# การพัฒนากำลังอัดคอนกรีตผสมเถ้าแกลบด้วยหินฝุ่นแทนทราย และจุลินทรีย์ อี.เอ็ม

โดย

อรรถพล มาลัย

สนับสนุนงบประมาณโดย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2556

# A Development Compressive Strength of Concrete Mixed
With rice husk ash By Crushed Dust Replace Sandand
Effective Microorganisms.

By

Attapole  Malai

Granted by
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Fiscal year 2013

# กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก งบประมาณสนับสนุนโครงการวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2556

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประชุม คำพุฒ ซึ่งกรุณาสละเวลาให้ความรู้และคำแนะนำตลอดการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่วัสดุอุปกรณ์ต่างๆสำหรับทำวิจัย

อรรถพล มาลัย

ธันวาคม 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

# บทคัดย่อ


**รหัสโครงการ** : A 35/2556

**ชื่อโครงการ** **:** การพัฒนากำลังอัดคอนกรีตผสมเถ้าแกลบด้วยหินฝุ่นแทนทรายและจุลินทรีย์ อี.เอ็ม

**ชื่อนักวิจัย** : นายอรรถพล มาลัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการใช้หินฝุ่นแทนทรายในงานคอนกรีตผสมเถ้าแกลบและจุลินทรีย์ อี.เอ็ม ในสัดส่วนคงที่ เพื่อพัฒนากำลังอัดของมอร์ต้าร์โดยการใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ 0, 10, 20, 30 และหินฝุ่นแทนทรายร้อยละ 100, 90, 80, 70 โดยน้ำหนัก ที่อายุการบ่ม 1, 3, 7, 21และ28 วัน ผลการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้าร์ดังกล่าวพบว่า มอร์ต้าร์ที่ผสมหินฝุ่นและเถ้าแกลบจะมีความสามารถรับแรงอัดได้ดีกว่ามอร์ต้าร์มาตรฐาน หากแต่กำลังอัดของมอร์ต้าจะลดลงตามสัดส่วนเถ้าแกลบโดยค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 497.42 กก./ตร.ซม. ในขณะที่มอร์ต้าควบคุมมีกำลังอัดเพียง 199.76 กก./ตร.ซม. จึงเป็นแนวทางได้ว่าการใส่เถ้าแกลบและหินฝุ่นแทนทรายในปริมาณที่เหมาะสม จะช่วยในการพัฒนากำลังอัดของมอร์ต้าทั้งในระยะสั้นและยาว



**E-mail Address** : attapole.mal@rmutr.ac.th


**ระยะเวลาโครงการ** : ตุลาคม 2555 - กันยายน 2556

# Abstract

**Code of project** : A 35/2556

**Project name** : A Development Compressive Strength of Concrete Mixed With rice husk ash By Crushed Dust Replace Sandand Effective Microorganisms

**Researcher name** : Mr. Attapole Malai

This research aims to study the concrete mix with crushed dust and rice husk ash . Purpose to improve the compressive strength of mortar using by palm ash replaced cement 0, 10, 20, 30, and crushed dust replaced sand 100, 90, 80, 70 percent by weight curing 1, 3, 7, 21 and 28 days compressive strength test results showed that the mortar. Mortar mixed with crush dust and rice husk ash is expected to be better than the compressive strength of standard mortar. The compressive strength of mortar will be reduced palm ash. By the highest compressive strength at 28 days is 497.42 kg / cm while the compressive strength of mortar control are 199.76 kg / cm. rice husk ash and crushed dust in the right amount. Will assist in the development of the compressive strength of mortar in short and long term.


**E-mail Address** : attapole.mal@rmutr.ac.th

Period of Project : October 1 ,2012 - September 30,2013

# สารบัญ


| | |
|---|---|
| | **หน้า** |
| กิตติกรรมประกาศ | ก |
| บทคัดย่อภาษาไทย | ข |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | จ |
| สารบัญภาพ | ฉ |
| **บทที่ 1บทนำ** | |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย | 3 |
| 1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ | 3 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | |
| 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | 6 |
| 2.2 EM | 10 |
| 2.3 ลักษณะทั่วไปของ EM | 11 |
| 2.4 EM สด | 11 |
| 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 12 |

**บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย**
3.1 แบบการวิจัย 15
3.2 สถานที่ทำการวิจัย 15
3.3 สถานที่เก็บตัวอย่างการวิจัย 16

**บทที่ 4 ผลการทดลอง** 17-21

**บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ**
5.1 สรุปผลการวิจัย 22
5.2 ข้อเสนอแนะ 22
**บรรณานุกรม** 23
**ประวัตินักวิจัย**

# บทที่1
# บทนำ

## 1. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ประเทศไทยนิยมใช้หินปูนในงานก่อสร้างเป็นส่วนใหญ่ทั้งนี้เนื่องจากมีภูเขาหินปูนกระจายอยู่ทั่วประเทศการจะนำหินที่อยู่ตามธรรมชาติมาใช้นั้นจะต้องผ่านการแปรรูปให้มีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การนำไปใช้งานซึ่งต้องทำการระเบิดภูเขาหินปูน แล้วเข้าสู่กระบวนการโม่หิน ทำการโม่หินจนมีขนาดที่ต้องการ เพื่อนำไปใช้งานต่อไปขั้นตอนการโม่หินนี้จะมีเศษฝุ่นหินที่เล็กมากจะไม่ผ่านตะแกรงร่อนแต่ปลิวออกมาตกกองทับถมอยู่ด้านใต้เครื่องโม่ซึ่งหินฝุ่นนี้ถือว่าเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ต้องขนออกไปทิ้ง ทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่และค่าใช้จ่ายจำนวนมาก

อีเอ็ม (EM) เป็นชื่อย่อมาจากคาว่า Effective Microorganism หมายถึงจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพประกอบด้วยจุลินทรีย์เรฟังไจ แบคทีเรียสังเคราะห์แสงรารูปเส้นใยแลกโตบาซิลลัส และยีสต์เป็นหลักซึ่ง ศ.ดร.เทรูโอะฮิงะ เป็นผู้ค้นพบและในปี พ.ศ. 2529มีผู้นำมาเผยแพรในประเทศไทยผ่านมูลนิธิบำเพ็ญสาธารณประโยชน์ด้วยกิจกรรมทางศาสนา หรือ คิวเซEM ในประเทศไทยนิยมนำมาใช้ประโยชน์ในด้าน พัฒนาด้านการปศุสัตว์, พัฒนาพืชผลทางการเกษตรและพื้นดินให้ดีขึ้น, เพื่อสุขภาพของคนในครอบครัว และปรับยกระดับคุณภาพสุขพลานามัยและความสะอาดของสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถเพาะเลี้ยงได้ในประเทศ หากแต่หลายงานวิจัยในต่างประเทศได้พัฒนาอีเอ็มมาใช้เพิ่มกำลังคอนกรีตและเพิ่มประสิทธิภาพการเท ได้เป็นอย่างดี จนสามารถจัดสัมนาทางวิชาการเรื่อง อีเอ็มในงานวิศวกรรมโยธา อย่างต่อเนื่องทุกปี

ประเทศไทยจัดเป็นประเทศอุตสาหกรรมการเกษตร จึงมีวัสดุที่เกิดจากผลผลิตทางการเกษตรมากมาย ทั้งที่ใช้เป็นประโยชน์ทางการค้าได้และบางส่วนเป็นของเหลือใช้หรือใช้ไม่ได้ แกลบ ก็เป็นอีกส่วนหนึ่งของวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าว จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร องค์การอาหารและเกษตรแห่งชาติ พบว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่ปลูกข้าวเป็นอันดับ 6 และปลูกปาล์มเป็นอันดับ 4 ของโลก ปัจจุบันประเทศไทยมีแกลบถึง 5 ล้านตันต่อปี โดยแกลบเป็นของเหลือที่ได้มากจากการสีข้าว แต่ละวันจึงมีวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้จำนวนมากแต่กลับนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมา เช่น การกองเก็บ และการกำจัดทิ้ง เป็นต้น

ของเหลือเหล่านี้จากเดิมเกือบทั้งหมดต้องนำไปทิ้ง แต่ปัจจุบันได้มีการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรไปใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการสร้างพลังงานความร้อนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเชื้อเพลิงจากของเหลือทางการเกษตร เรียกว่า เชื้อเพลิงชีวมวล

ขณะเดียวกันได้มีการนำเถ้าแกลบมาใช้ในงานคอนกรีตอย่างแพร่หลาย และมีงานวิจัยออกมาอย่างต่อเนื่องจากหลายสถาบัน จนเป็นที่ทราบกันดีว่าเถ้าแกลบสามารถใช้แทนปูนซีเมนต์บางส่วนในงานคอนกรีตได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพของหินฝุ่นและทราย พบว่าหินฝุ่นและทราย

มีขนาดใกล้เคียงกัน และคณะผู้ดำเนินงานวิจัยได้ทำการทดลองใช้หินฝุ่นผสมแทนทรายในงานคอนกรีตมาบ้างแล้ว และได้ผลเป็นที่น่าพอใจ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำไปใช้ในงานคอนกรีตได้ เนื่องจากหินฝุ่นทำให้กำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มได้อย่างรวดเร็วซึ่งเป็นปัญหาของเถ้าแกลบที่รับกำลังในเวลาช้า ดังนั้น ทางคณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าควรจะหาวิธีนำหินฝุ่นที่เหลือทิ้งเหล่านั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด จึงได้คิดหัวข้องานวิจัยนี้ขึ้นมาเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำหินฝุ่นมาใช้แทนทรายในการผสมคอนกรีต โดยคอนกรีตที่ได้จากการใช้หินฝุ่นแทนทรายนั้น ยังคงมีคุณภาพเทียบเท่าคอนกรีตที่ใช้ทรายในการผสม และเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตลงอีกด้วย

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี ของหินฝุ่น เปรียบเทียบกับคุณสมบัติของทรายตามมาตรฐาน

2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบด้านกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่ใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียดกับที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียดแทนทราย

2.3 เพื่อหาร้อยละการแทนที่สูงสุดของหินฝุ่นที่ใช้แทนทราย ที่ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียดแทนทรายมีค่าสูงสุด

## 3. ขอบเขตการศึกษา

3.1 ใช้หินฝุ่นจากโรงโม่หินศิลาเทพตะวัน จ.สระบุรี

3.2 ทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของหินฝุ่น โดยใช้มาตรฐาน ASTM เป็นหลัก

3.3 ออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต (ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน) โดยใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ใช้หินฝุ่นแทนที่ทรายร้อยละ 100, 90, 80และ 70 โดยน้ำหนัก ให้มีกำลังอัดอยู่ในช่วง 200 ถึง 250 กก./ซม.$^{2}$และมีค่าการยุบตัวอยู่ระหว่าง 5 ถึง 10 ซม.

3.4 หล่อแท่งตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกตามมาตรฐาน แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุคอนกรีต 7, 14, 21, 28และ 90วัน ตามลำดับ

## 4. ประโยชน์ที่คาดว่าได้รับ

4.1 ระบุ P

- ทราบคุณสมบัติทางด้านต่างๆ ของหินฝุ่น
- ทราบกำลังต้านทานการรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียดแทนทราย
- ช่วยให้มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้อย่างคุ้มค่ามากที่สุด โดยการนำเถ้าแกลบและหินฝุ่นที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งไปใช้ในงานก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น
- ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดหินฝุ่นทิ้ง เพื่อให้บริษัทได้มีผลกำไรเพิ่มมากขึ้น

- สามารถเลือกใช้อัตราส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียดแทนทราย ให้เหมาะสมกับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ ได้
- หน่วยงานภาครัฐหรือเอกชนบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงกับแหล่งวัสดุหินฝุ่น (จังหวัดสระบุรี) สามารถนำคอนกรีตนี้ไปใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างต่างๆ ได้
- สามารถใช้เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยเรื่องวัสดุทดแทนในงานคอนกรีต และงานคอนกรีตกำลังสูงต่อไปในอนาคต
- ได้นักวิจัยหน้าใหม่ทางด้านวิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จำนวนไม่น้อยกว่า 4 คน

4.2 ระบุ I

- ได้ผลิตภัณฑ์คอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียดแทนทราย
- ได้วัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่รับกำลังอัดได้สูง

4.3 ระบุ G

- มีการใช้เถ้าที่เกิดจากชีวะมวลในปริมาณที่เพิ่มขึ้น
- เถ้าที่เกิดจากชีวะมวลมีมูลค่าเพิ่มขึ้น
- มีบริษัทฯ ที่นำเถ้าที่เกิดจากชีวะมวลไปผลิตคอนกรีต

**5. นิยามศัพท์เฉพาะ**

1.5.1 หินฝุ่น (Mineral Dust) หมายถึง หินที่มีฝุ่นมากกว่าหินที่มาด้วย เรียกว่า หินฝุ่น หากมองด้วยตาเปล่าก็จะรู้ได้ทันทีว่าเป็นหินฝุ่น ใช้เป็นวัสดุรองพื้นก่อนเทคอนกรีต หรือทำถนนลาดยาง

1.5.2 คอนกรีตผสมหินฝุ่น (Mineral Dust Concrete) หมายถึง การนำวัสดุผสมที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม (เช่น หิน ทราย หรือ กรวด) และ น้ำ โดยอาจจะมีสารเคมีเติมเพิ่มเข้าไปสำหรับคุณสมบัติด้านอื่น ผสมกับหินฝุ่น เมื่อผสมเสร็จคอนกรีตจะแข็งตัวอย่างช้าๆ ซึ่งน้ำและซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกันในลักษณะที่เรียกว่าการไฮเดรชัน โดยซีเมนต์จะเริ่มจับตัวกับวัสดุอื่นและแข็งตัว ซึ่งในสถานะนี้จะนิยมเรียกกันว่าคอนกรีต ความแข็งแรงของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆหลังจากที่ผสม และยังแข็งแรงขึ้นภายหลังจากการแข็งตัว โดยประมาณหลังจากแข็งตัวแล้ว 28 วัน ความแข็งแรงจะเริ่มคงที่

1.5.3 เถ้าแกลบ (rice husk ash) หมายถึง เปลือกแข็งของเมล็ดข้าวที่ได้จากการสีข้าว เป็นส่วนที่เหลือใช้จากการผลิตข้าวสาร เมล็ดมีลักษณะเป็นรูปทรงรี เม็ดยาวสีเหลืองอมน้ำตาล หรือเหลืองนวลแล้วแต่ภูมิประเทศที่มีการปลูกข้าว แกลบประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเถ้า และมีซิลิกาในเถ้ามาก แกลบไม่ละลายในน้ำ มีความคงตัวทางเคมี ทนทานต่อแรงกระทำ จึงเป็นตัวดูดซับที่ดีในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก การกำจัดโลหะหนักด้วยแกลบมีรายงานว่าสามารถ

ใช้ได้กับ แคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง โคบอลต์ นิกเกิลและเงิน โดยใช้ได้ทั้งในรูปที่ทำและไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมี สารเคมีที่นิยมใช้ทำปฏิกิริยากับแกลบเพื่อให้ดูดซับโลหะมากขึ้นคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนตและอีพิคลอโรไฮดริน

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยการพัฒนากำลังอัดคอนกรีตผสมเถ้าแกลบด้วยหินฝุ่นแทนทรายและจุลินทรีย์ อี.เอ็มเป็นการพัฒนาทดลอง (Experimental development) เป็นงานที่ทำอย่างเป็นระบบโดยใช้ความรู้ที่ได้รับจากการวิจัยและประสบการณ์ที่มีอยู่เพื่อสร้างวัสดุผลิตภัณฑ์และเครื่องมือใหม่เพื่อการติดตั้งกระบวนการระบบและบริการใหม่หรือเพื่อการปรับปรุงสิ่งต่างๆเหล่านั้น ให้ดีขึ้นจึงต้องทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

## 1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 องค์ประกอบของคอนกรีต [2]

คอนกรีตประกอบด้วยปูนซีเมนต์หินทรายน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีตโดยเมื่อนำส่วนผสมต่างๆเหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้

- ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีตเรียกว่าซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste)
- ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทรายเรียกว่ามอร์ต้า (Mortar)
- มอร์ต้าผสมกับหินหรือกรวดเรียกว่าคอนกรีต (Concrete)

หน้าที่และคุณสมบัติของส่วนผสม

1.1.1ซีเมนต์เพสต์

หน้าที่ของซีเมนต์เพสต์คือเสริมช่องว่างระหว่างมวลรวมหล่อลื่นคอนกรีตสดขณะ เทหล่อและให้กำลังแก่คอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัวรวมทั้งป้องกันการซึมผ่านของน้ำคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ขึ้นอยู่กับคุณภาพของปูนซีเมนต์, อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

1.1.2 มวลรวม

หน้าที่ของมวลรวมคือเป็นตัวแทรกประสานราคาถูกที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทนปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมากคุณสมบัติของมวลรวมที่สำคัญจะต้องมีความแข็งแรง, การเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่ำ, คงทนต่อปฏิกิริยาเคมีและต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสี

1.1.3 น้ำ

หน้าที่หลักของน้ำสำหรับงานคอนกรีตมี 3 ประการคือใช้ล้างวัสดุมวลรวมต่างๆ, ใช้ผสมทำคอนกรีตและใช้บ่มคอนกรีต

หน้าที่หลักของน้ำในฐานะที่ใช้ผสมทำคอนกรีตยังแบ่งได้อีก 3 ประการคือก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับปูนซีเมนต์, ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้และเคลือบหินทรายให้เปียกเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์สามารถเข้าเกาะได้โดยรอบ

1.1.4 น้ำยาผสมคอนกรีต

หน้าที่สำคัญของน้ำยาผสมคอนกรีตคือช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทั้งคอนกรีตที่เหลวและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วในด้านต่างๆเช่นเวลาการก่อตัว, ความสามารถเทได้, กำลังอัดและความทนทานเป็นต้น

1.1.5 มวลรวมหรือวัสดุผสม

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

ในอดีตมวลรวมถูกคิดว่าเป็นเพียงวัสดุเฉื่อยที่ใช้เป็นตัวแทรกประสานโดยกระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์เท่านั้นในปัจจุบันนี้พบว่ามวลรวมยังทำหน้าที่อื่นที่สำคัญอีกประการแรกเนื่องจากมวลรวมเป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่มีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ดังนั้นในส่วนผสมของคอนกรีตจึงควรใช้ปริมาณมวลรวมให้พอเหมาะเพื่อที่จะให้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดน้อยลงประการต่อมาคุณสมบัติของมวลรวมจะช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน (Durability) และปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก (Volume Stability) รวมทั้งมวลรวมยังทำหน้าที่ต้านทานน้ำหนักที่กดลงบนคอนกรีตด้วยกำลังและคุณสมบัติทางกายภาพอีกหลายประการของมวลรวมมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตเหลวและคอนกรีตเข็งตัวแล้วดังนั้นการเลือกใช้มวลรวมที่เหมาะสมไม่เพียงแต่เป็นการประหยัดแต่ยังคงช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้นด้วยมวลรวมที่ดีซึ่งจะส่งผลให้คอนกรีตมีความทนทานสูงควรมีคุณสมบัติพื้นฐานที่ดีดังนี้คือต้องมีความคงทนไม่ทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบในซีเมนต์ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดผลเสียต่อเสถียรภาพทางปริมาตรของคอนกรีตและมวลรวมจะต้องไม่มีสิ่งเจือปนที่มีผลเสียต่อกำลังและความคงตัวของซีเมนต์เพสต์

1.2 ประเภทของมวลรวม

เราสามารถแบ่งมวลรวมตามแหล่งกำเนิดออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1) มวลรวมที่เกิดจากธรรมชาติ (Natural Mineral Aggregate) เกิดจากขบวนการกัดกร่อนและเสียดสีตามธรรมชาติ

2) มวลรวมที่มนุษย์ทำขึ้น (Artificial Aggregate) เช่นมวลรวมเบาบางประเภทที่ได้จากการเผาดินเป็นต้น

ถ้าแบ่งมวลรวมตามความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักจะแบ่งได้ 3 กลุ่มคือ

1) มวลรวมเบามีความหนาแน่นตั้งแต่ 300-1,100 กก./ลบ.ม.

2) มวลรวมปกติมีความหนาแน่นตั้งแต่ 2,400-3,000 กก./ลบ.ม.

3) มวลรวมหนักมีความหนาแน่นมากกว่า 4,000 กก./ลบ.ม.

หรือถ้าแบ่งมวลรวมตามขนาดเราสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1) มวลรวมหยาบไก้แก่หินหรือกรวดที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มม. ขึ้นไปหรือค้างอยู่ บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4

2) มวลรวมละเอียดได้แก่ ทรายที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม. หรือสามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ต้องไม่เล็กกว่า 0.07 หรือผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200ส่วนที่มีขนาดเล็กกว่ามวลรวมละเอียดซึ่งมีอยู่จำนวนน้อยมากในส่วนผสมคอนกรีตสามารถแบ่งได้เป็น

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

1.3 กรรมวิธีการผลิต

กรรมวิธีการผลิตหิน

ขั้นตอนที่ 1 สำรวจแหล่งหินที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานจากนั้นจึงขอสัมปทานของพื้นที่นั้น

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อได้รับสัมปทานพื้นที่นั้นแล้วจึงทำการเปิดหน้าเหมืองโดยการระเบิดซึ่งสามารถทำการระเบิดได้ 2 วิธีคือ

วิธีแรกทำการระเบิดหินตามแนวดิ่งลาดขึ้นไปตามความชันของหน้าผาวิธีนี้โรงโม่ส่วนใหญ่นิยมใช้เพราะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยแต่มีผลเสียคือเป็นวิธีค่อนข้างอันตราย

วิธีที่สองทำการระเบิดหินตามแนวราบลักษณะคล้ายขั้นบันไดโดยเริ่มขบวนการระเบิดหินไล่ลงมาจากแนวยอดเขาวิธีนี้ใช้เงินลงทุนสูงแต่ให้ผลดีคือมีความปลอดภัยสูงกว่าแบบแรกมาก

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการโม่หินลำเลียงหินที่ได้จากการระเบิดลงสู่ปากโม่บริเวณปากโม่จะมีตะแกรงคัดแยกหินที่มีขนาดเล็กกว่า 8 นิ้วออกส่วนหินที่มีขนาดใหญ่จะผ่านเข้าสู่เครื่องโม่ตัวที่ 1 ซึ่งจะทำการย่อยหินให้มีขนาดเล็กลงจนได้ขนาดประมาณ 8 นิ้ว – NO. 4 จากนั้นสายพานจะลำเลียงหินผ่านตะแกรงชุดที่ 2 เพื่อแยกหินที่มีขนาดอยู่ในช่วงที่ต้องการออกไปส่วนหินที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ต้องการก็จะลำเลียงเข้าสู่เครื่องโม่ชุดที่ 2 ซึ่งจะทำการโม่หินจนมีขนาดที่ต้องการเกือบทั้งหมดหลังจากขั้นตอนนี้หินจะผ่านเข้าไปยังตะแกรงร่อนเพื่อร่อนแยกคัดขนาดหินที่ต้องการไว้ทั้งนี้อาจมีหินบางส่วนที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ต้องการสายพานจะนำหินวกกลับเข้าสู่เครื่องโม่ชุดที่สองอีกครั้งต่อเมื่อผ่านการโม่จนครบขั้นตอนจนได้หินที่มีขนาดตามต้องการสายพานจะลำเลียงหินไปกองเก็บเพื่อรอการนำไปใช้งานต่อไป

1.4 กรรมวิธีการผลิตทราย

ทรายที่ใช้ผลิตคอนกรีตสามารถแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ชนิดคือทรายแม่น้ำและทรายบก

1.4.1 ทรายแม่น้ำ

เป็นทรายที่เกิดจากการกัดเซาะของกระแสน้ำแล้วค่อยๆ ตกตะกอนสะสมกลายเป็นแหล่งทรายอยู่ใต้ท้องน้ำ โดยทรายที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จะตกตะกอนอยู่บริเวณต้นน้ำ ส่วนทรายละเอียดนั้นก็จะถูกกระแสน้ำพัดพามารวมกันบริเวณท้ายน้ำการนำทรายขึ้นจากท้องน้ำจะใช้เรือดูดดูดทรายขึ้นมาตามท่อแล้วทิ้งทรายลงบนตะแกรงของเรืออีกลำตะแกรงจะทำหน้าที่ร่อนแยกกรวดที่มีขนาดใหญ่ออกก่อนที่จะดูดทรายขึ้นบนเรืออีกลำเมื่อทรายเต็มเรือก็จะใช้เรืออีกลำลากเรือบรรทุกทรายไปยังท่าทรายทรายที่ได้จะยังไม่สะอาดนักเนื่องจากมีสารอินทรีย์เศษตะกอนของดินโคลนปะปนอยู่โดยทั่วไปจะต้องมีการล้างทรายอีกครั้งคือเมื่อเรือบรรทุกทรายมาถึงท่าทรายจะถูกทิ้งลงน้ำบริเวณใกล้ท่าโดยการเปิดท้องเรือให้ทรายไหลลงแม่น้ำแต่ถ้าเรือที่ลำเลียงทรายเปิดท้องเรือไม่ได้ก็จะใช้สายพานลำเลียงทรายทิ้งลงในแม่น้ำจากนั้นจะใช้เรือดูดดูดทรายขึ้นมาทำวิธีการเดียวกันกับการดูดทรายขึ้นจากท้องน้ำครั้งแรกแตกต่างกันที่ตะแกรงที่ใช้จะสามารถแยกได้ทั้งทรายหยาบและทรายละเอียดทรายที่ได้จัดเป็นทรายที่สะอาดเพราะผ่านการชะล้างถึง 2 ครั้งขั้นต่อไปคือการลำเลียงทรายไปเก็บยัง Stock โดยใช้สายพานลำเลียงจากเรือไปเก็บไว้ในยุ้งสามารถลำเลียงลงรถบรรทุกได้โดยสะดวกเพียงเปิดปากยุ้งให้ทรายไหลลงในรถบรรทุกเองส่วนทรายที่กอง Stock อยู่หากจะนำไปใช้จะใช้รถตักขนทรายใส่รถบรรทุกอีกครั้ง

1.4.2 ทรายบก

เป็นทรายที่เกิดจากการตกตะกอน ทับถมกันของลำน้ำเก่า ที่แปรสภาพเป็นพื้นดิน โดยมีซากพืช ซากสัตว์ทับถมกันที่ผิวหน้าซึ่งเราเรียกกันว่าหน้าดินที่มีความหนาประมาณ 2-10 ม. การนำทรายมาใช้เริ่มจากการเปิดหน้าดินก่อนด้วยรถตักดินจากนั้นจะขุดดินลงไปจนถึงระดับน้ำใต้ดินจนมีสภาพเป็นแอ่งน้ำขนาดใหญ่แล้วนำเรือดูดดูดทรายผ่านมาตามท่อโดยปลายท่อจะมีตะแกรงแยกกรวดออกขณะเดียวกันก็สามารถติดตั้งตะแกรงเพื่อแยกทรายหยาบและทรายละเอียดได้ทรายที่ผ่านการร่อนแยกจะถูกทิ้งลงน้ำบริเวณริมฝั่งจากนั้นก็จะใช้รถตักตักทรายเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

2.1.5 คุณสมบัติทั่วไป

มวลรวมที่ดีเมื่อผสมเป็นคอนกรีตแล้วจะต้องทำให้คอนกรีตนั้นมีความสามารถเทได้ง่ายแข็งแรงทนทานและราคาประหยัดนอกจากนี้มวลรวมควรจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ

1) ความแข็งแกร่ง (Strength) มวลรวมจะต้องมีความสามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังของคอนกรีตที่ต้องการซึ่งปกติมวลรวมที่ใช้โดยทั่วไปจะมีความสามารถรับแรงกดได้สูงกว่าคอนกรีตมากคือจะรับแรกกดได้ 700-3,500 กก./ตร.ซม. ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของมวลรวมที่ใช้

2) ความต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสี (Impact and Abrasion Resistance) ความสามารถในการต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสีของมวลรวมมักจะถูกใช้เป็นตัวชี้บอกถึงคุณภาพของมวลรวมคุณสมบัตินี้มีความสำคัญมากสำหรับมวลรวมที่ใช้ผสมทำคอนกรีตที่จะต้องถูกกระทำจากการกระแทกหรือขัดสีเช่นงานผิวถนน, พื้นโรงงานพื้นสนามบิน, เป็นต้นดังนั้นมวลรวมที่ใช้ได้ดีควรมีความแข็งแรงเนื้อแน่นปราศจากอนุภาคที่อ่อนนุ่มหรือเป็นรูพรุน หรือแตกละเอียดได้ง่าย

3) ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (Chemical Stability) มวลรวมจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์หรือกับสิ่งแวดล้อมภายนอกในบางพื้นที่มวลบางประเภทจะทำปฏิกิริยากับด่าง (Alkalis) ในปูนซีเมนต์เกิดเป็นวุ้นและขยายตัวก่อให้เกิดรอยร้าวโดยทั่วไปในคอนกรีตซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Alkalis – Aggregate Reaction (AAR)

4) รูปร่างและลักษณะผิว (Particle Shape and Surface Texture) รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสดมากกว่าคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมวลรวมที่มีผิวหยาบหรือมีรูปร่างแบนและยาวจะต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์มากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรูปร่างกลมหรือเหลี่ยมที่ระดับความสามารถเทได้ (Workability) เดียวกันตามมาตรฐานอังกฤษส่วนลักษณะผิวของมวลรวมจะมีผลโดยตรงกับแรงยึดเหนี่ยวเมื่อมีผิวหยาบด้านหรือมีรูพรุนมากจะทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวดีแต่ต้องใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์มากขึ้น

## 2.2 EM

ศ.ดร.เทรูโอะฮิหงะ แห่งมหาวิทยาลัยริวกิว ประเทศญี่ปุ่น เป็นผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเรื่องส้ม **แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาโรคระบาดในสวนส้มได้ แม้จะพยายามใช้ความรู้ความสามารถเพียงใดก็ไม่ได้ผลในโอกาสนั้น ท่านได้มีโอกาสไปร่วมงานเปิดพิพิธภัณฑ์ศิลปะของท่านโมกิจิ โอกาดะ (เมซุซามะ)** เกิด

ความสนใจ หนังสือเล่มหนึ่งของท่านโมกิจิ โอกาดะ เขียนไว้เกี่ยวกับการเกษตรธรรมชาติ มีข้อความที่น่าสนใจหลายเรื่อง เช่น

- การเกษตรที่ปลอดสารเคมี
- ภัยพิบัติของมนุษย์ชาติและธรรมชาติของโลก
- ความรักของธรรมชาติต่อสรรพสิ่งในธรรมชาติของโลก
- สิ่งมีชีวิตเล็กๆ ในดินมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทั้งมวล

ท่าน ศ.ดร.ทารูโอะฮิหงะ แห่งมหาวิทยาลัยริวกิว โอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น ได้เริ่มการค้นคว้า เมื่อ พ.ศ. 2510 และได้ค้นพบสิ่งมีชีวิตในดินที่เรียกว่าจุลินทรีย์ เมื่อ พ.ศ.2525 เป็นการค้นพบเทคนิคการใช้ E.M. (Effective Microorganisms) กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ความสำคัญ ณ จุดนี้คือ ได้ค้นพบการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

1. ทำงานแบบสร้างสรรค์ เรียกว่า กลุ่มจุลินทรีย์สร้างสรรค์ มีประมาณ10 %
2. ทำงานแบบเป็นกลางเรียกว่ากลุ่มเป็นกลางคอยเกื้อหนุน 2 ฝ่ายแรก ทีมีจำนวนมากถึงประมาณ 80  %
3. ทำงานแบบทำลาย หรือ กลุ่มจุลินทรีย์โรค มีประมาณ 10 %

## 2.3 ลักษณะทั่วไปของ EM

2.3.1 เป็นของเหลวมีสีน้ำตาลแก่  กลิ่นอมเปรี้ยว  อมหวาน

2.3.2  เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและไม่สามารถใช้ร่วมกับสารเคมี  ยาปฏิชีวนะ และยาฆ่าเชื้อต่างๆ ได้

2.3.3  ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งที่มีชีวิต เช่น คน สัตว์ พืชและแมลงที่เป็นประโยชน์

2.3.4  ช่วยปรับสภาพความสมดุลของสิ่งที่มีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

2.3.5 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทุกคนสามารถนำไปเพาะขยาย  เพื่อช่วยแก้ปัญหาต่างๆได้ด้วยตนเอง

2.3.6 หัวเชื้อ EM  สามารถเก็บรักษาไว้ได้ประมาณ6 เดือนที่อุณหภูมิปกติที่ 25-45 องศาเซลเซียส  โดยปิดฝาให้สนิท  อย่าให้อากาศเข้าและอย่าเก็บไว้ในตู้เย็น  ทุกครั้งที่นำออกมาใช้จะต้องรีบปิดฝาให้สนิท  การขยาย EM ควรใช้ภาชนะและน้ำที่สะอาดและใช้ให้หมดในเวลาที่เหมาะสม

2.3.7 ในกรณีที่เก็บไว้หลายวันโดยไม่มีการเคลื่อนไหว ในภาชนะจะมีฝ้าขาวๆเหนือผิวน้ำเป็นการพักตัวของเชื้อ  เมื่อเขย่าทิ้งไว้ฝ้าสีขาวก็จะหายเป็นปกติ

## 2.4 EM สด

EM สด หมายถึง EM จากโรงงาน หรือ เอเย่นต์ หรือ ผู้จำหน่ายรายย่อย ที่ไม่ได้ทำการแปรสภาพ การใช้ EM แบบน้ำ มี 2 วิธี

2.4.1 EM สด ซื้อมาผสมเท่าไรก็ได้ 1: 1;100 ; 200 ; 500 ; 1,000

2.4.2 EM แบบขยาย คือ การทำให้จุลินทรีย์มีความแข็งแรง และเพิ่มจำนวนมากขึ้น โดยการจัดสภาพแวดล้อมให้ เหมาะสมและให้อาหาร ซึ่งมีส่วนผสมดังนี้ EM1ลิตร+กากน้ำตาล1 ก.ก. +น้ำสะอาด  20  ลิตรใช้เวลาในการหมัก 7 วัน จะได้ EM ที่สูตรขยาย แต่ให้ใช้ให้หมดภายใน 7 วัน ถ้าหลังจาก 14 วันไปแล้วประสิทธิภาพของอีเอ็ม จะลดน้อยถอยลง

**2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

มีนักวิชาการด้านวัสดุก่อสร้างจำนวนไม่น้อยได้ทำการศึกษาทดลองนำวัสดุเหลือใช้ต่างๆ มาผสมในคอนกรีตเพื่อลดปริมาณการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัสดุเหลือใช้ และลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างลงได้ โดยการศึกษาวัสดุเหลือใช้ที่นำมาผสมในคอนกรีตนั้น จะศึกษาในเรื่องของวัสดุที่จะนำมาทดแทนปูนซีเมนต์เป็นส่วนใหญ่

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ เชิดพงศ์ วิสารทานนท์ [3] ได้นำเถ้าแกลบมาผสมคอนกรีต พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่แทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 20 สามารถพัฒนากำลังของคอนกรีตให้สูงกว่าคอนกรีตปกติได้นอกจากนี้อุณหภูมิของคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบนั้นจะลดลงเมื่อร้อยละการแทนที่ของเถ้าแกลบนั้นเพิ่มขึ้นแต่การเพิ่มขึ้นของการแทนที่นั้นจะลดความสามารถในการทำงานของคอนกรีตลงโดยส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่ไม่บดจะมีความสามารถในการทำงานได้ที่ต่ำที่สุดซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการบดที่ใช้เวลาเพิ่มขึ้นความพรุนและการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากความสามารถในการทนกรดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบนั้นจะลดลงเมื่อร้อยละการแทนที่ของเถ้าแกลบเพิ่มขึ้นและการหดตัวแบบแห้งและแบบออโตจีเนียสของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบนั้นจะไม่มีผลกระทบที่เป็นนัยสำคัญ เมื่อร้อยละการแทนที่ของเถ้าแกลบโดยน้ำหนักน้อยกว่าร้อยละ 40

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะฯ [4] ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีตโดยนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์มาตากแดดแล้วบดละเอียด ส่วนเถ้าปาล์มนำมาแยกขนาดให้มีความละเอียดสูงขึ้น จากนั้นผสมเถ้าปาล์มกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในอัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนักเพื่อใช้เป็นวัสดุประสาน หล่อเป็นคอนกรีตทรงกระบอกขนาด 10×20 ซม. คอนกรีตมีปริมาณวัสดุประสานเท่ากับ 300, 375, 450 และ 600 กก./ม.3 พบว่าค่ากำลังอัดขนาดคอนกรีตที่อายุ 28 วันเป็น 92, 150, 154, 192 กก./ซม.2 เมื่อใช้วัสดุประสานเท่ากับ 300, 375, 450 และ 600 กก./ม.3 ตามลำดับ และกำลังอัดจะมีค่าแปรผันกับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน โดยกำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตที่ใช้วัสดุประสาน 600 กก./ม.3 ที่อายุ 90 วันมีค่ากำลังอัด 249 กก./ซม.2 การศึกษาความเป็นไปได้ของเถ้าปาล์มน้ำมันที่ได้จากกระบวนการเผาเศษกะลาและเส้นใยของผลปาล์มเพื่อนำมาใช้ในงานคอนกรีต โดยนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาบดให้มีความละเอียดจนมีขนาดอนุภาคค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 29.2 และ 4.3 โดยน้ำหนักทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพจากนั้นทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้เถ้าปาล์มน้ำมันแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสานพบว่ามอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันก่อนจะบดเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสานที่อายุ 7 วันและ 28 วันมีกำลังอัดประมาณร้อยละ 75 หรือต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ต้าร์มาตรฐานจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นวัสดุปอซโซลานส่วนมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน ที่บดจนมีความละเอียดค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 29.2 และ 4.3 โดยน้ำหนักพบว่ามีกำลังอัดที่อายุ 7 วันสูงกว่าร้อยละ 75 ของมอร์ตาร์มาตรฐานและมีแนวโน้มของกำลังอัดสูงขึ้นเรื่อยๆผลการทดสอบแสดงว่าเถ้าปาล์มน้ำมันที่บดละเอียดสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุ ปอซโซลานเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนได้

สัญชัย สอาดกิตินันท์ และคณะฯ [5] ได้ศึกษาการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าชานอ้อยแม่เมาะแบบคัดและไม่คัดแยกขนาดโดยปรับปรุงตามมาตรฐานเอซีไอ พบว่าความต้องการน้ำของคอนกรีตสดที่ผสมเถ้าชานอ้อยแม่เมาะในปริมาณร้อยละที่เท่ากัน เถ้าชานอ้อยแบบคัดแยกขนาดจะลดความต้องการน้ำได้มากกว่าเถ้าชานอ้อยแบบไม่คัดแยกขนาด และความต้องการน้ำจะลดลงตามปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยที่เพิ่มขึ้น และคอนกรีตที่ผสมด้วยเถ้าชานอ้อยแบบไม่คัดแยกขนาดร้อยละ 25 และ 35 จะให้กำลังอัดใกล้เคียงหรือสูงกว่าคอนกรีตควบคุมที่อายุตั้งแต่ 28 วัน สำหรับคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วพบว่าคอนกรีตที่ผสมเถ้าชานอ้อยแบบคัดแยกขนาดร้อยละ 15-35 จะให้กำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุมที่อายุตั้งแต่ 7 วัน และนอกจากนี้ยังพบว่า คอนกรีตที่ผสมเถ้าชานอ้อยแบบคัดแยกขนาดมีการพัฒนากำลังอัดดีกว่าคอนกรีตที่ผสมเถ้าชานอ้อยแบบไม่คัดแยกที่ทุกอายุ จากผลการวิจัย ทำให้สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานสำหรับใช้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าชานอ้อยแม่เมาะด้วยวิธีการของเอซีไอ และใช้ทำนายกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยแม่เมาะที่ร้อยละของการแทนที่เท่ากับ 15, 25 และ 35 ที่อายุ 1, 7, 28 และ 56 วัน

Nobuyuki Satoและคณะฯ [8] ได้ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสม อีเอ็ม แบบเร่งปฏิกิริยาด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ เข้ากับมอร์ต้าร์ในสัดส่วนร้อยละ 5, 10 และ 15 พบว่า สามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตได้อย่างชัดเจนตั้งแต่ช่วงอายุ 3 วัน ไปจนกระทั่ง 28 วัน โดยกำลังอัดสูงสุดที่เพิ่มขึ้น ประมาณร้อยละ 30 ของคอนกรีตควบคุมที่อายุการบ่ม 28 วัน

JamaludinMohamadYatimและคณะฯ [9] ได้ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสม อีเอ็มปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตผสมขยะหนักจากอุตสาหกรรม เนื่องจากขยะประเภทดังกล่าวจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุการบ่ม 28 วัน ลดลงเมื่อผสมแทนที่ซีเมนต์ในสัดส่วนร้อยละ 20 ขึ้นไป จึงผสม อีเอ็ม เพื่อพัฒนากำลังคอนกรีตในสัดส่วนร้อยละ 5, 10, 15, 20, 30, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่าคอนกรีตผสม อีเอ็ม 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถช่วยให้คอนกรีตผสมขยะหนักจากอุตสาหกรรมมีคุณภาพเทียบเท่าคอนกรีตควบคุมได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังมีความไหลลื่นการเทและผิวคอนกรีตมีความพรุนน้อยกว่า

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าการศึกษาในส่วนของการนำวัสดุเหลือใช้มาทดแทนปูนซีเมนต์นั้นได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง แต่การนำวัสดุเหลือใช้มาทดแทนมวลรวมนั้นยังไม่ได้รับความนิยมมากนักแนวทางในการที่จะนำหินฝุ่นมาใช้แทนทรายในงานคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยก็เป็นอีกแนวทางหนึ่ง ซึ่งมีความเป็นไปได้สูง และมีความน่าสนใจที่จะดำเนินการศึกษาทดลองและทดสอบเพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ประโยชน์กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และนำผลการวิจัยนี้ไปขยายผลในเชิงลึก เพื่อใช้ในการพัฒนาประเทศต่อไป

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

## 3.1 แผนการทดสอบ

แผนการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

3.1.1 การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณส่วนผสมคอนกรีตสำหรับทำตัวอย่างทดสอบ การทดสอบประกอบด้วย ค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึม ขนาดคละของมวลรวม และหน่วยน้ำหนักของมวล

3.1.2 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของคอนกรีต ได้แก่ หน่วยน้ำหนัก ปริมาณอากาศ ค่ายุบตัว กำลังอัด และกำลังดัดของคอนกรีต

## 3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 ปูนซีเมนต์ (ใช้สัญลักษณ์ PC) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

3.2.2 มวลรวมละเอียด เป็นทรายหยาบที่มีความถ่วงจำเพาะ 2.60 และค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.90 โดยมีขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 33

3.2.3 มวลรวมหยาบ เป็นหินย่อยที่มีผิวหยาบและมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมขนาดโตสุดไม่เกิน 19 มิลลิเมตร มีความถ่วงจำเพาะ 2.70 และขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 33

**3.2.4** เถ้าถ่านหิน (ใช้สัญลักษณ์ RHA )

## 3.3 รายละเอียดวิธีการทดสอบ

3.3.1 การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม

ก. การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าการดูดซึมของมวลรวมละเอียด เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 128 ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก

ข. การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าการดูดซึมของมวลรวมหยาบ เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 127 ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก

ค. การวิเคราะห์ขนาดคละและโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมละเอียด เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 136 ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก

ง. การทดสอบค่าหน่วยน้ำหนักของมมวลรวมหยาบ เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 29 ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก

3.3.2 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต ประกอบด้วย

ก. คุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตในสภาพสด

1. ค่ายุบตัวของคอนกรีต ใช้โคนรูปทรงกรวยตัดเส้นผ่านศูนย์กลางบน 10 เซนติเมตร ด้านล่าง 20 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ใส่คอนกรีตลงในโคนโดยแบ่งออกเป็น 3 ชั้นแต่ละชั้นให้มีปริมาตรเท่า ๆ กัน กระทุ้งด้วยเหล็กปลายมนชั้นละ 25 ครั้ง จากนั้นดึงโคนขึ้นตรง ๆ แล้ววางโคนลง

ข้าง ๆ วัดค่ายุบตัวที่กึ่งกลางของคอนกรีตที่ยุบตัวในการวัดให้มีค่าความละเอียดถึง 0.5 เซนติเมตร การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 143 ดังแสดงในรูปที่ 3.1

**รูปที่ 3.1** การทดสอบค่ายุบของคอนกรีต

2. หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 138 ดังแสดงในรูปที่ วิธีการทดสอบเริ่มจากชั่งน้ำหนักถังเปล่าบันทึกค่าไว้ เติมน้ำให้เต็มถังแล้วชั่งน้ำหนักคำนวณหาปริมาตรถัง ใส่คอนกรีตลงไปในถังเปล่าแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่า ๆ กัน แต่ละชั้นให้กระทุ้งตามข้อกำหนดที่ขึ้นอยู่กับขนาดถังแล้วใช้ค้อนยางเคาะด้านข้างรอบ ๆ ภาชนะ 10 – 15 ครั้ง ใช้แผ่นเหล็กปาดคอนกรีตให้เรียบแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณหาหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตจากสูตร

หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต = น้ำหนักของคอนกรีตในถัง / ปริมาตรถัง

**รูปที่ 3.2** การทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

3. ปริมาณอากาศในคอนกรีต การทดสอบเริ่มจากตักคอนกรีตใส่ลงในภาชนะ แอร์มิเตอร์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ชั้นเท่า ๆ กัน กระทุ้งด้วยเหล็กปลายมนชั้นละ 25 ครั้ง ใช้ค้อนยางตีรอบ ๆ ภาชนะ 10 – 15 ครั้ง เพื่อไล่อากาศในคอนกรีตให้หมดแล้วใช้แผ่นเหล็กปาดคอนกรีตให้เรียบแล้วปิดฝาให้แน่น เปิดวาล์วทั้งสองข้างแล้วเติมน้ำให้เต็มแล้วปิดวาล์ว ต่อจากนั้นให้อัดอากาศเข้าไปจนเต็ม โดยสังเกตจากหน้าปัดของเครื่องเข็มจะชี้ที่เลขศูนย์ กดปุ่มอัดอากาศแล้วใช้ค้อนยางเคาะด้านข้างเบา ๆ อ่านค่าปริมาณอากาศจากหน้าปัดของเครื่อง การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 231 ดังแสดงในรูปที่

**รูปที่3.3** การทดสอบปริมาณอากาศในคอนกรีต

ข.คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต

1.กำลังอัด การทดสอบกำลังอัดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 39 ตามลำดับ และมาตรฐาน BS 1881 ใช้ตัวอย่างทดสอบทรงลูกบาศก์ขนาด 3x3x3 และ4x4x4 นิ้ว ทำการทดสอบกำลังอัดที่อายุ 3,7,28 และ 90 วัน ตามลำดับหลังจากคอนกรีตแข็งตัวเป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออกต่อจากนั้นจึงนำก้อนตัวอย่างไปบ่มในน้ำจนกระถั่งถึงเวลาทดสอบ โดยนำเข้าเครื่องกดจนกระ ทั่งก้อนตัวอย่างแตก ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และคำนวณหากำลังอัดของคอนกรีตจาก

กำลังอัด (fc’) = แรงกดสูงสุด(P) / พื้นที่หน้าตัด(A)

**รูปที่ 3.4** การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตและการวิบัติ

2.กำลังดัด การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 78 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ใช้ตัวอย่างทดสอบแบบคานขนาด 3x3x12 นิ้ว หลังจากคอนกรีตแข็งตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออกต่อจากนั้นจึงนำก้อนตัวอย่างไปบ่มในน้ำจนกระทั่งถึงเวลาทดสอบกำลังดัด ที่อายุ 28 และ 90 วัน ทดสอบกำลังดัดโดยให้น้ำหนักกดแบบ 3 จุด โดยแบ่งก้อนตัวอย่างเป็น 3 ส่วนเท่าๆกัน ส่วนละ 3 นิ้ว นำเข้าเครื่องกดจนกระทั่งก้อนตัวอย่างแตก แล้วคำนวณหากำลังดัดของคอนกรีตจากสูตรดังนี้

กรณีที่ 1 ถ้าก้อนตัวอย่างแตกอยู่ในช่วงกลาง

$$R=PL/bd^2$$

กรณีที่ 2 ถ้าก้อนตัวอย่างแตกไม่อยู่ในช่วงกลาง

$$R=3Pa/bd^2$$

โดยที่: R=Modulus of Rupture
P=Maximum Load
L=ความยาวช่วงคาน (Span)
a=ระยะเฉลี่ยจากจุดแตกหักถึงจุดรองรับ
b=ความกว้างเฉลี่ยของคาน
d=ความลึกเฉลี่ยของคาน

**รูปที่ 3.5** การทดสอบกำลังดัดและการวิบัติของคอนกรีต

### 3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนประกอบด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการทำตัวอย่างทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้สำหรับทำการทดสอบ ดังนี้

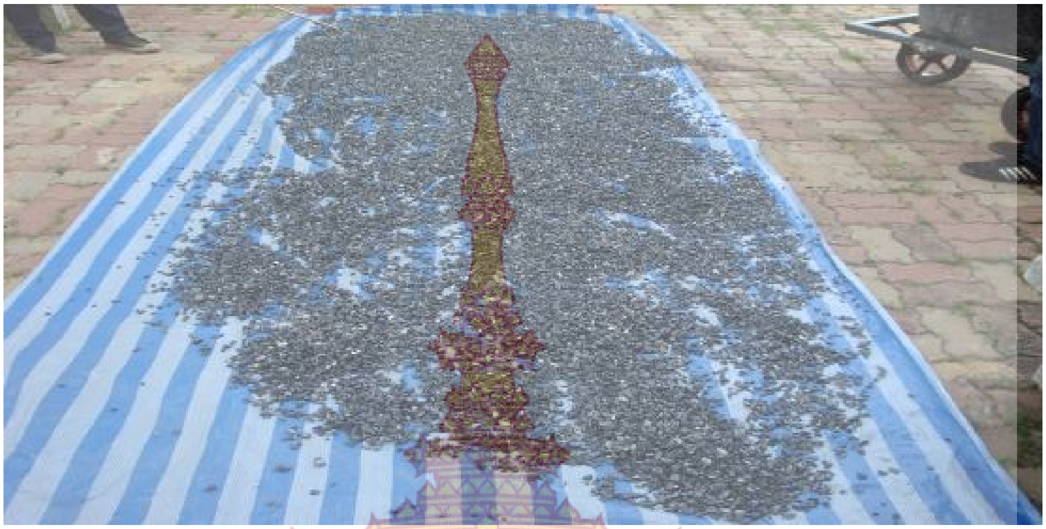
3.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทำตัวอย่างทดสอบ ได้แก่ เครื่องผสมคอนกรีต เครื่องชั่งน้ำหนักแบบหล่อตัวอย่างทดสอบขนาดต่างๆ เป็นต้น

3.4.2 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบ ได้แก่ ชุดอุปกรณ์ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ ชุดอุปกรณ์ทดสอบค่ายุบตัว หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ปริมาณอากาศ และเครื่องทดสอบกำลัง (Universal Testing Machine) เป็นต้น

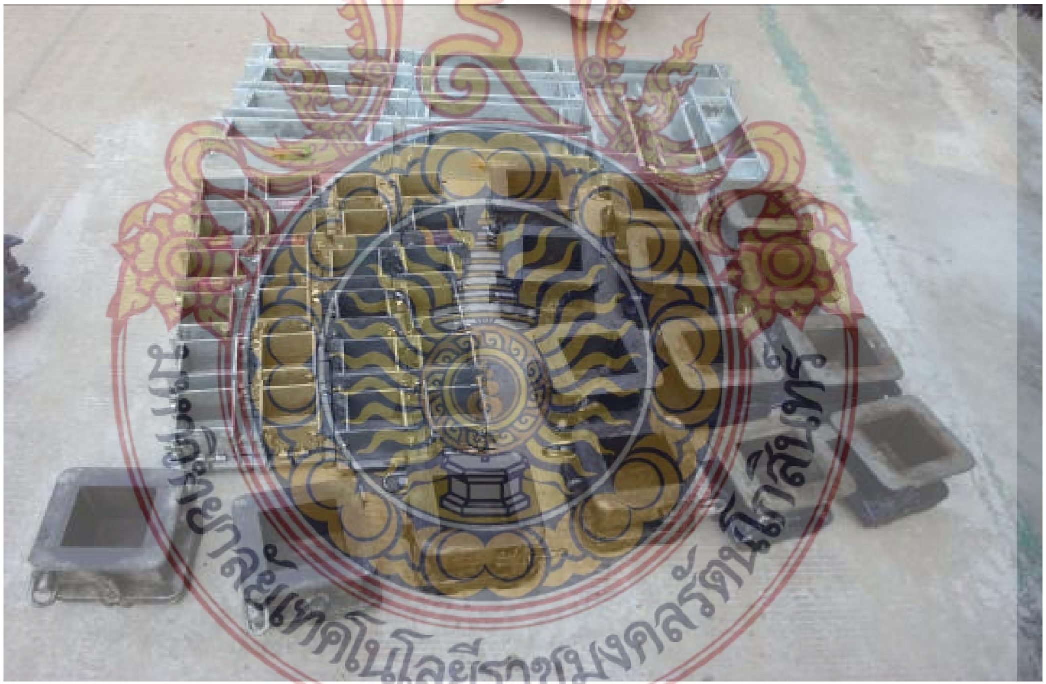
### 3.5 การทำตัวอย่างทดสอบและการบ่มคอนกรีต

ขั้นตอนในการทำตัวอย่างทดสอบและการบ่มคอนกรีตในห้องปฏิบัติการดำเนินการภายใต้การควบคุมวัสดุและเงื่อนไขการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 192 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ถึงรูปที่ 3.11

**รูปที่ 3.6** แสดงการตากทรายเพื่อควบคุมความชื้น



**รูปที่ 3.7** การตากหินเพื่อควบคุมความชื้นวัสดุ

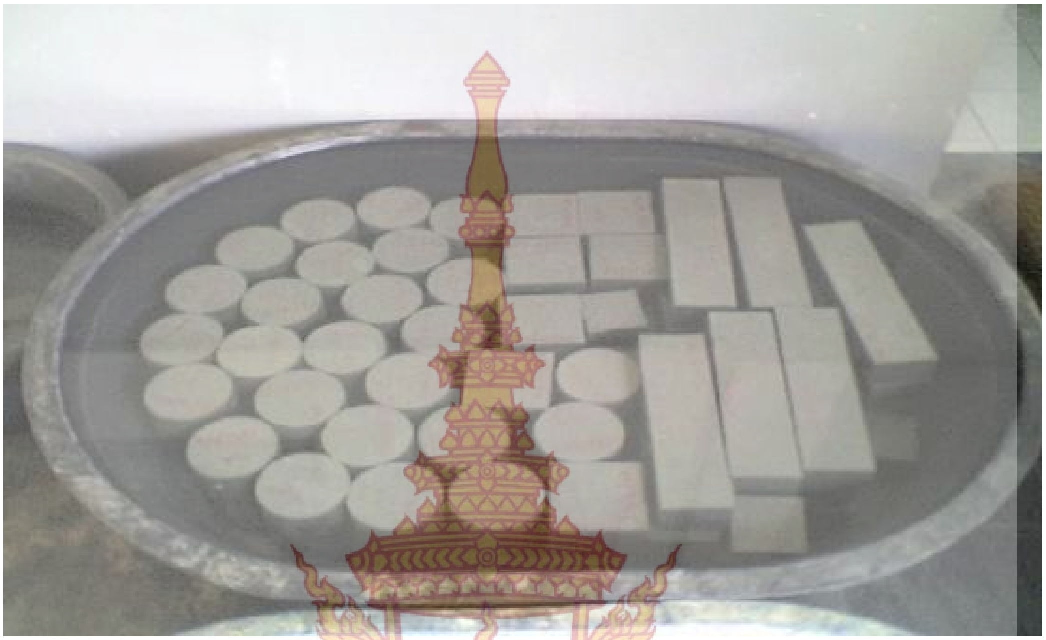


**รูปที่ 3.8** การเตรียมแบบเพื่อเก็บตัวอย่างทดสอบ

**รูปที่ 3.9** การผสมคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัย

รูปที่ 3.10 การเก็บตัวอย่างคอนกรีตในงานวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์



**รูปที่ 3.11** การควบคุมหรือการบ่มคอนกรีต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

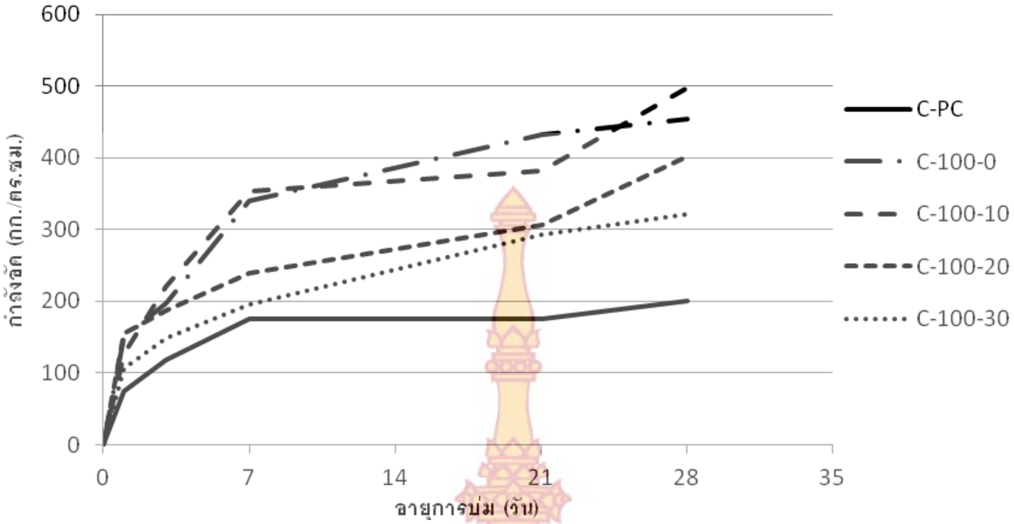
# บทที่ 4
# ข้อมูลและผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนากำลังอัดคอนกรีตผสมเถ้าแกลบด้วยหินฝุ่นแทนทรายและจุลินทรีย์ อี.เอ็ม เป็นงานที่ทำอย่างเป็นระบบโดยใช้ความรู้ที่ได้รับจากการวิจัย รวมทั้งทำการกำหนดแนวทางในการทำวิจัย อันประกอบด้วย การกำหนดวัสดุ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ผลการทดสอบความสามารถรับกำลังอัดของมอร์ต้าร์อันเป็นจุดมุ่งหมายหลักของการวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

**ตารางที่ 4.1** แสดงค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของมอร์ต้า

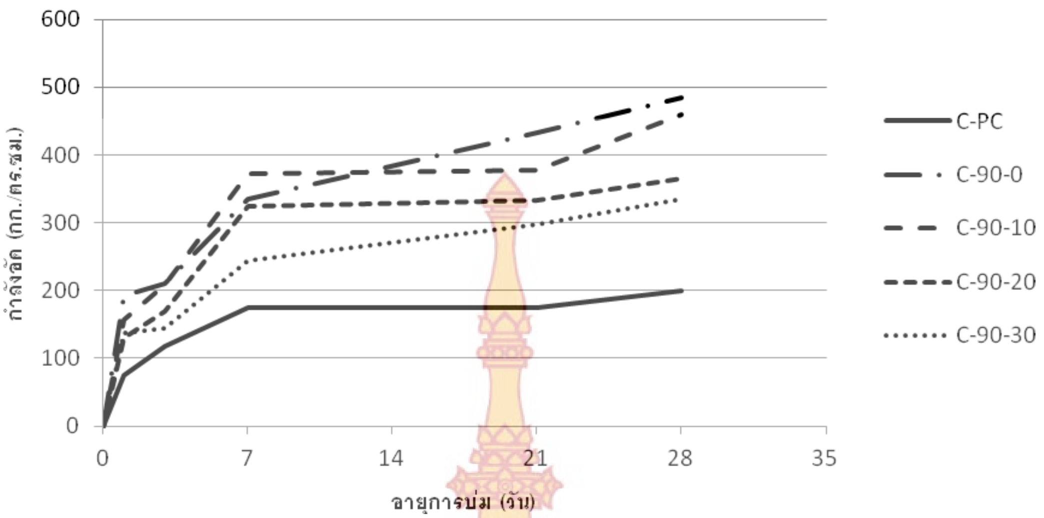
| สัญลักษณ์ | กำลังอัด(กก./ตร.ซม.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 วัน | 3 วัน | 7 วัน | 21วัน | 28วัน |
| C-PC | 75.4 | 118.24 | 175.32 | 175.32 | 199.76 |
| C-100-0 | 150.84 | 197.74 | 340.46 | 432.21 | 454.62 |
| C-100-10 | 127.42 | 220.16 | 352.68 | 381.22 | **497.34*** |
| C-100-20 | 154.67 | 187.56 | 238.52 | 305.66 | 401.6 |
| C-100-30 | 106 | 148.8 | 289.48 | 293.56 | 322.1 |
| C-90-0 | 191.62 | 209.96 | 334.34 | **432.18*** | 485.2 |
| C-90-10 | 155.94 | 207.92 | **373.06*** | 377.14 | 458.7 |
| C-90-20 | 129.44 | 169.2 | 324.14 | 332.2 | 364.92 |
| C-90-30 | 136.56 | 144.72 | 244.62 | 296.6 | 334.32 |
| C-80-0 | 165.34 | 179.38 | 362.88 | 399.58 | 458.7 |
| C-80-10 | 130.46 | 183.46 | 244.12 | 307.84 | 426.08 |
| C-80-20 | 144.57 | 171.24 | 293.56 | 318.02 | 434.24 |
| C-80-30 | 110.08 | 132.5 | 224.24 | 254.82 | 346.56 |
| C-70-0 | **224.24*** | **260.75*** | 298.42 | 315.98 | 391.42 |
| C-70-10 | 163.08 | 189.58 | 256.86 | 293.56 | 413.84 |
| C-70-20 | 132.5 | 148.8 | 246.68 | 280.56 | 305.78 |
| C-70-30 | 122.32 | 152.9 | 234.44 | 281.32 | 291.52 |

หมายเหตุ * คือ ค่ากำลังอัดสูงสุดที่อายุการบ่มนั้น



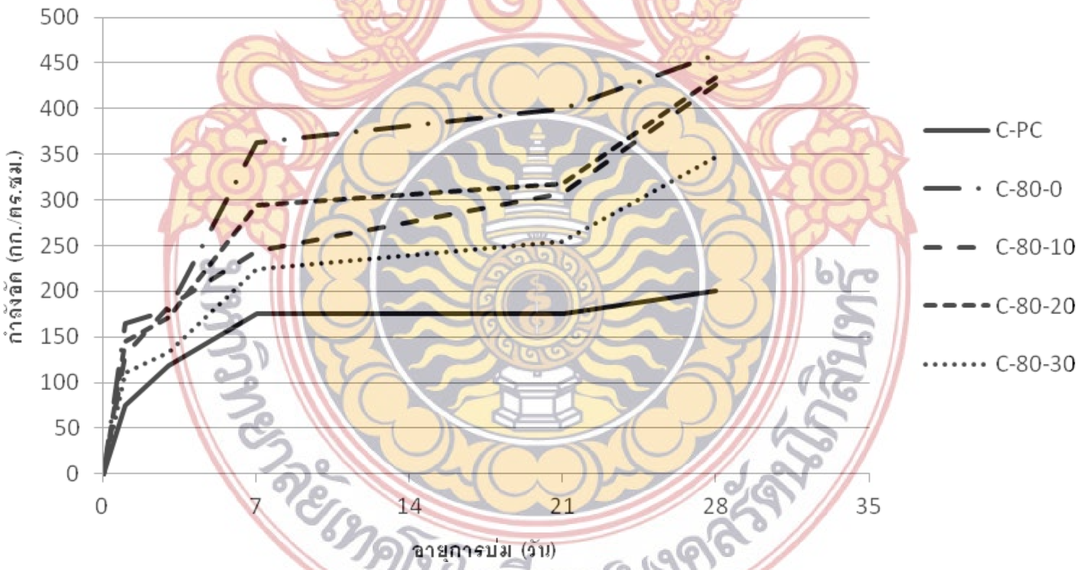

**รูปที่ 4.1** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอายุการบ่ม ของมอร์ต้าผสมหินฝุ่นแทนทราย 100%

เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ที่ไม่มีทรายเลย จากรูปที่ 4.1 จะพบว่ากำลังอัดสูงกว่ามอร์ต้าร์ควบคุมและในช่วงอายุการบ่มก่อน 28 วัน มอร์ต้าที่ไม่ผสมเถ้าแกลบแทนซีเมนต์จะมีความสามารถรับแรงอัดได้ดีที่สุด รองลงมาคือ เถ้าแกลบแทนที่ร้อยละ 10, 20, 30 ตามลำดับ เนื่องจากเถ้าแกลบเป็นวัสดุประเภทปอซโซลานจึงจะช่วยพัฒนากำลังมอร์ต้าได้ในระยะยาว จะเห็นได้จากของกราฟมอร์ต้าผสมเถ้าแกลบทุกสัดส่วน จะมีแนวโน้มเพิ่มกำลังขึ้นอีกต่อไปในระยะเวลานาน

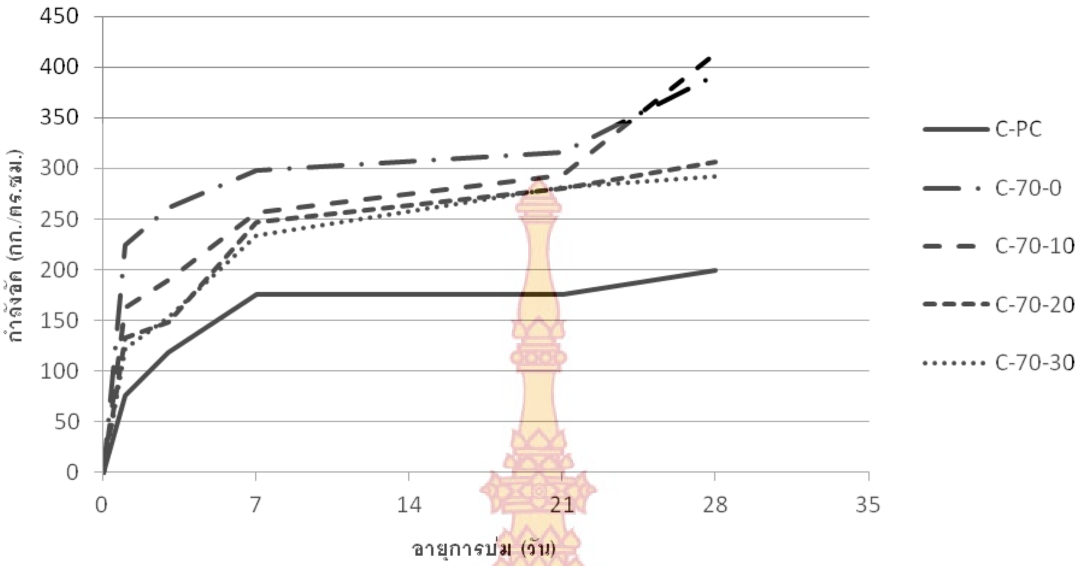



**รูปที่ 4.2** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอายุการบ่ม ของมอร์ต้าผสมหินฝุ่นแทนทราย 90%

เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแทนทราย ร้อยละ 90 จากรูปที่ 4.2 จะพบว่า กำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแทนทราย สูงกว่ามอร์ต้าร์ควบคุมตั้งแต่อายุการบ่ม 1 วัน และในช่วงอายุการบ่มก่อน 28 วัน มอร์ต้าที่ไม่ผสมเถ้าแกลบแทนซีเมนต์จะมีความสามารถรับแรงอัดได้ดีที่สุด รองลงมาคือ เถ้าแกลบแทนที่ร้อยละ 10, 20, 30 ตามลำดับ




**รูปที่ 4.3** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอายุการบ่ม ของมอร์ต้าผสมหินฝุ่นแทนทราย 80%




**รูปที่ 4.4** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอายุการบ่ม ของมอร์ต้าผสมหินฝุ่นแทนทราย 70%

จากรูปที่ 4.3 และ4.4 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแทนทราย ร้อยละ 80และ 70 จะพบว่ากำลังอัดมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแทนทราย สูงกว่ามอร์ต้าร์ควบคุมตั้งแต่อายุการบ่ม 1 วัน และในช่วงอายุการบ่มก่อน 28 วัน มอร์ต้าที่ไม่ผสมเถ้าแกลบแทนซีเมนต์จะมีความสามารถรับแรงอัดได้ดีที่สุด รองลงมาคือ เถ้าแกลบแทนที่ร้อยละ 10, 20, 30 ตามลำดับ เช่นเดียวกับการผสมหินฝุ่นแทนทรายในสัดส่วน 100 และ 90

หากแต่จะพบได้ว่า C-70-0 มีกำลังอัดสูงสุดในช่วงอายุการบ่มไม่เกิน 3 วัน หมายถึงในช่วงระยะเวลาสั้นๆ การใช้หินฝุ่นแทนทรายร้อยละ 70 โดยไม่ผสมเถ้าแกลบเลยจะเป็นสัดส่วนที่ดีที่สุด หากแต่เมื่อระยะเวลาการบ่มที่ยาวนานขึ้น มอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นในปริมาณสูงจะมีค่ากำลังอัดสูงกว่าและระยะเวลาที่ 28 วัน C-100-10 คือสัดส่วนที่ดีที่สุดสำหรับมอร์ต้าร์ประเภทนี้ และสามารถรับแรงอัดได้ 497.34 กก./ตร.ซม. ซึ่งมากกว่าคอนกรีตควบคุม ประมาณ 2.5 เท่า

# บทที่ 5
# สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลกระทบกำลังอัดคอนกรีตผสมเถ้าแกลบด้วยหินฝุ่นแทนทรายและจุลินทรีย์ อี.เอ็มในอัราคงที่ 5% พบว่าเมื่อใช้หินฝุ่นแทนที่ในปริมาณสูงยิ่งมีผลแปรผันให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าสูงตามเนื่องจากหินฝุ่นเกิดจากเศษหินย่อยซึ่งมีความแข็งกว่าทรายมากเมื่อนำไปผสมมอร์ต้าจึงทำให้เพิ่มความแข็งแรงได้มากกว่าทราย เช่นกัน และเมื่อนำหินฝุ่นมาผสมทรายบางส่วนจะทำให้ขนาดคละของมวลรวมละเอียดดีขึ้น เช่นเดียวกับกรณีการคละมวลรวมหยาบในคอนกรีต หากแต่เมื่อผสมเถ้าแกลบแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1จะเป็นการลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงไปเมื่อซัลเฟตทำปฏิกิริยากับไตรคัลเซียมอลูมิเนต($C_3A$) ในปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดยิปซั่มและแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต ก่อให้เกิดการขยายตัวของปริมาณเพิ่มขึ้นจึงเกิดแรงดันในมอร์ต้าร์ส่งผลให้กำลังอัดลดลงและเกิดการแตกร้าว การผสมเถ้าแกลบบางส่วนเป็นการลดไตรคัลเซียมซิลิเกต ($C_3S$) จึงช่วยลดการขยายตัวของมอร์ต้าร์ อนึ่งเถ้าแกลบเป็นสารจำพวกปอซโซลาน จึงจะช่วยพัฒนากำลังคอนกรีตได้ในระยะเวลานาเกินกว่า 28 วัน นอกจากจะมีขนาดละเอียดมากจนร่อนค้างตะแกรงเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 2 ซึ่งอาจจะต้องใช้พลังงานในการบดให้ละเอียด สามารถสรุปได้ดังนี้

## 5.1 สรุปผล

ในการศึกษาครั้งนี้จึงสามารถสรุปแนวทางในการพัฒนากำลังอัดคอนกรีตผสมเถ้าแกลบด้วยหินฝุ่นแทนทราย ว่า ที่อัตราส่วนหินฝุ่นแทนทรายร้อยละ 70 และไม่ผสมเถ้าแกลบเลย จะเร่งกำลังอัดที่สุดในช่วงอายุการบ่มสั้นๆไม่เกิน 3 วัน ส่วนในระยะเวลายาวเกินกว่า 3 วัน อัตราส่วนหินฝุ่นแทนทรายทั้งหมดผสมกับเถ้าแกลบแทนซีเมนต์ ร้อยละ10 มีแนวโน้มดีที่สุด

## 5.2 อภิปรายผล

มอร์ต้าที่ผสม EM สามารถรับกำลังอัดสูงสุด ที่มีอายุ 90 วัน โดยลักษณะของการรับแรงอัดมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีอายุเพิ่มขึ้นจากการศึกษาพบว่าเถ้าแกลบและหินฝุ่น ที่นำมาศึกษาสามารถที่จะช่วยนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อีกครั้งโดยการนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน โดยที่ไม่ส่งผลเสียหายต่อกำลังมอร์ต้าและยังสามารถที่จะลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงได้ และยังช่วยเพิ่มกำลังอัดของมอร์ต้าเพิ่มขึ้นอีกด้วย งานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาเป็นวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างได้ต่อไป

**5.3 ข้อเสนอแนะ**

คอนกรีตที่ดีต้องมีกระบวนการผลิตที่เป็นขั้นตอนเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติสม่ำเสมอทั้งทางด้านความสามารถเทได้ (Workability) กำลัง (Strength) ความต้านทานการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) และความทนทาน(Durability) จึงควรต้องวิจัยต่อเนื่องในด้านอื่นๆอีกต่อไป

5.3.1 การศึกษาครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาความต้องการน้ำของมอร์ต้าผสม EM เพื่อให้ทราบถึงความต้องการน้ำของแต่ละส่วนผสม

5.3.2 การศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาถึงต้นทุนและแหล่งจำหน่ายของ EM ที่นำมาใช้ในโครงการ เพื่อความสะดวกในการสั่งซื้อวัสดุ

5.3.3 ควรศึกษาในเรื่องของความพรุนของมอร์ต้าที่ผสม EM

# บรรณานุกรม


กรมทางหลวง, **มาตรฐานพื้นทางหินคลุก,** มาตรฐานวัสดุงานทาง (ทล.-ม.201/2544). ศูนย์วิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพมหานคร.

จิรพัฒน์ โชติไกร,**วิศวกรรมการทาง,** พิมพ์ครั้งที่ 4 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2555. กรุงเทพมหานคร. หน้า 329 – 331.

นิโรจน์ เงินพรหม, **การศึกษาความสามารถรับกำลังของอิฐดินลูกรัง,** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2554.

มณเฑียร กังศศิเทียม, **กลศาสตร์ของด้านวิศวกรรม,** พิมพ์ครั้งที่ 7 สำนักพิมพ์สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2539. กรุงเทพมหานคร.

ประชุม คำพุฒ, **การศึกษาการใช้น้ำยางธรรมชาติผสมเพิ่มในคอนกรีตมวลเบาแบบปานกลาง,** เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 2, ณ โรงแรมเจริญศรีแกรนด์ รอยัล, อุดรธานี, 25-27 ตุลาคม 2549, หน้า MAT 73-MAT 81.

พลภัทร พฤกษานานนท์, **อิฐมวลเบาพารากรีต,** งานแสดงนวัตกรรมยางพาราแห่งประเทศไทย, เมษายน 2548.

ภูรี สุขแสน, **คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินเหนียว ดินแกรนิตผุและดินลูกรังผสมเส้นใยผ้าใบ,** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.

วัชรินทร์ กาสลัก และศิริชัย ห่วงจริง, **การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ยางพาราในงานก่อสร้างถนน,** สัมมนางานวิจัยเพื่อการพัฒนาทางหลวงประจำปี 2548, 1-2 กันยายน 2548

ศูนย์วิจัยและจัดการคุณภาพอากาศมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, **การเผาขยะชุมชนในที่โล่งแจ้งและการจัดการ,** รายงานการทบทวนวรรณกรรม, เดือนมิถุนายน 2554, หน้า 32-37

# บรรณานุกรม (ต่อ)

เอกรัตน์ รอดบำรุง, **ผลกระทบของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่มีคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของดินเหนียว,** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.

Alexander and Cady. 1962. **Basic Engineering Geological Properties of Lateritic Soils from Western Delta.** [online]. Available : http://maxwellsci.com. [Retrieved : October 18, 2012].

Andrew, Buchanan. 1807. **Manuscripts and Special Collection.** [online]. Available : http://www.nottingham.ac.uk. [Retrieved : October 18, 2012].

Bujang B.K. Huat. David G. Toll and Arun Prasad. 1957. **Tropical Residual Soils Engneering.** Available : http://www.crcpress.com. [Retrieved : October 18, 2012].

Gaither, E.B. 1968. **Soil and Pavement Consultant.** Available : http://www.ktc.uky.edu. [Retrieved : October 18, 2012].

Gidigasu, M.D. 1976. **Laterite Soil Engineering.** Available : http://www.getcited.org. [Retrieved : October 18, 2012].

Joachin and Kandiah. 1941. **Review of research on laterites.** Available : http://unesco.org. [Retrieved : October 18, 2012].

Lacroix. 1913. **The Corlat Hanbook Version 1.2** Available : http://www.isric.org. [Retrieved : October 18, 2012].

Morrison, H.J. 1965. **Report on research and progation for laterite soils.** Available : http://www.repository.rmutp.ac.th. [Retrieved : October 18, 2012]

# ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

# ภาคผนวก ก

## ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของมอร์ต้า

**ตารางที่ ก.1** แสดงค่ากำลังอัดของมอร์ต้ามาตรฐานเทียบกับมอร์ต้าผสมอี.เอ็ม. ที่อายุ 1 วัน

| Mixed | SAMPLE No. | AREA (cmxcm) | WEIGHT (kg.) | ULIMATE LOAD (kN.) | COMPRESSIVE STRENGTH (ksc.) | AVERAGE COMPRESSIVE STRENGTH (ksc.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PC | 1 | 5x5 | 0.265 | 69 | 281.35 | 279.31 |
| | 2 | 5x5 | 0.268 | 75 | 305.81 | |
| | 3 | 5x5 | 0.266 | 68 | 277.27 | |
| E0P100 | 1 | 5x5 | 0.270 | 83 | 338.43 | 332.31 |
| | 2 | 5x5 | 0.267 | 80 | 326.20 | |
| | 3 | 5x5 | 0.269 | 64 | 260.96 | |
| E20P80 | 1 | 5x5 | 0.269 | 65 | 265.04 | 254.84 |
| | 2 | 5x5 | 0.270 | 60 | 244.65 | |
| | 3 | 5x5 | 0.271 | 55 | 224.26 | |
| E40P60 | 1 | 5x5 | 0.275 | 75 | 305.81 | 290.86 |
| | 2 | 5x5 | 0.270 | 71 | 289.50 | |
| | 3 | 5x5 | 0.273 | 68 | 277.27 | |
| E60P40 | 1 | 5x5 | 0.271 | 69 | 281.35 | 278.63 |
| | 2 | 5x5 | 0.275 | 67 | 273.19 | |
| | 3 | 5x5 | 0.271 | 69 | 281.35 | |
| E80P20 | 1 | 5x5 | 0.274 | 78 | 318.04 | 309.89 |
| | 2 | 5x5 | 0.271 | 74 | 301.73 | |
| | 3 | 5x5 | 0.279 | 66 | 269.11 | |
| E100P0 | 1 | 5x5 | 0.274 | 75 | 305.81 | 318.04 |
| | 2 | 5x5 | 0.272 | 81 | 330.28 | |
| | 3 | 5x5 | 0.273 | 63 | 256.88 | |

**ตารางที่ ก.2** แสดงค่ากำลังอัดของมอร์ต้ามาตรฐานเทียบกับมอร์ต้าผสมอี.เอ็ม. ที่อายุ 3 วัน

| Mixed | SAMPLE No. | AREA (cm.xcm.) | WEIGHT (kg.) | ULIMAT LOAD (kN.) | COMPRESSIVE STRENGTH (ksc.) | AVERAGE COMPRESSIVE STRENGTH (ksc.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PC | 1 | 5x5 | 0.274 | 70 | 285.42 | 283.38 |
| | 2 | 5x5 | 0.273 | 65 | 265.04 | |
| | 3 | 5x5 | 0.270 | 69 | 281.35 | |
| E0P100 | 1 | 5x5 | 0.276 | 82 | 334.35 | 334.35 |
| | 2 | 5x5 | 0.277 | 82 | 334.35 | |
| | 3 | 5x5 | 0.277 | 69 | 281.35 | |
| E20P80 | 1 | 5x5 | 0.277 | 78 | 318.04 | 323.48 |
| | 2 | 5x5 | 0.274 | 81 | 330.28 | |
| | 3 | 5x5 | 0.278 | 79 | 322.12 | |
| E40P60 | 1 | 5x5 | 0.278 | 80 | 326.20 | 328.92 |
| | 2 | 5x5 | 0.278 | 83 | 338.43 | |
| | 3 | 5x5 | 0.280 | 79 | 322.12 | |
| E60P40 | 1 | 5x5 | 0.277 | 76 | 309.89 | 300.37 |
| | 2 | 5x5 | 0.283 | 74 | 301.73 | |
| | 3 | 5x5 | 0.283 | 71 | 289.50 | |
| E80P20 | 1 | 5x5 | 0.278 | 87 | 354.74 | 337.07 |
| | 2 | 5x5 | 0.281 | 87 | 354.74 | |
| | 3 | 5x5 | 0.276 | 74 | 301.73 | |
| E100P0 | 1 | 5x5 | 0.284 | 82 | 334.35 | 352.02 |
| | 2 | 5x5 | 0.280 | 89 | 362.90 | |
| | 3 | 5x5 | 0.282 | 88 | 358.82 | |

**ตารางที่ ก.3** แสดงค่ากำลังอัดของมอร์ต้ามาตรฐานเทียบกับมอร์ต้าผสมอี.เอ็ม. ที่อายุ 7 วัน

| Mixed | SAMPLE No. | AREA (cm.xcm.) | WEIGHT (kg.) | ULIMAT LOAD (kN.) | COMPRESSIVE STRENGTH (ksc.) | AVERAGE COMPRESSIVE STRENGTH (ksc.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PC | 1 | 5x5 | 0.273 | 79 | 322.12 | 313.97 |
| | 2 | 5x5 | 0.273 | 78 | 318.04 | |
| | 3 | 5x5 | 0.268 | 74 | 301.73 | |
| E0P100 | 1 | 5x5 | 0.274 | 89 | 362.90 | 347.94 |
| | 2 | 5x5 | 0.28 | 85 | 346.59 | |
| | 3 | 5x5 | 0.275 | 82 | 334.35 | |
| E20P80 | 1 | 5x5 | 0.275 | 84 | 342.51 | 358.82 |
| | 2 | 5x5 | 0.276 | 90 | 366.97 | |
| | 3 | 5x5 | 0.277 | 90 | 366.97 | |
| E40P60 | 1 | 5x5 | 0.275 | 83 | 338.43 | 360.18 |
| | 2 | 5x5 | 0.275 | 90 | 366.97 | |
| | 3 | 5x5 | 0.275 | 92 | 375.13 | |
| E60P40 | 1 | 5x5 | 0.28 | 76 | 309.89 | 303.09 |
| | 2 | 5x5 | 0.277 | 74 | 301.73 | |
| | 3 | 5x5 | 0.276 | 73 | 297.66 | |
| E80P20 | 1 | 5x5 | 0.278 | 88 | 358.82 | 352.02 |
| | 2 | 5x5 | 0.281 | 87 | 354.74 | |
| | 3 | 5x5 | 0.275 | 84 | 342.51 | |
| E100P0 | 1 | 5x5 | 0.281 | 89 | 362.90 | 354.74 |
| | 2 | 5x5 | 0.276 | 87 | 354.74 | |
| | 3 | 5x5 | 0.274 | 85 | 346.59 | |

**ตารางที่ ก.4** แสดงค่ากำลังอัดของมอร์ต้ามาตรฐานเทียบกับมอร์ต้าผสมอี.เอ็ม. ที่อายุ 21 วัน

| Mixed | SAMPLE No. | AREA (cm.xcm.) | WEIGHT (kg.) | ULIMATELOAD (kN.) | COMPRESSIVE STRENGTH (ksc.) | AVERAGE COMPRESSIVE STRENGTH (ksc.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PC | 1 | 5x5 | 0.275 | 75 | 305.81 | 346.59 |
| | 2 | 5x5 | 0.276 | 85 | 346.59 | |
| | 3 | 5x5 | 0.278 | 85 | 346.59 | |
| E0P100 | 1 | 5x5 | 0.273 | 82 | 334.35 | 366.97 |
| | 2 | 5x5 | 0.275 | 90 | 366.97 | |
| | 3 | 5x5 | 0.278 | 90 | 366.97 | |
| E20P80 | 1 | 5x5 | 0.274 | 95 | 387.36 | 379.20 |
| | 2 | 5x5 | 0.272 | 91 | 371.05 | |
| | 3 | 5x5 | 0.274 | 102 | 415.90* | |
| E40P60 | 1 | 5x5 | 0.276 | 93 | 379.20 | 375.13 |
| | 2 | 5x5 | 0.279 | 91 | 371.05 | |
| | 3 | 5x5 | 0.275 | 87 | 354.74* | |
| E60P40 | 1 | 5x5 | 0.269 | 75 | 305.81 | 315.32 |
| | 2 | 5x5 | 0.273 | 77 | 313.97 | |
| | 3 | 5x5 | 0.274 | 80 | 326.20 | |
| E80P20 | 1 | 5x5 | 0.279 | 107 | 436.29 | 422.70 |
| | 2 | 5x5 | 0.279 | 104 | 424.06 | |
| | 3 | 5x5 | 0.279 | 100 | 407.75 | |
| E100P0 | 1 | 5x5 | 0.277 | 87 | 354.74 | 366.97 |
| | 2 | 5x5 | 0.279 | 91 | 371.05 | |
| | 3 | 5x5 | 0.275 | 92 | 375.13 | |

**หมายเหตุ :** สัญลักษณ์ที่ใช้ในตาราง

*หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ไม่นำมาคิด

**ตารางที่ ก.5** แสดงค่ากำลังอัดของมอร์ต้ามาตรฐานเทียบกับมอร์ต้าผสมอี.เอ็ม. ที่อายุ 28 วัน

| Mixed | SAMPLE No. | AREA (cm.xcm.) | WEIGHT (kg.) | ULIMATELOAD (kN.) | COMPRESSIVE STRENGTH (ksc.) | AVERAGE COMPRESSIVE STRENGTH (ksc.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PC | 1 | 5x5 | 0.27 | 95 | 387.36 | 381.24 |
| | 2 | 5x5 | 0.272 | 92 | 375.13 | |
| | 3 | 5x5 | 0.269 | 89 | 362.90* | |
| E0P100 | 1 | 5x5 | 0.272 | 92 | 375.13 | 375.13 |
| | 2 | 5x5 | 0.271 | 86 | 350.66* | |
| | 3 | 5x5 | 0.272 | 92 | 375.13 | |
| E20P80 | 1 | 5x5 | 0.275 | 100 | 407.75 | 403.67 |
| | 2 | 5x5 | 0.278 | 97 | 395.51 | |
| | 3 | 5x5 | 0.277 | 100 | 407.75 | |
| E40P60 | 1 | 5x5 | 0.271 | 92 | 375.13 | 377.17 |
| | 2 | 5x5 | 0.277 | 101 | 411.82* | |
| | 3 | 5x5 | 0.277 | 93 | 379.20 | |
| E60P40 | 1 | 5x5 | 0.28 | 109 | 444.44 | 442.41 |
| | 2 | 5x5 | 0.277 | 94 | 383.28* | |
| | 3 | 5x5 | 0.276 | 108 | 440.37 | |
| E80P20 | 1 | 5x5 | 0.277 | 102 | 415.90 | 432.21 |
| | 2 | 5x5 | 0.278 | 107 | 436.29 | |
| | 3 | 5x5 | 0.28 | 109 | 444.44 | |
| E100P0 | 1 | 5x5 | 0.279 | 85 | 346.59* | 377.17 |
| | 2 | 5x5 | 0.277 | 95 | 387.36 | |
| | 3 | 5x5 | 0.277 | 90 | 366.97 | |

**หมายเหตุ :** สัญลักษณ์ที่ใช้ในตาราง

*หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ไม่นำมาคิด

**ตารางที่ ก. 6** แสดงค่ากำลังอัดของมอร์ต้ามาตรฐานเทียบกับมอร์ต้าผสมอี.เอ็ม. ที่อายุ 90 วัน

| Mixed | SAMPLE No. | AREA (cm.xcm.) | WEIGHT (kg.) | ULIMATELOAD (kN.) | COMPRESSIVE STRENGTH (ksc.) | AVERAGE COMPRESSIVE STRENGTH (ksc.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PC | 1 | 5x5 | 0.282 | 107 | 436.29 | 444.44 |
| | 2 | 5x5 | 0.281 | 110 | 448.52 | |
| | 3 | 5x5 | 0.276 | 110 | 448.52 | |
| E0P100 | 1 | 5x5 | 0.279 | 111 | 452.60 | 440.37 |
| | 2 | 5x5 | 0.278 | 105 | 428.13 | |
| | 3 | 5x5 | 0.279 | 100 | 407.75* | |
| E20P80 | 1 | 5x5 | 0.278 | 115 | 468.91 | 458.72 |
| | 2 | 5x5 | 0.285 | 121 | 493.37* | |
| | 3 | 5x5 | 0.278 | 110 | 448.52 | |
| E40P60 | 1 | 5x5 | 0.277 | 102 | 415.90* | 450.56 |
| | 2 | 5x5 | 0.279 | 106 | 432.21 | |
| | 3 | 5x5 | 0.283 | 115 | 468.91 | |
| E60P40 | 1 | 5x5 | 0.282 | 117 | 477.06 | 489.30 |
| | 2 | 5x5 | 0.282 | 120 | 489.30 | |
| | 3 | 5x5 | 0.286 | 123 | 501.53 | |
| E80P20 | 1 | 5x5 | 0.283 | 123 | 501.53 | 497.45 |
| | 2 | 5x5 | 0.281 | 119 | 485.22 | |
| | 3 | 5x5 | 0.279 | 124 | 505.61 | |
| E100P0 | 1 | 5x5 | 0.277 | 95 | 342.51 | 381.24 |
| | 2 | 5x5 | 0.286 | 121 | 493.37* | |
| | 3 | 5x5 | 0.280 | 92 | 326.20 | |

**หมายเหตุ :** สัญลักษณ์ที่ใช้ในตาราง

*หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ไม่นำมาคิด

# ภาคผนวก ข

## ตารางแสดงผลของค่าเฉลี่ยของการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

**ตารางที่ ข.1** ค่าเฉลี่ยของการทดสอบกำลังอัดมอร์ต้า

| ตัวอย่างทดสอบ (No.) | อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ | การไหลแผ่ของมอร์ต้า (ซม.) | กำลังต้านทานแรงอัด (kg/cm$^2$) (ร้อยละกำลัง) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ที่อายุ 1 วัน | ที่อายุ 3 วัน | ที่อายุ 7 วัน | ที่อายุ 21 วัน | ที่อายุ 28 วัน | **ที่อายุ 90 วัน** |
| PC | 0.56 | 11.5 | 279.31 (100) | 283.38 (100) | 313.97 (100) | 346.59 (100) | 381.24 (100) | 444.44 (100) |
| E0P100 | 0.58 | 11.5 | 332.31 (118.98) | 334.35 (117.99) | 347.94 (110.82) | 366.97 (105.88) | 375.13 (98.40) | 440.37 (99.08) |
| E20P80 | 0.58 | 10.5 | 254.84 (91.24) | 323.48 (114.15) | 358.82 (114.28) | 379.20 (109.41) | 403.67 (105.88) | 458.72 (103.21) |
| E40P60 | 0.58 | 11.0 | 290.86 (104.14) | 328.92 (116.07) | 360.18 (114.72) | 375.13 (108.23) | 377.17 (98.93) | 450.56 (101.38) |
| E60P40 | 0.58 | 10.5 | 278.63 (99.76) | 300.37 (106.00) | 303.09 (96.53) | 315.32 (90.98) | 442.41 (116.05) | 489.30 (110.09) |
| E80P20 | 0.58 | 10.5 | 309.89 (110.95) | 337.07 (118.95) | 352.02 (112.12) | 422.70 (121.96) | 432.21 (113.37) | 497.45 (111.93) |
| E100P0 | 0.58 | 10.5 | 318.04 (113.87) | 352.02 (124.22) | 354.74 (112.99) | 366.97 (105.9) | 377.17 (98.9) | 381.24 (85.78) |

# ภาคผนวก ค

# รูปเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

**เครื่องทดสอบแรงอัดคอนกรีต**

( Compression Machines )

รูปที่ ค.1

เครื่องผสมมอร์ต้า

( Mortar Mixer )

รูปที่ ค.2

**เครื่องชั่งดิจิตอล**

( Digital Scale )

รูปที่ ค.3

น้ำมันก๊าด

( Paraffin )

รูปที่ ค.4

**อีเอ็ม**

( EM Ceramic Powder )

รูปที่ ค.5

ตะแกรงร่อนเบอร์ 16,30,50,100

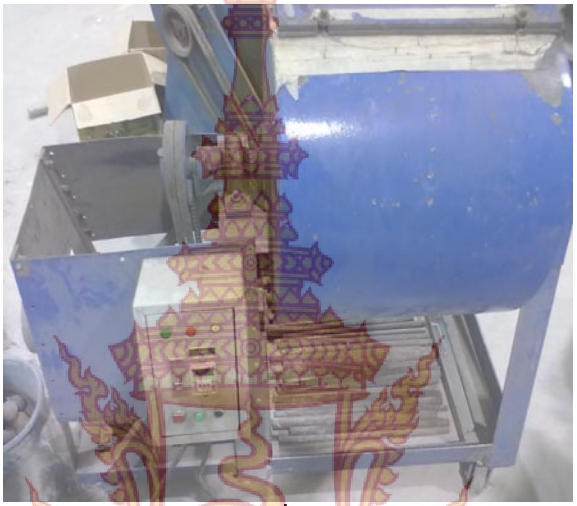
( Sieve number 16,30,50,100 )

**รูปที่ ค.7**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

เครื่องทดสอบลอสแองเจลิส

( Los Angeles Machine)



รูปที่ ค.8

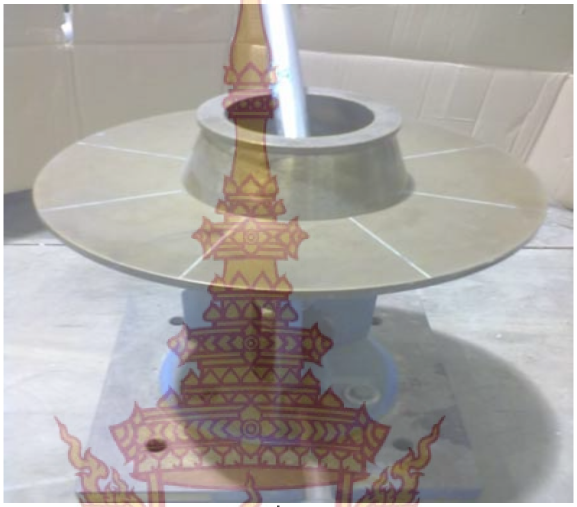
แบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์มาตรฐานขนาด 50 x 50 x 50 มิลลิเมตร

(shaped molds cube 50 mm)

รูปที่ ค.9

เครื่องมือทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ต้า

( Flow table )



รูปที่ ค.10

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตรา ช้าง

( Portland Cement Type 1 )

รูปที่ ค.11

# ภาคผนวก ง

# มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

**1. มาตรฐาน ASTM ที่ใช้ในการทดสอบ**

**1.) มาตรฐาน ASTM C 188 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุประสาน**

**เครื่องมือทดสอบ**

1) ขวดเลอร์ซาแตริแอร์ (Lechatelier) ใช้หาความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ที่มีลักษณะเป็นขวดแก้วใส หน้าตัดเป็นรูปวงกลม ทนทานต่อสารเคมี มีความหนาพอที่จะไม่ชำรุดเสียหายได้ง่าย ไม่มีฟองอากาศภายในเนื้อของแก้วที่ใช้ทำขวด ทนต่ออุณหภูมิที่จะเปลี่ยนแปลงได้พอสมควร มีขีดบอกขนาดเป็นหมายเลขตั้งแต่ 0-24 ml. ที่คอขวดจะมีหมายเลข 0-1 ml. โดยปริมาตรจะเพิ่มขึ้นทีละ 0.1 ml. ซึ่งมีขีดเล็กๆ ภายในบอกไว้ด้วยช่วงละ 10 ขีด และความผิดพลาดของขีดต้องไม่เกิน 0.05 ml. และสูงขึ้นไปจะมีกระเปาะเล็กอีกก็เพื่อขวดแก้วจะได้ไม่ยาวจนใส่ซีเมนต์ได้ลำบาก และมีหมายเลข 18-24 ml. อีกช่วงหนึ่ง ความจุทั้งหมดของขวดแก้วนี้ประมาณ 250 ml.

2) น้ำมันก๊าด (Kerosene) ที่ไม่มีน้ำเจือปนอยู่เลย

3) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิให้ของเหลวภายในขวดคงที่อยู่ตลอดเวลา

4) กรวย (Funnel) ใช้ตวง ควรเป็นแบบที่มีก้านยาว เพื่อน้ำมันก๊าดจะได้ไม่เปียกตรงส่วนบนของขวด

5) เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ เป็นอัตราส่วนระหว่าง น้ำหนักของปูนซีเมนต์ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับปูนซีเมนต์นี้ ซึ่งน่าเปรียบเทียบว่าเป็นกี่เท่าของน้ำ (ความถ่วงจำเพาะของน้ำให้มีค่าเป็น 1.00 ที่อุณหภูมิ 4° C) ซึ่งการทดสอบก็จะอาศัยหลักการนี้ในการหาความถ่วงจำเพาะ โดยจะชั่งน้ำหนักของปูนซีเมนต์ไว้ แล้วนำปูนซีเมนต์นั้นมาหาปริมาตร ได้เท่าใดจึงนำมาหารกัน พร้อมกับค่าความหนาแน่นของน้ำด้วย แต่ในการหาปริมาตรของปูนซีเมนต์ ของเหลวที่ใช้จะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ เพราะจะทำให้ปูนซีเมนต์นั้นแข็งตัวแล้วจะทำการล้างออกยากในภายหลัง สารที่นิยมใช้กันก็คือ น้ำมันก๊าด (Kerosene) และอีกอย่างหนึ่งก็คือ Naphtha ซึ่งจะไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ สามารถล้างออกได้ง่าย แต่ห้ามใช้ล้างเป็นอันขาด เพราะเศษปูนซีเมนต์ที่ติดอยู่จะจับตัวเป็นก้อนแข็งอยู่ภายในขวดทดสอบ

ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 3.10-3.20 ถ้าเป็นปูนซีเมนต์ผสมแบบอื่นค่าก็จะต่ำกว่านี้ ซึ่งมีค่าประมาณ 2.90-3.00 โดยทั่วไปปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จะมรค่าประมาณ 3.15 ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมาก (ซึ่งก็จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะมาก

ด้วยและทำให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวได้เร็ว) จะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง ค่าความถ่วงจำเพาะนี้จะใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญ เพื่อนำไปออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีต (Mix Design) ให้มีคุณภาพที่เหมาะสมได้

**การเตรียมตัวอย่าง**

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 หรือปูนซีเมนต์ชนิดอื่นตามสภาพ จำนวนประมาณ 200 กรัม

**วิธีการทดสอบ**

1) เติมน้ำมันก๊าดลงในขวดเลอร์ชาแตริแอร์ โดยใช้กรวยก้านยาว พยายามอย่าให้น้ำมันก๊าดเปียกตรงส่วนบนของขวด ให้ความสูงของน้ำมันก๊าดอยู่ระหว่าง 0-1 ml.

2) นำไปไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจะมีน้ำใส่อยู่ อุณหภูมิของน้ำจะต้องใกล้เคียงกับอุณหภูมิของห้องทดสอบ เพื่อจะทำการปรับอุณหภูมิน้ำมันก๊าดให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของห้องทดสอบ โดยจะต้องต่างกันไม่เกิน 0.2 ℃ โดยตั้งทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง และคอยวัดอุณหภูมิของน้ำมันก๊าดไว้ด้วย เมื่ออุณหภูมิขิงน้ำมันก๊าดใกล้เคียงกับอุณหภูมิของห้องตามกำหนดแล้วให้อ่านค่าปริมาตรของน้ำมันก๊าดไว้

3) เติมปูนซีเมนต์ ซึ่งมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องทดสอบ จำนวน 64 กรัม ลงในขวดที่มีน้ำมันก๊าดค่อยๆเติมทีละน้อย ระวังอย่าให้ปูนซีเมนต์ติดข้างขวด ต้องให้ปูนซีเมนต์ลงไปในขวด และจมอยู่ในน้ำมันก๊าดทั้งหมด แม้จะต้องใช้เวลานานก็ตาม แล้วทำการไล่ฟองอากาศออกจากปูนซีเมนต์ให้หมด โดยการเอียงขวดแล้วกลิ้งไป-มาอย่างช้าๆ หรือจะแกว่งขวดเป็นวงกลมตามแนวราบ หรือจะเขย่าเบาๆ ก็ได้ แล้วแต่ความสะดวกโดยสังเกตจากฟองอากาศที่ค่อยๆ ลอยขึ้นมาจนหมด

4) นำไปไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ (ใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องทดลอง) โดยทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งประมาณ 10-15 นาที แล้วอ่านค่าปริมาตรของน้ำมันก๊าด ซึ่งความสูงของน้ำมันก๊าดจะอยู่ในช่วงระหว่าง 18-24 ml. ในตอนบนของขวด เสร็จแล้วนำขวดไปล้างออกให้หมดด้วยน้ำมันก๊าดเท่านั้น

**การคำนวณผล**

หาความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ (Specific Gravity of Cement) จากสมการ

$G_c = W_c / V_c . \Upsilon_w$

เมื่อ $G_c$ = ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ (Specific Gravity of Cement)

$W_c$ = น้ำหนักของปูนซีเมนต์ (Weight of Cement) ที่ใช้ทดสอบ, กรัม

$V_c$ = ปริมาตรของปูนซีมนต์ (Volume of Cement) จากการแทนที่โดยนำปริมาตรที่อ่านครั้งหลัง ลบออกจากปริมาตรที่อ่านในครั้งแรกของน้ำมันก๊าด, ลบ.ซ.ม.

$\Upsilon_w$ = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิ 4 °C มีค่าเป็น 1 กรัม/ลบ.ซ.ม.

การคำนวณผลความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ให้ใช้ความละเอียดของทศนิยมถึง 3 ตำแหน่ง แล้วลดใช้แค่ 2 ตำแหน่ง และให้ทำการทดสอบ 2 ครั้ง เป็นอย่างน้อย ซึ่งค่าทั้ง 2 ค่านี้ต้องต่างกันไม่เกิน 0.03 จึงจะนับว่าใช้ได้

**2.) มาตรฐานASTM C430 การทดสอบหาค่าความละเอียด**

**เครื่องมือทดสอบ**

1. ตู้อบ (Oven)
2. เครื่องชั่ง (Balance)
3. sieve No. 325
4. ถาดใส่วัสดุ

**วิธีการทดสอบ**

1. นำวัสดุที่ทำการทดสอบออกจากเครื่องบดเถ้าน้ำมันปาล์มมาทำการชั่งน้ำหนักประมาณ 100 กรัม ($W_0$)

2. นำวัสดุที่ทำการชั่งน้ำหนักเทใส่ Sieve No.325 แล้วนำไปล้างน้ำทำการล้างไปเรื่อยๆ จนสังเกตด้วยตาเห็นว่าน้ำที่ล้างนั้นใสไม่มีตะกอนหลงเหลืออยู่แล้ว

3. เทวัสดุที่ค้างอยู่ใน Sieve No. 325 ลงในถาด แล้วนำไปอบด้วยเครื่องอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ประมาณ 24 ชั่วโมง จนวัสดุนั้นแห้งสนิท

4. นำวัสดุออกจากตู้อบไปวางไว้ประมาณ 20 นาที แล้วทำการชั่งน้ำหนักอีกที( $W_1$ ) หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าร้อยละ การค้างบน Sieve No.325

ร้อยละการค้าง = $(W_1 \times 100)/W_0$

เมื่อ $W_0$ = น้ำหนักวัสดุก่อนทดสอบ (g)

$W_0$ = น้ำหนักวัสดุหลังอบ (g)

**3.) มาตรฐาน ASTM C 188 การหาปริมาณน้ำที่ทำให้ปูนซีเมนต์เกิดสภาวะการข้นเหลวปกติ (Normal Consistency)**

**เครื่องมือทดสอบ**

1.) ชุดการทดสอบ ไวแคต (Vicat Apparatus) ประกอบด้วยตัวโครงโลหะ A ซึ่งจะเป็นตัวยึด โดยใช้สลักเกลียวให้ท่อนโลหะ B ซึ่งมีน้ำหนัก 300 กรัม เลื่อนขึ้นลง ในแนวดิ่งได้ และสามารถดึงออกจากโครง A ได้ทั้งท่อน ที่ปลายท่อนดลหะจะมีท่อน C ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ม.ม. ความยาวไม่น้อยกว่า 50 ม.ม. ซึ่งหน้าตัดต้องตั้งฉากกับแกนของท่อน B อีกปลายหนึ่งซึ่งตรงข้ามกันเป็นปลาย D เป็นท่อนโลหะขนาดตรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ม.ม.ความยาว 50 ม.ม.ยึดติดกับฐานที่เป็นสลักเกลียวใช้สำหรับยึดติดกับท่อน B ได้ เวลาใช้ก็ให้กับท่อน D ลงมาเข็มชี้ E อยู่ติดกับท่อน B สามารถเลื่อนขึ้น-ลงได้ โดยเข็มจะชี้อยู่ที่แผ่นสเกล ซึ่งมีขนาดบอกระยะ 0 – 50 ม.ม.ทั้งหัวท้ายและยึดติดกับท่อนโครงโลหะ A กรวย F ใช้สำหรับใส่ซีเมนต์เพสต์ มีลักษณะเป็นกรวยกลม หัวตัดทำด้วยวัตถุที่ไม่ดูดซึมน้ำและไม่ผุกร่อนง่าย มีด้านล่างเป็นกรวยวงใหญ่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7 ซ.ม. ด้านบนเป็นกรวยวงเล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 ซ.ม. และมีความสูง 4 ซ.ม. วางอยู่บนแผ่นกระจกหรือแผ่นพลาสติก G มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ยาวด้านละ 10 ซ.ม.

2.) เครื่องผสมซีเมนต์ (Mixer) มาตรฐานตามบททดสอบที่ 12

3.) เครื่องชั่ง (Balance) ชั่งไดละเอียดถึง 0.01 กรัม

4.) กระบอกตวง (Measuring Cylinder) ขนาดตวงได้ 100 ml.

5.) เกรียงเหล็ก (Trowel)

6.) ถุงมือยาง (Rubber Glove)

7.) นาฬิกาจับเวลา (Stop Watch)

ความข้นเหลวปกติ (Normal Consistency) ของปูนซีเมนต์ หมายถึงปริมาณน้ำที่ผสมลงไปในปูนซีเมนต์ (เมื่อผสมแล้วเรียกว่าซีเมนต์เพสต์) แล้วทำให้เกิดสภาวะความข้นเหลวมาตรฐานคงที่ โดยพิจารณาให้เข็มมาตรฐานที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ม.ม. ของชุดทดสอบไวแคต จมลงในซีเมนต์เพสต์เป็นระยะ 10 ม.ม. ภายใน 30 วินาที

ปริมาณน้ำที่ทำให้ปูนซีเมนต์เกิดความข้นเหลวปกตินี้ จะได้เป็นค่ามาตรฐาน เพื่อการหาคุณสมบัติอื่นของปูนซีเมนต์ต่อไป เช่น ระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time) ความแข็งตัว (Soundness) และแรงดึงของซีเมนต์เพสต์หรือซีเมนต์มอร์ต้าร์ (Tensile Strength) ของปูนซีเมนต์เป็นต้น ค่าความข้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์ โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 24 – 28

**การเตรียมตัวอย่าง**

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 หรือปูนซีเมนต์อื่นตามสภาพ จำนวน 500 กรัม และน้ำสะอาดซึ่งควรมีอุณหภูมิอยู่ในระหว่าง 21.3-24.7 ° C และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 50 %

**วิธีการทดสอบ**

1.) นำปูนซีเมนต์ มาผสมกับน้ำจำนวนหนึ่ง โดยให้ผสมน้ำในครั้งแรก ปริมาณร้อยละ 23 ต่อไปก็เป็นปริมาณร้อยละ 25, 27 และ29 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ หรือในปริมาณที่เห็นว่าสมควร การผสมให้เป็นไปตามมาตรฐานการผสม (ในบททดสอบที่ 12) ซึ่งก็จะได้ซีเมนต์เพสต์ออกมา

2.) รีบนำปูนซีเมนต์เพสต์ที่ได้ มาปั้นเป็นก้อนกลมโดยเร็ว (การทำจะต้องสวมถุงมือยางด้วย) แล้วโยนไป-มา 6 ครั้ง ให้มือทั้งสองข้างห่างกันประมาณ 15 ซ.ม. นำซีเมนต์เพสต์ไปกดใส่ในกรวยทางวงใหญ่ให้เรียบในครั้งเดียว นำไปวางบนแผ่นกระจก แล้วถูไป-มา กับแผ่นกระจก เพื่อให้ซีเมนต์เพสต์ที่จะล้นออกมาให้เรียบเสมอกรวยวงใหญ่

3.) ทำการปาดซีเมนต์เพสต์ทางกรวยวงเล็กออกเพื่อให้เรียบเสมอขอบกรวยโดยใช้เกรียงเหล็กปาด ให้ยกขอบเกรียงเหล็กเป็นมุมเฉียงแล้วปาดให้เรียบ ถ้าตรงส่วนใดของซีเมนต์เพสต์ยังเป็นรอยแตก หรือยังไม่เรียบก็ให้ทำซ้ำโดยใช้เกรียงเหล็กแตะเบาๆ แต่ห้ามกดลงไปบนผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์นี้

4.) นำไปวางไว้ใต้เข็มทดสอบมาตรฐานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ม.ม. ของชุดการทดสอบไวแคต โดยปรับให้เข็มสเกลนี้ แตะกับผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์ แล้วปรับเข็มทดสอบมาตรฐานที่บอกระยะจมบนแผ่นสเกลให้เป็นเลข 0 โดยให้เข็มทดสอบอยู่ตรงกลางกรวยแล้วทำการปล่อยเข็มทันที่หลังจากการผสมซีเมนต์เพสต์ด้วยเครื่องผสมแล้ว 30 วินาที ระหว่างปล่อยเข็มจะอ่านค่าได้ต้องให้ระยะผ่านไปครบ 30 วินาที จึงจะบันทึกระยะจม (Penetration) ได้แล้วนำซีเมนต์เพสต์ในกรวยนี้ออกทิ้ง แล้วล้าง และเช็ดกรวยให้แห้งสะอาดจนแห้งสนิท พร้อมที่จะทำการทดสอบในปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นครั้งต่อไป

5.) ทำการผสมซีเมนต์กับน้ำใหม่ในปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจากครั้งแรกตามข้อ (1) โดยจะต้องใช้ปูนซีเมนต์ใหม่ทุกครั้ง แล้วทำการทดสอบตามข้อ 2) – 4) จนกระทั่งครบปริมาณน้ำที่กำหนดไว้ จึงจะหยุดการทดสอบ ซึ่งจะได้ค่าระยะจมกับปริมาณน้ำหลายค่า หรือจะหยุดการทดสอบเมื่อระยะจมของเข็มมาตรฐานนี้ มากกว่า 10 ม.ม. ประมาณ 2 ค่าก็ได้ (การทดสอบแบบใส่ปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ถ้าเป็นการทดสอบโดยใส่น้ำปริมาณมากในครั้งแรกแล้วลดปริมาณน้ำลงมา ก็ให้ระยะจมของเข็มมาตรฐาน น้อยกว่า 10 ม.ม. ประมาณ 2 ค่าก็ได้ หรือจะลดจนครบตามกำหนดในหัวข้อ 1) ก็ได้

**การรายงานผล**

เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์โดยให้ค่าระยะจมของเข็มมาตรฐาน (Penetration) หน่วยเป็น ม.ม. เป็นแกน X และค่าปริมาณน้ำมีค่าหน่วยเป็น ลบ.ซม.เป็นแกน Y แล้วลากเส้นตรงเชื่อมต่อระหว่างจุดที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด การพิจารณาให้ลากเส้นตรงจากระยะจม 10 ม.ม. ขึ้นไปตัดกับเส้นกราฟ แล้วลากเส้นนอนไปตัดกับแกนปริมาณน้ำ ค่าที่ได้จากปริมาณน้ำนี้ ก็คือปริมาณน้ำที่ทำให้ปูนซีเมนต์เกิดความข้นเหลวปกติ (Normal Consistency) นำค่าปริมาณน้ำที่ได้ซึ่งมีหน่วยเป็น ลบ.ซม.มาทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์ (Percent Normal Consistency)โดยเทียบจากน้ำหนักปูนซีเมนต์ 500 กรัม เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ คำนวณหาไดละเอียดถึง 0.1 เปอร์เซ็นต์

**ตารางที่ ง.1** ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของตุ้มน้ำหนักที่ใช้อยู่

| ตุ้มน้ำหนัก (กรัม) | ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ (กรัม) |
|---|---|
| 500 | 0.35 |
| 300 | 0.30 |
| 250 | 0.25 |
| 200 | 0.20 |
| 100 | 0.15 |
| 50 | 0.10 |
| 20 | 0.05 |
| 10 | 0.04 |
| 5 | 0.03 |
| 2 | 0.02 |
| 1 | 0.01 |

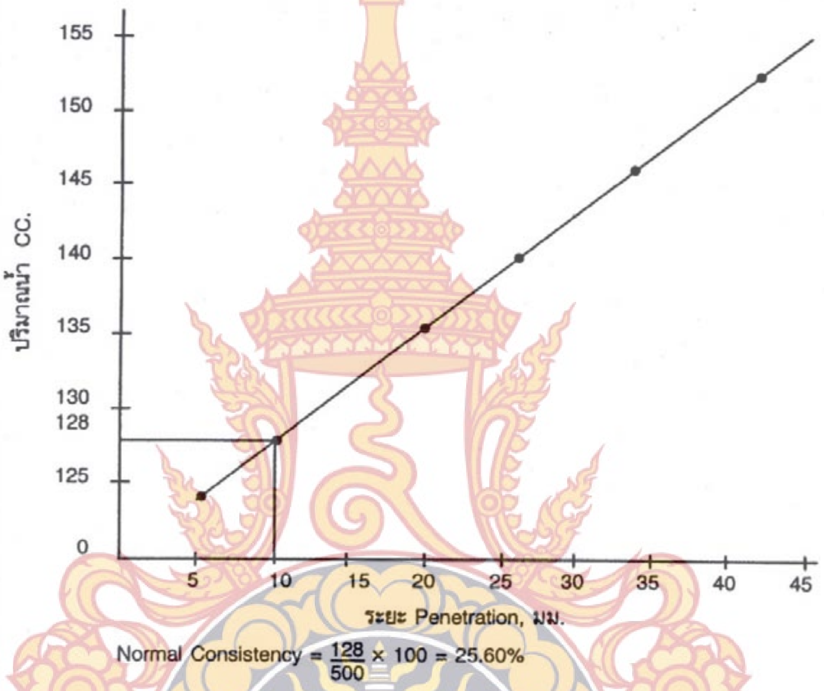
( ที่มา : ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2540 )

**ตารางที่ ง.2** แสดงความสัมพันธ์โดยให้ค่าระยะจมของเข็มมาตรฐาน (Penetration)

| การทดลองที่ | น้ำหนักของซีเมนต์ (กรัม) | % | ปริมาณน้ำ (CC.) | ค่า Penetration ในระยะเวลา 30 วินาที (มม.) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 500 | 25 | 125 | 5.5 |
| 2 | 500 | 27 | 135 | 20.00 |
| 3 | 500 | 28 | 140 | 26.50 |
| 4 | 500 | 29 | 145 | 34.00 |
| 5 | 500 | 30 | 150 | 42.50 |

( ที่มา : ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2540 )

ผลการทดลองจากตัวอย่างได้ 25.6% (ดูกราฟประกอบ)




( ที่มา : ชัชวาล  เศรษฐบุตร, 2540 )

# ประวัตินักนักวิจัย

**ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย**

1. ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) นายอรรถพล มาลัย

   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Attapole Malai

   เลขหมายประจำตัวประชาชน 3 3504 00507 76 7

2. ประวัติการศึกษา

   วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

   วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

3. งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่

   3.1) อรรถพล มาลัยการศึกษาค่าดัชนีกำลังของเถ้าถ่านหินหยาบที่บดละเอียดกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 4, 12-14 พฤศจิกายน, จ.ภูเก็ต.,2540

   3.2) อรรถพล มาลัย, สัจจะชาญ พรัดมะลิ และ ประชุม คำพุฒ "การศึกษากลสมบัติของไม้มะม่วง" เอกสารบทคัดย่อการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 11, ณ โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท, ภูเก็ต, 20-22 เมษายน 2549, หน้า 252.

   3.3) อรรถพล มาลัย และ ประชุม คำพุฒ, "ผลกระทบของอายุการบ่มที่มีต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยและหินฝุ่น" เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 2, ณ โรงแรมเจริญศรี แกรนด์ รอยัล, อุดรธานี, 25-27 ตุลาคม 2549, หน้า MAT 159-MAT 163.

   3.4) Attapole Malai and Prachoom Khamput : Development of Rubber Natural Concrete Block for Thermal Insulation and Energy Saving Purpose; The 2 rd International Symposium on Sustainable Energy and Environment, Bangkok, Thailand,2 1 -2 3 November, 2006, pp. 1009.