กำลังรับแรงอัดและกำลังแรงดัดของตัวอย่างวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์และสารผสมเพิ่ม

นายไพวรรณ์ เขียวอ่อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

กำลังรับแรงอัดและกำลังแรงดัดของตัวอย่างวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์และสารผสมเพิ่ม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

_____

(รศ. ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร)
ประธานกรรมการ

_____

(ศ. ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

_____

(อ. ดร.จิระยุทธ สืบสุข)
กรรมการ

_____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ไพวรรณ์ เขียวอ่อน : กำลังรับแรงอัดและกำลังแรงดัดของตัวอย่างวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงคุณภาพ ด้วยซีเมนต์และสารผสมเพิ่ม (COMPRESSIVE AND FLEXURAL STRENGTHS OF RECYCLED PAVEMENT BASE MATERIAL STABILIZED WITH CEMENT AND ADMIXTURES) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดของวัสดุมวลรวมพื้นทางเดิมปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์และสารโพลิเมอร์เคมโรด ผลการทดสอบพบว่าปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงกำลังรับแรงอัดที่ปริมาณน้ำเหมาะสม เท่ากับร้อยละ 3.5 สารโพลิเมอร์เคมโรดที่ปริมาณเหมาะสมสามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด และค่าการโก่งตัว ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังลังรับแรงอัดและปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรดแสดงได้ด้วยฟังก์ชั่น **$Y = -0.957Z + 26.62$** เมื่อ Y คือกำลังรับแรงอัด และ Z คือปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรด ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังลังรับแรงดัดและปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรดแสดงได้ด้วยฟังก์ชั่น **$A = -0.011Z^2 + 0.117Z + 1.109$** เมื่อ A คือกำลังรับแรงดัด และความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวและปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรดแสดงได้ด้วยฟังก์ชั่น **$B = -0.010Z^2 + 0.101Z + 0.282$** เมื่อ B คือค่าการโก่งตัว ปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรดที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 5 การเติมสารโพลิเมอร์เคมโรดในปริมาณที่เหมาะสมนี้ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้มากขึ้นถึงร้อยละ 18 เพิ่มกำลังรับแรงดัดได้มากขึ้นถึงร้อยละ 13 และเพิ่มค่าการโก่งตัวได้มากขึ้นถึง 176 คุณสมบัติที่ได้รับการปรับปรุงอย่างเห็นได้ชัดคือการโก่งตัว หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า สารโพลิเมอร์เคมโรดช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและความคืนตัวของวัสดุ เมื่อมีน้ำหนักมากระทำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

PAIWAN KHEAW-ON : COMPRESSIVE AND FLEXURAL STRENGTHS OF RECYCLED PAVEMENT BASE MATERIAL STABILIZED WITH CEMENT AND ADMIXTURES. ADVISOR : PROF.SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., P.E.

This research aims to investigate compressive and flexural strengths of recycled pavement base material stabilized with cement and Polymer Chem Road. The test results show that the suitable cement content for stabilization of recycled pavement base material is 3.5%. Polymer Chem Road at optimal content can improve compressive and flexural strengths and deflection of the recycled pavement base material. The relationship between compressive strength and Polymer Chem Road content is represented as $\mathbf{Y = -0.957Z + 26.62}$ where **Y** is compressive strength. The relationship between flexural strength and Polymer Chem Road content is represented as $\mathbf{A = -0.011Z^2 + 0.117Z + 1.109}$ where **A** is flexural strength. The relationship between deflection and Polymer Chem Road content is represented as $\mathbf{B = -0.010Z^2 + 0.101Z + 0.282}$ where **B** is deflection. The optimal Polymer Chem Road content is found to be 5%. With this optimal content, the compressive strength, flexural strength and deflection increase 18%, 13% and 176%, respectively. The deflection improvement is found to be distinct. In other words, Poly Chem Road improves compression and swelling characteristics of recycled pavement base material significantly when loaded.

School of Civil Engineering Student's Signature_____

Academic Year 2013 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์อย่างสูงจากคณาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้วิจัยขอกราบขอบคุณเป็นอย่างยิ่ง ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข ที่ให้ข้อเสนอแนะ และตรวจทานงานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้อำนวยการสำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัดนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์และข้อเสนอ แนะนำในการใช้พื้นที่ทั้งภาคสนามและห้องปฏิบัติการทดสอบคุณภาพ และขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่หน่วยตรวจสอบคุณภาพทาง สำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัดนครราชสีมากรมทางหลวงชนบททุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือและให้ความช่วยเหลือในปฏิบัติงานการเก็บรวบรวมข้อมูล รวมทั้งการดำเนินงานในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมารดาผู้ให้กำเนิด อบรม เลี้ยงดู และส่งเสริมการศึกษาด้วยดีตลอดมาโดยไม่หวังสิ่งอื่นใด และขอบคุณครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่งโดยเฉพาะนางอมลวรรณ เขียวอ่อน ภรรยาผู้เป็นกำลังใจและอยู่เคียงข้างมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์อันเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบบูชาพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือ และขอน้อมบูชาบูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้วยความรักและเมตตา

ไพวรรณ์ เขียวอ่อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูปภาพ ..... ซ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 การหมุนเวียนมาใช้งานใหม่แบบในที่ (Pavement In-Place Recycling) 4

2.2 วัสดุ 4

2.2.1 วัสดุชั้นทางเดิม 4

2.2.2 วัสดุผสมเพิ่ม 4

2.2.3 ปูนซีเมนต์เป็นผลผลิตที่ได้จากการบดเม็ดปูนให้ละเอียด 5

2.2.4 สารผสมเพิ่ม 6

2.3 มาตรฐานวิธีการทดลอง 7

2.3.1 การทดลองหาความถ่วงจ าเพาะของดิน (Specific Gravity) 7

2.3.2 วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (SIEVE ANALYSIS) 7

2.3.3 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (PLASTIC LIMIT : P.L.) 8

2.3.4 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (LIQUID LIMIT : L.L.) 8

2.3.5 วิธีทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Poctor Density test) 8

2.3.6 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์.(C.B.R.) 8
2.3.7 วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน 8
2.3.8 มาตรฐานการทดสอบการรับแรงดัด (Flexural strength) 9
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9
3 วิธีดำเนินการการศึกษา 13
3.1 การเก็บตัวอย่าง 14
3.2 การเตรียมตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ 14
3.3 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ 15
3.4 การทดสอบกำลังอัดแกนเดียวและแรงดัดของวัสดุพื้นทางผสมปูนซีเมนต์และสารโพลิเมอร์เคมโรด 22
3.4.1 วิธีการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว 22
3.4.2 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่ารับแรงดัด (Flexural strength) 24
4 ผลการทดลอง 26
4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ 26
4.1.1 วัสดุพื้นทางเดิม 26
4.1.2 คุณสมบัติพื้นฐานของสารโพลิเมอร์เคมโรด 27
4.2 ผลทดสอบ 27
4.2.1 กำลังรับแรงอัดของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ 27
4.2.2 ค่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และสารโพลิเมอร์เคมโรด 29
4.2.3 กำลังรับแรงดัดของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ 31
4.2.4 กำลังรับแรงดัดของวัสดุพื้นทางปรับคุณภาพด้วยซีเมนต์และสารโพลิเมอร์เคมโรด 34
5 สรุปผลการวิจัย 37
5.1 ข้อมูลพื้นฐานทางด้านวิศวกรรม 37
5.2 กำลังรับแรงอัดของวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์และสารโพลิเมอร์เคมโรด 37
5.3 กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ผสมสารโพลิ เมอร์เคมโรด 37
5.4 อิทธิพล สารโพลิเมอร์เคมโรด ต่อ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด และการโก่งตัว ของวัสดุพื้ ทางเดิมปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และสารโพลิเมอร์เคมโรด 38

เอกสารอ้างอิง 39
ภาคผนวก ก 40
ประวัติผู้เขียน 81

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุพื้นทางเดิม 26

4.2 คุณสมบัติของสารโพลิเมอร์เคมโรด 27

4.3 กำลังรับแรงอัดของวัสดุผิวทางปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ 28

4.4 อัตราส่วนผสมสารโพลิเมอร์เคมโรดและกำลังรับแรงอัดของวัสดุมวลรวม 29

4.5 อัตราส่วนร้อยละซีเมนต์,กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของวัสดุ 31

4.6 อัตราส่วนผสมสารโพลิเมอร์เคมโรด,กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของวัสดุ 34

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

3.1 ลักษณะทางกายภาพของสายทางและตำแหน่งโครงการ 13

3.2 การเก็บตัวอย่างในสายทาง นม.1017 แยก ทล.2-บ.เตยกระเตย อ.ประทาย จ.นครราชสีมา 14

3.3 การเตรียมตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ 15

3.4 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ 16

3.5 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด 17

3.6 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว 17

3.7 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก 18

3.8 การทดสอบเพื่อหาขนาดของเม็ดดิน 18

3.9 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน 19

3.10 การทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. (C.B.R.) 20

3.11 การทดสอบกำลังอัดแกนเดียว 22

3.12 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว 24

3.13 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบกำลังรับแรงดัด 25

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ 28

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและสารโพลิเมอร์เคมโรด ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 3.5 30

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับอัตราส่วนผสมซีเมนต์ 32

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวกับปริมาณปูนชิเมนต์ 33

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรด 35

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวกับปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรด 36

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

มทช.	=	มาตรฐานงานทาง กรมทางหลวงชนบท
มทช.(ท)	=	มาตรฐานวิธีการทดลอง กรมทางหลวงชนบท
A	=	กำลังรับแรงดัด
B	=	การโก่งตัวของตัวอย่างวัสดุ
Y	=	กำลังรับแรงอัด
X	=	ปริมาณปูนซีเมนต์
Z	=	ปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรด
Cc	=	ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของวัสดุมวลรวม
Cu	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอของขนาดวัสดุมวลรวม
ASSHTO	=	*American Association of State Highway and Transportation Officials*
CBR	=	*California bearing ratio*
HW	=	*Highway*
LL	=	ขีดจำกัดความเหลว (*Liquid limit*)
M1	=	มวลของดินเปียก
M2	=	มวลของดินอบแห้ง
OMC	=	ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม *(OPTIMUM MOISTURE CONTENT)*
P	=	แรงกด
PI	=	ดัชนีสภาพพลาสติก (*plasticity index*)
PL	=	ขีดจำกัดพลาสติก (*plasticity limit*)
R2	=	สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ
UCS	=	*Unconfined compressive strength*
V	=	ปริมาตรของแบบหรือปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบ
w	=	ปริมาณน้ำในดิน

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันการซ่อมบำรุงทางโดยวิธี การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ ที่เรียกว่า Pavement In-Place Recycling เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย โดยการนำเอาวัสดุโครงสร้างทางชั้นพื้นทางเดิมที่ชำรุดเสียหายจากการใช้งานมานานมาหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่โดยใช้เครื่องจักรขุดกัดไสทำให้ร่วนซุยเป็นวัสดุมวลรวมหยาบแล้วปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 หรือใส่สารผสมเพิ่มอื่นใดเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดีขึ้นในปริมาณน้ำที่เหมาะสมตามความหนาและอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้แล้วปูแทนที่เดิมด้วยเครื่องปูแล้วบดอัดแน่นด้วยชุดเครื่องจักรชุดบดอัดและปรับเกลี่ยให้ได้ระดับและความแน่นตามฐานที่กำหนด ซึ่งเทคนิคการซ่อมบำรุงด้วยวิธีนี้มีข้อดีที่สำคัญคือสามารถทำการปรับปรุงพื้นทางเดิม ในสถานที่ก่อสร้างได้ทันที ทำให้ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัสดุ และสามารถเปิดการจราจรได้ตลอดเวลามีผลกระทบต่อผู้ใช้เส้นทางน้อย เป็นวิธีที่นิยมและได้การยอมรับสะดวก รวดเร็ว ประหยัด และมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการดำเนินการซ่อมบำรุงด้วยวิธีดังกล่าวปูนซีเมนต์เมื่อนำไปผสมกับวัสดุมวลรวมหยาบในปริมาณน้ำที่เหมาะสมปูนซีเมนต์ก็ทำปฏิกิริยากับน้ำเพิ่มเสถียรภาพยึดเกาะกับมวลรวมทำให้พื้นทางมีความมั่นคงแข็งแรง แต่ว่าปัญหาที่พบโดยส่วนใหญ่ ภายหลังจากการเปิดจราจรใช้งานไปสักระยะหนึ่งจะเกิดรอยแตกร้าวของชั้นพื้นทางของผิวจราจรลาดยาง ตามแนวยาวและตามขวางที่มีขนาดตั้งแต่ 0.25 มม.-1.50 มม. มีสาเหตุมาจากวัสดุพื้นทางที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์มีคุณสมบัติแข็งคล้ายคอนกรีตแต่ว่าเปราะการรับน้ำหนักรถบรรทุกใช้งานแบบซ้ำๆและการขยายและหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิของวัสดุชั้นพื้นทาง เกิดรอยแตกร้าวขึ้นทำให้น้ำซึมลงไปในชั้นโครงสร้างทางก่อให้เกิดความเสียหายจากสาเหตุปัญหาดังกล่าวข้างต้น หน่วยงานของภาครัฐเองที่เกี่ยวข้องกับงานทางหรือสถาบันการศึกษาต่าง ๆได้พยายามหาแนวทางและเทคนิควิธีการแก้ไขลดรอยแตกร้าวดังกล่าวด้วยการศึกษาและวิจัยทดลองหาวัสดุใหม่ๆหรือสารผสมเพิ่มเพื่อช่วยลดการแตกร้าวเพิ่มความเสถียรภาพและความยืดหยุ่นให้กับโครงสร้างชั้นพื้นทางเพื่อเพิ่มความแข็งแรง โครงสร้างถนนมีความทนทาน ลดการซึมผ่านของน้ำ แบกทานน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้นเพิ่มอายุการใช้งานประหยัดเวลาลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา

ดังนั้นผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นสารผสมเพิ่มสารโพลิเมอร์เคมโรด มีองค์ประกอบของสารลดน้ำ เหมาะกับการใช้งานนำมาผสมกับดินซีเมนต์ ซึ่งคุณสมบัติตามผู้ผลิตที่กล่าวอ้างเมื่อผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน หรือวัสดุมวลรวมจะมีคุณสมบัติความแข็งคล้ายคอนกรีต

โดยPolymer ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นระหว่างดินใน Soil cement & film former เชื่อมประสาน (Binder) และ เป็นการหน่วงการใช้น้ำ (water retention agent) และมี Acrylic Resin ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสาน (binder) และช่วยยึดเกาะ (bonding) เมื่อ chem road ผสมกับดินซีเมนต์แล้วสามารถปรับปรุงป้องกันความพรุนยึดเกาะการซึมผ่านของน้ำ (water Penetration) และการเพิ่มความต้านทานการแตกของดิน – ซีเมนต์ (fracture toughness)

จากสาเหตุปัจจัยข้อด้อยของวัสดุมวลรวมที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์และคุณสมบัติที่ดีของสารผสมเพิ่มโพลิเมอร์เคมโรด ข้างต้น ผู้วิจัยต้องการทราบคุณสมบัติเบื้องต้นทางด้านวิศวกรรม ของตัวอย่าง วัสดุมวลรวมหยาบพื้นทางเดิม ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์ก่อนและหลังผสม สารโพลิเมอร์เคมโรด เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมและหาความสัมพันธ์กำลังของก้อนตัวอย่างวัสดุในห้องปฏิบัติการ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาคุณสมบัติต้านทานการรับแรงกดโดยตรงของตัวอย่างวัสดุมวลรวมหยาบ (วัสดุพื้นทางเดิม) ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ก่อนและหลังผสมสารโพลิเมอร์เคมโรด

1.2.2 เพื่อศึกษาหาคุณสมบัติโมดูลัสการแตกร้าวของคานตัวอย่างวัสดุมวลรวมหยาบ (พื้นทางเดิม) ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ก่อนและหลังผสมสารเพิ่มสารโพลิเมอร์เคมโรด

1.2.3 เพื่อศึกษาพฤติกรรมในการรับแรงที่กระทำต่างๆ แล้ววัดค่าการแอ่นตัวของคานตัวอย่างวัสดุมวลรวมหยาบ (พื้นทางเดิม) ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ก่อนและหลังผสมสารเพิ่ม สารโพลิเมอร์เคมโรด

1.2.4 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดโมดูลัสการแตกร้าว และค่าการแอ่นตัวของคานตัวอย่างวัสดุมวลรวมหยาบ (พื้นทางเดิม) ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ก่อนและหลังผสมสารเพิ่มสารโพลิเมอร์เคมโรด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมกำลังรับแรงอัด,กำลังรับแรงดัดต้านทานการแตกร้าว (Flexural Strength) ว่ามีคุณสมบัติสามารถรับแรงอัดรับแรงดัด ดังกล่าว (Flexural Strength) และมีความยืดหยุ่นการคืนตัวดีขึ้น (Elastic Modulus) ของคานตัวอย่างวัสดุ มวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยซีเมนต์กับคานตัวอย่างวัสดุมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยซีเมนต์ผสมสารโพลิเมอร์เคมโรดเนื่องจากการหากำลังรับแรงดึงของคานตัวอย่างโดยตรงอาจทำได้ยาก จึงหากำลังดึงของคอนกรีตจากการ

ทดสอบตัวอย่างวัสดุภายใต้แรงอัดโดยหน่วยค่าแรงดึงสูงสุดจะอยู่ที่บริเวณท้องคานที่เรียกว่า โมดูลัสการแตกร้าว (Modulus of Rupture) และวัดค่าการแอ่นตัว (Deflection) ของตัวอย่างภายใต้สภาวการณ์รับน้ำหนักที่กระทำต่าง ๆ ต่อคานตัวอย่างวัสดุดังกล่าว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของกำลังรับแรงอัด, ค่าโมดูลัสแตกร้าวการแอ่นตัวของคานตัวอย่างมวลรวมหยาบ (พื้นทางเดิม) ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ผสมสารโพลิเมอร์เคมโรด

1.4.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติเบื้องต้นทางด้านวิศวกรรมค่ากำลังรับแรงอัดกำลังต้านทานแรงดัดและการแอ่นตัวของวัสดุมวลรวมหยาบ (พื้นทางเดิม) ปรับปรุงด้วยซีเมนต์กับคานตัวอย่างวัสดุมวลรวมหยาบ (พื้นทางเดิม) ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ผสมสารโพลิเมอร์เคมโรด

1.4.3 นำผลการทดลองไปปรับใช้ สำหรับการออกแบบส่วนผสมเพิ่มวัสดุชั้นงานทางหรือพื้นสนามบินเพราะมีลักษณะการรับน้ำหนักในรูปแบบการรับแรงดัด และการควบคุมคุณภาพการซ่อมบำรุงทางโดยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (Pavement in – Place Recycling)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี

การเพิ่มประสิทธิภาพคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของวัสดุพื้นทางเดิมที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์และสารผสมเพิ่มเพื่อให้ได้วัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้นและมีความเสถียรเพิ่มขึ้นสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้นมีอายุการใช้งานได้ยาวนานการนำสารผสมเพิ่มมาเป็นส่วนผสมของวัสดุมวลรวมที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพลดข้อด้อยคุณสมบัติบางอย่าง ดังนั้น การทดสอบหาคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปของวัสดุดังกล่าวก่อนและหลังผสมสารเพิ่มมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมและหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด,กับลังรับแรงดัดและค่าการแอ่นตัวของวัสดุว่ามีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมอย่างไรเพื่อเป็นประโยชน์ในการพิจารณาเลือกสัดส่วนวัสดุหรือสารผสมเพิ่มและเทคนิคในการใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

2.1 การหมุนเวียนมาใช้งานใหม่แบบในที่ (Pavement In-Place Recycling)

งานหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่แบบในที่ (Pavement In-Place Recycling) หมายถึง การนำวัสดุชั้นทางเดิมมาปรับปรุงคุณภาพให้ได้คุณสมบัติทางวิศวกรรมตามต้องการแล้วนำกลับไปใช้งานใหม่แบบแทนที่ โดยการปรับปรุงคุณภาพทำในสายทางที่จะดำเนินการบูรณะผิวทางใหม่ เพื่อให้มีคุณภาพตามรูปแบบและข้อกำหนด

2.2 วัสดุ

2.2.1 วัสดุชั้นทางเดิม หมายถึง วัสดุที่ได้จากการขุดรื้อขูดไสจากชั้นทางเดิมแล้วทำให้รวมถึงความลึกตามรูปแบบที่กำหนด ซึ่งอาจจะประกอบด้วยผิวลาดยาง หินคลุก ลูกรัง แล้วแต่สภาพของสายทางที่ได้ดำเนินการก่อสร้าง ในกรณีวัสดุชั้นทางเดิมมีขนาดคละที่ไม่เหมาะสม หรือคุณสมบัติอื่นไม่ได้ตามรูปแบบและข้อกำหนด ให้แก้ไขปรับปรุงหรือนำวัสดุผสมเพิ่มมาผสม เพื่อให้ให้ได้ตามรูปแบบและข้อกำหนด

2.2.2 วัสดุผสมเพิ่ม จะต้องมีสมบัติที่เหมาะสม และเข้ากันได้ดีกับวัดสุชั้นทางเดิมหรือวัสดุผสมเพิ่มชนิดอื่นที่นำมาใช้งาน เพื่อให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของส่วนผสมมีความแข็งแรงเป็นไปตามรูปและข้อกำหนดได้แก่

2.2.2.1 ปูนขาว หมายถึง ไฮเดรตเต็ดไลม์ [Hydrated Lime : Ca(OH) หรือ ควิกไลม์ [Quick Lime : CaO] ที่มีคุณสมบัติดังนี้ ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ [Calcium Oxide : CaO] และแมกนีเซียมออกไซด์ [Magnesium Oxide : Mgo] รวมกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ขนาดของเม็ดปูนขาวต้องผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มิลลิเมตร (เบอร์ 40) ร้อยละ 100

2.2.2.2 เถ้าลอยที่นำมาใช้จะต้องมีคุณสมบัติสม่ำเสมอ ขนาดของเม็ดเถ้าลอยต้องผ่านตะแกรงขนาด 0.600 มิลลิเมตร (เบอร์ 30) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 และต้องผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70

2.2.3 ปูนซีเมนต์เป็นผลผลิตที่ได้จากการบดเม็ดปูนให้ละเอียดซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญเป็นออกไซด์ของธาตุคัลเซียม– ซิลิกอนและอลูมิเนียม โดยมีอัตราส่วนผสมที่พอเหมาะเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ วัตถุดิบที่ผลิตแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ธาตุคัลเซียม ได้แก่ หินปูน (Limestone) ดินสอพอง (Chalk) ดิน มาร์ล (Marl) ส่วนประเภทที่ให้ธาตุซิลิกอนและอลูมิเนียม ได้แก่ หินเชลส์ (Shale) ดินเหนียว (Clay) และหิน ชนวน (Slate) นอกจากนี้ยังมีการใส่วัสดุอื่นๆ เช่น แร่เหล็ก (Lron Ore) ใช้เพื่อเพิ่มปริมาณเหล็กให้ได้ตามต้องการ ในกรณีที่หินเชลส์หรือดินเหนียวที่ใช้มีปริมาณของเหล็กต่ำและมีการใส่วัตถุดิบอย่างอื่นเช่น ยิปซั่ม (Gypsum) ใช้เพื่อเป็นสารหน่วงการก่อตัวอย่างฉับพลันของซีเมนต์ การเกิดปฏิกิริยา Pozzolanic เป็นปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์และ Soil Silica หรือ Alumina เพื่อก่อให้เกิดการประสานตัวซึ่งกันและกัน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้กำลังของส่วนผสมดิน – ปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นเป็นส่วนหนึ่งของปฏิกิริยา Pozzolanic และที่สภาวะ $_{P}H$ ที่สูง การสลายตัว (Solubility) ของ Silica และ Alumina จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่ง PH สูงนั้นๆ Silica ที่สลายตัวออกจากโครงสร้างของอนุภาคดินเหนียวมาทำปฏิกิริยากับ Ca2+ แล้วเกิดเป็นสารประกอบใหม่ซึ่งเป็นผลึกของ CalciumSilicate Hydrate (CSH) Dimond, White และ Dolch [5]พบว่านอกจากจะได้สารประกอบประเภท CSH แล้วยังได้สารประกอบประเภท CalciumAluminate Hydrate (CAH) อีกด้วย ดังสมการ

Ca2+ +2 (OH)- + Sio2 ® CSH

Ca2+ +2 (OH)- + AL203 ® CSH

ปฏิกิริยา Aluminate โดยพื้นฐานแล้วจะเกิดทันทีและจะเกิดที่จุดต่อระหว่างขอบและผิวหน้าของดินเดิม สำหรับสารประกอบ Silicate จะเกิดปฏิกิริยาที่ช้ากว่าและแรงยึดเกาะซึ่งเกิดจากสารประกอบ Aluminate จะไม่มีความแข็งแรงเหมือนกับแรงยึดเกาะที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ของสารประกอบ Silicate

ปฏิกิริยา Hydration การทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะหยุดเมื่อน้ำระเหยหนีออกจากเพสท์หมดแล้วดังนั้นการบ่มเป็นวิธีการป้องกันการสูญเสียน้ำเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ขึ้นอยู่กับปริมาณ, ชนิด, อุณหภูมิ,ความละเอียดและอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ช่วงการทำปฏิกิริยา Hydration มีดังนี้

- DomantPeriod ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำจะก่อเกิดให้เกิดซีเมนต์เพสท์ที่อยู่ในสภาพเหลวและสามารถลื่นไถลได้ช่วงนี้คุณสมบัติยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากนั้นจะเริ่มจับตัวมีลักษณะนิ่มไม่สามารถรื่นไถลตัวได้อีก
- Initial setting time ระยะเวลาตั้งแต่ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำจนถึงจุดเวลาก่อตัวเริ่มต้นหรือจุดแข็งตัวเริ่มต้นการก่อตัวของซีเมนต์เพสท์จะยังคงดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ จนถึงจุดที่เป็นของแข็งคงสภาพ(Rigid solid)ซึ่งจะเรียกจุดแข็งตัวสุดท้าย (Final set) ช่วงเวลานี้เรียกว่าเวลาการก่อตัวสุดท้าย
- Final setting Time ระยะเวการก่อตัวสุดท้ายซีเมนต์เพสท์จะยังคงก่อตัวไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสามารถรับน้ำหนักได้ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่าการก่อตัวและแข็งตัว

2.2.4 สารผสมเพิ่ม (Admixture) เป็นชนิดที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับวัสดุชั้นทางเดิมที่จะปรับปรุง โดยใช้สารโพลิเมอร์เคมโรด เป็นสารผสมของน้ำ Acrylic Resin, CalciumSalt, Minerai Oil และ Cellulose มีวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินซีเมนต์ (Soil Cement) ในงานก่อสร้าง/ปรับปรุงถนน โดยจะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืดเคลือบอนุภาคและเชื่อมผสารเม็ดดิน หน่วยการใช้น้ำมันและช่วยลดการซึมผ่านของน้ำ เพื่อลดการแตกร้าว (Fracture Touhriss) ของผิวจราจรดินซีเมนต์

คุณสมบัติของน้ำยาโพลิเมอร์สำหรับปรับปรุงคุณสมบัติดินซีเมนต์ มีดังต่อไปนี้

คุณสมบัติทางเคมี

- จุดเดือด (Boiling Point)	100 °c
- ความหนืด (Viscosity)	900-1,600 cps
- ความเป็นกรด – ด่าง (pH Value)	9.00-12.00 @ 25 °c

- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) 1.00-1.02
- Solid Content 7%

คุณสมบัติทางกายภาพ

- สารสามารถละลายน้ำได้ทั้งหมดอย่างรวดเร็วโดยไม่มีกากเหลืออยู่ในลักษณะแข็งเป็นก้อน
- กระบวนการผสมและนำไปใช้งานง่ายไม่ยุ่งยาก สามารถใช้เครื่องมืออุปกรณ์การก่อสร้างที่มีใช้อยู่ทั่วไป ไม่ต้องใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์พิเศษเฉพาะ
- สามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิปกติได้โดยไม่ทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนแปลงในระยะเวลาไม่น้อยกว่า 1 ปี
- ไม่เป็นสารอันตราย/ไม่เป็นสารพิษ/ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและพืชพันธุ์ไม้/ไม่มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนทำลาย/ไม่เป็นสารก่อสนิม/ไม่เป็นสารติดไฟ/ไม่มีกลิ่นเหม็นที่รุนแรง/ปลอดภัยต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม

2.5 น้ำ ที่จะนำมาผสมหรือบ่มชั้นทางเดิมที่ปรับปรุงคุณภาพ ต้องเป็นน้ำสะอาด ปราศจากสารที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชั้นทางและส่วนผสมเพิ่มที่ปรับปรุง

2.3 มาตรฐานวิธีการทดลอง

2.3.1 การทดลองหาความถ่วงจ าเพาะของดิน (Specific Gravity)

ดินตามธรรมชาติจะประกอบด้วย อากาศ น้ำ และเม็ดดิน โดยเม็ดดินจะเกิดจากการรวมตัวกันของแร่ธาตุที่แตกต่างกันออกไปดังนั้นจึงเป็นผลให้ดินในแต่ละพื้นที่ มีความถ่วงจำเพาะต่างกัน ในขณะที่น้ำ จะมีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกัน แต่ก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ความถ่วงจำเพาะของดินคือ อัตราส่วนของน้ำ หนักดินต่อน้ำหนักของน้ำ ที่มีปริมาตรเท่ากับดินในอุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่แสดงให้ทราบถึงลักษณะทั่วไปของดิน ตามวิธีการทดลองที่ มทช.(ท) 101.4 –2545 และตามวิธีการทดลองที่ มทช.(ท) 101.5-2545

2.3.2 วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (SIEVE ANALYSIS)

การกระจายของขนาดเม็ดดิน หมายถึงการที่มวลดินประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาดต่างๆกัน เช่น ตั้งแต่ 10 ซม. ลงมาจนกระทั่ง 0.0002 มม. ซึ่งคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดินการกระจายของขนาดเม็ดดินแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดดินในลอการิทึม (LOGARITHM) อยู่บนแกนนอน และร้อยละโดยน้ำหนักของเม็ดที่มีขนาดเล็กกว่าที่ระบุ (PERCENT FINER) อยู่บนแกนตั้ง ซึ่งเรียกว่ากราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน (GRAINSIZE DISTRIBUTION CURVE) วิธีการทดสอบนี้ เป็นการหาการกระจายของขนาดเม็ด

ดิน (PARTICLE SIZE DISTRIBUTION) ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่ จนถึงขนาดเล็กที่มีขนาดช่องผ่าน 0.075 มม. (เบอร์ 200) แล้ว เปรียบเทียบน้ำหนักที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่างตามวิธีการทดลองที่ มทช. (ท) 501.8-2545

2.3.3 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (PLASTIC LIMIT : P.L.)

ขีดพลาสติกของดิน หมายถึง ปริมาณน้ำจำนวนน้อยที่สุด ที่วัดโดยกรรมวิธีทดสอบที่จะกล่าวต่อไป ซึ่งยังคงทำให้ดินมีสภาพเป็นพลาสติก โดยมีค่าเป็นร้อยละของน้ำต่อน้ำหนักดินอบแห้งค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (PLASTICITY INDEX : P.I.) ของดิน หมายถึง ปริมาณน้ำในดินช่วงหนึ่ง ซึ่งดินนั้นยังคงสภาพเป็นพลาสติก มีค่าเป็นผลต่างระหว่างค่าขีดเหลว และขีดพลาสติกของดินนั้นวิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าขีดพลาสติกของดินตามวิธีการทดลองที่ มทช.(ท) 501.6-2545

2.3.4 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (LIQUID LIMIT : L.L.)

ขีดเหลวของดินคือ ปริมาณน้าเป็นร้อยละที่ผสมอยู่ในดิน ซึ่งพอเหมาะที่ทาให้ดินเปลี่ยนจากภาวะพลาสติก(PLASTIC) มาเป็นภาวะเหลว (LIQUID) โดยเปรียบเทียบกับน้าหนักของเนื้อดินนั้นเมื่ออบแห้ง วิธีการทดลองที่ มทช.(ท) 501.5-2545

2.3.5 วิธีทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Poctor Density test)

การทดลอง Compaction Test วิธีนี้เป็นการทดลองโดยวิธี Dynamic Compactionเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งสูงสุดของดินกับปริมาณน้ำที่เหมาะสมใช้ในการบดอัดเพื่อให้ได้ความแน่นสูงสุดตามวิธีการทดลองที่ มทช.501.1 – 2545

2.3.6 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. (C.B.R.)

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าเปรียบเทียบ ค่าความสามารถในการรับน้ำหนัก (BEARING VALUE) กับวัสดุหินมาตรฐานเพื่อทดสอบวัสดุมวลรวมดิน (SOIL AGGREGATE) หินคลุกหรือวัสดุอื่นใดเมื่อทำการบดอัดวัสดุนั้นโดยใช้ตุ้มบดอัดในแบบ (MOLD) เมื่อมีความชื้นที่ความแน่นแห้งสูงสุด (OPTIMUMMOISTURE CONTENT) หรือปริมาณอื่นใด เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนน และเพื่อใช้ควบคุมงาน เมื่อบดอัดให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการตามวิธีการทดลองที่มทช.(ท) 501.3-2545

2.3.7 วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน

ขอบข่าย Unconfined Compressive Strength คือ ค่าแรงอัด (Compressive Load) สูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งแท่งตัวอย่างดินรูปทรงกระบอกหรือรูป Prismatic จะรับได้ ถ้าในกรณีที่ค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ยังไม่ถึงค่าสูงสุดเมื่อ ความเครียด (Strain) ในแนวดิ่งเกินร้อยละ 20 ให้ใช้ค่าแรงอัดต่อ

หน่วยพื้นที่ที่ความเครียดร้อยละ 20 นั้น เป็นค่า Unconfined Compressive Strength การทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO 208-70 อธิบายถึงการหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน ในสภาพ Unconfined Compressive Strength อัตราการเพิ่มแรงอัดในระหว่างการทดลอง จะควบคุมโดย ความเครียด (Strain) หรือควบคุมโดยความเค้น (Stress)

2.3.8 มาตรฐานการทดสอบการรับแรงดัด (Flexural strength)

โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแผ่นพื้น เช่น ถนน สะพาน ทางวิ่งของสนามบิน ต้องมีการทดสอบหาค่าหน่วยแรงดัดของแผ่นพื้น เนื่องด้วยหน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นมี 4 ประเภท คือ น้ำหนักบรรทุก อุณหภูมิของแผ่นพื้น การขยายตัวและการบวมตัวของดินเดิม แต่หน่วยแรงดัดที่มีความสำคัญต่อการออกแบบโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแผ่นพื้น คือหน่วยแรงดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกมีตำแหน่งวิฤต 3 จุด คือ น้ำหนักกระทำที่มุมแผ่นพื้นห่างจากขอบ น้ำหนักกระทำที่ขอบของแผ่นพื้นห่างจากมุม น้ำหนักที่กระทำทั้ง 3 จุด ก่อให้เกิดหน่วยแรงดัดซึ่งหน่วยแรงเนื่องจากอุณหภูมิแผ่นพื้น เนื่องจากการรับอุณหภูมิที่แตกต่างกับระหว่างกลางวัน และกลางคืน ก่อให้เกิดการขยายตัวและหดตัวด้านบน และด้านล่างของแผ่นพื้นในทิศตรงข้ามกัน ทำให้แผ่นพื้นโก่งงอ ก่อให้เกิดหน่วยแรงดัด

ขอบข่ายวิธีการทดสอบ ครอบคลุมถึงการทดลองหาการรับแรงดัดของแผ่นพื้น โดยสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีใช้แรงกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลางคาน (center-Point loading) และวิธีใช้แรงกดคาน 2 จุด โดยให้ตำแหน่งของจุดทั้งสองเป็นตำแหน่งที่แบ่งคานออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆกัน (Third-point loading)ตามวิธีการทดลอง ASTM – C 1609-10

2.4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Terrel Et al. (1979) กล่าวถึงปฏิกิริยาของดินซีเมนต์ว่า การผสมซีเมนต์กับดินเม็ดหยาบ ซีเมนต์เพส จะทำหน้าที่ยึดอนุภาค ส่วนดินเม็ดละเอียด แร่ดินเหนียวที่สลายออกมาในสภาวะแวดล้อมที่มีค่า pH สูง จะทำปฏิกิริยา กับ Free lime หรือ Hydrate lime ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ทำให้เกิด CSH และ CAH Felt (1995) และ Silty Clay loam มาทดลองผสมซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 6 ถึง 30 โดยปริมาตรที่อายุการบ่ม ตั้งแต่ 2 วัน จนถึง 1 ปี และผ่านสภาพภูมิอากาศ 2 แบบ คือ Wet - dry และ Freeze-thaw ตั้งแต่ 12 รอบ ถึง 96 รอบ ผลการศึกษาสรุปได้ว่า กำลังอัดของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ ดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่จะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าดินที่มีขนาดเม็ดเล็ก ดินที่มีปริมาณดินเหนียวผสมอยู่สูงจะมีกำลังอัดน้อยกว่าดินที่มีปริมาณดินเหนียวต่ำ และมีความคงทนของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่ใช้

Ruenkrairergsa (1982) อธิบายว่าปริมาณซีเมนต์เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดของดินซีเมนต์ อัตราการเพิ่มกำลังอัดของดินซีเมนต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน พันธะเชื่อมประสานในดินเม็ดหยาบจะแข็งแรงกว่าในดินเม็ดละเอียด ดินที่มีดินเหนียวมากจะให้กำลังอัดต่ำ ดังนั้น ปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมจึงควรหาจากการทดลองในห้องทดลอง

Ade and Overton (1989) ได้ศึกษาผลของพันธะเชื่อมประสาน (cementation) ในดินหยาบภายใต้ความหนาแน่นที่เท่ากัน ปริมาณน้ำที่ผสมเท่ากันและแรงดันรอบข้างต่ำ แต่แตกต่างกันที่ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้

ผสม พบว่าเมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้น ค่ากำลังและค่ามุมของแรงเสียดทาน ภายใน (internal friction angle) จะเพิ่มขึ้น

Horpibulsuk (2001) } Miura et (2001) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำและปริมาณซีเมนต์สามารถรวบรวมผสมไว้ในตัวแปรนี้เรียกว่า Clay-water/cement Ratio

Ng (1966) พบว่ากำลังอัดของดินลูกรังผสมซีเมนต์จะแปรผันกับอุณหภูมิที่ใช้บ่มกล่าวอุณหภูมิการบ่มเพิ่มขึ้นจาก 70F เป็น 100 F กำลังอัดของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 20

Wang and Huston (1974) รายงานว่าการลดอุณหภูมิในการบ่มจะทำกำลังอัดลงลดแต่จะเพิ่มความเครียดที่จุดวิบัติ ไม่ว่าจะทดลองแรงดึง หรือแรงอัด

Shacsel and Lee (1974) ทำการศึกษาเรื่องการบ่มดินซีเมนต์โดยใช้ตัวอย่าง Artificial Soil ซึ่งได้จากการนำ Uniform sand จากเมือง Botany รัฐ new South Wales ประเทศออสเตรเลีย มาผสมกับ Comercial Air-floated China Clay (kaolin) ในอัตราส่วน 60-40 โดยน้ำหนัก และผสมซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 0.3 และ 8 ทำการบ่ม 2 ลักษณะ คือบ่มในอากาศที่อุณหภูมิที่คงที่ 20 องศาเซลเซียส และบ่มในถุงพลาสติก ที่อุณหภูมิคงที่ 20 องศาเซลเซียส โดยมีระยะบ่ม 0,1,3,9,23,44 และ 81 วัน จากนั้นทดลองหาค่าการหดตัวหรือหาค่าขยายตัวค่ากำลังอัด ค่ากำลังดึง และวัดการกระจายตัวของโพรง (PoreSize distribution) ของดิน ซีเมนต์และอายุการบ่มจะทำให้กำลังอัด และกำลังดึงเพิ่มขึ้น การบ่มในอากาศจะทำให้เกิดการหดตัวมากกว่าการบ่มแบบชื้น และยังเพิ่มขนาดโพรง (Pore size) และปริมาตร (pore volume) เมื่ออายุการบ่มแบบชื้น ส่วนการบ่มแบบชื้น เมื่ออายุบ่มมาก จำทำให้ขนาดโพรงลงลด

Wang and Huaston (1972) ทำการทดลองหากำลังดึง และกำลังของวัสดุผสมระหว่างปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งกับดินตะกอนที่ได้จาก Glacial deposit ในRhode island พบว่าการเสียรูปที่จุดวิบัติจากการทดสอบทั้งแบบรับแรงดึง จะมีค่าที่เสมอ ถ้าหากค่าความหนาแน่นแห้ง ปริมาณความชื้น และสภาพการบ่มเหมือนกัน ค่ากำลังค่าเสียรูปที่ได้จากทดสอบแบบรังแรงดึงจะมีความต่ำกว่าที่ได้จากทดสอบแบบรังแรงอัด ค่ากำลังรับแรงดึง จะมีความอยู่ระหว่างร้อยละ 10-20

ของค่ากำลังรับแรงอัด ส่วนค่าการเสียรูปที่จุดวิบัติเนื่องจากแรงดึง จะมีค่าระหว่าง 1.0-2.5 ของค่าเสียรูปที่จุดวิบัติเนื่องจากแรงอัดสำหรับทุกอายุการบ่มและปริมาณซีเมนต์ที่ศึกษา และยังพบว่าค่าโมดูสัลยืดหยุ่นของแรงอัดกับค่าโมดูสัลของแรงดึง เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังอัด

Clare and Pollard (1951) ทำการศึกษาเกี่ยวกับสารผสมเพิ่ม โดยทำการทดสอบดินทรายที่มีสารอินทร์ผสมอยู่ร้อยละ 0.3 พบว่าสารผสมเพิ่มจำพวกปูนขาว (Lime) มีส่วนช่วยให้ดินซีเมนต์แข็งตัวเร็วในระยะแรก ดินชนิดนี้เมื่อผสมด้วยปอร์ตแลนด์ซีเมนต์อย่างเดียวจะก่อตัวเมื่ออายุ 7 วัน แต่เมื่อเพิ่มปูนขาว ประมาณร้อยละ 2 จะช่วยให้ปูนซีเมนต์ดังกล่าวแข็งตัวเร็วขึ้น2 วัน

Fullcr and Dabney (1952) ได้อธิบายว่าการใส่ปูนขาวกับดินที่มีค่าดัชนีพลาสติกสูงจะทำให้การผสม และการบดอัดง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้น

Maclean et al. (1952) ได้นำดินที่มีค่าขีดจำกัดเหลวระหว่าง 70-75 และมีค่าดัชนีพลาสติกประมาณ 45-53 มาทำการทดลอง โดยใช้ปริมาณซีเมนต์ที่ร้อยละ 15-30 โดยที่เพิ่มปูนขาวลงไปร้อยละ 2 พบว่า กำลังอัดของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้น และมีความต้านทานการเสียกำลังเมื่อแช่น้ำได้ดียิ่งขึ้น แต่ถ้าผสมปูนขาว (lime) เกินกว่าร้อยละ 2 ผลการทดลองอาจไม่เป็นตามที่กล่าวมาข้างต้น

Lambe and Moh (1957) ได้รายงานผลการทดสอบการใช้สารผสมเพิ่มจำนวน 29 ชนิดในกลุ่ม Dispcrsants,Synthetic resins Waterproofing ageng, Alkalis และเกลือ ในดินซีเมนต์ที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 5 และปริมาณสารผสมเพิ่มร้อยละ 0.5-1.0 ดินที่ใช้ทำการทดสอบได้แก่ดินตะกอนจากรัฐ New Hamshireดินเหนียวปนดินตะกอนจากรัฐ Massachusetts และดินฝุ่นแข็งพรุนจากเมือง Vicksburg พบว่ามีสารผสมเพิ่ม 4 ชนิด ที่เพิ่มความแข็งแรงถึงร้อยละ 100-150 ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต,โซเดียมไฮดรอกไซด์,โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต และโซเดียมซับเฟต

Davidson et al. (1958) ได้ศึกษาการใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์กับเถ้าลอยลิกไนต์ (Fly ash) ในการปรับปรุงคุณภาพของดินพบว่า การผสมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในดินจะทำให้กำลังรับน้ำหนักของทรายผสมซีเมนต์เพิ่มขึ้น และยังพบว่าในดินเหนียวผสมซีเมนต์ถ้าใส่เถ้าลอยลิกไนต์ลงไป จะทำให้รอยแตกเนื่องจากการหดตัวลดลง แต่ไม่ช่วยเพิ่มความคงทน

Pinto et at. (1962) ได้ทำการศึกษาดินที่มีแร่มอนโมริลโอไนท์ผสมอยู่ 5 ชนิด โดยแปรผันปริมาณปูนขาว ซีเมนต์ที่ผสม และอายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน โดยทำการแช่น้ำ 1 วัน ก่อนทำการทดแรงอัดแกนเดียว พบว่าการผสมปูนขาวจะช่วยให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นในกรณีที่ดินตัวอย่างมีปริมาณดินเหนียวสูง และถ้าดินไม่มีหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนตผสมอยู่จะยิ่งทำให้ความแรงเพิ่มสูงขึ้นอีก

Wilmot (1995) กล่าวว่าตั้งแต่ ปี 1950 ในประเทศออสเตเลียวัสดุผสมเพิ่ม ที่ใช้ในงาน Pavement rccycling มีเพียง Cement, Cement/fly-ash, Bitumen และ Hydrate lime เท่านั้น ต่อมาใน

ปี 1980 มีการนำซีเมนต์ผสมมาใช้เพิ่มระยะเวลาการใช้งานให้นานขึ้น โดยที่ความแข็งแรงในระยะยาวยังคงเท่าเดอม ซีเมนต์ผสมดังกล่าวได้แก่ Cement + Slag, Cement + fly-ash, Cement+ Lime และได้ให้แนวทางการเลือกใช้สารผสมเพิ่มกับวัสดุแต่ละชนิด

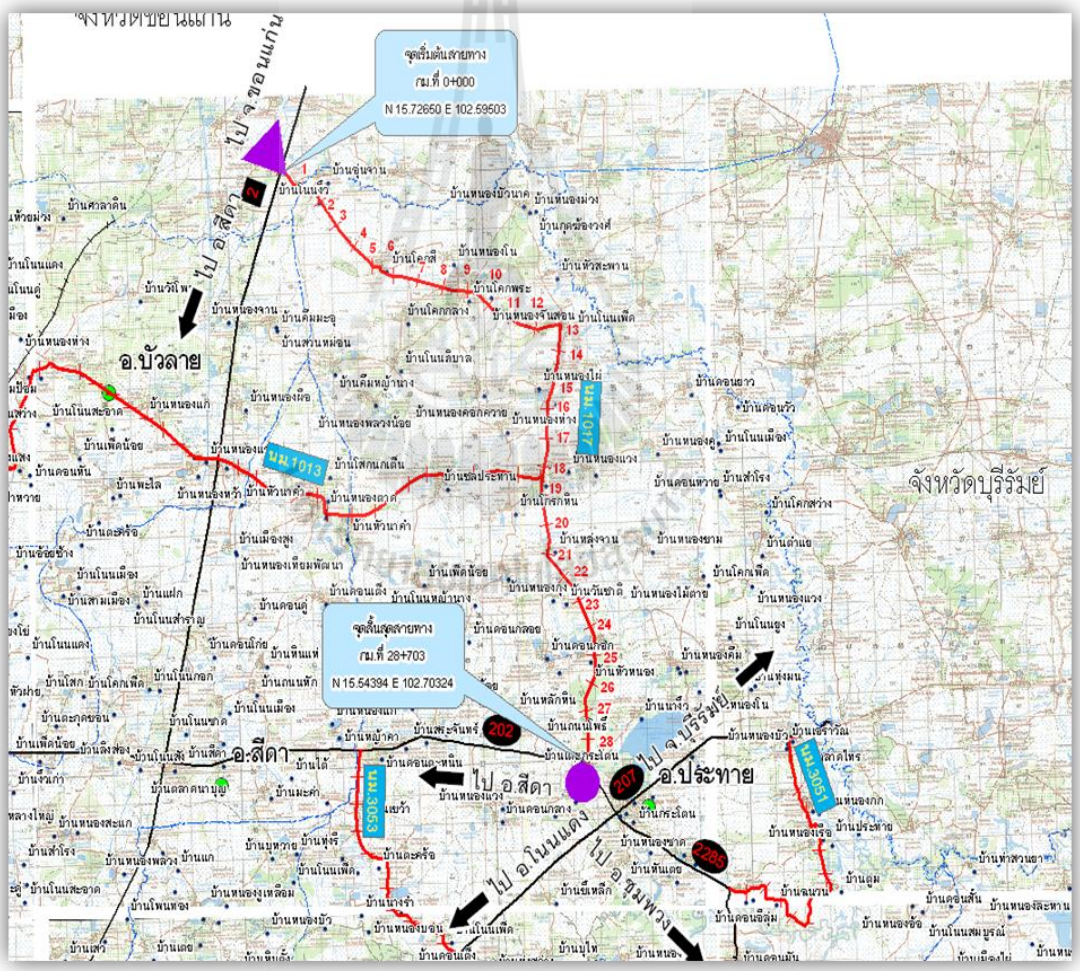
Gordon (1984) กล่าวถึงการใช้สารผสมเพิ่มเพื่อสร้าง Modified materials และ Bound Materals Modified โดยที่ Materials คือวัสดุที่เกิดจากการเติมสารผสมเพิ่มพอประมาณ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมให้ดีขึ้น วัสดุประเภทนี้จะมีความต้านทานแรงดึงต่ำ Bound Materials เป็นวัสดุที่เกิดจากการใส่สารผสมเพิ่มลงไปอย่างมาก เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและสามารถต้านทานน้ำหนักบรรทุกได้ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะมีค่าสูง และอาจต้านทานหน่วยแรงดึงได้

Kuhlman (1989) กล่าวได้ว่า ได้มีการปรับปรุงถนนเก่าใน 12 รัฐ ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีผิวจราจรทำจากยางมะตอย โดยการนำผิวจราจรมาผสมกับซีเมนต์ แล้วใช้เป็นพื้นทางใหม่ในช่วงปี 1942 – 1958 ต่อมาในปี 1970 การปรับปรุงวัสดุเก่านี้ถูกเรียกว่า Recycling ในเวลาต่อมาวิธีการดังกล่าวถูกนำมาใช้งาน ทั้งผิวจราจรยืดหยุ่นที่ชำรุดเสียหาย และผิวจราจรคอนกรีตเก่าซึ่งพบว่าได้ผลดี

Thanawarath (2010) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1และน้ำยาโพลิเมอร์เคมโรดโดยการทดสอบตัวอย่างดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วย 0 % ซีเมนต์และ 0% เคมโรด, 5% ซีเมนต์และ 0% เคมโรด, 5% ซีเมนต์และ 5% เคมโรด ตามลำดับในห้องปฏิบัติซึ่งทำการทดสอบแรงอัดแบบไม่จำกัดเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างดินลูกรังแต่ละวิธีการปรับปรุงดินจากผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1ที่5และปอร์ตแลนด์ประเภท 1 กับน้ำยาโพลิเมอร์เคมโรด ที่ 5 จะมีค่ามากว่าตัวอย่างดินลูกรังที่ไม่มีการปรับปรุงคุนภาพอยู่ไม่ต่ำกว่า 1,200, 1,300 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของตัวอย่างดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ 5% และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ 5% กับน้ำยาโพลิเมอร์เคมโรด ที่ 5% จะมีค่ามากว่ามากกว่าตัวอย่างดินลูกรังที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพอยู่ 3,000 และ 4,900 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับดังนั้นการปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ 5 % กับน้ำยาโพลิเมอร์เคมโรดจะให้ค่าที่สูงที่สุด

บทที่ 3
วิธีดำเนินการการศึกษา

โครงงานทำการศึกษาความเหมาะสมของกำลังอัดและกำลังดัดของวัสดุหินคลุกมวลรวมหยาบที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I และสารโพลิเมอร์เคมโรด เพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นทางเชื่อมประสาน (Bound pavement) ในโครงสร้างทาง ตัวอย่างหินคลุกเก็บจากสายทาง นม.1017 แยก ทล.2-บ.เตยกระเตย อ.ประทาย จ.นครราชสีมา ซึ่งอยู่ในโครงข่ายทางหลวงชนบทในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา (รูปที่ 3.1) ขั้นตอนการดำเนินการประกอบด้วย



รูปที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพของสายทางและตำแหน่งโครงการ

3.1 การเก็บตัวอย่าง

ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างวัสดุพื้นทางเดิมจากสายทางทุกระยะ 500 เมตร ด้านซ้ายและขวาของสายทาง ด้วยเครื่องมือชุดขุดตัดซ่อมบำรุงในสนาม ที่ระดับความลึกประมาณ 20 เซนติเมตร และนำตัวอย่างดังกล่าวมาผึ่งให้แห้งตามปริมาณที่ต้องการทดสอบ

รูปที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างในสายทาง นม.1017 แยก ทล.2-บ.เตยกระเตย อ.ประทาย จ.นครราชสีมา

3.2 การเตรียมตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

ผู้วิจัยนำตัวอย่างวัสดุที่ได้เตรียมไว้มาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วกองเป็นรูปกรวยคว่ำ จากนั้นเกลี่ยให้แบนลงและปรับเป็นรูปวงกลมให้สม่ำเสมอ (รูปที่ 3.3) และวัสดุออกแบ่งเป็นสี่ส่วน เอาส่วนหนึ่งมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3/4 และนำส่วนที่ผ่านตะแกรงเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ $100^{o}C$

รูปที่ 3.3 การเตรียมตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

3.3 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้ตามข้อ 3.2 จะนำมาทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นทางด้านวิศวกรรมปฐพี ดังนี้

3.3.1 การทดสอบหาค่าความถ่วงจาเพาะและค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบ ตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ มทช.(ท) 101.4-2545 (COARSE AGGREGATE) (รูปที่ 3.4)

รูปที่ 3.4 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ

3.3.2 วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจาเพาะ และค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวม ละเอียด ตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ มทช.(ท) 101.5-2545 (FINE AGGREGATE) (รูปที่ 3.5)

รูปที่ 3.5 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด

3.3.3 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (LIQUID LIMIT : LL) ตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ มทช. (ท) 501.5-2545 (รูปที่ 3.6)

รูปที่ 3.6 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว

3.3.4 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดจำกัดพลาสติก (PLASTIC LIMIT: PL) ตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ มทช.(ท) 501.6-2545 (รูปที่ 3.7)

รูปที่ 3.7 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก

3.3.5 วิธีการทดสอบหาขนาดคละเม็ดของวัสดุ (SIEVE ANALYSIS) ตามมาตรฐาน ASTM T 27-70) (รูปที่3.8)

รูปที่ 3.8 การทดสอบเพื่อหาขนาดของเม็ดดิน

3.3.6 วิธีการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ มทช.(ท) 501.2-2545 (รูปที่3.9)

รูปที่ 3.9 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

3.3.7 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. (C.B.R.) ตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ มทช.(ท) 501.2-254

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.10 การทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. (C.B.R.)

3.3.8 การออกแบบส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดำเนินการโดยนำวัสดุพื้นทางเดิมผสมปูนซีเมนต์ ในปริมาณร้อยละ 1, 2, 3, และ4 และบดอัดผู้วิจัยเตรียมตัวอย่างดินซีเมนต์บดอัดอย่างน้อย 3 ก้อนตัวอย่างต่อหนึ่งสัดส่วนผสม หลังจากนั้น ห่อตัวอย่างในถุงพลาสติกและบ่มเป็นเวลา 7 วัน ก่อนทดสอบกำลังรับแรงอัด ผู้วิจัยนำตัวอย่างไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ผลทดสอบที่ได้จะนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนซีเมนต์กับกำลังรับแรงอัด เพื่อใช้หาอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุผิวทางเชื่อมประสานและใช้เป็นค่าเปรียบเทียบกับผลทดสอบของหินคลุกผสมปูนซีเมนต์และสารโพลิเมอร์เคมโรด เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเติมสารโพลิเมอร์เคมโรดต่อกำลังอัดและกำลังดัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.11 การทดสอบกำลังอัดแกนเดียว

3.4 การทดสอบกำลังอัดแกนเดียวและแรงดัดของวัสดุพื้นทางผสมปูนซีเมนต์และสารโพลิเมอร์เคมโรด

3.4.1 วิธีการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว

ผู้วิจัยนำตัวอย่างวัสดุพื้นทางเดิมมาปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ร้อยละ 3.5 ของน้ำหนักมวลรวมพื้นทางเดิม แล้วผสมสารโพลิเมอร์เคมโรดในปริมาณร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 ของน้ำหนักปูนชิเมนต์ โดยการผสมสารโพลิเมอร์เคมโรด รวมกับน้ำให้ได้เท่ากับปริมาณน้ำที่ความแน่นแห้งสูง (OMC.) ที่ร้อยละ 5.90 ของน้ำหนักมวลรวม ตามการทดลองการบดอัดแบบสูงกว่ามาตราฐาน (ข้อ 3.3.6) ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน ต่อมา ผู้วิจัยนำส่วนผสมระหว่างวัสดุพื้นทางเดิมผสมปูนซีเมนต์และสารโพลิเมอร์เคมโรดอัดแน่นเข้าแบบหล่อรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.00 ซม. และสูง 11.80 ซม. ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิค จนได้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด ผู้วิจัยเตรียมตัวอย่างทดสอบจำนวน3 ตัวอย่างต่อสัดส่วนของสารผสมเพิ่มเคมโรด ตัวอย่างถูกบ่มในถุงพลาสติกเป็นเวลา 7 วัน และถูกนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วผึ่งให้แห้งประมาณ 10 นาที ก่อนถูกนำมาทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด ตามวิธีการทดลอง มทช.(ท) 501.2-2545 (รูปที่ 3.12)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.12 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว

3.4.2 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่ารับแรงดัด (Flexural strength)

การเตรียมตัวอย่างทดลองไม่ผสมสารเพิ่มโดยเตรียมตัวอย่างวัสดุพื้นทางผสมปูนซีเมนต์ ที่ร้อยละ 2,3.5,4 และ6 ผสมน้ำตามจำนวนปริมาณน้ำที่ความแน่นแห้งสูงสุดที่ร้อยละ 5.90 ของน้ำหนักมวลรวมคลุกเคล้าให้ทั่วและการเตรียมตัวอย่างทดลองผสมสารเพิ่มโดยเตรียมตัวอย่างวัสดุพื้นทางผสมปูนซีเมนต์และสารโพลิเมอร์เคมโรดดำเนินการเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.4.1 ตัวอย่างถูกนำมาอัดแน่นในแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์ขนาดหน้าตัด 10x10 ซม. ความยาว 35 ซม. ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก จนน้ำหนักมวลรวมเท่ากับความหนาแน่นแห้งสูงสุด ที่ปริมาณน้ำที่เหมาะสม ตัวอย่างถูกบ่มในถุงพลาสติก เป็นเวลา 7 วัน แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ ผึ่งให้แห้งประมาณครึ่งชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบหาค่าโมดูลัสการแตกร้าวและวัดค่าการแอ่นตัว ตามวิธีการทดลอง ASTM C1609-1 ตามรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบกำลังรับแรงดัด

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

4.1.1 วัสดุพื้นทางเดิม

วัสดุพื้นทางเดิมเป็นมวลรวมหยาบ และมีคุณสมบัติพื้นฐานแสดงดังตารางที่ 4.1 วัสดุพื้นทางเดิมจัดเป็นวัสดุที่มีการกระจายตัวที่ดี (มีค่า$C_u > 4$ และค่า C_c ระหว่าง 1 และ 3) ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก(PI) น้อยกว่า 6 จากการจำแนกดินตามระบบเอกภาพ (Unified Soil Classification System, USCS) วัสดุพื้นทางเดิมจัดเป็นกรวดที่มีความคละดี (Well-graded Gravel, GW) ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบเท่ากับ 2.817 และมวลรวมละเอียดเท่ากับ 2.464 ความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 2.240 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณความชื้นที่ความแน่นแห้งสูงสุด (OMC) เท่ากับร้อยละ 5.90 ร้อยละการสึกหรอ (Percentage of wear) เท่ากับร้อยละ 32.10 และค่า CBR (Compaction Bearing Ratio) ที่ความแน่นร้อยละ 95 ของความแน่นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 26.30 ซึ่งไม่เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุชั้นทาง และจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุพื้นทางเดิม

ENGINEERING PROPERTY					
SIEVE ANALYSIS	DRR	DOH	SAMPLE		REMARK
SIEVE SIZE	PASSING PERCENT				
2"	100		100.00		
1"	75-95		85.87		
3/8"	40-75		61.31		Cu = 70.80
No.4	30-60		44.70		Cc = 2.70
No.10	20-45		28.61		
No.40	15-30		17.28		
No.200	2-20		6.99		
APPRAENT SPECIFIC GRAVITY					
COARSE AGGREGATE			2.817		
FINE AGGREGATE			2.464		
ATTERBERG'S LIMIT					
LIQUID LIMIT %	< 25		24.82		
PLASTIC LIMIT %			20.24		
PLASTIC INDEX %	≤ 6		4.58		
Unified Classification			GW		

ต่อตารางที่ 4.1 (ต่อ)

COMPACTION & C.B.R.		MOD. PROCTOR		MOD. PROCTOR		
MAX.DRY DENSITY	gm/cc.			2.240		
MOISTURE CONTENT	%			5.90		
C.B.R.	%	≥ 80		26.30		
SWELL	%			0.5		
PERCENTAGE OF WEAR		< 40		32.10		

4.1.2 คุณสมบัติพื้นฐานของสารโพลิเมอร์เคมโรด

สารโพลิเมอร์เคมโรดมีลักษณะเป็นสารของเหลวสีขาวขุ่นมีรายละเอียดคุณสมบัติพื้นฐานดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของสารโพลิเมอร์เคมโรด

POLYMER CHEMROAD			REMARK
BOILING POINT(C)		100.0	
SPECIFIC GRAVITY		1-1.02	
PH		9-11.50	
VISCOSITY		900-1600	
SOLID CONTENT		N.A.	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

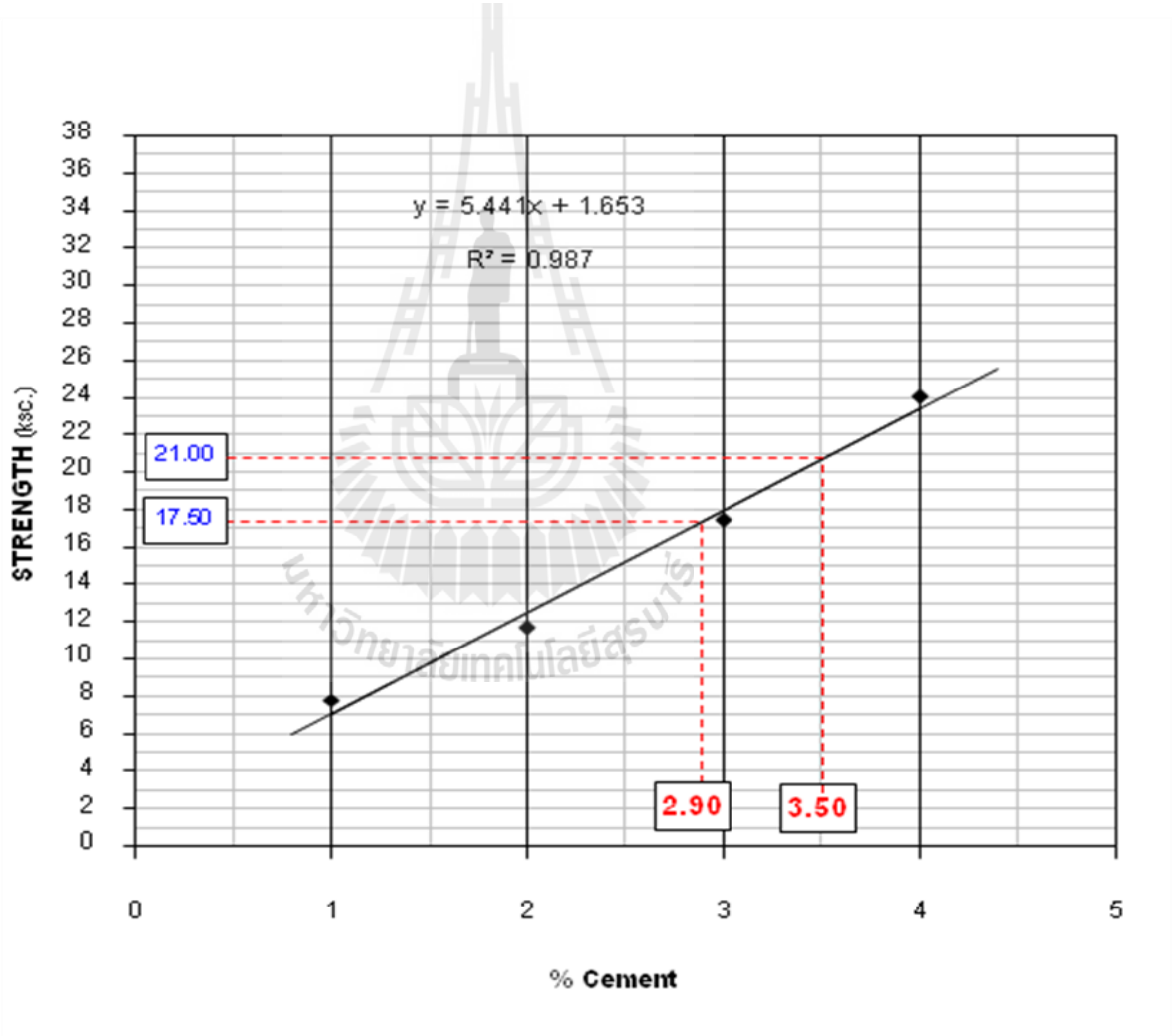
4.2 ผลทดสอบ

4.2.1 กำลังรับแรงอัดของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์

กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างวัสดุปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ ที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำเหมาะสม สำหรับปริมาณปูนซีเมนต์ต่าง ๆ ที่อายุบ่ม 7 วัน สรุปได้ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.3 กำลังรับแรงอัดของวัสดุผิวทางปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์

% Cement		1.0	2.0	3.0	4.0
Wt.Cement	g.	25	50	75	100
Dial Reading		310	468	709	978
Loading	kg.	626	939	1,415	1,948
Strength	ksc.	7.81	11.72	17.46	24.04



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์

จากรูปที่ 4.1 (ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ของตัวอย่างวัสดุวัสดุพื้นทาง) พบว่าการพัฒนากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างเพิ่มขึ้นตามจำนวน

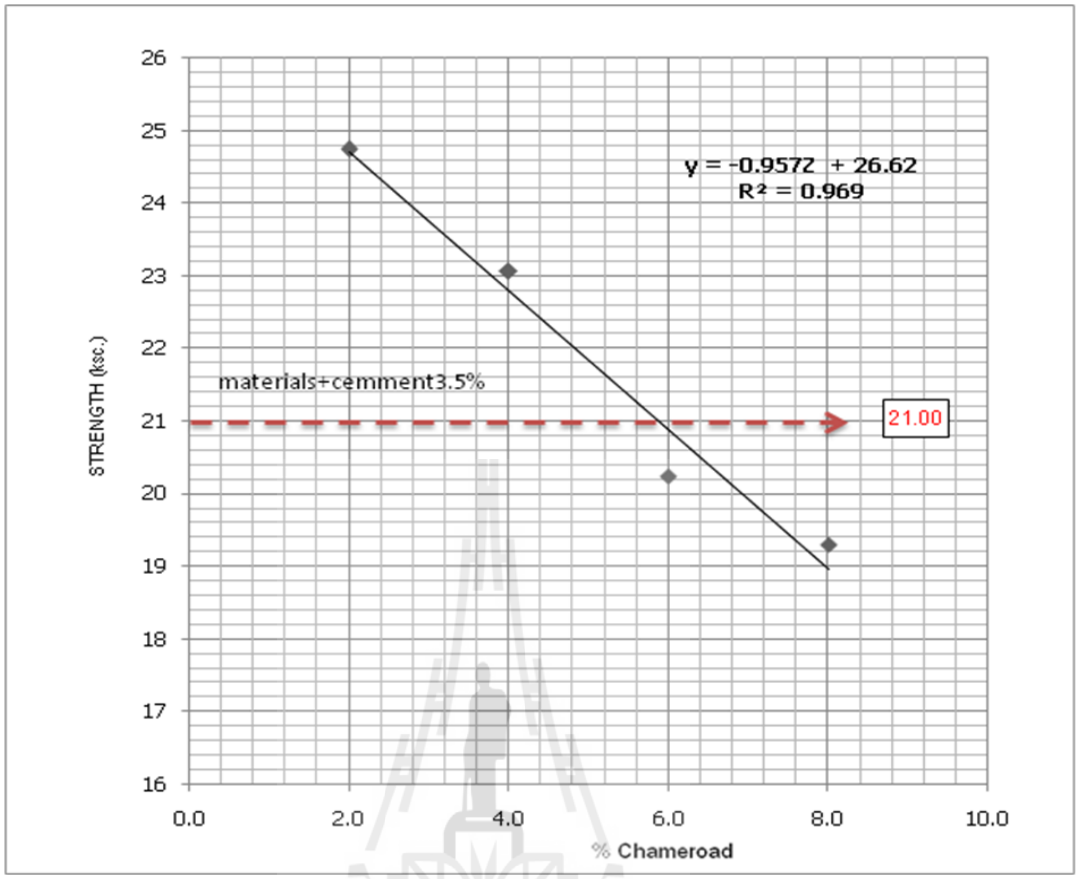
ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดแปรผันโดยตรงกับปริมาณปูนซีเมนต์ และสามารถแทนได้ด้วยสมการ **Y = 5.441X + 1.653** เมื่อ Y คือกำลังรับแรงอัด และ X คือปริมาณปูนซีเมนต์ ดังนั้น ปริมาณปูนซีเมนต์ที่กำลังอัดเท่ากับ 17.50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงชนบท) ประมาณได้เท่ากับร้อยละ 2.9 และปริมาณปูนซีเมนต์ที่กำลังอัดเท่ากับ 21 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (เผื่ออัตราส่วนปลอดภัยสำหรับการก่อสร้างในสนาม) ได้เท่ากับร้อยละ 3.5 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะผสมในตัวอย่างทดสอบของงานวิจัยนี้จึงเท่ากับร้อยละ 3.5

4.2.2 ค่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และสารโพลิเมอร์เคมโรด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างวัสดุปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ที่ปริมาณร้อยละ 3.5 (คงที่) ของน้ำหนักมวลรวม และปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรดที่ปริมาณร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ที่อายุการบ่ม 7 วัน แสดงดังตารางที่ 4.4 กำลังรับแรงอัดมีค่าเท่ากับ 24.75, 23.06, 20.25, และ19.30 สำหรับปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรดที่ร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 อัตราส่วนผสมสารโพลิเมอร์เคมโรดและกำลังรับแรงอัดของวัสดุมวลรวม

% Chamroad		2.0	4.0	6.0	8.0
% Cement		3.5	3.5	3.5	3.5
Dial Reading		938	875	768	1624
Loading	kg.	1,983	1,850	1,624	1,547
Strength	ksc.	24.75	23.06	20.25	19.30



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและสารโพลิเมอร์เคมโรด ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 3.5

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนผสมของสารโพลิเมอร์เคมโรด กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของสารโพลิเมอร์เคมโรด แปรผันกลับระหว่างกำลังอัดกับปริมาณสารที่เพิ่มขึ้น ในฟังก์ชั่นเชิงเส้นตรง ตามสมการ $\mathbf{Y = -0.957Z + 26.62}$ เมื่อ Y คือค่ากำลังรับแรงอัด และ Z คือปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรด และ $\mathbf{R^2 = 0.969}$ (ความเชื่อมั่นเท่ากับร้อยละ 96.90) สมการดังกล่าวให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่อายุการบ่ม 7 วัน เท่ากับ 24.706 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 3.5 สารโพลิเมอร์เคมโรดร้อยละ 2

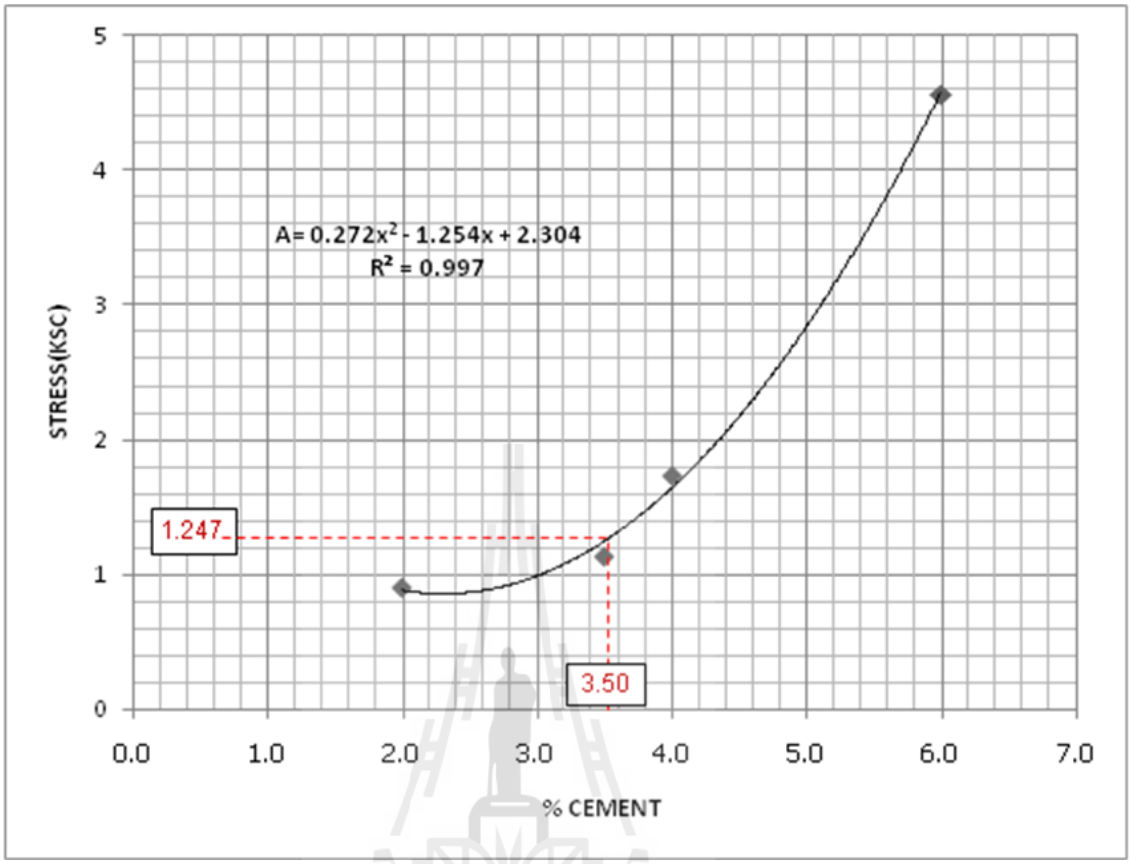
4.2.3 กำลังรับแรงดัดของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์

กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของคานตัวอย่างวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ที่ปริมาณร้อยละ 2, 3.5, 4 และ 6 ของน้ำหนักวัสดุมวลรวม ที่อายุการบ่ม 7 วัน แสดงดังตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ กำลังรับแรงดัดมีค่าเท่ากับ 0.90, 1.14, 1.74 และ 4.56 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และการโก่งตัวมีเท่ากับ 0.24, 0.29, 0.32 และ 0.47 มิลลิเมตร สำหรับปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 2, 3.5, 4 และ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 อัตราส่วนร้อยละซีเมนต์,กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของวัสดุ

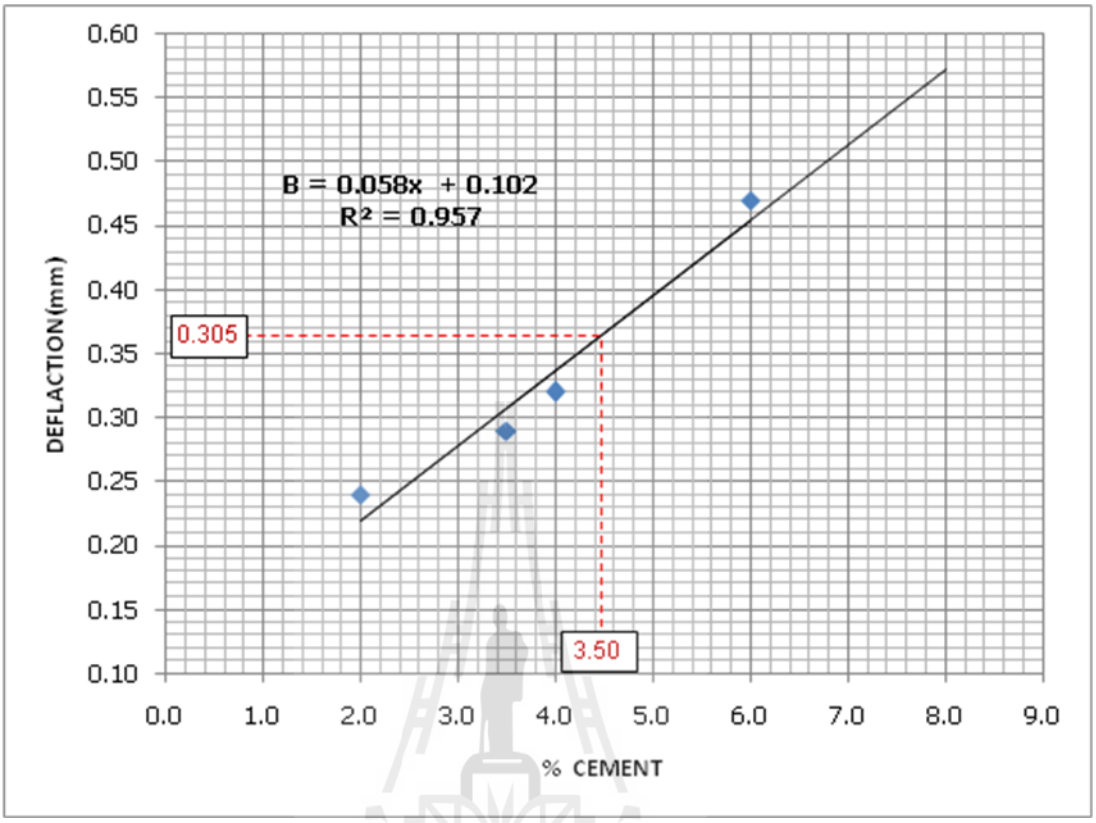
% Cement		2.0	3.5	4.0	6.0	
% Chemroad		-	-	-	-	
LOAD	Kg	30.00	38	58	152	
Deflaction	mm	0.24	0.29	0.32	0.47	
Flexural Stress	KSC.	0.90	1.14	1.74	4.56	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับอัตราส่วนผสมซีเมนต์

เมื่อนำผลทดสอบมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดและปริมาณปูนซีเมนต์ จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.3 การพัฒนากำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นตามจำนวนปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการพัฒนากำลังรับแรงอัด และความสัมพันธ์กำลังรับแรงดัดและปริมาณปูนซีเมนต์สามารถแทนได้ด้วยสมการพาราโบล่าโค้งหงาย ตามสมการ $\mathbf{A = 0.272\ X^2 - 1.254X + 2.304}$ และ $\mathbf{R^2 = .997}$ (ความเชื่อมั่นเท่ากับร้อยละ 99.70) เมื่อ A คือกำลังรับแรงดัด ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 3.5 ค่ากำลังรับแรงดัดที่อายุการบ่ม 7 วัน มีค่าเท่ากับ 1.247 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวกับปริมาณปูนชิเมนต์

ความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวกับปริมาณปูนซีเมนต์แสดงดังรูปที่ 4.4 การโก่งตัวเพิ่มขึ้นตามจำนวนปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ในฟังก์ชั่นเชิงเส้นตรง ตามสมการ **B = 0.058X + 0.102** และ $\mathbf{R^2 = 0.957}$ (ความเชื่อมั่นเท่ากับร้อยละ 95.70) เมื่อ B คือค่าการโก่งตัว ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 3.5 และอายุบ่ม 7วัน การโก่งตัวของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 0.305 มิลลิเมตร

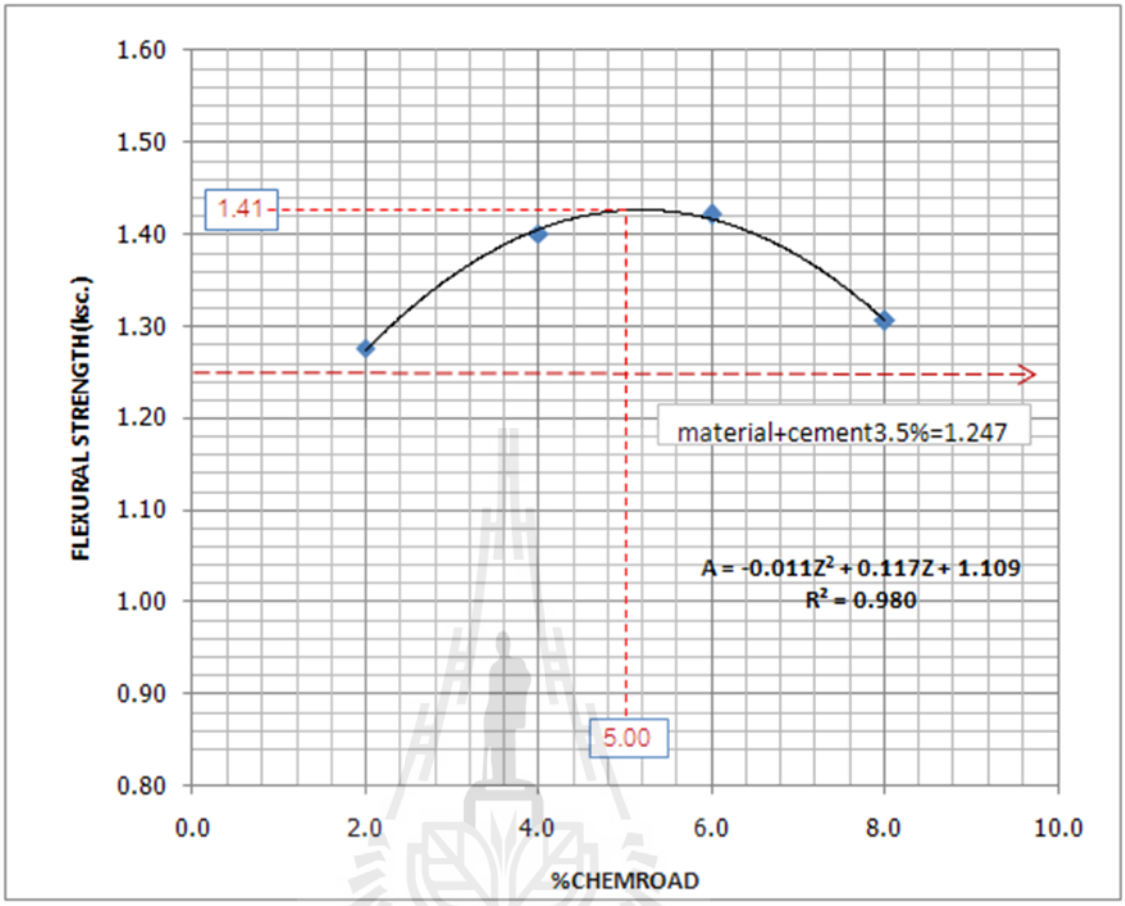
4.2.4 กำลังรับแรงดัดของวัสดุพื้นทางปรับคุณภาพด้วยซีเมนต์และสารโพลิเมอร์เคมโรด

กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของคานตัวอย่างวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงด้วยซีเมนต์ร้อยละ 3.5 ของน้ำหนักวัสดุมวลและสารโพลิเมอร์เคมโรดในปริมาณร้อยละ 2, 4, 6 และ8 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ที่อายุบ่ม 7 วัน แสดงดังตารางที่ 4.6 กำลังรับแรงดัดมีค่าเท่ากับ 1.28, 1.40 ,1.42 และ 1.31 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และการโก่งตัวเท่ากับ 0.43, 0.50 ,0.56 และ 0.41 มิลลิเมตร สำหรับปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรดเท่ากับร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 อัตราส่วนผสมสารโพลิเมอร์เคมโรด, กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของวัสดุ

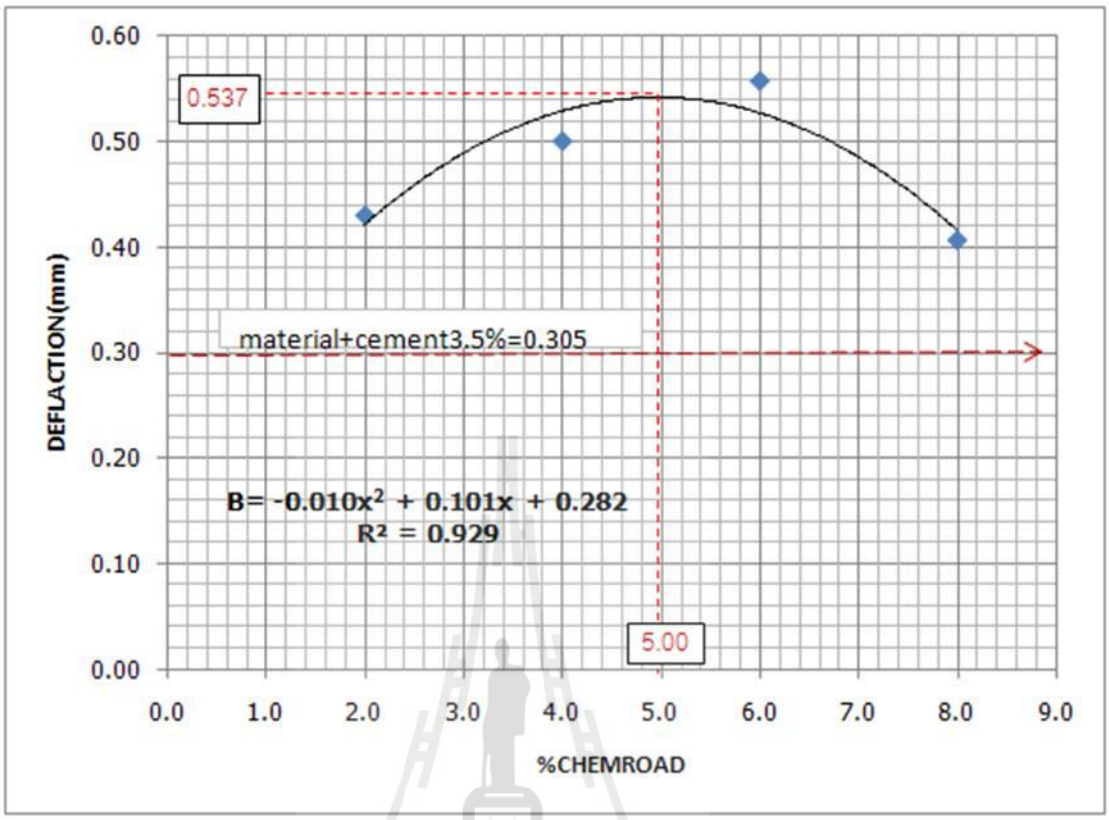
% Chemroad			2.0	4.0	6.0	8.0
% Cement			3.5	3.5	3.5	3.5
LOAD	Kg		42.53	46.67	47.37	43.52
Deflaction	mm		0.43	0.50	0.56	0.41
Flexural Stress	KSC.		1.28	1.40	1.42	1.31

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรด

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดและปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรด (รูปที่ 4.5) พบว่าการพัฒนากำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นตามจำนวนปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรด ตั้งแต่ปริมาณที่ร้อยละ 2 จนถึงค่าสูงสุด และหลังจากนั้น กำลังรับแรงดัดมีแนวโน้มลดลง ความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นพาราโบล่าคว่ำ และแทนได้ด้วยสมการ $\mathbf{A = -0.011Z^2 + 0.117Z + 1.109}$ และ $\mathbf{R^2 = 0.980}$ ความเชื่อมั่นเท่ากับร้อยละ 98.00) ค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดที่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 3.5 ที่อายุบ่ม 7 วัน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.41 กิโลกรัมตารางเซนติเมตร ที่ปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรดเท่ากับร้อยละ 5 ในขณะที่ กำลังรับแรงดัดของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว (ไม่ผสมสารโพลิเมอร์เคมโรด) (ที่ร้อยละ 3.5) มีค่าเท่ากับ 1.247 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวกับปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรด

จากความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวกับปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรด (รูปที่ 4.6) พบว่าการโก่งตัวมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรดตั้งแต่ร้อยละ 2 จนถึงค่าสูงสุด และหลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นพฤติกรรมเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดและปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรด ความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวและปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรด แทนได้ด้วยสมการพาราโบล่า ตามสมการ $\mathbf{B = -0.010Z^2 + 0.101Z + 0.282}$ และ $\mathbf{R^2 = 0.929}$ (ความเชื่อมั่นเท่ากับ 92.90) ดังนั้น ค่าการโก่งตัวที่ประมาณได้จากสมการที่สารโพลิเมอร์เคมโรดร้อยละ 5 ของปริมาณปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.537 มิลลิเมตร ซึ่งมากกว่าการโก่งตัวของวัสดุพื้นทางผสมเพียงปูนซีเมนต์ (0.305 มิลลิเมตร) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของสารโพลิเมอร์เคมโรดในการเพิ่มความสามารถในการโก่งตัวที่จุดวิบัติ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 ข้อมูลพื้นฐานทางด้านวิศวกรรม

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุพื้นทางเดิมพบว่า CBR ที่ความหนาแน่นร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 26.30 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าข้อกำหนดวัสดุที่ใช้ทำพื้นทางในชั้นโครงสร้างทาง (กรมทางหลวงชนบทกำหนดให้ CBR ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 สำหรับวัสดุชั้นทางงาน) ดังนั้น วัสดุดังกล่าวจึงจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์เพื่อให้ได้กำลังอัดในห้องปฏิบัติการไม่น้อยกว่า 17.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร งานวิจัยพบว่าปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องการในห้องปฏิบัติมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.9 และในทางปฏิบัติ ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องการในสนามเท่ากับร้อยละ 3.5เพื่อให้ได้กำลังอัดในสนามไม่น้อยกว่า 21 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(อัตราส่วนปลอดภัยเท่ากับ 1.2)

5.2 กำลังรับแรงอัดของวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์และสารโพลิเมอร์เคมโรด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ที่ปริมาณร้อยละ 3.5 และแปรผันสารโพลิเมอร์เคมโรดในปริมาณร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 พบว่าการพัฒนากำลังรับแรงอัดลดลงตามปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรดที่เพิ่มขึ้นมีลักษณะแปรผันกลับเป็นฟังก์ชั่นเชิงเส้น $\mathbf{Y = -0.957Z + 26.62}$ และ ($\mathbf{R^2 = 0.969}$ ความเชื่อมั่นเท่ากับร้อยละ 96.90) ค่ากำลังอัดสูงสุดที่อายุการบ่ม 7 วัน เท่ากับ 24.706 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่สารโพลิเมอร์เคมโรดเท่ากับร้อยละ 2

5.3 กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ผสมสารโพลิเมอร์เคมโรด

ผลทดสอบกำลังรับแรงดัดของวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงด้วยซีเมนต์ที่ปริมาณคงที่ร้อยละ 3.5 และแปรผันสารโพลิเมอร์เคมโรดในปริมาณ 2, 4, 6 และ 8 พบว่าการพัฒนากำลังลังรับแรงดัดมีลักษณะแปรผันตามปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรดในฟังก์ชั่นโพลาโบล่า $\mathbf{A = -0.011Z^2 + 0.117Z + 1.109}$ และ $\mathbf{R^2 = 0.980}$ (ความเชื่อมั่นเท่ากับร้อยละ 98.00) ค่ากำลังรับแรงดัดที่อายุการบ่ม 7 วัน ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 3.5 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.41 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ปริมาณสารโพลิเมอรร์เคมโรด ร้อยละ 5

ผลการวัดการโก่งตัวของวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงด้วยซีเมนต์ที่ปริมาณปูนซีเมนต์คงที่ร้อยละ 3.5 และแปรผันสารโพลิเมอร์เคมโรด ในปริมาณ 2, 4, 6 และ 8 พบว่าการโก่งตัวแปรผันตามปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรด ในฟังก์ชั่นพาราโบล่า $\mathbf{B = -0.010X^2 + 0.101X + 0.282}$ (ความเชื่อมั่นเท่ากับร้อยละ 92.90) ค่าการโก่งตัวสูงสุดที่อายุการบ่ม 7 วัน ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 3.5 ที่ปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรดร้อยละ 5เท่ากับ 0.537 มิลลิเมตร

5.4 อิทธิพล สารโพลิเมอร์เคมโรด ต่อ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด และการโก่งตัว ของวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และสารโพลิเมอร์เคมโรด

กำลังรับแรงอัดของวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์และสารโพลิเมอร์เคมโรดมีค่าสูงกว่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์เพียงอย่างเดียวถึงร้อยละ 18 เมื่อเพิ่มสารโพลิเมอร์เคมโรดในปริมาณร้อยละ 2 กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ผสมสารโพลิเมอร์เคมโรด มีค่ามากกว่ากำลังรับแรงดัดของวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์เพียงอย่างเดียวถึงประมาณร้อยละ 13 และ 176 ตามลำดับ

การเพิ่มสารโพลิเมอร์เคมโรดในปูนซีเมนต์ช่วยพัฒนากำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัดและการโก่งตัวของวัสดุมวลรวมหยาบ คุณสมบัติที่ได้รับการปรับปรุงอย่างเห็นได้ชัดคือการโก่งตัว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารโพลิเมอร์เคมโรดช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและความคืนตัวของวัสดุ พื้นทางและผิวทางที่มีความยืดหยุ่นสูงสามารถคืนรูปได้ดี เมื่อมีน้ำหนักมากระทำ ปริมาณสารโพลิเมอร์เคมโรดเหมาะสมที่พบในงานวิจัยนี้อยู่ระหว่างร้อยละ 3 ถึง 5

สำนักวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวงชนบท (2539) **มาตรฐานงานทาง Standard for highway construction** เล่มที่ 1 พิมพ์ครั้งที่ 1.กรมทางหลวงชนบท

กรมทางหลวงชนบท(2543) **มาตรฐานวิธีการทดลอง Standard test methods** เล่มที่ 1 พิมพ์ครั้งที่ 1 กระทรวงคมนาคม

วันชัย ศิริเลิศวัฒนา (2549) **ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดของถนนที่ซ่อมแซมโดยเทคนิคการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่** วิทยานิพนธ์ปริญญาศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Davidsion, D.T.and Bruns, B.W. (1960). **Comparision of Type I and Type III Portland Cement for Soil Stabilization.** Highway Research Board**.** Bulletin 276.28-45

Davidsion, D.T.(1961). **Soil Stabilization with Portland Cement**. Highway Research Board. Bulletin 292.45-151.

Felt,E.J. (1955). **Factor Influencing Physical Properties of Soil-Cement Mixtures**. Highway Research Board. Bulletin 108.138-163.

Herzog,A.and Mitchell, J.K. (1963). **Reaction Accompanying the Stabilization of Clay with Cement.** Highway Research Board. 36:146-171.

Massachusetts Institute of Technology, (1954). **Soil Stabiliztion for Highways.** Massachusetts Massachusetts Department of Public Works and Joint Highway Research Project.81.

Moh,Z.C.(1965).**Reaction of Soil Minerals with Cement and Chemicals,** Highway Research Board. Bulletin 86:39-61.

Ruenkrairergsa, T.(1982). **Principle of Soil Stabilization**. Group Training in Road Construction. Bangkok. Thailand. 17-26.

Wang, M.C. and Huston, M.T. (1972). **Direct-Tensile Stress and Strain of Cement Stabilize Soil.** Highway Research Board. 351: 19-24.

Wirtgen. (1992). Cold Recycling. **An Economic and Ecokogically Construction Process.** West Germany. Wirtgen.

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ENGINEERING PROPERTY DATA

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ENGINEERING PROPERTY					
SIEVE ANALYSIS	DRR	DOH	SAMPLE		REMARK
SIEVE SIZE	PASSING PERCENT				
2"	100		100.00		
1"	75-95		85.87		
3/8"	40-75		61.31		Cu = 70.80
No.4	30-60		44.70		Cc = 2.70
No.10	20-45		28.61		
No.40	15-30		17.28		
No.200	2-20		6.99		
APPRAENT SPECIFIC GRAVITY					
COARSE AGGREGATE			2.817		
FINE AGGREGATE			2.464		
ATTERBERG'S LIMIT					
LIQUID LIMIT %	<25		24.82		
PLASTIC LIMIT %			20.24		
PLASTIC INDEX %	≤6		4.58		
Unified Classification			GW		
COMPACTION & C.B.R.	MOD. PROCTOR		MOD. PROCTOR		
MAX.DRY DENSITY gm/cc.			2.240		
MOISTURE CONTENT %			5.90		
C.B.R. %	≥80		26.30		
SWELL %			0.5		
PERCENTAGE OF WEAR	<40		32.10		
POLYMER CHEMROAD					
BOILING POINT(C)			100.0		
SPECIFIC GRAVITY			1-1.02		
PH			9-11.50		
VISCOSITY			900-1600		
SOLID CONTENT			N.A.		

SPECFIC GAVITY

FINE AGGREGATES					
Description			Sample No.		
			1	2	3
Wt. Of Oven-Dry Sample in Air	A	gm.	427.55	429.06	427.11
Wt. Of Flask + Water Filled to 500 cc.	B	gm.	663.44	663.44	663.44
Wt. Of Flask + Sample + Water to 500 cc.	C	gm.	920.26	917.44	915.36
Wt. Of Saturate Surface - Dry Sample in Air	D	gm.	450	450	450
Bulk Specific Gravity	A/(B+D-C)	gm./cc	2.213	2.189	2.156
(Oven Dry Basic)			2.186		
Bulk Specific Gravity	D/(B+D-C)	gm./cc	2.329	2.296	2.272
(Saturate Surface-Dry Basic)			2.299		
Appraent Specific Gravity	A/(B+A-C)	gm./cc	2.504	2.451	2.438
			2.464		
Water Absorption	(D-A)/A	%	5.3	4.9	5.4
			5.2		
REMARK					

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

SPECFIC GAVITY

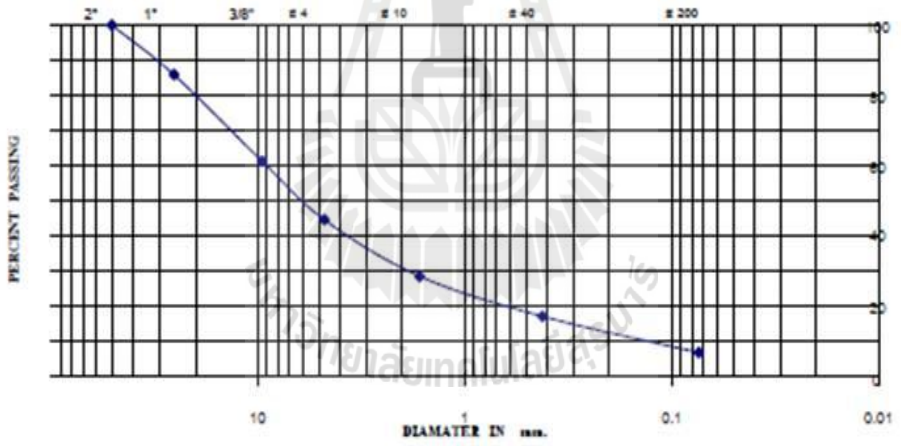
COARSE AGGREGATES					
Description			**1**	**2**	**3**
Wt. Of Oven-Dry Sample in Air	A	gm.	981.42	1250.25	1105.54
Wt. Of Saturate Surface-Dry Sample in Air	B	gm.	992.09	1262.18	1117.41
Wt. Of Saturate Immersed Sample in Water	C	gm.	633.39	806.09	713.06
Bulk Specific Gravity	A/(B-C)	gm./cc	2.736	2.741	2.734
(Oven Dry Basic)			2.737		
Bulk Specific Gravity	B/(B-C)	gm./cc	2.766	2.767	2.763
(Saturate Surface-Dry Basic)			2.766		
Appraent Specific Gravity	A/(A-C)	gm./cc	2.820	2.815	2.817
			2.817		
Water Absorption	(B-A)/A	%	1.1	1.0	1.1
			1.0		
REMARK					

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

SIEVE ANALYSIS

DRY Wt. ORIGINAL Of SAMPLE = 2,000 gm.

SIEVE SIZE	Wt. Of SIEVE (gm.)	Wt. Of SIEVE + Wt. Of SOIL (gm.)	Wt. Of SOIL RETAINED ON SIEVE (gm.)	PERCENT RETAINED (%)	CUMULATIVE PERCENT RETAINED (%)	PERCENT PASSING (%)
2"					0.00	100.00
1"	548.72	831.24	282.52	14.13	14.13	85.87
3/8"	544.30	1,035.64	491.34	24.57	38.69	61.31
# 4	502.46	834.65	332.19	16.61	55.30	44.70
# 10	476.58	798.37	321.79	16.09	71.39	28.61
# 40	382.66	609.24	226.58	11.33	82.72	17.28
#200	395.58	601.38	205.80	10.29	93.01	6.99
PAN	373.90	513.60	139.70	6.99	100.00	0.00



$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$= 70.8$$

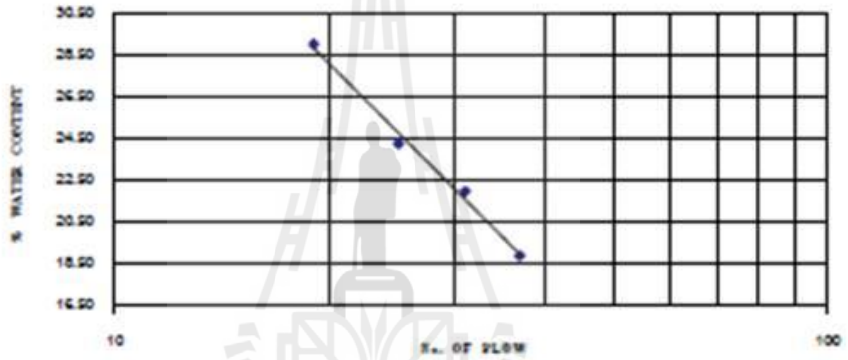
$$Cc = \frac{D_{30}^{2}}{D_{60} \times D_{10}}$$

$$= 2.7$$

Unified	GRAVEL	SAND	CLAY

ATTERBERG'S LIMIT

		LIQUID LIMIT				PLASTIC LIMIT	
CAN No.		303	C7	C30	B12	H7	A11
Wt. WET SOIL + CAN	gm.	34.02	33.63	33.14	33.30	30.42	32.61
Wt. DRY SOIL + CAN	gm.	32.49	30.94	30.17	30.06	29.38	31.50
Wt. WATER	gm.	1.53	2.69	2.97	3.24	1.04	1.11
Wt. CONTAINER	gm.	24.40	24.72	23.95	24.92	24.17	26.09
Wt. DRY SOIL	gm.	8.09	12.22	12.22	11.14	5.21	5.41
WATER CONTENT	%	18.91	22.01	24.30	29.08	19.96	20.52
No OF BLOWS		37	31	25	19		



LIQUID LIMIT =	24.81	%
PLASTIC LIMIT =	20.24	%
PLASTICITY INDEX =	4.58	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

COMPACTION TEST

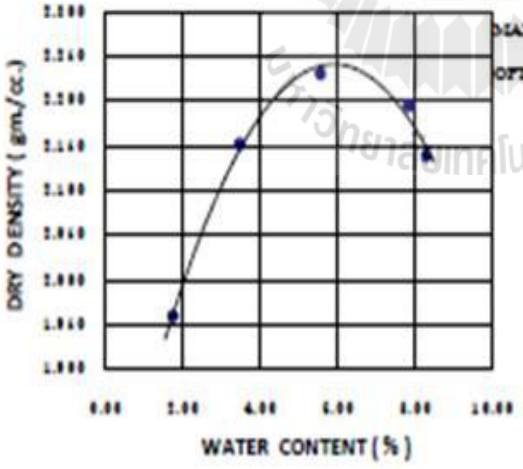
MODIFIELD PROCTOR		VOLUME OF MOLD	=	937.00	cc.
		WT. OF MOLD	=	4,355	gm.

DENSITY

DETERMINATION No.		1	2	3	4	5	
WT. MOLD + COMPACTED SOIL	gm.	6,295	6,510	6,641	6,652	6,604	
WT. MOLD	gm.	4355	4355	4355	4355	4355	
WT. SOIL	gm.	1,940	2,155	2,286	2,297	2,249	
WET DENSITY	gm./cc.	1.994	2.227	2.353	2.367	2.317	
DRY DENSITY	gm./cc.	1.960	2.172	2.251	2.195	2.159	

WATER CONTENT

CONTAINER No.		C26	A5	B2	B10	Z1	
WT. CONTAINER + WET SOIL	gm.	199.25	190.07	151.76	170.55	190.42	
WT. CONTAINER + DRY SOIL	gm.	196.30	192.50	145.15	160.07	177.95	
WT. WATER.	gm.	2.95	3.77	6.61	10.48	12.55	
WT. CONTAINER.	gm.	26.46	25.88	26.23	26.52	26.66	
WT. DRY SOIL.	gm.	169.92	166.42	118.92	133.75	151.27	
WATER CONTENT	%	1.74	2.47	5.56	7.84	8.30	



MAX. DRY DENSITY = 2.240 gm./cc.

OPT. MOISTURE CONTENT = 5.9 %

CALIFORNAI BEARING RATIO

BLOWS	DENSITY (gm/cc.)	C.B.R. %	SWELL %	REMARKS
12	2.043	17.58	0.6	
25	2.111	24.60	0.5	
56	2.196	34.02	0.1	

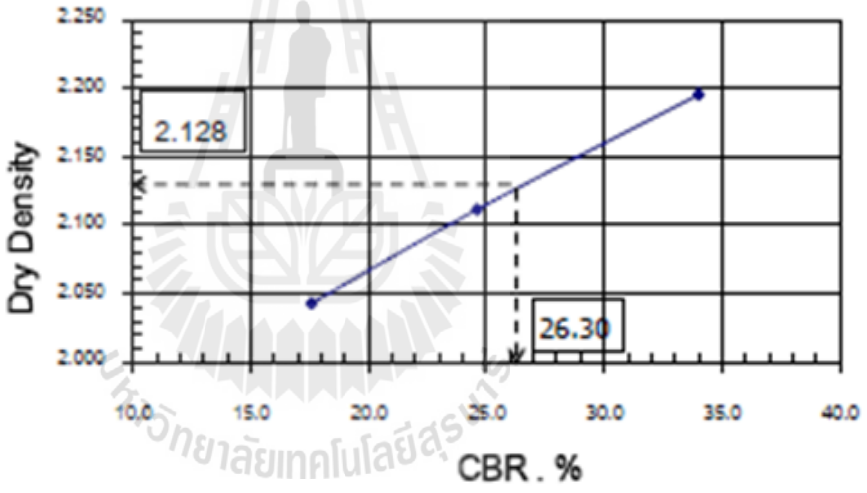
100% Modified Comp. = 2.240 gm/cc.

95% Modified Comp. = 2.128 gm/cc.

Optimum Moisture Content = 5.9 % Water Content of (molding) C.B.R. = 7.6 (avg.) %

Required Percent Compaction > 95.00 % Swell = 0.5 (avg.) %

CBR. at 95 % = 26.30 %



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

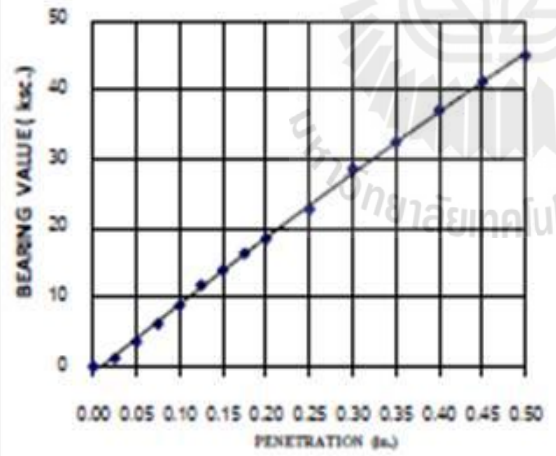
Type Of Test CBR. at 12 Blow

DENSITY		SOAKING				
			BEFORE			AFTER
WT. OF MOLD + SOIL	gm.		12,151			12,441
WT. OF MOLD	gm.		7,466			7,466
WT. OF SOIL	gm.		4,685			4,975
WET DENSITY	gm./cc.		2.195			2.339
DRY DENSITY	gm./cc.		2.043			2.126
WATER CONTENT			%			%
CAN No.			B6			A1
WT. OF CAN + WET SOIL	gm.		225.57			203.44
WT. OF CAN + DRY SOIL	gm.		211.89			189.12
WT. OF WATER	gm.		13.68			14.32
WT. OF CAN	gm.		26.14			26.48
WT. OF DRY SOIL	gm.		185.75			162.64
WATER CONTENT	%		7.4			10.0
AVERAGE WATER CONTENT	%		7.4			10.0

Vol. Of Mold (cm^3) = 2,124.04 SURCHARGE = 2 pcs. PROVING RING No. 551214

HIGH OF SAMPLE (mm) 110.6 PISTON AREA = 19.355 cm^2 FACTOR (kg./Div.) = Y = 2.3619X-12.897

DATE	RING (Div.)	SWELL (mm.)	(%) SWELL	DAYS	PENE. (in.)	DIAL RDG. (Div.)	LOAD RDG. (Kg.)	BEARING VALUE (Ksc.)	C.B.R. (%) at 0.1",0.2"
0/01/2443	0	0.000	0.0	0					
1/01/2443	24	0.610	0.6	1					
2/01/2443	24	0.610	0.6	2	0.025	15	22.55	1.16	
3/01/2443	24	0.610	0.6	3	0.050	33	63.77	3.60	
4/01/2443	25	0.635	0.6	4	0.075	56	119.37	6.17	
					0.100	70	171.33	8.85	15.24
					0.125	102	228.01	11.78	
					0.150	120	270.53	13.98	
					0.175	140	317.77	16.42	
					0.200	127	337.91	17.49	17.58
					0.250	192	440.29	22.76	
					0.300	240	533.96	27.62	
					0.350	272	629.24	32.53	
					0.400	310	719.29	37.16	
					0.450	344	799.60	41.31	
					0.500	372	872.82	45.10	



REMARK % C.B.R. at 0.2" = 17.58 %

SWELLING = 0.6 %

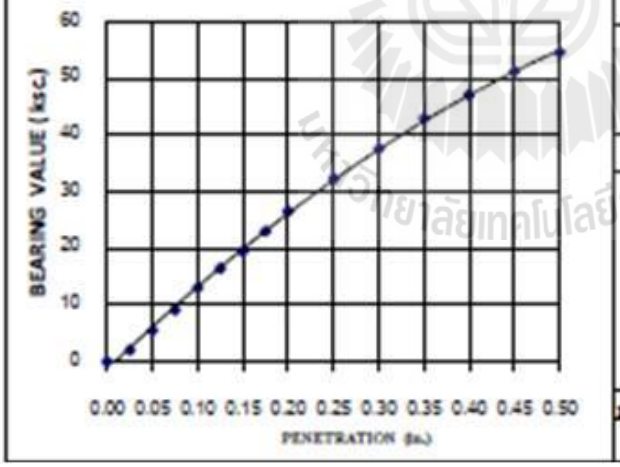
Type Of Test CBR. at 25 Blow

DENSITY		SOAKING					
			BEFORE			AFTER	
WT. OF MOLD + SOIL	gm.		11,536			12,010	
WT. OF MOLD	gm.		7,020			7,020	
WT. OF SOIL	gm.		4,000			4,990	
WET DENSITY	gm./cc.		2.264			2.349	
DRY DENSITY	gm./cc.		2.111			2.157	
WATER CONTENT			%			%	
CAN No.			C36			B10	
WT. OF CAN + WET SOIL	gm.		206.67			227.04	
WT. OF CAN + DRY SOIL	gm.		194.56			208.56	
WT. OF WATER	gm.		12.11			18.18	
WT. OF CAN	gm.		26.51			25.89	
WT. OF DRY SOIL	gm.		168.05			182.97	
WATER CONTENT	%		7.2			9.9	
AVERAGE WATER CONTENT	%		7.2			9.9	

Vol. Of Mold (cm^3) = 2,124.05 SURCHARGE = 2 pcs. PROVING RING No. 551214

HIGH OF SAMPLE (mm) 110.4 PISTON AREA = 19.355 in^2 FACTOR (kg./Div.) = Y = 2.3619X-12.897

DATE	RING (Div.)	SWELL (mm.)	%SWELL	DAYS	PENT.	DIAL RDG.	LOAD RDG.	BEARING VALUE	C.B.R.
0/01/2443	0	0.000	0	0					
1/01/2443	28	0.711	0.6	1	(in.)	(Div.)	(Kg.)	(Ksc.)	at 0.1",0.2"
2/01/2443	31	0.787	0.7	2	0.025	22	39.06	2.02	
3/01/2443	32	0.813	0.7	3	0.050	50	103.20	5.44	
4/01/2443	33	0.838	0.8	4	0.075	80	176.06	9.18	
					0.100	112	251.64	13.00	19.35
					0.125	140	317.77	16.42	
					0.150	163	376.82	19.47	
					0.175	194	448.31	23.01	
					0.200	223	513.81	26.55	24.60
					0.250	270	624.82	32.28	
					0.300	315	726.38	37.53	
					0.350	357	820.50	42.39	
					0.400	391	910.61	47.05	
					0.450	425	990.91	51.20	
					0.500	455	1057.04	54.61	



REMARK % C.B.R. at 0.2" = 24.60 %

SWELLING = 0.8 %

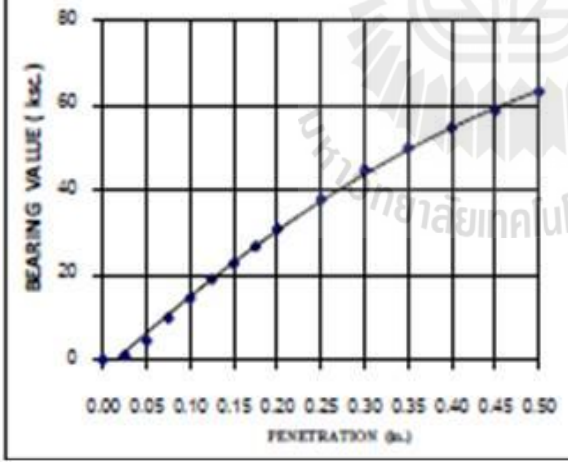
Type Of Test CBR. at 56 Blow

DENSITY		SOAKING				
			BEFORE			AFTER
WT. OF MOLD + SOIL	gm.		12,564			12,620
WT. OF MOLD	gm.		7,519			7,519
WT. OF SOIL	gm.		5,045			5,109
WET DENSITY	gm./cc.		2.373			2.403
DRY DENSITY	gm./cc.		2.196			2.196
WATER CONTENT			%			%
CAN No.			A2			C4
WT. OF CAN + WET SOIL	gm.		200.52			220.60
WT. OF CAN + DRY SOIL	gm.		187.31			220.15
WT. OF WATER	gm.		13.21			10.45
WT. OF CAN	gm.		25.85			26.14
WT. OF DRY SOIL	gm.		161.46			194.01
WATER CONTENT	%		8.2			9.5
AVERAGE WATER CONTENT	%		8.2			9.5

Vol. Of Mold (cm^3) = 2,124.05 SURCHARGE = 2 pct. PROVING RING No. 551214

HIGH OF SAMPLE (mm) 110.6 PISTON AREA = 19.355 cm^2 FACTOR (kg/Div.) = Y = 2.3619X-12.897

DATE	RING (Div.)	SWELL (mm.)	(%) SWELL	DAYS	PENT.	DIAL RDG.	LOAD RDG.	BEARING VALUE	C.B.R. (%)
0/01/2443	0	0.000	0.0	0					
1/01/2443	1	0.025	0.0	1	(in.)	(Div.)	(Kg.)	(Ksc.)	at 0.1",0.2"
2/01/2443	3	0.076	0.1	2	0.025	14	20.17	1.04	
3/01/2443	3	0.076	0.1	3	0.050	42	86.30	4.46	
4/01/2443	3	0.076	0.1	4	0.075	86	190.23	9.83	
					0.100	124	279.50	14.47	24.48
					0.125	161	367.37	18.98	
					0.150	191	438.23	22.64	
					0.175	224	516.17	26.67	
					0.200	253	586.47	30.31	34.02
					0.250	313	731.10	37.77	
					0.300	371	863.37	44.61	
					0.350	414	964.93	49.85	
					0.400	453	1057.04	54.61	
					0.450	486	1134.99	58.64	
					0.500	523	1222.50	63.16	



REMARK % C.B.R. at 0.2" = 34.02 %

SWELLING = 0.1 %

LOS ANGELES ABRASION

No OF ABRASIEVE CHARGES		11				
Wt. OF CHARGES		4,584	gm.	GRADING	B	
No OF REVOLUTION		500				
SIEVE SIZE		WEIGHT OF SAMPLES (gm.)			FINAL WEIGHT	REMARK
PASSING	RETAINED	(W1)			OF SAMPLE	
		1	2	3	(W2)	
3/4"	1/2"	2,500			3,395	
1/2"	3/8"		2,500			
		2,500	2,500		3,395	
		5,000				

PERCENT OF WEAR $\frac{W1 - W2}{W1} \times 100 =$ 32.1 %

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

MIX DESIGN DATA

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

MIX DESIGN DATA

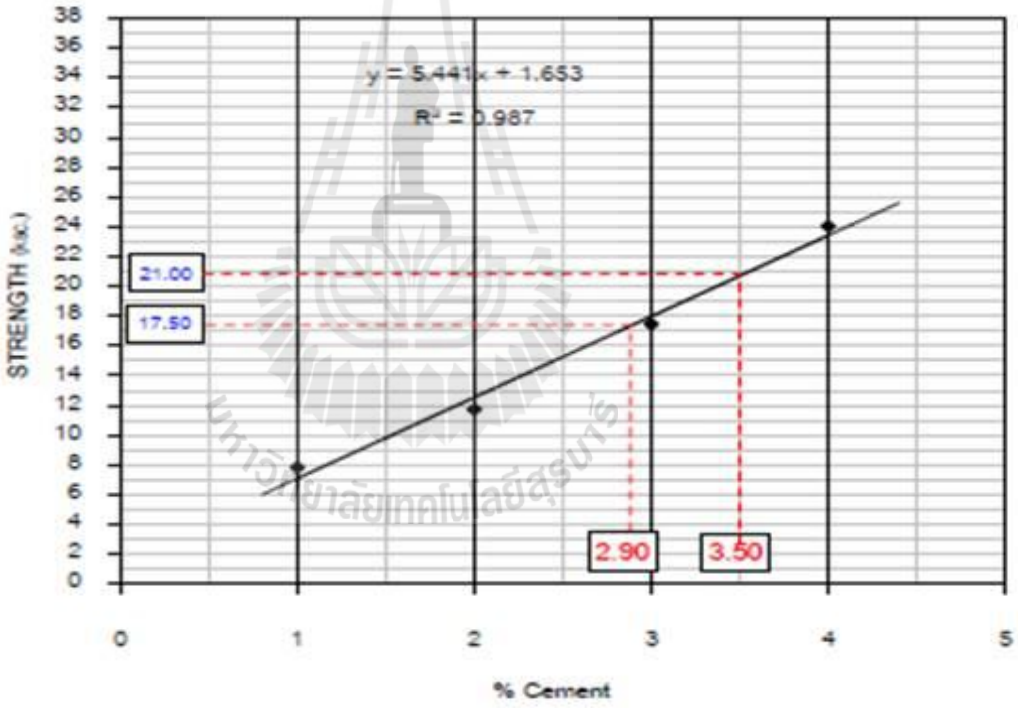
MATERIAL TO BE USED FOR Recycled Base Course Stabilized with cement

SECTION AREA OF SAMPLE 81.07 $cm.^2$ **NUMBER** 4 **SAMEPLE**

Wt. OF SOI 2,500 g. **OMC.** 5.90 % **Wt. OF WATER** 148 g.

CURING PERIOD 7 day

% Cement		1.0	2.0	3.0	4.0
Wt.Cement	g.	25	50	75	100
Dial Reading		310	468	709	978
แปลงค่าเป็นหน่วยแรง	kgf	626	939	1,415	1,948
Strength	ksc.	7.61	11.72	17.46	24.04



RELATIONSHIP ASPECTS BETWEEN COMPRESSIVE STRENGTH AND %CEMENT

คำแนะนำ

อัตราการใช้ปูนซีเมนต์อยู่ที่ 2.90%, 3.50 % โดยน้ำหนัก ผสม หินคลุกมวลรวมผสม เพื่อให้สามารถรับแรงอัด UCS. ได้ไม่น้อยกว่า 17.50และ 21.00 ksc.

MIX DESIGN DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course + Cement 1%

SECTION AREA OF SAMPLE 81.07 $cm.^2$ **NUMBER** 3 **SAMEPLE**

Wt. OF SOII 2,500 g. **OMC.** 5.90 **% Wt. OF WATER** 148 g.

CURING PERIOD 7 day

Cement 1.0 %					
Location of Sampling					
Sample No.	1	2	3		
Wt. Of Mold + Sample kg.	6.260	6.262	6.267		
Wt. Of Mold kg.	4.050	4.050	4.050		
Wt. Of Sample kg.	2.210	2.212	2.217		
Wet density $kg./m.^3$	2,376	2,378	2,384		
Dry density $kg./m.^3$	2,246	2,245	2,252		

Average Dry Density = 2,248

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg. Average O.M.C. = 5.87

Can No.	161	444	16		
Wt. Of Can + Wet soil g.	136.55	114.50	120.67		
Wt. Of Can + Dry soil g.	130.40	109.50	115.40		
Wt. Of Water g.	6.15	5.00	5.27		
Wt. Of Can g.	24.40	25.60	25.20		
Wt. Dry soil g.	106.00	83.90	90.20		
Water Content %	5.80	5.96	5.84		

Compressive Strength

Proving Ring No. 9002886 K. Factor = Y=1.9782X+12.884 kgf.

Sample No.	Date Molded	Date Broken	Curing days	Dimensions D cm.	H cm.	A cm.	Dial Reading	Ultimate LOAD kg	UCS. ksc.	Average UCS. ksc.
1	3 มี.ย. 56	10 มี.ย. 56	7	10.10	11.50	80.15	310	626	7.81	
2	3 มี.ย. 56	10 มี.ย. 56	7	10.10	11.50	80.15	325	656	8.18	7.81
3	3 มี.ย. 56	10 มี.ย. 56	7	10.10	11.50	80.15	295	596	7.44	
		Average Ultimate Compressive Strength =						7.81	ksc.	

MIX DESIGN DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course + Cement 2%

SECTION AREA OF SAMPLE 81.07 $cm.^2$ NUMBER 3 SAMEPLE

Wt. OF SOIl 2,500 g. **OMC.** 5.90 % **Wt. OF WATER** 148 g.

CURING PERIOD 7 day

Cement 2.0 %					
Location of Sampling					
Sample No.	1	2	3		
Wt. Of Mold + Sample kg.	6.274	6.267	6.272		
Wt. Of Mold kg.	4.050	4.050	4.050		
Wt. Of Sample kg.	2.224	2.217	2.222		
Wet density $kg/m.^3$	2,391	2,384	2,389		
Dry density $kg/m.^3$	2,260	2,252	2,258		

Average Dry Density = 2,257 kg.

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg. Average O.M.C. = 5.83 %

Can No.	52	B-26	Q-1		
Wt. Of Can + Wet soil g.	132.67	120.71	124.78		
Wt. Of Can + Dry soil g.	126.73	115.41	119.34		
Wt. Of Water g.	5.94	5.30	5.44		
Wt. Of Can g.	24.40	25.20	25.60		
Wt. Dry soil g.	102.33	90.21	93.74		
Water Content %	5.80	5.88	5.80		

Compressive Strength

Proving Ring No. 9002886 K. Factor = Y=1.9782X+12.884 kgf.

Sample No.	Date Molded	Date Broken	Curing days	Dimensions D cm.	H cm.	A cm.	Dial Reading	Ultimate LOAD kg	UCS. ksc.	Average UCS. ksc.
1	3 มี.ค. 56	10 มี.ค. 56	7	10.10	11.50	80.15	475	953	11.88	
2	3 มี.ค. 56	10 มี.ค. 56	7	10.10	11.50	80.15	450	903	11.27	11.72
3	3 มี.ค. 56	10 มี.ค. 56	7	10.10	11.50	80.15	480	962	12.01	
		Average Ultimate Compressive Strength =						11.72	ksc.	

MIX DESIGN DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course + Cement 3%

SECTION AREA OF SAMPLE 81.07 $cm.^2$ **NUMBER** 3 **SAMEPLE**

Wt. OF SOIl 2,500 g. **OMC.** 5.90 **% Wt. OF WATER** 148 g.

CURING PERIOD 7 day

Cement 3.0 %					
Location of Sampling					
Sample No.	1	2	3		
Wt. Of Mold + Sample kg.	6.273	6.276	6.270		
Wt. Of Mold kg.	4.050	4.050	4.050		
Wt. Of Sample kg.	2.223	2.226	2.220		
Wet density $kg./m.^3$	2,390	2,394	2,387		
Dry density $kg./m.^3$	2,260	2,264	2,258		

Average Dry Density = 2,261

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg. Average O.M.C. = 5.72

Can No.	13-A	29	X-10		
Wt. Of Can + Wet soil g.	126.75	120.51	118.50		
Wt. Of Can + Dry soil g.	121.26	115.40	113.45		
Wt. Of Water g.	5.49	5.11	5.05		
Wt. Of Can g.	25.80	25.90	24.80		
Wt. Dry soil g.	95.46	89.50	88.65		
Water Content %	5.75	5.71	5.70		

Compressive Strength

Proving Ring No. 9002886 K. Factor = Y=1.9782X+12.884 kgf.

Sample No.	Date Molded	Date Broken	Curing days	Dimensions D cm.	H cm.	A cm.	Dial Reading	Ultimate LOAD kg	UCS. ksc.	Average UCS. ksc.
1	3 เม.ย. 56	10 เม.ย. 56	7	10.17	11.57	81.27	684	1,366	16.81	
2	3 เม.ย. 56	10 เม.ย. 56	7	10.17	11.56	81.27	675	1,348	16.59	17.47
3	3 เม.ย. 56	10 เม.ย. 56	7	10.13	11.58	80.63	768	1,532	19.00	
			Average Ultimate Compressive Strength =					17.47	ksc.	

MIX DESIGN DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course + Cement 4%

SECTION AREA OF SAMPLE 81.07 $cm.^2$ NUMBER 3 SAMEPLE

Wt. OF SOIl 2,500 g. **OMC.** 5.90 % **Wt. OF WATER** 148 g.

CURING PERIOD 7 day

Cement 4.0 %					
Location of Sampling					
Sample No.	1	2	3		
Wt. Of Mold + Sample kg.	6.285	6.281	6.279		
Wt. Of Mold kg.	4.050	4.050	4.050		
Wt. Of Sample kg.	2.235	2.231	2.229		
Wet density $kg./m.^3$	2,403	2,399	2,397		
Dry density $kg./m.^3$	2,274	2,272	2,270		

Average Dry Density = 2,272

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg. Average O.M.C. = 5.62

Can No.	27	66	32		
Wt. Of Can + Wet soil g.	136.11	122.56	121.47		
Wt. Of Can + Dry soil g.	130.18	117.34	116.35		
Wt. Of Water g.	5.93	5.22	5.12		
Wt. Of Can g.	26.00	24.20	24.40		
Wt. Dry soil g.	104.18	93.14	91.95		
Water Content %	5.69	5.60	5.57		

Compressive Strength

Proving Ring No. 9002886 K. Factor = Y=1.9782X+12.884 kgf.

Sample No.	Date Molded	Date Broken	Curing days	Dimensions D cm.	H cm.	A cm.	Dial Reading	Ultimate LOAD kg	UCS. ksc.	Average UCS. ksc.
1	3 ก.ค. 56	10 ก.ค. 56	7	10.16	11.56	81.11	982	1,955	24.11	
2	3 ก.ค. 56	10 ก.ค. 56	7	10.14	11.58	80.79	975	1,942	24.03	24.04
3	3 ก.ค. 56	10 ก.ค. 56	7	10.17	11.55	81.27	978	1,948	23.97	
			Average Ultimate Compressive Strength =					24.04	ksc.	

UNCONFINED COMPRESSIVE DATA

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

MaterialS+Cement+Chemroad

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

UNCONFINED COMPRESSIVE DATA

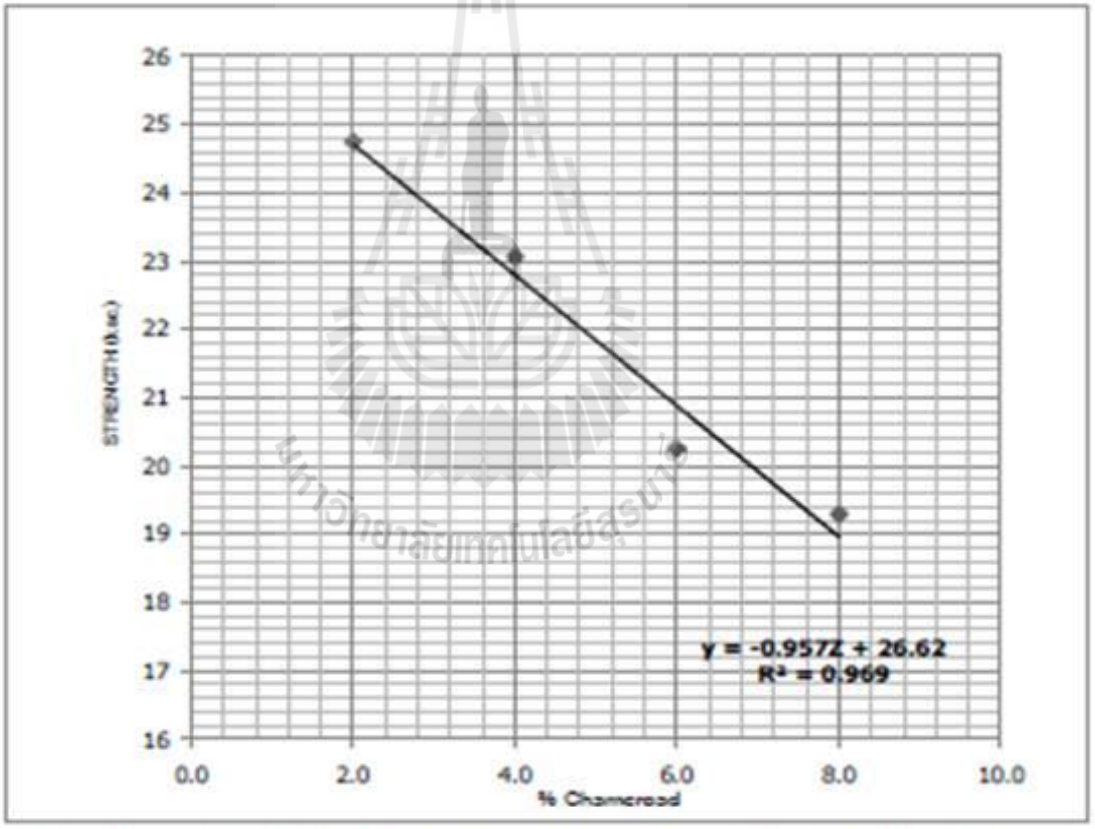
MATERIAL TO BE USED FOR Recycled Base Course Stabilized with cement type I and Chemroad

SECTION AREA OF SAMPLE 81.07 $cm.^2$ **NUMBER** 5 **SAMEPLE**

Wt. OF SOI 2,500 g. **OMC.** 5.90 % **Wt. OF WATER** 148 g.

CURING PERIOD 7 day

% Chamroad		2.0	4.0	6.0	8.0
% Cement		3.5	3.5	3.5	3.5
Dial Reading		938	875	768	1624
Loading	kg.	1,983	1,850	1,624	1,547
Strength	ksc.	24.75	23.06	20.25	19.30



RELATIONSHIP ASPECTS BETWEEN COMPRESSIVE STRENGTH AND POLYMER CHEMROAD RATIO

UNCONFINED COMPRESSIVE DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course + Cement 3.5%+Chemroad 2%

SECTION AREA OF SAMPLE 81.07 $cm.^2$ **NUMBER** 3 **SAMEPLE**

Wt. OF SOIl 2,500 g. **OMC.** 5.90 % **Wt. OF WATER** 148 g.

CURING PERIOD 7 day

Cement 3.5%+Chemroad 2 % / Location of Sampling		SAMEPLE				
Sample No.		1	2	3		
Wt. Of Mold + Sample	kg.	6.279	6.285	6.281		
Wt. Of Mold	kg.	4.050	4.050	4.050		
Wt. Of Sample	kg.	2.229	2.235	2.231		
Wet density	$kg./m.^3$	2,397	2,403	2,399		
Dry density	$kg./m.^3$	2,266	2,270	2,269		

Average Dry Density = 2,268 $kg./m.^3$

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg. Average O.M.C. = 5.80 %

Can No.		52	B-26	Q-1		
Wt. Of Can + Wet soil	g.	132.64	120.75	124.75		
Wt. Of Can + Dry soil	g.	126.73	115.45	119.36		
Wt. Of Water	g.	5.91	5.30	5.39		
Wt. Of Can	g.	24.40	25.20	25.60		
Wt. Dry soil	g.	102.33	90.25	93.76		
Water Content	%	5.78	5.87	5.75		

Compressive Strength

Proving Ring No. 9002886 K. Factor = Y=2.1131X+0.5408 kgf.

Sample No.	Date Molded	Date Broken	Curing days	Dimensions D cm.	H cm.	A sq.cm.	Dial Reading	Ultimate LOAD kg	UCS. ksc.	Average UCS. ksc.
1	7 พ.ค. 57	14 พ.ค. 57	7	10.10	11.5	80.15	890	1,881	23.47	
2	7 พ.ค. 57	14 พ.ค. 57	7	10.10	11.51	80.15	1075	2,272	28.35	24.75
3	7 พ.ค. 57	14 พ.ค. 57	7	10.10	11.50	80.15	850	1,797	22.42	
		Average Ultimate Compressive Strength = 24.75 ksc.								

UNCONFINED COMPRESSIVE DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course + Cement 3.5%+Chemroad 4%

SECTION AREA OF SAMPLE 81.07 $cm.^2$ NUMBER 3 SAMEPLE

Wt. OF SOII 2,500 g. **OMC.** 5.90 % **Wt. OF WATER** 148 g.

CURING PERIOD 7 day

Cement 3.5%+Chemroad 4 % / Location of Sampling		SAMEPLE				
Sample No.		1	2	3		
Wt. Of Mold + Sample	kg.	6.280	6.274	6.281		
Wt. Of Mold	kg.	4.050	4.050	4.050		
Wt. Of Sample	kg.	2.230	2.224	2.231		
Wet density	$kg./m.^3$	2,398	2,391	2,399		
Dry density	$kg./m.^3$	2,268	2,262	2,269		

Average Dry Density = 2,266 $kg./m.^3$

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg. Average O.M.C. = 5.73 %

Can No.		13-A	C9	X-10		
Wt. Of Can + Wet soil	g.	126.75	120.51	118.52		
Wt. Of Can + Dry soil	g.	121.27	115.40	113.43		
Wt. Of Water	g.	5.48	5.11	5.09		
Wt. Of Can	g.	25.80	25.90	24.80		
Wt. Dry soil	g.	95.47	89.50	88.63		
Water Content	%	5.74	5.71	5.74		

Compressive Strength

Proving Ring No. 9002886 K. Factor = Y=2.1131X+0.5408 kgf.

Sample No.	Date Molded	Date Broken	Curing days	Dimensions D cm.	H cm.	A cm.	Dial Reading	Ultimate LOAD kg	UCS. ksc.	Average UCS. ksc.
1	7 พ.ค. 57	14 พ.ค. 57	7	10.10	11.50	80.15	850	1,797	22.42	
2	7 พ.ค. 57	14 พ.ค. 57	7	10.11	11.50	80.31	950	2,008	25.00	23.06
3	7 พ.ค. 57	14 พ.ค. 57	7	10.10	11.51	80.15	825	1,744	21.76	
			Average Ultimate Compressive Strength =					23.06	ksc.	

UNCONFINED COMPRESSIVE DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course + Cement 3.5%+Chemroad 6%

SECTION AREA OF SAMPLE 81.07 $cm.^2$ **NUMBER** 3 **SAMEPLE**

Wt. OF SOIl 2,500 g. **OMC.** 5.90 **% Wt. OF WATER** 148 g.

CURING PERIOD 7 day

Cement 3.5%+Chemroad 6 % / Location of Sampling		SAMEPLE				
Sample No.		1	2	3		
Wt. Of Mold + Sample	kg.	6.282	6.274	6.280		
Wt. Of Mold	kg.	4.050	4.050	4.050		
Wt. Of Sample	kg.	2.232	2.224	2.230		
Wet density	$kg./m.^3$	2,400	2,391	2,398		
Dry density	$kg./m.^3$	2,270	2,261	2,266		

Average Dry Density = 2,266 $kg./m.^3$

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg. Average O.M.C. = 5.77 %

Can No.		27	C6	B32		
Wt. Of Can + Wet soil	g.	136.12	122.57	121.59		
Wt. Of Can + Dry soil	g.	130.15	117.22	116.25		
Wt. Of Water	g.	5.97	5.35	5.34		
Wt. Of Can	g.	26.00	24.20	24.40		
Wt. Dry soil	g.	104.15	93.02	91.85		
Water Content	%	5.73	5.75	5.81		

Compressive Strength

Proving Ring No. 9002886 K. Factor = Y=2.1131X+0.5408 kgf.

Sample No.	Date Molded	Date Broken	Curing days	Dimensions D cm.	H cm.	A cm.	Dial Reading	Ultimate LOAD kg	UCS. ksc.	Average UCS. ksc.
1	7 พ.ค. 57	14 พ.ค. 57	7	10.10	11.50	80.15	745	1,575	19.65	
2	7 พ.ค. 57	14 พ.ค. 57	7	10.10	11.50	80.15	810	1,712	21.36	20.25
3	7 พ.ค. 57	14 พ.ค. 57	7	10.11	11.50	80.31	750	1,585	19.74	
			Average Ultimate Compressive Strength =				20.25		ksc.	

UNCONFINED COMPRESSIVE DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course + Cement 3.5%+Chemroad 8%

SECTION AREA OF SAMPLE 81.07 $cm.^2$ NUMBER 3 SAMEPLE

Wt. OF SOIl 2,500 g. **OMC.** 5.90 **% Wt. OF WATER** 148 g.

CURING PERIOD 7 day

Cement 3.5%+Chemroad 8 % / Location of Sampling	SAMEPLE				
Sample No.	1	2	3		
Wt. Of Mold + Sample kg.	6.289	6.290	6.297		
Wt. Of Mold kg.	4.050	4.050	4.050		
Wt. Of Sample kg.	2.239	2.240	2.247		
Wet density $kg./m.^3$	2,408	2,409	2,416		
Dry density $kg./m.^3$	2,278	2,279	2,286		

Average Dry Density = 2,281 $kg./m.^3$

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg. Average O.M.C. = 5.70 %

Can No.	27	B6	C2		
Wt. Of Can + Wet soil g.	136.13	122.57	121.48		
Wt. Of Can + Dry soil g.	130.19	117.26	116.25		
Wt. Of Water g.	5.94	5.31	5.23		
Wt. Of Can g.	26.00	24.20	24.40		
Wt. Dry soil g.	104.19	93.06	91.85		
Water Content %	5.70	5.71	5.69		

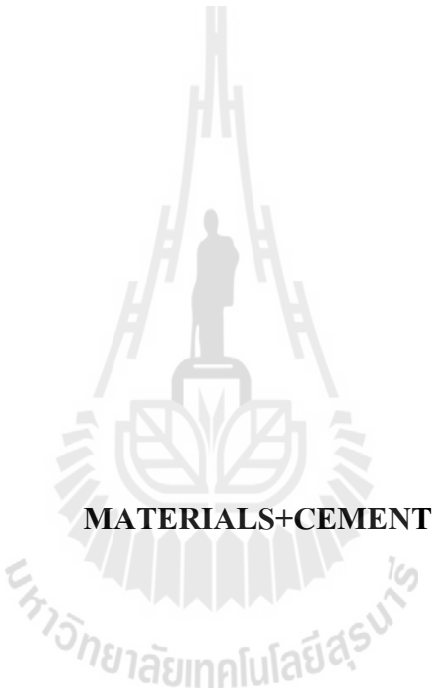
Compressive Strength

Proving Ring No. 9002886 K. Factor = Y=2.1131X+0.5408 kgf.

Sample No.	Date Molded	Date Broken	Curing days	Dimensions D cm.	H cm.	A cm.	Dial Reading	Ultimate LOAD kg	UCS. ksc.	Average UCS. ksc.
1	7 พ.ค. 57	14 พ.ค. 57	7	10.10	11.50	80.15	615	1,300	16.22	
2	7 พ.ค. 57	14 พ.ค. 57	7	10.10	11.50	80.15	790	1,670	20.83	19.30
3	7 พ.ค. 57	14 พ.ค. 57	7	10.10	11.50	80.15	790	1,670	20.83	
			Average Ultimate Compressive Strength =					19.30	ksc.	

FLEXURAL STRENGTH DATA

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



MATERIALS+CEMENT

FLEXURAL STENGTH DATA

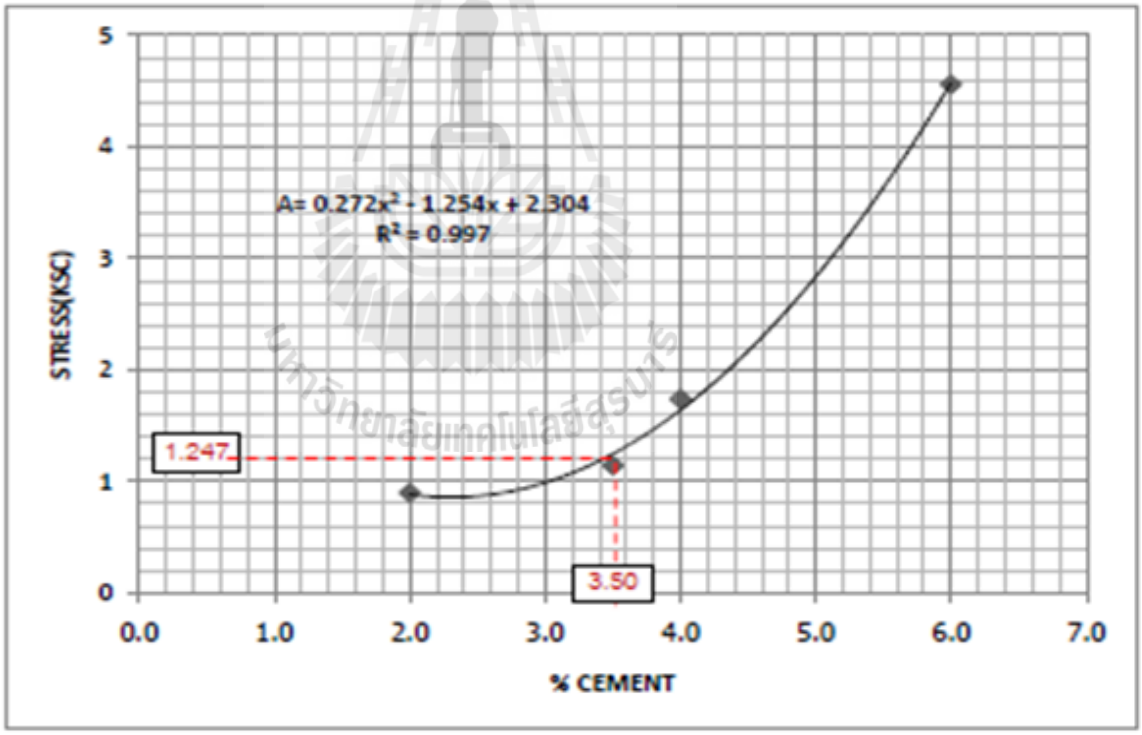
MATERIAL TO BE USED FOR Recycled Base Course Stabilized with cement type I

SECTION AREA OF SAMPLE 100.00 $cm.^2$ **NUMBER** 3 **SAMEPLE**

Wt. OF SO 8,000 g. **OMC.** 5.90 % **Wt. OF WATER** 472 g.

DIMENSIONS 10x10x35 cm. **CURING PERIOD** 7 day

% Cement		2.0	3.5	4.0	6.0	
% Chemroad		-	-	-	-	
LOAD	Kg	30.00	38	58	152	
Deflaction	mm	0.24	0.29	0.32	0.47	
Flexural Stress	KSC.	0.90	1.14	1.74	4.56	



RELATIONSHIP ASPECTS BETWEEN FLEXURAL STRESS AND % CEMENT

FLEXURAL STENGTH DATA

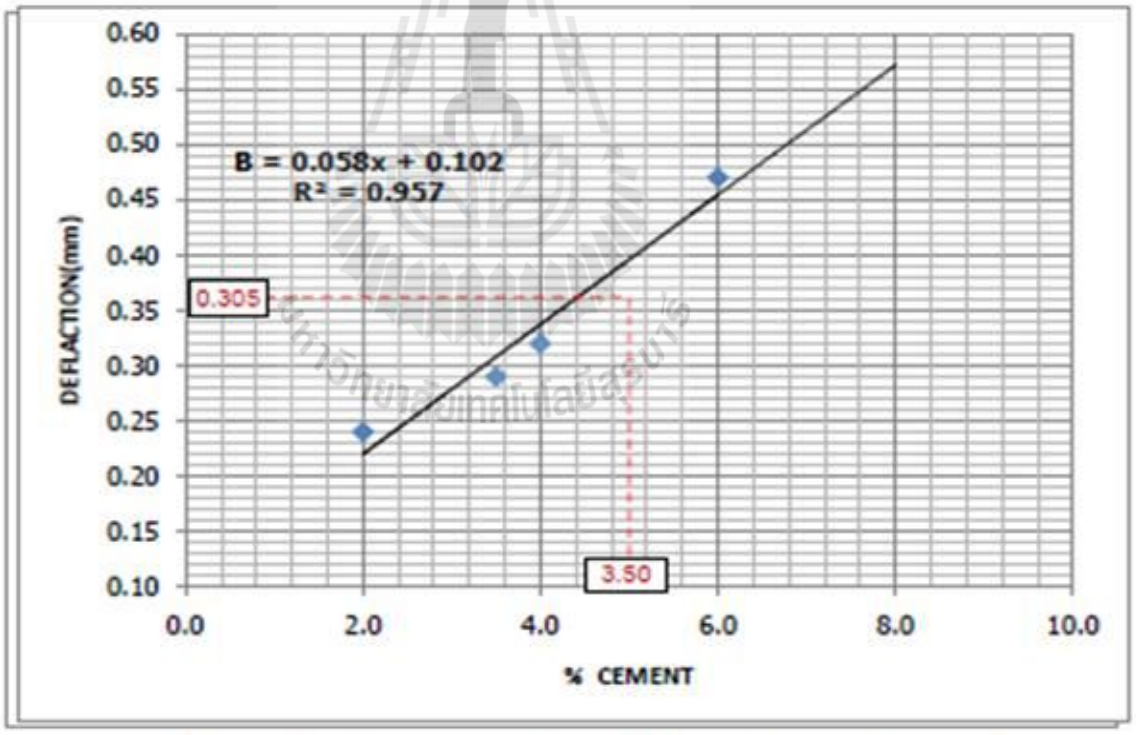
MATERIAL TO BE USED FOR Recycled Base Course Stabilized with cement type I

SECTION AREA OF SAMPLE 100.00 $cm.^2$ **NUMBER** 3 **SAMEPLE**

Wt. OF SO 8,000 g. **OMC.** 5.90 % **Wt. OF WATER** 472 g.

DIMENSIONS 10x10x35 cm. **CURING PERIOD** 7 day

% Cement		2.0	3.5	4.0	6.0	
% Chemroad		-	-	-	-	
LOAD	Kg	30.00	38	58	152	
Deflaction	mm	0.24	0.29	0.32	0.47	
Flexural Stress	KSC.	0.90	1.14	1.74	4.56	



RELATIONSHIP ASPECTS BETWEEN DEFLACTION AND % CEMENT

FLEXURAL STENGTH DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course + Cement 3%

SECTION AREA OF SAMPLE 100.00 $cm.^2$ **NUMBER** 3 **SAMEPLE**

Wt. OF SOIL 8,000 g. **OMC.** 5.90 % **Wt. OF WATER** 472 g.

DIMENSIONS 10x10x5 cm. **CURING PERIOD** 7 day

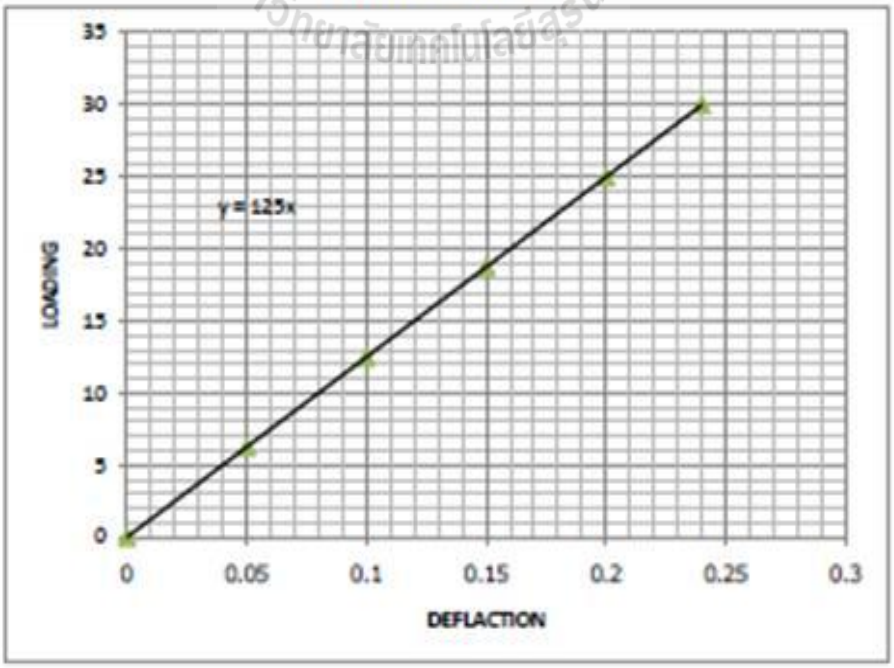
Cement 3.5%+Chemroad 0 % / Location of Sampling	SAMEPLE				
Sample No.	1	2	3		
Wt. Of Mold + Sample kg	6.285	6.291	6.287		
Wt. Of Mold kg	4.050	4.050	4.050		
Wt. Of Sample kg	2.235	2.241	2.237		
Wet density kg./m³	2,403	2,410	2,405		
Dry density kg./m³	2,271	2,276	2,274		

Average Dry Density = 2,274 $kg./m^3$

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg. Average O.M.C. = 5.82 %

Can No.	C21	C33	B15		
Wt. Of Can + Wet soil g	136.57	114.41	120.63		
Wt. Of Can + Dry soil g	130.40	109.50	115.40		
Wt. Of Water g	6.17	4.91	5.23		
Wt. Of Can g	24.40	25.60	25.20		
Wt. Dry soil g	106.00	83.90	90.20		
Water Content %	5.82	5.85	5.80		

FLEXURAL STENGTH



RELATIONSHIP ASPECTS BETWEEN LOADING AND DEFLACTION RATIO

FLEXURAL STENGTH DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course + Cement 3.5%

SECTION AREA OF SAMPLE 100.00 $cm.^2$ NUMBER 3 SAMEPLE

Wt OF SOIL 8,000 g. O.M.C. 5.90 % Wt OF WATER 472 g.

DIMENSIONS 10x10x15 cm. CURING FERIOD 7 day

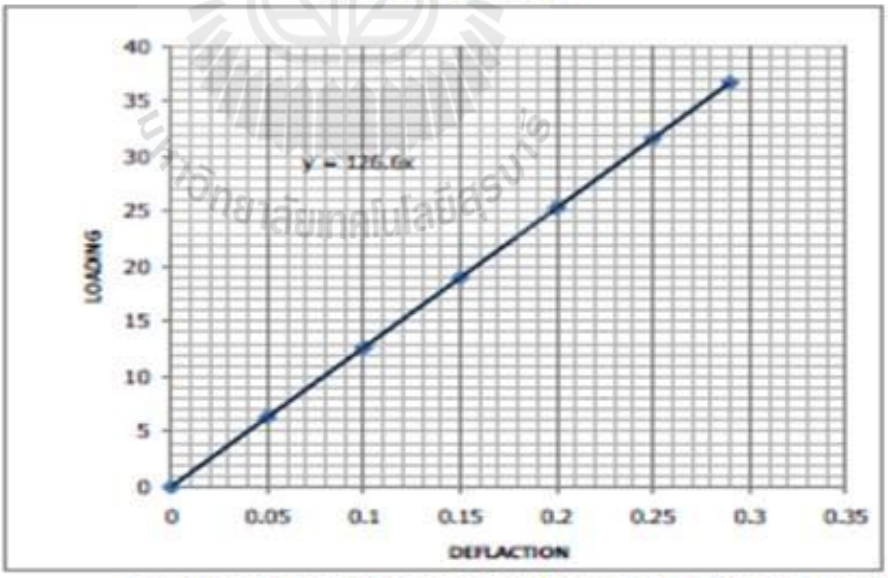
Cement 3.5%+Chomroad 0 % / Location of Sampling		SAMEPLE				
Sample No.		1	2	3		
Wt Of Mold + Sample	kg	6.268	6.294	6.280		
Wt Of Mold	kg	4.050	4.050	4.050		
Wt Of Sample	kg	2.218	2.244	2.230		
Wet density	$kg./m.^3$	2,385	2,413	2,398		
Dry density	$kg./m.^3$	2,254	2,277	2,265		

Average Dry Density = 2,266 $kg./m.^3$

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg. Average O.M.C. = 5.87 %

Can No.		C11	C44	B16		
Wt Of Can + Wet soil	g	136.55	114.50	120.67		
Wt Of Can + Dry soil	g	130.40	109.50	115.40		
Wt Of Water	g	6.15	5.00	5.27		
Wt Of Can	g	24.40	25.60	25.20		
Wt Dry soil	g	106.00	83.90	90.20		
Water Content	%	5.80	5.96	5.84		

FLEXURAL STENGTH



RELATIONSHIP ASPECTS BETWEEN LOADING AND DEFLACTION RATIO

FLEXURAL STENGTH DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course + Cement 4%

SECTION AREA OF SAMPLE 100.00 $cm.^2$ NUMBER 3 SAMEPLE

Wt. OF SOIL 8,000 g. OMC. 5.90 % Wt. OF WATER 472 g.

DIMENTIONS 10x10x35 cm. CURING PERIOD 7 day

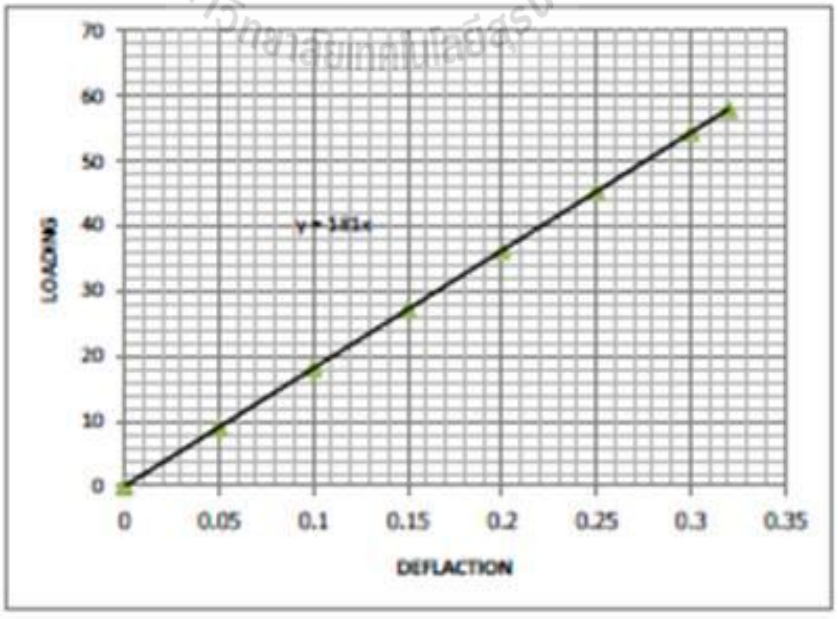
Cement 3.5%+Chamroad 2 %	SAMEPLE				
Location of Sampling					
Sample No.	1	2	3		
Wt. Of Mold + Sample kg	6.283	6.285	6.286		
Wt. Of Mold kg	4.050	4.050	4.050		
Wt. Of Sample kg	2.233	2.235	2.236		
Wet density $kg/m.^3$	2,401	2,403	2,404		
Dry density $kg/m.^3$	2,270	2,271	2,274		

Average Dry Density = 2,271 $kg./m.^3$

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg. Average O.M.C. = 5.79 %

Can No.	C18	B-20	Q-11		
Wt. Of Can + Wet soil g.	132.62	120.70	124.75		
Wt. Of Can + Dry soil g.	126.70	115.43	119.36		
Wt. Of Water g.	5.92	5.27	5.39		
Wt. Of Can g.	24.40	25.20	25.60		
Wt. Dry soil g.	102.30	90.23	93.76		
Water Content %	5.79	5.84	5.75		

FLEXURAL STENGTH



RELATIONSHIP ASPECTS BETWEEN LOADING AND DEFLACTION RATIO

FLEXURAL STENGTH DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course + Cement 6%

SECTION AREA OF SAMPLE 100.00 $cm.^2$ **NUMBER** 3 SAMEPLE

Wt. OF SOIL 8,000 g. **OMC.** 5.90 % **Wt. OF WATER** 472 g.

DIMENSIONS 10x10x5 cm. **CURING PERIOD** 7 day

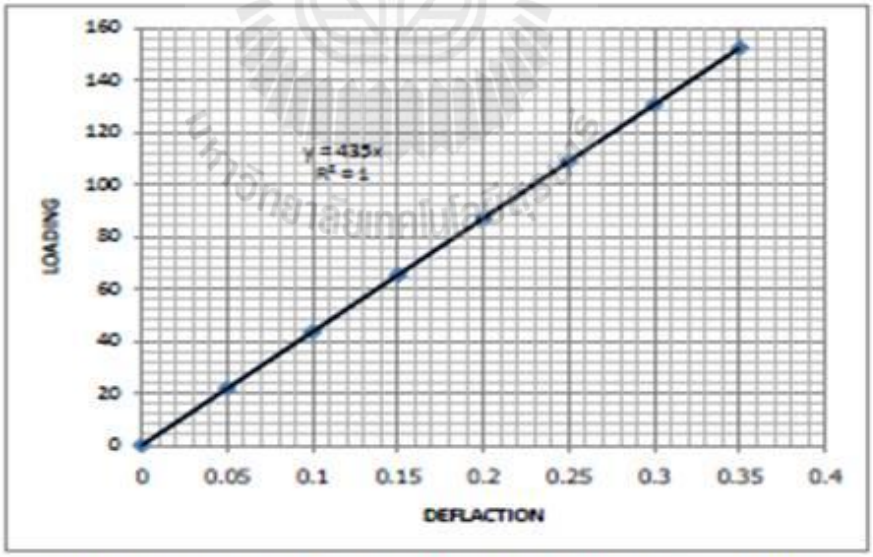
Cement 3.5%+Chemroad 4 % / Location of Sampling		SAMEPLE				
Sample No.		1	2	3		
Wt. Of Mold + Sample	kg	6.287	6.295	6.286		
Wt. Of Mold	kg	4.050	4.050	4.050		
Wt. Of Sample	kg	2.237	2.245	2.238		
Wet density	$kg./m.^3$	2,405	2,414	2,406		
Dry density	$kg./m.^3$	2,275	2,284	2,276		

Average Dry Density = 2,278

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg Average O.M.C. = 5.72

Can No.		13-A	C9	X-10		
Wt. Of Can + Wet soil	g	126.75	120.50	118.51		
Wt. Of Can + Dry soil	g	121.27	115.40	113.43		
Wt. Of Water	g	5.48	5.10	5.08		
Wt. Of Can	g	25.80	25.90	24.80		
Wt. Dry soil	g	95.47	89.50	88.63		
Water Content	%	5.74	5.70	5.73		

FLEXURAL STENGTH



RELATIONSHIP ASPECTS BETWEEN LOADING AND DEFLACTION RATIO

MATERIALS+CEMENT+CHEMROAD

FLEXURAL STIENGTH DATA

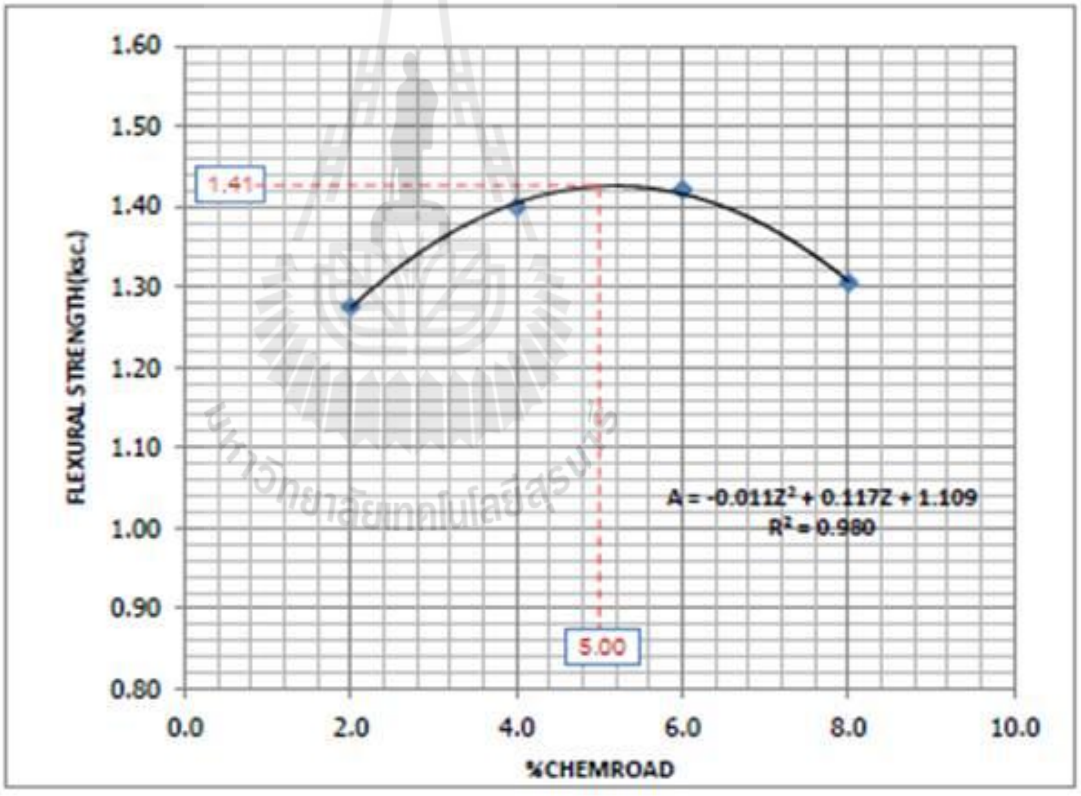
MATERIAL TO BE USED FOR Recycled Base Course Stabilized with cement type I and Chemroad

SECTION AREA OF SAMPLE 100.00 $cm.^2$ **NUMBER** 3 **SAMEPLE**

Wt. OF SO 8,000 g. **OMC.** 5.90 % **Wt. OF WATER** 472 g.

DIMENSIONS 10x10x35 cm. **CURING PERIOD** 7 day

% Chemroad			2.0	4.0	6.0	8.0
% Cement			3.5	3.5	3.5	3.5
LOAD	Kg		42.53	46.67	47.37	43.52
Deflaction	mm		0.43	0.50	0.56	0.41
Flexural Stress	KSC.		1.28	1.40	1.42	1.31



RELATIONSHIP ASPECTS BETWEEN FLEXURAL STRESS AND % POLYMER CHEMROAD RATIO

FLEXURAL STENGTH DATA

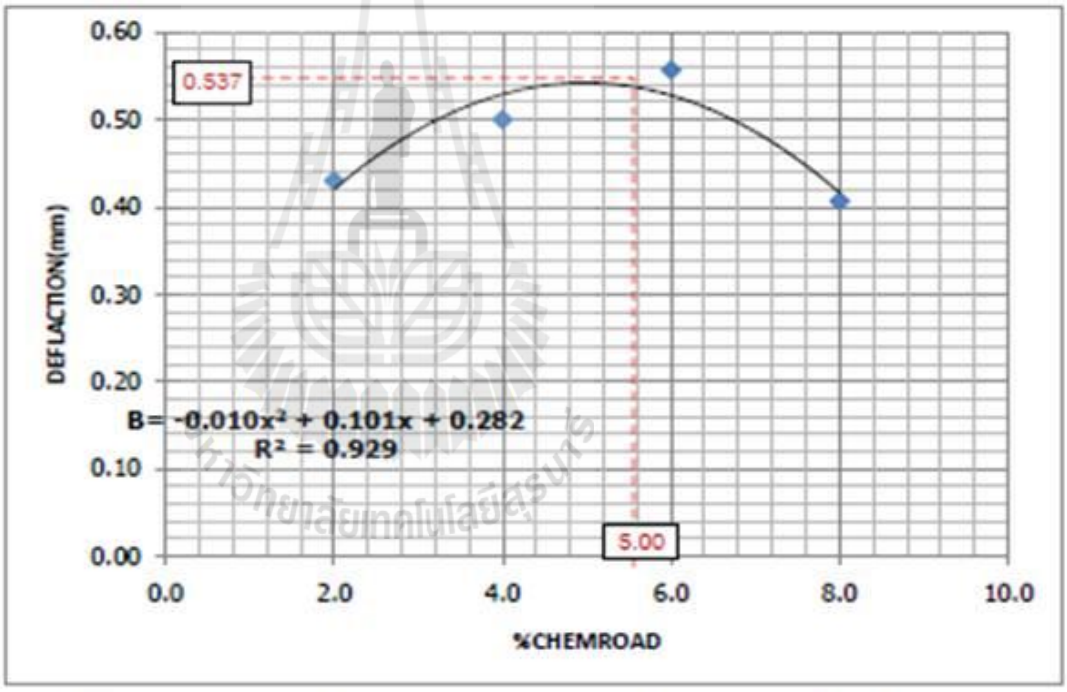
MATERIAL TO BE USED FOR Recycled Base Course Stabilized with cement type I and Chemroad

SECTION AREA OF SAMPLE 100.00 $cm.^2$ **NUMBER** 3 **SAMEPLE**

Wt. OF SO 8,000 g. **OMC.** 5.90 % **Wt. OF WATER** 472 g.

DIMENSIONS 10x10x35 cm. **CURING PERIOD** 7 day

% Chemroad			2.0	4.0	6.0	8.0
% Cement			3.5	3.5	3.5	3.5
LOAD	Kg		42.53	46.67	47.37	43.52
Deflaction	mm		0.43	0.50	0.56	0.41
Flexural Stress	KSC.		1.28	1.40	1.42	1.31



RELATIONSHIP ASPECTS BETWEEN DEFLACTION AND % POLYMER CHEMROAD RATIO

FLEXURAL STENGTH DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course + Cement 3.5%+Chemroad 2%

SECTION AREA OF SAMPLE 100.00 $cm.^2$ **NUMBER** 3 **SAMEPLE**

Wt. OF SOIL 8,000 g. **OMC.** 5.90 % **Wt. OF WATER** 472 g.

DIMENSIONS 10x10x5 cm. **CURING PERIOD** 7 day

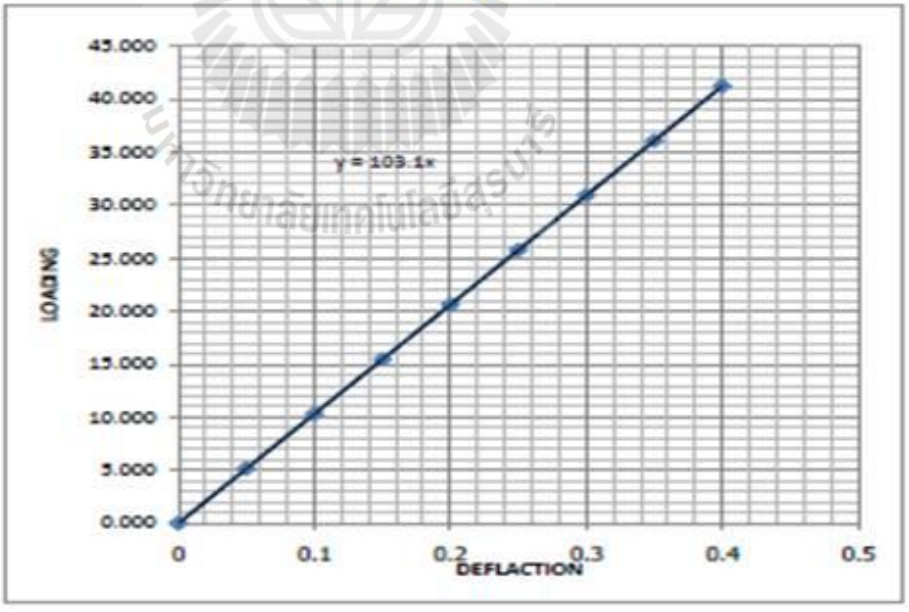
Cement 3.5%+Chemroad 2 %	SAMEPLE				
Location of Sampling					
Sample No.	1	2	3		
Wt. Of Mold + Sample kg.	6.286	6.278	6.288		
Wt. Of Mold kg.	4.050	4.050	4.050		
Wt. Of Sample kg.	2.236	2.228	2.238		
Wet density $kg./m.^3$	2,404	2,396	2,406		
Dry density $kg./m.^3$	2,272	2,263	2,275		

Average Dry Density = 2,270 $kg./m.^3$

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg. Average O.M.C. = 5.83 %

Can No.	C12	B-26	Q-1		
Wt. Of Can + Wet soil g.	132.65	120.74	124.78		
Wt. Of Can + Dry soil g.	126.70	115.43	119.36		
Wt. Of Water g.	5.95	5.31	5.42		
Wt. Of Can g.	24.40	25.20	25.60		
Wt. Dry soil g.	102.30	90.23	93.76		
Water Content %	5.82	5.88	5.78		

FLEXURAL STENGTH



FLEXURAL STENGTH DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course + Cement 3.5%+Chemroad 4%

SECTION AREA OF SAMPLE 100.00 $cm.^2$ **NUMBER** 3 **SAMEPLE**

Wt. OF SOIL 8,000 g. **OMC.** 5.90 % **Wt. OF WATER** 472 g.

DIMENSIONS 10x10x5 cm. **CURING PERIOD** 7 day

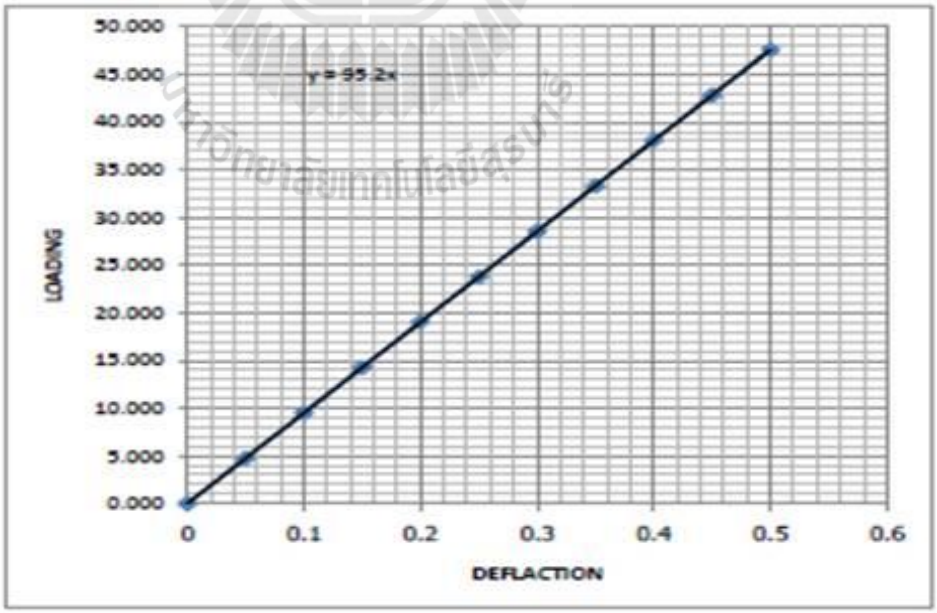
Cement 3.5%+Chemroad 4 % / Location of Sampling		SAMEPLE				
Sample No.		1	2	3		
Wt. Of Mold + Sample	kg	6.282	6.291	6.289		
Wt. Of Mold	kg	4.050	4.050	4.050		
Wt. Of Sample	kg	2.232	2.241	2.239		
Wet density	$kg./m.^3$	2,400	2,410	2,408		
Dry density	$kg./m.^3$	2,270	2,280	2,277		

Average Dry Density = 2,276 $kg./m.^3$

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg Average O.M.C. = 5.72 %

Can No.		13-A	C9	X-10		
Wt. Of Can + Wet soil	g	126.75	120.50	118.51		
Wt. Of Can + Dry soil	g	121.27	115.40	113.43		
Wt. Of Water	g	5.48	5.10	5.08		
Wt. Of Can	g	25.80	25.90	24.80		
Wt. Dry soil	g	95.47	89.50	88.63		
Water Content	%	5.74	5.70	5.73		

FLEXURAL STENGTH



FLEXURAL STENGTH DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course + Cement 3.5%+Chemroad 6%

SECTION AREA OF SAMPLE 100.00 $cm.^2$ NUMBER 3 SAMEPLE

Wt. OF SOIl 8,000 g. OMC. 5.90 % Wt. OF WATER 472 g.

DIMENSIONS 10x10x35 cm. **CURING PERIOD** 7 day

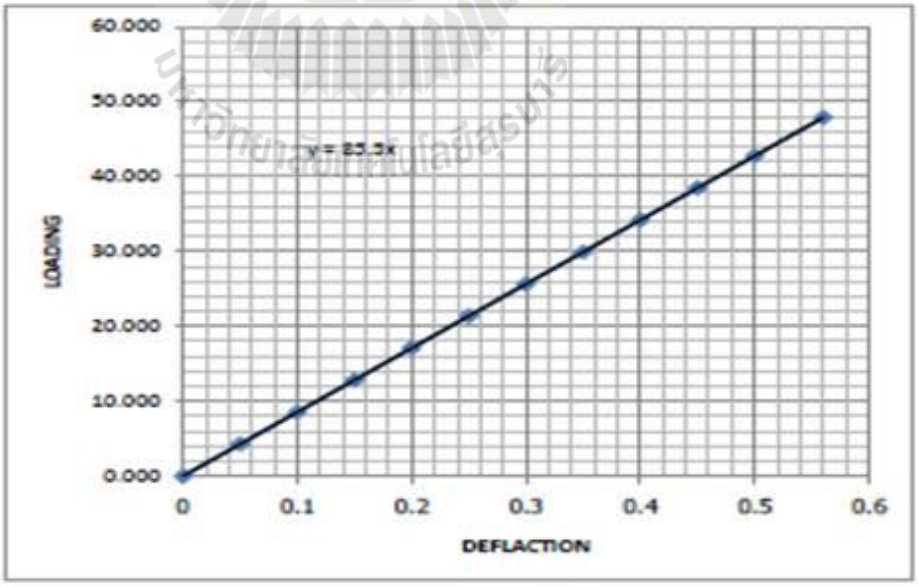
Cement 3.5%+Chemroad 6 % / Location of Sampling		SAMEPLE				
Sample No.		1	2	3		
Wt. Of Mold + Sample	kg.	6.289	6.290	6.297		
Wt. Of Mold	kg.	4.050	4.050	4.050		
Wt. Of Sample	kg.	2.239	2.240	2.247		
Wet density	$kg./m.^3$	2,408	2,409	2,416		
Dry density	$kg./m.^3$	2,277	2,281	2,288		

Average Dry Density = 2,282 $kg./m.^3$

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg. Average O.M.C. = 5.64 %

Can No.		B2	C16	B3		
Wt. Of Can + Wet soil	g.	136.13	122.57	121.48		
Wt. Of Can + Dry soil	g.	130.17	117.34	116.35		
Wt. Of Water	g.	5.96	5.23	5.13		
Wt. Of Can	g.	26.00	24.20	24.40		
Wt. Dry soil	g.	104.17	93.14	91.95		
Water Content	%	5.72	5.62	5.58		

FLEXURAL STENGTH



FLEXURAL STENGTH DATA

MATERIAL TO BE USED FOR Base Course – Cement 3.5%+Chemroad 8%

SECTION AREA OF SAMPLE 100.00 $cm.^2$ **NUMBER** 3 **SAMEPLE**

Wt. OF SOIL 8,000 g. **OMC.** 5.90 **% Wt. OF WATER** 472 g.

DIMENSIONS 10x10x31cm. **CURING PERIOD** 7 day

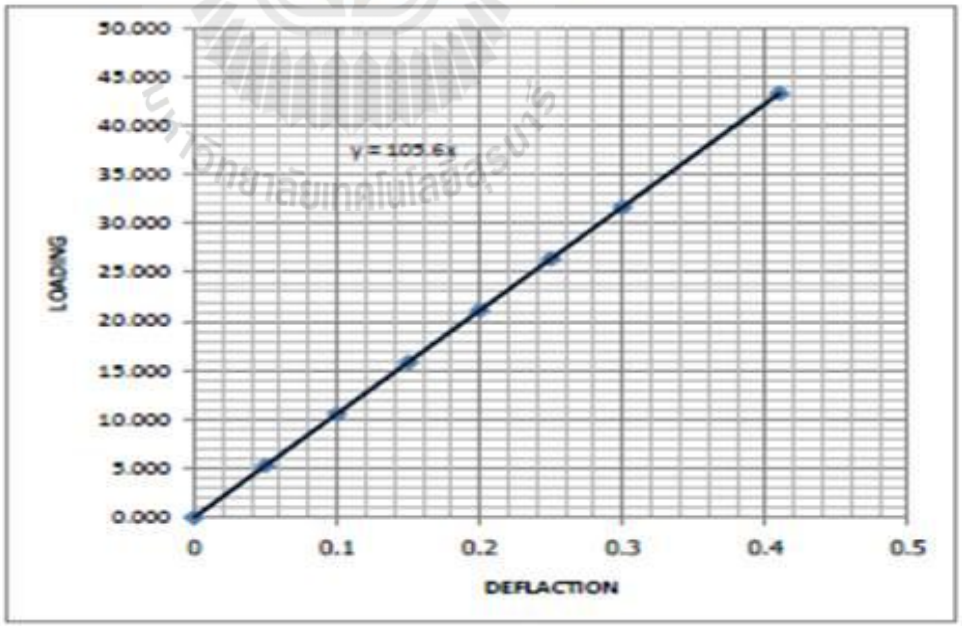
Cement 3.5%+Chemroad 8 %	SAMEPLE				
Location of Sampling					
Sample No.	1	2	3		
Wt. Of Mold + Sample kg	6.289	6.290	6.297		
Wt. Of Mold kg	4.050	4.050	4.050		
Wt. Of Sample kg	2.239	2.240	2.247		
Wet density $kg./m.^3$	2,408	2,409	2,416		
Dry density $kg./m.^3$	2,277	2,281	2,288		

Average Dry Density = 2,282 $kg./m.^3$

Volume = 0.000930 m^3 Weigth = 4.050 kg. Average O.M.C. = 5.64 %

Can No.	C7	B6	C2		
Wt. Of Can + Wet soil g	136.13	122.57	121.48		
Wt. Of Can + Dry soil g	130.17	117.34	116.35		
Wt. Of Water g	5.96	5.23	5.13		
Wt. Of Can g	26.00	24.20	24.40		
Wt. Dry soil g	104.17	93.14	91.95		
Water Content %	5.72	5.62	5.58		

FLEXURAL STENGTH



ประวัติผู้เขียน

นายไพวรรณ์ เขียวอ่อน เกิดเมื่อวันที่ 6 มีนาคม 2512 จบการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคโนโลยี (ไทย-เยอรมัน) วิทยาเขตเทคนิคขอนแก่น สำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2534 หลังจากนั้นได้รับการบรรจุแต่งตั้งเข้ารับราชการที่ กระทรวงมหาดไทย กรมการเร่งรัดพัฒนาชนบท สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบทจังหวัดอุดรธานี ฝ่ายสำรวจและออกแบบ ในตำแหน่งนายช่างโยธาระดับ 2 เมื่อปี พ.ศ. 2540 ได้ลาศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ที่ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล (คลอง 6 อ. ธัญญบุรี) สำเร็จศึกษาปี พ.ศ. 2543 และกลับเข้ารับราชการที่กระทรวงมหาดไทย กรมการเร่งพัฒนาชนบท กองสำรวจออกแบบ ฝ่ายวิศวกรรมงานทาง ตำแหน่งวิศวกรโยธาระดับ4 และเมื่อปี พ.ศ. 2545 ได้ปฏิรูประบบราชการปรับปรุง กระทรวง ทบวง กรม จึงได้ย้ายมาสังกัดสำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม ตำแหน่งวิศวกรโยธาระดับ 5

ปัจจุบันปฏิบัติงานในตำแหน่งวิศวกรโยธาระดับชำนาญการ หัวหน้าฝ่ายวิศวกรรมงานทาง สำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัดนครราชสีมา สำนักทางหลวงชนบทที่ 5 (นครราชสีมา) กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม ระหว่างการปฏิบัติงานมีความสนใจในด้านวัสดุที่ใช้งานวิศวกรรมงานทางการนำวัสดุเดิมกลับมาหมุนเวียนใช้งานใหม่ด้วยการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพคุณสมบัติทางวิศวกรรมให้กับวัสดุเดิมให้ดียิ่งขึ้น สามารถรับน้ำหนักและมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นเป็นการประหยัดงบประมาณ และลดการทำลายทรัพยากรทางธรรมชาติรักษาสิ่งแวดล้อม ดังนั้น เมื่อได้รับโอกาสเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทสาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปี พ.ศ. 2555 เพื่อเพิ่มพูนความรู้และพัฒนาทักษะในการทำงานและบริหารจัดการทรัพยากรให้เกิดประโยชน์ต่อตนเองและสังคม