การประยุกต์ใช้เถ้าลอยในการผลิตบล็อกประสาน

นายสำเร็จ สารมาคม

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

การประยุกต์ใช้เถ้าลอยในการผลิตบล็อกประสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

____

(รศ. ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)
ประธานกรรมการ

____

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

____

(ผศ. ดร.รัฐพล ภู่บุบผาพันธ์)
กรรมการ

____

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สำเร็จ สารมาคม : การประยุกต์ใช้เถ้าลอยในการผลิตบล็อกประสาน (USAGE OF FLY ASH FOR MANUFACTURING INTERLOCKING BLOCK) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เถ้าลอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตบล็อกประสานที่ใช้ในงานโครงสร้างไม่รับแรงแบกทาน รวมทั้งนำเสนออัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่เหมาะสม กำลังอัดของบล็อกประสานในงานโครงสร้างไม่รับแรงแบกทานต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดินที่ใช้ในการศึกษานี้เท่ากับ 1:6 และ 1:8 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กันในทางปฏิบัติ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของบล็อกประสานมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย จนถึงร้อยละ 30 (ค่าเหมาะสม) หลังจากนั้น ความหนาแน่นแห้งจะมีค่าลดลง กำลังอัดของบล็อกประสานมีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยแม้ว่าหน่วยน้ำหนักจะมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดินที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับผลิตบล็อกประสานในงานโครงสร้างไม่รับแรงแบกทานคือ 1/8 หากพิจารณากำลังรับแรงอัดที่เท่ากับ 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยที่เหมาะสมเท่ากับ 92:8, 87:13 และ 60:40 ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ด้วยต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเท่ากับ 1.90, 1.85 และ 1.58 บาท

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา__________________

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา____________

SAMREJ SARAMAKOM : USAGE OF FLY ASH FOR MANUFACTURING INTERLOCKING BLOCK. ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., P.E.

This research aims to study the possibility of replacing cement by fly ash (FA) to manufacture the non-bearing interlocking block and to suggest an optimum FA replacement ratio. The compressive strength of the non-bearing interlocking block must be higher than 25 ksc. Two cement to soil ratios, 1:6 and 1:8, were used in this study. These ratios are commonly used in practice. The test results show that the maximum dry unit weight increases with FA replacement until the 30% FA replacement is reached. Beyond this value, the maximum dry unit weight decreases. The compressive strength of the interlocking block decreases with FA replacement even with the increase in maximum dry unit weight. The economical cement to soil ratio for manufacturing the non-bearing interlocking block is 1:8. To attain 30 ksc. strength, the suggested cement to FA ratios are 92:8, 87:13 และ 60:40 for 7, 14 and 28 days of curing with the unit cost of 1.90, 1.85 and 1.58 baht.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Civil Engineering Student's Signature____________________

Academic Year 2013 Advisor's Signature____________________

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สุขสันติ์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการให้คำปรึกษา ให้คำสอน ข้อชี้แนะ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำการศึกษาวิจัยในทุกขั้นตอนตลอดมา ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบทุกท่าน ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ขอขอบคุณ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีฯก่อสร้างคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม และตระกูล ”สารมาคม” ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์และเครื่องไม้เครื่องมือในการทำวิจัย ครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา – มารดาผู้ให้กำเนิดของผู้วิจัย ที่ได้ให้การอุปการะเลี้ยงดูส่งเสียให้ได้รับการศึกษาตลอดมา ได้อบรมสั่งสอน แนวคิดและการปฏิบัติตนทำให้ผู้วิจัยมีวันนี้ได้ รวมถึงหลายๆ กำลังใจจากญาติพี่น้อง และครอบครัวที่เป็นกำลังใจอย่างยิ่ง รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ทุกท่านที่มิได้เอ่ยนามทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งเป็นสถาบันการศึกษาที่เปิดสอนหลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค ทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสเข้ามาศึกษาจนสำเร็จได้ในวันนี้

สำเร็จ สารมาคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สำเร็จ สารมาคม : การประยุกต์ใช้เถ้าลอยในการผลิตบล็อกประสาน (USAGE OF FLY ASH FOR MANUFACTURING INTERLOCKING BLOCK) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เถ้าลอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตบล็อกประสานที่ใช้ในงานโครงสร้างไม่รับแรงแบกทาน รวมทั้งนำเสนออัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่เหมาะสม กำลังอัดของบล็อกประสานในงานโครงสร้างไม่รับแรงแบกทานต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดินที่ใช้ในการศึกษานี้เท่ากับ 1:6 และ 1:8 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กันในทางปฏิบัติ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของบล็อกประสานมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย จนถึงร้อยละ 30 (ค่าเหมาะสม) หลังจากนั้น ความหนาแน่นแห้งจะมีค่าลดลง กำลังอัดของบล็อกประสานมีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยแม้ว่าหน่วยน้ำหนักจะมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดินที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับผลิตบล็อกประสานในงานโครงสร้างไม่รับแรงแบกทานคือ 1/8 หากพิจารณากำลังรับแรงอัดที่เท่ากับ 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยที่เหมาะสมเท่ากับ 92:8, 87:13 และ 60:40 ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ด้วยต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเท่ากับ 1.90, 1.85 และ 1.58 บาท

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา__________________

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา____________

SAMREJ SARAMAKOM : USAGE OF FLY ASH FOR MANUFACTURING INTERLOCKING BLOCK. ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., P.E.

This research aims to study the possibility of replacing cement by fly ash (FA) to manufacture the non-bearing interlocking block and to suggest an optimum FA replacement ratio. The compressive strength of the non-bearing interlocking block must be higher than 25 ksc. Two cement to soil ratios, 1:6 and 1:8, were used in this study. These ratios are commonly used in practice. The test results show that the maximum dry unit weight increases with FA replacement until the 30% FA replacement is reached. Beyond this value, the maximum dry unit weight decreases. The compressive strength of the interlocking block decreases with FA replacement even with the increase in maximum dry unit weight. The economical cement to soil ratio for manufacturing the non-bearing interlocking block is 1:8. To attain 30 ksc. strength, the suggested cement to FA ratios are 92:8, 87:13 และ 60:40 for 7, 14 and 28 days of curing with the unit cost of 1.90, 1.85 and 1.58 baht.

School of Civil Engineering Student's Signature____________________

Academic Year 2013 Advisor's Signature____________________

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สุขสันติ์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการให้คำปรึกษา ให้คำสอน ข้อชี้แนะ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำการศึกษาวิจัยในทุกขั้นตอนตลอดมา ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบทุกท่าน ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ขอขอบคุณ โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีฯก่อสร้างคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม และตระกูล ”สารมาคม” ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์และเครื่องไม้เครื่องมือในการทำวิจัย ครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา – มารดาผู้ให้กำเนิดของผู้วิจัย ที่ได้ให้การอุปการะเลี้ยงดูส่งเสียให้ได้รับการศึกษาตลอดมา ได้อบรมสั่งสอน แนวคิดและการปฏิบัติตนทำให้ผู้วิจัยมีวันนี้ได้ รวมถึงหลายๆ กำลังใจจากญาติพี่น้อง และครอบครัวที่เป็นกำลังใจอย่างยิ่ง รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ทุกท่านที่มิได้เอ่ยนามทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งเป็นสถาบันการศึกษาที่เปิดสอนหลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค ทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสเข้ามาศึกษาจนสำเร็จได้ในวันนี้

สำเร็จ สารมาคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข
กิตติกรรมประกาศ ค
สารบัญ ง
สารบัญตาราง ฉ
สารบัญรูปภาพ ช
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 บทนำ 4
2.2 เถ้าลอย 5
2.3 ปูนซีเมนต์ 6
2.4 มวลรวม 8
2.5 น้ำ 9
2.6 การบ่มคอนกรีต 11
2.7 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Proctor 15
2.8 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Hogentogler 17
2.9 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Buchanan 18
2.10 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Hilf 19
2.11 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Lambe 20
2.12 วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ 22
2.13 วิธีการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน 25

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3 วิธีดำเนินการศึกษา 31

3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ 31

3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ 31

4 ผลทดสอบและวิเคราะห์ผล 33

5 สรุปผลทดสอบ 41

เอกสารอ้างอิง 42

ภาคผนวก ก ตารางและรูปแสดงข้อมูลการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (เทียบเท่า AASHTO T 180) 44

ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการทดสอบกำลังอัดของบล็อกประสาน 81

ภาคผนวก ค มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน 89

ประวัติผู้เขียน 93

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ปริมาณที่ยอมให้ของสารเจือปนในน้ำ 10
2.2 วิธีการบ่มโดยเพิ่มความชื้น 13
2.3 วิธีป้องกันการสูญเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต 14
2.4 เวลาขั้นต่ำในการบ่มคอนกรีต 15
2.5 ขนาดคละของวัสดุ 23

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ผลของการบ่มที่มีต่อกำลังของคอนกรีต 12
2.2 ลักษณะทั่วไปของเส้นการบดอัดดิน 16
2.3 ผลของแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion) ในดินเม็ดหยาบ 17
2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้น นำเสนอโดย Hogentogler 17
2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้น นำเสนอโดย Buchanan 19
2.6 กราฟแสดงผลของการบดอัดดินนำเสนอโดย Hilf 20
2.7 ผลกระทบของการบดอัดดินที่มีต่อโครงสร้างดิน 21
4.1 a) กราฟการบดอัดของบล็อกประสานเถ้าลอยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1/6 33
4.1 b) กราฟการบดอัดของบล็อกประสานเถ้าลอยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1/8 33
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งกับอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอย 34
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเหมาะสมกับอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอย 34
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอยของบล็อกประสานเถ้าลอยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1/6 35
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าลอยของบล็อกประสานเถ้าลอยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ1/8 36
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอย 37
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างราคากับปริมาณเถ้าลอย 38
4.8ก) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับต้นทุนต่อหน่วยของบล็อกประสานเถ้าลอยอายุบ่ม 7 วัน 39
4.8 ข) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับต้นทุนต่อหน่วยของบล็อกประสานเถ้าลอยอายุบ่ม 14 วัน 39
4.8 ค) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับต้นทุนต่อหน่วยของบล็อกประสานเถ้าลอยอายุบ่ม 28 วัน 40

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างได้มีการพัฒนารูปแบบกันอย่างหลากหลายและมากมาย เพื่อรองรับกับความต้องการและเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคได้เลือกใช้อย่างเหมาะสมกับความต้องการ ฝ่ายนวัตกรรม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ได้วิจัยและพัฒนาบล็อกประสานเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อรับน้ำหนัก (Bearing masonry units) บล็อกประสานเป็นวัสดุที่มีรูและเดือยบนตัวบล็อก เมื่อก่อเรียงบล็อกประสานจนได้ระดับที่ต้องการแล้ว ช่างก่อสร้างจะเสริมเหล็กเสริมในรูบนตัวบล็อกและเทคอนกรีตเข้าในรูและเดือยเพื่อเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างผนัง ขั้นตอนการผลิตบล็อกประเภทนี้ไม่ซับซ้อน และสามารถทำเป็นธุรกิจขนาดย่อมและขนาดกลางได้ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตบล็อกประกอบด้วยดินและปูนซีเมนต์ เมื่อผสมดินเข้ากับปูนซีเมนต์และน้ำในสัดส่วนที่พอเหมาะ ก็จะทำการอัดขึ้นรูปในเครื่องอัด (Cinva Ram) เมื่อได้อายุบ่มที่กำหนด (ไม่น้อยกว่า 7 วัน) ผู้ผลิตก็สามารถจำหน่ายบล็อกประสานได้ ดินที่เหมาะสม ในการทำบล็อกประสาน ส่วนใหญ่จะเป็นดินแดง ดินลูกรัง หินฝุ่น ทรายหรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ ที่มีขนาดเม็ดดินไม่เกิน 4 มิลลิเมตร

ด้วยขั้นตอนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน ต้นทุนการผลิตบล็อกประสานจึงแปรผันตามแหล่งดินและปูนซีเมนต์ แหล่งดินเป็นต้นทุนคงที่สำหรับพื้นที่การผลิตหนึ่ง ดังนั้น ตัวแปรต้นทุนที่สามารถปรับเปลี่ยนได้จึงเป็นเพียงปูนซีเมนต์ แนวทางหนึ่งที่สามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์และยังคงทำให้กำลังอัดของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลงคือการผสมวัสดุเหลือใช้ปอซโซลาน (Waste pozzolanic material) (Chindaprasirt et al., 2007; Homwuttiwong et al., 2012 and Sinsiri et al., 2012) วัสดุเหลือใช้ปอซโซลานที่นิยมนำมาใช้ในงานคอนกรีตคือเถ้าลอย (Fly ash) (Somna et al., 2012a และ b และ Sinsiri et al., 2010) จากโรงงานผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

เถ้าลอย (Fly Ash) เป็นของแข็งเม็ดกลมมีความละเอียดซึ่งลอยขึ้นมาพร้อมกับอากาศที่ร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินที่บดละเอียด (Pulverized Coal) ในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า และจะถูกจับด้วยเครื่องดักจับ (Precipitator) หลังจากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังถังเก็บซึ่งถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงนี้ประกอบไปด้วย สารประกอบคาร์บอนและแร่ธาตุอื่นๆ เช่น ดินดาน ดินเหนียว ซัลไฟด์และคาร์บอเนต เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิสูงในเตาเผาคุณสมบัติของสาร ประกอบต่าง ๆ ในถ่านหินจะเปลี่ยนไป ทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในเตาเผา รวมทั้งวิธีการที่ทำให้เย็นตัวของเถ้าลอยซึ่งเถ้าลอยนี้ส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของซิลิกาและอะลูมินา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตบล็อกประสานจากดินแดงจากจังหวัดขอนแก่น และศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตบล็อกประสาน รวมทั้งคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตบล็อกประสานด้วยปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอย เปรียบเทียบกับต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตบล็อกประสานด้วยปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว ในการศึกษานี้ผู้วิจัยจะทำการปรับเปลี่ยนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ของปูนซีเมนต์ โดยใช้น้ำตามปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content ; OMC) จากการทำ Compaction Test ด้วยวิธี Modified Proctor Test ของแต่ละอัตราส่วนผสม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เถ้าลอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตบล็อกประสาน

1.2.2 เพื่อศึกษาหาอิทธิพลอัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าลอยและอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมต่อกำลังอัดของบล็อกประสาน

1.2.3 เพื่อนำเสนออัตราส่วนผสมในการทำบล็อกประสานที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษางานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อหากำลังอัดของบล็อกประสานที่ผลิตขึ้นจากปูนซีเมนต์และเถ้าลอย และแนะนำอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษามีทั้งสิ้น 4 ชนิด คือ

- ดินแดงจากมอดินแดง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
- เถ้าลอย จากการผลิตกระแสไฟฟ้า จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1
- น้ำประปา

การทดสอบจะเริ่มต้นโดยการผสมวัตถุดิบทั้งสี่ชนิดเข้าด้วยกัน ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยจะกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุเชื่อมประสาน (ปูนซีเมนต์และเถ้าลอย) ต่อดินแดง เท่ากับ 1:6 และ1:8 โดยแปรผันอัตราส่วนระหว่างการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ของปูนซีเมนต์ โดยใช้น้ำตามปริมาณความชื้นที่เหมาะสม(Optimum Moisture Content ; OMC) จากการทำ Compaction Test ด้วยวิธี Modified Proctor Test ของแต่ละอัตราส่วนผสม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงความเป็นไปได้ของการใช้เถ้าลอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตบล็อกประสาน

1.4.2 ทราบถึงอิทธิพลของอัตราส่วนการแทนที่เถ้าลอยและอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมต่อกำลังอัดของบล็อกประสาน

1.4.3 ได้อัตราส่วนผสมในการทำบล็อกประสานที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

บล็อกประสานคือ วัสดุก่อรับน้ำหนักที่ได้ทำการพัฒนารูปแบบให้มีรู และเดือยบนตัวบล็อก เพื่อให้สะดวกในการก่อสร้าง โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในพื้นที่ ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทราย หรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆที่มีความเหมาะสมนำมาผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมอัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดแล้วนำมาบ่มให้บล็อกแข็งตัวประมาณ 7 วัน จะได้คอนกรีตบล็อกที่มีความแข็งแกร่ง มีรูปลักษณะพิเศษ ที่สามารถใช้ในการก่อสร้างอาคารต่างๆ หรือ ก่อเป็นถังเก็บน้ำได้อย่างรวดเร็ว สวยงาม และประหยัดกว่างานก่อสร้างทั่วไป

วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสม หรือ มวลรวมละเอียดของบล็อกประสานควรมีขนาดเล็กกว่า 4 มม. ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทรายและเถ้าลอย (Fly ash) จากโรงงานผลิตไฟฟ้า โดย มวลรวมละเอียดที่ใช้ควรมีลักษณะตามมาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพดินและมวลรวม สำหรับงานก่อสร้างทางหลวง (ASTM D3282 Standard Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes) คือมีฝุ่นดินไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนักหรือทดสอบเบื้องต้นโดยนำดินใส่ขวดครึ่งหนึ่ง เติมน้ำแล้วเขย่าให้เข้ากัน เมื่อหยุดเขย่า สังเกตส่วนที่ตกตะกอนทันทีแล้วขีดเส้นไว้ รอจนตกตะกอนทั้งหมดจนน้ำใส แล้ววัดตะกอนฝุ่นไม่ควร เกินร้อยละ15โดยปริมาตร ถ้าวัตถุดิบมีมวลหยาบผสมอยู่มาก สามารถใช้เครื่องบดร่อนจะทำให้ผิวบล็อกเรียบขึ้น

ปูนซีเมนต์สำหรับงานบล็อกประสาน คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ปูนโครงสร้าง) จะให้ก้อนบล็อกประสานมีความแข็งแกร่ง ทนการกัดกร่อนของน้ำได้ดี การใช้ปูนซีเมนต์ผสม (ปูนก่อฉาบ) คุณภาพจะต่ำกว่าทำให้ต้องใช้ปริมาณปูนมากขึ้น เพื่อให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ต้นทุนสูงขึ้น

ส่วนผสมของบล็อกประสาน ส่วนผสมของบล็อกประสานที่เหมาะสมควรทำการทดลองในห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่มีอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมประมาณ 1 : 6 ถึง 1 : 7 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของมวลรวมเป็นหลัก

2.2 เถ้าลอย (Pulverized Fuel Ash)

เถ้าลอยเป็นของแข็งเม็ดกลมมีความละเอียด ซึ่งลอยขึ้นมาพร้อมกับอากาศที่ร้อน ที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินที่บดละเอียด (Pulverized Coal) ในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า และ จะถูกจับด้วยเครื่องดักจับ (Precipitator) หลังจากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังถังเก็บ ซึ่งถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงนี้ประกอบไปด้วย สารประกอบคาร์บอนและแร่ธาตุอื่น ๆ เช่น ดินดาน ดินเหนียว ซัลไฟด์ และคาร์บอเนต เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิสูงในเตาเผา คุณสมบัติของสาร ประกอบต่าง ๆ ในถ่านหินจะเปลี่ยนไป ทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในเตาเผา รวมทั้งวิธีการที่ทำให้เย็นตัวของเถ้าลอย ซึ่งเถ้าลอยนี้ส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของซิลิกา และอะลูมินา

ประโยชน์ของเถ้าลอย

1) ช่วยปรับปรุงความสามารถเทได้ของคอนกรีต
2) ลดการเยิ้ม (Bleeding) และแนวโน้มการแยกตัวของคอนกรีต
3) อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นช้า ดังนั้นความร้อนจากปฏิกิริยาจะลดลง
4) เพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุมากกว่า 28 วัน
5) เพิ่มความทนทานของคอนกรีต ด้วยเหตุผล 2 ประการคือ
   - ปริมาณน้ำที่ใช้จะลดลงเมื่อต้องการความสามารถเทได้ที่เท่ากัน
   - ปฏิกิริยาระหว่างเถ้าลอยกับ $Ca(OH)_2$ ทำให้ช่องว่างในเนื้อคอนกรีตลดลง

เถ้าลอย หรือ เถ้าปลิว หรือ ฟลายแอช (fly ash) คือ ขี้เถ้าที่หลงเหลือจากกระบวนการเผาไหม้ของถ่านหินหรือลิกไนต์ มีขนาดเล็กและละเอียดมาก ประกอบด้วยสารซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO2) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยจะปลิวปนไปกับก๊าซร้อนออกจากปล่องควันของโรงผลิตไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งถ้ามีปริมาณเถ้าปลิวมาก ในชั้นบรรยากาศ ก็อาจก่อให้เกิดปัญหามลภาวะของอากาศได้ จึงได้มีการศึกษาวิจัยโดยการติดตั้งเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกก๊าซร้อนและเถ้าปลิวออกจากกัน เพื่อนำเอาเถ้าปลิวกลับมาใช้ใหม่ เช่น การนำเอาเถ้าปลิวมาใช้เป็นส่วนผสมของปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์ ในกระบวนการผลิตคอนกรีต เป็นต้น

C. Jaturapitakkul et al.(2010) ได้รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์การใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเป็นวัสดุประสาน โดยงานวิจัยนี้ใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรม 4 ชนิด ซึ่งได้แก่ เถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบหรือเถ้าแกลบเปลือกไม้ เถ้าปาล์มน้ำมัน และ เถ้าชานอ้อย เพื่อเป็นวัสดุประสานในการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วน นอกจากนี้ยังใช้เถ้าถ่านหินเพื่อเป็นวัสดุพื้นฐานในการทำจีโอโพลีเมอร์คอนกรีต ทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเบื้องต้นของเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรม ทรายแม่น้ำ หินปูนย่อย และมวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีต

จากนั้นทำการหล่อเพสต์ มอร์ต้าร์ และคอนกรีต ที่มีส่วนผสมของเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อทดสอบกำลังอัด โมดูลัสยืดหยุ่น การแทรกซึมของสารละลายคลอไรด์จากน้ำทะเล การกัดกร่อนเนื่องจากสารละลายซัลเฟต และการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบหรือเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้าชานอ้อยสามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้หากเถ้าเหล่านี้มีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสม มีความละเอียดสูงและส่วนใหญ่ไม่เป็นผลึก เถ้าเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้เร็วขึ้นตามความละเอียดที่สูงขึ้น การใช้เถ้าถ่านหินในส่วนผสมคอนกรีตสามารถลดการแทรกซึมของสารละลายคลอไรด์จากน้ำทะเลได้เป็นอย่างดี เมื่อใช้เถ้าถ่านหิน หรือ เถ้าชานอ้อย หรือ เถ้าแกลบหรือเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ หรือ เถ้าปาล์มน้ำมันที่มีความละเอียดสูง แทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่ไม่มากจนเกินไป (โดยทั่วไปคือร้อยละ 20-30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน) สามารถทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่สูง มีการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่ต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าดังกล่าวในส่วนผสมที่มีกำลังอัดเท่ากัน แต่การใช้เถ้าดังกล่าวที่มีความละเอียดต่ำ หรือ แทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่สูงมากเกินไป (เช่นร้อยละ 50 ขึ้นไป) พบว่าส่งผลเสียต่อคอนกรีตทั้งด้านกำลังอัดและการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต สำหรับโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ผสมเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมที่แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนพบว่ามีค่าไม่แตกต่างจากคอนกรีตปกติที่มีกำลังอัดเท่ากัน การใช้อุณหภูมิที่สูงสามารถเร่งกำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์ที่ อายุต้นได้เป็นอย่างดี อัตราส่วน S/A (solution/ash ratio) มีผลกระทบต่อกำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มากกว่าอัตราส่วน P/Agg [(ash content + solution content)/ Aggregatecontent ratio] นอกจากนี้เมื่อพิจารณากำลังอัดที่เท่ากันพบว่าจีโอโพลีเมอร์คอนกรีตมีค่าการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่สูงกว่าคอนกรีตปกติค่อนข้างมาก วัสดุประสานจากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินสามารถผลิตคอนกรีตที่มีกำลังอัด 28 และ 34 เมกาปาสกาลที่อายุ 28 และ 90 วัน ตามลำดับโดย ไม่ต้องมีปูนซีเมนต์ คอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีตในส่วนผสมมีค่าการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามการใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมสามารถลดอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตดังกล่าวได้

2.3 ปูนซีเมนต์ (Cement)

ปูนซีเมนต์ เป็นผลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ จนรวมตัวผสมกันสุกพอดี มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ แคลเซียมและอลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวนี้จะหมายถึงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) ที่เมื่อผสมกับน้ำตามส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์นั้น การทำปฏิกิริยาดังกล่าว

เรียกว่า ไฮเดรชั่น (Hydration) ตำรับของชื่อปูนซีเมนต์ที่เรียกกันว่า “ปอร์ตแลนด์” นี้ ได้มาจากการตั้งชื่อของนายโจเซฟ แอสปดิน โดยที่ ในปี ค.ศ.1824 เขาได้ทำการจดทะเบียนวิธีการผลิตปูนซีเมนต์อย่างหนึ่ง ซึ่งได้จากการเผาส่วนผสมระหว่างหินปูนและดินเหนียว และเมื่อนำมาบดจะได้เนื้อปูนซีเมนต์มีสีเหลือง-เทา คล้ายกับหินในเกาะของ เมืองปอร์ตแลนด์ ประเทศอังกฤษ เขาจึงตั้งชื่อว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ในตอนแรกนี้ยังมีคุณภาพต่ำมาก ทั้งนี้เนื่องจากการเผาส่วนผสมดังกล่าวใช้ความร้อนต่ำ ซึ่งทำให้หินปูนกับดินเหนียวยังรวมตัวไม่ดี

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญที่สุดในการก่อสร้างทางวิศวกรรมปัจจุบัน โดยที่เมื่อผสมกับ หิน กรวด ทรายและน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้เป็นคอนกรีตซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะแข็งและทนทานคล้ายหิน ตัวอย่าง สิ่งก่อสร้างคอนกรีตได้แก่ ฐานราก ตอม่อ เขื่อน กำแพงกั้นดิน พื้นและถนน เมื่อเสริมด้วยเหล็กเสริมจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับพื้นหลังคา สะพาน อาคาร อุโมงค์ และอื่นๆ หรือเมื่อผสมรวมกับทรายและปูนขาวจะเป็นปูนฉาบสำหรับการก่ออิฐหรือหิน เป็นต้น

ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน(ASTM) และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย (ม.อ.ก.15) แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็นประเภทใหญ่ๆ 5 ประเภทคือ

ประเภทหนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป ที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศรุนแรง หรือในที่มีอันตราย จากซัลเฟตเป็นพิเศษ หรือที่ความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถึงขั้นอันตราย ได้แก่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียวและตราเพชรเม็ดเดียว

ประเภทสอง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่นงานสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพงกันดินหนาๆ หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ ตอม่อ สะพานเป็นต้น ได้แก่ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร

ประเภทสาม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (High-early Strength Portland Cement) หรือที่เรียกว่าซูเปอร์ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ให้กำลังสูงในระยะแรก มีเนื้อ เป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ผลิตได้โดยการเปลี่ยนสัดส่วนและโดยการเติมสารอื่นโดยการบดให้ละเอียดยิ่งขึ้น หรือโดยการเผาให้ดีขึ้น มีประโยชน์สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้เร็ว หรือรื้อแบบเร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้นและคานที่ต้องถอดแบบเร็ว เป็นต้น

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดง และตราสามเพชร

ประเภทสี่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low-heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำ ซึ่งปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้มากในการก่อสร้างคอนกรีตหลา เช่น เขื่อน เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นขณะแข็งตัว

ประเภทห้า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate-Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ต้านทานซัลเฟตได้สูง สำหรับใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น น้ำหรือดินที่มีด่าง (Alkaline) สูง มีระยะเวลาการแข็งตัวช้ากว่าประเภทหนึ่ง ได้แก่ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลาม

2.4 มวลรวม

มวลรวมหรือวัสดุผสม (Aggregate) คือวัสดุเฉื่อย อันได้แก่ หิน ทราย กรวด ที่เป็นส่วนผสมที่สำคัญของคอนกรีตเนื่องจากมวลรวมมีปริมาตร 70 -80% ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่น่าเป็นที่สงสัยเลยว่า ทำไมคุณภาพของมวลรวมจึงมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของคอนกรีต และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้ความสนใจในเรื่องนี้อย่างมาก

ในอดีต มวลรวมถูกคิดว่าเป็นเพียงวัสดุเฉื่อย ที่ใช้เป็นตัวแทรกประสานโดยกระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์เท่านั้น ในปัจจุบันนี้พบว่า มวลรวมยังทำหน้าที่อื่นที่สำคัญอีก ประการแรกเนื่องจากมวลรวมเป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่มีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ดังนั้นในส่วนผสม ของคอนกรีตจึงควรใช้ปริมาณมวลรวมให้พอเหมาะเพื่อที่จะให้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดน้อยลง ประการต่อมาคุณสมบัติของมวลรวม จะช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน (Durability) และปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก (Volume Stability) รวมทั้งมวลรวมยังทำหน้าที่ต้านทานน้ำหนัก ที่กดลงบนคอนกรีตด้วย กำลังและคุณสมบัติทางกายภาพอีกหลายประการของมวลรวม มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตเหลวและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ดังนั้น การเลือกใช้มวลรวมที่เหมาะสม ไม่เพียงแต่เป็นการประหยัด แต่ยังคงช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้นด้วย มวลรวมที่ดีซึ่งจะส่งผลให้คอนกรีตมีความทนทานสูง ควรมีคุณสมบัติพื้นฐานที่ดีดังนี้คือ ต้องมีความคงทนไม่ทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบในซีเมนต์ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดผลเสีย ต่อเสถียรภาพทางปริมาตรของคอนกรีต และมวลรวมจะต้องไม่มีสิ่งเจือปนที่มีผลเสียต่อกำลังและความคงตัวของซีเมนต์เพสต์ คุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจะขึ้น อยู่กับขบวนการย่อยแปรสภาพของมวลรวม

ประเภทของมวลรวม

แบ่งมวลรวมตามแหล่งกำเนิดออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1) มวลรวมที่เกิดจากธรรมชาติ (Natural Mineral Aggregate) เกิดจากขบวนการกัดกร่อนและเสียดสีตามธรรมชาติ
2) มวลรวมที่มนุษย์ทำขึ้น (Artificial Aggregate) เช่น มวลรวมเบาบางประเภทที่ได้จากการเผาดิน เป็นต้น

แบ่งมวลรวมตามความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักจะแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ

1. มวลรวมเบา (Lightweight Aggregate) มีความหนาแน่นตั้งแต่ 300–1,100 กก./ลบ.เมตร
2. มวลรวมปกติ (Normal Weight Aggregate) มีความหนาแน่นตั้งแต่2,400–3,000กก./ลบ.เมตร
3. มวลรวมหนัก (Heavyweight Aggregate) มีความหนาแน่นมากกว่า 4,000 กก./ลบ.เมตร

แบ่งมวลรวมตามขนาดสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้แก่ หินหรือกรวดที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มม.ขึ้นไป หรือค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4
2) มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ได้แก่ทรายที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม.หรือสามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ต้องไม่เล็กกว่า 0.07 มม. หรือผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200

ส่วนที่มีขนาดเล็กกว่ามวลรวมละเอียดซึ่งมีอยู่จำนวนน้อยมากในส่วนผสมคอนกรีตสามารถแบ่งได้เป็น

- Silt จะมีขนาดประมาณ 0.07 มิลลิเมตร
- Clay จะมีขนาดอยู่ในช่วง 0.02 – 0.06 มิลลิเมตร

2.5 น้ำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งในการทำคอนกรีต น้ำในที่นี้อาจแบ่งได้ออกเป็น น้ำสำหรับผสมคอนกรีตให้มีความข้นเหลวทำงานง่าย น้ำสำหรับบ่มคอนกรีตให้แข็งตัว และมีกำลังรับแรง ได้ตามต้องการ น้ำสำหรับล้างวัสดุผสมที่จะใช้ผสมคอนกรีตให้สะอาด

น้ำสำหรับผสมคอนกรีต (Mixing water)

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ต้องสะอาด มีความขุ่นไม่เกิน 2,000 ppm. (ส่วนในล้าน) ปราศจากกรด ด่าง น้ำมันและสารอินทรีย์อื่นๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือเหล็กเสริม โดย

ปกติน้ำประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ ซึ่งไม่มีส่วนผสมของน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน หรือโรงงานอุตสาหกรรมถือว่ามีคุณภาพดีพอสำหรับงานคอนกรีต ในกรณีที่สงสัยให้ทำแท่งทดสอบโดยใช้น้ำที่สงสัยและเปรียบเทียบกำลังอัดแท่งทดสอบที่ทำจากน้ำที่มีคุณภาพดี

หน้าที่ของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต คือ

1. ทำหน้าที่เคลือบหินและทรายให้เปียกเพื่อปูนซีเมนต์จะเข้าเกาะโดยรอบและแข็งตัวยึดให้ติดกันได้
2. ทำหน้าที่หล่อลื่นในวัสดุทั้ง 3 อย่างนี้ เกิดความเหลว สามารถเทและกระทุ้งหรือเขย่าเข้าแบบหล่อให้เป็นรูปต่างๆได้
3. ทำหน้าที่เข้าผสมกับปูนซีเมนต์ทางปฏิกิริยาเคมีแล้วเกิดความร้อนที่เรียกว่า heat of hydration ทำให้ผงซีเมนต์นั้นกลายเป็นวุ้น และเป็นซีเมนต์เหนียวซึ่งเป็นตัวประสานผิวระหว่างเม็ดของวัสดุผสม เกาะยึดแน่นเมื่อแข็งตัว

สารที่เจือปนอยู่ในน้ำ ซึ่งจะทำให้คุณภาพของคอนกรีตเสียไปได้แก่ ฝุ่นหรือผง (Silt) น้ำมัน กรด ด่าง เกลือด่าง สารอินทรีย์ต่างๆ น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม ปริมาณสารต่างๆ ที่เจือปนอยู่ในน้ำจะต้องไม่เกินกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณที่ยอมให้ของสารเจือปนในน้ำ

สารที่เจือปน	**ปริมาณที่ยอมให้สูงสุดส่วนต่อล้าน**
เกลือ	
โซเดียมคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต	1,000
แคลเซียมและมักเนเซียมคาร์บอเนต	400
มักนิเซียมซัลเฟตและคลอไรด์	40,000
โซเดียมคลอไรด์	20,000
โซเดียมซัลเฟต	10,000
กรด	
เกลือของแร่เหล็ก	40,000
ฝุ่นหรือผงหรืออนุภาคลอยตัว	2,000
น้ำทะเล	35,000
น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	4,000
น้ำโสโครก	400
น้ำตาล	500
ตะไคร่น้ำ	1,000

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.6 การบ่มคอนกรีต

การบ่ม (Curing) คือชื่อเฉพาะของวิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง วิธีการทำโดยให้น้ำแก่คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว หน้าที่สำคัญของการบ่มคอนกรีตมีด้วยกัน 2 ประการ คือ ประการแรก คือป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีต และประการที่สองคือรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการบ่มคอนกรีต คือ

1. เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังและความทนทาน
2. เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต โดยรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสม และลดการระเหยของน้ำให้น้อยที่สุด

การบ่มอาจหมายถึงการควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตด้วย ทั้งนี้ เพราะอุณหภูมิที่สูงจะเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่นให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อันทำให้คุณภาพของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก อย่างไรก็ตาม การเร่งนี้อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณสมบัติของคอนกรีตในระยะยาว

กรรมวิธีการบ่ม

กรรมวิธีการบ่มแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามสภาพอุณหภูมิที่ใช้บ่ม คือ การบ่มที่อุณหภูมิปกติและการบ่มที่อุณหภูมิและความดันสูง การพัฒนากำลังอัดเนื่องจากอิทธิพลของการบ่มสรุปได้ดังนี้

- กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันแรกๆ ถ้าได้รับการบ่ม ซึ่งชี้ถึงความสำคัญของการบ่มในระยะแรก
- กำลังของคอนกรีตมีโอกาสเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หลังอายุ 28 วัน โดยอัตราการเพิ่มของกำลังจะช้าลง แต่ก็ยังเพิ่มขึ้นตลอดเวลา หากได้รับการบ่มที่ดี
- หากขาดความชื้น กำลังคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นสักระยะหนึ่งเพราะความชื้นที่เหลืออยู่ แต่หลังจากนั้นกำลังจะไม่เพิ่มขึ้นอีก เช่น กำลังของคอนกรีตที่ได้รับการบ่ม 3 วัน มีกำลังเพียงร้อยละ 75 – 80 ของกำลังคอนกรีตที่บ่มชื้นครบ 28 วัน

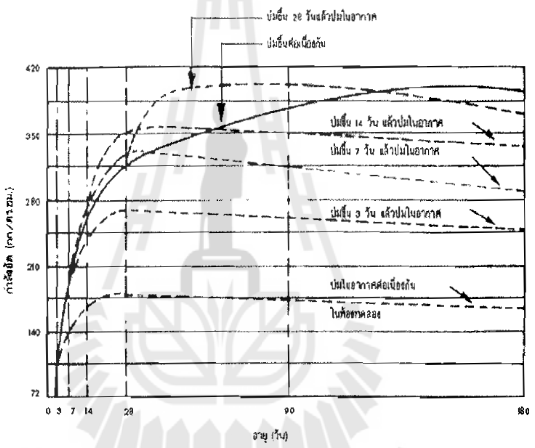
ดังนั้นจึงควรบ่มคอนกรีตให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ นั่นคือ บ่มจนกว่าคอนกรีตมีกำลังสูงตามที่ต้องการ ในทางปฏิบัติ มักไม่สามารถบ่มคอนกรีตได้นานนัก เนื่องจากข้อจำกัดในการก่อสร้างและค่าใช้จ่าย รูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าการบ่มคอนกรีตจนถึง 7 วัน ทำให้กำลังของคอนกรีตสูงทัดเทียมกับกำลังของคอนกรีตที่บ่มและทดสอบในสภาพชื้นถึง 28 วัน ตามมาตรฐานอเมริกาแนะนำให้ใช้เวลาบ่มชื้น 7 วัน สำหรับโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป หรือเวลาที่จำเป็นเพื่อให้ได้กำลังร้อยละ 70 ของกำลังอัดหรือกำลังดัดที่กำหนดแล้วแต่ว่าเวลาไหนน้อยกว่ากัน แต่สำหรับ

คอนกรีตที่มีปริมาณมากๆ เช่น ฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ จำเป็นต้องบ่มนานถึงอย่างน้อย 2 สัปดาห์ ในกรณีที่การบ่มต้องหยุดชะงักไประยะเวลาหนึ่งด้วยเหตุผลใดๆ ก็ตาม เมื่อคอนกรีตได้รับความชื้น ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นก็สามารถเกิดขึ้นต่อไป ทำให้กำลังของคอนกรีตสูงเพิ่มขึ้นไปอีก

การบ่มที่อุณหภูมิปกติ

การบ่มจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การเพิ่มความชื้นและการป้องกันการเสียความชื้น

- การเพิ่มความชื้น คือการให้ความชื้นต่อผิวหน้าของคอนกรีตโดยตรงในระยะแรกที่คอนกรีตแข็งตัว วิธีนี้นอกจากจะเป็นวิธีบ่มที่ดีแล้วยังสามารถช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวของคอนกรีตลงด้วย จึงเหมาะกับคอนกรีตที่เทในอากาศร้อน การบ่มแบบนี้ทำได้หลายวิธีตารางที่ 2.2 แสดงข้อดีและข้อเสียของการบ่มคอนกรีตในแต่ละวิธี



รูปที่ 2.1 ผลของการบ่มที่มีต่อกำลังของคอนกรีต

- การป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต วิธีนี้เป็นการป้องกันความชื้นจากผิวคอนกรีตมิให้เล็ดลอดออกสู่ภายนอก การป้องกันความชื้นวิธีนี้ ได้แก่ การใช้กระดาษกันน้ำ ผ้า พลาสติก หรือ สารเคมี เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ไม้แบบที่ยังไม่ถอดก็สามารถป้องกันการเสียความชื้นได้เช่นกัน วิธีการบ่มแบบนี้สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 วิธีการบ่มโดยเพิ่มความชื้น

วิธีการบ่ม	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
1. การขังน้ำ เหมาะสมกับงานคอนกรีตที่มีพื้นราบ เช่นแผ่นพื้นทั่วไป คาดฟ้า พื้นสะพาน ถนนทางเท้า สนามบิน **วิธีการ** ทำโดยใช้ดินเหนียว หรือ ก่ออิฐทำเป็นคันโดย รอบของงานคอนกรีตที่จะบ่ม **ข้อควรระวัง** อย่าให้น้ำใช้บ่มมีอุณหภูมิต่ำกว่าคอนกรีต เกิน 10°c	1. ทำได้สะดวก ง่าย ราคาถูก 2. วัสดุหาได้ง่าย เช่นดินเหนียว และน้ำ 3. ใช้คนงานระดับกรรมกรทำได้ 4. ซ่อมแซมได้สะดวกรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย ตัวอย่างเช่น ทำคันดินเหนียวและพังก็สามารถซ่อมได้ทันที	1. ต้องหมั่นตรวจดูรอยแตกร้าวของดินเหนียวที่นำมา ใช้อยู่เสมอมิฉะนั้นน้ำจะซึมหนี 2. ต้องเก็บทำความสะอาดบริเวณคอนกรีตที่บ่มเสร็จ
2. โดยการฉีดน้ำหรือพรมน้ำ **วิธีการ** ใช้ได้ทั้งแนวราบและแนวดิ่ง เช่นผนัง กำแพง และพื้น	1. ทำได้สะดวก ได้ผลดี 2. ค่าใช้จ่ายถูก 3. ใช้คนงานระดับกรรมกรได้ 4. ไม่ต้องดูแลตลอดเวลา	1. ไม่เหมาะสมกับสถานที่ที่หาน้ำได้ยาก 2. ไม่สะดวกกับการฉีดกับกำแพงในแนวดิ่ง เพราะน้ำจะแห้งเร็ว
3. โดยการใช้วัสดุเปียกชื้นคลุม **วิธีการ** เช่นนำผ้าใบ กระสอบซึ่งอุ้มน้ำได้ ถ้าเป็นผ้าใบควรเป็นสีขาว เพราะสะท้อนความร้อนได้ดีและรอยต่อต้องเหลื่อมกันให้มาก ถ้าใช้ฟางหรือขี้เลื่อยคลุมควรหนาไม่น้อยกว่า 15 ซม. คลุมให้ทั่วและฉีดน้ำให้ชุ่มอยู่เสมอ	1. ได้ผลดีมาก ราคาไม่สูงเกินกว่าที่จะทำ 2. ทำได้ทั้งแนวราบและแนวดิ่ง ในกรณีที่ใช้ผ้าใบและกระสอบ 3. ใช้คนงานระดับกรรมกรทำได้ 4. สามารถหาวัสดุมาใช้ได้ง่าย	1. ถ้าอากาศร้อนจะแห้งเร็ว 2. ถ้าที่กว้างๆ ถ้าใช้ผ้าใบคลุมจะเสียค่าใช้จ่ายมาก 3. ต้องฉีดน้ำให้ชุ่มอยู่เสมอ 4. ต้องพิจารณาก่อนที่จะนำมาใช้ ว่าวัสดุนั้นเป็นอันตรายต่อซีเมนต์หรือผิวคอนกรีตหรือไม่

ตารางที่ 2.3 วิธีป้องกันการสูญเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต

วิธีการบ่ม	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
1. การใช้กระดาษกันน้ำซึมได้คลุม กระดาษนี้ทำด้วยกระดาษเหนียวยึดติดกันด้วยกาวประเภทยางมะตอย และเสริมความเหนียวด้วยใยแก้ว และมีคุณสมบัติยึดหดตัวไม่มาก วิธีการใช้ รอยต่อควรเหลื่อมกันให้มากพอสมควร และรอยต่อระหว่างแผ่นต้องผนึกติดแน่นด้วยกาว หรือเทป หรือทรายก็ได้	1. ทำได้สะดวก รวดเร็ว 2. ป้องกันคอนกรีตไม่ให้แห้งได้เร็วแต่ต้องคอยราดน้ำไว้ด้วย 3. ใช้คนงานระดับกรรกรทำได้	1. ราคาแพง 2. ไม่สะดวกในการปฏิบัติงาน 3. ไม่สะดวกในการเก็บรักษาต่อไป เมื่อนำมาใช้งาน
2. การใช้แผ่นพลาสติกคลุม เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา และสามารถใช้คลุกงานคอนกรีตที่จะบ่มได้ทันทีที่ต้องการ	1. มีน้ำหนักเบา ปฏิบัติงานง่าย 2. ได้ผลดีในการป้องกันน้ำระเหยออกไปจากคอนกรีต 3. ไม่ต้องราดน้ำให้ชุมอยู่ภายใน	1. บางมาก ชำรุดง่าย 2. ต้องหาของหนักทับเพิ่มเพื่อกันปลิว 3. ราคาแพง ถ้าใช้ในการคลุมงานคอนกรีตที่กว้าง
3. การบ่มด้วยน้ำยาเคมีเคลือบผิวคอนกรีต มีหลายสีด้วยกันเช่น ใส ขาว เทาอ่อน และดำ สำหรับสีขาว จะเหมาะสมกว่าเพราะสะท้อนความร้อนและแสงได้ดีกว่าโดยใช้พ่นคลุมผิวคอนกรีตที่ต้องการใช้งานเร็วๆ เช่น ลานบิน หลังคากว้างๆ งานพิเศษต่างๆ หรือตึกสูงๆที่ส่งน้ำขึ้นได้ลำบาก	1. สะดวก รวดเร็ว 2. ได้ผลดีพอสมควร ถ้าน้ำยานั้นเป็นของแท้ และมีความเข้มข้นตามมาตรฐานของผู้ผลิต 3. ไม่ต้องคอยรดน้ำ	1. ค่าใช่จ่ายสูง 2. ต้องจัดเตรียมเครื่องมือสำหรับพ่นทุกครั้ง 3. ต้องใช้บุคคลากรที่มีประสบการณ์ 4. น้ำเคมีที่ใช้พ่นอาจทำอันตรายต่อผู้ที่อยู่อาศัยในระยะใกล้เคียงได้
4. การบ่มโดยใช้แบบ ต้องใช้การพ่นน้ำใส่ไม้แบบให้มีความชื้นอยู่เสมอแบบจะป้องกันการเสียความชื้นได้ดีมากฉะนั้นควรรักษาไม้แบบไว้ให้นานที่สุดหลังจากถอดแบบแล้วจึงใช้วิธีอื่นต่อไป	1. ทำได้สะดวก 2. ใช้คนงานระดับกรรมกรทำได้	1. ต้องใช้ไม้แบบจำนวนมาก 2. ช้าเพราะต้องนำไม้แบบไปใช้งานอื่นต่อไป 3. ถ้าเป็นไม้แบบเก่า ต้องเสียเวลาทำความสะอาดไม้แบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- ระยะเวลาการบ่ม

โดยทั่วไป ระยะเวลาการบ่มคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการ อาทิเช่น ชนิดของปูนซีเมนต์ที่ใช้ อัตราส่วนของคอนกรีต กำลังของคอนกรีตที่ต้องการ ขนาดและรูปร่างของแท่งคอนกรีต อุณหภูมิที่ใช้บ่ม และความชื้นในขณะบ่ม เป็นต้น องค์ประกอบเหล่านี้ถือได้ว่า มีผลต่อระยะเวลาของการบ่มคอนกรีต ซึ่งอาจจะถึง 1 เดือน สำหรับคอนกรีตที่ใช้ทำเขื่อน หรือเพียง 3 วัน สำหรับคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ผสมอยู่ในปริมาณสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเกิดกำลังสูงเร็ว

งานโครงสร้างทั่วๆ ไป ส่วนใหญ่กำหนดระยะเวลาในการบ่มไว้ตั้งแต่ 3 วัน จนถึง 2 สัปดาห์ ซึ่งกำหนดเวลาดังกล่าวขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยปกตินิยมกำหนดระยะเวลาการบ่มไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ระยะเวลาของการบ่มคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซึ่งผลิตขึ้นในประเทศไทยได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เวลาขั้นต่ำในการบ่มคอนกรีต

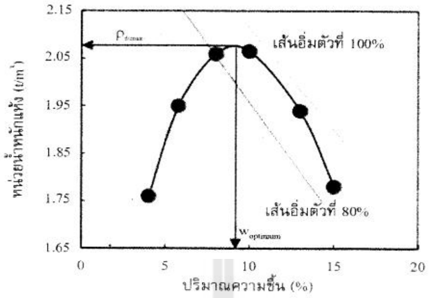
ประเภทของงาน	**คอนกรีตที่ใช้**		
	ปูนซีเมนต์ผสม	**ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1**	**ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3**
งานธรรมดา			
เสา คาน และกำแพง	7 วัน	7 วัน	4 วัน
พื้นบ้าน พื้นถนนในบ้าน ฯลฯ	8 วัน	8 วัน	4 วัน
ถนนชั้นหนึ่ง ลานจอดหรือทางวิ่งของเครื่องบิน	-	14 วัน	7 วัน
เสาเข็มสำหรับนำไปตอกคอนกรีตเป็นฐานราก	21 วัน	14 วัน	7 วัน
งานพิเศษ			
แผ่นพื้นบางๆ	14 วัน	14 วัน	7 วัน
-รูปหล่อที่เล็กบาง ซึ่งใช้ปูนซีเมนต์ผสมมาก	-	21 วัน	7 วัน

2.7 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Proctor (1930)

ทฤษฎีพื้นฐานการบดอัดดินสำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่นได้ถูกสร้างความสัมพันธ์ขึ้นโดย R.R.Proctor (1930) โดยเริ่มต้นเมื่อมีการสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บน้ำใน Los Angeles และเขาได้

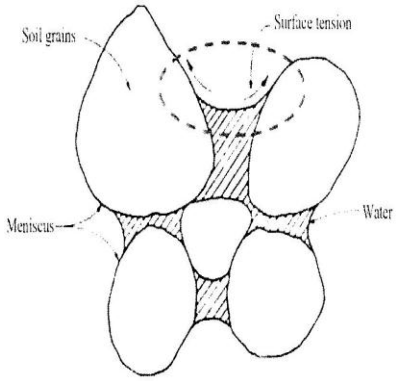
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

พัฒนาหลักการบดอัดดินโดยตีพิมพ์ในหนังสือ Engineering New-Record (proctor, 1933) แล้วนำวิธีการทดสอบนี้ไปใช้ในห้องปฏิบัติการโดยเรียกวิธีการดังกล่าวว่า Proctor Test รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะทั่วไปของเส้นการบดอัดดิน (typical compaction curve)

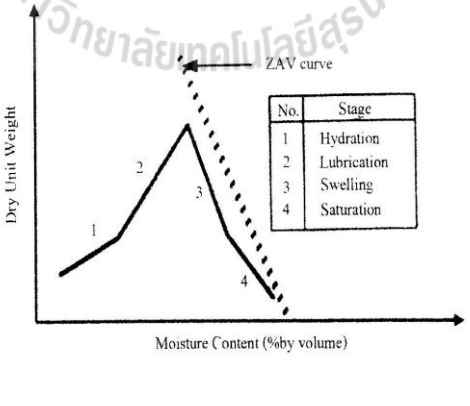
Proctor ได้กล่าวถึงกลไกของการเกิดเส้นการบดอัดดังแสดงในรูปที่ 2.2ไว้ว่า ประสิทธิภาพของการบดอัดดินถูกกำหนดโดยแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดิน โดยแบ่งการบดอัดดินเป็น 2 ด้านคือ ด้านแห้งและด้านเปียก สำหรับการบดอัดดินที่แห้งมากๆ ดินจะมีแรงเสียดทานที่สูงมาก เนื่องจากแรงตึงผิวที่เกิดจากความชื้นคาพิลลารี่ (Capillary Moisture) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เป็นผลให้การบดอัดดินทำได้ยาก แต่เมื่อเติมน้ำเข้าไปในดินที่แห้งมากๆ น้ำจะไปลดแรงคาพิลลารี่และเป็นผลให้แรงเสียดทานลดลงไปด้วย ถ้าเติมน้ำเข้าไปอีกเรื่อยๆ จนน้ำไปสลายแรงเสียดทานได้แล้ว น้ำก็จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นทำให้เม็ดดินเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ จนถึงปริมาณน้ำที่เต็มช่องว่างในช่วงหนึ่งก็จะทำให้ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด โดยเรียกจุดที่ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุดว่า maximum dry density และเรียกปริมาณความชื้นที่จุดนี้ว่า optimum moisture content หลังจากจุดนี้ เมื่อเติมน้ำเข้าไปอีกจะทำให้ความหนาแน่นแห้งลดลง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเข้าไปแทนที่เนื้อดิน ทำให้เนื้อดินที่มีในปริมาตรที่เท่ากันลดลง อีกทั้งเกิดจากความถ่วงจำเพาะของน้ำน้อยกว่าดิน ในขณะที่ความหนาแน่นเปียกมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อความชื้นในดินสูงมากๆ พบว่าดินจะอยู่ในสภาพอ่อนตัว ซึ่งไม่อยู่ในสภาพที่สามารถรับน้ำหนักได้อีกต่อไป



รูปที่ 2.3 ผลของแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion) ในดินเม็ดหยาบ

2.8 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Hogentogler (1936)

Hogentogler นำเสนอเส้นกราฟการบดอัดที่แตกต่างกับ Proctor กล่าวคือ เขาได้นำเสนอเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง (dry density) กับปริมาณความชื้นในรูปของปริมาณน้ำต่อปริมาตรรวม (molding moisture content: V_W/V) โดยลักษณะของเส้นกราฟแสดงด้วยเส้นตรง 4 เส้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งสาเหตุที่เขาได้นำเสนอการพล็อตเส้นกราฟแบบนี้เนื่องจากเขาพบว่าน้ำมีบทบาทอยู่ 4 ส่วน แบ่งได้เป็น 4 ช่วงที่มีผลทำให้ดินเกิดความหนาแน่นแห้งสูงสุด และทำให้โครงสร้างของดินบดอัดมีความแตกต่างกันโดยมีรายละเอียดแต่ละช่วง



รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้น นำเสนอโดย Hogentogler

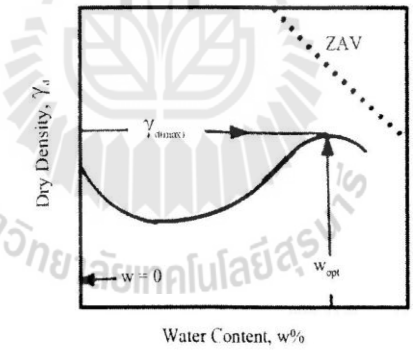
1. Hydration Stage เขากล่าวว่าในช่วงนี้น้ำจะถูกดูดซึมโดยอนุภาคของดิน ในลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ห่อหุ้มอนุภาคดิน ในลักษณะเดียวกับเมื่อพรมน้ำ ลงไปในดินแห้ง ในช่วงแรกอนุภาคดินจะดูดซึมน้ำทันทีเพื่อไปห่อหุ้มอนุภาคดินก่อน โดยน้ำส่วนกลางที่จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นนั้นยังไม่มี
2. Lubrication Stage ในช่วงนี้น้ำจะมีบทบาทเป็นสารหล่อลื่น เป็นผลให้ดินเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ในลักษณะที่มวลดินมีความแน่นขึ้น โดยยังคงมีอากาศอยู่ ในมวลดินบางส่วน นั่นหมายถึงความหนาแน่นแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเมื่อถึงจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสม (optimum moisture content; OMC) จะทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งมีค่าสูงสุด (maximum dry density)
3. Swelling Stage ในช่วงนี้เกิดจากการเติมน้ำที่เกินปริมาณน้ำที่เหมาะสม อากาศ ในส่วนที่มีอยู่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากปริมาตรของมวลดินมีค่าน้อย อยู่แล้ว และอยู่ในสภาพที่แน่น ซึ่งจะไม่ให้อากาศที่มีอยู่ออกไป ดังนั้นเมื่อเติม น้ำเข้าไปอีกมวลดินจึงเกิดการบวมตัวในขณะที่ปริมาตรอากาศคงที่อากาศที่
4. Saturation Stage ในช่วงนี้ เมื่อเติมน้ำเข้าไปอีก น้ำจะเข้าไปแทนที่อากาศ ในช่องว่างที่เหลืออยู่ในมวลดิน เป็นผลให้ระดับความอิ่มตัว (degree of saturation) เพิ่มมากขึ้นและมีแนวโน้มเข้าใกล้เส้นอากาศเป็นศูนย์ (Zero Air Void; ZAV)

ดังที่ Hogentogler ได้อธิบายไว้ข้างต้น มักจะประยุกต์ใช้โดยตรงกับดินเหนียวเป็นส่วนใหญ่เช่นเดียวกับ Proctor

2.9 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Buchanan (1942)

เขาได้อธิบายเส้นกราฟการบดอัดของดินเม็ดหยาบ โดยเขาพบว่า นอกจากจุดที่มี ความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ปรากฏบนเส้นกราฟการบดอัดแล้ว ก่อนถึงด้านแห้งของการบดอัดจะมีจุดที่แสดงถึงค่าความหนาแน่นแห้งต่ำสุดดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งเขาได้อธิบายถึงช่วงที่ ดินมี ความหนาแน่นแห้งลดลงจนถึงจุดที่มีค่าความหนาแน่นแห้งต่ำสุดว่า ถ้าหากเริ่มบดอัดดินเม็ดหยาบ ที่แห้งมากๆ หรือดินที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับศูนย์ เมื่อเติมน้ำเข้าไปในช่วงแรก จะทำให้ความหนาแน่นแห้งลดลงจนถึงจุดความหนาแน่นแห้งต่ำสุด เมื่อเลยจุดนี้ไปก็จะเข้าสู่เส้นกราฟการ บดอัดปกติ ซึ่งถ้าสังเกตจากเส้นกราฟพบว่า เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นแห้งที่จุดปริมาณความชื้นเท่ากับศูนย์กับจุดที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด จะมีช่วงความแตกต่างกันค่อนข้างน้อย และเขาได้กล่าวในเชิงวิชาการไว้ว่า สำหรับกรณีของทรายที่มีความแห้งมากๆ เมื่อเติมน้ำในช่วงแรก อนุภาคดินจะจับตัวกันด้วยแผ่นฟิล์มบางๆ ของน้ำในลักษณะคล้ายกระจุกของก้อนดินหรือทรายรอบตัว

เอง ที่เรียกว่า Arching Effect ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดช่องว่างใน มวลดินมากขึ้น โดย Arching Effect จะพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดที่ความหนาแน่นแห้งต่ำสุด ดังนั้นปฏิกิริยาของน้ำที่เติมในช่วงแรกๆ จะแตกต่างจากกรณีของ Hogentrogler และ Proctor เนื่องจากดินทรายไม่มีประจุลบ ดังนั้นเมื่อเติมน้ำจะเกิดแรงตึงผิวทำให้เกิดแรงยึดแน่นปรากฏ (apparent cohesion) และเมื่อเติมน้ำมากขึ้น แผ่นฟิล์มจะมีความหนาขึ้น มีผลทำให้ Arching Effect ลดน้อยลงไป เป็นผลให้แรงดึงดูดของแรงตึงผิวลดลงตามลำดับ แล้วอนุภาคดินก็เริ่มจัดเรียงตัวกันใหม่ และหลังจากนั้นก็จะเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไปแล้วแต่เขาได้ให้ความหมายของ OMC แตกต่างจากคนอื่น กล่าวคือ OMC คือน้ำที่มีอยู่พอดีในมวลดินบดอัด ที่ทำให้ดินอยู่ในสภาพที่ไปสลายแรงตึงผิวพอดี ที่เรียกว่า neutralizes surface tension และเมื่อ มีพลังงานบดอัดมากระทำ จึงทำให้ทรายจัดเรียงตัวกันใหม่ ทำให้ทรายแน่นขึ้น จนสุดท้ายถึงจุดที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด เมื่อน้ำสูงขึ้นเกิน OMC ดินก็จะอ่อนตัวลง เป็นผลให้ความหนาแน่นแห้งลดลง โดยสรุปแล้ว ในการบดอัดดินทราย การที่จะให้ได้ความหนาแน่นแห้งค่อนข้างดี คือช่วงที่ทรายแห้งมากๆ และช่วงความชื้นที่ค่อนไปทางด้านเปียกไปแล้ว

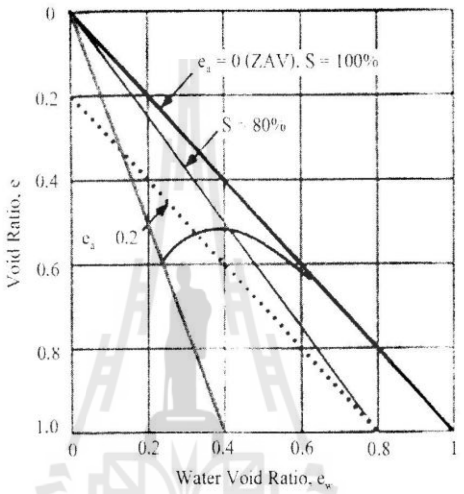


รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้น นำเสนอโดย Buchanan

2.10 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Hilf (1956)

เขาได้นำเสนอแนวความคิดใหม่ โดยวางอยู่บนพื้นฐานของแรงดันน้ำในช่องว่าง (pore water pressure) และแรงดันอากาศในช่องว่าง (pore air pressure) ที่มีอยู่ในมวลดินที่บดอัด เขากล่าวไว้ว่า ดินแห้งเป็นดินที่บดอัดได้ยาก เนื่องจากภายในมวลดินมีแรงเสียดทานมากซึ่งเกิดจากแรงคาพิวลารี่ อย่างไรก็ตาม ในช่วงที่ดินมีความแห้งมากๆ มวลดินจะมีช่องว่างอยู่มาก การบดอัดจึงไปไล่อากาศให้ออกไปได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเติมน้ำเพิ่มขึ้นแรงตึงผิวก็จะลดลง ทำให้แรงเสียด

ทานลดลงด้วย โดยความแน่นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปจนกระทั่งถึงปริมาณน้ำที่เหมาะสม (OMC) ก็จะได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density) เขากล่าวว่า ประสิทธิภาพที่น้อยลงไปจากการบดอัดเมื่อเติมน้ำเลยจุด OMC เนื่องจากอากาศถูกกักเอาไว้และเกิดการสะสมกันเป็นแรงดันอากาศในมวลดิน เขาได้เสนอเส้นกราฟ การบดอัดโดยการพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่าง (void ratio; e) และอัตราส่วนน้ำในช่องว่าง (water void ratio; e_w) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงผลของการบดอัดดินนำเสนอโดย Hilf

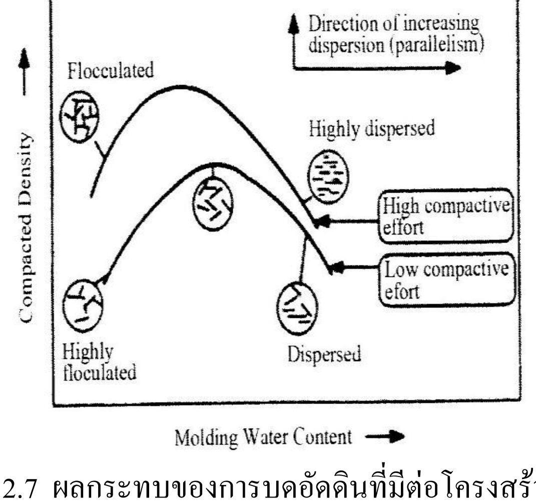
โดยพบว่า ที่จุด OMC ค่าอัตราส่วนช่องว่างจะมีค่าน้อยที่สุด โดยจุดเริ่มต้นของเส้นกราฟเป็นจุดที่ค่าอัตราส่วนช่องว่างมาก และมีค่าระดับความอิ่มตัวน้อย เมื่อบดอัดไปก็จะได้ค่าอัตราส่วนช่องว่างที่น้อยที่สุด ซึ่งจุดนี้สามารถจะหาค่าสัดส่วนของอากาศได้ด้วย และพบว่าที่ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ค่าระดับความอิ่มตัวจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 วิธีของ Hilf ทำให้ง่ายต่อการหาค่าระดับความอิ่มตัวที่จุดต่างๆ บนเส้นกราฟการบดอัด และสามารถหาปริมาณอากาศที่ความชื้นต่างๆ ได้ด้วย

2.11 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Lambe (1985)

เขาได้เริ่มนำผลจากการดูโครงสร้างภายในดินเปรียบเทียบกับความหนาแน่นแห้งของดินที่บดอัด โดยเขาสนใจว่าคุณสมบัติของดินที่บดอัดทางด้านเปียกและทางด้านแห้งมีความแตกต่างกันเกิดจากสาเหตุใด เขาสังเกตจากปัจจัยหลายๆ อย่างพบว่า ในความเป็นจริงแล้ว การบดอัดในสนามไม่สามารถบดอัดดินให้ได้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด ดังนั้นในการเติมน้ำจะมีช่วงหนึ่งที่เมื่อ

เติมน้ำเข้าไปในช่วงนี้แล้วคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมเป็นไปตามที่ต้องการ แต่เมื่อเติมน้ำเกินช่วงนี้ไปเป็นช่วงที่เขาไม่แนะนำ ซึ่งเขาให้เหตุผลจากการพิจารณาดูโครงสร้างภายในของดินเหนียวพบว่า ในช่วงการบดอัดดินทางด้านแห้ง ลักษณะโครงสร้างของดินจับตัวกันเป็นกระจุก โดยเมื่อพิจารณาที่ความชื้นเดียวกัน การใช้พลังงานบดอัดต่ำ ความเป็นกระจุกของดินมีมาก และจะน้อยลงเมื่อใช้พลังงานการบดอัดที่สูง เป็นผลให้โครงสร้างของดินชิดกันมากขึ้นด้วย เมื่อเติมน้ำเข้าไปโดยที่พลังงานคงที่ สังเกตเห็นว่าโครงสร้างของดินแน่นขึ้น อัตราส่วนช่องว่างลดลงจนกระทั่งเกินจุด OMC ลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงสร้างดินจะเป็นแบบขนานกันมากขึ้น เมื่อความชื้นยิ่งมากขึ้น ความเป็นระเบียบของโครงสร้างดินก็ยิ่งมากขึ้นตาม การที่โครงสร้างดินจัดเรียงตัวกันในแนวขนานถือว่าไม่ดี เพราะว่าเป็นระนาบที่อ่อนแอที่สุด โดยสรุปแล้วเขาพยายามตอบคำถามว่าทำไมจุดที่มีความหนาแน่นแห้งเท่ากันแต่ปริมาณน้ำไม่เท่ากัน เมื่อเขาใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูพบว่าการบดอัดดินในด้านแห้งมีผลทำให้โครงสร้างดินเป็นแบบระเกะระกะ (flocculated structure) ในทางตรงกันข้าม เมื่อเติมน้ำเกินจุด OMC เป็นการบดอัดทางด้านเปียก มีผลทำให้โครงสร้างดินเป็นแบบขนาน (dispersed structure) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 เมื่อพิจารณาที่ความหนาแน่นแห้งเท่ากัน โดยเปรียบเทียบดินบดอัดทางด้านแห้งกับดินบดอัดทางด้านเปียกพบว่า

- กำลังของดินสูงกว่า เนื่องจากความเครียด (strain) ของดินต่ำกว่า
- ค่าความซึมได้ของน้ำสูงกว่า เนื่องจากในมวลดินมีช่องว่างมากกว่า
- มีการหดตัวน้อยกว่า เนื่องจากปริมาณน้ำในมวลดินมีน้อยกว่า
- มีค่าการบวมตัวมากกว่า เนื่องจากมีช่องว่างที่น้ำสามารถสัมผัสกับพื้นผิวได้มากกว่า



รูปที่ 2.7 ผลกระทบของการบดอัดดินที่มีต่อโครงสร้างดิน

2.12 วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (sieve analysis) (มทช.(ท) 501.8-2545)

ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ เป็นการหาการกระจายของขนาดเม็ดดิน (particle size distribution) ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่ จนถึงขนาดเล็กที่มีขนาดช่องผ่าน 0.075 มม. (เบอร์ 200) แล้วเปรียบเทียบน้ำหนักที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง

นิยาม

การกระจายของขนาดเม็ดดิน หมายถึงการที่มวลดินประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาดต่าง ๆ กัน เช่น ตั้งแต่ 10 ซม. ลงมาจนกระทั่ง 0.0002 มม. ซึ่งคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดิน

การกระจายของขนาดเม็ดดิน แสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดดินในลอการิทึม (logarithm) อยู่บนแกนนอน และร้อยละโดยน้ำหนักของเม็ดที่มีขนาดเล็กกว่าที่ระบุ (percent finer) อยู่บนแกนตั้ง ซึ่งเรียกว่า กราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน (grainsize distribution curve)

วิธีทำ

เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

- ตะแกรงร่อนดิน (sieve) ช่องผ่านต้องเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดช่องผ่านต่าง ๆ ได้ขนาดตามต้องการ พร้อมเครื่องมือเขย่าตระแกรง
- เครื่องชั่ง แบบบาล๊านซ์ (balance) จะต้องสามารถชั่งได้ละเอียดถึงร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักตัวอย่าง
- ตู้อบ (oven) ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์)
- เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (sample splitter)
- แปรงทำความสะอาดตะแกรงชนิดลวดทองเหลือง และแปรงขน หรือแปรงพลาสติก
- ภาชนะสำหรับใช้แช่ และล้างตัวอย่างดิน ด้วยมือหรือด้วยชนิดใช้เครื่องเขย่า

การเตรียมตัวอย่าง

- การเตรียมตัวอย่างโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง

นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากันและแยกตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่างในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้นเพื่อลดการแยกตัว ถ้าตัวอย่างไม่มีส่วนละเอียดอาจจะแบ่งขณะที่ตัวอย่างแห้งอยู่ก็ได้ ถ้ามีส่วนละเอียดจับเป็นก้อนใหญ่หรือมีส่วนละเอียดจับกันเองเป็นก้อนต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุด

ออกจากก้อนใหญ่โดยให้ทุบแยกดินออกเป็นเม็ดอิสระด้วยค้อนยางแต่ต้องระวังอย่าให้แรงมากจนเม็ดดินแตก

- การเตรียมตัวอย่างโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง

นำตัวอย่างที่มีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อนไปแยกออกจากกันโดยใช้ค้อนยางทุบแล้วนำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) เพื่อหาน้ำหนักตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใช้ล้างตัวอย่าง โดยใช้น้ำยาล้างส่วนละเอียด ซึ่งเตรียมได้จากการละลายผลึกโซเดี่ยมเฮคซะเมตตาฟอสเฟต ซึ่งทำให้เป็นกลางด้วยโซเดี่ยมคาร์บอเนต (sodium hexametaphosphate buffered with sodium carbonate) 45.7 กรัม ละลายในน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนผสมกันให้ทั่วตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ซม. แล้วนำไปเขย่า ประมาณ 10 นาที ขณะเขย่าระวังอย่าให้น้ำกระฉอกออกจากภาชนะ เทตัวอย่างดินในภาชนะลงบนตะแกรงเบอร์ 200 ถ้าหากมีตัวอย่างขนาดใหญ่ปนอยู่มากควรใช้ตะแกรงที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 200 ซ้อนไว้ข้างบน แล้วใช้น้ำล้างจนกว่าไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อีก เทตัวอย่างลงในภาชนะแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์)

การทดสอบ

- นำตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง แล้วแต่จะต้องการทดสอบแบบใดมาโดยประมาณให้ได้ตัวอย่างเมื่อแห้งแล้วตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ขนาดคละของวัสดุ

ขนาดตะแกรง	น้ำหนักตัวอย่างไม่น้อยกว่า (กก.)
4.75 มม. (เบอร์ 4)	0.5
9.5 มม. (3/8 นิ้ว)	1.0
12.5 มม. (1/2 นิ้ว)	2.0
19.0 มม. (3/4 นิ้ว)	5.0
25.0 มม. (1 นิ้ว)	10.0
37.5 มม. (1 1/2 นิ้ว)	15.0
50.8 มม. (2 นิ้ว)	20.0
63.0 มม. (2 1/2 นิ้ว)	25.0
75.0 มม. (3 นิ้ว)	30.0
90.0 มม. (3 1/2 นิ้ว)	35.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง รวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่านานจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละชนิดใน 1 นาที ไม่เกินร้อยละ 1 ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือใช้เวลาเขย่านานทั้งหมดประมาณ 15 นาที เมื่อเขย่าเสร็จแล้วถ้ามีตัวอย่างก้อนใหญ่กว่าตะแกรง ขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ต้องไม่มีก้อนตัวอย่างซ้อนกันในตะแกรง และตัวอย่างที่มีเม็ดเล็กกว่าตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ต้องมีตัวอย่างค้างตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัม ต่อ 1,000 ตร.มม. หรือไม่เกิน 200 กรัม สำหรับตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มม. (8 นิ้ว) นำตัวอย่างที่ค้างแต่ละขนาดของตะแกรงไปชั่ง

การคำนวณ

- หาน้ำหนักที่ค้าง (weigh retained) บนตะแกรงแต่ละขนาดโดยชั่งน้ำหนักของตัวอย่างดินที่ค้างบนแต่ละตะแกรงและน้ำหนักที่หายไป เมื่อเอาน้ำหนักของตัวอย่างในทุกตะแกรงรวมกันแล้ว หักออกจากน้ำหนักตัวอย่างอบแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดสอบจะได้น้ำหนักของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 รวมกับน้ำหนักที่ค้างบนถาดรอง (pan)
- หาน้ำหนักที่ผ่าน (weight passing) ตะแกรงแต่ละขนาด โดยคิดจากบรรทัดล่างของช่องน้ำหนักที่ค้างขึ้นไป เอาน้ำหนักของน้ำหนักที่ค้างบนถาดรองเป็นช่องน้ำหนักที่ค้าง ของตะแกรง เบอร์ 200 รวมน้ำหนักของน้ำหนักที่ค้าง น้ำหนักช่องน้ำหนักที่ผ่าน ของตะแกรงเบอร์ 200 เป็นน้ำหนักของช่องน้ำหนักที่ผ่าน บรรทัดบนสุดจะเท่ากับน้ำหนักของตัวอย่างแห้งทั้งหมด ซึ่งใช้ทดสอบ
- คำนวณหาร้อยละผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก (percentage passing) ได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างแห้งทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ}} \times 100$$

การรายงาน

ให้รายงานค่าร้อยละ ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ โดยน้ำหนักด้วยทศนิยม 1 ตำแหน่ง

ข้อควรระวัง

- การแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง ต้องใช้เครื่องมือขนาดช่องกว้าง ประมาณ 1 1/2 เท่าของก้อนโตที่สุด
- ตรวจดูตะแกรงบ่อย ๆ ถ้าชำรุดต้องซ่อมก่อนใช้ โดยเฉพาะเบอร์ 200

- ห้ามใส่ตัวอย่างลงในตะแกรงขณะที่ยังร้อนอยู่
- การทุบตัวอย่างดินต้องไม่แรงมากจนทำให้เม็ดดินแตก
- การเขย่าอย่าเขย่านานจนตัวอย่างกระแทกแตกเป็นผง

2.13 วิธีการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน(modified compaction test) มทช.(ท) 501.2-2545

ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดิน กับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัดในแบบที่กำหนดขนาดไว้ด้วยตุ้มเหล็กหนัก 4.54 กก.(10 ปอนด์) ระยะปล่อยตุ้มตกกระทบสูง 457 มม. (18 นิ้ว) วิธีทดสอบ มี 4 วิธี ต่าง ๆ กันดังนี้

วิธี ก. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ตามวิธีพร็อกเตอร์แบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified proctor)

วิธี ข. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ตามวิธีแอสโต ที 180 (AASHTO T 180)

วิธี ค. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ตามวิธีพร็อกเตอร์แบบสูงกว่ามาตรฐาน

วิธี ง. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ตามวิธีแอสโต ที 180

การใช้วิธีทดสอบวิธีใดให้เป็นไปตามรายการที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง ถ้าไม่ได้ระบุวิธีการทดสอบให้ใช้ วิธี ก.

วิธีทำ

เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

- แบบ (mold) ทำด้วยโลหะมีลักษณะทรงกระบอกกลวง ผนังแข็งแรงมี 2 ขนาด มีปลอกที่สามารถถอดได้สูง 60 มม.(2 3/8 นิ้ว) เพื่อให้สามารถบดอัดดินให้สูง และมีปริมาตรตามต้องการ แบบและปลอกต้องยึดกันได้อย่างมั่นคงกับฐานแบบซึ่งสามารถถอดได้ ทำด้วยวัสดุชนิดเดียวกับ
- แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม.(4 นิ้ว) สูง 116.43±0.127 มม. (4.584±0.005 นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในแบบ 101.6±0.406 มม.

(4.000±0.016 นิ้ว) โดยมีขนาดความจุ 0.000943±0.000008 ลบ.ม (0.0333±0.0003 ลบ.ฟ.) และมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 60 มม. (2 3/8 นิ้ว)

- แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) สูง 116.43±0.127 มม.(4.584±0.005 นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในแบบ 152.4±0.6604 มม.(6.000±0.026 นิ้ว) โดยมีความจุ 0.002124±0.000021ลบ.ม.(0.07500±0.00075 ลบ.ฟ.) และมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 60 มม. (2 3/8 นิ้ว)
- ตุ้ม (rammer) ทำด้วยโลหะทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8±0.127 มม. (2.000±0.005 นิ้ว) น้ำหนักรวมทั้งด้ามถือ 2.5359±0.0081 กก.(10.00±0.05 ปอนด์) มีปลอกบังคับให้ยกได้สูง 457.2±1.524 มม. (18.00±0.06 นิ้ว) เหนือระดับดินที่บดอัดโดยตุ้มตกลงกระทบได้อย่างอิสระ ปลอกบังคับต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มม. (3/8 นิ้ว) ทำมุมกัน 90 องศา และห่างจากปลายปลอกทั้งสองข้างประมาณ 19 มม. (3/4 นิ้ว)
- เครื่องดันตัวอย่างออกจากแบบ (sample extruder) ประกอบด้วยแม่แรง (jack) ก้านโยกแม่แรง โครงเหล็กจับแบบขณะดันตัวอย่างออกจากแบบ ใช้ดันตัวอย่างที่บดอัดในแบบแล้วออกจากแบบ หรืออาจใช้เครื่องมืออย่างอื่น ที่สามารถขุดแคะตัวอย่างดินออกจากแบบก็ได้
- เครื่องชั่ง (balance and scale) สามารถชั่งน้ำหนักได้อย่างน้อย 11.5 กก. และอ่านละเอียดได้ถึง 5 กรัม 1 เครื่อง และสามารถชั่งน้ำหนักได้อย่างน้อย 1,000 กรัม อ่านละเอียดได้ถึง 0.01 กรัม อีก 1 เครื่อง
- ตู้อบ (oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) สำหรับอบดินชื้นให้แห้ง
- เหล็กปาดดิน (strainght edge) ทำด้วยเหล็กชุบแข็ง (hardened steel) มีขอบเรียบยาวไม่น้อยกว่า 254 มม. (10 นิ้ว) มีขอบที่ลบมุมด้านหนึ่ง อีกด้านหนึ่งเรียบตรงตลอดความยาวของเหล็กปาดดิน โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 0.1 (0.01 นิ้วต่อความยาว 10 นิ้ว) ในช่วงที่ใช้ปาดแต่งผิวดินในแบบ
- ตะแกรงร่อนดิน (sieve) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 203 มม.(8 นิ้ว) สูง 50.8 มม. (2 นิ้ว) มี 2 ขนาด คือ 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) และ 4.75 มม. (เบอร์ 4)
- เครื่องผสมดิน (mixing tool) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการคลุกผสมดินให้เข้ากัน ได้แก่ถาดใส่ดิน ช้อนตักดิน พลั่ว เกรียง ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ เป็นต้น หรืออาจเป็น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เครื่องผสมดินที่ทำงานด้วยเครื่องจักร ซึ่งสามารถคลุกเคล้าผสมตัวอย่างดินให้เข้ากับน้ำที่ผสมเพิ่มลงไปในตัวอย่างดินทีละน้อย ๆ ได้

- ตลับบรรจุดิน (container) ทำด้วยโลหะมีฝาปิดป้องกันความชื้นระเหยออกไปก่อนชั่งน้ำหนัก หรือระหว่างการชั่งน้ำหนักเพื่อหาความชื้นในดิน

การเตรียมตัวอย่าง

- ถ้าตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบชื้นให้ผึ่งให้แห้งจนสามารถใช้เกรียงบดให้ร่วนได้ หรือใช้ตู้อบอบดินให้แห้งก็ได้แต่ต้องใช้อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส (140 องศาฟาเรนไฮต์) แล้วบดให้เม็ดดินหลุดออกจากกัน โดยไม่ทำให้เม็ดดินแตก
- ในกรณีที่ขนาดของตัวอย่างก้อนใหญ่ที่สุดโตกว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ร่อนเอาดินที่ค้างบนตะแกรงนี้ออกแล้วแทนด้วยดินที่ร่อนผ่านตะแกรงนี้แล้วค้างบนตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) จำนวนน้ำหนักเท่ากันใส่ลงแทนแล้วคลุกเคล้าให้ทั่วทำการแบ่งสี่ (quartering) หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (sample splitter)
- ในกรณีที่ขนาดของตัวอย่างก้อนใหญ่ที่สุดไม่โตกว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ให้แบ่งตัวอย่างตามวิธีการแบ่งสีหรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง
- ในกรณีที่จะทำการทดสอบตามวิธี ค. หรือ ง. ให้ใช้ตัวอย่างที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) เท่านั้น ส่วนที่ค้างบนตะแกรงนี้ให้ทิ้งไป
- ให้เตรียมตัวอย่างหนักประมาณ 6,000 กรัม (14 ปอนด์) สำหรับการทดสอบวิธี ข. และ ง. ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง และหนักประมาณ 3,000 กรัม (7 ปอนด์) สำหรับการทดสอบวิธี ก. และ ค. ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง การเตรียมตัวอย่างต้องเตรียมให้พอทดสอบได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง

การทดสอบ

การทดสอบวิธี ก.

- นำตัวอย่างดินที่เตรียมมาพรมน้ำให้ทั่วเพื่อให้ดินชื้นโดยเมื่อคลุกผสมกันแล้วจะมีความชื้นต่ำปริมาณความชื้นที่ให้ความแน่นสูงสุด (optimum moisture content) ร้อยละ 4 ใส่ดินที่ผสมน้ำแล้ว ลงในแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4นิ้ว) ซึ่งมีปลอก (collar) สวมอยู่เรียบร้อยแล้ว โดยประมาณว่าเมื่อบดอัดแล้วจะเหลือดินสูง 1/5 ของความสูงของแบบ แล้วบดอัดโดยตุ้มยกสูง 457 มม. (18 นิ้ว) จำนวน 25 ครั้ง ให้ทั่วผิวของดินในแบบ
- ทำซ้ำอีก 4 ครั้ง จนดินที่ถูกบดอัดแน่นในแบบมีความสูงกว่าแบบประมาณ 10 มม.

- ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดดินปาดแต่งหน้าดินในแบบให้เรียบเท่ากับระดับขอบบนของแบบ ถ้าดินก้อนใหญ่หลุดออกให้เติมดินตัวอย่างลงไปแทนแล้วลดให้แน่นพอควรจนเรียบแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก เมื่อหักน้ำหนักของแบบออก จะได้น้ำหนักของดินชื้น ต้องอ่านเครื่องชั่งละเอียดถึง 5 กรัม
- แกะดินออกจากแบบ แล้วผ่าตามแนวตั้งผ่านจุดศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างดิน เก็บดินจากที่ผ่าประมาณ 300 กรัม ใส่ตลับบรรจุดินชั่งน้ำหนักทันที อ่านละเอียดถึง 0.01 กรัม
- นำดินในตลับบรรจุดินไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) อย่างน้อย 12 ชั่วโมง แล้วชั่งหาน้ำหนักอ่านละเอียดถึง 0.01 กรัม
- บดดินตัวอย่างที่แกะออกจากแบบที่เหลือให้ร่วน แล้วคลุกผสมกับดินในตอนแรกให้เข้ากัน พรมน้ำให้ความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ถึง 2
- ดำเนินการโดยเพิ่มน้ำทุกครั้งจนกว่าน้ำหนักดินที่บดอัดในแบบลดลง หรือไม่เปลี่ยนแปลง หรืออาจลดน้ำที่ผสมลงเมื่อพบว่าการเพิ่มน้ำแล้วน้ำหนักดินที่บดอัดในแบบกลับลดลง
- การทดสอบวิธี ข. ดำเนินวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับวิธี ก. แต่ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) บดอัด 3 ชั้น ๆ ละ 56 ครั้ง
- การทดสอบวิธี ค. ดำเนินวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับวิธี ก. แต่ใช้ตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) บดอัด 3 ชั้น ๆ ละ 25 ครั้ง
- การทดสอบวิธี ง. ดำเนินวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับวิธี ค. แต่ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) บดอัด 3 ชั้น ๆ ละ 56 ครั้ง

การคำนวณ

- คำนวณหาค่าความชื้นในดินเป็นร้อยละ

$$\mathrm{W} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

เมื่อ W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

W1 = น้ำหนักของดินชื้น หน่วยเป็นกรัม

W2 = น้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

- คำนวณหาค่าความแน่นชื้น (WET DENSITY)

$$\gamma_{\mathrm{W}} = \frac{A}{V}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อ γw = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

A = น้ำหนักดินชื้นที่บดอัดในแบบ หน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของแบบ ซึ่งเท่ากับปริมาตรของดินชื้นที่บดอัดในแบบหน่วย เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

- คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (dry density)

$$\gamma d = \frac{\gamma_w}{1+\frac{w}{100}}$$

เมื่อ γ_d = ความแน่นแห้งของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

γ_w = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

การรายงาน

- นำค่าความชื้นในดิน (W) และค่าความแน่นแห้งของดิน (γ_d) ในแต่ละครั้งของการทดสอบมากำหนดจุดลงในกระดาษกราฟ โดยให้ค่าความชื้นในดินอยู่ในแกนนอน และค่าความแน่นแห้งของดินอยู่ในแกนตั้ง
- เขียนเส้นกราฟให้ผ่านจุดที่กำหนดไว้ หรือใกล้เคียงให้มากที่สุด จะได้เส้นกราฟลักษณะเป็นเส้นโค้ง รูประฆังคว่ำ (parabola curve) จุดสูงที่สุดของเส้นโค้งคือค่าความแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density) ของดินนั้น ตามกรรมวิธีบดอัดที่ใช้ทดสอบนี้
- ที่จุดค่าความแน่นแห้งสูงสุดของดิน เมื่อลากเส้นตรงขนานกับแกนตั้งลงมาตัดแกนนอน จะได้ค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด
- ให้รายงานค่าความแน่นแห้งสูงสุด หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) เป็นร้อยละ

ข้อควรระวัง

- การประมาณปริมาตรน้ำที่ใช้ผสมดินที่เกาะติดกันเป็นก้อน (cohesive soil) ควรเผื่อให้ต่ำและสูงกว่าจำนวนน้ำ ที่ทำให้ได้ค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัด ได้แน่นสูงสุด (OMC) ดินพวกดินทราย (cohesionless soil) ควรผสมน้ำตั้งแต่น้อยที่สุด คือ เริ่มจากดินผึ่งแห้งจนกระทั่งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้
- ในการบดอัดดินให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคงแข็งแรง ราบเรียบ ขณะทำการบดอัดแบบต้องไม่กระดอนไปมา

- ควรเตรียมตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดสอบทางด้านแห้งกว่า (dry side) ความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) ไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง และให้มีตัวอย่างทดสอบพอทดสอบทางด้านชื้นกว่า (wet side) ความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) 1 ตัวอย่าง
- ดินชนิดที่มีปริมาณดินเหนียวมาก (heavy clay) หลัง จากผึ่งให้แห้งแล้วให้บดด้วยค้อนยางหรือใช้เครื่องบด จนได้ตัวอย่างที่สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) มากที่สุดเท่าที่จะทำได้
- ปริมาตรของแบบให้ทำการวัดและคำนวณเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ
- แบบที่ใช้งานแล้วต้องคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 50 ของความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1
2. ดินแดง
3. เถ้าลอย (Fly Ash)
4. น้ำสะอาด
5. ถังหิ้วปูน
6. จอบ – พลั่ว
7. ตาชั่ง
8. บัวรดน้ำ
9. กะบะผสมปูน
10. ช้อนตักส่วนผสม
11. เครื่องบดร่อนวัตถุดิบ
12. เครื่องผสม
13. เครื่องอัดบล็อกประสาน (Cinva Ram) แบบมือโยกด้วยแรงคน
14. แผ่นรองบล็อกประสาน
15. ชั้นวางบล็อกประสาน

3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

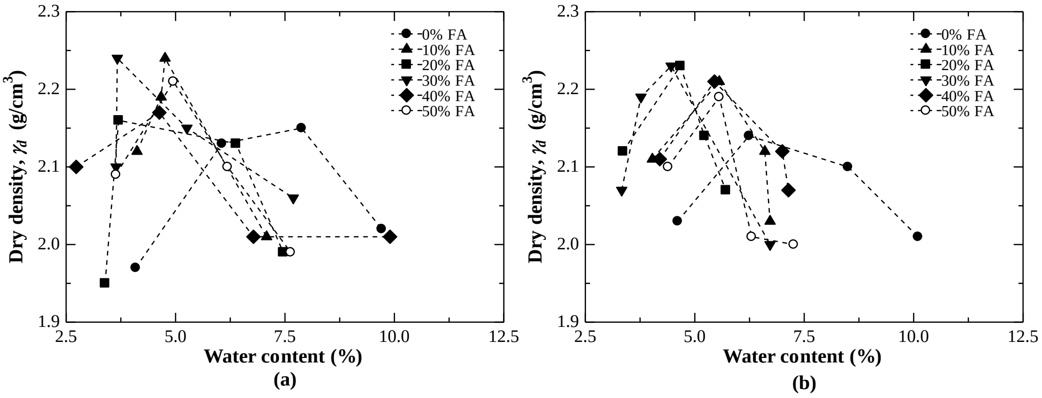
1. เตรียมวัตถุดิบโดยการบดร่อนดินแดง ให้ผ่านตะแกรงขนาด 4 มม. ให้ได้ปริมาณมากพอที่จะทำงานวิจัยได้
2. หาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content ;OMC) โดยการทำ Compaction Test ด้วยวิธี Modified Proctor Test ของแต่ละอัตราส่วนผสม แล้วนำค่า OMC ที่ได้มากำหนดเป็นปริมาณน้ำที่ต้องใช้เป็นส่วนผสมในการทำบล็อกประสานของแต่ละอัตราส่วน
3. นำวัสดุที่จะใช้ คือปูนซีเมนต์ เถ้าลอย ดินแดง และน้ำ มาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่กำหนด ดังนี้
   - อัตราส่วนผสม ระหว่าง (ปูนซีเมนต์ + เถ้าลอย) ต่อดินแดง ที่ใช้เท่ากับ 1:6 และ 1:8

- นำปูนซีเมนต์มาผสมกับเถ้าลอยในสัดส่วน ปูนซีเมนต์ 90% + เถ้าลอย 10% (กรณีที่ใช้เถ้าลอยแทนที่ 10%) คลุกเคล้าให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน โดยถือว่าเป็นหนึ่งส่วน
- จากนั้นนำส่วนผสมดังกล่าวมาผสมกับดินแดงที่เตรียมไว้แล้วหกส่วน เสร็จแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน (ใช้วิธีผสมแห้ง)
- เสร็จแล้วเติมน้ำตามอัตราส่วนของค่า OMC ที่หามาได้ โดยใช้วิธีการพรมน้ำด้วยบัวรดน้ำ แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน
- นำส่วนผสมที่ได้ที่แล้วไปอัดขึ้นรูปในเครื่องอัดบล็อกประสาน (Cinva Ram) แบบมือโยกด้วยแรงคน
- ใช้แผ่นพลาสติกกันชื้นหุ้มบล็อกประสานที่ขึ้นรูปแล้ว ไปบ่มต่อจนอายุครบ 7 , 14 และ 28 วัน
- นำบล็อกประสานที่บ่มครบระยะเวลาแล้ว ไปกดทดสอบเพื่อหากำลังอัดของบล็อกประสาน (Compressive Strength) ที่ 7 , 14 , 28 วัน
- ในกรณีดังกล่าวข้างบนนี้ เป็นการทดสอบอัตราส่วนผสม การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 10 ส่วนอัตราส่วนผสมอื่นๆที่เหลือก็มีวิธีการทำเช่นเดียวกันเพียงแต่เป็นการลดปูนซีเมนต์ลงแล้วเพิ่มเถ้าลอยเข้าไปแทนที่

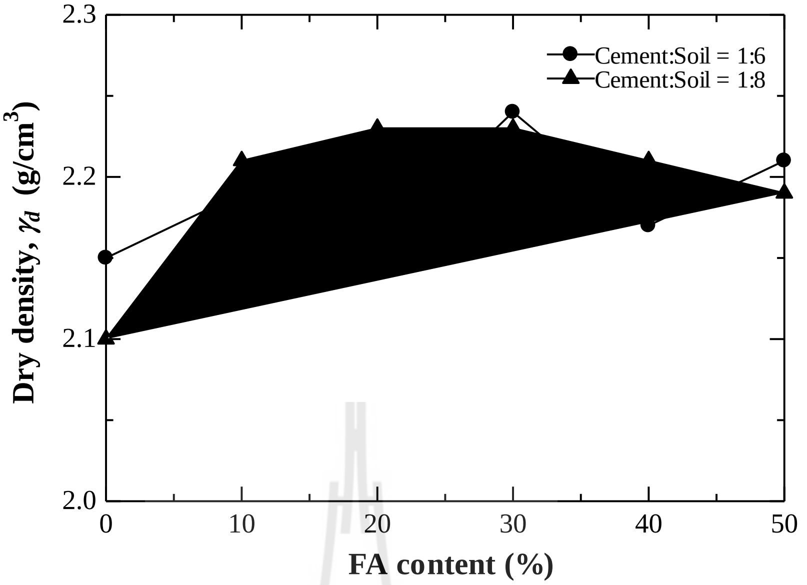
4. ในการทดสอบนี้ จะใช้ส่วนผสม (ปูนซีเมนต์ + เถ้าลอย) ต่อดินแดง ที่อัตราส่วนผสม 1:6 และ 1:8 โดยน้ำหนักและจะทำการปรับเปลี่ยนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ของปูนซีเมนต์ โดยใช้น้ำตามปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content ; OMC) จากการทำ Compaction Test ด้วยวิธี Modified Proctor Test ของแต่ละอัตราส่วนผสม
5. นำผลที่ได้มาศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเพื่อวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการเพิ่มเถ้าลอยเข้าไปในส่วนผสม
6. สรุปผลการศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตบล็อกประสาน
7. สรุปผลการศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตบล็อกประสาน
8. คำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตบล็อกประสานด้วยปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตบล็อกประสานด้วยปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว

บทที่ 4
ผลทดสอบและวิเคราะห์ผล

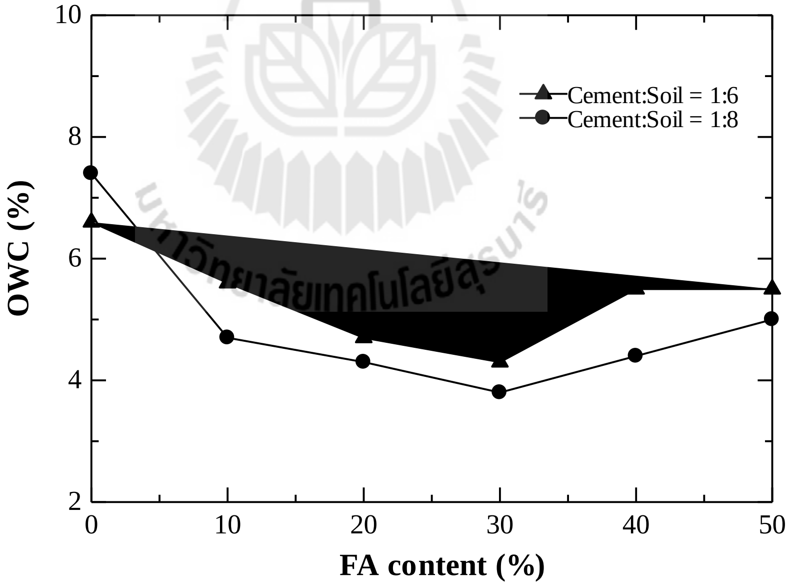
รูปที่ 4.1 แสดงผลทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่าความหนาแน่นแห้งและปริมาณน้ำเหมาะสม สำหรับนำไปอัดบล็อกประสานเถ้าลอย ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดิน (Cement/Soil) เท่ากับ 1/6 และ 1/8 ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1/6 ความแน่นแห้งสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.15, 2.24, 2.17, 2.24, 2.17 และ 2.21 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และปริมาณน้ำเหมาะสม (OWC) มีค่าเท่ากับร้อยละ7.40, 4.70, 4.30, 3.80, 4.40 และ 5.00 สำหรับอัตราส่วนการแทนที่ด้วย เถ้าลอย (FA) เท่ากับร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1/8 ความแน่นแห้งสูงสุดมีเท่ากับ 2.14, 2.21, 2.23, 2.23, 2.21 และ 2.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และปริมาณความชื้นเหมาะสมมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.60, 5.60, 4.70, 4.30, 5.50 และ 5.50 สำหรับอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอย (FA) เท่ากับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ การวิเคราะห์ผลทดสอบการบดอัด (รูปที่ 4.2 และ 4.3) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอยช่วยเพิ่มความหนาแน่นแห้ง อย่างไรก็ตาม เมื่ออัตราส่วนการแทนที่มีค่าเกินร้อยละ 30 ความแน่นแห้งมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการแทนที่ ในขณะที่ การเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ด้วย เถ้าลอยทำให้ปริมาณความชื้นเหมาะสม (OWC) มีค่าลดลงจนถึงจุดที่อัตราส่วนการแทนที่มีค่าเท่ากับ 30 หลังจากนั้นค่า OWC จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งในกรณีของอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1/6 และ 1/8 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเถ้าลอย (มีขนาดเม็ดที่เล็กและมีลักษณะกลม) สามารถเข้าไปแทรกระหว่างเม็ดดินได้ง่ายเมื่อบดอัด ทำให้หน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณเถ้าลอยเกินร้อยละ 30 หน่วยน้ำหนักของดินมีแนวโน้มลดน้อยลง เนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่ค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่า เถ้าลอย มีปริมาณลดลง



รูปที่ 4.1 a) กราฟการบดอัดของบล็อกประสานเถ้าลอยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1/6 และ b) กราฟการบดอัดของบล็อกประสานเถ้าลอยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1/8



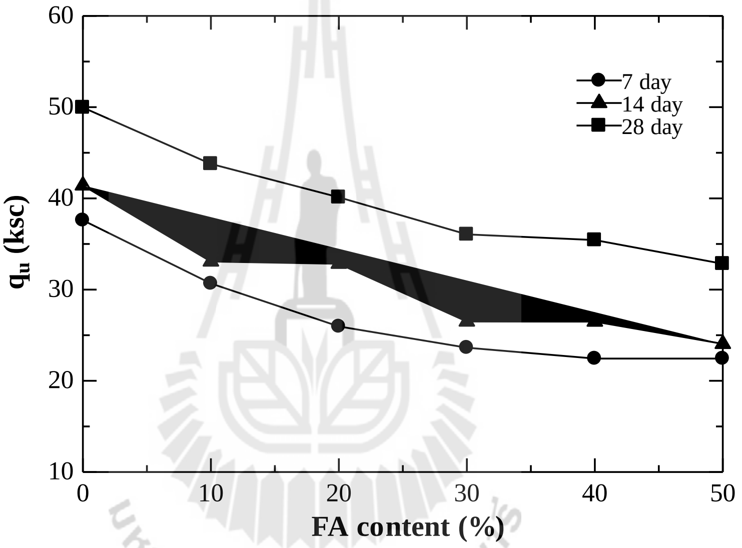
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งกับอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอย



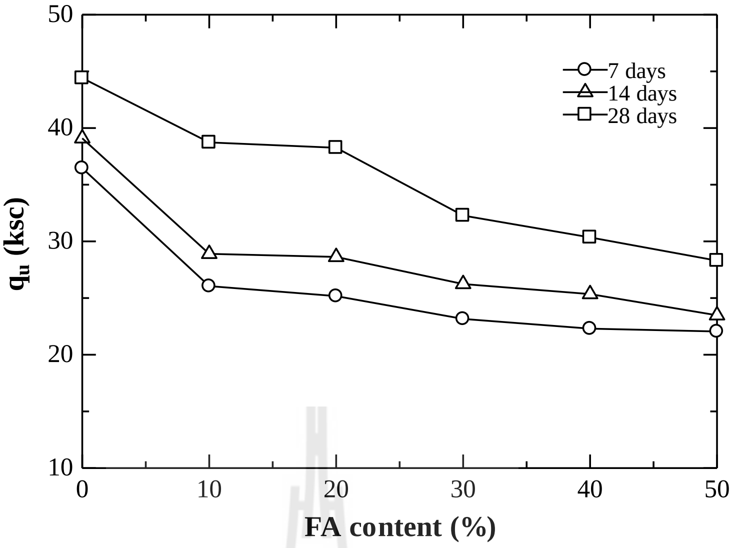
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำเหมาะสมกับอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอย

รูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย สำหรับอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1/6 และ 1/8 ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณ

อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอยทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างลดลง กำลังรับแรงอัดในกรณีของอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1/6 ที่อายุบ่ม 28 วัน มีค่าสูงถึง 49.96 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่ากำลังรับแรงอัดในกรณีของ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1/8 (เท่ากับ 44.41 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) เนื่องจากปูนซีเมนต์และเถ้าลอยที่ใช้ในกรณีแรกมีมากกว่า กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอย แม้ว่าความหนาแน่นแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ในช่วงอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอยน้อยกว่าร้อยละ 30) สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าความแน่นแห้งไม่ได้เป็นตัวควบคุมกำลังรับแรงอัด แต่ตัวแปรหลักที่ควบคุมการพัฒนากำลังอัดคือปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดจากปริมาณปูนซีเมนต์

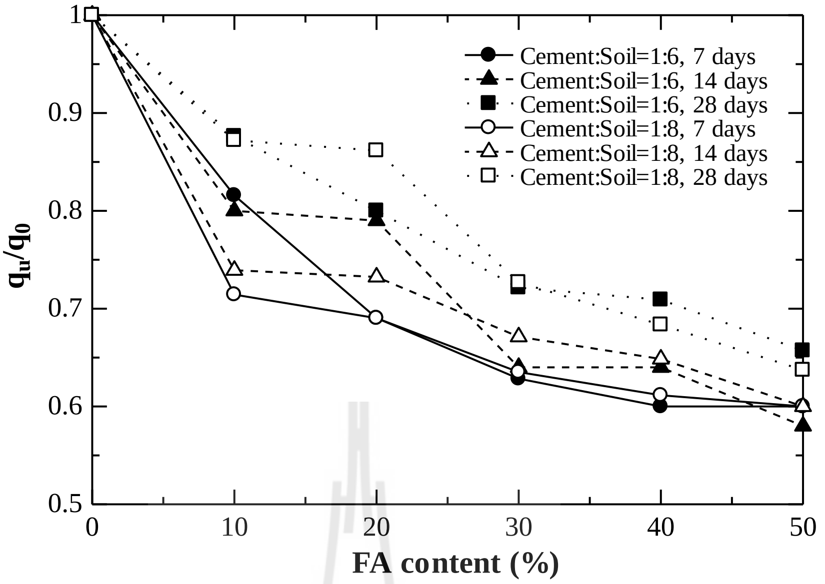


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอยของบล็อกประสานเถ้าลอยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1/6



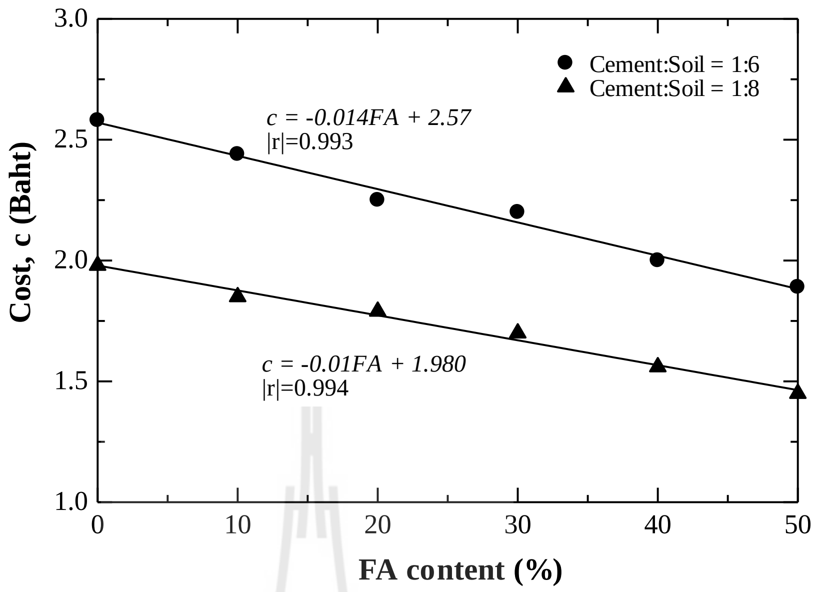
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าลอยของบล็อกประสานเถ้าลอยอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ1/8

รูปที่ 4.6 แสดงผลเปรียบเทียบการลดลงของกำลังอัดตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอย เมื่อใช้กำลังอัดของบล็อกประสาน (ไม่แทนที่ด้วยเถ้าลอย) เป็นค่าอ้างอิง จะเห็นได้ว่าการลดของอัตราส่วนกำลังอัดมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันสำหรับอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินทั้งสองค่า หรืออาจกล่าวได้ว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในช่วงเวลาทดสอบ 7 ถึง 28 วัน ยังไม่แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของเถ้าลอยในด้านกำลัง อย่างไรก็ตาม ที่อายุบ่มเกินกว่า 28 วัน กำลังรับแรงอัดของบล็อกประสานเถ้าลอยอาจมีค่าเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับบล็อกประสาน เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลาน ซึ่งต้องใช้เวลานานในการพัฒนาปฏิกิริยา



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอย

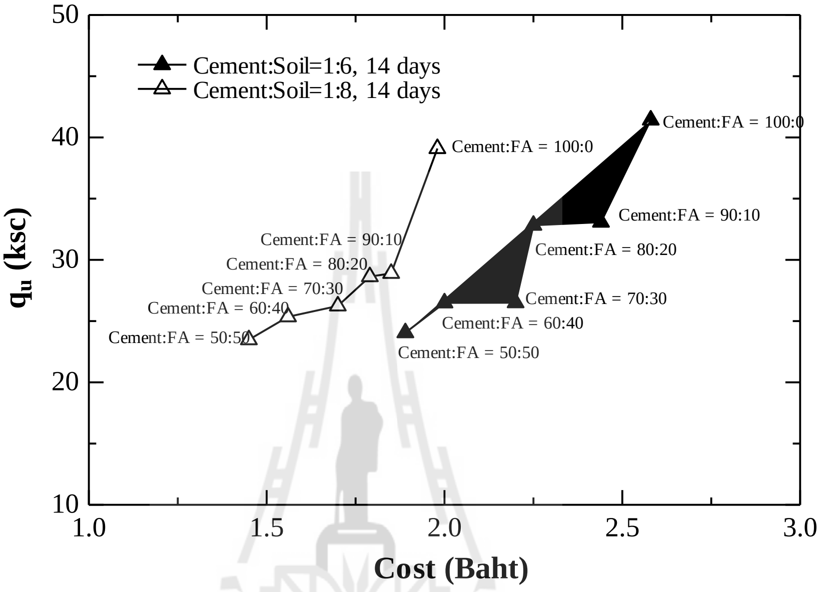
ราคาของบล็อกประสานเถ้าลอยแปรผันตามอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย และปริมาณปูนซีเมนต์ ดังนั้น ราคาผลิตของส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดินที่เท่ากับ 1/6 และ 1/8 จึงไม่เท่ากัน รูปที่ 4.7 แสดงต้นทุนการผลิตต่อหน่วยที่ลดลงตามปริมาณอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย จะเห็นได้ว่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของบล็อกประสานเถ้าลอยลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยและมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง เนื่องจาก เถ้าลอย (1,000 บาทต่อตัน) มีราคาที่ต่ำกว่าปูนซีเมนต์ (2,000 บาทต่อตัน) อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1 ต่อ 6 มีราคาต้นทุนในการผลิตบล็อกประสานเถ้าลอยที่สูงกว่าอัตราส่วนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1 ต่อ 8 เนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์และเถ้าลอยที่ผสมมีสัดส่วนที่มากกว่า อย่างไรก็ตาม การจะกล่าวว่าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยมีประสิทธิภาพสูงเพียงใดในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐ์ศาสตร์ จำเป็นต้องเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและต้นทุนการผลิตต่อหน่วย



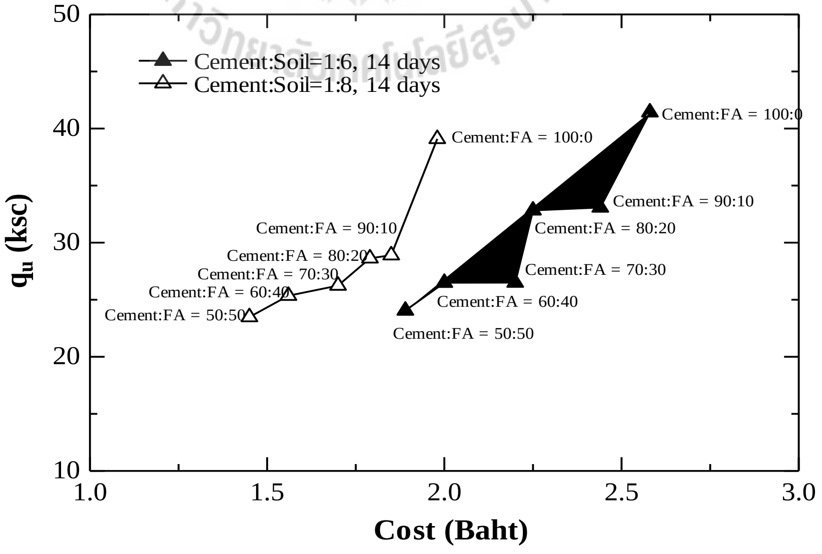
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างราคากับปริมาณเถ้าลอย

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตบล็อกประสานเถ้าลอย ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน เนื่องจากทั้งกำลังรับแรงอัดและต้นทุนต่อหน่วยของบล็อกประสานเถ้าลอยต่างก็ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย ดังนั้น กำลังรับแรงอัดและราคาต้นทุนการผลิตต่อหน่วยจึงแปรผันตรง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่ากำลังรับแรงอัดที่อายุบ่ม 7 ถึง 28 วัน มีค่าลดลงตามราคาต้นทุนการผลิต ผลทดสอบกำลังรับแรงอัดในรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าบล็อกประสานเถ้าลอยที่ผลิตขึ้นนี้ไม่สามารถใช้งานในรูปแบบของบล็อกรับแรง แบกทาน (Bearing unit) ซึ่งมาตรฐานอุตสาหกรรมไทยกำหนดกำลังรับแรงอัดต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อย่างไรก็ตาม บล็อกดังกล่าวสามารถใช้งานในรูปแบบของบล็อก ไม่รับแรงแบกทาน (Non-bearing unit) ซึ่งกำลังรับแรงอัดต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อพิจารณาอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินทั้งสอง (1/6 และ 1/8) อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินที่เท่ากับ 1/8 ให้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า ที่กำลังรับแรงอัดที่เท่ากัน อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินที่เท่ากับ 1/8 มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินที่เท่ากับ 1/6 ประมาณร้อยละ 23 เมื่อพิจารณากำลังอัดที่เท่ากับ 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเท่ากับ 1.90 บาท ที่อายุบ่ม 7 วัน สำหรับอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยที่เหมาะสมเท่ากับ 92:8 ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเท่ากับ 1.85 บาท ที่อายุบ่ม 14 วัน สำหรับอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยที่เหมาะสมเท่ากับ 87:13 และต้นทุน

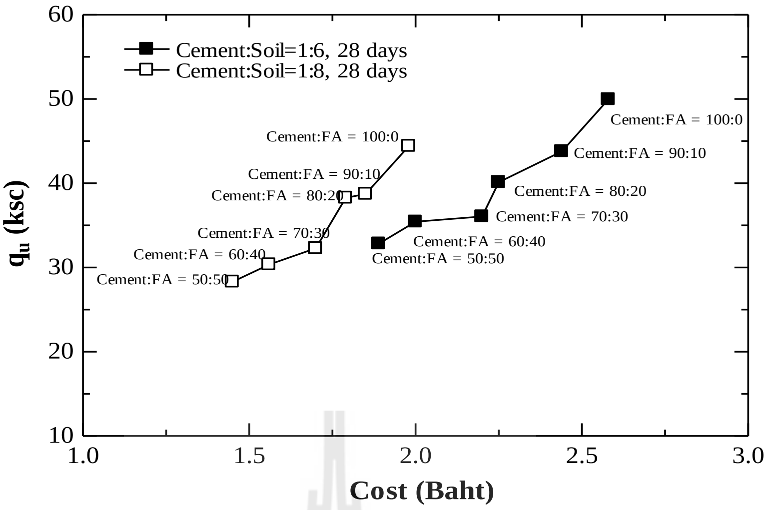
การผลิตต่อหน่วยเท่ากับ 1.58 บาท ที่อายุบ่ม 28 วัน สำหรับอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยที่เหมาะสมเท่ากับ 60:40 จะเห็นได้ว่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วย มีค่าลดลงตามอายุบ่ม อย่างไรก็ตาม หากผู้ผลิตต้องการลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยโดยการเพิ่มอายุบ่ม ผู้ผลิตจำเป็นต้องมีพื้นที่ในการเก็บบล็อกประสานเถ้าลอยเพียงพอ



ก) อายุบ่ม 7 วัน



ข) อายุบ่ม 14 วัน



ค) อายุบ่ม 28 วัน

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับต้นทุนต่อหน่วยของบล็อกประสานเถ้าลอย

บทที่ 5
สรุปผลทดสอบ

1. ความหนาแน่นแห้งของบล็อกประสานเถ้าลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของปริมาณ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย อัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอยที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 30 การเพิ่มขึ้นของหน่วยน้ำหนักแปรผันตรงกับการลดลงของปริมาณความชื้นเหมาะสม
2. กำลังรับแรงอัดของบล็อกประสานเถ้าลอยลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าลอย แม้ว่าความหนาแน่นแห้งจะมีค่าสูงขึ้น ผลทดสอบนี้นำมาซึ่งบทสรุปที่ว่าปฏิกิริยา ไฮเดรชั่นเป็นตัวควบคุมกำลังรับแรงอัด โดยที่ ความหนาแน่นแห้งไม่มีอิทธิพลมากนัก
3. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยเป็นฟังก์ชั่นเชิงเส้นตรง สำหรับอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1/6 และ 1/8 หรือกล่าว อีกนัยหนึ่งว่า ในช่วงอายุบ่ม 7 ถึง 28 วัน การพัฒนากำลังอัดแปรผันอย่างมากกับปริมาณปูนซีเมนต์
4. ภายใต้กำลังรับแรงอัดที่เท่ากัน อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินที่เท่ากับ 1/8 ใช้ต้นทุนการผลิตที่ ต่ำกว่าอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1/6 ส่วนผสมที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้เหมาะสมกับการผลิตบล็อกไม่รับแรงแบกทาน (Non-bearing unit) ซึ่งกำลังรับแรงอัดมีค่าไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หากพิจารณากำลังรับแรงอัดที่เท่ากับ 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยที่เหมาะสมเท่ากับ 92:8, 87:13 และ 60:40 ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ด้วยต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเท่ากับ 1.90, 1.85 และ 1.58 บาท ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., Sinsiri, T. (2007). “**Effect of fly ash fineness on microstructure of blended cemented paste”,** Construction and Building Materials, Vol.21, No.7, pp. **1534-1541**.

Homwuttiwong, S., Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul. C. (2012) **“Strength and water permeability of concrete containing various types of fly ashes and filter material**” International Journal of Materials Research, Vol.103, No.8, pp.1058-1064.

Sinsiri, T., Kroehong, W., Jaturapitakkul, C. Chindaprasirt, P (2012). “**Assessing the effect of biomass ashes with different finenesses on the compressive strength of blended cement paste”,** material and Design, Vol. 42, pp. 424-433.

R. Somna, C. Jaturapitakkul, and A.M. Made, **“Effect of ground fly ash and ground bagasse ash on the durability of recycled aggregate concrete”,** Cement and Concrete Composite, 2012, 34, 848-854.

R. Somna, C. Jaturapitakkul, W. Chalee, and P. Rattanachu**, “Effect of the water to binder ratio and ground fly ash on properties of recycled aggregate concrete”,** Journal of Materials in Civil Engineering, 2012, *24*(1), 16-22.

T. Sinsiri, P. Chindaprasirt, and C. Jaturapitakkul, **“Influence of fly ash fineness and shape on the porosity and permeability of blended cement pastes”,** International Journal of Minerals Metallurgy and Materials 2010, 17(6), 683-690.

Hansen, T.C. and Narud, H., (1983), **Strength of Recycled Concrete Made from Crushed Concrete Coarse Aggregate**, Concrete International – Design and Construction, Vol. 5, No.1, pp. 79-83.

สุกิจ นามพิชญ์ และคณะ (2549) **คู่มือการทดสอบทางปฐพีกลศาสตร์** เล่มที่ 1 สำนักงานกองทุนการวิจัยแห่งชาติ (สกว.)

สันชัย อินทพิชัย และพานิช วุฒิพฤกษ์ (2547) **ปฐพีกลศาสตร์** พิมพ์ครั้งที่ 1

CPAC คอนกรีตเทคโนโลยี, (2000), **คู่มือการทดสอบ หิน ทราย และคอนกรีต (C),** 101 หน้า.

พิภพ สุนทรสมัย, 2543, **ช่างปูนก่อสร้าง**

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, (2540), **คอนกรีตเทคโนโลยี**, พิมพ์ครั้งที่ 4, บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม.

มณเฑียร กังศศิเทียม(2539)**กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม** พิมพ์ครั้งที่ 7

มาตรฐานงานช่างกรมโยธาธิการ (มยผ.) ปี 2538

วินิต ช่อวิเชียร, 2527, **คอนกรีตเทคโนโลยี**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

ตารางและรูปแสดงข้อมูลการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (เทียบเท่า AASHTO T 180)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อัตราส่วนผสม 1:6 กรณี ลดปูนซีเมนต์ ⇨ เพิ่มเถ้าลอย 10 %

	1		6
	(ปูนซีเมนต์ + เถ้าลอย)		: ดินแดง
(%)	90	10	

1. ชั่ง นน. Mold

1	2	3	4	
4,050	4,050	4,050	4,050	

2. เตรียมดินแดงร่อนผ่านตะแกรง ¾" (19 มม.) 3,000 g.
3. ดังนั้น...ใช้ปูนซีเมนต์.... กรัม + เถ้าลอย .... กรัม ผสมดินแดง 3,000 g.

	1	2	3	4	
ปูนซีเมนต์ (g.)	450.00	450.00	450.00	450.00	
เถ้าลอย (g.)	50.00	50.00	50.00	50.00	
ดินแดง (g.)	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	
รวม	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	

4. เติมน้ำ(ประมาณ..... %)

(%)	4	6	8	10	
(g.)	140.00	210.00	280.00	350.00	

5. ตักตัวอย่างดินใส่แบบ(Mold) กะให้ได้ 1/5 ของแบบ (ประมาณ 2.5-3.0 cm. เมื่อบดทับแล้ว)
6. ใช้ค้อนบดทับ ชั้นละ 25 ครั้ง ให้ได้ จำนวน 5 ชั้น
7. ในขณะบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋อง ประมาณ 100 กรัม ไปอบดิน *(ต้องชั่งกระป๋องเปล่าก่อน)*

		1	2	3	4	5
		E-1	E-3	E-5	A-5	
(g.)	นน.กระป๋อง	25	24	24	33	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (เปียก)	126	134	136	154	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (แห้ง)	122	129	131	146	

8. ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดหน้าให้เรียบ
9. นำไปชั่ง นน. จะได้ มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ (หักมวลของแบบออกจะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก)

		1	2	3	4	
(g.)	นน.mold + ดิน	6,106.00	6,236.00	6,183.90	6,047.00	

10. คำนวณค่าความแน่นเปียก(wet density) และความแน่นแห้ง(dry density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน (moisture content)
11. ดำเนินการตามข้อ 1 ถึง ข้อ 10 ใหม่โดยเพิ่มน้ำอีกครั้งละ......2......% จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางแสดงผลของข้อมูล | 1:6 | 90 : 10

การทดสอบการบดอัด
Compaction Test

Project Name	:	thesis	Date of Test	:6/3/56	Sample No.	:	
Location	:	rmu	Test by	:	Boring No.	:	
Soil Sample	:	kku	Checked by	:sr	Depth (m)	:	

☐ Standard Test ☐ Modified Test	Blow per Layer 25	Number of Layer 5
Weight of Hammer 4.54 kg.	Height of Mold 11.44 cm.	Diameter of Mold 10.17 cm.

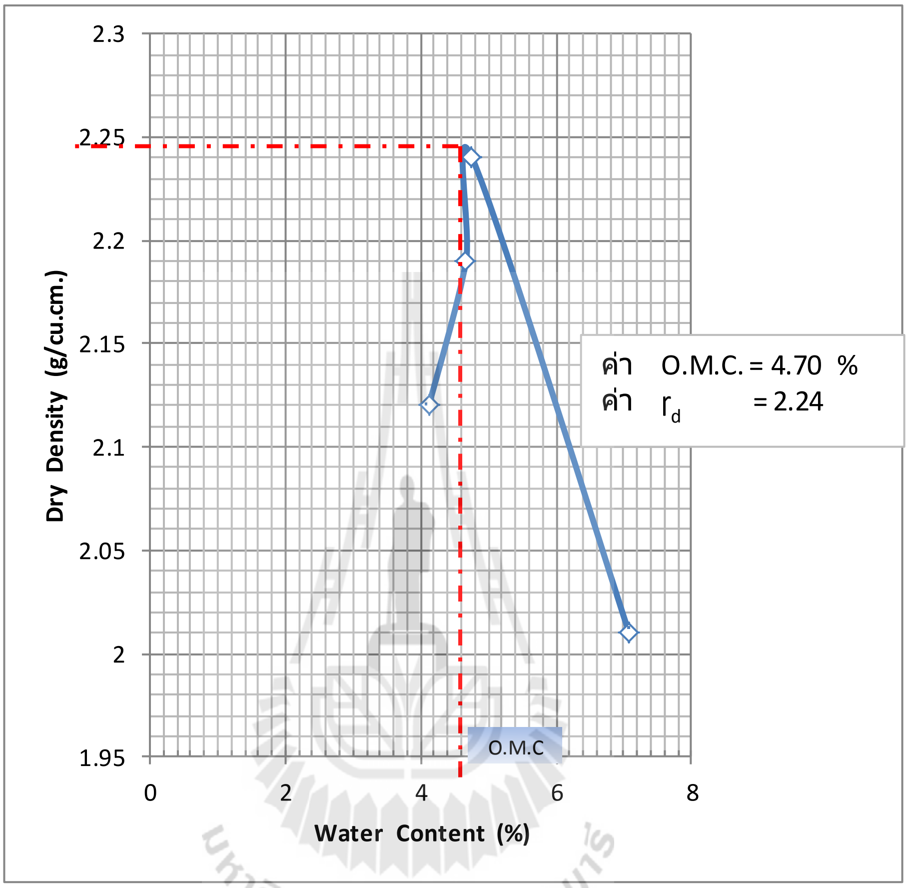
Water Content Determination

Sample No.		1	2	3	4	
Moisture Can No.	(g)	E-1	E-3	E-5	A-5	
Wt.of Can + Wet Soil	(g)	126.00	134.00	136.00	154.00	
Wt.of Can + Dry Soil	(g)	122.00	129.00	131.00	146.00	
Wt.of Can	(g)	25.00	24.00	24.00	33.00	
Wt.of Water	(g)	4.00	5.00	5.00	8.00	
Wt.of Dry Soil	(g)	97.00	105.00	107.00	113.00	
Water Content	(%)	4.12	4.76	4.67	7.08	

Density Determination

Wt.of Soil + Mold	(g)	6,106.00	6,236.00	6,183.90	6,047.00	
Wt.of Mold	(g)	4,050.00	4,050.00	4,050.00	4,050.00	
Water Content	(g)	4.12	4.76	4.67	7.08	
Wt.of Soil in Mold	(g)	2,056.00	2,186.00	2,133.90	1,997.00	
Wet Density	(g/cm^3)	2.21	2.35	2.30	2.15	
Dry Density	(g/cm^3)	2.12	2.24	2.19	2.01	

4.12	4.67	4.76	7.08
2.12	2.19	2.24	2.01



อัตราส่วนผสม 1:6 กรณี ลดปูนซีเมนต์ ⇨ เพิ่มเถ้าลอย 20 %

	1		6
	(ปูนซีเมนต์ + เถ้าลอย)		: ดินแดง
(%)	80	20	

1. ชั่ง นน. Mold

1	2	3	4	
4,050	4,050	4,050	4,050	

2. เตรียมดินแดงร่อนผ่านตะแกรง ¾" (19 มม.) 3,000 g.
3. ดังนั้น...ใช้ปูนซีเมนต์.... กรัม + เถ้าลอย ……..... กรัม ผสมดินแดง 3,000 g.

	1	2	3	4	
ปูนซีเมนต์ (g.)	400.00	400.00	400.00	400.00	
เถ้าลอย (g.)	100.00	100.00	100.00	100.00	
ดินแดง (g.)	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	
รวม	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	

4. เติมน้ำ(ประมาณ….. %)

	1	2	3	4	
(%)	4	6	8	10	
(g.)	140.00	210.00	280.00	350.00	

5. ตักตัวอย่างดินใส่แบบ(Mold) กะให้ได้ 1/5 ของแบบ (ประมาณ 2.5-3.0 cm. เมื่อบดทับแล้ว)
6. ใช้ค้อนบดทับ ชั้นละ 25 ครั้ง ให้ได้ จำนวน 5 ชั้น
7. ในขณะบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋อง ประมาณ 100 กรัม ไปอบดิน *(ต้องชั่งกระป๋องเปล่าก่อน)*

		1	2	3	4	
		A-1	A-3	A-5	C-5	
(g.)	นน.กระป๋อง	25	25	24	24	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (เปียก)	147	137	124	168	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (แห้ง)	143	133	118	158	

8. ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดหน้าให้เรียบ
9. นำไปชั่ง นน. จะได้ มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ (หักมวลของแบบออกจะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก)

		1	2	3	4	
(g.)	นน.mold + ดิน	5,923.00	6,134.00	6,158.00	6,035.00	

10. คำนวณค่าความแน่นเปียก(wet density) และความแน่นแห้ง(dry density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน (moisture content)
11. ดำเนินการตามข้อ 1 ถึง ข้อ 10 ใหม่โดยเพิ่มน้ำอีกครั้งละ……2…...% จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง

ตารางแสดงผลของข้อมูล | 1:6 | 80 : 20

การทดสอบการบดอัด
Compaction Test

Project Name	: thesis	Date of Test	:6/3/56	Sample No.	:
Location	: rmu	Test by	:	Boring No.	:
Soil Sample	: kku	Checked by	:sr	Depth (m)	:

☐ Standard Test ☐ Modified Test	Blow per Layer 25	Number of Layer 5
Weight of Hammer 4.54 kg.	Height of Mold 11.44 cm.	Diameter of Mold 10.17 cm.

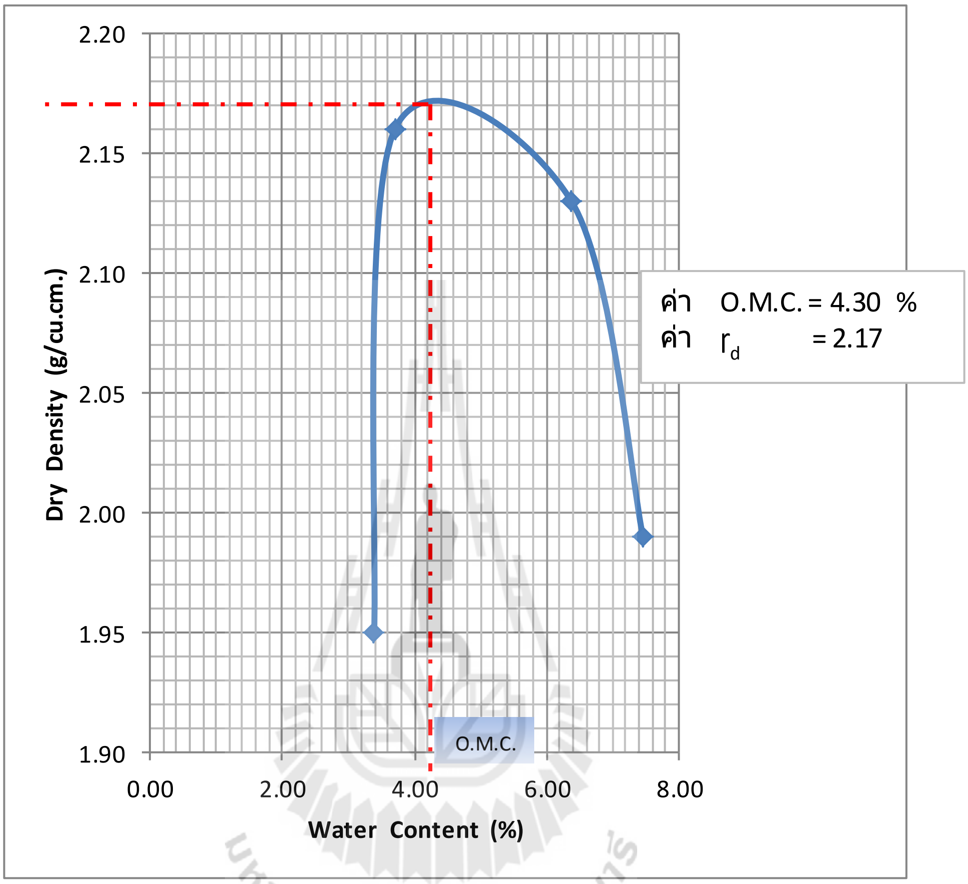
Water Content Determination

Sample No.		1	2	3	4	
Moisture Can No.	(g)	A-1	A-3	A-5	C-5	
Wt.of Can + Wet Soil	(g)	147.00	137.00	124.00	168.00	
Wt.of Can + Dry Soil	(g)	143.00	133.00	118.00	158.00	
Wt.of Can	(g)	25.00	25.00	24.00	24.00	
Wt.of Water	(g)	4.00	4.00	6.00	10.00	
Wt.of Dry Soil	(g)	118.00	108.00	94.00	134.00	
Water Content	(%)	3.39	3.70	6.38	7.46	

Density Determination

Wt.of Soil + Mold	(g)	5,923.00	6,134.00	6,158.00	6,035.00	
Wt.of Mold	(g)	4,050.00	4,050.00	4,050.00	4,050.00	
Water Content	(g)	3.39	3.70	6.38	7.46	
Wt.of Soil in Mold	(g)	1,873.00	2,084.00	2,108.00	1,985.00	
Wet Density	(g/cm^3)	2.01	2.24	2.27	2.14	
Dry Density	(g/cm^3)	1.95	2.16	2.13	1.99	

3.39	3.70	6.38	7.46
1.95	2.16	2.13	1.99



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อัตราส่วนผสม 1:6 กรณี ลดปูนซีเมนต์ ⇨ เพิ่มเถ้าลอย 30 %

	1		6
	(ปูนซีเมนต์ + เถ้าลอย)		: ดินแดง
(%)	70	30	

1. ชั่ง นน. Mold

1	2	3	4	
4,050	4,050	4,050	4,050	

2. เตรียมดินแดงร่อนผ่านตะแกรง ¾" (19 มม.) 3,000 g.
3. ดังนั้น...ใช้ปูนซีเมนต์.... กรัม + เถ้าลอย .... กรัม ผสมดินแดง 3,000 g.

	1	2	3	4	
ปูนซีเมนต์ (g.)	350.00	350.00	350.00	350.00	
เถ้าลอย (g.)	150.00	150.00	150.00	150.00	
ดินแดง (g.)	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	
รวม	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	

4. เติมน้ำ(ประมาณ.....%)

(%)	4	6	8	10	
(g.)	140.00	210.00	280.00	350.00	

5. ตักตัวอย่างดินใส่แบบ(Mold) กะให้ได้ 1/5 ของแบบ (ประมาณ 2.5-3.0 cm. เมื่อบดทับแล้ว)
6. ใช้ค้อนบดทับ ชั้นละ 25 ครั้ง ให้ได้ จำนวน 5 ชั้น
7. ในขณะบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋อง ประมาณ 100 กรัม ไปอบดิน *(ต้องชั่งกระป๋องเปล่าก่อน)*

		1	2	3	4	
		B-1	B-3	B-5	E-5	
(g.)	นน.กระป๋อง	28	28	33	24	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (เปียก)	142	141	133	136	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (แห้ง)	138	137	128	128	

8. ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดหน้าให้เรียบ
9. นำไปชั่ง นน. จะได้ มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ (หักมวลของแบบออกจะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก)

		1	2	3	4	
(g.)	นน.mold + ดิน	6,078.00	6,207.00	6,154.00	6,110.00	

10. คำนวณค่าความแน่นเปียก(wet density) และความแน่นแห้ง(dry density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน (moisture content)
11. ดำเนินการตามข้อ 1 ถึง ข้อ 10 ใหม่โดยเพิ่มน้ำอีกครั้งละ......2......% จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง

ตารางแสดงผลของข้อมูล 1:6 70 : 30

การทดสอบการบดอัด

Compaction Test

Project Name	: thesis	Date of Test	:6/3/56	Sample No.	:
Location	: rmu	Test by	:	Boring No.	:
Soil Sample	: kku	Checked by	:sr	Depth (m)	:

☐ Standard Test ☐ Modified Test	Blow per Layer 25	Number of Layer 5
Weight of Hammer 4.54 kg.	Height of Mold 11.44 cm.	Diameter of Mold 10.17 cm.

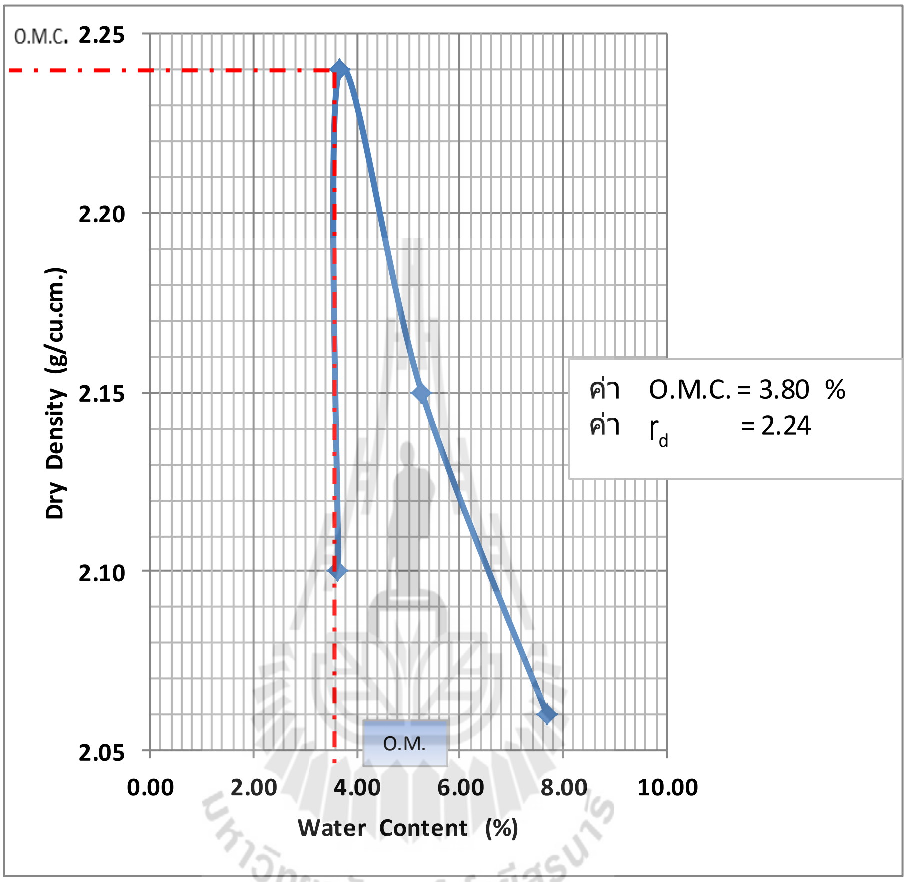
Water Content Determination

Sample No.		1	2	3	4	
Moisture Can No.	(g)	B-1	B-3	B-5	E-5	
Wt.of Can + Wet Soil	(g)	142.00	141.00	133.00	136.00	
Wt.of Can + Dry Soil	(g)	138.00	137.00	128.00	128.00	
Wt.of Can	(g)	28.00	28.00	33.00	24.00	
Wt.of Water	(g)	4.00	4.00	5.00	8.00	
Wt.of Dry Soil	(g)	110.00	109.00	95.00	104.00	
Water Content	(%)	3.64	3.67	5.26	7.69	

Density Determination

Wt.of Soil + Mold	(g)	6,078.00	6,207.00	6,154.00	6,110.00	
Wt.of Mold	(g)	4,050.00	4,050.00	4,050.00	4,050.00	
Water Content	(g)	3.64	3.67	5.26	7.69	
Wt.of Soil in Mold	(g)	2,028.00	2,157.00	2,104.00	2,060.00	
Wet Density	(g/cm^3)	2.18	2.32	2.26	2.22	
Dry Density	(g/cm^3)	2.10	2.24	2.15	2.06	

3.64	3.67	5.26	7.69
2.10	2.24	2.15	2.06



อัตราส่วนผสม 1:6 กรณี ลดปูนซีเมนต์ ⇨ เพิ่มเถ้าลอย 40 %

	1		6
	(ปูนซีเมนต์ + เถ้าลอย)		: ดินแดง
(%)	60	40	

1. ชั่ง นน. Mold

1	2	3	4	
4,050	4,050	4,050	4,050	

2. เตรียมดินแดงร่อนผ่านตะแกรง ¾” (19 มม.) 3,000 g.
3. ดังนั้น...ใช้ปูนซีเมนต์.... กรัม + เถ้าลอย .... กรัม ผสมดินแดง 3,000 g.

	1	2	3	4	
ปูนซีเมนต์ (g.)	300.00	300.00	300.00	300.00	
เถ้าลอย (g.)	200.00	200.00	200.00	200.00	
ดินแดง (g.)	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	
รวม	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	

4. เติมน้ำ(ประมาณ.....%)

	1	2	3	4	
(%)	4	6	8	10	
(g.)	140.00	210.00	280.00	350.00	

5. ตักตัวอย่างดินใส่แบบ(Mold) กะให้ได้ 1/5 ของแบบ (ประมาณ 2.5-3.0 cm. เมื่อบดทับแล้ว)
6. ใช้ค้อนบดทับ ชั้นละ 25 ครั้ง ให้ได้ จำนวน 5 ชั้น
7. ในขณะบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋อง ประมาณ 100 กรัม ไปอบดิน *(ต้องชั่งกระป๋องเปล่าก่อน)*

		1	2	3	4	
		C-1	C-3	C-5	BN-2	
(g.)	นน.กระป๋อง	27	24	24	25	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (เปียก)	140	137	135	151	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (แห้ง)	137	132	125	143	

8. ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดหน้าให้เรียบ
9. นำไปชั่ง นน. จะได้ มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ (หักมวลของแบบออกจะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก)

		1	2	3	4	
(g.)	นน.mold + ดิน	6,054.00	6,161.00	6,099.00	6,042.00	

10. คำนวณค่าความแน่นเปียก(wet density) และความแน่นแห้ง(dry density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน (moisture content)

11. ดำเนินการตามข้อ 1 ถึง ข้อ 10 ใหม่โดยเพิ่มน้ำอีกครั้งละ......2.....% จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง

ตารางแสดงผลของข้อมูล 1:6 60 : 40

การทดสอบการบดอัด

Compaction Test

Project Name	: thesis	Date of Test	:6/3/56	Sample No.	:
Location	: rmu	Test by	:	Boring No.	:
Soil Sample	: kku	Checked by	:sr	Depth (m)	:

Standard Test / Modified Test	Blow per Layer 25	Number of Layer 5
Weight of Hammer 4.54 kg.	Height of Mold 11.44 cm.	Diameter of Mold 10.17 cm.

Water Content Determination

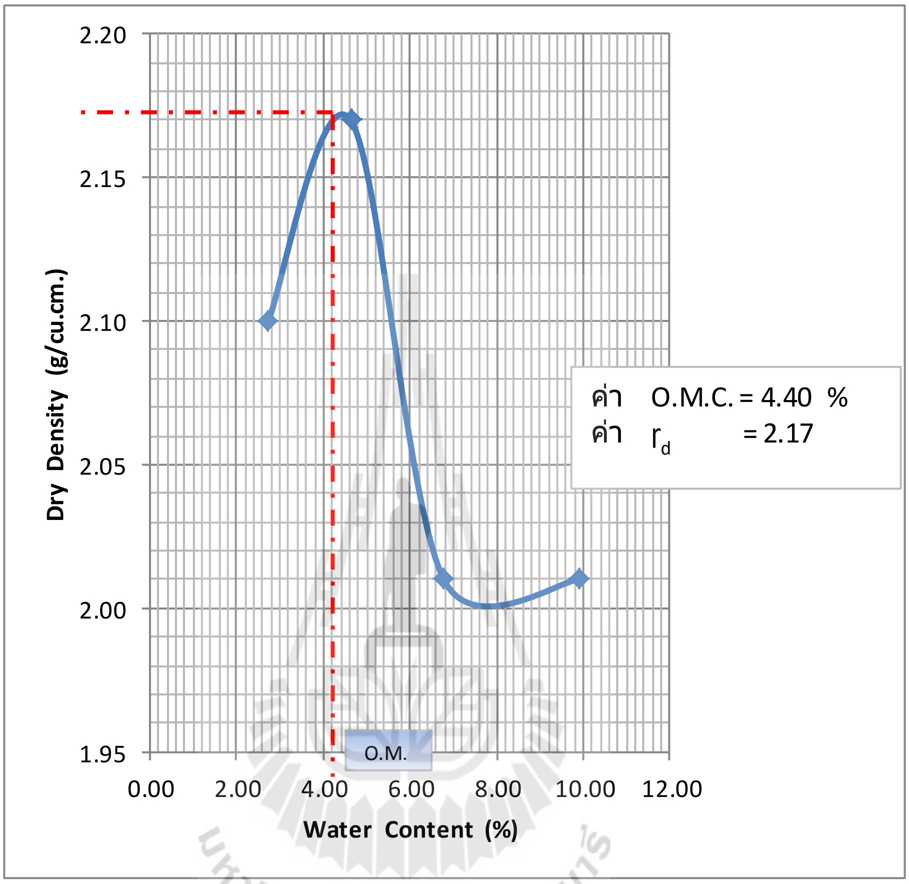
Sample No.	1	2	3	4	
Moisture Can No. (g)	C-1	C-3	C-5	BN-2	
Wt.of Can + Wet Soil (g)	140.00	137.00	135.00	151.00	
Wt.of Can + Dry Soil (g)	137.00	132.00	125.00	143.00	
Wt.of Can (g)	27.00	24.00	24.00	25.00	
Wt.of Water (g)	3.00	5.00	10.00	8.00	
Wt.of Dry Soil (g)	110.00	108.00	101.00	118.00	
Water Content (%)	2.73	4.63	9.90	6.78	

Density Determination

Wt.of Soil + Mold (g)	6,054.00	6,161.00	6,099.00	6,042.00	
Wt.of Mold (g)	4,050.00	4,050.00	4,050.00	4,050.00	
Water Content (g)	2.73	4.63	9.90	6.78	
Wt.of Soil in Mold (g)	2,004.00	2,111.00	2,049.00	1,992.00	
Wet Density (g/cm^3)	2.16	2.27	2.20	2.14	
Dry Density (g/cm^3)	2.10	2.17	2.01	2.01	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.73	4.63	6.78	9.90
2.10	2.17	2.01	2.01



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อัตราส่วนผสม 1:6 กรณี ลดปูนซีเมนต์ ⇨ เพิ่มเถ้าลอย 50 %

	1		6
	(ปูนซีเมนต์ + เถ้าลอย)		: ดินแดง
(%)	50	50	

1. ชั่ง นน. Mold

1	2	3	4	
4,050	4,050	4,050	4,050	

2. เตรียมดินแดงร่อนผ่านตะแกรง ¾" (19 มม.) 3,000 g.
3. ดังนั้น...ใช้ปูนซีเมนต์.... กรัม + เถ้าลอย .... กรัม ผสมดินแดง 3,000 g.

	1	2	3	4	
ปูนซีเมนต์ (g.)	250.00	250.00	250.00	250.00	
เถ้าลอย (g.)	250.00	250.00	250.00	250.00	
ดินแดง (g.)	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	
รวม	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	

4. เติมน้ำ(ประมาณ..... %)

	1	2	3	4	
(%)	4	6	8	10	
(g.)	140.00	210.00	280.00	350.00	

5. ตักตัวอย่างดินใส่แบบ(Mold) กะให้ได้ 1/5 ของแบบ (ประมาณ 2.5-3.0 cm. เมื่อบดทับแล้ว)
6. ใช้ค้อนบดทับ ชั้นละ 25 ครั้ง ให้ได้ จำนวน 5 ชั้น
7. ในขณะบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋อง ประมาณ 100 กรัม ไปอบดิน *(ต้องชั่งกระป๋องเปล่าก่อน)*

		1	2	3	4	
		D-1	D-3	D-5	BN-4	
(g.)	นน.กระป๋อง	24	25	25	27	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (เปียก)	138	131	128	154	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (แห้ง)	134	126	122	145	

8. ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดหน้าให้เรียบ
9. นำไปชั่ง นน. จะได้ มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ (หักมวลของแบบออกจะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก)

		1	2	3	4	
(g.)	นน.mold + ดิน	6,064.00	6,207.00	6,127.00	6,037.00	

10. คำนวณค่าความแน่นเปียก(wet density) และความแน่นแห้ง(dry density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน (moisture content)

11. ดำเนินการตามข้อ 1 ถึง ข้อ 10 ใหม่โดยเพิ่มน้ำอีกครั้งละ......2......% จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง

ตารางแสดงผลของข้อมูล 1:6 50 : 50

การทดสอบการบดอัด

Compaction Test

Project Name	:	thesis	Date of Test	:6/3/56	Sample No.	:	
Location	:	rmu	Test by	:	Boring No.	:	
Soil Sample	:	kku	Checked by	:sr	Depth (m)	:	

Standard Test / Modified Test	Blow per Layer 25	Number of Layer 5
Weight of Hammer 4.54 kg.	Height of Mold 11.44 cm.	Diameter of Mold 10.17 cm.

Water Content Determination

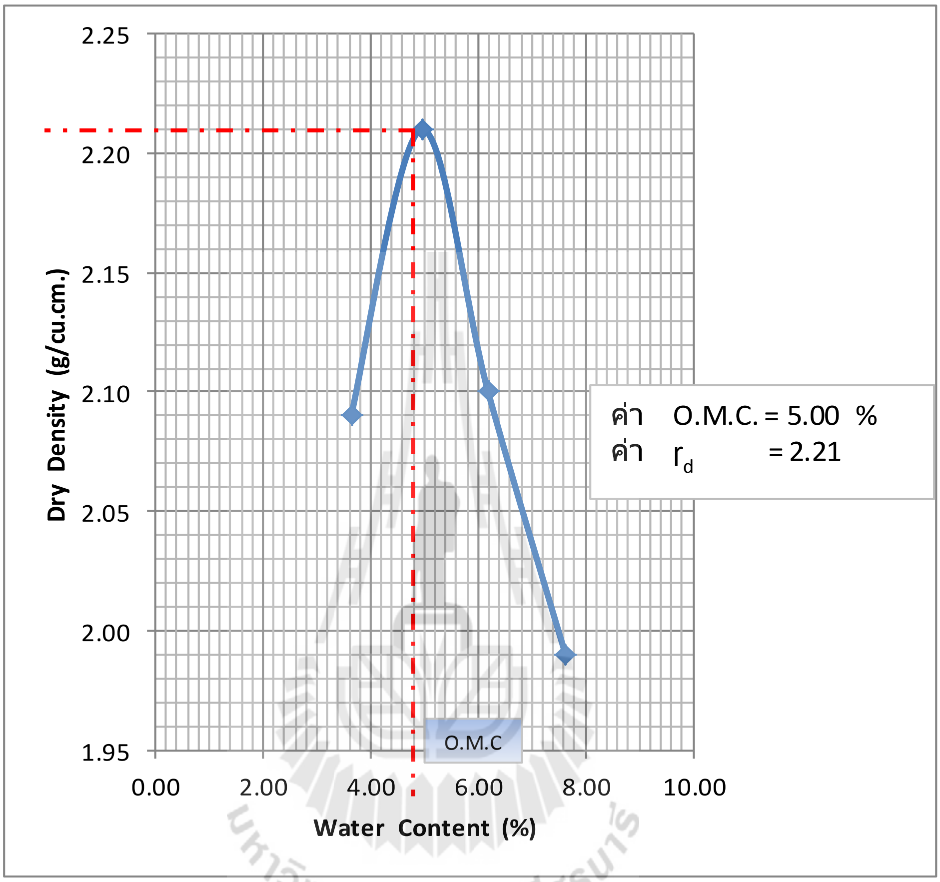
Sample No.		1	2	3	4	
Moisture Can No.	(g)	D-1	D-3	D-5	BN-4	
Wt.of Can + Wet Soil	(g)	138.00	131.00	128.00	154.00	
Wt.of Can + Dry Soil	(g)	134.00	126.00	122.00	145.00	
Wt.of Can	(g)	24.00	25.00	25.00	27.00	
Wt.of Water	(g)	4.00	5.00	6.00	9.00	
Wt.of Dry Soil	(g)	110.00	101.00	97.00	118.00	
Water Content	(%)	3.64	4.95	6.19	7.63	

Density Determination

Wt.of Soil + Mold	(g)	6,064.00	6,207.00	6,127.00	6,037.00	
Wt.of Mold	(g)	4,050.00	4,050.00	4,050.00	4,050.00	
Water Content	(g)	3.64	4.95	6.19	7.63	
Wt.of Soil in Mold	(g)	2,014.00	2,157.00	2,077.00	1,987.00	
Wet Density	(g/cm^3)	2.17	2.32	2.23	2.14	
Dry Density	(g/cm^3)	2.09	2.21	2.10	1.99	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.64	4.95	6.19	7.63
2.09	2.21	2.10	1.99



อัตราส่วนผสม 1:6

	1		6
	(ปูนซีเมนต์ + เถ้าลอย)		: ดินแดง
(%)	100	0	

1. ชั่ง นน. Mold

1	2	3	4	5
4,050	4,050	4,050	4,050	4,050

2. เตรียมดินแดงร่อนผ่านตะแกรง ¾" (19 มม.) 3,000 g.
3. ดังนั้น...ใช้ปูนซีเมนต์.... กรัม + เถ้าลอย .... กรัม ผสมดินแดง 3,000 g.

	1	2	3	4	5
ปูนซีเมนต์ (g.)	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00
ดินแดง (g.)	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00
รวม	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00	3,500.00

4. เติมน้ำ(ประมาณ.....%)

(%)	4	6	8	10	12
(g.)	140.00	210.00	280.00	350.00	420.00

5. ตักตัวอย่างดินใส่แบบ(Mold) กะให้ได้ 1/5 ของแบบ (ประมาณ 2.5-3.0 cm. เมื่อบดทับแล้ว)
6. ใช้ค้อนบดทับ ชั้นละ 25 ครั้ง ให้ได้ จำนวน 5 ชั้น
7. ในขณะบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋อง ประมาณ 100 กรัม ไปอบดิน *(ต้องชั่งกระป๋องเปล่าก่อน)*

		1	2	3	4	5
		A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
(g.)	นน.กระป๋อง	24.65	24.79	24.59	24.50	25.06
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (เปียก)	186.83	173.45	148.19	153.39	158.29
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (แห้ง)	180.45	164.96	139.16	141.98	144.00

8. ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดหน้าให้เรียบ
9. นำไปชั่ง นน. จะได้ มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ (หักมวลของแบบออกจะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก)

		1	2	3	4	
(g.)	นน.mold + ดิน	5,952.00	6,149.00	6,204.00	6,113.00	6,057.00

10. คำนวณค่าความแน่นเปียก(wet density) และความแน่นแห้ง(dry density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน (moisture content)

11. ดำเนินการตามข้อ 1 ถึง ข้อ 10 ใหม่โดยเพิ่มน้ำอีกครั้งละ......2......% จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง

ตารางแสดงผลของข้อมูล 1:6

การทดสอบการบดอัด

Compaction Test

Project Name	: thesis	Date of Test	:11/5/56	Sample No.	:
Location	: rmu	Test by	:	Boring No.	:
Soil Sample	: kku	Checked by	:sr	Depth (m)	:

☐ Standard Test ☐ Modified Test	Blow per Layer 25	Number of Layer 5
Weight of Hammer 4.54 kg.	Height of Mold 11.44 cm.	Diameter of Mold 10.17 cm.

Water Content Determination

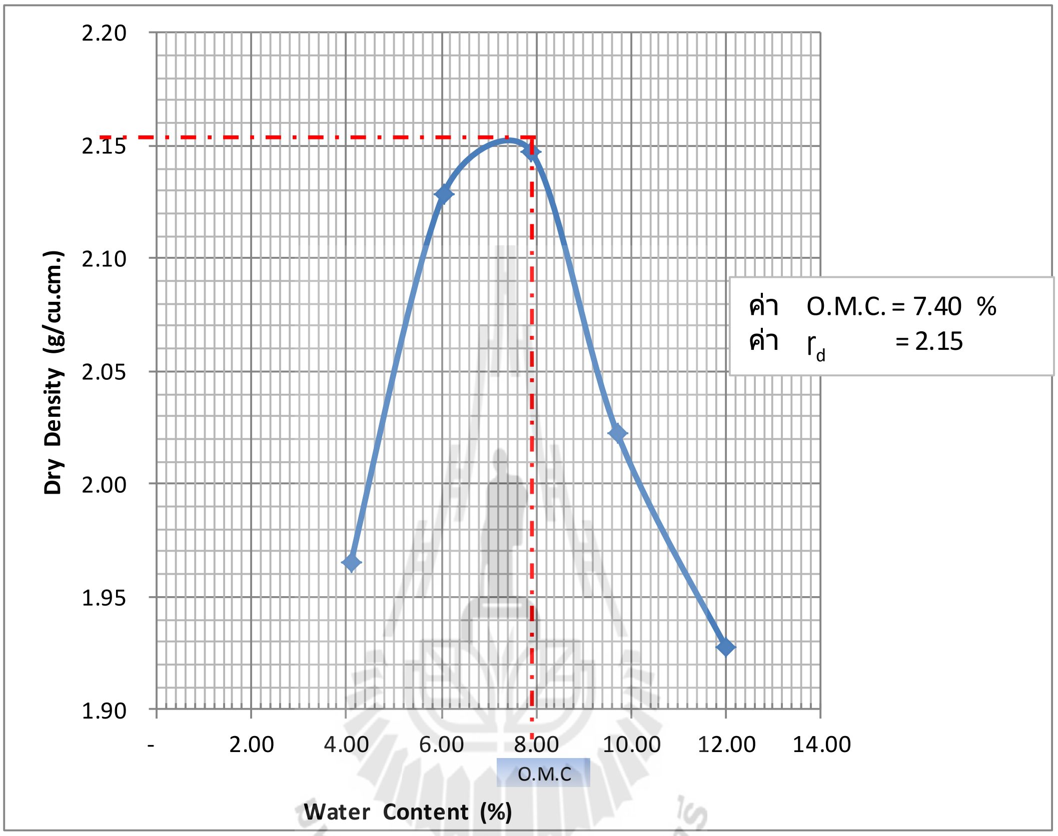
Sample No.		1	2	3	4	
Moisture Can No.	(g)	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
Wt.of Can + Wet Soil	(g)	186.83	173.45	148.19	153.39	158.29
Wt.of Can + Dry Soil	(g)	180.45	164.96	139.16	141.98	144.00
Wt.of Can	(g)	24.65	24.79	24.59	24.50	25.06
Wt.of Water	(g)	6.38	8.49	9.03	11.41	14.29
Wt.of Dry Soil	(g)	155.80	140.17	114.57	117.48	118.94
Water Content	(%)	4.09	6.06	7.88	9.71	12.01

Density Determination

Wt.of Soil + Mold	(g)	5,952.00	6,149.00	6,204.00	6,113.00	6,057.00
Wt.of Mold	(g)	4,050.00	4,050.00	4,050.00	4,050.00	4,050.00
Water Content	(g)	4.09	6.06	7.88	9.71	12.01
Wt.of Soil in Mold	(g)	1,902.00	2,099.00	2,154.00	2,063.00	2,007.00
Wet Density	(g/cm^3)	2.05	2.26	2.32	2.22	2.16
Dry Density	(g/cm^3)	1.97	2.13	2.15	2.02	1.93

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.09	6.06	7.88	9.71	12.01
1.97	2.13	2.15	2.02	1.93



อัตราส่วนผสม 1:8 กรณี ลดปูนซีเมนต์ ⇨ เพิ่มเถ้าลอย 10 %

	1		8
	(ปูนซีเมนต์ + เถ้าลอย)		: ดินแดง
(%)	90	10	

1. ชั่ง นน. Mold

1	2	3	4	
4,050	4,050	4,050	4,050	

2. เตรียมดินแดงร่อนผ่านตะแกรง ¾" (19 มม.) 3,000 g.
3. ดังนั้น...ใช้ปูนซีเมนต์.... กรัม + เถ้าลอย .... กรัม ผสมดินแดง 3,000 g.

	1	2	3	4	
ปูนซีเมนต์ (g.)	337.50	337.50	337.50	337.50	
เถ้าลอย (g.)	37.50	37.50	37.50	37.50	
ดินแดง (g.)	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	
รวม	3,375.00	3,375.00	3,375.00	3,375.00	
4. เติมน้ำ(ประมาณ.....%) (%)	4	6	8	10	
(g.)	135.00	202.50	270.00	337.50	

5. ตักตัวอย่างดินใส่แบบ(Mold) กะให้ได้ 1/5 ของแบบ (ประมาณ 2.5-3.0 cm. เมื่อบดทับแล้ว)
6. ใช้ค้อนบดทับ ชั้นละ 25 ครั้ง ให้ได้ จำนวน 5 ชั้น
7. ในขณะบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋อง ประมาณ 100 กรัม ไปอบดิน *(ต้องชั่งกระป๋องเปล่าก่อน)*

	1	2	3	4	
	C-1	C-2	C-3	C-4	
(g.) นน.กระป๋อง	25	24	24	25	
(g.) นน.กระป๋อง + ดิน (เปียก)	154	138	137	152	
(g.) นน.กระป๋อง + ดิน (แห้ง)	149	132	130	144	

8. ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดหน้าให้เรียบ
9. นำไปชั่ง นน. จะได้ มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ (หักมวลของแบบออกจะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก)

	1	2	3	4	
(g.) นน.mold + ดิน	6,093.00	6,220.00	6,149.00	6,064.00	

10. คำนวณค่าความแน่นเปียก(wet density) และความแน่นแห้ง(dry density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน (moisture content)

11. ดำเนินการตามข้อ 1 ถึง ข้อ 10 ใหม่โดยเพิ่มน้ำอีกครั้งละ......2......% จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง

ตารางแสดงผลของข้อมูล | 1:8 | 90 : 10 |

การทดสอบการบดอัด

Compaction Test

Project Name	:	thesis	Date of Test	:6/3/56	Sample No.	:	
Location	:	rmu	Test by	:	Boring No.	:	
Soil Sample	:	kku	Checked by	:sr	Depth (m)	:	

☐ Standard Test ☐ Modified Test	Blow per Layer 25	Number of Layer 5
Weight of Hammer 4.54 kg.	Height of Mold 11.44 cm.	Diameter of Mold 10.17 cm.

Water Content Determination

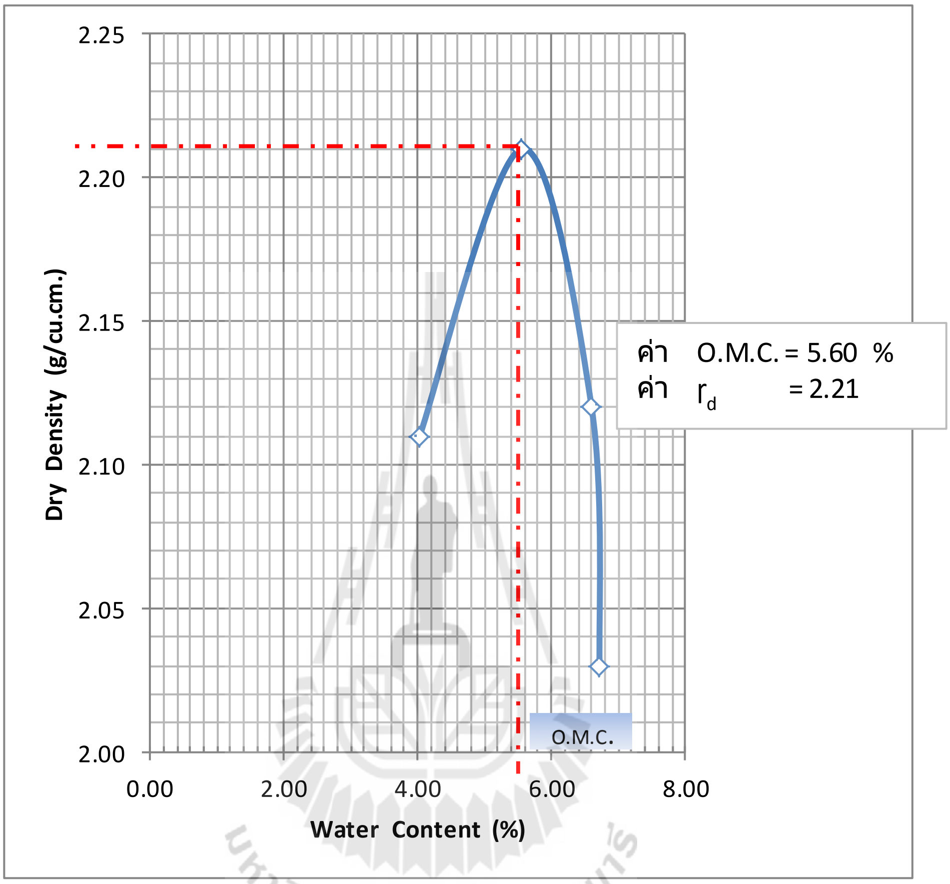
Sample No.		1	2	3	4	
Moisture Can No.	(g)	C-1	C-2	C-3	C-4	
Wt.of Can + Wet Soil	(g)	154.00	138.00	137.00	152.00	
Wt.of Can + Dry Soil	(g)	149.00	132.00	130.00	144.00	
Wt.of Can	(g)	25.00	24.00	24.00	25.00	
Wt.of Water	(g)	5.00	6.00	7.00	8.00	
Wt.of Dry Soil	(g)	124.00	108.00	106.00	119.00	
Water Content	(%)	4.03	5.56	6.60	6.72	

Density Determination

Wt.of Soil + Mold	(g)	6,093.00	6,220.00	6,149.00	6,064.00	
Wt.of Mold	(g)	4,050.00	4,050.00	4,050.00	4,050.00	
Water Content	(g)	4.03	5.56	6.60	6.72	
Wt.of Soil in Mold	(g)	2,043.00	2,170.00	2,099.00	2,014.00	
Wet Density	(g/cm^3)	2.20	2.33	2.26	2.17	
Dry Density	(g/cm^3)	2.11	2.21	2.12	2.03	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.03	5.56	6.60	6.72
2.11	2.21	2.12	2.03



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อัตราส่วนผสม 1:8 กรณี ลดปูนซีเมนต์ ⇨ เพิ่มเถ้าลอย 20 %

		1		8
		(ปูนซีเมนต์ + เถ้าลอย)		: ดินแดง
	(%)	80	20	

1. ชั่ง นน. Mold

1	2	3	4	
4,050	4,050	4,050	4,050	

2. เตรียมดินแดงร่อนผ่านตะแกรง ¾” (19 มม.) 3,000 g.
3. ดังนั้น...ใช้ปูนซีเมนต์.... กรัม + เถ้าลอย .... กรัม ผสมดินแดง 3,000 g.

	1	2	3	4	
ปูนซีเมนต์ (g.)	300.00	300.00	300.00	300.00	
เถ้าลอย (g.)	75.00	75.00	75.00	75.00	
ดินแดง (g.)	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	
รวม	3,375.00	3,375.00	3,375.00	3,375.00	

4. เติมน้ำ(ประมาณ.....%)

	1	2	3	4	
(%)	4	6	8	10	
(g.)	135.00	202.50	270.00	337.50	

5. ตักตัวอย่างดินใส่แบบ(Mold) กะให้ได้ 1/5 ของแบบ (ประมาณ 2.5-3.0 cm. เมื่อบดทับแล้ว)
6. ใช้ค้อนบดทับ ชั้นละ 25 ครั้ง ให้ได้ จำนวน 5 ชั้น
7. ในขณะบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋อง ประมาณ 100 กรัม ไปอบดิน *(ต้องชั่งกระป๋องเปล่าก่อน)*

		1	2	3	4	
		A5-1	A5-2	A5-3	A5-4	
(g.)	นน.กระป๋อง	25	25	24	28	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (เปียก)	148	137	145	139	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (แห้ง)	144	132	139	133	

8. ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดหน้าให้เรียบ
9. นำไปชั่ง นน. จะได้ มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ (หักมวลของแบบออกจะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก)

		1	2	3	4	
(g.)	นน.mold + ดิน	6,089.00	6,221.00	6,146.00	6,089.00	

10. คำนวณค่าความแน่นเปียก(wet density) และความแน่นแห้ง(dry density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน (moisture content)

11. ดำเนินการตามข้อ 1 ถึง ข้อ 10 ใหม่โดยเพิ่มน้ำอีกครั้งละ......2......% จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง

ตารางแสดงผลของข้อมูล 1:8 | 80 : 20

การทดสอบการบดอัด

Compaction Test

Project Name	: thesis	Date of Test	:6/3/56	Sample No.	:
Location	: rmu	Test by	:	Boring No.	:
Soil Sample	: kku	Checked by	:sr	Depth (m)	:

☐ Standard Test ☐ Modified Test	Blow per Layer 25	Number of Layer 5
Weight of Hammer 4.54 kg.	Height of Mold 11.44 cm.	Diameter of Mold 10.17 cm.

Water Content Determination

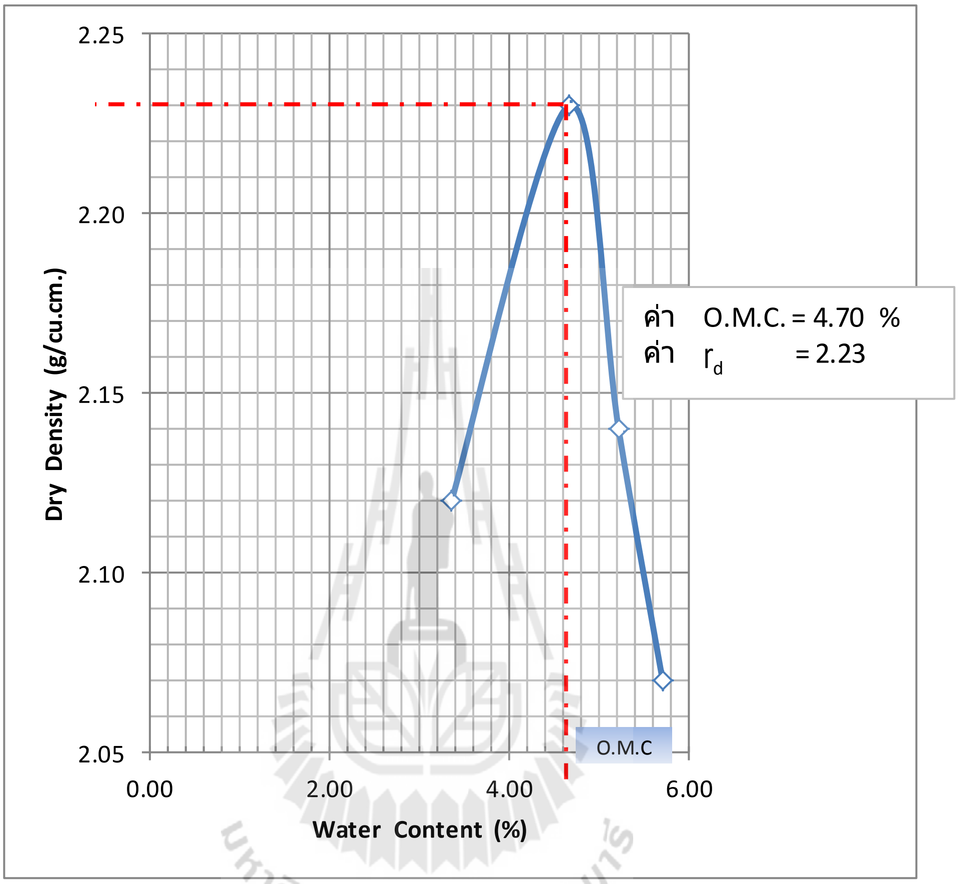
Sample No.		1	2	3	4	
Moisture Can No.	(g)	A5-1	A5-2	A5-3	A5-4	
Wt.of Can + Wet Soil	(g)	148.00	137.00	145.00	139.00	
Wt.of Can + Dry Soil	(g)	144.00	132.00	139.00	133.00	
Wt.of Can	(g)	25.00	25.00	24.00	28.00	
Wt.of Water	(g)	4.00	5.00	6.00	6.00	
Wt.of Dry Soil	(g)	119.00	107.00	115.00	105.00	
Water Content	(%)	3.36	4.67	5.22	5.71	

Density Determination

Wt.of Soil + Mold	(g)	6,089.00	6,221.00	6,146.00	6,089.00	
Wt.of Mold	(g)	4,050.00	4,050.00	4,050.00	4,050.00	
Water Content	(g)	3.36	4.67	5.22	5.71	
Wt.of Soil in Mold	(g)	2,039.00	2,171.00	2,096.00	2,039.00	
Wet Density	(g/cm^3)	2.19	2.34	2.25	2.19	
Dry Density	(g/cm^3)	2.12	2.23	2.14	2.07	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.36	4.67	5.22	5.71
2.12	2.23	2.14	2.07



อัตราส่วนผสม 1:8 กรณี ลดปูนซีเมนต์ ⇨ เพิ่มเถ้าลอย 30 %

	1		8
	(ปูนซีเมนต์ + เถ้าลอย)		: ดินแดง
(%)	70	30	

1. ชั่ง นน. Mold

1	2	3	4	
4,050	4,050	4,050	4,050	

2. เตรียมดินแดงร่อนผ่านตะแกรง ¾" (19 มม.) 3,000 g.
3. ดังนั้น...ใช้ปูนซีเมนต์.... กรัม + เถ้าลอย ….…..... กรัม ผสมดินแดง 3,000 g.

	1	2	3	4	
ปูนซีเมนต์ (g.)	262.50	262.50	262.50	262.50	
เถ้าลอย (g.)	112.50	112.50	112.50	112.50	
ดินแดง (g.)	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	
รวม	3,375.00	3,375.00	3,375.00	3,375.00	

4. เติมน้ำ(ประมาณ…..%)

	1	2	3	4	
(%)	4	6	8	10	
(g.)	135.00	202.50	270.00	337.50	

5. ตักตัวอย่างดินใส่แบบ(Mold) กะให้ได้ 1/5 ของแบบ (ประมาณ 2.5-3.0 cm. เมื่อบดทับแล้ว)
6. ใช้ค้อนบดทับ ชั้นละ 25 ครั้ง ให้ได้ จำนวน 5 ชั้น
7. ในขณะบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋อง ประมาณ 100 กรัม ไปอบดิน *(ต้องชั่งกระป๋องเปล่าก่อน)*

		1	2	3	4	
		D-1	D-2	D-3	D-4	
(g.)	นน.กระป๋อง	24	25	25	25	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (เปียก)	148	142	135	152	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (แห้ง)	144	137	131	144	

8. ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดหน้าให้เรียบ
9. นำไปชั่ง นน. จะได้ มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ (หักมวลของแบบออกจะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก)

		1	2	3	4	
(g.)	นน.mold + ดิน	6,041.00	6,219.00	6,165.00	6,039.00	

10. คำนวณค่าความแน่นเปียก(wet density) และความแน่นแห้ง(dry density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน (moisture content)
11. ดำเนินการตามข้อ 1 ถึง ข้อ 10 ใหม่โดยเพิ่มน้ำอีกครั้งละ……2…...% จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง

ตารางแสดงผลของข้อมูล 1:8 70 : 30

การทดสอบการบดอัด

Compaction Test

Project Name	:	thesis	Date of Test	:6/3/56	Sample No.	:	
Location	:	rmu	Test by	:	Boring No.	:	
Soil Sample	:	kku	Checked by	:sr	Depth (m)	:	

Standard Test / Modified Test	Blow per Layer 25	Number of Layer 5
Weight of Hammer 4.54 kg.	Height of Mold 11.44 cm.	Diameter of Mold 10.17 cm.

Water Content Determination

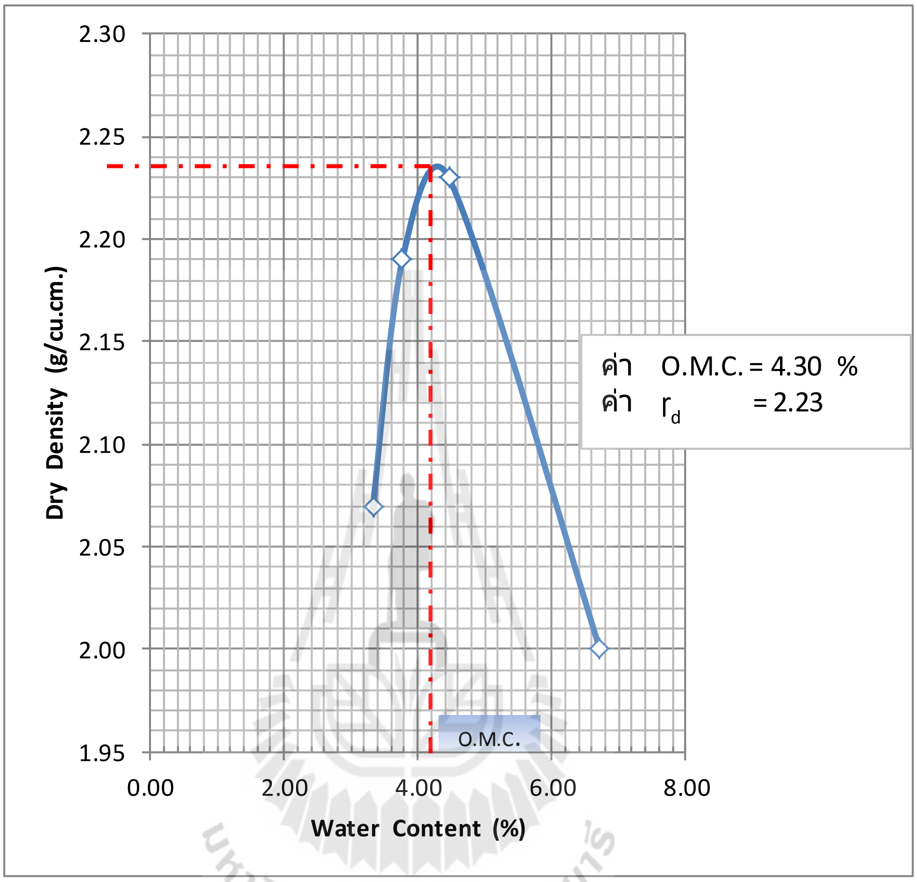
Sample No.		1	2	3	4	
Moisture Can No.	(g)	D-1	D-2	D-3	D-4	
Wt.of Can + Wet Soil	(g)	148.00	142.00	135.00	152.00	
Wt.of Can + Dry Soil	(g)	144.00	137.00	131.00	144.00	
Wt.of Can	(g)	24.00	25.00	25.00	25.00	
Wt.of Water	(g)	4.00	5.00	4.00	8.00	
Wt.of Dry Soil	(g)	120.00	112.00	106.00	119.00	
Water Content	(%)	3.33	4.46	3.77	6.72	

Density Determination

Wt.of Soil + Mold	(g)	6,041.00	6,219.00	6,165.00	6,039.00	
Wt.of Mold	(g)	4,050.00	4,050.00	4,050.00	4,050.00	
Water Content	(g)	3.33	4.46	3.77	6.72	
Wt.of Soil in Mold	(g)	1,991.00	2,169.00	2,115.00	1,989.00	
Wet Density	(g/cm^3)	2.14	2.33	2.27	2.14	
Dry Density	(g/cm^3)	2.07	2.23	2.19	2.00	

วิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.33	3.77	4.46	6.72
2.07	2.19	2.23	2.00



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อัตราส่วนผสม	1:8	กรณี ลดปูนซีเมนต์ ⇨ เพิ่มเถ้าลอย	40	%

	1		8
	(ปูนซีเมนต์ + เถ้าลอย)		: ดินแดง
(%)	60	40	

1. ชั่ง นน. Mold

1	2	3	4	
4,050	4,050	4,050	4,050	

2. เตรียมดินแดงร่อนผ่านตะแกรง ¾" (19 มม.) 3,000 g.
3. ดังนั้น...ใช้ปูนซีเมนต์.... กรัม + เถ้าลอย .... กรัม ผสมดินแดง 3,000 g.

	1	2	3	4	
ปูนซีเมนต์ (g.)	225.00	225.00	225.00	225.00	
เถ้าลอย (g.)	150.00	150.00	150.00	150.00	
ดินแดง (g.)	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	
รวม	3,375.00	3,375.00	3,375.00	3,375.00	

4. เติมน้ำ(ประมาณ.....%)

	1	2	3	4	
(%)	4	6	8	10	
(g.)	135.00	202.50	270.00	337.50	

5. ตักตัวอย่างดินใส่แบบ(Mold) กะให้ได้ 1/5 ของแบบ (ประมาณ 2.5-3.0 cm. เมื่อบดทับแล้ว)
6. ใช้ค้อนบดทับ ชั้นละ 25 ครั้ง ให้ได้ จำนวน 5 ชั้น
7. ในขณะบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋อง ประมาณ 100 กรัม ไปอบดิน *(ต้องชั่งกระป๋องเปล่าก่อน)*

		1	2	3	4	
		B-1	B-2	B-3	B-4	
(g.)	นน.กระป๋อง	28	28	33	25	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (เปียก)	152	144	140	145	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (แห้ง)	147	138	133	137	

8. ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดหน้าให้เรียบ
9. นำไปชั่ง นน. จะได้ มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ (หักมวลของแบบออกจะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก)

		1	2	3	4	
(g.)	นน.mold + ดิน	6,092.00	6,215.00	6,155.00	6,115.00	

10. คำนวณค่าความแน่นเปียก(wet density) และความแน่นแห้ง(dry density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน (moisture content)

11. ดำเนินการตามข้อ 1 ถึง ข้อ 10 ใหม่โดยเพิ่มน้ำอีกครั้งละ......2......% จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง

ตารางแสดงผลของข้อมูล | 1:8 | 60 : 40 |

การทดสอบการบดอัด
Compaction Test

Project Name	:	thesis	Date of Test	:6/3/56	Sample No.	:
Location	:	rmu	Test by	:	Boring No.	:
Soil Sample	:	kku	Checked by	:sr	Depth (m)	:

☐ Standard Test ☐ Modified Test	Blow per Layer 25	Number of Layer 5
Weight of Hammer 4.54 kg.	Height of Mold 11.44 cm.	Diameter of Mold 10.17 cm.

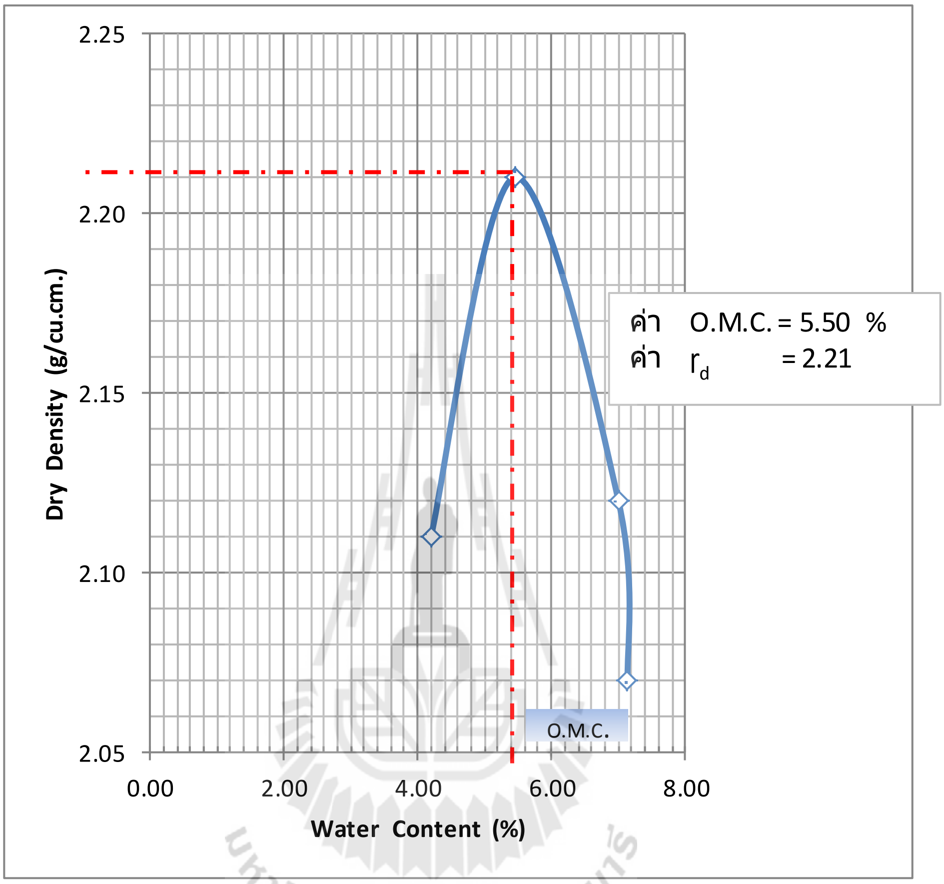
Water Content Determination

Sample No.		1	2	3	4	
Moisture Can No.	(g)	B-1	B-2	B-3	B-4	
Wt.of Can + Wet Soil	(g)	152.00	144.00	140.00	145.00	
Wt.of Can + Dry Soil	(g)	147.00	138.00	133.00	137.00	
Wt.of Can	(g)	28.00	28.00	33.00	25.00	
Wt.of Water	(g)	5.00	6.00	7.00	8.00	
Wt.of Dry Soil	(g)	119.00	110.00	100.00	112.00	
Water Content	(%)	4.20	5.45	7.00	7.14	

Density Determination

Wt.of Soil + Mold	(g)	6,092.00	6,215.00	6,155.00	6,115.00	
Wt.of Mold	(g)	4,050.00	4,050.00	4,050.00	4,050.00	
Water Content	(g)	4.20	5.45	7.00	7.14	
Wt.of Soil in Mold	(g)	2,042.00	2,165.00	2,105.00	2,065.00	
Wet Density	(g/cm^3)	2.20	2.33	2.26	2.22	
Dry Density	(g/cm^3)	2.11	2.21	2.12	2.07	

4.20	5.45	7.00	7.14
2.11	2.21	2.12	2.07



อัตราส่วนผสม	1:8	กรณี ลดปูนซีเมนต์ ⇨	เพิ่มเถ้าลอย	50	%

	1		8
	(ปูนซีเมนต์ + เถ้าลอย)		: ดินแดง
(%)	50	50	

1. ชั่ง นน. Mold

1	2	3	4	
4,050	4,050	4,050	4,050	

2. เตรียมดินแดงร่อนผ่านตะแกรง ¾" (19 มม.) 3,000 g.
3. ดังนั้น...ใช้ปูนซีเมนต์.... กรัม + เถ้าลอย .... กรัม ผสมดินแดง 3,000 g.

	1	2	3	4	
ปูนซีเมนต์ (g.)	187.50	187.50	187.50	187.50	
เถ้าลอย (g.)	187.50	187.50	187.50	187.50	
ดินแดง (g.)	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	
รวม	3,375.00	3,375.00	3,375.00	3,375.00	

4. เติมน้ำ(ประมาณ..... %)

	1	2	3	4	
(%)	4	6	8	10	
(g.)	135.00	202.50	270.00	337.50	

5. ตักตัวอย่างดินใส่แบบ(Mold) กะให้ได้ 1/5 ของแบบ (ประมาณ 2.5-3.0 cm. เมื่อบดทับแล้ว)
6. ใช้ค้อนบดทับ ชั้นละ 25 ครั้ง ให้ได้ จำนวน 5 ชั้น
7. ในขณะบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋อง ประมาณ 100 กรัม ไปอบดิน *(ต้องชั่งกระป๋องเปล่าก่อน)*

		1	2	3	4	
		E-1	E-2	E-3	E-4	
(g.)	นน.กระป๋อง	25	24	25	24	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (เปียก)	144	138	160	157	
(g.)	นน.กระป๋อง + ดิน (แห้ง)	139	132	152	148	

8. ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดหน้าให้เรียบ
9. นำไปชั่ง นน. จะได้ มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ (หักมวลของแบบออกจะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก)

		1	2	3	4	
(g.)	นน.mold + ดิน	6,085.00	6,202.00	6,040.00	6,044.00	

10. คำนวณค่าความแน่นเปียก(wet density) และความแน่นแห้ง(dry density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน (moisture content)

11. ดำเนินการตามข้อ 1 ถึง ข้อ 10 ใหม่โดยเพิ่มน้ำอีกครั้งละ......2......% จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง

ตารางแสดงผลของข้อมูล | 1:8 | 50 : 50 |

การทดสอบการบดอัด

Compaction Test

Project Name	: thesis	Date of Test	:6/3/56	Sample No.	:
Location	: rmu	Test by	:	Boring No.	:
Soil Sample	: kku	Checked by	:sr	Depth (m)	:

Standard Test / Modified Test	Blow per Layer 25	Number of Layer 5
Weight of Hammer 4.54 kg.	Height of Mold 11.44 cm.	Diameter of Mold 10.17 cm.

Water Content Determination

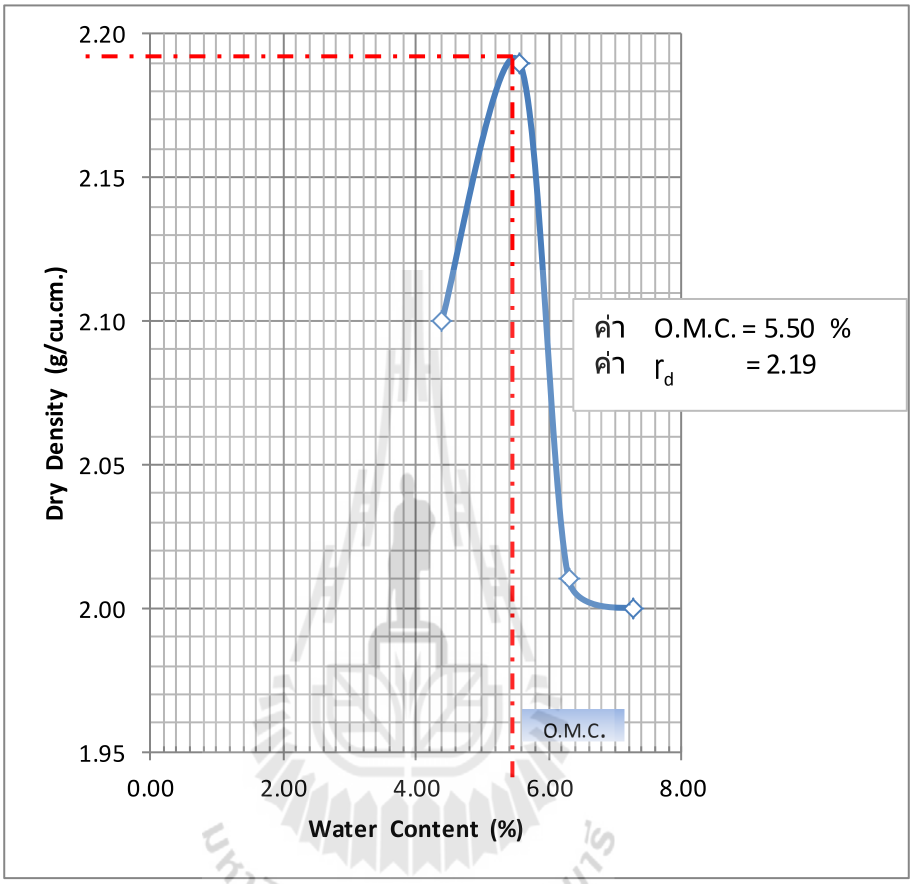
Sample No.		1	2	3	4	
Moisture Can No.	(g)	E-1	E-2	E-3	E-4	
Wt.of Can + Wet Soil	(g)	144.00	138.00	160.00	157.00	
Wt.of Can + Dry Soil	(g)	139.00	132.00	152.00	148.00	
Wt.of Can	(g)	25.00	24.00	25.00	24.00	
Wt.of Water	(g)	5.00	6.00	8.00	9.00	
Wt.of Dry Soil	(g)	114.00	108.00	127.00	124.00	
Water Content	(%)	4.39	5.56	6.30	7.26	

Density Determination

Wt.of Soil + Mold	(g)	6,085.00	6,202.00	6,040.00	6,044.00	
Wt.of Mold	(g)	4,050.00	4,050.00	4,050.00	4,050.00	
Water Content	(g)	4.39	5.56	6.30	7.26	
Wt.of Soil in Mold	(g)	2,035.00	2,152.00	1,990.00	1,994.00	
Wet Density	(g/cm^3)	2.19	2.31	2.14	2.14	
Dry Density	(g/cm^3)	2.10	2.19	2.01	2.00	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.39	5.56	6.30	7.26
2.10	2.19	2.01	2.00



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อัตราส่วนผสม 1:8

(%)	1		8
	(ปูนซีเมนต์ + เถ้าลอย)		: ดินแดง
(%)	100	0	
	(11.11)		(88.89)

1. ชั่ง นน. Mold

1	2	3	4	5
4,055	4,055	4,055	4,055	4,055

2. เตรียมดินแดงร่อนผ่านตะแกรง ¾” (19 มม.) 3,000 g.
3. ดังนั้น...ใช้ปูนซีเมนต์.... กรัม + เถ้าลอย .... กรัม ผสมดินแดง 3,000 g.

	1	2	3	4	5
ปูนซีเมนต์ (g.)	375.00	375.00	375.00	375.00	375.00
ดินแดง (g.)	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00	3,000.00
รวม	3,375.00	3,375.00	3,375.00	3,375.00	3,375.00
4. เติมน้ำ(ประมาณ..... %) (%)	4	6	8	10	12
(g.)	135.00	202.50	270.00	337.50	405.00

5. ตักตัวอย่างดินใส่แบบ(Mold) กะให้ได้ 1/5 ของแบบ (ประมาณ 2.5-3.0 cm. เมื่อบดทับแล้ว)
6. ใช้ค้อนบดทับ ชั้นละ 25 ครั้ง ให้ได้ จำนวน 5 ชั้น
7. ในขณะบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋อง ประมาณ 100 กรัม ไปอบดิน *(ต้องชั่งกระป๋องเปล่าก่อน)*

	1	2	3	4	5
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
(g.) นน.กระป๋อง	24.76	24.84	24.74	24.48	27.29
(g.) นน.กระป๋อง + ดิน (เปียก)	181.27	148.46	148.14	145.41	157.83
(g.) นน.กระป๋อง + ดิน (แห้ง)	174.37	141.20	138.47	134.32	144.10

8. ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดหน้าให้เรียบ
9. นำไปชั่ง นน. จะได้ มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ (หักมวลของแบบออกจะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก)

	1	2	3	4	5
(g.) นน.mold + ดิน	6,030.00	6,170.00	6,175.00	6,111.00	6,075.00

10. คำนวณค่าความแน่นเปียก(wet density) และความแน่นแห้ง(dry density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน (moisture content)

11. ดำเนินการตามข้อ 1 ถึง ข้อ 10 ใหม่โดยเพิ่มน้ำอีกครั้งละ......2......% จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง

ตารางแสดงผลของข้อมูล 1:8

การทดสอบการบดอัด

Compaction Test

Project Name	:	thesis	Date of Test	:11/5/56	Sample No.	:	
Location	:	rmu	Test by	:	Boring No.	:	
Soil Sample	:	kku	Checked by	:sr	Depth (m)	:	

☐ Standard Test ☐ Modified Test	Blow per Layer 25	Number of Layer 5
Weight of Hammer 4.54 kg.	Height of Mold 11.44 cm.	Diameter of Mold 10.17 cm.

Water Content Determination

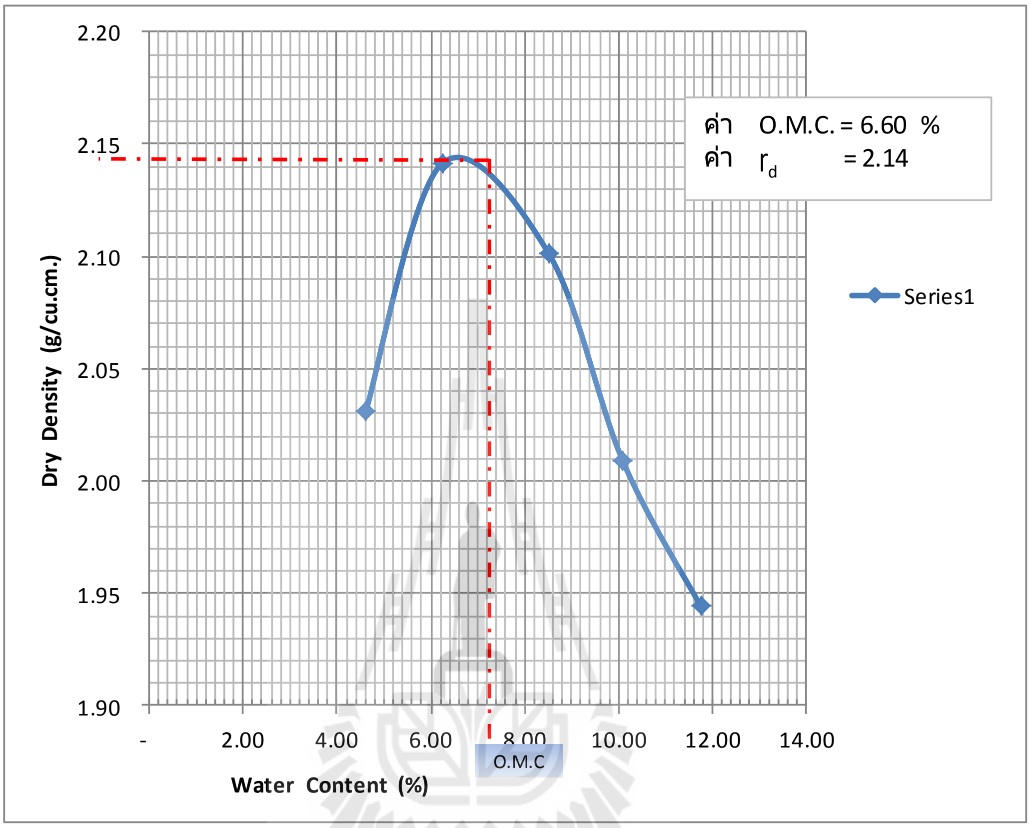
Sample No.		1	2	3	4	5
Moisture Can No.	(g)	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
Wt.of Can + Wet Soil	(g)	181.27	148.46	148.14	145.41	157.83
Wt.of Can + Dry Soil	(g)	174.37	141.20	138.47	134.32	144.10
Wt.of Can	(g)	24.76	24.84	24.74	24.48	27.29
Wt.of Water	(g)	6.90	7.26	9.67	11.09	13.73
Wt.of Dry Soil	(g)	149.61	116.36	113.73	109.84	116.81
Water Content	(%)	4.61	6.24	8.50	10.10	11.75

Density Determination

Wt.of Soil + Mold	(g)	6,030.00	6,170.00	6,175.00	6,111.00	6,075.00
Wt.of Mold	(g)	4,055.00	4,055.00	4,055.00	4,055.00	4,055.00
Water Content	(g)	4.61	6.24	8.50	10.10	11.75
Wt.of Soil in Mold	(g)	1,975.00	2,115.00	2,120.00	2,056.00	2,020.00
Wet Density	(g/cm^3)	2.12	2.27	2.28	2.21	2.17
Dry Density	(g/cm^3)	2.03	2.14	2.10	2.01	1.94

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.61	6.24	8.50	10.10	11.75
2.03	2.14	2.10	2.01	1.94



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการทดสอบกำลังอัดของบล็อกประสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางทดสอบรับแรงอัด

ตัวอย่างที่	อัตราส่วน		อายุ	ขนาดหน้าตัด		ความสูง	น้ำหนัก	พท. หน้าตัด	นน. กดสูงสุด	หน่วยแรงอัดประลัย	เฉลี่ย
	ส่วนผสม	ปูน : เถ้า (%)	(วัน)	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	(ซม.)	(กก.)	(ตร.ซม.)	(กก)	(กก./ตร.ซม.)	กก./ตร.ซม.
1	1 : 6	100 : 0	7	12.55	25.03	10.10	5.456	282.26	10,000	35.428	
2	1 : 6	100 : 0	7	12.53	25.03	10.03	5.438	281.76	12,000	42.589	37.599
3	1 : 6	100 : 0	7	12.53	25.03	10.03	5.445	281.76	9,800	34.781	
1	1 : 6	90 : 10	7	12.55	25.04	10.07	5.316	282.39	10,000	35.412	
2	1 : 6	90 : 10	7	12.55	25.04	10.01	5.309	282.39	8,000	28.330	30.674
3	1 : 6	90 : 10	7	12.56	25.06	10.18	5.332	282.89	8,000	28.280	
1	1 : 6	80 : 20	7	12.55	25.05	10.16	5.300	282.51	7,000	24.778	
2	1 : 6	80 : 20	7	12.55	25.05	10.12	5.316	282.51	7,000	24.778	25.957
3	1 : 6	80 : 20	7	12.55	25.05	10.14	5.305	282.51	8,000	28.317	
1	1 : 6	70 : 30	7	12.53	25.00	10.16	5.374	281.39	6,500	23.100	
2	1 : 6	70 : 30	7	12.55	25.05	10.16	5.455	282.51	7,000	24.778	23.628
3	1 : 6	70 : 30	7	12.55	25.05	10.10	5.340	282.51	6,500	23.008	
1	1 : 6	60 : 40	7	12.53	25.00	10.10	5.222	281.39	6,500	23.100	
2	1 : 6	60 : 40	7	12.53	25.20	10.17	5.255	283.89	6,000	21.135	22.445
3	1 : 6	60 : 40	7	12.53	25.00	10.11	5.241	281.39	6,500	23.100	
1	1 : 6	50 : 50	7	12.55	25.03	10.13	5.253	282.26	7,000	24.800	
2	1 : 6	50 : 50	7	12.55	25.03	10.15	5.291	282.26	6,000	21.257	22.438
3	1 : 6	50 : 50	7	12.55	25.03	10.12	5.296	282.26	6,000	21.257	

ตารางทดสอบรับแรงอัด

ตัวอย่างที่	อัตราส่วน		อายุ	ขนาดหน้าตัด		ความสูง	น้ำหนัก	พท. หน้าตัด	นน. กดสูงสุด	หน่วยแรงอัดประลัย	เฉลี่ย
	ส่วนผสม	ปูน : เถ้า (%)	(วัน)	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	(ซม.)	(กก.)	(ตร.ซม.)	(กก)	(กก./ตร.ซม.)	กก./ตร.ซม.
1	1 : 6	100 : 0	14	12.54	25.03	10.10	5.420	282.01	11,000	39.005	
2	1 : 6	100 : 0	14	12.53	25.01	10.05	5.424	281.51	11,800	41.917	41.420
3	1 : 6	100 : 0	14	12.53	25.01	10.08	5.397	281.51	12,200	43.337	

1	1 : 6	90 : 10	14	12.54	25.03	10.15	5.238	282.01	8,400	29.786	
2	1 : 6	90 : 10	14	12.54	25.04	10.10	5.263	282.14	9,400	33.317	33.080
3	1 : 6	90 : 10	14	12.55	25.03	10.09	5.300	282.26	10,200	36.136	

1	1 : 6	80 : 20	14	12.54	25.04	10.10	5.223	282.14	7,200	25.519	
2	1 : 6	80 : 20	14	12.55	25.05	10.07	5.258	282.51	10,200	36.104	32.834
3	1 : 6	80 : 20	14	12.54	25.03	10.10	5.213	282.01	10,400	36.878	

1	1 : 6	70 : 30	14	12.56	25.02	10.17	5.320	282.39	8,200	29.038	
2	1 : 6	70 : 30	14	12.54	25.01	10.15	5.220	281.76	7,200	25.553	26.497
3	1 : 6	70 : 30	14	12.52	25.00	10.14	5.183	281.14	7,000	24.899	

1	1 : 6	60 : 40	14	12.55	25.01	10.20	5.341	282.01	7,000	24.822	
2	1 : 6	60 : 40	14	12.54	25.03	10.15	5.311	282.01	7,600	26.949	26.489
3	1 : 6	60 : 40	14	12.53	25.02	10.10	5.207	281.64	7,800	27.695	

1	1 : 6	50 : 50	14	12.52	25.00	10.04	5.130	281.14	6,500	23.120	
2	1 : 6	50 : 50	14	12.53	25.00	10.04	5.163	281.39	7,000	24.877	24.054
3	1 : 6	50 : 50	14	12.53	25.00	10.05	5.137	281.39	6,800	24.166	

ตารางทดสอบรับแรงอัด

ตัวอย่างที่	อัตราส่วน		อายุ	ขนาดหน้าตัด		ความสูง	น้ำหนัก	พท.	นน.	หน่วยแรง	เฉลี่ย
	ส่วนผสม	ปูน : เถ้า (%)	(วัน)	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	(ซม.)	(กก.)	หน้าตัด (ตร.ซม.)	กดสูงสุด (กก)	อัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	กก./ตร.ซม.
1	1 : 6	100 : 0	28	12.53	25.01	10.10	5.402	281.51	14,200	50.442	
2	1 : 6	100 : 0	28	12.55	25.01	10.07	5.436	282.01	13,000	46.097	49.965
3	1 : 6	100 : 0	28	12.52	25.00	10.10	5.402	281.14	15,000	53.355	
1	1 : 6	90 : 10	28	12.55	25.04	10.13	5.260	282.39	10,600	37.537	
2	1 : 6	90 : 10	28	12.55	25.05	10.07	5.277	282.51	14,000	49.555	43.779
3	1 : 6	90 : 10	28	12.55	25.05	10.09	5.258	282.51	12,500	44.246	
1	1 : 6	80 : 20	28	12.55	25.03	10.12	5.251	282.26	11,000	38.971	
2	1 : 6	80 : 20	28	12.57	25.04	10.09	5.220	282.89	11,000	38.884	40.123
3	1 : 6	80 : 20	28	12.55	25.03	10.10	5.212	282.26	12,000	42.514	
1	1 : 6	70 : 30	28	12.55	25.04	10.14	5.368	282.39	10,600	37.537	
2	1 : 6	70 : 30	28	12.53	25.00	10.12	5.197	281.39	9,500	33.761	36.048
3	1 : 6	70 : 30	28	12.55	25.03	10.15	5.321	282.26	10,400	36.845	
1	1 : 6	60 : 40	28	12.55	25.03	10.12	5.282	282.26	10,400	36.845	
2	1 : 6	60 : 40	28	12.56	25.03	10.12	5.273	282.51	9,000	31.857	35.430
3	1 : 6	60 : 40	28	12.54	25.03	10.14	5.219	282.01	10,600	37.587	
1	1 : 6	50 : 50	28	12.53	25.00	10.06	5.160	281.39	9,400	33.406	
2	1 : 6	50 : 50	28	12.51	25.00	10.06	5.143	280.89	8,800	31.329	32.832
3	1 : 6	50 : 50	28	12.53	25.00	10.05	5.130	281.39	9,500	33.761	

ตารางทดสอบรับแรงอัด

ตัวอย่างที่	อัตราส่วน ส่วนผสม	อัตราส่วน ปูน : เถ้า (%)	อายุ (วัน)	ขนาดหน้าตัด กว้าง (ซม.)	ขนาดหน้าตัด ยาว (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	พท. หน้าตัด (ตร.ซม.)	นน. กดสูงสุด (กก)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย กก./ตร.ซม.
1	1 : 8	100 : 0	7	12.53	25.01	10.07	5.472	281.51	9,800	34.812	
2	1 : 8	100 : 0	7	12.53	25.01	10.06	5.458	281.51	11,000	39.075	36.464
3	1 : 8	100 : 0	7	12.53	25.02	10.05	5.456	281.64	10,000	35.507	
1	1 : 8	90 : 10	7	12.54	25.02	10.10	5.264	281.89	7,500	26.606	
2	1 : 8	90 : 10	7	12.52	25.02	10.07	5.266	281.39	7,500	26.654	26.049
3	1 : 8	90 : 10	7	12.52	25.01	10.10	5.267	281.26	7,000	24.888	
1	1 : 8	80 : 20	7	12.54	25.04	10.14	5.320	282.14	7,500	26.583	
2	1 : 8	80 : 20	7	12.54	25.03	10.10	5.294	282.01	6,800	24.112	25.172
3	1 : 8	80 : 20	7	12.54	25.03	10.07	5.298	282.01	7,000	24.822	
1	1 : 8	70 : 30	7	12.55	25.04	10.13	5.283	282.39	6,500	23.018	
2	1 : 8	70 : 30	7	12.56	25.04	10.08	5.302	282.64	6,600	23.351	23.160
3	1 : 8	70 : 30	7	12.52	25.01	10.10	5.262	281.26	6,500	23.110	
1	1 : 8	60 : 40	7	12.51	25.00	10.02	5.216	280.89	6,200	22.073	
2	1 : 8	60 : 40	7	12.51	25.00	10.02	5.082	280.89	6,200	22.073	22.297
3	1 : 8	60 : 40	7	12.53	25.00	10.03	5.173	281.39	6,400	22.745	
1	1 : 8	50 : 50	7	12.52	25.00	10.04	5.230	281.14	6,400	22.765	
2	1 : 8	50 : 50	7	12.52	25.00	10.02	5.200	281.14	6,000	21.342	22.053
3	1 : 8	50 : 50	7	12.52	25.00	10.01	5.219	281.14	6,200	22.053	

ตารางทดสอบรับแรงอัด

ตัวอย่างที่	อัตราส่วน ส่วนผส	อัตราส่วน ปูน : เถ้า (%)	อายุ (วัน)	ขนาดหน้าตัด กว้าง (ซม.)	ขนาดหน้าตัด ยาว (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	พท. หน้าตัด (ตร.ซม.)	นน. กดสูงสุด (กก)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย กก./ตร.ซม.
1	1 : 8	100 : 0	14	12.53	25.00	10.10	5.429	281.39	11,000	39.092	
2	1 : 8	100 : 0	14	12.53	25.00	10.13	5.436	281.39	10,000	35.538	39.092
3	1 : 8	100 : 0	14	12.53	25.00	10.08	5.423	281.39	12,000	42.646	
1	1 : 8	90 : 10	14	12.54	25.01	10.05	5.218	281.76	9,000	31.942	
2	1 : 8	90 : 10	14	12.52	25.02	10.07	5.259	281.39	7,400	26.298	28.899
3	1 : 8	90 : 10	14	12.52	25.00	10.08	5.255	281.14	8,000	28.456	
1	1 : 8	80 : 20	14	12.56	25.00	10.15	5.232	282.14	8,800	31.191	
2	1 : 8	80 : 20	14	12.53	25.01	10.13	5.276	281.51	6,800	24.155	28.632
3	1 : 8	80 : 20	14	12.53	25.01	10.08	5.225	281.51	8,600	30.549	
1	1 : 8	70 : 30	14	12.55	25.01	10.14	5.248	282.01	7,400	26.240	
2	1 : 8	70 : 30	14	12.55	25.02	10.15	5.245	282.14	7,600	26.937	26.240
3	1 : 8	70 : 30	14	12.54	25.02	10.15	5.259	281.89	7,200	25.542	
1	1 : 8	60 : 40	14	12.53	25.00	10.05	5.171	281.39	6,800	24.166	
2	1 : 8	60 : 40	14	12.53	25.00	10.00	5.110	281.39	7,200	25.588	25.351
3	1 : 8	60 : 40	14	12.53	25.00	10.13	5.159	281.39	7,400	26.298	
1	1 : 8	50 : 50	14	12.52	25.00	10.09	5.114	281.14	6,500	23.120	
2	1 : 8	50 : 50	14	12.52	25.00	10.13	5.173	281.14	6,500	23.120	23.476
3	1 : 8	50 : 50	14	12.52	25.00	10.10	5.156	281.14	6,800	24.188	

ตารางทดสอบรับแรงอัด

ตัวอย่างที่	อัตราส่วน ส่วนผสม	ปูน : เถ้า (%)	อายุ (วัน)	ขนาดหน้าตัด กว้าง (ซม.)	ขนาดหน้าตัด ยาว (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	พท. หน้าตัด (ตร.ซม.)	นน. กดสูงสุด (กก)	หน่วยแรงอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	เฉลี่ย กก./ตร.ซม.
1	1 : 8	100 : 0	28	12.53	25.00	10.08	5.425	281.39	13,600	48.332	
2	1 : 8	100 : 0	28	12.53	25.00	10.07	5.411	281.39	10,400	36.960	44.409
3	1 : 8	100 : 0	28	12.53	25.02	10.13	5.449	281.64	13,500	47.934	
1	1 : 8	90 : 10	28	12.55	25.02	10.02	5.245	282.14	11,500	40.760	
2	1 : 8	90 : 10	28	12.55	25.04	10.14	5.323	282.39	10,500	37.183	38.729
3	1 : 8	90 : 10	28	12.55	25.04	10.10	5.297	282.39	10,800	38.245	
1	1 : 8	80 : 20	28	12.55	25.03	10.08	5.275	282.26	10,800	38.262	
2	1 : 8	80 : 20	28	12.55	25.03	10.09	5.273	282.26	10,600	37.554	38.262
3	1 : 8	80 : 20	28	12.55	25.03	10.10	5.281	282.26	11,000	38.971	
1	1 : 8	70 : 30	28	12.54	25.05	10.12	5.210	282.26	8,600	30.468	
2	1 : 8	70 : 30	28	12.53	25.03	10.15	5.224	281.76	8,500	30.167	32.279
3	1 : 8	70 : 30	28	12.54	25.01	10.14	5.265	281.76	10,200	36.201	
1	1 : 8	60 : 40	28	12.52	25.00	10.09	5.176	281.14	8,200	29.167	
2	1 : 8	60 : 40	28	12.52	25.00	10.07	5.280	281.14	8,400	29.879	30.353
3	1 : 8	60 : 40	28	12.52	25.00	10.06	5.177	281.14	9,000	32.013	
1	1 : 8	50 : 50	28	12.52	25.00	10.09	5.192	281.14	8,800	31.302	
2	1 : 8	50 : 50	28	12.55	25.02	10.04	5.183	282.14	7,600	26.937	28.297
3	1 : 8	50 : 50	28	12.53	25.00	10.10	5.162	281.39	7,500	26.654	

ตารางสรุปกำลังรับแรงอัด ส่วนผสม 1:6

ลำดับที่	อัตราส่วน		กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.) ที่อายุ (วัน)			ค่า OMC. ที่ใช้
	ส่วนผสม	ปูน : เถ้า (%)	7	14	28	
1	1 : 6	100 : 0	37.599	41.420	49.965	7.40
2	1 : 6	90 : 10	30.674	33.080	43.779	4.70
3	1 : 6	80 : 20	25.957	32.834	40.123	4.30
4	1 : 6	70 : 30	23.628	26.497	36.048	3.80
5	1 : 6	60 : 40	22.445	26.489	35.430	4.40
6	1 : 6	50 : 50	22.438	24.054	32.832	5.00

ตารางสรุปกำลังรับแรงอัด ส่วนผสม 1:8

ลำดับที่	อัตราส่วน		กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.) ที่อายุ (วัน)			ค่า OMC ที่ใช้
	ส่วนผสม	ปูน : เถ้า (%)	7	14	28	
1	1 : 8	100 : 0	36.464	39.092	44.409	6.60
2	1 : 8	90 : 10	26.049	28.899	38.729	5.60
3	1 : 8	80 : 20	25.172	28.632	38.262	4.70
4	1 : 8	70 : 30	23.160	26.240	32.279	4.30
5	1 : 8	60 : 40	22.297	25.351	30.353	5.50
6	1 : 8	50 : 50	22.053	23.476	28.297	5.50

ภาคผนวก ค

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน

มผช.๖๐๒/๒๕๔๗

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

อิฐบล็อกประสาน

๑. ขอบข่าย

๑.๑ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะอิฐบล็อกประสานที่มีดินลูกรังและปูนซีเมนต์เป็นส่วนประกอบหลัก

๒. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

๒.๑ อิฐบล็อกประสาน หมายถึง อิฐบล็อกที่ได้จากการนำดินลูกรัง ผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม อาจผสมวัสดุอื่นๆ เช่น หินฝุ่น ทราย กวนให้เข้ากัน เทลงในแบบพิมพ์ที่มีการออกแบบให้มีรูร่อง และเดือย อัดเป็นก้อน แล้วบ่มให้แข็งตัว

๒.๒ อิฐบล็อกประสาน ชนิดรับน้ำหนัก หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อเพื่อรับน้ำหนักโครงสร้างอาคารได้เช่น ก่อเสา ก่อผนัง

๒.๓ อิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อผนังกั้นห้องหรือก่อส่วนอื่นภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร

๓. ชนิด

๓.๑ อิฐบล็อกประสาน แบ่งออกเป็น ๒ ชนิด คือ

๓.๑.๑ ชนิดรับน้ำหนัก

๓.๑.๒ ชนิดไม่รับน้ำหนัก

๔. คุณลักษณะที่ต้องการ

๔.๑ ลักษณะทั่วไป

ต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าว อาจบิ่นได้เล็กน้อย

๔.๒ มิติ

ต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยแต่ละมิติมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± ๒ มิลลิเมตร

๔.๓ ความต้านแรงอัด

๔.๓.๑ ชนิดรับน้ำหนัก

ค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า ๗.๐ เมกะพาสคัล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

๔.๓.๒ ชนิดไม่รับน้ำหนัก

ค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า ๒.๕ เมกะพาสคัล

๔.๔ การดูดกลืนน้ำ (เฉพาะชนิดรับน้ำหนัก)

ต้องเป็นไปตามตารางที่ ๑

ตารางที่ ๑ การดูดกลืนน้ำ (ข้อ ๔.๔)

น้ำหนักอิฐบล็อกประสานเมื่ออบแห้ง กิโลกรัม	**การดูดกลืนน้ำสูงสุด เฉลี่ยจากอิฐบล็อกประสาน ๕ ก้อน กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร**
๑ ๖๘๐ และ น้อยกว่า	๒๘๘
๑ ๖๘๑ ถึง ๑ ๗๖๐	๒๗๒
๑ ๗๖๑ ถึง ๑ ๘๔๐	๒๕๖
๑ ๘๔๑ ถึง ๑ ๙๒๐	๒๔๐
๑ ๙๒๑ ถึง ๒ ๐๐๐	๒๒๔
มากกว่า ๒ ๐๐๐	๒๐๘

๕. การบรรจุ

๕.๑ หากมีการบรรจุ ให้บรรจุอิฐบล็อกประสานในภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอิฐบล็อกประสานได้

๖. เครื่องหมายและฉลาก

๖.๑ ที่ฉลากหรือภาชนะบรรจุอิฐบล็อกประสาน อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(๑) ชื่อผลิตภัณฑ์

(๒) มิติ

(๓) เดือน ปีที่ทำ

(๔) ข้อแนะนำในการใช้และการดูแลรักษา

(๕) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

มผช.๖๐๒/๒๕๔๗

๗. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

๗.๑ รุ่น ในที่นี้ หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

๗.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

๗.๒.๑ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป มิติ การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน ๕ ตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๔.๑ ข้อ ๔.๒ ข้อ ๕. และข้อ ๖. จึงจะถือว่าอิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๒.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความต้านแรงอัด ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ ๖.๒.๑ แล้ว จำนวน ๕ ตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๔.๓ จึงจะถือว่าอิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๒.๓ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบการดูดกลืนน้ำ ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน ๕ ตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๔.๔ จึงจะถือว่าอิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๓ เกณฑ์ตัดสินตัวอย่างอิฐบล็อกประสานต้องเป็นไปตามข้อ ๗.๒.๑ ข้อ ๗.๒.๒ และข้อ ๗.๒.๓ ทุกข้อ จึงจะถือว่าอิฐบล็อกประสานรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

๘. การทดสอบ

๘.๑ การทดสอบลักษณะทั่วไป การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ตรวจพินิจ

๘.๒ การทดสอบมิติให้ใช้เครื่องวัดที่เหมาะสม

๘.๓ การทดสอบความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำให้ใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. ๕๗ และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. ๕๘

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายสำเร็จ สารมาคม เกิดเมื่อวันที่ 27 ตุลาคม 2498 สำเร็จการศึกษาระดับอนุบาลจากโรงเรียนอนุบาลจังหวัดมหาสารคาม ระดับประถมศึกษาที่ 1-4 จากโรงเรียนหลักเมืองมหาสารคาม ระดับประถมศึกษาที่ 5-7 จากโรงเรียนเมืองมหาสารคาม ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 จากโรงเรียนสารคามพิทยาคม ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 จากโรงเรียนการช่างมหาสารคาม ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง จากวิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด และระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตรอุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์ กรุงเทพมหานคร และหลังจากสำเร็จการศึกษาได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมระดับภาคีวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา ปี พ.ศ.2554 นายสำเร็จเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ด้านการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ปัจจุบันรับราชการสังกัดสาขาวิชาเทคโนโลยีก่อสร้าง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ในตำแหน่งอาจารย์ และดำรงตำแหน่งประธานสาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการงานก่อสร้าง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี