm)	
9.937		77.553			11.960	
Water Content				Sampel Volume : (cm ³) 927.6581163 cm ³		
Wt. Of Water :	24.56	g	Wet Density : 2.24 g/cm ³			
Wt. Of Dry Soil :	142.2	g	Dry Density : 1.91 g/cm ³			
Water Content :	17.27	%	Weigh of Sample : 2085.55 g			
UNCONFINED COMPRESSIVE TEST						
Deformation Dial Reading	Vertical Deformation(mm)	Axial Strain %	Corrected area cm ²	Load Proving Ring (div)	Axial Load kg	Vertical Stress (ksc)
0	0.00	0.000	77.553	0	0.00	0.00
20	0.20	0.017	77.566	18	144.54	1.86
40	0.40	0.033	77.579	35	281.05	3.62
60	0.60	0.050	77.592	65	521.95	6.73
80	0.80	0.067	77.605	105	843.15	10.86
100	1.00	0.084	77.618	140	1124.20	14.48
120	1.20	0.100	77.631	172	1381.16	17.79
140	1.40	0.117	77.644	210	1686.30	21.72
160	1.60	0.134	77.657	236	1895.08	24.40
180	1.80	0.151	77.670	255	2047.65	26.36
200	2.00	0.167	77.683	267	2144.01	27.60
220	2.20	0.184	77.696	275	2208.25	28.42
240	2.40	0.201	77.709	275	2208.25	28.42
260	2.60	0.217	77.722	275	2208.25	28.41

ตารางที่ ก.3 Unconfined Compression Test ชุดตัวอย่างที่ 3

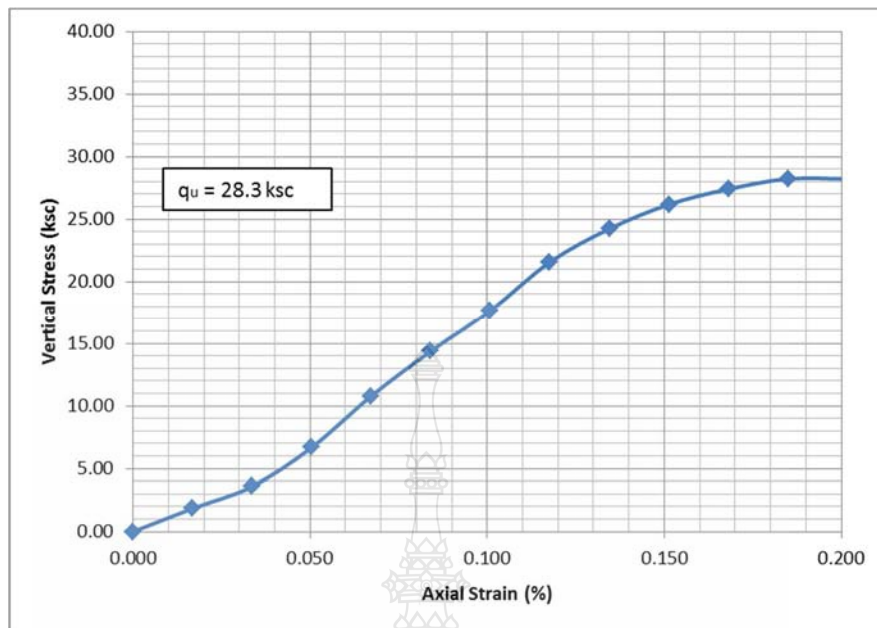
Load Ring Constant :		8.03	kg / div	Load ring Number :		
Specimen						
Diameter (cm)		Area (cm ²)		Height (cm)		
9.972		78.101		11.897		
Water Content				Sampel Volume : 929.2834242 cm ³		
Wt. Of Water :		24.52	g	Wet Density : 2.24 g/cm ³		
Wt. Of Dry Soil :		142.9	g	Dry Density : 1.91 g/cm ³		
Water Content :		17.16	%	Weigth of Sample : 1998.13 g		
UNCONFINED COMPRESSIVE TEST						
Deformation Dial Reading	Vertical Deformation(mm)	Axial Strain %	Correcte d area cm ²	Load Proving Ring (div)	Axial Load kg	Vertica l Stress (ksc)
0	0.00	0.000	78.101	0	0.00	0.00
20	0.20	0.017	78.114	18	144.54	1.85
40	0.40	0.034	78.127	35	281.05	3.60
60	0.60	0.050	78.140	65	521.95	6.68
80	0.80	0.067	78.153	105	843.15	10.79
100	1.00	0.084	78.166	140	1124.20	14.38
120	1.20	0.101	78.179	172	1381.16	17.67
140	1.40	0.118	78.193	210	1686.30	21.57
160	1.60	0.134	78.206	236	1895.08	24.23
180	1.80	0.151	78.219	255	2047.65	26.18
200	2.00	0.168	78.232	267	2144.01	27.41
220	2.20	0.185	78.245	275	2208.25	28.22
240	2.40	0.202	78.258	275	2208.25	28.22
260	2.60	0.219	78.272	275	2208.25	28.21



รูปที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและหน่วยแรงตามแนวดิ่ง ชุดตัวอย่างที่ 1



รูปที่ ค.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและหน่วยแรงตามแนวดิ่ง ชุดตัวอย่างที่ 2



รูปที่ ค.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและหน่วยแรงตามแนวดิ่ง ชุดตัวอย่างที่ 3

ตารางที่ ค.4 แสดงค่าเฉลี่ยของ q_u ที่อายุ 3 วัน ในแปลงควบคุม

ชุดก่อนตัวอย่างที่	ปริมาณ%ซีเมนต์	Opt Moisture (%)	ค่า UCS Kg/cm ²
1	8%	16.96	32.0
2	8%	17.27	28.5
3	8%	17.16	28.2
Average UCS Kg/cm²			<u>29.57</u>

ตารางที่ ค.5 Unconfined Compression Test ชุดตัวอย่างที่ 4

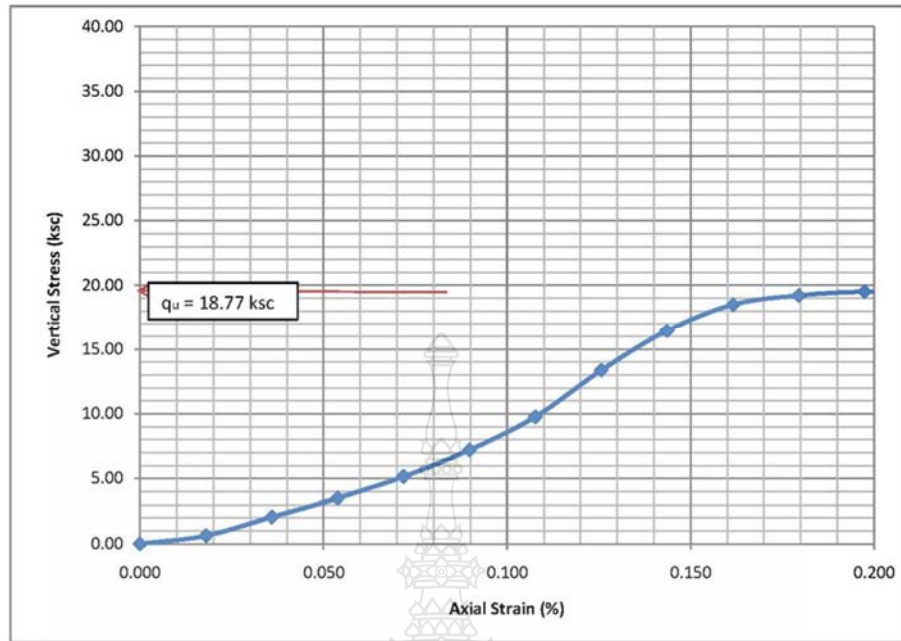
RING INFORMATION						
Load Ring Constant :		8.03	kg / div	Load ring Number :		
Specimen						
Diameter (cm)		Area (cm ²)		Height (cm)		
9.966		78.007		11.140		
Water Content				Sampel Volume 869.1067959 cm ³		
Wt. Of Water :	24.35	g	Wet Density : 2.24 g/cm ³			
Wt. Of Dry Soil :	137.8	g	Dry Density : 1.91 g/cm ³			
Water Content :	17.67	%	Weigth of Sample : 1990.3			
UNCONFINED COMPRESSIVE TEST						
Deformation Dial Reading	Vertical Deformation(mm)	Axial Strain %	Corrected area cm ²	Load Proving Ring (div)	Axial Load kg	Vertical Stress (ksc)
0	0.00	0.000	78.007	0	0.00	0.00
20	0.20	0.018	78.021	6	48.18	0.62
40	0.40	0.036	78.035	20	160.60	2.06
60	0.60	0.054	78.049	34	273.02	3.50
80	0.80	0.072	78.063	50	401.50	5.14
100	1.00	0.090	78.077	70	562.10	7.20
120	1.20	0.108	78.091	95	762.85	9.77
140	1.40	0.126	78.105	130	1043.90	13.37
160	1.60	0.144	78.119	160	1284.80	16.45
180	1.80	0.162	78.133	180	1445.40	18.50
200	2.00	0.180	78.147	187	1501.61	19.22
220	2.20	0.197	78.161	190	1525.70	19.52
240	2.40	0.215	78.175	190	1525.70	19.52
260	2.60	0.233	78.189	190	1525.70	19.51

ตารางที่ ๓.6 Unconfined Compression Test ชุดตัวอย่างที่ 5

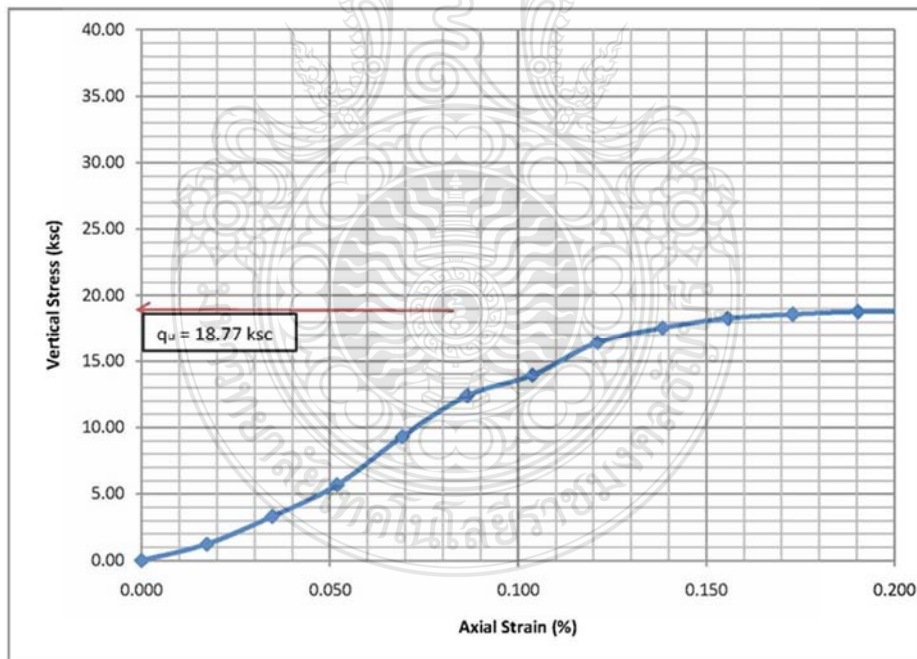
RING INFORMATION						
Load Ring Constant :		8.03 kg / div		Load ring Number :		
Specimen						
Diameter (cm)		Area (cm ²)		Height (cm)		
9.945		77.678		11.560		
Water Content				Sampel Volume 898.0770501 cm ³		
Wt. Of Water :	24.66	g		Wet Density :	2.24	g/cm ³
Wt. Of Dry Soil :	143.11	g		Dry Density :	1.91	g/cm ³
Water Content :	17.23	%		Weigth of Sample :	1987.6	
UNCONFINED COMPRESSIVE TEST						
Deformation Dial Reading	Vertical Deformation(mm)	Axial Strain %	Corrected area cm ²	Load Proving Ring (div)	Axial Load kg	Vertical Stress (ksc)
0	0.00	0.000	77.678	0	0.00	0.00
20	0.20	0.017	77.692	12	96.36	1.24
40	0.40	0.035	77.705	32	256.96	3.31
60	0.60	0.052	77.719	55	441.65	5.68
80	0.80	0.069	77.732	90	722.70	9.30
100	1.00	0.087	77.745	120	963.60	12.39
120	1.20	0.104	77.759	135	1084.05	13.94
140	1.40	0.121	77.772	159	1276.77	16.42
160	1.60	0.138	77.786	170	1365.10	17.55
180	1.80	0.156	77.799	177	1421.31	18.27
200	2.00	0.173	77.813	180	1445.40	18.58
220	2.20	0.190	77.826	182	1461.46	18.78
240	2.40	0.208	77.840	182	1461.46	18.78
260	2.60	0.225	77.853	182	1461.46	18.77

ตารางที่ ค.7 Unconfined Compression Test ชุดตัวอย่างที่ 6

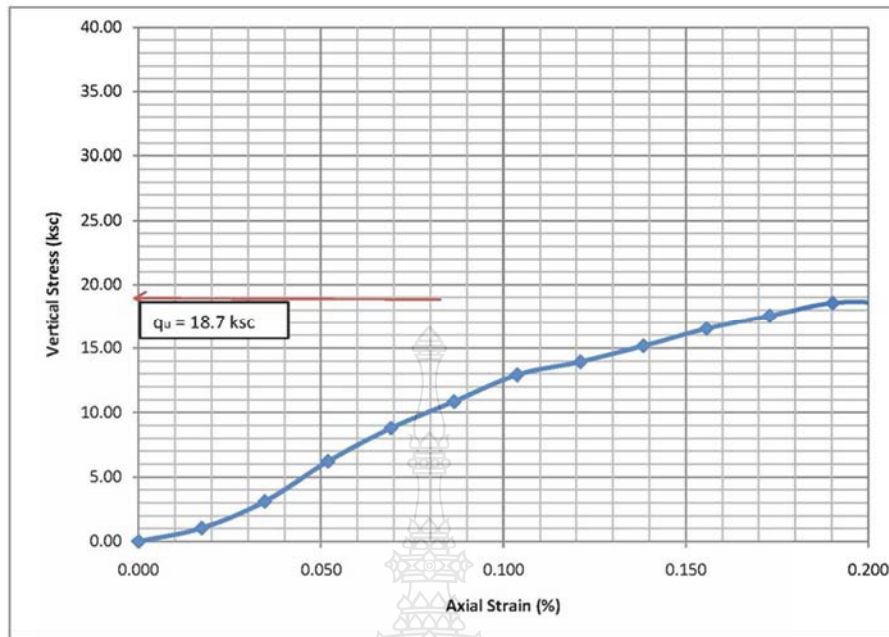
RING INFORMATION						
Load Ring Constant :		8.03 kg / div		Load ring Number :		
Specimen						
Diameter (cm)		Area (cm ²)		Height (cm)		
9.945		77.678		11.560		
Water Content				Sampel Volume 898.0770501 cm ³		
Wt. Of Water :	24.66	g		Wet Density :	2.24	g/cm ³
Wt. Of Dry Soil :	143.11	g		Dry Density :	1.91	g/cm ³
Water Content :	17.23	%		Weighth of Sample :	1987.6	
UNCONFINED COMPRESSIVE TEST						
Deformation Dial Reading	Vertical Deformation(mm)	Axial Strain %	Corrected area cm ²	Load Proving Ring (div)	Axial Load kg	Vertical Stress (ksc)
0	0.00	0.000	77.678	0	0.00	0.00
20	0.20	0.017	77.692	10	80.30	1.03
40	0.40	0.035	77.705	30	240.90	3.10
60	0.60	0.052	77.719	60	481.80	6.20
80	0.80	0.069	77.732	85	682.55	8.78
100	1.00	0.087	77.745	105	843.15	10.85
120	1.20	0.104	77.759	125	1003.75	12.91
140	1.40	0.121	77.772	135	1084.05	13.94
160	1.60	0.138	77.786	147	1180.41	15.18
180	1.80	0.156	77.799	160	1284.80	16.51
200	2.00	0.173	77.813	170	1365.10	17.54
220	2.20	0.190	77.826	180	1445.40	18.57
240	2.40	0.208	77.840	180	1445.40	18.57
260	2.60	0.225	77.853	180	1445.40	18.57



รูปที่ ค.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและหน่วยแรงตามแนวตั้ง ชุดตัวอย่างที่ 4



รูปที่ ค.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและหน่วยแรงตามแนวตั้ง ชุดตัวอย่างที่ 5



รูปที่ ค.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและหน่วยแรงตามแนวดิ่ง ชุดตัวอย่างที่ 6

ตารางที่ ค.8 แสดงค่าเฉลี่ยของ q_u ที่อายุ 3 วัน ในแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก

ชุดก่อนตัวอย่างที่	ปริมาณ%ซีเมนต์	Opt Moisture (%)	ค่า UCS Kg/cm ²
4	8%	17.67	18.77
5	8%	17.23	18.78
6	8%	17.24	18.70
Average UCS Kg/cm²			18.75

ตารางที่ ก.9 Unconfined Compression Test ชุดตัวอย่างที่ 7

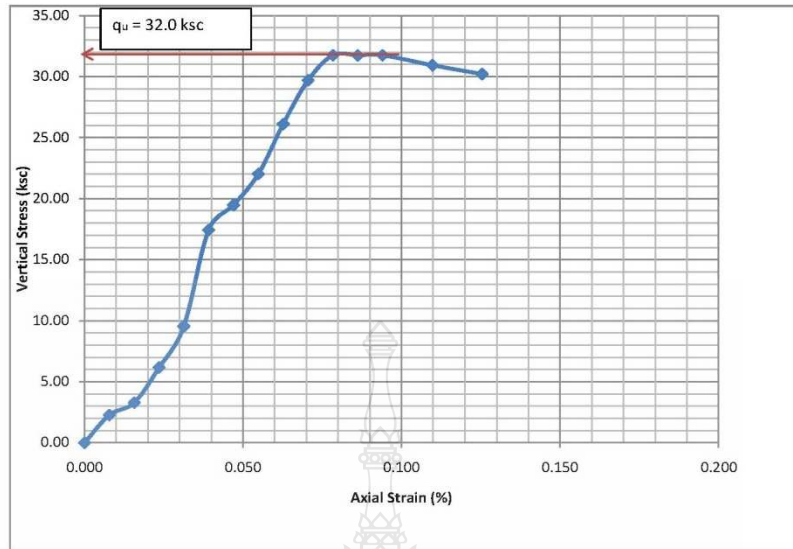
RING INFORMATION						
Load Ring Constant :		8.03	kg / div	Load ring Number :		
Specimen						
Diameter (cm)		Area (cm ²)		Height (cm)		
9.988		78.351		12.760		
Water Content				Sampel Volume : 999.75 (cm ³)		
Wt. Of Water :	24.58	g		Wet Density :	2.11	g/cm ³
Wt. Of Dry Soil :	164.25	g		Dry Density :	1.84	g/cm ³
Water Content :	14.96	%		Weigth of Sample :	2115.61	g
UNCONFINED COMPRESSIVE TEST						
Deformation Dial Reading	Vertical Deformation(mm)	Axial Strain %	Corrected area cm ²	Load Proving Ring (div)	Axial Load kg	Vertical Stress (ksc)
0	0.00	0.000	78.351	0	0.00	0.00
10	0.10	0.008	78.358	22	176.66	2.25
20	0.20	0.016	78.364	32	256.96	3.28
30	0.30	0.024	78.370	60	481.80	6.15
40	0.40	0.031	78.376	93	746.79	9.53
50	0.50	0.039	78.382	170	1365.10	17.42
60	0.60	0.047	78.388	190	1525.70	19.46
70	0.70	0.055	78.394	215	1726.45	22.02
80	0.80	0.063	78.401	255	2047.65	26.12
90	0.90	0.071	78.407	290	2328.70	29.70
100	1.00	0.078	78.413	310	2489.30	31.75
110	1.10	0.086	78.419	310	2489.30	31.74
120	1.20	0.094	78.425	310	2489.30	31.74
140	1.40	0.110	78.437	302	2425.06	30.92
160	1.60	0.125	78.450	295	2368.85	30.20

ตารางที่ ค.10 Unconfined Compression Test ชุดตัวอย่างที่ 8

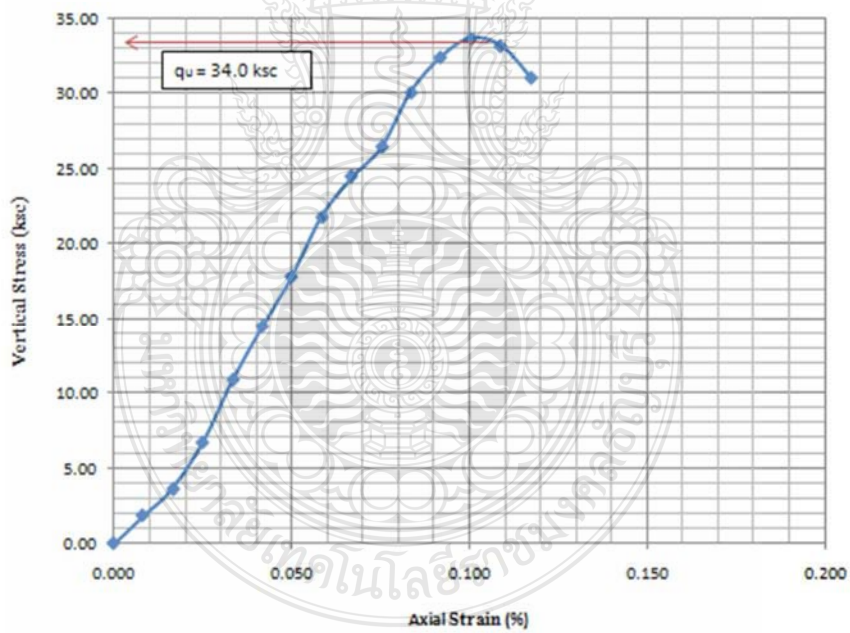
UNCONFINED COMPRESSION TEST						
Project : ทดสอบ Unconfined Compression Test					Job : UCS Standard	
Description of Soil : <u>mixed cement</u>					Sample : 2	
อายุการทดสอบ วัน						
RING INFORMATION						
Load Ring Constant : 8.03 kg / div			Load ring Number :			
Specimen						
Diameter (cm)		Area (cm ²)		Height (cm)		
9.930		77.444		11.960		
Water Content				Sampel Volume : 926.18 (cm ³)		
Wt. Of Water :		23.63 g		Wet Density : 2.25 g/cm ³		
Wt. Of Dry Soil :		130.54 g		Dry Density : 1.91 g/cm ³		
Water Content :		18.10 %		Weigth of Sample : 2085.55 g		
UNCONFINED COMPRESSIVE TEST						
Deformation Dial Reading	Vertical Deformation(mm)	Axial Strain %	Corrected area cm ²	Load Proving Ring (div)	Axial Load kg	Vertical Stress (ksc)
0	0.00	0.000	77.444	0	0.00	0.00
10	0.10	0.008	77.451	18	144.54	1.87
20	0.20	0.017	77.457	35	281.05	3.63
30	0.30	0.025	77.463	65	521.95	6.74
40	0.40	0.033	77.470	105	843.15	10.88
50	0.50	0.042	77.476	140	1124.20	14.51
60	0.60	0.050	77.483	172	1381.16	17.83
70	0.70	0.059	77.489	210	1686.30	21.76
80	0.80	0.067	77.496	236	1895.08	24.45
90	0.90	0.075	77.502	255	2047.65	26.42
100	1.00	0.084	77.509	290	2328.70	30.04
110	1.10	0.092	77.515	313	2513.39	32.42
120	1.20	0.100	77.522	325	2609.75	33.66
130	1.30	0.109	77.528	320	2569.60	33.14
140	1.40	0.117	77.535	300	2409.00	31.07

ตารางที่ ค.11 Unconfined Compression Test ชุดตัวอย่างที่ 9

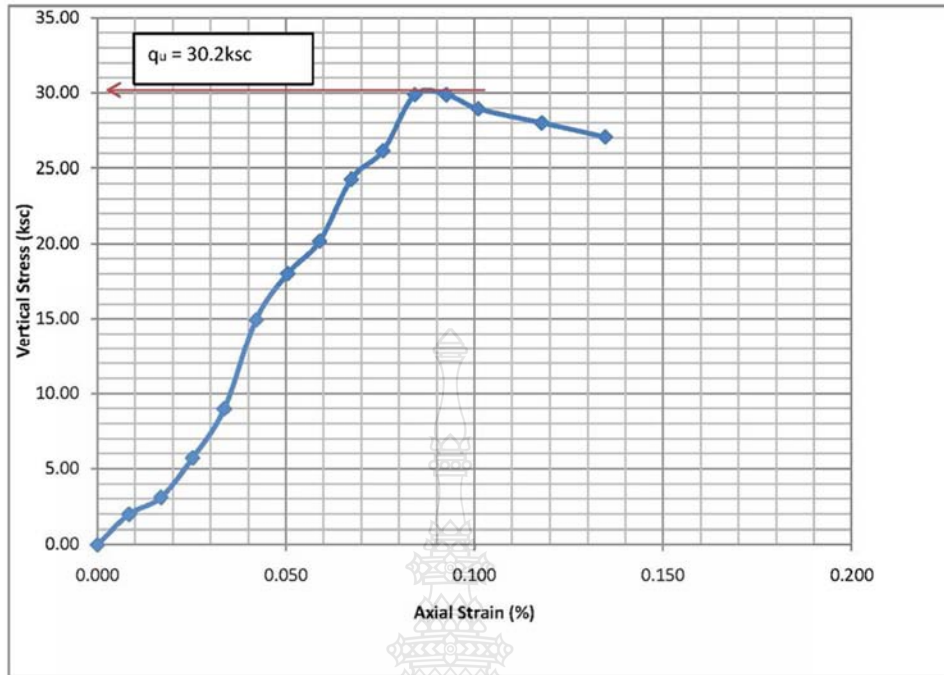
UNCONFINED COMPRESSION TEST						
Project : ทดสอบ Unconfined Compression Test					Job : UCS Standard	
Description of Soil : <u>mixed cement</u>					Sample : 1	
อายุการทดสอบ วัน						
RING INFORMATION						
Load Ring Constant :		8.03 kg / div		Load ring Number :		
Specimen						
Diameter (cm)		Area (cm ²)		Height (cm)		
10.460		85.932		11.880		
Water Content				Sampel Volume : 1020.87 (cm ³)		
Wt. Of Water :		19.62 g		Wet Density : 1.96 g/cm ³		
Wt. Of Dry Soil :		143.33 g		Dry Density : 1.73 g/cm ³		
Water Content :		13.69 %		Weigth of Sample : 1998.13 g		
UNCONFINED COMPRESSIVE TEST						
Deformation Dial Reading	Vertical Deformation(mm)	Axial Strain %	Corrected area cm ²	Load Proving Ring (div)	Axial Load kg	Vertical Stress (ksc)
0	0.00	0.000	85.932	0	0.00	0.00
10	0.10	0.008	85.939	21	168.63	1.96
20	0.20	0.017	85.946	33	264.99	3.08
30	0.30	0.025	85.953	61	489.83	5.70
40	0.40	0.034	85.961	96	770.88	8.97
50	0.50	0.042	85.968	160	1284.80	14.95
60	0.60	0.051	85.975	193	1549.79	18.03
70	0.70	0.059	85.982	216	1734.48	20.17
80	0.80	0.067	85.990	260	2087.80	24.28
90	0.90	0.076	85.997	280	2248.40	26.15
100	1.00	0.084	86.004	320	2569.60	29.88
110	1.10	0.093	86.011	320	2569.60	29.88
120	1.20	0.101	86.018	310	2489.30	28.94
140	1.40	0.118	86.033	300	2409.00	28.00
160	1.60	0.135	86.047	290	2328.70	27.06



รูปที่ ค.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและหน่วยแรงตามแนวตั้ง ชุดตัวอย่างที่ 7



รูปที่ ค.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและหน่วยแรงตามแนวตั้ง ชุดตัวอย่างที่ 8



รูปที่ ค.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและหน่วยแรงตามแนวดิ่ง ชุดตัวอย่างที่ 9

ตารางที่ ค.12 แสดงค่าเฉลี่ยของ q_u ที่อายุ 7 วัน ในแปลงควบคุม

ชุดก่อนตัวอย่างที่	ปริมาณ%ซีเมนต์	Opt Moisture (%)	ค่า UCS Kg/cm^2
7	8%	14.96	32
8	8%	18.10	34
9	8%	13.69	30.2
Average UCS Kg/cm^2			32.0

ตารางที่ ค.13 Unconfined Compression Test ชุดตัวอย่างที่ 10

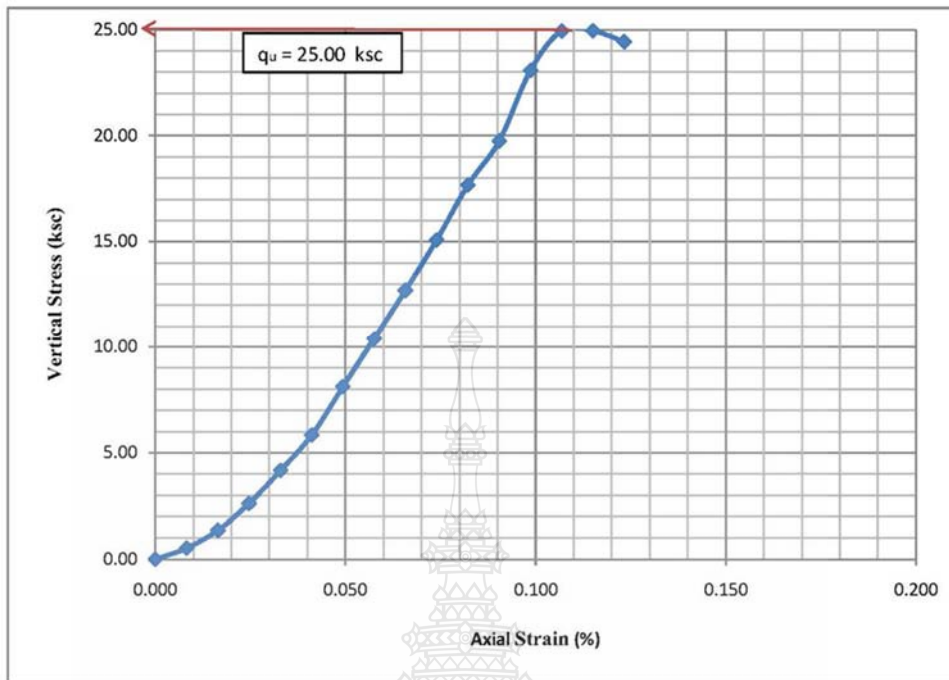
UNCONFINED COMPRESSION TEST						
Project : ทดสอบ Unconfined Compression Test					Job : UCS Standard	
Description of Soil : <u>mixed cement</u> อายุการทดสอบ วัน					Sample : 4	
RING INFORMATION						
Load Ring Constant : 8.03 kg / div			Load ring Number :			
Specimen						
Diameter (cm)		Area (cm ²)		Height (cm)		
9.913		77.179		12.165		
Water Content				Sampel Volume : 938.88 (cm ³)		
Wt. Of Water :		22.34 g		Wet Density : 2.22 g/cm ³		
Wt. Of Dry Soil :		154.25 g		Dry Density : 1.94 g/cm ³		
Water Content :		14.48 %		Weigth of Sample : 2088.13 g		
UNCONFINED COMPRESSIVE TEST						
Deformation Dial Reading	Vertical Deformation(mm)	Axial Strain %	Corrected area cm ²	Load Proving Ring (div)	Axial Load kg	Vertical Stress (ksc)
0	0.00	0.000	77.179	0	0.00	0.00
10	0.10	0.008	77.185	5	40.15	0.52
20	0.20	0.016	77.192	13	104.39	1.35
30	0.30	0.025	77.198	25	200.75	2.60
40	0.40	0.033	77.204	40	321.20	4.16
50	0.50	0.041	77.211	56	449.68	5.82
60	0.60	0.049	77.217	78	626.34	8.11
70	0.70	0.058	77.224	100	803.00	10.40
80	0.80	0.066	77.230	122	979.66	12.68
90	0.90	0.074	77.236	145	1164.35	15.08
100	1.00	0.082	77.243	170	1365.10	17.67
110	1.10	0.090	77.249	190	1525.70	19.75
120	1.20	0.099	77.255	222	1782.66	23.07
130	1.30	0.107	77.262	240	1927.20	24.94
140	1.40	0.115	77.268	240	1927.20	24.94
150	1.50	0.123	77.274	235	1887.05	24.42

ตารางที่ ก.14 Unconfined Compression Test ชุดตัวอย่างที่ 11

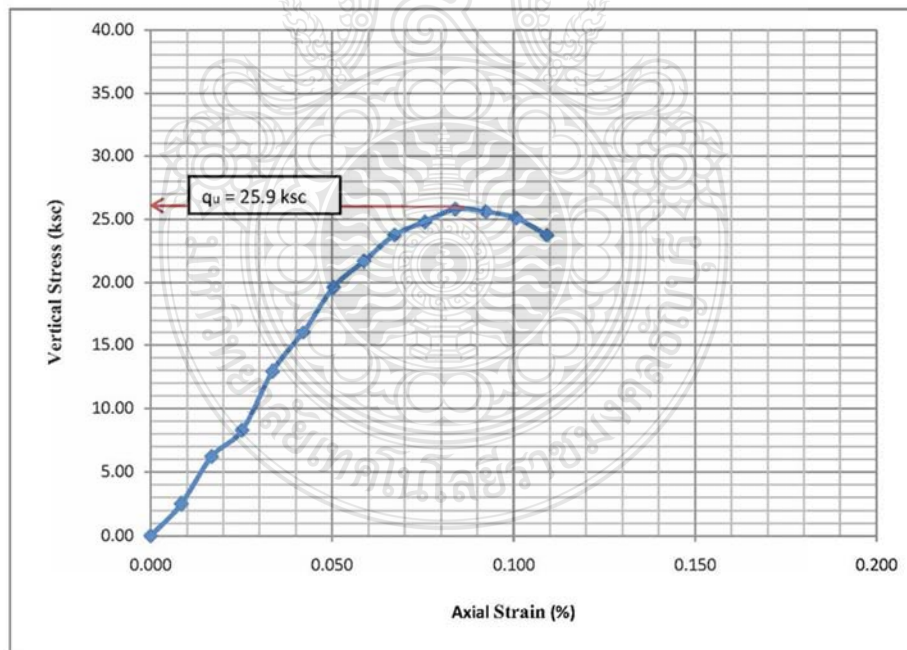
UNCONFINED COMPRESSION TEST						
Project : <u>ทดสอบ Unconfined Compression Test</u>				Job : <u>UCS Standard</u>		
Description of Soil : <u>mixed cement</u>				Sample : <u>๕</u>		
อายุการทดสอบ วัน						
RING INFORMATION						
Load Ring Constant :		8.03 kg / div		Load ring Number :		
Specimen						
Diameter (cm)		Area (cm ²)		Height (cm)		
9.945		77.678		11.916		
Water Content				Sampel Volume : 919.10 (cm ³)		
Wt. Of Water :		24 g		Wet Density : 2.24 g/cm ³		
Wt. Of Dry Soil :		141.4 g		Dry Density : 1.91 g/cm ³		
Water Content :		16.97 %		Weigth of Sample : 2062.08 g		
UNCONFINED COMPRESSIVE TEST						
Deformation Dial Reading	Vertical Deformation(mm)	Axial Strain %	Corrected area cm ²	Load Proving Ring (div)	Axial Load kg	Vertical Stress (ksc)
0	0.00	0.000	77.678	0	0.00	0.00
10	0.10	0.008	77.685	24	192.72	2.48
20	0.20	0.017	77.691	60	481.80	6.20
30	0.30	0.025	77.698	80	642.40	8.27
40	0.40	0.034	77.704	125	1003.75	12.92
50	0.50	0.042	77.711	155	1244.65	16.02
60	0.60	0.050	77.717	190	1525.70	19.63
70	0.70	0.059	77.724	210	1686.30	21.70
80	0.80	0.067	77.730	230	1846.90	23.76
90	0.90	0.076	77.737	240	1927.20	24.79
100	1.00	0.084	77.743	250	2007.50	25.82
110	1.10	0.092	77.750	248	1991.44	25.61
120	1.20	0.101	77.756	243	1951.29	25.09
130	1.30	0.109	77.763	230	1846.90	23.75

ตารางที่ ค.15 Unconfined Compression Test ชุดตัวอย่างที่ 12

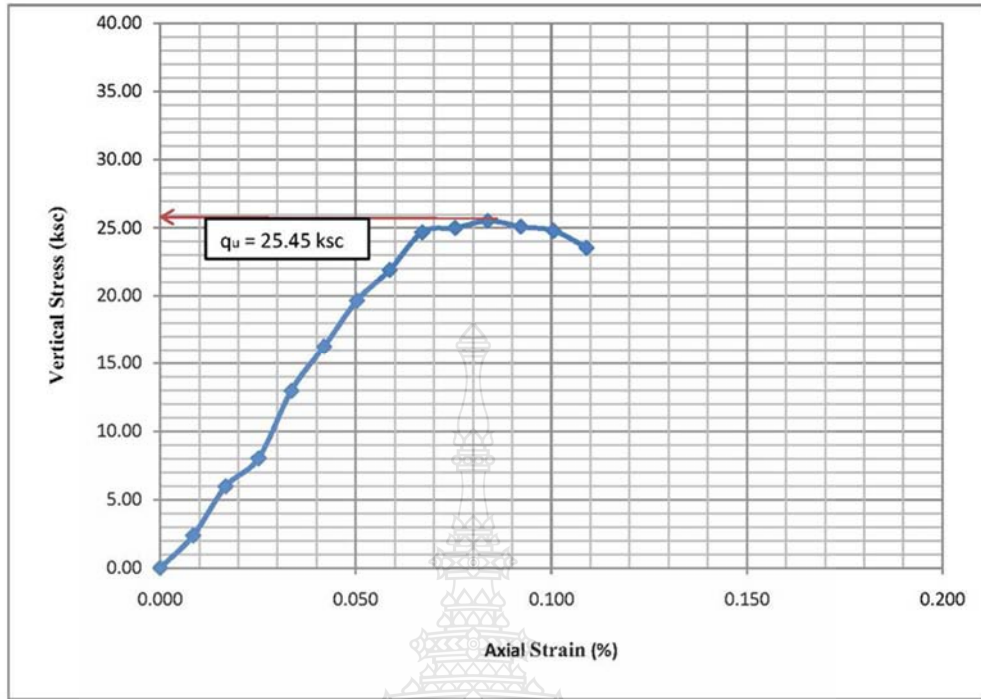
UNCONFINED COMPRESSION TEST						
Project : <u>ทดสอบ Unconfined Compression Test</u>					Job : <u>UCS Standard</u>	
Description of Soil : <u>mixed cement</u>					Sample : <u>๕</u>	
อายุการทดสอบ วัน						
RING INFORMATION						
Load Ring Constant :		8.03 kg / div		Load ring Number :		
Specimen						
Diameter (cm)		Area (cm ²)		Height (cm)		
9.964		77.975		11.929		
Water Content				Sampel Volume : 930.16 (cm ³)		
Wt. Of Water :		23.34 g		Wet Density : 2.23 g/cm ³		
Wt. Of Dry Soil :		150.22 g		Dry Density : 1.93 g/cm ³		
Water Content :		15.54 %		Weigth of Sample : 2075.24 g		
UNCONFINED COMPRESSIVE / TEST						
Deformation Dial Reading	Vertical Deformation(mm)	Axial Strain %	Corrected area cm ²	Load Proving Ring (div)	Axial Load kg	Vertical Stress (ksc)
0	0.00	0.000	77.975	0	0.00	0.00
10	0.10	0.008	77.982	23	184.69	2.37
20	0.20	0.017	77.988	58	465.74	5.97
30	0.30	0.025	77.995	78	626.34	8.03
40	0.40	0.034	78.001	126	1011.78	12.97
50	0.50	0.042	78.008	158	1268.74	16.26
60	0.60	0.050	78.015	191	1533.73	19.66
70	0.70	0.059	78.021	213	1710.39	21.92
80	0.80	0.067	78.028	240	1927.20	24.70
90	0.90	0.075	78.034	243	1951.29	25.01
100	1.00	0.084	78.041	248	1991.44	25.52
110	1.10	0.092	78.047	244	1959.32	25.10
120	1.20	0.101	78.054	241	1935.23	24.79
130	1.30	0.109	78.060	229	1838.87	23.56



รูปที่ ค.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและหน่วยแรงตามแนวดิ่ง ชุดตัวอย่างที่ 10



รูปที่ ค.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและหน่วยแรงตามแนวดิ่ง ชุดตัวอย่างที่ 11



รูปที่ ค.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและหน่วยแรงตามแนวดิ่ง ชุดตัวอย่างที่ 12

ตารางที่ ค.16 แสดงค่าเฉลี่ยของ q_u ที่อายุ 7 วัน ในแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก

ชุดก่อนตัวอย่างที่	ปริมาณ%ซีเมนต์	Opt Moisture (%)	ค่า UCS Kg/cm^2
10	8%	14.48	25
11	8%	16.94	25.9
12	8%	15.54	25.45
Average UCS Kg/cm^2			25.5

ภาคผนวก ง.
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่





7th Engineering, Science, Technology and Architecture Conference 2016
ESTACON



7th Engineering, Science, Technology and Architecture Conference 2016
ESTACON
2016

25 - 26 กรกฎาคม 2559
ณ โรงแรมดุสิตปริ้นซส นครราชสีมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

สนับสนุนโดย



การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์
ครั้งที่ 7 วันที่ 25 - 26 กรกฎาคม 2559 ณ โรงแรมดุสิตปริ้นซส จ.นครราชสีมา

50 เทคโนโลยีไทย
สู่ความเป็นเลิศบนเวทีโลกและเวทีสากล



7th Engineering, Science, Technology and Architecture Conference 2016
ESTACON

คำนำ

ในปี 2559 นี้ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพในการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 7 ประจำปี 2559 จัดขึ้นภายในหัวข้อ "60 ปี เทคโนโลยีไทย สู่อุตสาหกรรมไทย" โดยความร่วมมือระหว่างเครือข่ายทางวิชาการ 7 สถาบัน ได้แก่ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี วิทยาลัยบัณฑิตเอเชีย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา ซึ่งทั้ง 7 สถาบันนี้เป็นผู้สร้างจุดเริ่มต้นในการจัดงานประชุมวิชาการอย่างต่อเนื่องของคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์หวังเป็นอย่างยิ่งว่า ในการจัดงานประชุมวิชาการครั้งนี้จะเป็นไปด้วยความเรียบร้อยและบรรลุวัตถุประสงค์ทุกประการ ซึ่งเป็นการจัดประชุมวิชาการเชิงบูรณาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีรวมถึงสถาปัตยกรรมศาสตร์ เพื่อการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ สำหรับเป็นกิจกรรมส่งเสริมและเปิดโอกาสเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่หลากหลายสาขาวิชาเข้ามามีส่วนร่วมในการนำเสนอผลงานวิจัยให้เป็นที่ประจักษ์ รวมถึงสถาบันการศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน ทั้งอาจารย์ นักศึกษา และบุคคลทั่วไปที่ร่วมนำเสนอผลงานครั้งนี้

สุดท้ายนี้ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ขอขอบพระคุณทุกภาคส่วนที่ให้การสนับสนุนการจัดงานในครั้งนี้ ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายทางวิชาการทั้ง 6 สถาบัน ผู้สนับสนุนงบประมาณการจัดงานในครั้งนี้ ได้แก่ บริษัทอโต้ไดคติกจำกัด บริษัทไคนติกคอปอเรชั่นจำกัด บริษัทสวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด และบริษัทไคนติกจำกัด ที่ขาดไม่ได้คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ขอขอบพระคุณผู้ส่งบทความวิจัยเพื่อเข้าร่วมนำเสนอผลงานในครั้งนี้เป็นอย่างยิ่งหวังเป็นอย่างยิ่งว่าที่วิชาการแห่งนี้จะทำให้ท่านเกิดความภาคภูมิใจ และนำผลงานวิจัยของท่านไปใช้ประโยชน์ต่อการทำงานของท่านไม่มากก็น้อย รวมถึงการพัฒนางานวิจัยของท่านต่อไป หากการจัดงานครั้งนี้เปิดข้อผิดพลาดประการใด คณะกรรมการจัดงานขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์
ครั้งที่ 7 วันที่ 25 - 26 กรกฎาคม 2559 ณ โรงแรมดุสิตปริ้นเซส จ.นครราชสีมา

50 เทคโนโลยีไทย
สู่ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม

วิทยากรบรรยายพิเศษ/ ประจำกลุ่ม และผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัย

วิทยากรบรรยายพิเศษ (Key Note Speaker)

นายนคร จันทกร ที่ปรึกษาสำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
อดีตผู้ว่าการการรถไฟแห่งประเทศไทย

วิทยากรบรรยายพิเศษประจำกลุ่ม (Invited Speaker)

รศ.ดร.เอนก	ศิริพานิชกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.ปรีชา	กอเจริญ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
รศ.ดร.พีรพงษ์	อุฑารสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.สมิทธิ	เอี่ยมสอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ประมวล	จารุวัฒน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.วรวัฒน์	มีวาสนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

ดร.วีรพันธุ์ เลียมมีปรีชา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ดร.มนตรี บุญเรืองเศษ

ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ พันธนะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ผศ.ดร.ภาสพิรุฬห์ ศรีสำเร็จ

ผศ.ดร.พัชระ กัญจนกาญจน์

ผศ.ดร.ประมุข อุณหเลขกะ

ดร.สมพงษ์ ปริยานต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผศ.ดร.จตุพร ใจดำรง

ผศ.ดร.ปภัทร์ชกรณ์ อารีย์กุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผศ.ดร.ธวัชชัย ปัญญาตีบ

ดร.บรรเจิด แสงจันทร์

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

รศ.ดร.พงษ์พันธุ์

ผศ.ดร.ประยูร

มหาวิทยาลัยบูรพา

รศ.ดร.วิเชียร

ดร.วัชรินทร์

ดร.จักรพันธ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รศ.ดร.วันชัย

ผศ.ดร.ธัญชัย

ผศ.ดร.ธเนศ

ผศ.ดร.กิตติเวช

ผศ.ดร.คำสิงห์

ผศ.ดร.คณิต

ผศ.ดร.ธงชัย

ผศ.ดร.วุฒิชัย

ดร.จารุพล

ดร.ณัฐวิวัฒน์

ดร.พงศกร

ดร.เปรม

มหาวิทยาลัยนเรศวร

รศ.ดร.ปิยะนันท์

ผศ.ดร.เกตุจันทร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผศ.ดร.ธีระศักดิ์

ผศ.ดร.ทสพล

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผศ.ดร.อำไพศักดิ์

ผศ.ดร.กฤษณ์

ฤกษ์ขุมทรัพย์

สุรินทร์

ชาลี

ดงบัง

น่านวม

สะตะ

ดาศรี

เสถียรนาม

ชั้นดีวิชัย

นนเลาพล

มุกดาใส

บพมาศย์

ศรีไสดาพล

สุริยวนากุล

พลดี

ยศแก้ว

จันทร์สว่าง

เจริญสวรรค์

จำปาไชยศรี

หุดากร

เขตเงินการ

ทีบุญมา

ศรีวีรมาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รศ.ดร.กฤษณ์ชนม์	ภูมิภคดิพิชญ์
รศ.ดร.สิงห์ทอง	พัฒนเศรษฐฐานนท์
ผศ.ดร.พุทธพล	ทองอินทร์ดำ
ผศ.ดร.บุญย์ฤทธิ์	ประสาธแก้ว
ผศ.ดร.ชัยยะ	ประณีตพลกรัง
ผศ.ดร.ศิริชัย	ต่อสกุล
ผศ.ดร.บุญยั้ง	ปลั่งกลาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผศ.ดร.ปวีร์	ศิริรักษ์
ดร.ธีทัต	ดลวิชัย
ดร.จงกล	ศรีธรร

มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ผศ.ดร.ศิวา	แก้วปลั่ง
ดร.ประกรณ์ชัย	พลรัตน์ศักดิ์

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

รศ.ดร.เสมอขวัญ	ตันติกุล
ผศ.ดร.ธนศิษฐ์	วงศ์ศิริอำนาจ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผศ.ดร.อนุสรณ์	แสงประจักษ์
---------------	-------------

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผศ.ดร.นิติ	คำเมืองลือ
ผศ.ดร.ธนะศักดิ์	หมวกทองกลาง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ดร.สุวิน	สลิสงสม
----------	---------

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

ดร.ยุวดี	แช่ตั้ง
----------	---------

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รศ.ดร.เจษฎา	ธารีบุญ
ผศ.ดร.กฤตธี	เอียดเหตุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รศ.ดร.พรเกษม จงประดิษฐ์

ดร.ดวงฤดี โฉมคึกคักติวงศ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ดร.จักรพันธ์ วงษ์พา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ผศ.ดร.วิฑูรย์ พึ่งรัตนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

ดร.อำนาจ วัฒนกรศิริ

มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ผศ.ดร.สกลวรรณ ท่านจิตสุวรรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ.ดร.ธนิศ ธงทอง

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทราชภัฏทริยาราช

นาวาอากาศเอก ศาสตราจารย์ ดร.สรกฤช ศรีเกษม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

รศ.ดร.พิพัฒน์ อมตฉายา

รศ.กาญจนา ต้นสุวรรณรัตน์

รศ.ดร.ภาณทัต เกิดชื่น

รศ.ดร.บัณฑิต กฤตาคม

ผศ.ดร.ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ

ผศ.ดร.จิระยุทธ สืบสุข

ผศ.ดร.เพลงพิน เพียรภูมิพงศ์

ผศ.ดร.เกียรติสุดา สมณา

ผศ.ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์

ผศ.นัฐวุฒิ ทิพย์โยธา

ผศ.วัชรพล นาคทอง

ผศ.วุฒิชัย สง่างาม

ดร.สุจิตรา อุ่นเรือน

ดร.สมพิณิจ เหมืองทอง

ดร.จาริณี จงปลื้มปิติ

ดร.พลเทพ	เวงสูงเนิน
ดร.ธวัชชัย	จารุงศ์วิทยา
ดร.ไมตรี	พลสงคราม
ดร.จักษดา	จ่างวุฒิ
ดร.ธนพล	เฉลิมกิติ
นายรัฐพล	สมนา
ดร.จิตติวัฒน์	นธิกาญจนธาร
ดร.รติพันธ์	เหลื่อมพล
ดร.ประจวบ	อินระวงศ์
ดร.ณรงค์ศักดิ์	โยธา
อ.อนุชา	กลิ่นน้อย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

ผศ.ดร.สายันต์	โพธิ์เกตุ
ผศ.ดร.ศิริวัฒน์	วสุนธราเจริญ
ผศ.ดร.เจริญชัย	ฤทธิรุท
ผศ.ดร.ปณัสชัย	เชษฐโชติศักดิ์
ดร.สุระ	ตันติ
ดร.ภูษิสส์	ต้นวาณิชกุล
ดร.ณรงค์	สีหาจ้อง
ดร.ศุภฤกษ์	ชามงคลประดิษฐ์
ดร.ปฐมภรณ์	ชัยกุล
ดร.อภิชาติ	คำภาหล้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

ดร.ชุติมา	ถนอมสิทธิ์
-----------	------------

คณะกรรมการจัดการประชุมวิชาการ ESTACON 2016

คณะกรรมการอำนวยการ

ผศ.ดร.ณรงค์ศักดิ์	ธรรมโชติ	ประธานกรรมการ
ผศ.สุรพงษ์	วิชโรภากุล	กรรมการ
ผศ.สุรินทร์	อ่อนน้อม	กรรมการ
ผศ.ดร.เกียรติสุดา	สมนา	กรรมการ
รศ.ดร.บัณฑิต	กฤตาคม	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการเครือข่ายทางวิชาการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ดร.ดวงริตา	โคตรโยธา
ดร.วรุทัย	เดชตานนท์

มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ผศ.ดร.ศิวา	แก้วปลั่ง
ว่าที่ร้อยตรีโกวิทย์	แสนพงษ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เรืออากาศเอก รศ.ดร. กนต์จร	ชำนาญประศาสน์
รศ.ดร.พรศิริ	จงกล

มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

รศ.ดร.สงวน	วงษ์ชวลิตกุล
ดร.ประยงค์	กิริติอุไร

วิทยาลัยบัณฑิตเอเชีย

นายเดโช	แสนภักดี
ดร.อาทิตย์	ฉัตรชัยพลรัตน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

นายปริญญา	นาชัยสิทธิ์
ผศ.ดร.ศักดิ์ระวี	ระวีกุล
ดร.ศุภฤกษ์	ชามงคลประดิษฐ์
นายบุญยกิจ	อันพิกุล

คณะกรรมการดำเนินงาน

รศ.ดร.บัณฑิต	กฤตาคม	ประธานกรรมการ
ผศ.ดร.เกียรติสุดา	สมนา	กรรมการ
ผศ.ดร.วรรณรีย์	วงศ์ไตรรัตน์	กรรมการ
ดร.ณอมศักดิ์	โสภณ	กรรมการ
ดร.จิตติวัฒน์	นิตยาญจนธาร	กรรมการ
ดร.รัฐพล	สมนา	กรรมการ
ดร.อภิญา	อินทรนอก	กรรมการ
ผศ.วุฒิชัย	สง่างาม	กรรมการ
ผศ.อภิชาติ	ดิระประเสริฐสิน	กรรมการ
ผศ.พรภัสสร	อ่อนเกิด	กรรมการ
นายพงษ์ศักดิ์	ลอยฟ้า	กรรมการ
นางสาวสิริกานต์	ไชยสิทธิ์	กรรมการ
นายจิตพล	ป้องกัน	กรรมการ
นายสุรเดช	สินจะโป๊ะ	กรรมการ
นางฉวีวรรณ	วัฒนะกุล	กรรมการ
นางสาวอัญชลิ	จินตภาณี	กรรมการ
นางสาวนิภาพร	อาศัยป่า	กรรมการ
นางสาวมะลิวัลย์	เหวชัยภูมิ	กรรมการ
นางสาวจวิทยา	นากลาง	กรรมการ
นางเสริมพร	เนาบุตร	กรรมการ
นางสาวพรชธรณี	รัชนาลักษณ์	กรรมการ
นางสาวจิราภา	พร้อมสันติเยะ	กรรมการ
นางสาวรัชนิกร	โยธาทูล	กรรมการ
นางสาวพัชชาพร	พลชนะ	กรรมการ
นายโยธิน	เหล่าสกุล	กรรมการ
นายพิสิษฐ์	กลอนค่างพลู	กรรมการ
นางสาวนงนุช	ไพบุลย์	กรรมการ
นางสาวนุสรรา	มุลตรี	กรรมการ
นางเพลินพิศ	มณีศรี	กรรมการและเลขานุการ

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์
ครั้งที่ 7 วันที่ 25 - 26 กรกฎาคม 2559 ณ โรงแรมดุสิตปรีนเซส จ.นครราชสีมา

เทคโนโลยีไทย
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

วันจันทร์ที่ 25 กรกฎาคม 2559 (Parallel session 2)

ห้องเรียนเซส 1 (13.20-15.05 น.)	ห้องเรียนเซส 2 (13.30-15.15 น.)	ห้องเรียนเซส 3 (13.30-15.15 น.)	ห้องเรียนเซส 4 (13.30-15.15 น.)	ห้องเรียนเซส 5 (13.30-15.15 น.)
กลุ่มวิศวกรรมโยธา (CE) Chair : ดร.เจน. ศิวราชิฆอร Co-chair : ดร.บวร. ภูเงินชิว	กลุ่มวิศวกรรมไฟฟ้า (EE) Chair : ดร.วิจิ. ศิวร Co-chair : ผศ.วิฑฒ. นอยทง	กลุ่มวิศวกรรมอุตสาหกรรม (IE) Chair : ผศ.อร.รณ. ฐิรวิฑฒ Co-chair : อ.จ.รณ.รณ. บรรเทา	กลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ST) Chair : ดร.เป.ม. รัตนป.รณ Co-chair : ดร.บวร.รณ. ฐิรวิฑฒ	กลุ่มวิศวกรรมเครื่องกล (ME) Chair : ผศ.รณ.น. ฐิรวิฑฒ Co-chair : ดร.บ.น. ฐิรวิฑฒ
Invited (ผ.เจน. ศิวราชิฆอร)	EE003 : การประมาณค่าพารามิเตอร์ มอดเดอร์เหนียวนำโดยวิธีการตรวจวัด ความเร็วรอบ EE006 : การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ วิธีการหาขอบภาพของภาพสี RGB ฯ	Invited (ผ.อร.รณ. ฐิรวิฑฒ)	ST006 : ระบบตรวจสอบความคล้ายคลึง ของเทคคัลด้วยการใช้หลักการเชิง ความหมาย ST007 : เครื่องมืออาหารสัตว์แบบหมัก แห้ง	Invited (ผ.รณ.น. ฐิรวิฑฒ)
EE001 : การวิเคราะห์โครงสร้างอาคารสูง ประเภทโครงข้อแข็งระบบถองโดยใช้ แบบจำลองความต่อเนื่อง	EE007 : ระบบตรวจวัดและวิเคราะห์ พฤติกรรมไหลตทางไฟฟ้าของอาคาร วิศวกรรมศาสตร์ทร. วิทยาเขตขอนแก่น	IE003 : การตรวจสอบหาปริมาณน้ำรั่วโดย ใช้วิธีเทคนิคบริหารควบคุมปริมาณน้ำรั่ว แบบขั้นบันได กรณีศึกษาการประปา	ST009 : ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ ด้านสุขภาพ กรณีศึกษา: ห้องพยาบาล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ME009 : การเปรียบเทียบความสามารถ ของอุปกรณ์สร้างไอน้ำขนาด 0.5 kg/hr
EE003 : การศึกษาตรวจสอบเสาหล่อเหล็ก หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกรอกคอนกรีตมวล เบาแบบเซลล์ภายใต้แรงในแนวนอน	EE008 : ระบบควบคุมเตียงผู้ป่วยแบบแยก ส่วนสำหรับกรณีศึกษาการสะสมความร้อน และความชื้นบริเวณมิวทิง	IE005 : การศึกษาอิทธิพลและหา พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการควบคุม ชั้นรูปปั้นงานพลาสติก PET ด้วยวิธีการ วิเคราะห์ทางสถิติ	ST010 : การพัฒนารูปแบบการวางแผนการ ทดสอบซอฟต์แวร์ตามมาตรฐาน IEEE829- 1998	ME010 : การออกแบบและสร้างเครื่อง อบแห้งแบบลมร้อน : กรณีศึกษาการ อบแห้งข้าวโพดที่ฝัก
EE008 : Compressive Strength of Mortar Using Recycled Pavement	EE009 : การออกแบบตัวควบคุมย้อนกลับ สถานะสำหรับระบบชนิด 1	IE006 : การควบคุมและบริหารโครงการ ด้วยเทคนิค Pert/Cpm กรณีศึกษา โครงการรับโอนระบบอัตโนมัติ	ST014 : เทคโนโลยีสารสนเทศประยุกต์ สำหรับการประเมินปริมาณคาร์บอนเครดิต ในพื้นที่สวนสาธารณะในเขตเมืองฯ	ME012 : การศึกษาอัตราการไหลของ อากาศต่อสมรรถนะของเตาผลิตแก๊สชีววมวล จากไม้เนบอากาศไหล
EE012 : วิจัยก่อสร้างที่เหมาะสมสำหรับ พื้นทางเดินเบดโดยรับปรับปรุงในที่	EE012 : วงจรกรองความถี่อนุประสงค บน KHN ในโหมดกระแสที่สามารถปรับค่า ได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ด้วย OTA	IE010 : การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่า ความแข็งตัวของคอนกรีตอัดแรงของ การขุดเชิงผิวเหล็กกล้ารับโอนต่ำ	ST012 : การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิ สารสนเทศเพื่อการประเมินระดับความ เหมาะสมของพื้นที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ME020 : การประเมินการใช้เครื่องจักรกล เกษตรสำหรับเตรียมดินในข้าว กรณีศึกษา จังหวัดขอนแก่น
EE009 : อิทธิพลของอุณหภูมิต่อค่ากำลังอัด ของคอนกรีตประปา-แก๊สลอย จีไอโพลิ เมอร์	EE014 : การก่อรูปลำเส้นแบบกระจาย สำหรับเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย ขนาดเล็ก	IE013 : การพัฒนาเครื่องสูบลม		ME021 : การศึกษาความเป็นไปได้ในการ ออกแบบ สร้าง และทดสอบตะแกรง ทรงระบอกแนวอนุตยแก๊สผลิตจาก

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสถาปัตยกรรมศาสตร์
ครั้งที่ 7 วันที่ 25 - 26 กรกฎาคม 2559 ณ โรงแรมดุสิตบรินเซส จ.นครราชสีมา

เอสตาคอน ๒๕๖๕
สู่ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยี-โลจิสติกส์



CE012

การศึกษาวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมสำหรับพื้นทางดินซีเมนต์โดยวิธีปรับปรุงในที่
A Study of Appropriate Construction Method for Soil-Cement Using In-Place Improvement

เลอสรุค์ ปรางเพชร*, จตุพล ตั้งปากาศิต และ พุทธิพล ทองอินทร์คำ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี
*lersun_p@mail.rmutt.ac.th, jatupol.t@en.rmutt.ac.th, puttapon.t@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหาการขาดแคลนหินคลุกสำหรับก่อสร้างพื้นทาง ทำให้ต้องมีการนำเอาซีเมนต์มาปรับปรุงคุณภาพของดิน แต่กลับพบว่ารอยร้าวแบบหดตัวที่เกิดขึ้นในชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ทำให้เกิดปัญหาการร้าวแบบสะท้อนมายังชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต กระบวนการที่แก้ปัญหารอยร้าวในพื้นทางดินซีเมนต์ที่ประสบความสำเร็จอย่างมากในต่างประเทศคือการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาวิธีการก่อสร้างพื้นทางดินซีเมนต์โดยวิธีการปรับปรุงในที่ที่เหมาะสม โดยทำการทดสอบตัวอย่างดินซีเมนต์ในห้องปฏิบัติการ ทำการสร้างแปลงทดสอบควบคุมและแปลงทดสอบที่ทำการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก เพื่อศึกษาแนวโน้มของรอยร้าวและความรุนแรงที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังทำการทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างโดยรวมระหว่างแปลงทดสอบทั้งสอง จากผลการศึกษาพบว่าการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กในพื้นที่ดินซีเมนต์สามารถลดรอยร้าวให้มีจำนวนและความยาวที่น้อยลง รวมถึงระดับความรุนแรงของรอยร้าวที่เกิดขึ้น แต่ในการทดสอบนี้พบว่าความแข็งแรงโดยรวมได้จากแปลงทดสอบที่มีการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำกว่าแปลงควบคุมประมาณกึ่งหนึ่งจึงได้ข้อสรุปให้ลดกำลังในการบดอัดลดลง

คำหลัก: การสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก พื้นทางดินซีเมนต์ พัฒนาการของความแข็งแรง

Abstract

Shortage of crushed rock problem lead to soil improvement with cement for construction project. Consequently, shrinkage cracks on the base layer caused the reflective cracks on the surface layer which most made of asphalt concrete. Process of microcracking has been found the appropriate solution in many countries. This research aimed to study the improvement of construction of soil-cement base using in-place method. Full scale test sections have been set and the soil material are tested with standard laboratory testing methods. Microcracking and conventional construction method have been used in the construction of test sections. Severity of cracks are observed periodically and the development of stiffness of the soil-cement material are tested and discussed. It has been found that microcracking method reduces the major cracks significantly in both terms of crack length and width. However, the stiffness of the soil-cement which is constructed by microcracking method is only half of

those in the control section. The researcher recommend the less compaction energy in the construction process.

Keywords: Microcracking, Soil cement base, Stiffness development

1. บทนำ

โครงสร้างพื้นทางถือว่าเป็นชั้นทางที่มีความสำคัญต่อกำลังรับน้ำหนักโดยรวมของโครงสร้างผิวทางยืดหยุ่น (Flexible Pavement) อย่างมาก เนื่องจากต้องทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากผิวทางสู่ชั้นทางด้านล่างได้แก่ รองพื้นทาง และดินคันทาง โดยทั่วไปพื้นทางจะก่อสร้างโดยใช้หินคลุก ซึ่งเป็นวัสดุที่ขาดแคลนอย่างมากโดยเฉพาะในพื้นที่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย [1] อีกทั้งยังเป็นการทำลายทรัพยากรธรรมชาติอีกด้วย

การแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยการปรับปรุงคุณภาพวัสดุในท้องถิ่นที่มีคุณภาพด้อยให้มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่สูงขึ้น ทั้งการรับน้ำหนัก รวมถึงความคงทนต่อสิ่งแวดล้อม ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินมานานกว่า 50 ปี โดยพบว่าดินซีเมนต์ในช่วงแรกของการก่อสร้างแสดงพฤติกรรมไปในทิศทางที่ดี แต่หลังจากนั้นพบว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดความเสียหายที่รุนแรงในรูปแบบของรอยแตกแบบสะท้อน (Reflective Crack) ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากการหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) ในชั้นพื้นทางดินซีเมนต์

[2] ทำให้ถนนดินซีเมนต์ในช่วงดังกล่าวจำเป็นต้องยกเลิกใช้งาน และทำการศึกษาค้นคว้าเพื่อแก้ปัญหาเพิ่มเติมในเวลาต่อมา

วิธีการแก้ปัญหาความเสียหายข้างต้นสามารถทำได้โดยใช้วิธีสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก (Microcracking) ซึ่งอาศัยกระบวนการบดอัดพื้นทางดินซีเมนต์เพิ่มเติมจนความแข็งแรงของพื้นทางลดลงร้อยละ 60 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมสำหรับพื้น

ทางที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ในที่เกิดแปลงทดสอบที่ได้ทำการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก โดยทำการศึกษา

แนวโน้มของรอยร้าวที่เกิดขึ้น ร่วมกับการทดสอบความแข็งแรงของพื้นทางดินซีเมนต์ในห้องปฏิบัติการและในสนาม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์

ตามมาตรฐาน ทล.-ม. 204/2556 สำหรับพื้นทางดินซีเมนต์

[3] จำเป็นต้องทราบคุณสมบัติทางวิศวกรรมพื้นฐานดังต่อไปนี้

- ขนาดคละที่ดีเมื่อทดสอบตาม ทล.-ท 205 : วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis) มีขนาดเม็ดโตสุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร มีส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 2.00 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ไม่เกินร้อยละ 70 และส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่เกินร้อยละ 25

- มีค่า Liquid Limit เมื่อทดสอบตาม ทล.-ท.102 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลวไม่เกินร้อยละ 40

- มีค่า Plasticity Index เมื่อทดสอบตาม ทล.-ท 103 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติกไม่เกินร้อยละ 15

โดยการออกแบบส่วนผสมของดินซีเมนต์ให้ถือเอาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength) ตาม ทล.-ม. 108 โดยแต่งตั้งตัวอย่างดินจะต้องบดอัดให้ได้ตามวิธีการทดลอง Compaction Test แบบ

สูงกว่ามาตรฐาน ตาม ทล.-ท. 108 และมีค่าไม่น้อยกว่า 1,724 กิโลพาสคัล หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบแปลนก่อสร้าง

2.2 รอยร้าวในพื้นที่ทางดินซีเมนต์

ในงานก่อสร้างชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ การเกิดรอยร้าวในพื้นที่ทางดินซีเมนต์เป็นที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ถนนลาดยางที่มีชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ เมื่อก่อสร้างเสร็จมักจะเกิดปัญหา คือ ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์แตกเป็นรอยร้าว (Initial Crack) ซึ่งส่งผลทำให้เกิดกระทบถึงชั้นผิวบนในชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต ทำให้บริเวณผิวถนนลาดยางเกิดรอยแตกขึ้น เรียกว่า รอยร้าวแบบสะท้อน (Reflective Cracks) ซึ่งจะเกิดขึ้นทันทีหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จได้ไม่นานนัก แต่รอยแตกนั้นไม่มีผลกระทบต่ออายุการใช้งาน ถึงแม้ว่ารอยร้าวแบบสะท้อน จะไม่มีผลเสียต่ออายุการใช้งานน้อยมาก แต่หากว่าปล่อยทิ้งไว้นานโดยไม่มีการแก้ไข เมื่อเกิดฝนตกน้ำจะซึมเข้าไปในรอยแตกนั้นได้ จะทำให้เกิดผลเสียอย่างมากต่อถนนโดยอาจทำให้กำลังการรับแรงโครงสร้างชั้นรองพื้นทาง และ ชั้นดินเดิม เกิดความอ่อนตัวและเสียหายจนถึงชั้นโครงสร้างชั้นล่างวิบัติได้

2.3 การสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก (Microcracking)

Tom Scullion

[4] ได้กล่าวถึงการก่อสร้างโครงการถนนดินซีเมนต์โครงการ Edelweiss ซึ่งเป็นโครงการที่จำลองการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก (Microcracking) ในถนน 4 สายมี Satzburg Vontrapp Newburg และ Sophai มีโครงสร้างชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ความหนา 15 เซนติเมตร วิธีการคือใช้รถบดล้อเหล็กน้ำหนัก 12 ตันแบบสันสะท้อน วิ่งบดทับผิวโดยใช้ความเร็วที่ 2 ไมล์ต่อชั่วโมง เก็บข้อมูลทั้งก่อนและหลังการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก ส่วน Vontrapp Newburg ใช้กระบวนการที่

ใกล้เคียงกันโดยที่ Vontrapp จะทิ้งเวลาในการบ่มไว้ 2 วัน ก่อนก่อสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก ส่วน Sophai ก่อสร้างในช่วงเวลาเดียวกัน แต่ไม่ได้อยู่ภายใต้การก่อสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก ผลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้พบว่ากระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญสามารถลดปริมาณรอยร้าวของผิวได้ทั้ง 3 โครงการ และจากผลการวิจัยโครงการ Satzburg ค่าความแข็งแรงจะพื้นตัวเร็วมากหลังจากผ่านไป 2 วัน ซึ่งมีค่า 75 เปอร์เซ็นต์ของวันแรก ซึ่งหลังจาก 6 เดือนพบว่าทั้ง 3 โครงการมีรอยร้าวแบบสะท้อนแต่เพียงเล็กน้อยโดยที่ค่าความแข็งแรงยังคงมีค่าสูงอยู่ โดยความล่าช้าในการปูผิว HMA สุดท้ายจะช่วยลดความรุนแรงของการเกิดรอยร้าวของพื้นผิวได้ และเครื่องวัดความแข็ง (Humbolt Stiffness) เป็นประโยชน์ในการควบคุมกระบวนการเกิดรอยร้าวได้

2.4 การตรวจสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องมือวัดค่าการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทกแบบเบา

การทดสอบความแข็งแรงของพื้นทางดินซีเมนต์ในสนามโดยทั่วไปนิยมใช้การทดสอบแบบไม่ทำลายเป็นหลัก (Nondestructive Testing) เครื่องวัดค่าการยุบตัวด้วยลูกตุ้มกระแทกแบบเบา (Light Weight Deflectometer, LWD) ทั้งในการตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างโดยรวมโดยอาศัยทฤษฎีทางกลศาสตร์ เช่น Boussinesq และ Burmister เป็นต้น เครื่องมือดังกล่าวจะสร้างแรงกระตุ้น (Impulse) กระทำต่อผิวทางหรือชั้นทางทดสอบ เพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างได้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sebesta และ Scullion

[2] ได้ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการลดรอยแตกแบบสะท้อนในชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ โดยวิธีการสร้างรอย

ร้าวขนาดเล็ก โดยมีการใช้ปริมาณซีเมนต์ในการปรับปรุงคุณภาพของชั้นพื้นทาง 3 เพอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับโครงการที่ใช้ปริมาณซีเมนต์ในการปรับปรุงคุณภาพชั้นพื้นทางที่ 4 และ 8 เพอร์เซ็นต์ทำการบดอัดชั้นดินซีเมนต์จนค่าความแข็งแรงลดลงจากเดิม 60 เพอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาพบว่าวิธีดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อชั้นพื้นทางเมื่อเปรียบเทียบกับโครงการที่ไม่ได้ใช้วิธีนี้ และยังสามารถลดการเกิดรอยร้าวทั้งความกว้างและความยาวในภาพรวมได้

Adaska และ Luhr Error! Reference source not found.] ได้กล่าวถึงรอยแตกเนื่องจากการหดตัวด้วยตัวเองนี้ว่า เป็นธรรมชาติของชั้นทางที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์

ศิริพงษ์

[5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างถนนที่มีซีเมนต์ที่แตกเป็นชั้นทางและชั้นพื้นทาง เพื่อหาแนวโน้มในการเปลี่ยนวิธีการออกแบบจากวิธี Empirical เป็นวิธี Analytical สรุปได้ว่าการนำดินซีเมนต์มาใช้เป็นวัสดุชั้นทาง นอกจากเป็นการแก้ปัญหาการขาดแคลนแหล่งหินในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือแล้ว ดินซีเมนต์ยังเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการต้านทานดาร์คมีแรงดึง (Radial Tensile Strain) ได้ดีกว่าวัสดุที่หลุดร่อน (Unbound Material) ทั้งนี้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุที่เกิดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวได้ง่าย โดยระยะเวลาที่รอยร้าวจากชั้นพื้นทางจะลามไปยังผิวทางแอสฟัลต์ประมาณ 5 สัปดาห์หลังทำการก่อสร้าง โดยได้มีการหาวิธีลดรอยแตงดังกล่าว เช่น การเปิดจราจรทันทีหลังการก่อสร้างชั้นทางดินซีเมนต์เสร็จ เพื่อให้แรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคในดินซีเมนต์น้อยลง ส่งผลให้กำลังของดินซีเมนต์ลดลง แต่จะไม่ลดลงมากไปกว่าเดิมเมื่อเวลาผ่านไป

Sebesta

[2] เลือกใช้เครื่องมือชื่อ Falling Weight Deflectometer ในการควบคุมค่าความแข็งแรงของชั้นทางให้มีค่าลดลง 60 เพอร์เซ็นต์ หลังการบดอัดเพิ่มเติม ซึ่งหาได้จากการคำนวณย้อนกลับโดยใช้โปรแกรม ELMOD โดยถนนสาย 201 ต้องทำการบดอัด 6 เทียว ส่วนถนนสาย 3501 ต้องทำการบดอัด 8 เทียว ซึ่งในตอนท้ายนั้นค่าความแข็งแรงของชั้นทางเพิ่มขึ้นตามอายุที่เปลี่ยนไป และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินซีเมนต์พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวและค่าการทดสอบแรงดึงทางอ้อมจะเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม

ในขณะที่ Jaritngam และคณะ Error! Reference source not found.] ได้ทำการสร้างสมการทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินซีเมนต์โดยอาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นของค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว โดยที่สมการดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ($R^2 = 0.984$) แสดงดังสมการที่ 1

$$ES = -71.83 + 188.28UCS \quad (1)$$

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แปลงทดสอบพื้นทางดินซีเมนต์

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแปลงทดสอบพื้นทางดินซีเมนต์ในพื้นที่บริเวณลานอเนกประสงค์ บ้านกระบกเดี่ยว ตำบลท่ากระดาน อ.สนามชัยเขต จ.ฉะเชิงเทราตั้งรูปที่ 1 โดยแปลงทดสอบก่อสร้างตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.ม. 204/2556

[3] ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 8 มีขนาดความกว้าง 3 ม. ยาว 10 ม. พื้นทางหนา 0.15 ม. โดยแบ่งแปลงทดสอบออกเป็น 2 แปลง ได้แก่ แปลงควบคุม (Control Section) และแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก (Microcracking Section)



รูปที่ 1 สภาพแปลงทดสอบพื้นทางดินซีเมนต์

กระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กดำเนินตามงานศึกษา
ของ Sebesta และ Scullion

[2] โดยทำบดอัดด้วยรถบดล้อเหล็กสันสะเทือน
(Vibratory Roller Compactor) จำนวน 3 เที่ยว ที่อายุ
การบ่มขึ้น 3 วัน แต่ใช้รถบดทดสอบที่น้ำหนัก 19 ตัน
การสร้างรอยร้าวขนาดเล็กแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การบดอัดพื้นทางดินซีเมนต์เพิ่มเติม

3.2 การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ผล

ทำการเก็บตัวอย่างดินซีเมนต์เพื่อนำไปทดสอบกำลัง
รับแรงอัดแกนเดียวจากแปลงควบคุมและแปลงสร้างรอย
ร้าวขนาดเล็กที่อายุ 3 วัน และ 7 วัน นอกจากนั้นยังได้ทำ
การตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) และเก็บ
รวบรวมแนวโน้มพัฒนาการของรอยร้าวในพื้นที่ทางดิน
ซีเมนต์จากแปลงทดสอบทั้งสองที่อายุ 3, 7 และ 20 วัน
หลังจากนั้นเมื่อพื้นทางดินซีเมนต์มีอายุครบ 20 วัน จึงทำ
การทดสอบด้วยเครื่อง LWD ด้วยตุ้มน้ำหนัก 5 กก. ความ
สูงของระยะตกกระทบ 0.6 ม. ใช้เส้นผ่าศูนย์กลางแผ่น

เหล็ก 10 ซม. เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของพื้นทาง
ดินซีเมนต์ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การทดสอบความแข็งแรงพื้นทางด้วย LWD

4. ผลการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงจากวิธีการทดสอบ กำลังรับแรงอัดแกนเดียว

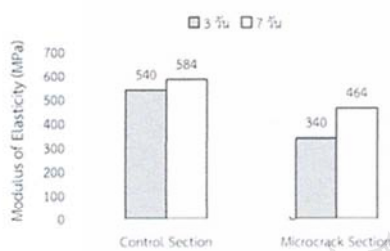
จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบ
ความแข็งแรงของพื้นทางดินซีเมนต์จากทั้งสองแปลง
ทดสอบดัง

ตารางที่ 1 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวของตัวอย่าง
ดินซีเมนต์มีค่าสูงกว่า 17.5 กก./ซม². (ตามมาตรฐาน
ทส.ม. 204/2556) ทั้งหมด โดยที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น
หลังจากการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กมีค่าลดลง
ประมาณร้อยละ 40 เมื่อเปรียบเทียบกับผลจากแปลง
ควบคุมดังรูปที่ 4 โดยความแข็งแรงของพื้นทางดิน
ซีเมนต์ที่ลดลงไม่เป็นไปตามงานศึกษาของ Sebesta
และ Scullion

[2] ที่แนะนำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างโดยรวม
ลดลงร้อยละ 60

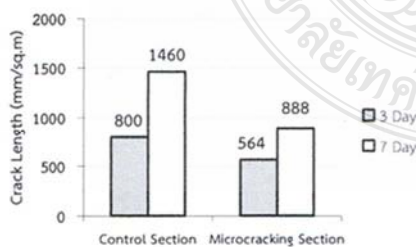
ตารางที่ 1 กำลังรับแรงอัดแกนเดียวที่อายุ 3 และ 7 วัน

อายุ	แปลงควบคุม	แปลงรอยร้าวขนาดเล็ก
3 วัน	29.6 กก./ซม ² .	18.8 กก./ซม ² .
7 วัน	32 กก./ซม ² .	25.5 กก./ซม ² .


รูปที่ 4 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินซีเมนต์จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียวก่อนและหลังการสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก

4.2 ผลของรอยร้าวในพื้นที่ทางดินซีเมนต์

จากการสำรวจรอยร้าวด้วยตาเปล่าพบว่ารอยร้าวบนพื้นทางดินซีเมนต์ในแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กมีความยาวต่อพื้นที่น้อยกว่าแปลงควบคุม จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าแนวโน้มของความยาวรอยร้าวจากแปลงควบคุมจากอายุ 3 วัน ไปยัง 7 วัน เพิ่มขึ้น 1.8 เท่า ในขณะที่แปลงสร้างรอยร้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 1.5 เท่า


รูปที่ 5 รอยร้าวจากแปลงทดสอบ

เมื่อพิจารณาความรุนแรงของรอยร้าวในพื้นที่ทางดินซีเมนต์ที่อายุ 20 วัน ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7 พบว่ารอยร้าวในแปลงควบคุมมีความกว้างของรอยร้าวมากกว่า 3 มม. (Major Cracks) ในขณะที่แปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กไม่พบรอยร้าวที่มีความกว้างมากกว่า 3 มม. ซึ่งกล่าวได้ว่ากระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กในพื้นที่ทางปรับปรุงในที่ช่วยลดความรุนแรงของรอยร้าวได้


รูปที่ 6 ความรุนแรงของรอยร้าวในแปลงควบคุม

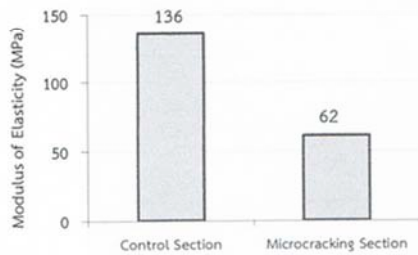
รูปที่ 7 ความรุนแรงของรอยร้าวในแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็ก

4.3 ผลการทดสอบความแข็งแรงของพื้นทางดินซีเมนต์

การประเมินความแข็งแรงด้วยเครื่องมือทดสอบแบบไม่ทำลาย LWD ในพื้นทางดินซีเมนต์ที่อายุ 20 วัน จากรูปที่ 8 พบว่าในแปลงควบคุมมีความแข็งแรงที่สูงกว่าแปลงสร้างรอยร้าวขนาดเล็กถึง 2.2 เท่า ซึ่งสรุปได้ว่าในพื้นที่ทางดินซีเมนต์ที่สร้างรอยร้าวขนาดเล็กโดยการบดอัด

ด้วยรถบดล้อเหล็กสันสะท้อนขนาด 19 ตัน 3 เทียว ทำให้โครงสร้างพื้นทางเสียหายมากเกินไป

วิจัย รวมถึงองค์การบริหารส่วนจังหวัดฉะเชิงเทราที่เอื้อเพื่อและสนับสนุนให้ทุนการศึกษาเรียนต่อในครั้งนี้



รูปที่ 8 ผลวิเคราะห์ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุ 20 วัน

5. สรุปผลการศึกษา

จากการปรับปรุงพื้นทางด้วยซีเมนต์ในที่สามารถสรุปได้ว่ากระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กด้วยรถบดล้อเหล็กสันสะท้อนขนาด 19 ตัน 3 เทียว ช่วยลดความยาวของรอยร้าวในพื้นที่ดินซีเมนต์รวมถึงความรุนแรงของรอยร้าวได้ดี แต่ทว่าความแข็งแรงโดยรวมของโครงสร้างพื้นทางดินซีเมนต์ที่ผ่านกระบวนการสร้างรอยร้าวขนาดเล็กมีค่าต่ำกว่าแปลงควบคุมอย่างมาก อันเนื่องมาจากขนาดของรถบดล้อเหล็กที่สูงกว่าข้อเสนอแนะจากงานวิจัยในต่างประเทศ ดังนั้นเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของพื้นทางภายใต้การทดสอบในงานวิจัยนี้ควรลดจำนวนเที่ยวการบดอัดเพิ่มเติม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้และอ้างอิงในงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณหน่วยวิจัยเทคโนโลยีถนนและท่าอากาศยาน (Road and Airfield Pavement Technology Research Unit, RAPTRE) ที่อำนวยความสะดวกเรื่องเครื่องมือและสถานที่ในการทำ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] อีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ สกิตพงษ์ อภิเมธีอำรง (2541). การวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่าง โครงสร้างถนนลาดยางที่มีดินซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แตกเป็นพื้นทางกับถนนลาดยางที่มีหินคลุกเป็นพื้นทาง และวัสดุมวลรวมเป็นรองพื้นทาง, รายงานฉบับที่ วพ.169.
- [2] Sebesta S. and Scullion T., Effectiveness of Minimizing Reflective Cracking in Cement-Treated Bases by Microcracking (2004). *Report 0-4502-1*.
- [3] ทล.ม. 204-2556 (2556). มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base), กรมทางหลวง.
- [4] Scullion T. (2001). Field Investigation: Pre-Cracking of Soil-Cement Bases to Reduce Reflection Cracking, in the 2002 Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [5] Wayne S. Adaska and David R.Luhr. (2004). Control of Reflective Cracking in Cement Stabilized Pavements, in the 5th International RILEM Conference, Limoges, France.
- [5] ศิริพงษ์ ทรงศิริ (2534). การวิเคราะห์โครงสร้างถนนที่มีดินซีเมนต์ที่แตกเป็นพื้นทางและรองพื้นทาง, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [7] Jaritngam, S., Yandell, W.O. and Taneerananon, P., (2013). Development of Strength Model of Lateritic Soil-Cement, *Engineering Journal*, vol. 7, 2013, pp. 69 -

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายเลอสรณ์ ปรางเพชร
วัน เดือน ปีเกิด	3 มิถุนายน 2523
ที่อยู่	99/26 ถนนสายไหม 49 แขวงสายไหม เขตสายไหม จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10220
การศึกษา	ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ประสบการณ์การทำงาน	หัวหน้าฝ่ายผังเมือง องค์การบริหารส่วนจังหวัดฉะเชิงเทรา ตำบลบางแก้ว อำเภอ เมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา ตั้งแต่ พ.ศ.2551 ถึง ปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	08-6686-5673
อีเมล	lersun_p@mail.rmutt.ac.th, lersunp@hotmail.com

