



การพัฒนาบล็อกประสานผสมซีเมนต์จากขยะเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับ

ปริญญาามหาบัณฑิต

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การพัฒนาบล็อกประสานผสมซีเมนต์จากขยะเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม



โดย
นางสาวพนาพรรณ เลิศกิตติกุลโยธิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับ

ปริญญาโท

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

THE DEVELOPMENT OF INTERLOCKING BLOCK WITH FLY ASH FROM SOLID
WASTE TO REDUCE THE ENVIRONMENTAL IMPACT.



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Architecture (Architecture)
Department of Architecture
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2017
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

| | |
|----------------------|---|
| หัวข้อ | การพัฒนาบล็อกประสานผสมซีเมนต์จากขยะเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม |
| โดย | พนาพรรณ เลิศกิตติกุลโยธิน |
| สาขาวิชา | สถาปัตยกรรม แผนก ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร (วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับปริญญาโท |
| อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก | อาจารย์ ดร. สัทธา ปัญญาแก้ว |

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. พิมลศิริ ประจักษ์สาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร. สัทธา ปัญญาแก้ว)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทรนันท์ ทักขนนท์)



58054201 : สถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(วิจัยสถาปัตยกรรม)
ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ, ดินลูกรัง, อิฐบล็อกประสาน

นางสาว พนาพรรณ เลิศกิตติกุลโยธิน: การพัฒนาบล็อกประสานผสมซีเมนต์ลอยจากขยะ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร. สัทธา ปัญญาแก้ว

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาบล็อกประสานที่ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ด้วยซีเมนต์ลอยจากขยะเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการผลิตบล็อกประสานอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 6 และ 1 : 7 ที่มีการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ด้วยซีเมนต์ลอยจากขยะในปริมาณตั้งแต่ 10% - 50% ซึ่งมีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 12.5 x 25 x 10 cm. ที่อายุบ่มตั้งแต่ 7 - 42 วัน ในกระบวนการจะเริ่มตั้งแต่การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อความหนาแน่นแห้งสูงสุดด้วยมาตรฐาน Standard Proctor Test ทั้งหมด 12 ตัวอย่าง เพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน มอก.58 - 2533 บล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพจะการทดสอบด้วยห้องปฏิบัติการ และทดสอบการลดความร้อน โดยการทดสอบกล่องจำลองโมเดลขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 0.50 x 0.50 x 0.45 m. ซึ่งวัดค่าอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์มาตรฐาน

จากการศึกษาข้อมูลสารปนเปื้อนในซีเมนต์ลอยจากขยะที่สำนักงานเทศบาลเมืองจังหวัดภูเก็ต พบว่าสารปนเปื้อนไม่เกินมาตรฐานการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (EIA) จึงนำซีเมนต์ลอยจากขยะมาทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้

ผลการทดสอบการพัฒนาวัสดุบล็อกประสานผสมซีเมนต์ลอยจากขยะพบว่า บล็อกประสานอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 6 และ 1 : 7 ที่มีการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์ลอยจากขยะในปริมาณ 50% สามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ 50% รวมทั้งยังสามารถปริมาณซีเมนต์ลอยจากขยะได้ 1.336 ton / day โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 4.33 MPa และ 3.71 MPa ที่อายุบ่ม 7 วัน ซึ่งผ่านมาตรฐาน มอก.58 - 2533 บล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก และเมื่อทดสอบที่อายุบ่มมากกว่า 7 วันขึ้นไปจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงขึ้นถึงมาตรฐาน มอก.57 - 2533 บล็อกชนิดรับน้ำหนัก รวมทั้งผลการทดสอบการลดความร้อนจากกล่องจำลองโมเดลพบว่า อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 7 ที่มีซีเมนต์ลอยจากขยะในปริมาณ 50% สามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในได้สูงสุดถึง 1.20 °C ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำลงจาก 1.787 W/m-K เป็น 1.587 W/m-K รวมทั้งมีค่า

การแพร่ความร้อนต่ำลงจาก 1.014 mm²/s เป็น 0.750 mm²/s และมีค่าความจุความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 1.762 MJ/m³ เป็น 2.117 MJ/m³ เมื่อเทียบกับบล็อกประสานทั่วไป ดังนั้นการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์ลอมสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใต้ดินด้วยการฝังกลบซีเมนต์ลอมจากขยะ รวมทั้งยังสามารถลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ อีกทั้งยังมีราคาต้นทุนการผลิตต่ำกว่าบล็อกประสานโดยทั่วไปถึง 40 baht/sq.m.



58054201 : Major (Architecture)

Keyword : fly ash from solid waste, lateritic soil, interlocking block

MISS PANAPAN LERSKITTIKULYOTIN : THE DEVELOPMENT OF INTERLOCKING BLOCK WITH FLY ASH FROM SOLID WASTE TO REDUCE THE ENVIRONMENTAL IMPACT.

THESIS ADVISOR : SATTA PANYAKAEW, Ph.D.

The objectives of this research were to develop the interlocking block with fly ash from solid waste to reduce environmental impact. By producing block Portland cement : lateritic soil ratios 1 : 6 and 1 : 7 with substitution of Portland cement with fly ash from 10% to 50%. It is possible to reduce the Portland cement by 50%. As well fly ash from solid waste as 1.336 tons / day. By the block with dimension of 12.5 x 25 x 10 cm. Curing time is from 7 to 42 days. The process starts from the optimal water content to the maximum dry density for Standard Proctor Test. All 12 examples was made and tested physical will be laboratory tested and mechanical properties in accordance with TIS 58 - 2533 and thermal properties. By testing the simulation model width x length x height to 0.50 x 0.50 x 0.45 m. The temperature measurement with standard equipment.

A study of contaminants of fly ash from solid waste is found that it pass the standard of EIA. Therefore, fly ash from solid waste can be used as a substitute for Portland cement.

The tested results development the interlocking block with fly ash showed that the block Portland cement : lateritic soil ratios 1 : 6 and 1 : 7 with substitution of Portland cement with fly ash to 50%. The compressive strengths were 4.33 MPa and 3.71 MPa at the age of 7 days which was standardized by TIS 58 - 2533. When the test to curing time more than 7 days by compressive strength of up to TIS. 57 - 2533. The test results from the thermal simulation models found block Portland cement : lateritic soil ratios 1 : 7 with substitution of Portland cement with fly ash to 50%. The internal air temperature can be reduced up to 1.20 °C. The low thermal conductivity coefficient from 1.787 to

1.587 W/m-K. It also has a lower heat dissipation rate from 1.014 mm²/s to 0.750 mm²/s. The heat capacity increased from 1.762 MJ / m³ to 2.117 MJ / m³ compared to the conventional interlocking block. Therefore, the block with fly ash substitution can reduce the impact on the underground environment by landfilling fly ash. Can also heat transfer to buildings. There are also the cost of its production can be reduced to 40 baht per sq.m.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ เนื่องด้วยการได้รับคำแนะนำ และแนวทางในการดำเนินงานวิจัยจากท่าน อ.ดร.สัทธา ปัญญาแก้ว ซึ่งเป็นที่ปรึกษาการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ สำนักงานเทศบาลเมืองจังหวัดภูเก็ต และโรงงานเผาขยะ PJT จังหวัดภูเก็ต ที่ให้ความอนุเคราะห์ชี้แจงรายละเอียดจากขยะในการนำมาวิจัย รวมทั้งให้คำปรึกษา

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ศาลายา ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และอุปกรณ์ในการผลิตวัสดุบล็อกประสาน รวมทั้งท่าน อ.อาทร ชูพลสัตย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์การให้คำปรึกษา และคณะที่มนักศึกษา ได้แก่ นางสาวพิมพ์พร ยังมีสุข, นายปิยวัฒน์ กลิ่นศรีทอง, นายภูวดล วงศ์ชัยศิริ ที่ให้การช่วยเหลือในการผลิตวัสดุบล็อกประสานตลอดจนผลิตเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ค่ายคลังแสงที่ 6 กองคลังแสง กรมสรรพาวุธทหารบก จังหวัดราชบุรี และเจ้าหน้าที่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่จำลองกล่องโมเดล

ขอขอบคุณ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือวัดอุณหภูมิ รวมทั้งข้อมูลการใช้อุปกรณ์

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร และท่านคณบดี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลสารเคมีที่เกี่ยวข้องการชี้แจงรายละเอียดจากขยะเบื้องต้น

ขอขอบคุณ ท่าน รศ.ดร.พันธุ์ดา พุฒิไพโรจน์, ท่าน ผศ.ดร.ปรีชญา และท่าน อ.ดร.พิมลศิริ ประจางสาร จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความอนุเคราะห์คำแนะนำเกี่ยวกับการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ ผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่คอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ ท่านบิดา ท่านมารดา ที่ให้ความหวังใย และสนับสนุนเสมอมา

พนาพรรณ เลิศกิตติกุลโยธิน

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ฉ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ช |
| สารบัญ..... | ฌ |
| สารบัญตาราง..... | ฉ |
| สารบัญรูปภาพ..... | ท |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 12 |
| สมมติฐานของการศึกษา..... | 12 |
| ขอบเขตของการศึกษา..... | 12 |
| ขั้นตอนการศึกษาและแผนการดำเนินงาน..... | 13 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 13 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 14 |
| ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับซีเถ้าลอยจากขยะ..... | 14 |
| คุณสมบัติของซีเถ้าลอยจากขยะ..... | 14 |
| องค์ประกอบทางเคมีของซีเถ้าลอยจากขยะ..... | 15 |
| ทฤษฎีการทดสอบซีเถ้าลอยจากขยะ..... | 16 |
| อัตราส่วนการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเถ้าลอยจากขยะ..... | 16 |
| ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับบล็อกประสาน..... | 17 |
| อัตราส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานทั่วไป..... | 17 |

| | |
|--|----|
| อัตราส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์ล้อยประเภท อื่นๆ..... | 18 |
| ทฤษฎีการทดสอบดินลูกรัง | 19 |
| ทฤษฎีการทดสอบปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์..... | 19 |
| ทฤษฎีการทดสอบน้ำปะปาสะอาด..... | 20 |
| ทฤษฎีการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม | 20 |
| การทดสอบวัสดุบล็อกประสาน | 20 |
| การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุบล็อกประสาน | 20 |
| การทดสอบความสามารถในการลดความร้อนของวัสดุบล็อกประสาน..... | 21 |
| การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุบล็อกประสาน | 24 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย | 25 |
| ขั้นตอนก่อนการดำเนินการทดลองวิจัย..... | 25 |
| กระบวนการเก็บข้อมูลตัวอย่างซีเมนต์ล้อยจากขยะ | 25 |
| กระบวนการทดสอบวัตถุดิบเบื้องต้น (ทดสอบด้วยตัวเอง)..... | 29 |
| ขั้นตอนการดำเนินการทดลองวิจัย | 34 |
| กระบวนการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม | 35 |
| กระบวนการผลิตวัสดุบล็อกประสาน | 40 |
| กระบวนการบ่มวัสดุบล็อกประสาน | 45 |
| กระบวนการทดสอบวัสดุบล็อกประสาน | 51 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองวิจัย..... | 69 |
| ผลการทดสอบก่อนการดำเนินการทดลองวิจัย..... | 69 |
| ผลการทดสอบวัตถุดิบเบื้องต้น..... | 69 |
| ผลการทดสอบการดำเนินการทดลองวิจัย | 73 |
| ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม | 73 |

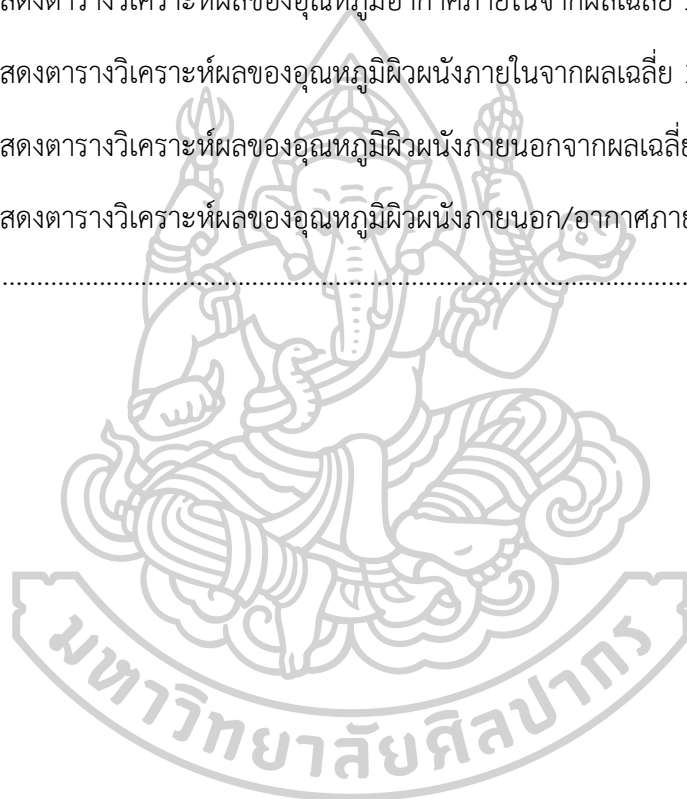
| | |
|---|-----|
| ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล..... | 74 |
| ผลการทดสอบคุณสมบัติการลดความร้อน (กล่องจำลองโมเดล)..... | 85 |
| ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ | 109 |
| ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเชิงพาณิชย์ | 112 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | 114 |
| สรุปผลการทดลอง..... | 115 |
| อภิปรายผล..... | 120 |
| ข้อเสนอแนะ | 121 |
| รายการอ้างอิง | 122 |
| ภาคผนวก..... | 125 |
| ภาคผนวก ก ทดสอบหาปริมาณน้ำ มาตรฐาน Standard Proctor test | 126 |
| ภาคผนวก ข ทดสอบหาค่ากำลังแรงอัด ตามมาตรฐาน มอก.58 – 2533 บล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก | 163 |
| ภาคผนวก ค ทดสอบเชิงกายภาพ | 174 |
| ภาคผนวก ง ทดสอบกล่องจำลองโมเดล | 182 |
| ภาคผนวก จ ข้อมูลเชิงพาณิชย์คำนวณต้นทุนการผลิต | 199 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 201 |

สารบัญตาราง

หน้า

| | | |
|-------------|--|----|
| ตารางที่ 1 | แสดงแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยด้วยวิธีการเตาเผาขยะของประเทศไทย | 3 |
| ตารางที่ 2 | แสดงปริมาณองค์ประกอบของขยะมูลฝอยของจังหวัดภูเก็ตของรายปี | 5 |
| ตารางที่ 3 | แสดงตารางองค์ประกอบทางเคมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เปรียบเทียบกับซีเมนต์เกรดลอย | 7 |
| ตารางที่ 4 | แสดงตารางเปรียบเทียบวัสดุบล็อก | 9 |
| ตารางที่ 5 | แสดงตารางวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับซีเมนต์เกรดลอยจากขยะ . | 15 |
| ตารางที่ 6 | แสดงตารางองค์ประกอบของขยะ | 26 |
| ตารางที่ 7 | แสดงตารางสารตกค้างจากการตรวจสอบผงหรือของแข็ง | 27 |
| ตารางที่ 8 | แสดงตารางสารตกค้างจากการตรวจสอบน้ำสกัด | 28 |
| ตารางที่ 9 | แสดงปริมาณอัตราส่วนผสมวัสดุบล็อกประสาน | 35 |
| ตารางที่ 10 | แสดงตารางปริมาณสัดส่วนในการผลิตวัสดุบล็อกประสาน | 41 |
| ตารางที่ 11 | แสดงตารางวัดค่ากรด - ด่าง (pH) ในน้ำชะซีเมนต์เกรดลอยจากขยะ | 69 |
| ตารางที่ 12 | แสดงตารางวัดค่าสารละลายในน้ำชะซีเมนต์เกรดลอยจากขยะ | 69 |
| ตารางที่ 13 | แสดงตารางวัดค่าทดสอบตะกอนในดินลูกรัง | 70 |
| ตารางที่ 14 | แสดงตารางตรวจสอบค่าปริมาณความชื้นดินลูกรัง | 71 |
| ตารางที่ 15 | แสดงตารางวัดค่ากรด - ด่าง (pH) ในน้ำปะปาสะอาด | 71 |
| ตารางที่ 16 | แสดงตารางวัดค่าสารละลายในน้ำปะปาสะอาด | 72 |
| ตารางที่ 17 | แสดงตารางตรวจสอบค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อความหนาแน่นแห้งสูงสุด | 73 |
| ตารางที่ 18 | แสดงตารางขนาดมิติวัสดุบล็อกประสาน | 74 |
| ตารางที่ 19 | แสดงตารางสัดส่วนผสมในการทดสอบกำลังรับแรงอัดวัสดุบล็อกประสานเบื้องต้น | 75 |
| ตารางที่ 20 | แสดงตารางสัดส่วนผสมในการทดสอบกำลังรับแรงอัดวัสดุบล็อกประสานมาตรฐาน | 80 |

| | |
|--|-----|
| ตารางที่ 21 แสดงตารางผลส่งทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพตัวอย่าง INB_1:6_No Ash และ ตัวอย่าง INB_1:7_Ash 50% | 109 |
| ตารางที่ 22 แสดงตารางผลทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพตัวอย่าง INB_1:6_Ash 50% และตัวอย่าง INB_1:7_Ash 50% | 111 |
| ตารางที่ 23 แสดงตารางรายละเอียดต้นทุนการผลิตวัสดุบล็อกประสานแต่ละอัตราส่วน | 113 |
| ตารางที่ 24 แสดงตารางวิเคราะห์ผลของอัตราส่วนผสมวัสดุบล็อกประสาน..... | 115 |
| ตารางที่ 25 แสดงตารางวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิอากาศภายในจากผลเฉลี่ย 3 วัน..... | 118 |
| ตารางที่ 26 แสดงตารางวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิผิวผนังภายในจากผลเฉลี่ย 3 วัน..... | 118 |
| ตารางที่ 27 แสดงตารางวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิผิวผนังภายนอกจากผลเฉลี่ย 3 วัน..... | 119 |
| ตารางที่ 28 แสดงตารางวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิผิวผนังภายใน/อากาศภายใน จากผลเฉลี่ย 3 วัน | 119 |



สารบัญรูปภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| ภาพที่ 1 แสดงกราฟปริมาณขยะมูลฝอยและการจัดการขยะมูลฝอย ปีพ.ศ. 2551 - 2558 | 2 |
| ภาพที่ 2 แสดงภาพขยะมูลฝอย / ขี้เถ้าหนัก / ขี้เถ้าเบา หรือ ขี้เถ้าลอยจากขยะ..... | 4 |
| ภาพที่ 3 แสดงกราฟปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยรายวันของจังหวัดภูเก็ต..... | 4 |
| ภาพที่ 4 แสดงภาพเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะชุมชนโดยใช้เตาเผา (Incineration) | 6 |
| ภาพที่ 5 แสดงภาพปริมาณเปรียบเทียบสารตั้งต้นจากองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับขี้เถ้าลอย | 8 |
| ภาพที่ 6 แสดงภาพบล็อกประสาน..... | 10 |
| ภาพที่ 7 แสดงภาพรูปแบบผนังบล็อกประสาน..... | 10 |
| ภาพที่ 8 แสดงภาพขนาดเต็มก้อน กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 12.5 x 25 x 10 cm..... | 11 |
| ภาพที่ 9 แสดงภาพการวิเคราะห์การรั่วซึมอากาศ..... | 11 |
| ภาพที่ 10 แสดงภาพขี้เถ้าลอยจากขยะ | 14 |
| ภาพที่ 11 แสดงภาพการถ่ายเทความร้อน..... | 22 |
| ภาพที่ 12 แสดงภาพขยะมูลฝอย / ขี้เถ้าหนัก / ขี้เถ้าเบา | 25 |
| ภาพที่ 13 แสดงภาพทดสอบวัดค่ากรด - ด่าง (pH) ในน้ำชะขี้เถ้าลอยจากขยะก่อน - หลังทดสอบ 24 ชั่วโมง..... | 29 |
| ภาพที่ 14 แสดงภาพทดสอบวัดค่าสารละลายในน้ำชะขี้เถ้าลอยจากขยะก่อน - หลังทดสอบ 24 ชั่วโมง..... | 30 |
| ภาพที่ 15 แสดงภาพทดสอบวัดค่าความชื้นในขี้เถ้าลอยจากขยะ | 31 |
| ภาพที่ 16 แสดงภาพทดสอบตะกอนในดินลูกรังก่อน - หลังทดสอบ 24 ชั่วโมง..... | 32 |
| ภาพที่ 17 แสดงภาพทดสอบวัดค่ากรด - ด่าง (pH) ในน้ำปะปาสะอาด | 33 |
| ภาพที่ 18 แสดงภาพทดสอบวัดค่าสารละลายในน้ำปะปาสะอาด..... | 34 |
| ภาพที่ 19 แสดงภาพชั้นตอนขังตวงวัตถุดิบ | 36 |

| | |
|--|----|
| ภาพที่ 20 แสดงภาพขั้นตอนผสมวัตถุดิบให้เข้ากัน..... | 36 |
| ภาพที่ 21 แสดงภาพขั้นตอนใช้ตุ้มตอก..... | 37 |
| ภาพที่ 22 แสดงภาพปรับหน้าโมล..... | 37 |
| ภาพที่ 23 แสดงภาพขั้นตอนชั่งน้ำหนักโมล / บันทึกราคา..... | 38 |
| ภาพที่ 24 แสดงภาพขั้นตอนการเข้าเครื่องต้นแม่แรง เพื่อเก็บตัวอย่างทดสอบ..... | 38 |
| ภาพที่ 25 แสดงภาพขั้นตอนการเก็บตัวอย่างทดสอบ..... | 39 |
| ภาพที่ 26 แสดงภาพขั้นตอนการทดสอบเข้าตุ๋บที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส..... | 39 |
| ภาพที่ 27 แสดงภาพขั้นตอนบันทึกค่าหลังการทดสอบเข้าตุ๋บที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส..... | 40 |
| ภาพที่ 28 แสดงภาพขั้นตอนชั่งตวงวัตถุดิบตามสัดส่วนที่กำหนด (ดินลูกรัง , ปูนซีเมนต์ / ไข่ไก่ , น้ำสะอาดบริสุทธิ์)..... | 42 |
| ภาพที่ 29 แสดงภาพขั้นตอนเทส่วนผสมลงบนภาชนะ ผสมจนเข้ากัน..... | 42 |
| ภาพที่ 30 แสดงภาพขั้นตอนนำส่วนผสมไปชั่งตวงน้ำหนัก..... | 43 |
| ภาพที่ 31 แสดงภาพขั้นตอนนำส่วนผสมที่ชั่งไปเทใส่เครื่องอัดบล็อกประสาน..... | 43 |
| ภาพที่ 32 แสดงภาพขั้นตอนอัดขึ้นรูปวัสดุบล็อกประสาน..... | 44 |
| ภาพที่ 33 แสดงภาพขั้นตอนนำบล็อกที่อัดไปวางเรียง รอกจนบล็อกเริ่มแข็งตัว แล้วบ่มหลัง 24 ชั่วโมง..... | 44 |
| ภาพที่ 34 แสดงภาพขั้นตอนนำบล็อกประสานวางเรียงบนผ้าพลาสติก..... | 45 |
| ภาพที่ 35 แสดงภาพขั้นตอนใช้พลาสติกคลุมบล็อกประสาน แล้วทิ้งไว้จนครบอายุบ่มที่กำหนด..... | 45 |
| ภาพที่ 36 แสดงภาพขั้นตอนนำบล็อกประสานคว่ำหน้าลง ติดตั้งไม้แบบยึดกับตัวบล็อกประสาน ... | 46 |
| ภาพที่ 37 แสดงภาพขั้นตอนการตวงส่วนผสมหอยอดรูปบล็อก อัตราส่วน (ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ) 1 : 2 : ½..... | 47 |
| ภาพที่ 38 แสดงภาพขั้นตอนการผสมส่วนผสมซีเมนต์มอดาร์..... | 47 |
| ภาพที่ 39 แสดงภาพขั้นตอนนำส่วนผสมไปหอยอดรูปบล็อกประสาน..... | 48 |
| ภาพที่ 40 แสดงภาพขั้นตอนการใช้พลาสติกคลุมบล็อกประสาน..... | 48 |
| ภาพที่ 41 แสดงภาพขั้นตอนนำบล็อกประสานวางเรียงบนผ้าพลาสติก..... | 49 |

| | |
|--|----|
| ภาพที่ 42 แสดงภาพขั้นตอนการตวงส่วนผสมของรูปลูก อัตราส่วน (ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ) 1 : 2 : ½ | 49 |
| ภาพที่ 43 แสดงภาพขั้นตอนการผสมส่วนผสมซีเมนต์มอดาร์..... | 50 |
| ภาพที่ 44 แสดงภาพขั้นตอนการนำส่วนผสมไปหยอดรูปลูกประสานที่ละชั้น และประกอบบล็อกเข้าหากัน | 50 |
| ภาพที่ 45 แสดงภาพขั้นตอนการใช้พลาสติกคลุมกำแพงบล็อกประสาน..... | 51 |
| ภาพที่ 46 แสดงภาพขั้นตอนการตรวจสอบบล็อกประสานเมื่อครบกำหนดอายุบ่ม | 51 |
| ภาพที่ 47 แสดงภาพขั้นตอนการนำก้อนวัสดุบล็อกประสานมาชั่งน้ำหนัก | 52 |
| ภาพที่ 48 แสดงภาพขั้นตอนการวัดขนาดก้อนด้วยเครื่องมือวัดเวอร์เนีย | 52 |
| ภาพที่ 49 แสดงภาพขั้นตอนการนำก้อนวัสดุบล็อกประสานเข้าเครื่องทดสอบกำลังแรงอัด..... | 52 |
| ภาพที่ 50 แสดงภาพขั้นตอนการทดสอบกำลังแรงอัดจนได้ค่ากำลังแรงอัดสูงสุด | 53 |
| ภาพที่ 51 แสดงภาพขั้นตอนการนำก้อนวัสดุบล็อกประสานออกจากเครื่องทดสอบกำลังแรงอัด..... | 53 |
| ภาพที่ 52 แสดงภาพกำหนดขนาดกล่องจำลองโมเดล | 55 |
| ภาพที่ 53 แสดงภาพกำหนดวิธีการประกอบโมเดลตัวอย่างในการทดสอบ..... | 55 |
| ภาพที่ 54 แสดงภาพขั้นตอนการตัดโฟมตามขนาดที่กำหนด | 56 |
| ภาพที่ 55 แสดงภาพขั้นตอนการยึดโฟมด้วยไม้ตะเกียบ และอุดรอยต่อโฟมด้วยซิลิโคนสีขาว | 56 |
| ภาพที่ 56 แสดงภาพขั้นตอนการประกอบผนังเข้ากับโฟม | 57 |
| ภาพที่ 57 แสดงภาพขั้นตอนการอุดรอยต่อด้วยซิลิโคน และปิดทับด้วยเทปผ้าสีขาว | 57 |
| ภาพที่ 58 แสดงภาพอุปกรณ์ในการทดสอบกล่องจำลองโมเดล..... | 58 |
| ภาพที่ 59 แสดงภาพตรวจสอบอุปกรณ์ในการทดสอบกล่องจำลองโมเดล..... | 58 |
| ภาพที่ 60 แสดงภาพติดตั้งเครื่องมือทดสอบโมเดลตัวอย่าง | 59 |
| ภาพที่ 61 แสดงภาพตำแหน่งระยะการวางกล่องจำลองโมเดล..... | 60 |
| ภาพที่ 62 แสดงภาพโมเดลตัวอย่างในการทดสอบ | 60 |
| ภาพที่ 63 แสดงภาพกล่องจำลองโมเดลตัวอย่างในช่วงเวลาทดสอบ | 61 |

| | |
|--|----|
| ภาพที่ 64 แสดงภาพขั้นตอนการเข้าเครื่องตัดเหล็ก เพื่อกำหนดแนวขนาด..... | 62 |
| ภาพที่ 65 แสดงภาพขั้นตอนการตัดด้วยหินเจียร..... | 62 |
| ภาพที่ 66 แสดงภาพขั้นตอนการเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง..... | 63 |
| ภาพที่ 67 แสดงภาพขั้นตอนการนำมาห่อหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟรอยด์ และใส่ถุงพลาสติก | 63 |
| ภาพที่ 68 แสดงภาพขั้นตอนการนำมาใส่กล่องโฟมเตรียมส่งตรวจสอบ | 64 |
| ภาพที่ 69 แสดงภาพขั้นตอนการนำบล็อกประสานมาวัดขนาด | 65 |
| ภาพที่ 70 แสดงภาพขั้นตอนการนำมาชั่งน้ำหนัก และจัดบันทึกค่า | 65 |
| ภาพที่ 71 แสดงภาพขั้นตอนการนำบล็อกเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง..... | 66 |
| ภาพที่ 72 แสดงภาพขั้นตอนการนำบล็อกประสานแช่น้ำทิ้งไว้ตามกำหนด แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก | 67 |
| ภาพที่ 73 แสดงภาพขั้นตอนการนำขึ้นมาจากน้ำ และเช็ดให้พอรอบ..... | 67 |
| ภาพที่ 74 แสดงภาพขั้นตอนการนำมาชั่งน้ำหนัก และจัดบันทึกค่า | 68 |
| ภาพที่ 75 แสดงภาพขนาดมิติวัสดุบล็อกประสาน | 74 |
| ภาพที่ 76 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละก้อนตัวอย่าง INB_1 : 6 เปรียบเทียบ 1 : 7_No Ash | 76 |
| ภาพที่ 77 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละก้อนตัวอย่าง INB_1 : 6 เปรียบเทียบ 1 : 7_Ash 10% | 76 |
| ภาพที่ 78 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละก้อนตัวอย่าง INB_1 : 6 เปรียบเทียบ 1 : 7_Ash 20% | 77 |
| ภาพที่ 79 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละก้อนตัวอย่าง INB_1 : 6 เปรียบเทียบ 1 : 7_Ash 30% | 78 |
| ภาพที่ 80 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละก้อนตัวอย่าง INB_1 : 6 เปรียบเทียบ 1 : 7_Ash 40% | 78 |
| ภาพที่ 81 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละก้อนตัวอย่าง INB_1 : 6 เปรียบเทียบ 1 : 7_Ash 50% | 79 |
| ภาพที่ 82 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดเฉลี่ยก้อนตัวอย่าง INB_1 : 6 เปรียบเทียบกับ INB_1 : 7... | 80 |

| | |
|--|----|
| ภาพที่ 83 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละตัวอย่าง INB_1 : 6 เทียบกับ 1 : 7_Ash 50%_7 DAY | 81 |
| ภาพที่ 84 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละตัวอย่าง INB_1 : 6 เทียบกับ 1 : 7_Ash 50%_14 DAY | 82 |
| ภาพที่ 85 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละตัวอย่าง INB_1 : 6 เทียบกับ 1 : 7_Ash 50%_28 DAY | 83 |
| ภาพที่ 86 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละตัวอย่าง INB_1 : 6 เทียบกับ 1 : 7_Ash 50%_42 DAY | 84 |
| ภาพที่ 87 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดเฉลี่ยก่อนตัวอย่าง INB_1 : 6_Ash50% เปรียบเทียบกับ 1 : 7_Ash50%..... | 85 |
| ภาพที่ 88 แสดงการวางกล่องจำลองโมเดล | 86 |
| ภาพที่ 89 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ | 86 |
| ภาพที่ 90 แสดงภาพกราฟพูนหภูมิอากาศของโมเดลตัวอย่าง INB_1 : 6_No Ash | 87 |
| ภาพที่ 91 แสดงภาพกราฟพูนหภูมิอากาศของโมเดลตัวอย่าง INB_1 : 6_Ash 50% | 88 |
| ภาพที่ 92 แสดงภาพกราฟพูนหภูมิอากาศของโมเดลตัวอย่าง INB_1 : 7_Ash 50% | 89 |
| ภาพที่ 93 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 1 | 90 |
| ภาพที่ 94 แสดงภาพกราฟพูนหภูมิผิวผนังภายนอกของกล่องจำลองโมเดลทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 90 |
| ภาพที่ 95 แสดงภาพกราฟพูนหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 16 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 91 |
| ภาพที่ 96 แสดงภาพกราฟพูนหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 16 - 17 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง | 92 |
| ภาพที่ 97 แสดงภาพกราฟพูนหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 17 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง | 92 |
| ภาพที่ 98 แสดงภาพกราฟพูนหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 17 - 18 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง | 93 |

| | |
|---|-----|
| ภาพที่ 99 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 18 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 93 |
| ภาพที่ 100 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 18 - 19 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 94 |
| ภาพที่ 101 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 2..... | 95 |
| ภาพที่ 102 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายในของกล่องจำลองโมเดลทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 95 |
| ภาพที่ 103 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 16 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 96 |
| ภาพที่ 104 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 16 - 17 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 97 |
| ภาพที่ 105 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 17 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 97 |
| ภาพที่ 106 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 17 - 18 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 98 |
| ภาพที่ 107 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 18 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 98 |
| ภาพที่ 108 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 18 - 19 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 99 |
| ภาพที่ 109 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 3..... | 100 |
| ภาพที่ 110 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศภายในของกล่องจำลองโมเดลทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 100 |
| ภาพที่ 111 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 16 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 101 |
| ภาพที่ 112 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 16 - 17 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 102 |
| ภาพที่ 113 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 17 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 102 |

| | |
|---|-----|
| ภาพที่ 114 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 17 - 18 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 - 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง | 103 |
| ภาพที่ 115 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 18 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 - 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 103 |
| ภาพที่ 116 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 18 - 19 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 - 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง | 104 |
| ภาพที่ 117 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 4 วันของทั้ง 4 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ ในกล่องจำลอง โมเดลทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 105 |
| ภาพที่ 118 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศช่วงเวลา 06.00 - 18.00 PM. เฉลี่ย 4 วันของทั้ง 4 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ ในกล่องจำลองโมเดลทั้ง 3 ตัวอย่าง | 106 |
| ภาพที่ 119 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศช่วงเวลา 18.00 - 06.00 AM. เฉลี่ย 4 วันของทั้ง 4 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ ในกล่องจำลองโมเดลทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 107 |
| ภาพที่ 120 แสดงภาพกราฟค่าตรวจวัดอุณหภูมิ ตัวอย่าง INB_1:6_No Ash, INB_1:6_Ash 50% และ INB_1:7_Ash 50%..... | 108 |
| ภาพที่ 121 แสดงภาพกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์กับซีเมนต์ ลอยจากขยะ..... | 114 |
| ภาพที่ 122 แสดงภาพกราฟเปรียบเทียบผลจากการทดลองวิจัย..... | 116 |
| ภาพที่ 123 แสดงภาพกราฟรายละเอียดเปรียบเทียบผลจากการทดลองวิจัย..... | 117 |
| ภาพที่ 124 แสดงภาพกราฟรายละเอียดการวิเคราะห์กำลังแรงอัดต่ออัตราส่วนต้นทุนการผลิต เปรียบเทียบผลจากการทดลองวิจัย..... | 117 |
| ภาพที่ 125 แสดงภาพกราฟวิเคราะห์มวล / ปริมาตร (หยอดรูปูน) ทั้ง 3 ตัวอย่าง..... | 120 |

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาภาวะโลกร้อนเนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ฯลฯ เป็นจำนวนมาก (กรมอนามัย, 2555) ซึ่งสาเหตุหนึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการจัดการขยะ ประเทศไทยมีปริมาณขยะมากขึ้นทุกปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) กระบวนการจัดการขยะด้วยการเผาเพื่อกำจัด หรือการเผาเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศจำนวนมาก จึงมีการแก้ไขปัญหาโดยวิธีการควบคุมด้วยวิธีการทางเทคนิค ก่อนปล่อยออกสู่ปล่องระบายอากาศ โดยระบบตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบ CEMS, Continuous Emissions Monitoring System (สำนักงานเทศบาลเมืองจังหวัดภูเก็ต, 2560) แต่ก็ยังมีของเหลือทิ้งจากการเผา ได้แก่ ขี้เถ้าลอยจากขยะ เป็นจำนวนมากด้วยเช่นกัน โดยการจัดการกับขี้เถ้าลอยนี้จะใช้วิธีการฝังกลบซึ่งก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดสารพิษที่ใต้ดิน จึงมีวิธีการจัดการโดยสร้างบ่อปูนซีเมนต์ภายในบ่อปูด้วยแผ่น HDPE อย่างดี 4 ด้าน และปิดแผ่น HDPE ทับด้านบนอีกที เพื่อป้องกันน้ำชะออกสู่แหล่งสาธารณะ จากการศึกษาข้อมูลจำนวนการเผาขยะของจังหวัดภูเก็ตพบว่า มีการเผาขยะ 700 ton / day จะมีการเหลือขี้เถ้าลอยจากขยะ 17.50 ton / day จึงเห็นได้ว่าขี้เถ้าลอยจากขยะนั้น ซึ่งเป็นของเหลือในปริมาณที่เพิ่มขึ้นที่ยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์

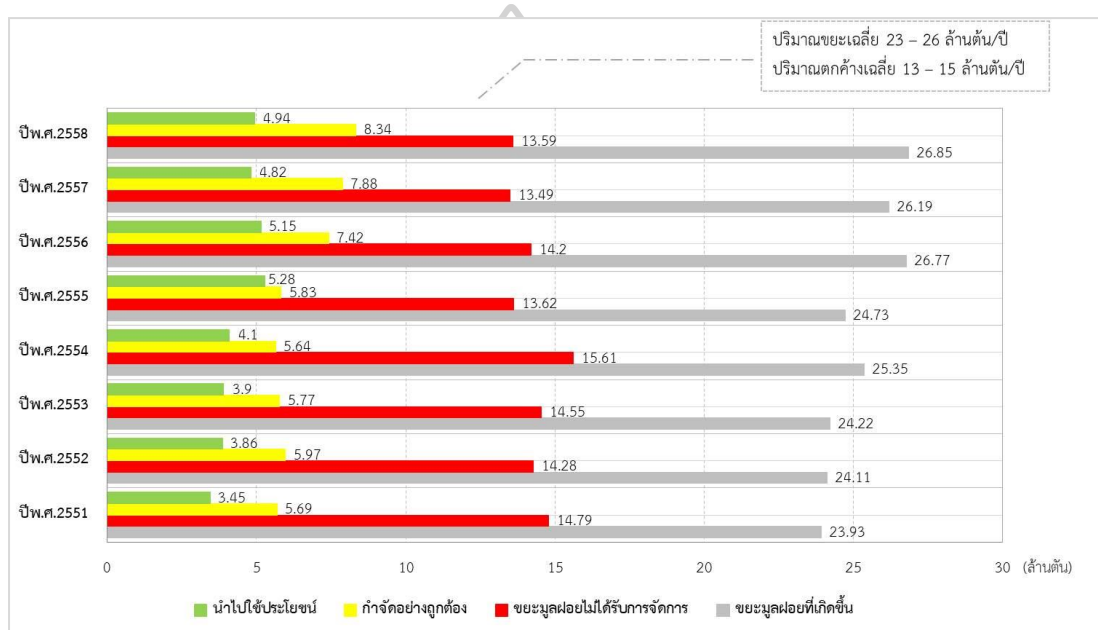
จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา (ภักวิวัฒน์ แสนเจริญ, 2546) พบว่าขี้เถ้าลอยมีสารปนเปื้อนทางเคมีที่อันตราย แต่เมื่อนำมาทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในการผลิตคอนกรีตจะช่วยลดปริมาณสารปนเปื้อนได้ จากการได้ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของขี้เถ้าลอยพบว่า ขี้เถ้าลอยมีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่มีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่า เมื่อนำขี้เถ้าลอยมาทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตประมาณ 10 – 15% คอนกรีตนั้นยังคงมีคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางกายภาพเหมือนเดิม และยังได้มีวัสดุก่อสร้างอาคารที่สามารถทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยขี้เถ้าลอยจากขยะ ได้แก่ อิฐบล็อกประสาน และอิฐมวลเบา ซึ่งอิฐมวลเบามีการลดความร้อนที่ดีกว่าอิฐบล็อกประสาน

ดังนั้นจากข้อมูลของวิจัยข้างต้นจึงนำมาสู่แนวคิดในการผลิตวัสดุบล็อกประสานผสมขี้เถ้าลอยจากขยะ เพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยผลิตภายใต้มาตรฐานมอก.58 - 2533 บล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ซึ่งมาตรฐานจะกำหนดขนาดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 2 mm. มีค่ากำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 2.5 MPa การนำขี้เถ้าลอยมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตวัสดุบล็อกประสาน

จะสามารถช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดของเหลือทิ้งของกระบวนการจัดการขยะได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยรายปีของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ.2551 - 2558

ประเทศไทยมีแนวโน้มขยะเพิ่มปีละ 600,000 ton จากปริมาณขยะมูลฝอยปัจจุบันกว่า 23 - 26 million tons / year และมีปริมาณขยะมูลฝอยตกค้างกว่า 13 - 15 million tons / year ขณะที่สามารถกำจัดอย่างถูกต้องได้เพียงกว่า 5 - 8 million tons / year รวมทั้งที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เพียงกว่า 3 - 4 million tons / year (กรมควบคุมมลพิษ, 2560)



ภาพที่ 1 แสดงกราฟปริมาณขยะมูลฝอยและการจัดการขยะมูลฝอย ปีพ.ศ. 2551 - 2558

ผลสรุปจากการศึกษาข้อมูลพบว่า จำนวนขยะมูลฝอยในประเทศไทย มีเกณฑ์เฉลี่ยสูงเพิ่มขึ้นในทุกปี ซึ่งส่งผลกระทบต่อทางด้านมลพิษ และมลภาวะเป็นอย่างมาก รวมทั้งจำนวนสถานที่กำจัด และเทคโนโลยียังไม่มีที่ยอมรับเป็นที่แพร่หลาย

2. ข้อมูลเกี่ยวกับนโยบายการจัดการปริมาณขยะมูลฝอย

ประเทศไทยมีแนวโน้มปริมาณขยะมูลฝอยตกค้างเพิ่มขึ้นกว่า 13 - 15 million tons / year (ตามภาพที่ 1) จึงทำให้มีการวางแผนนโยบายการก่อสร้างโรงกำจัดขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้น โดยมีการก่อสร้างเสร็จแล้ว 15 โครงการ และอยู่ระหว่างกำลังก่อสร้างอีก 5 โครงการ รวมทั้ง 20 โครงการ แต่ไม่สามารถเปิดดำเนินการได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2560)

ผลสรุปจากการศึกษาข้อมูลพบว่า ขณะที่มีปัญหาขยะมูลฝอยตกค้าง แต่ก็ยังมีโครงการโรงกำจัดขยะมูลฝอยอย่างถูกต้องได้กว่า 5 – 8 million tons / year ซึ่งเป็นแนวโน้มในการศึกษาโครงการโรงกำจัดที่สามารถดำเนินการต่อไปได้

3. ข้อมูลแหล่งกำจัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีการเตาเผาขยะของประเทศไทย

ตารางที่ 1 แสดงแหล่งกำจัดขยะมูลฝอยด้วยวิธีการเตาเผาขยะของประเทศไทย

| รูปแบบเทคโนโลยีการจัดการขยะ | จังหวัดที่มีการใช้เทคโนโลยีการจัดการขยะ | | | | |
|--------------------------------|---|---------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|
| | จังหวัดภูเก็ต | จังหวัดสุราษฎร์ธานี | จังหวัดลำพูน | จังหวัดชลบุรี | จังหวัดสมุทรปราการ |
| INCINERATION (เทคโนโลยีเตาเผา) | ผลิตไฟฟ้าจากขยะทั่วไป | ใช้กำจัดขยะ | ใช้กำจัดขยะ | ผลิตไฟฟ้าจากขยะอุตสาหกรรม | ผลิตไฟฟ้าจากขยะอุตสาหกรรม |

ผลสรุปจากการศึกษาข้อมูลพบว่า แหล่งกำจัดขยะมูลฝอยที่ใช้วิธีการกำจัดด้วยวิธีเตาเผาขยะ ทั้งการกำจัดและการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากขยะ มีด้วยกัน 5 จังหวัด ซึ่งจะเลือกกรณีศึกษาโครงการโรงเผาขยะชุมชน PJT จังหวัดภูเก็ต (ตามตารางที่ 1)

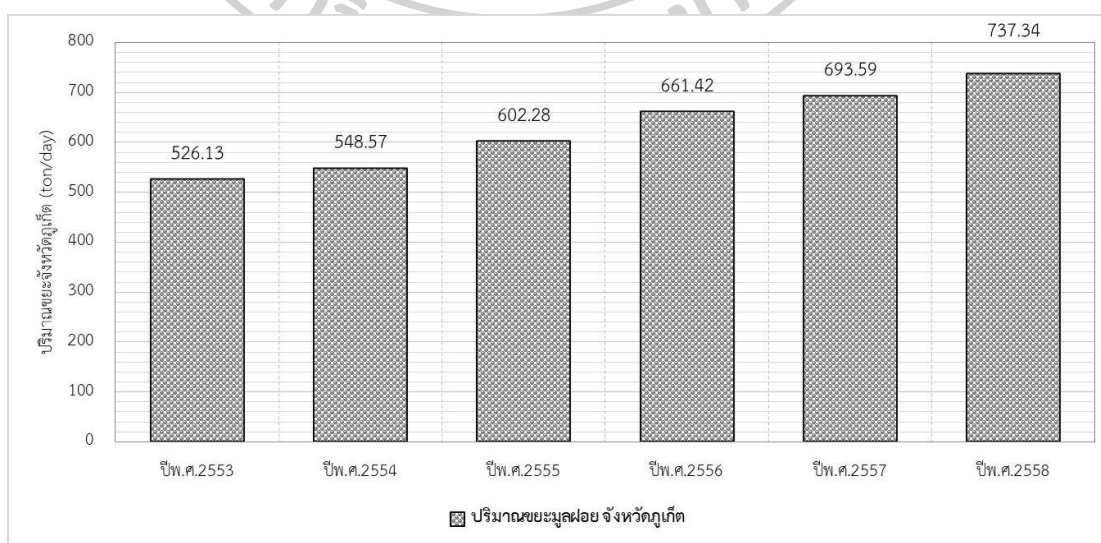


4. ข้อมูลเกี่ยวกับจังหวัดภูเก็ตที่มีการใช้เทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากขยะชุมชนโดยใช้เตาเผา และปริมาณซีเมนต์ล่อยจากขยะ กรณีศึกษาโครงการโรงเผาขยะชุมชน PJT จังหวัดภูเก็ต (สำนักงานเทศบาลเมืองจังหวัดภูเก็ต, 2560)



ภาพที่ 2 แสดงภาพขยะมูลฝอย / ซีเมนต์หนัก / ซีเมนต์เบา หรือ ซีเมนต์ล่อยจากขยะ

ผลสรุปจากการศึกษาข้อมูลพบว่า ความสามารถในการเผาทำลายขยะมูลฝอย 700 ton / day จำนวนขยะ 1 ton เหลือจำนวนซีเมนต์หนักปริมาณกว่า 25% ซึ่งเป็นขยะที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ จึงนำไปถมถนนเพื่อให้เกิดประโยชน์ และเหลือจำนวนซีเมนต์เบาหรือซีเมนต์ล่อยจากขยะปริมาณกว่า 2.5% (ตามภาพที่ 2) โดยจำนวนซีเมนต์ล่อยจากขยะมูลฝอยของจังหวัดภูเก็ตในแต่ละวันมีปริมาณ 17.50 ton / day เมื่อเทียบกับอัตราจำนวนขยะที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี มีแนวโน้มในการเกิดปริมาณซีเมนต์ล่อยจากขยะเพิ่มขึ้น ซึ่งซีเมนต์ล่อยจากขยะจะนำไปฝังกลบในบ่อปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ เพื่อป้องกันปริมาณโลหะหนักออกสู่แหล่งสาธารณะ ตามมาตรฐานการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment, EIA)



ภาพที่ 3 แสดงกราฟปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ยรายวันของจังหวัดภูเก็ต

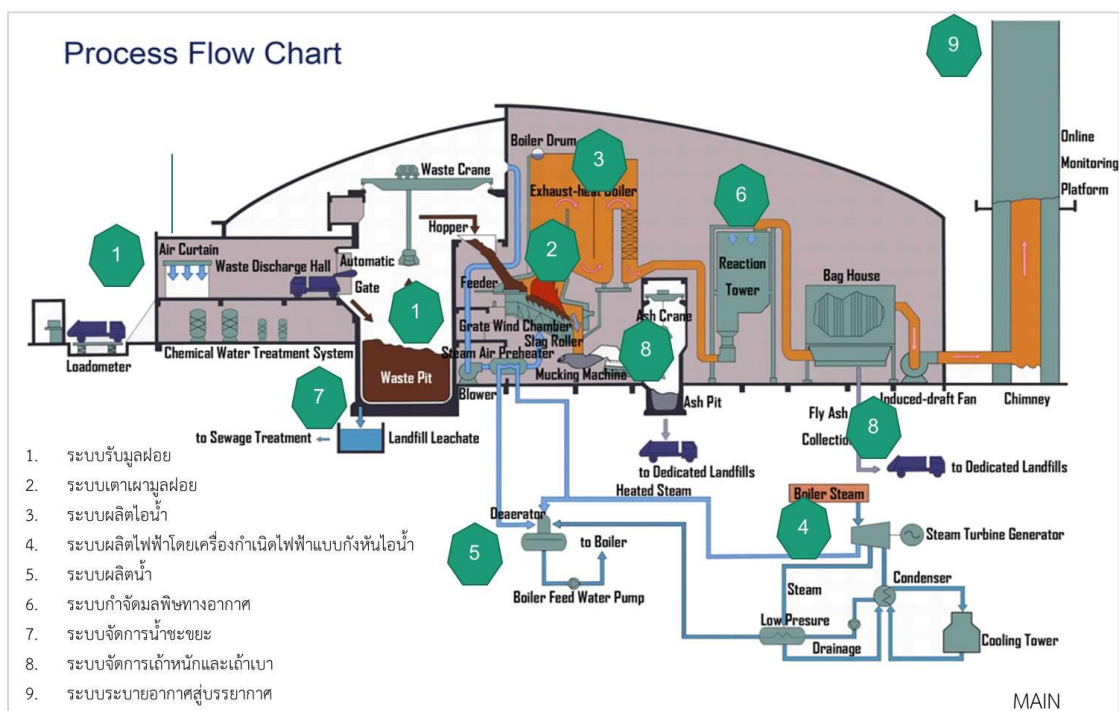
5. ข้อมูลปริมาณขยะรายปี กรณีศึกษาโครงการโรงเผาขยะชุมชน PJT จังหวัดภูเก็ต

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณองค์ประกอบของขยะมูลฝอยของจังหวัดภูเก็ตของรายปี

| ประเภทของขยะ | ปีพ.ศ.2547 | ปีพ.ศ.2558 | ปีพ.ศ.2560 |
|--------------|------------|------------|------------|
| ขยะอินทรีย์ | 64% | 57% | 33.75% |
| พลาสติก | 17% | 18% | 18.99% |
| กระดาษ | 8% | 21% | 8.97% |
| เศษผ้า | 1% | | 7.11% |
| แก้ว | 3% | 4% | 4.27% |
| โลหะ | 2% | | 3.16% |
| เศษไม้ | 1% | - | 10.33% |
| ยาง/หนัง | 1% | - | 0.54% |
| อื่นๆ | 3% | - | 11.47% |
| รวม | 100% | 100% | 100% |

ผลสรุปจากการศึกษาข้อมูลพบว่า ปริมาณองค์ประกอบของขยะมูลฝอยประเภทขยะอินทรีย์ในปี 2560 มีปริมาณน้อยลง รวมทั้งผลจากการตรวจสอบ ("มาตรฐานผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Environmental Impact Assessment EIA," 2535) จากสำนักงานเทศบาลจังหวัดภูเก็ต พบว่าสารปนเปื้อนจากชี้เถ้าลอยจากขยะไม่มีปริมาณสารปนเปื้อนเกินมาตรฐานพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.๒๕๓๕ เรื่อง กฎ ประกาศ และระเบียบที่เกี่ยวข้องด้านการควบคุมมลพิษ พิมพ์ครั้งที่ ๖, ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. ๒๕๓๘ เล่ม ๑๒๓ (ตามตารางที่ 2)

6. ข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะชุมชนโดยใช้เตาเผา (Incineration) กรณีศึกษา โครงการโรงเผาขยะชุมชน PJT จังหวัดภูเก็ต (สำนักงานเทศบาลเมืองจังหวัดภูเก็ต, 2560)



ภาพที่ 4 แสดงภาพเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากขยะชุมชนโดยใช้เตาเผา (Incineration)

ที่มา : จากการศึกษาข้อมูล (สำนักงานเทศบาลเมืองจังหวัดภูเก็ต, 2560)

การเผาขยะในเตาเผาที่มีการออกแบบเป็นพิเศษให้ใช้กับขยะที่มีความชื้นสูงถึง 30 - 40% รองรับขนาดปริมาณขยะถึง 350 ton / device และกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถึง 12 MW/hr โดยมีจำนวน 2 เครื่อง จึงสามารถรองรับการกำจัดขยะได้ถึง 700 ton / day (ตามภาพที่ 4)

ผลสรุปจากการศึกษาข้อมูลพบว่า กรณีศึกษาโครงการโรงเผาขยะชุมชน PJT จังหวัดภูเก็ต (สำนักงานเทศบาลเมืองจังหวัดภูเก็ต, 2560) ส่วนของระบบเทคโนโลยีมีการพัฒนาให้มีการควบคุมมลพิษ มลภาวะเป็นอย่างดี ตรวจสอบโดยการรับรองด้วยมาตรฐานการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment, EIA) แต่จากวิธีดังกล่าวทำให้ยังคงเหลือขี้เถ้าลอยจากขยะจำนวนมาก ที่เป็นของเหลือทิ้ง

7. ข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เปรียบเทียบกับซีเมนต์จากขยะ และซีเมนต์จากถ่านหิน

ตารางที่ 3 แสดงตารางองค์ประกอบทางเคมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เปรียบเทียบกับซีเมนต์

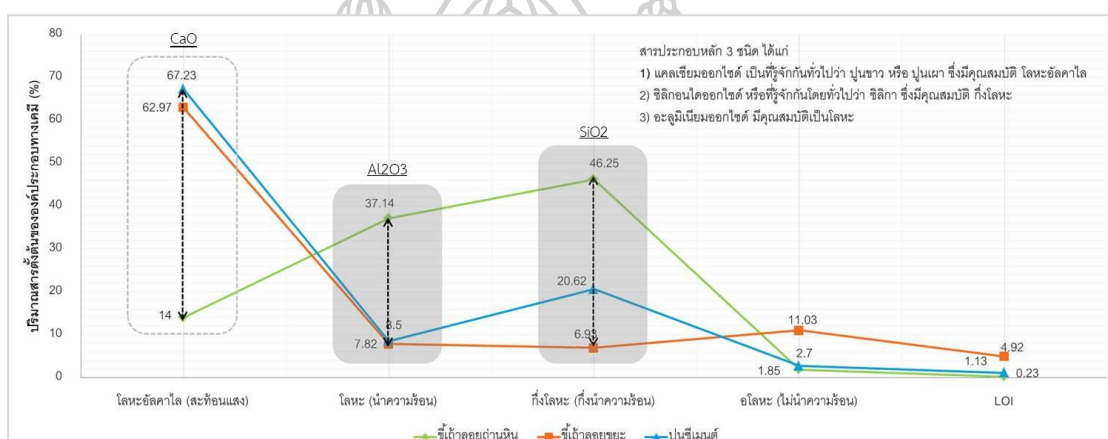
| องค์ประกอบทางเคมี | ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ (%) | ซีเมนต์ จากขยะ (%) | ซีเมนต์ จากถ่านหิน (%) | สารตั้งต้น |
|---|---------------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|
| CaO | 65.00 | 44.38 | 7.61 | โลหะอัลคาไล |
| SiO ₂ | 20.62 | 8.55 | 46.25 | กึ่งโลหะ |
| Al ₂ O ₃ | 5.22 | 4.90 | 26.43 | โลหะ |
| Fe ₂ O ₃ | 3.10 | 1.23 | 10.71 | โลหะทรานซิชัน |
| SO ₃ | 2.70 | 7.93 | 1.85 | อโลหะ |
| MgO | 0.91 | 4.12 | 2.21 | โลหะอัลคาไล เอิร์ท |
| Na ₂ O | <0.01 | 1.53 | 1.11 | โลหะอัลคาไล |
| K ₂ O | 1.13 | 0.65 | 3.07 | โลหะอัลคาไล |
| TiO ₂ | 0.18 | 0.83 | - | โลหะทรานซิชัน |
| Cr ₂ O ₃ , CuO , MnO , ZnO | - | 0.94 | - | โลหะทรานซิชัน |
| SrO | - | 0.05 | - | โลหะอัลคาไล เอิร์ท |
| PbO , SnO ₂ | - | 0.50 | - | โลหะหลัง ทรานซิชัน |
| P ₂ O ₅ | - | 2.60 | - | อโลหะ |
| Cl | - | 4.48 | - | ก๊าซ |
| LOI คือ ค่าการสูญเสีย จากการเผาไหม้ | 1.13 | 17.33 | 0.23 | - |
| รวมทั้งหมด | 100 | 100 | 99.47 | - |

ที่มา : จากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยเรื่องคุณสมบัติของคอนกรีตที่ทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย และตะกรันเตาถลุงในปริมาณสูง (ปทุมมาน,2552) , เรื่องการเผาปูนเม็ดสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์โดยใช้เตาเผาคลื่นไมโครเวฟ (ประภัสสร แก้ววิจิตร ,จรรยา จันทร์สมบูรณ์ และ ดวงฤดี ฉายสุวรรณ) , ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอก. 15 เล่ม 1-2555 ประเภทหนึ่ง

ผลสรุปจากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยพบว่า องค์ประกอบทางเคมีหลักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และซีเมนต์จากขยะ มีค่าใกล้เคียงกัน รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์มีปริมาณที่มากกว่า แสดงให้เห็นถึงค่าการนำความร้อนที่มากกว่า และมีความแข็งแรงกว่า ฉะนั้นจะเห็นได้ว่าคุณสมบัติทางเคมีของซีเมนต์จากขยะ เมื่อทดแทนปูนซีเมนต์ จะทำให้ค่าการนำความร้อนต่ำกว่า แต่แข็งแรงน้อยกว่า (ตามตารางที่ 3)

8. คุณสมบัติปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, ซีเมนต์จากขยะ และซีเมนต์จากถ่านหิน

ซีเมนต์จากขยะ มีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าปูนซีเมนต์ในวัสดุบล็อกประสาน รวมทั้งยังมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ตามภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 แสดงภาพปริมาณเปรียบเทียบสารตั้งต้นจากองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับซีเมนต์จากขยะ









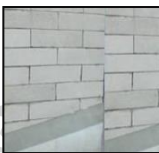

ผลสรุปจากการศึกษาข้อมูลพบว่า ซีเมนต์จากขยะพบ สารประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่

1. แคลเซียมออกไซด์ มีคุณสมบัติเป็นโลหะอัลคาไล สามารถสะท้อนแสงได้
2. ซิลิกอนไดออกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นกึ่งโลหะ มีความแข็งแรง
3. อะลูมิเนียมออกไซด์ สถานะเป็นของแข็ง มีคุณสมบัติเป็นโลหะ สามารถนำความร้อนได้ดี

รวมทั้งเมื่อศึกษาซีเมนต์จากขยะยังพบว่า คุณสมบัติเบื้องต้นมีสารประกอบที่ทำให้มีค่าการนำความร้อนน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และส่งผลทำให้มีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยลง

9. ข้อมูลวัสดุบล็อกทั่วไป

ตารางที่ 4 แสดงตารางเปรียบเทียบวัสดุบล็อก

| คุณสมบัติ | อิฐมอญ | อิฐบล็อก ประสาน | อิฐบล็อก ซีเมนต์ | อิฐมวลเบา | อิฐขาว |
|---|---|---|--|--|--|
| ขนาดของวัสดุ กว้าง x ยาว x สูง (cm.) | 6 x 14 x 3  | 12.5 x 25 x 10  | 7 x 39 x 19  | 7.5 x 60 x 20  | 7 x 24 x 11  |
| คุณสมบัติของ วัสดุ | ก่อฉาบ  | ไม่ก่อฉาบ  | ก่อฉาบ  | ก่อฉาบ  | ก่อฉาบ  |
| น้ำหนักของ วัสดุ (kg.) | 0.96 | 6.00 | 5.00 | 5.40 | 2.70 |
| กำลังแรงอัด ของวัสดุ (MPa) | 2.0 – 4.0 | มากกว่า 7.0 | 1.0 – 1.5 | 3.5 – 5.0 | 15.0 – 18.0 |
| ค่าดูดซึมน้ำ (%) | 40 % | น้อยกว่า 15 % | 58 % | 12.5 - 20 % | 18.9 % |
| ค่าการนำความร้อน (w/m-k) | 1.15 | ± 0.89 | 0.546 | 0.24 | 0.75 |

ที่มา : จากการศึกษาข้อมูลเว็บไซต์ <http://110m.blogspot.com/> ออนไลน์ 05.02.17 เวลา 12.19 ,ศึกษาข้อมูลวิจัยเรื่อง บล็อก
ประสาน คอนกรีตบล็อก อิฐมอญกรณีศึกษาเปรียบเทียบวัสดุ ก่อผนัง สำหรับบ้านพักอาศัยในอำเภอจตุรัส จังหวัดชัยภูมิ (สุภา
กานต์, 2557)

ผลสรุปจากการศึกษาข้อมูลพบว่า คุณสมบัติวัสดุด้านเชิงเศรษฐกิจ ในการก่อสร้างวัสดุ
บล็อกประสานสามารถลดต้นทุนในการก่อสร้างมากที่สุด ซึ่งไม่มีค่าใช้จ่ายการก่อ และฉาบ เนื่องจาก
วัสดุมีความสวยงามของสีวัสดุธรรมชาติ รวมทั้งยังมีลักษณะยึดประสานด้วยวัสดุเอง จึงลดการ
สิ้นเปลืองของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ตามตารางที่ 4)

10. ข้อมูลวัสดุบล็อกประสานทั่วไป

บล็อกประสาน คือ วัสดุบล็อกก่อที่ได้ทำการพัฒนามาในรูปแบบให้มีรู และเดือยบนตัวบล็อก เพื่อให้สะดวกในการก่อสร้าง โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในพื้นที่ ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทราย หรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ ที่มีความเหมาะสม นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมอัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดแล้วนำมาบ่ม จะได้บล็อกประสานที่มีความแข็งแรง มีรูป ลวดลาย และลักษณะพิเศษ ที่สามารถใช้ในการก่อสร้างอาคารต่างๆ หรือก่อเป็นถังเก็บน้ำได้อย่างรวดเร็ว สวยงาม และประหยัดกว่างานก่อสร้างทั่วไป (ตามภาพที่ 6)



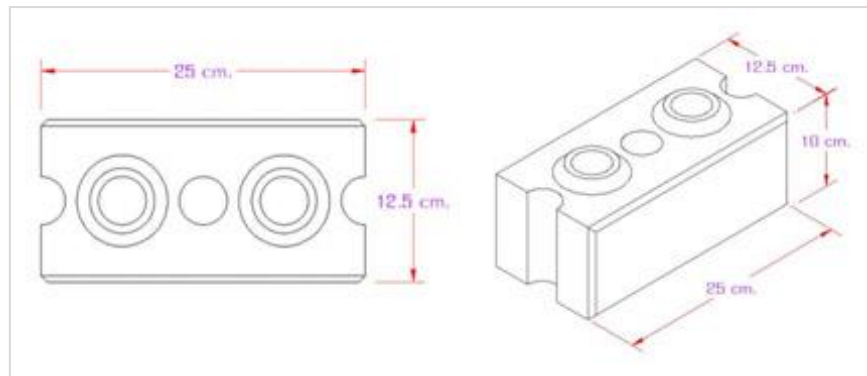
ภาพที่ 6 แสดงภาพบล็อกประสาน

ผลสรุปจากการศึกษาข้อมูลพบว่า บล็อกประสานเป็นบล็อกที่มีส่วนผสมหลัก คือ ดินลูกรัง ซึ่งช่วยในการกักเก็บอุณหภูมิจึงมีความแข็งแรง (ตามภาพที่ 7)



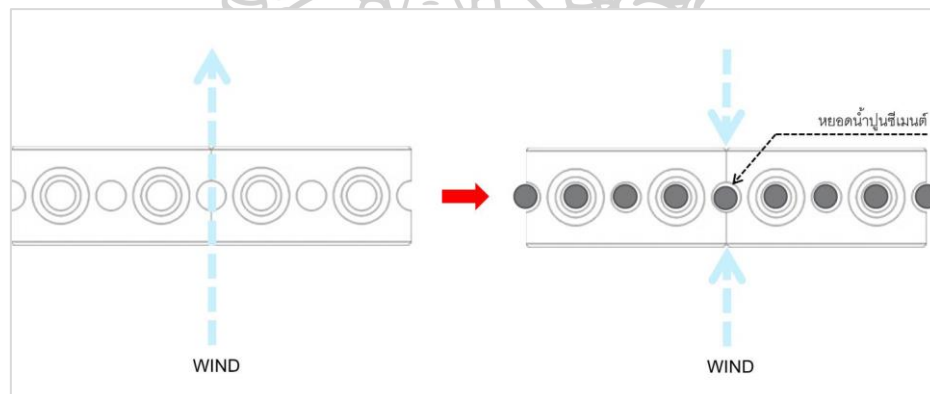
ภาพที่ 7 แสดงภาพรูปแบบผนังบล็อกประสาน

ลักษณะรูปแบบของบล็อกประสานที่นำมาก่อสร้าง จะมีลักษณะตรงหรือทรงสี่เหลี่ยมใช้สำหรับก่อสร้างอาคาร จะมีรูเอาไว้เสียบเหล็ก เพื่อให้ได้แนว รวมทั้งยังมีรูในการหยอดน้ำปูน (ตามภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 แสดงภาพขนาดเต็มก้อน กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 12.5 x 25 x 10 cm.

ส่วนผสมของบล็อกประสานที่เหมาะสมควร ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ส่วนใหญ่มีอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมประมาณ 1 : 6 ถึง 1 : 8 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของมวลรวมเป็นหลัก



ภาพที่ 9 แสดงภาพการวิเคราะห์การรั่วซึมอากาศ

ผลสรุปจากการศึกษาข้อมูลพบว่า บล็อกประสานเมื่อก่อบล็อกแล้ว น้ำปูนมาหยอดสามารถป้องกันการรั่วซึมของอากาศ และยังช่วยในเรื่องของการยึดเกาะบล็อกประสาน ตามภาพที่ 9

ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อผลิตวัสดุบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของซีเมนต์จากขยะ ตามมาตรฐานมอก.58 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของซีเมนต์จากขยะ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ค่าความจุความร้อน ค่าความจุความร้อน ค่าความหนาแน่น ค่าปริมาณความชื้น และค่าการดูดกลืนน้ำของวัสดุบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของซีเมนต์จากขยะ
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการช่วยลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคารของวัสดุบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของซีเมนต์จากขยะเปรียบเทียบกับบล็อกประสานที่ไม่มีซีเมนต์จากขยะ
4. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการช่วยลดการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของวัสดุบล็อกประสานที่มีส่วนผสมของซีเมนต์จากขยะ
5. เพื่อศึกษาต้นทุนการผลิตเปรียบเทียบกับวัสดุบล็อกประสานตามท้องตลาด

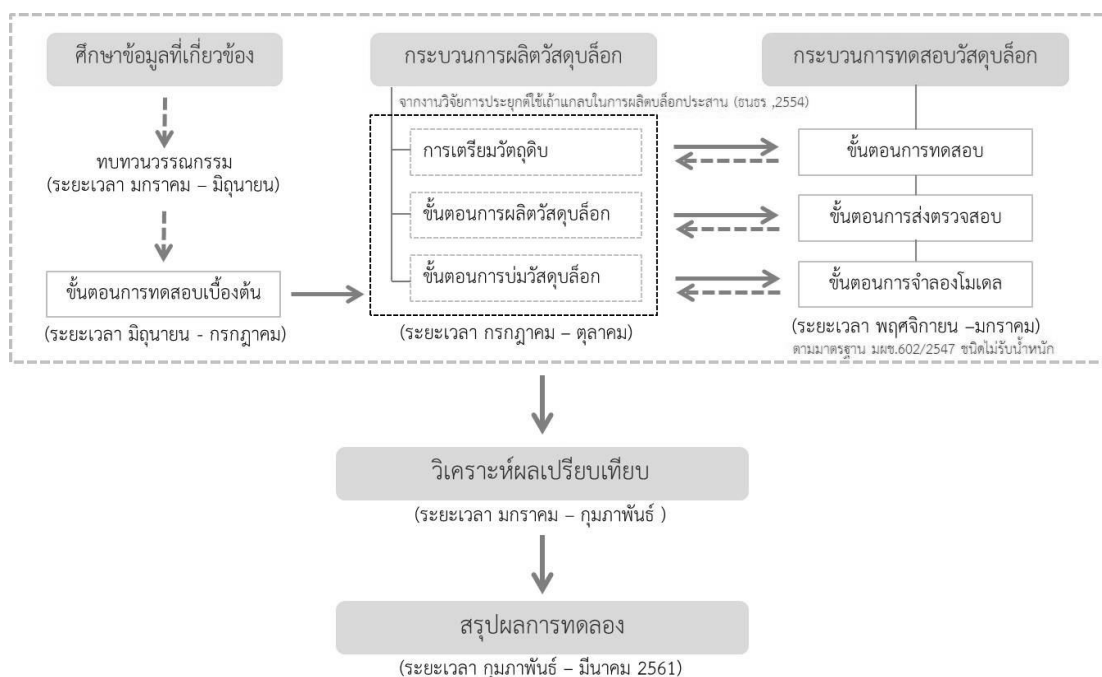
สมมติฐานของการศึกษา

บล็อกประสานที่มีส่วนผสมซีเมนต์จากขยะ มีประสิทธิภาพในการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อช่วยลดปริมาณซีเมนต์จากขยะที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ฝังกลบ รวมทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใต้ดิน และคุณสมบัติการนำความร้อนที่ต่ำกว่า รวมทั้งยังสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าบล็อกประสานที่ไม่มีส่วนผสมซีเมนต์จากขยะ นอกจากนี้ยังสามารถผ่านมาตรฐานมอก.58 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก

ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลซีเมนต์จากขยะ ในจังหวัดภูเก็ต ซึ่งเป็นแหล่งซีเมนต์จากขยะที่ได้มีการทำการศึกษาวิจัย และนำซีเมนต์จากขยะมาทำการทดสอบเบื้องต้น เพื่อให้ผ่านเรื่องการจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ปีพ.ศ.2548
2. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง ในจังหวัดราชบุรี ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4 มม. มาเป็นส่วนผสมในการผลิตบล็อกประสานซีเมนต์จากขยะ
3. สถานที่ทำการทดลอง ประสิทธิภาพของบล็อกประสานที่มีส่วนผสมซีเมนต์จากขยะเปรียบเทียบกับบล็อกประสานที่ไม่มีส่วนผสมของซีเมนต์จากขยะ ในการลดการนำความร้อนภายในอาคาร โดยการใช้กล่องจำลองโมเดล ในภูมิอากาศของจังหวัดราชบุรี

ขั้นตอนการศึกษาและแผนการดำเนินงาน



ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการผลิตวัสดุเปลือกประสานที่มีส่วนผสมของซีเถ้าลอยจากขยะ ตามมาตรฐาน มอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก
2. ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเปลือกประสานที่มีส่วนผสมของซีเถ้าลอยจากขยะ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ค่าความจุความร้อน ค่าความหนาแน่น ค่าปริมาณความชื้น และค่าการดูดกลืนน้ำของวัสดุเปลือกประสานที่มีส่วนผสมของซีเถ้าลอยจากขยะ
3. ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการช่วยลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคารของวัสดุเปลือกประสานที่มีส่วนผสมของซีเถ้าลอยจากขยะเปรียบเทียบกับบล็อกประสานที่ไม่มีซีเถ้าลอยจากขยะ
4. ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการช่วยลดการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของวัสดุเปลือกประสานที่มีส่วนผสมของซีเถ้าลอยจากขยะ เพื่อลดการใช้ทรัพยากร และลดปริมาณซีเถ้าลอยจากขยะ ที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ฝังกลบ รวมทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใต้ดิน
5. ได้ศึกษาต้นทุนการผลิตเปรียบเทียบกับวัสดุเปลือกประสานตามท้องตลาด เพื่อเป็นแนวทางในการช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับซีเมนต์ล่อยจากขยะ



ภาพที่ 10 แสดงภาพซีเมนต์ล่อยจากขยะ

ซีเมนต์ล่อยจากขยะ มาจากการกระบวนการเผาขยะด้วยเทคโนโลยีเตาเผาแบบตะกรับเตา ขนาด 67.67 ตร.ม. ที่อุณหภูมิเผาไหม้ 850 - 950 °C เมื่อเผาไหม้เสร็จสมบูรณ์จะได้ซีเมนต์ล่อยจากขยะ ซึ่งสามารถนำมาเป็นส่วนผสมเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ตามภาพที่ 10)

คุณสมบัติของซีเมนต์ล่อยจากขยะ

ซีเมนต์ล่อยจากขยะมีขนาดอนุภาคของซีเมนต์ล่อยจากขยะมีค่าการดูดกลืนน้ำที่ 21.01% และมีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.92 แต่เมื่อนำไปผลึกแข็งกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีค่าการดูดกลืนน้ำที่ 10.32% และมีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.26 ซึ่งขณะที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีค่าความถ่วงจำเพาะ 3.14 (ภักดิ์วัฒน์ แสนเจริญ, 2546)

ซีเมนต์ล่อยจากขยะมีขนาดอนุภาคเท่ากับ ≤ 50 ไมครอน โดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 และมีค่าปริมาณความชื้นในซีเมนต์ล่อยจากขยะ $\leq 0.44\%$ ซึ่งการนำเอาซีเมนต์ล่อยมาบำบัดปรับเสถียรโดยการล้างแล้วนำมาผสมกับปูนซีเมนต์โดยวิธีการผลึกแข็งสามารถลดปริมาณสารปนเปื้อน (สุธีร์ ทราดธารทิพย์, 2548)

จากการศึกษาวิธีการทดแทนซีเมนต์ล่อยจากขยะโดยการผลึกแข็งด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พบว่า สามารถช่วยลดปริมาณสารปนเปื้อนลง

องค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์จากขยะ

ตารางที่ 5 แสดงตารางวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์กับซีเมนต์จากขยะ

| องค์ประกอบทางเคมี | ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (%) | ซีเมนต์จากขยะ (%) | | | | |
|---|--------------------------|-------------------|----------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|
| | | (สุธีร์, 2005) | (Kuen – Sheng, 2007) | (Xiaolu Guo, 2013) | (Garcia – Lodeiro, 2015) | (Francesco Colangelo, 2015) |
| CaO | 65.00 | 44.38 | 39.68 | 30.70 | 37.34 | 32.11 |
| SiO ₂ | 20.62 | 8.55 | 10.69 | 17.70 | 2.54 | 7.93 |
| Al ₂ O ₃ | 5.22 | 4.90 | 4.41 | 4.59 | 1.15 | 7.61 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.10 | 1.23 | 1.56 | 1.95 | 0.43 | 2.03 |
| SO ₃ | 2.70 | 7.93 | 5.13 | 6.62 | 5.10 | 9.12 |
| MgO | 0.91 | 4.12 | 1.45 | 1.72 | 0.97 | 3.24 |
| Na ₂ O | <0.01 | 1.53 | 0.93 | 2.53 | - | 3.36 |
| K ₂ O | 1.13 | 0.65 | 2.96 | 2.70 | - | 3.85 |
| TiO ₂ | 0.18 | 0.83 | <0.10 | 0.64 | - | 1.85 |
| Cl | - | 4.48 | - | 7.50 | 12.46 | 3.92 |
| อื่นๆ | - | 4.09 | 0.4 | 1.14 | 12.23 | 1.68 |
| LOI คือ ค่าการสูญเสียจากการเผาไหม้ 800 – 1300 C | 1.13 | 17.33 | * | * | 27.80 | * |
| รวมทั้งหมด | 100 | 100 | * | * | 100 | * |

ที่มา : จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง (สุธีร์ ตรีตราธิพย์, 2548), (Kuen-Sheng Wang, Kae-Long Lin, & Ching-Hwa Lee, 2007), (Xiaolu Guo, Wenpei Hu, & Huisheng Shi, 2013), (Garcia-Lodeiro, V.Carelen-Taboada, A.Fernandez-Jimenez, & A.Palomo, 2015), (Francesco Colangelo, Francesco Messina, & Raffaele Cioffi, 2015)

จากการศึกษาข้อมูลพบว่า ซีเมนต์จากขยะมีองค์ประกอบทางเคมีหลัก ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO), ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂), อลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃), เพอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃), แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO), โซเดียมออกไซด์ (Na₂O), โพแทสเซียมออกไซด์ (K₂O) และ

การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on ignitions) ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของขยะ และอุณหภูมิการเผาไหม้ขยะ

ทฤษฎีการทดสอบซีเมนต์จากขยะ

ทดสอบหาค่า pH ("มาตรฐานผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Environmental Impact Assessment EIA," 2535)

สารละลาย (Aqueous solution) ที่มีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่า และค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 12.5 หรือสูงกว่า วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์ทำการวัดด้วย pH Meter

ทดสอบหาค่าสารละลาย ("มาตรฐานผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Environmental Impact Assessment EIA," 2535)

สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ประเภทสารพิษ (Toxic substances) เป็นสารที่มีค่าไม่เกิน 50 % ของน้ำหนักสารที่ใช้ในการทดสอบ วิธีทดสอบหรือวิธีวิเคราะห์ทำการวัดด้วยเครื่องมือ TDS Meter

อัตราส่วนการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์จากขยะ

ถ้าลดยจากเตาเผาขยะสามารถทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ถึง 10% ที่อายุบ่ม 7 วัน ได้กำลังแรงอัด 25 kg./m² หรือ 2.5 MPa ผ่านมาตรฐานมอก.58 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก และสามารถทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ถึง 15% ที่อายุบ่ม 28 วัน ได้กำลังแรงอัดสูงสุด 28 kg./m² หรือ 2.8 MPa ผ่านมาตรฐานมอก.58 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก จึงพบว่าการทดแทนซีเมนต์จากขยะในงานคอนกรีตในปริมาณที่มากถึง 15% จะทำให้กำลังแรงอัดลดลง (ภักดิ์วัฒน์ แสนเจริญ, 2546)

ถ้าลดยจากขยะสามารถทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ถึง 20% ที่อายุบ่ม 28 วัน ได้กำลังแรงอัด 30 kg./m² หรือ 3.0 MPa ผ่านมาตรฐานมอก.58 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก จึงพบว่าการทดแทนซีเมนต์จากขยะในงานซีเมนต์มอร์ตาร์ในปริมาณที่มากถึง 20% จะทำให้กำลังแรงอัดลดลง (สุธีร์ ตรีชาติทรัพย์, 2548)

ถ้าลดยจากขยะสามารถทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ถึง 40% ที่อายุบ่ม 28 วัน ได้กำลังแรงอัด 30 kg./m² หรือ 3.0 MPa จึงพบว่าการทดแทนซีเมนต์ในงานซีเมนต์เพสต์ในปริมาณที่มากถึง 40% จะทำให้กำลังแรงอัดลดลง (Kae-Long Lin, 2004)

จากการศึกษาวิธีการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์จากขยะ พบว่าสามารถทดแทนได้ในอัตราตั้งแต่ 10 – 40 % ในงานคอนกรีต สามารถรับกำลังแรงอัดได้มาตรฐานมอก.58 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับบล็อกประสาน

การผลิตบล็อกประสานด้วยเครื่องอัดบล็อกประสานโยกมือตามวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย วว. โดยจะมีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 12.5 x 25 x 10 cm. มีน้ำหนักรวมสุทธิต่อก้อนเท่ากับ 6 Kg. ซึ่งมีส่วนผสมหลักดังต่อไปนี้

1. ดินลูกรัง
2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
3. น้ำปะปาสะอาด

อัตราส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานทั่วไป

สัดส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 7 โดยใช้ดินลูกรังผสมทรายเท่ากันในจังหวัดปราจีนบุรี บล็อกมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 12.5 x 25 x 10 cm. ผลการทดสอบกำลังแรงอัดสูงสุด 80.39 kg./m² หรือ 8.04 MPa ที่อายุบ่ม 28 วัน ผ่านมาตรฐานมอก.57 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก (พันธศักดิ์ ดาวเรือง, 2549)

สัดส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 7 โดยใช้ดินลูกรังในจังหวัดปราจีนบุรีและนครนายก บล็อกมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 12.5 x 25 x 10 cm. ผลการทดสอบกำลังแรงอัดสูงสุด 112.14 kg./m² หรือ 11.21 MPa ที่อายุบ่ม 28 วัน ผ่านมาตรฐานมอก.57 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก (พันธศักดิ์ ดาวเรือง, 2552)

สัดส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 6 โดยใช้ดินลูกรังเปรียบเทียบกับหินฝุ่น บล็อกมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 12.5 x 25 x 10 cm. ผลการทดสอบกำลังแรงอัดสูงสุด 102.75 kg./m² หรือ 10.28 MPa ที่อายุบ่ม 28 วัน ผ่านมาตรฐานมอก.57 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก (อาทร ชูพลสัถย์, 2555)

จากการศึกษาวิธีการกำหนดอัตราส่วนผสมในการผลิตวัสดุบล็อกประสาน พบว่า สัดส่วนที่การผลิตวัสดุบล็อกประสานที่สามารถรับกำลังแรงอัดได้สูง ควรใช้สัดส่วนการผสมในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1: 7 สามารถรับกำลังแรงอัดได้มาตรฐานมอก. 57 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก และต้องผ่านกระบวนการทดสอบส่วนผสมก่อนการผลิต เพื่อหาอัตราส่วนผสมอื่นๆ ที่เหมาะสม

อัตราส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์ลอยประเภทอื่นๆ

สัดส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 7 โดยใช้ดินลูกรังในจังหวัดราชบุรี ได้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าแกลบในอัตราส่วนตั้งแต่ 5 ,10 ,15 และ 20% ผลการทดสอบพบว่า ทดแทนในอัตราส่วน 20% ได้กำลังแรงอัดสูงสุด 147.70 kg./m² หรือ 14.77 MPa ที่อายุบ่ม 28 วัน ได้มาตรฐานมอก.57 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก (ธนธร เงินชุกกลิ่น, 2554)

สัดส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 4 กรณีศึกษาที่ 1 ได้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยกะลาปาล์มในอัตราส่วนตั้งแต่ 10 - 80% ผลการทดสอบพบว่า ทดแทนในอัตราส่วน 60% ได้กำลังแรงอัดสูงสุด 29.82 kg./m² หรือ 2.98 MPa ที่อายุบ่ม 28 วัน ได้มาตรฐานมอก.58 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก และกรณีศึกษาที่ 2 ได้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนตั้งแต่ 10 - 50% ผลการทดสอบพบว่า ทดแทนในอัตราส่วน 50% ได้กำลังแรงอัดสูงสุด 55 kg./m² หรือ 5.50 MPa ที่อายุบ่ม 28 วัน ได้มาตรฐานมอก.58 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (จรูญ เจริญเนตรกุล & อัมพร หมัดแสละ, 2554)

สัดส่วนการผลิตวัสดุบล็อกประสานในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1: 6 และ 1 : 8 โดยทดแทนเถ้าลอยถ่านหินในอัตราส่วนตั้งแต่ 10 - 50% ผลการทดสอบพบว่าอัตรา 1 : 6 ทดแทนในอัตราส่วน 50% ได้กำลังแรงอัดสูงสุด 33.83 kg./m² หรือ 3.38 MPa ที่อายุบ่ม 28 วัน ได้มาตรฐานมอก.58 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (สำเร็จ สารมาคม, 2556)

จากการศึกษาวิธีการกำหนดอัตราส่วนผสมในการผลิตวัสดุบล็อกประสาน พบว่า สัดส่วนที่การผลิตวัสดุบล็อกประสานเมื่อทดแทนซีเมนต์ ในอัตราส่วนที่สูงนั้น ควรใช้สัดส่วนการผสมในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1: 6 สามารถรับกำลังแรงอัดได้มาตรฐานมอก. 58 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก

สรุปจากการศึกษาวิธีการกำหนดอัตราส่วนผสมในการผลิตวัสดุบล็อกประสาน พบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมกับการผลิตวัสดุบล็อกประสานที่สามารถรับกำลังแรงอัดตามมอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ควรใช้สัดส่วนการผสมในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 6 และ 1: 7 โดยทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์ลอยจากขยะปริมาณ 50% ซึ่งต้องผ่านกระบวนการทดสอบส่วนผสมดังต่อไปนี้

ทฤษฎีการทดสอบดินลูกรัง

1. ตรวจสอบตะกอนในดินลูกรัง (ทดสอบด้วยตัวเอง)

นำดินใส่ขวด ½ ของขวดขนาด 1 ลิตร เติมน้ำลงไปเต็มขวด แล้วเขย่าให้เข้ากัน เขย่าประมาณ 1 - 2 นาที วางลงแล้ววัดระดับของดินลูกรังในช่วงแรก ปล่อยให้ตั้งไว้ประมาณ 6 - 8 ชั่วโมง จะตกตะกอนอย่างสมบูรณ์จนน้ำใส แล้ววัดระดับของดินลูกรังช่วงหลัง หาร้อยละของตะกอนฝุ่นที่ตกตะกอนที่หลังไม่เกินร้อยละ 35 โดยปริมาณ หรือส่วนมวลรวมละเอียดตะกอนแข็งที่ตกตะกอนก่อนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 65 โดยปริมาณ ตามมาตรฐานการแบ่งคุณภาพชั้นดิน ASTM D3282 Standard classifications of soils and Soil – Aggregate Mixture for Highway Construction Purposes (พันธ์ศักดิ์ ดาวเรือง, 2549)

2. ตรวจสอบความชื้นในดินลูกรัง (ทดสอบด้วยตัวเอง)

โดยนำดินลูกรังที่ใช้ในการผลิตวัสดุบล็อกประสานไปตากแดด แล้วตรวจวัดค่าความชื้นด้วยเครื่องมือวัดความชื้น ควรอยู่ในเกณฑ์แห้ง

3. ตรวจสอบความชื้นในดินลูกรัง (ทดสอบห้องปฏิบัติการ)

นำดินลูกรังที่ผ่านกระบวนการตากแดด ตรวจสอบค่าปริมาณความชื้นด้วยห้องปฏิบัติการ แล้วเก็บผลบันทึกค่าที่ได้ กรณีตากแดดต้องมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 4% (พันธ์ศักดิ์ ดาวเรือง, 2549)

ทฤษฎีการทดสอบปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

1. วิธีการเลือกใช้

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะต้องได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย มาตรฐาน ม.อ.ก.15 โดยใช้ประเภทที่หนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียว และตราเพชรเม็ดเดียว (สำเร็จ สารมาคม, 2556)

2. วิธีการทดสอบ

นำถ้ำล่อยทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 ไม่เกิน 50 ไมครอน (จรรูญ เจริญเนตรกุล & อัมพร หมัดแสละ, 2554)

จากการศึกษาข้อมูลพบว่า ในการนำวัสดุดิบเพื่อมาทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นั้น สามารถนำมาทดแทนได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทดสอบ เนื่องจากขนาดอนุภาคของวัสดุดิบนั้นมีขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ทฤษฎีการทดสอบน้ำปะปาสะอาด

1. ตรวจสอบน้ำปะปาในการทดสอบทางวิทยาศาสตร์

1.1 ตรวจสอบค่ากรด - ด่าง (pH) ในน้ำปะปาสะอาด

ผลตรวจวัดค่ากรด - ด่าง (pH) ในน้ำปะปาต้องไม่เกิน 6.5 - 8.5 (องค์การอนามัยโลก, 2554)

1.2 ตรวจสอบค่าสารละลาย ในน้ำปะปาสะอาด

ผลตรวจวัดค่าสารละลายในน้ำปะปาสะอาด ต้องไม่เกินเกิน 600 ppm. หรือ mg./L. ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำปะปา (องค์การอนามัยโลก, 2554)

2. ตรวจสอบน้ำปะปาในการผลิตวัสดุบล็อกประสาน

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ต้องสะอาด มีความขุ่นหรือค่าสารละลาย ไม่เกิน 2,000 ppm. หรือ mg./L. (สำเร็จ สารมาคม, 2556)

ทฤษฎีการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

การให้ความชื้นแก่ส่วนผสมในการผลิตวัสดุบล็อกประสาน โดยปกติจะอยู่ระหว่างร้อยละ 10 - 15 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน โดยไม่เกินร้อยละ 4 (พันธ์ศักดิ์ ดาวเรือง, 2549)

1. ทดสอบด้วยตัวเอง

การทดสอบด้วยการบีบส่วนประกอบ 1 กำมือ จนเป็นก้อนแล้วทิ้งลงบนพื้นที่ที่เรียบและแข็ง จากความสูงประมาณ 1.10 m. หากปริมาณความชื้นของส่วนผสมถูกต้อง ก้อนส่วนผสมจะแตกออกเป็นก้อน 4-5 Lump ถ้าแตกกระจายออกเป็นชิ้นส่วนเล็กน้อย แสดงว่าส่วนผสมแห้งเกินไป (พันธ์ศักดิ์ ดาวเรือง, 2549)

2. ทดสอบด้วยห้องปฏิบัติการ

โดยหาค่าความหนาแน่นแห้งต่อปริมาณความชื้นสูงสุด โดยการทดสอบ (Optimum Moisture Content : OMC.) ด้วยวิธี Standard Proctor Test ของแต่ละอัตราส่วนผสม

การทดสอบวัสดุบล็อกประสาน

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุบล็อกประสาน

กำหนดการทดสอบมาตรฐานมอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ซึ่งมาตรฐานจะกำหนดขนาดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 2 mm. มีค่ากำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 2.5 MPa และให้ทดสอบตัวอย่างละ 5 ก้อน ("มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก," 2533)

การทดสอบความสามารถในการลดความร้อนของวัสดุบล็อกประสาน

1. ความร้อน (Heat)

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่ง โดยวัตถุต่างๆ สามารถรับ และคายความร้อนได้ ความร้อนจะถ่ายเทตลอดเวลา จากอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่อุณหภูมิต่ำกว่า (พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2548) ความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.1 ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) เป็นความร้อนที่เราสามารถวัดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณความร้อนในสารได้ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) จะเห็นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

1.2 ความร้อนแฝง (Latent Heat) เป็นความร้อนที่สารดูดซับไว้ หรือปล่อยออกมา ในขณะที่เปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซ หรือจากของแข็งกลายเป็นของเหลว โดยไม่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

2. การถ่ายเทความร้อน (Heat Flow)

ความร้อนจะถ่ายเทอยู่ตลอดเวลา จากอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่อุณหภูมิต่ำกว่า (พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2548) โดยมีลักษณะการถ่ายเทได้ 3 วิธีดังนี้

2.1 การนำความร้อน (Conduction) การถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง

การนำความร้อน (Conduction) กระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดการนำความร้อนนั้น ได้แก่ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลในตัวกลางหนึ่ง ๆ การนำความร้อนนั้นสามารถมองได้ว่าเป็นการส่งถ่ายพลังงานจากอนุภาคของสารที่มีพลังงานสูงกว่าไปยังอนุภาคที่มีพลังงานต่ำกว่า เมื่ออนุภาคทั้งสองมากระทบกัน พลังงานที่ถูกส่งถ่ายนี้ก็คือ พลังงานความร้อน และกระบวนการดังกล่าวนี้เรียกว่า “การนำความร้อน” การถ่ายเทความร้อนนี้จะเกิดขึ้นในทิศทางเดียวกับทิศทางการที่อุณหภูมิลดลง ตัวอย่างของการนำความร้อนนี้เห็นได้ชัดเจน เมื่อเราจุ่มช้อนโลหะลงกาแฟที่ร้อนจัด ซึ่งในที่สุดจะพบว่า ส่วนของช้อนที่ไม่ได้จุ่มอยู่ในกาแฟจะร้อนขึ้น ปรากฏการณ์นี้เป็นผลเนื่องจากการนำความร้อนในช้อนโลหะ (สุวัฒน์ชัย ปลื้มฤทัย, 2555)

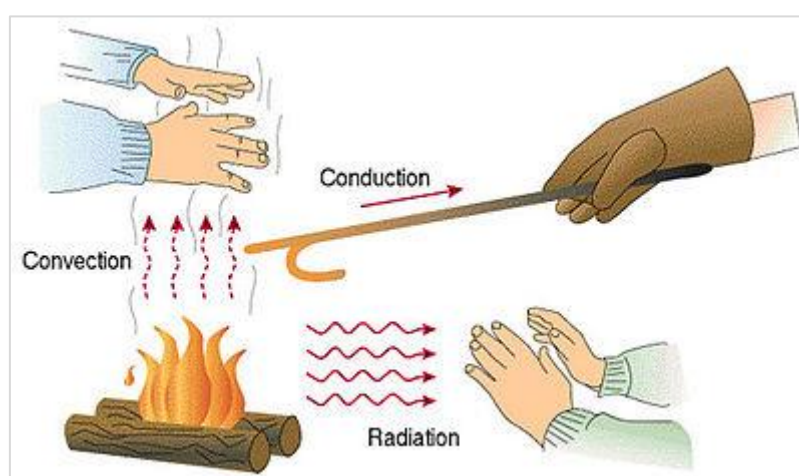
ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductance, C) เป็นค่าการนำความร้อนของวัสดุใด ๆ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของวัสดุ

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity, k) เป็นสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือ ค่า k - Value สามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุเพียงชนิดเดียว โดยวัดค่าในรูปของอัตราปริมาณความร้อนที่ไหลต่อหน่วยเวลา จากจุดระยะทางหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันต่อหน่วยหนึ่งหน่วยความหนาในทิศทางที่ความร้อนไหลผ่าน และหน่วยวัดอุณหภูมิวัดเป็น W/m·K (หรือ W/m°C) โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน k -

Valueของวัสดุแต่ละชนิดจะแตกต่างกันมาก เช่น ฉนวนใยแก้วมีค่า $0.03 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ของทองแดงมีค่า $384 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

2.2 การพาความร้อน (Convection) การถ่ายเทความร้อนผ่านการเคลื่อนที่ของของไหล เช่น อากาศ น้ำ

2.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) การถ่ายเทความร้อนโดยไม่ใช้ตัวกลาง อยู่ในรูปคลื่น short infrared $700\text{-}2300 \text{ nm}$ จากรังสีดวงอาทิตย์ และ long infrared $2300\text{-}10000 \text{ nm}$ จากวัตถุโดยทั่วไป (ตามภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 แสดงภาพการถ่ายเทความร้อน

3. วัสดุบล็อกลดความร้อนเข้าสู่อาคาร

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนโดยทำกล่อง ทดลองรูปทรงขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ $0.5 \times 0.5 \times 0.5 \text{ m}$. ทำจากโฟมโพลีสไตรีน 5 ด้าน และอีกด้านหนึ่งเป็นผนังที่ทำจากคอนกรีตบล็อก จากนั้นติดตั้งเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) และต่อสายวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) เข้ากับผนังคอนกรีตบล็อก และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ซึ่งได้ผลค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน $0.328 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (ประชุม คำพุ่ม, โสภภา วิชาญศักดิ์, & โจเซฟ เคตารี, 2550)

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C518 โดยการทำแผ่นทดสอบขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ $30 \times 30 \times 2 \text{ cm}$. ทดสอบ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถนนพระราม 6 กรุงเทพมหานคร โดยวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนได้ $0.108 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (กิตติพล เกียรติวรยศ, เกรียงศักดิ์ ห้วยน้ำ, วันชัย โง้วประเสริฐ, & สมิตร์ ส่งพิริยะกิจ, 2547)

การทดสอบกล่องจำลองโมเดล โดยทำจากโพลีโพลีสไตรีนมีขนาดภายใน กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ $0.80 \times 0.80 \times 0.80$ m. ความหนา 3 นิ้ว หรือ 1 ปอนด์ จำนวน 5 ด้าน อีกด้านเป็นวัสดุบล็อกขนาด และความหนาเท่าขนาดโพลีโพลีสไตรีน หรือ ขนาดตัววัสดุบล็อกจริง แล้วส่งตรวจสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C518 โดยทำเป็นแผ่นทดสอบขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ $0.30 \times 0.30 \times 1.7$ m. ส่งทดสอบ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถนนพระราม 6 กรุงเทพมหานคร โดยวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนได้ $0.111 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (สุวัฒน์ชัย ปลื้มฤทัย, 2555)

4. ฉนวนลดความร้อนเข้าสู่อาคาร

การทดสอบกล่องจำลองโมเดล โดยทำจากโพลีโพลีสไตรีนมีขนาดภายใน กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ $0.60 \times 0.60 \times 0.60$ m. ความหนา 3 นิ้ว หรือ 1 ปอนด์ จำนวน 5 ด้าน อีกด้านเป็นวัสดุบล็อกขนาด และความหนาเท่าขนาดโพลีโพลีสไตรีน หรือ ขนาดตัววัสดุบล็อกจริง แล้วทำส่งตรวจสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนด้วยเครื่องมือตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C177-97 โดยทำเป็นแผ่นทดสอบขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ $0.30 \times 0.30 \times 0.10$ m. จำนวน 2 ชั้น ติดตั้งเซ็นเซอร์ 5 จุด ทดสอบ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถนนพระราม 6 กรุงเทพมหานคร โดยวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนได้ $0.048 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ และ $0.041 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (สุทินัย ยามศรีสุข, 2554)

การตรวจสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนด้วยเครื่องมือตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C518 โดยทำเป็นแผ่นทดสอบขนาด กว้าง x ยาว เท่ากับ 0.30×0.30 m. จำนวน 2 ชั้น ทดสอบ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถนนพระราม 6 กรุงเทพมหานคร โดยวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนได้ $0.0438 - 0.0606 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (ฐิติวัลค์ เลื่อมกาญจนพันธ์, 2555)

การตรวจสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนด้วยเครื่องมือตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C518 โดยทำเป็นแผ่นทดสอบขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ $0.30 \times 0.30 \times 0.19$ m. ทดสอบ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถนนพระราม 6 กรุงเทพมหานคร โดยวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนได้ $0.0289 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (ทศพร ชวัญปั้นเจริญ, 2555)

การตรวจสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนด้วยตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C518 โดยทดสอบด้วยห้องปฏิบัติการที่รองรับมาตรฐาน ISO17025 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ 0.0320 และ $0.0713 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (กนกอร หันเจริญ, 2556)

การตรวจสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนด้วยตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C518 ณ ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ศรัณยา รัตนากร, 2558)

จากการศึกษาวิธีการทดสอบหาประสิทธิภาพการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร พบว่า มี การทำกล่องทดสอบจำลองโมเดลต้องมีขนาดภายในใกล้เคียงกันหรือเท่ากันในการทดสอบ และการ ส่งทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนในงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า มีวิธีการทดสอบที่ใกล้เคียง กัน โดยใช้วิธีในการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C518 หรือห้องปฏิบัติการที่รองรับมาตรฐาน ISO17025

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุบล็อกประสาน

1. ทดสอบหาค่าความหนาแน่น

การทดสอบความหนาแน่น (Density Test) เลือกก้อนอิฐที่อยู่ในสภาพเรียบร้อย จำนวน 2 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 5 ก้อน นำมาวัดขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) / ชั่งน้ำหนักอิฐ และ คำนวณสูตรหาค่าความหนาแน่น (มนัส อนุศิริ, 2554)

2. ทดสอบหาค่าปริมาณความชื้น

การทดสอบหาค่าปริมาณความชื้น เลือกก้อนอิฐที่อยู่ในสภาพเรียบร้อย จำนวน 2 ตัวอย่าง ละ 5 ก้อน นำอิฐ 1 ก้อน ไปชั่งน้ำหนักทีละก้อน / จดบันทึกไว้ แล้วนำอิฐเข้าเตาอบที่ อุณหภูมิ 105 – 110 C นาน 24 ชั่วโมง จนครบระยะเวลาที่กำหนด นำอิฐออกจากตู้อบ มาชั่ง น้ำหนักอิฐแห้ง และคำนวณสูตรหาปริมาณความชื้น (มนัส อนุศิริ, 2554)

3. ทดสอบหาค่าการดูดกลืนน้ำ

การทดสอบหาค่าการดูดกลืนน้ำเลือกก้อนอิฐที่อยู่ในสภาพเรียบร้อย จำนวน 2 ตัวอย่าง ละ 5 ก้อน จดบันทึกค่าเดิมน้ำหนักอบแห้ง จากการอบแห้ง แล้วแช่อิฐให้จมอยู่ในน้ำนาน ½ ชั่วโมง นำขึ้นมาแล้วใช้ผ้าเช็ดให้แห้งโดยรอบอย่างรวดเร็ว และชั่งน้ำหนัก แล้วนำอิฐไปแช่น้ำต่อไป จนครบ 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักอีก และคำนวณสูตรหารเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ (มนัส อนุศิริ, 2554)

ดังนั้นจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า การศึกษางานวิจัยการ พัฒนาบล็อกประสานผสมซีเมนต์จากขยะเพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร มีวิธีการดำเนินงานวิจัย ทั้งหมด 2 ขั้นตอนหลัก คือ 1.ขั้นตอนก่อนการดำเนินการทดลองวิจัย ซึ่งจะมี 3 กระบวนการ ได้แก่ 1) กระบวนการเก็บข้อมูลตัวอย่างซีเมนต์จากขยะ 2) กระบวนการทดสอบวัตถุดิบเบื้องต้น (ทดสอบด้วยตัวเอง) 3) กระบวนการทดสอบวัตถุดิบ (ทดสอบด้วยห้องปฏิบัติการ) และ 2.ขั้นตอน การดำเนินการทดลองวิจัย ซึ่งจะมี 4 กระบวนการ ได้แก่ 1) กระบวนการปริมาณน้ำที่เหมาะสม 2) กระบวนการผลิตวัสดุบล็อกประสาน 3) กระบวนการบ่มวัสดุบล็อกประสาน 4) กระบวนการทดสอบ วัสดุบล็อกประสาน ฯลฯ

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนก่อนการดำเนินการทดลองวิจัย

เอกสารจากการตรวจสอบมาตรฐานการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Environmental Impact Assessment, EIA ของโรงงานผลิตไฟฟ้าจากขยะ PJT จากสำนักงานเทศบาลเมืองจังหวัดภูเก็ต

กระบวนการเก็บข้อมูลตัวอย่างซีเมนต์ล่อยจากขยะ



ภาพที่ 12 แสดงภาพขยะมูลฝอย / ซีเมนต์หนัก / ซีเมนต์เบา

จากการศึกษาข้อมูลองค์ประกอบของขยะพบว่า ปริมาณองค์ประกอบของขยะกรณีศึกษาจังหวัดภูเก็ตปีพ.ศ.2560 มีอัตราการเปียกเบนไม่เกิน 3% ซึ่งอยู่ในค่าการกระจายตัวที่น้อยมากสามารถนำมาดำเนินการศึกษาวิจัยในขั้นตอนต่อไปได้ (ตามตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 แสดงตารางองค์ประกอบของขยะ

| องค์ประกอบของขยะมูลฝอย | เดือน (เฉลี่ย) | | | | | |
|---|----------------|-------------|-------------|-------------|--------|------|
| | กุมภาพันธ์ | มีนาคม | เมษายน | พฤษภาคม | เฉลี่ย | SD |
| | 2560 (%) | 2560 (%) | 2560 (%) | 2560 (%) | (%) | (%) |
| ขยะอินทรีย์ | 37.00 | 34.29 | 31.75 | 32.26 | 33.75 | 2.38 |
| กระดาษ | 8.86 | 9.28 | 8.37 | 9.38 | 8.97 | 0.46 |
| พลาสติก | 18.95 | 17.48 | 20.28 | 19.84 | 18.99 | 1.24 |
| แก้ว | 7.62 | 4.77 | 2.24 | 2.81 | 4.27 | 2.43 |
| โลหะ | 1.78 | 4.05 | 3.08 | 3.14 | 3.16 | 0.93 |
| ยาง/หนัง | 0.54 | 0.60 | 0.53 | 0.44 | 0.54 | 0.07 |
| ผ้า | 8.52 | 6.71 | 6.96 | 6.55 | 7.11 | 0.91 |
| ไม้ | 8.74 | 10.03 | 11.95 | 10.45 | 10.37 | 1.32 |
| โฟม ESP | 1.08 | 1.45 | 1.63 | 1.16 | 1.37 | 0.26 |
| อื่นๆ ผ้าอนามัย/ผ้าอ้อมสำเร็จรูป/ กระดาษทิชชู | 6.30 | 9.87 | 10.46 | 10.88 | 9.51 | 2.09 |
| อิฐ/หิน/ดิน/ทราย | 0.61 | 1.46 | 2.75 | 3.09 | 1.96 | 1.15 |

ที่มา : จากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (สำนักงานเทศบาลเมืองจังหวัดภูเก็ต, 2560)

องค์ประกอบขององค์ประกอบสารอินทรีย์อันตราย และสารอนินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อหนึ่งกิโลกรัมของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว mg./kg. ต้องมีปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าค่า Total Threshold Limit Concentration, TTLC และสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว เมื่อนำสารมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test, WET และวิเคราะห์น้ำสกัดแล้ว มีสารอินทรีย์อันตราย และสารอนินทรีย์อันตรายในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อลิตรของน้ำสกัด mg./L ต้องมีปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าค่า Soluble Threshold Limit Concentration, STLC ("มาตรฐานผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Environmental Impact Assessment EIA," 2535) ที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 7 แสดงตารางสารตกค้างจากการตรวจสอบผงหรือของแข็ง

| สารตกค้าง | วันที่ตรวจสอบ 13/05/59 - 25/05/59 (mg/kg) | วันที่ตรวจสอบ 06/06/60 - 12/06/60 (mg/kg) | มาตรฐาน EIA ทดสอบผง (mg/kg) |
|---|--|--|-----------------------------------|
| Antimony (Sb) แอนติโมนี | 154 | - | ≤ 500 |
| Arsenic (As) สารหนู | 66.1 | 9.83 | ≤ 500 |
| Barium (Ba) แบเรียม | 408 | 178 | ≤ 10000 |
| Beryllium (Be) เบริลเลียม | ND | ND | ≤ 75 |
| Cadmium (Cd) แคดเมียม | 96 | - | ≤ 100 |
| Chromium (Cr) โครเมียม | 67.7 | 27.4 | ≤ 2500 |
| Hexavalent Chromium โครเมียมเฮกซะวา เลนซ์ | 9.08 | ND | ≤ 500 |
| Cobalt (Co) โคบอลต์ | ND | 4.92 | ≤ 8000 |
| Copper (Cu) ทองแดง | 497 | 321 | ≤ 2500 |
| Lead (Pb) ตะกั่ว | 18.2 | 877 | ≤ 1000 |
| Mercury (Hg)ปรอท | 0.95 | 9.36 | ≤ 20 |
| Molybdenum (Mo) โมลิบดินัม | 2.00 | 2.82 | ≤ 3500 |
| Nickel (Ni) นิกเกิล | 19.0 | 7.98 | ≤ 2000 |
| Selenium (Se) ซีลีเนียม | 54.4 | ND | ≤ 100 |
| Silver (Ag) เงิน | 2.93 | ND | ≤ 500 |
| Thallium (TL) ธาลเลียม | ND | 176 | ≤ 700 |
| Vanadium (V) วาเนเดียม | 7.52 | 3.92 | ≤ 2400 |
| Zinc (Zn) สังกะสี | 3,083 | 3,705 | ≥ 5000 |
| Fluoride (F) ฟลูออไรด์ | 133 | 26.2 | ≤ 18000 |
| Manganese (Mn) แมงกานีส | 351 | - | - |
| Trivalent Chromium (Cr ³⁺) โครเมียมไตร วาเลนซ์ | 47.1 | 27.4 | ≤ 2500 |

ที่มา : จากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (สำนักงานเทศบาลเมืองจังหวัดภูเก็ต, 2560)

ตารางที่ 8 แสดงตารางสารตกค้างจากการตรวจสอบน้ำสกัด

| สารตกค้าง | วันที่ตรวจสอบ 14/05/59 – 03/07/59 (mg/L) | วันที่ตรวจสอบ 06/06/60 – 12/06/60 (mg/L) | มาตรฐาน EIA ทดสอบน้ำ สกัด (mg/L) |
|---|---|---|---|
| Antimony (Sb) แอนติโมนี | - | - | - |
| Arsenic (As) สารหนู | ND | ND | ≤ 5.0 |
| Barium (Ba) แบเรียม | 1.70 | 0.44 | ≤ 100 |
| Beryllium (Be) เบริลเลียม | ND | ND | ≤ 0.75 |
| Cadmium (Cd) แคดเมียม | 0.09 | - | ≤ 1.0 |
| Chromium (Cr) โครเมียม | 1.35 | 0.25 | ≤ 5 |
| Hexavalent Chromium โครเมียมเฮกซะวา เลนซ์ | 0.272 | 0.170 | ≤ 5 |
| Cobalt (Co) โคบอลต์ | ND | ND | ≤ 80 |
| Copper (Cu) ทองแดง | 14.4 | 1.14 | ≤ 25 |
| Lead (Pb) ตะกั่ว | ND | 0.09 | ≤ 5.0 |
| Mercury (Hg) ปรอท | 0.0017 | < 0.0010 | ≤ 0.2 |
| Molybdenum (Mo) โมลิบดินัม | 0.25 | 0.16 | ≤ 350 |
| Nickel (Ni) นิกเกิล | ND | ND | ≤ 20 |
| Selenium (Se) ซีลีเนียม | ND | ND | ≤ 1.0 |
| Silver (Ag) เงิน | ND | ND | ≤ 5 |
| Thallium (TL) ธาลเลียม | ND | ND | ≤ 7.0 |
| Vanadium (V) วาเนเดียม | 0.06 | ND | ≤ 24 |
| Zinc (Zn) สังกะสี | 0.33 | 0.27 | ≤ 250 |
| Fluoride (F) ฟลูออไรด์ | ND | 0.16 | ≤ 180 |
| Manganese (Mn) แมงกานีส | 0.47 | - | - |
| Trivalent Chromium (Cr ³⁺) โครเมียมไตร วาเลนซ์ | ND | 0.23 | ≤ 5 |

ที่มา : จากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (สำนักงานเทศบาลเมืองจังหวัดภูเก็ต, 2560)

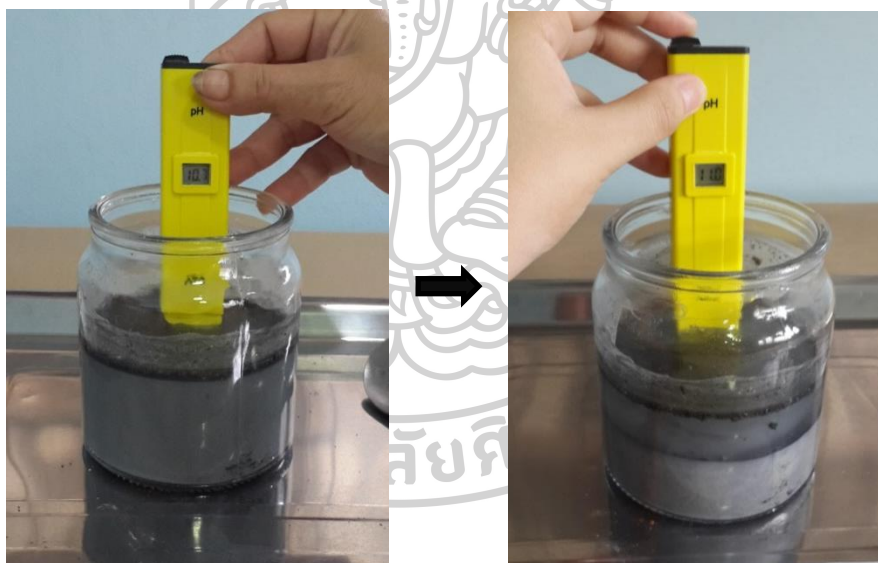
สรุปจากการศึกษาข้อมูลพบว่า สารปนเปื้อนในซีเมนต์ล่อยจากขยะที่สำนักงานเทศบาลเมืองจังหวัดภูเก็ต ในปีพ.ศ.2560 ขณะที่น่าตัวอย่างมาดำเนินการศึกษาวิจัยนั้น ไม่พบสารปนเปื้อนเกินมาตรฐานการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Environmental Impact Assessment, EIA สามารถนำมาทดแทนปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์ล่อยจากขยะได้ (ตามตารางที่ 7 และ 8)

กระบวนการทดสอบวัตถุดิบเบื้องต้น (ทดสอบด้วยตัวเอง)

1. ทดสอบซีเมนต์ล่อยจากขยะ

1.1 ตรวจสอบค่ากรด - ด่าง (pH) ในน้ำชะซีเมนต์ล่อยจากขยะ

นำซีเมนต์ล่อยจากขยะใส่ขวดร้อยละ 50 ของขวด แล้วเติมน้ำลงไปในช่วงร้อยละ 50 จากนั้นปิดฝาขวดแล้วเขย่าประมาณ 1-2 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง (ตามภาพที่ 13) จึงตรวจวัดค่ากรด - ด่าง (pH) ในน้ำชะซีเมนต์ล่อยจากขยะด้วยเครื่องมือ pH Meter และบันทึกค่าที่ได้ รวบรวมเปรียบเทียบหลังผลิตวัสดุบล็อกประสานบ่มครบ 7 วัน ผลิตแล้วค่า pH ต้องไม่เกิน 7 ตามมาตรฐานการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Environmental Impact Assessment, EIA



ภาพที่ 13 แสดงภาพทดสอบวัดค่ากรด - ด่าง (pH) ในน้ำชะซีเมนต์ล่อยจากขยะก่อน - หลังทดสอบ 24 ชั่วโมง

สารที่มีค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต้องไม่ต่ำกว่าเท่ากับ 2 และ/ หรือ ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ไม่สูงกว่าเท่ากับ 12.5 ("มาตรฐานผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Environmental Impact Assessment EIA," 2535)

1.2 ทดสอบค่าสารละลายในน้ำชะซีเมนต์ลอยจากขยะ

นำซีเมนต์ลอยจากขยะใส่ขวด 50% ของขวด แล้วเติมน้ำลงไปจนขวดร้อยละ 50 จากนั้นปิดฝาขวดแล้วเขย่าประมาณ 1 - 2 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง (ตามภาพที่ 14) จึงตรวจวัดสารละลายในน้ำชะซีเมนต์ลอยจากขยะด้วยเครื่องมือ TDS Meter และบันทึกค่าที่ได้ วัดค่าหน่วยเป็น ppm. รวบรวมเปรียบเทียบหลังผลิตวัสดุบล็อกประสานบ่มครบ 7 วัน (องค์การอนามัยโลก, 2554)



ภาพที่ 14 แสดงภาพทดสอบวัดค่าสารละลายในน้ำชะซีเมนต์ลอยจากขยะก่อน - หลังทดสอบ 24 ชั่วโมง

สิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ประเภทสารพิษ (Toxic substances) เป็นสารที่มีค่าไม่เกิน 50 % ของน้ำหนักสารที่ใช้ในการทดสอบ ("มาตรฐานผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Environmental Impact Assessment EIA," 2535)

1.3 ทดสอบวัดค่าความชื้นในซีเมนต์ลอยจากขยะ

นำซีเมนต์ลอยจากขยะที่แห้งในอุณหภูมิปกติ ตรวจวัดค่าความชื้นด้วยเครื่องมือวัดความชื้น แล้วบันทึกค่าที่ได้ วัดหน่วยหาค่าความชื้นตามเข็มกำหนด 10 ระดับ จาก DRY จนถึง WET (ตามภาพที่ 15) นำไปวิเคราะห์กับความชื้นในดินลูกรัง แล้วคำนวณหาปริมาณน้ำในการผลิต

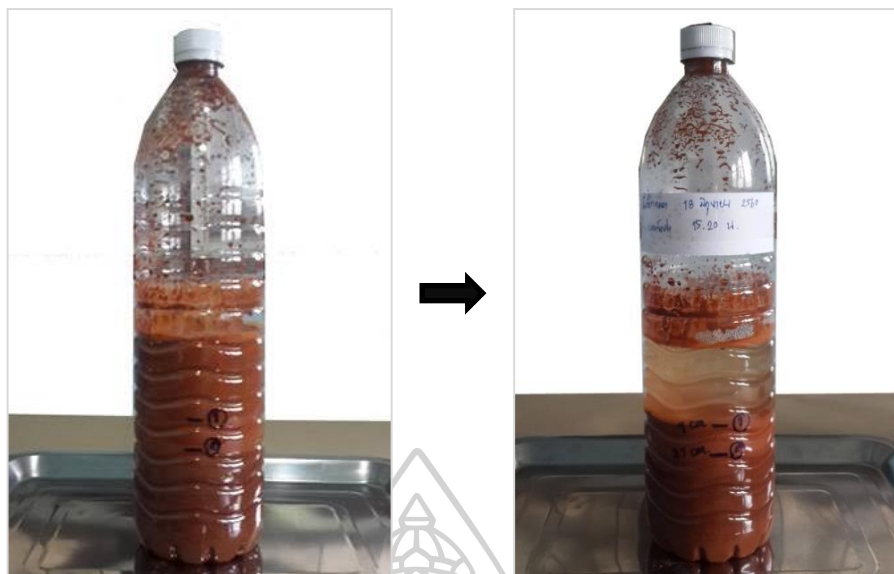


ภาพที่ 15 แสดงภาพทดสอบวัดค่าความชื้นในซีเมนต์จากขยะ

2. ทดสอบดินลูกรัง

2.1 ทดสอบตะกอนในดินลูกรัง

โดยนำดินใส่ขวด $\frac{1}{2}$ ของขวดขนาด 1 ลิตร เติมน้ำลงไปเต็มขวด แล้วเขย่าให้เข้ากัน เขย่าประมาณ 1-2 นาที วางลงแล้ววัดระดับของดินลูกรังในช่วงแรก ปักยี่สิบไว้ประมาณ 6 - 8 ชั่วโมง จะตกตะกอนอย่างสมบูรณ์จนน้ำใส (ตามภาพที่ 16) แล้ววัดระดับของดินลูกรังช่วงหลัง หาร้อยละของตะกอนฝุ่นที่ตกตะกอนที่หลังไม่เกิน 35% โดยปริมาณ หรือส่วนมวลรวมละเอียดตะกอนแข็งที่ตกตะกอนก่อนไม่ต่ำกว่า 65% โดยปริมาณ ตามการแบ่งคุณภาพชั้นดิน โดยมาตรฐาน ASTM D3282 Standard Classifications of soils and Soil – Aggregate Mixture for Highway Construction Purposes (พันธ์ศักดิ์ ดาวเรือง, 2549)



ภาพที่ 16 แสดงภาพทดสอบตะกอนในดินลูกรังก่อน - หลังทดสอบ 24 ชั่วโมง

2.2 ทดสอบความชื้นของดินลูกรัง (ทดสอบด้วยห้องปฏิบัติการ)

นำดินลูกรังที่ผ่านกระบวนการตากแดด ตรวจสอบค่าปริมาณความชื้นด้วยห้องปฏิบัติการ แล้วเก็บผลบันทึกค่าที่ได้ กรณีตากแดดต้องมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 4 % ตามการแบ่งคุณภาพชั้นดิน โดยมาตรฐาน ASTM D3282 Standard Classifications of soils and Soil – Aggregate Mixture for Highway Construction Purposes หาค่าด้วยวิธีการคำนวณจากการทดสอบด้วยห้องปฏิบัติการ จากสูตรดังต่อไปนี้

สูตรหาน้ำหนักดินแห้ง

$$[\text{น้ำหนักกระป๋อง} + \text{ดินแห้ง}] - \text{น้ำหนักกระป๋อง} = \text{น้ำหนักดินแห้ง (g.)}$$

สูตรหาน้ำหนักน้ำในดิน

$$\begin{aligned} & \text{น้ำหนักกระป๋อง} + \text{ดินเปียก} - \text{น้ำหนักกระป๋อง} + \text{ดินแห้ง} \\ & = \text{น้ำหนักน้ำในดิน (g.)} \end{aligned}$$

สูตร หาปริมาณความชื้นดิน

$$[\text{น้ำหนักน้ำในดิน} \times 100] \div \text{น้ำหนักดินแห้ง} = \text{ปริมาณความชื้นดิน (\%)}$$

สูตรหาเฉลี่ยปริมาณความชื้นดิน

$$\begin{aligned} & [\text{ปริมาณความชื้นในดินตัวอย่าง} (1 + 5) \div 5] \\ & = \text{เฉลี่ยปริมาณความชื้นดิน (\%)} \end{aligned}$$

3. ทดสอบน้ำประปาสะอาด

3.1 ทดสอบค่ากรด – ด่าง (pH) ในน้ำประปาสะอาด

นำน้ำประปาสะอาดที่จะใช้ในการผลิตวัสดุบล็อกประสานใสในแก้ว แล้วตรวจวัดค่าด้วยเครื่องมือ pH Meter (ตามภาพที่ 17) และบันทึกค่าที่ได้ กรณีที่ผลตรวจต้องวัดค่ากรด – ด่าง (pH) ต้องอยู่ในเกณฑ์ระหว่างเท่ากับ 7.0 – 8.5 (องค์การอนามัยโลก, 2554)



ภาพที่ 17 แสดงภาพทดสอบวัดค่ากรด – ด่าง (pH) ในน้ำประปาสะอาด

3.2 ทดสอบค่าสารละลายในน้ำประปาสะอาด

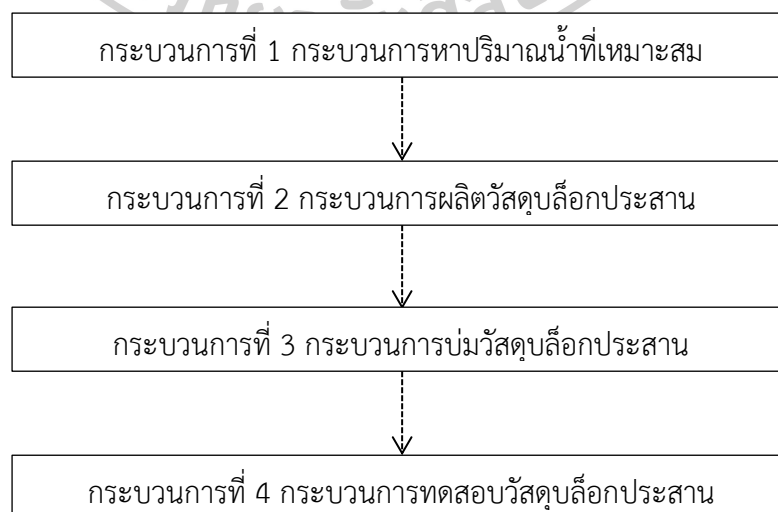
นำน้ำประปาสะอาดที่จะใช้ในการผลิตวัสดุบล็อกประสานใสในแก้ว แล้วตรวจวัดค่าด้วยเครื่องมือ TDS Meter (ตามภาพที่ 18) และบันทึกค่าที่ได้ วัดค่าหน่วยเป็น ppm. กรณีที่ผลตรวจวัดค่าเกิน 600 ppm. ควรเปลี่ยนน้ำที่สะอาดกว่านี้ (องค์การอนามัยโลก, 2554)



ภาพที่ 18 แสดงภาพทดสอบวัดค่าสารละลายในน้ำปะปาสะอาด

ขั้นตอนการดำเนินการทดลองวิจัย

เมื่อผ่านขั้นตอนก่อนการดำเนินการทดลองวิจัยแล้ว เข้าสู่ขั้นตอนการดำเนินการทดลองวิจัย โดยมีกระบวนการหลัก 4 กระบวนการดังต่อไปนี้



กระบวนการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อความหนาแน่นแห้งสูงสุด โดยทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมตามมาตรฐาน Standard Proctor Test (Optimum Water Content, O.M.E.) กำหนดการทดสอบทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ครั้ง ทดสอบปริมาณน้ำครั้งละ 3% ตั้งแต่ 3% จนถึง 15% ซึ่งมีอัตราการผลิตรัสตุบลึกประสาน (ตามตารางที่ 15) ประกอบด้วย

INB_1:6 (No Ash) บล็อกประสานที่ไม่มีซีเมนต์จากขยะ โดยมีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อดินลูกรังที่ 1 : 6

INB_1:6 (Ash 10 - 50%) บล็อกประสานผสมซีเมนต์จากขยะตั้งแต่ 10 - 50% โดยมีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อดินลูกรังที่ 1 : 6

INB_1:7 (No Ash) บล็อกประสานที่ไม่มีซีเมนต์จากขยะ มีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อดินลูกรังที่ 1 : 7

INB_1:7 (Ash 10 - 50%) บล็อกประสานผสมซีเมนต์จากขยะตั้งแต่ 10 - 50% โดยมีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อดินลูกรังที่ 1 : 7

ตารางที่ 9 แสดงปริมาณอัตราส่วนผสมวัสดุบล็อกประสาน

| ตัวอย่าง | ดินลูกรัง | | ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ | | ซีเมนต์จากขยะ | |
|-------------------|------------------|---------------|----------------------|---------------|------------------|---------------|
| | อัตราส่วน (ส่วน) | น้ำหนัก (kg.) | อัตราส่วน (ส่วน) | น้ำหนัก (kg.) | อัตราส่วน (ส่วน) | น้ำหนัก (kg.) |
| INB_1 : 6_No Ash | 6 | 4.629 | 1 | 0.771 | - | 0.600 |
| INB_1 : 6_Ash 10% | 6 | 4.654 | 90% ของ 1 | 0.698 | 10% ของ 1 | 0.570 |
| INB_1 : 6_Ash 20% | 6 | 4.629 | 80% ของ 1 | 0.617 | 20% ของ 1 | 0.600 |
| INB_1 : 6_Ash 30% | 6 | 4.629 | 70% ของ 1 | 0.540 | 30% ของ 1 | 0.600 |
| INB_1 : 6_Ash 40% | 6 | 4.629 | 60% ของ 1 | 0.463 | 40% ของ 1 | 0.600 |
| INB_1 : 6_Ash 50% | 6 | 4.577 | 50% ของ 1 | 0.381 | 50% ของ 1 | 0.660 |
| INB_1 : 7_No Ash | 7 | 4.778 | 1 | 0.683 | - | 0.540 |
| INB_1 : 7_Ash 10% | 7 | 4.725 | 90% ของ 1 | 0.608 | 10% ของ 1 | 0.600 |
| INB_1 : 7_Ash 20% | 7 | 4.725 | 80% ของ 1 | 0.540 | 20% ของ 1 | 0.600 |
| INB_1 : 7_Ash 30% | 7 | 4.725 | 70% ของ 1 | 0.473 | 30% ของ 1 | 0.600 |
| INB_1 : 7_Ash 40% | 7 | 4.725 | 60% ของ 1 | 0.405 | 40% ของ 1 | 0.600 |
| INB_1 : 7_Ash 50% | 7 | 4.673 | 50% ของ 1 | 0.334 | 50% ของ 1 | 0.660 |

1. เตรียมวัสดุอุปกรณ์

- 1.1 โม่ (ขนาด 6 นิ้ว)
- 1.2 ตุ่มตอกอัดดิน
- 1.3 เครื่องดันแม่แรง
- 1.4 ตู้อบ (อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส)
- 1.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก (0.01 kg.)

2. ขั้นตอนการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

- 2.1 ชั่งตวงวัตถุดิบตามสัดส่วนที่กำหนด (ตามตารางที่ 9)
- 2.2 เทส่วนผสมลงบนภาชนะ ผสมวัตถุดิบ ดินลูกรัง , ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ / ซีเมนต์ลอมจากขยะ ผสมจนเข้ากัน แล้วเทน้ำสะอาดบริสุทธิ์ แล้วผสมให้เข้ากัน (ตามภาพที่ 19 และ 20)



ภาพที่ 19 แสดงภาพขั้นตอนชั่งตวงวัตถุดิบ



ภาพที่ 20 แสดงภาพขั้นตอนผสมวัตถุดิบให้เข้ากัน

2.3 ตักส่วนผสมลงในโมล ชั้นที่ 1 แล้วใช้ตุ้มตอกจนครบ 25 ครั้ง ทำแบบนี้ จนครบ 3 ครั้ง (ตามภาพที่ 21)



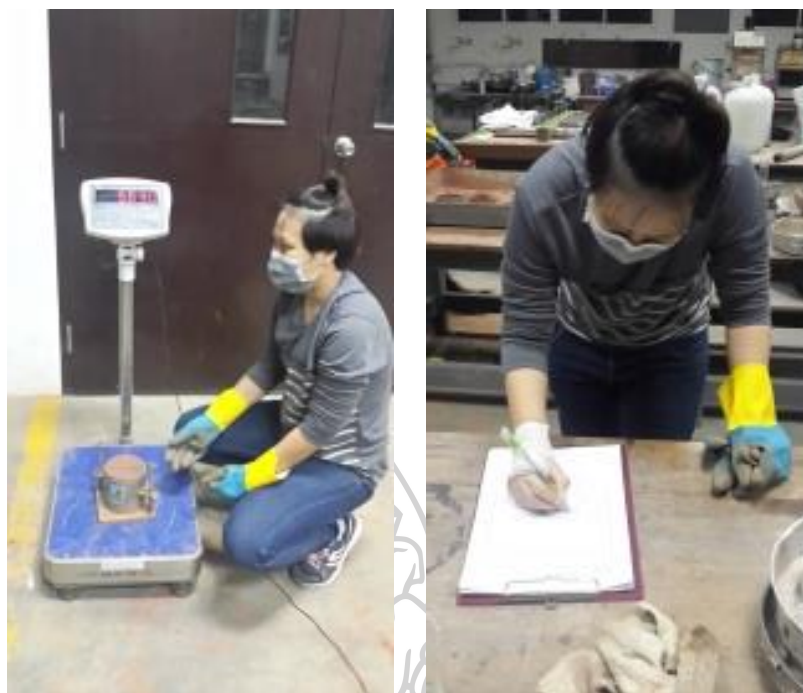
ภาพที่ 21 แสดงภาพขั้นตอนใช้ตุ้มตอก

2.4 เอาโมลชั้นบนออก แล้วปาดหน้าโมลให้เรียบ ใช้แปรงทำความสะอาดรอบๆ โมล (ตามภาพที่ 22)



ภาพที่ 22 แสดงภาพปรับหน้าโมล

2.5 นำโมลที่ปาดออกไปซึ่งน้ำหนัก แล้วจดบันทึกค่า (ตามภาพที่ 23)



ภาพที่ 23 แสดงภาพขั้นตอนชั่งน้ำหนักโมล / บันทึกค่า

2.6 ถอดฐานโมลออก แล้วนำไปเข้าเครื่องดินแม่แรง ดันจนดินชั้นกลางในโมลออกมา (ตามภาพที่ 24)



ภาพที่ 24 แสดงภาพขั้นตอนการเข้าเครื่องดินแม่แรง เพื่อเก็บตัวอย่างทดสอบ

2.7 เก็บตัวอย่างดินที่ตรงกลางโมล ไปชั่งน้ำหนัก แล้วจดบันทึกค่า (ตามภาพที่ 25)



ภาพที่ 25 แสดงภาพขั้นตอนการเก็บตัวอย่างทดสอบ

2.8 เก็บตัวอย่างทั้งหมด 12 ตัวอย่าง จนครบ 5 ครั้งต่อตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 รอบ
แล้วนำตัวอย่างไปเข้าเครื่องอบที่อุณหภูมิ 105 องศา ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง (ตามภาพที่ 26)



ภาพที่ 26 แสดงภาพขั้นตอนการทดสอบเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

2.9 เมื่อครบกำหนด นำตัวอย่างดินออกจากเครื่องอบ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกค่า (ตามภาพที่ 27)



ภาพที่ 27 แสดงภาพขั้นตอนบันทึกค่าหลังการทดสอบเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

กระบวนการผลิตวัสดุบล็อกประสาน

1. เตรียมวัสดุอุปกรณ์
 - 1.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก (0.1, 0.01 kg.)
 - 1.2 อุปกรณ์ผสมส่วนผสมบล็อกประสาน
 - 1.3 บัวรดน้ำ
 - 1.4 เครื่องอัดบล็อกประสานแบบโยกมือ



2. ขั้นตอนการผลิตวัสดุบล็อกประสาน

2.1 เตรียมส่วนผสม (ตามตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 แสดงตารางปริมาณสัดส่วนในการผลิตวัสดุบล็อกประสาน

| อัตราส่วนผสม | ดินลูกรัง (kg.) | ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ (kg.) | ซีเมนต์ลอย จากขยะ (kg.) | น้ำประปา สะอาด (kg.) |
|-------------------|-----------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| INB_1 : 6_No Ash | 4.629 | 0.771 | - | 0.600 |
| INB_1 : 6_Ash 10% | 4.654 | 0.698 | 0.078 | 0.570 |
| INB_1 : 6_Ash 20% | 4.629 | 0.617 | 0.154 | 0.600 |
| INB_1 : 6_Ash 30% | 4.629 | 0.540 | 0.231 | 0.600 |
| INB_1 : 6_Ash 40% | 4.629 | 0.463 | 0.309 | 0.600 |
| INB_1 : 6_Ash 50% | 4.577 | 0.381 | 0.381 | 0.660 |
| INB_1 : 7_No Ash | 4.778 | 0.683 | - | 0.540 |
| INB_1 : 7_Ash 10% | 4.725 | 0.608 | 0.068 | 0.600 |
| INB_1 : 7_Ash 20% | 4.725 | 0.540 | 0.135 | 0.600 |
| INB_1 : 7_Ash 30% | 4.725 | 0.473 | 0.203 | 0.600 |
| INB_1 : 7_Ash 40% | 4.725 | 0.405 | 0.270 | 0.600 |
| INB_1 : 7_Ash 50% | 4.673 | 0.334 | 0.334 | 0.660 |

2.2 นำดินลูกรังที่ตากแดดไปบดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4 มม. ด้วยเครื่องบดร่อนดินลูกรัง ให้ได้ปริมาณที่กำหนดไว้ เมื่อบดร่อนเสร็จ ตวงดินลูกรังใส่ในกระบะผสมตามกำหนด (ตามภาพที่ 28)



ภาพที่ 28 แสดงภาพขั้นตอนซึ่งตวงวัตถุดิบตามสัดส่วนที่กำหนด (ดินลูกรัง ,ปูนซีเมนต์ / ไข่ไก่ ,น้ำสะอาดบริสุทธิ์)

2.3 นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ / ไข่ไก่ลอยจากขยะ ที่เตรียมไว้ ตวงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ใส่ในกระบะผสมตามกำหนด ผสมสัดส่วนให้เข้ากันประมาณ 2 - 3 นาที (ตามภาพที่ 29)



ภาพที่ 29 แสดงภาพขั้นตอนเทส่วนผสมลงบนภาชนะ ผสมจนเข้ากัน

2.4 นำน้ำปะปาสะอาด ตวงน้ำใส่ในฝักบัวรดน้ำตามกำหนด (ปริมาณน้ำจากการทดสอบ OMC.) โดยเทใส่ส่วนฝักบัวให้ทั่วเครื่องโม่ผสม ผสมสัดส่วนทั้งหมดให้เข้ากันประมาณ 1 - 2 นาที

2.5 นำส่วนผสมตรงซึ่งน้ำหนัก (ปกติน้ำหนักที่อัดเท่ากับ 6 กิโลกรัม) แล้วเทเข้าเครื่องอัดโยกมือ ควรอัดส่วนผสมภายใน 30 นาทีหลังจากการผสมน้ำ (ตามภาพที่ 30 และ 31)

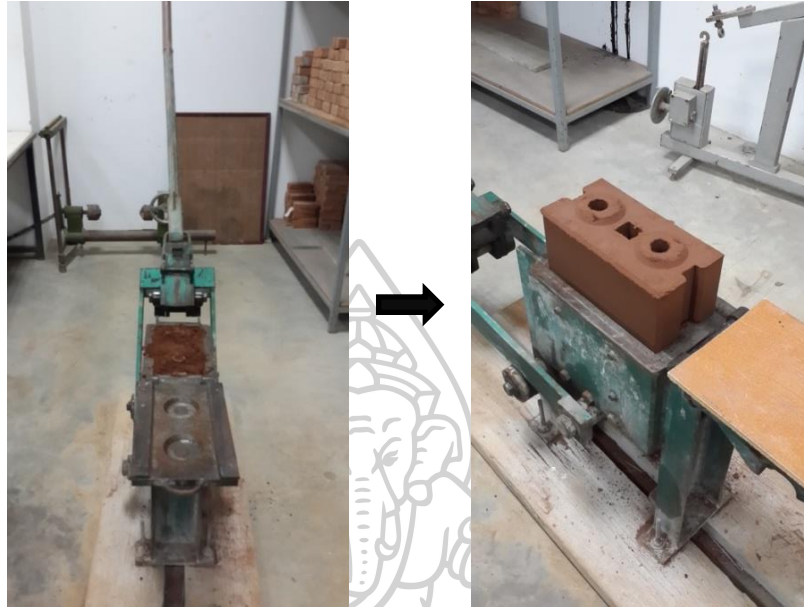


ภาพที่ 30 แสดงภาพขั้นตอนนำส่วนผสมไปชั่งตวงน้ำหนัก



ภาพที่ 31 แสดงภาพขั้นตอนนำส่วนผสมที่ซึ่งไปเทใส่เครื่องอัดบล็อกประสาน

2.6 นำบล็อกประสานที่อัดขึ้นรูปแล้ว (ตามภาพที่ 32) เมื่ออัดขึ้นรูปเสร็จ จึงนำมาชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกค่าน้ำหนักหลังจากนั้นนำมาวางพักบนชั้นวางบล็อก วางทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงหรือ 1 วัน ในที่ร่ม หลังจากการนั้นนำมาบ่ม (ตามภาพที่ 33)



ภาพที่ 32 แสดงภาพขั้นตอนอัดขึ้นรูปวัสดุบล็อกประสาน



ภาพที่ 33 แสดงภาพขั้นตอนนำบล็อกที่อัดไปวางเรียง รอจนบล็อกเริ่มแข็งตัว แล้วบ่มหลัง 24 ชั่วโมง

กระบวนการปมวัสดุบล็อกประสาน

1. แบบที่ 1 ทดสอบทั่วไป

1.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์

1.1.1 ผ้าพลาสติก

1.1.2 เทปกาว

1.2 การปมวัสดุบล็อกประสานแบบที่ 1

1.2.1 เมื่อบล็อกประสานมีอายุครบ 1 วัน นำบล็อกประสานมาวางเรียง (ตาม

ภาพที่ 34)



ภาพที่ 34 แสดงภาพขั้นตอนนำบล็อกประสานวางเรียงบนผ้าพลาสติก

1.2.2 แล้วนำผ้าพลาสติกคลุมไว้ในที่ร่ม แล้วคลุมด้วยผ้าพลาสติกไม่ให้ไอน้ำระเหยออก จนมีอายุครบตามกำหนด (ตามภาพที่ 35)



ภาพที่ 35 แสดงภาพขั้นตอนใช้พลาสติกคลุมบล็อกประสาน แล้วทิ้งไว้จนครบอายุบ่มที่กำหนด

2. แบบที่ 2 ทดสอบกำลังแรงอัด

2.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์

2.1.1 ผ้าพลาสติก

2.2.2 เทปกาว

2.2.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

2.2.4 ทราย

2.2.5 น้ำประปาสะอาด

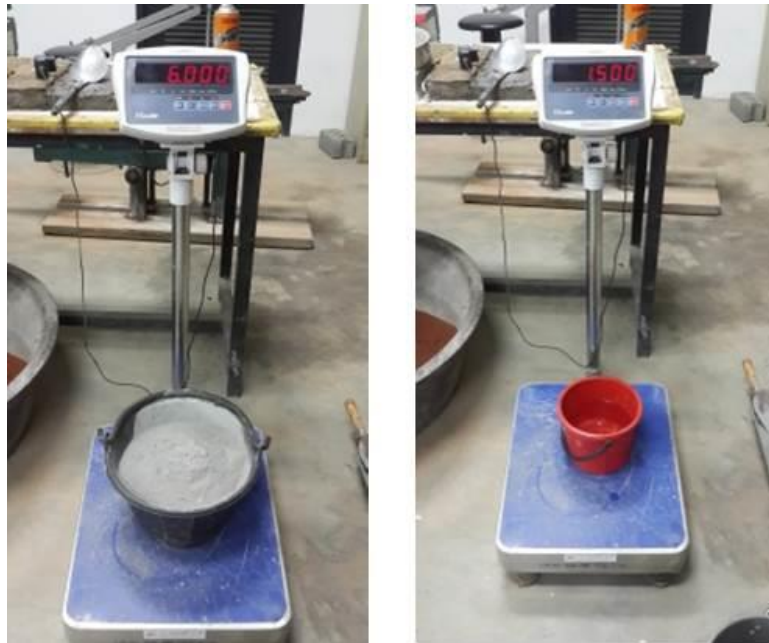
2.2 การบ่มวัสดุบล็อกประสานแบบที่ 2

2.2.1 เมื่อบล็อกประสานมีอายุครบ 1 วัน นำบล็อกประสานมาวางเรียงในไม้แบบ บ่มพร้อมกับการหยอดน้ำปูนในรู (ตามภาพที่ 36)



ภาพที่ 36 แสดงภาพขั้นตอนนำบล็อกประสานคว่ำหน้าลง ติดตั้งไม้แบบยึดกับตัวบล็อกประสาน

2.2.2 ตวงส่วนผสมหอยดรูบล็อก อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ 1 : 2 : ½
เป็นซีเมนต์มอดาร์ (ตามภาพที่ 37)



ภาพที่ 37 แสดงภาพขั้นตอนการตวงส่วนผสมหอยดรูบล็อก อัตราส่วน (ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ) 1 : 2 : ½

2.2.3 ผสมส่วนผสมจนเข้ากัน (ตามภาพที่ 38)



ภาพที่ 38 แสดงภาพขั้นตอนการผสมส่วนผสมซีเมนต์มอดาร์

2.2.4 นำส่วนผสมไปหยอดรูบล็อกให้ครบทุกรู (ตามภาพที่ 39)



ภาพที่ 39 แสดงภาพขั้นตอนนำส่วนผสมไปหยอดรูบล็อกประสาน

2.2.5 หลังจากนั้น ใช้พลาสติกคลุมบล็อกประสาน (ตามภาพที่ 40) แล้วทิ้งไว้จนครบอายุบ่มที่กำหนด



ภาพที่ 40 แสดงภาพขั้นตอนการใช้พลาสติกคลุมบล็อกประสาน

3. แบบที่ 3 ทดสอบกล่องจำลองโมเดล

3.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์

3.1.1 ผ้าพลาสติก

3.1.2 เทปกาว

3.1.3 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์

3.1.4 ทราย

3.1.5 น้ำประปาสะอาด

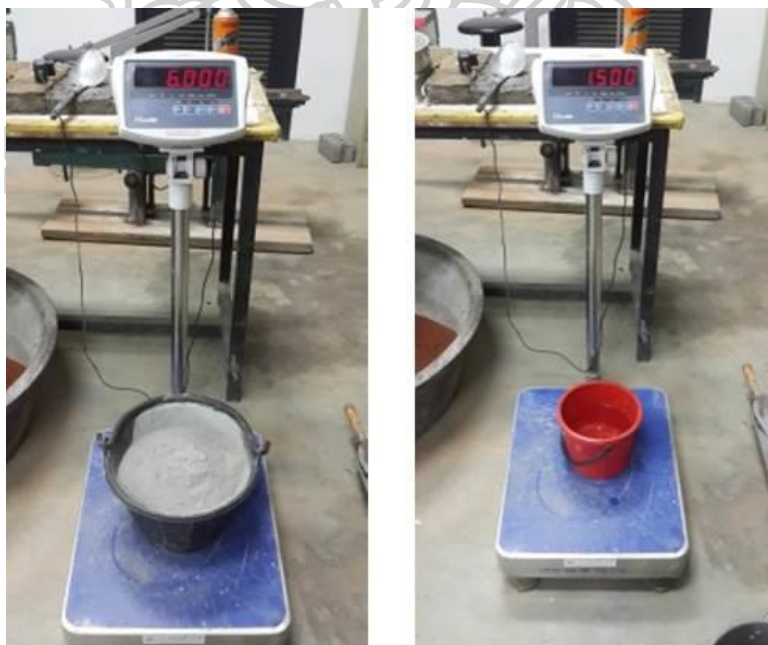
3.2 การป่มวัสดุบล็อกประสานแบบที่ 3

3.2.1 เมื่อบล็อกประสานมีอายุครบ 1 วัน นำบล็อกประสานมาวางเรียงในไม้แบบ ป่มพร้อมกับการหยอดน้ำปูนในรู (ตามภาพที่ 41)



ภาพที่ 41 แสดงภาพขั้นตอนนำบล็อกประสานวางเรียงบนผ้าพลาสติก

3.2.2 ตวงส่วนผสมหยอดรูบล็อก อัตราส่วน (ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ) 1 : 2 : ½ เป็นซีเมนต์มอดาร์ (ตามภาพที่ 42)



ภาพที่ 42 แสดงภาพขั้นตอนการตวงส่วนผสมหยอดรูบล็อก อัตราส่วน (ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ) 1 : 2 : ½

3.2.3 ผสมส่วนผสมจนเข้ากัน (ตามภาพที่ 43)



ภาพที่ 43 แสดงภาพขั้นตอนการผสมส่วนผสมซีเมนต์มอดาร์

3.2.4 นำส่วนผสมไปหยอดรูบล็อกให้ครบทุกรู โดยหยอดทีละชั้น และประกอบบล็อกเข้าหากัน (ตามภาพที่ 44)



ภาพที่ 44 แสดงภาพขั้นตอนการนำส่วนผสมไปหยอดรูบล็อกประสานทีละชั้น และประกอบบล็อกเข้าหากัน

3.2.5 หลังจากนั้น ใช้พลาสติกคลุมบล็อกประสาน แล้วทิ้งไว้จนครบอายุบ่มที่กำหนด (ตามภาพที่ 45)



ภาพที่ 45 แสดงภาพขั้นตอนการใช้พลาสติกคลุมกำแพงบล็อกประสาน

กระบวนการทดสอบวัสดุบล็อกประสาน

1. กระบวนการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล (ทดสอบค่ากำลังแรงอัด)

1.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์

1.1.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก 0.01 kg.

1.1.2 เครื่องมือวัดเวอร์เนีย

1.1.3 เครื่อง Universal รุ่น CT-108D

1.2 การทดสอบหาค่ากำลังแรงอัด

1.2.1 เตรียมบล็อกประสานที่ครบกำหนดในการบ่ม โดยก้อนตัวอย่างนั้นสมบูรณ์

ตามมาตรฐานกำหนด (ตามภาพที่ 46)



ภาพที่ 46 แสดงภาพขั้นตอนการตรวจสอบบล็อกประสานเมื่อครบกำหนดอายุบ่ม

1.2.2 นำก้อนวัสดุบล็อกมาชั่งน้ำหนัก แล้วจดบันทึกค่า (ตามภาพที่ 47)



ภาพที่ 47 แสดงภาพขั้นตอนการนำก้อนวัสดุบล็อกประสานมาชั่งน้ำหนัก

1.2.3 วัดขนาดก้อนด้วยเครื่องมือวัดเวอร์เนีย (กว้าง : ยาว : หนา) แล้วจดบันทึกค่า (ตามภาพที่ 48)



ภาพที่ 48 แสดงภาพขั้นตอนการวัดขนาดก้อนด้วยเครื่องมือวัดเวอร์เนีย

1.2.4 นำก้อนวัสดุบล็อกเข้าเครื่อง Universal เพื่อทดสอบกำลังแรงอัด Compressive strength (ตามภาพที่ 49)



ภาพที่ 49 แสดงภาพขั้นตอนการนำก้อนวัสดุบล็อกประสานเข้าเครื่องทดสอบกำลังแรงอัด

1.2.5 รอยจันได้ค่ากำลังแรงอัดสูงสุด (ตามภาพที่ 50)



ภาพที่ 50 แสดงภาพขั้นตอนการทดสอบกำลังแรงอัดจนได้ค่ากำลังแรงอัดสูงสุด

1.2.6 นำก้อนวัสดุบล็อกออกจากเครื่องทดสอบกำลังแรงอัด แล้วจดบันทึกค่าที่ได้ (ตามภาพที่ 51)



ภาพที่ 51 แสดงภาพขั้นตอนการนำก้อนวัสดุบล็อกประสานออกจากเครื่องทดสอบกำลังแรงอัด

2. กระบวนการทดสอบคุณสมบัติการลดความร้อน (กล่องจำลองโมเดล)

การจำลองโมเดลตัวอย่าง เพื่อหาอุณหภูมิความต่างระหว่างภายใน และภายนอก ผนังอาคารที่ทำจากบล็อกประสาน 3 ประเภท ได้แก่

(A) บล็อกประสานที่ไม่มีซีเมนต์ลอมจากขยะ โดยมีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อดินลูกรังที่ 1 : 6

(B) บล็อกประสานผสมซีเมนต์ลอมจากขยะ 50% โดยมีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อดินลูกรังที่ 1 : 6

(C) บล็อกประสานผสมซีเมนต์ลอมจากขยะ 50% โดยมีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อดินลูกรังที่ 1 : 7

และการจำลองโมเดลของผนังอาคาร เพื่อทดสอบการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ในการจำลองกล่องโมเดล โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 การเตรียมกล่องจำลองโมเดล

2.1.1 การเตรียมวัสดุดิบ และอุปกรณ์ในการประกอบโมเดล

2.1.1.1 บล็อกประสาน 2 ประเภท ประเภทที่ 1 เป็นบล็อกประสานทั่วไป อัตราส่วน 1 : 6 และประเภทที่ 2 บล็อกประสานที่มีส่วนผสมของซีเมนต์ลอมจากขยะ 50% โดยมี อัตราส่วน 1 : 6 กับ 1 : 7 โดยจะมีขนาด 12.5 x 25 x 10 cm. ตามมาตรฐานทั่วไป ขนาดก้อนปกติ ตัวอย่างละ 8 ก้อน รวมก้อนปกติทั้งสิ้น 24 ก้อน และขนาดก้อนเล็กตัวอย่างละ 4 ก้อน รวมก้อนเล็กทั้งสิ้น 12 ก้อน

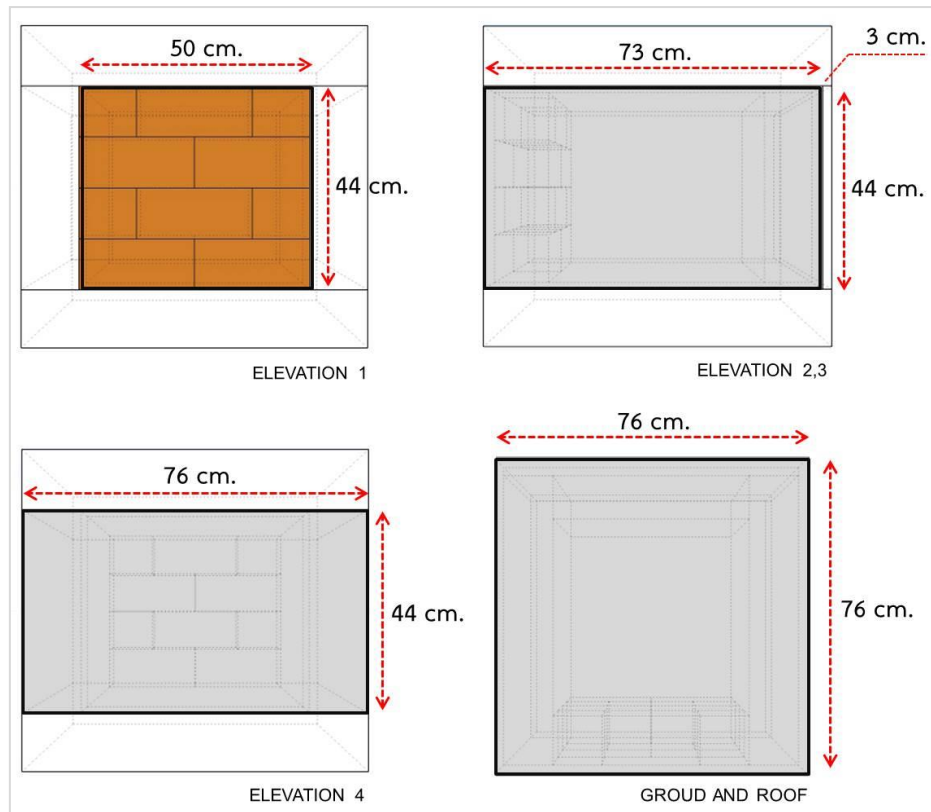
2.1.1.2 โฟมโพลีสไตรีนความหนา 3 นิ้ว เนื่องจากมีความหนาแน่นเท่ากับ บล็อกประสาน ตามมาตรฐานทั่วไป ความหนาแน่น 1 ปอนด์ / ลบ.ฟุต (ตามภาพที่ 52) มีขนาด 73 x 44 cm. จำนวน 2 แผ่น รวมทั้งสิ้น 3 ตัวอย่างเท่ากับ 6 แผ่น ขนาด 76 x 44 cm. จำนวน 1 แผ่น รวมทั้งสิ้น 3 ตัวอย่างเท่ากับ 3 แผ่น และขนาด 76 x 76 cm. จำนวน 2 แผ่น รวมทั้งสิ้น 3 ตัวอย่างเท่ากับ 6 แผ่น

2.1.1.3 ซิลิโคน จำนวน 3 หลอด

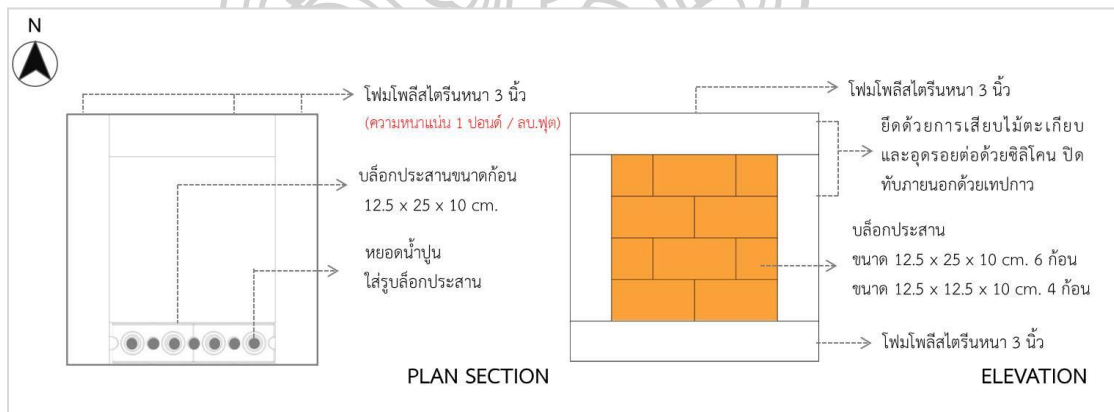
2.1.1.4 ไม้ตะเกียบ จำนวน 12 ไม้

2.1.1.5 เทปกาวใส ขนาดหนา 2 นิ้ว จำนวน 3 ม้วน

และการจำลองโมเดลของผนังอาคาร เพื่อทดสอบการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยมีวิธีการกำหนดขนาดกล่องจำลองโมเดลดังต่อไปนี้ (ตามภาพที่ 53)



ภาพที่ 52 แสดงภาพกำหนดขนาดกล่องจำลองโมเดล



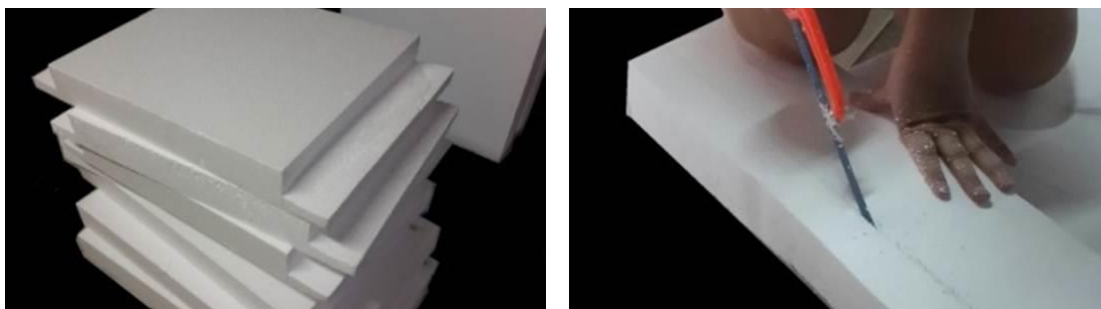
ภาพที่ 53 แสดงภาพกำหนดวิธีการประกอบโมเดลตัวอย่างในการทดสอบ

2.1.2 การประกอบกล่องจำลองโมเดล

2.1.2.1 กำหนดขนาดกล่องทดลอง จะมีขนาด 50 x 50 x 45 cm.

เนื่องจากเป็นขนาดที่ลงตัวกับวัสดุบล็อกประสานตามมาตรฐานทั่วไป

2.1.2.2 นำโฟมโพลีสไตรีนมาตัดตามขนาดที่กำหนด (ตามภาพที่ 54)



ภาพที่ 54 แสดงภาพขั้นตอนการตัดโฟมตามขนาดที่กำหนด

2.1.2.3 เมื่อได้โฟมโพลีสไตรีนตามขนาดที่กำหนดแล้ว นำโฟมโพลีสไตรีนมาประกอบกันตามแบบ ยกเว้นด้านหลัง โดยใช้ตะเกียบเป็นตัวยึดโฟม ให้ได้เป็นกล่องสมบูรณ์ นำซิลิโคนอุดบริเวณรอยต่อจนสนิท ทิ้งไว้ให้แห้ง (ตามภาพที่ 55)



ภาพที่ 55 แสดงภาพขั้นตอนการยึดโฟมด้วยไม้ตะเกียบ และอุดรอยต่อโฟมด้วยซิลิโคนสีขาว

2.1.2.4 นำผนังก่อบล็อกประสานที่ขึ้นรูปตามขนาดที่กำหนด มาประกอบเข้าด้วยกัน กับกล่องโพลีเอสเตอร์น ยึดด้วยซิลิโคน วางบนฐาน รอยน้แห้งสนิท (ตามภาพที่ 56)



ภาพที่ 56 แสดงภาพขั้นตอนการประกอบผนังเข้ากับโพน

2.1.2.5 เมื่อติดตั้งอุปกรณ์เสร็จ ปิดฝาหลังกล่อง แล้วอุดรอยต่อด้วยซิลิโคน และปิดทับด้วยเทปผ้าสีขาว (ตามภาพที่ 57)



ภาพที่ 57 แสดงภาพขั้นตอนการอุดรอยต่อด้วยซิลิโคน และปิดทับด้วยเทปผ้าสีขาว

2.2 การเตรียมทดสอบกล่องจำลองโมเดล

2.2.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์

2.2.1.1 เครื่องบันทึกข้อมูล Data Logger รุ่น 175/177 ของบริษัท เอ็นเทค แอสโซซิเอทจำกัด จำนวน 3 เครื่อง

2.2.1.2 สายเทอร์โมคัปเปิ้ล Thermocouples Type - T ของบริษัท เอ็นเทค แอสโซซิเอทจำกัด จำนวน 7 สาย (ตามภาพที่ 58)



ภาพที่ 58 แสดงภาพอุปกรณ์ในการทดสอบกล่องจำลองโมเดล

2.2.2 การตรวจสอบอุปกรณ์

2.2.2.1 ตรวจสอบอุปกรณ์ ด้วยการวัดอุณหภูมิน้ำแข็ง ค่าใกล้เคียง 0 องศาเซลเซียสทุกเส้น และทุกเครื่อง (ตามภาพที่ 59)



ภาพที่ 59 แสดงภาพตรวจสอบอุปกรณ์ในการทดสอบกล่องจำลองโมเดล

2.2.3 การกำหนดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์การจำลองโมเดล

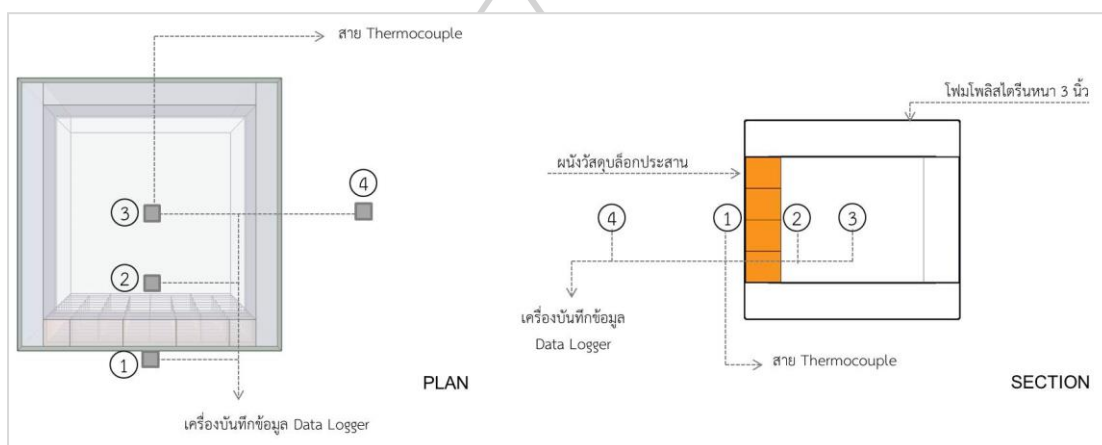
2.2.3.1 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ ได้แก่ เครื่อง Data Logger รุ่น 175/177 ของบริษัท เอ็นเทค แอสโซซิเอทจำกัด สาย Thermocouples Type - T ซึ่งมีวิธีการติดตั้งตำแหน่งวัดอุณหภูมิ (ตามภาพที่ 60) ซึ่งจะกำหนดตำแหน่งวัดอุณหภูมิ 4 จุด ได้แก่

ตำแหน่งที่ 1 (SF.External) ผิวผนังวัสดุบล็อกประสานภายนอก

ตำแหน่งที่ 2 (SF.Internal) ผิวผนังวัสดุบล็อกประสานภายใน

ตำแหน่งที่ 3 (Internal) อุณหภูมิอากาศภายใน

ตำแหน่งที่ 4 (External) อุณหภูมิอากาศภายนอก

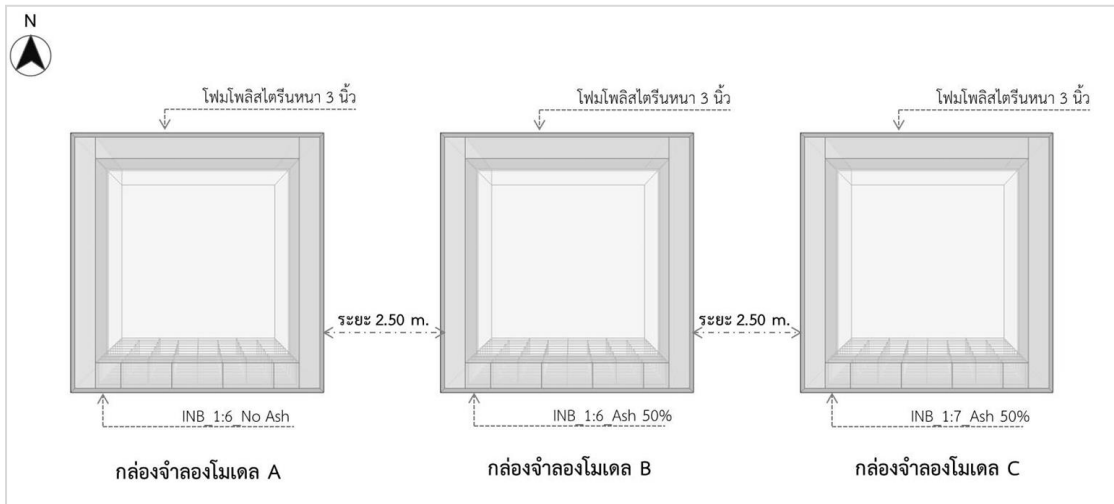


ภาพที่ 60 แสดงภาพติดตั้งเครื่องมือทดสอบโมเดลตัวอย่าง



2.2.4 การกำหนดการวางกล่องจำลองโมเดล

2.2.4.1 ตำแหน่งการวางกล่องจำลองโมเดล จึงกำหนดวางผนังด้านที่เป็นวัสดุบล็อกประสานในทิศใต้ เนื่องจากเป็นทิศที่โดนแสงแดดมากที่สุดในแต่ละวัน จะจัดให้มีระยะห่างระหว่างกล่องจำลองโมเดล 2.50 m. (ตามภาพที่ 61) โดยระยะห่างจากสิ่งปกคลุม 6 m. และมีระยะห่างจากพื้น 1.70 m. (ตามภาพที่ 62)



ภาพที่ 61 แสดงภาพตำแหน่งระยะการวางกล่องจำลองโมเดล



ภาพที่ 62 แสดงภาพโมเดลตัวอย่างในการทดสอบ

2.2.5 การกำหนดระยะเวลาเก็บข้อมูลกล่องจำลองโมเดล

2.2.5.1 การทดสอบจะทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิกล่องจำลองโมเดลเป็นเวลา 3 วัน โดยช่วงเวลาเก็บข้อมูล ตั้งแต่วันที่ 16 – 19 พฤศจิกายน พ.ศ.2560 และจะมีการเก็บข้อมูลทุก 10 นาที ทั้งหมด 10 จุด ซึ่งระยะเวลาเก็บข้อมูลมีสภาพอากาศแสงแดดร้อนตลอดทั้งวัน (ตามภาพที่ 63)



ภาพที่ 63 แสดงภาพกล่องจำลองโมเดลตัวอย่างในช่วงเวลาทดสอบ

3. กระบวนการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

3.1 ทดสอบหาค่าการนำความร้อนวัสดุเปลือกประสาน, ค่าการแผ่ความร้อน และค่าความจุความร้อนของวัสดุเปลือกประสาน

3.1.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์

3.1.1.1 เครื่องมือหินเจียร

3.1.1.2 เครื่องมือตัดเหล็ก

3.1.1.3 แผ่นพรอยด์หุ้มวัสดุ

3.1.1.4 กล้องโฟม

3.1.2 ขั้นตอนการส่งทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

3.1.2.1 เตรียมก้อนบล็อกประสานขนาดตามมาตรฐาน ตัวอย่าง INB_1 : 6_No Ash และ INB_1 : 7_Ash 50% ที่มีอายุบ่มครบ 7 วัน

3.1.2.2 นำมาเข้าเครื่องตัดเหล็ก เพื่อกำหนดแนวขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 5 x 5 x 1 cm. ที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติกำหนด (ตามภาพที่ 64)



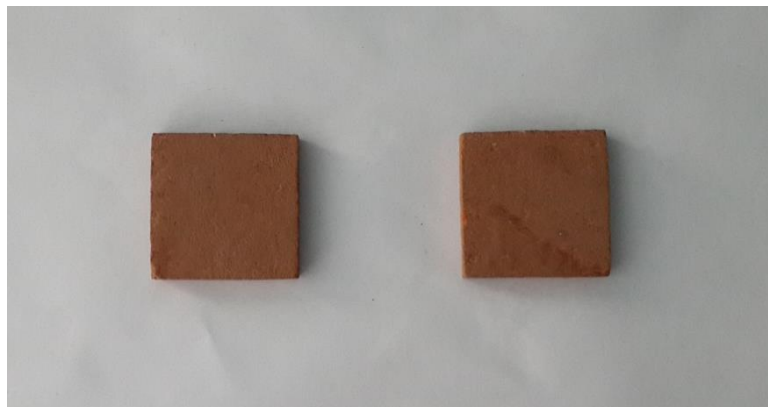
ภาพที่ 64 แสดงภาพขั้นตอนการเข้าเครื่องตัดเหล็ก เพื่อกำหนดแนวขนาด

3.1.2.3 นำมาตัดด้วยหินเจียร์ให้ได้ตามขนาดพอดีกับขนาดที่แหล่งตรวจสอบกำหนดไว้ (ตามภาพที่ 65)



ภาพที่ 65 แสดงภาพขั้นตอนการตัดด้วยหินเจียร์

3.1.2.4 เก็บไว้ภายในอุณหภูมิห้องจนครบระยะเวลา 24 ชั่วโมง (ตามภาพที่ 66)



ภาพที่ 66 แสดงภาพขั้นตอนการเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง

3.1.2.5 แล่นำมาห่อหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟรอยด์ นำใส่ถุงพลาสติก และใส่ในกล่องโฟม (ตามภาพที่ 67 และ 68)



ภาพที่ 67 แสดงภาพขั้นตอนการนำมาห่อหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟรอยด์ และใส่ถุงพลาสติก



ภาพที่ 68 แสดงภาพขั้นตอนการนำมาใส่กล่องโฟมเตรียมส่งตรวจสอบ

3.2 ทดสอบหาค่าความหนาแน่น, ค่าปริมาณความชื้น และค่าการดูดกลืนน้ำในวัสดุ
บล็อกประสาน

3.2.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์

3.2.1.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก 0.01 kg.

3.2.1.2 เครื่องมือวัดเวอร์เนีย

3.2.1.3 เตาอบที่สามารถอบอุณหภูมิ 105 – 110 °C

3.2.1.4 กระบะใส่น้ำ

3.2.2 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น

การทดสอบหาค่าความหนาแน่น (Density Test) เลือกก้อนอิฐที่อยู่ในสภาพ
เรียบร้อย จำนวน 2 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 5 ก้อน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.2.1 นำมาวัดขนาด กว้าง x ยาว x สูง (ตามภาพที่ 69)



ภาพที่ 69 แสดงภาพขั้นตอนการนำบล็อกประสานมาวัดขนาด

3.2.2.2 เมื่อวัดขนาดเรียบร้อย นำก้อนอิฐซึ่งน้ำหนัก (ตามภาพที่ 70)



ภาพที่ 70 แสดงภาพขั้นตอนการนำมาชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกค่า

3.2.2.3 เมื่อชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว จึงคำนวณสูตรหาค่าความหนาแน่น

** คำนวณสูตร

กว้าง x ยาว x สูง (ก้อนบล็อกประสาน) = ปริมาตรวัสดุบล็อกประสาน

กว้าง x ยาว x สูง (ช่องว่างบล็อกประสาน) = ปริมาตรช่องว่างวัสดุบล็อกประสาน

ปริมาตรวัสดุบล็อกประสาน - ปริมาตรช่องว่างวัสดุบล็อกประสาน = ปริมาตรรวมบล็อกประสาน

ปริมาตรรวมบล็อกประสาน ÷ น้ำหนักบล็อกประสาน = ค่าความหนาแน่นวัสดุบล็อกประสาน

3.2.3 การทดสอบหาค่าปริมาณความชื้น

การทดสอบหาค่าปริมาณความชื้น เลือกก้อนอิฐที่อยู่ในสภาพเรียบร้อย จำนวน 2 ตัวอย่างๆ ละ 5 ก้อน

3.2.3.1 นำอิฐ 1 ก้อน ไปชั่งน้ำหนักที่ละก้อน / จดบันทึกไว้ แล้วนำอิฐเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 – 110 °C นาน 24 ชั่วโมง จนครบระยะเวลาที่กำหนด นำอิฐออกจากตู้อบ มาชั่งน้ำหนักอิฐแห้ง (ตามภาพที่ 71)



ภาพที่ 71 แสดงภาพขั้นตอนการนำบล็อกเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.2.3.2 คำนวณสูตรหาปริมาณความชื้น

** คำนวณสูตร

น้ำหนักบล็อกประสานเปียก - น้ำหนักบล็อกประสานตั้งต้น = ค่าปริมาณความชื้นวัสดุ
บล็อกประสาน

3.2.4 การทดสอบหาค่าการดูดกลืนน้ำ

การทดสอบหาค่าการดูดกลืนน้ำเลือกก้อนอิฐที่อยู่ในสภาพเรียบร้อย จำนวน 2 ตัวอย่างๆ ละ 5 ก้อน จดบันทึกค่าเดิมน้ำหนักอบแห้ง

3.2.4.1 จากการอบแห้ง แล้วแช่อิฐให้จมอยู่ในน้ำนาน 1/2 ชั่วโมง นำขึ้นมาแล้วใช้ผ้าเช็ดให้แห้งโดยรอบอย่างรวดเร็ว และชั่งน้ำหนัก แล้วนำอิฐไปแช่น้ำต่อไปจนครบ 24 ชั่วโมง (ตามภาพที่ 72)



ภาพที่ 72 แสดงภาพขั้นตอนการนำบล็อกประสานแช่น้ำทิ้งไว้ตามกำหนด แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

3.2.4.2 เมื่อครบกำหนดแล้ว นำขึ้นมา และเช็ดให้พอสวย (ตามภาพที่ 73)



ภาพที่ 73 แสดงภาพขั้นตอนการนำขึ้นมาจากน้ำ และเช็ดให้พอสวย

3.2.4.3 หลังจากนั้น จึงนำมาชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกค่า (ตามภาพที่ 74)



ภาพที่ 74 แสดงภาพขั้นตอนการนำมาชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกค่า

3.2.4.4 คำนวณสูตรหารเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ

** คำนวณสูตร

$$\begin{aligned} & (\text{น้ำหนักอิฐแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักอิฐอบแห้ง}) \div \text{น้ำหนักอิฐอบแห้ง} \times 100 \\ & = \text{ค่าการดูดกลืนน้ำ (\%)} \end{aligned}$$



บทที่ 4 ผลการทดลองวิจัย

จากกระบวนการดำเนินงานวิจัย ในการพัฒนาบล็อกประสานผสมซีเมนต์จากขยะเพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร มีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ผลการทดสอบก่อนการดำเนินการทดลองวิจัย

ผลการทดสอบวัตถุดิบเบื้องต้น

1. ผลการทดสอบซีเมนต์จากขยะ

1.1 ทดสอบค่ากรด - ด่าง (pH) ในน้ำชะซีเมนต์จากขยะ

สารที่มีค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ต้องไม่ต่ำกว่าเท่ากับ 2 และ/ หรือ ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ไม่สูงกว่าเท่ากับ 12.5 ("มาตรฐานผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Environmental Impact Assessment EIA," 2535)

ตารางที่ 11 แสดงตารางวัดค่ากรด - ด่าง (pH) ในน้ำชะซีเมนต์จากขยะ

| ประเภทวัตถุดิบตรวจสอบ | ค่ากรด - ด่าง (pH) | | |
|-----------------------|--------------------|--------------|----------------------|
| | ค่าเริ่มต้นทดสอบ | ค่าหลังทดสอบ | มาตรฐาน EIA |
| น้ำชะซีเมนต์จากขยะ | 10.7 | 11.0 | $\leq 2 / \geq 12.5$ |

จากการทดสอบพบว่า ค่ากรด - ด่าง (pH) ในน้ำชะซีเมนต์จากขยะ ผ่านมาตรฐานการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Environmental Impact Assessment, EIA (ตามตารางที่ 11)

1.2 ทดสอบค่าสารละลายในน้ำชะซีเมนต์จากขยะ

สิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว ประเภทสารพิษ (Toxic substances) เป็นสารที่มีค่าไม่เกิน 50 % ของน้ำหนักสารที่ใช้ในการทดสอบ ("มาตรฐานผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Environmental Impact Assessment EIA," 2535)

ตารางที่ 12 แสดงตารางวัดค่าสารละลายในน้ำชะซีเมนต์จากขยะ

| ประเภทวัตถุดิบตรวจสอบ | ค่าสารละลาย Total dissolved solids (TDS) | | |
|-----------------------|--|--------------|-------------|
| | ค่าเริ่มต้นทดสอบ | ค่าหลังทดสอบ | มาตรฐาน EIA |
| น้ำชะซีเมนต์จากขยะ | 3290 ppm. | 3650 ppm. | $\leq 50\%$ |

จากการทดสอบพบว่า ค่าสารละลาย Total dissolved solids (TDS) ในน้ำชะซีเมนต์ที่ละลายจากขยะ ผ่านมาตรฐานการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Environmental Impact Assessment, EIA (ตามตารางที่ 12)

1.3 ทดสอบวัดค่าความชื้นในซีเมนต์ที่ละลายจากขยะ

จากการทดสอบวัดค่าความชื้นในซีเมนต์ที่ละลายจากขยะพบว่า สถานะของซีเมนต์ที่ละลายจากขยะ ที่นำมาจากบ่อพักด้วยวิธีการหุ้มถุงพลาสติก 2 ชั้นเพื่อป้องกันความชื้นจากอากาศภายนอก เมื่อตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดความชื้นแบบเข็ม มีลักษณะอยู่ในเกณฑ์แห้ง

2. ผลการทดสอบดินลูกรัง

2.1 ทดสอบตะกอนในดินลูกรัง

การหาร้อยละของตะกอนฝุ่นที่ตกตะกอนที่หลังไม่เกิน 35% โดยปริมาณ หรือ ส่วนมวลรวมละเอียดตะกอนแข็งที่ตกตะกอนก่อนไม่ต่ำกว่า 65% โดยปริมาณ ตามการแบ่งคุณภาพชั้นดิน โดยมาตรฐาน ASTM D3282 Standard Classifications of soils and Soil – Aggregate Mixture for Highway Construction Purposes (พันธ์ศักดิ์ ดาวเรือง, 2549)

ตารางที่ 13 แสดงตารางวัดค่าทดสอบตะกอนในดินลูกรัง

| ประเภทวัตถุที่ตรวจสอบ | ปริมาณตกตะกอน | | |
|-----------------------|----------------------|------------------|---------------------|
| | ค่าเริ่มต้น ทดสอบ | ค่าหลัง ทดสอบ | มาตรฐานทดสอบ ดิน |
| ดินลูกรัง | 100% | 75% | ≥ 65% |

จากการทดสอบตะกอนในดินลูกรังด้วยตัวเอง พบว่า ตะกอนในดินลูกรังมีค่าเปอร์เซ็นต์ของตะกอนฝุ่นที่ตกตะกอนที่หลังไม่เกิน 35% โดยปริมาณ และมีมวลรวมละเอียดตะกอนแข็งที่ตกตะกอนหลังทดสอบเท่ากับ 75% ซึ่งไม่ต่ำกว่า 65% โดยปริมาณ ตามการแบ่งคุณภาพชั้นดิน โดยมาตรฐาน ASTM D3282 Standard Classifications of soils and Soil – Aggregate Mixture for Highway Construction Purposes (ตามตารางที่ 13)

2.2 ทดสอบความชื้นของดินลูกรัง (ทดสอบด้วยห้องปฏิบัติการ)

มาตรฐาน ASTM D3282 Standard Classifications of soils and Soil – Aggregate Mixture for Highway Construction Purposes กำหนดให้มีค่าปริมาณความชื้นดินลูกรังไม่เกิน 4%

ตารางที่ 14 แสดงตารางตรวจสอบค่าปริมาณความชื้นดินลูกรัง

| Can No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|------|------|------|------|-------------|
| Wt. of Can + Wet Soil ; g. | 135 | 135 | 125 | 135 | 135 |
| Wt. of Can + Dry Soil ; g. | 130 | 134 | 122 | 131 | 131 |
| Wt. of Can ; g. | 35 | 35 | 25 | 35 | 35 |
| Wt. of Dry Soil ; g. | 95 | 99 | 97 | 96 | 96 |
| Wt. water ; g. | 5 | 1 | 3 | 4 | 4 |
| Water content ; % | 5.26 | 1.01 | 3.09 | 4.17 | 4.17 |
| Average Water content; % (มาตรฐาน $\geq 4\%$) | | | | | 3.54 |

จากการทดสอบหาปริมาณความชื้นของดินลูกรังด้วยห้องปฏิบัติการ พบว่าค่าปริมาณความชื้นดินลูกรังมีค่าเท่ากับ 3.54% ซึ่งผ่านตามการแบ่งคุณภาพชั้นดิน โดยมาตรฐาน ASTM D3282 Standard Classifications of soils and Soil – Aggregate Mixture for Highway Construction Purposes กำหนดให้มีค่าปริมาณความชื้นดินลูกรังไม่เกิน 4% (ตามตารางที่ 14)

3. ผลการทดสอบน้ำประปาสะอาด

3.1 ทดสอบค่ากรด – ด่าง (pH) ในน้ำประปาสะอาด

กรณีที่ผลตรวจต้องวัดค่ากรด – ด่าง (pH) ต้องอยู่ในเกณฑ์ระหว่างเท่ากับ 7.0 – 8.5 (องค์การอนามัยโลก, 2554)

ตารางที่ 15 แสดงตารางวัดค่ากรด – ด่าง (pH) ในน้ำประปาสะอาด

| ประเภทวัตถุที่ตรวจสอบ | ค่ากรด – ด่าง (pH) | มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา (เกณฑ์เหมาะสม) |
|-----------------------|--------------------|--------------------------------------|
| น้ำประปาสะอาด | 7.5 | 7.0 – 8.5 |

จากการทดสอบหาค่ากรด – ด่าง (pH) ในน้ำประปาสะอาด พบว่า ค่ากรด – ด่าง (pH) ในน้ำประปาสะอาด มีค่าเท่ากับ 7.5 ซึ่งผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาอยู่เกณฑ์เหมาะสม (ตามตารางที่ 15)

3.2 ทดสอบค่าสารละลายในน้ำปะปาสะอาด

กรณีที่ผลตรวจวัดค่าเกิน 600 ppm. ควรเปลี่ยนน้ำที่สะอาดกว่านี้ (องค์การอนามัยโลก, 2554)

ตารางที่ 16 แสดงตารางวัดค่าสารละลายในน้ำปะปาสะอาด

| ประเภทวัตถุที่ตรวจสอบ | ค่าสารละลาย Total dissolved solids (TDS) | มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา (เกณฑ์เหมาะสม) |
|-----------------------|--|--------------------------------------|
| น้ำปะปาสะอาด | 159 ppm. | ≤ 600 ppm. |

จากการทดสอบหาค่าสารละลายในน้ำปะปาสะอาด พบว่า ค่าสารละลายในน้ำปะปาสะอาด มีค่าเท่ากับ 159 ppm. ซึ่งผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาอยู่เกณฑ์เหมาะสม (ตามตารางที่ 16)



ผลการทดสอบการดำเนินการทดลองวิจัย

ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อความหนาแน่นแห้งสูงสุด โดยทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมตามมาตรฐาน Standard Proctor Test (Optimum Water Content, O.M.E.) กำหนดการทดสอบทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ครั้ง ทดสอบปริมาณน้ำครั้งละ 3% ตั้งแต่ 3% จนถึง 15%

ตารางที่ 17 แสดงตารางตรวจสอบค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อความหนาแน่นแห้งสูงสุด

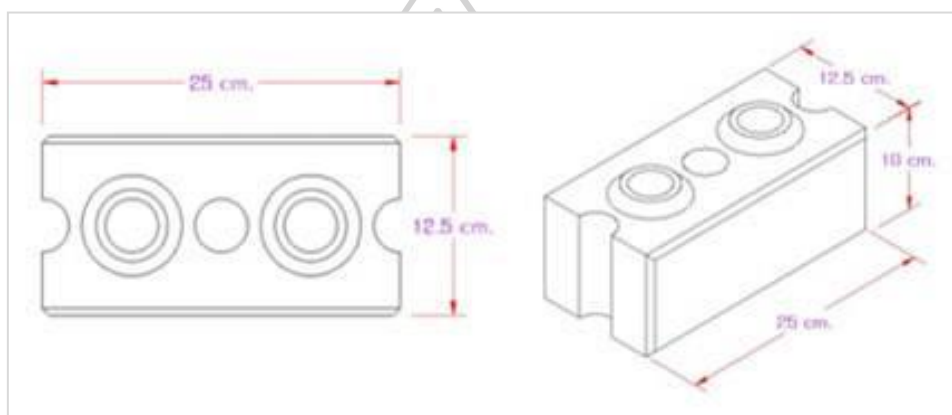
| อัตราส่วนผสม | ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (%) | | | | ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (g/cm ³) | | | |
|-------------------|-------------------------|------------|------------|-----------|--|------------|------------|-----------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
| INB_1 : 6_No Ash | 9.50 | 10.50 | 10.00 | 10.00 | 2.02 | 2.01 | 2.04 | 2.02 |
| INB_1 : 6_Ash 10% | 9.50 | 9.50 | 9.60 | 9.53 | 2.22 | 2.00 | 2.10 | 2.11 |
| INB_1 : 6_Ash 20% | 9.80 | 10.10 | 10.30 | 10.07 | 2.06 | 2.01 | 1.99 | 2.02 |
| INB_1 : 6_Ash 30% | 10.70 | 11.00 | 9.80 | 10.50 | 2.01 | 1.98 | 1.99 | 1.99 |
| INB_1 : 6_Ash 40% | 9.90 | 10.00 | 9.90 | 9.93 | 2.01 | 1.98 | 2.01 | 2.00 |
| INB_1 : 6_Ash 50% | 10.50 | 11.40 | 11.20 | 11.03 | 1.94 | 2.00 | 1.98 | 1.97 |
| INB_1 : 7_No Ash | 8.80 | 10.20 | 9.40 | 9.47 | 1.98 | 2.03 | 1.97 | 1.99 |
| INB_1 : 7_Ash 10% | 9.70 | 9.50 | 11.00 | 10.07 | 1.98 | 2.00 | 2.04 | 2.01 |
| INB_1 : 7_Ash 20% | 9.60 | 9.30 | 11.70 | 10.20 | 1.98 | 1.93 | 2.02 | 1.97 |
| INB_1 : 7_Ash 30% | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 1.98 | 2.01 | 2.00 | 2.00 |
| INB_1 : 7_Ash 40% | 11.00 | 10.50 | 10.00 | 10.50 | 2.08 | 2.03 | 1.99 | 2.03 |
| INB_1 : 7_Ash 50% | 11.30 | 10.50 | 12.00 | 11.27 | 1.98 | 1.99 | 1.98 | 1.98 |

จากการทดสอบพบว่า เมื่อมีการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์จากขยะ ทำให้ต้องการปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้น ปริมาณ 10% - 11% (ตามตารางที่ 17)

ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

1. ผลการตรวจสอบขนาด และมิติ

การทดสอบหาขนาด และมิติวัสดุบล็อกประสาน ไม่มีขนาดบล็อกประสานในกำหนดมาตรฐานมอก.58 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ซึ่งมีการกำหนดมิติพิกัดคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 2 mm. (ตามภาพที่ 75) โดยจะทดสอบบล็อกประสานเฉลี่ยทุกก้อนในงานวิจัย ผลลัพธ์ไม่สามารถเทียบกับการทดสอบตามมาตรฐานมอก.109– 2517 (มาตรฐานวิธีชักตัวอย่างและการทดสอบ) เนื่องจากปริมาณจำนวนก้อนปกติในงานวิจัยไม่ถึง 100 ก้อน ไม่นับก้อนที่นำไปทดสอบหาค่ากำลังแรงอัด เพราะใช้วิธีการบ่มพร้อมหยอดน้ำปูนซีเมนต์มอร์ตาร์



ภาพที่ 75 แสดงภาพขนาดมิติวัสดุบล็อกประสาน

ตารางที่ 18 แสดงตารางขนาดมิติวัสดุบล็อกประสาน

| ตัวอย่าง | บล็อกประสานทั่วไป | บล็อกประสานในงานวิจัย |
|----------------------------|-------------------|-----------------------|
| น้ำหนักวัสดุ (kg.) | 6.00 | 5.841 |
| กว้าง (cm.) | 12.5 | 12.7 |
| ยาว (cm.) | 250 | 25.0 |
| หนา (cm.) | 100 | 10.08 |
| มาตรฐานมอก.58 – 2533 กำหนด | ± 2 mm. | |

จากผลการทดสอบหาขนาด และมิติวัสดุบล็อกประสานในงานวิจัยพบว่า ขนาดกว้าง x ยาว x หนา ขนาดเฉลี่ยเท่ากับ $12.7 \times 25 \times 10.08$ cm. และมีมิติของก้อนไม่แตกต่าง ซึ่งไม่เกินมิติพิกัดที่มาตรฐานมอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักกำหนด (ตามตารางที่ 18)

2. ผลการทดสอบค่ากำลังแรงอัด (ทดสอบเบื้องต้น)

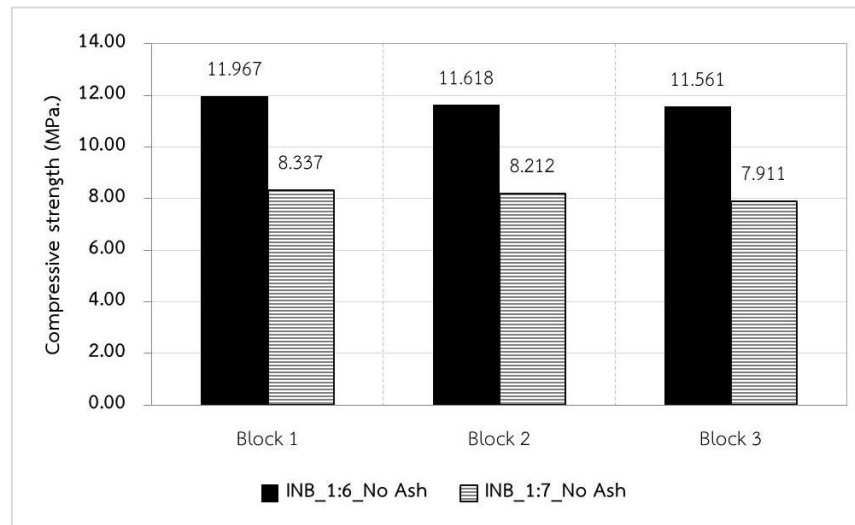
การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลวัสดุบล็อกประสานเบื้องต้น ซึ่งมีการกำหนดค่ากำลังแรงอัดต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 MPa โดยจะทดสอบบล็อกประสานเฉลี่ย 3 ก้อนต่อตัวอย่างด้วยเครื่อง Universal รุ่น CT-108D ซึ่งมีทั้งหมด 12 ตัวอย่าง (ตามตารางที่ 19)

ตารางที่ 19 แสดงตารางสัดส่วนผสมในการทดสอบกำลังรับแรงอัดวัสดุบล็อกประสานเบื้องต้น

| อัตราส่วนผสม | ดินลูกรัง | ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ | ซีเมนต์ จากขยะ | น้ำประปา สะอาด |
|-------------------|------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
| | อัตราส่วน (ส่วน) | อัตราส่วน (ส่วน) | อัตราส่วน (ส่วน) | อัตราส่วน (%) |
| INB_1 : 6_No Ash | 6 | 1 | - | 10 |
| INB_1 : 6_Ash 10% | 6 | 90% ของ 1 | 10% ของ 1 | 9.5 |
| INB_1 : 6_Ash 20% | 6 | 80% ของ 1 | 20% ของ 1 | 10 |
| INB_1 : 6_Ash 30% | 6 | 70% ของ 1 | 30% ของ 1 | 10 |
| INB_1 : 6_Ash 40% | 6 | 60% ของ 1 | 40% ของ 1 | 10 |
| INB_1 : 6_Ash 50% | 6 | 50% ของ 1 | 50% ของ 1 | 11 |
| INB_1 : 7_No Ash | 7 | 1 | - | 9 |
| INB_1 : 7_Ash 10% | 7 | 90% ของ 1 | 10% ของ 1 | 10 |
| INB_1 : 7_Ash 20% | 7 | 80% ของ 1 | 20% ของ 1 | 10 |
| INB_1 : 7_Ash 30% | 7 | 70% ของ 1 | 30% ของ 1 | 10 |
| INB_1 : 7_Ash 40% | 7 | 60% ของ 1 | 40% ของ 1 | 10 |
| INB_1 : 7_Ash 50% | 7 | 50% ของ 1 | 50% ของ 1 | 11 |

ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดวัสดุบล็อกประสานเบื้องต้น จะมีการทดสอบ 3 ก้อนต่อตัวอย่าง ทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ที่อายุบ่ม 7 วัน โดยเปรียบเทียบทั้ง 2 อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 6 และ 1 : 7 รวมทั้งมีอัตราส่วนผสมของการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์จากขยะปริมาณ 10 – 50% ผลการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

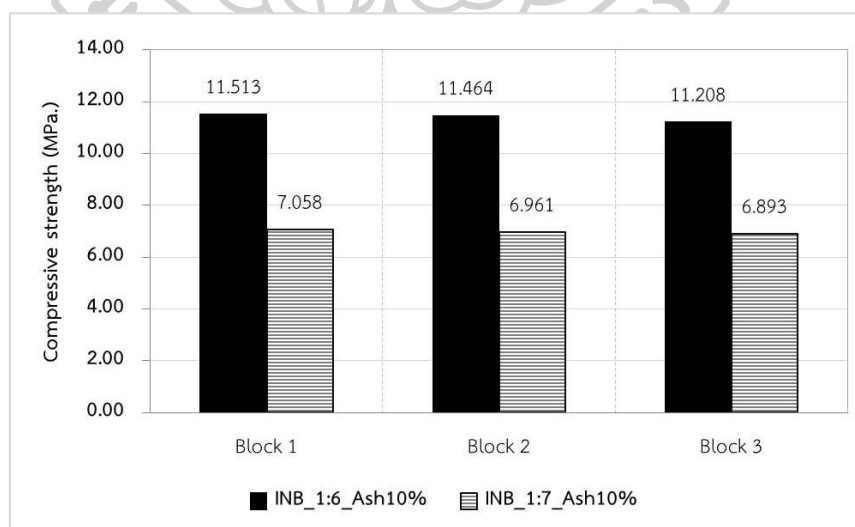
2.1 ผลทดสอบตัวอย่าง Ash 0%



ภาพที่ 76 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละก้อนตัวอย่าง INB_1 : 6 เปรียบเทียบ 1 : 7_No Ash

ผลการทดสอบกำลังแรงอัดเบื้องต้นเฉลี่ย 3 ก้อน ที่อายุบ่ม 7 วัน พบว่า ปริมาณ สัดส่วนผสมที่ไม่มีซีเมนต์ลอยจากขยะ 0% มีกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานมอก.57 - 2533 คอนกรีตบล็อก ชนิดรับน้ำหนัก และเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 อัตราส่วน พบว่า อัตราส่วน 1 : 6 มีกำลังแรงอัดที่สูงกว่า อัตราส่วน 1 : 7 (ตามภาพที่ 76)

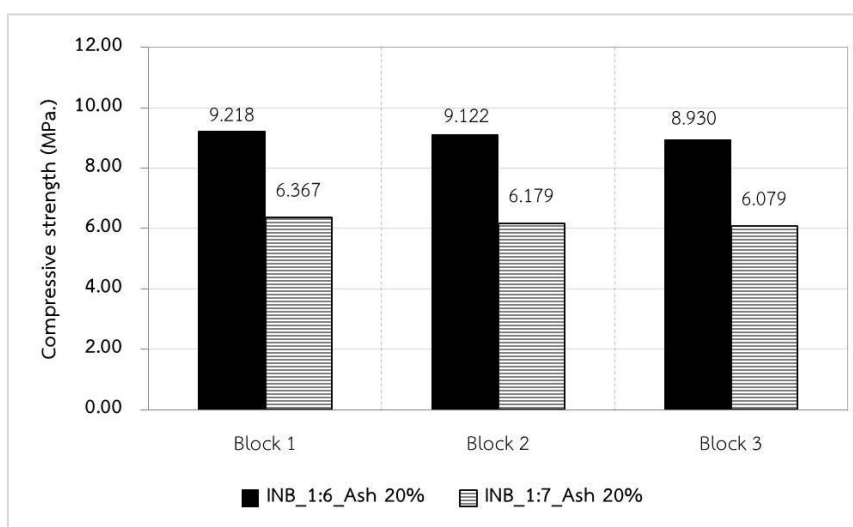
2.2 ผลทดสอบตัวอย่าง Ash 10%



ภาพที่ 77 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละก้อนตัวอย่าง INB_1 : 6 เปรียบเทียบ 1 : 7_Ash 10%

ผลการทดสอบกำลังแรงอัดเบื้องต้นเฉลี่ย 3 ก้อน ที่อายุบ่ม 7 วัน พบว่า ปริมาณ สัดส่วนผสมที่มีซีเมนต์ละลายจากขยะ 10% พบว่า อัตราส่วน 1 : 6 มีกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานมอก.57 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก และอัตราส่วน 1 : 7 มีกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานมอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (ตามภาพที่ 77)

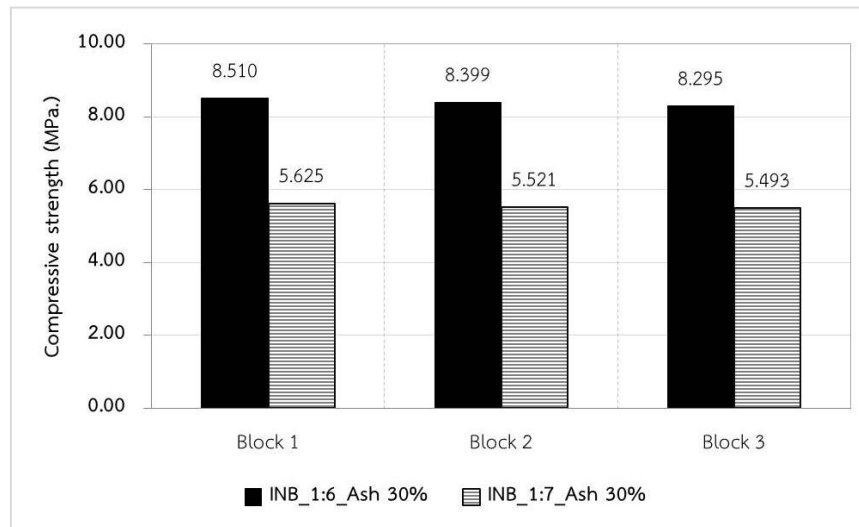
2.3 ผลทดสอบตัวอย่าง Ash 20%



ภาพที่ 78 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละก้อนตัวอย่าง INB_1 : 6 เปรียบเทียบ 1 : 7_Ash 20%

ผลการทดสอบกำลังแรงอัดเบื้องต้นเฉลี่ย 3 ก้อน ที่อายุบ่ม 7 วัน พบว่า ปริมาณ สัดส่วนผสมที่มีซีเมนต์ละลายจากขยะ 20% พบว่า อัตราส่วน 1 : 6 มีกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานมอก.57 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก และอัตราส่วน 1 : 7 มีกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานมอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (ตามภาพที่ 78)

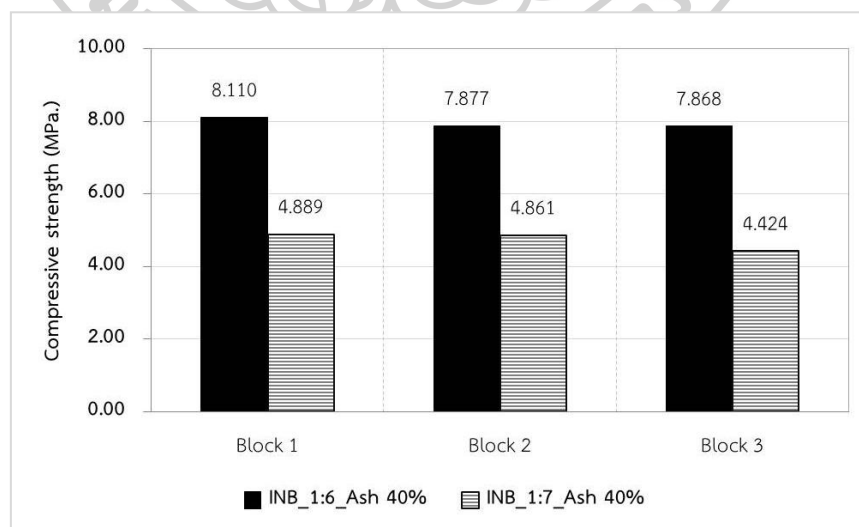
2.4 ผลทดสอบตัวอย่าง Ash 30%



ภาพที่ 79 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละก้อนตัวอย่าง INB_1 : 6 เปรียบเทียบ 1 : 7_Ash 30%

ผลการทดสอบกำลังแรงอัดเบื้องต้นเฉลี่ย 3 ก้อน ที่อายุบ่ม 7 วัน พบว่า ปริมาณ สัดส่วนผสมที่มีซีเมนต์ละลายจากขยะ 30% พบว่า อัตราส่วน 1 : 6 มีกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานมอก.57 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก และอัตราส่วน 1 : 7 มีกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานมอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (ตามภาพที่ 79)

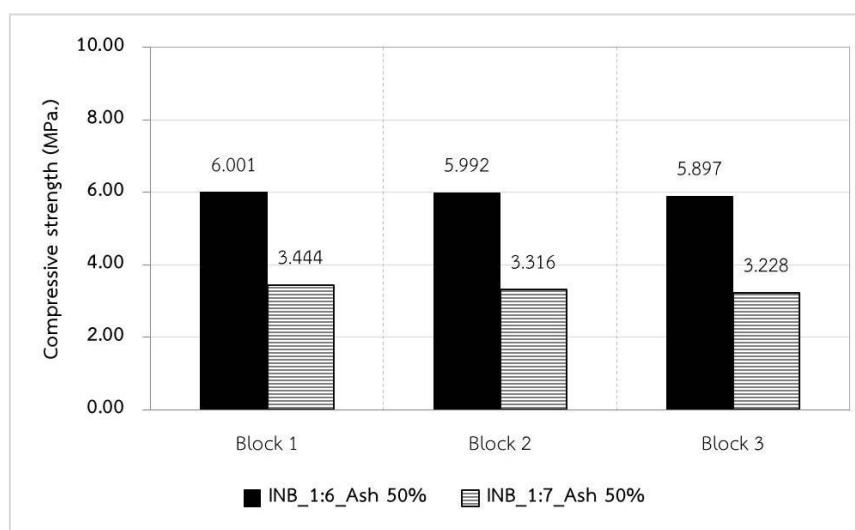
2.5 ผลทดสอบตัวอย่าง Ash 40%



ภาพที่ 80 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละก้อนตัวอย่าง INB_1 : 6 เปรียบเทียบ 1 : 7_Ash 40%

ผลการทดสอบกำลังแรงอัดเบื้องต้นเฉลี่ย 3 ก้อน ที่อายุบ่ม 7 วัน พบว่า ปริมาณ สัดส่วนผสมที่มีซีเมนต์ละลายจากขยะ 40% พบว่า อัตราส่วน 1 : 6 มีกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานมอก.57 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก และอัตราส่วน 1 : 7 มีกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานมอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (ตามภาพที่ 80)

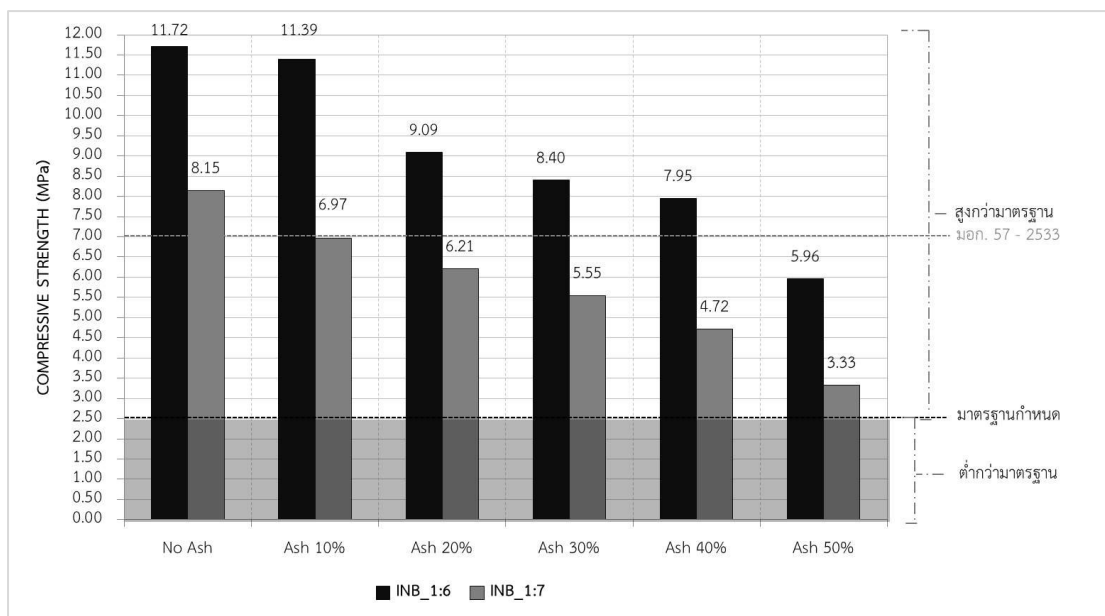
2.6 ผลทดสอบตัวอย่าง Ash 50%



ภาพที่ 81 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละก้อนตัวอย่าง INB_1 : 6 เปรียบเทียบ 1 : 7_Ash 50%

ผลการทดสอบกำลังแรงอัดเบื้องต้นเฉลี่ย 3 ก้อน ที่อายุบ่ม 7 วัน พบว่า ปริมาณ สัดส่วนผสมที่มีซีเมนต์ละลายจากขยะ 50% มีกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานมอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อก ชนิดไม่รับน้ำหนัก และเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 อัตราส่วน พบว่า อัตราส่วน 1 : 6 มีกำลังแรงอัดที่สูงกว่าอัตราส่วน 1 : 7 (ตามภาพที่ 81)

สรุปผลจากการทดสอบค่ากำลังแรงอัดวัสดุบล็อกประสานเบื้องต้นที่อายุบ่ม 7 วัน พบว่า อัตราส่วน 1:6 และ อัตราส่วน 1:7 ที่ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์ละลายจากขยะ 50% ได้ค่ากำลังแรงอัด 5.96 และ 3.33 MPa โดยทดสอบ 3 ก้อน ผ่านมาตรฐานมอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (ตามภาพที่ 82)



ภาพที่ 82 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดเฉลี่ยก้อนตัวอย่าง INB_1 : 6 เปรียบเทียบกับ INB_1 : 7

3. ผลการทดสอบค่ากำลังแรงอัด (ทดสอบตามมาตรฐาน)

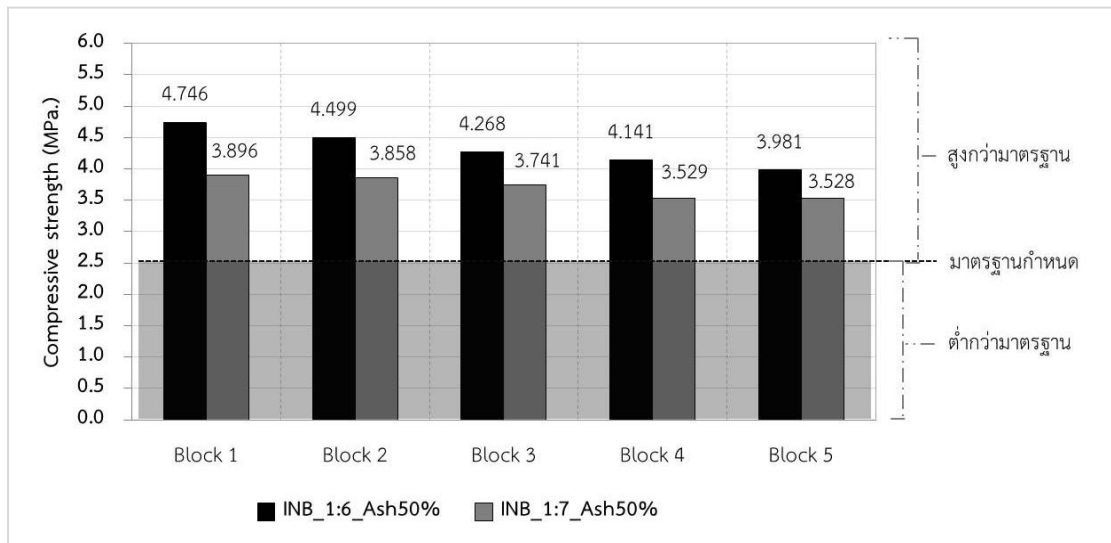
การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลวัสดุบล็อกประสาน รongรับด้วยมาตรฐานมอก.58 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ซึ่งมีการกำหนดค่ากำลังแรงอัดต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 MPa โดยจะทดสอบบล็อกประสานเฉลี่ย 5 ก้อนต่อตัวอย่างด้วยเครื่อง Universal รุ่น CT-108D ซึ่งมีทั้งหมด 2 ตัวอย่าง (ตามตารางที่ 20)

ตารางที่ 20 แสดงตารางสัดส่วนผสมในการทดสอบกำลังรับแรงอัดวัสดุบล็อกประสานมาตรฐาน

| อัตราส่วนผสม | ดินลูกรัง | ปูนซีเมนต์ พอร์ตแลนด์ | ซีเมนต์ จากขยะ | น้ำประปา สะอาด |
|-------------------|------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
| | อัตราส่วน (ส่วน) | อัตราส่วน (ส่วน) | อัตราส่วน (ส่วน) | อัตราส่วน (%) |
| INB_1 : 6_Ash 50% | 6 | 50% ของ 1 | 50% ของ 1 | 11 |
| INB_1 : 7_Ash 50% | 7 | 50% ของ 1 | 50% ของ 1 | 11 |

ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดวัสดุบล็อกประสานตามมาตรฐาน จะมีการทดสอบ 5 ก้อนต่อตัวอย่าง ทั้งหมด 2 ตัวอย่าง ที่อายุบ่ม 7 วัน จนถึง 42 วัน โดยเปรียบเทียบทั้ง 2 อัตราส่วน ปูนซีเมนต์แลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 6 และ 1 : 7 รวมทั้งมีอัตราส่วนผสมของการทดแทนปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์จากขยะปริมาณ 50% ผลการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ผลทดสอบตัวอย่าง Ash 50% ที่อายุบ่ม 7 วัน

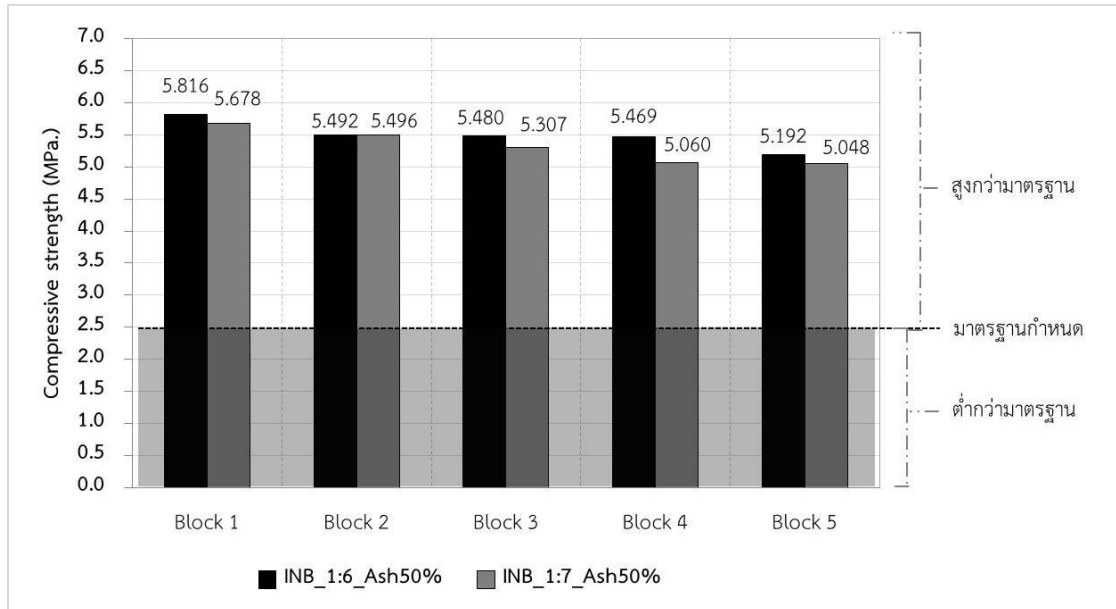


ภาพที่ 83 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละตัวอย่าง INB_1 : 6 เทียบกับ 1 : 7_Ash 50%_7 DAY

ผลการทดสอบกำลังแรงอัดตามมาตรฐานเฉลี่ย 5 ก้อน ที่อายุบ่ม 7 วัน พบว่า ปริมาณสัดส่วนผสมที่มีซีเมนต์น้อยกว่าชยะ 50% มีกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานนอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก และเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 อัตราส่วน พบว่า อัตราส่วน 1 : 6 มีกำลังแรงอัดที่สูงกว่าอัตราส่วน 1 : 7 (ตามภาพที่ 83)



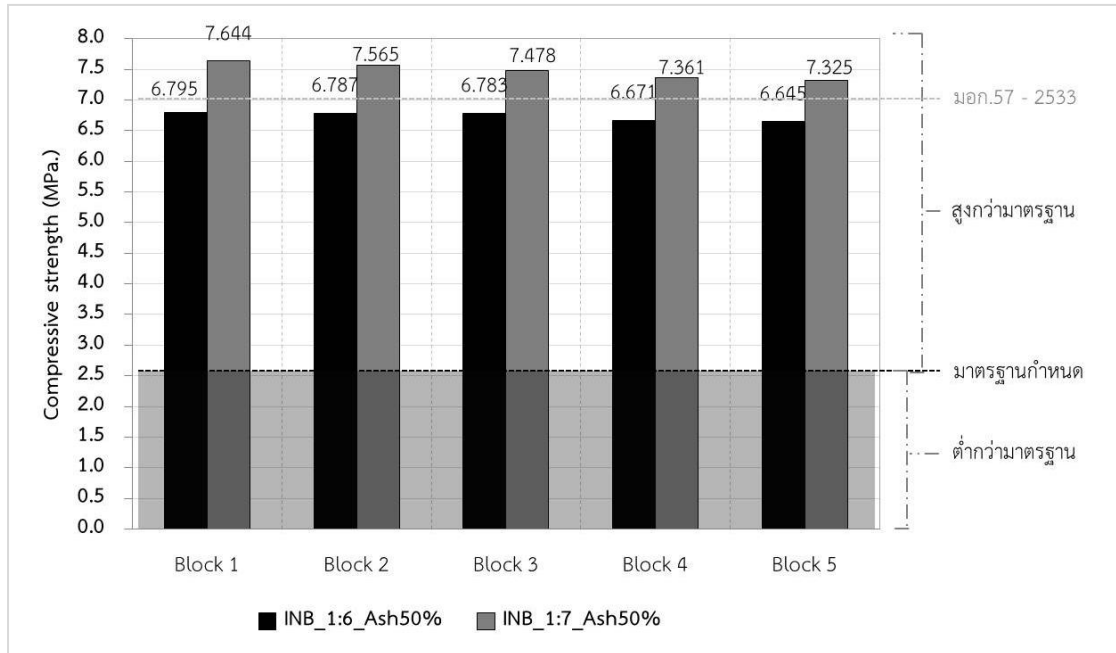
3.2 ผลทดสอบตัวอย่าง Ash 50% ที่อายุบ่ม 14 วัน



ภาพที่ 84 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละตัวอย่าง INB_1 : 6 เทียบกับ 1 : 7_Ash 50%_14 DAY

ผลการทดสอบกำลังแรงอัดตามมาตรฐานเฉลี่ย 5 ก้อน ที่อายุบ่ม 14 วัน พบว่า ปริมาณสัดส่วนผสมที่มีซีเมนต์ลอยจากขยะ 50% มีกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานมอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก และมีค่าสูงกว่าอายุบ่ม 7 วัน รวมทั้งเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 อัตราส่วน พบว่า อัตราส่วน 1 : 6 มีกำลังแรงอัดที่สูงกว่าอัตราส่วน 1 : 7 (ตามภาพที่ 84)

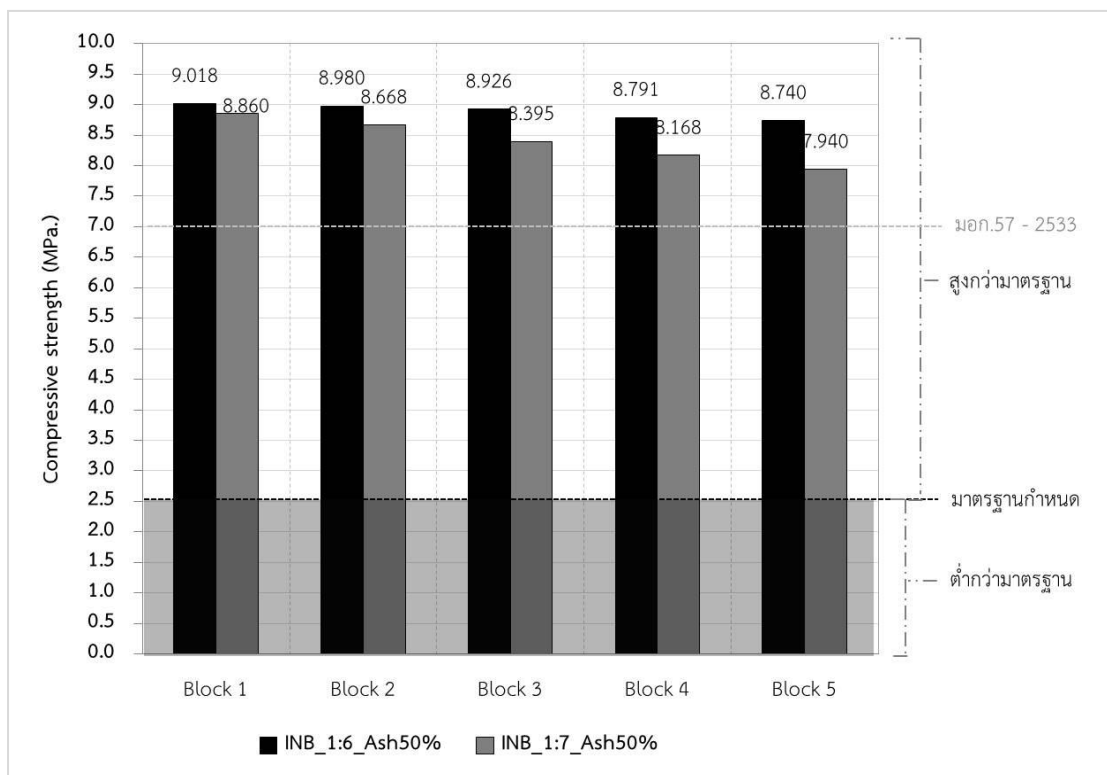
3.3 ผลทดสอบตัวอย่าง Ash 50% ที่อายุบ่ม 28 วัน



ภาพที่ 85 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละตัวอย่าง INB_1 : 6 เทียบกับ 1 : 7_Ash 50%_28 DAY

ผลการทดสอบกำลังแรงอัดตามมาตรฐานเฉลี่ย 5 ก้อน ที่อายุบ่ม 28 วัน พบว่า ปริมาณสัดส่วนผสมที่มีซีเมนต์ลอยจากขยะ 50% อัตราส่วน 1 : 7 มีค่ากำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานมอก. 57 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก และอัตราส่วน 1 : 6 มีกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานมอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (ตามภาพที่ 85)

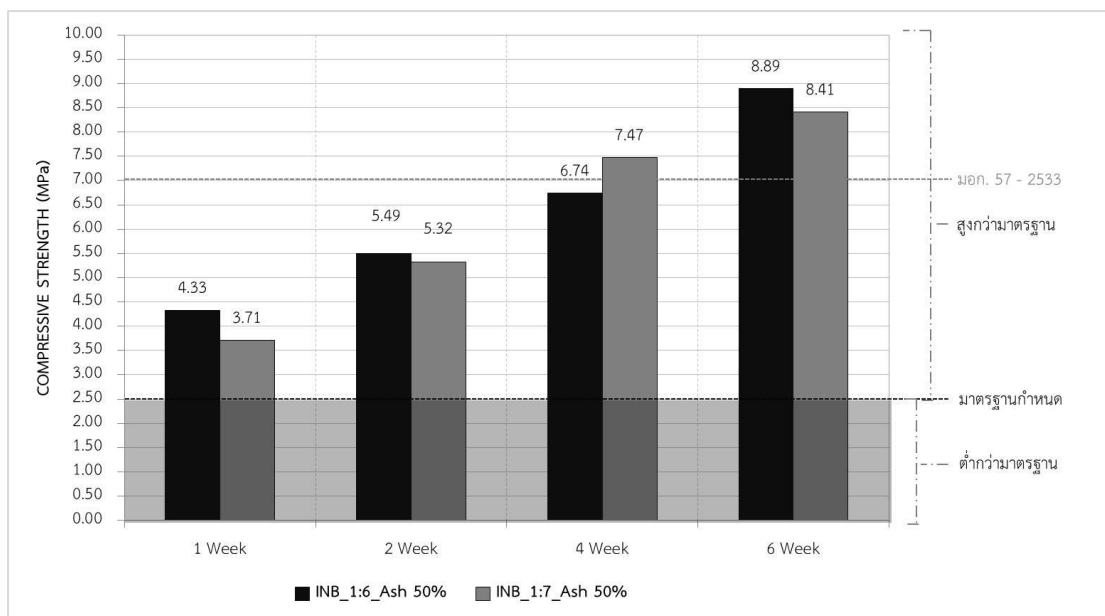
3.4 ผลทดสอบตัวอย่าง Ash 50% ที่อายุบ่ม 42 วัน



ภาพที่ 86 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดแต่ละตัวอย่าง INB_1 : 6 เทียบกับ 1 : 7_Ash 50%_42 DAY

ผลการทดสอบกำลังแรงอัดตามมาตรฐานเฉลี่ย 5 ก้อน ที่อายุบ่ม 42 วัน พบว่า ปริมาณสัดส่วนผสมที่มีซีเมนต์จากขยะ 50% มีกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานมอก.57 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก และมีค่าสูงกว่าอายุบ่ม 28 วัน รวมทั้งเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 อัตราส่วน พบว่า อัตราส่วน 1 : 6 มีกำลังแรงอัดที่สูงกว่าอัตราส่วน 1 : 7 (ตามภาพที่ 86)

สรุปผลจากการทดสอบค่ากำลังแรงอัดวัสดุบล็อกประสานตามมาตรฐาน ที่อายุบ่ม 7 วัน พบว่า อัตราส่วน 1 : 6 และ อัตราส่วน 1 : 7 ที่ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์จากขยะ 50% ได้ค่ากำลังแรงอัด 4.33 และ 3.71 MPa โดยทดสอบตามมาตรฐานเฉลี่ย 5 ก้อน ผ่านมาตรฐานมอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (ตามภาพที่ 87)



ภาพที่ 87 แสดงภาพกราฟกำลังแรงอัดเฉลี่ยก่อนตัวอย่าง INB_1 : 6_Ash50% เปรียบเทียบกับ 1 : 7_Ash50%

ผลการทดสอบคุณสมบัติการลดความร้อน (กล่องจำลองโมเดล)

การทดสอบคุณสมบัติการลดความร้อนของวัสดุบล็อกประสาน โดยการเปรียบเทียบ บล็อกประสาน 3 ประเภท ซึ่งจะมีกล่องจำลองโมเดล 3 กล่อง ดังต่อไปนี้

กล่องจำลองโมเดล (A) บล็อกประสานที่ไม่มีซีเมนต์ลอมจากขยะ โดยมีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อดินลูกรังที่ 1 : 6

กล่องจำลองโมเดล (B) บล็อกประสานผสมซีเมนต์ลอม 50% โดยมีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อดินลูกรังที่ 1 : 6

กล่องจำลองโมเดล (C) บล็อกประสานผสมซีเมนต์ลอม 50% โดยมีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อดินลูกรังที่ 1 : 7

ด้วยวิธีการทดสอบโดยการใช้กล่องจำลองโมเดลที่ทำจากโฟมโพลีสไตรีน 5 ด้าน และด้านที่ 6 เป็นวัสดุผนังตัวอย่างที่กำหนด และกำหนดให้ด้านผนังวัสดุดังกล่าวทั้ง 3 ประเภท ตั้งหันไปทางทิศใต้ (ตามภาพที่ 73) โดยตั้งกล่องจำลองโมเดลให้มีระยะห่าง 2.50 m. และไม่มีเงาปกคลุมกล่องตลอดทั้งวัน กำหนดตำแหน่งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (ตามภาพที่ 74) ทั้งหมด 4 จุด ได้แก่

ตำแหน่งที่ 1 (SF.External) ผิวผนังวัสดุบล็อกประสานภายนอก

ตำแหน่งที่ 2 (SF.Internal) ผิวผนังวัสดุบล็อกประสานภายใน

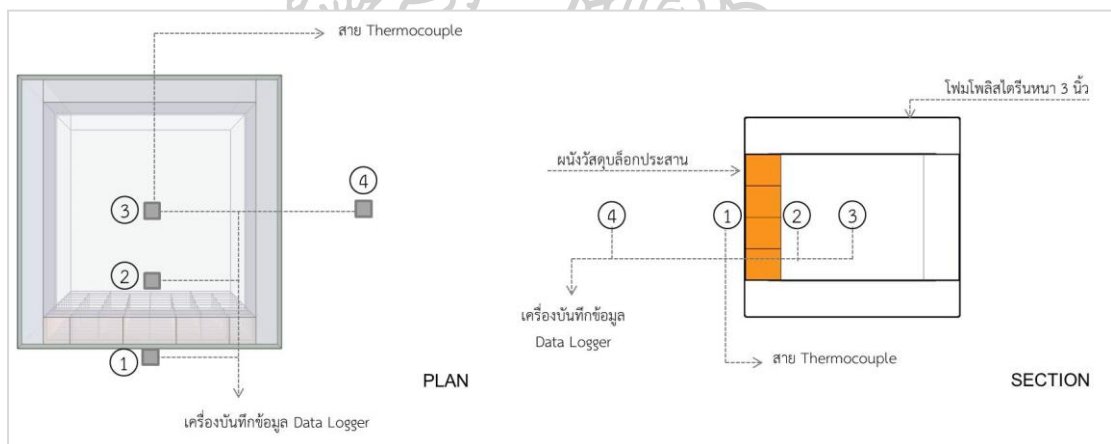
ตำแหน่งที่ 3 (Internal) อุณหภูมิอากาศภายใน

ตำแหน่งที่ 4 (External) อุณหภูมิอากาศภายนอก

ทำการทดสอบเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที และระยะเวลาเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 16 – 19 พฤศจิกายน 2560 หรือ 16 – 19 NOV 17 มีรายละเอียด (ตามภาคผนวก)



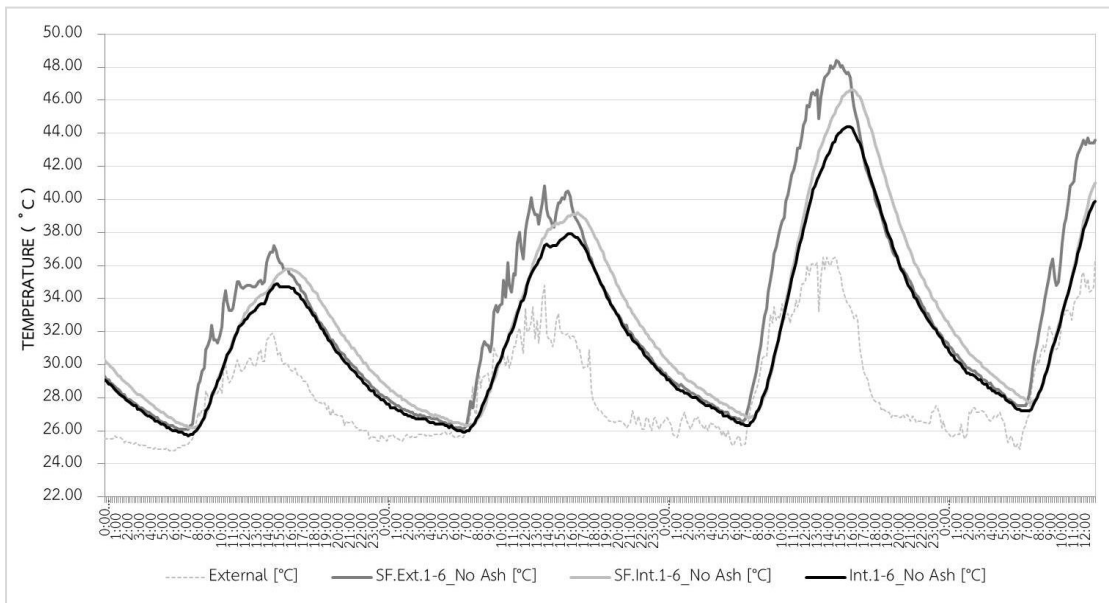
ภาพที่ 88 แสดงการวางกล่องจำลองโมเดล



ภาพที่ 89 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์

การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติการลดความร้อน แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน / กลางคืน และผลการทดสอบวัดอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวัน / กลางคืน ทั้ง 3 กล่อง โดยการเก็บข้อมูลสภาพอากาศแสงแดดร้อนตลอดทั้งวัน ตั้งแต่วันที่ 16 – 19 พฤศจิกายน 2560

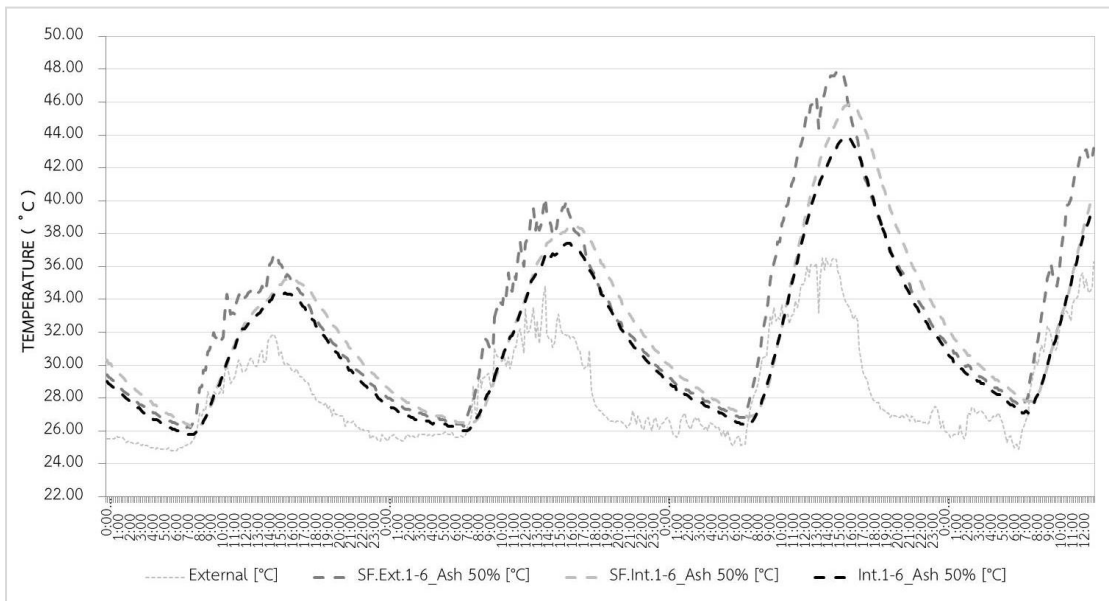
1. ผลการทดสอบกล่องจำลองโมเดล A



ภาพที่ 90 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศของโมเดลตัวอย่าง INB_1 : 6_No Ash

ผลการทดสอบอุณหภูมิของกล่องจำลองโมเดล A ตัวอย่าง INB_1 : 6_No ash ซึ่งเป็นบล็อกประสานอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อดินลูกรังเท่ากับ 1 : 6 ที่ไม่มีซี่เฝ้าลดยจากขยะ โดยจุดวัดอุณหภูมิทั้งหมด 4 ตำแหน่ง คือ 1) SF.Ext. ผิวผนังวัสดุบล็อกประสานภายนอก 2) SF.Int. ผิวผนังวัสดุบล็อกประสานภายใน 3) Int. อุณหภูมิอากาศภายใน 4) External อุณหภูมิอากาศภายนอก (ตามภาพที่ 90)

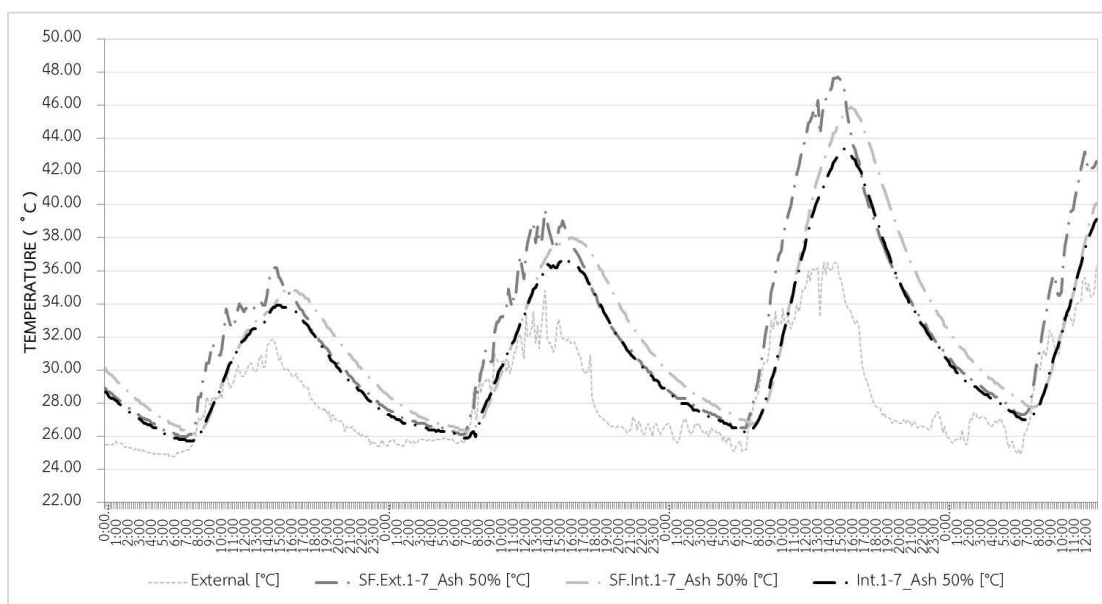
2. ผลการทดสอบกล่องจำลองโมเดล B



ภาพที่ 91 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศของโมเดลตัวอย่าง INB_1 : 6_Ash 50%

ผลการทดสอบอุณหภูมิของกล่องจำลองโมเดล A ตัวอย่าง INB_1 : 6_Ash 50% ซึ่งเป็นบล็อกประสานอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อดินลูกรังเท่ากับ 1 : 6 ที่มีซี่ไถลอกจากขยะปริมาณ 50% โดยจุดวัดอุณหภูมิทั้งหมด 4 ตำแหน่ง คือ 1) SF.Ext. ผิวผนังวัสดุบล็อกประสานภายนอก 2) SF.Int. ผิวผนังวัสดุบล็อกประสานภายใน 3) Int. อุณหภูมิอากาศภายใน 4) External อุณหภูมิอากาศภายนอก (ตามภาพที่ 91)

3. ผลการทดสอบกล่องจำลองโมเดล C



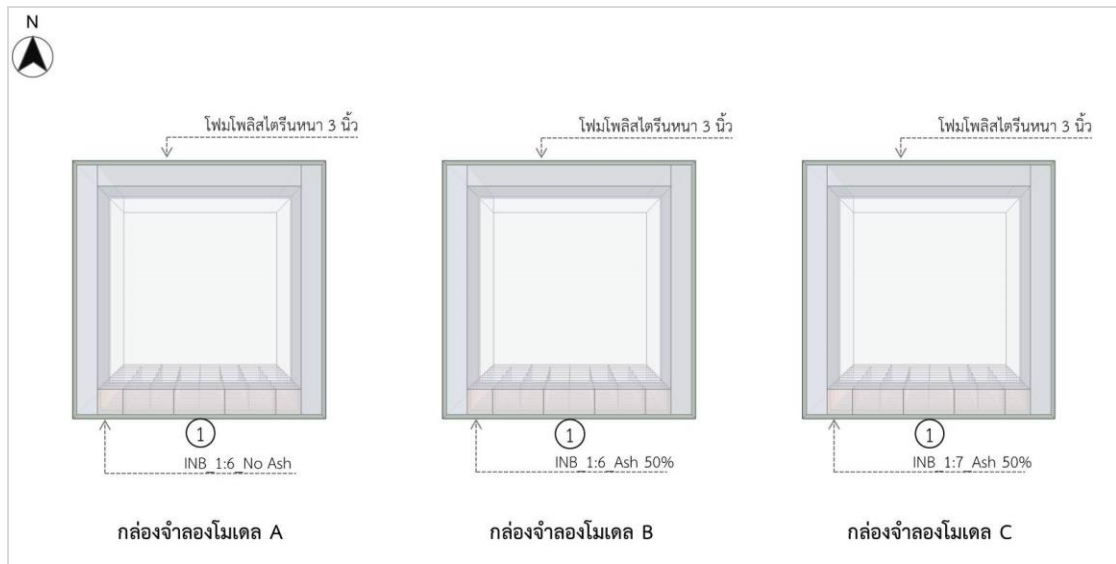
ภาพที่ 92 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศของโมเดลตัวอย่าง INB_1 : 7_Ash 50%

ผลการทดสอบอุณหภูมิของกล่องจำลองโมเดล A ตัวอย่าง INB_1 : 7_Ash 50% ซึ่งเป็นบล็อกประสานอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อดินลูกรังเท่ากับ 1 : 7 ที่มีฉนวนใยหินปริมาณ 50% โดยจุดวัดอุณหภูมิทั้งหมด 4 ตำแหน่ง คือ 1) SF.Ext. ผิวผนังวัสดุบล็อกประสานภายนอก 2) SF.Int. ผิวผนังวัสดุบล็อกประสานภายใน 3) Int. อุณหภูมิอากาศภายใน 4) External อุณหภูมิอากาศภายนอก (ตามภาพที่ 92)

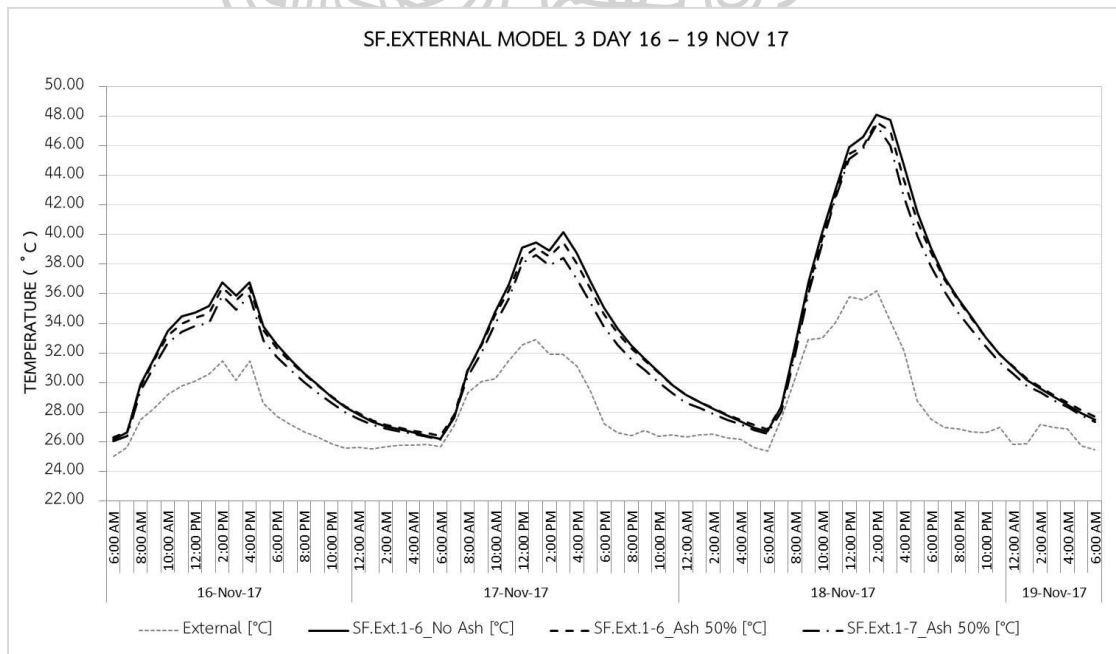
สรุปผลการทดสอบพบว่า คุณสมบัติการลดความร้อนของกล่องจำลองโมเดล A พบว่า ระหว่างอุณหภูมิผนังภายนอกกับอุณหภูมิอากาศภายในช่วงเวลาที่ร้อนที่สุด มีอุณหภูมิสูงสุดต่างโดยประมาณถึง 4 องศาเซลเซียส ตามภาพที่ 90 กล่องจำลองโมเดล B พบว่า ระหว่างอุณหภูมิผนังภายนอกกับอุณหภูมิอากาศภายในช่วงเวลาที่ร้อนที่สุด มีอุณหภูมิสูงสุดต่างโดยประมาณมากกว่า 4 องศาเซลเซียส ตามภาพที่ 91 และกล่องจำลองโมเดล C พบว่า ระหว่างอุณหภูมิผนังภายนอกกับอุณหภูมิอากาศภายในช่วงเวลาที่ร้อนที่สุด มีอุณหภูมิสูงสุดต่างโดยประมาณมากกว่า 4 องศาเซลเซียส (ตามภาพที่ 92)

4. ผลการทดสอบอุณหภูมิผิวผนังภายนอก (SF.External)

การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติการลดความร้อน คือ ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวัน / กลางคืน ทั้ง 3 กล่อง โดยข้อมูลวัดอุณหภูมิจุดที่ 1 คือ (SF.External) อุณหภูมิผิวผนังภายนอก (ตามภาพที่ 93)



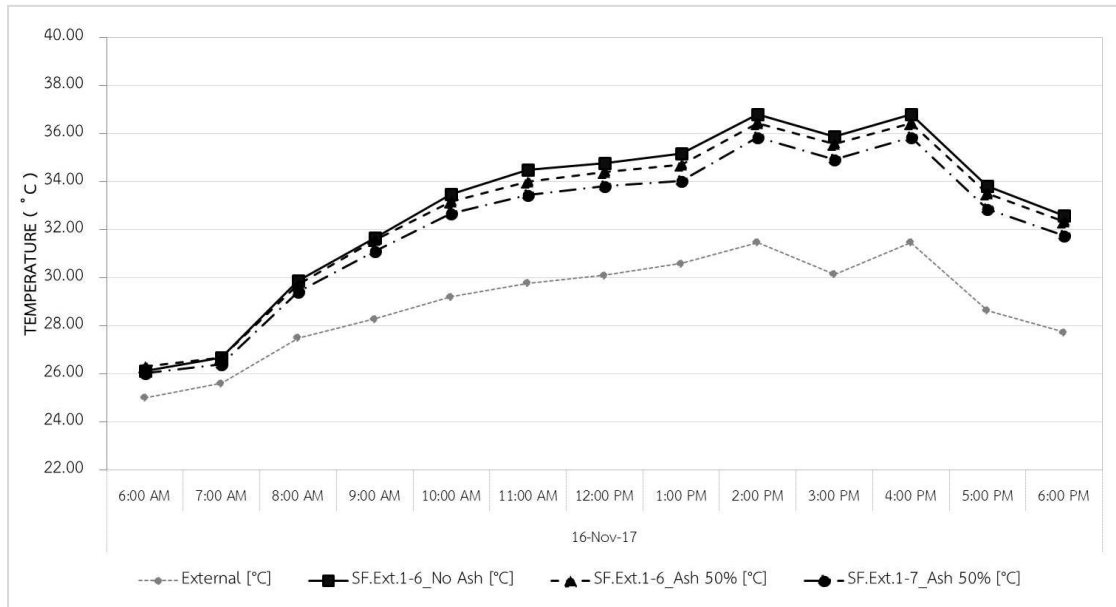
ภาพที่ 93 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 1



ภาพที่ 94 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายนอกของกล่องจำลองโมเดลทั้ง 3 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบพบว่า กล้องจำลองโมเดลที่มีอุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุด คือ กล้องจำลองโมเดล C (ตามภาพที่ 94) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

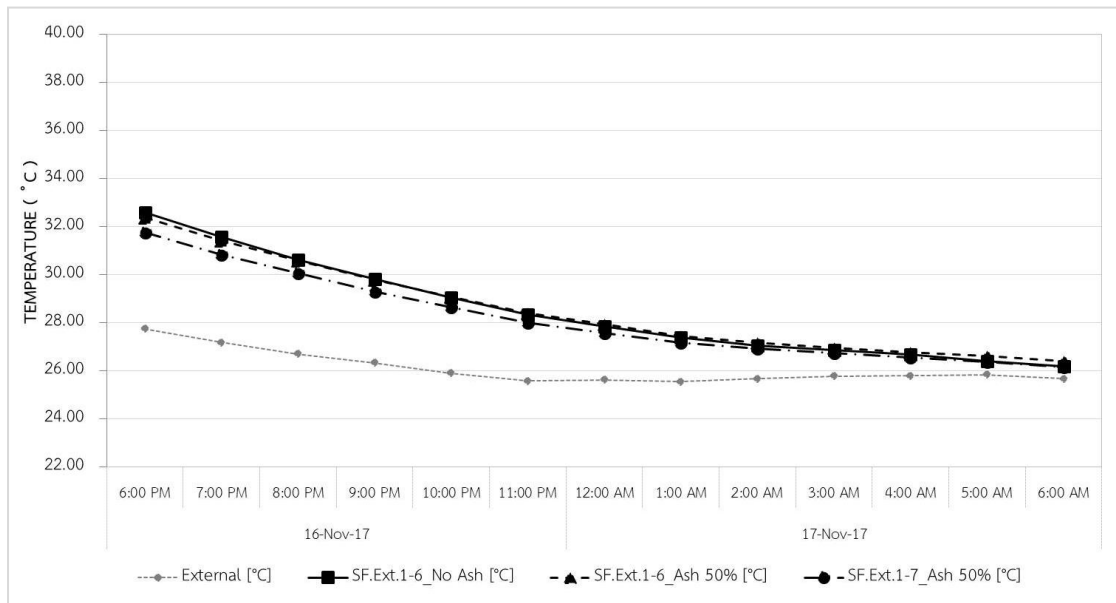
4.1 อุณหภูมิผิวผนังภายนอก ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. วันที่ 16 NOV 17



ภาพที่ 95 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 16 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

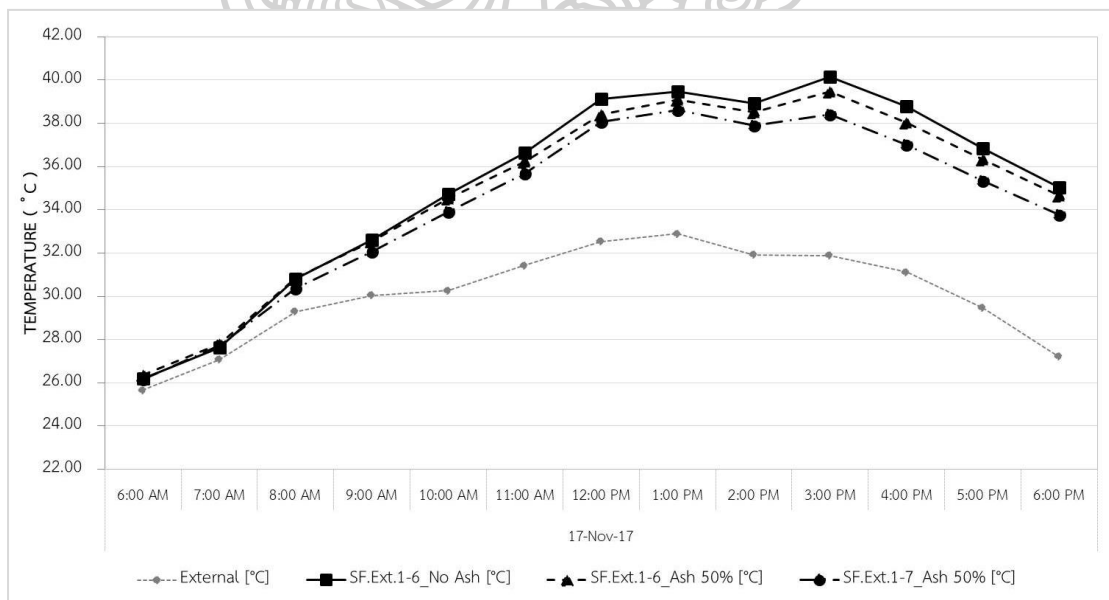


4.2 อุณหภูมิผิวผนังภายนอก ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. วันที่ 16 – 17 NOV 17



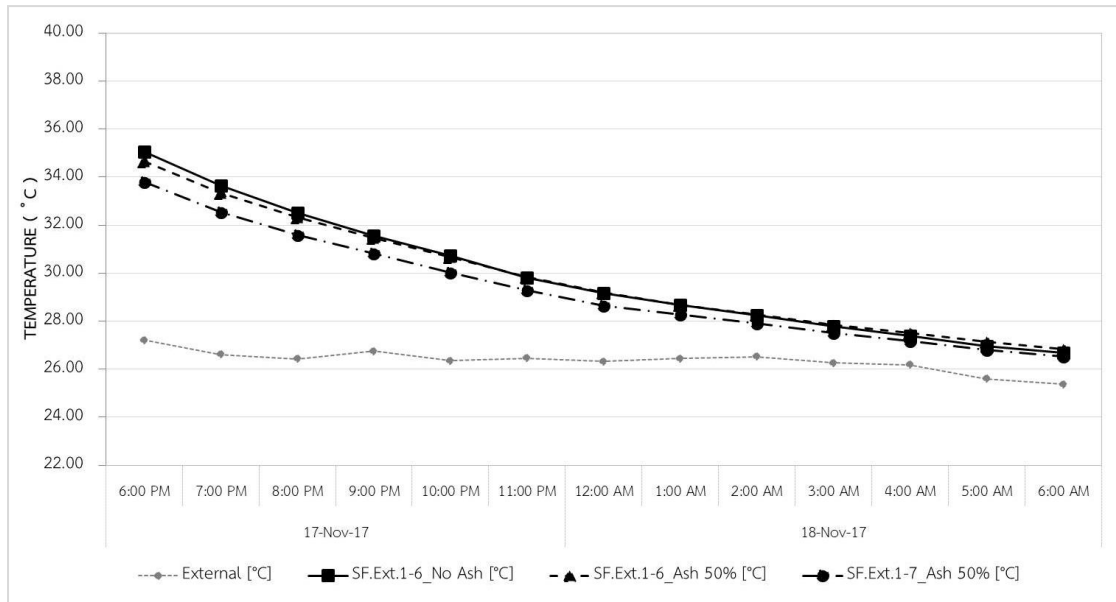
ภาพที่ 96 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 16 - 17 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

4.3 อุณหภูมิผิวผนังภายนอก ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. วันที่ 17 NOV 17



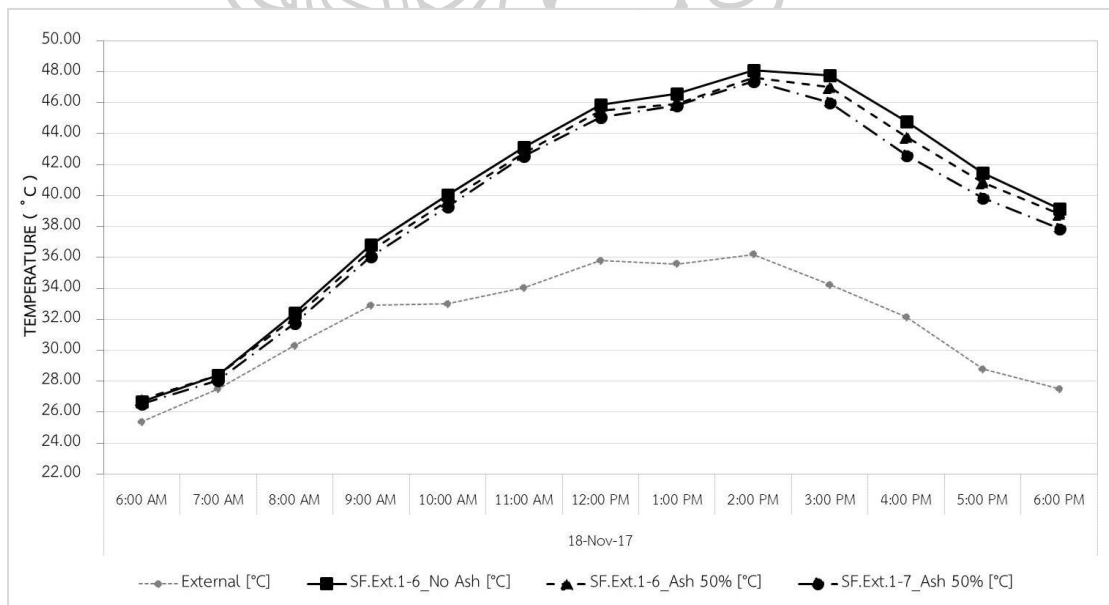
ภาพที่ 97 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 17 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

4.4 อุณหภูมิผิวผนังภายนอก ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. วันที่ 17 – 18 NOV 17



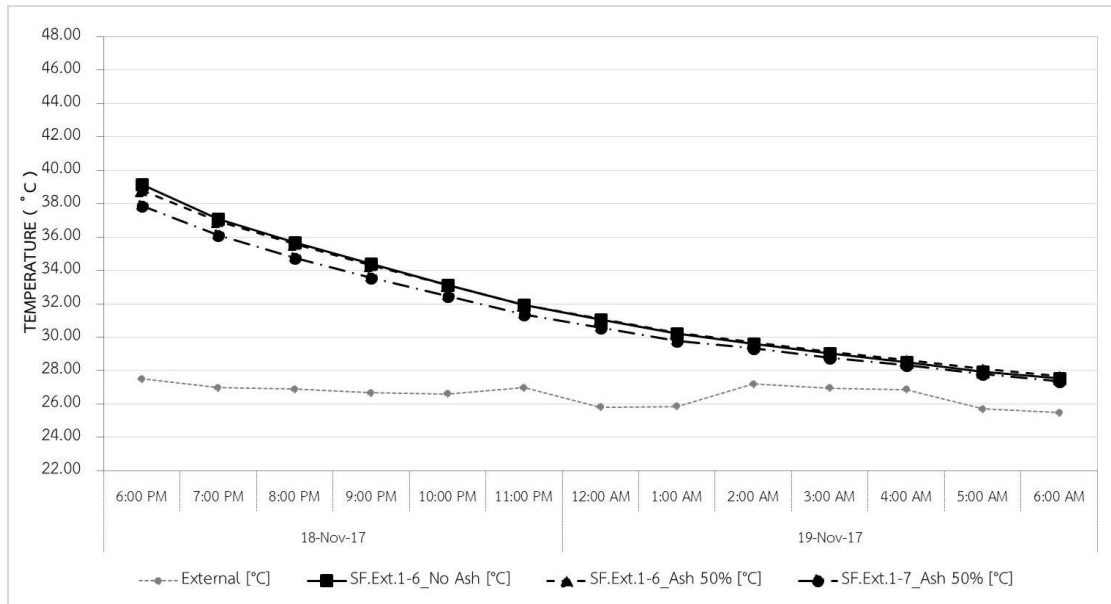
ภาพที่ 98 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 17 - 18 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

4.5 อุณหภูมิผิวผนังภายนอก ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. วันที่ 18 NOV 17

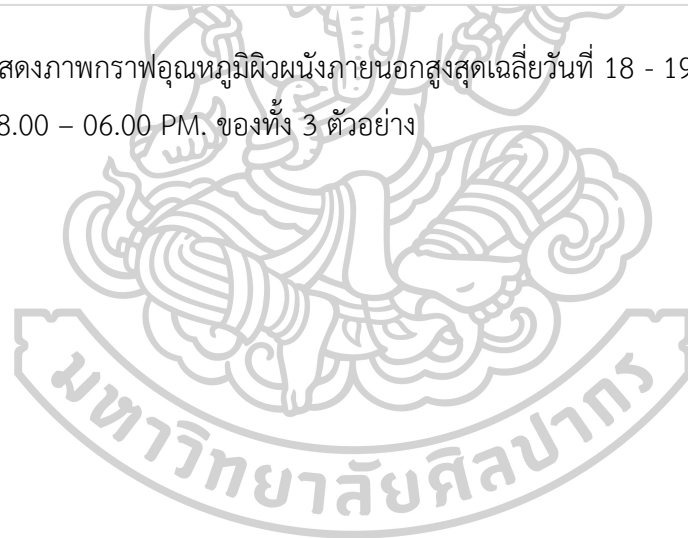


ภาพที่ 99 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 18 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

4.6 อุณหภูมิผิวผนังภายนอก ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. วันที่ 18 – 19 NOV 17

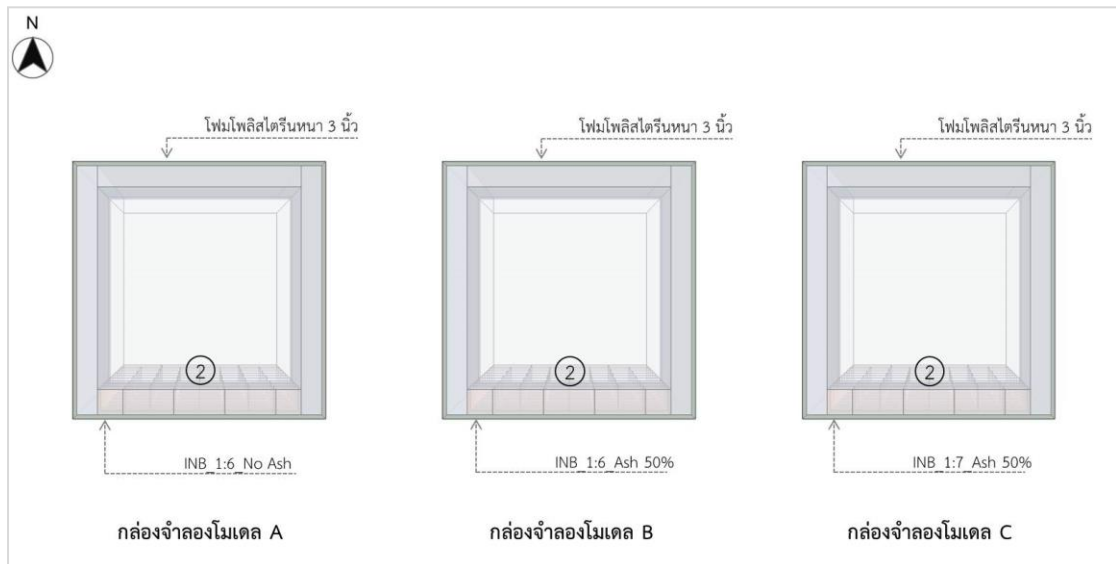


ภาพที่ 100 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 18 - 19 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

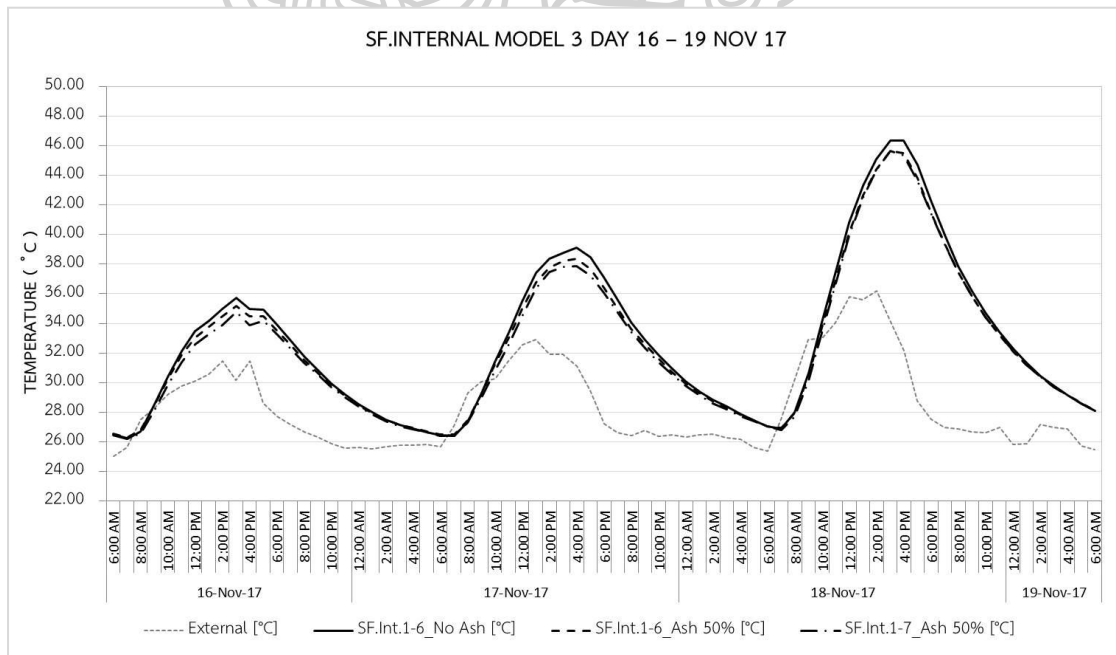


5. ผลการทดสอบอุณหภูมิผิวผนังภายใน (SF.Internal)

การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติการลดความร้อน คือ ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวัน / กลางคืน ทั้ง 3 กล่อง โดยข้อมูลวัดอุณหภูมิจุดที่ 2 คือ (SF.Internal) อุณหภูมิผิวผนังภายใน (ตามภาพที่ 101)



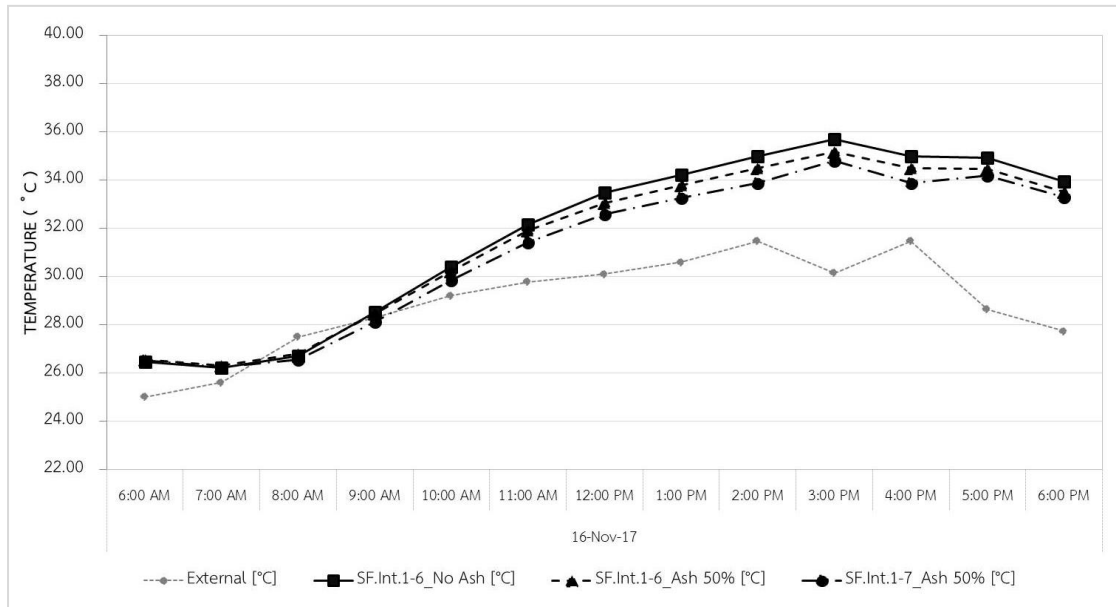
ภาพที่ 101 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 2



ภาพที่ 102 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายในของกล่องจำลองโมเดลทั้ง 3 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบพบว่า กล่องจำลองโมเดลที่มีอุณหภูมิผิวผนังภายในต่ำสุด คือ กล่องจำลองโมเดล C (ตามภาพที่ 102) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

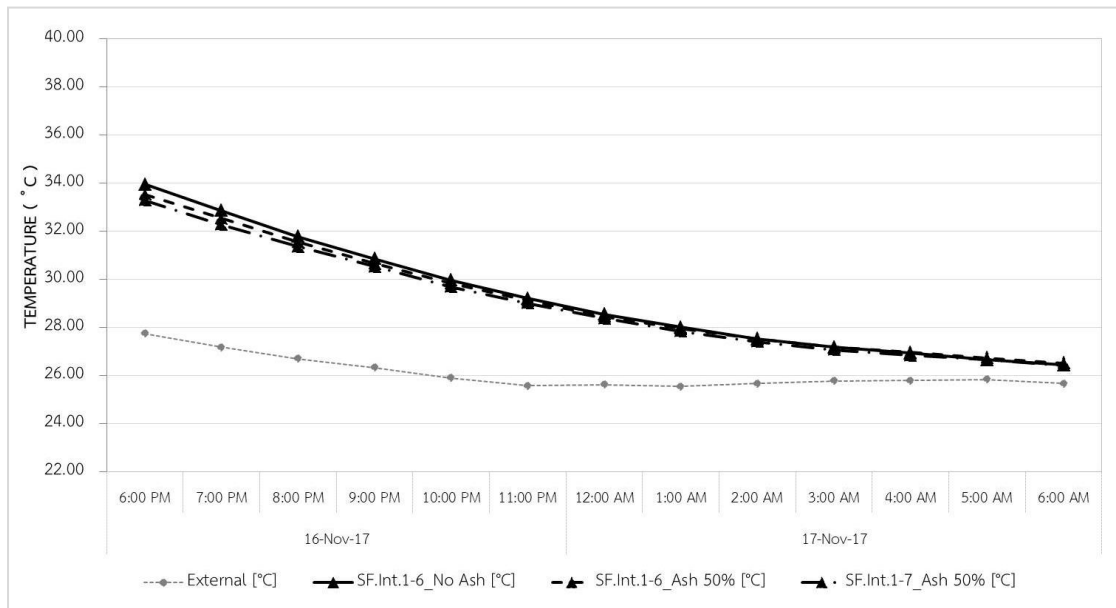
5.1 อุณหภูมิผิวผนังภายใน ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. วันที่ 16 NOV 17



ภาพที่ 103 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 16 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

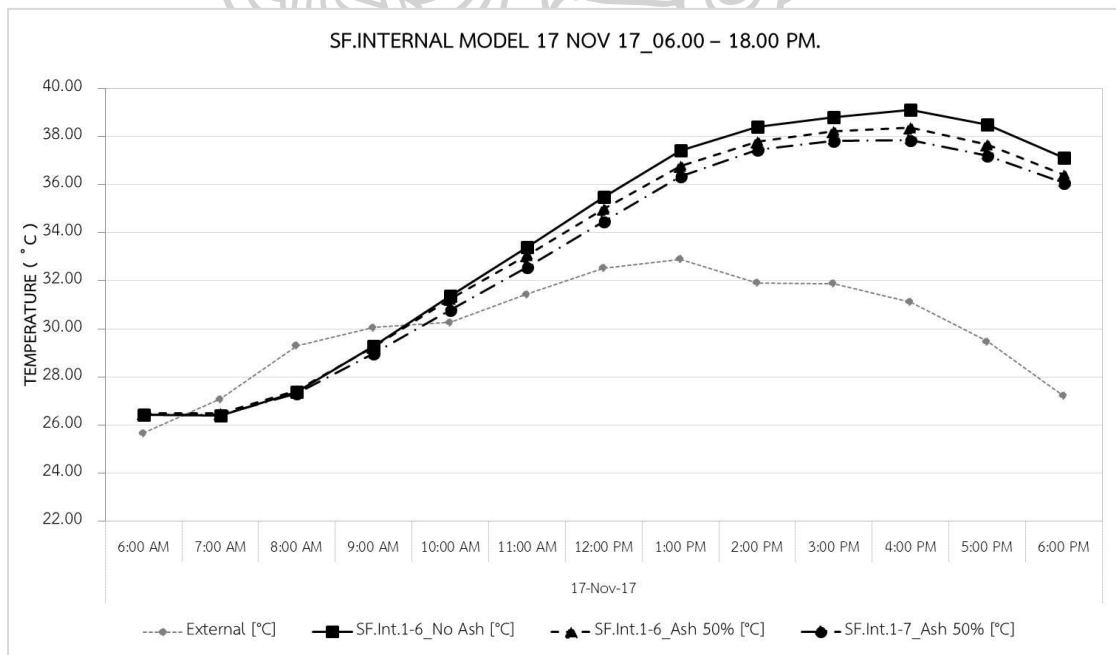


5.2 อุณหภูมิผิวผนังภายใน ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. วันที่ 16 – 17 NOV 17



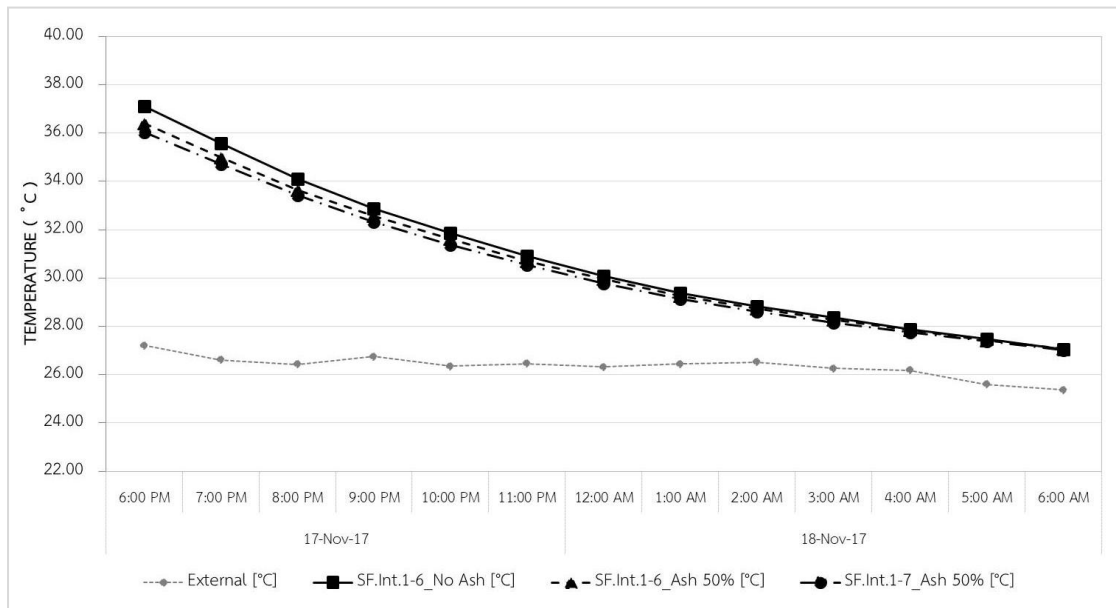
ภาพที่ 104 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 16 - 17 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

5.3 อุณหภูมิผิวผนังภายใน ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. วันที่ 17 NOV 17



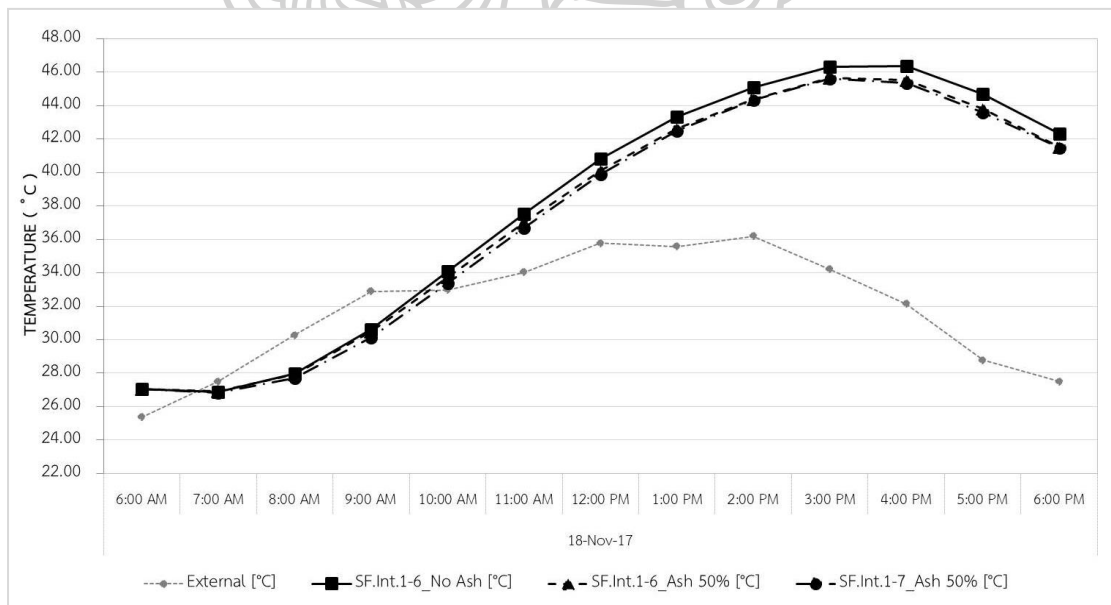
ภาพที่ 105 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 17 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

5.4 อุณหภูมิผิวผนังภายใน ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. วันที่ 17 – 18 NOV 17



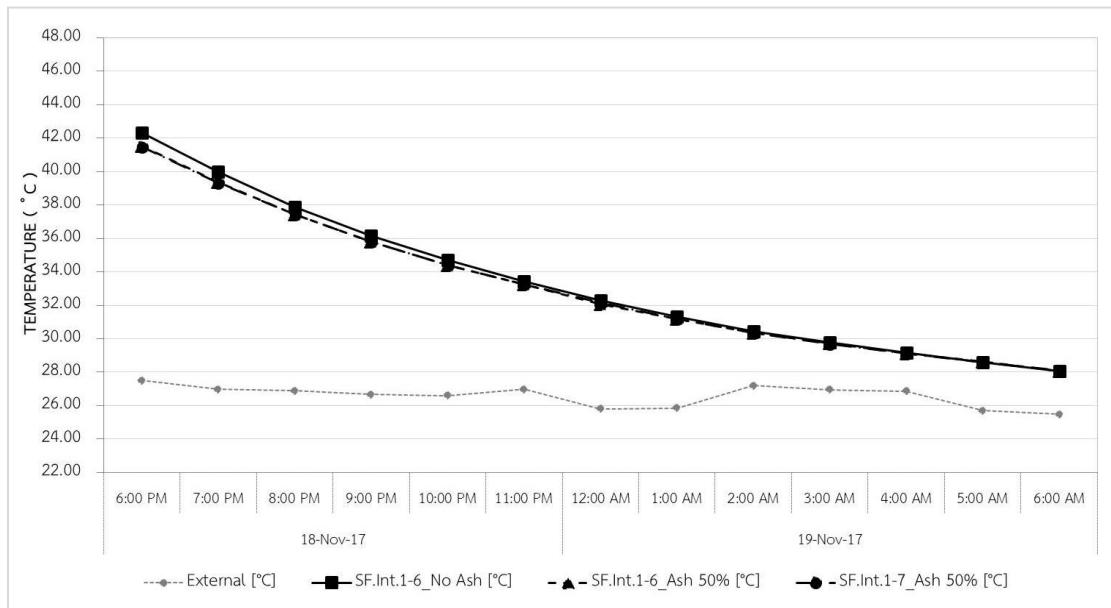
ภาพที่ 106 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 17 - 18 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

5.5 อุณหภูมิผิวผนังภายใน ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. วันที่ 18 NOV 17

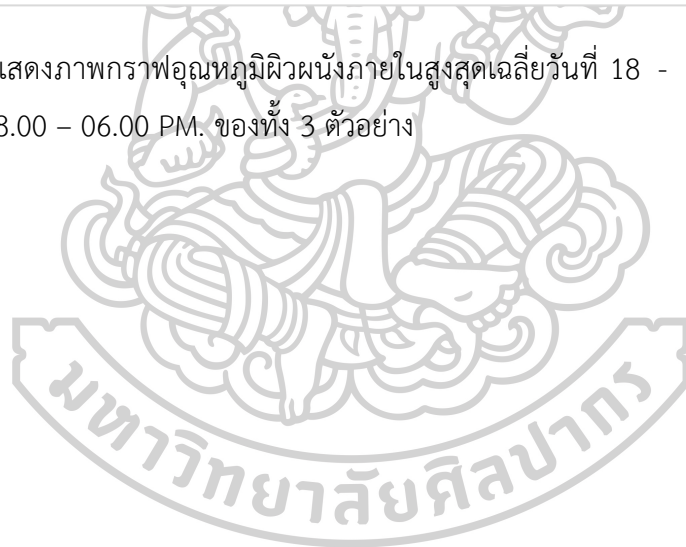


ภาพที่ 107 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 18 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

5.6 อุณหภูมิผิวผนังภายใน ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. วันที่ 18 – 19 NOV 17

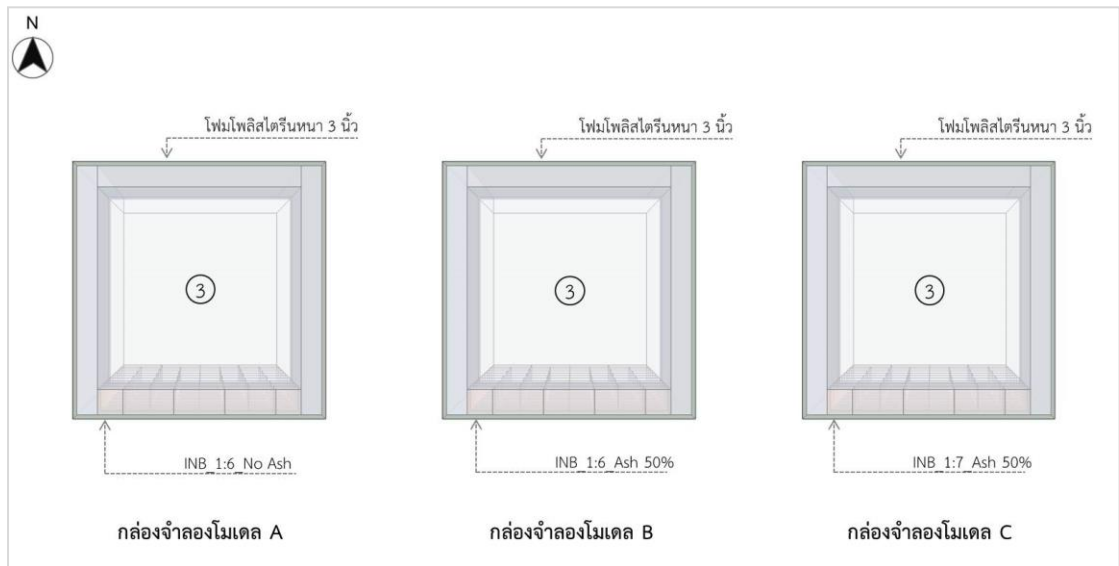


ภาพที่ 108 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 18 - 19 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

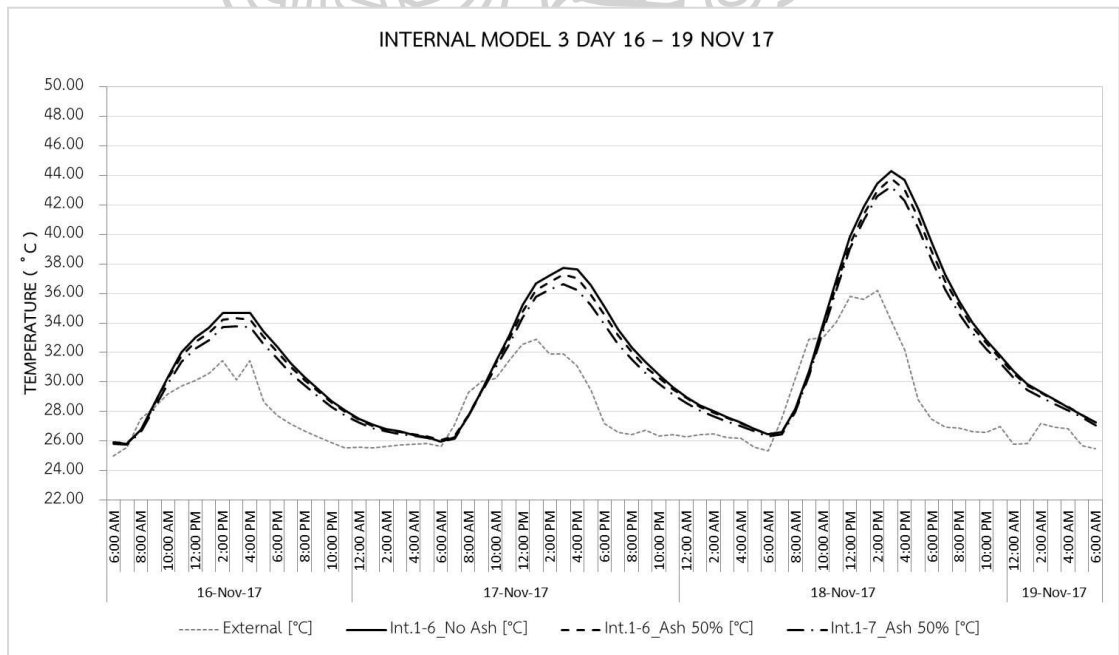


6. ผลการทดสอบอุณหภูมิอากาศภายใน (Internal)

การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติการลดความร้อน คือ ผลการทดสอบวัดอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวัน / กลางคืน ทั้ง 3 กล้องจำลอง โดยข้อมูลวัดอุณหภูมิจุดที่ 3 คือ (Internal) อุณหภูมิอากาศภายใน (ตามภาพที่ 109)



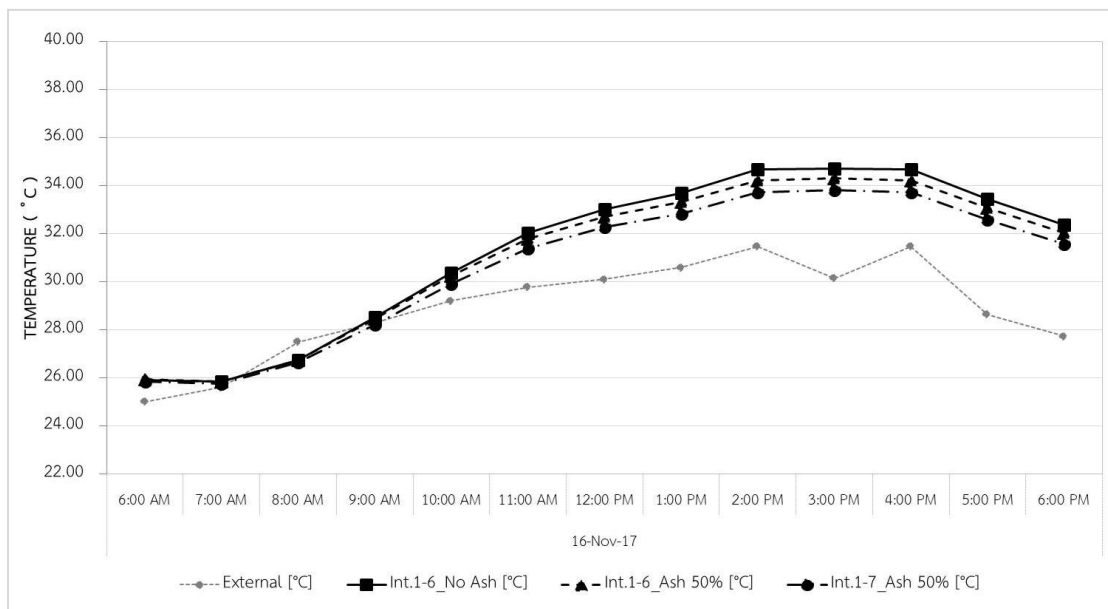
ภาพที่ 109 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์จุดที่ 3



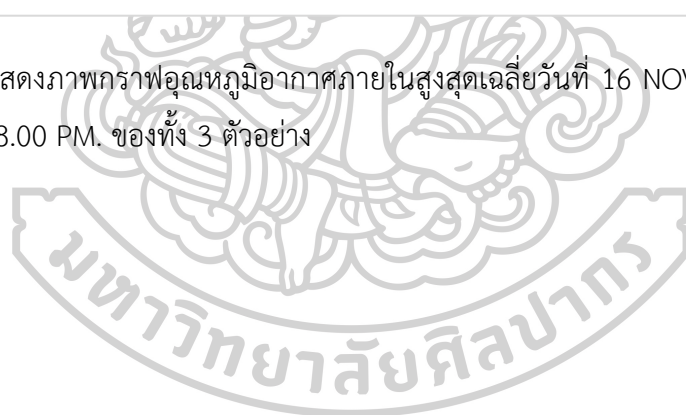
ภาพที่ 110 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศภายในของกล้องจำลองโมเดลทั้ง 3 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบพบว่า กล่องจำลองโมเดลที่มีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด คือ กล่องจำลองโมเดล C (ตามภาพที่ 101) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

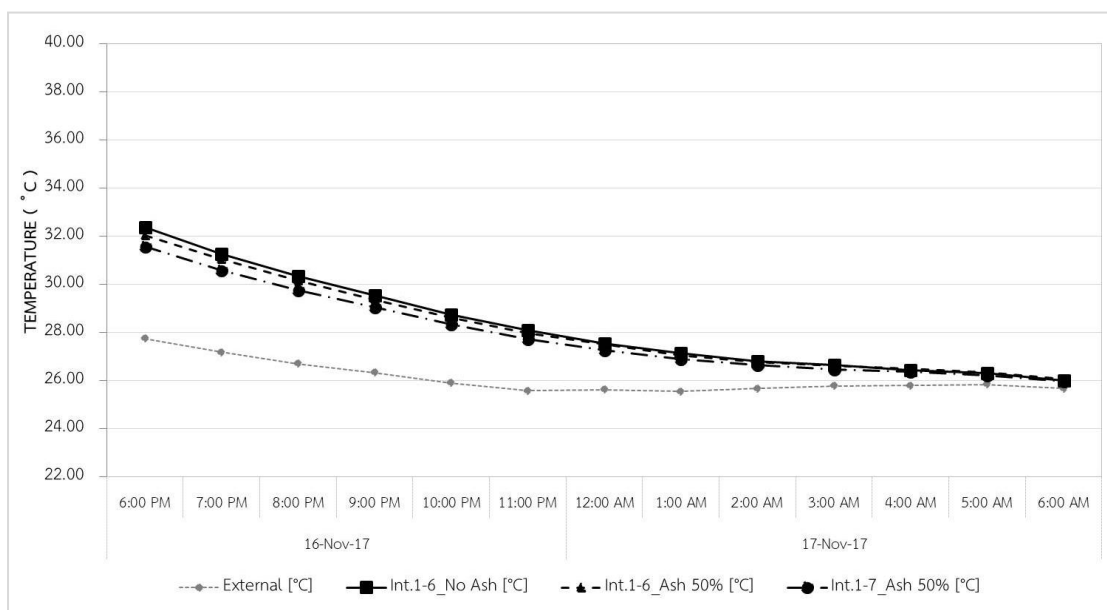
6.1 อุณหภูมิอากาศภายใน ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. วันที่ 16 NOV 17



ภาพที่ 111 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 16 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

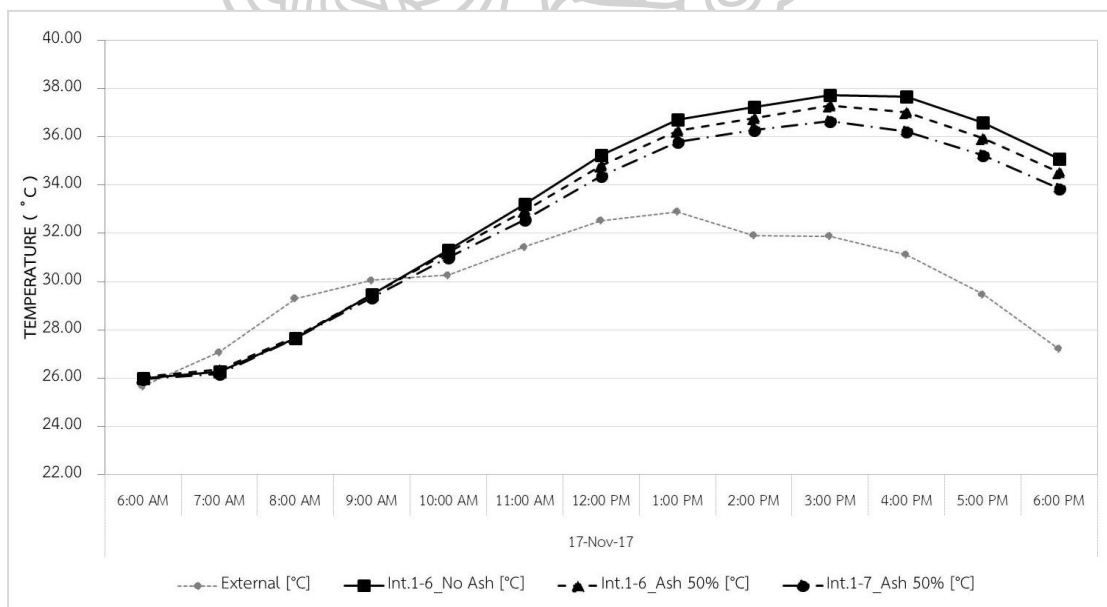


6.2 อุณหภูมิอากาศภายใน ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. วันที่ 16 – 17 NOV 17



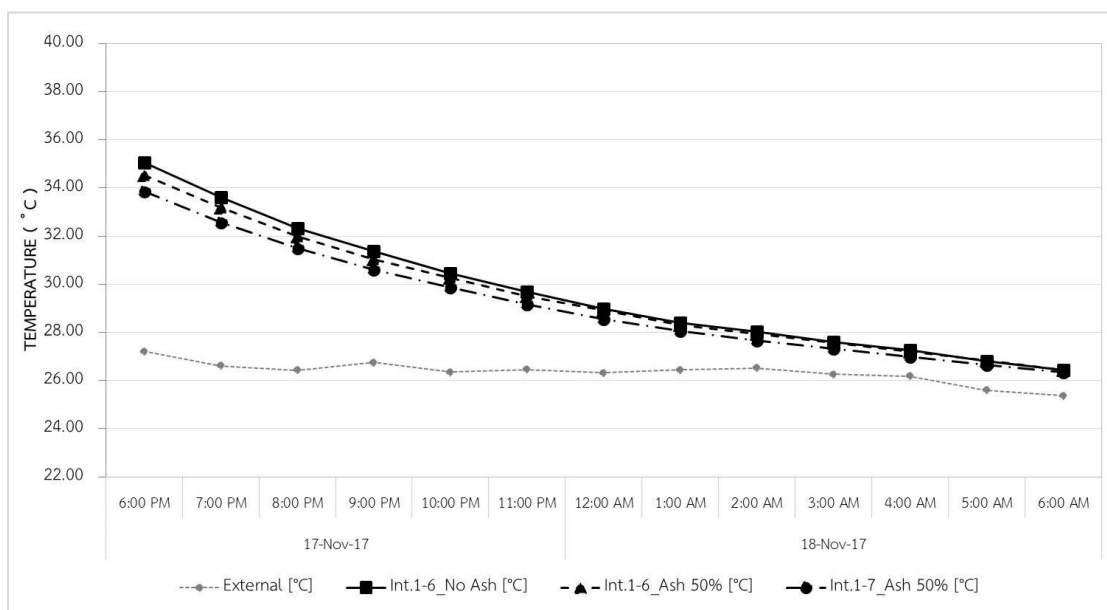
ภาพที่ 112 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 16 - 17 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

6.3 อุณหภูมิอากาศภายใน ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. วันที่ 17 NOV 17



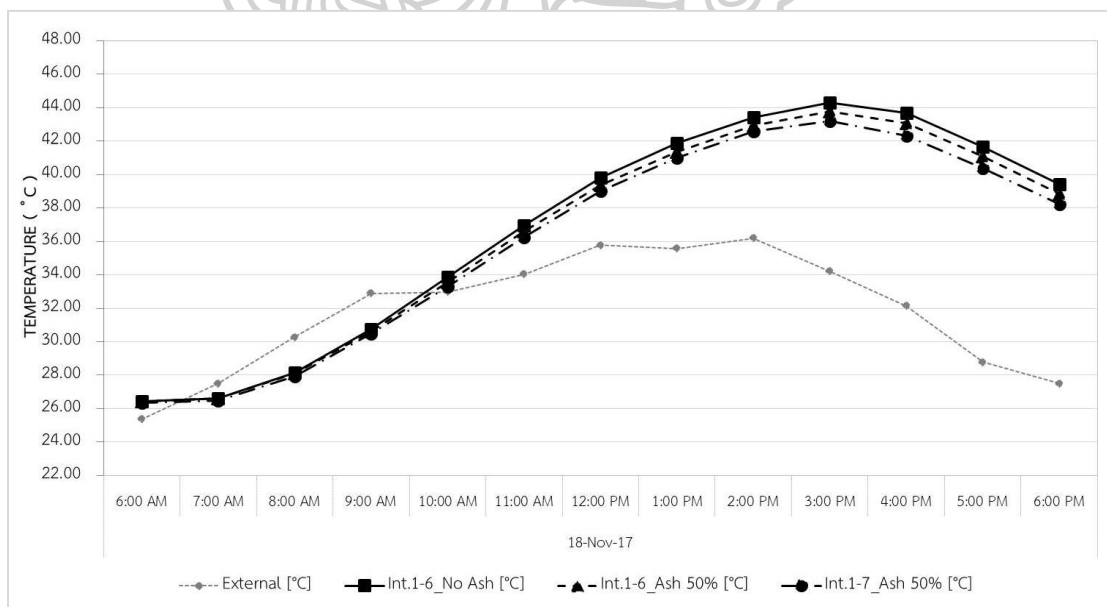
ภาพที่ 113 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 17 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

6.4 อุณหภูมิอากาศภายใน ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. วันที่ 17 – 18 NOV 17



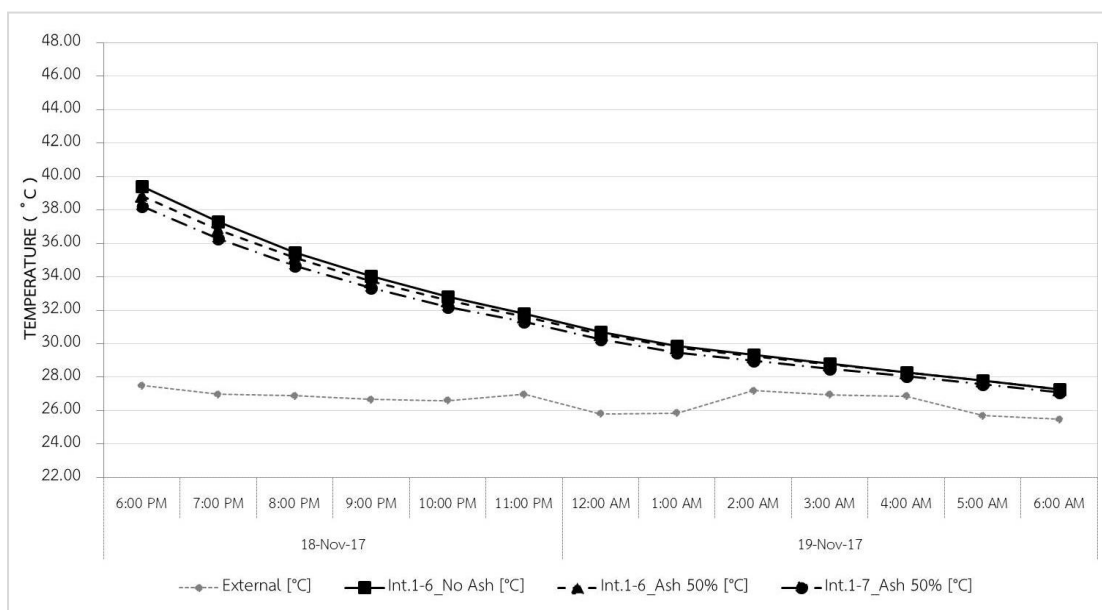
ภาพที่ 114 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 17 - 18 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

6.5 อุณหภูมิอากาศภายใน ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. วันที่ 18 NOV 17

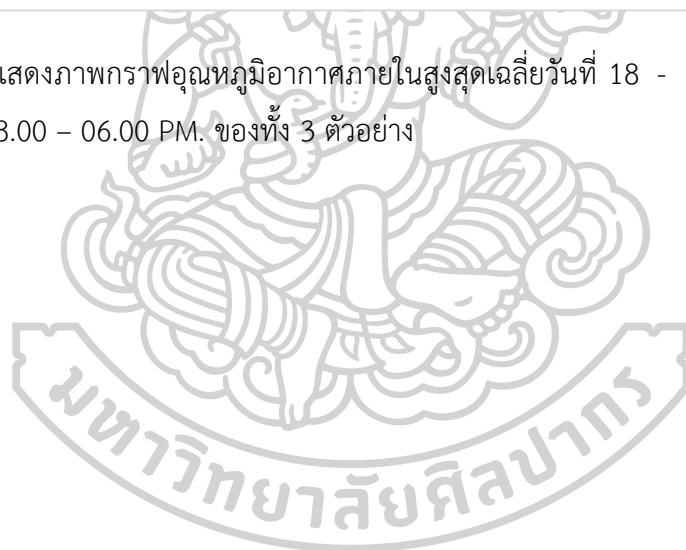


ภาพที่ 115 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 18 NOV 17 ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง

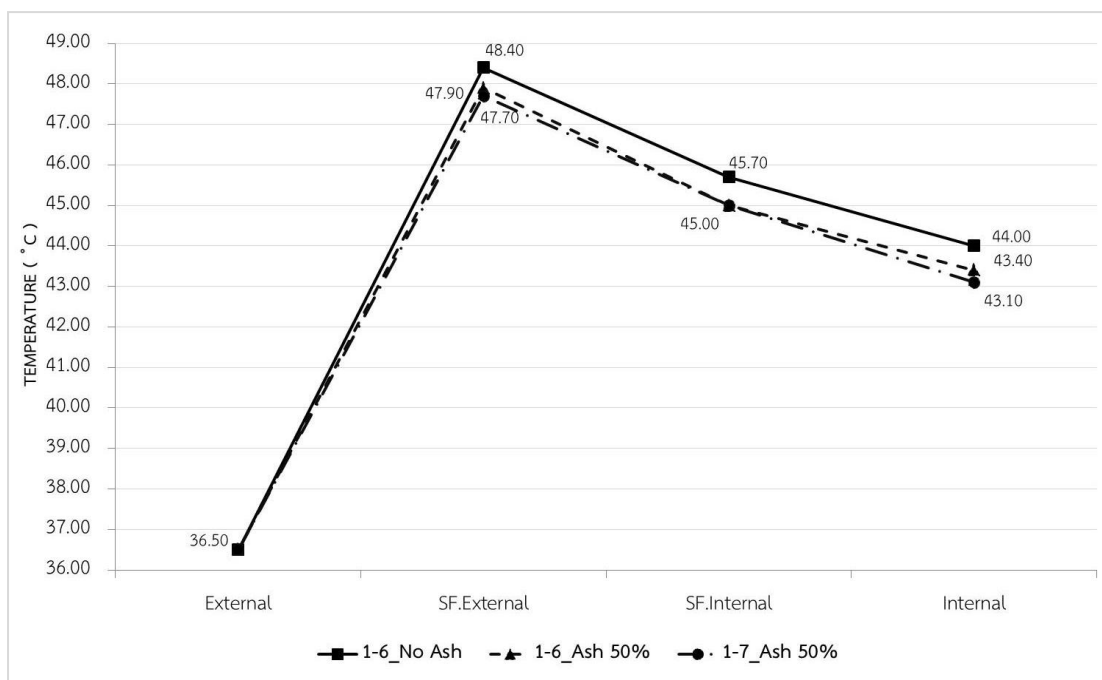
6.6 อุณหภูมิอากาศภายใน ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. วันที่ 18 – 19 NOV 17



ภาพที่ 116 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยวันที่ 18 - 19 NOV 17 ช่วงเวลา 18.00 – 06.00 PM. ของทั้ง 3 ตัวอย่าง



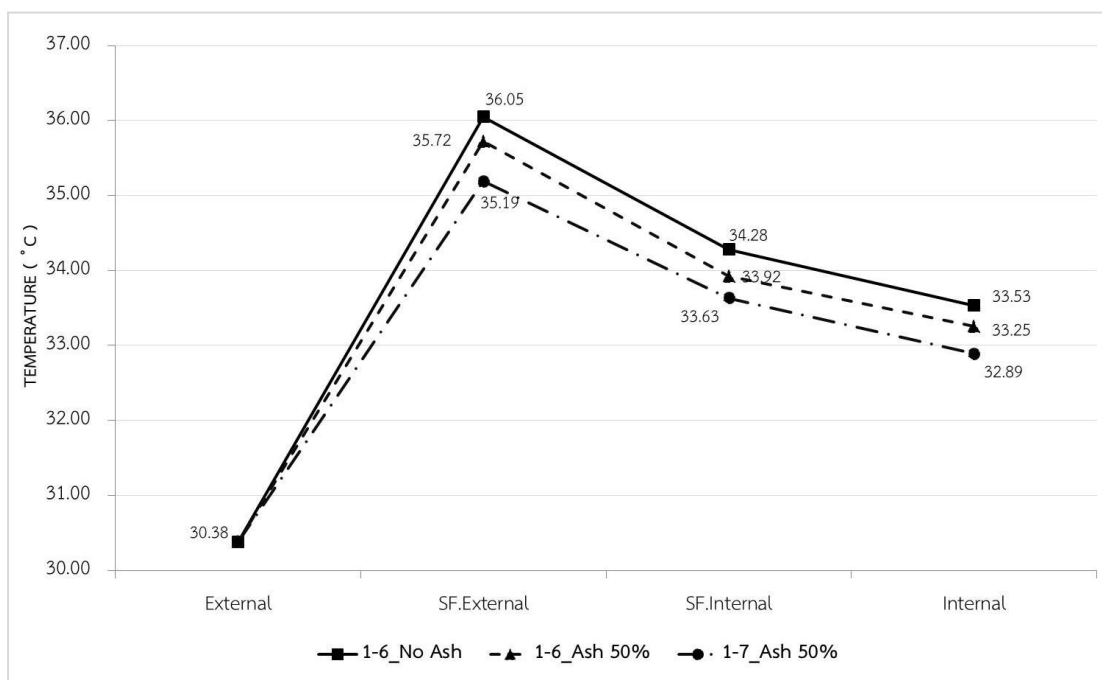
7. ผลการทดสอบเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศสูงสุด



ภาพที่ 117 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 4 วันของทั้ง 4 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ ในกล่องจำลองโมเดลทั้ง 3 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศสูงสุด เฉลี่ยของทั้ง 4 วัน พบว่า คุณสมบัติการลดความร้อนของกล่องจำลองโมเดลที่มีอุณหภูมิอากาศภายในน้อยที่สุด คือ กล่องจำลองโมเดล C คือ INB_1:7_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 43.10 องศาเซลเซียส กล่องจำลองโมเดล B คือ INB_1:6_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 43.40 องศาเซลเซียส และกล่องจำลองโมเดล A คือ INB_1:6_No Ash อุณหภูมิอยู่ที่ 44.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ รวมทั้งยังพบว่า อุณหภูมิผิวผนังภายนอกกล่องจำลองโมเดลที่มีอุณหภูมิน้อยที่สุด คือ กล่องจำลองโมเดล C คือ INB_1:7_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 47.70 องศาเซลเซียส กล่องจำลองโมเดล B คือ INB_1:6_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 47.90 องศาเซลเซียส และกล่องจำลองโมเดล A คือ INB_1:6_No Ash อุณหภูมิอยู่ที่ 48.40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่อุณหภูมิผิวผนังภายในกล่องจำลองโมเดลที่มีอุณหภูมิน้อยที่สุด คือ กล่องจำลองโมเดล C คือ INB_1:7_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 45.00 องศาเซลเซียส กล่องจำลองโมเดล B คือ INB_1:6_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 45.00 องศาเซลเซียส และกล่องจำลองโมเดล A คือ INB_1:6_No Ash อุณหภูมิอยู่ที่ 45.70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จึงแสดงถึงความน่าจะเป็นของค่าการนำความร้อน ที่ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลง (ตามภาพที่ 117)

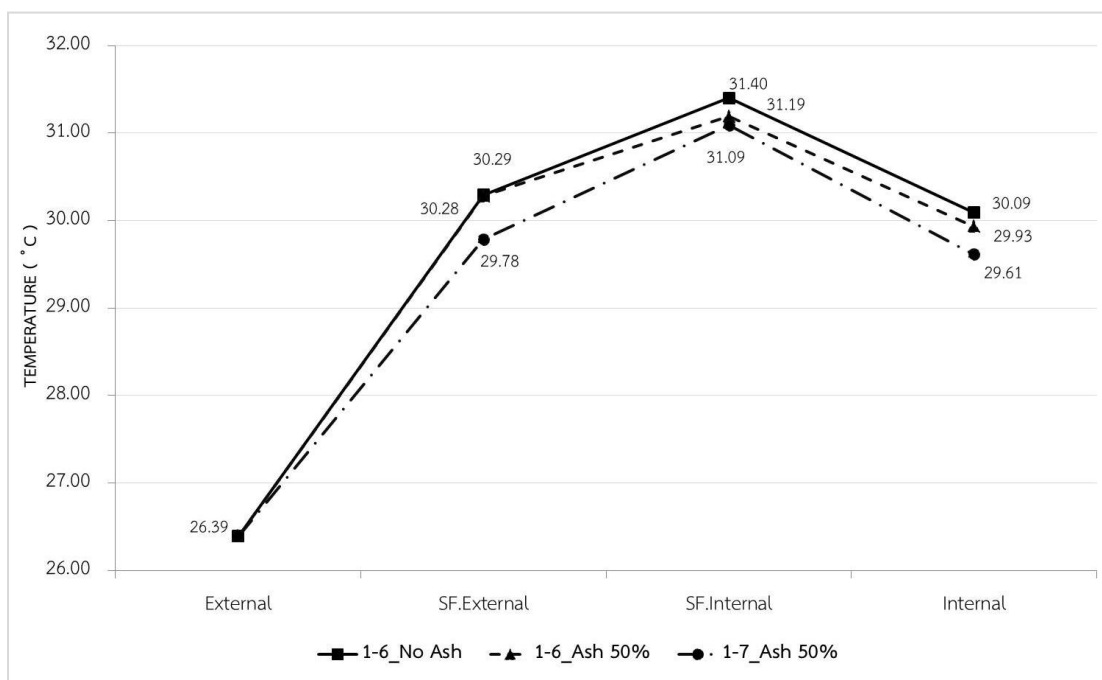
8. ผลการทดสอบเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM.



ภาพที่ 118 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. เฉลี่ย 4 วันของทั้ง 4 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ ในกล่องจำลองโมเดลทั้ง 3 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศช่วงเวลา 06.00 – 18.00 PM. (กลางวัน) เฉลี่ยของทั้ง 4 วัน พบว่า คุณสมบัติการลดความร้อนของกล่องจำลองโมเดลที่มีอุณหภูมิอากาศภายในน้อยที่สุด คือ กล่องจำลองโมเดล C คือ INB_1:7_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 32.89 องศาเซลเซียส กล่องจำลองโมเดล B คือ INB_1:6_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 33.25 องศาเซลเซียส และกล่องจำลองโมเดล A คือ INB_1:6_No Ash อุณหภูมิอยู่ที่ 33.53 องศาเซลเซียส ตามลำดับ รวมทั้งยังพบว่า อุณหภูมิผิวหนังภายนอกกล่องจำลองโมเดลที่มีอุณหภูมิน้อยที่สุด คือ กล่องจำลองโมเดล C คือ INB_1:7_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 35.19 องศาเซลเซียส กล่องจำลองโมเดล B คือ INB_1:6_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 35.72 องศาเซลเซียส และกล่องจำลองโมเดล A คือ INB_1:6_No Ash อุณหภูมิอยู่ที่ 36.05 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่อุณหภูมิผิวหนังภายในกล่องจำลองโมเดลที่มีอุณหภูมิน้อยที่สุด คือ กล่องจำลองโมเดล C คือ INB_1:7_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 33.63 องศาเซลเซียส กล่องจำลองโมเดล B คือ INB_1:6_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 33.92 องศาเซลเซียส และกล่องจำลองโมเดล A คือ INB_1:6_No Ash อุณหภูมิอยู่ที่ 34.28 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จึงแสดงถึงความน่าจะเป็นของการนำความร้อน ที่ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลง (ตามภาพที่ 118)

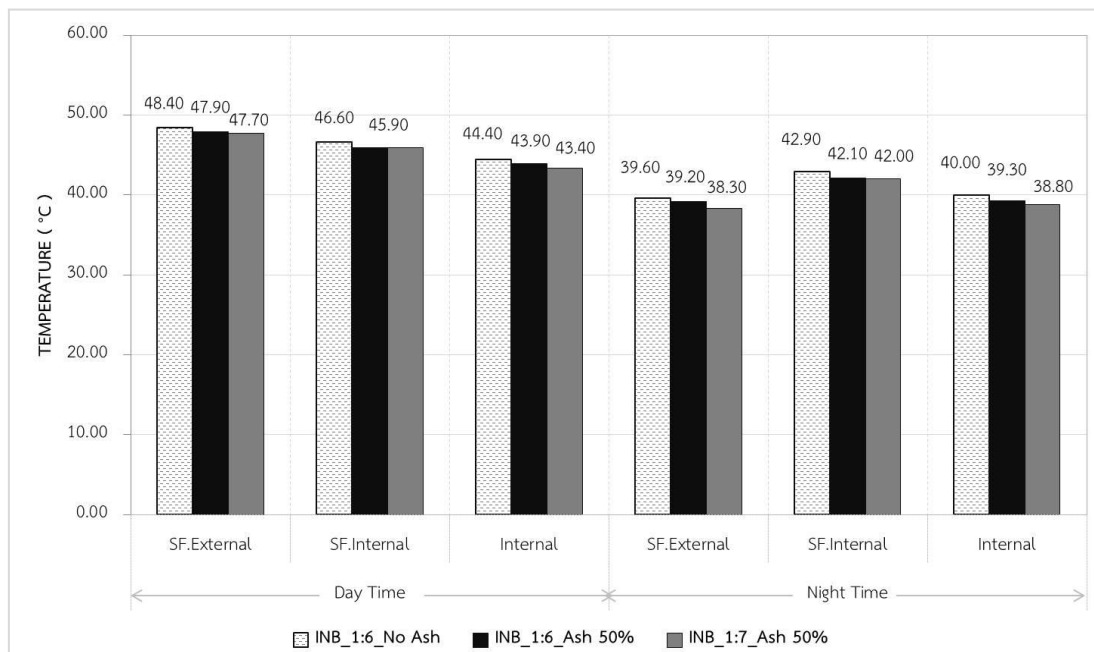
9. ผลการทดสอบเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลา 18.00 – 06.00 AM.



ภาพที่ 119 แสดงภาพกราฟอุณหภูมิอากาศช่วงเวลา 18.00 – 06.00 AM. เฉลี่ย 4 วันของทั้ง 4 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ ในกล่องจำลองโมเดลทั้ง 3 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศช่วงเวลา 18.00 – 06.00 AM. (กลางคืน) เฉลี่ยของทั้ง 4 วัน พบว่า คุณสมบัติการลดความร้อนของกล่องจำลองโมเดลที่มีอุณหภูมิอากาศภายในน้อยที่สุด คือ กล่องจำลองโมเดล C คือ INB_1:7_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 29.61 องศาเซลเซียส กล่องจำลองโมเดล B คือ INB_1:6_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 29.93 องศาเซลเซียส และกล่องจำลองโมเดล A คือ INB_1:6_No Ash อุณหภูมิอยู่ที่ 30.29 องศาเซลเซียส ตามลำดับ รวมทั้งยังพบว่า อุณหภูมิผิวหนังภายนอกกล่องจำลองโมเดลที่มีอุณหภูมิน้อยที่สุด คือ กล่องจำลองโมเดล C คือ INB_1:7_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 29.78 องศาเซลเซียส กล่องจำลองโมเดล B คือ INB_1:6_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 30.28 องศาเซลเซียส และกล่องจำลองโมเดล A คือ INB_1:6_No Ash อุณหภูมิอยู่ที่ 30.29 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่อุณหภูมิผิวหนังภายในกล่องจำลองโมเดลที่มีอุณหภูมิน้อยที่สุด คือ กล่องจำลองโมเดล C คือ INB_1:7_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 31.09 องศาเซลเซียส กล่องจำลองโมเดล B คือ INB_1:6_Ash 50% อุณหภูมิอยู่ที่ 31.19 องศาเซลเซียส และกล่องจำลองโมเดล A คือ INB_1:6_No Ash อุณหภูมิอยู่ที่ 31.40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จึงแสดงถึงความน่าจะเป็นของการนำความร้อน ที่ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลง (ตามภาพที่ 119)

10. ผลการเปรียบเทียบการทดสอบอุณหภูมิ



ภาพที่ 120 แสดงภาพกราฟค่าตรวจวัดอุณหภูมิ ตัวอย่าง INB_1:6_No Ash, INB_1:6_Ash 50% และ INB_1:7_Ash 50%

จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในของกล่องจำลองโมเดลที่มีผนังทำจากบล็อกประสานที่ไม่มีซีเมนต์เถ้าลอยจากขยะกับกล่องจำลองที่ทำจากบล็อกประสานผสมซีเมนต์เถ้าลอยจากขยะ 50% ตลอดทั้งวัน พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยของกล่องจำลองที่มีผนังทำจากบล็อกประสานผสมซีเมนต์เถ้าลอยจากขยะ 50% ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยของกล่องจำลองที่มีผนังทำจากบล็อกประสานที่ไม่มีซีเมนต์เถ้าลอยจากขยะอยู่ประมาณ 1.00 – 1.20 °C (ตามภาพที่ 120)

สรุปจากการทดสอบคุณสมบัติการลดความร้อน โดยกล่องจำลองโมเดล พบว่ากล่องจำลองโมเดล C ตัวอย่าง INB_1:7_Ash 50% ที่มีอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 7 ซึ่งทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์เถ้าลอยจากขยะปริมาณ 50% สามารถลดความร้อนได้มากที่สุด จึงเลือกตรวจสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนในวัสดุบล็อกประสานเพื่อเปรียบเทียบกับกล่องจำลองโมเดล A ตัวอย่าง INB_1:6_No Ash ที่มีอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 6 ที่ไม่มีส่วนผสมของซีเมนต์เถ้าลอยจากขยะ

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพวัสดุบล็อกประสาน จะทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน, ค่าการแพร่ความร้อน, ค่าความจุความร้อน, ค่าความหนาแน่น, ค่าปริมาณความชื้น และค่าการดูดกลืนน้ำ มีลำดับการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน, ค่าการแพร่ความร้อน และค่าความจุความร้อนในวัสดุบล็อกประสาน

กำหนดทั้งหมด 2 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่าง INB_1:6_No Ash อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 6 ที่ไม่มีซีเมนต์จากขยะ เปรียบเทียบกับ ตัวอย่าง INB_1:7_Ash 50% อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 7 ที่มีซีเมนต์จากขยะปริมาณ 50% ตัวอย่างละ 2 ชิ้น มีการทดสอบต่อชิ้นตัวอย่างละ 3 ครั้ง ซึ่งจะมีขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 5 x 5 x 1 cm. โดยส่งตรวจสอบที่ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

ตารางที่ 21 แสดงตารางผลส่งทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพตัวอย่าง INB_1:6_No Ash และ ตัวอย่าง INB_1:7_Ash 50%

| ตัวอย่าง (Sample) | INB_1 : 6_No Ash | | | INB_1 : 7_Ash 50% | | |
|--|------------------|---------|-------|-------------------|---------|-------|
| | Result | Average | S.D. | Result | Average | S.D. |
| ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity, K) (W/m-K) | 1.785 | 1.787 | 0.006 | 1.588 | 1.587 | 0.007 |
| | 1.782 | | | 1.580 | | |
| | 1.794 | | | 1.594 | | |
| ค่าการแพร่ความร้อน (Thermal Diffusivity) (mm ² /s) | 1.038 | 1.014 | 0.023 | 0.742 | 0.750 | 0.012 |
| | 0.993 | | | 0.763 | | |
| | 1.012 | | | 0.744 | | |
| ค่าความจุความร้อน (Specific Heat) (MJ/m ³ K) | 1.720 | 1.762 | 0.038 | 2.140 | 2.117 | 0.041 |
| | 1.794 | | | 2.070 | | |
| | 1.773 | | | 2.142 | | |

ผลการตรวจสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนในวัสดุบล็อกประสาน พบว่า ตัวอย่าง INB_1:7_Ash 50% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.587 W/m-K โดยมีค่าน้อยกว่าตัวอย่าง INB_1:6_No Ash มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.787 W/m-K ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบกล่องจำลองโมเดล (ตามตารางที่ 21)

ผลการตรวจสอบหาค่าการแพร่ความร้อนในวัสดุบล็อกประสาน พบว่า ตัวอย่าง INB_1:7_Ash 50% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.750 mm²/s โดยมีค่าน้อยกว่าตัวอย่าง INB_1:6_No Ash มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.014 mm²/s ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบกล่องจำลองโมเดล (ตามตารางที่ 21)

ผลการตรวจสอบหาค่าความจุความร้อนในวัสดุบล็อกประสาน พบว่า ตัวอย่าง INB_1:7_Ash 50% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.117 MJ/m³ โดยมีค่าน้อยกว่าตัวอย่าง INB_1:6_No Ash มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.762 MJ/m³ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบกล่องจำลองโมเดล (ตามตารางที่ 21)

สรุปจากการทดสอบคุณสมบัติการนำความร้อน พบว่า ตัวอย่าง INB_1:7_Ash 50% ที่มีอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 7 ซึ่งทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ด้วยซีเมนต์จากขยะปริมาณ 50% สามารถลดการนำความร้อนได้มากที่สุด จึงเลือกทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพในวัสดุบล็อกประสาน เพื่อเปรียบเทียบกับ INB_1:6_Ash 50% ที่มีอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 6 ซึ่งทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์จากขยะปริมาณ 50%



2. ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น, หาค่าปริมาณความชื้น และหาค่าการดูดกลืนน้ำ
ในวัสดุบล็อกประสาน

กำหนดทั้งหมด 2 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่าง INB_1:6_Ash 50% อัตราส่วนผสม
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 6 ที่มีซีเมนต์จากขยะปริมาณ 50% เปรียบเทียบกับ
ตัวอย่าง INB_1:7_Ash 50% อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : ดินลูกรัง เท่ากับ 1 : 7 ที่มีซีเมนต์
จากขยะปริมาณ 50% มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 12.5 x 25 x 10 cm. ขนาดตามวัสดุ
บล็อกประสานโดยทั่วไป เฉลี่ยตัวอย่างละ 5 ก้อน อายุบ่มที่ 28 วัน วิธีการทดสอบด้วยห้องปฏิบัติการ
ตารางที่ 22 แสดงตารางผลทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพตัวอย่าง INB_1:6_Ash 50% และตัวอย่าง
INB_1:7_Ash 50%

| ตัวอย่าง (Sample) | INB_1 : 6_Ash 50% | | | INB_1 : 7_Ash 50% | | |
|---------------------------------------|-------------------|---------|------|-------------------|---------|------|
| | Result | Average | S.D. | Result | Average | S.D. |
| ค่าความหนาแน่น (Kg./m ³ .) | 1,895 | 1,903 | 5.18 | 1,899 | 1,898 | 5.43 |
| | 1,908 | | | 1,899 | | |
| | 1,904 | | | 1,894 | | |
| | 1,906 | | | 1,892 | | |
| | 1,900 | | | 1,906 | | |
| ค่าปริมาณความชื้น (%) | 6.969 | 7.458 | 0.28 | 8.500 | 8.726 | 0.19 |
| | 7.486 | | | 8.603 | | |
| | 7.595 | | | 8.726 | | |
| | 7.599 | | | 8.820 | | |
| | 7.639 | | | 8.983 | | |
| ค่าการดูดกลืนน้ำ (%) | 9.841 | 10.807 | 0.55 | 11.314 | 11.449 | 0.12 |
| | 10.960 | | | 11.346 | | |
| | 11.025 | | | 11.435 | | |
| | 11.034 | | | 11.571 | | |
| | 11.177 | | | 11.580 | | |

ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นตามทฤษฎีการทดสอบเฉลี่ย 5 ก้อน ที่อายุบ่ม 28 วัน พบว่า ตัวอย่าง INB_1:7_Ash 50% มีค่าความหนาแน่นน้อยกว่า ตัวอย่าง INB_1:6_Ash 50% ซึ่งมีผลความต่างเท่ากับ 5 Kg./m^3 . (ตามตารางที่ 22)

ผลการทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นตามทฤษฎีการทดสอบเฉลี่ย 5 ก้อน ที่อายุบ่ม 28 วัน พบว่า ตัวอย่าง INB_1:6_Ash 50% มีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าตัวอย่าง INB_1:7_Ash 50% ซึ่งมีผลความต่างเท่ากับ 1.268 % (ตามตารางที่ 22)

ผลการทดสอบหาค่าการดูดกลืนน้ำตามทฤษฎีการทดสอบเฉลี่ย 5 ก้อน ที่อายุบ่ม 28 วัน พบว่า ตัวอย่าง INB_1:6_Ash 50% มีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าตัวอย่าง INB_1:7_Ash 50% ซึ่งมีผลความต่างเท่ากับ 0.642 % (ตามตารางที่ 22)

สรุปได้ว่า ตัวอย่าง INB_1:7_Ash 50% มีแนวโน้มในการลดความร้อนมากกว่า ตัวอย่าง INB_1:6_Ash 50% ซึ่งเห็นได้จากค่าความหนาแน่นของวัสดุ รวมทั้งยังมีค่าปริมาณความชื้นและการดูดกลืนน้ำต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเชิงพาณิชย์

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต จะมีการวิเคราะห์ราคาในส่วนของอัตราส่วนผสมเท่านั้น เนื่องจากการผลิตด้วยวิธีการอัดบล็อกประสานโยกมือ โดยมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดินลูกรัง และน้ำประปาสะอาด ซึ่งน้ำประปาสะอาดจะไม่รวมภาษี จะวิเคราะห์รายละเอียดจากค่าใช้จ่ายในการผลิตวัสดุบล็อกประสานเพื่อการศึกษาวิจัยเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะวิเคราะห์ทั้งหมด 12 ตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบวัสดุบล็อกประสานที่มีอัตราส่วนดินลูกรังต่างกัน และวัสดุบล็อกประสานที่มีซีเมนต์ลอยจากขยะกับไม่มีซีเมนต์ลอยจากขยะ มีวิธีการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ถุงละ 120 bath / 50 kg. ราคา 2.4 bath / kg.
2. ดินลูกรัง ถุงละ 50 bath / 50 kg. ราคา 1 bath / kg.
3. น้ำประปาสะอาด (ประเภทที่ 2 ราชการ) 17 bath / 8 m³. ราคา 0.008 bath /

kg. หรือ L.

ตารางที่ 23 แสดงตารางรายละเอียดต้นทุนการผลิตวัสดุบล็อกประสานแต่ละอัตราส่วน

| อัตราส่วนผสม | ราคา ดินลูกรัง (บาท) | ราคาปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ (บาท) | ราคาซีเมนต์ จากขยะ (บาท) | ราคา น้ำประปา สะอาด (บาท) | รวม ต้นทุน (บาท) |
|-------------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------|
| INB_1 : 6_No Ash | 4.629 | 1.850 | 0.00 | 0.005 | 6.48 |
| INB_1 : 6_Ash 10% | 4.654 | 1.676 | | 0.005 | 6.33 |
| INB_1 : 6_Ash 20% | 4.629 | 1.481 | | 0.005 | 6.11 |
| INB_1 : 6_Ash 30% | 4.629 | 1.296 | | 0.005 | 5.93 |
| INB_1 : 6_Ash 40% | 4.629 | 1.111 | | 0.005 | 5.74 |
| INB_1 : 6_Ash 50% | 4.577 | 0.915 | | 0.005 | 5.50 |
| INB_1 : 7_No Ash | 4.778 | 1.638 | | 0.004 | 6.42 |
| INB_1 : 7_Ash 10% | 4.725 | 1.458 | | 0.005 | 6.19 |
| INB_1 : 7_Ash 20% | 4.725 | 1.296 | | 0.005 | 6.03 |
| INB_1 : 7_Ash 30% | 4.725 | 1.134 | | 0.005 | 5.86 |
| INB_1 : 7_Ash 40% | 4.725 | 0.972 | | 0.005 | 5.70 |
| INB_1 : 7_Ash 50% | 4.673 | 0.801 | | 0.005 | 5.48 |

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลต้นทุนการผลิต พบว่า การทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์จากขยะ ตัวอย่าง INB_1:7_Ash 50% ที่มีคุณสมบัติการลดความร้อนที่ดี เปรียบเทียบกับตัวอย่าง INB_1:6_No Ash ซึ่งเป็นวัสดุบล็อกประสานตามท้องตลาดโดยทั่วไป แสดงให้เห็นว่ามีต้นทุนการผลิตที่ลดลง 1 bath / lump หรือคิดเป็น 15.43% และลดลงเท่ากับ 40 baht/sq.m. (ตามตารางที่ 23 เพิ่มเติมภาคผนวก)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาบล็อกประสานผสมซีเมนต์จากขยะเพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร เพื่อให้ผ่านคุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐาน มอก.58-2533 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก รวมทั้งยังมีประสิทธิภาพการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ โดยการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์จากขยะในปริมาณ 50% ซึ่งตรงตามสมมติฐานการดำเนินงานวิจัยในข้างต้นดังต่อไปนี้



ภาพที่ 121 แสดงภาพกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับซีเมนต์จากขยะ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลตั้งสมมติฐานการดำเนินงานวิจัยพบว่า ปริมาณสารประกอบที่เป็นโลหะ และกึ่งโลหะระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับซีเมนต์จากขยะ มีอัตราส่วนซีเมนต์จากขยะที่น้อยกว่า จึงเห็นได้ว่าการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์จากขยะ จะส่งผลให้กำลังแรงอัดของวัสดุบล็อกที่ผสมซีเมนต์จากขยะลดลง ส่วนสารประกอบที่เป็นอนินทรีย์นั้น มีอัตราส่วนซีเมนต์จากขยะมีอัตราส่วนที่มากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์จากขยะ จะทำให้มีประสิทธิภาพในการลดความร้อนเพิ่มขึ้นเช่นกัน (ตามภาพที่ 121) และสรุปผลการทดลองดังต่อไปนี้

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเถ้าลอยจากขยะในการพัฒนาวัสดุบล็อกประสาน สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ในการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเถ้าลอยจากขยะ สามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ และลดพื้นที่ในการฝังกลบซีเถ้าลอยจากขยะ รวมทั้งยังสามารถลดปริมาณสารปนเปื้อนได้ เมื่อนำไปผลิตแข็งเป็นวัสดุบล็อกที่มีส่วนผสมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

2. ในการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเถ้าลอยจากขยะ ในปริมาณ 50% สามารถรับน้ำหนักได้มาตรฐานมอก.58 - 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักในวัสดุบล็อกประสาน

3. ในการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเถ้าลอยจากขยะ ในปริมาณ 50% สามารถช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ และยังช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนได้มากกว่าวัสดุบล็อกประสานโดยทั่วไป

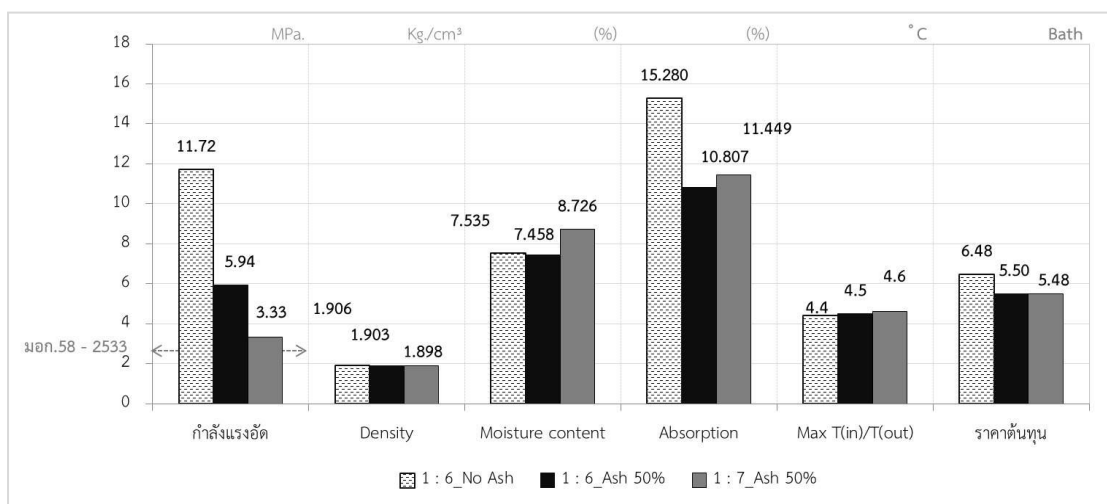
4. ในการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเถ้าลอยจากขยะ ในปริมาณ 50% สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ ซึ่งสอดคล้องกับการช่วยลดการใช้ทรัพยากร

ดังนั้นการพัฒนาวัสดุบล็อกประสานผสมซีเถ้าลอยจากขยะเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถนำของเหลือใช้มาพัฒนาต่อให้เกิดประโยชน์ รวมทั้งยังช่วยลดการใช้ทรัพยากรทางธรรมชาติ โดยวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 24 แสดงตารางวิเคราะห์ผลของอัตราส่วนผสมวัสดุบล็อกประสาน

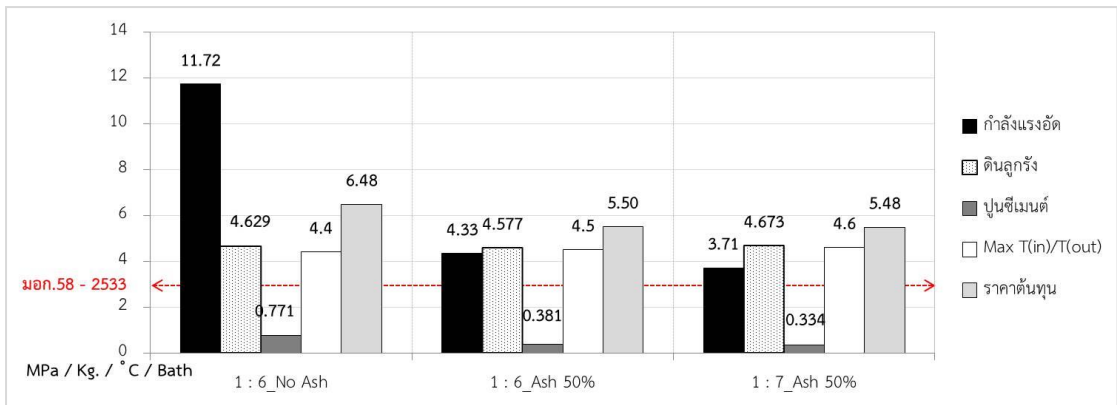
| สรุปผล / ตัวอย่าง | 1 : 6_No Ash | 1 : 6_Ash 50% | 1 : 7_Ash 50% | |
|---|---------------------------|---|--|-----------------------------|
| 1.ค่ากำลังแรงอัด (MPa) - อายุบ่ม 7 วัน | 11.72 | 4.33 | 3.71 | |
| 2.ค่าความหนาแน่น (Kg/cm ³) | 1.906 | 1.903 | 1.898 | |
| 3.ค่าปริมาณความชื้น (%) | 7.535 | 7.458 | 8.726 | |
| 4.ต้นทุนการผลิต (บาท) | 6.48 | 5.50 | 5.48 | |
| 5.อุณหภูมิที่สูงสุด (°C) | 44.00 | 43.40 | 43.10 | |
| 6.ปริมาณดินลูกรัง (Kg.) | √----- 4.629 ∧----- | 0.052 ∨ √----- - 0.044 ∧----- | ∨ √----- 4.577 - 0.047 ∧----- | ∨ √----- 4.673 ∧----- |
| 7.ปริมาณปูนซีเมนต์ (Kg.) | √----- 0.771 ∧----- | 0.390 ∨ √----- 0.381 0.437 ∧----- | ∨ √----- 0.381 0.047 ∧----- | ∨ √----- 0.334 ∧----- |

สรุปผลจากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสมของดินลูกรังไม่ได้มีผลทำให้คุณสมบัติของผนังบล็อกประสานต่างกัน เมื่อเทียบปริมาณอัตราส่วนความต่างที่น้อยกว่าปริมาณอัตราส่วนความต่างของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งอัตราส่วนที่มีการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปริมาณมาก จะไม่มีส่วนผสมของซีเมนต์ลอยจากขยะ อีกทั้งคุณสมบัติของดินลูกรังช่วยส่งผลให้วัสดุมีการป้องกันความร้อนได้ดี เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของดินลูกรังตัวหลักคือ ซิลิกา จึงทำให้ช่วยลดความร้อนแก่ผนังได้ดี ดังผลการวิเคราะห์ต่อไปนี้ (ตามภาพที่ 122)



ภาพที่ 122 แสดงภาพกราฟเปรียบเทียบผลจากการทดลองวิจัย

สรุปผลจากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า เมื่อทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์ลอยจากขยะนั้น ส่งผลทำให้กำลังแรงอัดของวัสดุบล็อกประสานลดลง โดยการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์ลอยจากขยะปริมาณ 50% ทำให้ค่ากำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานมอก. 58 – 2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก รวมทั้งยังส่งผลทำให้ราคาต้นทุนการผลิตลดลงเช่นกัน ดังผลการวิเคราะห์ต่อไปนี้ (ตามภาพที่ 123)



ภาพที่ 123 แสดงภาพกราฟรายละเอียดเปรียบเทียบผลจากการทดลองวิจัย

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลต้นทุนการผลิตพบว่า เมื่อทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์ลอยจากขยะนั้น ส่งผลทำให้ราคาวัสดุอุปกรณ์ประสานลดลง โดยการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์ลอยจากขยะปริมาณ 50% สามารถลดราคาต้นทุนการผลิตสูงสุดได้ถึง 1 บาทต่อก้อน (ตามภาพที่ 124)



ภาพที่ 124 แสดงภาพกราฟรายละเอียดการวิเคราะห์กำลังแรงอัดต่ออัตราส่วนต้นทุนการผลิตเปรียบเทียบผลจากการทดลองวิจัย

ตารางที่ 25 แสดงตารางวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิอากาศภายในจากผลเฉลี่ย 3 วัน

| สรุปผล / ตัวอย่าง | 1 : 6_No Ash | 1 : 6_Ash 50% | 1 : 7_Ash 50% |
|---|--------------|---------------|---------------|
| 1.ปริมาณดินลูกรัง (Kg.) | 4.629 | 4.577 | 4.673 |
| | | -0.052 | -0.096 |
| | | -0.044 | |
| 2.ปริมาณปูนซีเมนต์ (Kg.) | 0.771 | 0.381 | 0.334 |
| | | 0.390 | 0.047 |
| | | 0.437 | |
| 3. Temperature (in) - Average 06.00 – 18.00 PM. External 30.38 °C | 36.05 | 34.28 | 33.53 |
| | | 35.72 | 33.92 |
| | | 33.25 | 35.19 |
| | | 33.63 | 32.89 |
| | | 0.28 °C | 0.36 °C |
| | | 0.64 °C | |
| 4. Temperature (in) - Average 18.00 – 06.00 AM. External 26.39 °C | 30.29 | 31.40 | 30.09 |
| | | 30.28 | 31.19 |
| | | 29.93 | 29.78 |
| | | 31.09 | 29.61 |
| | | 0.16 °C | 0.32 °C |
| | | 0.48 °C | |
| 5. Temperature (in) - Average 11.00 – 15.00 PM. External 32.69 °C | 39.92 | 37.18 | 36.48 |
| | | 39.46 | 36.66 |
| | | 36.08 | 39.02 |
| | | 36.28 | 35.67 |
| | | 0.40 °C | 0.41 °C |
| | | 0.81 °C | |

ตารางที่ 26 แสดงตารางวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิผิวผนังภายในจากผลเฉลี่ย 3 วัน

| สรุปผล / ตัวอย่าง | 1 : 6_No Ash | 1 : 6_Ash 50% | 1 : 7_Ash 50% |
|--|--------------|---------------|---------------|
| 1.ปริมาณดินลูกรัง (Kg.) | 4.629 | 4.577 | 4.673 |
| | | -0.052 | -0.096 |
| | | -0.044 | |
| 2.ปริมาณปูนซีเมนต์ (Kg.) | 0.771 | 0.381 | 0.334 |
| | | 0.390 | 0.047 |
| | | 0.437 | |
| 3. Temperature (SF.Int.) - Average 06.00 – 18.00 PM. External 30.38 °C | 36.05 | 34.28 | 33.53 |
| | | 35.72 | 33.92 |
| | | 33.25 | 35.19 |
| | | 33.63 | 32.89 |
| | | 0.36 °C | 0.29 °C |
| | | 0.65 °C | |
| 4. Temperature (SF.Int.) - Average 18.00 – 06.00 AM. External 26.39 °C | 30.29 | 31.40 | 30.09 |
| | | 30.28 | 31.19 |
| | | 29.93 | 29.78 |
| | | 31.09 | 29.61 |
| | | 0.21 °C | 0.10 °C |
| | | 0.31 °C | |
| 5. Temperature (SF.Int.) - Average 11.00 – 15.00 PM. External 32.69 °C | 39.92 | 37.18 | 36.48 |
| | | 39.46 | 36.66 |
| | | 36.08 | 39.02 |
| | | 36.28 | 35.67 |
| | | 0.52 °C | 0.38 °C |
| | | 0.90 °C | |

ตารางที่ 27 แสดงตารางวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิผิวผนังภายนอกจากผลเฉลี่ย 3 วัน

| สรุปผล / ตัวอย่าง | 1 : 6_No Ash | 1 : 6_Ash 50% | 1 : 7_Ash 50% |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1.ปริมาณดินลูกรัง (Kg.) | 4.629 | 4.577 | 4.673 |
| | 0.052 | -0.044 | -0.096 |
| 2.ปริมาณปูนซีเมนต์ (Kg.) | 0.771 | 0.381 | 0.334 |
| | 0.390 | 0.437 | 0.047 |
| 3.Temperature (SF.Ext.) - Average 06.00 – 18.00 PM. External 30.38 °C | 36.05 34.28 33.53 | 35.72 33.92 33.25 | 35.19 33.63 32.89 |
| | 0.33 °C | 0.53 °C | 0.86 °C |
| 4.Temperature (SF.Ext.) - Average 18.00 – 06.00 AM. External 26.39 °C | 30.29 31.40 30.09 | 30.28 31.19 29.93 | 29.78 31.09 29.61 |
| | 0.01 °C | 0.50 °C | 0.51 °C |
| 5.Temperature (SF.Ext.) - Average 11.00 – 15.00 PM. External 32.69 °C | 39.92 37.18 36.48 | 39.46 36.66 36.08 | 39.02 36.28 35.67 |
| | 0.46 °C | 0.44 °C | 0.90 °C |

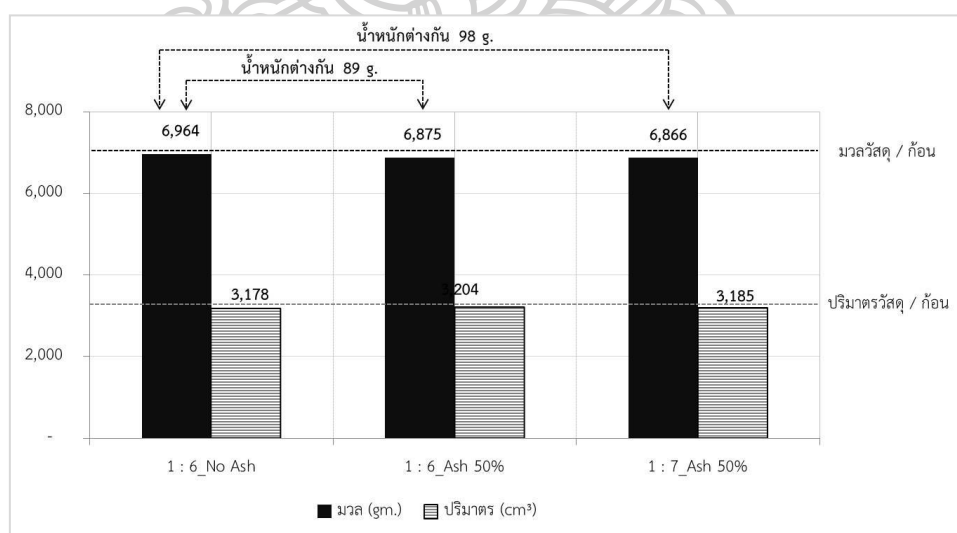
ตารางที่ 28 แสดงตารางวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิผิวผนังภายใน/อากาศภายใน จากผลเฉลี่ย 3 วัน

| สรุปผล / ตัวอย่าง | 1 : 6_No Ash | 1 : 6_Ash 50% | 1 : 7_Ash 50% |
|--|--------------|---------------|---------------|
| 1.ปริมาณดินลูกรัง (Kg.) | 4.629 | 4.577 | 4.673 |
| | 0.052 | -0.044 | -0.096 |
| 2.ปริมาณปูนซีเมนต์ (Kg.) | 0.771 | 0.381 | 0.334 |
| | 0.390 | 0.437 | 0.047 |
| 3.Temperature (SF.Ext./in) - Average 06.00 – 18.00 PM. External 30.38 °C | 2.52 | 2.47 | 2.30 |
| | 0.05 °C | 0.17 °C | 0.22 °C |
| 4.Temperature (SF.Ext./in) - Average 18.00 – 06.00 AM. External 26.39 °C | 0.20 | 0.35 | 0.17 |
| | -0.15 °C | 0.18 °C | 0.03 °C |
| 5.Temperature (SF.Ext./in) - Average 11.00 – 15.00 PM. External 32.69 °C | 3.44 | 3.38 | 3.35 |
| | 0.06 °C | 0.03 °C | 0.09 °C |

สรุปผลจากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่มีอุณหภูมิภายในน้อยที่สุดคือ ตัวอย่าง INB_1 : 7_Ash 50%, INB_1 : 6_Ash 50 % และ INB_1 : 6_No Ash เรียงตามลำดับ พบว่า อัตราส่วนผสมที่ไม่มีซีเมนต์เถ้าลอยจากขยะนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าอัตราส่วนผสมที่มีซีเมนต์เถ้าลอยจากขยะ เนื่องจากการมีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนที่มากกว่า (ตามตารางที่ 25 – 28)

อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสรุปผลการทดลองพบว่า ผนังบล็อกประสานสามารถทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยซีเมนต์เถ้าลอยจากขยะได้ในปริมาณ 0.334 kg./Block ส่งผลให้มีการลดปริมาณซีเมนต์เถ้าลอยจากขยะได้ 1.336 ton/day/plant เนื่องจากปัจจุบันโรงผลิตบล็อกประสานใช้เทคโนโลยีเครื่องไฮดรอลิก สามารถผลิตได้สูงสุด 4,000 Block / day รวมทั้งยังส่งผลทำให้มีความสามารถในการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้มากกว่าบล็อกประสานทั่วไป เนื่องจากระหว่างกระบวนการบ่มวัสดุบล็อกประสาน มีการคลายนํ้าออกต่างกัน ซึ่งเหลือปริมาณนํ้าในวัสดุบล็อกประสานผสมซีเมนต์เถ้าลอยจากขยะน้อยกว่าบล็อกประสานโดยทั่วไป ในปริมาณเท่ากับ 98 g. จึงทำให้ผลของอุณหภูมิภายในที่ต่างกัน ประมาณ 1 - 1.2 °C ซึ่งน้ำหนักก้อนอยู่ที่ ± 6 kg. จึงสรุปตั้งแผนภูมิต่อไปนี้ (ตามภาพที่ 125)



ภาพที่ 125 แสดงภาพกราฟวิเคราะห์ห้มวล / ปริมาตร (หยอดรูปปูน) ทั้ง 3 ตัวอย่าง

ข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มปริมาณอัตราส่วนของซีเมนต์จากขยะในวัสดุที่มีอัตราส่วนปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มากกว่าวัสดุบล็อกประสาน เพื่อช่วยลดปริมาณซีเมนต์จากขยะที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ฝังกลบ รวมทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใต้ดิน รวมทั้งยังหาปริมาณอนุภาคนิวเคลียสที่ลดลงมากขึ้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติทางกายภาพ



รายการอ้างอิง

- Francesco Colangelo, Francesco Messina, & Raffaele Cioffi. (2015). Recycling of MSWI fly ash by means of cementitious double step cold bonding pelletization : Technological assessment for the production of lightweight artificial aggregates. *Journal of Hazardous Materials*, 2015(299), 181-191.
- Garcia-Lodeiro, V.Carelen-Taboada, A.Fernandez-Jimenez, & A.Palomo. (2015). Manufacture of hybrid cements with fly ash and bottom ash from a municipal solid waste incinerator. *Construction and Building Materials*, 2016(105), 218-226.
- Kae-Long Lin. (2004). The influence of municipal solid waste incinerator fly ash slag blended in cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 2005(35), 979-986.
- Kuen-Sheng Wang, Kae-Long Lin, & Ching-Hwa Lee. (2007). Melting of municipal solid waste incinerator fly ash by waste-derived thermite reaction. *Journal of Hazardous Materials*, 2008(162), 338-343.
- Xiaolu Guo, Wenpei Hu, & Huisheng Shi. (2013). Microstructure and self-solidification/stabilization (s/s) of heavy metals of nano-modified CFA-MSWIFA composite geopolymers. *Construction and Building Materials*, 2014(56), 81-86.
- กนกอร หั่นเจริญ. (2556). การวัดค่าสภาพการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อน. (วิทยานิพนธ์ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (มาตรวิทยา)), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2560). รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559. Retrieved from http://infofile.pcd.go.th/waste/wsthaz_annual59.pdf
- กรมอนามัย. (2555). สถานบริการสาธารณสุขกับการประเมิน carbon footprint. Retrieved from http://env.anamai.moph.go.th/ewtadmin/ewt/env/ewt_dl_link.php?nid=529
- กิตติพล เกียรติวิรายศ, เกียรติศักดิ์ ห้วยน้ำ, วันชัย ใจ้วประเสริฐ, & สมิตร์ ส่งพิริยะกิจ. (2547). คอนกรีตบล็อกมวลเบาจากกากอุตสาหกรรม. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 2, 2547.
- จรรยา เจริญเนตรกุล, & อัมพร หมดแสละ. (2554). บล็อกประสานผสมเถ้าและกะลาปาล์มน้ำมัน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, สงขลา.
- ฐิติวัลค์ เลื่อมกาญจนพันธ์. (2555). การศึกษาสมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยกักข้าง. (วิทยานิพนธ์ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

- (ฟิสิกส์), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ทศพร ชวรัตน์ปิ่นเจริญ. (2555). การพัฒนาฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยผ้าใยสังเคราะห์. (วิทยานิพนธ์ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ.
- ธนธร เงินชุกลิน. (2554). การประยุกต์ใช้เก้าอี้กลบในการผลิตบล็อกประสาน. (วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- ประชุม คำพุ่ม, โสภ วิชาญศักดิ์, & โจเซฟ เคดารี. (2550). การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านกำลังและการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกเพื่อพัฒนา งานวัสดุก่อสร้างและหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์. (วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.
- พันธ์ศักดิ์ ดาวเรือง. (2549). การศึกษาสัดส่วนผสมมวลรวมในการผลิตบล็อกประสาน. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- พันธ์ศักดิ์ ดาวเรือง. (2552). การศึกษาคูณสมบัติการต้านทานและส่งผ่านความร้อนของบล็อกประสาน. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- พันธุ์ดา พุฒิปาโรจน์. (2548). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความร้อน. เอกสารประกอบการสอนวิชา การออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน สาขาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร. กรุงเทพฯ.
- ภักดิ์วัฒน์ แสสนเจริญ. (2546). การประยุกต์ใช้เก้าอี้กลบจากเตาเผาขยะชุมชนทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนใน คอนกรีต. (วิทยานิพนธ์ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- มนัส อนุศิริ. (2554). ทฤษฎีและปฏิบัติการทดสอบวัสดุในงานวิศวกรรมโยธา. กรุงเทพฯ: ซีเอ็นยูเคชั่น.
- มาตรฐานผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Environmental Impact Assessment EIA. (2535). ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 109(ตอนที่ 37).
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก. (2533). ราชกิจจานุเบกษา, เล่ม 107(ตอนที่ 119), 1-11.
- ศรัณยา รัตนากร. (2558). การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยลูกตาล. (วิทยานิพนธ์ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมการอาคาร)), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเทศบาลเมืองจังหวัดภูเก็ต. (2560). รายงานการปฏิบัติตามมาตรการลดผลกระทบ และติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม ประจำเดือนมกราคม - มิถุนายน 2560 (เล่มที่1/2).
- สำเร็จ สารมาคม. (2556). การประยุกต์ใช้เก้าอี้กลบในการผลิตบล็อกประสาน. (วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- สุตินัย ยามศรีสุข. (2554). การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้หญ้าสลาบหลวงเป็นฉนวนกันความร้อนเข้าสู่

- อาคาร. (วิทยานิพนธ์ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ.
- สุธีร์ ตราดธารทิพย์. (2548). การใช้ประโยชน์เก้าอี้ลอยจากเตาเผาขยะชุมชนโดยการทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนในซีเมนต์มอร์ตาร์. (วิทยานิพนธ์ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สุวิทย์ชัย ปลื้มฤทัย. (2555). การพัฒนาคอนกรีตบล็อกจากผักตบชวา. (วิทยานิพนธ์ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ.
- องค์การอนามัยโลก. (2554). มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค. Retrieved from <https://www.pwa.co.th/download/pwastandard50-1.pdf>
- อาทร ชูพลสัจย์. (2555). การผลิตบล็อกประสาน เพื่อชุมชนตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์, กรุงเทพฯ.





ภาคผนวก

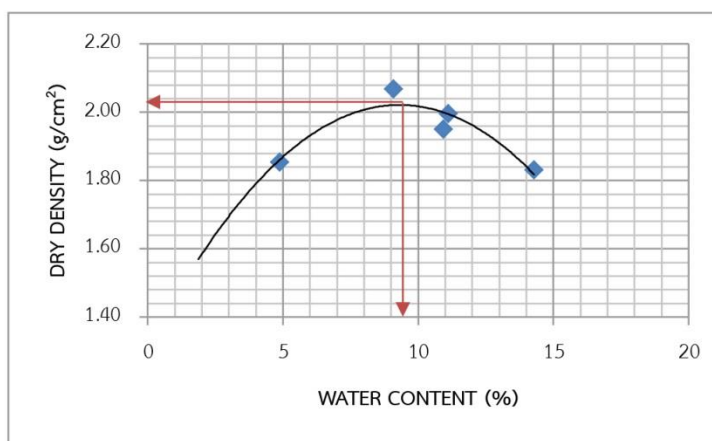
ภาคผนวก ก ทดสอบหาปริมาณน้ำ มาตรฐาน Standard Proctor test



ตารางที่ 1.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (1 : 0 : 6)

ตัวอย่างที่ 1 ครั้งที่ 1

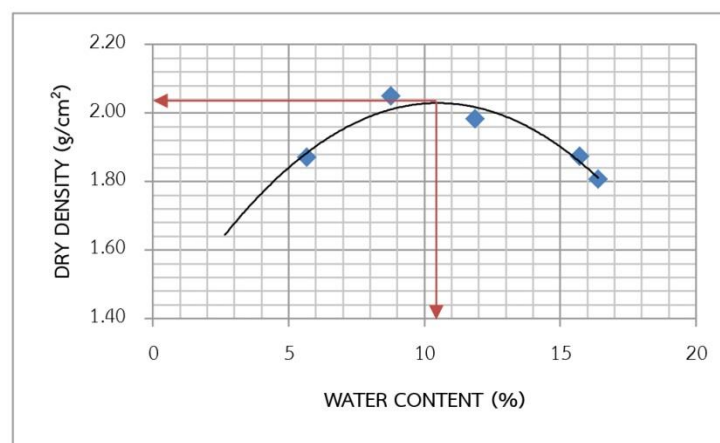
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 913.35 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 79 | 83 | 81 | 119 | 105 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 77 | 78 | 77 | 112 | 96 |
| WT. OF CAN ; g. | 36 | 33 | 33 | 48 | 33 |
| WT. OF WATER ; g. | 2 | 5 | 4 | 7 | 9 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 41 | 45 | 44 | 64 | 63 |
| Z % WATER CONTENT | 4.88 | 11.11 | 9.09 | 10.94 | 14.29 |
| DENSITY DETERMINASTION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5835 | 6085 | 6120 | 6035 | 5970 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4060 | 4060 | 4060 | 4060 | 4060 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1775.0 | 2025.0 | 2060.0 | 1975.0 | 1910.0 |
| Y vol mold | 913.35 | 913.35 | 913.35 | 913.35 | 913.35 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.94 | 2.22 | 2.26 | 2.16 | 2.09 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.85 | 2.00 | 2.07 | 1.95 | 1.83 |



ตารางที่ 1.2 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (1 : 0 : 6)

ตัวอย่างที่ 1 ครั้งที่ 2

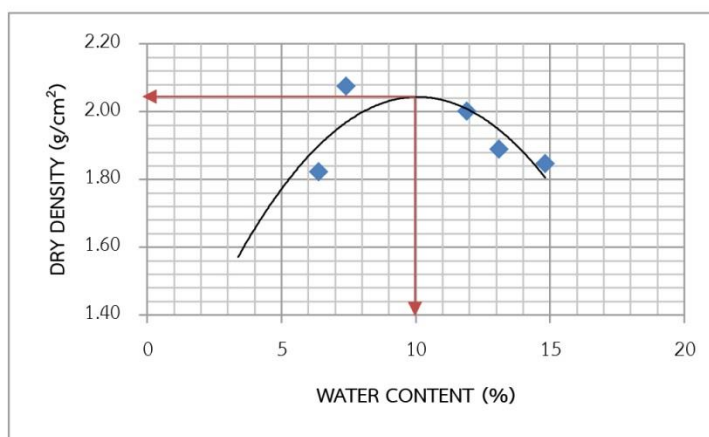
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 913.35 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 93 | 95 | 101 | 116 | 105 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 90 | 90 | 94 | 105 | 95 |
| WT. OF CAN ; g. | 37 | 33 | 35 | 35 | 34 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 5 | 7 | 11 | 10 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 53 | 57 | 59 | 70 | 61 |
| Z % WATER CONTENT | 5.66 | 8.77 | 11.86 | 15.71 | 16.39 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5865 | 6095 | 6085 | 6040 | 5980 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4060 | 4060 | 4060 | 4060 | 4060 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1805.0 | 2035.0 | 2025.0 | 1980.0 | 1920.0 |
| Y vol mold | 913.35 | 913.35 | 913.35 | 913.35 | 913.35 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.98 | 2.23 | 2.22 | 2.17 | 2.10 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.87 | 2.05 | 1.98 | 1.87 | 1.81 |



ตารางที่ 1.3 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (1 : 0 : 6)

ตัวอย่างที่ 1 ครั้งที่ 3

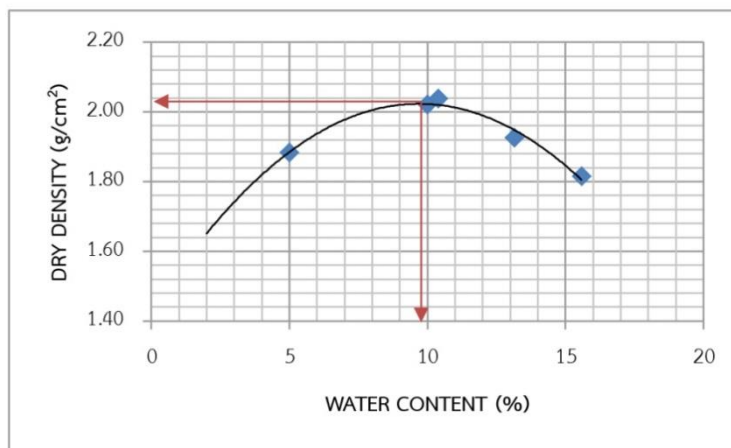
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 913.35 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 82 | 91 | 125 | 129 | 127 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 79 | 87 | 115 | 118 | 95 |
| WT. OF CAN ; g. | 32 | 33 | 31 | 34 | 34 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 4 | 10 | 11 | 12 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 47 | 54 | 84 | 84 | 81 |
| Z % WATER CONTENT | 6.38 | 7.41 | 11.90 | 13.10 | 14.81 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5830 | 6095 | 6105 | 6010 | 5995 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4060 | 4060 | 4060 | 4060 | 4060 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1770.0 | 2035.0 | 2045.0 | 1950.0 | 1935.0 |
| Y vol mold | 913.35 | 913.35 | 913.35 | 913.35 | 913.35 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.94 | 2.23 | 2.24 | 2.13 | 2.12 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.82 | 2.07 | 2.00 | 1.89 | 1.85 |



ตารางที่ 2.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (0.9 : 0.1 : 6)

ตัวอย่างที่ 2 ครั้งที่ 1

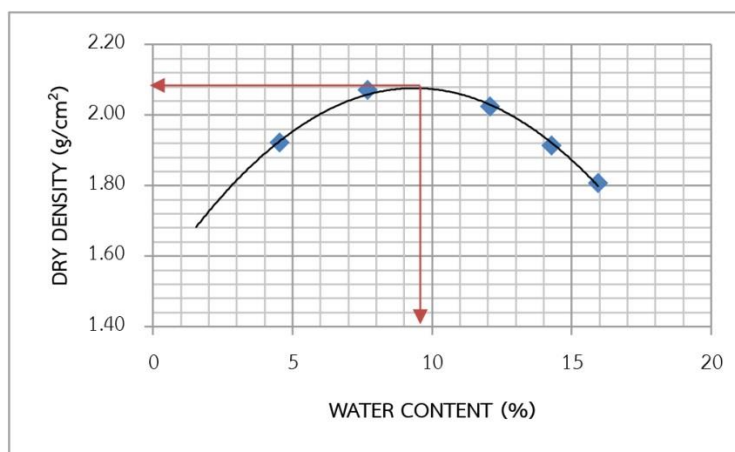
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 913.35 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 96 | 98 | 121 | 118 | 120 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 93 | 92 | 113 | 108 | 108 |
| WT. OF CAN ; g. | 33 | 32 | 36 | 32 | 31 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 60 | 60 | 77 | 76 | 77 |
| Z % WATER CONTENT | 5.00 | 10.00 | 10.39 | 13.16 | 15.58 |
| DENSITY DETERMINASTION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5865 | 6090 | 6115 | 6050 | 5975 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4060 | 4060 | 4060 | 4060 | 4060 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1805.0 | 2030.0 | 2055.0 | 1990.0 | 1915.0 |
| Y vol mold | 913.35 | 913.35 | 913.35 | 913.35 | 913.35 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.98 | 2.22 | 2.25 | 2.18 | 2.10 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.88 | 2.02 | 2.04 | 1.93 | 1.81 |



ตารางที่ 2.2 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (0.9 : 0.1 : 6)

ตัวอย่างที่ 2 ครั้งที่ 2

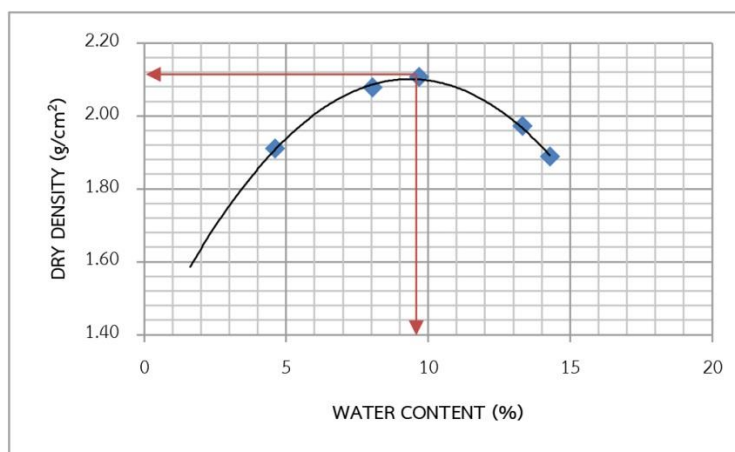
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.16 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 57 | 102 | 100 | 132 | 112 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 56 | 97 | 93 | 120 | 101 |
| WT. OF CAN ; g. | 34 | 32 | 35 | 36 | 32 |
| WT. OF WATER ; g. | 1 | 5 | 7 | 12 | 11 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 22 | 65 | 58 | 84 | 69 |
| Z % WATER CONTENT | 4.55 | 7.69 | 12.07 | 14.29 | 15.94 |
| DENSITY DETERMINASTION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5935 | 6140 | 6175 | 6100 | 6015 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1860.0 | 2065.0 | 2100.0 | 2025.0 | 1940.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 2.01 | 2.23 | 2.27 | 2.19 | 2.09 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.92 | 2.07 | 2.02 | 1.91 | 1.81 |



ตารางที่ 2.3 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (0.9 : 0.1 : 6)

ตัวอย่างที่ 2 ครั้งที่ 3

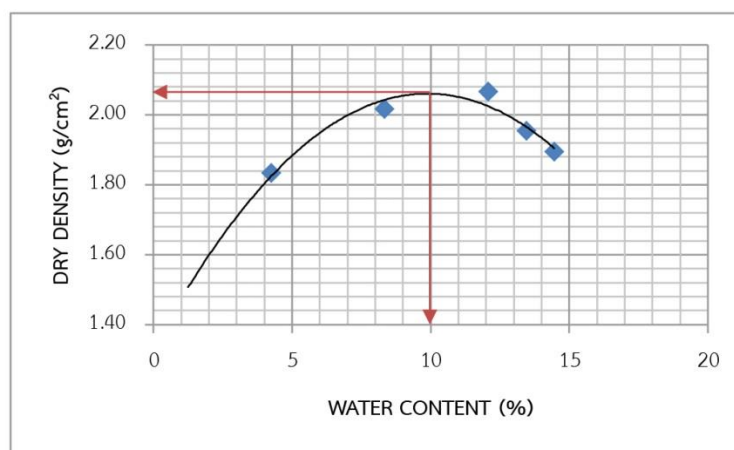
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 913.35 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 103 | 127 | 138 | 136 | 131 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 100 | 120 | 129 | 124 | 119 |
| WT. OF CAN ; g. | 35 | 33 | 36 | 34 | 35 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 7 | 9 | 12 | 12 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 65 | 87 | 93 | 90 | 84 |
| Z % WATER CONTENT | 4.62 | 8.05 | 9.68 | 13.33 | 14.29 |
| DENSITY DETERMINASTION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5885 | 6110 | 6170 | 6100 | 6030 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4060 | 4060 | 4060 | 4060 | 4060 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1825.0 | 2050.0 | 2110.0 | 2040.0 | 1970.0 |
| Y vol mold | 913.35 | 913.35 | 913.35 | 913.35 | 913.35 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 2.00 | 2.24 | 2.31 | 2.23 | 2.16 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.91 | 2.08 | 2.11 | 1.97 | 1.89 |



ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (0.8 : 0.2 : 6)

ตัวอย่างที่ 3 ครั้งที่ 1

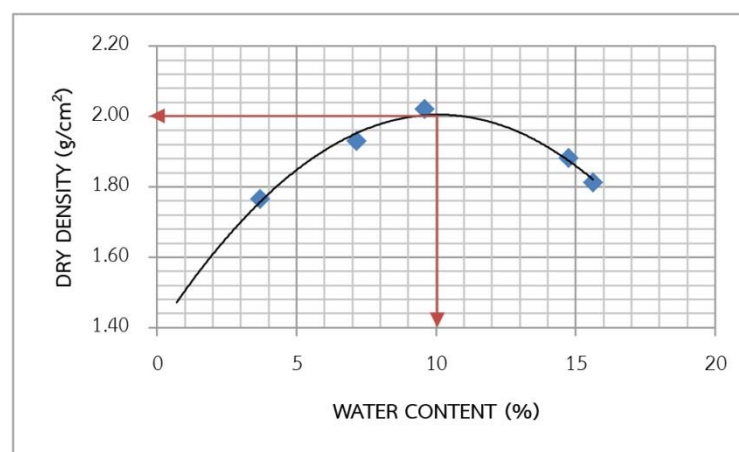
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 913.35 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 81 | 97 | 92 | 94 | 129 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 79 | 92 | 85 | 87 | 117 |
| WT. OF CAN ; g. | 32 | 32 | 27 | 35 | 34 |
| WT. OF WATER ; g. | 2 | 5 | 7 | 7 | 12 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 47 | 60 | 58 | 52 | 83 |
| Z % WATER CONTENT | 4.26 | 8.33 | 12.07 | 13.46 | 14.46 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5805 | 6055 | 6175 | 6085 | 6040 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4060 | 4060 | 4060 | 4060 | 4060 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1745.0 | 1995.0 | 2115.0 | 2025.0 | 1980.0 |
| Y vol mold | 913.35 | 913.35 | 913.35 | 913.35 | 913.35 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.91 | 2.18 | 2.32 | 2.22 | 2.17 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.83 | 2.02 | 2.07 | 1.95 | 1.89 |



ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (0.8 : 0.2 : 6)

ตัวอย่างที่ 3 ครั้งที่ 2

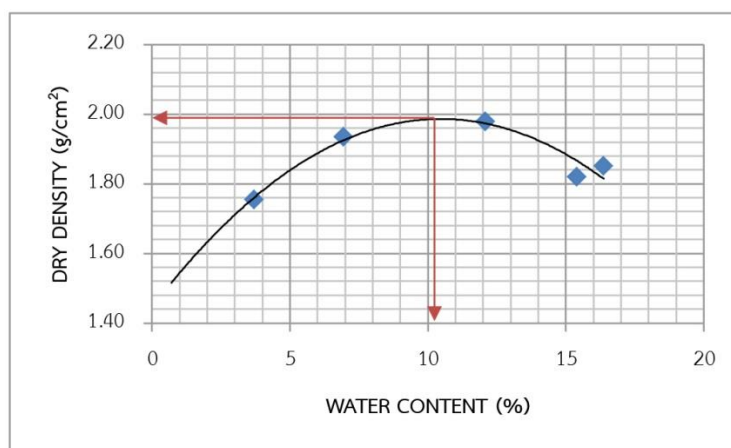
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 90 | 109 | 106 | 104 | 110 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 88 | 104 | 99 | 95 | 100 |
| WT. OF CAN ; g. | 34 | 34 | 26 | 34 | 36 |
| WT. OF WATER ; g. | 2 | 5 | 7 | 9 | 10 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 54 | 70 | 73 | 61 | 64 |
| Z % WATER CONTENT | 3.70 | 7.14 | 9.59 | 14.75 | 15.63 |
| DENSITY DETERMINASTION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5770 | 5990 | 6125 | 6075 | 6015 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1695.0 | 1915.0 | 2050.0 | 2000.0 | 1940.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.83 | 2.07 | 2.21 | 2.16 | 2.09 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.76 | 1.93 | 2.02 | 1.88 | 1.81 |



ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (0.8 : 0.2 : 6)

ตัวอย่างที่ 3 ครั้งที่ 3

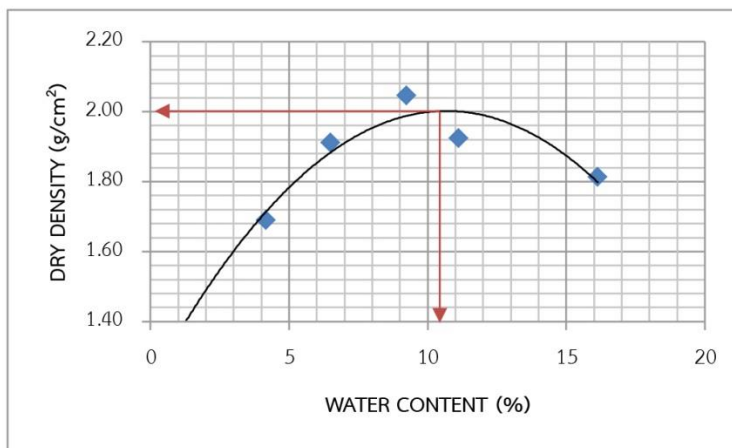
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 92 | 110 | 98 | 112 | 108 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 90 | 105 | 91 | 103 | 98 |
| WT. OF CAN ; g. | 36 | 33 | 33 | 48 | 33 |
| WT. OF WATER ; g. | 2 | 5 | 7 | 9 | 10 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 54 | 72 | 58 | 55 | 65 |
| Z % WATER CONTENT | 3.70 | 6.94 | 12.07 | 16.36 | 15.38 |
| DENSITY DETERMINASTION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5760 | 5992 | 6130 | 6070 | 6020 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1685.0 | 1917.0 | 2055.0 | 1995.0 | 1945.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.82 | 2.07 | 2.22 | 2.15 | 2.10 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.75 | 1.94 | 1.98 | 1.85 | 1.82 |



ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (0.7 : 0.3 : 6)

ตัวอย่างที่ 4 ครั้งที่ 1

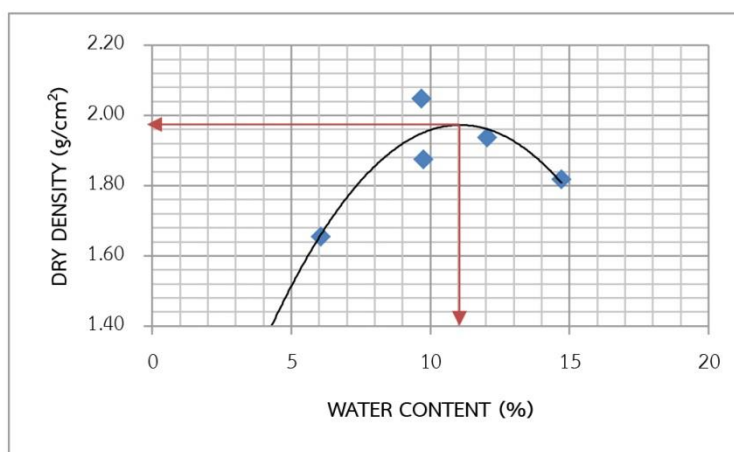
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 85 | 114 | 106 | 94 | 105 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 83 | 109 | 100 | 88 | 95 |
| WT. OF CAN ; g. | 35 | 32 | 35 | 34 | 33 |
| WT. OF WATER ; g. | 2 | 5 | 6 | 6 | 10 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 48 | 77 | 65 | 54 | 62 |
| Z % WATER CONTENT | 4.17 | 6.49 | 9.23 | 11.11 | 16.13 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5705 | 5960 | 6145 | 6055 | 6025 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1630.0 | 1885.0 | 2070.0 | 1980.0 | 1950.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.76 | 2.04 | 2.24 | 2.14 | 2.11 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.69 | 1.91 | 2.05 | 1.92 | 1.81 |



ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (0.7 : 0.3 : 6)

ตัวอย่างที่ 4 ครั้งที่ 2

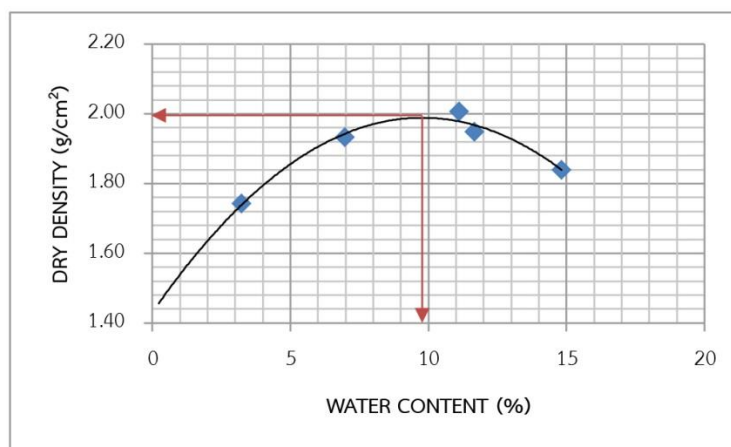
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 67 | 78 | 100 | 127 | 151 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 65 | 74 | 94 | 117 | 136 |
| WT. OF CAN ; g. | 32 | 33 | 32 | 34 | 34 |
| WT. OF WATER ; g. | 2 | 4 | 6 | 10 | 15 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 33 | 41 | 62 | 83 | 102 |
| Z % WATER CONTENT | 6.06 | 9.76 | 9.68 | 12.05 | 14.71 |
| DENSITY DETERMINASTION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5700 | 5980 | 6155 | 6085 | 6005 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1625.0 | 1905.0 | 2080.0 | 2010.0 | 1930.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.75 | 2.06 | 2.25 | 2.17 | 2.08 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.65 | 1.87 | 2.05 | 1.94 | 1.82 |



ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (0.7 : 0.3 : 6)

ตัวอย่างที่ 4 ครั้งที่ 3

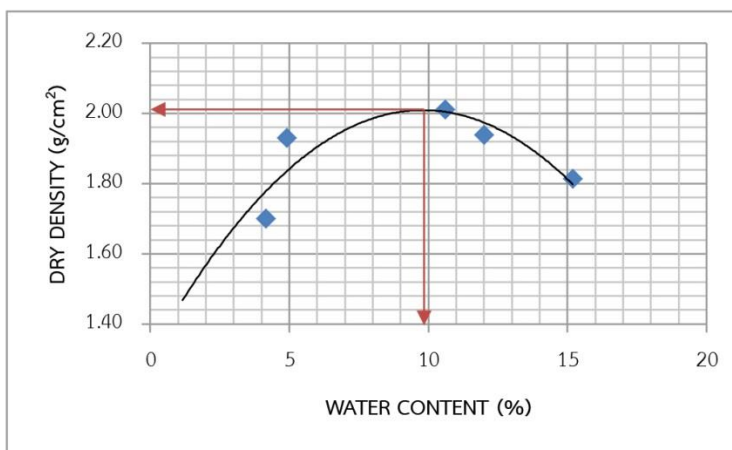
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 65 | 78 | 117 | 99 | 93 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 64 | 75 | 109 | 92 | 85 |
| WT. OF CAN ; g. | 33 | 32 | 37 | 32 | 31 |
| WT. OF WATER ; g. | 1 | 3 | 8 | 7 | 8 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 31 | 43 | 72 | 60 | 54 |
| Z % WATER CONTENT | 3.23 | 6.98 | 11.11 | 11.67 | 14.81 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5740 | 5990 | 6140 | 6090 | 6030 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1665.0 | 1915.0 | 2065.0 | 2015.0 | 1955.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.80 | 2.07 | 2.23 | 2.18 | 2.11 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.74 | 1.93 | 2.01 | 1.95 | 1.84 |



ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (0.6 : 0.4 : 6)

ตัวอย่างที่ 5 ครั้งที่ 1

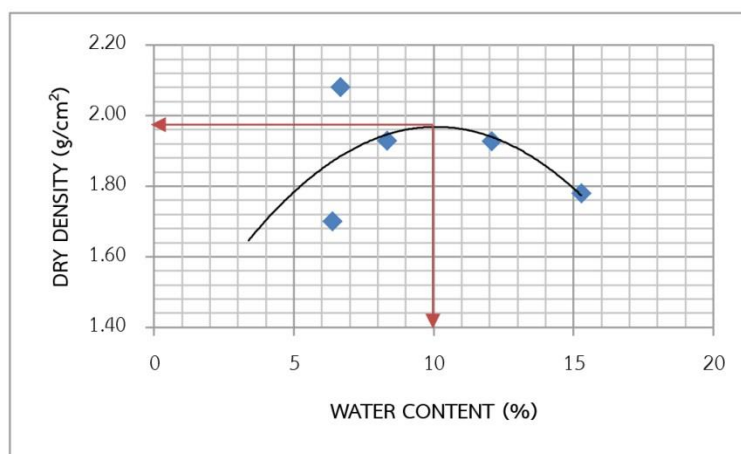
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 107 | 97 | 108 | 119 | 123 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 104 | 94 | 101 | 110 | 111 |
| WT. OF CAN ; g. | 32 | 33 | 35 | 35 | 32 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 3 | 7 | 9 | 12 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 72 | 61 | 66 | 75 | 79 |
| Z % WATER CONTENT | 4.17 | 4.92 | 10.61 | 12.00 | 15.19 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5715 | 5950 | 6135 | 6085 | 6010 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1640.0 | 1875.0 | 2060.0 | 2010.0 | 1935.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.77 | 2.02 | 2.22 | 2.17 | 2.09 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.70 | 1.93 | 2.01 | 1.94 | 1.81 |



ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (0.6 : 0.4 : 6)

ตัวอย่างที่ 5 ครั้งที่ 2

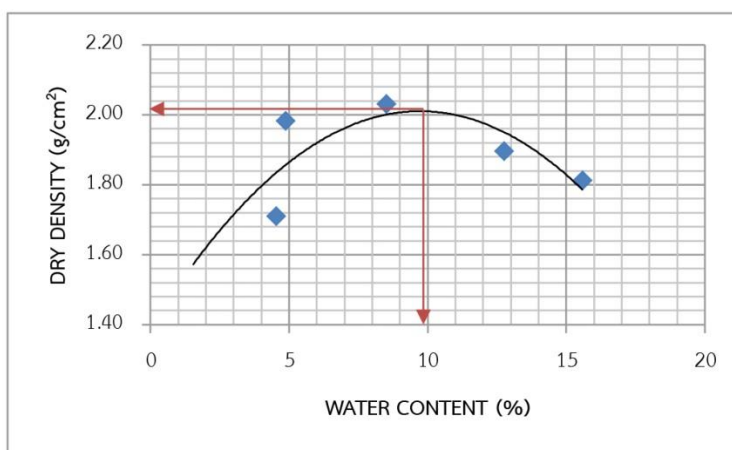
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 85 | 84 | 84 | 99 | 118 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 82 | 80 | 81 | 92 | 107 |
| WT. OF CAN ; g. | 35 | 32 | 36 | 34 | 35 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 4 | 3 | 7 | 11 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 47 | 48 | 45 | 58 | 72 |
| Z % WATER CONTENT | 6.38 | 8.33 | 6.67 | 12.07 | 15.28 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5750 | 6010 | 6130 | 6075 | 5975 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1675.0 | 1935.0 | 2055.0 | 2000.0 | 1900.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.81 | 2.09 | 2.22 | 2.16 | 2.05 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.70 | 1.93 | 2.08 | 1.93 | 1.78 |



ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (0.6 : 0.4 : 6)

ตัวอย่างที่ 5 ครั้งที่ 3

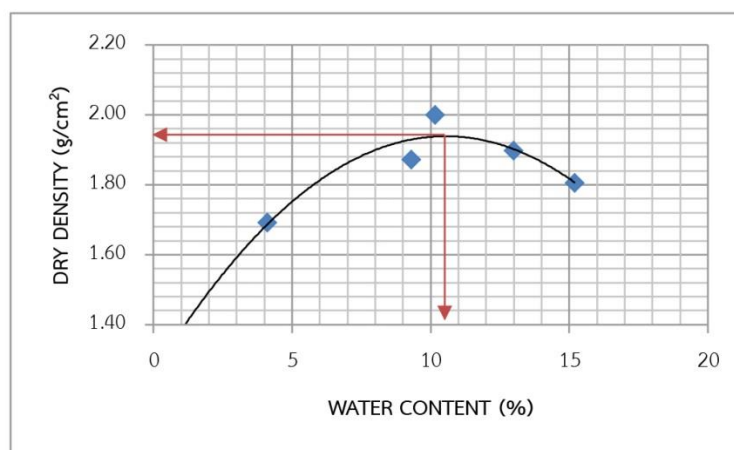
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 101 | 75 | 78 | 88 | 122 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 98 | 73 | 74 | 82 | 110 |
| WT. OF CAN ; g. | 32 | 32 | 27 | 35 | 33 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 2 | 4 | 6 | 12 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 66 | 41 | 47 | 47 | 77 |
| Z % WATER CONTENT | 4.55 | 4.88 | 8.51 | 12.77 | 15.58 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5730 | 6000 | 6115 | 6055 | 6015 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1655.0 | 1925.0 | 2040.0 | 1980.0 | 1940.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.79 | 2.08 | 2.20 | 2.14 | 2.09 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.71 | 1.98 | 2.03 | 1.90 | 1.81 |



ตารางที่ 6.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (0.5 : 0.5 : 6)

ตัวอย่างที่ 6 ครั้งที่ 1

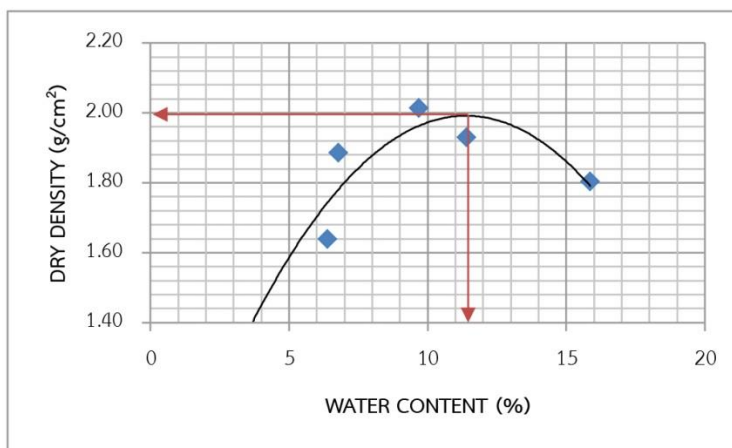
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 110 | 81 | 91 | 121 | 127 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 107 | 77 | 85 | 111 | 115 |
| WT. OF CAN ; g. | 34 | 34 | 26 | 34 | 36 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 4 | 6 | 10 | 12 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 73 | 43 | 59 | 77 | 79 |
| Z % WATER CONTENT | 4.11 | 9.30 | 10.17 | 12.99 | 15.19 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5705 | 5970 | 6115 | 6060 | 6000 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1630.0 | 1895.0 | 2040.0 | 1985.0 | 1925.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.76 | 2.05 | 2.20 | 2.14 | 2.08 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.69 | 1.87 | 2.00 | 1.90 | 1.80 |



ตารางที่ 6.2 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (0.5 : 0.5 : 6)

ตัวอย่างที่ 6 ครั้งที่ 2

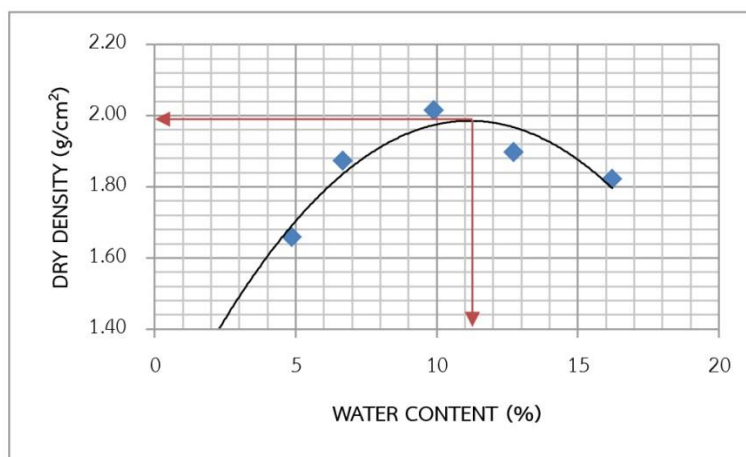
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 86 | 95 | 101 | 135 | 127 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 83 | 91 | 95 | 126 | 114 |
| WT. OF CAN ; g. | 36 | 32 | 33 | 47 | 32 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 4 | 6 | 9 | 13 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 47 | 59 | 62 | 79 | 82 |
| Z % WATER CONTENT | 6.38 | 6.78 | 9.68 | 11.39 | 15.85 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5690 | 5940 | 6120 | 6065 | 6010 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1615.0 | 1865.0 | 2045.0 | 1990.0 | 1935.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.74 | 2.01 | 2.21 | 2.15 | 2.09 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.64 | 1.89 | 2.01 | 1.93 | 1.80 |



ตารางที่ 6.3 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 6 (0.5 : 0.5 : 6)

ตัวอย่างที่ 6 ครั้งที่ 3

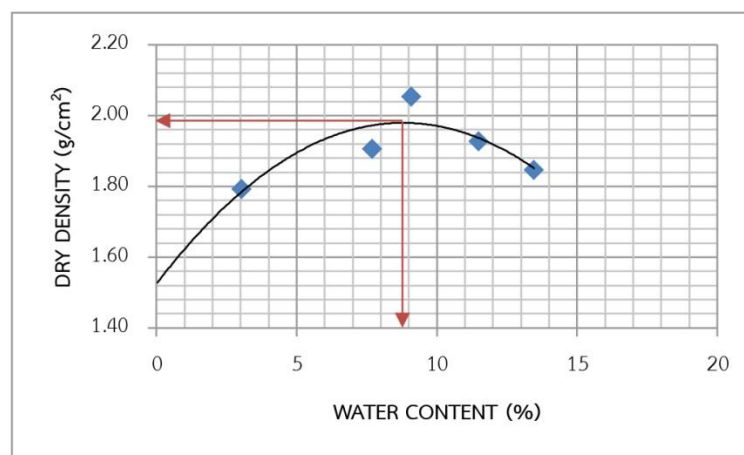
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 154 | 100 | 134 | 95 | 121 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 149 | 96 | 125 | 88 | 109 |
| WT. OF CAN ; g. | 46 | 36 | 34 | 33 | 35 |
| WT. OF WATER ; g. | 5 | 4 | 9 | 7 | 12 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 103 | 60 | 91 | 55 | 74 |
| Z % WATER CONTENT | 4.85 | 6.67 | 9.89 | 12.73 | 16.22 |
| DENSITY DETERMINASTION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5685 | 5925 | 6125 | 6055 | 6035 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1610.0 | 1850.0 | 2050.0 | 1980.0 | 1960.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.74 | 2.00 | 2.21 | 2.14 | 2.12 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.66 | 1.87 | 2.01 | 1.90 | 1.82 |



ตารางที่ 7.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (1 : 0 : 7)

ตัวอย่างที่ 7 ครั้งที่ 1

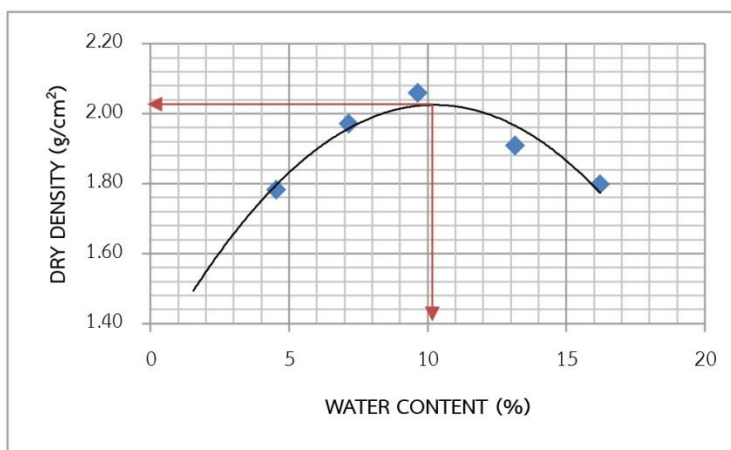
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 100 | 87 | 120 | 129 | 90 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 98 | 83 | 113 | 119 | 83 |
| WT. OF CAN ; g. | 32 | 31 | 36 | 32 | 31 |
| WT. OF WATER ; g. | 2 | 4 | 7 | 10 | 7 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 66 | 52 | 77 | 87 | 52 |
| Z % WATER CONTENT | 3.03 | 7.69 | 9.09 | 11.49 | 13.46 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5785 | 5975 | 6150 | 6065 | 6015 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1710.0 | 1900.0 | 2075.0 | 1990.0 | 1940.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.85 | 2.05 | 2.24 | 2.15 | 2.09 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.79 | 1.91 | 2.05 | 1.93 | 1.85 |



ตารางที่ 7.2 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (1 : 0 : 7)

ตัวอย่างที่ 7 ครั้งที่ 2

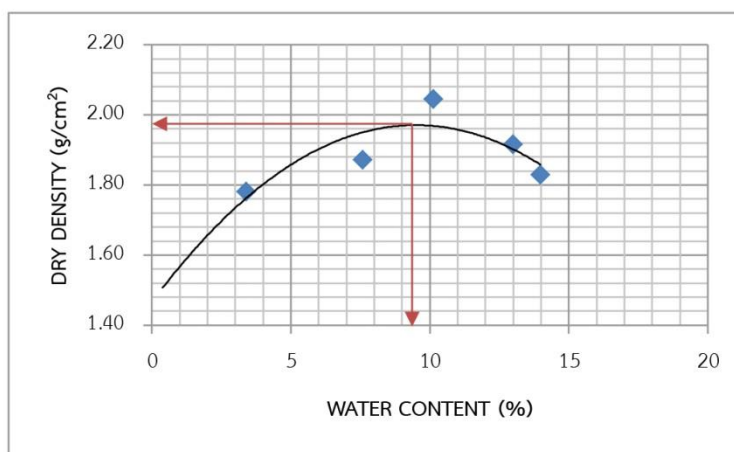
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 104 | 107 | 126 | 120 | 120 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 101 | 102 | 118 | 110 | 108 |
| WT. OF CAN ; g. | 35 | 32 | 35 | 34 | 34 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 5 | 8 | 10 | 12 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 66 | 70 | 83 | 76 | 74 |
| Z % WATER CONTENT | 4.55 | 7.14 | 9.64 | 13.16 | 16.22 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5800 | 6030 | 6165 | 6075 | 6010 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1725.0 | 1955.0 | 2090.0 | 2000.0 | 1935.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.86 | 2.11 | 2.26 | 2.16 | 2.09 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.78 | 1.97 | 2.06 | 1.91 | 1.80 |



ตารางที่ 7.3 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (1 : 0 : 7)

ตัวอย่างที่ 7 ครั้งที่ 3

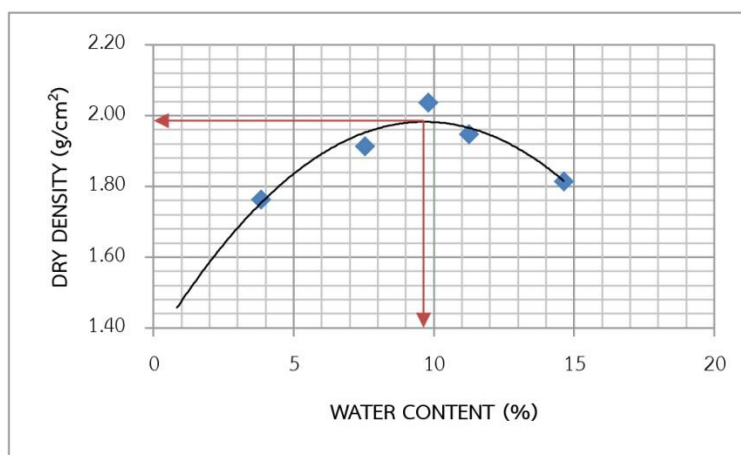
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 93 | 103 | 119 | 121 | 140 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 91 | 98 | 111 | 111 | 127 |
| WT. OF CAN ; g. | 32 | 32 | 32 | 34 | 34 |
| WT. OF WATER ; g. | 2 | 5 | 8 | 10 | 13 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 59 | 66 | 79 | 77 | 93 |
| Z % WATER CONTENT | 3.39 | 7.58 | 10.13 | 12.99 | 13.98 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5780 | 5940 | 6160 | 6080 | 6005 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1705.0 | 1865.0 | 2085.0 | 2005.0 | 1930.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.84 | 2.01 | 2.25 | 2.16 | 2.08 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.78 | 1.87 | 2.04 | 1.92 | 1.83 |



ตารางที่ 8.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (0.9 : 0.1 : 7)

ตัวอย่างที่ 8 ครั้งที่ 1

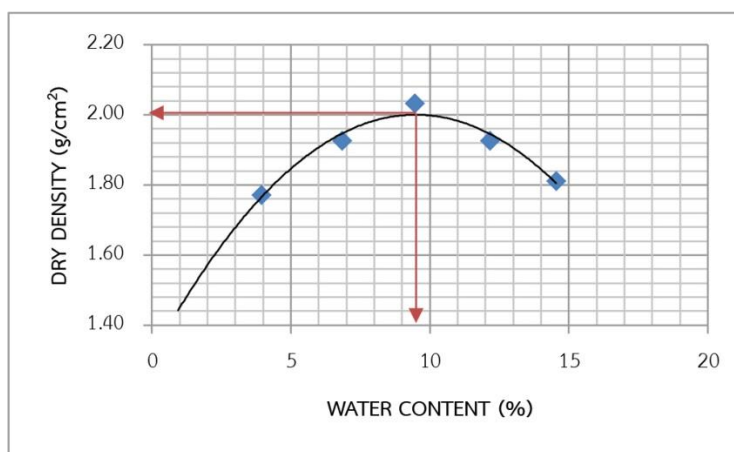
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 113 | 90 | 91 | 124 | 126 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 110 | 86 | 86 | 115 | 114 |
| WT. OF CAN ; g. | 32 | 33 | 35 | 35 | 32 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 4 | 5 | 9 | 12 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 78 | 53 | 51 | 80 | 82 |
| Z % WATER CONTENT | 3.85 | 7.55 | 9.80 | 11.25 | 14.63 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5770 | 5980 | 6145 | 6080 | 6000 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1695.0 | 1905.0 | 2070.0 | 2005.0 | 1925.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.83 | 2.06 | 2.24 | 2.16 | 2.08 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.76 | 1.91 | 2.04 | 1.95 | 1.81 |



ตารางที่ 8.2 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (0.9 : 0.1 : 7)

ตัวอย่างที่ 8 ครั้งที่ 2

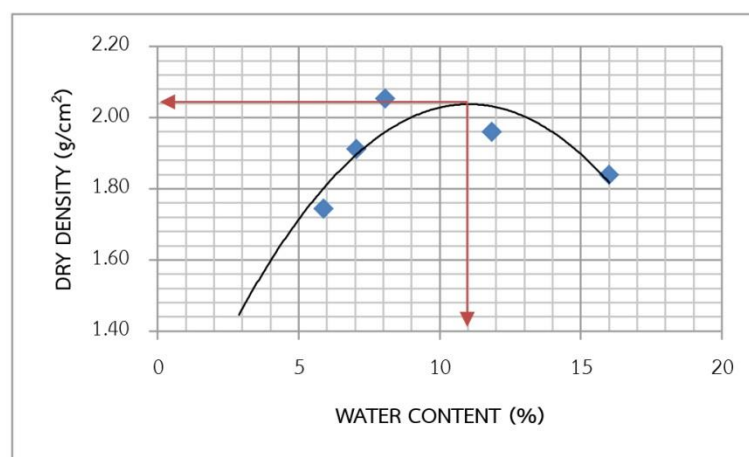
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 121 | 113 | 115 | 117 | 98 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 118 | 108 | 108 | 108 | 90 |
| WT. OF CAN ; g. | 42 | 35 | 34 | 34 | 35 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 5 | 7 | 9 | 8 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 76 | 73 | 74 | 74 | 55 |
| Z % WATER CONTENT | 3.95 | 6.85 | 9.46 | 12.16 | 14.55 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5780 | 5980 | 6135 | 6075 | 5995 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1705.0 | 1905.0 | 2060.0 | 2000.0 | 1920.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.84 | 2.06 | 2.22 | 2.16 | 2.07 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.77 | 1.93 | 2.03 | 1.93 | 1.81 |



ตารางที่ 8.3 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (0.9 : 0.1 : 7)

ตัวอย่างที่ 8 ครั้งที่ 3

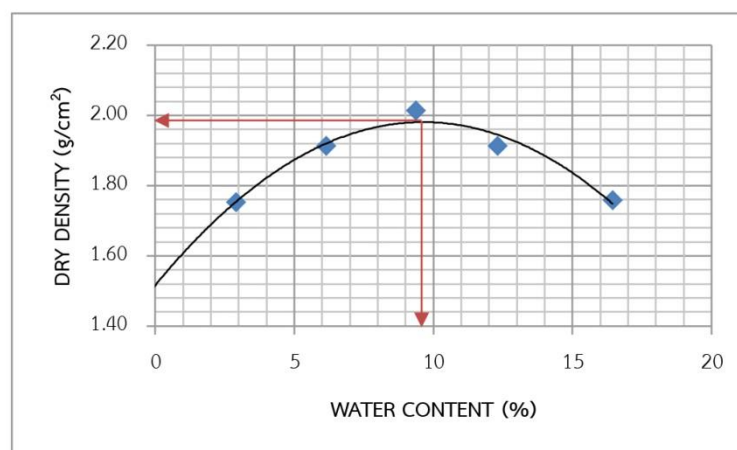
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 96 | 111 | 101 | 119 | 93 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 93 | 106 | 96 | 110 | 85 |
| WT. OF CAN ; g. | 42 | 35 | 34 | 34 | 35 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 5 | 5 | 9 | 8 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 51 | 71 | 62 | 76 | 50 |
| Z % WATER CONTENT | 5.88 | 7.04 | 8.06 | 11.84 | 16.00 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5785 | 5970 | 6130 | 6105 | 6050 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1710.0 | 1895.0 | 2055.0 | 2030.0 | 1975.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.85 | 2.05 | 2.22 | 2.19 | 2.13 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.74 | 1.91 | 2.05 | 1.96 | 1.84 |



ตารางที่ 9.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (0.8 : 0.2 : 7)

ตัวอย่างที่ 9 ครั้งที่ 1

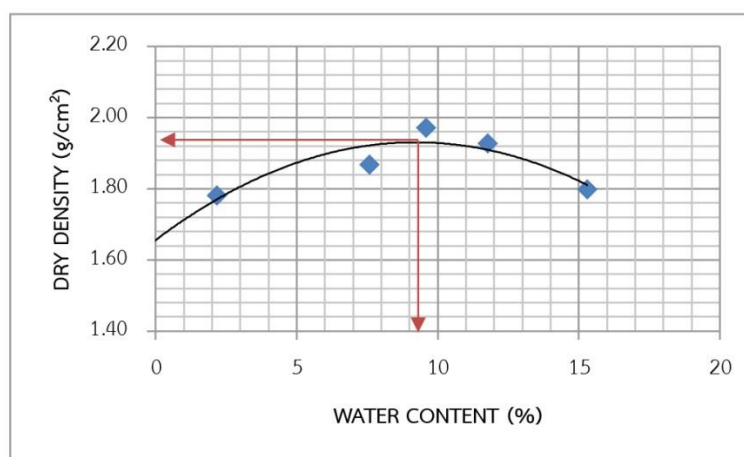
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 105 | 103 | 96 | 107 | 121 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 103 | 99 | 90 | 99 | 109 |
| WT. OF CAN ; g. | 34 | 34 | 26 | 34 | 36 |
| WT. OF WATER ; g. | 2 | 4 | 6 | 8 | 12 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 69 | 65 | 64 | 65 | 73 |
| Z % WATER CONTENT | 2.90 | 6.15 | 9.38 | 12.31 | 16.44 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5745 | 5955 | 6115 | 6065 | 5970 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1670.0 | 1880.0 | 2040.0 | 1990.0 | 1895.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.80 | 2.03 | 2.20 | 2.15 | 2.05 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.75 | 1.91 | 2.01 | 1.91 | 1.76 |



ตารางที่ 9.2 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (0.8 : 0.2 : 7)

ตัวอย่างที่ 9 ครั้งที่ 2

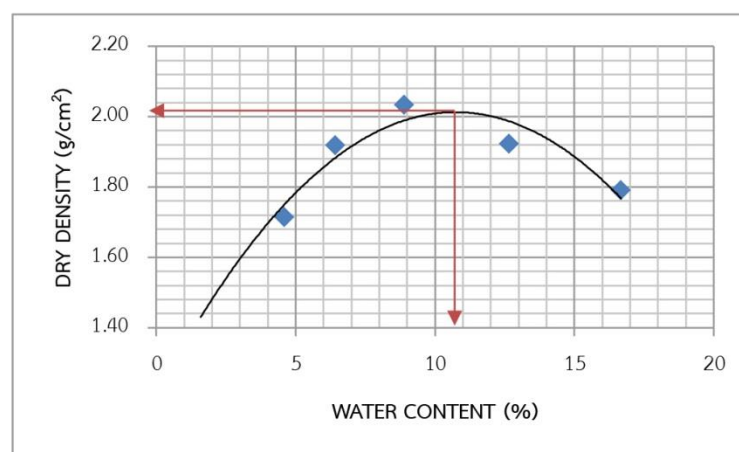
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 83 | 103 | 113 | 124 | 130 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 82 | 98 | 106 | 116 | 117 |
| WT. OF CAN ; g. | 36 | 32 | 33 | 48 | 32 |
| WT. OF WATER ; g. | 1 | 5 | 7 | 8 | 13 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 46 | 66 | 73 | 68 | 85 |
| Z % WATER CONTENT | 2.17 | 7.58 | 9.59 | 11.76 | 15.29 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5760 | 5935 | 6075 | 6070 | 5995 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1685.0 | 1860.0 | 2000.0 | 1995.0 | 1920.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.82 | 2.01 | 2.16 | 2.15 | 2.07 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.78 | 1.87 | 1.97 | 1.93 | 1.80 |



ตารางที่ 9.3 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (0.8 : 0.2 : 7)

ตัวอย่างที่ 9 ครั้งที่ 3

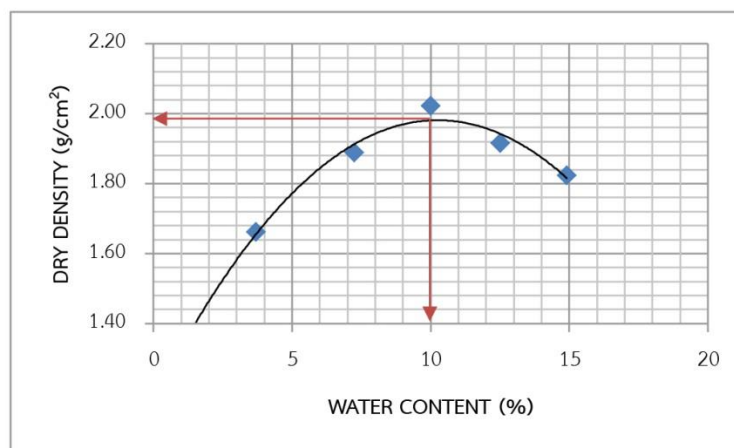
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 123 | 115 | 125 | 132 | 118 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 119 | 110 | 117 | 121 | 106 |
| WT. OF CAN ; g. | 32 | 32 | 27 | 34 | 34 |
| WT. OF WATER ; g. | 4 | 5 | 8 | 11 | 12 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 87 | 78 | 90 | 87 | 72 |
| Z % WATER CONTENT | 4.60 | 6.41 | 8.89 | 12.64 | 16.67 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5735 | 5965 | 6125 | 6080 | 6010 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1660.0 | 1890.0 | 2050.0 | 2005.0 | 1935.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.79 | 2.04 | 2.21 | 2.16 | 2.09 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.71 | 1.92 | 2.03 | 1.92 | 1.79 |



ตารางที่ 10.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (0.7 : 0.3 : 7)

ตัวอย่างที่ 10 ครั้งที่ 1

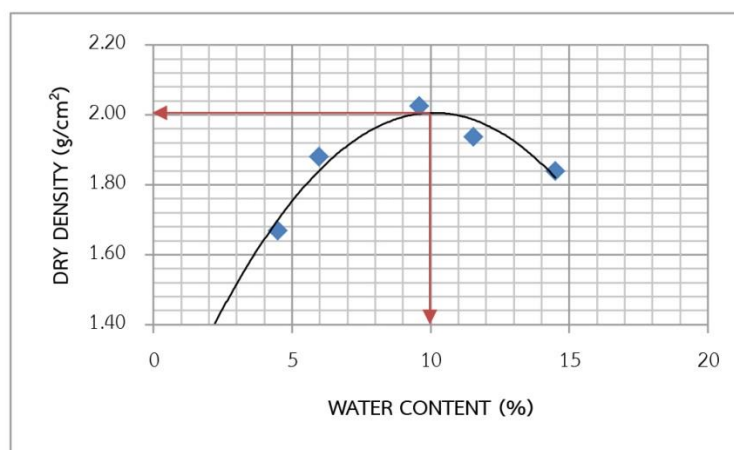
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 92 | 106 | 111 | 133 | 164 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 90 | 101 | 104 | 122 | 147 |
| WT. OF CAN ; g. | 36 | 32 | 34 | 34 | 33 |
| WT. OF WATER ; g. | 2 | 5 | 7 | 11 | 17 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 54 | 69 | 70 | 88 | 114 |
| Z % WATER CONTENT | 3.70 | 7.25 | 10.00 | 12.50 | 14.91 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5670 | 5950 | 6135 | 6070 | 6015 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1595.0 | 1875.0 | 2060.0 | 1995.0 | 1940.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.72 | 2.02 | 2.22 | 2.15 | 2.09 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.66 | 1.89 | 2.02 | 1.91 | 1.82 |



ตารางที่ 10.2 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (0.7 : 0.3 : 7)

ตัวอย่างที่ 10 ครั้งที่ 2

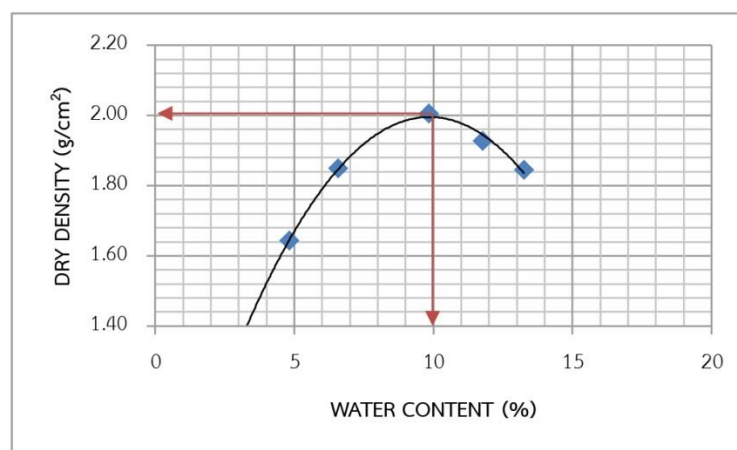
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 103 | 103 | 116 | 119 | 111 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 100 | 99 | 109 | 110 | 101 |
| WT. OF CAN ; g. | 33 | 32 | 36 | 32 | 32 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 4 | 7 | 9 | 10 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 67 | 67 | 73 | 78 | 69 |
| Z % WATER CONTENT | 4.48 | 5.97 | 9.59 | 11.54 | 14.49 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5690 | 5920 | 6130 | 6075 | 6025 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1615.0 | 1845.0 | 2055.0 | 2000.0 | 1950.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.74 | 1.99 | 2.22 | 2.16 | 2.11 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.67 | 1.88 | 2.02 | 1.94 | 1.84 |



ตารางที่ 10.3 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (0.7 : 0.3 : 7)

ตัวอย่างที่ 10 ครั้งที่ 3

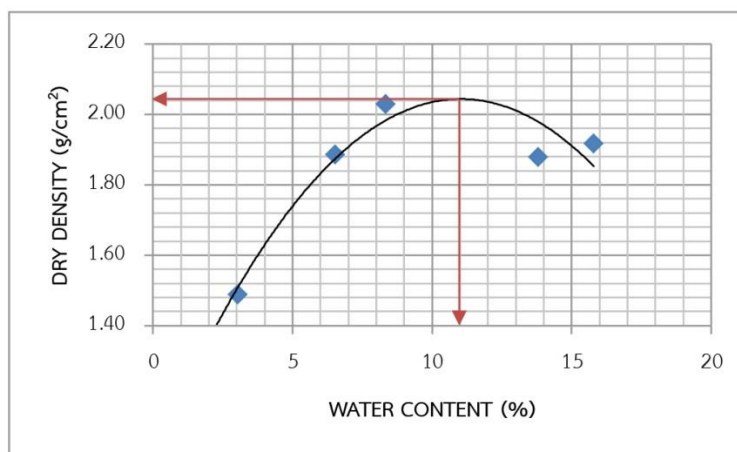
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 133 | 117 | 101 | 110 | 129 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 129 | 112 | 95 | 102 | 118 |
| WT. OF CAN ; g. | 46 | 36 | 34 | 34 | 35 |
| WT. OF WATER ; g. | 4 | 5 | 6 | 8 | 11 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 83 | 76 | 61 | 68 | 83 |
| Z % WATER CONTENT | 4.82 | 6.58 | 9.84 | 11.76 | 13.25 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5670 | 5900 | 6115 | 6070 | 6010 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1595.0 | 1825.0 | 2040.0 | 1995.0 | 1935.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.72 | 1.97 | 2.20 | 2.15 | 2.09 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.64 | 1.85 | 2.01 | 1.93 | 1.84 |



ตารางที่ 11.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (0.6 : 0.4 : 7)

ตัวอย่างที่ 11 ครั้งที่ 1

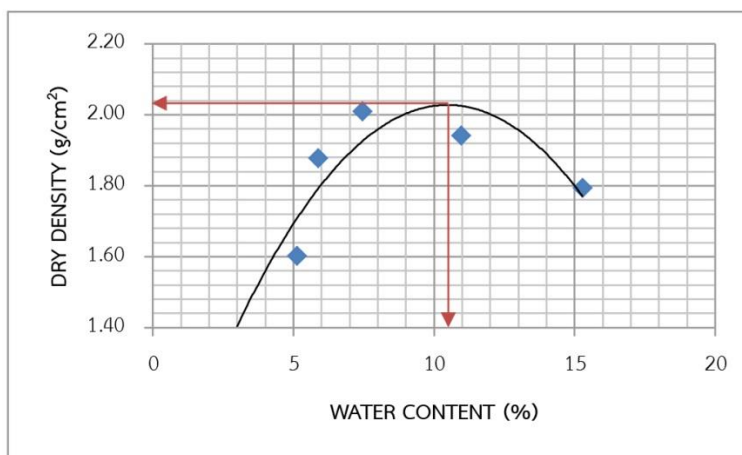
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 102 | 85 | 127 | 102 | 134 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 100 | 82 | 120 | 93 | 122 |
| WT. OF CAN ; g. | 34 | 36 | 36 | 36 | 35 |
| WT. OF WATER ; g. | 2 | 3 | 7 | 9 | 12 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 66 | 46 | 84 | 57 | 87 |
| Z % WATER CONTENT | 3.03 | 6.52 | 8.33 | 15.79 | 13.79 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5495 | 5935 | 6110 | 6130 | 6055 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1420.0 | 1860.0 | 2035.0 | 2055.0 | 1980.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.53 | 2.01 | 2.20 | 2.22 | 2.14 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.49 | 1.89 | 2.03 | 1.92 | 1.88 |



ตารางที่ 11.2 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (0.6 : 0.4 : 7)

ตัวอย่างที่ 11 ครั้งที่ 2

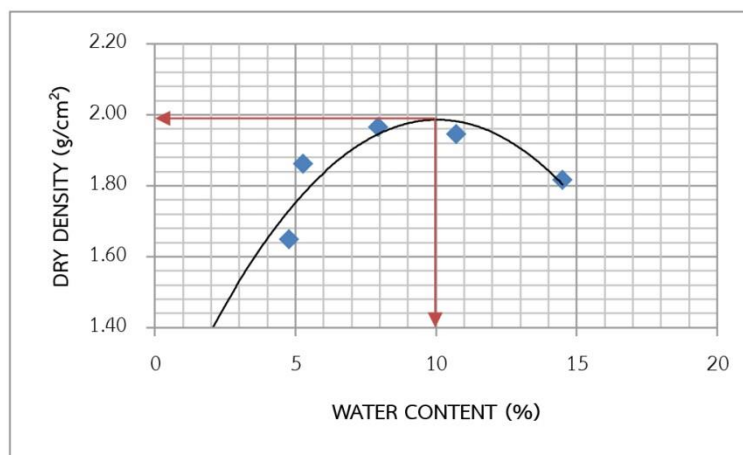
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 73 | 104 | 104 | 115 | 117 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 71 | 100 | 99 | 107 | 106 |
| WT. OF CAN ; g. | 32 | 32 | 32 | 34 | 34 |
| WT. OF WATER ; g. | 2 | 4 | 5 | 8 | 11 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 39 | 68 | 67 | 73 | 72 |
| Z % WATER CONTENT | 5.13 | 5.88 | 7.46 | 10.96 | 15.28 |
| DENSITY DETERMINASTION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5635 | 5915 | 6075 | 6070 | 5990 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1560.0 | 1840.0 | 2000.0 | 1995.0 | 1915.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.68 | 1.99 | 2.16 | 2.15 | 2.07 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.60 | 1.88 | 2.01 | 1.94 | 1.79 |



ตารางที่ 11.3 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (0.6 : 0.4 : 7)

ตัวอย่างที่ 11 ครั้งที่ 3

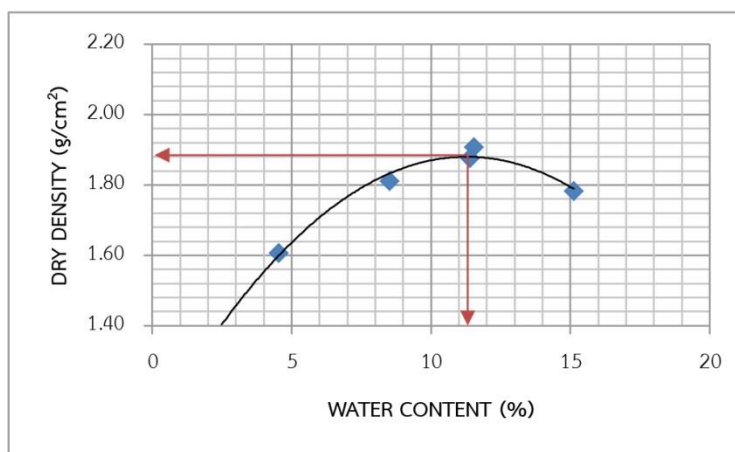
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 76 | 93 | 103 | 97 | 111 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 74 | 90 | 98 | 91 | 101 |
| WT. OF CAN ; g. | 32 | 33 | 35 | 35 | 32 |
| WT. OF WATER ; g. | 2 | 3 | 5 | 6 | 10 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 42 | 57 | 63 | 56 | 69 |
| Z % WATER CONTENT | 4.76 | 5.26 | 7.94 | 10.71 | 14.49 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5675 | 5890 | 6040 | 6070 | 6000 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1600.0 | 1815.0 | 1965.0 | 1995.0 | 1925.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.73 | 1.96 | 2.12 | 2.15 | 2.08 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.65 | 1.86 | 1.97 | 1.95 | 1.82 |



ตารางที่ 12.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (0.5 : 0.5 : 7)

ตัวอย่างที่ 12 ครั้งที่ 1

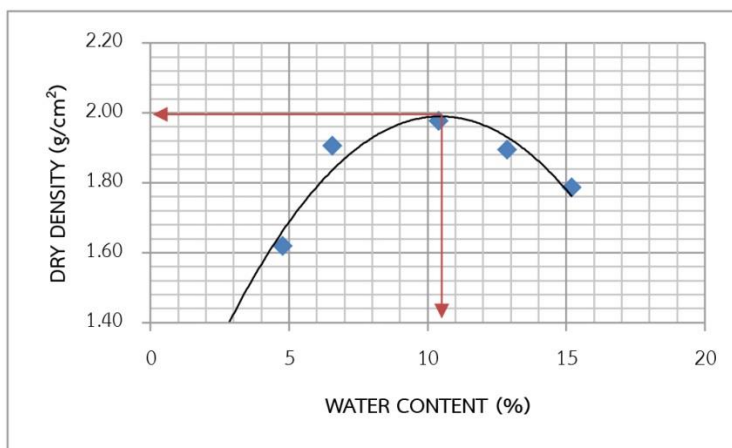
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 103 | 83 | 91 | 120 | 133 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 100 | 79 | 85 | 111 | 120 |
| WT. OF CAN ; g. | 34 | 32 | 33 | 32 | 34 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 4 | 6 | 9 | 13 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 66 | 47 | 52 | 79 | 86 |
| Z % WATER CONTENT | 4.55 | 8.51 | 11.54 | 11.39 | 15.12 |
| DENSITY DETERMINASTION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5630 | 5895 | 6045 | 6010 | 5975 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1555.0 | 1820.0 | 1970.0 | 1935.0 | 1900.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.68 | 1.97 | 2.13 | 2.09 | 2.05 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.61 | 1.81 | 1.91 | 1.88 | 1.78 |



ตารางที่ 12.2 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (0.5 : 0.5 : 7)

ตัวอย่างที่ 12 ครั้งที่ 2

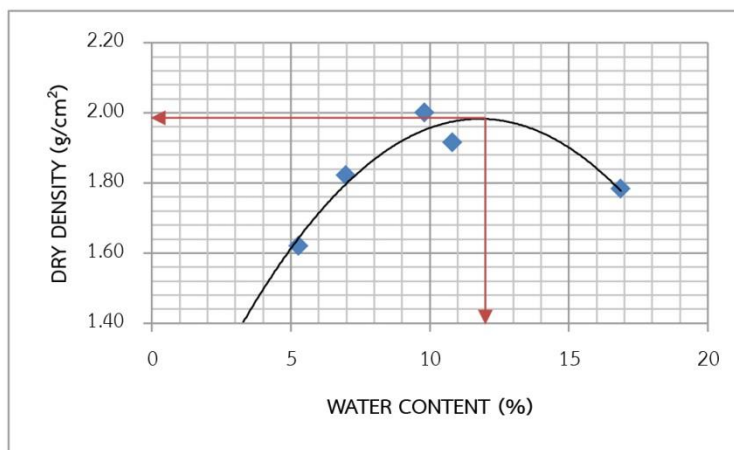
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 77 | 91 | 111 | 113 | 123 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 75 | 87 | 103 | 104 | 111 |
| WT. OF CAN ; g. | 33 | 26 | 26 | 34 | 32 |
| WT. OF WATER ; g. | 2 | 4 | 8 | 9 | 12 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 42 | 61 | 77 | 70 | 79 |
| Z % WATER CONTENT | 4.76 | 6.56 | 10.39 | 12.86 | 15.19 |
| DENSITY DETERMINATION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5645 | 5955 | 6095 | 6055 | 5980 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1570.0 | 1880.0 | 2020.0 | 1980.0 | 1905.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.70 | 2.03 | 2.18 | 2.14 | 2.06 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.62 | 1.91 | 1.98 | 1.89 | 1.79 |



ตารางที่ 12.3 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนผสม 1 : 7 (0.5 : 0.5 : 7)

ตัวอย่างที่ 12 ครั้งที่ 3

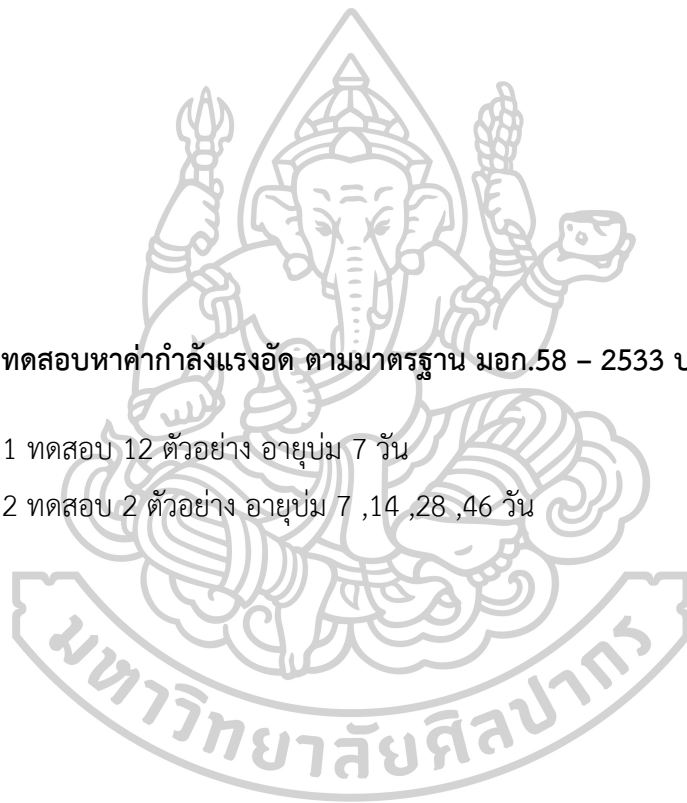
| TYPE OF COMPACTION STANDARD PROCTOR VOLUME OF MOLD 926.12 cm | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| WATER CONTENT DETERMINATION | | | | | |
| TRIAL NO. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| WET SOIL + CAN ; g. | 94 | 72 | 90 | 117 | 129 |
| DRY SOIL + CAN ; g. | 91 | 69 | 85 | 109 | 115 |
| WT. OF CAN ; g. | 34 | 26 | 34 | 35 | 32 |
| WT. OF WATER ; g. | 3 | 3 | 5 | 8 | 14 |
| WT. OF DRY SOIL ; g. | 57 | 43 | 51 | 74 | 83 |
| Z % WATER CONTENT | 5.26 | 6.98 | 9.80 | 10.81 | 16.87 |
| DENSITY DETERMINASTION | | | | | |
| WT. OF SOIL + MOLD ; g. | 5655 | 5880 | 6110 | 6040 | 6005 |
| WT. OF MOLD ; g. | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 | 4075 |
| X WT. OF SOIL IN MOLD ; g. | 1580.0 | 1805.0 | 2035.0 | 1965.0 | 1930.0 |
| Y vol mold | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 | 926.12 |
| WET DENSITY ; g/cm ² | 1.71 | 1.95 | 2.20 | 2.12 | 2.08 |
| DRY DENSITY; g/cm ² | 1.62 | 1.82 | 2.00 | 1.91 | 1.78 |



ภาคผนวก ข ทดสอบค่ากำลังแรงอัด ตามมาตรฐาน มอก.58 - 2533 ปลือกชนิดไม่รับน้ำหนัก

ทดสอบครั้งที่ 1 ทดสอบ 12 ตัวอย่าง อายุบ่ม 7 วัน

ทดสอบครั้งที่ 2 ทดสอบ 2 ตัวอย่าง อายุบ่ม 7 ,14 ,28 ,46 วัน



ทดสอบครั้งที่ 1 ทดสอบ 12 ตัวอย่าง อายุנם 7 วัน



ตารางที่ 1.1 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

1.อัตราส่วน 1 : - : 6 ที่อายุบ่ม 7 วัน ครอบคลุมกำหนด 22/08/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.974 | 12.64 | 24.95 | 10.06 | 315.37 | 377.4 | 121.987 | 11.967 | 11.72 |
| 2 | 6.943 | 12.65 | 24.95 | 10.08 | 315.62 | 366.7 | 118.435 | 11.618 | |
| 3 | 6.976 | 12.70 | 24.90 | 10.09 | 316.23 | 365.6 | 117.851 | 11.561 | |

ตารางที่ 1.2 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

2.อัตราส่วน 0.9 : 0.1 : 6 ที่อายุบ่ม 7 วัน ครอบคลุมกำหนด 22/08/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.909 | 12.65 | 25.00 | 10.06 | 316.25 | 364.1 | 117.360 | 11.513 | 11.39 |
| 2 | 6.869 | 12.64 | 24.05 | 10.08 | 303.99 | 348.5 | 116.862 | 11.464 | |
| 3 | 6.866 | 12.62 | 24.95 | 10.07 | 314.87 | 352.9 | 114.249 | 11.208 | |

ตารางที่ 1.3 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

3.อัตราส่วน 0.8 : 0.2 : 6 ที่อายุบ่ม 7 วัน ครอบคลุมกำหนด 22/08/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.834 | 12.73 | 24.90 | 10.07 | 316.98 | 292.2 | 93.969 | 9.218 | 9.09 |
| 2 | 6.812 | 12.66 | 25.00 | 10.06 | 316.50 | 288.7 | 92.983 | 9.122 | |
| 3 | 6.863 | 12.64 | 25.00 | 10.07 | 316.00 | 282.2 | 91.033 | 8.930 | |

ตารางที่ 1.4 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

4.อัตราส่วน 0.7 : 0.3 : 6 ที่อายุบ่ม 7 วัน ครอบคลุมกำหนด 22/08/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.812 | 12.65 | 24.95 | 10.07 | 315.62 | 268.6 | 86.751 | 8.510 | 8.40 |
| 2 | 6.826 | 12.64 | 25.00 | 10.08 | 316.00 | 265.4 | 85.614 | 8.399 | |
| 3 | 6.850 | 12.65 | 24.95 | 10.07 | 315.62 | 261.8 | 84.555 | 8.295 | |

ตารางที่ 1.5 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

5.อัตราส่วน 0.6 : 0.4 : 6 ที่อายุบ่ม 7 วัน ครบกำหนด 22/08/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.813 | 12.69 | 25.00 | 10.09 | 317.25 | 257.3 | 82.674 | 8.110 | 7.95 |
| 2 | 6.845 | 12.70 | 25.18 | 10.07 | 319.79 | 251.9 | 80.297 | 7.877 | |
| 3 | 6.857 | 12.70 | 25.05 | 10.09 | 318.14 | 250.3 | 80.201 | 7.868 | |

ตารางที่ 1.6 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

6.อัตราส่วน 0.5 : 0.5 : 6 ที่อายุบ่ม 7 วัน ครบกำหนด 22/08/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.852 | 12.68 | 25.05 | 10.07 | 317.63 | 190.6 | 61.168 | 6.001 | 5.96 |
| 2 | 6.909 | 12.65 | 25.00 | 10.09 | 316.25 | 189.5 | 61.081 | 5.992 | |
| 3 | 6.864 | 12.70 | 25.17 | 10.08 | 319.66 | 188.5 | 60.111 | 5.897 | |

สูตรหา (ksc.)

$$[(\text{kN.} \times 1,000) / 9.81] / \text{พื้นที่หน้าตัด} = \text{ksc.}$$

สูตรหา (MPa.)

$$[\text{ksc.} \times 9.81 \times 10,000] = \text{ผลลัพธ์} / 10^6 = \text{MPa.}$$

วิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

1.อัตราส่วน 1 : - : 7 ที่อายุบ่ม 7 วัน ครอบคลุม 23/08/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.864 | 12.62 | 24.95 | 10.07 | 314.87 | 262.5 | 84.983 | 8.337 | 8.15 |
| 2 | 6.906 | 12.70 | 25.00 | 10.07 | 317.50 | 260.7 | 83.701 | 8.211 | |
| 3 | 6.897 | 12.65 | 24.90 | 10.08 | 314.99 | 249.2 | 80.647 | 7.911 | |

ตารางที่ 2.2 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

2.อัตราส่วน 0.9 : 0.1 : 7 ที่อายุบ่ม 7 วัน ครอบคลุม 23/08/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.907 | 12.68 | 24.95 | 10.07 | 316.37 | 223.3 | 71.950 | 7.058 | 6.97 |
| 2 | 6.992 | 12.64 | 24.90 | 10.06 | 314.74 | 219.1 | 70.962 | 6.961 | |
| 3 | 6.966 | 12.65 | 25.00 | 10.07 | 316.25 | 218.0 | 70.268 | 6.893 | |

ตารางที่ 2.3 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

3.อัตราส่วน 0.8 : 0.2 : 7 ที่อายุบ่ม 7 วัน ครอบคลุม 23/08/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.884 | 12.64 | 25.00 | 10.08 | 316.00 | 201.2 | 64.904 | 6.367 | 6.21 |
| 2 | 6.881 | 12.65 | 25.00 | 10.09 | 316.25 | 195.4 | 62.983 | 6.179 | |
| 3 | 6.896 | 12.64 | 25.00 | 10.06 | 316.00 | 192.1 | 61.969 | 6.079 | |

ตารางที่ 2.4 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

4.อัตราส่วน 0.7 : 0.3 : 7 ที่อายุบ่ม 7 วัน ครอบคลุม 23/08/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.917 | 12.64 | 24.95 | 10.06 | 315.37 | 177.4 | 57.341 | 5.625 | 5.55 |
| 2 | 6.897 | 12.66 | 25.05 | 10.08 | 317.13 | 175.1 | 56.283 | 5.521 | |
| 3 | 6.827 | 12.66 | 24.85 | 10.07 | 314.60 | 172.8 | 55.991 | 5.493 | |

ตารางที่ 2.5 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

5.อัตราส่วน 0.6 : 0.4 : 7 ที่อายุบ่ม 7 วัน ครอบคลุม 23/08/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.817 | 12.68 | 25.10 | 10.07 | 318.27 | 155.6 | 49.837 | 4.889 | 4.72 |
| 2 | 6.831 | 12.68 | 25.00 | 10.08 | 317.00 | 154.1 | 49.554 | 4.861 | |
| 3 | 6.837 | 12.66 | 25.05 | 10.06 | 317.13 | 140.3 | 45.097 | 4.424 | |

ตารางที่ 2.6 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

6.อัตราส่วน 0.5 : 0.5 : 7 ที่อายุบ่ม 7 วัน ครอบคลุม 23/08/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.840 | 12.66 | 25.00 | 10.09 | 316.50 | 109.0 | 35.106 | 3.444 | 3.33 |
| 2 | 6.869 | 12.69 | 24.95 | 10.07 | 316.62 | 105.0 | 33.806 | 3.316 | |
| 3 | 6.890 | 12.64 | 25.00 | 10.06 | 316.00 | 102.0 | 32.904 | 3.228 | |

สูตรหา (ksc.)

$$[(\text{kN.} \times 1,000) / 9.81] / \text{พื้นที่หน้าตัด} = \text{ksc.}$$

สูตรหา (MPa.)

$$[\text{ksc.} \times 9.81 \times 10,000] = \text{ผลลัพธ์} / 10^6 = \text{MPa.}$$



ทดสอบครั้งที่ 2 ทดสอบ 2 ตัวอย่าง อายุปม 7 ,14 ,28 ,46 วัน



ตารางที่ 1.1 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

1.อัตราส่วน 0.5 : 0.5 : 6 ที่อายุบ่ม 7 วัน ครบกำหนด 14/09/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.855 | 12.70 | 25.05 | 10.10 | 318.14 | 150.7 | 48.287 | 4.737 | 4.33 |
| 2 | 6.958 | 12.70 | 25.10 | 10.09 | 318.77 | 143.4 | 45.857 | 4.499 | |
| 3 | 6.843 | 12.70 | 25.05 | 10.09 | 318.14 | 137.1 | 43.930 | 4.309 | |
| 4 | 6.871 | 12.70 | 25.05 | 10.10 | 318.14 | 132.0 | 42.295 | 4.149 | |
| 5 | 6.872 | 12.70 | 25.05 | 10.10 | 318.14 | 126.4 | 40.501 | 3.973 | |

ตารางที่ 1.2 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

2.อัตราส่วน 0.5 : 0.5 : 6 ที่อายุบ่ม 14 วัน ครบกำหนด 21/09/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.865 | 12.70 | 25.05 | 10.09 | 318.14 | 185.4 | 59.406 | 5.828 | 5.49 |
| 2 | 6.827 | 12.65 | 25.05 | 10.09 | 316.88 | 173.7 | 55.877 | 5.482 | |
| 3 | 6.818 | 12.70 | 25.05 | 10.10 | 318.14 | 174.0 | 55.753 | 5.469 | |
| 4 | 6.837 | 12.70 | 25.10 | 10.08 | 318.77 | 175.0 | 55.962 | 5.490 | |
| 5 | 6.845 | 12.70 | 25.05 | 10.10 | 318.14 | 165.5 | 53.030 | 5.202 | |

ตารางที่ 1.3 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

3.อัตราส่วน 0.5 : 0.5 : 6 ที่อายุบ่ม 28 วัน ครบกำหนด 05/10/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.658 | 12.70 | 25.00 | 10.07 | 317.50 | 216.2 | 69.413 | 6.809 | 6.74 |
| 2 | 6.738 | 12.65 | 25.00 | 10.08 | 316.25 | 214.9 | 69.269 | 6.795 | |
| 3 | 6.778 | 12.70 | 25.00 | 10.08 | 317.50 | 215.5 | 69.189 | 6.787 | |
| 4 | 6.826 | 12.70 | 25.00 | 10.07 | 317.50 | 211.8 | 68.001 | 6.671 | |
| 5 | 6.789 | 12.70 | 25.05 | 10.08 | 318.14 | 211.8 | 67.865 | 6.658 | |

ตารางที่ 1.4 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ไข่ไก่ลอกจากขยะ : ดินลูกรัง

4.อัตราส่วน 0.5 : 0.5 : 6 ที่อายุบ่ม 46 วัน ครอบคลุม 19/10/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.789 | 12.65 | 25.00 | 10.08 | 316.25 | 285.2 | 91.928 | 9.018 | 8.89 |
| 2 | 6.759 | 12.65 | 25.00 | 10.09 | 316.25 | 284.0 | 91.542 | 8.980 | |
| 3 | 6.725 | 12.70 | 25.00 | 10.09 | 317.50 | 283.4 | 90.989 | 8.926 | |
| 4 | 6.792 | 12.65 | 25.00 | 10.08 | 316.25 | 278.0 | 89.608 | 8.791 | |
| 5 | 6.774 | 12.70 | 25.00 | 10.09 | 317.50 | 277.5 | 89.094 | 8.740 | |

สูตรหา (ksc.)

$$[(\text{kN.} \times 1,000) / 9.81] / \text{พื้นที่หน้าตัด} = \text{ksc.}$$

สูตรหา (MPa.)

$$[\text{ksc.} \times 9.81 \times 10,000] = \text{ผลลัพธ์} / 10^6 = \text{MPa.}$$



ตารางที่ 2.1 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

1.อัตราส่วน 0.5 : 0.5 : 7 ที่อายุบ่ม 7 วัน ครบกำหนด 14/09/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.930 | 12.68 | 25.00 | 10.08 | 317.00 | 123.5 | 39.714 | 3.896 | 3.71 |
| 2 | 6.955 | 12.65 | 25.00 | 10.09 | 316.25 | 122.0 | 39.324 | 3.858 | |
| 3 | 6.905 | 12.65 | 25.00 | 10.07 | 316.25 | 118.3 | 38.132 | 3.741 | |
| 4 | 6.926 | 12.65 | 25.00 | 10.09 | 316.25 | 111.6 | 35.972 | 3.529 | |
| 5 | 6.877 | 12.63 | 25.00 | 10.08 | 315.75 | 111.4 | 35.964 | 3.528 | |

ตารางที่ 2.2 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

2.อัตราส่วน 0.5 : 0.5 : 7 ที่อายุบ่ม 14 วัน ครบกำหนด 21/09/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.808 | 12.70 | 25.05 | 10.06 | 318.14 | 181.7 | 58.220 | 5.711 | 5.32 |
| 2 | 6.799 | 12.70 | 25.05 | 10.09 | 318.14 | 175.2 | 56.138 | 5.507 | |
| 3 | 6.786 | 12.70 | 25.05 | 10.08 | 318.14 | 168.5 | 53.991 | 5.296 | |
| 4 | 6.786 | 12.70 | 25.10 | 10.09 | 318.77 | 161.3 | 51.581 | 5.060 | |
| 5 | 6.758 | 12.70 | 25.10 | 10.09 | 318.77 | 160.9 | 51.453 | 5.048 | |

ตารางที่ 2.3 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

3.อัตราส่วน 0.5 : 0.5 : 7 ที่อายุบ่ม 28 วัน ครบกำหนด 05/10/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.697 | 12.60 | 25.00 | 10.08 | 315.00 | 240.8 | 77.925 | 7.644 | 7.47 |
| 2 | 6.739 | 12.70 | 25.00 | 10.07 | 317.50 | 240.2 | 77.119 | 7.565 | |
| 3 | 6.765 | 12.65 | 25.00 | 10.08 | 316.25 | 236.5 | 76.231 | 7.478 | |
| 4 | 6.760 | 12.65 | 25.00 | 10.08 | 316.25 | 232.8 | 75.038 | 7.361 | |
| 5 | 6.732 | 12.70 | 25.10 | 10.08 | 318.77 | 233.5 | 74.669 | 7.325 | |

ตารางที่ 2.4 : ทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน จากปูนซีเมนต์ : ไข่ไก่ลอยจากขยะ : ดินลูกรัง

4.อัตราส่วน 0.5 : 0.5 : 7 ที่อายุบ่ม 46 วัน ครอบคลุม 19/10/60

| ตัวอย่าง | น้ำหนักอิฐ (kg.) | กว้าง (cm.) | ยาว (cm.) | หนา (cm.) | พื้นที่หน้าตัด (cm ² .) | แรงอัด (kN.) | กำลังแรงอัด (ksc.) | กำลังรับแรงอัด (MPa.) | ค่าเฉลี่ย (MPa.) |
|----------|---------------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | 6.860 | 12.70 | 25.00 | 10.09 | 317.50 | 281.3 | 90.314 | 8.860 | 8.41 |
| 2 | 6.777 | 12.70 | 25.00 | 10.09 | 317.50 | 275.2 | 88.356 | 8.668 | |
| 3 | 6.781 | 12.65 | 25.00 | 10.08 | 316.25 | 265.5 | 85.579 | 8.395 | |
| 4 | 6.789 | 12.65 | 25.00 | 10.09 | 316.25 | 258.3 | 83.258 | 8.168 | |
| 5 | 6.759 | 12.65 | 25.00 | 10.09 | 316.25 | 251.1 | 80.937 | 7.940 | |

สูตรหา (ksc.)

$$[(\text{kN.} \times 1,000) / 9.81] / \text{พื้นที่หน้าตัด} = \text{ksc.}$$

สูตรหา (MPa.)

$$[\text{ksc.} \times 9.81 \times 10,000] = \text{ผลลัพธ์} / 10^6 = \text{MPa.}$$



ภาคผนวก ค ทดสอบเชิงกายภาพ

ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน , ทดสอบหาค่าการแพร่ความร้อน , ทดสอบหาค่าความจุความร้อน ทดสอบหาค่าความหนาแน่น , หาค่าปริมาณความชื้น , หาค่าการดูดกลืนน้ำ



ผลการวิเคราะห์ และการแปลผล:

จากการทดสอบตัวอย่างด้วยเทคนิค TCA ได้ผลการทดสอบดังตาราง

| Samples | Condition Used | | Thermal Properties | Measurement Results | Average | S.D. | | | | | |
|---------------------|---------------------|--------------------|--|-------------------------|---------|--|-------------------------|-------|-------|-------|-------------------------|
| | Output of Power (W) | Measuring Time (s) | | | | | | | | | |
| 1. "INB.1:6_No ASH" | 0.3 | 20 | Thermal Conductivity (W / m K) | 1.785 1.782 1.794 | 1.787 | 0.006 | | | | | |
| | | | Thermal Diffusivity (mm ² /s) | 1.038 0.993 1.012 | | | 1.014 | 0.023 | | | |
| | | | Specific Heat (MJ/m ³ K) | 1.720 1.794 1.773 | | | | | 1.762 | 0.038 | |
| | | | 2. "INB.1:7_ASH50%" | 0.3 | 20 | Thermal Conductivity (W / m K) | | | | | 1.588 1.580 1.594 |
| | | | | | | Thermal Diffusivity (mm ² /s) | 0.742 0.763 0.744 | 0.750 | | | 0.012 |
| | | | | | | Specific Heat (MJ/m ³ K) | 2.140 2.070 2.142 | | 2.117 | 0.041 | |

ขั้นตอนการทดสอบหาค่าความหนาแน่น จำนวน 5 ตัวอย่าง

การทดสอบความหนาแน่น (Density Test) เล็กก้อนอิฐที่อยู่ในสภาพเรียบร้อย อย่างน้อย 5 ก้อน นำมาวัดขนาด และชั่งน้ำหนัก

1. วัดขนาดอิฐ (กว้าง*ยาว*สูง)
2. ชั่งน้ำหนักอิฐ

ตารางที่ 1.1 : แสดงตารางการทดสอบหาค่าความหนาแน่น

| ตารางการทดสอบหาค่าความหนาแน่น ตัวอย่าง [1 : 6] | | | | | | |
|--|--|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| ตัวอย่าง | | | | | | |
| น้ำหนักของอิฐ (gm) | 5,785.60 | 5,854.30 | 5,840.80 | 5,820.70 | 5,856.40 | |
| ขนาดของอิฐ (cm) | ความกว้าง | 12.70 | 12.70 | 12.70 | 12.70 | |
| | ความหนา (*) | 10.07 | 10.07 | 10.07 | 10.08 | |
| | ความยาว | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 | |
| ขนาดช่องว่างของอิฐ (cm) | ปริมาตรสี่เหลี่ยม (กว้าง*ยาว*สูง) (cm ³) | $(3*3*10.07)^2 = 192.60$ | $(3*3*10.075)^2 = 193.50$ | $(3*3*10.075)^2 = 193.50$ | $(3*3*10.07)^2 = 192.60$ | $(3*3*10.08)^2 = 194.40$ |
| | ปริมาตรทรงกระบอก ($\pi r^2 * \text{สูง}$) (cm ³) | $(3.14*2.25*10.07)^2 = 151.20$ | $(3.14*2.25*10.075)^2 = 151.90$ | $(3.14*2.25*10.075)^2 = 151.90$ | $(3.14*2.25*10.07)^2 = 151.20$ | $(3.14*2.25*10.08)^2 = 152.60$ |
| รวมขนาดของอิฐ (cm) | 343.80 | 345.40 | 345.40 | 343.80 | 347.00 | |
| รวมขนาดของอิฐ (cm) | 3053.45 | 3067.73 | 3067.73 | 3053.45 | 3082.00 | |
| ความหนาแน่นของอิฐ = [มวล (น้ำหนักที่ชั่ง) / ปริมาตร (วัดสี่เหลี่ยม)] (Kg/cm ³) | 1.895 | 1.908 | 1.904 | 1.906 | 1.900 | |
| รวมเฉลี่ยความหนาแน่น (gm/cm ³) | 9.513 / 5 | | | | | |
| เฉลี่ยความหนาแน่น (gm/cm ³) | 1.903 | | | | | |

** 1,000 g. = 1 Kg.

** 1,000,000 (1000⁶) cm.³ = 1 m.³.

ขั้นตอนการทดสอบหาค่าความชื้น จำนวน 5 ตัวอย่าง

1. นำอิฐ 1/2 แผ่น ไปชั่งน้ำหนักที่ละเอียด และฉบับที่ก็ได้
2. นำอิฐเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 - 110 C นาน 24 ชั่วโมง
3. ชั่งน้ำหนักอิฐแห้ง
4. คำนวณปริมาณความชื้น

ตารางที่ 1.2 : แสดงตารางการทดสอบหาค่าความชื้น

| ตารางการทดสอบหาค่าความชื้น ตัวอย่าง [1 : 6] | | | | | |
|--|------------|---------|---------|---------|---------|
| ตัวอย่าง | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| น้ำหนักของอิฐ (g _m) | 5785.60 | 5854.30 | 5840.80 | 5820.70 | 5856.40 |
| น้ำหนักอิฐอบแห้ง (g _m) | 5377.00 | 5472.90 | 5428.50 | 5415.30 | 5440.80 |
| ปริมาณน้ำ (g _m) | 408.60 | 381.40 | 412.30 | 405.40 | 415.60 |
| ค่าความชื้น (%) = ปริมาณน้ำ / น้ำหนักอิฐอบแห้ง * 100 | 7.599 | 6.969 | 7.595 | 7.486 | 7.639 |
| รวมเฉลี่ยความชื้น (%) | 37.288 / 5 | | | | |
| เฉลี่ยค่าความชื้น (%) | 7.458 | | | | |

ขั้นตอนการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ จำนวน 5 ตัวอย่าง

1. ใช้น้ำหนักอบแห้ง จากการอบแห้ง
2. แห่อลูให้คงอยู่ในน้ำนาน 1/2 ชั่วโมง นำขึ้นมาแล้วใช้ผ้าเช็ดให้แห้งโดยรอบอย่างรวดเร็ว และชั่งน้ำหนัก
3. นำอลูไปแช่น้ำต่อไปจนครบ 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักอีก
4. คำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักอลูแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักอลูอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักอลูอบแห้ง}} \right) * 100$$

ตารางที่ 1.3 : แสดงตารางการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

| ตารางการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ ตัวอย่าง [1 : 6] | | | | | |
|---|------------|---------|---------|---------|---------|
| ตัวอย่าง | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| น้ำหนักอลูอบแห้ง (gm) | 5377.00 | 5472.90 | 5428.50 | 5415.30 | 5440.80 |
| น้ำหนักอลูหลังแช่น้ำ 1/2 ชั่วโมง (gm) | 5713.80 | 5726.20 | 5742.80 | 5738.50 | 5743.30 |
| น้ำหนักอลูหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง (gm) | 5969.80 | 6011.50 | 6027.50 | 6008.80 | 6048.90 |
| % การดูดซึมน้ำ หลังแช่น้ำ 1/2 ชั่วโมง (gm) **เฉลี่ย 5.642 % | 6.264 | 4.628 | 5.79 | 5.968 | 5.56 |
| % การดูดซึมน้ำ หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง (gm) | 11.025 | 9.841 | 11.034 | 10.960 | 11.177 |
| รวมเฉลี่ยค่าการดูดซึมน้ำ 24 ชั่วโมง (%) | 54.037 / 5 | | | | |
| เฉลี่ยค่าการดูดซึมน้ำ 24 ชั่วโมง (%) | 10.807 | | | | |

ขั้นตอนการทดสอบหาค่าความหนาแน่น จำนวน 5 ตัวอย่าง

การทดสอบความหนาแน่น (Density Test) เล็กก่อนอื่นดูที่อยู่ในสภาพเรียบร้อย อย่างน้อย 5 ก้อน นำมาวัดขนาด และชั่งน้ำหนัก

1. วัดขนาดอิฐ (กว้าง*ยาว*สูง)
2. ชั่งน้ำหนักอิฐ

ตารางที่ 1.1 : แสดงตารางการทดสอบหาค่าความหนาแน่น

| | | ตารางการทดสอบหาค่าความหนาแน่น ตัวอย่าง [1 : 7] | | | | |
|---|--|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| ตัวอย่าง | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| น้ำหนักของอิฐ (gm) | | 5,853.90 | 5,853.50 | 5,838.30 | 5,832.30 | 5,874.00 |
| ขนาดของอิฐ (cm) | ความกว้าง | 12.70 | 12.70 | 12.70 | 12.70 | 12.70 |
| | ความหนา (*) | 10.08 | 10.08 | 10.08 | 10.08 | 10.08 |
| | ความยาว | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 |
| ขนาดช่องว่างของอิฐ (cm) | ปริมาตรสี่เหลี่ยม (กว้าง*ยาว*สูง) (cm ³) | $(3*3*10.08)*2 = 194.40$ | $(3*3*10.08)*2 = 194.40$ | $(3*3*10.08)*2 = 194.40$ | $(3*3*10.08)*2 = 194.40$ | $(3*3*10.08)*2 = 194.40$ |
| | ปริมาตรทรงกระบอก ($\pi r^2 * \text{สูง}$) (cm ³) | $(3.14*2.25*10.08)*2 = 152.60$ | $(3.14*2.25*10.08)*2 = 152.60$ | $(3.14*2.25*10.08)*2 = 152.60$ | $(3.14*2.25*10.08)*2 = 152.60$ | $(3.14*2.25*10.08)*2 = 152.60$ |
| รวมขนาดของอิฐ (cm) | รวมปริมาตรช่องว่าง (cm ³) | 347.00 | 347.00 | 347.00 | 347.00 | 347.00 |
| รวมขนาดของอิฐ (cm) | | 3082.00 | 3082.00 | 3082.00 | 3082.00 | 3082.00 |
| ความหนาแน่นของอิฐ = [มวล (น้ำหนักที่ชั่ง) / ปริมาตร (วัดสัดส่วน)] (Kg/cm ³) | | 1.899 | 1.899 | 1.894 | 1.892 | 1.906 |
| รวมเฉลี่ยความหนาแน่น (gm/cm ³) | | 9.490 / 5 | | | | |
| เฉลี่ยความหนาแน่น (gm/cm ³) | | 1.898 | | | | |

** 1,000 g. = 1 Kg.

** 1,000,000 (1000⁶) cm³. = 1 m³.

ขั้นตอนการทดสอบหาค่าความชื้น จำนวน 5 ตัวอย่าง

- 1.นำอิฐ 1/2 แผ่น ไปชั่งน้ำหนักทีละชิ้น และจดบันทึกไว้
- 2.นำอิฐเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 - 110 C นาน 24 ชั่วโมง
- 3.ชั่งน้ำหนักอิฐแห้ง
- 4.คำนวณปริมาณความชื้น

ตารางที่ 1.2 : แสดงตารางการทดสอบหาค่าความชื้น

| ตารางการทดสอบหาค่าความชื้น ตัวอย่าง [1 : 7] | | | | | |
|--|------------|----------|----------|----------|----------|
| ตัวอย่าง | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| น้ำหนักของอิฐ (gm) | 5,853.90 | 5,853.50 | 5,838.30 | 5,832.30 | 5,874.00 |
| น้ำหนักอิฐอบแห้ง (gm) | 5395.30 | 5371.00 | 5375.80 | 5364.20 | 5397.90 |
| ปริมาณน้ำ (gm) | 458.60 | 482.50 | 462.50 | 468.10 | 476.10 |
| ค่าความชื้น (%) = $\frac{\text{ปริมาณน้ำ}}{\text{น้ำหนักอิฐอบแห้ง}} * 100$ | 8.500 | 8.983 | 8.603 | 8.726 | 8.82 |
| รวมเฉลี่ยความชื้น (%) | 43.632 / 5 | | | | |
| เฉลี่ยค่าความชื้น (%) | 8.726 | | | | |

ขั้นตอนการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ จำนวน 5 ตัวอย่าง

1. ใช้น้ำหนักอบแห้ง จากการอบแห้ง
2. แซลตี้ให้จมอยู่ในนํานาน 1/2 ชั่วโมง นำขึ้นมาแล้วใช้ผ้าชนิดให้แห้งโดยรอบอย่างรวดเร็ว และชั่งน้ำหนัก
3. นำอิฐไปแช่น้ำต่อไปจนครบ 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักอีก
4. คำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักอิฐแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักอิฐอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักอิฐอบแห้ง}} \right) * 100$$

ตารางที่ 1.3 : แสดงตารางการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

| ตารางการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ ตัวอย่าง [1 : 7] | | | | | |
|---|------------|---------|---------|---------|---------|
| ตัวอย่าง | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| น้ำหนักอิฐอบแห้ง (gm) | 5395.30 | 5371.00 | 5375.80 | 5364.20 | 5397.90 |
| น้ำหนักอิฐหลังแช่น้ำ 1/2 ชั่วโมง (gm) | 5738.60 | 5700.50 | 5677.30 | 5670.70 | 5696.00 |
| น้ำหนักอิฐหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง (gm) | 6020.10 | 5992.50 | 5990.50 | 5972.80 | 6008.60 |
| % การดูดซึมน้ำ หลังแช่น้ำ 1/2 ชั่วโมง (gm) **เฉลี่ย 5.869 % | 6.363 | 6.135 | 5.608 | 5.714 | 5.523 |
| % การดูดซึมน้ำ หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง (gm) | 11.580 | 11.571 | 11.435 | 11.346 | 11.314 |
| รวมเฉลี่ยค่าการดูดซึมน้ำ 24 ชั่วโมง (%) | 57.246 / 5 | | | | |
| เฉลี่ยค่าการดูดซึมน้ำ 24 ชั่วโมง (%) | 11.449 | | | | |

ภาคผนวก ง ทดสอบกล่องจำลองโมเดล

ทดลอง 4 วัน เมื่อวันที่ 16 – 19 พฤศจิกายน 2560 จำนวน 3 กล่องทดลอง



| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 16/11/2560 | 0:00 | 25.50 | 29.10 | 29.00 | 28.70 |
| | 0:10 | 25.50 | 29.00 | 28.90 | 28.60 |
| | 0:20 | 25.50 | 28.80 | 28.80 | 28.40 |
| | 0:30 | 25.50 | 28.80 | 28.70 | 28.30 |
| | 0:40 | 25.50 | 28.70 | 28.60 | 28.30 |
| | 0:50 | 25.70 | 28.50 | 28.50 | 28.20 |
| | 1:00 | 25.60 | 28.40 | 28.40 | 28.10 |
| | 1:10 | 25.60 | 28.30 | 28.30 | 28.00 |
| | 1:20 | 25.60 | 28.20 | 28.20 | 27.90 |
| | 1:30 | 25.50 | 28.10 | 28.10 | 27.80 |
| | 1:40 | 25.30 | 28.00 | 28.00 | 27.70 |
| | 1:50 | 25.40 | 27.90 | 27.90 | 27.60 |
| | 2:00 | 25.30 | 27.80 | 27.80 | 27.50 |
| | 2:10 | 25.30 | 27.70 | 27.70 | 27.40 |
| | 2:20 | 25.20 | 27.60 | 27.60 | 27.30 |
| | 2:30 | 25.20 | 27.50 | 27.60 | 27.20 |
| | 2:40 | 25.30 | 27.50 | 27.40 | 27.20 |
| | 2:50 | 25.20 | 27.30 | 27.40 | 27.10 |
| | 3:00 | 25.10 | 27.30 | 27.20 | 27.00 |
| | 3:10 | 25.20 | 27.20 | 27.10 | 26.90 |
| | 3:20 | 25.10 | 27.10 | 27.10 | 26.80 |
| | 3:30 | 25.10 | 27.00 | 27.00 | 26.80 |
| | 3:40 | 25.00 | 26.90 | 27.00 | 26.70 |
| | 3:50 | 25.00 | 26.90 | 26.90 | 26.70 |
| | 4:00 | 25.00 | 26.80 | 26.70 | 26.60 |
| | 4:10 | 24.90 | 26.70 | 26.70 | 26.50 |
| | 4:20 | 25.00 | 26.60 | 26.70 | 26.50 |
| | 4:30 | 24.90 | 26.60 | 26.60 | 26.30 |
| | 4:40 | 24.90 | 26.50 | 26.50 | 26.30 |
| | 4:50 | 24.90 | 26.40 | 26.40 | 26.20 |
| | 5:00 | 24.90 | 26.40 | 26.40 | 26.20 |
| | 5:10 | 24.90 | 26.30 | 26.30 | 26.10 |

| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|-------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 16/11/2560 | 5:20 | 25.00 | 26.20 | 26.20 | 26.10 |
| | 5:30 | 24.80 | 26.20 | 26.20 | 26.00 |
| | 5:40 | 24.80 | 26.10 | 26.10 | 26.00 |
| | 5:50 | 24.80 | 26.00 | 26.10 | 25.90 |
| | 6:00 | 24.80 | 26.00 | 26.00 | 25.90 |
| | 6:10 | 25.00 | 26.00 | 26.00 | 25.90 |
| | 6:20 | 25.00 | 25.90 | 26.00 | 25.80 |
| | 6:30 | 25.00 | 25.90 | 25.90 | 25.80 |
| | 6:40 | 25.10 | 25.90 | 25.90 | 25.80 |
| | 6:50 | 25.10 | 25.80 | 25.80 | 25.80 |
| | 7:00 | 25.20 | 25.80 | 25.80 | 25.70 |
| | 7:10 | 25.20 | 25.70 | 25.80 | 25.70 |
| | 7:20 | 25.40 | 25.80 | 25.80 | 25.70 |
| | 7:30 | 25.50 | 25.80 | 25.80 | 25.70 |
| | 7:40 | 25.80 | 25.90 | 25.90 | 25.80 |
| | 7:50 | 26.50 | 26.00 | 26.00 | 25.90 |
| | 8:00 | 27.10 | 26.20 | 26.20 | 26.10 |
| | 8:10 | 26.90 | 26.30 | 26.30 | 26.20 |
| | 8:20 | 27.30 | 26.60 | 26.60 | 26.50 |
| | 8:30 | 27.20 | 26.80 | 26.80 | 26.70 |
| | 8:40 | 28.40 | 27.20 | 27.10 | 27.00 |
| | 8:50 | 28.10 | 27.40 | 27.40 | 27.30 |
| | 9:00 | 27.90 | 27.70 | 27.70 | 27.50 |
| | 9:10 | 28.40 | 28.10 | 28.10 | 27.80 |
| | 9:20 | 28.30 | 28.40 | 28.40 | 28.10 |
| | 9:30 | 28.20 | 28.70 | 28.70 | 28.40 |
| | 9:40 | 28.30 | 29.00 | 28.80 | 28.60 |
| | 9:50 | 28.60 | 29.20 | 29.10 | 28.80 |
| | 10:00 | 28.30 | 29.60 | 29.40 | 29.10 |
| | 10:10 | 29.50 | 29.90 | 29.80 | 29.50 |
| | 10:20 | 30.00 | 30.30 | 30.20 | 29.80 |
| | 10:30 | 29.40 | 30.60 | 30.50 | 30.10 |

| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|-------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 16/11/2560 | 10:40 | 28.90 | 30.80 | 30.70 | 30.40 |
| | 10:50 | 29.10 | 31.00 | 30.90 | 30.50 |
| | 11:00 | 29.30 | 31.30 | 31.10 | 30.80 |
| | 11:10 | 29.80 | 31.70 | 31.40 | 31.00 |
| | 11:20 | 30.30 | 32.00 | 31.80 | 31.30 |
| | 11:30 | 30.00 | 32.30 | 32.00 | 31.60 |
| | 11:40 | 29.60 | 32.40 | 32.20 | 31.70 |
| | 11:50 | 29.60 | 32.50 | 32.20 | 31.80 |
| | 12:00 | 29.80 | 32.70 | 32.40 | 31.90 |
| | 12:10 | 30.10 | 32.80 | 32.50 | 32.10 |
| | 12:20 | 30.40 | 33.00 | 32.70 | 32.20 |
| | 12:30 | 30.40 | 33.10 | 32.80 | 32.40 |
| | 12:40 | 30.00 | 33.20 | 32.90 | 32.50 |
| | 12:50 | 29.90 | 33.30 | 33.00 | 32.50 |
| | 13:00 | 30.00 | 33.40 | 33.10 | 32.60 |
| | 13:10 | 30.70 | 33.60 | 33.20 | 32.70 |
| | 13:20 | 30.90 | 33.70 | 33.40 | 32.80 |
| | 13:30 | 30.20 | 33.70 | 33.40 | 32.90 |
| | 13:40 | 30.20 | 33.70 | 33.40 | 32.90 |
| | 13:50 | 31.50 | 34.00 | 33.50 | 33.00 |
| | 14:00 | 31.60 | 34.30 | 33.90 | 33.30 |
| | 14:10 | 31.80 | 34.50 | 34.00 | 33.60 |
| | 14:20 | 31.90 | 34.60 | 34.20 | 33.80 |
| | 14:30 | 31.70 | 34.80 | 34.40 | 33.80 |
| | 14:40 | 31.20 | 34.90 | 34.40 | 33.90 |
| | 14:50 | 30.60 | 34.90 | 34.40 | 33.90 |
| | 15:00 | 30.80 | 34.70 | 34.30 | 33.90 |
| | 15:10 | 30.20 | 34.70 | 34.30 | 33.80 |
| | 15:20 | 30.00 | 34.70 | 34.40 | 33.80 |
| | 15:30 | 30.10 | 34.70 | 34.30 | 33.80 |
| | 15:40 | 30.00 | 34.70 | 34.30 | 33.80 |
| | 15:50 | 29.80 | 34.70 | 34.30 | 33.70 |

| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|-------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 16/11/2560 | 16:00 | 29.60 | 34.60 | 34.20 | 33.60 |
| | 16:10 | 29.60 | 34.60 | 34.10 | 33.50 |
| | 16:20 | 29.80 | 34.40 | 34.00 | 33.50 |
| | 16:30 | 29.40 | 34.30 | 33.90 | 33.40 |
| | 16:40 | 29.30 | 34.20 | 33.80 | 33.20 |
| | 16:50 | 29.30 | 34.00 | 33.60 | 33.10 |
| | 17:00 | 29.00 | 33.90 | 33.50 | 32.90 |
| | 17:10 | 29.00 | 33.70 | 33.30 | 32.80 |
| | 17:20 | 28.90 | 33.50 | 33.20 | 32.70 |
| | 17:30 | 28.50 | 33.40 | 33.00 | 32.50 |
| | 17:40 | 28.20 | 33.20 | 32.80 | 32.30 |
| | 17:50 | 28.20 | 33.00 | 32.70 | 32.20 |
| | 18:00 | 27.90 | 32.90 | 32.40 | 32.00 |
| | 18:10 | 27.80 | 32.60 | 32.30 | 31.80 |
| | 18:20 | 27.70 | 32.50 | 32.10 | 31.70 |
| | 18:30 | 27.70 | 32.20 | 31.90 | 31.50 |
| | 18:40 | 27.60 | 32.10 | 31.80 | 31.30 |
| | 18:50 | 27.70 | 31.90 | 31.60 | 31.10 |
| | 19:00 | 27.30 | 31.70 | 31.50 | 31.00 |
| | 19:10 | 27.50 | 31.50 | 31.20 | 30.80 |
| | 19:20 | 26.90 | 31.40 | 31.10 | 30.60 |
| | 19:30 | 27.30 | 31.20 | 30.90 | 30.50 |
| | 19:40 | 27.00 | 31.00 | 30.80 | 30.40 |
| | 19:50 | 27.00 | 30.80 | 30.70 | 30.20 |
| | 20:00 | 26.90 | 30.70 | 30.50 | 30.10 |
| | 20:10 | 26.90 | 30.60 | 30.40 | 29.90 |
| | 20:20 | 26.90 | 30.40 | 30.20 | 29.80 |
| | 20:30 | 26.30 | 30.20 | 30.10 | 29.70 |
| | 20:40 | 26.60 | 30.10 | 29.90 | 29.60 |
| | 20:50 | 26.50 | 30.00 | 29.70 | 29.40 |
| | 21:00 | 26.50 | 29.80 | 29.70 | 29.30 |
| | 21:10 | 26.60 | 29.70 | 29.50 | 29.20 |

| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|-------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 16/11/2560 | 21:20 | 26.40 | 29.60 | 29.40 | 29.10 |
| | 21:30 | 26.20 | 29.50 | 29.30 | 29.00 |
| | 21:40 | 26.20 | 29.30 | 29.20 | 28.80 |
| | 21:50 | 26.00 | 29.20 | 29.00 | 28.80 |
| | 22:00 | 26.10 | 29.10 | 28.90 | 28.70 |
| | 22:10 | 26.00 | 28.90 | 28.80 | 28.50 |
| | 22:20 | 26.00 | 28.80 | 28.70 | 28.40 |
| | 22:30 | 26.00 | 28.70 | 28.50 | 28.20 |
| | 22:40 | 25.50 | 28.50 | 28.40 | 28.10 |
| | 22:50 | 25.70 | 28.40 | 28.30 | 28.10 |
| | 23:00 | 25.60 | 28.40 | 28.20 | 27.90 |
| | 23:10 | 25.60 | 28.20 | 28.20 | 27.90 |
| | 23:20 | 25.40 | 28.10 | 28.00 | 27.80 |
| | 23:30 | 25.40 | 28.00 | 27.90 | 27.60 |
| | 23:40 | 25.80 | 27.90 | 27.80 | 27.60 |
| | 23:50 | 25.60 | 27.90 | 27.70 | 27.50 |
| 17/11/2560 | 0:00 | 25.50 | 27.80 | 27.70 | 27.40 |
| | 0:10 | 25.40 | 27.60 | 27.60 | 27.30 |
| | 0:20 | 25.70 | 27.60 | 27.50 | 27.30 |
| | 0:30 | 25.70 | 27.40 | 27.40 | 27.20 |
| | 0:40 | 25.80 | 27.40 | 27.40 | 27.20 |
| | 0:50 | 25.60 | 27.40 | 27.30 | 27.10 |
| | 1:00 | 25.50 | 27.30 | 27.20 | 27.00 |
| | 1:10 | 25.50 | 27.20 | 27.10 | 27.00 |
| | 1:20 | 25.40 | 27.20 | 27.10 | 26.90 |
| | 1:30 | 25.40 | 27.10 | 27.00 | 26.80 |
| | 1:40 | 25.60 | 27.00 | 26.90 | 26.80 |
| | 1:50 | 25.80 | 27.00 | 26.90 | 26.80 |
| | 2:00 | 25.70 | 26.90 | 26.90 | 26.70 |
| | 2:10 | 25.60 | 26.90 | 26.80 | 26.70 |
| | 2:20 | 25.70 | 26.80 | 26.80 | 26.60 |
| | 2:30 | 25.60 | 26.80 | 26.70 | 26.70 |

| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 17/11/2560 | 2:40 | 25.60 | 26.70 | 26.70 | 26.60 |
| | 2:50 | 25.80 | 26.70 | 26.70 | 26.60 |
| | 3:00 | 25.80 | 26.70 | 26.70 | 26.50 |
| | 3:10 | 25.80 | 26.70 | 26.60 | 26.50 |
| | 3:20 | 25.80 | 26.70 | 26.70 | 26.50 |
| | 3:30 | 25.70 | 26.70 | 26.60 | 26.50 |
| | 3:40 | 25.80 | 26.60 | 26.60 | 26.40 |
| | 3:50 | 25.70 | 26.50 | 26.50 | 26.40 |
| | 4:00 | 25.70 | 26.50 | 26.40 | 26.40 |
| | 4:10 | 25.80 | 26.50 | 26.50 | 26.40 |
| | 4:20 | 25.80 | 26.40 | 26.50 | 26.30 |
| | 4:30 | 25.80 | 26.40 | 26.50 | 26.40 |
| | 4:40 | 25.80 | 26.40 | 26.50 | 26.30 |
| | 4:50 | 25.80 | 26.40 | 26.50 | 26.30 |
| | 5:00 | 25.90 | 26.40 | 26.40 | 26.30 |
| | 5:10 | 25.90 | 26.30 | 26.40 | 26.20 |
| | 5:20 | 25.80 | 26.30 | 26.30 | 26.20 |
| | 5:30 | 25.80 | 26.20 | 26.30 | 26.10 |
| | 5:40 | 25.90 | 26.30 | 26.30 | 26.20 |
| | 5:50 | 25.70 | 26.20 | 26.30 | 26.20 |
| | 6:00 | 25.60 | 26.10 | 26.20 | 26.10 |
| | 6:10 | 25.60 | 26.00 | 26.10 | 26.00 |
| | 6:20 | 25.70 | 26.00 | 26.00 | 25.90 |
| | 6:30 | 25.70 | 26.00 | 26.00 | 25.90 |
| | 6:40 | 25.60 | 25.90 | 26.00 | 25.90 |
| | 6:50 | 25.80 | 25.90 | 26.00 | 25.90 |
| | 7:00 | 26.20 | 26.00 | 26.00 | 25.90 |
| | 7:10 | 26.50 | 26.00 | 26.10 | 26.00 |
| | 7:20 | 27.00 | 26.20 | 26.30 | 26.20 |
| | 7:30 | 28.70 | 26.30 | 26.40 | 26.30 |
| | 7:40 | 27.10 | 26.50 | 26.60 | 26.00 |
| | 7:50 | 27.00 | 26.70 | 26.80 | 26.60 |

| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|-------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 17/11/2560 | 8:00 | 29.80 | 26.90 | 27.00 | 26.80 |
| | 8:10 | 28.60 | 27.20 | 27.30 | 27.30 |
| | 8:20 | 29.20 | 27.50 | 27.50 | 27.60 |
| | 8:30 | 29.30 | 27.80 | 27.90 | 27.90 |
| | 8:40 | 29.40 | 28.10 | 28.20 | 28.10 |
| | 8:50 | 29.50 | 28.40 | 28.30 | 28.30 |
| | 9:00 | 28.60 | 28.60 | 28.60 | 28.60 |
| | 9:10 | 29.10 | 28.90 | 28.90 | 28.80 |
| | 9:20 | 31.00 | 29.30 | 29.30 | 29.20 |
| | 9:30 | 30.60 | 29.80 | 29.70 | 29.50 |
| | 9:40 | 30.50 | 30.00 | 29.90 | 29.90 |
| | 9:50 | 30.50 | 30.20 | 30.30 | 30.10 |
| | 10:00 | 30.50 | 30.50 | 30.50 | 30.30 |
| | 10:10 | 30.60 | 30.90 | 30.80 | 30.60 |
| | 10:20 | 29.90 | 31.20 | 31.10 | 30.80 |
| | 10:30 | 30.50 | 31.50 | 31.40 | 31.20 |
| | 10:40 | 29.80 | 31.80 | 31.70 | 31.40 |
| | 10:50 | 30.30 | 32.00 | 31.80 | 31.60 |
| | 11:00 | 31.10 | 32.30 | 32.10 | 31.80 |
| | 11:10 | 31.10 | 32.60 | 32.40 | 32.10 |
| | 11:20 | 31.90 | 33.10 | 32.80 | 32.40 |
| | 11:30 | 32.20 | 33.50 | 33.20 | 32.80 |
| | 11:40 | 31.60 | 33.80 | 33.50 | 33.10 |
| | 11:50 | 30.70 | 33.90 | 33.60 | 33.20 |
| | 12:00 | 33.40 | 34.30 | 33.90 | 33.60 |
| | 12:10 | 32.00 | 34.80 | 34.30 | 33.90 |
| | 12:20 | 32.10 | 35.20 | 34.70 | 34.30 |
| | 12:30 | 32.60 | 35.50 | 35.10 | 34.60 |
| | 12:40 | 33.50 | 35.70 | 35.30 | 34.90 |
| | 12:50 | 31.60 | 35.90 | 35.50 | 35.00 |
| | 13:00 | 32.70 | 36.10 | 35.70 | 35.30 |
| | 13:10 | 31.30 | 36.30 | 35.80 | 35.40 |

| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|-------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 17/11/2560 | 13:20 | 32.70 | 36.50 | 36.00 | 35.60 |
| | 13:30 | 34.00 | 36.80 | 36.30 | 35.90 |
| | 13:40 | 34.80 | 37.20 | 36.70 | 36.20 |
| | 13:50 | 31.90 | 37.30 | 36.90 | 36.40 |
| | 14:00 | 31.60 | 37.20 | 36.70 | 36.30 |
| | 14:10 | 31.60 | 37.10 | 36.60 | 36.20 |
| | 14:20 | 31.10 | 37.20 | 36.80 | 36.30 |
| | 14:30 | 31.40 | 37.20 | 36.70 | 36.20 |
| | 14:40 | 32.70 | 37.20 | 36.80 | 36.20 |
| | 14:50 | 33.10 | 37.40 | 37.00 | 36.50 |
| | 15:00 | 32.20 | 37.50 | 37.10 | 36.60 |
| | 15:10 | 31.90 | 37.60 | 37.20 | 36.70 |
| | 15:20 | 31.90 | 37.70 | 37.30 | 36.80 |
| | 15:30 | 31.80 | 37.80 | 37.40 | 36.60 |
| | 15:40 | 31.90 | 37.90 | 37.40 | 36.60 |
| | 15:50 | 31.60 | 37.90 | 37.40 | 36.50 |
| | 16:00 | 31.70 | 37.90 | 37.20 | 36.50 |
| | 16:10 | 31.70 | 37.80 | 37.20 | 36.40 |
| | 16:20 | 31.40 | 37.70 | 37.10 | 36.30 |
| | 16:30 | 30.90 | 37.70 | 37.00 | 36.20 |
| | 16:40 | 30.90 | 37.50 | 36.90 | 36.00 |
| | 16:50 | 30.10 | 37.30 | 36.70 | 35.90 |
| | 17:00 | 29.80 | 37.20 | 36.50 | 35.80 |
| | 17:10 | 29.90 | 37.00 | 36.30 | 35.60 |
| | 17:20 | 29.90 | 36.70 | 36.00 | 35.30 |
| | 17:30 | 30.90 | 36.40 | 35.80 | 35.10 |
| | 17:40 | 28.40 | 36.20 | 35.60 | 34.90 |
| | 17:50 | 27.90 | 36.00 | 35.40 | 34.70 |
| | 18:00 | 27.60 | 35.70 | 35.10 | 34.40 |
| | 18:10 | 27.40 | 35.40 | 34.90 | 34.20 |
| | 18:20 | 27.20 | 35.20 | 34.70 | 34.00 |
| | 18:30 | 27.20 | 34.90 | 34.30 | 33.80 |

| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|-------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 17/11/2560 | 18:40 | 27.00 | 34.70 | 34.20 | 33.50 |
| | 18:50 | 26.90 | 34.50 | 34.00 | 33.30 |
| | 19:00 | 26.80 | 34.10 | 33.70 | 33.10 |
| | 19:10 | 26.60 | 33.90 | 33.50 | 32.90 |
| | 19:20 | 26.60 | 33.70 | 33.30 | 32.70 |
| | 19:30 | 26.60 | 33.50 | 33.10 | 32.40 |
| | 19:40 | 26.50 | 33.30 | 32.90 | 32.30 |
| | 19:50 | 26.60 | 33.10 | 32.70 | 32.10 |
| | 20:00 | 26.60 | 32.90 | 32.50 | 31.90 |
| | 20:10 | 26.60 | 32.60 | 32.20 | 31.80 |
| | 20:20 | 26.50 | 32.40 | 32.10 | 31.60 |
| | 20:30 | 26.40 | 32.20 | 31.90 | 31.40 |
| | 20:40 | 26.20 | 32.00 | 31.70 | 31.20 |
| | 20:50 | 26.30 | 31.80 | 31.60 | 31.10 |
| | 21:00 | 26.50 | 31.80 | 31.40 | 30.90 |
| | 21:10 | 27.20 | 31.50 | 31.20 | 30.80 |
| | 21:20 | 26.90 | 31.40 | 31.10 | 30.70 |
| | 21:30 | 26.40 | 31.30 | 31.00 | 30.60 |
| | 21:40 | 26.90 | 31.20 | 30.80 | 30.40 |
| | 21:50 | 26.60 | 31.00 | 30.70 | 30.30 |
| | 22:00 | 26.10 | 30.90 | 30.60 | 30.20 |
| | 22:10 | 26.10 | 30.60 | 30.50 | 30.00 |
| | 22:20 | 26.70 | 30.50 | 30.30 | 29.90 |
| | 22:30 | 26.80 | 30.40 | 30.20 | 29.80 |
| | 22:40 | 26.40 | 30.30 | 30.10 | 29.70 |
| | 22:50 | 26.00 | 30.10 | 30.00 | 29.60 |
| | 23:00 | 26.70 | 30.00 | 29.70 | 29.40 |
| | 23:10 | 26.80 | 29.90 | 29.70 | 29.40 |
| | 23:20 | 26.30 | 29.70 | 29.60 | 29.30 |
| | 23:30 | 26.10 | 29.60 | 29.50 | 29.10 |
| | 23:40 | 26.40 | 29.50 | 29.40 | 28.90 |
| | 23:50 | 26.50 | 29.40 | 29.20 | 28.90 |

| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 18/11/2560 | 0:00 | 26.70 | 29.30 | 29.20 | 28.80 |
| | 0:10 | 26.80 | 29.10 | 29.10 | 28.70 |
| | 0:20 | 26.60 | 29.10 | 29.00 | 28.60 |
| | 0:30 | 26.30 | 28.90 | 28.80 | 28.50 |
| | 0:40 | 25.80 | 28.80 | 28.70 | 28.40 |
| | 0:50 | 25.70 | 28.70 | 28.70 | 28.30 |
| | 1:00 | 25.60 | 28.50 | 28.40 | 28.20 |
| | 1:10 | 25.90 | 28.50 | 28.40 | 28.10 |
| | 1:20 | 26.60 | 28.40 | 28.30 | 28.00 |
| | 1:30 | 26.90 | 28.40 | 28.40 | 28.00 |
| | 1:40 | 27.10 | 28.30 | 28.20 | 28.00 |
| | 1:50 | 26.60 | 28.30 | 28.20 | 28.00 |
| | 2:00 | 26.30 | 28.20 | 28.10 | 27.90 |
| | 2:10 | 26.10 | 28.10 | 28.00 | 27.80 |
| | 2:20 | 26.40 | 28.00 | 27.90 | 27.60 |
| | 2:30 | 26.80 | 28.00 | 27.90 | 27.60 |
| | 2:40 | 26.70 | 28.00 | 27.90 | 27.60 |
| | 2:50 | 26.80 | 27.90 | 27.80 | 27.50 |
| | 3:00 | 26.40 | 27.80 | 27.70 | 27.50 |
| | 3:10 | 26.30 | 27.70 | 27.70 | 27.40 |
| | 3:20 | 26.10 | 27.60 | 27.60 | 27.40 |
| | 3:30 | 26.30 | 27.50 | 27.50 | 27.30 |
| | 3:40 | 26.00 | 27.50 | 27.50 | 27.20 |
| | 3:50 | 26.50 | 27.50 | 27.40 | 27.20 |
| | 4:00 | 26.40 | 27.40 | 27.40 | 27.10 |
| | 4:10 | 26.40 | 27.40 | 27.30 | 27.10 |
| | 4:20 | 26.20 | 27.30 | 27.20 | 27.00 |
| | 4:30 | 26.30 | 27.20 | 27.20 | 27.00 |
| | 4:40 | 26.10 | 27.10 | 27.10 | 26.90 |
| | 4:50 | 25.70 | 27.10 | 27.10 | 26.90 |
| | 5:00 | 26.00 | 26.90 | 27.00 | 26.80 |
| | 5:10 | 25.60 | 26.90 | 26.90 | 26.80 |

| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|-------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 18/11/2560 | 5:20 | 26.00 | 26.90 | 26.90 | 26.70 |
| | 5:30 | 25.70 | 26.80 | 26.80 | 26.70 |
| | 5:40 | 25.20 | 26.70 | 26.70 | 26.50 |
| | 5:50 | 25.10 | 26.70 | 26.70 | 26.50 |
| | 6:00 | 25.40 | 26.60 | 26.60 | 26.50 |
| | 6:10 | 25.60 | 26.50 | 26.50 | 26.30 |
| | 6:20 | 25.70 | 26.50 | 26.50 | 26.40 |
| | 6:30 | 25.10 | 26.40 | 26.40 | 26.30 |
| | 6:40 | 25.20 | 26.40 | 26.40 | 26.30 |
| | 6:50 | 25.20 | 26.30 | 26.30 | 26.20 |
| | 7:00 | 26.10 | 26.30 | 26.30 | 26.20 |
| | 7:10 | 26.80 | 26.30 | 26.40 | 26.20 |
| | 7:20 | 27.40 | 26.50 | 26.50 | 26.40 |
| | 7:30 | 27.90 | 26.60 | 26.60 | 26.50 |
| | 7:40 | 28.30 | 26.80 | 26.80 | 26.70 |
| | 7:50 | 28.50 | 27.10 | 27.00 | 26.90 |
| | 8:00 | 29.00 | 27.30 | 27.30 | 27.10 |
| | 8:10 | 29.80 | 27.60 | 27.50 | 27.40 |
| | 8:20 | 30.40 | 28.00 | 27.90 | 27.70 |
| | 8:30 | 30.50 | 28.30 | 28.20 | 28.10 |
| | 8:40 | 30.50 | 28.60 | 28.70 | 28.50 |
| | 8:50 | 31.50 | 29.10 | 29.00 | 28.90 |
| | 9:00 | 33.00 | 29.50 | 29.40 | 29.40 |
| | 9:10 | 32.50 | 30.00 | 29.90 | 29.70 |
| | 9:20 | 33.50 | 30.50 | 30.40 | 30.20 |
| | 9:30 | 32.70 | 31.00 | 30.80 | 30.70 |
| | 9:40 | 32.90 | 31.50 | 31.30 | 31.20 |
| | 9:50 | 32.80 | 32.00 | 31.80 | 31.60 |
| | 10:00 | 33.70 | 32.50 | 32.30 | 32.10 |
| | 10:10 | 32.70 | 33.10 | 32.80 | 32.60 |
| | 10:20 | 32.90 | 33.50 | 33.30 | 33.10 |
| | 10:30 | 33.10 | 34.10 | 33.80 | 33.50 |

| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|-------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 18/11/2560 | 10:40 | 32.50 | 34.70 | 34.30 | 34.00 |
| | 10:50 | 33.00 | 35.20 | 34.90 | 34.60 |
| | 11:00 | 33.10 | 35.70 | 35.40 | 35.10 |
| | 11:10 | 33.90 | 36.20 | 35.90 | 35.60 |
| | 11:20 | 33.50 | 36.70 | 36.30 | 36.00 |
| | 11:30 | 33.90 | 37.30 | 36.80 | 36.50 |
| | 11:40 | 34.90 | 37.70 | 37.30 | 37.00 |
| | 11:50 | 34.90 | 38.20 | 37.80 | 37.40 |
| | 12:00 | 35.10 | 38.70 | 38.20 | 37.90 |
| | 12:10 | 36.00 | 39.10 | 38.70 | 38.30 |
| | 12:20 | 35.40 | 39.60 | 39.20 | 38.90 |
| | 12:30 | 36.10 | 40.10 | 39.60 | 39.30 |
| | 12:40 | 36.10 | 40.60 | 40.00 | 39.70 |
| | 12:50 | 36.00 | 40.80 | 40.40 | 40.00 |
| | 13:00 | 36.20 | 41.20 | 40.80 | 40.30 |
| | 13:10 | 33.20 | 41.40 | 40.90 | 40.60 |
| | 13:20 | 35.30 | 41.70 | 41.20 | 40.80 |
| | 13:30 | 36.50 | 42.00 | 41.50 | 41.10 |
| | 13:40 | 35.80 | 42.30 | 41.80 | 41.50 |
| | 13:50 | 36.50 | 42.60 | 42.00 | 41.70 |
| | 14:00 | 36.10 | 42.80 | 42.30 | 42.00 |
| | 14:10 | 36.00 | 43.00 | 42.60 | 42.20 |
| | 14:20 | 36.40 | 43.40 | 42.90 | 42.50 |
| | 14:30 | 36.50 | 43.50 | 43.10 | 42.70 |
| | 14:40 | 36.40 | 43.80 | 43.20 | 42.90 |
| | 14:50 | 35.70 | 44.00 | 43.40 | 43.10 |
| | 15:00 | 35.40 | 44.10 | 43.60 | 43.20 |
| | 15:10 | 34.70 | 44.20 | 43.70 | 43.30 |
| | 15:20 | 34.20 | 44.30 | 43.80 | 43.40 |
| | 15:30 | 33.80 | 44.40 | 43.90 | 43.30 |
| | 15:40 | 33.70 | 44.40 | 43.90 | 43.10 |
| | 15:50 | 33.50 | 44.40 | 43.80 | 43.00 |

| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|-------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 18/11/2560 | 16:00 | 33.10 | 44.30 | 43.60 | 42.80 |
| | 16:10 | 32.80 | 44.10 | 43.40 | 42.70 |
| | 16:20 | 33.00 | 43.80 | 43.20 | 42.40 |
| | 16:30 | 32.70 | 43.60 | 43.00 | 42.20 |
| | 16:40 | 31.00 | 43.40 | 42.70 | 42.00 |
| | 16:50 | 30.20 | 43.00 | 42.40 | 41.70 |
| | 17:00 | 29.60 | 42.60 | 42.00 | 41.20 |
| | 17:10 | 29.30 | 42.20 | 41.60 | 40.90 |
| | 17:20 | 29.10 | 41.90 | 41.30 | 40.60 |
| | 17:30 | 28.60 | 41.50 | 40.90 | 40.20 |
| | 17:40 | 28.20 | 41.10 | 40.50 | 39.80 |
| | 17:50 | 27.90 | 40.70 | 40.20 | 39.50 |
| | 18:00 | 27.80 | 40.40 | 39.80 | 39.10 |
| | 18:10 | 27.70 | 40.00 | 39.30 | 38.80 |
| | 18:20 | 27.70 | 39.60 | 39.00 | 38.40 |
| | 18:30 | 27.30 | 39.20 | 38.70 | 38.00 |
| | 18:40 | 27.30 | 38.80 | 38.30 | 37.70 |
| | 18:50 | 27.20 | 38.50 | 38.00 | 37.40 |
| | 19:00 | 27.10 | 38.10 | 37.60 | 37.10 |
| | 19:10 | 27.10 | 37.80 | 37.30 | 36.70 |
| | 19:20 | 26.80 | 37.50 | 36.90 | 36.40 |
| | 19:30 | 27.00 | 37.10 | 36.70 | 36.10 |
| | 19:40 | 26.90 | 36.80 | 36.30 | 35.80 |
| | 19:50 | 26.90 | 36.50 | 36.10 | 35.60 |
| | 20:00 | 26.80 | 36.20 | 35.80 | 35.30 |
| | 20:10 | 26.80 | 35.80 | 35.60 | 35.00 |
| | 20:20 | 27.00 | 35.60 | 35.30 | 34.80 |
| | 20:30 | 26.80 | 35.40 | 35.00 | 34.50 |
| | 20:40 | 27.00 | 35.00 | 34.70 | 34.30 |
| | 20:50 | 26.90 | 34.80 | 34.60 | 34.00 |
| | 21:00 | 26.60 | 34.60 | 34.30 | 33.90 |
| | 21:10 | 26.90 | 34.40 | 34.10 | 33.60 |

| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|-------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 18/11/2560 | 21:20 | 26.80 | 34.10 | 33.80 | 33.50 |
| | 21:30 | 26.50 | 34.00 | 33.60 | 33.20 |
| | 21:40 | 26.60 | 33.70 | 33.50 | 33.00 |
| | 21:50 | 26.60 | 33.50 | 33.20 | 32.80 |
| | 22:00 | 26.60 | 33.30 | 33.10 | 32.70 |
| | 22:10 | 26.50 | 33.10 | 32.90 | 32.50 |
| | 22:20 | 26.50 | 32.90 | 32.70 | 32.30 |
| | 22:30 | 26.40 | 32.70 | 32.50 | 32.10 |
| | 22:40 | 26.50 | 32.50 | 32.30 | 31.90 |
| | 22:50 | 27.10 | 32.40 | 32.10 | 31.80 |
| | 23:00 | 27.20 | 32.20 | 32.00 | 31.70 |
| | 23:10 | 27.50 | 32.10 | 31.90 | 31.60 |
| | 23:20 | 27.40 | 31.90 | 31.70 | 31.40 |
| | 23:30 | 27.00 | 31.70 | 31.60 | 31.30 |
| | 23:40 | 26.20 | 31.60 | 31.40 | 31.10 |
| | 23:50 | 26.60 | 31.30 | 31.20 | 30.80 |
| 19/11/2560 | 0:00 | 26.00 | 31.10 | 31.00 | 30.70 |
| | 0:10 | 25.90 | 31.00 | 30.80 | 30.50 |
| | 0:20 | 25.80 | 30.80 | 30.60 | 30.30 |
| | 0:30 | 25.60 | 30.60 | 30.50 | 30.20 |
| | 0:40 | 25.70 | 30.50 | 30.40 | 30.10 |
| | 0:50 | 25.80 | 30.30 | 30.10 | 29.90 |
| | 1:00 | 25.80 | 30.20 | 30.10 | 29.80 |
| | 1:10 | 25.80 | 30.10 | 29.90 | 29.70 |
| | 1:20 | 26.40 | 30.00 | 29.80 | 29.50 |
| | 1:30 | 25.80 | 29.80 | 29.80 | 29.40 |
| | 1:40 | 25.50 | 29.70 | 29.60 | 29.30 |
| | 1:50 | 25.80 | 29.50 | 29.50 | 29.20 |
| | 2:00 | 27.10 | 29.50 | 29.40 | 29.10 |
| | 2:10 | 27.00 | 29.40 | 29.40 | 29.10 |
| | 2:20 | 27.40 | 29.40 | 29.30 | 29.00 |
| | 2:30 | 27.40 | 29.30 | 29.20 | 29.00 |

| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 19/11/2560 | 2:40 | 27.10 | 29.20 | 29.20 | 28.90 |
| | 2:50 | 27.10 | 29.10 | 29.00 | 28.80 |
| | 3:00 | 27.20 | 29.10 | 29.00 | 28.70 |
| | 3:10 | 27.20 | 28.90 | 28.90 | 28.60 |
| | 3:20 | 27.10 | 28.80 | 28.90 | 28.50 |
| | 3:30 | 26.90 | 28.80 | 28.70 | 28.50 |
| | 3:40 | 26.70 | 28.60 | 28.60 | 28.40 |
| | 3:50 | 26.60 | 28.60 | 28.50 | 28.30 |
| | 4:00 | 26.70 | 28.40 | 28.50 | 28.20 |
| | 4:10 | 26.90 | 28.40 | 28.40 | 28.20 |
| | 4:20 | 26.80 | 28.30 | 28.30 | 28.10 |
| | 4:30 | 27.00 | 28.30 | 28.20 | 28.00 |
| | 4:40 | 27.10 | 28.20 | 28.20 | 28.00 |
| | 4:50 | 26.70 | 28.10 | 28.20 | 28.00 |
| | 5:00 | 26.50 | 28.10 | 28.00 | 27.80 |
| | 5:10 | 25.90 | 27.90 | 28.00 | 27.80 |
| | 5:20 | 25.30 | 27.80 | 27.80 | 27.60 |
| | 5:30 | 25.60 | 27.70 | 27.70 | 27.50 |
| | 5:40 | 25.70 | 27.70 | 27.60 | 27.50 |
| | 5:50 | 25.20 | 27.50 | 27.60 | 27.40 |
| | 6:00 | 25.00 | 27.40 | 27.50 | 27.20 |
| | 6:10 | 25.20 | 27.30 | 27.40 | 27.20 |
| | 6:20 | 24.90 | 27.30 | 27.20 | 27.10 |
| | 6:30 | 25.40 | 27.20 | 27.30 | 27.00 |
| | 6:40 | 26.10 | 27.20 | 27.10 | 27.00 |
| | 6:50 | 26.30 | 27.20 | 27.10 | 27.00 |
| | 7:00 | 26.70 | 27.20 | 27.20 | 27.00 |
| | 7:10 | 27.00 | 27.20 | 27.10 | 27.00 |
| | 7:20 | 28.40 | 27.30 | 27.30 | 27.20 |
| | 7:30 | 29.00 | 27.50 | 27.50 | 27.40 |
| | 7:40 | 29.70 | 27.80 | 27.70 | 27.50 |
| | 7:50 | 30.30 | 28.00 | 28.00 | 27.80 |

| Date | Time | External [°C] | Int.1-6_No Ash [°C] | Int.1-6_Ash 50% [°C] | Int.1-7_Ash 50% [°C] |
|------------|-------|---------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 19/11/2560 | 8:00 | 30.00 | 28.30 | 28.20 | 28.00 |
| | 8:10 | 30.80 | 28.50 | 28.50 | 28.30 |
| | 8:20 | 31.20 | 28.90 | 28.80 | 28.60 |
| | 8:30 | 30.80 | 29.30 | 29.20 | 29.00 |
| | 8:40 | 31.40 | 29.60 | 29.60 | 29.40 |
| | 8:50 | 32.40 | 30.10 | 30.00 | 29.90 |
| | 9:00 | 32.10 | 30.60 | 30.50 | 30.30 |
| | 9:10 | 31.80 | 31.10 | 31.00 | 30.70 |
| | 9:20 | 31.10 | 31.40 | 31.20 | 31.10 |
| | 9:30 | 30.90 | 31.70 | 31.50 | 31.40 |
| | 9:40 | 31.10 | 32.10 | 31.90 | 31.70 |
| | 9:50 | 32.00 | 32.60 | 32.30 | 32.10 |
| | 10:00 | 33.20 | 33.10 | 32.80 | 32.60 |
| | 10:10 | 33.00 | 33.60 | 33.40 | 33.10 |
| | 10:20 | 33.30 | 33.90 | 33.70 | 33.50 |
| | 10:30 | 33.30 | 34.30 | 34.10 | 33.80 |
| | 10:40 | 33.10 | 34.80 | 34.50 | 34.20 |
| | 10:50 | 32.70 | 35.20 | 34.90 | 34.60 |
| | 11:00 | 33.70 | 35.70 | 35.40 | 35.10 |
| | 11:10 | 34.00 | 36.20 | 35.80 | 35.50 |
| | 11:20 | 34.10 | 36.70 | 36.30 | 36.00 |
| | 11:30 | 34.20 | 37.10 | 36.80 | 36.40 |
| | 11:40 | 35.40 | 37.70 | 37.20 | 36.80 |
| | 11:50 | 35.60 | 38.20 | 37.70 | 37.30 |
| | 12:00 | 34.70 | 38.50 | 38.10 | 37.70 |
| | 12:10 | 35.20 | 38.90 | 38.40 | 38.00 |
| | 12:20 | 34.40 | 39.20 | 38.70 | 38.30 |
| | 12:30 | 34.50 | 39.50 | 39.00 | 38.60 |
| | 12:40 | 34.70 | 39.80 | 39.30 | 38.90 |
| | 12:50 | 36.30 | 39.90 | 39.50 | 39.10 |

ภาคผนวก จ ข้อมูลเชิงพาณิชย์คำนวณต้นทุนการผลิต



ตารางที่ 1.1 : แสดงตารางคำนวณต้นทุนการผลิตวัสดุปลูกประสาน

| ตัวอย่าง | น้ำหนักก้อน (kg.) | ดินอุกรังแบบหยาบ | | ปุ๋ยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ชนิดหล่อ) | | ซีเมนต์จากขยะ | | | น้ำประปาสะอาด | | | รวมต้นทุน |
|---------------|-------------------|------------------|--------------|----------------------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|---------------|-----------|-------|-----------|
| | | น้ำหนัก (kg.) | ราคา / (kg.) | รวม (บาท) | น้ำหนัก (kg.) | ราคา / (kg.) | รวม (บาท) | น้ำหนัก (kg.) | ราคา / (kg.) | รวม (บาท) | | |
| 1 : 6_No_Ash | 6.00 | 4.629 | 1 | 4.629 | 0.771 | 2.4 | 1.850 | - | 0.600 | 0.008 | 0.005 | 6.48 |
| 1 : 6_Ash 10% | 6.00 | 4.654 | 1 | 4.654 | 0.698 | 2.4 | 1.676 | 0.078 | 0.570 | 0.008 | 0.005 | 6.33 |
| 1 : 6_Ash 20% | 6.00 | 4.629 | 1 | 4.629 | 0.617 | 2.4 | 1.481 | 0.154 | 0.600 | 0.008 | 0.005 | 6.11 |
| 1 : 6_Ash 30% | 6.00 | 4.629 | 1 | 4.629 | 0.540 | 2.4 | 1.296 | 0.231 | 0.600 | 0.008 | 0.005 | 5.93 |
| 1 : 6_Ash 40% | 6.00 | 4.629 | 1 | 4.629 | 0.463 | 2.4 | 1.111 | 0.309 | 0.600 | 0.008 | 0.005 | 5.74 |
| 1 : 6_Ash 50% | 6.00 | 4.577 | 1 | 4.577 | 0.381 | 2.4 | 0.915 | 0.381 | 0.660 | 0.008 | 0.005 | 5.50 |
| 1 : 7_No_Ash | 6.00 | 4.778 | 1 | 4.778 | 0.683 | 2.4 | 1.638 | - | 0.540 | 0.008 | 0.004 | 6.42 |
| 1 : 7_Ash 10% | 6.00 | 4.725 | 1 | 4.725 | 0.608 | 2.4 | 1.458 | 0.068 | 0.600 | 0.008 | 0.005 | 6.19 |
| 1 : 7_Ash 20% | 6.00 | 4.725 | 1 | 4.725 | 0.540 | 2.4 | 1.296 | 0.135 | 0.600 | 0.008 | 0.005 | 6.03 |
| 1 : 7_Ash 30% | 6.00 | 4.725 | 1 | 4.725 | 0.473 | 2.4 | 1.134 | 0.203 | 0.600 | 0.008 | 0.005 | 5.86 |
| 1 : 7_Ash 40% | 6.00 | 4.725 | 1 | 4.725 | 0.405 | 2.4 | 0.972 | 0.270 | 0.600 | 0.008 | 0.005 | 5.70 |
| 1 : 7_Ash 50% | 6.00 | 4.673 | 1 | 4.673 | 0.334 | 2.4 | 0.801 | 0.334 | 0.660 | 0.008 | 0.005 | 5.48 |



ประวัติผู้เขียน

| | |
|-------------------|--|
| ชื่อ-สกุล | นางสาว พนาพรรณ เลิศกิตติกุลโยธิน |
| วัน เดือน ปี เกิด | 29 มกราคม 2534 |
| สถานที่เกิด | ปทุมธานี |
| วุฒิการศึกษา | พ.ศ.2556 สำเร็จการศึกษาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา สถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศรีปทุม พ.ศ.2558 ศึกษาต่อระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม สาย อนุรักษ์พลังงานในอาคาร มหาวิทยาลัยศิลปากร |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | 69 หมู่ 3 ตำบลอ่างทอง อำเภอเมืองราชบุรี จังหวัดราชบุรี 70000 |

