

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

การผลิตโฟมอินทรีย์สำหรับทำอิฐมวลเบาแบบไม่อบไอน้ำ  
Study on Production of Organic Foam for Non-steam Drying  
Light Weight Concrete

หัวหน้าโครงการ ผศ.ดร. วีชระ เพิ่มชาติ  
หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

PCH ผู้ร่วมโครงการ ดร.สมพร ชเนศวณิชย์  
TP ตำแหน่ง อาจารย์  
884 หน่วยงาน สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ม.รามคำแหง  
L5  
๑๖๘๒ก

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 116947

วันที่..... ๒๑ ส.ย. ๒๕๕๔

b. 1๒๓๐๓๖๗  
i.....

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การผลิตโฟมอินทรีย์สำหรับทำอิฐมวลเบาแบบไม่อบไอน้ำ

### Study on Production of Organic Foam for Non-steam Drying Light Weight Concrete

#### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาวิจัยร่วมกับบริษัท Professional Block จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตและจำหน่ายอิฐมวลเบาชนิดไม่อบไอน้ำ และภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรามคำแหง โดยได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากโครงการ IRPUS ประจำปี 2550 การศึกษาได้มุ่งที่จะพัฒนาการผลิตอิฐมวลเบาโดยใช้โฟมอินทรีย์ที่ผลิตขึ้นเองจากถั่วเหลือง เป็นส่วนผสมแทนโฟมอินทรีย์ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งจะสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1) ศึกษาการผลิตโฟมอินทรีย์จากถั่วเหลือง และ 2) ศึกษาความแข็งแรงและค่าการนำความร้อนของอิฐมวลเบาที่ได้

ผลการศึกษา พบว่า ค่าความคงตัวของโฟมอินทรีย์ (Foam Stability) ที่ปริมาณถั่วเหลือง 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2.0N จะให้ค่าความคงตัวของโฟมสูงสุดที่ 600 มิลลิลิตร ซึ่งจะให้ค่าความหนาแน่นและค่าความแข็งแรงของอิฐมวลเบาที่ 991 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 41 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และมีค่าการนำความร้อน 0.193 วัตต์ต่อเมตร องศาเซลเซียส

#### ABSTRACT

This research is the collaborated research project with Professional Block Co., Ltd., which is a producer of light weight concrete (referred to as LWC), as well as Department of Environmental Science, Ramkhamhaeng University. The study is aimed to develop the production process of LWC by using the organic foam that is extracted from the domestic soybean. The experiments were sub-divided into 2 parts; 1) study on the production of organic foam from soybean, and 2) study on the compressive strength and thermal conductivity of LWC.

The experimental results were showed that the value of foam stability at 15% wt. of soybean and 2.0N of  $H_2SO_4$  was found to be the maximum value at 600 ml. Meanwhile, the density and compressive strength of LWC were found to be  $991 \text{ kg/m}^3$  and  $41 \text{ kg/cm}^2$ , respectively. The thermal conductivity was found to be  $0.193 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	I
สารบัญ	II
สารบัญตาราง	IV
สารบัญรูปภาพ	V
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยเกี่ยวข้อง	3
2.1 ลักษณะและคุณสมบัติของอิฐมวลเบา	3
2.2 กระบวนการผลิตอิฐมวลเบา	5
2.2.1 ระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง	5
2.2.2 ระบบอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง	6
2.3 ชั้นคุณภาพของอิฐมวลเบา	7
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 ขั้นตอนการศึกษา	10
3.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์	10
3.2 สารเคมีที่ใช้ในผลิตโฟมอินทรีย์	11
3.3 ขั้นตอนการผลิตโฟมอินทรีย์	12
3.4 การศึกษาความแข็งแรงของอิฐมวลเบา	16
3.4.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์	16

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.2. ขั้นตอนการหล่อแบบทดสอบความแข็งแรง	19
3.4.3. การหล่อแผ่นทดสอบการนำความร้อน	22
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	<b>24</b>
4.1 ผลการทดสอบการคงตัวของโฟมอินทรีย์	24
4.2 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นของโฟมอินทรีย์	24
4.2.1 การทดสอบค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นของโฟมอินทรีย์ 10% 1.5N	25
4.2.2 การทดสอบค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นของโฟมอินทรีย์ 10% 2.0N	26
4.2.3 การทดสอบค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นของโฟมอินทรีย์ 15% 1.5N	27
4.2.4 การทดสอบค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นของโฟมอินทรีย์ 10% 2.0N	28
4.2.5 การทดสอบค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นของโฟมอินทรีย์ 20% 1.5N	29
4.2.6 การทดสอบค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นของโฟมอินทรีย์ 20% 2.0N	30
4.3 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อน	31
4.3.1 การทดสอบค่าการนำความร้อนของ โฟมอินทรีย์ที่ความเข้มข้น 1.5 N	31
4.3.2 การทดสอบค่าการนำความร้อนของ โฟมอินทรีย์ที่ความเข้มข้น 2.0 N	31
<b>บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ</b>	<b>32</b>
5.1 สรุปผลการศึกษา	32
5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม	32
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>34</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ชั้นคุณภาพและชนิดของอิฐมวลเบา	7
2.2	ค่าใช้จ่ายในการสร้างผนังอาคาร โดยใช้อิฐแบบต่างๆ (บาทต่อตารางเมตร)	9
3.1	อัตราส่วนผสม	20
4.1	การทดสอบค่าความคงตัวของโฟมอินทรีย์	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า	
3.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	10
3.2	เครื่องชั่งน้ำหนัก	11
3.3	โซเดียมไฮดรอกไซด์	11
3.4	กรดซัลฟิวริก	12
3.5	ฉนวนล่องปืนละเอียด	13
3.6	การปิเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้น	13
3.7	การนำเข้าเครื่อง Auto Clave	14
3.8	กรองด้วยผ้าขาวบาง	14
3.9	กรองด้วยกระดาษกรอง	15
3.10	น้ำยาโพลีอินทรีย์	15
3.11	ทดสอบการเกิดฟองโพลีอินทรีย์	16
3.12	เครื่องผสมปูน	16
3.13	บล็อกหล่อลูกปูนมาตรฐาน	17
3.14	เครื่องทดสอบความแข็งแรง	17
3.15	เครื่องฉีดโพลี	18
3.16	โพลีอินทรีย์	18
3.17	ทรายละเอียด	19
3.18	การฉีดโพลีอินทรีย์	20
3.19	ส่วนผสมที่จับตัวกันแล้ว	21
3.20	อิฐมวลเบา	21
3.21	แบบหล่อแผ่นทดสอบการนำความร้อน	22
3.22	เทส่วนผสมในแบบทดสอบการนำความร้อน	22
3.23	แผ่นทดสอบการนำความร้อนที่แห้งสนิท	23
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่าง Strength กับปริมาณ โพลีอินทรีย์ที่ใช้	25
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง Density กับปริมาณ โพลีอินทรีย์ที่ใช้	25
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง Strength กับปริมาณ โพลีอินทรีย์ที่	26
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่าง Density กับปริมาณ โพลีอินทรีย์ที่ใช้	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่าง Strength กับปริมาณโฟมอินทรีย์ที่ใช้	27
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง Density กับปริมาณโฟมอินทรีย์ที่ใช้	27
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง Strength กับปริมาณโฟมอินทรีย์ที่ใช้	28
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง Density กับปริมาณโฟมอินทรีย์ที่ใช้	28
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง Strength กับปริมาณโฟมอินทรีย์ที่ใช้	29
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่าง Density กับปริมาณโฟมอินทรีย์ที่ใช้	29
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่าง Strength กับปริมาณโฟมอินทรีย์ที่ใช้	30
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง Density กับปริมาณโฟมอินทรีย์ที่ใช้	30
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่าง การนำความร้อนกับอัตราส่วนถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1.5 N	31
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่าง การนำความร้อนกับอัตราส่วนถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 2.0 N	31

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

การก่อสร้างในปัจจุบันวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้าง อาคาร บ้านเรือน ได้แก่ ไม้ อิฐบล็อกและอิฐมอญ อิฐในสมัยโบราณจะทำมาจากดินเหนียว โดยการขึ้นรูปเป็นก้อนอิฐด้วยมือ ซึ่งพบว่าอิฐที่ได้จะมีขนาดไม่เท่ากัน ลักษณะที่ใช้งานแตกต่างจากคอนกรีตในเรื่องความแข็งแรงคือ อิฐที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความแข็งแรงมาก เพราะใช้งานก่อกำแพงหรืองานเพื่อความสวยงาม และ การทำอิฐสำหรับการก่อสร้างของคนไทยได้ทำกันมานานแล้ว โดยส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมครอบครัวในแถบชนบท ซึ่งมีขนาดเล็ก และอิฐที่ผลิตส่วนใหญ่เป็นอิฐมอญ ต่อมาได้มีการตั้งโรงงานใช้เครื่องจักรเข้ามาช่วยมากขึ้น โดยอิฐที่ทำการผลิตมีคุณภาพและประสิทธิภาพมากขึ้น ได้แก่ อิฐบล็อก อิฐมวลเบา อิฐโฟม อิฐแก้ว และกระจุก โดยเฉพาะการผลิตอิฐมวลเบาในปัจจุบันได้พัฒนาอิฐมวลเบา สามารถทนไฟได้ดี กันความร้อนได้ การผลิตอิฐใช้ได้ทั้งแรงคนและเครื่องจักร โดยเครื่องจักรจะผลิตอิฐได้ขนาดค่อนข้างมาตรฐาน เรียบร้อยผลิตได้เป็นจำนวนมาก

แต่ในปัจจุบันไม้นั้นมีราคาแพง อิฐบล็อกและอิฐมอญ เป็นทางเลือกที่ได้รับความนิยมอย่างมาก ในการนำไปใช้งานและธุรกิจก่อสร้าง แต่ในปัจจุบันได้มีการนำเอาอิฐมวลเบาซึ่งนับได้ว่าเป็นนวัตกรรมวัสดุก่อสร้างแบบใหม่สำหรับวงการก่อสร้างของไทย ซึ่งได้รับความนิยมอย่างสูง และเป็นทางเลือกใหม่แก่วงการก่อสร้าง เนื่องจากอิฐมวลเบาที่มีคุณสมบัติพิเศษที่โดดเด่น แตกต่างกว่าอิฐชนิดอื่นๆ คือ สามารถนำไปใช้สร้างบ้านได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ประหยัดแรงงาน และลดต้นทุนในการดำเนินการก่อสร้าง รวมทั้งสามารถช่วยประหยัดพลังงาน ป้องกันความร้อนได้ดี ซึ่งช่วยลดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงได้และมีน้ำหนักเบากว่าอิฐบล็อกและอิฐมอญ

ปัจจุบันอิฐมวลเบาเป็นที่รู้จักกันมากขึ้นในวงการก่อสร้างและเป็นที่รู้จักและยอมรับในด้านคุณสมบัติที่โดดเด่น จึงมีการเปลี่ยนมาใช้อิฐมวลเบาทดแทนอิฐมอญหรืออิฐบล็อกมากขึ้น แต่ปัจจุบันราคาของอิฐมวลเบาที่มีราคาสูงมากเมื่อเทียบราคากับ อิฐบล็อกและอิฐมอญ เนื่องจากการผลิตอิฐมวลเบายังใช้เทคโนโลยีการผลิตจากต่างประเทศ อีกทั้งผู้ผลิตยังมีน้อย ซึ่งในปัจจุบันมีผู้ผลิตในประเทศไทยอยู่ 4 บริษัท คือ 1) Quality Construction จำกัด, 2) บริษัท SuperBlock จำกัด, 3) บริษัท Thai Light Block and Panel

จำกัด, 4) บริษัท Aerocrete จำกัด จึงทำให้ราคาค่อนข้างสูง อีกทั้งปริมาณการผลิตยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้ จึงมุ่งศึกษาและพัฒนาการผลิตอิฐมวลเบา โดยใช้วัสดุที่มีในประเทศ เพื่อลดต้นทุนการนำเข้าของวัสดุเช่น โฟมอินทรีย์และไม่ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ผลิตอิฐมวลเบาภายในประเทศที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยใช้เทคโนโลยีจากต่างประเทศ โดยโครงการนี้ได้ศึกษาร่วมกับ คณะวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรามคำแหง และได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท Professional Block จำกัด ในการร่วมโครงการเพื่อหาแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการผลิตโฟมอินทรีย์โดยใช้ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตอิฐมวลเบา

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ศึกษากรรมวิธีการผลิตโฟมอินทรีย์จากถั่วเหลือง
- 2) ศึกษาความแข็งแรงของอิฐมวลเบาโดยใช้โฟมอินทรีย์ที่ผลิตได้

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ลดต้นทุนการผลิตอิฐมวลเบาจากการนำเข้าโฟมอินทรีย์จากต่างประเทศ
- 2) สามารถผลิตอิฐมวลเบาต้นทุนต่ำที่สามารถใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ลักษณะและคุณสมบัติของอิฐมวลเบา

อิฐมวลเบาเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่มีมวลเบากว่าคอนกรีตทั่วไป คอนกรีตมวลเบา หมายถึง คอนกรีตที่มีมวลหรือความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตปกติ ( $2,450 \text{ kg/m}^3$ ) [1] อิฐมวลเบาเป็นวัสดุที่ผลิตมาจากการนำทราย ซีเมนต์ ปูนขาว ยิปซัม และผงอลูมิเนียม มีฟองอากาศมากประมาณ 75% ทำให้เบา (ลอยน้ำได้) ฟองอากาศเป็น closed cell ไม่ดูดซึมน้ำ(ดูดซึมน้ำน้อยกว่าอิฐมอญ 4 เท่า) ความเบาจะทำให้ประหยัดโครงสร้าง เป็นฉนวนความร้อน ค่าการต้านทานความร้อนดีกว่าคอนกรีตบล็อก 4 เท่า ดีกว่าอิฐมอญ 6-8 เท่า ไม่สะสมความร้อน ไม่ติดไฟ ทนไฟ 1,100 องศาได้นาน 4 ชม. กันเสียงได้ดี เมื่อฉาบจะแตกร้าวน้อยกว่าก่ออิฐฉาบปูนเนื่องจากตัวบล็อกกับปูนฉาบมีส่วนผสมที่ใกล้เคียงกัน

อิฐมวลเบาเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตชนิดใหม่ ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย ปูนขาว ยิปซัม น้ำ และสารกระจายฟองอากาศส่วนผสมพิเศษในอัตราส่วนที่เป็นสูตรเฉพาะตัว การผลิตส่วนใหญ่เป็นการนำเทคโนโลยีและเครื่องจักรที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ อาทิเช่น เยอรมนี ออสเตรเลีย ผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างยุคใหม่ที่มุ่งเน้นให้เกิด ประโยชน์สูงสุดจากการนำไปใช้งานทุกด้าน ด้วยคุณสมบัติพิเศษ คือ ตัววัสดุมีน้ำหนักเบา ขนาดก้อน ได้มาตรฐานเท่ากันทุกก้อน ทนไฟ ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง ตัดแต่งเข้ารูปง่าย ใช้งานได้เกือบ 100% ไม่มีเศษเป็นอิฐหัก และที่สำคัญคือรวดเร็ว สะอาดลดระยะเวลาในการก่อสร้างและลดต้นทุน โครงสร้างและมีคุณสมบัติที่โดดเด่นดังนี้

- 1) คุณสมบัติทางกายภาพ อิฐมวลเบาหนา 10 เซนติเมตร เมื่อรวมน้ำหนักวัสดุรวมปูนฉาบจะหนัก 120 กิโลกรัม ในขณะที่อิฐมอญก่อ 2 ชั้น (เว้นช่องว่างตรงกลาง) จะหนัก 180 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักของการก่ออิฐมอญจะมากกว่าทำให้ต้องเตรียมโครงสร้างเพื่อกันรับน้ำหนักในส่วนนี้ด้วย ทำให้ต้นทุนโครงสร้างเพิ่มขึ้น
- 2) การกันความร้อน หากเป็นกรณีปกติ “อิฐมวลเบา” จะมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าอิฐมอญ ประมาณ 8-11 เท่า แต่การก่อผนังภายนอกอิฐจะต้องมีความหนา 10 เซนติเมตร และผนังภายในหนา 7 เซนติเมตร ขึ้นไปจึงจะสามารถกันความร้อนได้ดี แต่ในกรณีใช้อิฐมอญก่อ 2 ชั้น ตัวช่องว่างตรงกลาง จะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี และอิฐแถวด้านในไม่สัมผัสความร้อนโดยตรง จึงทำให้คุณสมบัติตรงนี้ของอิฐมอญจะมีความสามารถในการกันความร้อนได้ดีกว่า แต่การเว้นช่องว่างไม่ควรต่ำกว่า 5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การกันเสียง ปกติอิฐมวลเบาจะกันเสียงได้ดีกว่าอิฐมอญประมาณ 20% แต่ในกรณีใช้อิฐมอญก่อ 2 ชั้น ช่องว่างตรงกลางจะทำหน้าเป็นฉนวนกันเสียงได้ดีกว่าเกือบ 2 เท่า แต่อิฐมวลเบาจะลดการสะท้อนของเสียงได้ดีกว่า เนื่องจากโครงสร้างของอิฐมวลเบา มีฟองอากาศเป็นจำนวนมากอยู่ภายในทำให้ดูดซับเสียงได้ดี จึงเหมาะสำหรับห้องหรืออาคารที่ต้องการความเงียบเช่น โรงภาพยนตร์หรือห้องประชุม

4) การกันไฟ อิฐมอญก่อ 2 ชั้น มีฉนวนตรงกลาง (ช่องว่างตรงกลาง) จะกันไฟได้ดีกว่าอิฐมวลเบาเล็กน้อยและทนไฟที่ 1,100 องศาเซลเซียส ได้นานกว่า 4 ชั่วโมงซึ่งนานกว่าอิฐมอญ 2-4 เท่า ทำให้จะช่วยจำกัดความเสียหายในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ได้

5) ความแข็งแรง การใช้งานทั่วไปไม่ต่างกัน แต่ผนังอิฐมอญจะเหมาะสำหรับการใช้วัสดุกรุผนังที่มีน้ำหนักมากเช่น หินแกรนิตหรือหินอ่อน

6) น้ำหนักเบาและรับแรงกดได้ดี น้ำหนักเบาว่าอิฐมอญ 2-3 เท่า และเบาว่าคอนกรีต 4-5 เท่า ส่งผลให้ประหยัดค่าก่อสร้างโครงสร้างอาคาร และเสาเข็มลงได้อย่างมาก แต่อาคารยังคงมีความแข็งแรงเท่าเดิมจากโครงสร้างของอิฐมวลเบาที่ประกอบไปด้วยฟองอากาศจำนวนมาก ทำให้มีน้ำหนักเบาและสามารถรับแรงกดได้ดี ซึ่งจากคุณสมบัติข้อนี้ทำให้ผู้ใช้สามารถประหยัดต้นทุนในการก่อสร้างได้มาก ยกตัวอย่างเช่น ไม่ต้องลงเสาเข็มลึกมากนัก เนื่องจากโครงสร้างเบาและสามารถก่อสร้างโดยใช้โครงสร้างที่เล็กลง ทำให้ช่วยประหยัดการใช้เหล็กและมีพื้นที่ใช้สอยภายในมากขึ้น

7) ประหยัดพลังงาน เนื่องจากสามารถกันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมอญแล้วยังใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเล็กลงได้ ช่วยประหยัดค่าไฟไปได้มาก กันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมอญถึง 4-8 เท่า จึงช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายในอาคารได้เป็นอย่างดีช่วยลดค่าไฟฟ้าได้ถึง 30%

8) ใช้งานง่ายและรวดเร็ว เนื่องจากการผลิตที่เป็นมาตรฐานทำให้สินค้าที่ออกมาเท่ากันทุกก้อน ทำให้การก่อสร้างโดยใช้อิฐมวลเบาจะใช้เวลาในการก่อและเกิดการสูญเสียน้อยกว่าโดยเฉลี่ยแล้วภายใน 1 วัน การก่อผนังโดยใช้อิฐมวลเบาจะได้พื้นที่ 25 ตารางเมตรไม่ต้องอาศัยความชำนาญของช่าง สามารถตัดแต่งเลื่อย ไส เจาะ ฟังท่อระบบได้โดยใช้เครื่องมือเฉพาะที่ใช้งานง่าย และหาซื้อได้ทั่วไป. ขณะที่หากใช้อิฐมอญจะก่อได้เพียง 12 ตร. ม. นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดวัสดุอื่นๆ เช่น ปูนฉาบด้วย เนื่องจากสามารถก่อฉาบได้บางกว่าช่วยจำกัดความเสียหายในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ได้

9) มิติเที่ยงตรง ขนาดมิติเที่ยงตรง แน่นอน ได้ชิ้นงานที่เรียบ สวยงาม มีหลายขนาดให้เลือกประหยัดวัสดุ และ แรงงานในการก่อ ฉาบ

10) อายุการใช้งานยาวนานเท่าโครงสร้างคอนกรีต เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ทราย ปูนขาว ยิปซัม สารกระจายฟองและเหล็กเส้น จึงมีอายุการใช้งานนานกว่าอิฐมอญ

## 2.2 กระบวนการผลิตอิฐมวลเบา

อิฐมวลเบาโดยทั่วไปอาจแบ่งตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.2.1 ระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Non - autoclave System) ซึ่งแบ่งย่อยออกได้อีกเป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุเบากว่ามาทดแทน เช่น จี๊เลื่อย จี๊เล้า ขานอ้อยหรือเม็ดโพม ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้น แต่จะมีอายุการใช้งานที่สั้น เสื่อมสภาพได้เร็ว หากเกิดไฟไหม้ สารเหล่านี้อาจเป็นพิษต่อผู้อยู่อาศัย

ประเภทที่ 2 ใช้สารเคมี (Circular Lightweight Concrete) เพื่อให้เนื้อคอนกรีตฟูและทิ้งให้แข็งตัว ซึ่งคอนกรีตประเภทนี้จะมีการหดตัวมากกว่าทำให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่าย ไม่ค่อยแข็งแรง ต่างจากคอนกรีตที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงซึ่งจะมีเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นผลิตภัณฑ์มวลคอนกรีตที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงนี้ส่วนใหญ่เนื้อผลิตภัณฑ์มักจะมีสี เป็นสีปูนซีเมนต์

สำหรับขั้นตอนการผลิตแบบไม่ผ่านการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง

- (1) นำวัสดุที่เตรียมไว้มาร้อนด้วยตะแกรงคัดขนาดเอาส่วนหยาบออกให้เหลือแต่ส่วนละเอียด
- (2) คลุกเคล้าส่วนผสมให้สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน
- (3) นำวัสดุแต่ละชนิดที่เตรียมไว้ ทอยยกลงในเครื่องผสม เพื่อคลุกเคล้าให้ส่วนผสมทั้งหมดกระจายตัวเข้ากันดี จากนั้น เติมน้ำแปรรูปพิเศษลงไปคลุกเคล้าเป็นลำดับสุดท้าย คลุกเคล้าต่อไปกระทั่งส่วนผสมรวมกันเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว
- (4) วัสดุผสมที่ได้ก็พร้อมนำไปอัดรูปเป็นอิฐตามขนาดที่ต้องการก่อน
- (5) นำไปอัดพิมพ์ควรสังเกตด้วยว่าส่วนผสมนั้น มีความชื้นพอเหมาะดีหรือไม่ หากแห้งเกินไปเมื่ออัดพิมพ์แล้วอาจแตกร้าวได้ จำเป็นต้องปรับส่วนผสมใหม่ให้มีความชื้นพอเหมาะ คลุกเคล้าส่วนผสมด้วยเครื่องผสม
- (6) กรอกส่วนผสมลงแม่พิมพ์ให้มากพอทยอยกรอกส่วนผสมลงแม่พิมพ์พร้อมๆกับใช้มืออัดส่วนผสมให้แน่น และให้ส่วนผสมนั้นพูนขึ้นแม่พิมพ์เล็กน้อยจึงอัดพิมพ์ เพื่อให้ได้มวลอิฐที่แน่นไม่แตกร้าวเมื่อถอดพิมพ์อัดส่วนผสมในพิมพ์ให้แน่นอัดพิมพ์เป็นขั้นตอนสุดท้าย

(7) หลังจากถอดแบบพิมพ์ ให้ทิ้งลมทิ้งไว้ ประมาณ 3 วัน อิฐมวลเบาที่ได้จะแห้งสนิทสามารถนำไปใช้งานได้ แต่ถ้ามีแสงแดดจัด โดยเฉพาะช่วงถอดพิมพ์ หากนำไปทิ้งแดดจะช่วยให้อิฐแห้งเร็วขึ้น อิฐมวลเบา นี้ใช้ระยะเวลาทิ้งให้แห้งสั้นกว่าอิฐที่ทำจากซีเมนต์ ซึ่งต้องใช้เวลาฝั้งนานถึง 7 วัน ทั้งมีขั้นตอนและกรรมวิธีในการบ่มซบซ้อ้นกว่า แต่มีข้อพึงระวังระหว่างฝั้งอิฐต้องระมัดระวังมิให้ถูกฝน หรือน้ำ มิฉะนั้นอาจเกิดความเสียหายได้เนื่องจากขณะที่อิฐมวลเบาแปรรูปยังไม่แห้งตัวจะละลายไปกับน้ำนั่นเอง

2.2.2 ระบบอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Autoclaved System) ซึ่งแบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้เป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 Lime Base ใช้ปูนขาวซึ่งควบคุมคุณภาพได้ยาก มาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตทำให้คุณภาพคอนกรีตที่ได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอ มีการดูดซึมน้ำมากกว่า

ประเภทที่ 2 Cement Base ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเป็นระบบที่นอกจากจะช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพได้มาตรฐานสม่ำเสมอแล้วยังช่วยให้เกิดการตกผลึก (Calcium Silicate) ในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรง ทนทาน กว่าผลิตในระบบอื่นมาก

สำหรับขั้นตอนการผลิตแบบผ่านการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง

- (1) นำวัตถุดิบหลักคือทรายมาบดด้วยเครื่องบด บดผสมกับน้ำ
- (2) นำวัตถุดิบที่ใช้ในกรรมวิธีทำอิฐมวลรวมเบา (ปูนขาว, ผงอลูมิเนียม, ทราย, ซีเมนต์, อีปซั่ม) ผสมเข้ากันตามอัตราส่วน โดยส่วนผสมหลักคือทราย และซีเมนต์ ตามลำดับ ด้วยเครื่องผสม) การผสม (Mixing) โดยนำทรายและอีปซั่มมาผสมกันก่อนในขณะเดียวกันปูนขาวผสมกับซีเมนต์จากนั้นจึงนำทั้งหมดมาผสมกัน และจึงผสมกับอลูมิเนียม
- (3) เทเข้าแม่พิมพ์
- (4) นำเข้าห้องบ่มเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา เป็นฟองอากาศและฟูขึ้นมา
- (5) นำเข้าเครื่องตัด Cutting Machines (M203) และเครื่องทำโครงตาข่าย
- (6) นำผ่านเข้าเครื่องอบ Over Dryer (M 114) โดยสายพานลำเลียง Conveyor System (M122)
- (7) ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์
- (8) บรรจุโดยทุกขั้นตอนการผลิตมีการใช้คอมพิวเตอร์ทั้งกระบวนการผลิต

### 2.3 ชั้นคุณภาพของอิฐมวลเบา

อิฐมวลเบาสามารถแบ่งชั้นคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้ตามความต้านทานแรงอัด เป็น 4 ชั้นคุณภาพ และแบ่งตามความหนาแน่นเชิงปริมาตรเป็น 7 ชนิด [8]

ตารางที่ 2.1 ชั้นคุณภาพและชนิดของอิฐมวลเบา

ชั้นคุณภาพ	ความเค้นต้านแรงอัด		ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร	ค่าเฉลี่ย		
2	25.48	20.39	0.4	310-400
			0.5	410-500
4	50.97	40.77	0.6	510-600
			0.7	610-700
			0.8	710-800
6	76.45	61.16	0.7	610-700
			0.8	710-800
8	101.94	81.55	0.8	710-800
			0.9	810-900
			1.0	910-1000

### 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการรายงานของ Percy Lavan Julian ประเทศสหรัฐอเมริกา เกี่ยวกับโปรตีนโพนจากถั่วเหลือง โดยนำถั่วเหลืองไปผ่านกระบวนการไฮโดรลิซิส เรียกว่า "Areo form" ที่ใช้ในการเป็นสารในการดับเพลิง โดยในการใช้นำไปผสมกับน้ำใสในถึงความดันที่มีการผสมกันของอากาศกับน้ำยาและฉีดออกมาจากหัวมีลักษณะเป็นฟองโพน พบว่า สายของโปรตีนที่ใช้ในการดับไฟนี้ เป็นสายของแอลฟาโปรตีนที่มีการผลิตมาจากสารอินทรีย์ โดยในการศึกษานั้นคุณสมบัติหลักที่มีการนำโปรตีนโพนมาใช้ คือ ความมีเสถียรภาพในการเกิดฟองลักษณะที่เมื่อทำการฉีดออกมาเป็นฟองโพนแล้วนั้น ไม่แตกตัวหรือเปลี่ยนแปลงสภาพจากฟองเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำได้เร็ว ทำให้สามารถที่จะเข้าไปครอบคลุมไฟ ส่งผลทำให้ออกซิเจนซึ่งเป็นส่วนประกอบในการเกิดไฟไหม้สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงได้ในที่สุดไฟก็จะดับลง น้ำจากฟองโฟม โปรตีนก็จะทำให้ฟองไฟที่ลุกไหม้เย็นลง ผลของสารที่เป็นสารอินทรีย์ยังทำให้ไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพราะสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

จากเว็บไซต์ Wikipedia ในหัวข้อ Free encyclopedia เกี่ยวกับ โปรตีนจากถั่วเหลือง พบว่า ถั่วเหลืองนั้นมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่ 60-70% และยังมีการนำถั่วเหลืองมาใช้ในอุตสาหกรรมในด้านต่างๆ มากมาย เช่น น้ำสลัด น้ำซุ๊ป สิ่งที่ยื่นแบบเนื้อหุ้ม สารให้ความหวานใช้รับประทานแทนน้ำตาล การผลิตอาหารสัตว์ การทำพลาสติก การทำสารที่ใช้ในการเคลือบกระดาษให้สามารถเขียนติดหมึกได้ดี เป็นต้น จากการศึกษา พบว่า ในการแยกโปรตีนออกเป็นแต่ละชนิดนั้น มีการใช้กระบวนการไฮโดรไลซิสโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (Acid hydrolysis) 6 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 12-36 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะอากาศในสภาวะดังกล่าวพันธะเปปไทด์ทุกพันธะจะสลายตัวจนหมด และยังพบว่า สายของโปรตีนสายเดี่ยวๆ เหล่านั้นไม่มีประสิทธิภาพในการเกิดเป็นฟองโฟม ดังนั้น ทางผู้ทำการศึกษาวิจัย จึงมีการออกแบบการทดลองโดยมีการเปลี่ยนสภาวะในการไฮโดรไลซิสทั้งความเข้มข้นของกรด เวลาในการกระบวนการไฮโดรไลซิส และอุณหภูมิในกระบวนการไฮโดรไลซิส เพื่อที่จะทดสอบหาว่าสายของโปรตีนที่ได้ผ่านการตัดสายของโปรตีนด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสที่สภาวะต่างๆ ที่ทำการกำหนดขึ้นมานั้น จะสามารถทำให้เกิดสารที่มีประสิทธิภาพในการเกิดฟองโฟมและสามารถนำไปเป็นส่วนประกอบในการทำอิฐมวลเบา โดยมีการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัด โปรตีน โฟมที่ได้นั้นด้วยการทดสอบสภาพความคงตัวของฟองโฟม และยังมีการนำไปเป็นส่วนผสมในการทำอิฐมวลเบาในแต่ละสูตร เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ และยังเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงและค่าการนำความร้อนกับ อิฐมวลเบาที่ใช้ทำให้เกิดฟองของทางโรงงานนำเข้ามาเป็นส่วนประกอบใช้ในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาจริงอีกด้วย

กฤษณะ เจริญคลัง และ มานูญ บุญมา (2548) [2] ได้ศึกษาการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตอิฐมวลเบาทดแทนการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ โดยมุ่งพัฒนาการผลิตอิฐมวลเบาชนิดไม่อบไอน้ำ ร่วมกับการค้นหาสูตรส่วนผสมใหม่ที่ทำให้คุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ทั้งยังมีคุณภาพดีกว่าอิฐบล็อกและอิฐมอดู ซึ่งเป็นวัสดุดั้งเดิมสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป อิฐมวลเบาที่ใช้วัตถุดิบต่างชนิด เช่น ปูนซีเมนต์ ทราโย โฟม จี๊เจ้าลอยจากแกลบและจี๊เจ้าลอยจากถ่าน เปรียบเทียบกับอิฐมอดูและอิฐบล็อกธรรมดา ในเรื่องน้ำหนัก กันความร้อน และต้นทุน จึงลดต้นทุนผลิตและเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งนี้ จี๊เจ้าลอยเป็นของเหลือทิ้งจากขบวนการเผาไหม้ ที่มีคุณสมบัติสามารถนำมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดแทนทรายและปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นส่วนประกอบในอิฐเผาลอยที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินบดตามมาตรฐาน ASTM C 618 ได้แบ่งเผาลอยสำหรับใช้ในงานคอนกรีต ออกเป็น 2 ชนิด คือ Class F ได้จากการเผาถ่านหินประเภทแอนทราไซต์กับบิทูมินัส และ Class C ได้จากการเผาถ่านหินประเภทซับบิทูมินัสหรือลิกไนต์ เผาลอยทั้ง 2 ชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกันซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติการเป็นวัสดุประสานและคุณสมบัติทางปอซโซลานของเผาลอยโดยตรง เผาลอย Class F แทบจะไม่มีคุณสมบัติในการเป็นตัวประสานเลยเมื่อผสมกับน้ำเนื่องจากปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ต่ำ ในขณะที่เผาลอย Class C มักจะมีคุณสมบัติในการเป็นวัสดุประสานเนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ค่อนข้างสูงรวมทั้งมีคุณสมบัติทางปอซโซลานด้วย

การศึกษาการนำเผาลอยถ่านหินและเผาลอยแกลบมาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมวลเบา ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนผสมเผาลอยของทั้งถ่านหินและแกลบที่ร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนักจะให้ค่าความแข็งแรงของวัสดุที่สูงสุด นอกจากนี้ ยังพบว่าหากผสมจี้เผาลอยในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การนำความร้อนของอิฐมวลเบาลดลงตามอัตราส่วน ขณะที่อิฐผสมเผาลอยแกลบจะให้ค่าการนำความร้อนต่ำกว่าเผาลอยถ่านหิน จากการทดสอบวัดอุณหภูมิภายในห้อง ที่ผนังสร้างจากอิฐมวลเบาพบว่า มีค่าต่ำกว่าห้องที่สร้างจากอิฐมอญเฉลี่ย 1.0-1.5 องศาเซลเซียส และผลจากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย ในการสร้างผนังอาคารโดยใช้ อิฐแบบต่างๆ เช่น อิฐมวลเบาสูตรเดิมของบริษัท อิฐมอญและอิฐมวลเบาผสมเผาลอยแกลบพบว่า อิฐมวลเบาผสมเผาลอยแกลบสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายสูงสุด หรือต้นทุนผลิตอยู่ที่ 320 บาทต่อตารางเมตร ขณะที่อิฐมอญและอิฐมวลเบาเดิมต้นทุนอยู่ที่ 370-375 บาทต่อตารางเมตร

ตารางที่ 2.2 ค่าใช้จ่ายในการสร้างผนังอาคารโดยใช้อิฐแบบต่างๆ (บาทต่อตารางเมตร)

	อิฐมวลเบาเดิมของบริษัท	อิฐมอญ	อิฐผสมเผาลอยแกลบ ร้อยละ 12.5
1. ค่าอิฐ	150	75	100
2. ค่าปูนก่อ	12	60	12
3. ค่าปูนฉาบ	58	70	58
4. ค่าแรงในการก่อ - ฉาบ	150	170	150
รวม	370	375	320

### บทที่ 3

#### ขั้นตอนการศึกษา

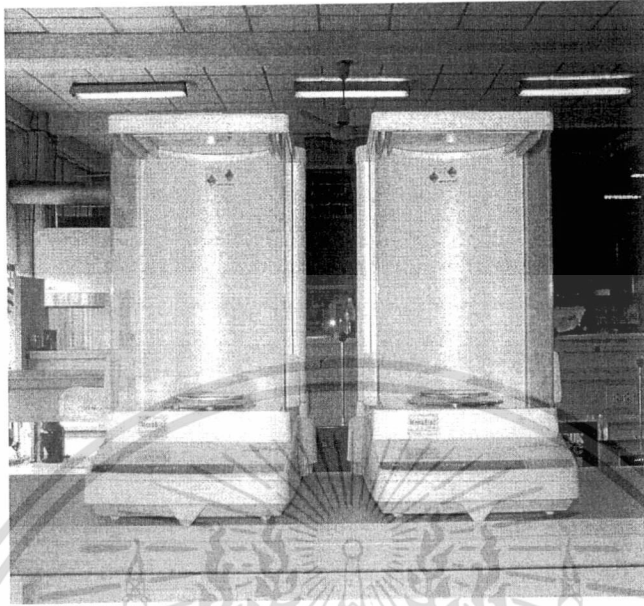
#### 3.1. การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

- (1) บีกเกอร์ ขนาด 100, 600, 1000 มิลลิลิตร
- (2) ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- (3) กระดาษนาฬิกา
- (4) กรวยกรอง กระดาษกรอง เบอร์ 3
- (5) ปิเปต
- (6) กระบอกตวงปริมาตร
- (7) กระดาษกรองเบอร์ 3 และ pH indicator
- (8) น้ำกลั่น
- (9) เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 1,000 กรัม



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก

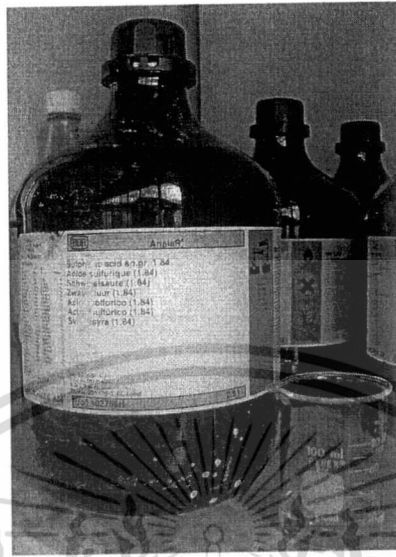
### 3.2. สารเคมีที่ใช้ในผลิตโพมอินทรีย์

- (1) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ )
- (2) กรดซัลฟิวริก ( $\text{con. H}_2\text{SO}_4$ )



รูปที่ 3.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



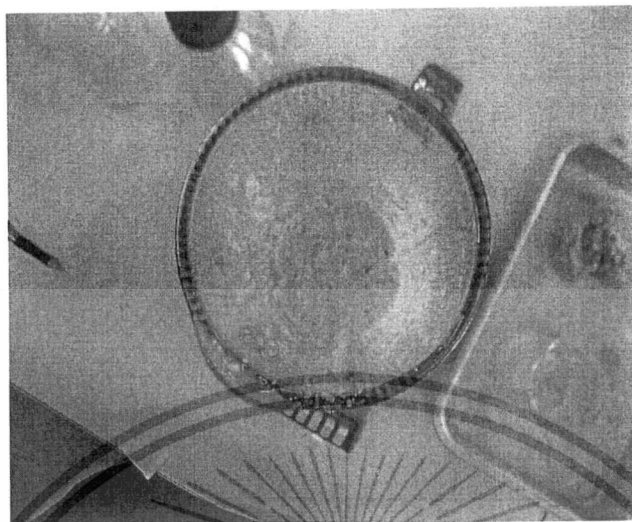
รูปที่ 3.4 กรดซัลฟิวริก

### 3.3. ขั้นตอนการผลิตโพลีอิมิตรี

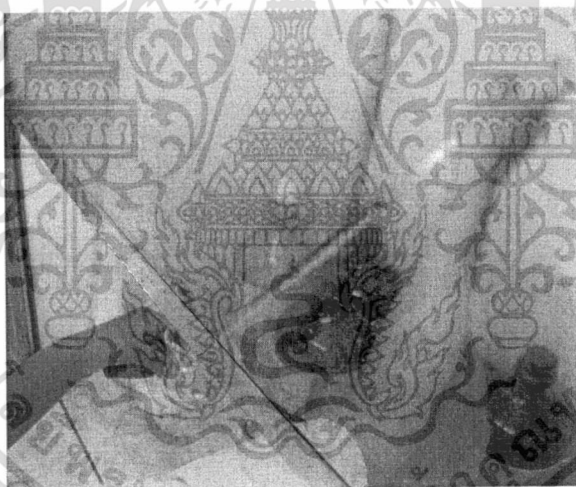
เนื่องจากในถ้วยเหลืองมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนหลายๆ โมเลกุลต่อกันเป็นสายยาว ซึ่งเรียกว่า โพรตีน ดังนั้นเมื่อนำถ้วยเหลืองมาผ่านกระบวนการ Hydrolysis จะได้โปรตีนสายสั้นๆ เรียกว่า โพรตีนโพลี ที่สามารถแข็งตัวได้เมื่อทำให้เกิดเป็นฟองโดยเครื่องฉีดโพลี ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- (1) ชั่งถ้วยเหลืองด้วยเครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance) จำนวน 3 ตัวอย่าง โดยมีน้ำหนัก 40, 60, 80 กรัม จดบันทึกและนำมาแช่น้ำเป็นเวลา 1 คืน
  - (2) นำถ้วยเหลืองที่ได้จากข้อ (1) ไปชั่งน้ำหนัก จดบันทึก
  - (3) นำถ้วยเหลืองที่ชั่งแล้วไปปั่นพอละเอียด แล้วเทใส่บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ใช้น้ำล้างถ้วยเหลืองที่ติดที่เครื่องปั่นออกให้ได้มากที่สุด
  - (4) นำสารตัวอย่างจากข้อที่ (3) ใส่ขวด Duran ขนาด 1 ลิตร แต่ละขวดตามลำดับ
  - (5) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ใส่เพื่อปรับให้ได้ค่าความเข้มข้นกรดให้มีค่าเท่ากับ 1.5N, 2.0N
- ในการใส่กรดเข้มข้นนั้นควรทำในในตู้ดูดควันเพราะกรดจะมีไอระเหยมีผลต่อระบบหายใจและในระหว่างเติมกรดสารตัวอย่างจะมีความร้อนเกิดขึ้นควรค่อยๆ เติมและคนเป็นระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



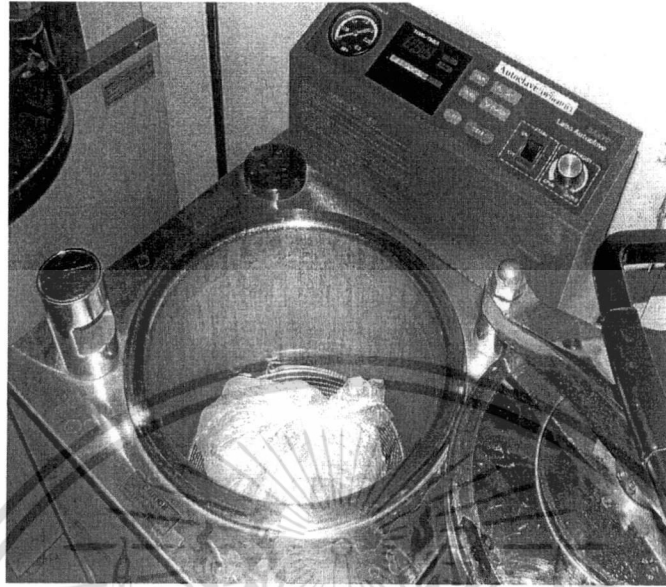
รูปที่ 3.5 ถ้วยเหลืองปั่นละเอียด



รูปที่ 3.6 การปรับตรดซัลฟิวริกเข้มข้น

(6) ปรับปริมาตรสารตัวอย่างด้วยน้ำประปาเป็น 400 มิลลิตร แล้วปิดฝาขวดหลวมๆ ใช้ผ้าชุบน้ำหมาดๆ คลุมบริเวณฝาขวดและใส่ถุงพลาสติกมัดปากถุงด้วยหนังไว้เพื่อกันไอกรดที่ระเหยออกมาที่มีผลเสียต่อเครื่อง Auto Clave จากนั้นใส่ในเครื่อง Auto Clave ปิดเครื่อง หมุนฝาเครื่องให้แน่น ตั้งอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง รอเครื่องเย็นตัวลงแล้วจึงเอาสารตัวอย่างออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การนำเข้าเครื่อง Auto Clave

(7) นำสารตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการไฮโดรซิสด้วยเครื่อง Auto Clave มากรองด้วยผ้าขาวบาง เพื่อเอากากถั่วเหลืองออก และนำกากถั่วเหลืองที่ได้ในแต่ละตัวอย่างชั่งน้ำหนัก จดบันทึก ส่วนสารตัวอย่างที่กรองแล้วมาวัดปริมาตร จดบันทึก



รูปที่ 3.8 กรองด้วยผ้าขาวบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(8) นำสารตัวอย่างที่กรองแล้วทั้ง 3 ตัวอย่าง เเทวมกัน แล้วนำไปปรับ pH ให้อยู่ในช่วงประมาณ 7 แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองอีกครั้ง



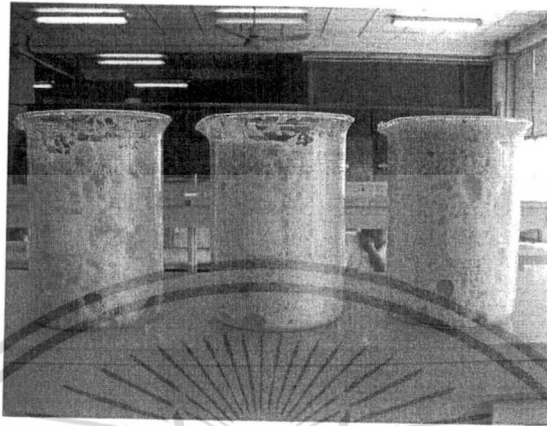
รูปที่ 3.9 กรองด้วยกระดาษกรอง



รูปที่ 3.10 น้ำยาโพนอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(9) เมื่อกรองเสร็จ จะได้น้ำยาโพมอินทรีย์ นำไปทดสอบการเกิดฟองต่อไป



รูปที่ 3.11 ทดสอบการเกิดฟองโพมอินทรีย์

### 3.4. การศึกษาความแข็งแรงของอิฐมวลเบา

#### 3.4.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

(1) เครื่องผสมปูน (Mixer) ซึ่งเป็นเครื่องผสมปูนขนาดเล็กสามารถทำการเคลื่อนย้ายได้โดยใช้ล้อ ใช้สำหรับผสมส่วนผสมแต่ละสูตรในการทดลองให้เข้า



รูปที่ 3.12 เครื่องผสมปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) บล็อกหล่อลูปูน (Mold) ลักษณะเป็นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความสูง 30 เซนติเมตร ซึ่งสามารถถอด-ประกอบได้ ใช้สำหรับหล่อส่วนผสมที่จะผลิตลูปูน ทดสอบ และนำไปทดสอบค่าความแข็งแรง (Concrete compressive strength test) โดยจะทำตัวอย่างทดสอบ ค่าความแข็งแรงจำนวน 3 Mold ต่อ 1 สูตร ซึ่งจะได้ความอนุเคราะห์จาก ภาควิศวกรรมโยธา สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



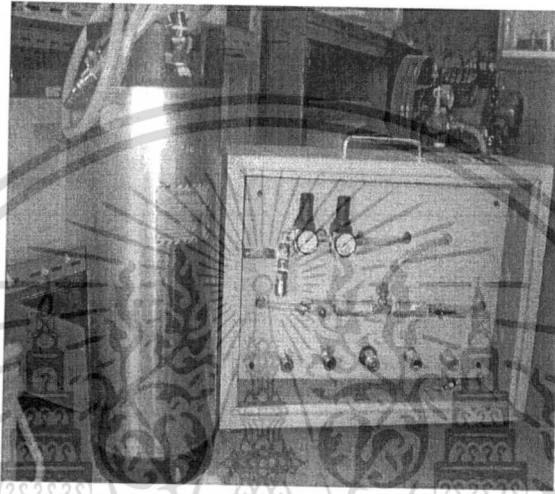
รูปที่ 3.13 บล็อกหล่อลูปูนมาตรฐาน

รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบความแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) เครื่องทดสอบความแข็งแรงขนาดแรงกดของเครื่องทดสอบมีขนาด 2000 กิโลนิวตัน ใช้สำหรับทดสอบความแข็งแรงของลูกปูน (Compressive strength) โดยจะแสดงผลเป็นตัวเลข

(4) เครื่องฉีดโฟม จะใช้สำหรับฉีดโฟมอินทรีย์ เพื่อเป็นส่วนผสมหนึ่งของการผลิตอิฐมวลเบา ซึ่งจะใช้แรงดันในระบบของเครื่องฉีดสารเคมี 5.5-7 บาร์



รูปที่ 3.15 เครื่องฉีดโฟม

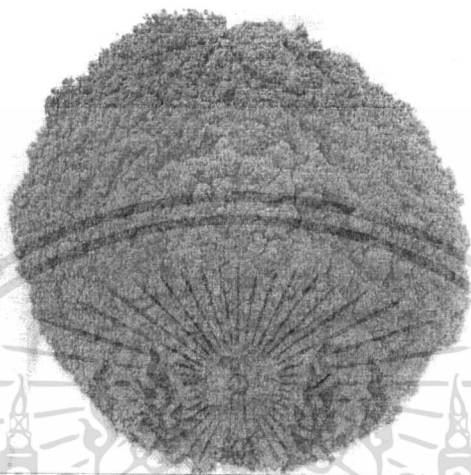
(5) โฟมอินทรีย์ (Organic Foam) มีลักษณะเป็นของเหลว



รูปที่ 3.16 โฟมอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) ทรายที่จะใช้ทำตัวอย่างทดสอบค่าความแข็งแรง และค่าการนำความร้อนเป็นส่วนผสมในการทดลอง ซึ่งเป็นทรายที่ทางโรงงานได้สั่งมาจากร้านวัสดุก่อสร้างเป็นทรายละเอียด



รูปที่ 3.17 ทรายละเอียด

(7) ปูนซีเมนต์ ที่ใช้ทำตัวอย่างทดสอบค่าความแข็งแรงจะเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการแข็งตัวเร็ว ซึ่งจะใช้กับงานโครงสร้าง (ตราช้าง)

#### 3.4.2. ขั้นตอนการหล่อแบบทดสอบความแข็งแรง

ทำตัวอย่างเพื่อทดสอบค่าความแข็งแรง (Compressive strength) เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม โดยตัวอย่างทดสอบค่าความแข็งแรง มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร [10]

(1) ทำการติดตั้งเครื่องไม่ผสมปูนโดยการหาพื้นที่วางไม่ผสมปูนที่ลักษณะพื้นที่ราบเรียบ พร้อมทั้งลองเปิดเครื่องไม่ผสมว่าใช้งานได้ดี ก่อนผสมตัวอย่างทดลองที่จะนำไปทดสอบหาค่าความแข็งแรง

(2) ทำการเตรียมส่วนผสมที่จะใช้ทำการทดลองในแต่ละสูตรซึ่งใช้อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ ทราย น้ำและโพนอินทรีย์ ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) นำส่วนผสมที่ซั่งไว้คือ ปูน ทราย เทใส่ในโม่ผสมปูนทำการเปิดเครื่องโม่โดยให้ส่วนผสมเข้ากันประมาณ 5 – 10 นาที

(4) เมื่อส่วนผสมเข้ากันแล้วให้เติมน้ำ (สังเกตส่วนผสมจะเริ่มเหลวและเป็นเนื้อเดียวกัน)

(5) ทำการฉีดโฟมอินทรีย์ลงไปในอัตราส่วนที่กำหนดไว้

(6) เดินเครื่องโม่ผสม จนให้โฟมอินทรีย์ผสมเข้ากันกับปูนซีเมนต์ ทรายดี

(7) นำน้ำมันมาทาบล็อกหล่อลูกปูนเพื่อป้องกันการเกาะตัวของคอนกรีตและทำให้สามารถแกะออกจากบล็อกหล่อได้ง่าย

(8) นำส่วนผสมที่ได้ไปเทลงในบล็อกหล่อลูกปูนทรงระบอก ( Mold) ให้ล้นบล็อกออกมาบ้าง ป้องกันการยุบตัวเวลาเริ่มแห้ง

(9) ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชม. ก็ทำการแกะออกจากแบบหล่อได้

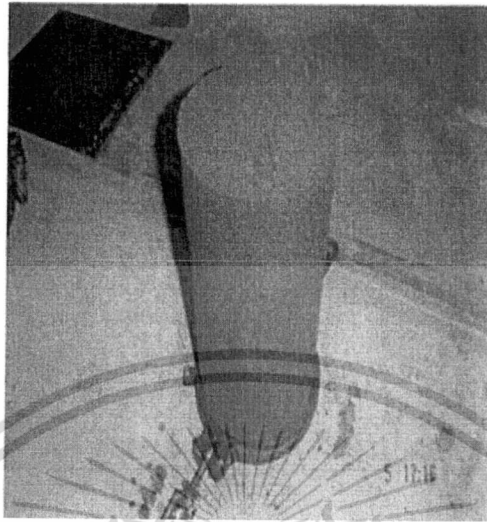
### ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสม

ครั้งที่	ปูนซีเมนต์ (kg)	ทราย (kg)	น้ำ (kg)	โฟมอินทรีย์ (ml)
1	9	9	4.5	375
2	9	9	4.5	400
3	9	9	4.5	425
4	9	9	4.5	450



รูปที่ 3.18 การฉีดโฟมอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ส่วนผสมที่จับตัวกันแล้ว



รูปที่ 3.20 อัฐมวลเบา

(10) ส่วนของตัวอย่างทรงกระบอกจะนำไปบ่มคอนกรีต โดยการแช่น้ำหรือใช้กระสอบป่านคลุมและรดน้ำให้เปียกชุ่มเป็นเวลา 28 วัน เมื่อครบกำหนดจะไปทดสอบค่าความแข็งแรงที่ภาควิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3. การหล่อแผ่นทดสอบการนำความร้อน

(1) แบบหล่อแผ่นทดสอบความร้อน ลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด กว้าง 30 ซม. ยาว 30 เซนติเมตร หนา 2.5 เซนติเมตร [9] ดังรูปที่ 3.21 สามารถถอด- ประกอบได้เช่นกันโดยการขันน็อต แบบเป็นลักษณะแผ่นสี่เหลี่ยมเพื่อนำไปทดสอบค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) โดยจะทำตัวอย่างทดสอบค่าการนำความร้อนจำนวน 2 แผ่นต่อ 1 สูตร



รูปที่ 3.21 แบบหล่อแผ่นทดสอบการนำความร้อน

รูปที่ 3.22 เทส่วนผสมในแบบทดสอบการนำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) นำส่วนผสมที่ได้ไปเทลงในแบบหล่อสี่เหลี่ยมจำนวน 2 Mold แล้วทำการปาดหน้าให้เรียบสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 3.22

(3) ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชม. ก็ทำการแกะออกจากแบบได้

(4) เมื่อแห้งสนิทแล้ว นำไปส่งทดสอบค่าการนำความร้อน



รูปที่ 3.23 แผ่นทดสอบการนำความร้อนที่แห้งสนิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1. ผลการทดสอบการคงตัวของโฟมอินทรีย์

ตารางที่ 4.1 การทดสอบค่าความคงตัวของโฟมอินทรีย์

โฟมอินทรีย์		ปริมาตรโฟมอินทรีย์ (ml)	น้ำหนักโฟมอินทรีย์ (g)
10 %	1.5 N	100	40
	2.0 N	100	30
15 %	1.5 N	850	40
	2.0 N	600	30
20%	1.5 N	900	30
	2.0 N	700	30

จากตารางที่ 4.1 พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงโฟมอินทรีย์ 15% และ 20% มีค่าความคงตัวใกล้เคียงกับโฟมอินทรีย์ของบริษัท Professional Block จำกัด และโฟมอินทรีย์ 20% 1.5N จะมีค่าความคงตัวสูงสุด คือ 900 มิลลิลิตร และโฟมอินทรีย์ 10% ทั้งสองความเข้มข้นจะมีค่าความคงตัวต่ำสุด คือ 100 มิลลิลิตร

#### 4.2. ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นของ โฟมอินทรีย์

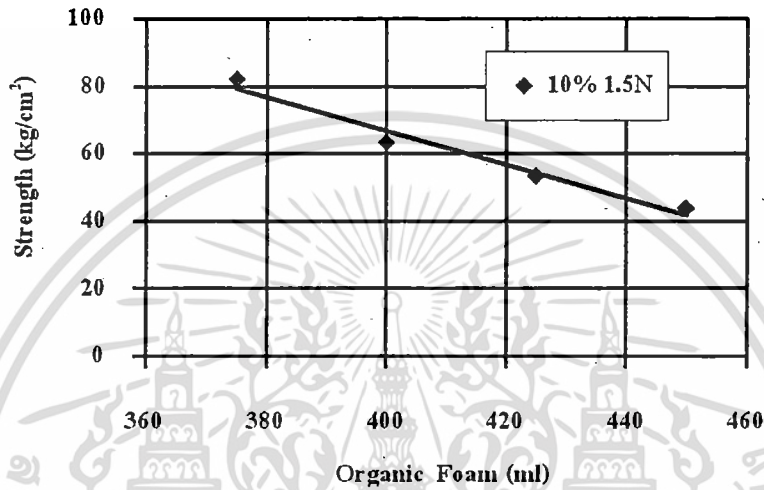
จากผลการทดสอบความหนาแน่นและค่าความแข็งแรง จะเห็นได้ว่าที่ปริมาตรโฟมอินทรีย์ 375 มิลลิลิตร จะมีค่าความหนาแน่นและค่าความแข็งแรงมากที่สุดสำหรับทุกสูตร ส่วนที่ปริมาตรโฟมอินทรีย์ 450 มิลลิลิตร จะมีค่าความหนาแน่นและค่าความแข็งแรงต่ำที่สุดสำหรับทุกสูตรเช่นกัน

ความหนาแน่นและค่าความแข็งแรงจะแปรผกผันกับปริมาณของโฟมอินทรีย์ที่ใส่คือเมื่อปริมาณโฟมอินทรีย์มากขึ้นความหนาแน่นจะลดลงเนื่องจากโฟมอินทรีย์ที่ฉีดเข้าไปผสมในโมจะมีลักษณะเป็นฟองอากาศและจะเข้าไปแทรกตัวในเนื้อคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแข็งตัวเนื้อคอนกรีตจะมีรูพรุนและมีน้ำหนักเบา ซึ่งรูพรุนถ้ามีปริมาณมากจะทำให้รับแรงอัดได้น้อยทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

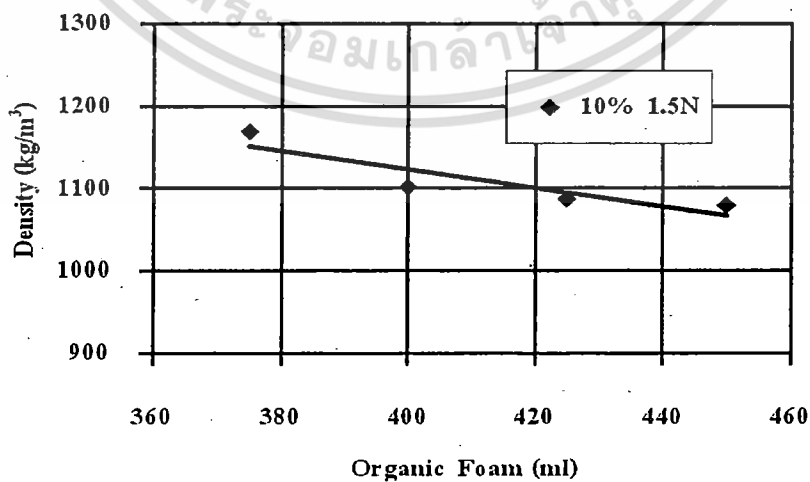
#### 4.2.1 การทดสอบค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นของ โฟมอินทรีย์ 10% 1.5N

จากรูปที่ 4.1 พบว่า โฟมอินทรีย์ 10% 1.5N ที่อัตราส่วนผสมโฟมอินทรีย์ 375 มิลลิลิตร อิฐมวลเบาจะมีค่าความแข็งแรงสูงสุดคือ 82.09 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอิฐมวลเบาจะมีค่าความแข็งแรงต่ำสุดคือ 43.76 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Strength กับปริมาณโฟมอินทรีย์ที่ใช้

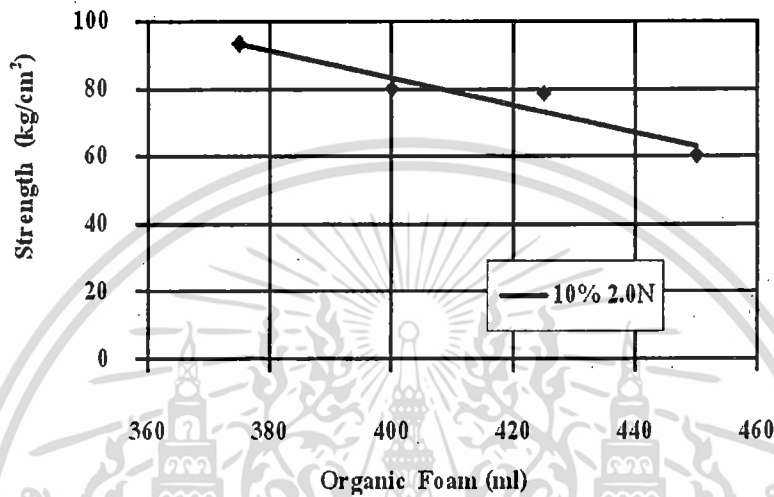
จากรูปที่ 4.2 พบว่า โฟมอินทรีย์ 10% 1.5N ที่อัตราส่วนผสมโฟมอินทรีย์ 375 มิลลิลิตร อิฐมวลเบาจะมีค่าความหนาแน่นสูงสุดคือ 1168.52 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอิฐมวลเบาจะมีค่าความหนาแน่นต่ำสุดคือ 1079.49 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Density กับปริมาณโฟมอินทรีย์ที่ใช้

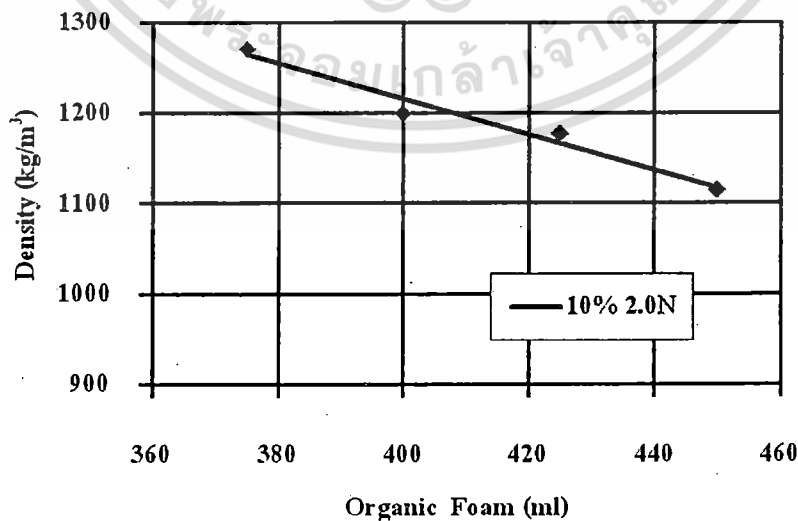
#### 4.2.2. การทดสอบค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นของโฟมอินทรีย์ 10% 2.0N

จากรูปที่ 4.3 พบว่า โฟมอินทรีย์ 10% 2.0N ที่อัตราส่วนผสมโฟมอินทรีย์ 375 มิลลิลิตร อีทิวมวลเบาจะมีค่าความแข็งแรงสูงสุดคือ 93.38 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอีทิวมวลเบาจะมีค่าความแข็งแรงต่ำสุดคือ 60.23 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Strength กับปริมาณโฟมอินทรีย์ที่ใช้

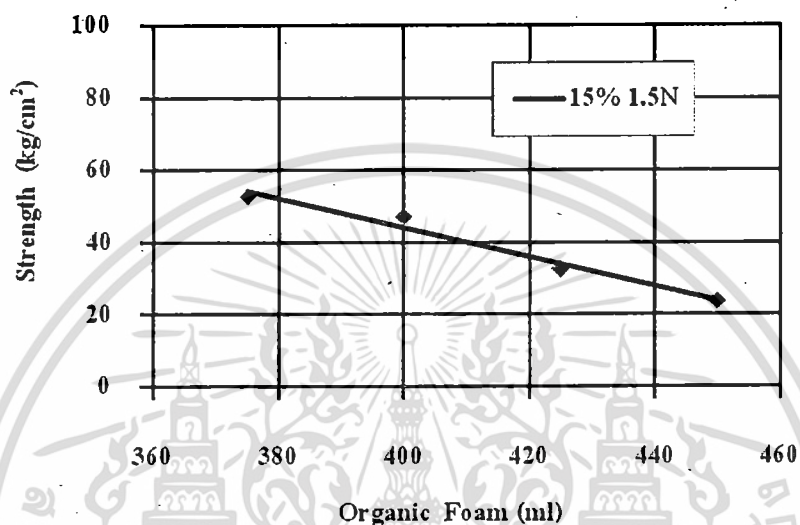
จากรูปที่ 4.4 พบว่า โฟมอินทรีย์ 10% 2.0N ที่อัตราส่วนผสมโฟมอินทรีย์ 375 มิลลิลิตร อีทิวมวลเบาจะมีค่าความหนาแน่นสูงสุดคือ 1271.00 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอีทิวมวลเบาจะมีค่าความหนาแน่นต่ำสุดคือ 1114.87 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Density กับปริมาณโฟมอินทรีย์ที่ใช้

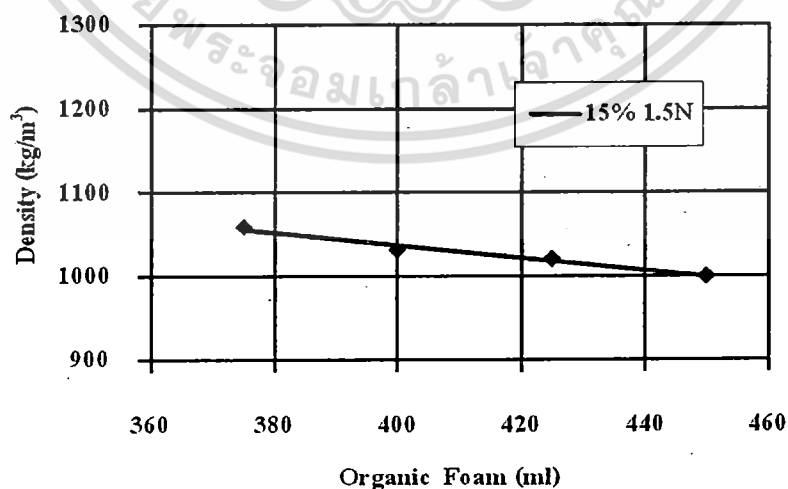
### 4.2.3. การทดสอบค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นของโฟมอินทรีย์ 15% 1.5N

จากรูปที่ 4.5 พบว่า โฟมอินทรีย์ 15% 1.5N ที่อัตราส่วนผสมโฟมอินทรีย์ 375 มิลลิลิตร อีฐมวลเบาจะมีค่าความแข็งแรงสูงสุดคือ 52.88 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอีฐมวลเบาจะมีค่าความแข็งแรงต่ำสุดคือ 23.87 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Strength กับปริมาณ โฟมอินทรีย์ที่ใช้

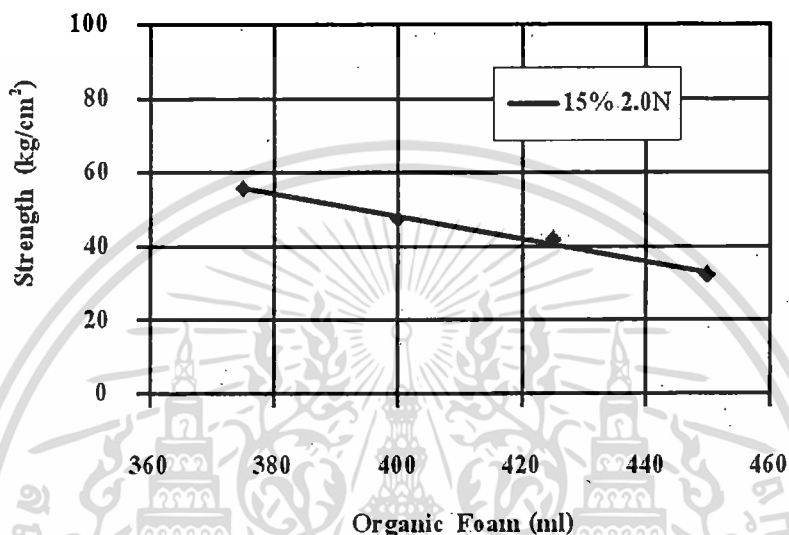
จากรูปที่ 4.6 พบว่า โฟมอินทรีย์ 15% 1.5N ที่อัตราส่วนผสมโฟมอินทรีย์ 375 มิลลิลิตร อีฐมวลเบาจะมีค่าความหนาแน่นสูงสุดคือ 1059.84 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอีฐมวลเบาจะมีค่าความหนาแน่นต่ำสุดคือ 1000.17 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Density กับปริมาณ โฟมอินทรีย์ที่ใช้

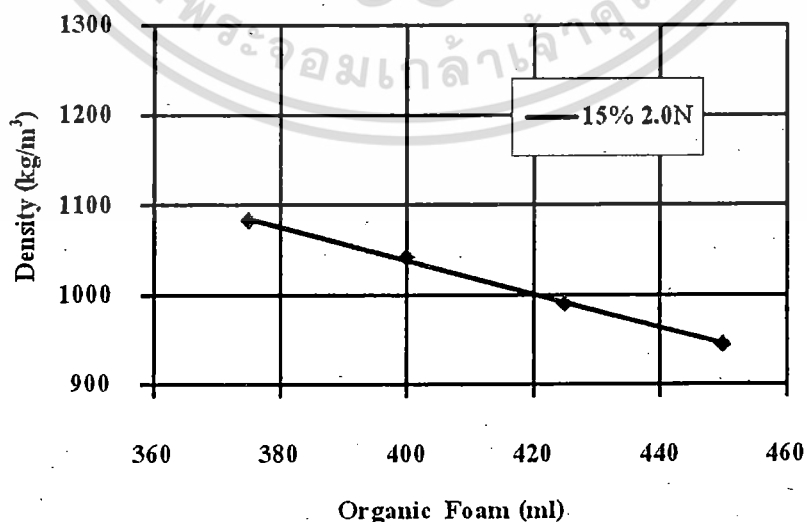
#### 4.2.4. การทดสอบค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นของโฟมอินทรีย์ 15% 2.0N

จากรูปที่ 4.7 พบว่า โฟมอินทรีย์ 15% 2.0N ที่อัตราส่วนผสมโฟมอินทรีย์ 375 มิลลิลิตร อีฐมวลเบาจะมีค่าความแข็งแรงสูงสุดคือ 55.87 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอีฐมวลเบาจะมีค่าความแข็งแรงต่ำสุดคือ 32.22 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Strength กับปริมาณโฟมอินทรีย์ที่ใช้

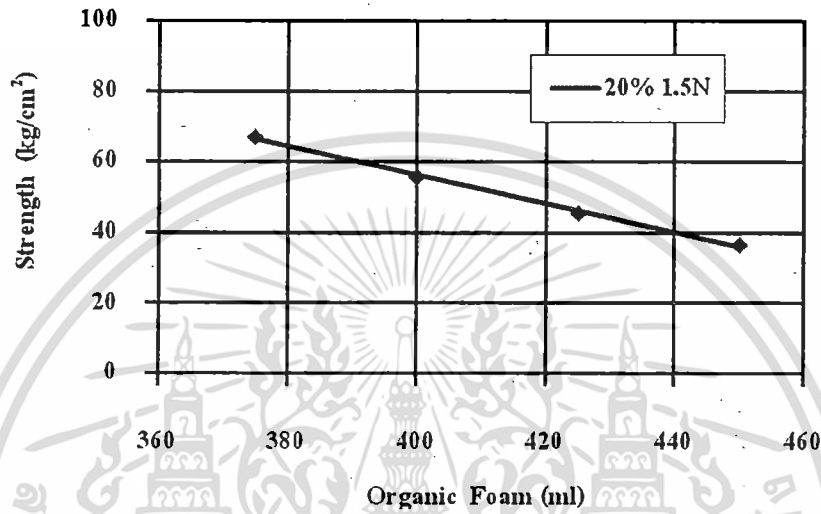
จากรูปที่ 4.8 พบว่า โฟมอินทรีย์ 15% 2.0N ที่อัตราส่วนผสมโฟมอินทรีย์ 375 มิลลิลิตร อีฐมวลเบาจะมีค่าความหนาแน่นสูงสุดคือ 1083.49 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอีฐมวลเบาจะมีค่าความหนาแน่นต่ำสุดคือ 944.27 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Density กับปริมาณโฟมอินทรีย์ที่ใช้

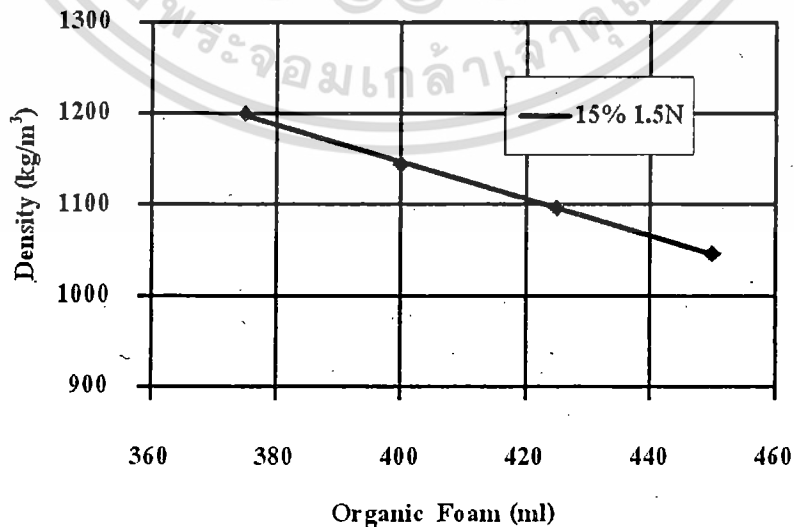
#### 4.2.5. การทดสอบค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นของโฟมอินทรีย์ 20% 1.5N

จากรูปที่ 4.9 พบว่า โฟมอินทรีย์ 20% 1.5N ที่อัตราส่วนผสมโฟมอินทรีย์ 375 มิลลิลิตร อีจวมวลเบาจะมีค่าความแข็งแรงสูงสุดคือ 67.04 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอีจวมวลเบาจะมีค่าความแข็งแรงต่ำสุดคือ 36.73 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Strength กับปริมาณ โฟมอินทรีย์ที่ใช้

จากรูปที่ 4.10 พบว่า โฟมอินทรีย์ 20% 1.5N ที่อัตราส่วนผสมโฟมอินทรีย์ 375 มิลลิลิตร อีจวมวลเบาจะมีค่าความหนาแน่นสูงสุดคือ 1199.74 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอีจวมวลเบาจะมีค่าความหนาแน่นต่ำสุดคือ 1046.65 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

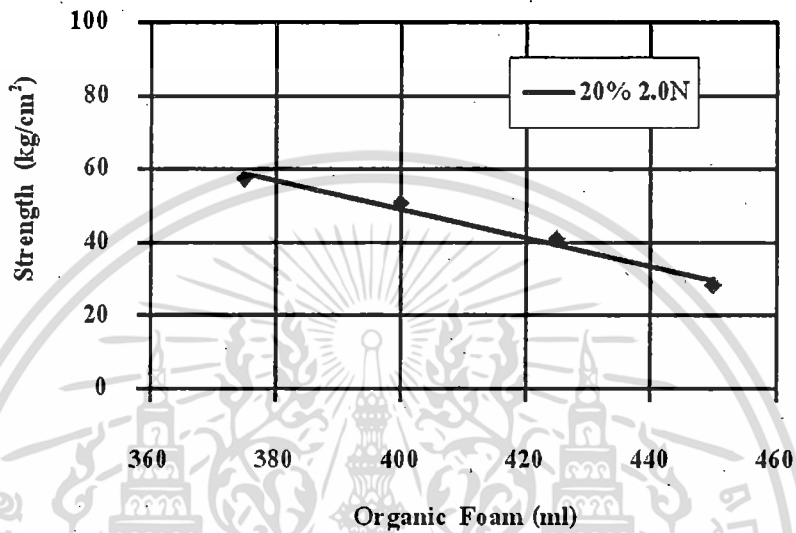


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Density กับปริมาณ โฟมอินทรีย์ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

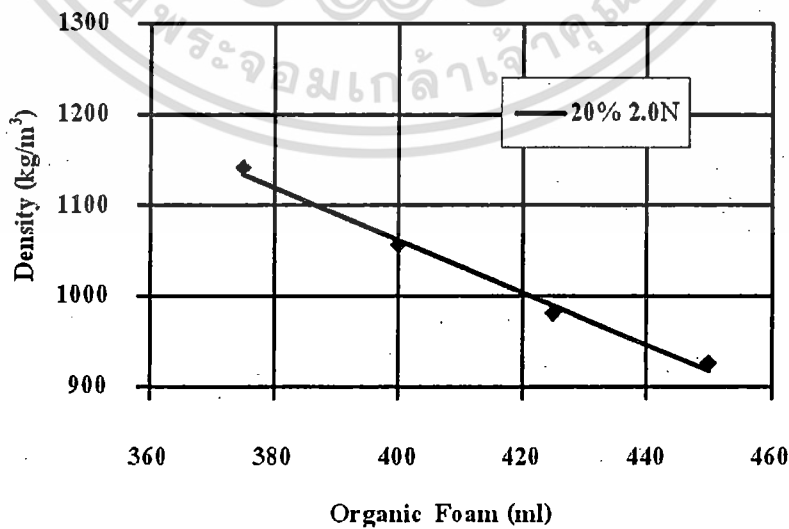
#### 4.2.6. การทดสอบค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นของโฟมอินทรีย์ 20% 2.0N

จากรูปที่ 4.11 พบว่า โฟมอินทรีย์ 20% 2.0N ที่อัตราส่วนผสมโฟมอินทรีย์ 375 มิลลิลิตร อีฐมวลเบาจะมีค่าความแข็งแรงสูงสุดคือ 57.29 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และอีฐมวลเบาจะมีค่าความแข็งแรงต่ำสุดคือ 28.27 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Strength กับปริมาณ โฟมอินทรีย์ที่ใช้

จากรูปที่ 4.12 พบว่า โฟมอินทรีย์ 20% 2.0N ที่อัตราส่วนผสมโฟมอินทรีย์ 375 มิลลิลิตร อีฐมวลเบาจะมีค่าความหนาแน่นสูงสุดคือ 1141.64 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอีฐมวลเบาจะมีค่าความหนาแน่นต่ำสุดคือ 926.28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

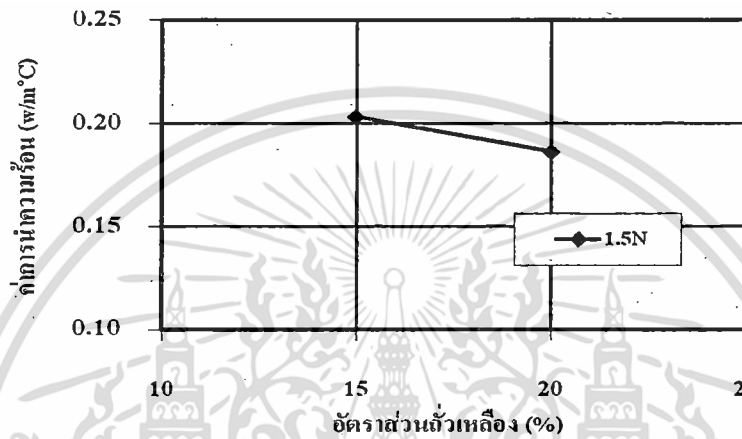


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง Density กับปริมาณ โฟมอินทรีย์ที่ใช้

### 4.3. ผลการทดสอบค่าการนำความร้อน

#### 4.3.1. การทดสอบค่าการนำความร้อนของโฟมอินทรีย์ที่ความเข้มข้น 1.5 N

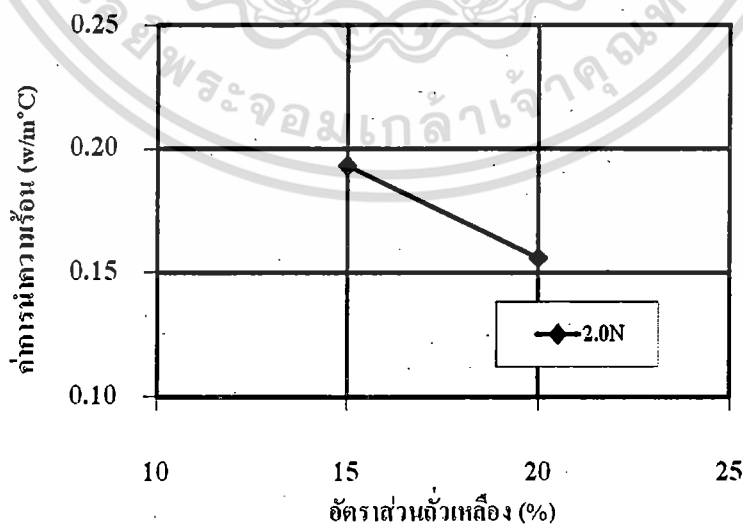
จากรูปที่ 4.13 พบว่า เมื่ออัตราส่วนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นค่าการนำความร้อนจะลดลง (ความเป็นฉนวนเพิ่มขึ้น)



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการนำความร้อนกับอัตราส่วนถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 1.5 N

#### 4.3.2. ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของโฟมอินทรีย์ที่ความเข้มข้น 2.0 N

จากรูปที่ 4.14 พบว่า เมื่ออัตราส่วนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นค่าการนำความร้อนจะลดลง



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการนำความร้อนกับอัตราส่วนถั่วเหลืองที่ความเข้มข้น 2.0 N

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการผลิตโพมอินทรีย์ซึ่งเป็นวัสดุผสมในการผลิตอิฐมวลเบาของบริษัท Professional Block จำกัด พบว่า สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ โดยการใช้ปริมาณถั่วเหลือง 15% และ 20% โดยน้ำหนัก ที่ความเข้มข้น 1.5N และ 2.0N ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

- 1) โพมอินทรีย์ที่ผลิตจากถั่วเหลืองสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในอิฐมวลเบาชนิดไม่บอบอ่อน้ำได้จริงและให้คุณสมบัติใกล้เคียงกับอิฐมวลเบาชนิดบอบอ่อน้ำ
- 2) ปริมาณถั่วเหลือง 20% 1.5N จะมีค่าความคงตัวสูงสุด คือ 900 มิลลิลิตร และที่ปริมาณถั่วเหลือง 10% จะมีค่าความคงตัวต่ำสุด คือ 100 มิลลิลิตร
- 3) การใช้โพมอินทรีย์ที่ผลิตจากถั่วเหลืองทำให้ค่าความแข็งแรงของอิฐมวลเบา มีค่าสูงขึ้น
- 4) โพมอินทรีย์ที่ฉีดเข้าไปผสมในโม้จะมีลักษณะเป็นฟองอากาศ จะเข้าไปแทรกตัวในเนื้อคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแข็งตัวเนื้อคอนกรีตจะมีรูพรุนและมีน้ำหนักเบา
- 5) ความหนาแน่นและค่าความแข็งแรงของอิฐมวลเบา จะมีค่ามากที่สุดเมื่อมีอัตราส่วนโพมอินทรีย์ 375 มิลลิลิตร และมีค่าต่ำที่สุดเมื่อมีอัตราส่วนโพมอินทรีย์ 450 มิลลิลิตร
- 6) ที่อัตราส่วนผสมโพมอินทรีย์ 425 มิลลิลิตร จะให้ค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 900 - 1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความแข็งแรง 40 - 45 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และที่ปริมาณถั่วเหลือง 15 % 2.0 N จะให้ค่าความหนาแน่น 944 และ 41 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เนื่องจากมีต้นทุนที่ประหยัดกว่าและให้ค่าความแข็งแรงอยู่ในชั้นคุณภาพที่ 4 และมีค่าการนำความร้อน 0.193 วัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส
- 7) ปริมาณถั่วเหลือง 15% 2.0N สามารถประหยัดต้นทุนในส่วนของน้ำยาโพมอินทรีย์ได้ โดยเฉลี่ยประมาณ 34.68% จากต้นทุนการนำเข้าโพมอินทรีย์จากต่างประเทศ

#### 5.2. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

- 1) การแช่ตัวอย่างเม็ดถั่วเหลืองในการนำมาผลิตน้ำยา ควรแช่ที่ระยะเวลา 1 คืนเท่านั้น และควรรินน้ำออกทันทีในตอนเช้า เพื่อจะช่วยลดการเกิดตะกอนของโปรตีนโพมที่ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การขั้นตอนการฉีดโปรตีนโพนควรมีการปรับตั้งความดันของเครื่องอัดอากาศให้เท่ากันทุกครั้ง  
ทำการฉีด เพราะจะทำให้ฟองโปรตีนโพนที่เกิดขึ้นเป็นไปในแนวทางเดียวกัน

3) เครื่องโม่ผสมควรมีลักษณะของใบผสมที่จะทำให้เกิดการคลุกเคล้าได้ดี (การตั้งส่วนผสมเข้า  
ส่วนกลาง) เนื่องจากโปรตีนโพนเมื่อทำการฉีดจะลอยตัวอยู่ด้านบน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. กฤษฎา โรจน์ประสิทธิ์พร, อราวินท์ บริรักษ์อรารินทร์, สุภัทรชัย สุกกล้า และ ปิติ สุขนครสุขกุล. “คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์.” ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
2. กฤษณะ เจริญคลังและมานุญ บุญมา. 2548. “การใช้ประโยชน์จากซีเมนต์ลอยสำหรับผลิตอิฐมวลเบา.” ปรินญาณีพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. ธนคม ปินะสา, พาริน ไวยิ่งยุทธ์และสมาน นิลสกุล. 2547. “อิฐประหยัดพลังงาน.” ปรินญาณีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
4. ชีรนุช วิทยานันต์. 2545. คู่มือชีวมวลเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง
5. บริษัท Professional Block จำกัด. เอกสารประชาสัมพันธ์อิฐ ProBlock 173 หมู่ 2 ต. อบทม อ. สามโก้ จ. อ่างทอง 14160
6. บริษัท Quality Construction Product จำกัด (มหาชน). (มิถุนายน 2550). คุณสมบัติพิเศษของคอนกรีตมวลเบา Q – CON. [Online]. Available : <http://www.qcon.co.th>
7. บริษัท SuperBlock จำกัด (มหาชน). (มิถุนายน 2550). Autoclave aerated concrete. [Online]. Available : <http://www.superblock.co.th>
8. มาตรฐานการผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 1505-2541. ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ – อบไอน้ำ. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม : หน้า 2-3
9. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. ASTM C -177. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม.
10. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. ASTM C -192. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม.
11. รัตนา สัมพันธ์ชิต. 2548. ชีวมวล โครงสร้างและหน้าที่ของชีวมวล. บริษัท สำนักพิมพ์เอ็มพันธ์ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้