รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางธรรมชาติ

A Study of Light Weight Concrete Mixed with Rice Husk Ash Added Natural-rubber Sheet

คณะผู้ดำเนินการวิจัย

นายประชุม คำพุฒ หัวหน้าโครงการวิจัย
ว่าที่ร้อยตรีกิตติพงษ์ สุวีโร ผู้ร่วมโครงการวิจัย

หน่วยงาน

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณแผ่นดินปี พ.ศ. 2553

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางธรรมชาติ

A Study of Light Weight Concrete Mixed with Rice Husk Ash Added Natural-rubber Sheet

คณะผู้ดำเนินการวิจัย

นายประชุม คำพุฒ หัวหน้าโครงการวิจัย
ว่าที่ร้อยตรีกิตติพงษ์ สุวิโร ผู้ร่วมโครงการวิจัย

หน่วยงาน

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณแผ่นดินปี พ.ศ. 2553

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

การศึกษาคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางธรรมชาติ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราและเสริมแผ่นยางพารา โดยทำการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบ โดยใช้อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ H/C=0.63, H/C=1.23, H/C=1.83, H/C=2.43 และ H/C=3.03 ตามลำดับ ทำการขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ขนาด 190 x 390 x 70 มิลลิเมตร เพื่อเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสม พบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบ คือ อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ H/C=1.83 และขั้นตอนที่ 2 นำอัตราส่วนที่เหมาะสมในขั้นตอนที่ 1 (H/C =1.83) มาทำการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ระหว่างคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบปกติ และคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารา โดยทำการทดสอบ ความหนาแน่น, การดูดซึมน้ำ, การเปลี่ยนแปลงความยาว และความต้านทานแรงอัด ตามมาตรฐาน มอก.58-2530 เรื่อง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก พบว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารา มีค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความต้านทานแรงอัด ใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา การเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารามีค่าน้อยกว่า และสามารถลดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบได้ต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราอยู่ประมาณ 1 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : **คอนกรีตมวลเบา,** แผ่นยางธรรมชาติ, เถ้าแกลบ, ความต้านทานแรงอัด, การดูดซึมน้ำ

A Study of Light Weight Concrete Mixed with Rice Husk Ash Added Natural-rubber Sheet

Abstract

This research aims to study the physical and mechanical properties of rice husk ash light weight concrete block reinforced with natural rubber sheet and no natural rubber sheet. The research is divided into 2 steps. Step 1: to test the properties of rice husk ash light weight concrete block for the optimal ratio selection. The ratio of rice husk ash to cement (H/C) is 0.63, 1.23, 1.83, 2.43, and 3.03, respectively. The hydraulic machine is used to form the samples in 190 x 390 x 70 mm of size. From the testing, the optimal ratio (H/C) of rice husk ash light weight concrete block is equal to 1.83. Step 2: to compare the properties and temperature of the rice husk ash light weight concrete block reinforce with natural rubber sheet and without natural rubber sheet by using the optimal ratio from step 1 (H/C=1.83). The testing is followed with TIS.58-2530 include density test, water absorption test, length change test, and compression test. The comparison result found that the properties of rice husk ash light weight concrete block reinforced with natural rubber sheet such as density, water absorption, and compressive strength are similar to the rice husk ash light weight concrete block without natural rubber sheet but length change property of rice husk ash light weight concrete block reinforced with natural rubber sheet is lower and it can reduce the interior temperature more than the rice husk ash light weight concrete block without natural rubber sheet about 1 degree Celsius.

Keywords : Light Weight Concrete**,** Natural-rubber Sheet, Rice Husk Ash, Compressive strength, Absorption

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก งบประมาณแผ่นดิน พ.ศ. 2553 ภายใต้โครงการสร้างความเข้มแข็งทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท วัสดุและผลิตภัณฑ์วิจัย จำกัด และ บริษัท เอ.เอ็ม.ที. ดีไซน์ แอนด์ คอนสตรัคชั่น จำกัด สำหรับความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	**ก**
กิตติกรรมประกาศ	**ค**
สารบัญ	**ง**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 น้ำยางธรรมชาติ	6
2.3 ทฤษฎีของวัสดุที่ใช้นำมาทดสอบ	10
บทที่ 3 วิธีการทดสอบ	**39**
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	39
3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	41
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	42
3.4 การทดสอบหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content)	44
3.5 การกำหนดส่วนผสมอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ	45
3.6 วิธีการผสมและการขึ้นรูปอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ	45
3.7 การทดสอบความต้านทานแรงอัด (Compressive Strength)	48
3.8 การทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ	49
3.9 การทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว	50
3.10 การทดสอบการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตบล็อก	51
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล	**52**
4.1 ผลการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ	52
4.2 ผลการทดสอบสมบัติของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารา	58
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	**61**
5.1 สรุปผลการทดสอบ	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	62

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	**63**
ภาคผนวก	**65**
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ	66
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ	77
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ	83
ภาคผนวก ง ภาพถ่ายจุลภาคของวัสดุวิจัย	89
ภาคผนวก จ ภาพถ่ายการทดสอบวัดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ	92

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าปัจจุบันโลกกำลังประสบกับปัญหาโลกร้อน หลายฝ่ายออกมาร่วมมือกันทั้งประเทศที่พัฒนาแล้วและประเทศที่กำลังพัฒนา เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็น น้ำท่วม ฝนตกหนัก แผ่นดินไหว สึนามิ เป็นต้น เกิดขึ้นในหลายประเทศส่งผลให้มีผู้คนล้มตายเป็นจำนวนมากผู้คนไร้ที่อยู่อาศัยและที่ทำกิน และปัจจุบันมีหน่วยงานหลายหน่วยออกมารณรงค์ให้ช่วยกันอนุรักษ์พลังงานให้ถูกวิธี ซึ่งกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานระบุว่าการใช้งานพลังงานในภาคที่อยู่อาศัยซึ่งเกิดจากอาคารบ้านเรือนมีสัดส่วนเป็นอันดับ 3 หรือ ร้อยละ 21 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของประเทศ [1]

ข้าวเป็นผลผลิตที่สำคัญของประเทศ ด้วยมาตรฐานที่ขึ้นชื่อทำให้ประเทศไทยสามารถส่งออกข้าวได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 จนถึงปัจจุบัน ในปี พ.ศ. 2551 มีการส่งออกข้าวประมาณ 10 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 203 ล้านบาท โดยมีปริมาณส่วนแบ่งการตลาดมากถึงร้อยละ 35 ดังนั้นอุตสาหกรรมผลิตข้าวจึงเป็นอุตสาหกรรมที่มีแกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันมีการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงสีขนาดกลางและขนาดใหญ่ ที่ใช้เครื่องจักรไอน้ำ และยังใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น โรงงานกระดาษ โรงงานเผาอิฐ เป็นต้น และการนำเถ้าแกลบไปใช้ประโยชน์ในปัจจุบันยังทำได้น้อยมากส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา เช่น การกองเก็บ และการกำจัดทิ้ง เถ้าแกลบที่เหลือจากการเผาไหม้แล้วจะมีปริมาณคิดเป็นร้อยละ 20- 25 ของแกลบ [2]

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่ปลูกมากที่สุดในโลกคือประมาณปีละ 2.5 ล้านตัน คิดเป็นถึง 1 ใน 3 ของผลผลิตทั่วโลก และบางช่วงราคายางพาราประสบปัญหาราคายางพาราตกต่ำ ทำให้สินค้าล้นตลาด จากผลิตภัณฑ์ต่างๆที่มียางพาราเป็นส่วนผสม เช่น การทำด้ามจับตะหลิว การทำหลังคาเพื่อป้องกันความร้อน การทำหมวกจากแผ่นยางพารา เป็นต้น [3]

ดังนั้นแนวความคิดในการนำเถ้าแกลบมาเป็นมวลรวมละเอียดผสมในอิฐบล็อกเสริมแผ่นยางพาราจึงเป็นการนำเถ้าแกลบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากข้าว พืชเศรษฐกิจอันดับหนึ่งและยางพาราพืชเศรษฐกิจอันดับสองของประเทศให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่ามากที่สุด และยังเป็นการพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่มีความสามารถเป็นฉนวนป้องกันความร้อน อันจะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาโลกร้อนในปัจจุบันได้

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาการเสริมแผ่นยางธรรมชาติลงในคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบ

2) เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางธรรมชาติ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1) ใช้แผ่นยางพาราจากจังหวัดสระแก้ว

2) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

3) ใช้เถ้าแกลบจากโรงสีข้าวจังหวัดปทุมธานี

4) ใช้ทรายก่อสร้างทั่วไป

5) เลือกส่วนผสมที่เหมาะสมของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบมาทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราและคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพารา

6) ทดสอบสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบ ทดสอบความหนาแน่น, การดูดซึมน้ำ และการเปลี่ยนแปลงความยาวตามมาตรฐาน มอก.58-2530 เรื่อง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

7) ขึ้นรูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบและทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบ ที่อาคารวิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

8) ทดสอบอุณหภูมิในห้องจำลอง บริเวณลานอเนกประสงค์ข้างสระน้ำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางธรรมชาติ

2) สามารถขึ้นรูปคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางธรรมชาติได้

3) ทราบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางธรรมชาติ

4) ทราบประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนความร้อนของคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางธรรมชาติ

5) ได้ผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางธรรมชาติไปผลิตใช้ในเชิงพาณิชย์

6) พัฒนาผลิตภัณฑ์ด้านวัสดุในงานก่อสร้างที่ช่วยประหยัดพลังงาน

7) สร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ ๆ จากยางธรรมชาติ

8) ช่วยลดปัจจัยเสี่ยงและชะลอการเกิดสภาวะโลกร้อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา คอนกรีตบล็อก หรือ อิฐบล็อก ผสมเถ้าแกลบเสริมยางพารานั้น สามารถสรุปได้ ดังนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การใช้เถ้าขยะชีวะมวลในการพัฒนานวัตกรรมผนังคอนกรีตมวลเบาเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคาร [4]

เกียรติชัย ทองแก้วจันทร์ และคณะ ได้ศึกษาการใช้เถ้าขยะชีวะมวลในการพัฒนานวัตกรรมผนังคอนกรีตมวลเบาเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารได้ใช้ส่วนผสมของวัสดุต่างๆในการทดสอบดังนี้ เถ้าแกลบ, เถ้าอ้อย, ทราย, น้ำ และ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยทำการทดสอบด้านต่างๆ ดังนี้ การทดสอบการรับกำลัง, การทดสอบค่าการนำความร้อน (k), การทดสอบอุณหภูมิภายในห้องจำลอง, เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ, การทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาว จากการศึกษา พบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของก้อนตัวอย่างจากเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ โดยผ่านมาตรฐานของการทดสอบต่าง ๆ คือ 30:15:35 (ปูนซีเมนต์: ทราย: เถ้าแกลบ) และ 20:15:65 (ปูนซีเมนต์: ทราย: เถ้าชานอ้อย) จากการทำทดสอบ เปรียบเทียบระหว่าง คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบ และ คอนกรีตบล็อกจากเถ้าชานอ้อย พบกว่า คอนกรีตบล็อกจากเถ้าชานอ้อยรับกำลังรับแรงอัด ได้ดีกว่า คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบ และ เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกจากเถ้าอ้อยมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบ, การทดสอบค่าการนำความร้อนจากกรมวิทยาศาสตร์ พบว่า แผ่นตัวอย่างของเถ้าแกลบมีค่าน้อยกว่าแผ่นตัวอย่างจากเถ้าชานอ้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เถ้าแกลบเป็นฉนวนที่ดีในการป้องกันความร้อนดีกว่าเถ้าชานอ้อย

2.1.2 การพัฒนาคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากฟางข้าว [5]

ปิติ พานิชายุนนท์ และคณะ ได้ศึกษาและพัฒนาคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากฟางข้าวที่เหลือใช้ในชุมชนจังหวัดพัทลุง ในการศึกษานี้พิจารณาที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกันหลายส่วนผสม และทำการผลิตส่วนผสมละ 5 ก้อนการทดสอบตัวอย่างจะทำการทดสอบน้ำหนัก ความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ และค่าแรงอัด จากผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มฟางข้าวเป็นส่วนผสมสามารถลดน้ำหนักและความหนาแน่นของตัวอย่างได้ ซึ่งอัตราส่วนโดยปริมาตรของ ดิน: ทราย: ซีเมนต์: ฟาง ที่ให้สมบัติของบล็อกดีที่สุด คือ 10:5:8:8 มีความหนาแน่น 1591 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าแรงกด 37.56 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ 19.84 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีฟางข้าว พบว่าน้ำหนักและความหนาแน่นลดลงอย่างเห็นได้ชัด คือ 29.38 เปอร์เซ็นต์ และ 47.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2.1.3 การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ [6]

ประชุม คำพุฒ ได้ศึกษาการนำน้ำยางธรรมชาติ (ยางพารา) มาใช้เป็นสารผสมเพิ่มในการปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ทำการทดลอง โดยใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์:ทรายบดละเอียด เท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก ปริมาณผงอะลูมิเนียมเท่ากับร้อยละ 0.3 ของส่วนผสมทั้งหมด อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50 โดยน้ำหนัก (ไม่รวมน้ำหนักของน้ำในน้ำยางพารา) ปริมาณปูนขาวเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และปริมาณยิปซัมเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ในการเตรียมน้ำยางพาราใช้สารแอมโมเนียเหลวเข้มข้นร้อยละ 15 ในสัดส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักน้ำยางพารา คอนกรีตต้องผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุในปริมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0, 0.10, 0.15 และ 0.20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ตามลำดับ ทำการผสมและอบไอน้ำตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 นำมาทดสอบค่าความหนาแน่น ค่ากำลังอัดและค่ากำลังดัด ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ค่าการดูดกลืนน้ำที่อายุ 7 และ 28 วัน ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ผลการวิจัยพบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจะแปรผกผันกับอัตราส่วนของน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ ในขณะที่ค่ากำลังดัดของคอนกรีตจะแปรผันตรงกับอัตราส่วนของน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ โดยที่เมื่อผสมน้ำยางพารามากขึ้น ค่ากำลังอัดจะลดลงแต่ค่ากำลังดัดจะเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นจะแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ ค่าการดูดกลืนน้ำจะแปรผันตรงกับอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว (ร้อยละการหดตัว) มีค่าไม่แน่นอนในแต่ละอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบปกติอยู่เล็กน้อย โดยปริมาณน้ำยางพาราที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้คือ การใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ 0.10 เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว น้ำยางพาราสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบปานกลางที่สามารถรับกำลังได้สูงและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดี

2.1.4 การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต [7]

สิทธิชัย ศิริพันธุ์ ได้ศึกษาการนำน้ำยางธรรมชาติสดมาใช้เพื่อพัฒนางานคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเทคนิคการผสมน้ำยางในคอนกรีตอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาถึงความสามารถเทได้และกำลังรับแรงของคอนกรีตผสมน้ำยางสดในสัดส่วน P/C = 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 ตามลำดับ ส่วนผสมคอนกรีตใช้ ซีเมนต์: ทราย: หิน เป็น 1:2:4 โดยน้ำหนัก แล้วหาค่าความสามารถเทได้ (Workability) จากนั้นจึงหล่อเข้าแบบมาตรฐานรูปลูกบาศก์ 15×15×15 ซม. และรูปคาน 15×15×75 ซม. เพื่อหากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) และกำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) ตามลำดับโดยบ่มชื้น 7 วัน ตามด้วยบ่มแห้งในอากาศที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับผลการวิจัย พบว่า น้ำยางผสมกับคอนกรีตได้ ด้วยการผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) สัดส่วน 4 % โดยน้ำหนักของซีเมนต์ โดยเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ Lutensol XL 80 (C10 –Guerbet Alcohol Alkoxylate) ทั้งนี้ สารแอมโมเนียเหลว (NH_3) ที่ผสมในน้ำยาง ไม่ทำให้กำลังคอนกรีตลดลง ด้านความสามารถเทได้ พบว่า คอนกรีตผสมน้ำยาง จะยุบตัวแบบฮวบ (Collapse Slump) ทั้งหมดขณะที่คอนกรีตปกติ จะมีค่าการยุบตัวที่ 7 ซม. ในด้านกำลัง พบว่า

2.2 น้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex) [8]

เมื่อกรีดน้ำยางด้วยมีดชนิดพิเศษ ให้เอียงจากซ้ายไปขวาประมาณ 20-30 องศา กับแนวนอน จะมีของเหลวไหลออกมา (น้ำยาง) สีขาวขุ่นข้นคล้ายน้ำนม หรือสีครีมซึมออกมา มีกลิ่นหอมเล็กน้อย และมีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัม / มิลลิลิตร มี pH ประมาณ 6.5-7.0 ความหนืด หรือส่วนประกอบน้ำยางอาจเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุต้นยางอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับปัจจัยต่างๆเช่นพันธุ์ยางอายุต้นยางฤดูกรีดยางเป็นต้นเมื่อนำน้ำยางที่กรีดได้ไปตรวจสอบจะพบว่ามีอนุภาคขนาดต่าง ๆ แขวนลอยหรือกระจาย (Disperse) อยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว (Dispersion Medium) อนุภาคเหล่านี้มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 5 ไมครอนและมีประจุเป็นลบซึ่งผลักกันตลอดเวลาจึงทำให้อนุภาคเหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงและสารตัวนี้โดยทั่วไปเรียกว่า “เซรุ่ม” (Serum)

น้ำยาง จัดเป็นสารละลายคอลลอยด์ (Colloidal Solution) ชนิดไฮโดรโซล (Hydrosol: สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย) แต่มีลักษณะพิเศษกว่า ไฮโดรโซลทั่วไป คือ น้ำยางมีลักษณะกึ่งชอบน้ำ (Hydrophilic: เป็นสารละลายได้ง่ายเมื่อมีน้ำเป็นตัวทำลาย) และไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic: เป็นสารละลายได้ยากเมื่อมีน้ำเป็นตัวทำละลาย) แต่ลักษณะไม่ชอบน้ำจะเด่นกว่านอกจากนี้น้ำยางยังประกอบด้วยสารที่ไม่ใช้ยาง เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และอนุมูลของโลหะ เป็นต้น

ส่วนประกอบของน้ำยาง แบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

1) เนื้อยาง	ร้อยละ 35
2) ส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง	ร้อยละ 65
2.1) น้ำ	ร้อยละ 55
2.2) ลูทอยด์ (Lutoid) และสารอื่น ๆ	ร้อยละ 10

ปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติอาจเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงร้อยละ 25-45 ขึ้นกับชนิดของพันธุ์ยาง อายุต้นยาง และฤดูกาล สำหรับสารพวกโปรตีน ประมาณครึ่งหนึ่งละลายอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำ อีกหนึ่งในสี่ถูกภาคยางและที่เหลือปะปนอยู่ในลูทอยด์

2.2.1 เนื้อยาง

เป็นอนุภาคของสารละลายไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากหน่วยของไอโซพรีนเชื่อมต่อกัน (ยาง 1 โมเลกุล ประกอบด้วยไอโซพรีน 2000-5000 หน่วย) แขวนลอยอยู่ในเซรุ่มน้ำยางที่ได้มีความหนาแน่นประมาณ 0.92 กรัม/มิลลิลิตร อนุภาคของยางมีรูปร่างทรงกลมและทรงรีคล้ายลูกแพร์มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.02-0.03 ไมครอน โมเลกุลมีขนาดใหญ่ละลายน้ำ และเมื่ออยู่ในสภาพน้ำยางสดผิวรอบอนุภาคจะถูกห่อหุ้มด้วยชั้นของสารพวกไขมันและโปรตีน นอกจากนี้ยังมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โปรแตสเซียม และทองแดง ปนอยู่ในส่วนของยางประมาณ 0.05%

2.2.2 ส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง

1) วัฏภาคน้ำ (Aqueous Phase) หรือที่เรียกว่า “เซรุ่ม” มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัม/มิลลิลิตร ประกอบด้วยสารต่าง ๆ ดังนี้

ก. คาร์โบรไฮเดรต

ได้แก่แป้งและน้ำตาลซึ่งจะถูกแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์เปลี่ยนเป็นกรดไขมัน เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซีติก และกรดโพรพิออนิก ทำให้น้ำยางเสียความคงตัวและจับตัวเป็นก้อน

ข. โปรตีน และกรดอะมิโน

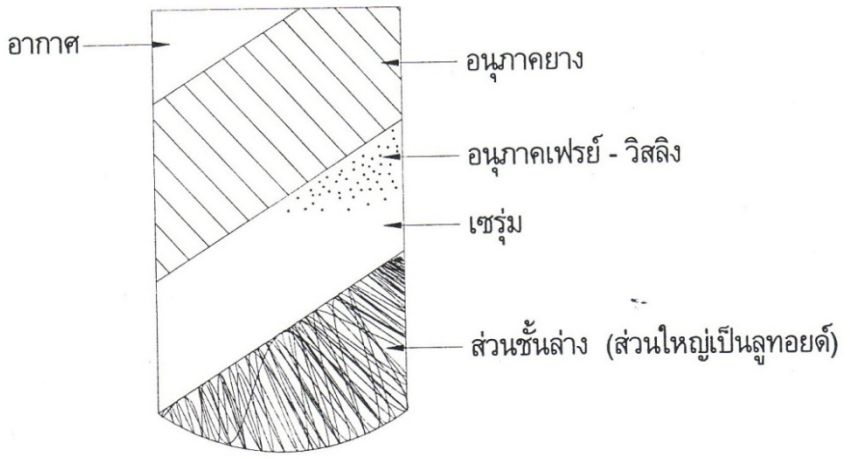
ที่สำคัญ ได้แก่ แอลฟากลูโบลิน และฮีวินซึ่งแอลฟากลูโบลินจะเป็นส่วนที่พบมากในน้ำยางสด มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในสารละลายของเกลือ กรด และด่าง ส่วนฮีวินมีน้ำหนัก โมเลกุลต่ำเพียงประมาณ 10,000 และสามารถละลายในน้ำได้

ค. ลูทอยด์

หรือที่เรียกว่า “วิสคอยด์” (Viscoid) เป็นส่วนประกอบของน้ำยางสดซึ่งถูกรายงานเป็นครั้งแรกโดยโฮแมน และแวนกิลส์ (Homan and VanGils) ในปี ค.ศ. 1948 จากการหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) น้ำยางสดจะพบว่าน้ำยางจะแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งมีสีขาว ประกอบด้วยอนุภาคของยางเป็นส่วนมาก อีกส่วนมีสีเหลืองแยกอยู่ชั้นล่าง ซึ่งมีประมาณร้อยละ 20-30 ของปริมาณทั้งหมด จากการศึกษาพบว่าส่วนขั้นล่างเป็นอนุภาคที่ไม่เกาะกันแน่นเรียกว่า “ลูทอยด์” เพราะเข้าใจว่าเป็นตัวทำให้เกิดสีเหลือง (มาจาก Lureous ที่แปลว่าสีเหลืองเข้ม) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5 ไมครอน (ใหญ่กว่าอนุภาคยาง) ปริมาณลูทอยด์ในน้ำยางจะมีผลต่อความหนืดและเสถียรละภาพของน้ำยางสด ลูทอยด์ มีสมบัติการเกิดปฏิกิริยาออสโมติกได้ง่าย ดังนั้นการเติมน้ำลงไปในน้ำยางมีผลทำให้ลูทอยด์เกิดการบวมตัวแล้วแตกออก ของเหลวที่อยู่ในลูทอยด์จะออกมาอยู่ในส่วนของเซรุ่มทำให้น้ำยางมีความหนืดเพิ่มขึ้นในการทำยางแท่งและยางแผ่นรมควันจะมีขั้นตอนที่ต้องเติมน้ำลงไปด้วยเพื่อทำให้น้ำยางเจือจางก่อนที่จะใส่กรดเข้าไป ทำยางจับตัวเป็นก้อน ดังนั้นจะมีส่วนของลูทอยด์ที่แตกออกเข้าไปอยู่ในก้อนยางซึ่งมีผลต่อสมบัติของน้ำยางเนื่องจากในลูทอยด์มีสารโลหะละลายอยู่ด้วย

นอกจากนี้ในการกรีดยาง ถ้าลูทอยด์เกิดแตกออกจะมีผลให้ยางจับตัวอุดท่อน้ำยางทำให้น้ำยางหยุดไหลได้เช่นกัน ผลของลูทอยด์อีกประการหนึ่งคือ เมื่อทำการแปรรูปน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางข้นด้วยการหมุนเหวี่ยงนั้นจะต้องมีการเติมแอมโมเนียลงเข้าไปเพื่อรักษาสภาพน้ำยาง ซึ่งแอมโมเนีย

การใช้เครื่องอัลตราเซนติฟิวจ์ (Ultracentrifuge) หมุนเหวี่ยงน้ำยางสดจะสามารถแยกน้ำยางออกเป็น 4 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ชั้นของน้ำยางเมื่อถูกหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องอัลตราเซนติฟิวจ์ [8]

2.2.3 การรักษาสภาพน้ำยาง

น้ำยางที่ได้จากต้นยางพาราเมื่อถูกทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งส่วนที่เป็นน้ำจะค่อย ๆ ระเหยไป ทำให้น้ำยางข้นขึ้น หรือถ้าน้ำยางถูกรบกวนจนทำให้สารที่ห่อหุ้มเม็ดยางแตกออก เม็ดยางจะจับกันเป็นก้อนเล็ก ๆ และถ้าสารที่ห่อหุ้มแตกออกมากก็จะเป็นก้อนใหญ่ยิ่งถ้าใส่กรดลงไปจะช่วยให้ยางจับตัวเป็นก้อนเร็วขึ้น ดังนั้นถ้าไม่เติมสารเคมีเพื่อป้องกันการจับตัวของยางแล้วน้ำยางจะคงสภาพอยู่ได้ไม่เกิน 3 ชั่วโมง แล้วจะจับตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ เรียกว่า “เม็ดพริก” และจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้นเมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไปปัจจัยสำคัญ ได้แก่ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในน้ำยาง อุณหภูมิและสมบัติความคงตัวของน้ำยางและพันธุ์

เมื่อน้ำยางเสียเสถียรภาพไปน้ำยางจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นเนื้อยางและส่วนที่เป็นเซรุ่ม ซึ่งภายหลังจะเกิดการบูดเน่าและมีกลิ่นเหม็นเนื่องจากการให้อาหารของจุลินทรีย์ในน้ำยาง ดังนั้นการกรีดน้ำยางต้องรีบเติมสารรักษาสภาพน้ำยางลงไป 2-3 ชั่วโมงเพื่อควบคุมการเกิดกรดไขมันซึ่งจะช่วยรักษาน้ำยางให้สดและเป็นของเหลวอยู่เสมอสารเคมีที่ใช้รักษาสภาพน้ำยางมีอยู่

การรักษาสภาพน้ำยางมีจุดมุ่งหมาย 2 ประการคือ

1) เพื่อเก็บรักษาระยะสั้น (Short-term Preservation) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาสภาพน้ำยางให้คงเป็นของเหลวในช่วง 2-3 วัน ก่อนนำไปทางแห้ง เช่น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และยางเครพ เป็นต้น หรือก่อนทำเป็นยางข้น สารที่ใช้เรียกว่า สารป้องกันน้ำยางจับตัว (Anticoagulant)

2) เพื่อเก็บรักษาระยะยาว (Long-term Preservation) มีวัตถุประสงค์เพื่อคงสภาพน้ำยางข้นไว้ในช่วงที่เก็บอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูปหรือรอการส่งน้ำยางข้นไปจำหน่ายต่างประเทศซึ่งควรเก็บไว้อย่างน้อย 1 เดือน สารที่ใช้รักษาสภาพน้ำยางข้นให้เป็นของเหลวอยู่ได้นาน ๆ เรียกว่า สารรักษาสภาพน้ำยาง (Preservatives)

สารที่ใช้รักษาสภาพน้ำยางควรมีสมบัติดังนี้

1) เป็นตัวทำละลายและขัดขวางการเพิ่มปริมาณยางแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ในน้ำยาง เพื่อไม่ให้มีโอกาสใช้อาหารในน้ำยางได้เติมที่

2) ส่งเสริมสภาวะการเป็นสารคอลลอยด์ของน้ำยาง โดยเพิ่มประจุที่ผิวของอนุภาคยาง ขณะที่น้ำยางออกจากต้นยางชั้นของโปรตีนห่อหุ้มอนุภาคยางจะมีประจุเป็นลบ และมีสภาพเป็นด่าง ดังนั้นสารรักษาสภาพน้ำยางควรเป็นด่างเพื่อเข้าไปเพิ่ม pH ให้กับน้ำยาง

3) เป็นสารที่ทำให้อนุมูลของโลหะหนักต่าง ๆ ไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาอาจขัดขวางปฏิกิริยาหรือทำให้ตกตะกอนออกมาเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ เนื่องจากอนุมูลโลหะหนักเป็นตัวการสำคัญในการเจริญอยู่ได้ของจุลินทรีย์ และเป็นสาเหตุทำให้ยางจับตัวโดยเฉพาะอนุมูลของแมกนีเซียม

4) สารที่ใช้ต้องไม่เป็นพิษกับทั้งคน และคุณภาพเนื้อยางไม่ควรทำให้สีของน้ำยางและเนื้อยางเปลี่ยนไป ไม่ควรมีกลิ่นรุนแรง ไม่ควรทำให้เกิดความยุ่งยากในการแปรรูปน้ำยาง ควรมีราคาถูก สามารถบรรจุภาชนะที่ให้ความปลอดภัย สะดวกต่อการเก็บรักษา และขนส่ง

2.2.4 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

เนื้อยางแห้ง ประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำยางประมาณร้อยละ 92 และสารที่ไม่ใช้น้ำยางประมาณร้อยละ 8 ซึ่งได้แก่ โปรตีน (Protein) กลูโคไซด์ (Glucosides) ลิพิด (Lipids) เกลือแร่ (Mineral Salts) และเอนไซม์ (Enzymes) สารที่ไม่ใช้ยางเหล่านี้ แม้มีเพียงเล็กน้อยแต่จะมีผลต่อการวัลคาไนซ์ยาง และสมบัติของยางเป็นอย่างมาก นอกจากนี้น้ำยางที่ได้จากต้นยางจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลสภาพดินฟ้าอากาศ ชนิดของดิน สภาพแวดล้อมของแปลงปลูกยาง พันธุ์ยาง การกรีด ความยาวของการกรีด อายุต้นยาง ความถี่ของการกรีด ช่วงเวลาของการกรีดยาง การใช้สารเคมีเร่งน้ำยาง และปัจจัยอื่น ๆ (เช่น การทำความสะอาดถังใส่ยาง การกรีดยางในฤดูฝน ซึ่งจะมีน้ำฝนหลงเหลือในถ้วยยาง เป็นต้น)

เนื่องจากโมเลกุลของยางไม่อิ่มตัว และมีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดี คือ พันธะคู่ และหมูแอลฟาเมทิลีน (α Merhylene Group) ในโพลิไอโซพรีนจะว่องไวต่อการวัดคาไนซ์ด้วยกำมะถัน ส่วนข้อเสีย คือ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนและโอโซน

ยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว จึงสามารถทำปฏิกิริยากับตัวออกซิไดส์ (Oxidizing Agents) เช่น เปอร์ออกไซด์ กรดเปอร์ออกซี (Peroxy Acid) โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium Permanganate) โอโซน คลอรีน และ อื่น ๆ

นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังสามารถเกิดปฏิกิริยากับ “ไฮโดรเจน” ได้เป็นยางไฮโดนจิเนเตด (Hydrogenared Rubber) กับ “คลอรีน” ได้เป็นยางคลอริเนเตด (Chlorinated Rubber) กับ “ไฮโดรเจนคลอไรต์” ได้เป็นยางไฮโดรคลอริเนเตด (Hydrogenared Rubber) และอาจเกิด “ปฏิกิริยาไซไคลเซชัน” (Cyclization Reaction) ได้เป็นยางไซไคลซ์ (Cyclized Rubber)

สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ของยางธรรมชาติ อาจเปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อยจากการมีสารที่ไม่ใช่ยางปะปนอยู่และจากระดับของการเกิดผลึก (Degree of Crystallinity) ซึ่งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ยางธรรมชาติสามารถเกิดผลึกได้ และมีผลทำให้ความหนาแน่นเปลี่ยนจาก 0.92 เป็นประมาณ 0.95 กรัม/มิลลิลิตร

2.3 ทฤษฎีของวัสดุที่ใช้นำมาทดสอบ

2.3.1 ปูนซีเมนต์ (Cement)

<u>ปูนซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทย</u>

ในการก่อสร้างอาคาร ถนน ลานบิน สะพาน เขื่อน และอื่น ๆ ที่กำลังสร้างอยู่ในปัจจุบันเกิดขึ้นจากการใช้ปูนซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยทั้งสิ้น เว้นแต่บางปีการผลิตปูนซีเมนต์ไม่ทันกับการใช้ จึงต้องสั่งปูนซีเมนต์จากต่างประเทศเข้ามาใช้ เช่น ปัจจุบันก็มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิด 1 ได้ส่งเข้ามาสมทบกับปูนซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศใช้ตราดอกจิก ซึ่งสั่งจากไต้หวันโดยสามบริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์ร่วมกัน แต่ละบริษัทได้กำหนดปูนซีเมนต์ไว้ดังนี้

1) บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด เป็นบริษัทแรกที่ผลิตเมื่อ 14 มิถุนายน 2456 (68 ปี มาแล้ว) ปัจจุบันมีผลิตอยู่ 4 ตราดังนี้

- ปูนซีเมนต์ตราเสือ บางทีเรียก ซิลิก้าซีเมนต์ เป็นการนำทรายบดเข้าผสม กับ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ตราช้าง) ด้วยอัตราร้อยละ 30 เพื่อช่วยลดการหดตัว ทำให้ผิวไม่แตกร้าวและลดราคาก่อสร้างลง ทั้งให้กำลังต่ำ เหมาะสมกับงานที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก เช่น หล่อกระเบื้องปูพื้น การผสมทำปูนก่อ – ฉาบ การหล่อคอนกรีตทางเดินภายในอาคาร เป็นต้น

- ปูนซีเมนต์ตราช้าง เป็นปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติเทียบได้กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐาน ASTM C 150 -58 ของอเมริกา หรือ BS 12 ของอังกฤษ เป็นปูนซีเมนต์เนื้อแท้ ที่ใช้ทำงานก่อสร้างทั่วไป มีความแข็งแรงเต็มที่ เวลาการแข็งตัวก็เป็นไปอย่างปกติ เหมาะที่ใช้กับการรับกำลังในโครงสร้าง เช่น หล่อคอนกรีตของฐานราก คาน เสา และโครงหลังคา เป็นต้น [9]

- ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ เป็นปูนซีเมนต์แข็งตัวได้เร็ว มีอายุของคอนกรีตเพียง 7 วัน ก็มีความแข็งแรงเท่ากับการใช้ปูนซีเมนต์ตราช้างที่มีอายุ 28 วัน เหมาะที่ใช้กับงานเร่งด่วน อาจเป็นการเทพื้นถนนที่มียวดยานคับคั่ง หรือลานบิน หรืออาคารที่ต้องการความแข็งแรงอย่างรวดเร็ว

- ปูนซีเมนต์ตราช้างเผือก ใช้เพื่อตกแต่งและการทำหินขัด หินล้าง หินปู กระเบื้องเคลือบ กระเบื้องโมเสด และงานทางสถาปัตยกรรมอื่น ๆ

2) บริษัทชลประทานซีเมนต์ จำกัด เบื้องต้นก็ผลิต เพื่อการก่อสร้างเขื่อน และงานของกรมชลประทานเท่านั้น ต่อมาก็ขยายงานออกใช้ทั่วไปดังนี้

- ตรางูเห่า เป็นปูนซีเมนต์ที่นำหินบดเข้าผสม มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับปูนซีเมนต์ตราเสือ
- ตราพญานาคเศียรเดียวสีเขียว มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับตราช้าง
- ตราพญานาคเศียรเดียวสีแดง เป็นปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็วเช่นเดียวกับปูนซีเมนต์เอราวัณ
- ตราพญานาค 7 เศียร เทียบได้กับปูนซีเมนต์ชนิด 2 ของ ASTM
- ตราปลาฉลาม เป็นปูนซีเมนต์ต้านทานเกลือซัลเฟต เหมาะที่ใช้กับงานสร้างใกล้ทะเลหรือบริเวณเขื่อนที่ต้องสัมผัสกับน้ำเค็ม เทียบได้กับปูนซีเมนต์ชนิด 5 ของ ASTM

3) บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด มี 3 ตราดังนี้

- ตรานกอินทรีย์ เทียบได้กับตราเสือ
- ตราเพชร เทียบได้กับตราช้าง
- ตราสามเพชร เทียบได้กับตราเอราวัณ

<u>ชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์</u>

ตามมาตรฐาน ASTM C 150 The American Society for Testing Material ได้กำหนดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมกับงานก่อสร้างได้ 5 ชนิด ดังนี้

1) ชนิด 1 Normal Portland Cement บางที่เรียก Standard Portland cement เป็นชนิดมาตรฐานเหมาะที่จะให้กับงานก่อสร้างทั่งไปโดยเฉพาะงานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete) ในงานอาคาร สะพาน ผิวถนน ลานบิน และอื่น ๆ ได้ ประเทศไทย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราพญานาคเศียรเดียวสีเขียว ตราเพชร และตราดอกบิกปูนซีเมนต์

2) ชนิด 2 Modified Portland cement เป็นชนิดที่ผลิตขึ้นเพื่อต้านทานเกลือซัลเฟต เมื่อปูนซีเมนต์มีปฏิกิริยากับน้ำ (Hydration) จะเกิดความร้อนต่ำ และเพิ่มขึ้นช้ากว่าปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1 เหมาะที่จะนำมาใช้กับงานคอนกรีตหลา (Mass Concrete) อุณหภูมิจะค่อยเพิ่มไม่ทำให้ เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนในคอนกรีต ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาค 7 เศียร

3) ชนิด 3 High-early strength Portland cement เป็นชนิดของปูนซีเมนต์ ที่ให้กำลังรวดเร็วในช่วงอายุ 24 ชั่วโมง จะมีความแข็งแรงของคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ชนิดที่ I ที่อายุ 3 วัน และอายุ 7 วัน เท่ากับปูนซีเมนต์ชนิด I อายุ 28 วัน เป็นต้น จึงเหมาะที่จะนำมาใช้กับงานที่ต้องการเร่งด่วน เช่น ถนนที่มีการสัญจรคับคั่ง สนามบินจะต้องเปิดใช้ และยังเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับช่วงที่มีอากาศหนาว (Cold weather) เพื่อให้คอนกรีตแข็งตัว ได้อย่างรวดเร็วก่อนที่น้ำที่ผสมจะแข็งตัวเสียก่อน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ของไทยตราเอราวัณตราสามเพชร และตราพญานาคเศียรเดียวสีแดง

4) ชนิด 4 Low–Heat Portland Cement เป็นปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษ มีอัตราความร้อนต่ำและกำลังก็เพิ่มขึ้นช้า ๆ เหมาะที่จะเลือกใช้กับงานสร้างเขื่อนขนาดใหญ่

5) ชนิด 5 Sulfate–resistant Portland cement เป็นการจงใจที่ให้ต้านทานซัลเฟต เช่น การสร้างในบริเวณใกล้ทะเล หรือมิฉะนั้นก็อยู่ในดินเค็ม เทียบปูนซีเมนต์ในประเทศไทย ได้กับตราปลาฉลามของบริษัทปูนซีเมนต์เอเชีย

ตารางที่ 2.1 สารประกอบและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทหนึ่งถึงห้า

ข้อกำหนดทางเคมีเพิ่มเติม	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท				
	1	2	3	4	5
C_3S	49	46	56	25	43
C_2S	25	29	15	50	36
C_3A	12	6	12	5	5
C_4AF	8	12	8	12	13
ความละเอียด (เบลน, ตร.ซม/กรัม)	3,000	3,000	4,500	3,000	3,000
กำลังอัด (3 วัน, กก/ซม)	180	150	310	80	120
ความร้อนปฏิกิริยา (28 วัน, จูล/กรัม)	400	330	430	270	310

หมายเหตุ กำลังอัดวัดจากลูกบาศก์มอร์ต้าร์ขนาด 50 มม.

ส่วนปูนซีเมนต์ตราเสือ ตรางูเห่า และตรานกอินทรีย์ เป็นพวกซิลิก้าซีเมนต์ โดยนำทรายหรือหินบดให้ละเอียด ผสมเข้าไปในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิด ประมาณร้อยละ 25 – 30 เพื่อให้มีคุณสมบัติง่ายต่อการใช้งาน [9] ลดการหดตัวเมื่อเกิดการก่อตัวของปูนซีเมนต์ ซึ่งทำให้ไม่เกิดการแตกร้าว ราคาถูก เหมาะสำหรับอาคารเล็กและงานก่ออิฐฉาบปูน เพราะไม่รับกำลังมากนัก

<u>องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์</u>

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วยออกไซด์หลัก (Major Oxides) และออกไซด์รอง (Minor Oxides) ออกไซด์หลักได้แก่แคลเซียมออกไซด์ (CaO), ซิลิก้า (SiO_2), อลูมินา (Al_2O_3) และเฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) รวมกันได้กว่าร้อยละ 90 ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์รอง (Minor Oxide) ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ออกไซด์ของอัลคาไล (Na_2O) และ (K_2O) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) และยังมีส่วนประกอบของออกไซด์อื่นผสมอยู่บ้าง เช่น ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) และฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P_2O_5) นอกจากนี้ยังมีสิ่งที่แปลกปลอมและส่วนประกอบอื่นซึ่งจะจัดรวมอยู่ในการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition) และกากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (Insoluble residue) ออกไซด์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยากัน และรวมตัวกันอยู่ในรูปของสารประกอบที่มีรูปร่างต่าง ๆ

1) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate) $3CaO.SiO_2(C_3S)$

2) ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate) $2CaO.SiO_2(C2_S)$

3) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Alumnate) $3CaO.Al_2O_3(C_3A)$

4) เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium Aluminoferrite) $4CaO.A1_2O.Fe_2O_3(C_4AF)$

<u>คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์</u>

ตามข้อกำหนดเพื่อการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM ให้มีคุณสมบัติเทียบปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ดังนี้

1) ความละเอียด (Fineness) ASTM C 115 หรือ C 204 เป็นคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (Hydration) ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากจะทำให้เกิดกำลังได้เร็ว เพียง 7 วัน ก็สามารถรับกำลังได้เต็มที่ [10]

2) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ASTM C 188, C 204 การทดลองซีเมนต์ปอร์ตแลนด์พบว่าอยู่ในค่าเฉลี่ยประมาณ 3.12 ถึง 3.16 แต่ปูนซีเมนต์ตราเสือ 2.90 ตราเอราวัณ และตราช้าง 3.05 ค่าเหล่านี้จะนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Mixed Design)

3) ความอยู่ตัว (Soundness) ASTM C 151 เป็นการทดสอบทางกายภาพ โดยการหาความสามารถในการแข็งตัวของซีเมนต์เพสท์ (Hardened Cement Paste) ที่คงอยู่ในสภาพปริมาตรภายหลังการก่อตัวแล้ว

4) เวลาของการก่อตัว (Time of Setting) ASTM C 226 หรือ C 191 การก่อตัวเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของปูนซีเมนต์ที่เกี่ยวข้องกับเวลา เป็นความจำเป็น ที่จะต้องให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวนานพอที่จะทำการเท แต่งผิว ในช่วงเวลาดังกล่าว จึงต้องกระทำงานให้เสร็จก่อน

การทดลองการก่อตัวได้แบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ การก่อตัวครั้งแรก (Initial set) การทดสอบไวแคท (Vicat) ใช้เวลาไม่น้อยกว่า 45 นาที แต่การทดสอบแบบกิลล์มอร์ (Gilmore) ใช้เวลาไม่น้อยกว่า 60 นาที ส่วนการก่อตัวครั้งสุดท้าย (Final Set) เกิดขึ้นไม่น้อยกว่า 10 ชม. แต่ปูนซีเมนต์ตราช้างหรือตราเสือ มีเวลาก่อตัวครั้งแรก 90 นาที นับว่าให้ประโยชน์ที่จะลำเลียงคอนกรีตหรือปูนก่อแม้กระทั่งการตกแต่งได้นานขึ้น

5) กำลัง (Strength) ASTM C 109 หมายถึง ความสามารถในการรับกำลังอัด (Compressive strength) ปูนซีเมนต์ในลักษณะที่เป็นคอนกรีตประการหนึ่ง กับการทดสอบกำลังอัดด้วยก้อนลูกบาศก์ของมอร์ต้าร์ (Mortar) ตามมาตรฐาน ASTM 109 โดยนำก้อนตัวอย่างทดลองไปกดตามอายุ 7 และ 28 วัน ผลลัพธ์จะเป็นการรับกำลังต่อหน่วยพื้นที่ เช่น กก./ตร.ซม. เป็นต้น

ส่วนการทดสอบการรับแรงดึง (Tensile Strength) หล่อมอร์ต้าร์รูปบริเคท (Briquettes) เป็นรูปโค้งหัวมน 2 ข้าง เพื่อการจับยึด ตอนกลางมีพื้นที่ 1 ตร.นิ้ว มีการทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM C 190 และ BS 12 กำลังต่อหน่วยพื้นที่เช่นเดียวกัน

6) ความร้อนที่เกิดเนื่องจากปฏิกิริยากับน้ำ (Heat of Hydration) เป็นความร้อน ที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ในปูนซีเมนต์ธรรมดา (Normal) ชนิด 1 มีค่าระหว่าง 85 -

7) การทดสอบความข้นเหลว (Consistency test) โดยการทดลองใส่น้ำลงร้อยละ 25 โดยน้ำหนักในปูนซีเมนต์จำนวน 500 กรัม แล้วนำเครื่องทดลองไวแคทด้านที่เรียก Plunger มาปล่อยในซีเมนต์เพสท์ให้จมในเวลา 30 วินาที อ่านค่าทรุดตัว (Penetration) เป็น มม. จากนั้นเพิ่มน้ำขึ้น 1-2 ลบ.ซม. จนกระทั่งน้ำรวมทั้งสิ้นที่ทดลองผสมประมาณร้อยละ 30 นำค่า มาเขียนกราฟเส้นนอน เป็นระยะการทรุดตัวของ Plunger ด้านตั้งเป็นจำนวนน้ำ ลบ.ซม. (CC) ให้ลากเส้น จากส่วนการทรุดตัวที่ 10 มม. ไปสัมผัสกับเส้นโค้งในกราฟ แล้วขีดเส้นฉากไปทางเส้นตั้งที่แสดง จำนวนน้ำที่ใส่คิดเป็นร้อยละ จากนั้นก็เอาจำนวนน้ำ ตั้ง แล้วหารด้วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ (ตราเดียวกัน) คูณด้วย 100 ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นจำนวน ร้อยละของน้ำที่พอดี สำหรับความข้นเหลวที่พอเหมาะ เพื่อความแข็งแรงมากที่สุด

<u>ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อนด้วยคลอไรด์</u>

1) ชนิดของปูนซีเมนต์และคุณภาพของคอนกรีตคลอไรด์บางส่วนถูกกัดกร่อน หรือดูดกลืนโดยผลิตผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น C_3A แต่ยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นการดูดกลืนที่ผิวหรือไม่ แต่คลอไรด์จะเข้ามารวมกับสารผลิตภัณฑ์ของเกือบทั้งหมด กลายเป็นเกลือฟรีเดล (Friedels Salt) $3CaO.Al_2O_3.CaCl_2.10H_2O$ หรือสารละลายมีความเข้มข้นสูง จะเกิดแคลเซียมออกซีคลอไรด์ด้วย ความสามารถในการกักเก็บปริมาณคลอไรด์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะขึ้นอยู่กับ C_3A ยิ่งมากก็ยิ่งดี ดังนั้นถ้าปูนซีเมนต์มีความสามารถกักเก็บมากเท่าไรก็ย่อมจะทำให้การซึมผ่านของคลอไรด์เข้าไปในคอนกรีตได้ ช้าลงไปเท่านั้น และจะทำให้ช่วงเริ่มต้น (Initial period) ของการกัดกร่อนช้าออกไป แสดงผลเนื่องจากปริมาณของ C_3A ต่อช่วงเริ่มต้นได้และในที่นี้สามารถสรุปต่อไปได้อีกว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาที่มี C_3A สูงกว่าย่อมดี กว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตส่วนประกอบของคอนกรีตและอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม มีความสำคัญกับโครงสร้างของโพรง เมื่อเพิ่มระดับของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ความสามารถซึมผ่านได้ลดลง ซึ่งจะเป็นจริงเมื่อคอนกรีตไม่มีการสูญเสียน้ำเท่านั้น หากมีการสูญเสียน้ำระดับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเปลี่ยนไปตามระยะของผิว เนื่องจากการลดลงของความชื้นทำให้ความ สามารถในการซึมได้เพิ่มมากขึ้น หากบ่มคอนกรีตไว้นานการซึมผ่านคลอไรด์ก็จะลดลง นอกจากนี้หารทำให้คอนกรีตแน่นไม่เพียงพอ การแพร่ของคลอไรด์ก็จะเพิ่มขึ้น

2) อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ และประเภทของปูนซีเมนต์จะเป็นตัวบอกคุณภาพด้านความซึมผ่านได้ต่ำของคอนกรีต คุณภาพดังกล่าวขึ้นอยู่กับการทำให้คอนกรีตแน่นและเงื่อนไขการบ่มความซึมผ่านได้สำหรับคลอไรด์ของ คอนกรีตผสมสารปอซโซลานิกที่บ่มอย่างดีจะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมสารปอซโซลานที่มีส่วนผสมเหมือนกัน และพบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตซึ่งมี C_3A ต่ำ ทำให้ค่าต่อการต้านทานการแพร่ของคลอไรด์ต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เถ้าชานอ้อยสามารถช่วยลดการซึมผ่านของคลอไรด์ได้ดี และการเพิ่มปริมาณของเถ้าลอยช่วยลดการซึมผ่านได้ โดยผลกระทบจากปริมาณการแทนด้วยเถ้าชานอ้อยระหว่างร้อยละ 15-35 โดยน้ำหนัก มีความสำคัญต่อการลดการซึมผ่านได้มากกว่า ผลจากการลดอัตราส่วน w/b

2.3.2 วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan material)

ปอซโซลานเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างมาตั้งแต่สมัยโบราณกว่า 2000 ปีแล้ว และในปัจจุบันก็ยังเป็นที่นิยมกันอยู่ ในสมัยโบราณได้นำเอาวัสดุพวกปอซโซลาน เช่น เถ้าจากภูเขาไฟมาผสมกับปูนขาวเพื่อผลิตเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (hydraulic cement) มีรายงานว่าได้มีการใช้ส่วนผสมของปอซโซลาน 2 ส่วน ต่อปูนขาว 1 ส่วนมาใช้ในการก่อสร้าง โดยมีไขมัน นมและเลือดจากสัตว์เป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้งาน และสิ่งก่อสร้างที่ทำจากปอซโซลานนั้นก็ยังมีความคงทนมาจนถึงทุกวันนี้

ปอซโซลานเป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็น ซิลิกา หรือซิลิกา และอะลูมินา มีสมบัติในการยึดประสานเล็กน้อย หรือไม่มีเลย แต่เมื่อบดจนเป็นผงละเอียดจะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือปูนขาว ที่อุณหภูมิปกติและเมื่อมีความชื้นแล้วเกิดเป็นสารประกอบซึ่งมีสมบัติในการยึดประสาน

วัสดุจำพวกปอซโซลานที่นำมาใช้ประโยชน์มีที่มาจาก 2 แหล่งได้แก่

1) ปอซโซลานจากธรรมชาติ (Natural Pozzolan) และปอซโซลานที่ได้จากขบวนการผลิต (Artificial Pozzolan)

2) ปอซโซลานที่มาจากธรรมชาติ ได้แก่ ไดอะตอมมาเชียสเอิร์ธ (Diatomaceous Earth) เถ้าภูเขาไฟ เปลือกหอย หินภูเขาไฟ

วัสดุเหล่านี้เมื่อจะนำไปใช้งานจะต้องนำไปผ่านขบวนการต่าง ๆ ก่อนจึงจะนำไปใช้งานได้ เช่น การเผา การบด และการทำให้แห้ง เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการนำเอาปอซโซลานจากธรรมชาติไปใช้ประโยชน์ในการสร้างเขื่อน และสะพาน เพื่อช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำ และช่วยเพิ่มความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากซัลเฟตและช่วยในการควบคุมปฏิกิริยาระหว่างด่างกับซิลิกา นอกจากนี้ยังมีผลพลอยได้ในการลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างอีกทางหนึ่งด้วย

ปอซโซลานที่ได้จากขบวนการผลิต ได้แก่ เถ้าลอยที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาไหม้แกลบและชานอ้อยในการผลิตกระแสไฟฟ้า เถ้าลอยประกอบด้วยอนุภาคทรงกลมของซิลิกาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญประมาณ 66 – 68 % เถ้าลอยบางชนิดสามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วกับปูนขาวและด่าง เกิดเป็นสารประกอบที่มีแรงยึดประสาน แต่เถ้าลอยบางชนิดก็สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำและแข็งตัวได้เช่นเดียวกันตาม ASTM C 618 ได้จำแนกปอซโซลานออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพ ได้แก่

1) ชั้นคุณภาพ N เป็นปอซโซลานจากธรรมชาติหรือปอซโซลานจากธรรมชาติที่ผ่านขบวนการเผาแล้วเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ

2) ชั้นคุณภาพ F เป็นเถ้าลอยที่ได้จากการเผาถ่านหินแอนทราไซต์ (Anthracite) หรือบิทูมินัส (Bituminous) เถ้าลอยในชั้นคุณภาพนี้มีคุณสมบัติเป็นปอซโซลาน

3) ชั้นคุณภาพ C เป็นเถ้าลอยที่ได้จากการเผาถ่านหินลิกไนต์ (Lignite) หรือซับบิทูมินัส (Sub bituminous) เถ้าลอยในชั้นคุณภาพนี้นอกจากจะมีคุณสมบัติเป็นปอซโซลานแล้วยังมีคุณสมบัติเหมือนกับปูนซีเมนต์อีกด้วยคือสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วเกิดแรงยึดประสานได้เลย เถ้าลอยในชั้นคุณภาพนี้อาจมีปูนขาวปนอยู่มากกว่า 10 %

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของปอซโซลานทั้ง 3 ชั้นคุณภาพ

เกณฑ์กำหนดองค์ประกอบทางเคมีของปอซโซลานทั้ง 3 ชั้นคุณภาพ เป็นไปตามตารางต่อไปนี้			
ชั้นคุณภาพ			
ผลรวมของซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	N	F	C
ไอร์ออนออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	7.0	7.0	5.0
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ร้อยละ ไม่เกิน	4.0	5.0	5.0
ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	3.0	3.0	3.0
การสูญเสียเนื่องจากการเผา ร้อยละ ไม่เกิน	6.0	6.0	6.0

จะเห็นได้ว่าวัสดุปอซโซลานแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงควรมีการตรวจสอบคุณภาพให้แน่ใจเสียก่อนเพื่อจะได้นำไปใช้งานได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำเกิดเป็น $Ca(OH)_2$ โดย $Ca(OH)_2$ เกิดจากปฏิกิริยาของไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ที่เป็นสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ ส่วนปฏิกิริยาของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A) และเตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C_4AF) จะไม่ก่อให้เกิด $Ca(OH)_2$ ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$2C_3S + 6H_2O \longrightarrow CSH + 3Ca(OH)_2 \qquad (2.1)$$

$$2C_3S + 4H_2O \longrightarrow CSH + Ca(OH)_2 \qquad (2.2)$$

โดย $C_3S = 3CaO.siO_2$ และ $C_2S = 2CaO.siO_2$

CSH คือแคลเซียมซิลิเกตไอเดรต มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานที่มีส่วนประกอบทางเคมี คือ $3CaO.2SiO_2.3H_2O$ และ เมื่อมี $Ca(OH)_2$ ปฏิกิริยาปอซโซลานก็จะเกิดขึ้นดังสมการที่ 2.3

$$Ca(OH)_2 + \text{วัสดุปอซโซลาน} + H_2O \longrightarrow \text{ตัวเชื่อมประสาน} \qquad (2.3)$$

ปฏิกิริยาปอซโซลานมีความแตกต่างจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ คือ

(1) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดช้ากว่า (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความละเอียดหรือพื้นที่ผิวของวัสดุปอซโซลาน) ทำให้ปริมาณความร้อนที่เกิดต่ำ และการพัฒนากำลังช้ากว่า

(2) เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ $Ca(OH_2)$ ส่วนปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ของปูนซีเมนต์เป็นปฏิกิริยาที่ผลิต $Ca(OH)_2$ ดังนั้นปฏิกิริยาที่เกิดส่วนมากต้องรอให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นก่อน

(3) ทำให้มีตัวเชื่อมประสานมากขึ้นซึ่งจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตให้ดีขึ้น เช่น คุณสมบัติด้านกำลังอัด ความคงทน การต้านความซึมผ่านของน้ำและการเป็นฉนวนกันความร้อน [11]

วัสดุปอซโซลานชนิดอื่น

นอกจากวัสดุปอซโซลานดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีการพัฒนาวัสดุปอซโซลานใหม่ขึ้นมาใช้ แต่วัสดุปอซโซลานที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ยังขาดข้อมูลการวิจัยเชิงลึกเพื่อนำไปใช้งานจริง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม ซึ่งโดยหลักการแล้ววัสดุปอซโซลานเหล่านี้จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านการรับกำลังและความคงทนของคอนกรีตเป็นหลัก ซึ่งวัสดุปอซโซลานที่จะกล่าวถึงในที่นี้ประกอบด้วย เมทาเคาสิน เถ้าขี้เลื่อยไม้ เถ้าภูเขาไฟ และเถ้าขยะ [11]

2.3.3 เถ้าชีวมวล

ตามมาตรฐาน ASTM C 618-80 เถ้าชีวมวลเป็นของแข็งเม็ดกลมมีความละเอียด ซึ่งลอยขึ้นมาพร้อมกับอากาศที่ร้อน ที่เกิดจากการเผาไหม้ของแกลบและชานอ้อยรวมทั้งวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่บดละเอียด (Pulverized Coal) ในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า และจะถูกจับด้วยเครื่องดักจับ (Precipitator) หลังจากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังถังเก็บ ซึ่งแกลบและชานอ้อยใช้เป็นเชื้อเพลิง เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิสูงในเตาเผา คุณสมบัติของสารประกอบต่าง ๆ ในขี้เถ้าจะเปลี่ยนไป ทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในเตาเผา รวมทั้งวิธีการที่ทำให้เย็นตัว

ปฏิกิริยาของเถ้าชีวมวล

1) CSH จะทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมประสานในส่วนผสมของคอนกรีตจับตัวกันส่วน CH ที่เกิดขึ้นนี้ประมาณ 25 % โดยปริมาตร ซึ่งไม่ก่อใช้เกิดประโยชน์อันใด เช่นเกิดเป็นฟิล์มบนผิวของคอนกรีตทำให้การจับยึดกันระหว่างมวลรวมและมอร์ต้าไม่ดีนัก ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้สารประกอบ 2 ชนิด คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CH)

$$\text{ปูนซีเมนต์+น้ำ} \longrightarrow +\text{CSH}+\text{Ca(OH)}_2 \qquad (2.4)$$

2) CSH จะทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมประสานในส่วนผสมของคอนกรีตจับตัวกันส่วน CH ที่เกิดขึ้นนี้ประมาณ 25 % โดยปริมาตร ซึ่งไม่ก่อใช้เกิดประโยชน์อันใด เช่นเกิดเป็นฟิล์มบนผิวของคอนกรีตทำให้การจับยึดกันระหว่างมวลรวมและมอร์ต้าไม่ดีนัก

ลักษณะการทำงานของเถ้าชีวมวล

1) เมื่อใส่เถ้าชีวมวลผสมเข้าไป SiO_2 ที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในเถ้าชีวมวล จะทำปฏิกิริยากับ CH และก่อให้เกิด CSH เพิ่มขึ้น

$$\text{Ca(OH)}_2 + \text{SiO}_2 \text{ จาก PFA} + \text{น้ำ} \longrightarrow \text{CSH} \qquad (2.5)$$

2) CSH ซึ่งมีหน้าที่เป็นกาวที่เพิ่มขึ้น จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตให้ดีขึ้น ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติด้านกำลังอัด, ความทนทาน และการต้านการซึมผ่านของน้ำ เป็นต้น

ประโยชน์และการใช้งานของเถ้าชีวมวล

1) ลดการเยิ้ม (Bleeding) และแนวโน้มการแยกตัวของอิฐบล็อก

2) อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันช้า ดังนั้นความร้อนจากปฏิกิริยาจะลดลง

3) เพิ่มความทนทานของอิฐบล็อก ด้วยเหตุผล 2 ประการคือ

3.1) ปริมาณน้ำที่ใช้จะลดลงเมื่อต้องการความสามารถก่ออิฐได้ที่เท่ากัน

3.2) ปฏิกิริยาระหว่างเถ้าชีวมวลกับ $Ca(OH)_2$ ทำให้ช่องว่างในเนื้ออิฐบล็อกลดลง

ซึ่งวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ในเถ้าชีวมวล มี 2 ชนิด ดังนี้

1) เถ้าแกลบ (Chaff Fuel Ash)

2) เถ้าชานอ้อย (Sugar Cane Fuel Ash)

1) เถ้าแกลบ (Chaff Fuel Ash)

ข้าวเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญมาก ในปีหนึ่งจะมีการเก็บเกี่ยวข้าวได้ทั่วโลกประมาณ 600 ล้านตันซึ่ง ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวมากที่สุด มีกำลังการผลิตข้าวปีละประมาณ 25 ล้านตัน ในปีหนึ่ง ๆ ในกระบวนการสีข้าวเปลือกสะอาด 100% จะได้แกลบ 20–30% รำ 8–11% ทำให้ประเทศไทยได้แกลบจากการสีข้าวประมาณ 5 ล้านตัน ในแต่ละตัน (1000 กิโลกรัม) ของข้าวเปลือกเมื่อสีแล้วจะมีแกลบอยู่ประมาณ 200 กิโลกรัม และเมื่อนำแกลบไปเผาจะได้เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) ประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักของแกลบหรือประมาณ 40 กิโลกรัม เนื่องจากเถ้าแกลบมีปริมาณซิลิกา (Silica) สูง จึงเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่เหมาะสำหรับการนำมาพัฒนาทำเป็นวัสดุปอซโซลาน

รูปที่ 2.2 กองแกลบก่อนเผา

รูปที่ 2.3 กองแกลบหลังเผา

1.1) องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งพบว่าเถ้าแกลบมี SiO_2 สูงมากถึงประมาณร้อยละ 90 ทำนองเดียวกัน พบว่าเถ้าแกลบที่เผามาประเทศไทยมี SiO_2 อยู่ร้อยละ 92.28 และ 91.84 ตามลำดับ ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์ของโซเดียม โปรแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ และค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss On Ignition หรือ LOI) ซึ่งตามปกติมี LOI อยู่ประมาณร้อยละ 2-5 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแกลบมีผลต่อค่า LOI เพราะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เถ้าแกลบมี LOI สูงขึ้น LOI ที่อยู่ในเถ้าแกลบส่วนใหญ่จะเป็นธาตุถ่านดูดน้ำสูง และถ้ามีจำนวนมากจะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงได้ [11]

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ

สารประกอบ	เถ้าแกลบ	เถ้าแกลบขาว	เถ้าแกลบดำโรงสี
SiO_2	86.9-97.3	88.33	89.95
K_2O	0.6-2.5	2.76	1.49
Na_2O	0-1.5	0.15	0.07
CaO	0.2-1.5	0.56	0.50
MgO	0.12-1.96	0.28	0.23
Fe_2O_3	0-0.6	3.37	1.89
P_2O_5	0.2-2.9	NA	NA
SO_3	0.1-1.1	0.12	0.02
Cl	0-0.4	NA	NA
Al_2O_3	NA	0.48	0.54
LOI	NA	3.71	4.70

1.2) การเผาและชนิดของแกลบ

แกลบเมื่อได้รับความร้อนจะสูญเสียความชื้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เกิดการเผาไหม้และถ้ามีอากาศพอจะกลายเป็นเถ้าสีขาว การเผาแกลบในที่มีอากาศไม่เพียงพอและที่อุณหภูมิต่ำจะได้แกลบที่มีสีดำและการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) สูง นอกจากนี้ต้องลดให้ละเอียดอย่างมากจึงจะสามารถนำมาใช้ผสมปูนซีเมนต์ได้ การเผาในที่มีอากาศไม่เพียงพอหรือระยะเวลาในการเผาสั้น ถึงแม้มีอุณหภูมิสูงก็ตาม แกลบดำที่ได้ก็ยังคงมี LOI สูง แกลบที่ผ่านการเผาที่สมบูรณ์มี LOI ต่ำ และมีซิลิกาสูง

เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ของแกลบมีองค์ประกอบที่มีซิลิก้าชนิดอะมอร์ฟัส (Amorphous Silica) เป็นผลพลอยได้สามารถนำมาเพิ่มมูลค่าของเถ้าแกลบโดยการนำมาใช้ประโยชน์ต่อไปได้เช่น นำไปทำชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ เซมิคอนดัคเตอร์ เป็นต้นส่วนที่เกิดจากการเผาไหม้แกลบอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 800-900 องศาเซลเซียสมี 2 ประเภท คือเถ้าลอย (Fly ash) ซึ่งมีลักษณะเล็กและเบากับเถ้าหนัก (Bottom Ash) ในอัตราส่วน 9 : 1 โดยเถ้าที่ได้มีคุณสมบัติเป็นฉนวน (Fine Grain) หรือที่นิยมเรียกว่าขี้เถ้าแกลบ Type B (มีปริมาณคาร์บอนเจือปนต่ำ 2-7 %) ซึ่งลักษณะโครงสร้างดังกล่าวเป็นที่ต้องการสำหรับการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กกล้านอกจากนี้เถ้าแกลบที่ได้จากการเผาในอัตรา 9 ส่วน ใน 10 ส่วน-ของเถ้าทั้งหมด

1.3) วิธีการเผาแกลบ

การเผาแกลบทำได้หลายวิธีแต่ละวิธีจะได้อุณหภูมิของการเผาแกลบและเถ้าแกลบแตกต่างกัน ได้แก่การเผาแกลบโดยกองแกลบบนแผ่นเหล็กที่มีรูพรุน ซึ่งอยู่สูงกว่าพื้นเล็กน้อยในที่กลางแจ้ง ขนาดของกองแกลบจะมีผลต่อทั้งอุณหภูมิและระยะเวลาของการเผาแกลบ พบว่ากองแกลบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 ม. สูง 40-45 ซม. ปริมาณแกลบ 18-20 กก. จะมีอุณหภูมิสูงสุด 600 องศาเซลเซียส จะได้เถ้าแกลบสีเทาขาวและการเผาแกลบในเตาเผา การเผาแกลบในเตาเผา 3 ชนิด คือ

ก) เตาเผา ขนาด 105 x 105 ซม. ทำจากแผ่นเหล็กที่มีรูพรุน พบว่าเมื่อใช้แกลบ 50 กก. และ 100 กก. จะมีอุณหภูมิการเผาแกลบสูงสุด 100 และ 800 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะได้เถ้าแกลบสีเทาขาว

ข) เตาเผาถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร แบบของ PCSIR (Pakistan Council of Scientific and Industrial Research) พบว่า อุณหภูมิสูงสุดของการเผาแกลบเท่ากับ 750 องศาเซลเซียส จะได้เถ้าแกลบสีเทาขาวปนดำ

ค) เตาเผาอิฐแบบของ PCSIR (Pakistan Council of Scientific and Industrial Research) พบว่า อุณหภูมิในการเผาแกลบเท่ากับ 650 องศาเซลเซียส จะได้เถ้าแกลบสีเทาขาวปนดำและการเผาแกลบเป็นเชื้อเพลิงในโรงสีข้าว โดยใช้แกลบที่ได้จากการสีข้าวของโรงสีข้าวนำมาเผาเป็นเชื้อเพลิงให้กับ Boiler ที่ใช้ในโรงสีซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ ไม่มีอากาศถ่ายเท เถ้าแกลบที่ได้จะมีสีดำ ซึ่งจากการทดสอบพบว่า เถ้าแกลบดำเป็นเชื้อเพลิงในโรงสีสามารถนำมาใช้ผสมปูนซีเมนต์ได้ โดยคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ผสมใกล้เคียงกับเมื่อใช้เถ้าแกลบดำขาว

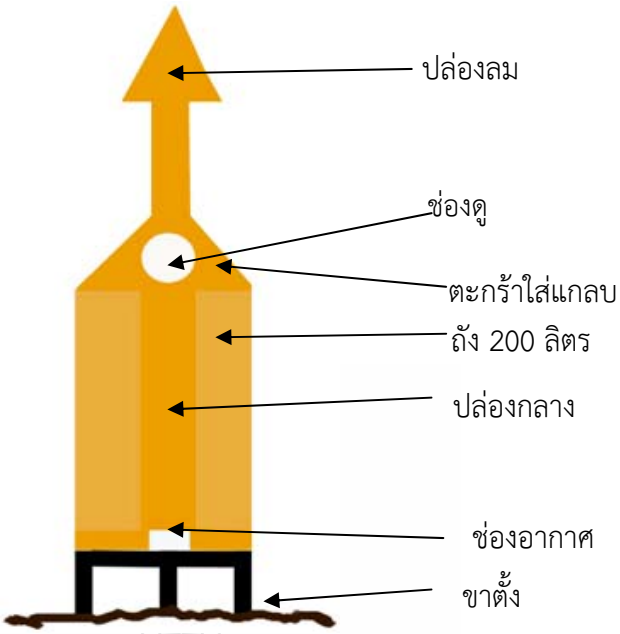
อิทธิพลของอุณหภูมิเผาแกลบที่มีต่อคุณสมบัติของเถ้าแกลบ เถ้าแกลบที่ได้จากการเผาไหม้ธรรมดา จะได้ซิลิกาอยู่ในรูปของผลึกซึ่งเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ไม่เหมาะที่จะนำมาทำปูนซีเมนต์ การเผาแกลบโดยไม่ได้ควบคุมขบวนการเผาไหม้จะเป็นการทำลายโครงสร้างของเซลล์ โดยการเปลี่ยน

นอกจากนี้ความว่องไวในการทำปฏิกิริยาของเถ้าแกลบยังขึ้นอยู่กับความละเอียดของเถ้าแกลบ เถ้าแกลบที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส จะเป็นสีเทาขาวและเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิต่ำและไม่มีอากาศถ่ายเทจะมีสีดำ และยังพบว่าเถ้าแกลบเทาขาวและเถ้าแกลบดำมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบเทาขาวและเถ้าแกลบดำ แต่เถ้าแกลบดำจะมีปริมาณคาร์บอนสูง ซึ่งจะมีผลต่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่นโดยถ้ามีมากกว่าร้อยละ 20 จะทำให้กำลังของปูนซีเมนต์ลดลง การที่นำเอาเถ้าแกลบมาผสมคอนกรีตจะสามารถลดราคาของปูนซีเมนต์ลงได้โดยที่กำลังยังมีค่าคงเดิมหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่เราก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อ ขนส่งและทำการเผาแกลบอยู่บ้างแต่เมื่อเทียบกับราคาของปูนซีเมนต์ที่ลดลงแล้วก็ยังถือว่าคุ้มค่า ความละเอียดของแกลบเผา ความละเอียดของแกลบเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่กำหนดคุณสมบัติของเถ้าแกลบ เถ้าแกลบที่มีความละเอียดสูงกว่าย่อมมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้ดีกว่า โดยทั่วไปความละเอียดสามารถกำหนดได้จากพื้นที่ผิวจำเพาะที่หาได้จากการทดสอบด้วยแอร์เพอร์มีอะบิลิตี้ (Air Permeability Test) หรือ เทอร์บิดิมิเตอร์

อิทธิพลของคาร์บอนในแกลบเผา การเผาไหม้แกลบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส คาร์บอนที่เกิดขึ้นในแกลบเผาจะไปรบกวนปฏิกิริยาไฮเดรชั่น การเผาแกลบที่อุณหภูมิ 600-650 องศาเซลเซียสจะได้คาร์บอน 6-14 % ซึ่งเป็นปริมาณที่สามารถนำไปใช้งานได้ การเผาแกลบในอุณหภูมิต่ำจะมีคาร์บอนในเถ้าแกลบสูง ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในปูนซีเมนต์ถ้ามีส่วนผสมของคาร์บอนมากกว่าร้อยละ 20 จะทำให้กำลังของปูนซีเมนต์ลดลง

1.4) การบดและลักษณะของแกลบเผาบดละเอียด

แกลบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปจะยังคงรักษาความพรุนและโครงสร้างเซลล์ไว้ได้ โครงสร้างของเซลล์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุนของแกลบเผาแล้วมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ในการนำไปใช้เป็นวัสดุปอซโซลานจึงต้องบดเถ้าแกลบให้ละเอียดให้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของผงปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นความละเอียดที่นำมาใช้งานได้ดี การบดละเอียดเถ้าแกลบนิยมใช้การบดแห้งเพราะบดได้ง่ายและเร็ว แต่ทั้งนี้การบดเปียกสามารถให้เถ้าแกลบที่มีอานุภาคที่ละเอียดมาก แต่วิธีการยุ่งยากกว่า



รูปที่ 2.4 เตาเผาแบบถังน้ำมัน PCSIR

1.5) คุณสมบัติของเถ้าแกลบ

ความถ่วงจำเพาะของเถ้าแกลบขึ้นอยู่กับวิธีการเผา เถ้าแกลบที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีสิ่งที่เผาไหม้ไม่หมดและคาร์บอนปนอยู่มากและจะมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ ความถ่วงจำเพาะเถ้าแกลบที่เผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์มีค่าระหว่าง 1.9-2.3 และยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเผาดังแสดงในรูปที่ 2.4 เถ้าแกลบเผาที่อุณหภูมิ 500°Cมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.06 และความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มเป็น 2.20 และ 2.30 ที่อุณหภูมิการเผา 800°C และ 1,000°C ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของความถ่วงจำเพาะเนื่องมาจากปริมาณคาร์บอนลดน้อยลง

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ

สี	เหลือง/ทอง
ความยาว (มม.)	5-10
ความกว้าง (มม.)	2.5-5
ความแกร่ง (Mohr' s scale)	5.5-6.5
ความหนาแน่นรวม (กก./ม^3.)	96-160
มุมเอียงเวลากอง (Angle of repose)	35

1.6) ความละเอียดของเถ้าแกลบ

การวัดขนาดอนุภาคของเถ้าแกลบนิยมใช้พื้นที่ผิวจำเพาะ ความละเอียดของเถ้าแกลบนอกจากขึ้นอยู่กับเวลาและวิธีในการลดแล้ง ยังขึ้นอยู่กับวิธีการเผาแกลบ เช่น ที่อุณหภูมิเผาแกลบ $500^{O}c$ ใช้เถ้าแกลบที่มีพื้นที่ผิวสูงสุด ที่อุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่ผิวจะลดลงอย่างมาก จากการเป็นผลึกและการทำลายโครงสร้างเซลล์ที่มีรูพรุน เถ้าแกลบเทาขาวที่เผาที่อุณหภูมิพอเหมาะบดละเอียดง่ายกว่าเถ้าแกลบดำโรงสี ในการบด 1 ชั่วโมง เท่ากัน พบว่าเถ้าแกลบเทาขาวมีความละเอียด 14,300 ซม^2/ก (เมื่อวัดโดยวิธีของ Blaine) ส่วนเถ้าแกลบดำโรงสีมีความละเอียดของเถ้าแกลบวัดโดยวิธีของเบลนอยู่ระหว่าง 7,000 -14,000 ซม^2/ก และระหว่าง 20 -150 ม^2/ก เมื่อวัดโดยวิธีของ BET ดังนั้นการวัดความละเอียดโดยพื้นผิวจำเพาะของเถ้าแกลบ จึงต้องระบุวิธีการวัดให้ชัดเจน

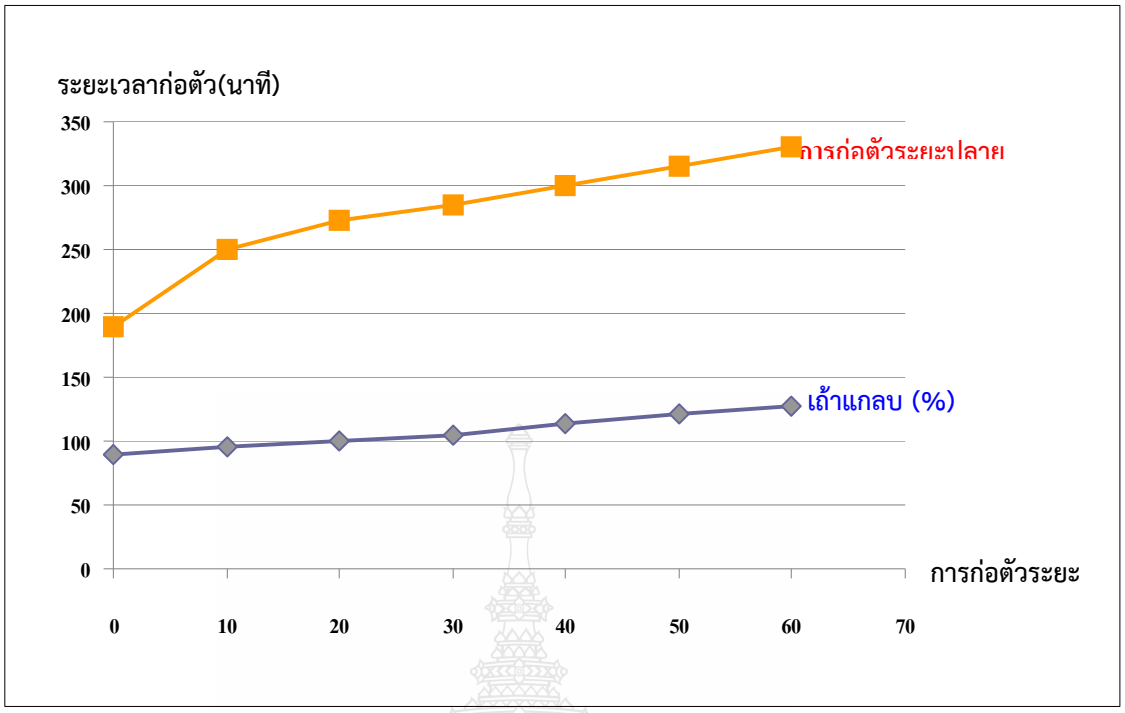
เถ้าแกลบส่วนใหญ่ที่ใช้กันมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 5 – 20 ไมครอน แต่ทั้งนี้ขนาดเฉลี่ยที่ใหญ่ประมาณ 25 ไมครอน และขนาดเฉลี่ยที่เล็กประมาณ 1 ไมครอน ก็มีการใช้กันอยู่

1.7) ความเป็นวัสดุปอซโซลานของเถ้าแกลบ

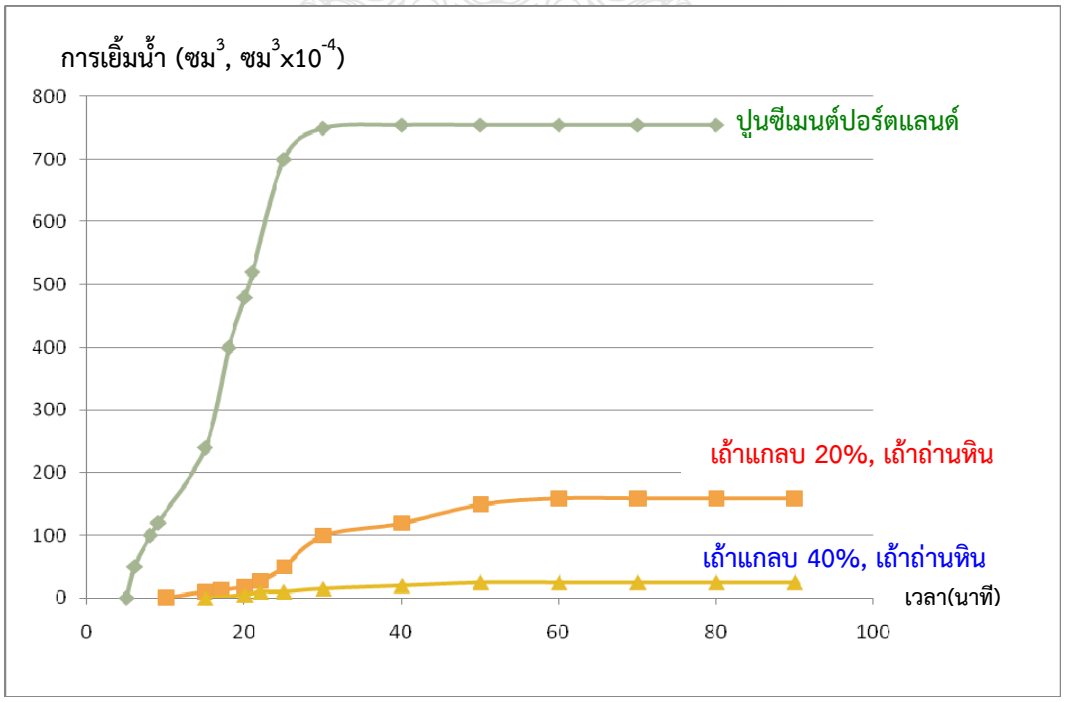
ความเป็นวัสดุปอซโซลานของเถ้าแกลบสามารถวัดได้โดยการทดสองค่าดัชนีกำลังตามมาตรฐาน ASTM C311 โดยใช้การทดสองกำลังอัดที่อายุ 7, 14 และ 28 วันของมอร์ต้า ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หรือที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ค่าดัชนีกำลัง คือ ค่ากำลังที่สดสอบได้เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังของมอร์ต้าที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน หากค่าดัชนีกำลังมีค่าสูงแสดงถึงความเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดีของเถ้าแกลบ [11]

1.8) คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ มอร์ต้าร์ และคอนกรีตสด

การที่เถ้าแกลบมีรูพรุนสูงมากและรูปร่างที่ไม่แน่นอนทำให้คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบต้องการน้ำในส่วนผสมเพิ่มขึ้น จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลง เพื่อแก้ไขปัญหานี้จึงนำเถ้าแกลบมาบดให้ละเอียดขึ้นซึ่งจะทำลายรูพรุนของเถ้าแกลบได้และใช้สารลดน้ำเข้าช่วยเพื่อให้คอนกรีตยังมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่าเดิมและมีความสามารถในการเทตามต้องการ เวลาการก่อตัวระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนจะนานนานกว่าซีเมนต์เพสต์ระยะเวลาการก่อตัวต้นจะเพิ่มขึ้นไม่มากนัก แต่ระยะเวลาการก่อตัวปลายเพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เถ้าแกลบทำให้การเยิ้มน้ำของคอนกรีตลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.6 เนื่องจากเถ้าแกลบมีพื้นที่ผิวสูง นอกจากนี้ยังสามารถใช้เถ้าแกลบผสมร่วมกับวัสดุปอซโซลาน เช่น เถ้าถ่านหิน ซึ่งทำให้วัสดุประสานมีคุณสมบัติดีขึ้น [11]



รูปที่ 2.5 ระยะเวลาการก่อตัวปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบ [13]



รูปที่ 2.6 การเยิ้มน้ำของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบและถ่านหิน [11]

จากรูปที่ 2.5 ระยะเวลาการก่อตัวปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบ สรุปได้ว่าระยะเวลาการก่อตัวระยะต้นของมอร์ต้าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบ ที่มีเปอร์เซ็นเถ้าแกลบยิ่งเยอะระยะเวลาการก่อตัวก็ยิ่งมาก ดังเช่นในแผนภูมิกราฟเวลาการก่อตัวปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบจะเริ่มก่อตัวจากนาทีที่ 90 ที่มีเปอร์เซ็นต์การผสมเถ้าแกลบเป็น 0 ส่วน ที่มีการเพิ่มส่วนของเถ้าแกลบ ทุก ๆ 10 % ระยะเวลาการก่อตัวของเถ้าแกลบจะเพิ่มขึ้นประมาณ 5 นาที

ส่วนระยะเวลาการก่อตัวระยะปลาย จากแผนภูมิกราฟเวลาการก่อตัวของมอร์ต้าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบจะเห็นได้ว่าระยะเวลาการก่อตัวระยะปลายของมอร์ต้าจะมีระยะเวลาการก่อตัวจากนาทีที่ 190 ที่มีเปอร์เซ็นต์การผสมของเถ้าแกลบเป็น 0 และเมื่อมีการผสมเถ้าแกลบทุก ๆ 10 % จะใช้ระยะเวลา การก่อตัวระยะปลายของมอร์ต้า เพิ่มขึ้นประมาณ 20 นาที

จากรูปที่ 2.6 การเยิ้มน้ำของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบและถ่านหินสรุปได้ว่าระยะเวลาการเยิ้มน้ำของเถ้าแกลบ 40 % เถ้าถ่านหิน 40% จะเริ่มเยิ้มน้ำน้อยที่สุด จากนาทีที่ 15 เป็นต้นไป มีปริมาณการเยิ้มน้ำ 0 ซม^3, ซม^{3}x10^{-4} และเยิ้มน้ำเพิ่มขึ้นจากนาทีที่ 20 ปริมาณการเยิ้มน้ำ 5ซม^3, ซม^{3}x10^{-4} และจากกราฟจะเห็นว่าเถ้าแกลบ 40 % เถ้าถ่านหิน 40 % จะหยุดการเยิ้มน้ำ จากนาทีที่ 40 ที่มีปริมาณการเยิ้มน้ำที่ 20 ซม^3, ซ^{3}x10^{-4}

เถ้าแกลบ 20 %, เถ้าถ่านหิน 40 % จะเยิ้มน้อยแต่ก็มากกว่า เถ้าแกลบ 40 % เถ้าถ่านหิน 40 % จะเริ่มเยิ้มจากนาทีที่ 10 มีเปอร์เซ็นต์การเยิ้มน้ำ 0 ซม^3, ซม^{3}x10^{-4} นาทีที่ 15 มีปริมาณการเยิ้มน้ำ15 ซม^3, ซม^{3}x10^{-4} และ จากนาทีที่ 100 มีการเยิ้มน้ำเพิ่มขึ้น 20 ซม^3, ซม^{3}x10^{-4} ส่วนตั้งแต่นาทีที่ 50 จะเริ่มหยุดการเยิ้มน้ำ ที่มีปริมาณเยิ้มน้ำที่ ประมาณ 150 ซม^3, ซม^{3}x10^{-4}

ส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีการเยิ้มน้ำดีที่สุด จะเริ่มเยิ้มน้ำจากนาทีที่ 5 ปริมาณการเยิ้มน้ำ 0-50 ซม^3, ซม^{3}x10^{-4} นาทีที่ 10 ปริมาณการเยิ้มน้ำ 100 ซม^3,ซม^{3}x10^{-4} และปริมาณการเยิ้มน้ำสูงขึ้นมากภายในเวลา 30 นาทีที่ปริมาณการเยิ้มน้ำ 750 ซม^3, ซม^{3}x10^{-4} จากนาทีที่ 30-80 การเยิ้มน้ำคงที่อยู่ที่ 750 ซม^3,ซม^{3}x10^{-4} ไปจนถึงนาทีที่ 80 ก็หยุดการเยิ้มน้ำ

1.9) กำลังรับแรงอัด

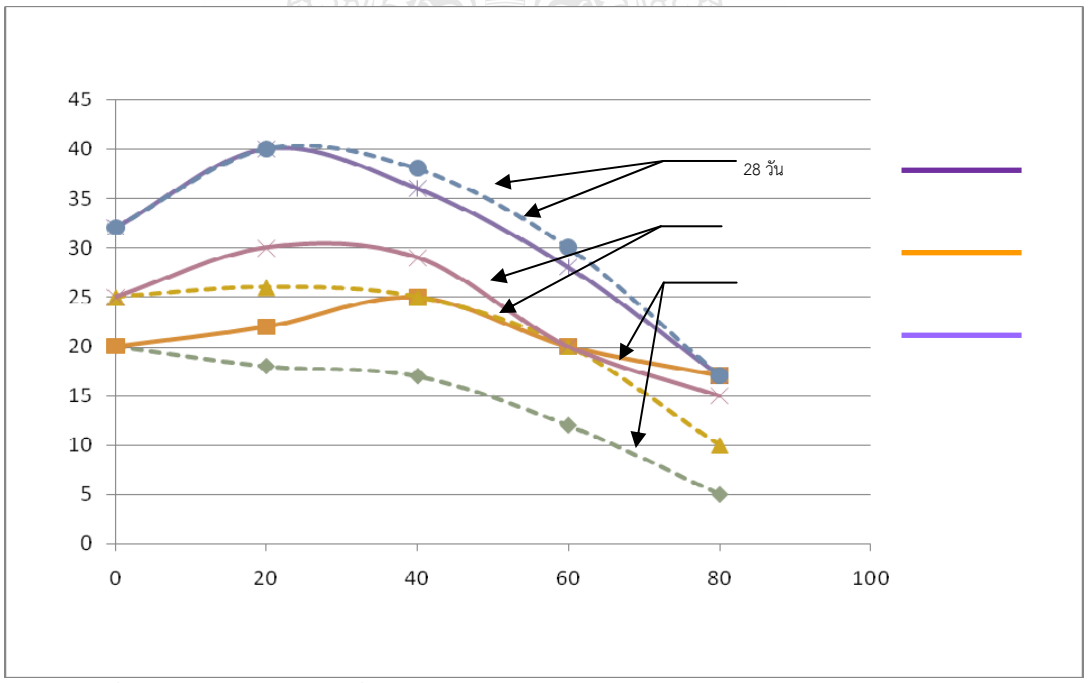
กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบที่อายุต้นขึ้นอยู่กับความละเอียดของเถ้าแกลบ เถ้าแกลบที่มีความละเอียดสูงจะให้กำลังในระยะต้นสูง เนื่องจากความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาส่วนเถ้าแกลบซึ่งได้จากการเผาแกลบโดยตรงจะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดต่ำเพราะมีขนาดใหญ่และดูดน้ำมาก เถ้าแกลบเป็นวัสดุปอซโซลานดั้งนั้น จึงต้องใช้ด่างที่ได้จากปฏิกิริยา ไฮเดรชันของปูนซีเมนต์มาทำปฏิกิริยา จึงทำให้กำลังในช่วงอายุต้นต่ำ แต่เมื่ออายุมากขึ้นกำลังอัดของคอนกรีตี่ผสมเถ้าแกลบ สามารถมีค่าสูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าแกลบได้โดยเฉพาะกรณีที่เถ้าแกลบมีความละเอียดสูง เช่น การใช้เถ้าแกลบบดละเอียดซึ่งมีอนุภาคค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 1 แทนที่ปูนซีเมนต์ เพื่อทำคอนกรีตคุณภาพสูงโดยมีสารลดน้ำพิเศษเพื่อปรับความสามารถในการเท พบว่าในช่วงอายุต้น (3-7 วัน) คอนกรีตผสมเถ้าแกลบบดละเอียดมีกำลังต่ำกว่าคอนกรีตควบคุม แต่เมื่ออายุ 28 วัน พบว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าแกลบบดละเอียดร้อยละ 30 มีกำลังอัดที่สูงกว่าคอนกรีตควบคุม แต่การแทนที่เถ้าแกลบบดละเอียดในปริมาณที่สูงกว่านี้จะให้กำลังอัดต่ำทั้งอายุต้นและอายุปลาย

การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่เหมาะสมจะส่งผลดีต่อกำลังอัด ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงกำลังอัดของมอร์ต้าที่ผสมเถ้าแกลบที่มีความละเอียดสูง ส่วนผสมที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์

นอกจากการผสมปูนซีเมนต์แล้ว ยังสามารถผสมเถ้าแกลบกับปูนขาว ซึ่งมีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานเช่นกัน แต่กำลังรับแรงจะต่ำเนื่องจากกำลังรับแรงพื้นฐานของปูนขาวต่ำ และเถ้าแกลบมีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ กำลังรับแรงจะลดลงตามปริมาณของ LOI ที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.7

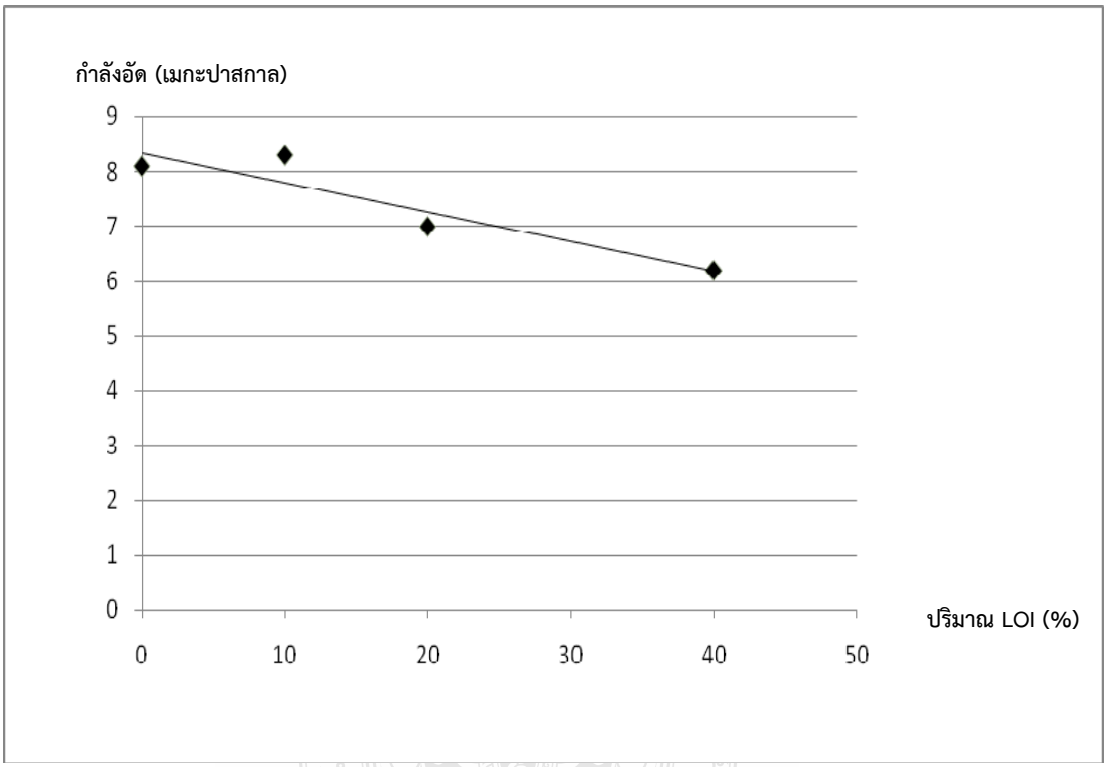
ตารางที่ 2.5 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินและเถ้าแกลบที่ อัตราส่วนต่อปูนซีเมนต์ต่างกัน

ส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : เถ้าถ่านหิน :เถ้าแกลบ	W/C	กำลังอัด (เมกะปาสคาล)			
		3วัน	7วัน	28วัน	90วัน
การยุบตัว 30-60 มม.					
100:0:0	0.245	54.0	60.0	81.0	81.5
80:10:10	0.245	58.5	61.0	74.0	75.0
60:20:20	0.260	47.0	65.0	76.0	77.5
40:30:30	0.350	29.5	50.0	63.0	69.5



รูปที่ 2.7 กำลังอัดมอร์ต้าที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมถ้าแกลบบดละเอียด [13]

จากรูปที่ 2.7 กำลังอัดมอร์ต้าที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมถ้าแกลบบดละเอียด ที่มีกำลังอัดที่สูงที่สุด คือ 40 เมกะปาสกาล และผสมเถ้าแกลบน้อยที่สุด อยู่ที่ มอร์ต้าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผสมเถ้าแกลบดำและเทาขาว อายุมอร์ต้าอยู่ที่ 28 วัน ส่วนกำลังอัดมอร์ต้าที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมถ้าแกลบบดละเอียด ที่มีกำลังอัดที่ต่ำที่สุด คือ 5 เมกะปาสกาล มอร์ต้าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบดำ 80 % และมีอายุมอร์ต้าอยู่ที่ 3 วัน

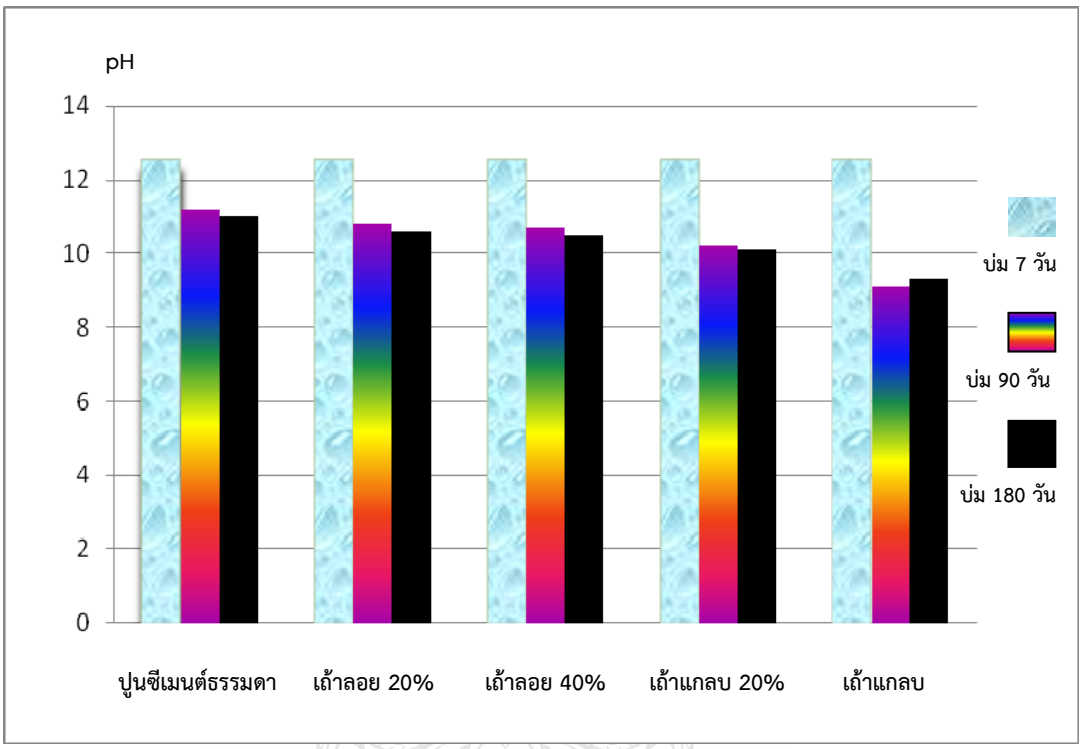


รูปที่ 2.8 กำลังอัดของมอร์ต้าปูนขาวผสมเถ้าแกลบ [13]

จากรูปที่ 2.8 กำลังอัดมอร์ต้าที่ทำจากปูนขาวผสมถ้าแกลบบดละเอียด ที่มีกำลังอัดที่สูงที่สุด คือ 8.5 เมกะปาสกาล มีปริมาณ LOI ประมาณ 10 % ส่วนมอร์ต้าปูนขาวที่ผสมเถ้าแลบดำและเทาขาวที่มีปริมาณ LOI ผสม 40 % พบว่า จะมีค่ากำลังอัดประมาณ 6.2 เมกะปาสกาล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้ามีปริมาณของ LOI ผสมอยู่มากเท่าไรก็จะส่งผลให้มอร์ต้ามีค่ากำลังอัดต่ำลงเรื่อย ๆ

1.10) ความทนทาน

ความคงทนต่อการทำลายของสารละลายซัลเฟต เถ้าแกลบมีความคงทนต่อสารละลายซัลเฟตได้ดีกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบดำ และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าถ่านหินดังแสดงในรูป 2.9 ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบบดละเอียดขยายตัวต่ำที่สุด ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าถ่านหินขยายตัวรองลงมา ในขณะที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาขยายตัวสูงที่สุด เถ้าแกลบเพิ่มความทนทานต่อการทำลายของสารละลายซัลเฟต เนื่องจากสามารถลดปริมารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้มาก ค่าความเป็น



รูปที่ 2.9 ค่าความเป็นกรดหรือด่างของสารละลายโซเดียมซัลเฟตที่แช่ด้วยมอร์ต้าร์ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1012 [14]

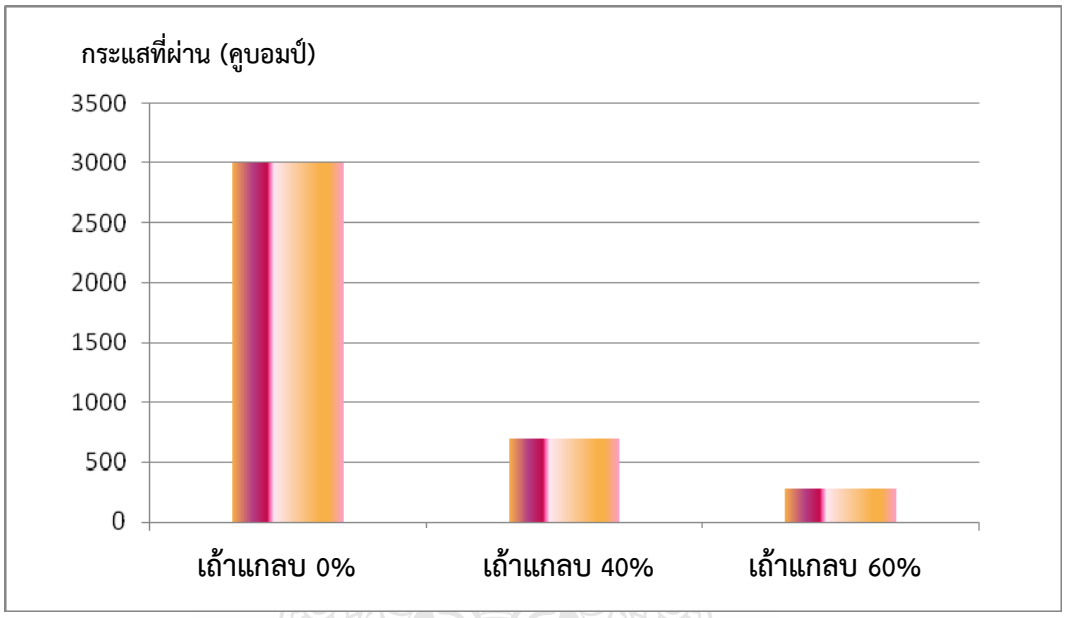
จากรูปที่ 2.9 ค่าความเป็นกรดหรือด่างของสารละลายโซเดียมซัลเฟตที่แช่ด้วยมอร์ต้าร์ทดสอบตามมาตรฐานซึ่งเป็นการทดสอบหาค่า pH ซึ่งมีมอร์ต้าที่มีแต่ปูนซีเมนต์อย่างเดียว, ผสมเถ้าลอย 20 % ผสมเถ้าลอย 40 %, ผสมเถ้าแกลบ 20 % และ ผสมเถ้าแกลบ 40 % ซึ่งเป็นการทดสอบหลังจากการบ่มที่อายุ 7 วัน, 90 วัน และ 180 วันซึ่งจะเห็นได้ว่าการบ่มที่อายุ 7 วันจะมีค่า pH ใกล้เคียงกันทั้งหมด ส่วนการบ่มที่อายุ 90 วันมอร์ต้าที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวจะมีค่า pH มากที่สุดจะมีค่าประมาณอยู่ที่ 12.5 และการบ่มที่อายุ 180 วัน พบว่ามอร์ต้าที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบ 40 % พบว่ามีค่า pH ต่ำสุดประมาณ 9 ซึ่งพอสรุปได้ว่าถ้ายิ่งบ่มมอร์ต้านานเท่าไรก็ยิ่งทำให้ค่า pH ต่ำลงมาเรื่อย ๆ [14]

1.11) การทำลายโดยกรด

คอนกรีตและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดได้ไม่ดีนัก เพราะมีความเป็นด่างสูงและสามารถถูกทำลายโดยกรดได้ง่าย การกัดกร่อนของกรดเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในซีเมนต์เพสต์ และส่วนใหญ่จะทำให้เกิดสารประกอบของแคลเซียมที่ละลายน้ำได้ การเพิ่มปริมาณเถ้าแกลบสามารถลดการทำลายของกรดได้ โดยเถ้าแกลบจะลดปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ให้ต่ำลง

1.12) การต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์

การทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำทำให้ส่วนผสมมีความเป็นด่างสูง และสามารถป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริม โดยการเกิดฟิล์มบาง ๆ เคลือบผิวเหล็กเสริมไว้ อย่างไรก็ตาม อิออนของคลอไรด์ สามารถทำลายฟิล์มนี้ ได้เมื่อซึมผ่านผิวคอนกรีตเข้าไปจนถึงเหล็กเสริม การใช้เถ้าแกลบสามารถลดปริมาณคลอไรด์ที่ซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีตได้ เมื่อทดสอบโดยวิธีการวัดการไหลผ่านของกระแสตามมาตรฐาน ASTM C1202 ดังแสดงในรูป 2.10



รูปที่ 2.10 การต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ของคอนกรีต [13]

จากรูปที่ 2.10 การต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ของคอนกรีต สรุปได้ว่า การต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ของคอนกรีต ดีที่สุดเมื่อผสมเถ้าแกลบ 0 % จะสามารถต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ของคอนกรีต ได้ถึง 3,000 คูบอมป์ ต่างจากเมื่อมีส่วนผสมของเถ้าแกลบ 40 % และ 60 % ความสามารถที่จะต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ของคอนกรีต ได้เพียงเล็กน้อยคือ 750 และ 250 คูบอมป์ ตามลำดับ

1.13) การเกิดคาร์บอเนชัน

การเพิ่มเถ้าแกลบในส่วนผสมของคอนกรีต หรือมอร์ต้าสามารถลดปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์เช่นเดียวกับการใช้วัสดุปอซโซลานอื่น ในการใช้วัสดุปอซโซลานอื่นซึ่งรวมถึงเถ้าแกลบด้วย เลือกที่ส่วนผสมมีเนื้อแน่น (Dense) เพราะทำให้การเกิดคาร์บอเนชันน้อยหรือเกิดในระดับที่ไม่เป็นอันตราย นอกจากนี้คาอร์บอเนชันเกิดเฉพาะตอนที่คอนกรีตแห้งพอประมาณและไม่เกิดกับคอนกรีตที่เปียกชื้นหรือแห้งตลอดเวลา ดังนั้นคอนกรีตประเภทนี้จึงไม่ต้องคำนึงถึงการเกิดคาร์บอเนชัน

2.2.4 คอนกรีต

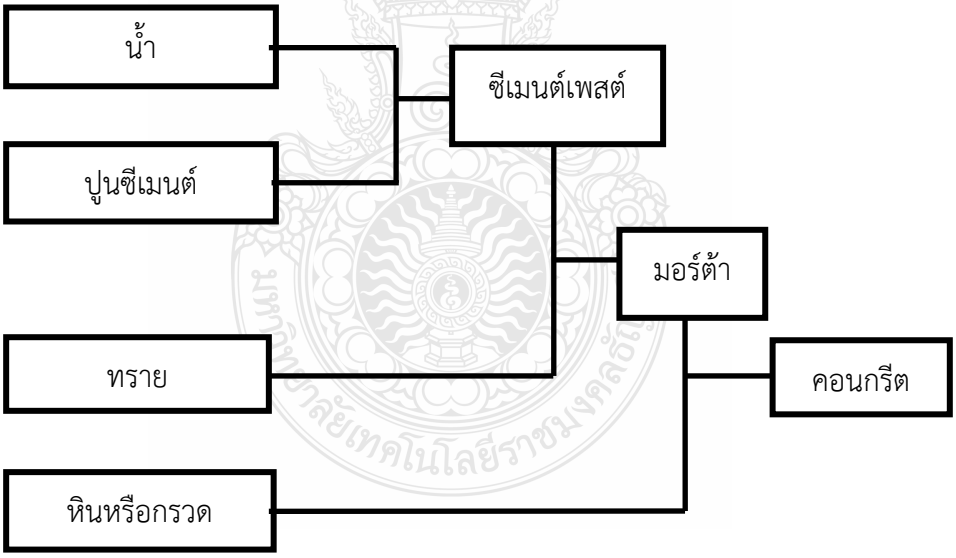
องค์ประกอบของคอนกรีต

1) ความหมายของคอนกรีต คอนกรีต คือวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจวบจนปัจจุบัน เพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคาและคุณสมบัติต่างๆ คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ วัสดุประสาน อันได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำ ผสมกับวัสดุผสมอันได้แก่ ทราย หิน หรือกรวดเมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่งพอที่จะไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการ หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็งมีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่มากขึ้น

2) องค์ประกอบของคอนกรีต คอนกรีตประกอบด้วยปูนซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ โดยเมื่อนำส่วนผสมต่าง ๆ เหล่านี้ มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้

- ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste)
- ซีเมนต์เพสต์ ผสมกับ ทราย เรียกว่า มอร์ต้า (Mortar)
- มอร์ต้า ผสมกับ หินหรือกรวด เรียกว่า คอนกรีต (Concrete)

ซึ่งสามารถเขียนแผนภูมิได้ดังนี้



รูปที่ 2.11 องค์ประกอบของคอนกรีต

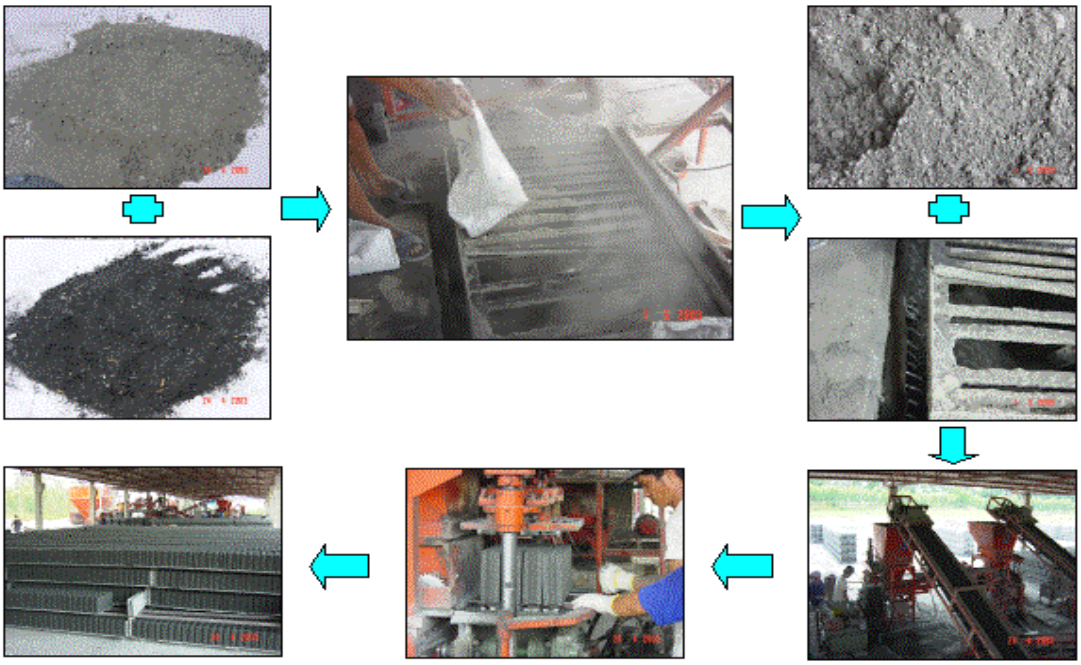
3) หน้าที่และคุณสมบัติของส่วนผสม

3.1) ซีเมนต์เพสต์ ทำหน้าที่เสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม หล่อลื่นคอนกรีตสดขณะเท ให้กำลังแก่คอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัว รวมทั้งป้องกันการซึมผ่านของน้ำ

3.2) มวลรวม ทำหน้าที่เป็นตัวแทรกประสานราคาถูกที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์ ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก

3.3) น้ำ ใช้ล้างวัสดุมวลรวมต่าง ๆ ใช้ผสมทำคอนกรีต ใช้บ่มทำคอนกรีต ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับปูนซีเมนต์ ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้ เคลือบ หิน ทรายให้เปียก เพื่อให้ซีเมนต์เพสต์จะสามารถเข้าเกาะได้โดยตรง

3.4) การก่อตัวและการแข็งตัว ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ ก่อให้เกิดซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในสภาพเหลวช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นเพสต์จะเริ่มแข็งตัว ถึงแม้มันจะยังนิ่มอยู่แต่ไม่สามารถลื่นไหลเข้าแบบได้แล้วจุดนี้เราเรียกว่า จุดแข็งตัวเริ่มต้น (Initial Set) เวลาตั้งแต่ซีเมนต์ผสมกับน้ำจนถึงจุดอิ่มตัวเริ่มต้น เรียกว่า เวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) การก่อตัวของเพสต์จะยังคงดำเนินต่อไปจนถึงสภาพที่เป็นของแข็งหรือจุดแข็งตัวสุดท้าย (Final Setting Time) เพสต์ยังคงแข็งตัวต่อไปและสามารถรับน้ำหนักได้ ขบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่า การแข็งตัว (Hardening) [10]



รูปที่ 2. 12 กระบวนการผลิตก้อนคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบและอ้อย [10]

ผลิตภัณฑ์บล็อกผนังคอนกรีต

1) งานผนัง จัดได้ว่า เป็นส่วนประกอบหลักที่มีความสำคัญต่องานอาคาร ซึ่งสามารถที่จะทำการจำแนกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ งานผนังภายนอกอาคาร ได้แก่ งานรั้วบ้าน และงานรั้วแบ่งแปลง เป็นต้น งานผนังภายในอาคาร สามารถที่จะทำการจำแนกออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ งานผนังสำหรับรับน้ำหนัก และงานผนังชนิดที่ไม่รับน้ำหนัก เป็นต้น งานผนังโดยทั่วไป นิยมที่จะใช้วัสดุจำพวกของอิฐมาใช้ในงานก่อสร้าง ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบไปมากมาย และมีอยู่หลายประเภท ทั้งที่ผลิตจากดินเป็นหลัก เช่น อิฐมอญ หรืออิฐก่อสร้างสามัญ หรืออิฐมาตรฐาน หรือใช้ปูนซีเมนต์ในการเป็นวัตถุดิบ เช่น อิฐบล็อก หรือคอนกรีตบล็อก, คอนกรีตมวลเบา หรืออิฐมวลเบา หรือใช้ทั้งอย่าง เช่น อิฐ

2) นิยามและความหมายของสินค้า

คอนกรีตบล็อก หรือ อิฐบล็อก (Concrete Block) เป็นวัสดุก่ออีกประเภทหนึ่งที่ได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศ โดยมีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมขนาดโดยประมาณ 20 x 40 ซม. หนาระหว่าง 7–20 ซม. ซึ่งลักษณะของการใช้งานก่ออิฐจะก่อเหมือนงานอิฐมอญ แต่จะมีข้อดีกว่า คือ สามารถที่จะก่อได้เร็วกว่า และมีขนาดที่มาตรฐานกว่า ทำให้สามารถที่จะทำการประมาณการจำนวนของวัสดุได้ง่ายกว่า และเมื่อรวมค่าแรงในงานก่อสร้างแล้วจะถูกกว่าการก่ออิฐมอญ

คอนกรีตบล็อกที่ทำการผลิตนั้นสามารถที่จะเลือกใช้ได้ทั้ง 2 ประเภท คือ คอนกรีตบล็อกชนิดที่รับน้ำหนัก และไม่รับน้ำหนัก ซึ่งคอนกรีตบล็อกแบบชนิดรับน้ำหนักจะมีลักษณะเป็นแท่งผิวเรียบ มีรูตรงกลางในแนวตั้ง ส่วนแบบที่ไม่รับน้ำหนัก หรือที่เรียกว่า Screen Block จะเป็นบล็อกที่มีลักษณะเป็นลวดลาย เมื่อทำการก่อแล้วสามารถที่จะเกิดเป็นลวดลายหรือให้แดดลมผ่านได้ นิยมเรียกเป็นภาษาชาวบ้านทั่วไปว่า “บล็อกช่องลม”

รูปที่ 2.13 ตัวอย่างของบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก

รูปที่ 2.14 ตัวอย่างของบล็อกชนิด Screen Block

รูปที่ 2.15 ตัวอย่างของบล็อกชนิด Screen Block ประเภทต่าง ๆ

นอกจากสินค้าในกลุ่มของอิฐบล็อก หรือคอนกรีตบล็อกแล้ว ยังมีอิฐชนิดอื่นที่สามารถที่จะนำไปใช้ในงานผนัง ซึ่งประกอบไปด้วย

1) อิฐมอญ หรืออิฐก่อสร้างสามัญ เป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันแพร่หลายมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อิฐมอญทำจาก ดินเหนียว น้ำ และวัสดุที่ไม่มีความเหนียว อาทิ เถ้าแกลบ ทราย ผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม นวดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใส่แบบพิมพ์อัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตามขนาดที่ต้องการ ทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปเผาจนสุก อิฐมอญเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช) รองรับ โดยเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ประกอบด้วย ลักษณะทั่วไปต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าว แต่อาจจะบิ่นได้เล็กน้อย มีความคลาดเคลื่อนของความกว้าง ความยาว และความหนา ไม่เกิน ± 5 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงอัดไม่น้อยกว่า 7 เมกะพาสคัล และการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 25 การเลือกดินเหนียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐมอญนั้น มีข้อที่ควรคำนึงถึงคือ ความเหนียวของดินเพื่อให้ขึ้นรูปได้ง่าย อุณหภูมิที่เผาให้สุกตัวควรอยู่ในช่วง 950-1100°C เพื่อให้อิฐมีความแข็งโดยไม่มีการหดตัวหรือผิดรูปมากเกินไป นอกจากนั้นควรมีปริมาณดินเหนียวสำรองที่เพียงพอ เพื่อมีวัตถุดิบใช้ในระยะยาว ในธรรมชาติดินเหนียวที่มีสมบัติตามต้องการนั้นจะมีอยู่อย่างจำกัด ถึงแม้ว่าดินเหนียวหลายแหล่งสามารถจะนำมาใช้ในการผลิตอิฐมอญได้แต่การที่คิดว่าดินเหนียวทุกชนิดสามารถใช้ผลิตอิฐมอญได้นั้นเป็นการเข้าใจผิด ดังนั้นการศึกษาสมบัติของดินเหนียวที่ใช้ในการผลิตอิฐมอญจึงเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ในการควบคุมสมบัติของอิฐมอญให้เป็นไปตามมาตรฐาน

2) คอนกรีตมวลเบาหรืออิฐมวลเบา เป็นวัสดุก่ออีกชนิดหนึ่ง ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมใช้ในงาน

ตลาดอิฐมวลเบาของไทยส่วนใหญ่เป็นการจำหน่ายภายในประเทศเกือบทั้งหมด โดยผ่านช่อง

แนวโน้มในภาพรวมของตลาดอิฐมวลเบาในปี 2548 จะมีแนวโน้มการเติบโตที่ดีขึ้น เนื่องจาก

3) อิฐประสาน หรืออิฐดินซีเมนต์ อิฐประสานเป็นอิฐที่มีชื่อเรียกอีกหลายชื่อ อิฐ วท. บล็อกประสาน, อิฐดินซีเมนต์, อิฐคงทอง และอิฐดินแดง เป็นต้น เนื่องจากมีผู้ผลิตสินค้าประเภทดังกล่าวอยู่หลายราย และอยู่ในระหว่างการพัฒนาในเรื่องของรูปแบบ และคุณสมบัติ จึงมีขนาดและรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งรูปแบบจะมีลักษณะคล้ายกับอิฐก่อทั่วไป แต่จะมีขนาดใหญ่กว่ามาก เนื่องจากใช้เป็นระบบผนังในการรับน้ำหนัก (Bearing Wall) ซึ่งมีลักษณะแตกต่างต่างกันกับอิฐก่อโดยทั่วไป โดยวัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ในการผลิต ได้แก่ ปูนซีเมนต์, หินฝุ่น, ทราย และดินลูกรัง

มาตรฐานของสินค้าบล็อกผนัง และแนวคิดที่ใช้ในการออกแบบมาตรฐานของสินค้าบล็อกผนัง

มาตรฐานที่ใช้ในกาออกแบบงานบล็อกผนัง สามารถที่จะทำแยกออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ เรื่องของงานบล็อกผนังชนิดที่รับน้ำหนัก และชนิดที่ไม่รับน้ำหนัก ซึ่งสามารถแยกรายละเอียดออกได้ดังนี้ คือ

นิยามคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับงานบล็อกผนัง

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

1) คอนกรีตบล็อก (Hollow concrete block or hollow concrete masonry unit) หมายถึง ก้อนคอนกรีตที่ทำมาจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสมที่เหมาะสมชนิดต่างๆ และจะมีสารอื่นผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ สำหรับการก่อผนังหรือกำแพง มีรูหรือโพรงขนาดใหญ่ทะลุตลอดก้อน และมีพื้นที่หน้าตัดสุทธิที่ระนาบขนานกับผิวหน้าน้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดรวม ที่ระนาบเดียวกัน

2) คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (Hollow non-load-bearing concrete masonry unit) หมายถึงคอนกรีตบล็อกใช้สำหรับผนังที่ออกแบบให้ไม่รับน้ำหนักใดๆนอกจากตัวมันเอง

3) เปลือก (Face-shell) หมายถึง ผนังด้านนอกของคอนกรีตบล็อก

ประเภทและชั้นคุณภาพ

ประเภท

คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ซึ่งทำขึ้นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทควบคุมความชื้น และประเภทไม่ควบคุมความชื้น

ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

1) ความหนาของเปลือกต้องไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร

2) ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักให้มีขนาด ดังแสดงในตารางที่ 2.6 โดยจะมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2.6 ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

มิติพิกัด (หนา x สูง x ยาว)	ขนาดที่ทำ (หนา x สูง x ยาว) มิลลิเมตร x มิลลิเมตร x มิลลิเมตร
1 x 2 x 11/2	90 x 190 x 140
11/2 x 2 x 11/2	140 x 190 x 140
2 x 2 x 11/2	190 x 190 x 140
1 x 2 x 2	90 x 190 x 190
11/2 x 2 x 2	140 x 190 x 190
2 x 2 x 2	190 x 190 x 190
1 x 2 x 3	90 x 190 x 290
11/2 x 2 x 3	140 x 190 x 290
2 x 2 x 3	190 x 190 x 290
1 x 2 x 4	90 x 190 x 390
11/2 x 2 x 4	140 x 190 x390
2 x 2 x 4	90 x 190 x 390

<u>หมายเหตุ</u> ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่กำหนดนี้ เป็นขนาดที่ออกแบบเพื่อให้เป็นไปตามระบบการประสานทางพิกัด ในการก่อสร้างอาคารซึ่งได้กำหนดหน่วยพิกัดมูลฐาน [พ] ให้เท่ากับ 100 มิลลิเมตร และกำหนดความหนาของปูนก่อในรอยต่อมาตรฐาน เท่ากับ 10 มิลลิเมตร

วัสดุ

1) ปูนซีเมนต์ ให้ใช้อย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก.15 เล่ม 1 ปูนซีเมนต์ผสมควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ผสม มาตรฐานเลขที่ มอก.80

2) มวลผสมคอนกรีตควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมวลผสมคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก.566 ยกเว้นเกณฑ์กำหนดการคัดขนาดมวลผสมคอนกรีต

3) ส่วนผสมอื่น ๆ ตัวทำฟองอากาศ สี สารกันน้ำ ฯลฯ ที่นำมาใช้ ควรเป็นสารที่เหมาะสมสำหรับใช้กับคอนกรีตและควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

คุณลักษณะที่ต้องการ

1) ลักษณะทั่วไป คอนกรีตบล็อกรับไม่น้ำหนักทุกก้อน ต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าว หรือส่วนเสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรต่อการก่อคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอย่างถูกต้อง หรือทำให้สิ่งก่อสร้างเสียกำลังหรือความคงทนถาวรรอยร้าวเล็กน้อยที่มักเกิดขึ้นในกรรมวิธีผลิตตามปกติหรือรอยปริเล็กน้อยเนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งอย่างธรรมดา จะต้องไม่เป็นสาเหตุอ้างในการไม่ยอมรับ

2) คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ซึ่งต้องการฉาบปูนหรือแต่งปูนต้องมีผิวหน้าหยาบพอควรแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่งได้อย่างดี

3) คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ซึ่งต้องการก่อแบบผิวเผย ด้านผิวเผย จะต้องไม่มีรอยบิ่น รอยร้าว หรือตำหนิอื่น ๆ

4) ความต้านแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ ของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักเมื่อส่งถึงที่ก่อสร้างต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.7 การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก.109

3) ปริมาณความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภทควบคุมความชื้น) เมื่อส่งถึงที่ก่อสร้างต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 ความต้านแรงอัด

ความต้านทานแรงอัด ต่ำสุด เมกกะพาสคาล (เฉลี่ยจากพื้นที่รวม)	
เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน
2.0	2.0

ตารางที่ 2.8 ความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภทควบคุมความชื้น)

การหดตัวทางยาว (ร้อยละ) (1)	ความชื้นสูงสุด ร้อยละของการดูดกลืนน้ำทั้งหมด (เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน)		
	ความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ย (ร้อยละ) (2)		
	น้อยกว่า 50	50 ถึง 75	มากกว่า 75
0.03 และ น้อยกว่า	35	40	45
มากกว่า 0.03 ถึง 0.045	30	35	40
มากกว่า 0.045	20	30	35

หมายเหตุ

1) ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก (ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าวให้เป็นไปตาม ASTM C 426) และทดสอบก่อนกำหนดจำหน่ายไม่เกิน 12 เดือน

2) อาศัยสถิติตามประกาศของกรมอุตุนิยมวิทยาสำหรับสถานีที่ใกล้แหล่งผลิตมากที่สุด

เครื่องหมายและฉลาก

2.1) ที่คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักทุกก้อนอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่ายชัดเจน

2.1.1) ประเภท

2.1.2) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำหรือเครื่องหมายการค้าในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

1) รุ่นในที่นี้ หมายถึง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภทชั้นคุณภาพและขนาดเดียวกันที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

2) การชักตัวอย่างเพื่อการทดสอบให้กระทำ ณ สถานที่ผลิตและต้องให้เวลาอย่างน้อย10 วัน เพื่อทดสอบให้เสร็จ

3) การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนั้นหรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

การชักตัวอย่าง ให้เป็นไปตาม มอก.109

เกณฑ์ตัดสิน ในกรณีที่ทดสอบแล้วไม่ผ่าน อาจคัดบางส่วนออกแล้วชักตัวอย่างใหม่จากส่วนที่เหลือเพื่อทดสอบใหม่ถ้าตัวอย่างจากชุดที่สองนี้ทดสอบแล้วไม่ผ่านอีกให้ถือว่าคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักทิ้งรุ่นไม่เป็นไปตามมาตรฐานนี้

บทที่ 3

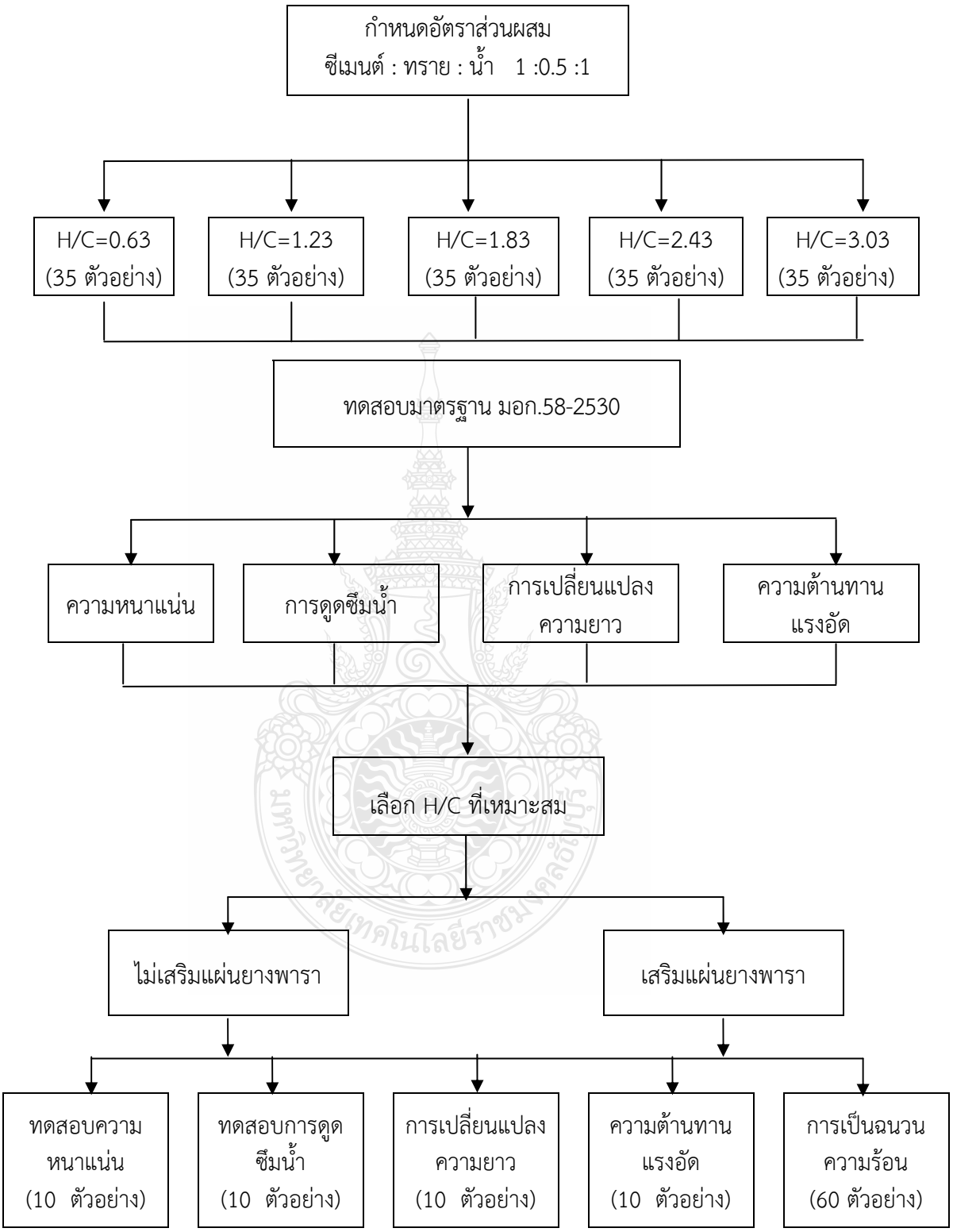
วิธีการทดสอบ

สำหรับวิธีการทดสอบเพื่อศึกษาคอนกรีตบล็อกหรืออิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารา มีขั้นตอนการดำเนินงาน วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการทดสอบ ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการศึกษาและดำเนินงานวิจัยคอนกรีตบล็อกหรืออิฐบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพาราได้ทำการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบสมบัติของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ เพื่อเลือกอัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์ (H/C) ที่เหมาะสม และขั้นตอนที่ 2 นำอัตราส่วนที่เหมาะสมในขั้นตอนที่ 1 มาทำการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ระหว่าง อิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบปกติ และอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารา พร้อมทั้งเลือกอัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์ (H/C) ที่เหมาะสมในการนำมาขึ้นรูปเป็นตัวอย่างอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารา โดยทำการทดสอบ ความหนาแน่น, การดูดซึมน้ำ, การเปลี่ยนแปลงความยาว และความต้านทานแรงอัดตามมาตรฐาน มอก. 58-2530 เรื่อง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ซึ่งมีวิธีการดำเนินการทั้งหมดสามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 3.1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการดำเนินงานวิจัย

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ซึ่งผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1-2532 หรือมาตรฐานอเมริกา ASTM C 150

3.2.2 เถ้าแกลบ

เถ้าแกลบจากโรงสีข้าวและนำมาทำการหาการดูดซึมน้ำได้ร้อยละ 24 เถ้าแกลบที่นำมามีสีดำและมีเศษของแกลบที่ยังเผาไหม้ไม่หมดปะปน จากนั้นนำไปอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เพื่อนำเถ้าแกลบที่เผาไหม้ไม่หมดออก

รูปที่ 3.2 เถ้าแกลบที่ได้จากโรงสี (ขนาดปกติ)

3.2.3 ยางธรรมชาติ (ยางพารา)

ยางพาราที่จะนำมาใช้จะต้องเป็นยางพาราแผ่น และผ่านกระบวนการรีดและเก็บไว้เป็นอย่างดีเพื่อไม่ให้เสื่อมคุณภาพ

รูปที่ 3.3 ยางพาราแผ่นที่ผ่านกระบวนการรีดนำมาตัดเป็นแผ่น ๆ

3.2.4 น้ำ
ที่ใช้ในการทดสอบเป็นน้ำประปา ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.2.5 ทราย
ที่ใช้ในการทดสอบเป็นทรายก่อสร้างทั่วไป

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์และเครื่องมือที่สำคัญ ๆ ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย

3.3.1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

รูปที่ 3.4 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

3.3.2 เครื่องผสมคอนกรีต

รูปที่ 3.5 เครื่องผสมคอนกรีต

3.3.3 เครื่องทดสอบกำลังอัด (Universal testing Machine)

รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบ UTM (Universal testing Machine)

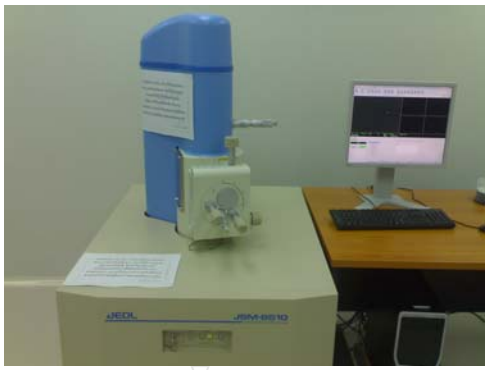
3.3.4 ตู้อบ

รูปที่ 3.7 ตู้อบที่สามารถควบคุมความร้อนที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

3.3.5 เครื่องอัดบล็อก

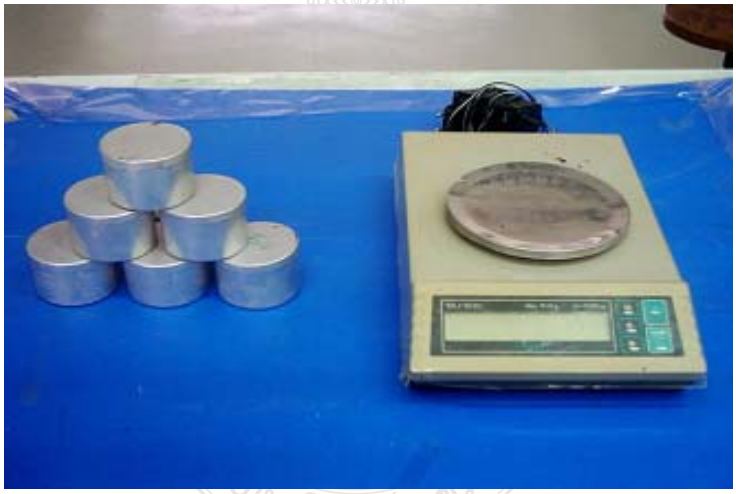
รูปที่ 3.8 เครื่องอัดบล็อกไฮโดรลิกที่สามารถอัดบล็อกขนาด 190 x 390 x 70 มิลลิเมตร

3.3.6 เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscopes)



รูปที่ 3.9 เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscopes)

3.4 การทดสอบหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content)



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์การทดสอบการทดสอบหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content) [7]

1) ชั่งน้ำหนักของกระป๋องอบเถ้าแกลบ พร้อมฝาปิดและบันทึกน้ำหนักของกระป๋องไว้และเขียนหมายเลขกำกับแต่ละกระป๋องไว้

2) นำตัวอย่างเถ้าแกลบใส่กระป๋องแล้วนำไปชั่ง ก็จะได้น้ำหนักกระป๋อง ถ้าหากการชั่งน้ำหนักช้าเกิน 3-5 นาที ต้องปิดฝากระป๋องด้วย เพื่อป้องกันมิให้ความชื้นออกจากเถ้าแกลบ

3) หลังจากชั่งน้ำหนักเถ้าแกลบ + กระป๋องแล้วก็นำเข้าเตาอบ ขณะอบต้องเปิดกระป๋องไว้

4) หลังจากเถ้าแกลบตัวอย่างแห้งแล้วก็นำมาชั่งใหม่ ก็จะได้น้ำหนักเถ้าแกลบแห้ง + น้ำหนักกระป๋อง

5) คำนวณหาค่าน้ำหนักน้ำในเถ้าแกลบ และน้ำหนักเถ้าแกลบแห้ง

$$Ww = (Ws_{(wet)} + Wc) - (Ws_{(dry)} + Wc) \quad (3.1)$$

$$Ws = (Ws_{(dry)} + Wc) - (Wc) \quad (3.2)$$

กำหนดให้

Ww = น้ำหนักน้ำ

Ws = น้ำหนักเถ้าแกลบ

Wc = น้ำหนักกระป๋อง

$Ws_{(wet)}$ = น้ำหนักเถ้าแกลบก่อนอบ

$Ws_{(dry)}$ = น้ำหนักเถ้าแกลบหลังอบ

สูตรที่ใช้คำนวณปริมาณน้ำในเถ้าแกลบ

$$\text{Water Content} = \frac{W_W}{W_S} \times 100 \quad (3.3)$$

W_W = น้ำหนักน้ำ

W_S = น้ำหนักเถ้าแกลบ

3.5 การกำหนดส่วนผสมอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก

ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ	เถ้าแกลบ
1	0.5	1	0.63
1	0.5	1	1.23
1	0.5	1	1.83
1	0.5	1	2.43
1	0.5	1	3.03

3.6 วิธีการผสมและการขึ้นรูปอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ

3.6.1 นำชิ้นตัวอย่างที่เตรียมไว้ตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดตามตารางที่ 3.1 จากนั้นนำเถ้าแกลบ ทรายและปูนซีเมนต์เทใส่เครื่องผสมคอนกรีตแล้วผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน

รูปที่ 3.11 การผสมเถ้าแกลบ ทราย และปูนซีเมนต์ให้เข้ากัน

3.6.2 ใส่น้ำที่เตรียมไว้ลงไปในเครื่องผสมคอนกรีต การใส่น้ำควรใส่น้ำลงไปทีละนิดโดยทำการหยุดเครื่องผสมและทำการเคาะ เถ้าแกลบ ทราย และปูนซีเมนต์ ที่เกาะตามข้างเครื่องผสมคอนกรีตออกบ่อย ๆ และเติมนำจนครบ จากนั้นทำการหมุนเครื่องผสมคอนกรีตเป็นเวลา 7-10 นาที

3.6.3 นำส่วนผสมที่ผสมจนเข้ากันดีแล้วไปอัดในเครื่องอัดบล็อกไฮโดรลิก และแต่ละก้อนใส่ส่วนผสมให้เท่า ๆ กัน จึงทำการอัดอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ความดันประมาณ 75 กก.

3.6.4 ก่อนที่จะใส่ส่วนผสมลงในเครื่องอัดบล็อกไฮโดรลิกควรทาน้ำมันก่อน เพื่อไม่ให้ส่วนผสมติดกับเครื่องอัดบล็อกไฮโดรลิก และป้องกันการสึกหรอของเครื่องอัดบล็อกไฮโดรลิก

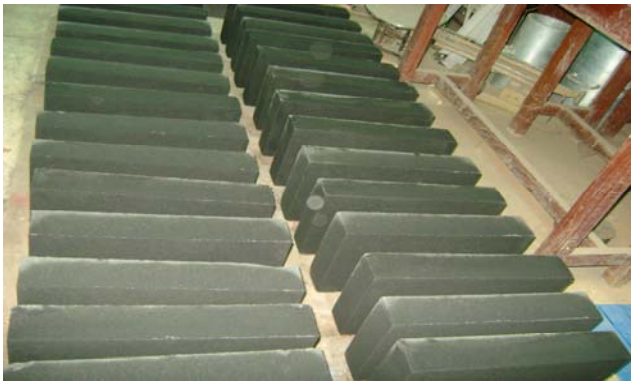
3.6.5 เมื่อทำการอัดเสร็จแล้วให้ยกอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ได้ออกจากเครื่องอัดบล็อกไฮโดรลิก และนำไปวางให้เป็นระเบียบเรียบร้อย

รูปที่ 3.12 ก้อนอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัดเสร็จแล้ว

3.6.6 เมื่อครบ 5 วัน ทำการย้ายก้อนอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบไปวางในที่ที่อากาศถ่ายเทได้ดี ห้ามนำอิฐบล็อกผสมแกลบไปตากแดดเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นจะไม่สมบูรณ์และมีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก หลังจากนั้นเมื่อครบอายุ 7, 14, 21 วัน และ 28 วัน ก็นำอิฐไปทำการทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป

รูปที่ 3.13 อิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อายุ 7 วัน

รูปที่ 3.14 อิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อายุ 14 วัน



รูปที่ 3.15 อิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อายุ 21 วัน

3.7 การทดสอบความต้านทานแรงอัด (Compressive Strength)

ทดสอบหาความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่มีอายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน ของอิฐบล็อกคือ Edge-Wise (วางเอาด้านขอบขึ้น) โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

3.7.1 วัดขนาดอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบเป็นมิลลิเมตร (กว้าง x ยาว x หนา) แล้วชั่งน้ำหนักโดยอ่านค่าละเอียดถึง 0.5 กรัม

3.7.2 นำเข้าเครื่องทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานแรงอัด โดยใช้อัตราการเพิ่มแรงอัดประมาณ 100 กก./ตร.ซม. จนกระทั่งอิฐพังทลายแล้วบันทึกค่าแรงอัดสูงสุด

3.7.3 คำนวณค่ากำลังต้านทานแรงอัดโดยสูตรที่ใช้คำนวณคือ

$$\sigma = \frac{P}{A} \qquad (3.4)$$

เมื่อ σ = กำลังต้านทานแรงอัด (กก./ตร.ซม.)

P = แรงกดที่ทำให้ชิ้นส่วนเกิดการวิบัติ (กก.)

A = พื้นที่รับแรงอัด (ตร.ซม.)

รูปที่ 3.16 การทดสอบความต้านทานแรงอัด

รูปที่ 3.17 ลักษณะการวิบัติของก้อนตัวอย่าง

3.8 การทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ

ทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่มีอายุ 28 วัน โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

3.8.1 นำอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เตรียมไว้ทดสอบวัดขนาด (กว้าง x ยาว x หนา) ของก้อนตัวอย่าง

3.8.2 นำอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบเข้าตู้อบโดยใช้เวลาในการอบ 24 ชั่วโมงแล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบทีละก้อน โดยอ่านค่าละเอียดถึง 0.1 กรัม จดบันทึกค่าน้ำหนักอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบแห้ง

3.8.3 นำอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบไปแช่ในน้ำให้ท่วมอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบขึ้นมา ใช้ผ้าซับน้ำบนผิวอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ละก้อน แล้วชั่งน้ำหนักให้เสร็จภายใน 3 นาที จดบันทึกค่าน้ำหนักอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ดูดซึมน้ำ

3.8.4 ทำการคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำตามสูตรดังนี้

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \qquad (3.6)$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบแห้ง

W_2 = น้ำหนักอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ดูดซึมน้ำ

รูปที่ 3.18 นำก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบแช่น้ำ

3.9 การทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว

ทดสอบหาค่าการทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อายุ 28 วัน โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

3.9.1 นำอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เตรียมไว้ทดสอบวัดขนาด (กว้าง x ยาว x หนา) ของก้อนตัวอย่าง

3.9.2 นำอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบเข้าในตู้อบเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็น ชั่งมวลและวัดความยาวของชิ้นทดสอบถือเป็นมวลในสภาพแห้ง คำนวณหาค่ามวลที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40

3.9.3 นำอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบไปแช่ในอ่างน้ำ โดยผิวบนของชิ้นทดสอบอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ 3 เซนติเมตร เป็นเวลา 3 วัน

3.9.4 เก็บรักษาที่ห้องหรือภาชนะปิด ชั่งมวลและวัดความยาวทุกวัน จนมวลของชิ้นทดสอบมีค่าต่ำกว่าค่ามวลที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 40 ซึ่งคำนวณได้จากข้อ 2

3.9.5 วัดความยาวและชั่งมวลของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบทุก 3 วัน จนความยาวเข้าสู่สภาพสมดุล โดยอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบมีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่าร้อยละ 0.003 ต่อ 3 วัน

3.9.6 รายงานผลปริมาณการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบแต่ละค่า

3.10 การทดสอบการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตบล็อก

ทดสอบหาค่าการทดสอบการเป็นฉนวนกันความร้อนของอิฐบล็อกที่อายุ 28 วัน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.10.1 ทำการขึ้นรูปอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบ โดยการอัดอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ซึ่งมีขนาดของตัวอย่างอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบตามมาตรฐานของอิฐบล็อกที่ขายโดยทั่วไปในท้องตลาดคือ กว้าง 190 มิลลิเมตร ยาว 390 มิลลิเมตร และหนา 70 มิลลิเมตร ซึ่งจัดเป็นคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย มอก.58-2530 ประเภทไม่รับน้ำหนัก

3.10.2 คัดเลือกตัวอย่างอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบโดยใช้อัตราส่วนผสม 1: 0.5: 1: 1.83 ไม่เสริมแผ่นยางพาราที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์ และอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพารามาก่อเป็นห้องจำลองขนาด กว้าง 1.20 เมตร และ สูง 2.00 เมตร โดยมีหลังคาจำลองมาปิดทับและทำการกรุแผ่นโฟมรอบแผ่นเหล็กทั้งหมด เพื่อไม่ให้ความร้อนสัมผัสกับเหล็กโดยตรงเพื่อป้องกันความผิดพลาด

3.10.3 ห้องจำลองที่ใช้ทดสอบด้านข้างและด้านหลังทำด้วยไม้อัด ด้านหน้าปิดด้วยแผ่นอะคริลิก หลังคามุงด้วยสังกะสี ห้องจำลองมีขนาด กว้าง 1.20 เมตร × สูง 2.00 เมตร และตัวกำเนิดความร้อนเป็นไฟสปอร์ตไลท์ 1,000 วัตต์ ห้องละ 1 ดวง สำหรับส่องไปที่ผนังอิฐ

3.10.4 วัดอุณหภูมิของกลางห้องอีกฝั่ง โดยใช้ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ สามารถอ่านค่าเป็นตัวเลข ได้ทั้งค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นสัมพัทธ์

3.10.5 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในห้องทดสอบระหว่างห้องที่ใช้ผนังตัวอย่างอิฐบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา และเสริมแผ่นยางพารา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

การดำเนินงานวิจัยการศึกษาคอนกรีตบล็อกมวลเบาหรืออิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารา ได้ทำการวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ หลัก ๆ ด้วยกันคือ ส่วนที่ 1 การทดสอบสมบัติของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบเพื่อเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสม และส่วนที่ 2 คือ นำอัตราส่วนที่เหมาะสมในส่วนที่ 1 มาทำการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ระหว่างอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบปกติ คือ อิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราและอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพารา

4.1 ผลการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ

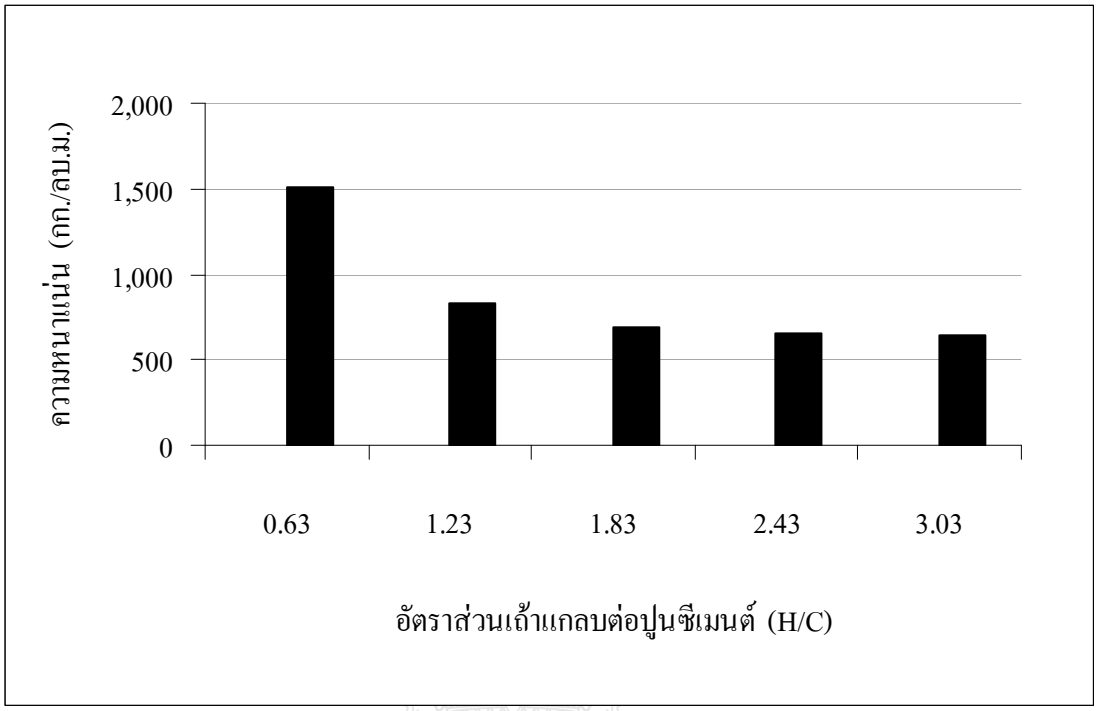
จากการดำเนินงานทดสอบตัวอย่างอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ เพื่อทำการเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปขึ้นรูปเป็นตัวอย่างของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารา โดยทำการทดสอบความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ การเปลี่ยนแปลงความยาว และความต้านทานแรงอัด ตาม มอก.58-2530 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ

จากการทดสอบความหนาแน่นของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนการผสม (ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ : แกลบ)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
1 : 0.5 : 1 : 0.63	1,506
1 : 0.5 : 1 : 1.23	829
1 : 0.5 : 1 : 1.83	690
1 : 0.5 : 1 : 2.43	653
1 : 0.5 : 1 : 3.03	642



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์ ที่อายุ 28 วัน

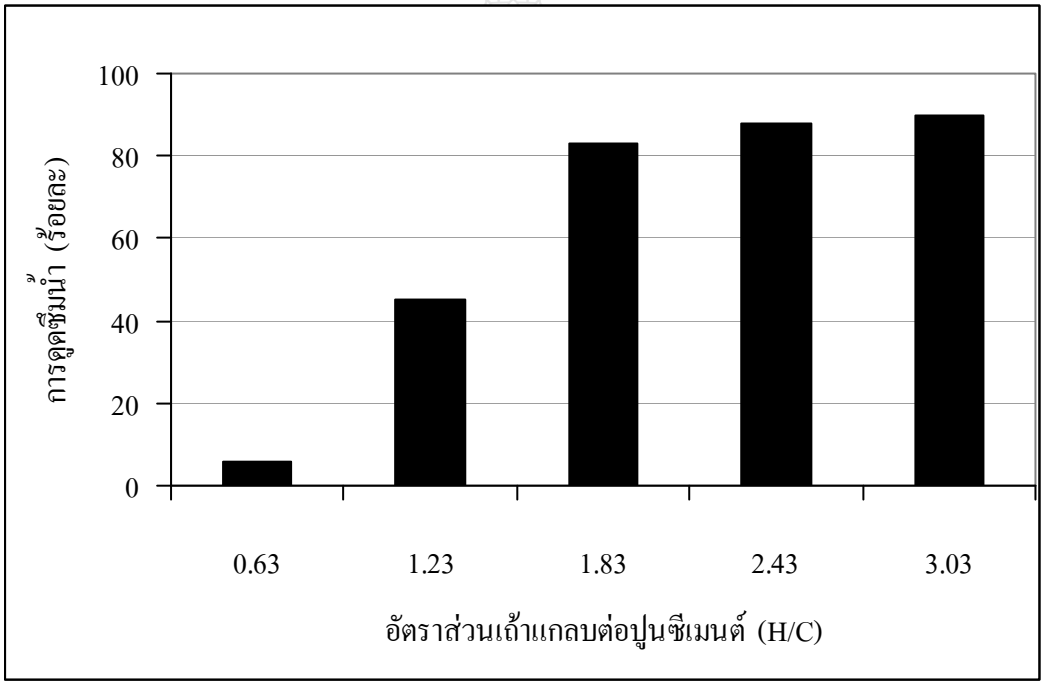
จากตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.1 พบว่า การใช้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสมในปูนซีเมนต์ปริมาณมาก อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 3.03 จะทำให้แนวโน้มของความหนาแน่นของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบมีค่าน้อยลง เนื่องจากเถ้าแกลบที่อยู่ในอิฐบล็อก มีลักษณะผิวขรุขระและมีรูพรุน ดังนั้น อากาศจึงเข้าไปแทนที่ในรูพรุนของเถ้าแกลบที่ผสมอยู่ในอิฐบล็อก จึงทำให้ความหนาแน่นในอิฐบล็อกที่ผสมเถ้าแกลบมีค่าน้อยลง [14] อีกทั้งเถ้าแกลบมีความความหนาแน่นน้อยกว่าทราย และปูนซีเมนต์ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างเถ้าแกลบต่อทรายต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนาแน่นลดลง

4.1.2 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อายุ 28 วัน

อัตราส่วนการผสม (ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ : แกลบ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
1:0.5:1:0.63	6
1:0.5:1:1.23	45
1:0.5:1:1.83	83
1:0.5:1:2.43	88
1:0.5:1:3.03	90



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำกับอัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์ที่อายุ 28 วัน

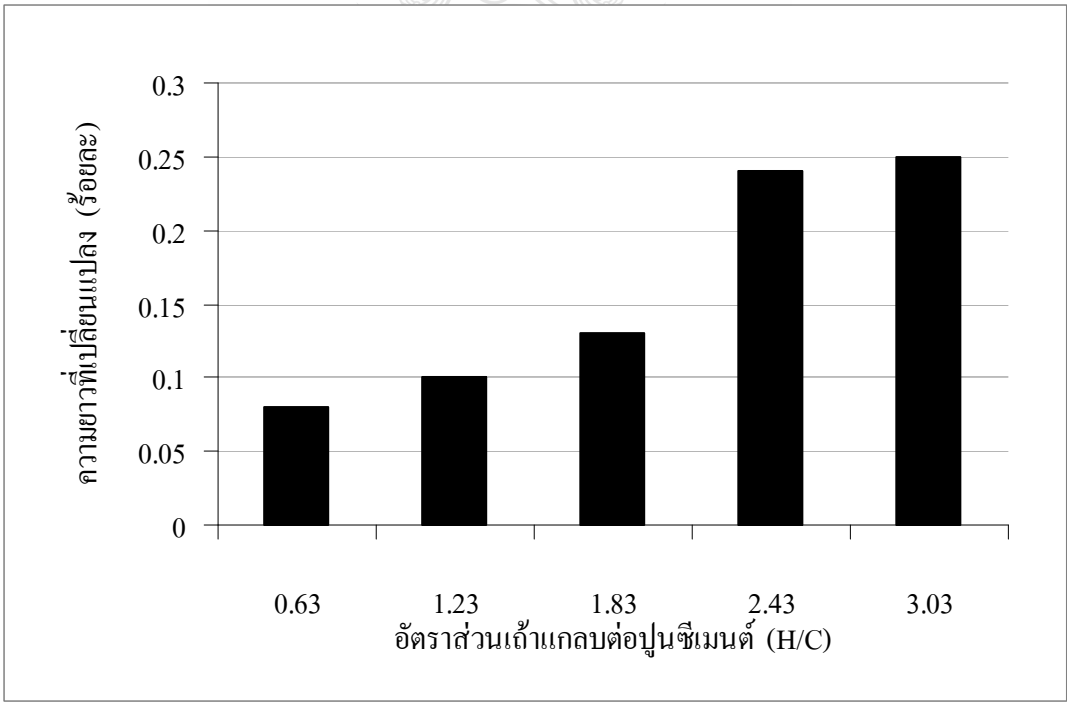
จากตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.2 พบว่า การใช้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสมในปูนซีเมนต์ปริมาณมาก อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 3.03 จะทำให้แนวโน้มการดูดซึมน้ำสูง เนื่องจากเถ้าแกลบมีลักษณะทางกายภาพที่มีรูพรุนสูง และมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน [15] ดังนั้นเมื่อใส่เถ้าแกลบเพิ่มขึ้นช่องว่างอากาศภายในอิฐบล็อกมากขึ้น ทำให้อิฐบล็อกที่ผสมเถ้าแกลบจะดูดซึมน้ำไว้ได้มากขึ้นด้วย

4.1.3 ผลทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ

จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบอัตราส่วนต่าง ๆ ที่อายุ 28 วัน

อัตราส่วนผสม (ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ : แกลบ)	ความยาวที่เปลี่ยนแปลง (มิลลิเมตร)	ความยาวที่เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
1 : 0.5 : 1 : 0.63	0.332	0.08
1 : 0.5 : 1 : 1.23	0.388	0.1
1 : 0.5 : 1 : 1.83	0.534	0.13
1 : 0.5 : 1 : 2.43	0.966	0.24
1 : 0.5 : 1 : 3.03	0.99	0.25



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงกับอัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์ ที่อายุ 28 วัน

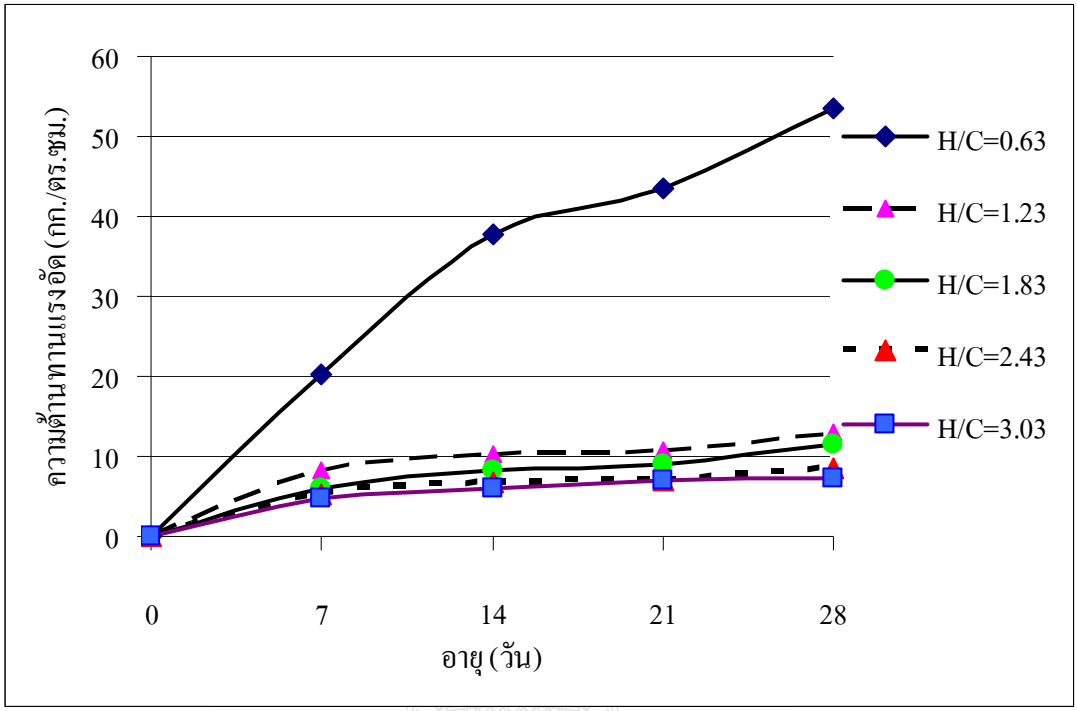
จากตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.3 พบว่า การเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อายุ 28 วัน ขึ้นอยู่กับปริมาณของเถ้าแกลบ เมื่อใส่เถ้าแกลบปริมาณมากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความยาวก็จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้าแกลบมีลักษณะเป็นรูพรุน และมีรูปร่างที่ไม่แน่นนอน [15] เมื่อใส่เถ้าแกลบปริมาณมากรูพรุนในอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบก็จะมากตามไปด้วย จึงทำให้เกิดการยืด-หดตัว เพิ่มมากขึ้น

4.1.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ

จากการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วนการผสม (ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ : แกลบ)	ความต้านทานแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
1 : 0.5 : 1 : 0.63	20.32	37.87	43.58	53.50
1 : 0.5 : 1 : 1.23	8.17	10.30	10.76	13.00
1 : 0.5 : 1 : 1.83	5.92	8.24	9.05	11.52
1 : 0.5 : 1 : 2.43	5.33	6.75	7.07	8.47
1 : 0.5 : 1 : 3.03	4.73	6.00	6.94	7.23



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัดกับอายุของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วนต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.2 พบว่า การใช้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสมในปูนซีเมนต์ปริมาณมาก อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 3.03 จะทำให้แนวโน้มความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบลดลง เนื่องมาจากปริมาณแกลบที่แทนเข้าไปแทนที่ของปูนซีเมนต์จึงทำให้ความสามารถในการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของปูนซีเมนต์ลดน้อยลง อีกทั้งเถ้าแกลบมีความหนาแน่นน้อย ดังนั้น เมื่ออัตราส่วนผสมปริมาณเถ้าแกลบเพิ่มมากขึ้นค่าความต้านทานแรงอัดจะมีค่าลดลงดังกล่าว เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมของเถ้าแกลบพบว่า อัตราส่วน 1 : 0.5 : 1 : 0.63 มีค่าความต้านทานแรงอัด 53.50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน และผ่านมาตรฐาน มอก.58-2530 เรื่อง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ที่กำหนดค่ามาตรฐานต่ำสุดไว้ที่ 20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

จากผลการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ สามารถเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วน (ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ : แกลบ) เท่ากับ 1 : 0.5 : 1 : 1.83 เนื่องจากค่าความต้านทานแรงอัด, ความหนาแน่น, การดูดซึมน้ำ และ การเปลี่ยนแปลงความยาว มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวที่ผ่านมาตรฐาน มอก.58-2530 เรื่อง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก และมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับอิฐบล็อกมวลเบา อีกทั้งยังสามารถลอยน้ำได้ ส่วนความต้านทานแรงอัดก็มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน มอก.58-2530 ดังนั้น จึงเลือกนำอัตราส่วนนี้มาทำการเสริมแผ่นยางพาราเพื่อนำไปทดสอบการเป็นฉนวนกันความร้อนและทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลต่อไป

4.2 ผลการทดสอบสมบัติของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารา

การทดสอบสมบัติของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพาราในอิฐบล็อกที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อน้ำต่อแกลบที่เหมาะสมที่สุด สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ดังนี้

4.2.1 ผลการทดสอบความหนาแน่น, อัตราการดูดซึมน้ำ, อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว และ ความต้านทานแรงอัด ของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางพารา

จากการทดสอบความหนาแน่น, อัตราการดูดซึมน้ำ, อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว, และความต้านทานแรงอัด ของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราและอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพาราและไม่เสริมแผ่นยางพารา สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความหนาแน่น, อัตราการดูดซึมน้ำ, อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว และ ความต้านทานแรงอัด ของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา และอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพารา ที่อายุ 28 วัน

ผลการทดสอบ	อิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ	
	ไม่เสริมแผ่นยางพารา	เสริมแผ่นยางพารา
ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	690.00	690.46
การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	83.96	83.57
อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว (ร้อยละ)	0.04	0.01
ความต้านทานแรงอัด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	11.52	11.00

จากตารางที่ 4.5 การทดสอบความหนาแน่น พบว่า อิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบเมื่อเสริมแผ่นยางพาราจะมีแนวโน้มความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา เนื่องจากแผ่นยางพารามีลักษณะเป็นแผ่นหนา 0.5-1 เซนติเมตร มีลักษณะตัน เมื่อไปแทนที่เถ้าแกลบซึ่งมีลักษณะเป็นรูพรุน มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน [15] จึงทำให้ความหนาแน่นของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพาราเพิ่มขึ้น

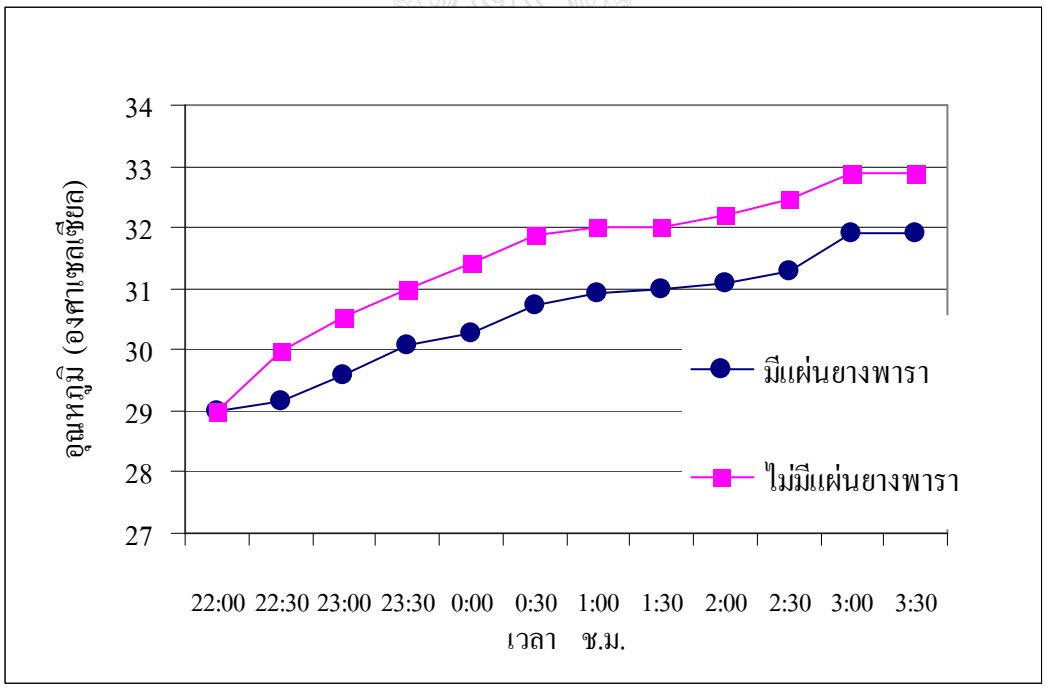
การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ พบว่า อิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพารามีแนวโน้มการดูดซึมน้ำน้อยกว่าอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา เนื่องจากแผ่นยางพารามีความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของน้ำและอากาศสูง เมื่อนำแผ่นยางพาราไปแทนที่เถ้าแกลบ ซึ่งเถ้าแกลบมีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอนและมีรูพรุนเมื่อถูกแทนที่จึงทำให้พื้นผิวของเถ้าแกลบลดลงจึงทำให้การดูดซึมน้ำลดลงตามไปด้วย

การทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาว พบว่า อิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพารามีแนวโน้มอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่าอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา เนื่องจากอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพารามีปริมาณของเถ้าแกลบน้อยกว่าอิฐบล็อกผสม

การทดสอบความต้านทานแรงอัด พบว่า อิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา สามารถรับความต้านทานแรงอัดได้มากกว่าอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพาราเล็กน้อย เนื่องจากแผ่นยางพาราที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของก้อนอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ โดยเมื่อวัดจากขอบของก้อนอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบแผ่นยางพาราจะเล็กกว่าด้านละประมาณ 2 เซนติเมตร เมื่อนำไปเสริมในก้อนอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ จะทำให้อิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพาราเกิดการแยกตัวได้ง่าย จึงรับแรงอัดได้น้อย

4.2.2 การทดสอบการเป็นฉนวนกันความร้อนของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพารา

จากการทดสอบการเป็นฉนวนกันร้อนของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา และอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพารา สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 4.5 และ ตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพารากับอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพารา ที่อายุ 28 วัน
(อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ : แกลบ เท่ากับ 1 : 0.5 : 1 : 1.83)

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการเป็นฉนวนกันความร้อนของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพาราและอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา ที่อายุ 28 วัน

เวลา	อุณหภูมิภายในห้องทดสอบ (องศาเซลเซียส)		อุณหภูมิภายนอกห้องทดสอบ (องศาเซลเซียส)
	เสริมแผ่นยางพารา	ไม่เสริมแผ่นยางพารา	
22:00	29	29	28
22:30	29.15	29.98	28.8
23:00	29.6	30.52	29
23:30	30.06	31	29.4
0:00	30.26	31.4	29.2
0:30	30.74	31.86	29.6
1:00	30.94	32	28
1:30	31	32	28.6
2:00	31.1	32.2	30.6
2:30	31.28	32.46	31.2
3:00	31.9	32.9	31.4
3:30	31.9	32.9	31.2

หมายเหตุ ทดสอบเมื่อ วันที่ 2 มีนาคม พ.ศ. 2554 ณ บริเวณลานเอนกประสงค์ข้างสระน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

จากรูปที่ 4.5 และ ตารางที่ 4.7 พบว่า อิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพาราจะมีแนวโน้มที่สามารถลดอุณหภูมิภายในห้องได้ต่ำกว่าอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราอยู่ 1 องศาเซลเซียส เนื่องจากยางพารามีสมบัติเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ดังนั้นความร้อนจึงไม่สามารถที่จะทะลุผ่านเข้ามาในผนังที่ก่อด้วยอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพาราหรือทะลุผ่านน้อย จึงทำให้อุณหภูมิภายในห้องที่ก่อผนังด้วยอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพาราน้อยกว่าอุณหภูมิในห้องที่ก่อผนังด้วยอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

จากการดำเนินงานทดสอบตัวอย่างอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์ (H/C) เท่ากับ 1.83 ที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราและเสริมแผ่นยางพารา โดยทำการทดสอบความหนาแน่น, การดูดซึมน้ำ, การเปลี่ยนแปลงความยาว, ความต้านทานแรงอัด และความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 จากการทดสอบความหนาแน่น พบว่าอิฐบล็อกเถ้าแกลบไม่เสริมแผ่นยางพารามีความหนาแน่นเท่ากับ 690 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งใกล้เคียงกับอิฐบล็อกเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพาราที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 690.46 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร สรุปได้ว่า แผ่นยางพารามีความหนาแน่นมากกว่าเถ้าแกลบเมื่อนำแผ่นยางพาราไปเสริมแทนที่ของเถ้าแกลบจึง มีความหนาแน่นมากกว่าทำให้อิฐบล็อกเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา มีความหนาแน่นน้อยกว่าอิฐบล็อกเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพาราเล็กน้อย

5.1.2 จากการทดสอบการดูดซึมน้ำ พบว่าอิฐบล็อกเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพารามีการดูดซึมน้ำเท่ากับ ร้อยละ 83.57 ซึ่งใกล้เคียงกับอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราที่มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 83.96 เนื่องจากแผ่นยางพารามีความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของน้ำและอากาศสูง เมื่อนำแผ่นยางพาราไปแทนที่เถ้าแกลบ ซึ่งเถ้าแกลบมีลักษณะรูปร่างไม่แน่นนอนและมีรูพรุนเมื่อถูกแทนที่จึงทำให้พื้นผิวของเถ้าแกลบลดลง ส่งผลให้การดูดซึมน้ำน้อยลงด้วย แต่เนื่องจากผลที่ได้มีความใกล้เคียงกันมาก นั่นก็เนื่องมาจากแผ่นยางพาราที่นำมาเสริมมีขนาดค่อนข้างบางจึงมีพื้นที่ในการแทนที่ส่วนผสมอื่นค่อนข้างน้อยค่าที่ได้จึงมีความใกล้เคียงกันมาก

5.1.3 จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาว พบว่าอิฐบล็อกเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพารามีการเปลี่ยนแปลงความยาวร้อยละ 0.01 ซึ่งน้อยกว่าอิฐบล็อกเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราที่มีการเปลี่ยนแปลงความยาวร้อยละ 0.04 เนื่องจากอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพารามีปริมาณของเถ้าแกลบน้อยกว่าอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา เพราะปริมาณของแกลบถูกแทนที่ด้วยแผ่นยางพารา ซึ่งเถ้าแกลบมีลักษณะเป็นรูพรุน มีรูปร่างที่ไม่แน่นนอน มีค่าการยืดหดตัวมาก เมื่อถูกแทนที่ด้วยแผ่นยางพาราที่มีรูปร่างแน่นอน จึงมีความเสถียรกว่าส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงความยาวมีค่าน้อยลง

5.1.4 จากการทดสอบความต้านทานแรงอัด พบว่าอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบไม่เสริมแผ่นยางพารามีค่าความต้านทานแรงอัดมากว่าอิฐบล็อกเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพาราเพียงเล็กน้อย เนื่องจากอิฐบล็อกที่เสริมแผ่นยางพารา จะมีพื้นที่ในการยึดเกาะระหว่างเถ้าแกลบน้อยดังนั้น จะทำให้อิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพาราเกิดการแยกตัวออกจากกันได้ง่ายกว่าเมื่อถูกแรงกระทำจึงรับความต้านทานแรงอัดได้น้อยกว่าอิฐบล็อกที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา

5.1.5 จากการทดสอบการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน พบว่าอิฐบล็อกเถ้าแกลบที่เสริมแผ่นยางพาราจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอิฐบล็อกเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพารา อยู่ประมาณ 1 องศาเซลเซียส เนื่องจากแผ่นยางพาราสามารถมีความสามารถในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน จึงช่วยป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากผนังด้านหนึ่งสู่ผนังอีกด้านหนึ่งได้

สรุปได้ว่า อิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์ (H/C) เท่ากับ 1.83 ที่เลือกมาเสริมแผ่นยางพารา เมื่อนำมาทดสอบตามมาตรฐาน ปรากฏว่าการเปลี่ยนแปลงความยาวผ่านมาตรฐาน มอก.58-2530 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก และมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับอิฐมวลเบาซึ่งเป็นข้อดีของอิฐบล็อกมวลเบาที่อุตสาหกรรมการก่อสร้างกำลังเป็นที่ต้องการและยังสามารถลดอุณหภูมิได้ถึง 1 องศาเซลเซียส ถึงแม้ว่าความต้านทานแรงอัดจะต่ำกว่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย แต่ก็สามารถที่จะนำเรื่องความความต้านทานแรงอัดไปพัฒนาต่อไปได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการเตรียมส่วนผสมเพื่อผลิตอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบนั้น เถ้าแกลบที่เรานำมาใช้เป็นส่วนผสมเป็นเถ้าแกลบที่ได้จากโรงสี การเผาไหม้จึงไม่ค่อยสมบูรณ์ ดังนั้นจึงต้องมีการร่อนเอาแกลบส่วนที่ยังไม่เผาไหม้ออกก่อน ซึ่งขั้นตอนนี้ค่อนข้างจะเสียเวลา แต่ถ้าเป็นเถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าเถ้าแกลบที่ได้จะมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มาก ดังนั้นถ้าผู้ที่สนใจคิดที่จะนำเถ้าแกลบไปทำการศึกษาวิจัยต่อ ควรใช้เถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อลดขั้นตอนในการเตรียมส่วนผสม และประหยัดเวลาด้วย

5.2.2 ในการผลิตอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่ใช้ในการทดสอบนี้ ใช้เถ้าแกลบเป็นวัสดุผสมในอิฐบล็อกพียงอย่างเดียว ซึ่งในการผลิตอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบนั้นเราสามารถใช้วัสดุชนิดอื่นมาผสมได้ เช่น เม็ดโฟม เถ้าชีวมวล และ ขี้เลื่อย เป็นต้น

5.2.3 สามารถนำอิฐบล็อกเถ้าแกลบที่ทำการศึกษาครั้งนี้ไปพัฒนาเป็นคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบ ในด้านความต้านทานแรงอัดได้ ด้วยการนำวัสดุอื่น ๆ มาผสมเพิ่มหรือทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมอื่น ๆ ให้มีความหนาแน่นสูงขึ้นเล็กน้อย

บรรณานุกรม

[1] โชคชัย สีนิลแท้. 2550. “โลกร้อนเริ่มบ้านประหยัดพลังงาน”. **โพสต์ทูเดย์** (16 ตุลาคม): 6

[2] อาถาพร สินธุสาร. 2552. **แกลบวัสดุเหลือทิ้ง(ไม่)ไร้ค่า**. [ออนไลน์] เข้าถึงจาก: http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/ct_6_2552_Husk. (18 มีนาคม 2553)

[3] สมชาย ไชยดิษฐ์.2549.**การทำหมวกจากแผ่นยางพาราแบบง่าย**.[ออนไลน์] เข้าถึงจาก : http://www.sk1edu.org/ap/news.php?show (18 มีนาคม 2553).

[4] เกียรติชัย ทองแก้วจันทร์, ชุติเดช ปีบ้านใหม่, จิรพงศ์ ม่วงพันธุ์, สนธยา จันทร์หวาน, และ อนุชิต แซ่ลิ้ม. 2552. **การใช้เถ้าขยะชีวะมวลในการพัฒนานวัตกรรมผนังคอนกรีตมวลเบาเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคาร.** ปริญญานิพนธ์ระดับปริญญาตรี, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[5] ปิติ พานิชายุนนท์, ฉัตร ผลนาค, สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, ธวัฒน์ชัย เทพนวล**,** นพนันท์ นานคงแนบ, และ อนุจิตร จันทศรี. **การพัฒนาคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากฟางข้าว**. ปริญญานิพนธ์ระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยทักษิณ.

[6] ประชุม คำพุฒ. 2550. **การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ**. ปริญญานิพนธ์ระดับปริญญาตรี, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[7] สิทธิชัย ศิริพันธุ์. 2547. **การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต.** คณะวิชาโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตศรีวิชัย.

[8] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์. 2548. **เทคโนโลยีของยาง.** ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

[9] เครือซีเมนต์ไทย. **ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน.** บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรมจำกัด. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ. 2548. หน้า 80-84.

[10] ภคพล ช่างยันต์, และ เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์. 2551. **ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยบดละเอียด**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13. ณ โรงแรม จอมเทียนปาล์ม บีช, พัทยา, ชลบุรี. หน้า MAT-028.

[11] ปริญญา จินดาประเสริฐ, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, วิเชียร ชาลี, และ ประสิทธิ์ อุตส่าห์พานิช. 2546. **ความคงทนของคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต**. เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการเถ้าถ่านหินในประเทศไทยมาใช้ในงานคอนกรีต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. มหาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 79-92.

[12] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, สุรเชษฐ์ จึงเกษมโชคชัย, และ วราภรณ์ คุณาวนากิจ. 2542. **คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าลอย**. การสัมมนาการใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีต. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. หน้า 7-19.

[13] สมนึก ประภารธนา. 2526. **ปูนซีเมนต์ราคาถูก**.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[14] สมนึก ตั้งเติมสิริกุล, ชาครีย์ บำรุงวงศ์, และ วีรพันธ์ พงศ์ปริตร. 2540. **แนวคิดสำหรับหาส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างปูนซีเมนต์และเถ้าลอยในคอนกรีตป้องกันซัลเฟต**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 3. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. หน้า MAT4-1 ถึง MAT4-9.

[15] บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิมิตยงสกุล. 2540. **ผลกระทบของขี้เถ้าแกลบต่อคอนกรีตคุณภาพสูง**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 3. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. หน้า MAT5-1 ถึง MAT5-9.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ

ภาคผนวก ข ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ

ภาคผนวก ค ผลการทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ

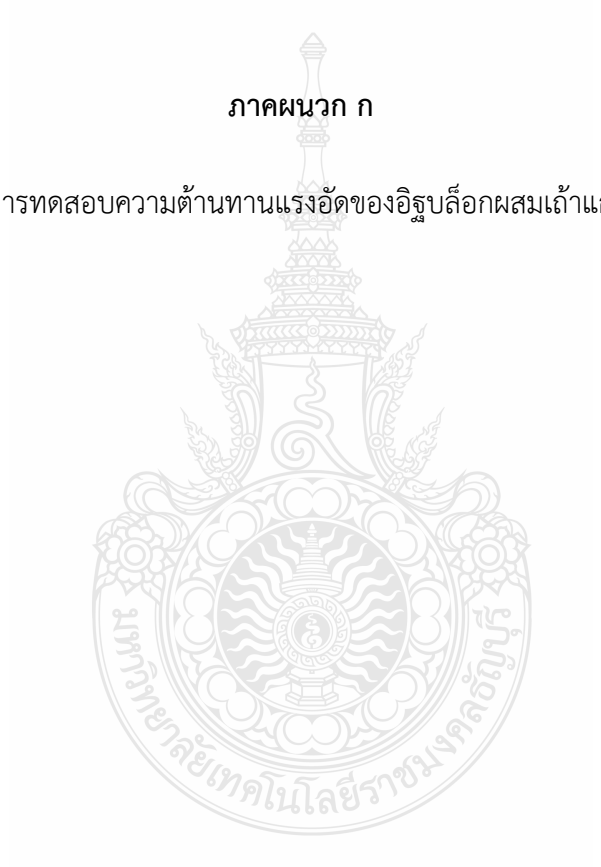
ภาคผนวก ง ภาพถ่ายจุลภาคของวัสดุวิจัย

ภาคผนวก จ ภาพถ่ายการวัดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

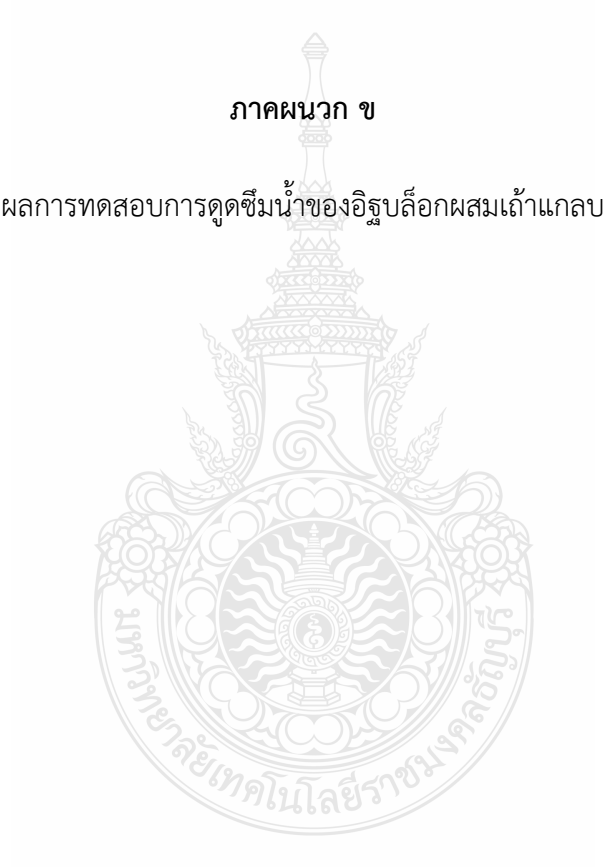
ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ



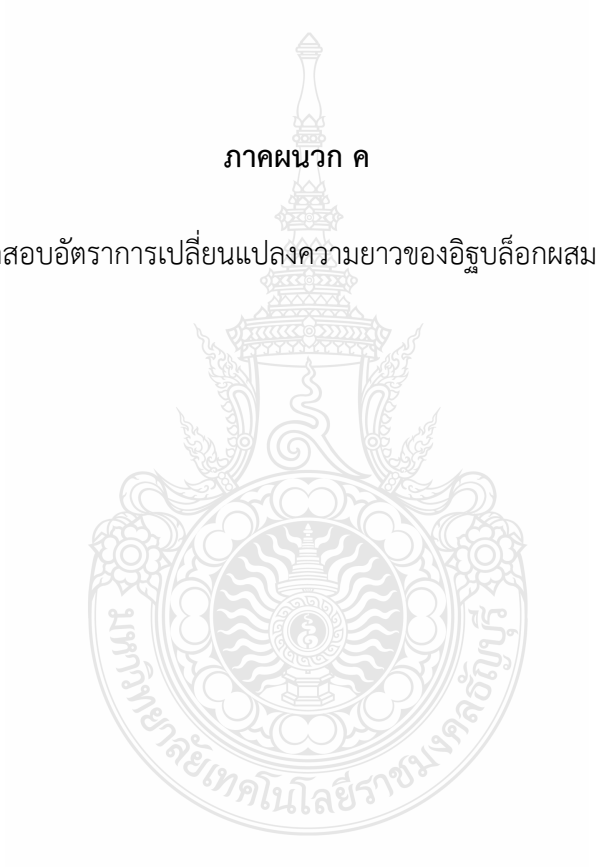
ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ



ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบ



ภาคผนวก ง

ภาพถ่ายจุลภาคของวัสดุวิจัย

ภาคผนวก จ

ภาพถ่ายการวัดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 3.03 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง (ตร.ซม.)	อายุ (วัน)	ตำแหน่งทดสอบ	น้ำหนัก (กรัม)	Load สูงสุด (กก.)	กำลังอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)						
1	6.555	39.46	19.96	5162.8595	7	ด้านขอบ	3412.3	1250	4.83
2	6.565	39.45	19.95	5166.8355			3425.2	1225	4.72
3	6.505	39.01	19..90	5049.8249			3501.2	1200	4.72
4	6.499	38.99	19.87	5034.9787			3421.7	1200	4.73
5	6.498	38.88	19.62	5033.1233			3382	1190	4.63
เฉลี่ย							**3428.48**	**1213**	**4.73**
1	6.685	39.634	19.89	5269.9209	14	ด้านขอบ	3425.8	1590	6
2	6.522	39.652	19.87	5138.5875			3420.3	1580	6.11
3	6.623	39.543	19.91	5214.2954			3215.6	1570	5.99
4	6.53	39.752	19.95	5178.6322			3412.6	1578	6.08
5	6.952	39.627	19.92	5487.6991			3521.2	1600	5.81
เฉลี่ย							**3399.1**	**1538.6**	**6**

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 3.03 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ) (ต่อ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง (ตร.ซม.)	อายุ (วัน)	ตำแหน่งทดสอบ	น้ำหนัก (กรัม)	Load สูงสุด (กก.)	กำลังอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)						
1	6.67	39.825	19.567	265.63	21	ด้านขอบ	3450.9	1750	6.59
2	6.88	39.876	19.67	274.35			3200.5	1800	6.56
3	6.75	39.677	19.87	267.82			3354	1890	7.06
4	6.68	39.66	19.79	264.93			3456.6	1900	7.17
5	6.66	39.97	19.89	266.20			3276.9	1950	7.33
เฉลี่ย							**3347.78**	**1858**	**6.94**
1	6.43	39.978	19.67	257.06	28	ด้านขอบ	3456.7	1890	7.35
2	6.56	39.89	19.55	261.68			3354.8	1850	7.07
3	6.78	39.956	19.89	270.90			3289.5	1960	7.24
4	6.79	39.968	19.9	271.38			3336.9	1940	7.15
5	6.79	39.9	19.55	270.92			3409.9	1990	7.35
เฉลี่ย							**3369.56**	**1926**	**7.23**

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 2.43 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง (ตร.ซม.)	อายุ (วัน)	ตำแหน่งทดสอบ	น้ำหนัก (กรัม)	Load สูงสุด (กก.)	กำลังอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)						
1	6.645	39.62	19.9	263.27	7	ด้านขอบ	3518.9	1380	5.24
2	6.579	39.34	19.92	258.82			3535	1390	5.37
3	6.543	39.45	19.92	258.12			3920.3	1380	5.35
4	6.426	39.36	19.98	252.93			3654.2	1350	5.34
5	6.552	39.67	19.96	259.92			3612.2	1390	5.35
เฉลี่ย							**3648.12**	**2888.21**	**5.33**
1	6.552	39.85	19.89	261.10	14	ด้านขอบ	3421.6	1800	6.89
2	6.789	39.765	19.69	269.96			3498.2	1740	6.45
3	6.68	39.908	19.67	266.59			3682.1	1798	6.74
4	6.79	39.876	19.82	270.76			3534.2	1850	6.83
5	6.768	39.897	19.98	270.02			3395.6	1840	6.81
เฉลี่ย							**3506.34**	**1805.6**	**6.75**

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 2.43 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ) (ต่อ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง (ตร.ซม.)	อายุ (วัน)	ตำแหน่งทดสอบ	น้ำหนัก (กรัม)	Load สูงสุด (กก.)	กำลังอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)						
1	6.55	39.86	19.75	261.05	21.00	ด้านขอบ	3547.60	1867.50	7.15
2	6.85	39.85	19.69	272.95			3384.80	1900.00	6.96
3	6.95	39.77	19.87	276.40			3508.80	1890.00	6.84
4	6.58	39.65	19.79	260.90			3380.90	1890.00	7.24
5	6.85	39.67	19.88	271.74			3343.60	1950.00	7.18
เฉลี่ย							**3433.14**	**1899.50**	**7.07**
1	6.75	39.68	19.68	267.81	28.00	ด้านขอบ	3366.70	2210.00	8.09
2	6.55	39.56	19.57	259.12			3456.80	2220.00	8.48
3	6.77	39.96	19.86	270.50			3409.50	2280.00	8.52
4	6.67	39.98	19.95	266.63			3356.90	2270.00	8.48
5	6.57	39.77	19.45	261.26			3468.90	2280.00	8.78
เฉลี่ย							**3411.76**	**2252.00**	**8.47**

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 1.83 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง (ตร.ซม.)	อายุ (วัน)	ตำแหน่งทดสอบ	น้ำหนัก (กรัม)	Load สูงสุด (กก.)	กำลังอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)						
1	6.68	39.81	19.80	266.01	7.00	ด้านขอบ	4119.10	1560.00	5.87
2	6.40	39.72	19.12	254.29			4302.30	1550.00	6.09
3	6.75	39.75	19.72	268.39			4314.20	1575.00	5.87
4	6.80	39.36	19.68	267.69			3980.20	1580.00	5.90
5	6.82	39.77	19.66	271.35			4018.60	1590.00	5.86
เฉลี่ย							4146.88	**1571.00**	**5.92**
1	6.74	39.85	19.80	268.56	14.00	ด้านขอบ	3965.80	2220.00	8.27
2	6.80	39.83	19.15	270.81			4001.70	2200.00	8.12
3	6.45	39.99	19.96	257.94			3876.00	2190.00	8.49
4	6.65	39.85	19.79	265.00			3913.80	2190.00	8.26
5	6.79	39.99	19.67	271.37			4090.60	2180.00	8.03
เฉลี่ย							**3969.58**	**2196.00**	**8.24**

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 1.83 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ) (ต่อ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง (ตร.ซม.)	อายุ (วัน)	ตำแหน่งทดสอบ	น้ำหนัก (กรัม)	Load สูงสุด (กก.)	กำลังอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)						
1	6.54	39.655	19.65	259.34	21	ด้านขอบ	3548	2350	9.06
2	6.75	39.846	19.55	268.96			3752.8	2260	8.4
3	6.85	39.74	19.82	272.22			3756.4	2450	9
4	6.54	39.85	19.75	260.62			3765	2460	9.44
5	6.65	39.87	19.92	265.14			3365.6	2480	9.35
เฉลี่ย							**3637.56**	**2400**	**9.05**
1	6.83	39.978	19.67	273.05	28	ด้านขอบ	3589	3150	11.54
2	6.56	39.89	19.55	261.68			3768.9	2990	11.43
3	6.7	39.956	19.89	267.71			3456.9	3120	11.65
4	6.7	39.968	19.9	267.79			3721.5	3050	11.39
5	6.51	39.9	19.55	259.75			3567.8	3000	11.55
เฉลี่ย							**3620.82**	**3062**	**11.52**

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 1.23 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง (ตร.ซม.)	อายุ (วัน)	ตำแหน่งทดสอบ	น้ำหนัก (กรัม)	Load สูงสุด (กก.)	กำลังอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)						
1	6.61	39.635	19.98	261.99	7	ด้านขอบ	4685.3	2120	8.09
2	6.78	39.68	19.92	269.03			4713	2120	7.88
3	6.61	39.45	19.58	260.76			4624	2120	8.13
4	6.72	39.5	19.45	265.44			4780.2	2215	8.34
5	6.54	39.45	19.36	258.00			4590	2120	8.22
เฉลี่ย							**4678.5**	**2139**	**8.17**
1	6.53	39.587	19.67	258.50	14	ด้านขอบ	4600.7	2770	10.72
2	6.78	39.567	19.67	268.26			4480.6	2770	10.33
3	6.68	39.991	19.45	267.14			4578.5	2670	9.99
4	6.89	39.85	19.78	274.57			4259.7	2800	10.2
5	6.75	39.78	19.78	268.52			4580.3	2760	10.28
เฉลี่ย							**4499.96**	**2754**	**10.3**

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 1.23 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ) (ต่อ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง (ตร.ซม.)	อายุ (วัน)	ตำแหน่งทดสอบ	น้ำหนัก (กรัม)	Load สูงสุด (กก.)	กำลังอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)						
1	6.74	39.355	19.645	265.25	21	ด้านขอบ	4585.3	2870	10.82
2	6.85	39.896	19.555	273.29			4589.5	2890	10.57
3	6.87	39.564	19.792	271.8			4594	2930	10.78
4	6.68	39.835	19.459	266.1			4603.4	2850	10.71
5	6.87	39.487	19.765	271.28			4608.6	2960	10.91
เฉลี่ย							**4596.16**	**2900**	**10.76**
1	6.54	39.982	19.34	261.48	28	ด้านขอบ	4236.8	3490	13.35
2	6.35	39.87	19.55	253.17			4505.8	3450	13.63
3	6.79	39.95	19.67	271.26			4336.9	3530	13.01
4	6.75	39.98	19.87	269.87			4168	3250	12.04
5	6.56	39.95	19.45	262.07			4156.3	3400	12.97
เฉลี่ย							**4280.76**	**3424**	**13**

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 0.63 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ) (ต่อ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง (ตร.ซม.)	อายุ (วัน)	ตำแหน่งทดสอบ	น้ำหนัก (กรัม)	Load สูงสุด (กก.)	กำลังอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)						
1	6.94	39.95	19.93	277.25	7	ด้านขอบ	8395.2	5380	20.28
2	6.85	39.84	19.92	272.9			8212	5370	19.68
3	6.58	39.54	19.98	260.17			8015.3	5380	20.68
4	6.72	39.62	19.79	266.25			8521	5420	20.36
5	6.62	39.45	19.89	261.16			8418.2	5420	20.62
เฉลี่ย							**8312.24**	**5394**	**20.32**
1	6.63	39.567	19.67	262.33	14	ด้านขอบ	3589	3150	11.54
2	6.68	39.477	19.55	263.71			3768.9	2990	11.43
3	6.68	39.891	19.89	266.47			3456.9	3120	11.65
4	6.89	39.85	19.9	274.57			3721.5	3050	11.39
5	6.9	39.878	19.55	275.16			3567.8	3000	11.55
เฉลี่ย							**8245.6**	**10190**	**38.84**

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 0.63 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ) (ต่อ)

ตัวอย่าง ก้อนที่	ขนาด			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	อายุ (วัน)	ตำแหน่งทดสอบ	น้ำหนัก (กรัม)	Load สูงสุด (กก.)	กำลังอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)						
1	6.76	39.885	19.68	5306.173	21	ด้านขอบ	8245.6	12000	44.51
2	6.56	39.784	19.65	5128.317			8356/7	11500	44.06
3	6.76	39.605	19.65	5260.891			8294	11580	43.25
4	6.54	39.535	19.78	5114.295			8253.4	11560	44.71
5	6.79	39.897	19.76	5352.996			8208.6	11200	41.34
เฉลี่ย							**8250.4**	**11568**	**43.58**
1	6.67	39.42	19.9	5232.335	28	ด้านขอบ	8100	14100	53.63
2	6.63	39.77	19.78	5215.493			7980	14150	53.66
3	6.65	39.85	19.93	5281.5			7981.5	14100	53.21
4	6.78	39.85	19.86	5365.834			7858.7	14190	52.52
5	6.76	39.98	19.99	5402.593			8009.5	14250	52.73
เฉลี่ย							**7985.94**	**14158**	**53.15**

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 3.03 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			อายุ (วัน)	น้ำหนักอิฐแช่น้ำ (กรัม)	น้ำหนักอิฐแห้ง (กรัม)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)				
1	6.67	39.42	19.56	28	6365	3265.9	95
2	6.78	39.67	19.68		6365	3354.9	90
3	6.65	39.45	19.76		6296.9	3277.9	92
4	6.78	39.85	19.7		6328.7	3460.6	83
5	6.76	39.99	19.89		6290.9	3307.2	90
เฉลี่ย					**6329.3**	**3333.3**	**90**

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 2.43 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			อายุ (วัน)	น้ำหนักอิฐแช่น้ำ (กรัม)	น้ำหนักอิฐแห้ง (กรัม)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)				
1	6.78	39.92	19.86	28	6513.8	3622.9	80
2	6.89	39.97	19.68		6658.2	3466.4	92
3	6.78	39.75	19.76		6677.4	3571.4	87
4	6.88	39.55	19.74		6580.7	3350.7	96
5	6.96	39.79	19.79		6677.4	3651.4	83
เฉลี่ย					**6621.5**	**3532.56**	**88**

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 1.83 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			อายุ (วัน)	น้ำหนักอิฐแช่น้ำ (กรัม)	น้ำหนักอิฐแห้ง (กรัม)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)				
1	6.76	39.82	19.76	28	6954.80	3854.70	80
2	6.76	39.77	19.98		7087.80	3754.80	89
3	6.89	39.85	19.66		6898.90	3798.90	82
4	6.88	39.55	19.75		6940.90	3800.00	83
5	6.87	39.89	19.77		6777.40	3781.40	79
เฉลี่ย					**6931.96**	**3797.96**	**83**

ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 1.23 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			อายุ (วัน)	น้ำหนักอิฐแช่น้ำ (กรัม)	น้ำหนักอิฐแห้ง (กรัม)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)				
1	6.56	39.72	19.66	28	6856.9	4778.9	43
2	6.78	39.98	19.78		6987.3	4754.8	47
3	6.76	39.65	19.89		6880.9	4896.2	41
4	6.77	39.78	19.89		6939.6	4620.1	50
5	6.88	39.79	19.74		6820.9	4710.8	45
เฉลี่ย					**6897.12**	**4752.16**	**45**

ตารางที่ ข.5 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 0.63 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			อายุ (วัน)	น้ำหนักอิฐแช่น้ำ (กรัม)	น้ำหนักอิฐแห้ง (กรัม)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)				
1	6.76	39.88	19.68	28	8670.9	8225.4	5
2	6.56	39.78	19.58		7876	7335.2	7
3	6.76	39.66	19.76		8796.1	8309.1	6
4	6.54	39.53	19.56		7867.3	7340.3	7
5	6.79	39.89	19.78		8640.4	8189.8	6
เฉลี่ย					**8370.14**	**7879.96**	**6**

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 3.03 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			อายุ (วัน)	ความยาวเดิม (L1) (มม.)	ความยาวใหม่ (L2) (มม.)	ความยาวที่เปลี่ยนแปลง (มม.)	ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป (ร้อยละ)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)					
1	6.67	39.825	19.567	28	398.25	398.10	0.15	0.04
2	6.88	39.876	19.67		398.76	397.16	1.60	0.40
3	6.75	39.677	19.87		396.77	395.22	1.55	0.39
4	6.68	39.66	19.79		396.60	395.67	0.93	0.23
5	6.66	39.97	19.89		399.70	398.98	0.72	0.18
เฉลี่ย					**398.016**	**397.026**	**0.99**	**0.25**

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 2.43 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ)

ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			อายุ (วัน)	ความยาวเดิม (L1) (มม.)	ความยาวใหม่ (L2) (มม.)	ความยาวที่เปลี่ยนแปลง (มม.)	ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป (ร้อยละ)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)					
1	6.98	39.91	19.68	28	399.1	398.38	0.72	0.18
2	6.86	39.696	19.65		396.36	395.06	1.3	0.33
3	6.89	39.548	19.65		396.48	395.57	0.91	0.23
4	6.68	39.867	19.78		398.67	397.6	1.07	0.27
5	6.86	39.934	19.76		399.34	398.51	0.83	0.21
เฉลี่ย					**397.99**	**397.024**	**0.966**	**0.24**

ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 1.83 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ)

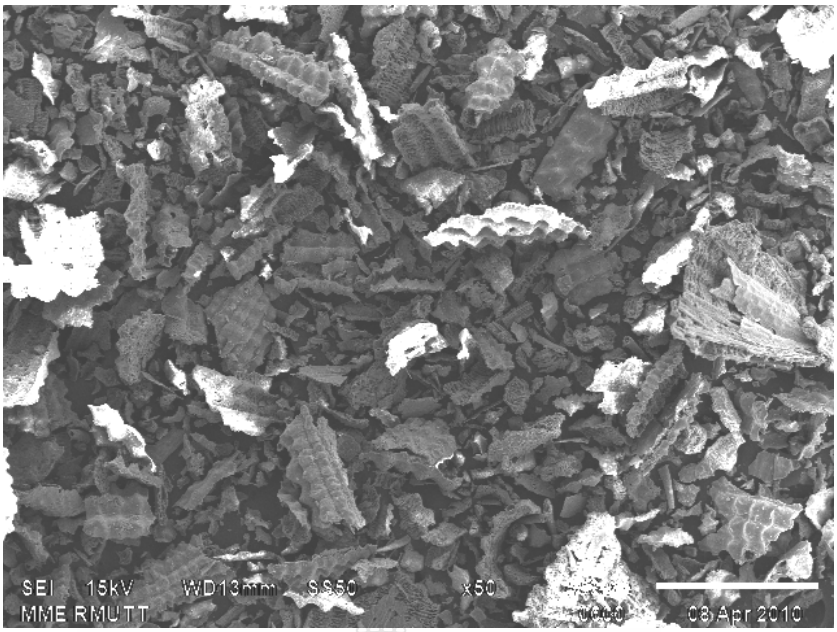
ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			อายุ (วัน)	ความยาวเดิม (L1) (มม.)	ความยาวใหม่ (L2) (มม.)	ความยาวที่เปลี่ยนแปลง (มม.)	ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป (ร้อยละ)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)					
1	6.98	39.825	19.57	28	398.25	398.23	5.0222	0.005
2	6.76	39.675	19.47		396.75	396.5	0.0006	0.063
3	6.45	39.446	19.97		394.46	394.42	0.0001	0.0101
4	6.55	39.547	19.59		395.47	395.45	5.0575	0.005
5	6.67	39.785	19.89		397.85	397.38	0.0011	0.1182
เฉลี่ย					**396.556**	**396.396**	**0.0004**	**0.0403**

ตารางที่ ค.4 ผลการทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 1.23 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ)

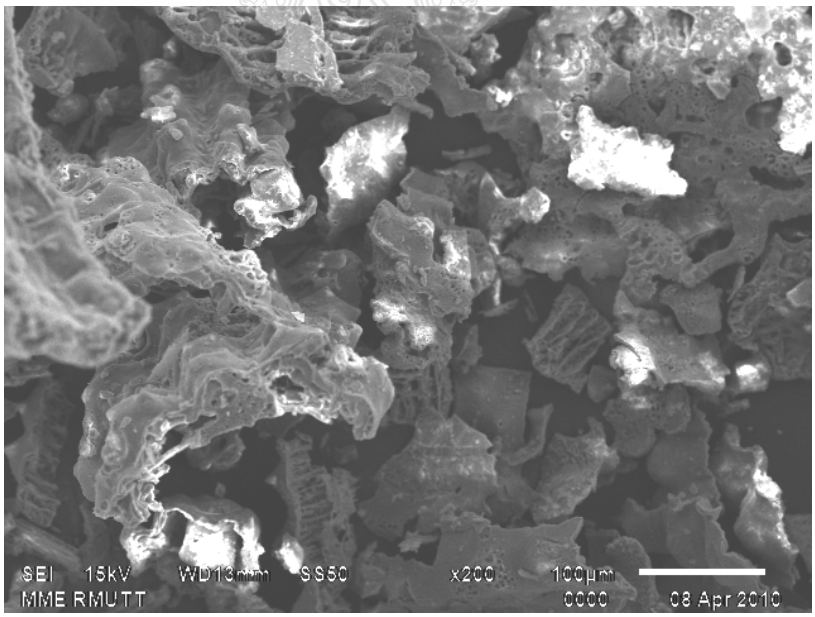
ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			อายุ (วัน)	ความยาวเดิม (L1) (มม.)	ความยาวใหม่ (L2) (มม.)	ความยาวที่เปลี่ยนแปลง (มม.)	ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป (ร้อยละ)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)					
1	6.75	39.845	19.57	28	398.45	398.35	0.0002	0.0251
2	6.66	39.675	19.47		396.75	396.67	0.0002	0.0201
3	6.45	39.467	19.97		394.67	394.61	0.0001	0.0152
4	6.75	39.893	19.59		398.93	398.86	0.0001	0.0175
5	6.77	39.565	19.89		395.65	395.55	0.0002	0.0252
เฉลี่ย					**396.89**	**396.808**	**0.0002**	**0.0206**

ตารางที่ ค.5 ผลการทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของอิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วน 1 : 0.5 : 0.63 : 1 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าแกลบ : น้ำ)

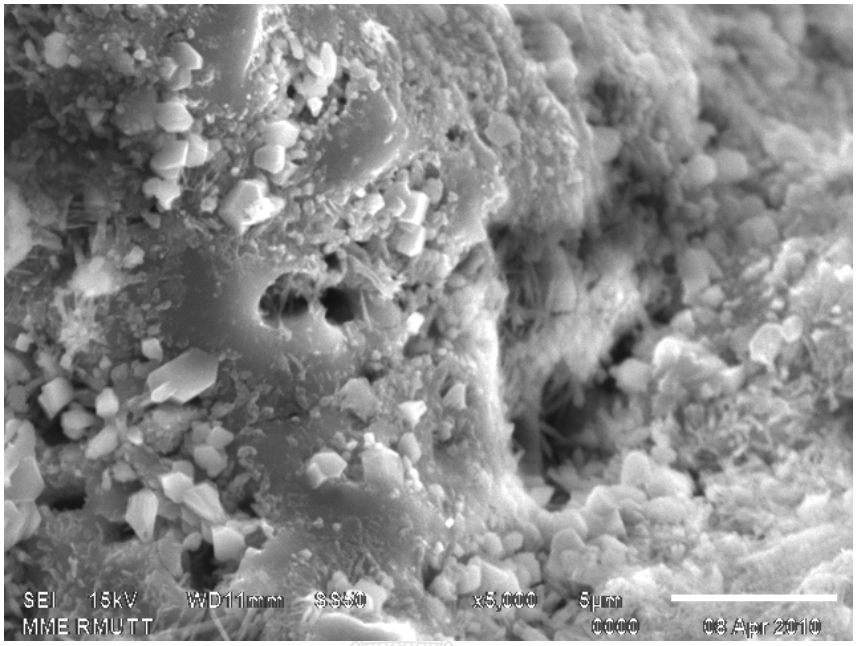
ตัวอย่างก้อนที่	ขนาด			อายุ (วัน)	ความยาวเดิม (L1) (มม.)	ความยาวใหม่ (L2) (มม.)	ความยาวที่เปลี่ยนแปลง (มม.)	ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป (ร้อยละ)
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)					
1	6.53	39.843	19.57	28	398.43	398.4	7.5301	0.0075
2	6.67	39.678	19.47		396.78	396.75	7.5614	0.0075
3	6.76	39.574	19.97		395.74	395.69	0.0001	0.0126
4	6.73	39.567	19.59		395.67	395.61	0.0001	0.0151
5	6.77	39.985	19.89		399.85	399.8	0.0001	0.0125
เฉลี่ย					**397.294**	**397.25**	**0.0001**	**0.011**



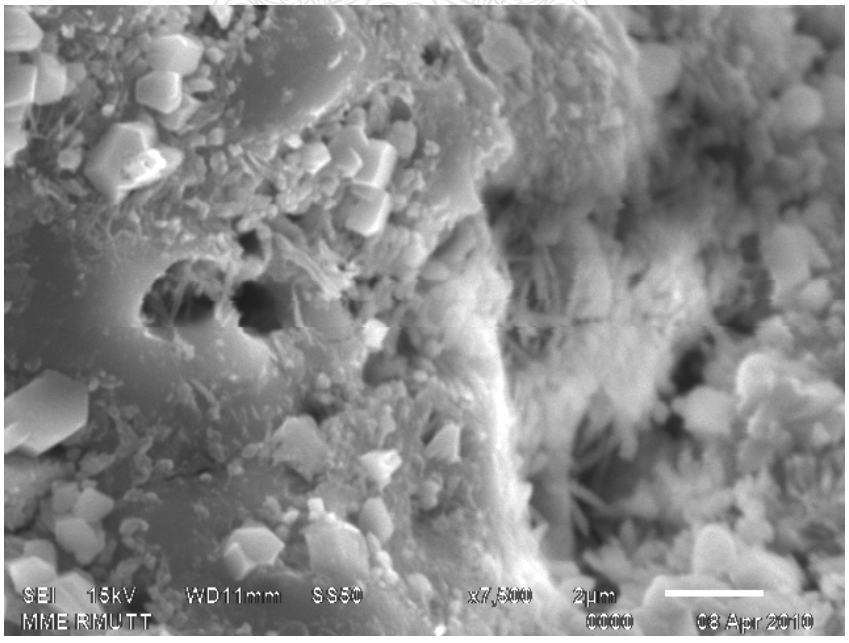
รูปที่ ง.1 ภาพขยายเถ้าแกลบ กำลังขยาย 50 เท่า



รูปที่ ง.2 ภาพขยายเถ้าแกลบ กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ ง.3 ภาพขยายอิฐบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบ กำลังขยาย 5,000 เท่า



รูปที่ ง.4 ภาพขยายอิฐบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบ กำลังขยาย 7,500 เท่า

รูปที่ จ.1 การเตรียมการกรุโฟมรอบแผ่นเหล็ก

รูปที่ จ.2 การกรุแผ่นโฟมรอบ ๆ ขอบเหล็ก

รูปที่ จ.3 เริ่มทดสอบอุณหภูมิของผนังอิฐบล็อกที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราและเสริมแผ่นยางพารา

รูปที่ จ.4 การทดสอบอุณหภูมิของผนังอิฐบล็อกที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราและเสริมแผ่นยางพารา