

กำลังรับแรงอัดของวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่และ
ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

กำลังรับแรงอัดของวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่และ ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำร่องงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

คณะกรรมการโครงการ

(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร)

ประธานกรรมการ

(ศ. ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ)

(ผศ. ดร.ปรีชาพร โภษา)

กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ศุภกฤต เลิศคันธภัก : กำลังรับแรงอัดของวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่และปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ (COMPRESSIVE STRENGTH OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT STABILIZED WITH CEMENT) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนากำลังอัดของผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ (RAP) และปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ เปรียบเทียบกับการพัฒนากำลังอัดของหินคลุก และเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้ RAP เป็นงานวิศวกรรมกรรมทางในด้านของกำลังและต้นทุนค่าก่อสร้าง ผลการทดสอบการกระจายขนาดแสดงให้เห็นว่า RAP มีความคละสอดคล้องตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ปริมาณน้ำเหมาะสมของ RAP มีค่าต่ำกว่าหินคลุกเพียง 0.95 เท่า สำหรับพลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน และมีหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดต่ำกว่าหินคลุกเพียง 0.94 และ 0.90 เท่า สำหรับพลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน เพื่อให้ได้กำลังตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง (ไม่น้อยกว่า 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) RAP มีความต้องการปริมาณปูนซีเมนต์สูงกว่าหินคลุกร้อยละ 52.8 และ 62.2 สำหรับพลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานและแบบสูงกว่ามาตรฐาน ตามลำดับ การเพิ่มพลังงานการบดอัดสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ได้ถึงร้อยละ 16.7 และ 21.5 สำหรับผิวทางรีไซเคิลและหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ตามลำดับ งานวิจัยนี้นอกจากจะเป็นแนวทางลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับ RAP

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

SUPAKRIT LERTCUNTAPAK : COMPRESSIVE STRENGTH OF
RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT STABILIZED WITH CEMENT .
ADVISER : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., P.E.

This research aims at investigating compressive strength characteristics of a Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) stabilized with cement and compared with those of a crushed rock (CR) as well as viability of using RAP in pavement applications in terms of compressive strength and construction cost. Grain size distribution analysis shows that RAP meets the requirement as base/subbase materials according to specification by the Department of Highways, Thailand. Optimum Water Content (OWC) of RAP is 0.95% lower than that of CR for both standard and modified Proctor energies and maximum dry unit weight of RAP is 0.94 and 0.90 times that of CR for standard and modified Proctor energies, respectively. To meet the strength requirement by the Department of Highways (greater than 24.5 ksc), RAP requires higher cement content than CR of 52.8 and 16.2% for standard and modified Proctor energies, respectively. The increase in compaction effort saves cement content up to 16.7 and 21.5% for RAP and CR, respectively. This research is useful both economical and environmental perspectives.

School of Civil Engineer
Academic Year 2013

Student's Signature _____
Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จล่วงด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่กรุณาให้การแนะนำให้คำปรึกษา และตรวจทานเนื้อหาโครงการจนเสร็จสมบูรณ์ กรมทางหลวงที่ได้ให้ช่วยชี้แนะ เอื้อเพื่อข้อมูลในการจัดทำงานวิจัยนี้ และนายช่างอุกฤษฏ์ วัชรโพธิ์ หัวหน้าหน่วยตรวจสอบและแนะนำวัสดุสร้างทาง สำนักทางหลวงที่ 1 ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ และสนับสนุนตลอดมา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรม สำนักทางหลวงที่ 1 ที่ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างวัสดุในสนามและทดลองในห้องปฏิบัติการ

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การอบรมเลี้ยงดู และส่งเสริมด้านการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา อีกทั้งให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้จนกระทั่งโครงการฉบับนี้สำเร็จ

ศุภกฤต เลิศคันธภัก



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 มาตรฐานงานทาง.....	3
2.2.1 มาตรฐานพื้นทางงานหินคลุก.....	3
2.2.2 มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete).....	5
2.3 มาตรฐานวิธีการทดลอง.....	6
2.3.1 วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	6
2.3.2 วิธีการทดลองหาค่ากำลังอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength.....	10
2.4 การศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพหินคลุกในประเทศไทย.....	14
3 วิธีการดำเนินการโครงการ.....	18
3.1 ตัวอย่างหินคลุกที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	18
3.2 ปูนซีเมนต์และน้ำ.....	18
3.2.1 ปูนซีเมนต์.....	18
3.2.2 น้ำสะอาด.....	18
3.3 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	19

3.4	การทดสอบการบดอัดตัวอย่างหินคลุก.....	19
3.4.1	การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	19
3.4.2	การทดสอบการบดอัดแบบ 1/2 สูงกว่ามาตรฐาน.....	20
3.4.3	การทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน.....	20
3.5	การทดสอบหาค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength, (UCS)).....	20
3.5.1	การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS).....	20
3.6	การประเมินผลการศึกษา.....	21
3.6.1	ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างหินคลุก.....	21
3.6.2	ผลการทดสอบการบดอัดของหินคลุก.....	21
3.6.3	ผลการทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว UCS.....	21
4	การศึกษาผลทดลองและวิจารณ์ผล.....	22
4.1	บทนำ.....	22
4.2	วิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	22
4.2.1	วัสดุ.....	22
4.2.2	การทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	22
4.3	ผลการทดสอบ.....	23
5	สรุปผลการศึกษา.....	27
5.1	คุณสมบัติพื้นฐาน.....	27
5.2	คุณสมบัติทางวิศวกรรม.....	27
	เอกสารอ้างอิง.....	29
	ภาคผนวก ตารางผลการทดสอบ.....	30
	ประวัติผู้เขียน.....	59

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ขนาดกะ (Grading) ของวัสดุหินคลุก.....	4
3.1 รูปแบบการบดอัดและพลังงานการบดอัดที่ใช้ในการทดสอบ.....	20
4.1 ประมาณราคาค่าก่อสร้างการทำผิวทางด้วยหินคลุกและผิวทางรีไซเคิล ด้วยการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	25
4.2 ประมาณราคาค่าก่อสร้างการทำผิวทางด้วยหินคลุกและผิวทางรีไซเคิล ด้วยการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	26
ผ4.1 การออกแบบส่วนผสมวัสดุผิวทางรีไซเคิลผสมปูนซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 1 ชนิดวัสดุ : หินคลุกเดิม 5 ซม. : ผิวแอสฟัลต์เดิม 5 ซม. : ชั้นพื้นทางเดิม 25 ซม.....	31
ผ4.2 ค่ากำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1.....	31
ผ4.3 ค่าทดสอบความหนาแน่นของวัสดุ ทางหลวงหมายเลข 1.....	32
ผ4.4 สรุปผลการออกแบบอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 1 แบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	34
ผ4.5 สรุปผลการออกแบบอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 1 แบบมาตรฐาน.....	34
ผ4.6 การออกแบบอัตราส่วนหินคลุกผสมซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 122 ชนิดวัสดุ : หินคลุกเกรด B.....	35
ผ4.7 ค่ากำลังอัดแกนเดียวหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 122.....	35
ผ4.8 ค่าทดสอบความหนาแน่นของวัสดุ ทางหลวงหมายเลข 122 ปริมาตรโมล 952.00 ml. แบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	36
ผ4.9 สรุปผลทดลองในการออกแบบหาอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 122.....	38
ผ4.10 สรุปผลทดลองในการออกแบบหาอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 122.....	38
ผ4.11 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	39
ผ4.12 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	40
ผ4.13 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	41
ผ4.14 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	42
ผ4.15 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	43
ผ4.16 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	44

ผ4.17 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	45
ผ4.18 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	46
ผ4.19 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	47
ผ4.20 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	48
ผ4.21 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบมาตรฐาน.....	49
ผ4.22 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบมาตรฐาน.....	50
ผ4.23 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบมาตรฐาน.....	51
ผ4.24 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบมาตรฐาน.....	52
ผ4.25 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบมาตรฐาน.....	53
ผ4.26 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบมาตรฐาน.....	54
ผ4.27 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบมาตรฐาน.....	55
ผ4.28 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบมาตรฐาน.....	56
ผ4.29 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบมาตรฐาน.....	57
ผ4.30 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบมาตรฐาน.....	58



สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของหินคลุกเกรดต่างๆที่มีต่อค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) ... 15
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีเมนต์กับค่าความชื้นประสิทธิผล..... 16
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีเมนต์กับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด..... 16
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างซีเมนต์กับค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS)..... 16
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีเมนต์กับค่ากำลังรับน้ำหนักของวัสดุที่บดอัดแน่น 17
4.1	ผลการกระจายของเม็ดดิน..... 23
4.2a	ผลการบดอัดแบบมาตรฐาน..... 24
4.2b	ผลการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน..... 24
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละปูนซีเมนต์กับกำลังรับแรงอัด..... 26

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แม้ว่าการพัฒนาเทคโนโลยีด้านการขนส่งมีความก้าวหน้าและกฎหมายได้กำหนดให้รถบรรทุก 10 ล้อ มีน้ำหนักรวม (น้ำหนักรถและน้ำหนักบรรทุก) ไม่เกิน 21 ตัน แต่ด้วยปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ถนนซึ่งออกแบบไว้เพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกตามที่กฎหมายกำหนด เกิดความเสียหายเป็นแนวร่องล้อก่อนเวลาอันควร ความเสียหายดังกล่าวอาจเกิดที่ชั้นผิวทางหรือชั้นพื้นทาง การแก้ปัญหาแนวร่องล้อทางหนึ่งคือการปรับปรุงชั้นพื้นทาง (หินคลุก) ให้มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีขึ้น

การใช้ปูนซีเมนต์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินคลุก ใช้ในการบูรณะผิวทางแอสฟัลต์ตามมาตรฐานที่ ทล.ม.213/2537 เรื่องมาตรฐานการปรับปรุงชั้นทางเดิมในที่ (Pavement In – Place Recycling) เป็นการปรับปรุงชั้นทางเดิม ให้เป็นชั้นทางที่มีคุณภาพสูงขึ้น เป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้กันในงานของกรมทางหลวง หินคลุกซึ่งโดยปกติเป็นวัสดุประเภทไม่มีแรงยึดเหนี่ยว (Unbound Material) เมื่อได้รับการปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์จะกลายเป็นวัสดุที่มีแรงยึดเหนี่ยว (Bound Material) พันธะเชื่อมประสาน (Cementation bond) จะช่วยให้หินคลุกมีความสามารถรับแรงดึงและกำลังต้านทานแรงเฉือนสูงขึ้นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และทำให้ผิวทางที่อยู่เหนือหินคลุกที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์มีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกได้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ประหยัดงบประมาณในการซ่อมแซมถนน

การซ่อมแซมถนนที่ชำรุดโดยทั่วไปจะต้องทำการขุดไสผิวทางเดิมทิ้งเพื่อเอาผิวทางที่ไม่ต้องการออกไป ซึ่งก่อให้เกิดด้านการกำจัดผิวทางที่ต้องขุดไสทิ้ง งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้ผิวทางดังกล่าวมาผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางการออกแบบส่วนผสมชั้นพื้นทางใช้ค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength , UCS) เป็นตัวกำหนดส่วนผสมระหว่างวัสดุเม็ดหยาบกับปูนซีเมนต์ การวิจัยนี้จะศึกษาการพัฒนา กำลังอัดของผิวทางเดิมที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์โดยแปรผันปริมาณปูนซีเมนต์และพลังงานการบดอัด ผลการวิเคราะห์ด้านต้นทุนค่าก่อสร้างและกำลังอัดระหว่างการใช้ผิวทางเดิมและ หินคลุกเป็นวัสดุเม็ดหยาบจะนำมาเปรียบเทียบและนำเสนอในส่วนท้ายของงานวิจัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการพัฒนากำลังอัดของผิวทางเดิมที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ โดยการแปรผันปริมาณปูนซีเมนต์และพลังงานการบดอัด
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านกำลังระหว่างผิวทางเดิมและหินคลุกเมื่อผสมได้รับการปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์
- 1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ของการประยุกต์ใช้ผิวทางเดิมเป็นวัสดุเม็ดหยาบสำหรับชั้นทางปรับปรุงด้วยซีเมนต์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ตัวอย่างทดสอบในงานวิจัยได้จากโครงการถนน 2 โครงการ โครงการแรกคือ โครงการบูรณะและปรับปรุงทางหลวงหมายเลข 1 สายกำแพงเพชร – นครสวรรค์ ตอนที่ 1 ระหว่าง กม. 372+176.000 – กม.386+176.000 ซึ่งชั้นพื้นทางเดิมเป็นหินคลุกและผิวทางเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต การปรับปรุงทำโดยการรื้อผิวทางเดิมและผสมเข้ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และโครงการที่สองเป็นโครงการก่อสร้างทางเลี่ยงเมืองนครสวรรค์ทางหลวงหมายเลข 122 ถนนที่จะทำการก่อสร้างชั้นพื้นทางเป็นวัสดุหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตัวอย่างวัสดุจากโครงการทั้งสองจะนำมาผสมเข้ากับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนต่างๆและบดอัดด้วยพลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน การทดสอบกำลังอัดจะดำเนินการหลังการบ่มเป็นเวลา 7 วัน ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ในการทดสอบกำลังอัด ผู้วิจัยจัดเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในแต่ละส่วนผสมและพลังงานการบดอัดอย่างน้อย 5 ตัวอย่าง เพื่อลดความแปรปรวนของผลทดสอบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงอิทธิพลของปริมาณปูนซีเมนต์และพลังงานการบดอัดต่อการพัฒนากำลังของหินคลุกและผิวทางเดิม
- 1.4.2 ทราบถึงความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้ผิวทางเดิมที่ชำรุดเป็นวัสดุเม็ดหยาบในการปรับปรุงชั้นพื้นทาง

บทที่ 2

ปฏิสน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

วัสดุพื้นทางที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ได้ถูกนำมาใช้มากขึ้น เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนวัสดุ ดังนั้นการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมในการใช้กับวัสดุชั้นพื้นทางสำหรับหินคลุกจากแหล่งวัสดุจังหวัดนครสวรรค์ วัสดุตัวอย่างถูกนำมาทดสอบในด้านการรับน้ำหนักบรรทุกรวมและความคงทนของวัสดุในห้องปฏิบัติการ ผลการวิจัยทำให้สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคงทนกับค่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุขึ้นมาใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมในการออกแบบส่วนผสมของชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ให้รับน้ำหนักได้เพียงพอและทนต่อสภาวะใช้งาน

2.2 มาตรฐานงานทาง

2.2.1 มาตรฐานพื้นทางงานหินคลุก

ประกอบด้วยหิน โม่มวลรวมซึ่งมีขนาดกะ (Grading) อย่างสม่ำเสมอจากใหญ่ไปเล็กโดยจะก่อสร้างเป็นชั้นเดียว หรือหลายชั้นไปบนชั้นรองพื้นทาง หรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้ และได้รับการตรวจสอบว่าถูกต้องแล้วโดยการเกลี่ยแต่งและบดอัดให้ถูกต้องตามแนวระดับความลาด ขนาดตลอดจนรูปตัดตามที่ได้แสดงไว้ในแบบวัสดุหินโม่มวลรวม (Crush rock aggregate type base) ต้องเป็นวัสดุที่มีเนื้อแข็งเหนียว สะอาด ไม่มีฝุ่น และปราศจากวัสดุอื่นเจือปนจากแหล่ง ที่ได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวง วัสดุจำพวก Shale ห้ามนำมาใช้ ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติของวัสดุพื้นทางหินคลุกไว้เป็นอย่างอื่น วัสดุที่ใช้ทำหินคลุกจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 2.2.1.1 ค่าความสึกหรอ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. – ท. 202/2515 “วิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion ไม่เกินร้อยละ 40
- 2.2.1.2 ค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Loss) เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. – ท. 213/2531 “วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม” โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ มีค่าไม่เกินร้อยละ 9 ให้มีการทดลองทุกครั้งที่นำมาใช้
- 2.2.1.3 ส่วนละเอียด (Fine Aggregate) ต้องเป็นวัสดุชนิดและคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับส่วนหยาบ (Coarse Aggregate) การใช้วัสดุส่วนละเอียดชนิดอื่นเจือ

ปนเพื่อปรับปรุงคุณภาพจะต้องได้รับความคิดเห็นชอบจากกรมทางหลวงก่อน

- 2.2.1.4 ขนาดคละที่ดี และเมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. – ท. 205/2517 “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง” ต้องมีขนาดใดขนาดหนึ่งตามตาราง ที่ 2.1
- 2.2.1.5 ส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ต้องไม่มากกว่าสองในสาม (2/3) ของส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มิลลิเมตร (เบอร์ 40)
- 2.2.1.6 ค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. – ท. 102/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (L.L.) ของดิน” ไม่เกินร้อยละ 25
- 2.2.1.7 ค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. – ท. 103/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Plasticity Limit (P.L.) และ Plasticity Index (P.I.) ของดิน” ไม่เกิน ร้อยละ 6

ตารางที่ 2.1 ขนาดคละ (Grading) ของวัสดุทางหินคลุก

ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล		
	B	C	D
50 (2 นิ้ว)	100	-	-
25.0 (1 นิ้ว)	75 - 95	100	100
9.5 (3/8 นิ้ว)	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4.75 (เบอร์ 4)	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2.00 (เบอร์ 10)	20 - 45	25 - 50	40 - 70
0.425 (เบอร์ 40)	15 - 30	15 - 30	25 - 45
0.075 (เบอร์ 200)	5 - 20	5 - 15	5 - 20

- 2.2.1.8 ค่า CBR เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. – ท. 109/2517 “วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR” ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 สำหรับผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีต และ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 สำหรับผิวทางแบบเซอร์เฟสหรือทรีตเมนต์ที่ความแน่นแห้งของการบดอัด ร้อยละ 95 ของความหนาแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. – ท. 108/2517

“วิธีการทดลอง Compaction Test” แบบสูงกว่ามาตรฐานการควบคุมคุณภาพขณะก่อสร้าง การก่อสร้างพื้นทางหินคลุกให้ก่อสร้างเป็นชั้น ๆ โดยให้มีความหนาเท่า ๆ กัน และแต่ละชั้นไม่เกิน 150 มิลลิเมตร เมื่อได้ก่อสร้างพื้นทางหินคลุกซึ่งแบบกำหนดไว้หนาไม่เกิน 150 มิลลิเมตร จนได้ความยาวพอเหมาะในแต่ละวันแล้ว ดำเนินการตรวจสอบค่าระดับและทดสอบความหนาแน่นของการบดทับ หากผลที่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดก็ให้ดำเนินการก่อสร้างชั้นถัดไปได้ ในกรณีที่แบบพื้นทางหินคลุกกำหนดไว้หนา 200 มิลลิเมตร ให้ผู้รับจ้างก่อสร้างพื้นฐานเป็น 2 ชั้น หนาชั้นละประมาณ 100 มิลลิเมตร โดยที่เมื่อได้ก่อสร้างพื้นทางชั้นแรกจนได้พอเหมาะที่จะก่อสร้างพื้นทางในชั้นถัดไปแล้วให้ดำเนินการทดลองความแน่นของการบดทับ หากผลการทดลองเป็นไปตามข้อกำหนดก็ให้ดำเนินการก่อสร้างพื้นทางหินคลุกชั้นถัดไปได้ตามข้อกำหนด ก่อนการปูพื้นทางหินคลุกชั้นถัดไปให้ทำการพ่นน้ำให้ผิวหน้าของพื้นทางหินคลุกที่ได้ก่อสร้างไว้แล้วชุ่มชื้น ถ้าผิวหน้าของพื้นทางหินคลุกเรียบเป็นมัน ให้ผู้รับจ้างทำการครูดผิวหน้าของชั้นพื้นทางหินคลุกที่ได้ก่อสร้างไว้แล้วให้เป็นริ้วรอยก่อนแล้วค่อยพ่นน้ำให้ชุ่มชื้น ผิวหน้าของพื้นทางหินคลุกที่ได้ก่อสร้างไปแล้วควรมีความชุ่มชื้นพอควรในขณะที่ทำการปูพื้นทางหินคลุกในชั้นถัดไปเพื่อช่วยให้ชั้นหินคลุกแต่ละชั้นยึดกันดี ผิวหน้าที่หยาบของพื้นทางหินคลุกที่ได้ก่อสร้างไปแล้วที่มีความชื้นพอเหมาะจะช่วยให้เกิดการเกาะยึดที่ดีกับชั้นพื้นทางหินคลุกที่กำลังจะก่อสร้างทับลงไป การทดสอบความหนาแน่นของการบดทับ งานพื้นทางหินคลุกจะต้องทำการบดทับให้ได้ความแน่นแห้งสม่ำเสมอตลอด ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองหินคลุกเก็บจากหน้างานในสนามหลังจากคลุกเคล้าผสมและปูลงบนถนนแล้วตามวิธีการทดลองที่ ทล. – ท. 603/2517 “วิธีการทดลองหาความแน่นของวัสดุในสนามโดยใช้ทราย” ทุกกระยะประมาณ 10 เมตรต่อ 1 ช่องทางจราจร หรือประมาณพื้นที่ 200 ตารางเมตรต่อ 1 หลุมตัวอย่าง หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบ เป็นอย่างอื่น

2.2.2 มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete)

แอสฟัลต์คอนกรีตคือวัสดุผสมที่ได้จากการผสมร้อนระหว่างมวลรวม (Aggregate) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่โรงงานผสม (Asphalt Concrete Mixing Plant) โดยการควบคุมอัตราส่วนผสม

และอุณหภูมิตามที่กำหนด มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในงานก่อสร้าง งานบูรณะ และงานบำรุงทาง โดยการปูหรือเกลี่ยแต่งและบดทับบนชั้นทางที่ได้เตรียมไว้และผ่านการตรวจสอบแล้ว ให้ถูกต้องตามแนว ระดับ ความลาด ขนาด ตลอดจนรูปตัดที่ได้แสดงไว้ในแบบมวลรวมประกอบด้วยมวลหยาบ (Coarse Aggregate) และมวลละเอียด (Fine Aggregate) กรณีที่มวลรวมละเอียดไม่พอ หรือต้องการปรับปรุงคุณภาพและความแข็งแรงของแอสฟัลต์คอนกรีต อาจเพิ่มวัสดุแทรก (Mineral Filler) ด้วยก็ได้ในกรณีที่มิได้ระบุคุณสมบัติของมวลหยาบไว้เป็นอย่างอื่น

2.3 มาตรฐานวิธีการทดลอง

2.3.1 วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

การทดลอง Compaction Test วิธีการนี้เป็นการทดลองโดยวิธี Dynamic Compaction เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดทับ เมื่อทำการบดทับในแบบ (Model) ตามขนาดข้างล่างนี้ด้วยก้อนหนัก 4.537 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ระยะปล่อยก้อนตก 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) วิธี ก. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) วิธี ข. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) วิธี ค. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) วิธี ง. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

วิธีการทดลองที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ อาศัยวิธีการและปรับปรุงจากการทดลองของเครื่องมือทดลอง ประกอบด้วย

แบบ (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียว ลักษณะทรงกระบอกกลวง มี 2 ขนาด คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) สูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) และจะต้องมีปลอก (Collar) ขนาดเดียวกัน สูง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานทึบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) สูง 177.8 มิลลิเมตร (7 นิ้ว) และจะต้องมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานทึบหรือเจาะรูพรุน ในการทดลองต้องใช้เหล็กโลหะรอง (Spacer Disc) ตามข้อ 2.1.2 รองด้านล่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) หรืออาจใช้แบบสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) โดยไม่ต้องใช้แท่งโลหะรอง แต่ต้องมีฐานทึบหรือแบบขนาดสูงอื่นใด ซึ่งเมื่อใช้แท่งโลหะรองแล้วได้ความสูงของตัวอย่างในแบบเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว)

แท่งโลหะรอง เป็นโลหะรูปทรงกระบอกเพื่อใช้กับแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150.8 เส้นผ่านศูนย์กลาง (5 15/16 นิ้ว) และสูงขนาดต่าง ๆ ซึ่งเมื่อใช้กับแบบแล้วจะเหลือเป็นตัวอย่างสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว)

ค้อน (Hammer) ทำด้วยโลหะมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีมวลรวมทั้งด้ามถือ 4.537 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ต้องมีปลอกที่ทำไว้อย่างเหมาะสมเป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการ บดทับ จะต้องมีการระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้ง 2 ข้าง ประมาณ 19.0 มิลลิเมตร

เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder) เป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลังเมื่อทดลองเสร็จแล้ว จะมีหรือไม่มีก็ได้ ประกอบด้วยตัว jack ทำหน้าที่เป็นตัวดัน และโครงเหล็กทำหน้าที่เป็นตัวจับแบบ ในกรณีที่ไม่มีให้ใช้ส่วหรือเครื่องมืออย่างอื่นและตัวอย่างออกจากแบบ

ตาชั่งแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 16 กิโลกรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กิโลกรัม สำหรับตาชั่งตัวอย่างทดลอง และตาชั่งแบบ Scale หรือแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ 1,000 กรัม ชั่งได้รายละเอียดถึง 0.01 กรัม สำหรับหาปริมาณน้ำในดิน

เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส สำหรับอบดินตัวอย่าง

เหล็กปาด (Straight Edge) เป็นเหล็กคล้ายไม้บรรทัด หนา และแข็ง เพียงพอในการตัดแต่งตัวอย่างที่ส่วนบนของแบบมีความยาวไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร แต่ไม่ยาวเกินไปจนเกะกะและหนาประมาณ 3.0 มิลลิเมตร

ตะแกรงร่อนดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 203 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) สูงประมาณ 5 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) และขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

เครื่องผสม เป็นเครื่องมือจำเป็นอย่างอื่น ๆ ที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำ ได้แก่ ถาด ซ้อน พั่ว เครื่องมืออย่าง ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ หรือจะใช้เครื่องผสมแบบ Mechanical Mixer ก็ได้

กระป๋องอบดิน สำหรับใส่ตัวอย่างดินเพื่ออบหาปริมาณน้ำในดิน

การเตรียมตัวอย่าง ได้แก่ ดินหรือหินคลุก หรือ Soil - Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลองให้ดำเนินการ ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนใหญ่ที่สุด (Maximum size) มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้เตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง และทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง เมื่อแห้งพอเหมาะแล้ว (มีน้ำประมาณร้อยละ 2 - 3) นำมาร่อนผ่านตะแกรงเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ทำการชั่งหามวลของวัสดุแต่ละ

ขนาดที่เตรียมไว้ก็จะทราบมวลของตัวอย่างแต่ละขนาดว่ามีอยู่ขนาดละเท่าใด ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้ทิ้งไป แทนที่ของตัวอย่างด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ด้วยมวลที่เท่ากับตัวอย่าง เช่น มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร อยู่ 2,650 กรัม ก็ให้ใช้ตัวอย่างขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เพิ่มเข้าไปอีก 2,650 กรัม ที่เหลือจะเป็นขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร ตามที่มีจริง ดังนี้ ตัวอย่างทั้งหมดที่มวล 9,000 กรัม มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร 2,650 กรัม มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร 4,850 กรัม มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร 1,500 กรัม จากวิธีการเตรียมตัวอย่างที่กล่าวมาแล้วจะได้มวลของตัวอย่างที่เตรียมไว้ คือ มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร 4,850 กรัม มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร 1,500 กรัม จากวิธีการเตรียมตัวอย่างที่กล่าวมาแล้วจะได้มวลของตัวอย่างที่เตรียมไว้ คือ มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เป็นจำนวน $2,650 + 4,850$ เท่ากับ 7,500 กรัม และมีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 1,500 กรัม คลุกตัวอย่างที่ได้ให้เข้ากัน ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง (มีน้ำประมาณร้อยละ 2 – 3) และทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่างแล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน ถ้าต้องการทดลองตามวิธี ก. หรือ ง. ดังกล่าวในขอบเขต ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง แล้วใช้ค้อนยางทุบให้ก้อนหลุดจากกัน และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) แล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

การทดลอง Compaction Test จะใช้แบบ (Mold) ขนาดใดก็ได้แล้วแต่ความต้องการ ตามวิธีต่าง ๆ ดังกล่าวในขอบเขตและดำเนินการทดลอง ดังนี้

- 2.3.1.1 นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้แล้วมาคลุกเคล้าจนเข้ากันได้ดี
- 2.3.1.2 เติมน้ำปริมาณหนึ่ง โดยปกติมักเริ่มต้นที่ประมาณร้อยละ 4 ต่ำกว่าปริมาณน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content)
- 2.3.1.3 คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้วหรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันได้
- 2.3.1.4 แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อยโดยประมาณให้ดินแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1 ใน 4 ของ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว)
- 2.3.1.5 ทำการบดทับโดยค้อน ดังนี้ ตามวิธี ก. และ ค. จำนวน 25 ครั้ง และตามวิธี ข. และ ง. จำนวน 56 ครั้ง

- 2.3.1.6 ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้น ๆ จำนวน 5 ชั้น มีความสูงประมาณ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว) (สูงกว่าแบบประมาณ 10 มิลลิเมตร)
- 2.3.1.7 ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบร้อยเท่าระดับของตอนบนของแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร) กรณีมีหลุมบนหน้าให้เติมดินตัวอย่างแล้วใช้ก้อนยางทูป ให้นำไปซึ่งจะได้มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก (A)
- 2.3.1.8 ในขณะเดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบให้นำดินใส่กระป๋องอบดินเพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินด้วย มวลของดินที่นำไปหาปริมาณน้ำในดิน ขนาดก้อนใหญ่สุด 19.0 มิลลิเมตร ใช้ประมาณ 300 กรัม และขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 มิลลิเมตร ใช้ประมาณ 100 กรัม
- 2.3.1.9 กำหนดหาค่าความเปียก ρ_t (Wet Density) และความแน่นแห้ง ρ_d (Dry Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน w (Moisture Content)
- 2.3.1.10 ดำเนินการโดยเพิ่มน้ำขึ้นอีกครั้งละ 2 % จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง หรืออาจลดน้ำที่ผสม ในกรณีที่เมื่อเพิ่มน้ำแล้วได้ความแน่นลดลงเพื่อให้เขียน Curve ได้
- 2.3.1.11 เขียน Curve ระหว่างความแน่นแห้ง ρ_d และปริมาณน้ำในดินเป็น ร้อยละ w ก็จะทราบค่าความแน่นแห้งสูงสุด $\text{Max. } \rho_d$ (Maximum Dry Density) และปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นสูงสุด OMC. (Optimum Moisture Content)

การคำนวณ

1. กำหนดหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

$$w = \frac{M1 - M2}{M2} \times 100$$

- เมื่อ w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง
- $M1$ = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม
- $M2$ = มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

2. คำนวณหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density)

$$\rho_t = \frac{A}{V}$$

- เมื่อ ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิเมตร
 A = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นกรัม
 V = ปริมาตรของแบบหรือปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

3. คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (Dry Density)

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \frac{w}{100}}$$

- เมื่อ ρ_d = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิเมตร
 w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

ในการทำ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐานให้รายงานดังนี้

1. ค่าความหนาแน่นสูงสุด มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิเมตร (แบบสูงกว่ามาตรฐาน)
2. ค่าปริมาณน้ำในดินที่ทำให้ความแน่นสูงสุด เป็นร้อยละ

ตัวอย่างความแน่นแห้งสูงสุด (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) เท่ากับ 2.231 กรัมต่อมิลลิเมตร (ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง) ปริมาณน้ำในดินที่ทำให้ความแน่นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 9.8 (ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง)

2.3.2 วิธีการทดสอบหาค่ากำลังอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength

ค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength) คือ ค่าแรงอัด (Compressive Load) สูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งแท่งตัวอย่างดินรูปทรงกระบอกจะรับได้ ถ้าในกรณีที่ค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ยังไม่ถึงค่าสูงสุด เมื่อความเครียด (Strain) ในแนวดิ่งเกินร้อยละ 20 ให้ใช้ค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ที่ความเครียดร้อยละ 20 นั้นเป็นค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) การทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO T 208 – 70 อธิบายถึงการหาค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) ของดินในสภาพไม่ถูกรบกวน (Undisturbed) และ Remolded อัตราการเพิ่มแรงอัดในระหว่างการทดลองจะควบคุมโดยความเครียด (Strain) หรือควบคุมโดยความเค้น (Stress) ก็ได้ เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

เครื่องกด เป็นเครื่องใช้กดแท่งตัวอย่าง มีหลายแบบ เช่น Deadweight หรือ Hydraulic เป็นแรงกดหรืออาจใช้เครื่องมือกดชนิดอื่น ๆ ที่สามารถควบคุมอัตราเร็วของแรงกด และมีกำลังกดเพียงพอ สำหรับดินที่มีค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) น้อยกว่า 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.1 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) ต้องใช้เครื่องกดที่สามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.001 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) และสำหรับดินที่มีค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) มากกว่า 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.1 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) เครื่องกด ต้องอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.05 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.005 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

เครื่องดันตัวอย่างดิน ใช้ดันแท่งตัวอย่างดินออกจากท่อบาง (Thin Wall Tube)

Dial Gauge ใช้วัดได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร หรือ 0.001 นิ้ว สามารถอ่านระยะทางเคลื่อนที่ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของความยาวแท่งตัวอย่างที่จะใช้ทดลอง

Vernier Caliper ใช้วัดขนาดของแท่งตัวอย่าง โดยวัดได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร หรือ 0.01 นิ้ว

นาฬิกาจับเวลา

เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

เครื่องชั่งชนิดอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม ใช้สำหรับตัวอย่างที่มีมวลน้อยกว่า 100 กรัม ให้ใช้เครื่องชั่งชนิดอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

เครื่องมือเบ็ดเตล็ด เครื่องมืออื่น ๆ ที่ต้องใช้ คือ เครื่องมือตัดและตกแต่งตัวอย่าง เครื่องทำตัวอย่าง Remolded และกระป๋องอบดิน

วิธีการทดลองหาค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength, UCS) ทำได้ดังนี้

- 2.3.2.1 การเตรียมตัวอย่างขนาดแท่งตัวอย่าง แท่งตัวอย่างควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 33 มิลลิเมตร (1.3 นิ้ว) ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของเม็ดวัสดุในตัวอย่างต้องไม่เกิน 1 ใน 10 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง และสำหรับแท่งตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 71 มิลลิเมตร (2.8 นิ้ว) ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของเม็ดวัสดุต้องไม่เกิน 1 ใน 6 มีเม็ดวัสดุที่ใหญ่กว่าที่กำหนดไว้ก็ให้หมายเหตุไว้ในแบบฟอร์มอัตราส่วน ความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างให้ได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร ถึง 0.01 นิ้ว โดยใช้ Vernier Caliper หรือเครื่องมือชนิดอื่นที่เหมาะสม

2.3.2.2 ตัวอย่าง Undisturbed เตรียมตัวอย่าง Undisturbed จากแท่งตัวอย่าง Undisturbed ขนาดใหญ่หรือดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างโดยใช้ท่อบางแท่ง ตัวอย่างที่ได้จากท่อบางอาจจะทดลองได้เลยโดยไม่ต้องตกแต่งแต่ต้องตัดปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างให้เรียบและมีสัดส่วนดังที่ได้ระบุมาแล้ว ในการเตรียมตัวอย่างจะต้องระมัดระวังอย่างให้มีการเปลี่ยนรูปร่างและขนาดหน้าตัดเกิดขึ้นในระหว่างการดันตัวอย่างดินออกจากท่อบาง ถ้าหากเห็นว่าจะเกิดการอัดตัวอย่างดินหรือจะทำให้ตัวอย่างดินถูกรบกวนก็ให้ตัดแบ่งท่อบางตามความยาวออกเป็นส่วน ๆ การเตรียมตัวอย่างถ้าหากเป็นไปได้ก็ควรเตรียมในห้องที่ควบคุมความชื้นเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น แท่งตัวอย่างทดลองจะต้องมีหน้าตัดตั้งฉากกับแกนตามยาวของแท่งตัวอย่าง ในการตัดและแต่งปลายทั้งสองข้างของแท่งตัวอย่าง ถ้าหากมีเม็ควัสตุที่ทำให้ผิวหน้าไม่เรียบก็ให้ปิดผิวหน้าด้วย ปูนพลาสติก โดยให้มีความหนาน้อยที่สุดหรือใช้ Hydrostone หรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน ให้ซึ่งหามวลของแท่งตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองหาปริมาณน้ำในดินของแท่งตัวอย่าง โดยใช้ตัวอย่างทั้งแท่งหรือส่วนที่เป็นตัวแทนของแท่งตัวอย่าง

2.3.2.3 ตัวอย่าง Remolded นำตัวอย่างดิน Undisturbed เดิม มาทำดั่งนี้อย่างทั่วถึง ในการทำต้องระวังอย่าให้มีฟองอากาศเข้าไปปนในดิน หลังจากนั้นก็อัดดินลงใน Mold ที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และมีขนาดตามที่ระบุไว้ เมื่อได้อัดดิน Mold จนเต็มแล้วให้แต่งปลายแท่งตัวอย่าง จนเรียบได้หน้าตัดตั้งฉากกับแกนตามยาวของแท่งตัวอย่างแล้วดัน แท่งตัวอย่างมี Void Ratio และปริมาณน้ำในดินใกล้เคียงกับตัวอย่าง Undisturbed เดิมการทดลองโดยวิธีควบคุมความเครียด (Strain) วางแท่งตัวอย่างไว้ตรงกลางแผ่นกลมอันล่างของเครื่องกดแล้วเลื่อนจนแผ่นกลมบนบนของเครื่องกดแตะกับผิวบนของแท่งตัวอย่าง หมุนหน้าปัดของ Dial Gauge ที่ใช้อ่านระยะทางการกดให้เข็มชี้ที่ศูนย์ กดแท่งตัวอย่างด้วยอัตราเร็วคิดเป็นความเครียดในแนวตั้ง 0.5 – 2 เปอร์เซ็นต์ ต่อนาที จนแรงกดและระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่างทุก ๆ 30 วินาที ในการใช้อัตราเร็วของความเครียดค่าใดจะต้องประมาณว่าระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้แรงกดจนถึงแรงกดสูงสุด จะต้องไม่เกิน 10 นาที เพิ่มแรงกดต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งแรงกดลดลงในขณะที่ความเครียดเพิ่มขึ้นหรือจนกระทั่งความเครียดมีค่า 20 เปอร์เซ็นต์ หาปริมาณน้ำ

ในดินโดยนำแท่งตัวอย่างเข้าเตาอบ นอกจากกรณีที่ต้องเตรียมแท่งตัวอย่าง Remolded ก็ให้ใช้ส่วนของดินที่เป็นตัวแทนของแท่งตัวอย่างได้เขียนรูปสภาพแท่งตัวอย่างที่ทดลองเสร็จแล้ว ถ้าตัวอย่างมีรอยร้าว วัตถุประสงค์ของรอยแตกร้าวเทียบกับแกนนอน ดินที่อ่อนมากจะมีความเครียดไปจนถึงแรงกดสูงสุดมาก ดินชนิดนี้จึงต้องทดลองโดยใช้อัตราเร็วของความเครียดสูง ในทางตรงกันข้าม ดินที่แข็งหรือแตกง่ายซึ่งมีความเครียดไปจนถึงแรงกดสูงสุดน้อย ดินชนิดนี้จึงต้องทดลองด้วยอัตราเร็วของความเครียดที่ต่ำกว่า การประมาณค่านี้ จะต้องมีประสบการณ์พอเพียงมิฉะนั้นจะต้องใช้เครื่องกดอย่างเล็ก (Penetrometer) กดลงบนส่วนของตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้คู่มือหาค่านี้โดยประมาณ

2.3.2.4 คำนวณหาความเครียดในแนวตั้ง สำหรับแรงกดใด ๆ (ϵ) โดยใช้สูตร

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

เมื่อ ϵ = ระยะยวบตัวของแท่งตัวอย่างที่แรงกดใด ๆ โดยอ่านจาก Dial

Gauge

L_0 = ความยาวเดิมของแท่งตัวอย่าง

2.3.2.5 คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยสำหรับแรงกดใด ๆ (A) โดยใช้สูตร

$$A = \frac{A_0}{1 - \epsilon}$$

เมื่อ A_0 = พื้นที่หน้าตัดเดิมของแท่งตัวอย่าง

ϵ = ความเครียดตามแนวตั้งที่แรงกดนั้น ๆ

2.3.2.6 คำนวณหาความเค้นสำหรับแรงกดใด ๆ (σ_c) โดยใช้สูตร

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

เมื่อ $P =$ แรงกด
 $A =$ พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยที่แรงกดนั้น ๆ

2.3.2.7 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ_c และ ϵ โดยใช้ σ_c เป็นแกนตั้ง และ ϵ เป็นแกนนอน จากกราฟหาค่าสูงสุดของ σ_c หรือหาค่าที่ σ_c ที่ ϵ เท่ากับ ร้อยละ 20 ได้ในกรณีที่ต้องการจะใช้กราฟอธิบายคุณสมบัติของดินก็ให้แนบแผ่นกราฟนี้รวมไว้ในรายงานผลการทดลองด้วยการรายงาน ให้รายงานผลการทดลองดังต่อไปนี้ ค่า Unconfined Compressive Strength ชนิดและรูปร่างของแท่งตัวอย่าง เช่น Undisturbed, Compacted, Remolded, Cylindrical, Prismatic

2.3.2.8 อัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง

2.3.2.9 ลักษณะดินโดยทั่วไป เช่น ชื่อของดิน สัญลักษณ์ เป็นต้น

2.3.2.10 Initial Density ปริมาณน้ำในดิน และ Degree of Saturation (ถ้าตัวอย่างถูกทำให้อิ่มตัวในห้องปฏิบัติการให้หมายเหตุ Degree of Saturation อีกค่าหนึ่งไว้ด้วย)

2.3.2.11 ค่าความเครียดที่เค้นสูงสุดเป็นร้อยละ (อ่านจากกราฟ)

2.3.2.12 ค่าอัตราเร็วเฉลี่ยของความเครียดเป็นร้อยละต่อนาที โดยคิดตั้งแต่เริ่มกดจนถึงแรงกดสูงสุด

2.3.2.13 ให้เขียนหมายเหตุในกรณีที่เกิดมีลักษณะผิดปกติในการทดลองหรือแบบรายละเอียดอื่น ๆ ที่คิดว่ามีความจำเป็นต้องใช้อธิบายผลการทดลอง

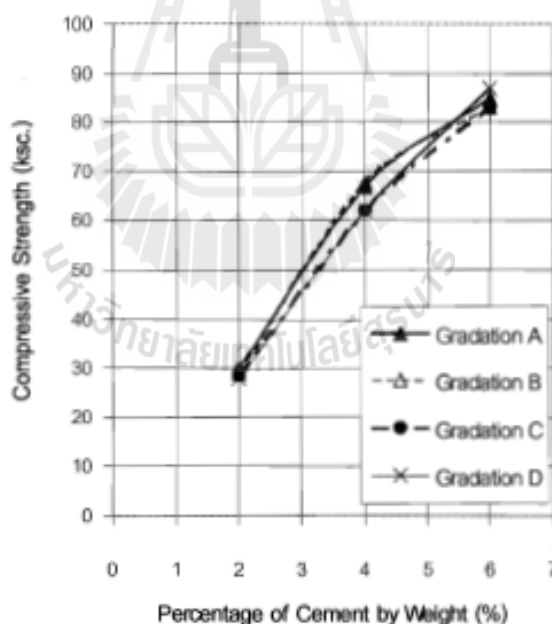
ข้อควรระวัง ในการคันทัวอย่างออกจากท่อเพื่อใช้ทดลองจะต้องดันไปตามทิศทางเดียวกันกับที่ตัวอย่างเคลื่อนที่เข้าไปในกระบอกในระหว่างเก็บตัวอย่างเพื่อลดการรบกวนตัวอย่างดิน และในการทำตัวอย่าง Remolded ถ้าแท่งตัวอย่างจากการทำ Remolded แล้วได้ความแน่นแตกต่างจากก่อนทำ Remoldedให้นำมาดำเนินการใหม่

2.4 การศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพหินคลุกในประเทศไทย

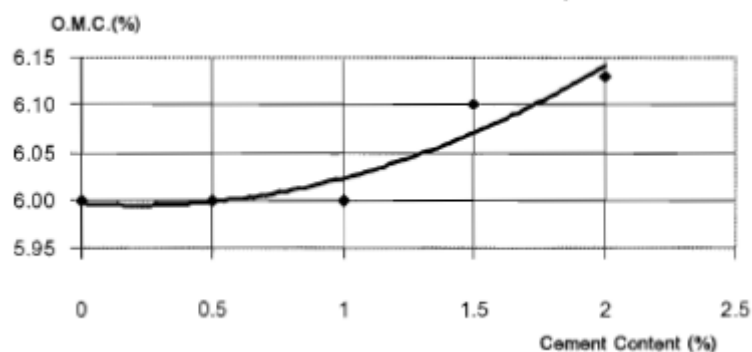
ชินณพงศ์ ดอกแก้ว และคณะ(2543) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของขนาดคละ (Grading) ที่มีต่อหินคลุกผสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base) โดยนำหินคลุกเกรด A, B, C และ D มาผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 ต่อน้ำหนักดินแห้ง

โดยบดอัดสูงกว่ามาตรฐานพบว่าหินคลุกแต่ละเกรดมีค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) ที่อายุการบ่ม 7 วัน ไม่แตกต่างกันผลดังแสดงในรูปที่ 2.1

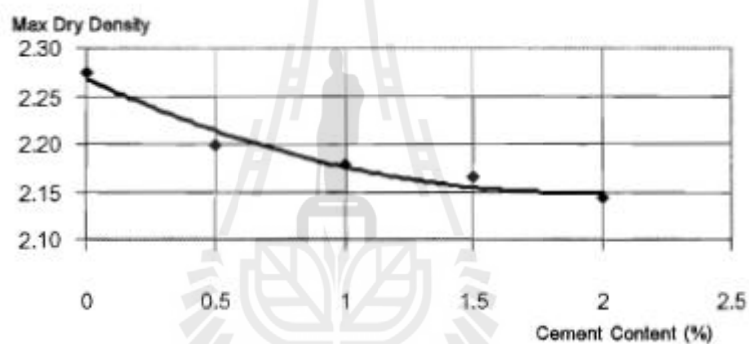
สงคราม อาศูรวารี และคณะ(2542) นำหินคลุกเกรด C ผสมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยนำนักดินแห่ง โดยบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน พบว่าปริมาณปูนซีเมนต์ส่งผลให้ค่าความชื้นประสิทธิผลเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยที่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 0 มีค่าความชื้นประสิทธิผลร้อยละ 6 และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 6.13 เมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 2 ส่วนค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ ผลดังแสดงในรูปที่ 2.3 และเมื่อนำตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์ที่อายุการบ่ม 7 วัน ไปทดสอบเพื่อหาค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) และค่ากำลังรับน้ำหนักของวัสดุที่บดอัดแน่น (C.B.R.) พบว่าหินคลุกที่นำมาศึกษาต้องการปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 0.5 เพื่อให้ได้ค่ากำลังรับน้ำหนักของวัสดุที่บดอัดแน่น (C.B.R.) มากกว่าร้อยละ 80 และปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 1.5 เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) มากกว่า 24.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kiss.) (ตามมาตรฐานกรมทางหลวง) ผลดังแสดงในรูป ที่ 2.4 และ รูปที่ 2.5



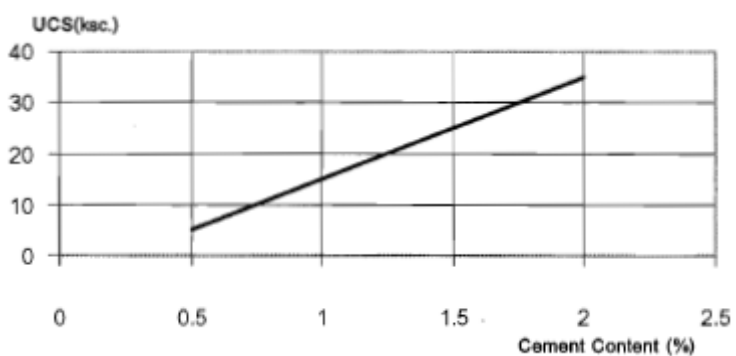
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของหินคลุกเกรดต่างๆที่มีต่อค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS)
(ข้อมูลจาก ชินนุพงศ์ ดอกแก้ว และคณะ, 2543)



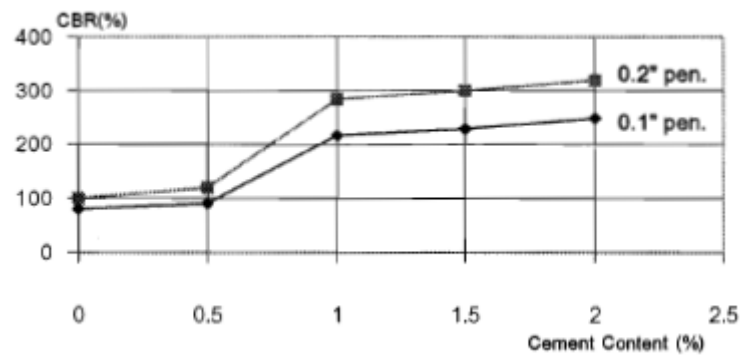
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีเมนต์กับค่าความชื้นประสิทธิผล
(ข้อมูลจาก สงคราม อาศูรวารี และคณะ, 2542)



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีเมนต์กับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด
(ข้อมูลจาก สงคราม อาศูรวารี และคณะ, 2542)



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างซีเมนต์กับค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS)
(ข้อมูลจาก สงคราม อาศูรวารี และคณะ, 2542)



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีเมนต์กับค่ากำลังรับน้ำหนักของวัสดุที่บดอัดแน่น (C.B.R.)
(ข้อมูลจาก สงคราม อาสุวารี และคณะ, 2542)



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการโครงการ

3.1 ตัวอย่างหินคลุกที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

การบูรณะทางผิวทางแอสฟัลต์ โดยวิธีหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมในที่กลับมาใช้ใหม่ (Pavement In-Place Recycling) เป็นวิธีที่ใช้อย่างแพร่หลายในกรมทางหลวงในปัจจุบัน การศึกษากำลักรับแรงอัดเป็นส่วนหนึ่ง และมีความสำคัญอย่างยิ่งในการบูรณะทางผิวทางแอสฟัลต์โดยวิธีนี้ เพราะมีผลกับการรับน้ำหนักของถนน อีกทั้งที่ผ่านมากำลักรับแรงอัดจะใช้อายุในการบ่มที่ 7 วัน ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะทำให้ต้องใช้เวลานานในการบ่มนาน อาจจะทำให้มีผลกระทบ ในการปฏิบัติงาน ในสนามในการตัดสินใจที่จะดำเนินการบูรณะผิวทางในขั้นต่อไป การทำโครงการครั้งนี้จึงได้ศึกษาความสัมพันธ์ของกำลักรับแรงอัด เพื่อนำค่าที่ได้ไปพยากรณ์หาค่ากำลักรับแรงอัดที่มีอายุบ่ม 7 วันตามมาตรฐานกำหนด

วิธีการดำเนินโครงการจะทำการศึกษาดูถนนที่มีโครงสร้างชั้นพื้นทางเป็นหินคลุกและมีผิวทางแอสฟัลต์หนาไม่เกิน 10 เซนติเมตร เป็นถนนที่มีการบูรณะเป็นจำนวนมากในขณะนี้โดยทำการเก็บตัวอย่างจากสายทางด้วยเครื่องจักรชุดตัดในสนาม ให้ได้ความลึก 20 เซนติเมตร แล้วนำตัวอย่างนั้นมาออกแบบหาส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่ได้กำลักรับแรงอัดที่ 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่อายุบ่ม 7 วันก่อนทำก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบกำลักรับแรงอัดตามระยะบ่มที่ 168 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างหินคลุกนำมาจากแหล่งวัสดุในจังหวัดนครสวรรค์ มีขนาดคละ (Grading) B, C และ D ตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล. - ม. 203/2532 ตัวอย่างหินคลุกจะถูกนำมาผึ่งให้แห้งในอากาศแล้วใช้ก้อนยางทุบให้แยกตัวออกจากกัน และวัดปริมาณความชื้นก่อนนำไปทดสอบทุกครั้ง

วิธีการดำเนินโครงการจะทำการศึกษาดูถนนที่มีโครงสร้างชั้นพื้นทางเป็นหินคลุกหนา 30 เซนติเมตร เป็นถนนที่มีการบูรณะเป็นจำนวนมากในขณะนี้โดยทำการเก็บตัวอย่างจาก โรงแม่หิน แล้วนำตัวอย่างนั้นมาออกแบบหาส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่ได้กำลักรับแรงอัดที่ 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่อายุบ่ม 7 วันก่อนทำก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบกำลักรับแรงอัดตามระยะบ่มที่ 168 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ

3.2 ปูนซีเมนต์และน้ำ

3.2.1 ปูนซีเมนต์

ปริมาณซีเมนต์ที่ผสมกับหินคลุกคิดเป็นร้อยละ 1.0, 2.0 และ 3.0 ของน้ำหนักดินแห้ง ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษามี 3 ชนิด ดังนี้

3.2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก.15

3.2.2 น้ำสะอาด

การศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำประปาท้องถิ่น ต.บางม่วง อ.วัดไทรย์ จ.นครสวรรค์ ซึ่งเป็นสถานที่ตั้ง
สำนักงานของโครงการฯ

3.3 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมที่ทดสอบกับหินคลุกประกอบด้วย

3.3.1 การทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง ตามมาตรฐานของกรมทาง
หลวง (2520) การทดลองที่ ทล. – ท. 205/2517

3.3.2 การทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน ตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่
ทล.ท.108/2517 จากการทดลองจะได้ ค่าความแน่นแห้งสูงสุด (Max Dry Density)
และค่าปริมาณน้ำที่ทำให้ความแน่นแห้งสูงสุด (Optimum Moisture Content) ในแต่
ละสายทาง

3.3.3 ออกแบบหาอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยนำวัสดุทางเดิมผสม
ปูนซีเมนต์ ตั้งแต่ 1, 2, 3, 4 เปอร์เซ็นต์และทำก้อนตัวอย่างเปอร์เซ็นต์ละ 5 ก้อนบ่ม
ในถุงพลาสติกเป็นเวลา 7 วันก่อนทดสอบหากำลังรับแรงอัดให้นำก้อนตัวอย่างแช่
น้ำ เมื่อได้ค่ากำลังรับแรงอัดกับเปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์ที่ผสมแล้วเอาไปเขียนกราฟ
โดยใช้เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์ที่มีกำลังรับแรงอัดที่ 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
จากการทดลองจะได้อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของแต่ละสายทาง

3.3.4 การทดลองหาค่า Unconfined Compaction Strength ของดิน ตามมาตรฐานวิธีการ
ทดลองที่ ทล.ท.105/2515 ทำการทดลองหลังจากได้อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์แล้ว โดยที่ทั้ง 4 สายทางจะต้องทำก้อนตัวอย่างตามช่วงอายุการบ่ม ช่วง
ละ 7 ตัวอย่างแล้วนำมาหาเป็นค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ย ของแต่ละช่วงอายุการบ่ม 168
ชั่วโมง และนำค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยไปเขียนกราฟกับอายุของการบ่ม จากการ
ทดสอบทำให้สามารถศึกษาความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดกับอายุบ่มของวัสดุที่ใช้

3.4 การทดสอบการบดอัดของตัวอย่างหินคลุก

3.4.1 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

การทดสอบนี้เพื่อกำหนดปริมาณน้ำเหมาะสมในการบดอัดที่ให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด
สำหรับการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว แบบหล่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว)

และสูง 116.8 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) ตัวอย่างหินคลุกผ่านตะแกรง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถูกบดอัดด้วยค้อนหนัก 10 ปอนด์ จำนวน 5 ชั้นๆละ 25 ครั้ง พลังงานการบดอัดที่ได้เท่ากับ 56,250 ft-lb/ft³

3.4.2 การทดสอบการบดอัดแบบ 1/2 สูงกว่ามาตรฐาน

แบบหล่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) และสูง 116.8 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) ตัวอย่างหินคลุกกร้อนผ่านตะแกรง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) และบดอัดด้วยค้อนหนัก 10 ปอนด์ จำนวน 5 ชั้นๆละ 12 ครั้ง พลังงานการบดอัดที่ได้เท่ากับ 27,000 ft-lb/ft³

3.4.3 การทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน

แบบหล่อที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) และสูง 116.8 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) ตัวอย่างหินคลุกกร้อนผ่านตะแกรง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) และบดอัดด้วยค้อนหนัก 5.5 ปอนด์ จำนวน 3 ชั้นๆละ 56 ครั้ง พลังงานการบดอัดที่ได้เท่ากับ 12,375 ft-lb/ft³

ตารางที่ 3.1 รูปแบบการบดอัดและพลังงานการบดอัดที่ใช้ในการทดสอบ

ทดสอบ	น้ำหนักของค้อน (ปอนด์)	จำนวนชั้น	จำนวนครั้งที่บดอัด/ชั้น	ความสูงในการยกค้อน (ฟุต)	พลังงานในการบดอัด (ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต)
สูงกว่ามาตรฐาน	10	5	25	1.5	56,250
การบดอัดแบบ 1/2 สูงกว่ามาตรฐาน	10	5	12	1.5	27,000
แบบมาตรฐาน	5.5	3	25	1.0	12,375

3.5 การทดสอบหาค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength, (UCS))

3.5.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS)

ตัวอย่างทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) และสูง 116.8 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) เมื่อคั้นตัวอย่างดินซีเมนต์ออกจากแบบหล่อแล้ว ตัวอย่างจะถูกห่อด้วยฟิล์มถนอมอาหารและใส่ถุงพลาสติกรัดปากถุงให้แน่น บ่มในอุณหภูมิห้อง จนได้เวลาบ่ม 7 วัน และ 28 วัน เมื่อครบอายุการบ่ม ตัวอย่างจะถูกนำไปทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) ทันที เพื่อความแม่นยำของผลทดสอบ ผู้วิจัยใช้ตัวอย่างทดสอบอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง ต่อส่วนผสมและอายุบ่มค่าหนึ่ง

3.6 การประเมินผลการศึกษา

3.6.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างหินคลุก

โดยประเมินผลการทดสอบ ขนาดเม็ดของวัสดุโดยร่อนผ่านตะแกรงแบบล่าง

3.6.2 ผลการทดสอบการบดอัดของหินคลุก

โดยประเมินกราฟการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน แบบ 1/2 เท่าของพลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน และแบบมาตรฐาน

3.6.3 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว UCS

โดยประเมินจากค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) ที่ได้จากการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างหินคลุกที่ผสมปูนซีเมนต์ทั้ง 3 ชนิดในปริมาณร้อยละ 1.0, 2.0, และ 3.0 ของน้ำหนักแห้ง ภายใต้พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน แบบ 1/2 เท่าของพลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน และแบบมาตรฐาน ที่อายุบ่ม 7 วัน



บทที่ 4

การศึกษาผลทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ตั้งแต่การเก็บตัวอย่าง การหาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุพื้นทาง การออกแบบหาอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จนถึงการหาความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดกับอายุในการบ่มของก้อนตัวอย่างและสร้างทฤษฎีกำลังอัด

4.2 วิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

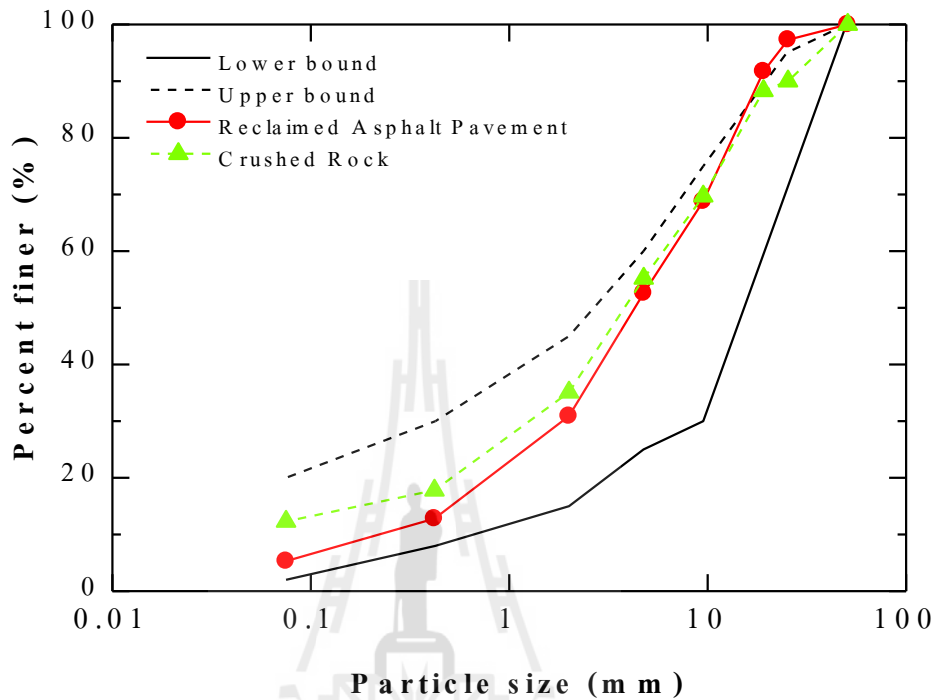
4.2.1 วัสดุ

วัสดุที่นำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการมีสองประเภท ได้แก่ หินคลุก (Crushed Rock, CR) และผิวทางรีไซเคิล (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP) ที่ได้จากทางหลวงหมายเลข 1 และ 122 ตำบล วัดไทร อำเภอ บางม่วง จังหวัด นครสวรรค์ ผิวทางรีไซเคิลมีส่วนผสมของแอสฟัลต์ในปริมาณร้อยละ 20 รูปที่ 4.1 ผลการกระจายขนาดเม็ดดินของตัวอย่างหินคลุก หินคลุกมีส่วนผสมของอนุภาคละเอียด (ขนาดน้อยกว่า 0.075 มิลลิเมตร) มีค่าเท่ากับร้อยละ 12.3 ซึ่งมากกว่าร้อยละ 12 การจำแนกดิน จึงจำเป็นต้องใช้ Plasticity Chart ในการช่วยพิจารณา จากผลทดสอบ Atterberg's Limit พบว่า CMB มีค่าพิกัดเหลว (LL) เท่ากับร้อยละ 23 และมีค่าดัชนีพลาสติก (PI) เท่ากับร้อยละ 3.25 ซึ่งสามารถจำแนกชนิดดินได้เป็นชนิด GM ผิวทางรีไซเคิลมีค่าดัชนีความสม่ำเสมอ (C_u) และดัชนีความโค้ง (C_c) เท่ากับ 31.0 และ 2.9 ตามลำดับ และจัดเป็นกรวดที่มีความละเอียด ตามการจำแนกด้วยระบบ Unified Soil Classification System (USCS) ได้เป็นดินชนิด GW ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงด้านการกระจายขนาดของเม็ดดิน วัสดุทั้งสองประเภทมีสอดคล้องกับข้อกำหนด และจัดเป็นวัสดุเกรด B

4.2.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

วัสดุทั้งสองประเภทจะนำมาคลุกเคล้าให้เข้ากันเป็นอย่างดีกับน้ำและปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และบดอัดในแบบหล่อมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ด้วยพลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ตามมาตรฐาน ทล.ท.108/2517 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษานี้เท่ากับร้อยละ 1, 2, 3 และ 5 ผู้วิจัยเตรียมตัวอย่างทดสอบที่ปริมาณความชื้นเหมาะสม และบ่มตัวอย่างในห้องควบคุมอุณหภูมิชื้นได้อายุบ่ม 7 วัน เมื่อครบอายุบ่ม ผู้วิจัยทดสอบแ่งตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 2

ชั่วโมงแล้วทำการทดสอบกำลังอัดด้วยอัตราการเคลื่อนตัว 1 มิลลิเมตรต่อนาที ตามมาตรฐาน
วิธีการทดลองที่ 105/2515

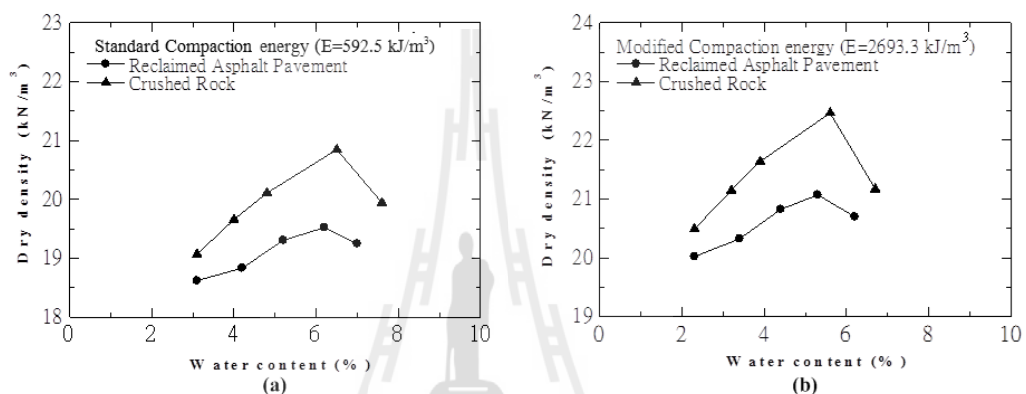


รูปที่ 4.1 ผลการกระจายขนาดเม็ดดิน

4.3 ผลการทดสอบ

ผลทดสอบการบดอัดแสดงในรูปที่ 4.2a และ 4.2b ความหนาแน่นแห้งสูงสุด ($\gamma_{d, max}$) ของหินคลุกมีค่าเท่ากับ 20.8 และ 22.5 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน ตามลำดับ ความหนาแน่นแห้งสูงสุด ($\gamma_{d, max}$) ของผิวทางรีไซเคิลมีค่าเท่ากับ 19.5 และ 21.1 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐานตามลำดับ ผลทดสอบแสดงให้เห็นว่าหินคลุกมีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดสูงกว่าผิวทางรีไซเคิล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตของอาทิตย์ อินทรา และคณะ (2557) หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดที่ต่ำกว่านี้เกิดเนื่องจากแอสฟัลต์มีความสามารถในการดูดซึมพลังงานที่สูงกว่าหินคลุก ปริมาณน้ำเหมาะสม (OWC) ของหินคลุกมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.5 และ 6.2 เมตร สำหรับการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน ตามลำดับ ปริมาณน้ำเหมาะสม (OWC) ของผิวทางรีไซเคิลมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.6 และ 5.3 เมตร ปริมาณน้ำเหมาะสมของหินคลุกมีค่าสูงกว่าแม้ว่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดมีค่ามากกว่า อาจเนื่องจากหินคลุกมีส่วนผสมของดินเม็ดละเอียดมากเกินไปถึงร้อยละ 12

ผลการทดสอบของ Arulrajah et al. (2014) มีความสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ ซึ่งพบว่า ปริมาณน้ำเหมาะสมของผิวทางรีไซเคิลมีค่าต่ำกว่าหินคลุกเหลือทิ้ง (Waste Excavation Rock) แต่ หินคลุกเหลือทิ้งมีหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดสูงกว่าผิวทางรีไซเคิล อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำเหมาะสมของผิวทางรีไซเคิลในงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่าหินคลุกเพียง 0.95 เท่า สำหรับทั้งสอง พลังงานการบดอัด และมีหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดต่ำกว่าหินคลุกเพียง 0.94 และ 0.90 เท่า สำหรับ พลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน อาจเนื่องมาจากปริมาณแอสฟัลต์ในผิวทาง รีไซเคิลมีปริมาณน้อย (เพียงร้อยละ 20 ของปริมาณหินคลุก)



รูปที่ 4.2a และ 4.2b ผลการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน และปริมาณปูนซีเมนต์ พบว่า กำลังอัดของวัสดุผสมปูนซีเมนต์ทั้งสองชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันเส้นตรงกับการเพิ่มขึ้นของ ปริมาณปูนซีเมนต์ สำหรับทั้งพลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน กำลังอัดของ หินคลุกผสมปูนซีเมนต์มีค่าสูงกว่ากำลังอัดของผิวทางรีไซเคิลผสมปูนซีเมนต์ เนื่องจากผิวของ แอสฟัลต์มีความลื่นและเชื่อมประสานกับซีเมนต์เพชรได้แยกว่าหินคลุก (อาทิตย์ อินทรา และคณะ 2557) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากำลังอัดของวัสดุผสมทั้งสองชนิดที่ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากัน มีค่าเพิ่มขึ้นตามพลังงานการบดอัดที่เพิ่มขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าการบดอัดด้วยพลังงานการบด อัดที่สูงกว่า (แม้จะสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่า) ช่วยลดการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ได้ พลังงานการบด อัดที่สูงกว่าทำให้เม็ดดินเคลื่อนตัวเข้ากันได้มากกว่า (ช่องว่างน้อยกว่า) จึงส่งผลให้การเชื่อม ประสานของปูนซีเมนต์มีประสิทธิภาพสูงกว่าที่ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากัน

กรมทางหลวงกำหนดให้กำลังอัดของชั้นทางเชื่อมประสาน (Bound pavement base) มีค่า ไม่ต่ำกว่า 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าปูนซีเมนต์ที่ทำให้กำลังอัดตาม ข้อกำหนดของกรมทางหลวง มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.4 และ 1.6 สำหรับหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ที่บด อัดด้วยพลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน ตามลำดับ และมีค่าเท่ากับ 3.1 และ

2.6 สำหรับหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ที่บดอัดด้วยพลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน ตามลำดับ

ผลการศึกษาพบว่าผิวทางรีไซเคิลที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์มีความต้องการปริมาณปูนซีเมนต์มากกว่าหินคลุกที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์เท่ากับ 1.5 และ 1.6 เท่า ที่พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานและแบบสูงกว่ามาตรฐาน ตามลำดับ ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าการใช้ผิวทางรีไซเคิลจะต้องใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากกว่า แต่การประยุกต์ใช้ผิวทางรีไซเคิลเป็นวัสดุคิบบในการทำผิวทางเชื่อมประสาน (Bound pavement base) เป็นการช่วยลดการใช้หินคลุกจากธรรมชาติ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดต้นทุนค่าก่อสร้างแล้วยังเป็นการช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 ผลเปรียบเทียบต้นทุนค่าก่อสร้างผิวทางเชื่อมประสานสำหรับวัสดุทั้งสองประเภทการคำนวณพิจารณาถนนหนา 25 เซนติเมตร และ กว้าง 12 เมตร จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้ผิวทางรีไซเคิลมีต้นทุนต่ำกว่าการใช้หินคลุกตามธรรมชาติ มากถึงร้อยละ 40

ตารางที่ 4.1 ประมาณราคาค่าก่อสร้างการทำผิวทางด้วยหินคลุกและผิวทางรีไซเคิล ด้วยการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

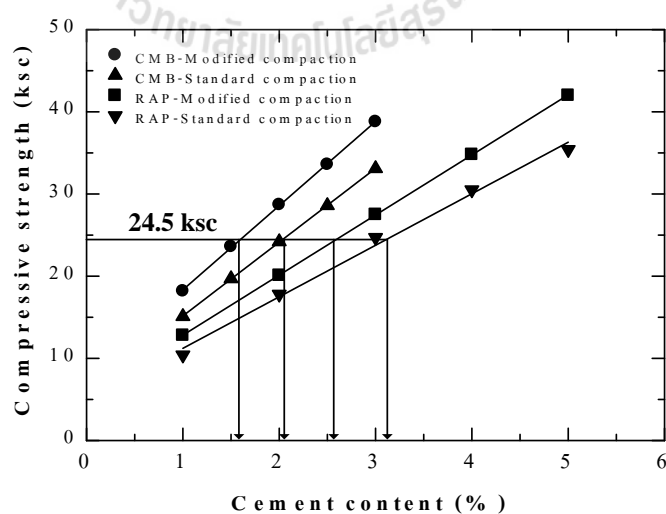
ลำดับ	รายละเอียด	จำนวน	หน่วย	ราคาประมาณการ	
				ราคา/หน่วย (บาท/กก.)	ราคา (บาท)
หินคลุกผสมซีเมนต์					
1	ปูนซีเมนต์	145	กก.	2.40	348
2	หินคลุก	8,928	กก.	0.18	1,607.04
	รวมราคาค่าต้นทุนต่อ 1 ลบ.ม. กว้าง 12 เมตร				1,955.04
ผิวทางรีไซเคิลผสมซีเมนต์					
1	ผิวแอสฟัลต์เดิม หนา 5 ซม.	840	กก.	-	-
2	ชั้นพื้นทางเดิม หนา 25 ซม.	6,900	กก.	-	-
3	หินคลุก หนา 5 ซม.	1,488	กก.	0.18	267.84
4	ปูนซีเมนต์	240	กก.	2.40	576
	รวมราคาค่าต้นทุนต่อ 1 ลบ.ม. กว้าง 12 เมตร				843.84
	ผลต่างของราคา				1,111.20

หมายเหตุ: สัดส่วนที่กำหนดต่อความยาวถนน 1 เมตร

ตารางที่ 4.2 ประมาณราคาค่าก่อสร้างการทำผิวทางด้วยหินคลุกและผิวทางรีไซเคิล ด้วยการบดอัด
แบบมาตรฐาน

ลำดับ	รายละเอียด	ปริมาณ	หน่วย	ราคาประมาณการ	
				ราคา/หน่วย (บาท/กก.)	ราคา (บาท)
หินคลุกผสมซีเมนต์					
1	ปูนซีเมนต์	179	กก.	2.40	429.60
2	หินคลุก	8,928	กก.	0.18	1,607.04
	รวมราคาค่าต้นทุนต่อ 1 ลบ.ม. กว้าง 12 เมตร				1,177.44
ผิวทางรีไซเคิลผสมซีเมนต์					
1	ผิวแอสฟัลต์เดิมหนา 5 ซม.	840	กก.	-	-
2	ชั้นพื้นทางเดิมหนา 25 ซม.	6,900	กก.	-	-
3	หินคลุกหนา 5 ซม.	1,488	กก.	0.18	267.84
4	ปูนซีเมนต์	273	กก.	2.40	655.2
	รวมราคาค่าต้นทุนต่อ 1 ลบ.ม. กว้าง 12 เมตร				923.04
	ผลต่างของราคา				254.4

หมายเหตุ: สัดส่วนที่กำหนดต่อความยาวถนน 1 เมตร



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละปูนซีเมนต์กับกำลังรับแรงอัด

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 คุณสมบัติพื้นฐาน

ผลทดสอบการกระจายของเม็ดดินของตัวอย่างทั้งสองชนิดพบว่า หินคลุกและผิวทางรีไซเคิลจัดเป็นวัสดุชั้นทางเกรด B ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง หินคลุกจัดเป็นกรวดผสมดินตะกอน (GM) และผิวทางรีไซเคิลจัดเป็นกรวดที่มีความคละดี ตามระบบ USCS

ผิวทางรีไซเคิลมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดต่ำกว่าหินคลุก ถึงแม้ว่าหินคลุกจะมีค่าปริมาณน้ำเหมาะสมสูงกว่า เนื่องจากหินคลุกมีปริมาณดินเม็ดละเอียดที่สูงถึงร้อยละ 12.3 ส่งผลให้ผิวทางรีไซเคิลมีความต้องการน้ำที่มากขึ้นเพื่อช่วยให้เม็ดดินสามารถเคลื่อนตัวไปยังช่องว่างระหว่างเม็ดดินได้ดีขึ้น เนื่องจากดินเม็ดละเอียดมีพื้นที่สัมผัสผิวที่มากกว่า

ปริมาณน้ำเหมาะสมของผิวทางรีไซเคิลในงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่าหินคลุกเพียง 0.95 เท่า สำหรับทั้งสองพลังงานการบดอัด และมีหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดต่ำกว่าหินคลุกเพียง 0.94 และ 0.90 เท่า สำหรับพลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน อาจเนื่องมาจากปริมาณแอสฟัลต์ในผิวทางรีไซเคิลมีปริมาณน้อย (เพียงร้อยละ 20 ของปริมาณหินคลุก) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า การแทนที่หินคลุกด้วยแอสฟัลต์ในปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 20 ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำเหมาะสมและหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดมากนัก

5.2 คุณสมบัติทางวิศวกรรม

ผิวทางรีไซเคิลผสมปูนซีเมนต์มีกำลังอัดตามข้อกำหนดด้านกำลังอัดของวัสดุทางเชื่อมประสานของกรมทางหลวง ที่ระบุกำลังอัดไม่น้อยกว่า 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผิวทางรีไซเคิลมีความต้องการปริมาณปูนซีเมนต์สูงกว่าหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 52.8 และ 62.2 สำหรับพลังงานการบดอัดแบบมาตรฐานและแบบสูงกว่ามาตรฐาน ตามลำดับ ถึงแม้ว่าผิวทางรีไซเคิลจะมีความหนาแน่นแห้งใกล้เคียงกับหินคลุกก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากแอสฟัลต์มีผิวที่ลื่นและทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์น้อยกว่าหินคลุก การเพิ่มพลังงานการบดอัดสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ได้ถึงร้อยละ 16.7 และ 21.5 สำหรับผิวทางรีไซเคิลและหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ตามลำดับ ถึงแม้ว่าการใช้ผิวทางรีไซเคิลจะต้องใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากกว่าหินคลุก แต่การประยุกต์ใช้ผิวทางรีไซเคิลเป็นวัสดุคืบในการทำผิวทางเชื่อมประสาน (Bound pavement base) เป็นการช่วยลดการใช้หินคลุกจากธรรมชาติ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ทั้งในด้านราคา

และการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือทิ้งในทางวิศวกรรม โดยปกติแล้ว ฝิวทางที่ชำรุดหลังจากการขุดรื้อ จะนำไปใช้ในการถมที่ ดังนั้น งานวิจัยนี้นอกจากจะเป็นแนวทางลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับฝิวทางที่ชำรุด



เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวง, 2520, **วิธีการทดลองวัสดุก่อสร้าง**, เล่มที่ 1, พิมพ์ครั้งที่ 2, กระทรวงคมนาคม, หน้า 1-45.

กรมทางหลวง, 2549, **รายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง**, เล่มที่ 1, พิมพ์ครั้งที่ 7, กระทรวงคมนาคม, หน้า 73-81.

กรมทางหลวง, 2550, **คู่มือควบคุมงานก่อสร้างทางหลวง**, เล่มที่ 2, พิมพ์ครั้งที่ 1, กระทรวงคมนาคม, หน้า 61-66

ชินฉงศ์ ดอกแก้ว, ฉัฐพงษ์ พันธุ์มณี, สิทธิพรใจห้าว และ อนุสรณ์ เตียพานิช, 2543, **ผลกระทบของ Gradation ที่มีต่อ Cement Modified Crushed Rock Base**, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, หน้า 47-56.

สงคราม อาฮวาริ, สรศักดิ์ สิทธิถาวรทรัพย์, และ สักรินทร์ วิจิตรรุ่งเรือง, 2542, **“การเพิ่มกำลังรับแรงของวัสดุหินคลุกโดยการผสมด้วยซีเมนต์”**, ใน รวบรวมบทความโครงการทางวิศวกรรมโยธา, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 115-120.

อาทิตย์ อินทรา สุขสันต์ หอพิบูลสุข รัฐพล สมณา และเชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒน์พงศ์ (2557). **อิทธิพลของปริมาณผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเดิมต่อกำลังอัดของวัสดุชั้นพื้นทางที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์**. วารสารวิศวกรรมอุตสาหการ พระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Arulrajah, A., Disfani, M.M., Horpibulsuk, S., Suksiripattanapong, C. and Prongmanee, N. (2014), **“Physical properties and shear strength response of recycled construction and demolition materials in unbound pavement base/subbase pavement”**, *Construction and Building Materials*, Vol.58, pp.245-257.



ภาคผนวก

ตารางผลการทดสอบ

ทางหลวงหมายเลข 1 สายกำแพงเพชร – นครสวรรค์ ตอน 1

สถานี : กม.372+176.000 – กม.378+500

ตารางที่ ๔.1 การออกแบบส่วนผสมวัสดุผิวทางรีไซเคิลผสมปูนซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 1
ชนิดวัสดุ : หินคลุกเดิม 5 ซม. : ผิวแอสฟัลต์เดิม 5 ซม. : ชั้นพื้นทางเดิม 25 ซม.

ผลการกระจายของขนาดเม็ดดิน	นน. วัสดุก่อนทดลอง		5,000.00	กรัม	
	นน. วัสดุหลังล้างน้ำ		4,980.00	กรัม	
	นน. วัสดุที่หายไปจากการล้างน้ำ		20.00	กรัม	
	ขนาดตะแกรง เบอร์	ขนาดช่องตะแกรง (มม.)	นน. ค้างตะแกรง (กรัม)	นน. ผ่านตะแกรง (กรัม)	% ผ่านตะแกรง (%)
	2"	50.80	-	5,000.00	100.00
	1"	25.40	135.00	4,865.00	97.30
	3/4"	19.10	280.00	4,585.00	91.70
	3/8"	9.50	1,145.00	3,440.00	68.80
	# 4	4.76	810.00	2,630.00	52.60
	#10	2.00	1,085.00	1,545.00	30.90
	# 40	0.42	905.00	640.00	12.80
# 200	0.075	375.00	265.00	5.30	
ผลังงานการบดอัด	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (สูงกว่ามาตรฐาน)		2.148	กรัม/มล.	
	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (มาตรฐาน)		1.99	กรัม/มล.	
	ค่าความชื้น (สูงกว่ามาตรฐาน)		5.3	%	
	ค่าความชื้น (มาตรฐาน)		6.2	%	
ค่ากำลังอัด แกนเดียว	ค่าการใช้ปูนซีเมนต์น้อยสุด (สูงกว่ามาตรฐาน)		2.6	%	
	ค่าการใช้ปูนซีเมนต์น้อยสุด (มาตรฐาน)		2.95	%	
	การใช้ปูนซีเมนต์ที่ค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) ตามข้อกำหนดไม่น้อยกว่า 24.5 ksc.				

ตารางที่ ๔.2 ค่ากำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1

ปริมาณปูนซีเมนต์ (%)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.), สูงกว่ามาตรฐาน	12.9	20.1	27.6	34.9	42
ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.), มาตรฐาน	10.4	17.8	24.7	30.5	35.4

ตารางที่ ๔.3 ค่าทดสอบความหนาแน่นของวัสดุ ทางหลวงหมายเลข 1

ปริมาตรโมล 952.00 ml. ทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน

1. การทดสอบความแน่น

(DENSITY TEST)

ปริมาณน้ำผสมตัวอย่าง	%	2	3	4	5	6
นน.วัสดุ + นน. โมล (กก.)		7.015	7.066	7.137	7.180	7.161
นน. โมล (กก.)		5.027	5.027	5.027	5.027	5.027
นน. วัสดุ (กก.)		1.988	2.039	2.110	2.153	2.134
ความหนาแน่นเปียก (กรัม. /มล.)		2.088	2.142	2.216	2.262	2.242
ความหนาแน่นแห้ง (กรัม. /มล.)		2.041	2.072	2.123	2.148	2.110

2. หาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (WATER CONTENT

TEST)

ตัวอย่างที่	1	2	3	4	5
กระป๋องอบเบอร์	39	4	5	42	2
นน.กระป๋อง + นน. วัสดุเปียก (กรัม)	327.40	327.90	313.60	356.90	312.50
นน.กระป๋อง + นน. วัสดุแห้ง (กรัม)	321.00	318.30	301.90	341.10	296.70
นน. น้ำ (กรัม)	6.40	9.60	11.70	15.80	15.80
นน. กระป๋องอบ (กรัม)	42.30	35.00	35.90	42.70	42.40
นน. วัสดุแห้ง (กรัม)	278.70	283.30	266.00	298.40	254.30
เปอร์เซ็นต์ความชื้น %	2.3	3.4	4.4	5.3	6.2

ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (MAXIMUM DRY DENSITY) = 2.148 กรัม./มล.

ความชื้นที่ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด (OPTIMUM MOISTURE CONTENT) = 5.30 %

1. การทดสอบความแน่น (DENSITY TEST)

ปริมาณน้ำผสมตัวอย่าง	%	2	3	4	5	6
นน.วัสดุ + นน.โมล	(กก.)	6.890	6.932	6.998	7.038	7.026
นน.โมล	(กก.)	5.027	5.027	5.027	5.027	5.027
นน.วัสดุ	(กก.)	1.863	1.905	1.971	2.011	1.999
ความหนาแน่นเปียก	(กรัม./มล.)	1.957	2.001	2.070	2.113	2.100
ความหนาแน่นแห้ง	(กรัม./มล.)	1.898	1.920	1.968	1.990	1.962

2. หาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (WATER CONTENT TEST)

ตัวอย่างที่	1	2	3	4	5	
กระป๋องอบเบอร์	45	32	21	17	10	
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	(กรัม)	327.88	343.16	329.72	343.64	330.43
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	(กรัม)	319.40	331.10	315.40	325.80	311.00
นน.น้ำ	(กรัม)	8.48	12.06	14.32	17.84	19.43
นน.กระป๋องอบ	(กรัม)	43.70	45.20	38.90	36.40	32.70
นน.วัสดุแห้ง	(กรัม)	275.70	285.90	276.50	289.40	278.30
เปอร์เซ็นต์ความชื้น	%	3.1	4.2	5.2	6.2	7.0

ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (MAXIMUM DRY DENSITY) = 1.990 กรัม./มล.

ความชื้นที่ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด (OPTIMUM MOISTURE CONTENT) = 6.20 %

ตารางที่ ๗4.4 สรุปผลการออกแบบอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 1

แบบสูงกว่ามาตรฐาน

อายุ วัน	ผลทดสอบในห้องทดสอบ		เปอร์เซ็นต์ ปูนซีเมนต์	ค่ากำลังอัด เฉลี่ย กก./ตร.ซม.
	ปริมาณความชื้น (%)	ความหนาแน่นแห้ง (กรัม/มล.)		
7	4.9	2.153	1.0	12.9
7	5.1	2.151	2.0	20.1
7	4.9	2.156	3.0	27.6
7	5.0	2.154	4.0	34.9
7	5.0	2.154	5.0	42.0

จากตารางที่ ๗4.4 เป็นสรุปผลทดลองในการออกแบบหาอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่เริ่มจากร้อยละ 1 ถึง 5 ใช้อายุการบ่ม 7 วัน ซึ่งรายละเอียดผลทดลองการรับแรงอัดอยู่ในภาคผนวก ตารางที่ ๗4.11 ถึง ๗4.15

ตารางที่ ๗4.5 สรุปผลการออกแบบอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 1 แบบมาตรฐาน

อายุ วัน	ผลทดสอบในห้องทดสอบ		เปอร์เซ็นต์ ปูนซีเมนต์	ค่ากำลังอัด เฉลี่ย กก./ตร.ซม.
	ปริมาณความชื้น (%)	ความหนาแน่นแห้ง (กรัม/มล.)		
7	5.8	2.089	1.0	10.4
7	5.9	2.090	2.0	17.8
7	5.9	2.076	3.0	24.7
7	5.8	2.071	4.0	30.5
7	5.9	2.068	5.0	35.4

จากตารางที่ ๗4.5 เป็นสรุปผลทดลองในการออกแบบหาอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่เริ่มจากร้อยละ 1 ถึง 5 ใช้อายุการบ่ม 7 วัน ซึ่งรายละเอียดผลทดลองการรับแรงอัดอยู่ในภาคผนวก ตารางที่ ๗4.21 ถึง ๗4.25

ทางหลวงหมายเลข 122 สายทางเลี่ยงเมืองนครสวรรค์

สถานที่ : กม.14+282.943 – กม.23+686.289

ตารางที่ ๔4.6 การออกแบบอัตราส่วนหินคลุกผสมซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 122

ชนิดวัสดุ : หินคลุกเกรด B

ผลการกระจายของขนาดเม็ดดิน	นน.วัสดุก่อนทดลอง		5,000.00	กรัม	
	นน.วัสดุหลังล้างน้ำ		4,990.00	กรัม	
	นน.วัสดุที่หายไปจากการล้างน้ำ		10.00	กรัม	
	ขนาดตะแกรง เบอร์	ขนาดช่องตะแกรง (มม.)	นน.ค้างตะแกรง (กรัม)	นน.ผ่านตะแกรง (กรัม)	% ผ่านตะแกรง (%)
	2"	50.80	-	5,000.00	100.00
	1"	25.40	500.00	4,500.00	90.00
	3/4"	19.10	85.00	4,415.00	88.30
	3/8"	9.50	930.00	3,485.00	69.70
	# 4	4.76	725.00	2,760.00	55.20
	#10	2.00	1,005.00	1,755.00	35.10
	# 40	0.42	865.00	890.00	17.80
	# 200	0.075	275.00	615.00	12.30
	พลังงานการบดอัด	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (สูงกว่ามาตรฐาน)		2.290	กรัม/มล.
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (มาตรฐาน)		2.125	กรัม/มล.		
ค่าความชื้น (สูงกว่ามาตรฐาน)		5.6	%		
ค่าความชื้น (มาตรฐาน)		6.5	%		
ค่ากำลังอัด แกนเดียว	ค่าการใช้ปูนซีเมนต์น้อยสุด (สูงกว่ามาตรฐาน)		1.62	%	
	ค่าการใช้ปูนซีเมนต์น้อยสุด (มาตรฐาน)		2	%	
	การใช้ปูนซีเมนต์ที่ค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) ตามข้อกำหนดไม่น้อยกว่า 24.5 ksc.				

ตารางที่ ๔4.7 ค่ากำลังอัดแกนเดียวหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 122

ปริมาณปูนซีเมนต์ (%)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.), สูงกว่ามาตรฐาน	18.2	23.6	28.7	33.7	38.9
ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.), มาตรฐาน	15.1	19.7	24.2	28.6	33.1

ตารางที่ ๔.8 ค่าทดสอบความหนาแน่นของวัสดุ ทางหลวงหมายเลข 122

ปริมาตรโมล 952.00 ml. แบบสูงกว่ามาตรฐาน

1. การทดสอบความแน่น (DENSITY TEST)

ปริมาณน้ำผสมตัวอย่าง	%	2	3	4	5	6
นน.วัสดุ + นน.โมล	(กก.)	7.061	7.145	7.210	7.329	7.219
นน.โมล	(กก.)	5.027	5.027	5.027	5.027	5.027
นน.วัสดุ	(กก.)	2.034	2.118	2.183	2.302	2.192
ความหนาแน่นเปียก	(กรัม./มล.)	2.137	2.225	2.293	2.418	2.303
ความหนาแน่นแห้ง	(กรัม./มล.)	2.089	2.156	2.206	2.290	2.158

2. หาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (WATER CONTENT TEST)

ตัวอย่างที่	1	2	3	4	5
กระป๋องอบเบอร์	25	15	12	40	18
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	(กรัม) 328.51	325.14	329.70	333.17	316.70
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	(กรัม) 322.10	316.20	318.60	317.70	299.50
นน.น้ำ	(กรัม) 6.41	8.94	11.10	15.47	17.20
นน.กระป๋องอบ	(กรัม) 43.20	36.70	36.20	41.50	42.80
นน.วัสดุแห้ง	(กรัม) 278.90	279.50	282.40	276.20	256.70
เปอร์เซ็นต์ความชื้น	% 2.3	3.2	3.9	5.6	6.7

ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (MAXIMUM DRY DENSITY) = 2.290 กรัม./มล.

ความชื้นที่ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด (OPTIMUM MOISTURE CONTENT) = 5.60 %

ปริมาตรโม่ 925 ml. แบบมาตรฐาน

1. การทดสอบความแน่น (DENSITY TEST)

ปริมาณน้ำผสมตัวอย่าง	%	2	3	4	5	6
นน.วัสดุ + นน.โม่	(กก.)	6.935	7.011	7.072	7.181	7.110
นน.โม่	(กก.)	5.027	5.027	5.027	5.027	5.027
นน.วัสดุ	(กก.)	1.908	1.984	2.045	2.154	2.083
ความหนาแน่นเปียก	(กรัม./มล.)	2.004	2.084	2.148	2.263	2.188
ความหนาแน่นแห้ง	(กรัม./มล.)	1.944	2.004	2.050	2.125	2.033

2. หาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (WATER CONTENT TEST)

ตัวอย่างที่	1	2	3	4	5
กระป๋องอบเบอร์	20	11	14	38	33
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	(กรัม) 330.19	332.46	341.05	342.31	343.46
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	(กรัม) 321.55	321.35	327.20	323.80	322.20
นน.น้ำ	(กรัม) 8.64	11.11	13.85	18.51	21.26
นน.กระป๋องอบ	(กรัม) 41.15	42.75	37.90	38.40	42.40
นน.วัสดุแห้ง	(กรัม) 280.40	278.60	289.30	285.40	279.80
เปอร์เซ็นต์ความชื้น	% 3.1	4.0	4.8	6.5	7.6

ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (MAXIMUM DRY DENSITY) = 2.125 กรัม./มล.

ความชื้นที่ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด (OPTIMUM MOISTURE CONTENT) = 6.50 %

ตารางที่ ๔4.9 สรุปผลทดลองในการออกแบบหาอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 122

อายุ วัน	ผลทดสอบในห้องทดสอบ		เปอร์เซ็นต์ ปูนซีเมนต์	ค่ากำลังอัด เฉลี่ย กก./ตร.ซม.
	ปริมาณความชื้น (%)	ความหนาแน่นแห้ง (กรัม/มล.)		
7	5.4	2.302	1.0	18.2
7	5.3	2.298	1.5	23.6
7	5.4	2.302	2.0	28.7
7	5.5	2.302	2.5	33.7
7	5.3	2.303	3.0	38.9

จากตารางที่ ๔4.9 เป็นสรุปผลทดลองในการออกแบบหาอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่เริ่มจากร้อยละ 1 ถึง 3 ใช้อายุการบ่ม 168 ชั่วโมงซึ่งรายละเอียดผลทดลองการรับแรงอัดอยู่ในภาคผนวก ตารางที่ ๔4.16 ถึง ๔4.20

ตารางที่ ๔4.10 สรุปผลทดลองในการออกแบบหาอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ทางหลวงหมายเลข 122

อายุ วัน	ผลทดสอบในห้องทดสอบ		เปอร์เซ็นต์ ปูนซีเมนต์	ค่ากำลังอัด เฉลี่ย กก./ตร.ซม.
	ปริมาณความชื้น (%)	ความหนาแน่นแห้ง (กรัม/มล.)		
7	6.1	2.137	1.0	15.1
7	6.2	2.130	1.5	19.7
7	6.2	2.172	2.0	24.2
7	6.1	2.128	2.5	28.6
7	6.1	2.181	3.0	33.1

จากตารางที่ ๔4.10 เป็นสรุปผลทดลองในการออกแบบหาอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่เริ่มจากร้อยละ 1 ถึง 3 ใช้อายุการบ่ม 168 ชั่วโมงซึ่งรายละเอียดผลทดลองการรับแรงอัดอยู่ในภาคผนวก ตารางที่ ๔4.26 ถึง ๔4.30

ตารางที่ ๔4.11 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบสูงกว่ามาตรฐาน

		ปริมาตรโมล 952 มล.						
เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		1.0%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2152	2150	2148	2154	2147	2149	2149
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.261	2.258	2.256	2.263	2.255	2.257	2.257
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.153	2.149	2.153	2.153	2.152	2.156	2.154
ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย							<u>2.153</u>	กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด		5.3%						
เบอร์กระป๋อง		3	18	11	61	59	60	53
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	359.3	360.9	396	368.8	396.3	376.9	362.9
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	343.9	345.4	379.8	352.9	380.2	362	347.8
นน.น้ำ	กรัม	15.4	15.5	16.2	15.9	16.1	14.9	15.1
นน.กระป๋อง	กรัม	35.5	41.5	41.6	40.7	44.3	44.4	33.4
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	308.4	303.9	338.2	312.2	335.9	317.6	314.4
ความชื้นในวัสดุ	%	5.0	5.1	4.8	5.1	4.8	4.7	4.8
ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย							<u>4.9</u>	%

แฟกเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุปม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		∅	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	203	2270.7	180.6	12.7
2	7	4.0	4.57	12.57	214	2394.1	190.5	13.4
3	7	4.0	4.57	12.57	207	2315.5	184.2	13.0
4	7	4.0	4.57	12.57	197	2203.3	175.3	12.3
5	7	4.0	4.57	12.57	213	2382.9	189.6	13.3
6	7	4.0	4.57	12.57	202	2259.4	179.7	12.6
7	7	4.0	4.57	12.57	200	2237.0	178.0	12.5

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 12.8 กก/ตร.ซม.

ตารางที่ ๔4.12 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบสูงกว่ามาตรฐาน

		ปริมาตรโมล 952 มล.						
เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		2.0%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2156	2150	2153	2148	2150	2150	2151
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.265	2.258	2.262	2.256	2.258	2.258	2.259
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.157	2.149	2.152	2.147	2.149	2.151	2.154
ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย							<u>2.151</u>	กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด		5.3%						
เบอร์กระป๋อง		31	29	1	15	8	47	6
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	400.6	378.4	405.2	425	425.7	393.3	406.7
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	383.5	362.1	387.3	406.4	407.1	376.2	389.4
นน.น้ำ	กรัม	17.1	16.3	17.9	18.6	18.6	17.1	17.3
นน.กระป๋อง	กรัม	41.4	41.6	36.9	41.6	42.0	34.2	35.5
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	342.1	320.5	350.4	364.8	365.1	342	353.9
ความชื้นในวัสดุ	%	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.0	4.9
ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย							<u>5.0</u>	%

แฟกเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุบ่ม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		Ø	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	325	3639.5	289.5	20.4
2	7	4.0	4.57	12.57	323	3617.1	287.8	20.2
3	7	4.0	4.57	12.57	318	3561.0	283.3	19.9
4	7	4.0	4.57	12.57	322	3605.8	286.9	20.2
5	7	4.0	4.57	12.57	309	3460.0	275.3	19.4
6	7	4.0	4.57	12.57	328	3673.2	292.2	20.5
7	7	4.0	4.57	12.57	323	3617.1	287.8	20.2

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 20.1 กก/ตร.ซม.

ตารางที่ 4.13 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบสูงกว่ามาตรฐาน

		ปริมาตรโมล 952 มล.						
เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		3.0%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2157	2154	2152	2153	2154	2143	2158
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.266	2.263	2.261	2.262	2.263	2.251	2.267
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.158	2.159	2.157	2.158	2.157	2.148	2.159

ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย 2.157 กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด		5.3%						
เบอร์กระป๋อง		35	14	20	38	55	56	25
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	394.2	398.9	394.4	415.3	414.8	408.7	360.8
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	377.5	382.6	378.1	398.4	397.3	391.9	345.6
นน.น้ำ	กรัม	16.7	16.3	16.3	16.9	17.5	16.8	15.2
นน.กระป๋อง	กรัม	43.2	42.0	38.2	47.0	40.8	41.2	41.9
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	334.3	340.6	339.9	351.4	356.5	350.7	303.7
ความชื้นในวัสดุ	%	5.0	4.8	4.8	4.8	4.9	4.8	5.0

ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย 4.9 %

แฟกเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุบ่ม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		∅	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	435	4873.7	387.7	27.3
2	7	4.0	4.57	12.57	444	4974.7	395.8	27.8
3	7	4.0	4.57	12.57	445	4985.9	396.7	27.9
4	7	4.0	4.57	12.57	436	4884.9	388.6	27.3
5	7	4.0	4.57	12.57	449	5030.8	400.2	28.1
6	7	4.0	4.57	12.57	440	4929.8	392.2	27.6
7	7	4.0	4.57	12.57	428	4795.2	381.5	26.8

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 27.5 กก/ตร.ซม.

ตารางที่ ๔.14 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบสูงกว่ามาตรฐาน

		ปริมาตรโมล 952 มล.						
เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		4.0%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2149	2148	2156	2153	2154	2154	2147
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.257	2.256	2.265	2.262	2.263	2.263	2.255
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.146	2.155	2.153	2.152	2.157	2.159	2.146
ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย						<u>2.153</u>	กรัม/มล.	

ปริมาณความชื้นสูงสุด		5.3%						
เบอร์กระป๋อง		62	59	51	44	49	28	21
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	411.3	372.6	408.6	382.6	369.1	420.3	369.2
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	393.0	357.9	390.3	366.1	353.6	403.0	353.3
นน.น้ำ	กรัม	18.3	14.7	18.3	16.5	15.5	17.3	15.9
นน.กระป๋อง	กรัม	40.7	44.3	37.6	41.9	36.8	42.5	42.2
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	352.3	313.6	352.7	324.2	316.8	360.5	311.1
ความชื้นในวัสดุ	%	5.2	4.7	5.2	5.1	4.9	4.8	5.1
ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย						<u>5.0</u>	%	

แฟลคเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุปม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		Ø	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	550	6164.0	490.4	34.5
2	7	4.0	4.57	12.57	567	6354.7	505.5	35.5
3	7	4.0	4.57	12.57	552	6186.4	492.2	34.6
4	7	4.0	4.57	12.57	567	6354.7	505.5	35.5
5	7	4.0	4.57	12.57	550	6164.0	490.4	34.5
6	7	4.0	4.57	12.57	544	6096.7	485.0	34.1
7	7	4.0	4.57	12.57	553	6197.7	493.1	34.7

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 34.8 กก/ตร.ซม.

ตารางที่ ผ4.15 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดี่ยว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบสูงกว่ามาตรฐาน

ปริมาตรโมล 952 มล.

เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		5.0%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2147	2153	2149	2154	2153	2157	2154
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.255	2.262	2.257	2.263	2.262	2.266	2.263
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.152	2.158	2.148	2.157	2.156	2.154	2.159

ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย 2.155 กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด		5.3%						
เบอร์กระป๋อง		17	41	33	64	67	72	58
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	367.6	361.0	377.8	372.6	411.0	412.6	396.0
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	352.7	346.3	361.5	356.9	393.8	394.0	379.8
นน.น้ำ	กรัม	14.9	14.7	16.3	15.7	17.2	18.6	16.2
นน.กระป๋อง	กรัม	41.9	39.2	41.8	35.8	43.5	35.7	41.4
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	310.8	307.1	319.7	321.1	350.3	358.3	338.4
ความชื้นในวัสดุ	%	4.8	4.8	5.1	4.9	4.9	5.2	4.8

ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย 4.9 %

แฟคเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุป้อม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดี่ยว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดี่ยว กก. ต่อตร.ซม.
		Ø	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	675	7566.5	601.9	42.3
2	7	4.0	4.57	12.57	668	7488.0	595.7	41.9
3	7	4.0	4.57	12.57	683	7656.3	609.1	42.8
4	7	4.0	4.57	12.57	677	7588.9	603.7	42.4
5	7	4.0	4.57	12.57	656	7353.3	585.0	41.1
6	7	4.0	4.57	12.57	655	7342.1	584.1	41.1
7	7	4.0	4.57	12.57	676	7577.7	602.8	42.4

ค่ากำลังอัดแกนเดี่ยวเฉลี่ย 42.0 กก/ตร.ซม.

ตารางที่ ๔4.16 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบสูงกว่ามาตรฐาน

		ปริมาตรโมล 952 มล.						
เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		1.0%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2315.2	2308.4	2322	2315.6	2323	2300	2314.8
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.432	2.425	2.439	2.432	2.440	2.416	2.432
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.314	2.303	2.307	2.310	2.313	2.295	2.303
ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย							<u>2.306</u>	กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด		5.6%						
เบอร์กระป๋อง		30	23	13	31	56	15	45
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	403.5	374.1	383.9	395.5	392.4	381.8	413
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	385.9	357.2	365.5	377.7	374.1	364.7	393.3
นน.น้ำ	กรัม	17.6	16.9	18.4	17.8	18.3	17.1	19.7
นน.กระป๋อง	กรัม	41.6	38.8	43.5	41.4	41.2	41.6	41.4
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	344.3	318.4	322	336.3	332.9	323.1	351.9
ความชื้นในวัสดุ	%	5.1	5.3	5.7	5.3	5.5	5.3	5.6
ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย							<u>5.4</u>	%

แฟคเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุปม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		∅	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	294	3291.7	261.9	18.4
2	7	4.0	4.57	12.57	288	3224.4	256.5	18.0
3	7	4.0	4.57	12.57	291	3258.0	259.2	18.2
4	7	4.0	4.57	12.57	289	3235.6	257.4	18.1
5	7	4.0	4.57	12.57	280	3134.6	249.4	17.5
6	7	4.0	4.57	12.57	297	3325.3	264.5	18.6
7	7	4.0	4.57	12.57	295	3302.9	262.8	18.5

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 18.2 กก/ตร.ซม.

ตารางที่ 4.17 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบสูงกว่ามาตรฐาน

		ปริมาตรโมล 952 มล.						
เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		1.5%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2293	2308	2306	2302	2306	2299	2316
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.409	2.424	2.422	2.418	2.422	2.415	2.433
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.296	2.297	2.298	2.296	2.297	2.299	2.308
ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย							<u>2.299</u>	กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด		5.6%						
เบอร์กระป๋อง		16	50	33	5	41	44	18
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	387.9	395	363.4	410.5	417.1	414.4	416.4
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	371.4	376.2	346.9	392	397.7	396.7	397.2
นน.น้ำ	กรัม	16.5	18.8	16.5	18.5	19.4	17.7	19.2
นน.กระป๋อง	กรัม	35.2	36.8	41.4	44.5	42.8	44.2	43.4
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	336.2	339.4	305.5	347.5	354.9	352.5	353.8
ความชื้นในวัสดุ	%	4.9	5.5	5.4	5.3	5.5	5.0	5.4
ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย							<u>5.3</u>	%

แฟกเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุปม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		Ø	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	375	4200.5	334.2	23.5
2	7	4.0	4.57	12.57	368	4122.0	327.9	23.1
3	7	4.0	4.57	12.57	381	4267.8	339.5	23.9
4	7	4.0	4.57	12.57	372	4166.8	331.5	23.3
5	7	4.0	4.57	12.57	369	4133.2	328.8	23.1
6	7	4.0	4.57	12.57	388	4346.4	345.8	24.3
7	7	4.0	4.57	12.57	380	4256.6	338.6	23.8

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 23.6 กก/ตร.ซม.

ตารางที่ ๔.18 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบสูงกว่ามาตรฐาน

ปริมาตรโมล 952 มล.

เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์	2.0%						
ครั้งที่ทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ กรัม	2314	2292	2317.2	2306	2313	2308	2311
ความหนาแน่นเปียก กรัม/มล.	2.431	2.408	2.434	2.422	2.430	2.424	2.428
ความหนาแน่นแห้ง กรัม/มล.	2.306	2.293	2.305	2.298	2.303	2.305	2.299

ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย 2.301 กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด	5.6%						
เบอร์กระป๋อง	25	11	53	12	8	17	47
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก กรัม	402.6	394.3	358.0	413.0	373.3	402.3	362.8
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง กรัม	384.1	377.5	340.8	394.0	356.0	384.5	345.4
นน.น้ำ กรัม	18.5	16.8	17.2	19.0	17.3	17.8	17.4
นน.กระป๋อง กรัม	41.9	41.6	33.4	42.9	42.0	41.9	34.2
นน.วัสดุแห้ง กรัม	342.2	335.9	307.4	351.1	314.0	342.6	311.2
ความชื้นในวัสดุ %	5.4	5.0	5.6	5.4	5.5	5.2	5.6

ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย 5.4 %

แฟคเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุปม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		Ø	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	460	5154.2	410.0	28.8
2	7	4.0	4.57	12.57	449	5030.8	400.2	28.1
3	7	4.0	4.57	12.57	459	5143.0	409.1	28.8
4	7	4.0	4.57	12.57	442	4952.2	394.0	27.7
5	7	4.0	4.57	12.57	468	5244.0	417.2	29.3
6	7	4.0	4.57	12.57	459	5143.0	409.1	28.8
7	7	4.0	4.57	12.57	467	5232.7	416.3	29.3

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 28.7 กก/ตร.ซม.

ตารางที่ ๔4.19 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบสูงกว่ามาตรฐาน

ปริมาตรโมล 952 มล.

เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์	2.5%							
	1	2	3	4	5	6	7	
ครั้งที่ทดสอบ								
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2315.2	2308.4	2322	2315.6	2323	2300	2314.8
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.432	2.425	2.439	2.432	2.440	2.416	2.432
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.307	2.303	2.314	2.301	2.315	2.290	2.316

ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย 2.307 กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด	5.6%							
	1	23	14	46	37	36	55	
เบอร์กระป๋อง								
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	375.7	372.0	411.8	386.2	397.9	399.3	364.7
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	358.3	355.2	392.9	367.6	379.5	380.7	349.3
นน.น้ำ	กรัม	17.4	16.8	18.9	18.6	18.4	18.6	15.4
นน.กระป๋อง	กรัม	36.9	38.8	42.0	42.0	39.2	41.9	40.8
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	321.4	316.4	350.9	325.6	340.3	338.8	308.5
ความชื้นในวัสดุ	%	5.4	5.3	5.4	5.7	5.4	5.5	5.0

ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย 5.4 %

แฟกเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุบ่ม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		Ø	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	528	5917.2	470.7	33.1
2	7	4.0	4.57	12.57	540	6051.8	481.4	33.8
3	7	4.0	4.57	12.57	551	6175.2	491.3	34.5
4	7	4.0	4.57	12.57	549	6152.8	489.5	34.4
5	7	4.0	4.57	12.57	532	5962.0	474.3	33.3
6	7	4.0	4.57	12.57	522	5849.8	465.4	32.7
7	7	4.0	4.57	12.57	527	5905.9	469.8	33.0

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 33.6 กก/ตร.ซม.

ตารางที่ ๔4.20 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบสูงกว่ามาตรฐาน

ปริมาตรโมล 952 มล.

เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์	3.0%							
	1	2	3	4	5	6	7	
ครั้งที่ทดสอบ								
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2300	2310	2315.9	2310	2308	2309	2312
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.416	2.426	2.433	2.426	2.424	2.425	2.429
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.299	2.300	2.308	2.302	2.309	2.299	2.308

ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย 2.304 กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด	5.6%							
	51	43	52	27	19	13	39	
เบอร์กะป๋อง								
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	370.0	403.4	402.6	415.3	398.5	399.0	373.4
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	353.9	384.6	383.9	396.0	381.5	380.5	357.0
นน.น้ำ	กรัม	16.1	18.8	18.7	19.3	17.0	18.5	16.4
นน.กระป๋อง	กรัม	37.6	42.7	37.1	37.9	41.5	43.5	42.3
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	316.3	341.9	346.8	358.1	340.0	337.0	314.7
ความชื้นในวัสดุ	%	5.1	5.5	5.4	5.4	5.0	5.5	5.2

ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย 5.3 %

แฟกเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุบ่ม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		Ø	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	615	6893.3	548.4	38.6
2	7	4.0	4.57	12.57	623	6983.1	555.5	39.1
3	7	4.0	4.57	12.57	619	6938.2	552.0	38.8
4	7	4.0	4.57	12.57	620	6949.4	552.9	38.9
5	7	4.0	4.57	12.57	626	7016.7	558.2	39.2
6	7	4.0	4.57	12.57	611	6848.4	544.8	38.3
7	7	4.0	4.57	12.57	624	6994.3	556.4	39.1

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 38.8 กก/ตร.ซม.

ตารางที่ ๒4.21 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบมาตรฐาน

		ปริมาตรโมล 952 มล.						
เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		1.0%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2104	2105.3	2104.8	2102.1	2105.3	2100	2103.8
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.210	2.211	2.211	2.208	2.211	2.206	2.210
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.087	2.090	2.086	2.089	2.090	2.095	2.087
ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย							<u>2.089</u>	กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด		6.2%						
เบอร์กระป๋อง		26	40	54	68	7	98	74
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	408.92	403.14	407.3	394.36	409.84	383.68	398.28
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	388.6	383.2	386.5	375.3	389.8	364.2	378.5
นน.น้ำ	กรัม	20.32	19.94	20.8	19.06	20.04	17.1	19.78
นน.กระป๋อง	กรัม	44.1	39.4	39.8	40.8	44.2	39.4	43.1
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	344.5	343.8	346.7	334.5	345.6	323.1	335.4
ความชื้นในวัสดุ	%	5.9	5.8	6.0	5.7	5.8	5.3	5.9
ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย							<u>5.8</u>	%

แฟคเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุบ่ม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		∅	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	165	1844.3	146.7	10.3
2	7	4.0	4.57	12.57	166	1855.5	147.6	10.4
3	7	4.0	4.57	12.57	165	1844.3	146.7	10.3
4	7	4.0	4.57	12.57	167	1866.7	148.5	10.4
5	7	4.0	4.57	12.57	166	1855.5	147.6	10.4
6	7	4.0	4.57	12.57	168	1878.0	149.4	10.5
7	7	4.0	4.57	12.57	165	1844.3	146.7	10.3

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 10.4 กก./ตร.ซม.

ตารางที่ ๔4.22 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบมาตรฐาน

		ปริมาตรโมล 952 มล.						
เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		2.0%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2103	2109	2101	2105	2107.8	2108	2110
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.209	2.215	2.207	2.211	2.214	2.214	2.216
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.084	2.092	2.084	2.090	2.095	2.089	2.093
ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย						<u>2.090</u>	กรัม/มล.	

ปริมาณความชื้นสูงสุด		6.2%						
เบอร์กระป๋อง		89	82	75	96	88	81	95
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	408.82	396.05	410.63	383.45	408.07	392.52	465.37
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	388.2	376.4	390.3	364.7	388.4	372.6	441.8
นน.น้ำ	กรัม	20.62	19.65	20.33	18.75	19.67	19.92	23.57
นน.กระป๋อง	กรัม	44.4	43.2	45.6	41.3	43.2	40.5	42.3
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	343.8	333.2	344.7	323.4	345.2	332.1	399.5
ความชื้นในวัสดุ	%	6.0	5.9	5.9	5.8	5.7	6.0	5.9
ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย						<u>5.9</u>	%	

แฟกเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุบ่ม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		∅	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	283	3168.3	252.0	17.7
2	7	4.0	4.57	12.57	284	3179.5	252.9	17.8
3	7	4.0	4.57	12.57	285	3190.7	253.8	17.8
4	7	4.0	4.57	12.57	282	3157.0	251.2	17.7
5	7	4.0	4.57	12.57	287	3213.1	255.6	18.0
6	7	4.0	4.57	12.57	284	3179.5	252.9	17.8
7	7	4.0	4.57	12.57	285	3190.7	253.8	17.8

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 17.8 กก./ตร.ซม.

ตารางที่ ๔4.23 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบมาตรฐาน

		ปริมาตรโผล 952 มล.						
เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		3.0%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2108	2100.9	2105	2101.2	2109.7	2110	2009.9
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.214	2.207	2.211	2.207	2.216	2.216	2.111
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.093	2.082	2.088	2.084	2.093	2.091	1.995

ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย 2.075 กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด		6.2%						
เบอร์กระป๋อง		9	80	84	32	34	24	4
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	398.1	401.0	392.1	394.7	385.1	403.2	394.6
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	378.7	381.0	372.7	375.3	366.0	382.9	375.3
นน.น้ำ	กรัม	19.4	20.0	19.4	19.4	19.1	20.3	19.3
นน.กระป๋อง	กรัม	44.5	45.4	44.1	47.7	40.6	44.2	43.3
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	334.2	335.6	328.6	327.6	325.4	338.7	332.0
ความชื้นในวัสดุ	%	5.8	6.0	5.9	5.9	5.9	6.0	5.8

ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย 5.9 %

แฟคเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุบ่ม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		∅	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	398	4458.6	354.7	24.9
2	7	4.0	4.57	12.57	387	4335.1	344.9	24.2
3	7	4.0	4.57	12.57	385	4312.7	343.1	24.1
4	7	4.0	4.57	12.57	388	4346.4	345.8	24.3
5	7	4.0	4.57	12.57	398	4458.6	354.7	24.9
6	7	4.0	4.57	12.57	395	4424.9	352.0	24.7
7	7	4.0	4.57	12.57	405	4537.1	360.9	25.4

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 24.7 กก./ตร.ซม.

ตารางที่ ๔4.24 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบมาตรฐาน

		ปริมาตรโมล 952 มล.						
เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		4.0%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2018	2101	2009	2101	2105	2099	2100
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.120	2.207	2.110	2.207	2.211	2.205	2.206
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.000	2.086	1.996	2.086	2.088	2.086	2.085
ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย						<u>2.061</u>	กรัม/มล.	

ปริมาณความชื้นสูงสุด		6.2%						
เบอร์กระป๋อง		23	41	62	13	71	19	55
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	387.6	402.8	396.6	402.1	397.5	392.6	392.6
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	367.9	382.8	377.4	382.4	377.7	373.7	373.3
นน.น้ำ	กรัม	19.7	20.0	19.2	19.7	19.8	18.9	19.3
นน.กระป๋อง	กรัม	38.8	39.2	40.7	43.5	42.3	41.5	40.8
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	329.1	343.6	336.7	338.9	335.4	332.2	332.5
ความชื้นในวัสดุ	%	6.0	5.8	5.7	5.8	5.9	5.7	5.8
ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย						<u>5.8</u>	%	

แฟคเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุบ่ม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		Ø	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	485	5434.7	432.4	30.4
2	7	4.0	4.57	12.57	478	5356.2	426.1	30.0
3	7	4.0	4.57	12.57	476	5333.7	424.3	29.8
4	7	4.0	4.57	12.57	486	5445.9	433.2	30.5
5	7	4.0	4.57	12.57	489	5479.6	435.9	30.6
6	7	4.0	4.57	12.57	499	5591.8	444.9	31.3
7	7	4.0	4.57	12.57	498	5580.6	444.0	31.2

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 30.5 กก./ตร.ซม.

ตารางที่ ๔4.25 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 1 แบบมาตรฐาน

		ปริมาตรโมล 952 มล.						
เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		5.0%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2088	2079.5	2101	2009.7	2102	2105.8	2100
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.193	2.184	2.207	2.111	2.208	2.212	2.206
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.072	2.061	2.089	1.996	2.083	2.091	2.082
ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย							<u>2.068</u>	กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด		6.2%						
เบอร์กระป๋อง		27	12	52	99	15	35	21
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	393.7	391.1	390.3	381.1	397.0	404.3	409.5
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	374.0	371.5	371.4	362.4	376.9	384.5	388.9
นน.น้ำ	กรัม	19.7	19.6	18.9	18.7	20.1	19.8	20.6
นน.กระป๋อง	กรัม	37.9	42.9	37.1	37.9	41.6	43.2	42.2
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	336.1	328.6	334.3	324.5	335.3	341.3	346.7
ความชื้นในวัสดุ	%	5.9	6.0	5.6	5.8	6.0	5.8	5.9
ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย							<u>5.9</u>	%

แฟกเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุปม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		Ø	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	565	6332.3	503.8	35.4
2	7	4.0	4.57	12.57	560	6276.2	499.3	35.1
3	7	4.0	4.57	12.57	564	6321.1	502.9	35.4
4	7	4.0	4.57	12.57	564	6321.1	502.9	35.4
5	7	4.0	4.57	12.57	568	6366.0	506.4	35.6
6	7	4.0	4.57	12.57	563	6309.9	502.0	35.3
7	7	4.0	4.57	12.57	565	6332.3	503.8	35.4

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 35.4 กก./ตร.ซม.

ตารางที่ ๔4.26 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบมาตรฐาน

ปริมาตรโมล 952 มล.

เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์	1.0%							
	1	2	3	4	5	6	7	
ครั้งที่ทดสอบ								
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2185.5	2155	2144.9	2151	2164.5	2157	2154
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.296	2.264	2.253	2.259	2.274	2.266	2.263
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.166	2.134	2.128	2.128	2.139	2.135	2.131

ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย 2.137 กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด	6.5%							
	22	71	57	78	85	2	92	
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	407.0	390.2	384.1	400.6	383.1	386.1	414.9
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	386.5	370.2	364.9	379.6	362.9	366.2	393.3
นน.น้ำ	กรัม	20.5	20.0	19.2	21.0	20.2	19.9	21.6
นน.กระป๋อง	กรัม	44.2	42.3	39.5	40.5	41.8	40.6	44.4
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	342.3	327.9	325.4	339.1	321.1	325.6	348.9
ความชื้นในวัสดุ	%	6.0	6.1	5.9	6.2	6.3	6.1	6.2

ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย 6.1 %

แฟคเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุปม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		∅	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	240	2685.8	213.7	15.0
2	7	4.0	4.57	12.57	244	2730.7	217.2	15.3
3	7	4.0	4.57	12.57	239	2674.6	212.8	15.0
4	7	4.0	4.57	12.57	241	2697.0	214.6	15.1
5	7	4.0	4.57	12.57	238	2663.4	211.9	14.9
6	7	4.0	4.57	12.57	240	2685.8	213.7	15.0
7	7	4.0	4.57	12.57	243	2719.5	216.3	15.2

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 15.1 กก./ตร.ซม.

ตารางที่ ๔4.27 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบมาตรฐาน

		ปริมาตรโมล 952 มล.						
เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		2.0%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2153.8	2148	2150	2154	2155	2154	2156
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.262	2.256	2.258	2.263	2.264	2.263	2.265
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.130	2.129	2.129	2.131	2.130	2.133	2.133

ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย 2.130 กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด		6.5%						
เบอร์กระป๋อง		65	86	79	9	93	24	10
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	401.37	379.81	395.13	400.48	413.46	408.97	468.41
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	380	360.4	374.8	379.7	391.5	388	443.6
นน.น้ำ	กรัม	21.37	19.41	20.33	20.78	21.96	20.97	24.81
นน.กระป๋อง	กรัม	35.2	36.8	41.4	44.5	42.8	44.2	43.4
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	344.8	323.6	333.4	335.2	348.7	343.8	400.2
ความชื้นในวัสดุ	%	6.2	6.0	6.1	6.2	6.3	6.1	6.2

ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย 6.2 %

แฟคเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุบ่ม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		∅	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	315	3527.3	280.6	19.7
2	7	4.0	4.57	12.57	316	3538.5	281.5	19.8
3	7	4.0	4.57	12.57	314	3516.1	279.7	19.7
4	7	4.0	4.57	12.57	315	3527.3	280.6	19.7
5	7	4.0	4.57	12.57	313	3504.9	278.8	19.6
6	7	4.0	4.57	12.57	315	3527.3	280.6	19.7
7	7	4.0	4.57	12.57	312	3493.6	277.9	19.5

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 19.7 กก./ตร.ซม.

ตารางที่ ๔4.28 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบมาตรฐาน

ปริมาตรโมล 952 มล.

เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		3.0%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2205	2208	2199	2201	2200	2187	2178
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.316	2.319	2.310	2.312	2.311	2.297	2.288
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.187	2.184	2.171	2.175	2.174	2.159	2.154

ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย 2.172 กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด		6.5%						
เบอร์กระป๋อง		80	73	87	94	66	32	4
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	409.9	403.9	391.9	388.9	397.1	415.4	405.5
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	389.6	382.9	371.0	368.2	376.1	393.3	384.4
นน.น้ำ	กรัม	20.3	21.0	20.9	20.7	21.0	22.1	21.1
นน.กระป๋อง	กรัม	45.4	43.4	44.1	40.1	42.8	47.7	43.3
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	344.2	339.5	326.9	328.1	333.3	345.6	341.1
ความชื้นในวัสดุ	%	5.9	6.2	6.4	6.3	6.3	6.4	6.2

ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย 6.2 %

แฟกเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุปม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดียว กก. ต่อตร.ซม.
		Ø	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	387	4335.1	344.9	24.2
2	7	4.0	4.57	12.57	385	4312.7	343.1	24.1
3	7	4.0	4.57	12.57	388	4346.4	345.8	24.3
4	7	4.0	4.57	12.57	387	4335.1	344.9	24.2
5	7	4.0	4.57	12.57	386	4323.9	344.0	24.2
6	7	4.0	4.57	12.57	385	4312.7	343.1	24.1
7	7	4.0	4.57	12.57	388	4346.4	345.8	24.3

ค่ากำลังอัดแกนเดียวเฉลี่ย 24.2 กก./ตร.ซม.

ตารางที่ ๔4.29 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดี่ยว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบมาตรฐาน

		ปริมาตรโมล 952 มล.						
เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		4.0%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2216	2205	2209.8	2104.9	2100	2109	2110
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.328	2.316	2.321	2.211	2.206	2.215	2.216
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.192	2.181	2.184	2.084	2.083	2.088	2.087
ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย							<u>2.128</u>	กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด		6.5%						
เบอร์กระป๋อง		63	70	91	84	77	42	35
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	392.6	404.3	406.4	412.1	388.4	382.6	405.2
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	371.9	383.0	384.7	390.9	369.2	362.9	383.8
นน.น้ำ	กรัม	20.7	21.3	21.7	21.2	19.2	19.7	21.4
นน.กระป๋อง	กรัม	38.5	39.8	40.2	44.1	43.4	40.7	38.9
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	333.4	343.2	344.5	346.8	325.8	322.2	344.9
ความชื้นในวัสดุ	%	6.2	6.2	6.3	6.1	5.9	6.1	6.2
ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย							<u>6.1</u>	%

แฟคเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุบ่ม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดี่ยว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดี่ยว กก. ต่อตร.ซม.
		Ø	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	454	5086.9	404.7	28.4
2	7	4.0	4.57	12.57	453	5075.7	403.8	28.4
3	7	4.0	4.57	12.57	455	5098.1	405.6	28.5
4	7	4.0	4.57	12.57	454	5086.9	404.7	28.4
5	7	4.0	4.57	12.57	459	5143.0	409.1	28.8
6	7	4.0	4.57	12.57	457	5120.5	407.4	28.6
7	7	4.0	4.57	12.57	460	5154.2	410.0	28.8

ค่ากำลังอัดแกนเดี่ยวเฉลี่ย 28.6 Ksc.

ตารางที่ ๔4.30 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดี่ยว ทางหลวงหมายเลข 122 แบบมาตรฐาน

		ปริมาตรโมล 952 มล.						
เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์		5.0%						
ครั้งที่ทดสอบ		1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนักของวัสดุ	กรัม	2201	2199.8	2200	2210.2	2219	2199.8	2194
ความหนาแน่นเปียก	กรัม/มล.	2.312	2.311	2.311	2.322	2.331	2.311	2.305
ความหนาแน่นแห้ง	กรัม/มล.	2.177	2.174	2.174	2.188	2.199	2.178	2.176
ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย							<u>2.181</u>	กรัม/มล.

ปริมาณความชื้นสูงสุด		6.5%						
เบอร์กระป๋อง		70	90	69	97	83	34	48
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุเปียก	กรัม	407.7	390.9	385.4	400.3	382.2	386.1	413.9
นน.กระป๋อง + นน.วัสดุแห้ง	กรัม	386.5	370.2	364.9	379.6	362.9	366.2	393.3
นน.น้ำ	กรัม	21.2	20.7	20.5	20.7	19.3	19.9	20.6
นน.กระป๋อง	กรัม	44.2	42.3	39.5	40.5	41.8	40.6	44.4
นน.วัสดุแห้ง	กรัม	342.3	327.9	325.4	339.1	321.1	325.6	348.9
ความชื้นในวัสดุ	%	6.2	6.3	6.3	6.1	6.0	6.1	5.9
ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย							<u>6.1</u>	%

แฟกเตอร์ = (ค่าที่อ่านจากเกจ*11.220) - 7 ปอนด์.

ตัวอย่าง	อายุบ่ม วัน	ขนาด (นิ้ว)			ค่าที่อ่าน จากเกจ	น้ำหนัก ที่กด ปอนด์	ค่ากำลัง อัดแกน เดี่ยว ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว	ค่ากำลัง อัดแกน เดี่ยว กก. ต่อตร.ซม.
		Ø	สูง	พื้นที่				
1	7	4.0	4.57	12.57	513	5748.9	457.3	32.2
2	7	4.0	4.57	12.57	522	5849.8	465.4	32.7
3	7	4.0	4.57	12.57	535	5995.7	477.0	33.5
4	7	4.0	4.57	12.57	532	5962.0	474.3	33.3
5	7	4.0	4.57	12.57	522	5849.8	465.4	32.7
6	7	4.0	4.57	12.57	535	5995.7	477.0	33.5
7	7	4.0	4.57	12.57	542	6074.2	483.2	34.0

ค่ากำลังอัดแกนเดี่ยวเฉลี่ย 33.1 กก./ตร.ซม.

ประวัติผู้เขียน

นายศุภกฤต เลิศรัถก เกิดเมื่อวันศุกร์ที่ 21 กรกฎาคม 2515 มีพี่น้องทั้งหมด 3 คนเป็นบุตรคนที่ 3 จบการศึกษาปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เมื่อปี พ.ศ. 2541 หลังจากจบการศึกษาปริญญาตรีได้เข้าทำงานบริษัทเอกชนในสาขาวิชาที่ได้ศึกษามาในระหว่างการทำงานได้มีโอกาสเรียนรู้อีกในสาขางานต่าง ๆ เช่น งานโครงสร้าง งานระบบสาธารณูปโภค โดยเฉพาะงานที่เกี่ยวข้องกับด้านการบริหารงานก่อสร้าง ต่อมาในปี พ.ศ. 2555 จึงได้ขอเข้ารับการศึกษาคณะในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา หลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค เพื่อเพิ่มทักษะความรู้ ความเชี่ยวชาญและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

