

การใช้ดินขาวผสม เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบเพิ่มประสิทธิภาพ
การป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อก



สัจจะชาญ พรีตมะลิ
ประชุม คำพุทธ
ปราโมทย์ วีรานุกูล
เช็นนิตย์ งามมานะ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณประจำปี ๒๕๕๒
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

**Using the Kaolin With Coir, Rice Straw and Rice Hush in Concrete Masonry
Unit Wall for Increasing Effective Heat Protection**



**Sajjachan Pradmali
Prachoom Khamput
Pramot Weeranukul
Sennit Ngammana**

**This Report is Funded by Rajamangala University of Technology Phra Nakhon,
Faculty of Industry Education, Fiscal 2009**

โครงการวิจัย	การใช้ดินขาวผสม เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อก	
คณะวิจัย	นายสังจะชาญ	พริศมะลิ
	นายประชุม	คำพูน
	ศศ.ปราโมทย์	วีรานุกูล
	นายเช็นนิตย์	งามมานะ
พ.ศ.	2552	

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อก โดยการใช้ดินขาวผสม เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบเป็นส่วนผสมแทนที่หินฝุ่นในคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักขนาด 70 X 190 X 390 มิลลิเมตร จากผลการทดสอบ ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ ดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบแทนที่หินฝุ่นที่ 5%:5%:15%:5% ให้ ค่าน้ำหนัก 6.08 กก. การดูดซึมน้ำ 7.96 % ค่ารับกำลังอัดที่ 65.4 กก./ตร.ซม. และมีการนำความร้อนน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก 29 %

คำสำคัญ : ดินขาว, เส้นใยธรรมชาติ, คอนกรีตบล็อก, ใยมะพร้าว, วัสดุผนังที่เป็นมวลสาร, คอนกรีตบล็อกลักษณะกลวง

Research Project	Using the Kaolin With Coir, Rice Straw and Rice Hush in Concrete Masonry Unit Wall for Increasing Effective Heat Protection	
Candidate	Mr. Sajjachan Pradmali	
	Mr. Prachoom Khamput	
	Asst. Prof. Pramot Weeranukul	
	Mr. Sennit Ngammana	
Academic Year	2009	

Abstract

The objective of this research project is to develop an effectively applicable prevention of heat for concrete masonry unit wall. By using kaolin mixture coir, rice straw and husk as a major ingredient in concrete to replacing usual stone dust, the hollow non-load-bearing concrete masonry units obtained had the size of 70 X 190 X 390 mm. The test results showed that the reliably ideal ratio of these mixture materials had to be from the combination of kaolin, coir, rice straw and husk, by replacing them at 5%: 5%: 15% and 5%. The block obtained also had other certain qualifications such as Weight at 6.08 kg., water absorption at 7.96%, and compressive strength at 65.4 ksc. Moreover, these combined materials harbored heat capacity less than the standard concrete masonry units with the weight not more than 29%.

Keywords : Kaolin, Natural fibers, Concrete Masonry Unit, Coir, Mass Wall, Hollow Concrete Block

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยการใช้ดินขาวผสม เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อกนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินปี 2552 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

คณะผู้วิจัย

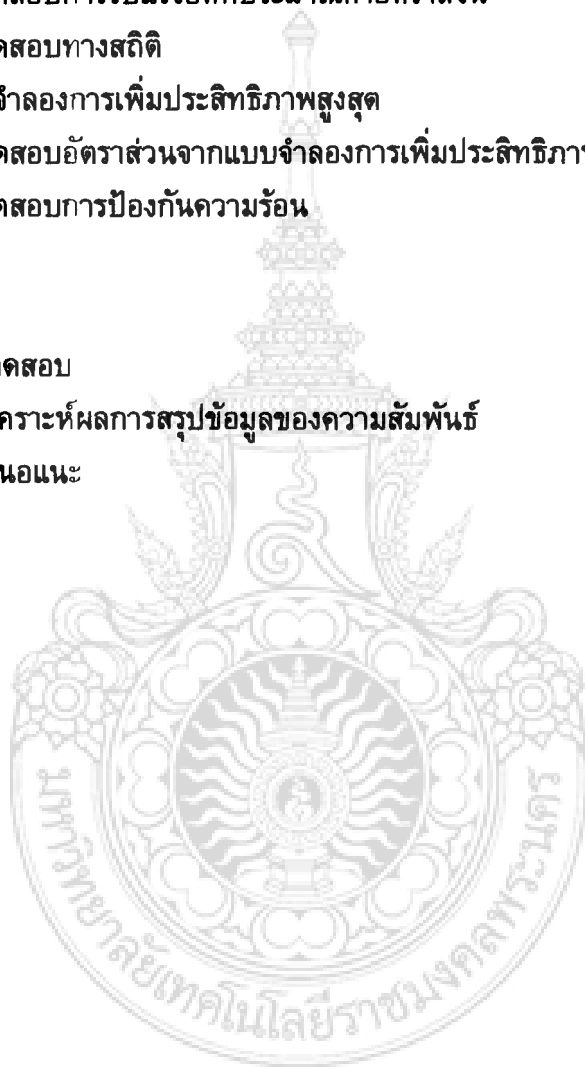


สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	6
1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	8
บทที่ 2 ทฤษฎี/สมมุติฐาน/กรอบแนวความคิดของการวิจัย	10
2.1 กรอบแนวความคิด “การใช้ดินขาวผสม เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบ เพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อก”	10
2.2 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	10
2.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	17
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบ ผสมในคอนกรีต	27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	30
3.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์	31
3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ	35
3.3 การทดสอบ	39
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบและสรุปผล	41
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ ผลการสรุปข้อมูล	42
4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด	42
4.2 ผลการทดสอบน้ำหนัก	52
4.3 ผลการทดสอบการดูดซึม	61
4.4 ประเมินค่าอัตราส่วน	62

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 ผลทดสอบการรับแรงอัดที่ประมาณค่าอัตราส่วน	62
4.6 ผลทดสอบทางสถิติ	63
4.7 แบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุด	67
4.8 ผลทดสอบอัตราส่วนจากแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุด	69
4.9 ผลทดสอบการป้องกันความร้อน	70
บทที่ 5 สรุปผล	70
5.1 การทดสอบ	70
5.2 ผลวิเคราะห์ผลการสรุปข้อมูลของความสัมพันธ์	70
5.3 ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารอ้างอิง	74



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการป้องกันและลดความร้อนเข้าสู่อาคาร	11
รูปที่ 3.1 สถานที่รวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบ	30
รูปที่ 3.2 ดินขาวล้างบดละเอียด 325 เมช (WRN-CMS)	31
รูปที่ 3.3 เส้นใยมะพร้าวโดยตัดเป็นชิ้นเล็กขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4	32
รูปที่ 3.4 เส้นใยฟางข้าวขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4	32
รูปที่ 3.5 เส้นใยแกลบขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 200	33
รูปที่ 3.6 หินฝุ่น	33
รูปที่ 3.7 แบบหล่อและเครื่องอัดตัวอย่าง	34
รูปที่ 3.8 กะบะและถังผสมวัสดุ	34
รูปที่ 3.9 ดวงหินฝุ่นสำหรับใส่ถังผสม	35
รูปที่ 3.10 ดวงดินขาวสำหรับใส่ถังผสม	35
รูปที่ 3.11 ใส่ซีเมนต์และวัสดุเส้นใยบดสำหรับถังผสม	36
รูปที่ 3.12 ผสมวัสดุให้เข้ากัน	36
รูปที่ 3.13 ใส่น้ำแล้วผสมวัสดุให้เข้ากัน	37
รูปที่ 3.14 เทวัสดุที่ผสมใส่ถัง	37
รูปที่ 3.15 นำวัสดุผสมที่ผสมแล้วใส่ในกะบะแบบหล่อ	37
รูปที่ 3.16 ปิดฝาแบบหล่อแล้วเขย่าให้แน่น	38
รูปที่ 3.17 เปิดฝาแบบหล่อแล้วดันตัวอย่างทดสอบออก	38
รูปที่ 3.18 นำตัวอย่างทดสอบไปตั้งบ่มไว้ตามระยะเวลาที่กำหนด	39
รูปที่ 3.19 นำตัวอย่างทดสอบมาชั่งน้ำหนัก	39
รูปที่ 3.20 นำตัวอย่างทดสอบเข้าเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด	40
รูปที่ 3.21 หาค่ารับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบ	40
รูปที่ 3.22 ตัวอย่างทดสอบที่ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดแล้ว	41
รูปที่ 4.1 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว	44
รูปที่ 4.2 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมฟางข้าว	46
รูปที่ 4.3 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมแกลบ	48
รูปที่ 4.4 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าว	50
รูปที่ 4.5 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว	54

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมฟางข้าว	56
รูปที่ 4.7 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมแกลบ	58
รูปที่ 4.8 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าว	60



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว	43
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมฟางข้าว	45
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมแกลบ	47
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสม เส้นใยมะพร้าว	49
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว	53
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมฟางข้าว	55
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมแกลบ	57
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าว	59



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในการพัฒนาประเทศนั้น พลังงานเป็นพื้นฐานสำคัญของการพัฒนาทางเศรษฐกิจ และการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชน ค่าพลังงานมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากแหล่งพลังงานลดน้อยลง รวมถึงค่าน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น และในขณะเดียวกันการใช้พลังงานก็มีสูงขึ้น โดยภาพรวมการใช้พลังงานในภาคธุรกิจที่อยู่อาศัยนั้นวันจะมีการใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สสอ.) [1]) จากข้อมูลตัวเลขทางเศรษฐกิจในปีพ.ศ.2544 พบว่า การใช้พลังงานของภาคธุรกิจและที่อยู่อาศัยของประเทศโดยรวม มีการใช้พลังงานอยู่ในลำดับที่ 3 รองลงมาจากภาคการขนส่งและภาคอุตสาหกรรม โดยแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นคิดเป็นอัตราการเจริญเติบโตประมาณร้อยละ 1.7 ต่อปี (ในช่วงปี 2533-2543) และ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และกรมการปกครอง[2]) ใน พ.ศ.2544 บ้านอยู่อาศัยในประเทศไทยมีจำนวนประมาณ 15.7 ล้านครัวเรือน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานได้จัดทำกรรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในครัวเรือน พบว่าจากปริมาณการใช้พลังงานทั่วประเทศ 7,438 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เป็นพลังงานไฟฟ้าปริมาณทั้งสิ้น 661 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ จากการคาดการณ์ของคณะอนุกรรมการพยากรณ์ไฟฟ้า ยังได้คาดการณ์ว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคที่อยู่อาศัย จะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 6 ในช่วงระยะเวลา 15 ปีข้างหน้า ด้วยเหตุนี้การอนุรักษ์พลังงาน การใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคที่อยู่อาศัย จึงเป็นเรื่องสำคัญและเร่งด่วนที่ควรถูกหยิบยกขึ้นมาพิจารณา

จากการศึกษาถึงสัดส่วนความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่ พักอาศัย ของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และ กรมการปกครอง[2]) พบว่าพลังงานที่ใช้ไปกับระบบปรับอากาศมีสัดส่วนที่สูงที่สุด แนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศก็คือ การป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยการป้องกันความร้อนให้กับเปลือกอาคารจากการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างและการเลือกใช้วัสดุประกอบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างเหมาะสม ถ้าเลือกใช้วัสดุที่สามารถป้องกันความร้อนได้ดีผู้อยู่อาศัยภายในบ้าน ก็จะไม่รู้สึกร้อนเป็นการเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงาน และการป้องกันความร้อนให้กับผนังอาคาร

ด้วยเหตุนี้การค้นคว้าหาวัสดุชนิดใหม่ๆ เพื่อการประหยัดพลังงาน การป้องกันความร้อนและยังคงความแข็งแรงให้กับผนังอาคารจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยการพัฒนาปรับปรุงวัสดุผนังที่

เป็นมวลสาร (Mass Wall) ชนิดคอนกรีตบล็อก โดยลักษณะของคอนกรีตบล็อกมีทั้งชนิดรับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนัก ที่ผลิตขึ้นในประเทศและใช้กันทั่วไปคือคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ขนาด 70 X 190 X 390 มิลลิเมตร ในแต่ละปีมีความต้องการใช้เป็นจำนวนมากทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ ส่วนใหญ่จะมีลักษณะกลวง (Hollow Concrete Block) และเป็นที่นิยมใช้มาก เนื่องจากมีราคาถูก และสามารถหาซื้อได้ง่าย ไม่มีปัญหาในขั้นตอนการก่อสร้างเนื่องจากช่างมีความเคยชินในการทำงานอยู่แล้ว อีกทั้งยังสามารถทำงานได้เร็วเพราะมีขนาดก้อนใหญ่ กว่าอิฐมอญและจากลักษณะที่มีรูกลวงตรงกลางทำให้ช่องอากาศภายในนั้นเป็นฉนวนในการกันความร้อนที่ดี แต่ข้อเสียคือจะเปราะและแตกง่าย การดอกตะปูยึดทุกจุด ฝังที่ปูนก่อเสาเอ็นหรือคานเอ็น ซึ่งถ้าเป็นผนังฉาบปูนจะหาตำแหน่งยาก ส่วนผนังเซาะร่องหาจุดเจาะทุกไม่ยากเท่าไรหากเกิดน้ำรั่วเข้าผนัง น้ำจะซึมได้ดีกว่าอิฐมอญ และบล็อกที่ขายกันทั่วไปคุณภาพต่ำ บางกว่าที่กำหนด (เช่นขนาดความหนา 7 ซม. จะเหลือ 6-6.5 ซม.) มือทุบแตก หล่นก็แตก วิธีการแก้ปัญหาข้อเสียของคอนกรีตบล็อกวิธีหนึ่งคือ การประยุกต์ใช้ดินขาว (Kaolin) และการนำเอาวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรเช่น เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) กลับมาใช้ประโยชน์ในการป้องกันความร้อน ความแข็งแรง และน้ำหนักเบา อีกทั้งช่วยลดต้นทุนในผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก

ปัจจัยในเลือกการใช้ ดินขาว (Kaolin) และการนำเอาวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรชนิด เส้นใยธรรมชาติ (เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าว) และกลับ มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก จากการพิจารณาคุณสมบัติเพิ่มการป้องกันความร้อน ความแข็งแรง น้ำหนักเบา และลดต้นทุนในผลิต โดยสอดคล้องกับการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม การเพิ่มมูลค่า ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ดินขาว (Kaolin)

(อุบลศรี ชัยสาม และ เยาวลักษณ์ นิสสภ[3]) ดินขาวคือแร่ที่มีสีขาวประกอบด้วยไฮดรอกซิลอะลูมิเนียมซิลิเกต (Hydrous aluminium silicate) มีสูตร $Al_2O_3 \cdot 2SiO_3 \cdot 2H_2O$ ส่วนประกอบทางเคมีมีซิลิการ้อยละ 46 อะลูมินาร้อยละ 40 น้ำร้อยละ 14 ความถ่วงจำเพาะ 2.6 ความแข็งแรง 2.0-2.5 จุดหลอมประมาณ $1,785\text{ }^{\circ}\text{C}$ มักเกิดจากการสลายตัวโดยกระบวนการแปรสภาพเป็นดินขาวเคโอลิน (Kaolinization) และจะประกอบด้วยแร่เคโอลินไนต์ (Kaolinite) ฮาลลอยไซต์ (Halloysite) หรือ อิลไลต์ (Illite) เป็นส่วนใหญ่ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอุตสาหกรรมเซรามิก เพราะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์คุณสมบัติเฉพาะตัวของดินขาวแต่ละแหล่งเหมาะกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท แต่ปัญหาหลักในปัจจุบันของดินขาวที่มีผลกระทบต่ออุตสาหกรรมเซรามิก เป็นอย่างมากก็คือราคาค่าขนส่งดินขาวจากแหล่งผลิตไปยังโรงงานเซรามิกในภาคเหนือ เช่นที่จังหวัดลำปาง มีราคาที่สูงมาก เนื่องจากระยะทางไกล ราคาน้ำมันที่แพงขึ้น และปัจจัยองค์ประกอบอื่นๆ อีกหลายประการ จึงทำให้มีดิน

ชาวเหลืออยู่ที่แหล่งเป็นจำนวนมาก ดังนั้นทางผู้รับผิดชอบพื้นที่ของแหล่งดินขาว ที่เป็นแหล่งใหญ่ๆ เช่นจังหวัดระนอง ซึ่งก็คือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต่างๆ ก็ได้มีนโยบายในการที่จะนำดินขาวมาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น โดยมีความคิดที่จะนำมาเป็นส่วนประกอบของวัสดุก่อสร้างที่ไม่ต้องมีกระบวนการขั้นตอนที่ยุ่งยากซับซ้อนมากเกินไปนัก เพื่อที่จะนำมาใช้ได้โดยง่ายในทันที โดยมีการศึกษาคุณสมบัติดินขาวกับคอนกรีต Sayamipuk, S. (2000) [4, 14, 15]) ได้ศึกษาดินขาวจากแหล่งระนองในประเทศไทยพบว่า อนุภาคของดินขาวยังมีส่วนช่วยในการพัฒนากำลังอัดของมอร์ต้าเนื่องจากผลของ Microfiller Effect และ Badogiannis, E., Papadakis, V.G., Chaniotakis, E. and Tsvilis, S. (2003) [5, 14, 15] ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมที่ตอบสนองต่อกำลังของคอนกรีตโดยเมื่อ ดินขาวแทนที่ทรายจะทำให้กำลังสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาที่ 90 วัน Xiaoqian, Q., and Zongjin, L. (2001) [6, 14, 15] ทำการศึกษาการเติมดินขาวลงในคอนกรีตจะทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้นในเวลาอันสั้นและในระยะยาวกำลังก็จะสูงกว่าเดิมด้วย ดังนั้นการนำดินขาวที่มีอยู่มากมายในท้องถิ่นมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้างคือ คอนกรีตบล็อกเพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงในด้านกำลังอัด สามารถแก้ไขข้อเสียที่เปราะและแตกง่ายได้ และเป็นการเพิ่มมูลค่าของดินขาวด้วย

2) วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร

2.1) เส้นใยธรรมชาติ

ประเทศไทยมีเส้นใยธรรมชาติมากมาย (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีแสง [7]) เป็นเศษเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะเส้นใยมะพร้าว(Coir) จากอุตสาหกรรมกะทิ และฟางข้าวจากการเกษตร ที่มี ข้อดี หลายประการดังนี้หาง่าย เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีใช้ไม่หมดสิ้น เป็นของเหลือทิ้ง มีราคาถูก ทำให้สามารถใช้ลดต้นทุนการผลิต มีสมบัติเชิงกลดี มีความแข็งแรงและ มอดูลัสสูง ความหนาแน่นต่ำ ทำให้มีน้ำหนักเบา การกันความร้อน ช่วยกำจัดและลดการกักเก็บของเสียจากเกษตรกรรมอุตสาหกรรมและการลดการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ โดยมีความสำคัญและมีมาของการเลือกเส้นใยมะพร้าว และฟางข้าวดังรายละเอียดต่อไปนี้

มะพร้าวจัดเป็นพืชชนิดหนึ่งที่สัมพันธ์กับเศรษฐกิจและสังคมไทย ซึ่งนอกจากจะสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกแล้วยังก่อให้เกิดอุตสาหกรรมแปรรูปต่อเนื่องเป็นสินค้าส่งออกสร้างรายได้ให้แก่ประเทศได้ อีกทั้งยังเป็นส่วนหนึ่งในวิถีชีวิตคนไทยโดยเฉพาะวัฒนธรรมการบริโภค (สถาบันคลังสมองของชาติ [7]) มีการปลูกในทุกพื้นที่ของประเทศประมาณ 2.04 ล้านไร่ มีผลผลิตมะพร้าวเท่ากับ 2.75 ล้านตัน มีสัดส่วนการใช้ประโยชน์แบ่งเป็นการบริโภคภายในประเทศ ร้อยละ 60 และ ร้อยละ 40 สำหรับ ใช้ในอุตสาหกรรมและส่งออก และมีแนวโน้มของปริมาณการใช้เพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี ซึ่งส่งผลให้ของเหลือใช้ ที่ได้ จากมะพร้าวก็ ย่อมมีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งถ้าไม่สามารถกำจัดเหลือใช้ ที่ได้จากมะพร้าวเหล่านั้นก็จะส่งผล

ทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม จึงเกิดแนวคิดโดยการนำเส้นใยมะพร้าวมาประยุกต์ ซึ่งเส้นใยมะพร้าวเป็นเส้นใยจากพืชหรือเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fibers) เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งเกิดจากเซลลูโลสยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมีเป็นโมเลกุลใหญ่มีสูตรเป็น $(C_6H_{10}O_5)_x$ กล่าวคือในโมเลกุลเซลลูโลสจะเกิดจากหน่วยโมเลกุลซ้ำ (Repeat units) ยึดจับกันเป็นสายยาว หน่วยโมเลกุลซ้ำ คือ เซลโลไบโอส (Cellobiase) เกิดจากบีต้า กลูโคส 2 โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะ C-O-C ในโมเลกุลเซลลูโลสจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่มากมายจะทำหน้าที่ดึงดูดน้ำ หรือเกิดปฏิกิริยาจับกับหมู่ธาตุอื่นๆ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสมีความเป็นระเบียบ (Crystalline) ค่อนข้างมากคือ 85 – 95 % และระหว่างสายโมเลกุลจะมีการยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) เป็นระยะๆ ซึ่งมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีความเหนียวแข็งแรง ค่อนข้างสูง น้ำหนักเบา เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก เพื่อให้ลดการแตกร้าวลดน้ำหนักคอนกรีตและเป็นการลดต้นทุนการผลิตและช่วยกำจัดวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากมะพร้าว

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์(สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ข้าว [9])ได้สำรวจผลผลิตข้าวเปลือกนาปรังในเดือนพฤษภาคม 2550 จะมีประมาณ 7.440 ล้านตัน(ที่มา : กรมการค้าต่างประเทศ) และ (ดร.ลัดดาวัลย์ วรรณนุช [10])ได้ผลผลิตข้าวปีละไม่ต่ำกว่า 24 ล้านตันข้าวเปลือกจะมีฟางข้าวเหลือทิ้งในนาไม่น้อยกว่า 30 ล้านตัน จากปัญหาเกษตรกรเผาฟางข้าวเหลือทิ้งในนา การเผาฟางออกไปจากพื้นที่หลังการเก็บเกี่ยว แม้เพียง 50% ของพื้นที่ทำนาในประเทศไทยก็จะเกิดความสูญเสียธาตุไนโตรเจนไปมากกว่า 97,500 ตันต่อปี ฟอสฟอรัส 3,600 ตันต่อปี และโพแทสเซียมมากกว่า 61,500 ตันต่อปี รวมทั้งกำมะถันอีก 6,750 ตันต่อปี มูลค่าของธาตุอาหารที่สูญเสียจากการเผาฟางคิดเฉลี่ยปีละประมาณ 3,981 ล้านบาท การเผาฟางไม่เพียงจะทำให้เกิดความสูญเสีย ทางด้านเศรษฐกิจและความอุดมสมบูรณ์ของดินนาที่ถูกทำลายไป ยังเกิดผลกระทบต่อระบบการเกษตรและสิ่งแวดล้อม โดยทำให้เกิดควันพิษในอากาศ อุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากทำให้เกิดการสะสมปริมาณของก๊าซเรือนกระจกมากขึ้น ระบบนิเวศของสิ่งมีชีวิตถูกทำลาย วิธีการหนึ่งในการกำจัดวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากเกษตรกรและการลดการทำลายสิ่งแวดล้อม โดยใช้คุณสมบัติของฟางข้าวที่เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ถ้านำมาผสมคอนกรีตจะทำให้ลดน้ำหนักของคอนกรีตลงและป้องกันความร้อนได้ และทำให้ราคาไม่สูงมากนักถ้าเทียบกับการผสมวัสดุอื่น แต่อาจทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงซึ่งสามารถนำไปใช้กับโครงสร้างที่ไม่ต้องรับแรงมากได้ จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

2.2) แกลบ (Rice Hush)

แกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งได้จากกระบวนการสีข้าว (อัศวิน น้อยสุวรรณ[11], สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2540) [12])ในปีหนึ่งๆ มีปริมาณแกลบสูงถึงประมาณ 5,878.14 พันตัน จากการสำรวจโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ในปี 2540 ของเหลือทิ้งเหล่านี้บางส่วน ถูกนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ย วัสดุปรองนอน ในโรงเรือนเลี้ยงเป็ด เลี้ยงไก่ นอกจากนี้ซีเถ้า ที่ได้จากการเผาไหม้ของแกลบ ยังสามารถส่งออกขายต่างประเทศได้อีกในราคาก็โลกรั่มละ 3-4 บาท ซึ่งนับว่าเป็นผลพลอยได้ นอกเหนือจากการใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนจากการศึกษาค้นคว้าทั้งในและต่างประเทศ พบว่าในแกลบและซีเถ้าแกลบ มีสารประกอบซิลิกา(Silica) เป็นสารประกอบหลัก อยู่ถึงร้อยละ 95 สารประกอบคาร์โบไฮเดรตในแกลบส่วนมากเป็นพวกCellulose และ lignin และมีปริมาณโพแทสเซียม (Potassium) และโคลีน (Choline) เล็กน้อย นับว่าเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่ง ที่นับวันแต่จะมีเพิ่มขึ้น และมีวัฏจักรการผลิตสั้น ซิลิกาเป็นสารประกอบอินทรีย์ ประกอบด้วยธาตุซิลิคอน และออกซิเจน มีชื่อเรียกทางเคมีว่า ซิลิคอนไดออกไซด์ สารประกอบชนิดนี้มีสมบัติเป็นฉนวน ไม่นำไฟฟ้าและความร้อน ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี พบได้ทั่วไป ในแหล่งแร่ธรรมชาติทรายจัดเป็นแหล่งซิลิกาสำคัญที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมแก้ว เซรามิก และอิฐทนไฟ เนื่องจากแกลบเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ถ้านำมาผสมคอนกรีตจะทำให้ลดน้ำหนักของคอนกรีตได้ และทำให้ราคาไม่สูงมากนักถ้าเทียบกับการผสมวัสดุอื่น แต่อาจทำให้กำลังของคอนกรีตตกลง ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโครงสร้างที่ไม่ต้องรับแรงมากได้ และเนื่องจากแกลบเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มีจำนวนมาก และชาวบ้านทั่วไปสามารถหามาใช้ได้ง่าย อีกทั้งมีราคาถูก เหมาะที่จะใช้เป็นวัสดุในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ เพื่อเป็นการใช้วัสดุที่มีมากให้มีประโยชน์ และลดต้นทุนการผลิต

จากคุณสมบัติของดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบ มีอยู่มากมายในท้องถิ่น มาประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้างคือ คอนกรีตมวลบล็อกแบบไม่รับน้ำหนัก จึงนับเป็นแนวความคิดที่มีประโยชน์ และบูรณาการการใช้วัสดุที่มีเหลือใช้จากการเกษตรจำนวนมากในท้องถิ่นเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (ลดมลพิษจากการเผาฟางข้าว และการขุดทราย) เพื่อเพิ่มมูลค่า เพื่อการส่งเสริมให้ชุมชน และบริษัท ขนาดเล็กได้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลบล็อกแบบไม่รับน้ำหนักผสมดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่อนุรักษ์พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และราคาถูก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสม ของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และ ดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบ มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

- 1.2.1. เพื่อศึกษาผลิตภัณฑ์ คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักโดยใช้ ดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบเป็นวัสดุผสมเพิ่ม ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อน
- 1.2.2. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้วัสดุผสม สำหรับทำคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสม ของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และ ดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าว และแกลบ
- 1.2.3. เพื่อทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ใช้ ดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบเป็นวัสดุผสม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 58 – 2533 และคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน
- 1.2.4. เพื่อพัฒนาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักโดยใช้ ดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบเป็นวัสดุผสมเพิ่ม ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนที่มีราคาถูก
- 1.2.5. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบ มาใช้งานจริงในการผลิต คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัยและเหมาะสม
- 1.2.6. เพื่อนำดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบที่มีจำนวนมากในท้องถิ่น มาใช้เกิดประโยชน์และมีมูลค่ามากขึ้นได้มากขึ้น

1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย

เพื่อให้การศึกษาคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบ บรรลุตามจุดมุ่งหมายที่วางไว้ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตการศึกษาไว้ดังนี้

- 1.3.1. ใช้ดินขาวจากจังหวัดระนอง และ/หรือเขตภาคกลาง
- 1.3.2. ใช้เส้นใยมะพร้าวจากในเขตภาคกลาง
- 1.3.3. ใช้ฟางข้าวและแกลบในเขตภาคกลาง
- 1.3.4. ออกแบบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้วัสดุผสม คอนกรีตสำหรับทำคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสม ของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย ดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบ ไม่น้อยกว่า 3 อัตราส่วน

- 1.3.5. ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตสำหรับทำคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก
- 1.3.6. ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 58 – 2533 และคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน
- 1.3.7. ประยุกต์ใช้แบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุด (Optimization Model) หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้วัสดุผสม สำหรับทำคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสม ของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย ดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าว และแกลบจากผลการทดสอบ
- 1.3.8. ทำการขึ้นรูปและทดสอบที่สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครและ/หรือ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1. สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับดินขาวภายในพื้นที่ของจังหวัดที่เป็นแหล่งดินขาว
- 1.4.2. สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบภายในพื้นที่ของจังหวัดที่เป็นแหล่งเส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบ
- 1.4.3. สามารถกำจัดของเหลือใช้จากภาคการเกษตร ลดการทำลายสิ่งแวดล้อมและลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ
- 1.4.4. สามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งดินขาวไปนอกพื้นที่ของแหล่งดินขาว
- 1.4.5. ทราบความเหมาะสมในการที่จะนำดินขาวผสมเส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบมาใช้ในการป้องกันความร้อนในผนังอาคาร และสามารถนำเป็นองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้เป็นวัสดุประกอบในงานวัสดุก่อสร้างได้
- 1.4.6. สามารถให้ความรู้ในการใช้ดินขาวผสมเส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังอาคารกับภาคธุรกิจ และชุมชน ภายในพื้นที่เป้าหมาย
- 1.4.7. ได้วัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดีและมีราคาถูก
- 1.4.8. เขียนบทความเผยแพร่ในวารสารวิชาการที่เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางในสาขาวิชา ทั้งในประเทศและต่างประเทศไม่น้อยกว่า 5 บทความ
- 1.4.9. เข้าร่วมบรรยายในงานประชุมสัมมนาของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น โยธาแห่งชาติ สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ฯลฯ

- 1.4.10. ทำการจดสิทธิบัตรในนามของคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
เทคโนโลยีราชพระนคร
- 1.4.11. สามารถสร้างความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
และองค์กรการปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ในการบูรณาการงานวิจัยร่วมกัน
ตามยุทธศาสตร์ของประเทศ
- 1.4.12. สามารถสร้างนักวิจัยหน้าใหม่ไม่น้อยกว่า 3 คน

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

ดินขาว: ดินขาวล้าง 325 เมช (WRN-CMS) เป็นดินขาวล้างเนื้อละเอียด เกรดสูง
สุกภัณฑ์ ส่วนประกอบที่สำคัญคือเคโอลิไนต์ และอาลลอยไซต์ สีของเนื้อดินหลังการเผาจะให้สี
ขาว มีความทนไฟสูง เหมาะสำหรับเป็นส่วนผสมในเนื้อวัสดุทนไฟและในเครื่องดินเผาที่
ต้องการความขาว, ส่วนผสมน้ำสลิปสำหรับงานหล่อแบบโดยเฉพาะในพวกสุกภัณฑ์ต่างๆ และ
ใช้ในน้ำเคลือบ สำหรับใช้ผสมในผลิตภัณฑ์ คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

เส้นใยธรรมชาติ: เศษเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรม โดยเฉพาะเส้นใยมะพร้าว(Coira)
ฟางข้าวจากการเกษตร เป็นเส้นใยจากพืชหรือเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fibers) เป็นคาร์
โบไฮเดรตชนิดหนึ่งเกิดจากเซลลูโลสยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมีเป็นโมเลกุลใหญ่มีสูตรเป็น
(C₆H₁₀O₅)_x กล่าวคือในโมเลกุลเซลลูโลสจะเกิดจากหน่วยโมเลกุลซ้ำ (Repeat units) ยึดจับ
กันเป็นสายยาว หน่วยโมเลกุลซ้ำ คือ เซลโลไบโอส (Cellobiose) เกิดจากบีต้า กลูโคส 2
โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะ C-O-C ในโมเลกุลเซลลูโลสจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่
มากมายจะทำหน้าที่ดึงดูดน้ำ หรือเกิดปฏิกิริยาจับกับหมู่ธาตุอื่นๆ การจัดเรียงตัวของโมเลกุล
เซลลูโลสมีความเป็นระเบียบ (Crystalline) ค่อนข้างมากคือ 85 - 95 % และระหว่างสาย
โมเลกุลจะมีการยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) เป็นระยะๆ ซึ่งมีผลทำให้เส้น
ใยเซลลูโลสมีความเหนียวแข็งแรงค่อนข้างสูง น้ำหนักเบา

คอนกรีตบล็อก/คอนกรีตบล็อกลักษณะกลวง: คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักขนาด 70
X 190 X 390 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่จะมีลักษณะกลวง (Hollow Concrete Block)

ใยมะพร้าว: เป็นเส้นใยจากพืชหรือเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fibers) เป็นคาร์
โบไฮเดรตชนิดหนึ่งเกิดจากเซลลูโลสยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมีเป็นโมเลกุลใหญ่มีสูตรเป็น
(C₆H₁₀O₅)_x กล่าวคือในโมเลกุลเซลลูโลสจะเกิดจากหน่วยโมเลกุลซ้ำ (Repeat units) ยึดจับ
กันเป็นสายยาว หน่วยโมเลกุลซ้ำ คือ เซลโลไบโอส (Cellobiose) เกิดจากบีต้า กลูโคส 2
โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะ C-O-C ในโมเลกุลเซลลูโลสจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่
มากมายจะทำหน้าที่ดึงดูดน้ำ หรือเกิดปฏิกิริยาจับกับหมู่ธาตุอื่นๆ การจัดเรียงตัวของโมเลกุล
เซลลูโลสมีความเป็นระเบียบ (Crystalline) ค่อนข้างมากคือ 85 - 95 % และระหว่างสาย

โมเลกุลจะมีการยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) เป็นระยะๆ ซึ่งมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีความเหนียวแข็งแรงค่อนข้างสูง น้ำหนักเบา

วัสดุผนังที่เป็นมวลสาร : ผนังที่มีมวลสารยึดติดกันทั่วทั้งผนังโดยการก่อหรือการหล่อเข้าด้วยกัน เช่น ผนังก่ออิฐฉาบฉวย ผนังก่อคอนกรีตบล็อก ผนังก่อคอนกรีตมวลเบา และผนังคอนกรีตสำเร็จรูป



บทที่ 2

ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

2.1 กรอบแนวความคิด “การใช้ดินขาวผสม เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อก”

เป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ให้มีค่าความเป็นฉนวนความร้อนที่ดีกว่าและมีคุณสมบัติอื่นๆ ไม่ต่ำกว่าที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติของดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบ มีอยู่มากมายในท้องถิ่น มาประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสม เป็นแนวความคิดที่บูรณาการใช้วัสดุที่มีเหลือใช้จากการเกษตรจำนวนมากในท้องถิ่นเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (ลดมลพิษจากการเผาฟางข้าว และการขุดทราย) เพื่อเพิ่มการมูลค่า เพื่อการส่งเสริมให้ชุมชน และบริษัทฯ ขนาดเล็กได้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลบล็อกแบบไม่รับน้ำหนักที่ผสมดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่อนุรักษ์พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและราคาถูก

2.2 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

โครงการวิจัย การใช้ดินขาวผสม เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อก สามารถใช้งานจริงในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัยและเหมาะสม โดยมีรายละเอียดทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดในด้านการอนุรักษ์พลังงาน คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ความแข็งแรงมาตรฐาน ของวัสดุและผลิตภัณฑ์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การใช้วัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน(สสอ.) [1])

เนื่องจากเมืองไทยเป็นประเทศที่อยู่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น แนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศก็คือ การป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร สำหรับบ้านพักอาศัยนั้น ก็มีหลายแนวทาง อาทิ

- การสร้างความเย็นให้กับสภาพแวดล้อม
- การป้องกันความร้อนให้กับเปลือกอาคาร
- การเลือกใช้การระบายอากาศภายในอาคารอย่างเหมาะสม



รูปที่ 2.1 แสดงการป้องกันและลดความร้อนเข้าสู่อาคาร

สาเหตุของความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารมาจากภายนอกมากกว่าที่เกิดขึ้นภายในอาคาร การที่จะลดความร้อนรวมลงได้ก็จะต้องมาจากการมีการป้องกันความร้อนที่ดีจากกรอบอาคาร ซึ่งส่วนหนึ่งสามารถทำได้โดยการเลือกใช้วัสดุที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานของแต่ละพื้นที่ ก็จะสามารถช่วยลดความร้อนได้ ดังนั้นระบบของวัสดุกรอบอาคารมีส่วนสำคัญในการป้องกันความร้อน ระบบของวัสดุกรอบอาคารที่ใช้กันอยู่ทั่วไป แบ่งตามวัสดุผนังและหลังคา ในที่ได้ศึกษาในด้านวัสดุผนัง ที่เป็นมวลสาร (Mass Wall) หมายถึง ผนังที่มีมวลสารยึดติดกันทั่วทั้งผนัง โดยการก่อหรือการหล่อเข้าด้วยกัน เช่น ผนังก่ออิฐมวลฉนวน ผนังก่อคอนกรีตบล็อก ผนังก่อคอนกรีตมวลเบา และผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น

ลักษณะ/ข้อดี/ข้อเสียของคอนกรีตบล็อก(สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สสอ.) [1])

ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก จะถูกผลิตในลักษณะอุตสาหกรรมมากกว่าอิฐมวลฉนวน โดยมีทั้งชนิดรับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนัก ที่ผลิตขึ้นในประเทศ และใช้กันทั่วไปคือ คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักขนาด 70 X 190 X 390 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่จะมีลักษณะกลวง (Hollow Concrete Block) และเป็นที่นิยมใช้มากเนื่องจากมีราคาถูก และสามารถหาซื้อได้ง่าย ไม่มีปัญหาในขั้นตอนการก่อสร้าง เนื่องจากช่างมีความเคยชินในการทำงานอยู่แล้ว อีกทั้งยังสามารถทำงานได้เร็วเพราะมีขนาดก้อนใหญ่กว่าอิฐมวลฉนวน และจากลักษณะที่มีรูกลวงตรงกลางทำให้ช่องอากาศภายในนั้นเป็นฉนวนในการกันความร้อนที่ดี แต่ข้อเสียคือจะเปราะและแตกง่าย การตกแต่งปูยึดทุกต้องทำที่ปูนก่อเสาเอ็นหรือคานเอ็น ซึ่งถ้าเป็นผนังฉนวนปูนจะหาค่าแห่งยาก ส่วนผนังเซาะร่องหาจุดเจาะยากไม่ยากเท่าไรหากเกิดน้ำรั่วเข้าผนัง น้ำจะซึมได้ดีกว่าอิฐมวลฉนวน และ

บล็อกที่ขายกันทั่วไปคุณภาพต่ำ บางกว่าที่กำหนด (เช่นขนาดความหนา 7 ซม. จะเหลือ 6-6.5 ซม.) มือทุบแตก หล่นก็แตก คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก

ตารางแสดงคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก

รูปแบบกายภาพ	หน่วย
ราคาต่อหน่วย(บาท)	4.50
ราคารวมต่อตร.ม(บาท)	200
ค่าวัสดุ+ค่าแรงตร.ม. (บาท) /	390
ขนาด(Volume) (cm. ³)	7x19x39
ความหนาแน่น(kg./m ³)	765
จำนวนก้อนต่อตร.ม. (ก้อน,แผ่น)	14
น้ำหนักต่อตร.ม. (kg./m ²)	90
น้ำหนักรวมปูนฉาบต่อตร.ม. (kg./m ²)	130
ค่าการนำความร้อน“K” (Conductivity – K value)(W/m.K)	0.529
ค่าการต้านทานความร้อน“R” (Resistivity – R value) (m ² K/W)	0.149
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (Thermal Expansion /°C)	4.5 x 10 ⁻⁶
	-
การหดตัวเมื่อแห้ง	0.8
การปลดกักน้ำ	ไม่มีกักน้ำ
อัตราการซึมน้ำ(%)	30%
การยึดหดตัวของวัสดุ(มม./ม.)	- 0.8
จำนวนผู้ผลิต	มาก
ปริมาณการผลิตเทียบกับความต้องการ	เพียงพอ
ขั้นตอนการก่อสร้าง	ง่าย
การบำรุงรักษา	ง่าย
อายุใช้งาน	มากกว่า50 ปี

ตารางแสดงคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก (ต่อ)

รูปแบบกายภาพ	หน่วย
<p>ข้อดี</p> <p>- แข็งแรง</p> <p>- มีช่องอากาศที่ช่วยกันความร้อนได้</p>	- ราคาถูก
<p>ข้อเสีย</p> <p>- อายุใช้งานยังไม่มีการยืนยัน</p> <p>- ต้องใช้ปูนฉาบเฉพาะ</p>	

ในการประยุกต์การใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุ คอนกรีตบล็อกมีคุณสมบัติคล้ายอิฐมอญ แต่มีลักษณะเป็นรูกลวงตรงกลางและมีขนาดใหญ่กว่ามาก การที่จะแก้ปัญหาในการป้องกันความร้อนโดยการทำเป็นผนัง 2 ชั้น อาจจะไม่เหมาะสมนักเนื่องจากขนาดที่มีความหนาของวัสดุ ทำให้ต้องเสียพื้นที่ไปเป็นผนังมากเกินไป ฉะนั้นควรที่จะใช้วัสดุประกอบอื่นแทน เช่น การเพิ่มฉนวนภายในหรือใช้วัสดุมวลสารน้อยปิดทับภายนอก เป็นต้น แต่ทั้งนี้การที่จะติดตั้งหรือประกอบวัสดุใดๆเข้ากับคอนกรีตบล็อก จะต้องไม่ลืมถึงข้อเสียของวัสดุนั้นๆ คือ เป็นวัสดุที่น้ำสามารถซึมผ่านและกระจายตัวได้ง่าย ฉะนั้นจะต้องมีการฉาบหรือปิดด้วยวัสดุที่สามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำ ก่อนที่จะติดตั้งฉนวนภายใน เพราะฉนวนเกือบทุกชนิดจะเสื่อมสภาพเมื่อน้ำหรือความชื้นเข้ามาสะสมภายในฉนวน ข้อเสียอีกประการของวัสดุนั้นๆ คือ ความเปราะและแตกหักง่าย ซึ่งผู้อาศัยมักพบปัญหาการเจาะ ดอก หรือแขวนสิ่งของต่างๆ ไม่ค่อยได้สาเหตุเนื่องจากรูกลวงที่อยู่ตรงกลางของบล็อก ซึ่งปัญหานี้ อาจแก้ไขได้โดยการเทปูนลงในช่องว่างเหล่านั้น เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุ แต่ผลกระทบก็คือ น้ำหนักโดยรวมของอาคารก็จะมากขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งช่องอากาศที่เป็นฉนวนกันความร้อนก็จะหมดตามไปด้วย จึงควรพัฒนาปรับปรุงผนังคอนกรีตบล็อกให้มีความเหมาะสมและตอบสนองต่อความต้องการอันแท้จริงของผู้อยู่อาศัยมากยิ่งขึ้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (กระทรวงอุตสาหกรรม.(2533)[13])

คุณลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58 - 2533) มีลักษณะทั่วไปคือ คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักทุกก้อน ต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าว หรือส่วนเสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอย่างถูกต้องหรือทำให้สิ่งก่อสร้างเกิดความคงทนถาวร รอยร้าวเล็กน้อยที่มักเกิดขึ้นในกรรมวิธีผลิตตามปกติหรือรอยปริเล็กน้อยเนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งอย่างธรรมดาจะต้องไม่เป็นสาเหตุอย่างในการยอมรับ คอนกรีตไม่รับน้ำหนัก ซึ่งต้องการฉาบปูนหรือ

แต่งปูนต้องมีผิวหน้าหยาบพอควรแก่การจับยึดของปูน คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักซึ่งต้องการก่อแบบผิวเผย ด้านผิวเผยจะต้องไม่มีรอยบิ่นรอยร้าว หรือตำหนิอื่น ๆ ถ้าในการสังเคราะห์หนึ่งมีก้อนซึ่งมีรอยบิ่นเล็กน้อยที่ยาวมากกว่า 25 มิลลิเมตร เป็นจำนวนไม่มากกว่าร้อยละ 5 จะต้องไม่ถือเป็นสาเหตุในการไม่ยอมรับความต้านทานแรงอัดค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน ต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล ค่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน ต้องไม่น้อยกว่า 2.0 เมกะพาสคัล คาดว่าคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราาย เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบจะมีคุณสมบัติเทียบเคียงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 58 -2533 ด้านทางด้านคุณลักษณะทั่วไปด้านความต้านทานแรงอัด ค่าการดูดซึมน้ำ และคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน

ตารางที่ 3 ความชื้น(เฉพาะคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ควบคุมความชื้น)

การหาคัดตัวทางยาวร้อยละ	ความชื้น สูงสุด ร้อยละของการดูดกลืนน้ำทั้งหมด (เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน)		
	ความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ย ร้อยละ		
	น้อยกว่า 50	50 ถึง 75	มากกว่า 75
0.03 และน้อยกว่า	35	40	45
มากกว่า 0.03 ถึง 0.045	30	35	40
มากกว่า 0.045	25	30	35

คุณสมบัติทางเคมีของดินขาว(อุบลศรี ชัยสาม [3])

ดินขาวปราจีน (CPB-CM) เป็นดินขาวที่ประกอบด้วยเคโอลิไนต์และควอทซ์ เป็นดินขาวละเอียดปนทรายที่ถูกพัฒนามาสะสมตัวเป็นชั้นในแอ่งที่ราบ มีความเหนียวพอประมาณแต่มีความทนไฟสูง เหมาะที่จะใช้เป็นส่วนผสม

ผลวิเคราะห์ทางเคมี

Chemical Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO ₂	LOI
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CPB-CM	74.60	16.70	0.81	0.09	0.10	0.09	0.17	0.66	0.01	6.70

ดินขาวล้างระนอง 325 เมช (WRN-CMS) เป็นดินขาวล้างเนื้อละเอียด เกรดสูงพิเศษ ส่วนประกอบที่สำคัญคือเคโอลิไนต์ และฮาลลอยไซต์ สีของเนื้อดินหลังการเผาจะให้สีขาว มีความทนไฟสูง เหมาะสำหรับเป็นส่วนผสมในเนื้อวัสดุทนไฟและในเครื่องดินเผาที่ต้องการความขาว, ส่วนผสมน้ำสลิปสำหรับงานหล่อแบบโดยเฉพาะในพวกสูงพิเศษต่างๆ และใช้ในน้ำเคลือบ

ผลวิเคราะห์ทางเคมี

Chemical Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI
	%	%	%	%	%	%	%	%
WRN-CMS	44.90	38.70	0.70	0.10	0.20	0.60	2.10	12.70

ดินขาวล้างระนอง 200 เมช (WRN-CMT) เป็นดินขาวล้างเนื้อละเอียด เกรดเนื้อดินปั้น และกระเบื้อง ส่วนประกอบสำคัญคือ เคโอลิไนต์และฮาลลอยไซต์ สีของเนื้อดินหลังการเผาให้สีขาวเหมาะสำหรับใช้เป็นเนื้อผสมในเนื้อดินปั้น สำหรับการขึ้นรูป พวก Tableware ฉนวนไฟฟ้า อิฐทนไฟ และเนื้อกระเบื้องปูพื้น, บุผนัง

ผลวิเคราะห์ทางเคมี

Chemical Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI
	%	%	%	%	%	%	%	%
WRN-CMT	45.90	36.70	0.70	0.10	0.20	0.60	2.10	12.70

ดินขาวล้างวังเหนือ 325 เมช (WLP-WN) ดินขาวเนื้อละเอียดส่วนประกอบสำคัญคือ เคโอลิไนต์และฮาลลอยไซต์ มีสีหลังเผาสีขาวออกเหลืองเล็กน้อย มีความทนไฟปานกลาง และมีค่า Costing Rate ต่ำ

ผลวิเคราะห์ทางเคมี

Chemical Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO ₂	LOI
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CPB-CM	61.40	12.50	1.00	0.47	0.26	2.65	3.35	0.05	0.06	6.70

จากข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีของดินขาวจะเห็นว่า มีแร่ธาตุต่างๆ ที่สามารถนำมาเป็นส่วนประกอบของคอนกรีตโดยการนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน (Sayamipuk, S., 2000 [4], Badogiannis, E.[5], Xiaoqian, Q.[6]) หรือเป็นวัสดุผสมเพิ่มในคอนกรีตได้ ดังนั้นแนวความคิดในการนำดินขาวมาผสมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่ง และสมควรนำมาทำการศึกษาวิจัยอย่างเป็นจริงจัง เพื่อที่จะได้มีวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีและมีราคาถูกกว่าวัสดุฉนวนชนิดอื่น ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดต่อไป

โครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ เส้นใยจากพืชหรือเส้นใยเซลลูโลส เส้นใยจากสัตว์หรือเส้นใยโปรตีน เส้นใยแร่ โลหะ เส้นใยเซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งเกิดจากเซลลูโลสยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมีเป็นโมเลกุลใหญ่มีสูตรเป็น $(C_6H_{10}O_5)_x$ โครงสร้างและการยึดเกาะของโมเลกุลแสดงในภาพประกอบ โครงสร้างเคมีของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของเส้นใย กล่าวคือในโมเลกุลเซลลูโลสจะเกิดจากหน่วยโมเลกุลซ้ำ (Repeat units) ยึดจับกันเป็นสายยาว หน่วยโมเลกุลซ้ำ คือ เซลโลไบโอส (Cellulobiose) เกิดจากบีต้า กลูโคส 2 โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะ C-O-C ในโมเลกุลเซลลูโลสจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่มากมายจะทำหน้าที่ดึงดูดน้ำ หรือเกิดปฏิกิริยาจับกับหมู่ธาตุอื่นๆ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสมีความเป็นระเบียบ (Crystalline) ก่อนข้างมากคือ 85 – 95 % และระหว่างสายโมเลกุลจะมีการยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) เป็นระยะๆ ซึ่งมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีความเหนียวแข็งแรงค่อนข้างสูง จากข้อมูลคุณสมบัติทางโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยธรรมชาติ จะเห็นว่าสามารถนำมาเป็นส่วนประกอบของคอนกรีตได้ ดังนั้นแนวความคิดในการนำเส้นใยธรรมชาติมาผสมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่ง และสมควรนำมาทำการศึกษาวิจัยอย่างเป็นจริงจัง เพื่อที่จะได้มีวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีและมีราคาถูกกว่าวัสดุฉนวนชนิดอื่น ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดต่อไป

จากข้อมูลการใช้วัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ลักษณะ/ข้อดี/ข้อเสียของคอนกรีตบล็อก มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก คุณสมบัติทางเคมีของดินขาว และโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยธรรมชาติ ดังนั้นแนวความคิดในการนำดินขาวผสม เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อกที่ จึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่ง และสมควรนำมาทำการศึกษาวิจัยอย่างเป็นจริงจัง เพื่อที่จะได้มีวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี มีความแข็งแรง ลดการแตกร้าวและมีราคาถูกกว่าวัสดุฉนวนชนิดอื่น ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดต่อไป

2.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

ดินขาว (China clay or Kaolin)

China clay หรือ Kaolin หรือดินกาเหลียง คือแร่ที่มีลักษณะเป็นดินสีขาวซึ่งประกอบด้วยสารประกอบผลึกเล็ก ๆ ของแร่ Kaolinite

สูตรเคมี	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	
ส่วนประกอบทางเคมี	ซิลิกา (SiO_2)	46
เปอร์เซ็นต์	อะลูมินา (Al_2O_3)	40
เปอร์เซ็นต์	น้ำ (H_2O)	14
เปอร์เซ็นต์		
คุณสมบัติทางกายภาพ	ความแข็ง	2.0-2.5
	ความถ่วงจำเพาะ	2.6
	จุดหลอมประมาณ	1,785 °C

เกรดในทางการค้าของดินขาวที่บริสุทธิ์ที่สุดมีส่วนประกอบเกือบใกล้เคียงกัน

1. คุณลักษณะของแร่ดินขาวตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing Materials)

1.1 สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสี : ASTM D 603-91

	เปอร์เซ็นต์
ซิลิกา (SiO_2)	43-47
อะลูมินา (Al_2O_3)	37-40
การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ (Loss on ignition)	10-15
ความชื้นและสารที่ระเหิดได้ (Moisture and other volatile matter)	1.0
สูงสุด	2.0
สารที่ค้างบนตะแกรงมีขนาด 325 เมช สูงสุด	

1.2 สำหรับใช้ในการผลิตสีขาว (White pigment) : ASTM D 603-91 (Reapproved 1979)

เปอร์เซ็นต์

	Ideal	Typical	Range	Maximum
อะลูมินา(Al_2O_3)	39.5	38.80	37-42 ^A	-
ซิลิกา (SiO_2)	46.54	45.40	43-48 ^B	-
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3)	-	0.3	-	0.50
ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)	-	1.50	-	2.00
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	-	0.10	-	0.20
โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	-	0.10	-	0.30
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	-	0.10	-	0.20
ออกไซด์อื่นๆ (Other oxides)	-	trace	-	0.10
ความชื้น (Free Moisture ที่ 105C)	-	-	-	1.0
การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ที่ 1,000°C (Loss on ignition 1,000°C)	13.96	13.8	-	15.0

A : ยอมให้อะลูมินา(Al_2O_3) มีได้สูงกว่าขีดต่ำสุด 5% สำหรับ Allophane

B : ยอมให้ซิลิกา (SiO_2) มีได้สูงกว่าขีดต่ำสุด 5% สำหรับ Quartz

2. คุณลักษณะของแร่ดินขาวตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ประเทศไทย

2.1 แร่ดินขาวใช้ผสมทำกระดาษ (มอก. 74-2529)

คุณลักษณะที่ต้องการ

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	ความขาวสว่าง ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	80
2	กากที่ค้างบนร่าง 45 ไมโครเมตร ร้อยละ ไม่เกิน	0.2
3	ความหยาบละเอียดของดินขาว	
	- ขนาดใหญ่กว่า 5 ไมโครเมตร ร้อยละ ไม่เกิน	30
	- ขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร ร้อยละ ไม่เกิน	50
4	ความคมโดยวิธีนวลเลย์ มิลลิกรัม ไม่เกิน	40
5	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	3
6	ความเป็นกรด-ด่าง ไม่เกิน	5.5

2.2 วัสดุขาวสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา (มอกง 485-2526)

	เกณฑ์ที่กำหนด		
	คุณภาพที่ 1	คุณภาพที่ 2	คุณภาพที่ 3
1. กากที่ค้างบนแรงขนาด 45 ไมโครเมตร มีปริมาณร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง ไม่เกิน	1.0	2.0	5.0
2. การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา มีปริมาณร้อยละของน้ำหนักอบแห้งไม่น้อยกว่า	12.0	10.5	10.5
3. อะลูมินา (Al_2O_3) โดยร้อยละของน้ำหนักอบแห้งไม่น้อยกว่า	36.0	30.0	30.0
4. ซิลิกา (SiO_2) โดยร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง ไม่น้อยกว่า	45.0	50.0	50.0
5. เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) โดยร้อยละของน้ำหนักอบแห้งไม่เกิน	1.0	1.5	2.0
6. ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) โดยร้อยละของน้ำหนักอบแห้งไม่เกิน	0.7	1.5	1.5
7. เหล็กออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์รวมกันโดยร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง ไม่เกิน	1.5	2.75	3.0
8. การหดตัวเชิงเส้น (Linear shrinkage) ร้อยละไม่เกิน			
8.1 หลังจากอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C	7.5	7.5	7.5
8.2 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,200 °C	12.0	12.0	12.0
8.3 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,350 °C	15.5	15.5	15.5

หมายเหตุ การทดสอบการหดตัวหลังเผาอาจเลือกทดสอบที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส หรือที่อุณหภูมิ 1,350 องศาเซลเซียส หรือที่ทั้งสองอุณหภูมิก็ได้

2.3 แร่ดินขาวสำหรับอุตสาหกรรมสี (มอก. 1058-2534)

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		
		ชั้นคุณภาพ ที่ 1	ชั้นคุณภาพ ที่ 2	ชั้นคุณภาพที่ 3
1.	ความหยาบละเอียด ร้อยละไม่น้อยกว่า - ขนาดเล็กกว่า 20 ไมโครเมตร - ขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร - ขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร	99.5 88 65	95 80 35	90 70 15
2.	กากที่ค้างบนแร่ 45 ไมโครเมตร (32 เมช) ร้อยละไม่เกิน	0.05	0.1	0.5
3.	ความชื้น ร้อยละไม่เกิน	2		
4.	น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง	10 ถึง 14		
5.	ความเป็นกรด-ด่าง เมื่อทำเป็นสารละลาย ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก	4.5 ถึง 9.5		
6.	ความขาวสว่าง ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	80	75	
7.	การดูดซึมน้ำหนัก กรัมต่อดินขาว 100 กรัม	45 ถึง 55	40 ถึง 50	30 ถึง 45
8.	สารที่ละลายในน้ำ ร้อยละ ไม่นเกิน	0.5		

2.4 แร่ดินขาวสำหรับอุตสาหกรรมยาง (มอก.1059-2534)

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด			
		ชั้น คุณภาพ ก 1	ชั้น คุณภาพ ก 2	ชั้น คุณภาพ ก 3	ชั้น คุณภาพ ก 4
1.	ความหยาบละเอียดร้อยละ ไม่น้อยกว่า - ขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร	95		75	
2.	ซิลิกาต่ออะลูมินา	ไม่เกิน 1.50/1.00	เกิน 1.50/1.00	ไม่เกิน 1.50/1.00	เกิน 1.50/1.00
3.	กากที่ค้างบนร่ง ร้อยละ ไม่เกิน ร่ง 125 ไมโครเมตร ร่ง 45 ไมโครเมตร	0.01 0.1			
4.	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	2			
5.	น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผา ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง	10 ถึง 14	6 ถึง 14	10 ถึง 14	6 ถึง 14
6.	ความเป็นกรด-ด่าง เมื่อทำเป็น สารละลายร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก	4.5 ถึง 9.5			
7.	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่ 27/27 องศาเซลเซียส	2.4 ถึง 2.8			
8.	เหล็ก (คำนวณเป็น Fe ₂ O ₃) ร้อยละ ไม่เกิน	2			
9.	ทองแดง มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่ เกิน	50			
10.	แมงกานีส มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่ เกิน	100			

2.5 แร่ดินขาวสำหรับอุตสาหกรรมยาปราบศัตรูพืช (มอก. 1060-2534)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1.	กากที่ค้ำบนแรง 45 ไมโครเมตร (325 เมช) ร้อยละ ไม่เกิน	0.5
2.	ความชื้นร้อยละไม่เกิน	3.0
3.	ความเป็นกรด-ด่าง เมื่อทำเป็นสารละลายร้อยละ 20 โดย น้ำหนัก	5.5 ถึง 7.5
4.	ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (bulk density) กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร	0.3 ถึง 0.4
5.	สารหนู (คำนวณเป็น As_2O_3) มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	10

2.6 แร่ดินขาวสำหรับอุตสาหกรรมปุ๋ย

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1.	ซิลิกา ร้อยละ ไม่เกิน	60
2.	กากที่ค้ำบนแรง 600 ไมโครเมตร (30เมช) ร้อยละ ไม่เกิน	0.5
3.	ความชื้นร้อยละไม่เกิน	3
4.	ความเป็นกรด-ด่าง เมื่อทำเป็นสารละลายร้อยละ 20 โดย น้ำหนัก	5.5 ถึง 7.5
5.	สารหนู (คำนวณเป็น As_2O_3) มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	10

2.7 เกล็ดหินสำหรับใช้เคลือบกระดาศ (มอก. 1064-2534)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1.	ความหยาบละเอียด ขนาดใหญ่กว่า 5 ไมโครเมตร ร้อยละ ไม่เกิน ขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	5 80
2.	ซิลิกาต่ออะลูมินา ไม่เกิน	1.20-1.00
3.	กากที่ค้างบนร่ง 45 ไมโครเมตร (325เมช) ร้อยละ ไม่เกิน	0.01
4.	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	3
5.	น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง	10 ถึง 14
6.	ความเป็นกรด-ด่าง เมื่อทำเป็นสารละลายร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก	4.0 ถึง 7.5
7.	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่ 27/27 องศาเซลเซียส	2.5 ถึง 2.9
8.	ความขาวสว่าง ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	85
9.	ความคม โดยวิธีแวลเลย์ มิลลิกรัม ไม่เกิน	20
10.	สารที่ละลายในกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ ไม่เกิน	2.5
11.	เหล็ก (คำนวณเป็น Fe ₂ O ₃) ร้อยละ ไม่เกิน	0.7

3. คุณลักษณะของแร่ดินขาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาศ ของโรงงานกระดาศ
กระทรวงอุตสาหกรรม ประเทศไทย

3.1 คุณลักษณะทางเคมี

	เปอร์เซ็นต์
ซิลิกา (SiO ₂)	50.0
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	34.0
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.8
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	0.5
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	1.0
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	0.2
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	0.2

3.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์

ความขาวสว่าง (Brightness) ต่ำสุด	80.0	เปอร์เซ็นต์
ความละเอียดของเม็ดดิน (Fineness) ขนาด 325 เมช สูงสุด	0.2	เปอร์เซ็นต์
ความชื้น (Moisture) สูงสุด	1.0	เปอร์เซ็นต์
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4-6	เปอร์เซ็นต์
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	2.5-2.6	
ดัชนีหักเหของแสง (Refractive index)	1.5-1.6	

4. คุณลักษณะของแร่ดินขาวล่างที่ผลิตได้ของประเทศไทย
เปอร์เซ็นต์

	อ.เวียงป่าเป้า จ.เชียงราย	จ.ระนอง
ซิลิกา (SiO ₂)	44.5	48.6
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	38.2	36.4
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.8	0.94
ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	0.2	0.02
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	0.1	0.08
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	0.8	2.0
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	-	0.19
การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ (Loss on ignition)	14.2	11.73

คุณสมบัติทางกายภาพ

1. ดินขาวล่างเวียงป่าเป้า

ค่าความคม (Abrasive value)	47.4	มิลลิกรัม
ความขาวสว่าง (Brightness)	80.0	เปอร์เซ็นต์
ขนาด (size) : -325 เมช	99.4	เปอร์เซ็นต์

2. ดินขาวระนอง

ขนาด (size) : -325 เมช	100	เปอร์เซ็นต์
การหดตัว (Volume drying shrinkage)	21	เปอร์เซ็นต์

5. คุณลักษณะของแร่ดินขาวที่ผลิตได้อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง

เปอร์เซ็นต์

	แหล่งที่ 1		แหล่งที่ 2		
	ขนาด		ขนาด		
	200 mesh	325 mesh	200 mesh	250 mesh	325 mesh
ซิลิกา (SiO ₂)	65.29	62.40	61.7	53.9	52.0
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	19.80	21.46	25.8	29.9	32.1
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	1.36	1.34	1.5	1.3	1.5
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	7.31	8.09	4.38	5.49	5.73
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	0.97	1.27	0.83	1.27	1.16
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)			0.73	0.62	0.95
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	สูงสุด	สูงสุด	0.64	0.72	0.36
ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	0.001	0.001	-	-	-
การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ (Loss on ignition)	0.16	0.20	4.31	6.25	6.56
	0.04	0.03			
	5.04	5.02			

เส้นใยมะพร้าว (Coir)

ใยมะพร้าวได้จากเปลือกของผลมะพร้าว เมื่อผลมะพร้าวแก่ ชาวสวนจะแยกเอาเปลือกหรือกาบมะพร้าวออกจากเมล็ด กาบมะพร้าวจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทำผลิตภัณฑ์จากใยมะพร้าว เส้นใยที่แยกได้แบ่งตามความยาวได้ 3 พวก คือ

Yam fiber มีความยาวและละเอียด เหมาะที่จะใช้ไปทำเส้นด้ายเพื่อทอพรม ทำเสื่อ ทำเชือก

Bristle fiber เป็นเส้นใยขนาดใหญ่ หยาบ เส้นสั้นกว่าชนิดแรก ใช้ทำแปรงไม้กวาด

Mattress fiber เป็นเส้นใยขนาดสั้น ใช้สำหรับทำเบาะ ที่นอน

เส้นใยมะพร้าวเป็นเส้นใยแข็งกระด้างมีความยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 15 – 30 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 – 1.5 มิลลิเมตร มีความเหนียวแข็งแรงต่ำกว่าป่านศรนารายณ์ ความโค้งงอต่ำ ทนต่อความเปียกชื้นและการทำลายของจุลินทรีย์ได้ดี การใช้ประโยชน์ในประเทศไทยใช้ทำเบาะรถยนต์และที่นอนเส้นใยมะพร้าวอาบน้ำยางพารา นอกจากใช้ทำเบาะ

และที่นอน เส้นใยมะพร้าวยังเหมาะสำหรับผลิตเชือก เส้นด้ายเพื่อทอพรม เสื่อ ทำแปรง และไม้กวาด

คอนกรีตเบา

คอนกรีตเบา คือ คอนกรีตที่มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป คอนกรีตเบาประเภทที่ใช้มวลรวมเบา คอนกรีตประเภทนี้เป็นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมน้ำหนักเบา เป็นวัสดุผสมแทนมวลรวมธรรมดาสามารถแบ่งชนิดของมวลรวมได้เป็น 4 ชนิด คือ

(1) มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หิน Vermiculite, Perlite, Pumice และ Scoria ซึ่งเป็นลาวาที่พองตัวโดยธรรมชาติ เกิดขึ้นเมื่อมีภูเขาไฟระเบิด มวลรวมชนิดนี้ใช้สำหรับผสมคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงมาก และมวลรวมก็มีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำสูง

(2) มวลรวมเบาที่ได้จากขบวนการผลิต ได้แก่ ดินเหนียวผสมสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศ(Expanded Clay Aggregate) และดินดานผสมถ่านที่บดละเอียดแล้ว (Expanded Shale Aggregate) ดินเหนียวผสมสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศ (Expanded Clay Aggregate) เป็นการนำเอาดินเหนียวมาผสมกับสารก่อฟองอากาศแล้วนำไปเผาในหม้อดินที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมินี้ จะมีการขยายตัวของดินเหนียว เนื่องจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ภายในและเกิดเป็นฟองอากาศอยู่ภายในเนื้อดิน เมื่อผ่านการเผาแล้ว ดินจะมีความแข็งผิวเรียบแน่น แต่มีเนื้อภายในเป็นโพรงอากาศ สำหรับดินดานผสมถ่านที่บดละเอียดแล้ว (Expanded Shale Aggregate) เป็นการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส วัตถุประสงค์จะถูกหลอมรวมกัน และจะมีฟองอากาศถูกกักเก็บไว้ภายในเนื้อดิน ลักษณะของดินที่ได้จะมีความแข็งแรงมากหลังจากการเผาก็จะนำไปย่อยให้ได้ขนาดตามต้องการ มวลรวมเบาทั้งสองชนิดนี้จะมี ความแข็งแรงค่อนข้างดี และเป็นมวลรวมที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีตเบามากที่สุด

(3) มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ ได้แก่ การใช้ไม้บางชนิดใส่ผสมเข้ากับเนื้อคอนกรีต

(4) มวลรวมเบาที่ได้จากของเหลือจากขบวนการผลิต ได้แก่ ซี้ถ่านหิน (Fuymace Bottom Ash) ที่ได้จากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบ ผสมในคอนกรีต ที่รวบรวมมาพอสังเขปดังนี้

1. Sayamipuk, S. (2000) [4, 14, 15] ได้ศึกษาดินขาวจากแหล่งระนองในประเทศไทย โดยนำดินขาวดิบมาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากการทดลองมอร์ต้าผสมดินขาวแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20, 30, และ 40 โดยน้ำหนัก ที่อายุการปม 7, 28, และ 90 วันพบว่า การแทนที่ซีเมนต์โดยดินขาวในอัตราส่วนร้อยละ 30 จะให้กำลังอัดสูงสุดทั้งนี้นอกจากปฏิกิริยาปอซโซลานิกที่เกิดขึ้น อนุภาคของดินขาวยังมีส่วนช่วยในการพัฒนากำลังอัดของมอร์ต้าเนื่องจากผลของ Microfiller Effect เนื่องจากอนุภาคของดินขาวจะเข้าไปแทรกในช่องว่างในเนื้อมอร์ต้าและช่วยปรับปรุงในส่วนของ Interfacial Zone

2. Badogiannis, E., Papadakis, V.G., Chaniotakis, E. and Tsvilis, S. (2003) [5, 14, 15] ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมที่ตอบสนองต่อกำลังของคอนกรีตโดยเมื่อ ดินขาวแทนที่ทรายจะทำให้กำลังสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาที่ 90 วัน แต่ถ้าแทนที่ซีเมนต์จะเริ่มมีปฏิกิริยาด้านกำลังหลังจาก 2 วัน

3. Xiaoqian, Q., and Zongjin, L. (2001) [5, 14, 15] ทำการศึกษาการเติมดินขาวลงในคอนกรีตจะทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้นในเวลาอันสั้นและในระยะยาวกำลังก็จะสูงกว่าเดิมด้วย จะเห็นว่าดินขาวมีผลทำให้กำลังสูงขึ้นอย่างมาก ส่วนความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตจะได้รับผลกระทบน้อยมากเมื่อใส่ดินขาว 5%

4. ศักดิ์สิทธิ์ ศรีแสง (2007)[7] ทำการศึกษ้อัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุสำหรับคอนกรีตบล็อก ชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเส้นใยมะพร้าว มีอัตราส่วนที่จะใช้ในการทดสอบคือการนำเส้นใยมะพร้าวมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และทราย เพื่อมาผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักในอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 3 ของน้ำหนักทราย มีสูตรในการทดลองจำนวน 12 สูตร แต่แต่ละสูตรจะทำการผลิตคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มิลลิเมตร จำนวนสูตรละ 25 ก้อน รวม 300 ก้อน แล้วนำไปเทอบเคียงคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 58 – 2533 และคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน ผลการทดสอบพบว่า อัตราส่วนที่ดีที่สุดได้แก่ สูตรที่ 8 คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 25 ของมวลรวม ทรายร้อยละ 52.50 ของมวลรวม เส้นใยมะพร้าวร้อยละ 22.50 ของมวลรวม และใช้น้ำร้อยละ 15 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยมีคุณสมบัติทางกายภาพด้านคุณลักษณะทั่วไปด้านความหนาของเปลือก ขนาด โดยอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร ด้านความแข็งแรงผ่านเกณฑ์มาตรฐานปราศจากรอยแตกกร้าว หรือส่วนเสียอื่นใด อันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตบล็อก ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญตรวจพินิจ ด้านความต้านทานแรงอัด เมื่ออายุก่อนคอนกรีตบล็อกครบ 28 วัน ต้องมีความต้านทานแรงอัดมีเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุดแต่ละก้อน 2.0 เมกะพาสคัล และเฉลี่ยจากก้อนคอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อน 2.5 เมกะพาสคัล สูตร 8 มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด คือ ความต้านทานแรงอัดก้อนที่ 1 –

5 มีค่า 2.86, 2.91, 2.88, 2.89, 2.90 เมกะพาสคัล ตามลำดับและค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 5 ก่อน มีค่า 2.65 เมกะพาสคัล และร้อยละการดูดซึมน้ำที่ร้อยละ 14 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือต้องน้อยกว่าร้อยละ 25 และค่าความเป็นฉนวนความร้อนยังมีค่าการนำความร้อนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป

5.อัครวิน น้อยสุวรรณ(2006) [11] ได้ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมแกลบ ซึ่งได้ศึกษาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของคอนกรีตธรรมดา ในด้าน กำลังต้านทานแรงอัด หน่วยน้ำหนัก และปริมาณการดูดซึมน้ำ โดยออกแบบกำลังอัดประลัยที่ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และใช้ปริมาณแกลบที่ผสมในคอนกรีตมีอัตราส่วนร้อยละ 5,10,20,50และ100 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า หน่วยน้ำหนักและกำลังต้านทานแรงอัด มีค่าลดลงเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น แต่ ปริมาณการดูดซึมน้ำ มีค่ามากขึ้น

6.ภาพพจน์ แก้วสีขาว (2006) [14] ได้ศึกษากำลังอัดของมอร์ตาร์ซีเมนต์ผสมดินขาวเผา โดยใช้ดินขาวเผาแทนที่ซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20, 30, 40 อัตราส่วนผสมของทรายต่อสารซีเมนต์เท่ากับ 2.75 โดยน้ำหนัก ปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมทำให้ความชื้นเหลวของมอร์ตาร์เกิดการไหลแผ่ร้อยละ 110 ± 5 จากการศึกษาพบว่า กำลังอัดของมอร์ตาร์ซีเมนต์ผสมดินขาวเผา จากผลการเปรียบเทียบค่าของ Strength Activity Index ของมอร์ตาร์ในอัตราส่วนร้อยละ 20, 30 , 40 ที่อายุ 7 วัน มีค่ากำลังอัดร้อยละ 67.5, 55.0, 31.7 ของมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ตามลำดับ และที่อายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัดร้อยละ 95.4, 82.5, 68.2 ของมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า กำลังอัดของมอร์ตาร์ซีเมนต์ผสมดินขาวเผา จากผลการเปรียบเทียบค่าของ Strength Activity Index ของมอร์ตาร์ในอัตราส่วนร้อยละ 20, 30, 40 ที่อายุ 7 วัน มีค่ากำลังอัดร้อยละ 67.5, 55.0, 31.7 ของมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ตามลำดับ และที่อายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัดร้อยละ 95.4, 82.5, 68.2 ของมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ตามลำดับ

7.ณกร พยัคฆพงษ์(2006) [15] ได้ศึกษากำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์มาตรฐานขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม. โดยใช้ปริมาณน้ำที่ทำให้ค่ายุบตัวระหว่าง 5 – 8 ซม. ในการผสมได้แทนที่ปริมาณซีเมนต์ด้วยดินขาวเผาและ/หรือเถ้าแกลบในอัตราส่วนต่างๆดังนี้ OPC MK20 MK40 RHA20 RHA40 MRA3010 MRA2020 MRA1030 RKL40 RKL100 และLMK40 ทำการปมโดยแช่น้ำเก็บไว้ภายใต้อุณหภูมิห้อง เมื่อก่อนตัวอย่างมีอายุครบ 1 3 7 28 และ90 วัน นำมาเข็ดให้แห้ง วัดขนาด ชั่งน้ำหนักและทำการทดสอบกำลังอัด จากการทดสอบพบว่า ก่อนตัวอย่างที่ผสมดินขาวเผาจะให้กำลังอัดสูงกว่าตัวอย่างที่ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน แต่ทั้งนี้กำลังอัดที่ได้จะแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์ของสารปอซโซลานที่เพิ่มขึ้น พบว่า MK20 RHA20 และMK40 มีค่า Strength Activity Index มากกว่า 75% ของกำลังอัดคอนกรีตปกติที่อายุ 7 และ28 วัน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่จะสามารถนำไปใช้ในการศึกษาต่อได้

8. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ (2006) [16] ได้ศึกษาการนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วและขานอ้อยที่ผ่านการคูดซึบสีแล้วมาใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนัง โดยทำการทดลองศึกษาสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างที่กำหนดตามมาตรฐานคอนกรีตบล็อกปูผนัง เช่น ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และความชื้นน้ำ ทดลองโดยใช้อัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 อัตราส่วนผสมของซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเกร็ดเท่ากับ 1:2:3 โดยแปรค่าอัตราส่วนของขานอ้อยที่ผ่านการคูดซึบสีต่อวัสดุประสานที่ 0.5 0.10 0.15 และ 0.20 และระยะเวลาบ่มเป็น 7 14 21 และ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนของขานอ้อยที่ผ่านการคูดซึบสีต่อวัสดุประสานที่ 0.15 และระยะเวลาการบ่มเป็น 21 วัน มีความเหมาะสมในการนำไปทำคอนกรีตบล็อกปูผนังให้ค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 7.19 เมกะปาสกาล ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่กำหนด โดยมีความหนาแน่น 1.98 ก./ลบ.ซม. และมีความชื้นน้ำ 12.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่า การใช้ดินขาวและแกลบที่ผ่านกระบวนการเป็น ส่วนผสมแทนที่ของปูนซีเมนต์ ให้คอนกรีตที่ได้มีราคาต้นทุนที่ลดลงและมีความแข็งแรงสำหรับ โครงสร้างรับน้ำหนักสูง การใช้วัสดุการเกษตรเหลือใช้จากอุตสาหกรรมและ เส้นใยธรรมชาติ ผสมในคอนกรีต แทนที่ของ มอร์ตาร์และเป็นส่วนผสมเพิ่มคอนกรีตในผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างที่ ได้มีราคาต้นทุนที่ลดลง มีคุณสมบัติป้องกันความร้อน น้ำหนักเบา แต่มีความแข็งแรงลดลง ซึ่ง ได้แสดงคุณสมบัติของคอนกรีตและผลิตภัณฑ์คอนกรีต แนวทางการศึกษาวิจัย และระเบียบวิธี เพียงพอที่จะนำมาประยุกต์ใช้วัสดุผสม สำหรับทำคอนกรีตสำหรับใช้เป็นคอนกรีตบล็อกไม่รับ น้ำหนัก โดยใช้ดินขาว เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบ โดยมีกรรมวิธีที่อนุรักษ์พลังงานและ ลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม และเหมาะสมที่ส่งเสริมชุมชนบริษัทขนาดเล็กสามารถนำมาใช้ ประโยชน์ได้จริง ในการผลิตและก่อสร้างบ้านพักอาศัยได้อย่างมีประสิทธิภาพและราคาถูก

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบที่ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 สถานที่รวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบ

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1) ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง จากงานวิจัยและโครงการอื่นเพิ่มเติมใช้แบบสอบถามความคิดเห็นเรื่องการทำงานเป็นทีมเป็นเครื่องมือ
- 2) การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์
- 3) การเตรียมตัวอย่างทดสอบ
- 4) การทดสอบ
- 5) การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบ
- 6) สรุปผล จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายถอดเทคโนโลยี

3.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

ดินขาว (White Clay or China Clay)

เตรียมดินขาวล้างบดละเอียด 325 เมช (WRN-CMS) มีลักษณะเนื้อละเอียด เกรดสูง วัสดุ ส่วนประกอบที่สำคัญคือเคโอลิไนต์ และฮาลลอยไซต์ สีของเนื้อดินหลังการเผาจะให้สีขาว มีความทนไฟสูง เหมาะสำหรับเป็นส่วนผสมในเนื้อวัสดุทนไฟ และในเครื่องดินเผาที่ต้องการความขาว, ส่วนผสมน้ำสลিপสำหรับงานหล่อแบบโดยเฉพาะในพวกสุขภัณฑ์ต่างๆ และใช้ในน้ำเคลือบ โดยมีผลวิเคราะห์ทางเคมีดังตาราง

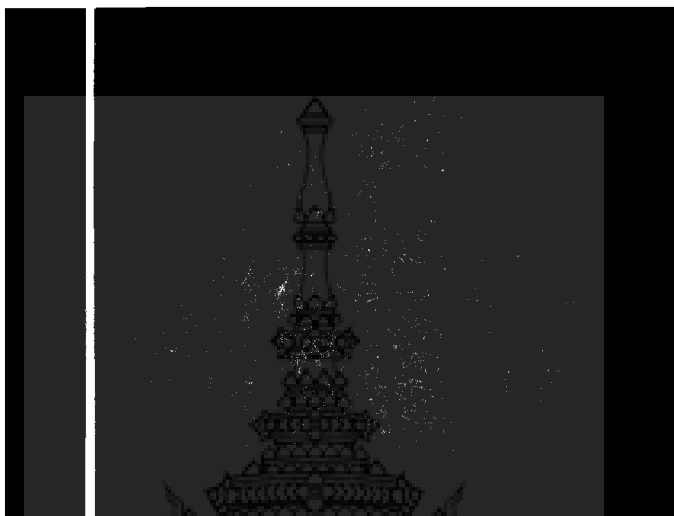
Chemical Composition	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	LOI %
WRN-CMS	44.9	38.7	0.7	0.1	0.2	0.6	2.1	13



รูปที่ 3.2 ดินขาวล้างบดละเอียด 325 เมช (WRN-CMS)

เส้นใยมะพร้าว

เตรียมเส้นใยมะพร้าวโดยตัดเป็นชิ้นเล็กขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ดังรูป



รูปที่ 3.3 เส้นใยมะพร้าวโดยตัดเป็นชิ้นเล็กขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4

ฟางข้าว

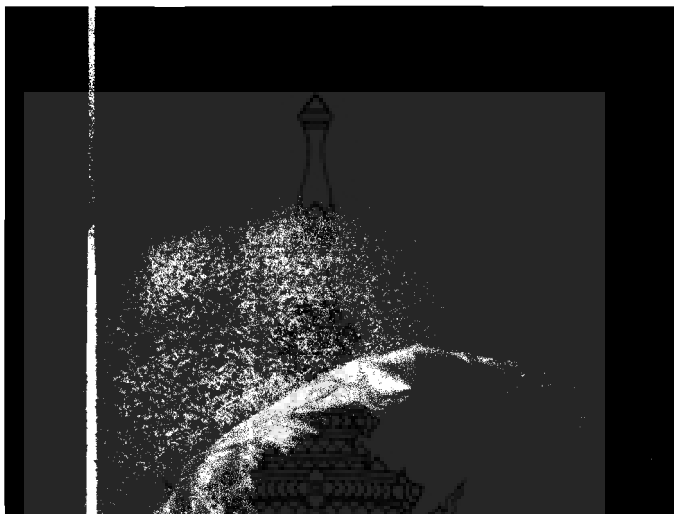
เตรียมเส้นใยฟางข้าวโดยตัดเป็นชิ้นเล็กแล้วบดให้มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ดังรูป



รูปที่ 3.4 เส้นใยฟางข้าวขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4

แกลบ

เตรียมเส้นใยแกลบโดยบดให้มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ดังรูป



รูปที่ 3.5 เส้นใยแกลบขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 200

หินฝุ่น

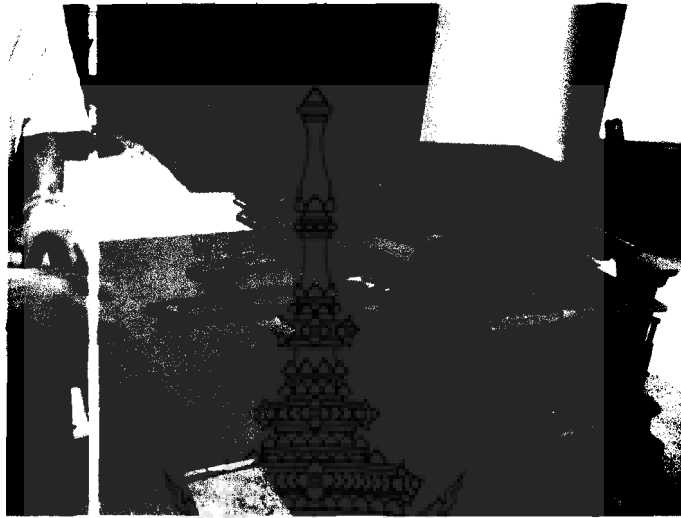
เตรียมหินฝุ่นให้แห้งจัดใส่กระสอบ ดังรูป



รูปที่ 3.6 หินฝุ่น

แบบหล่อและเครื่องอัดตัวอย่าง

เตรียมแบบหล่อและเครื่องอัดตัวอย่าง จัดหาน้ำมันกันติดแบบแห้งจัดใส่กระสอบ



รูปที่ 3.7 แบบหล่อและเครื่องอัดตัวอย่าง

กะบะและถังผสมวัสดุ

เตรียมกะบะและถังผสมวัสดุ



รูปที่ 3.8 กะบะและถังผสมวัสดุ

3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

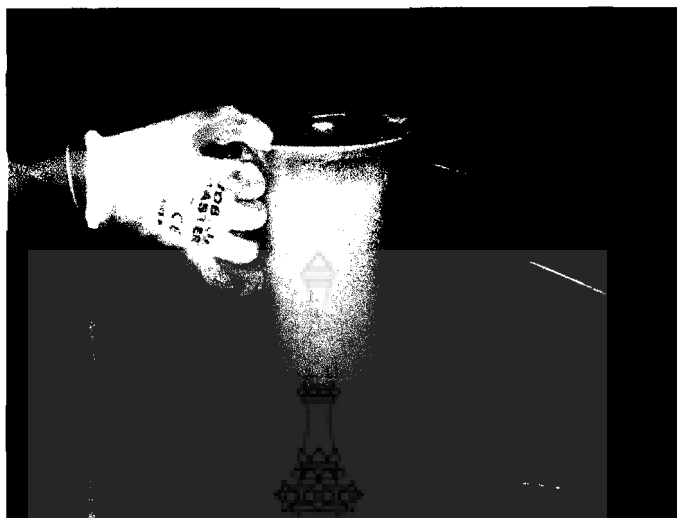
เตรียมวัสดุผสม หินฝุ่น ซีเมนต์ ดินขาว เส้นใยมะพร้าว เส้นใยฟางข้าว แกลบบด ใส่ในถังผสมตามอัตราส่วนที่กำหนด แล้วเติมน้ำ ดังแสดงในรูป



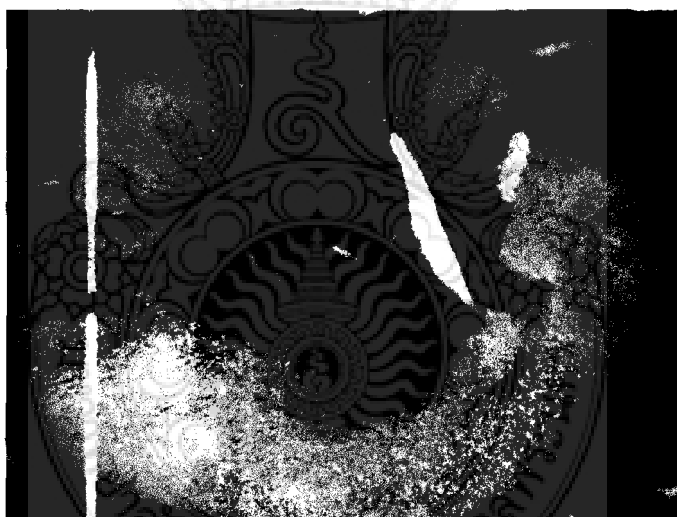
รูปที่ 3.9 ควางหินฝุ่นสำหรับใส่ถังผสม



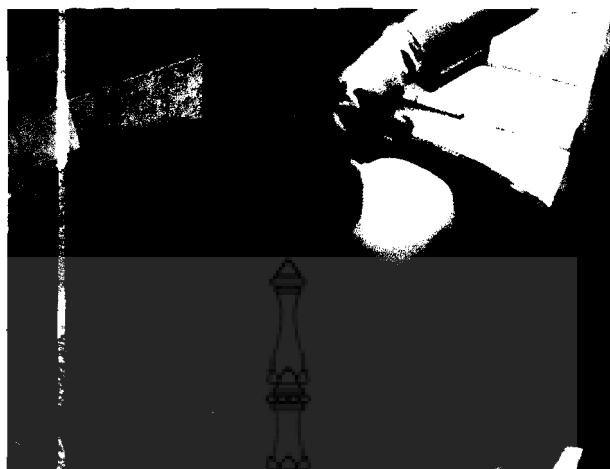
รูปที่ 3.10 ควางดินขาวสำหรับใส่ถังผสม



รูปที่ 3.11 ใส่ซีเมนต์และวัสดุเส้นใยบดสำหรับถ่วงผสม



รูปที่ 3.12 ผสมวัสดุให้เข้ากัน



รูปที่ 3.13 ใส่ผ้าแล้วผสมวัสดุให้เข้ากัน



รูปที่ 3.14 เทวีสตุที่ผสมใส่ถึง



รูปที่ 3.15 นำวัสดุผสมที่ผสมแล้วใส่ในกะบะแบบหล่อ



รูปที่ 3.16 ปิดฝาแบบหล่อแล้วเขย่าให้แน่น



รูปที่ 3.17 เปิดฝาแบบหล่อแล้วดันตัวอย่างทดสอบออก



รูปที่ 3.18 นำตัวอย่างทดสอบไปตั้งบนโต๊ะระยะเวลาที่กำหนด

3.3 การทดสอบ

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างทดสอบ



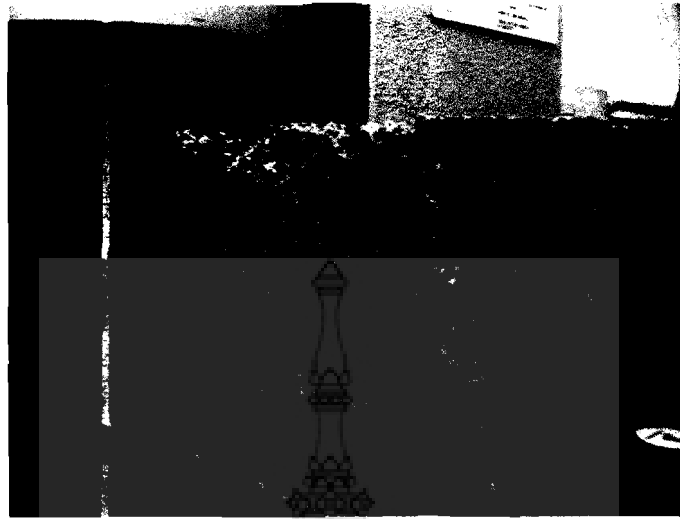
รูปที่ 3.19 นำตัวอย่างทดสอบมาชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 3.20 นำตัวอย่างทดสอบเข้าเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด



รูปที่ 3.21 หากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างทดสอบที่ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดแล้ว

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบและสรุปผล

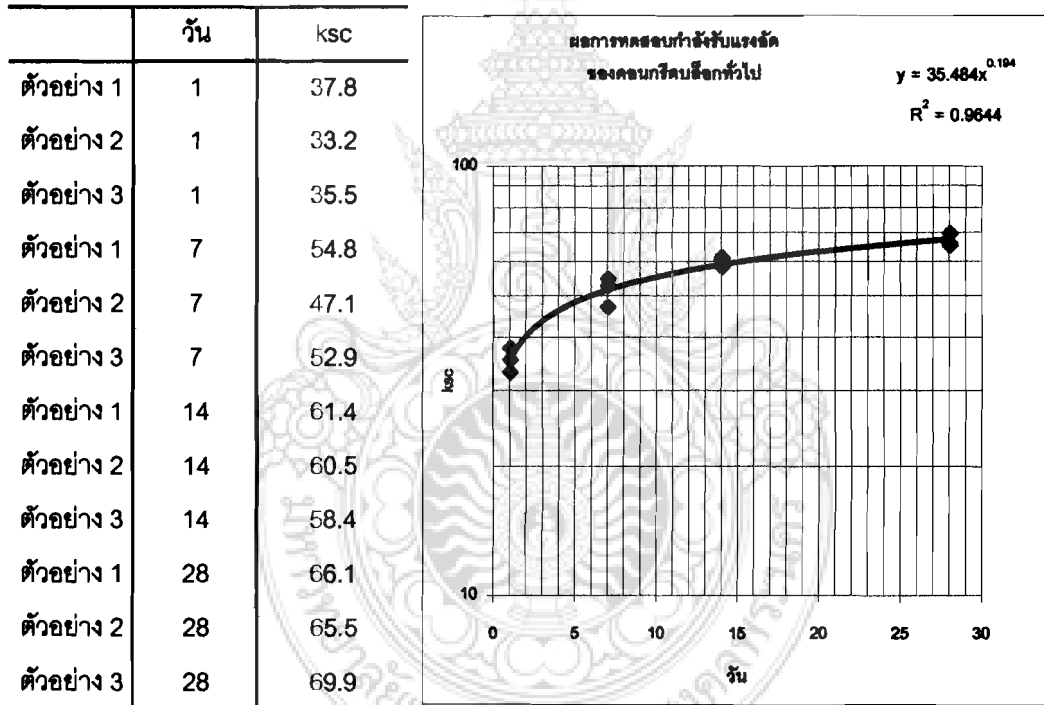
- 1) โดยการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบ เช่น ระยะเวลาการบ่มมอร์ตาร์/คอนกรีตมวลเบา, ความหนาแน่นเชิงปริมาตร, กำลังอัดและตัด, อัตราการดูดกลืนน้ำ, การเป็นฉนวนความร้อน ฯลฯ
- 2) วิเคราะห์ เปรียบเทียบระหว่างค่าสมบัติต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบคอนกรีตมวลบล็อกไม่รับน้ำหนักผสมแลนต์ ดินขาว เส้นใยเส้นมะพร้าว ฟางข้าว แกลบ กับคอนกรีตมวลบล็อกปกติทั่วไป เช่น ค่าความต้านทานแรงอัด ค่าการดูดกลืนน้ำ เป็นต้น
- 3) หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของคอนกรีตมวลบล็อกไม่รับน้ำหนักผสมแลนต์ ดินขาว เส้นใยเส้นมะพร้าว ฟางข้าว แกลบ จากการทดสอบ
- 4) วิเคราะห์ปัญหา สาเหตุ การแก้ไข และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับการทดสอบในครั้งต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ ผลการสรุปข้อมูล

4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

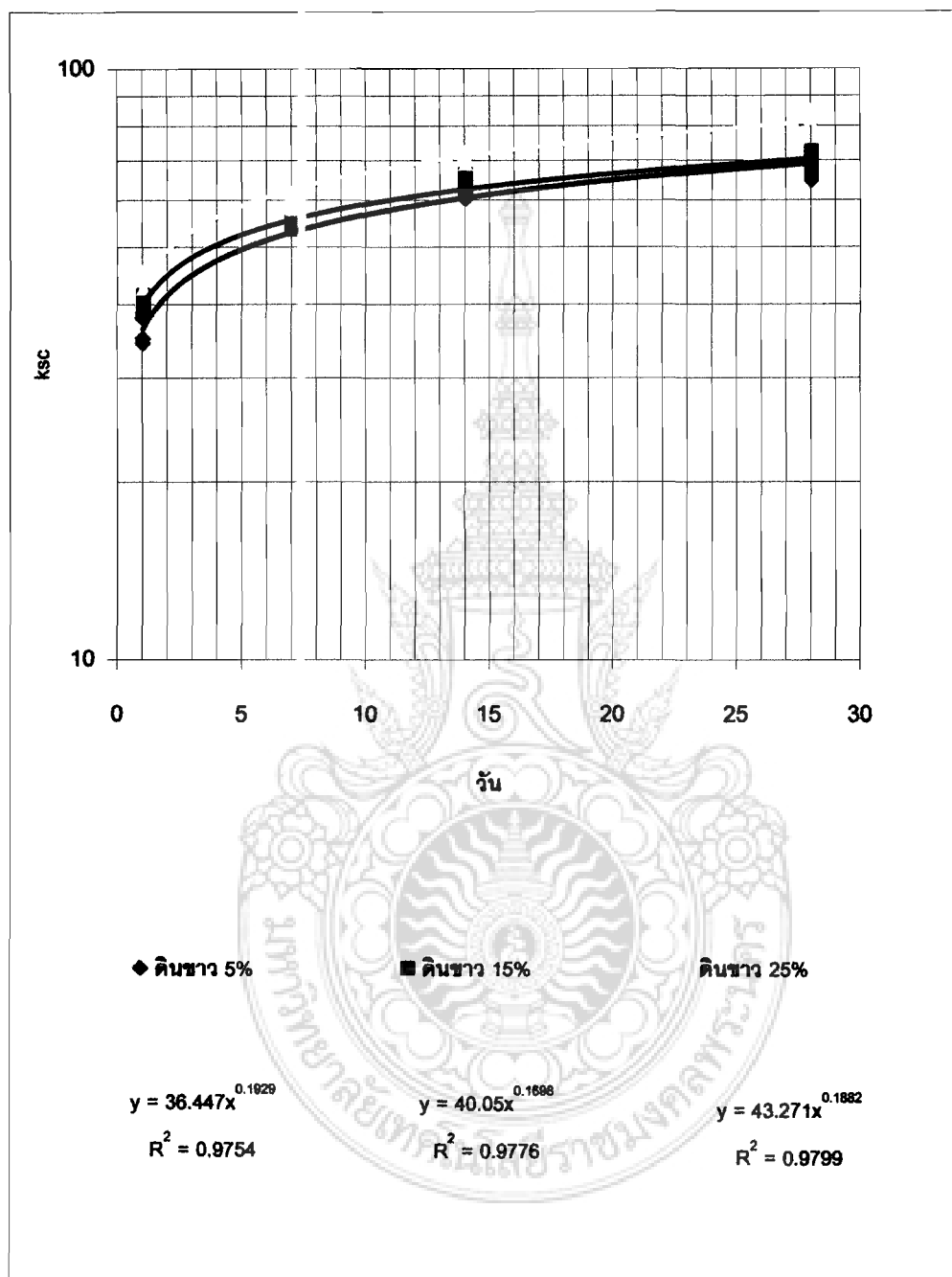
ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบดล็อกทั่วไปที่อัตราส่วนซีเมนต์ต่อหินฝุ่น 1:9 โดยปริมาตร



ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว, ฟางข้าว, แกลบและเส้นใยมะพร้าวแทนที่หินปูนที่ร้อยละต่างๆ

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว

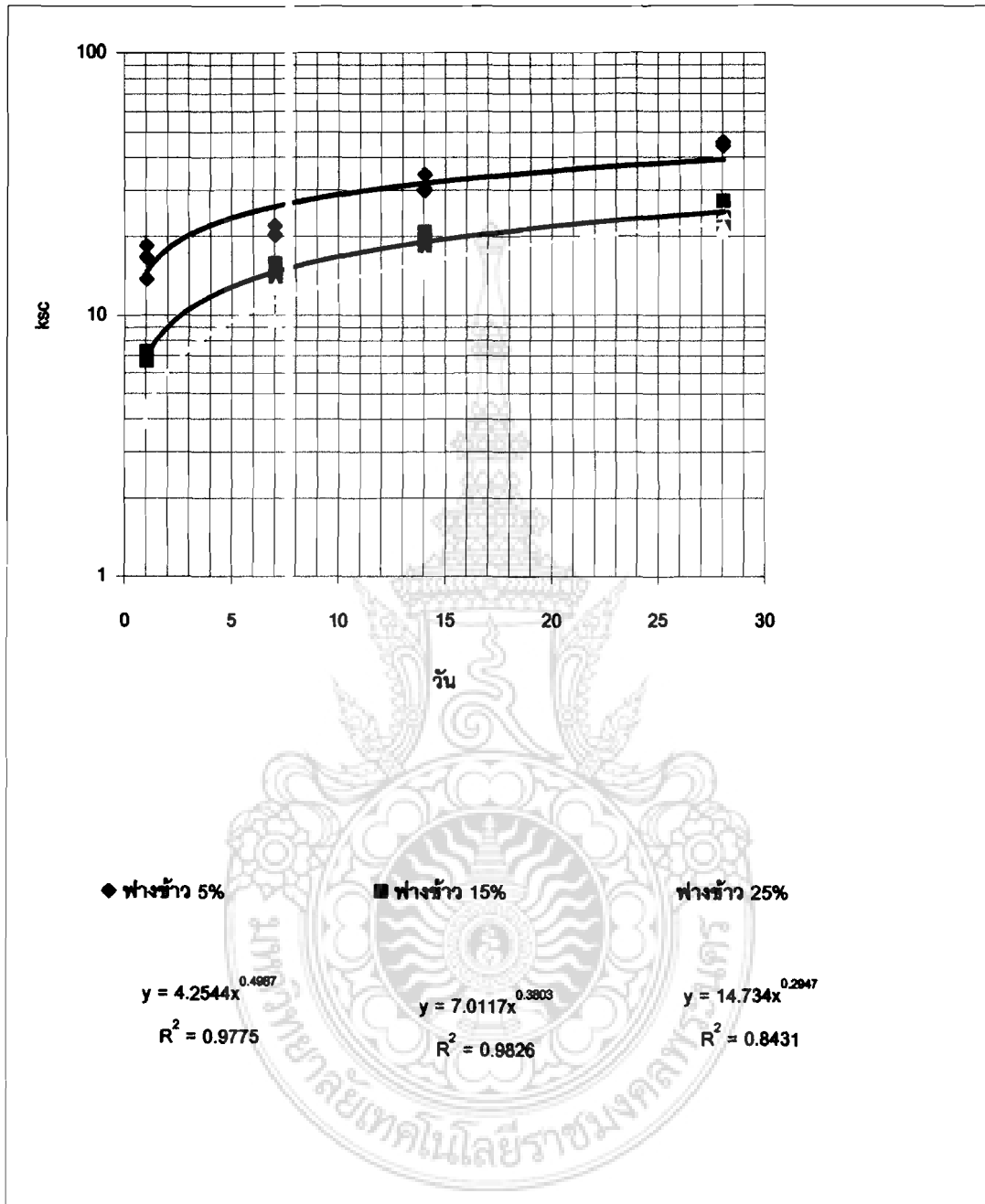
	วัน	ดินขาว 5%	ดินขาว 15%	ดินขาว 25%
ตัวอย่าง 1	1	38.0	39.2	45.4
ตัวอย่าง 2	1	35.1	40.0	44.1
ตัวอย่าง 3	1	34.5	41.5	42.7
ตัวอย่าง 1	7	55.1	55.4	58.1
ตัวอย่าง 2	7	54.9	54.1	59.7
ตัวอย่าง 3	7	53.8	53.7	61.7
ตัวอย่าง 1	14	60.4	65.1	69.3
ตัวอย่าง 2	14	62.5	61.9	71.6
ตัวอย่าง 3	14	63.5	66.5	72.2
ตัวอย่าง 1	28	64.9	70.2	84.6
ตัวอย่าง 2	28	68.6	67.2	82.5
ตัวอย่าง 3	28	67.2	72.6	82.3



รูปที่ 4.1 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมฟางข้าว

	วัน	ฟางข้าว 5%	ฟางข้าว 15%	ฟางข้าว 25%
ตัวอย่าง 1	1	13.8	7.3	4.3
ตัวอย่าง 2	1	18.5	6.7	3.9
ตัวอย่าง 3	1	16.7	6.9	4.5
ตัวอย่าง 1	7	22.1	14.1	12.6
ตัวอย่าง 2	7	20.3	14.7	13.1
ตัวอย่าง 3	7	20.4	15.8	9.5
ตัวอย่าง 1	14	34.6	20.9	14.5
ตัวอย่าง 2	14	30.4	19.5	15.3
ตัวอย่าง 3	14	30.0	18.5	16.8
ตัวอย่าง 1	28	44.3	27.4	22.0
ตัวอย่าง 2	28	45.7	23.7	20.6
ตัวอย่าง 3	28	46.0	22.0	24.7



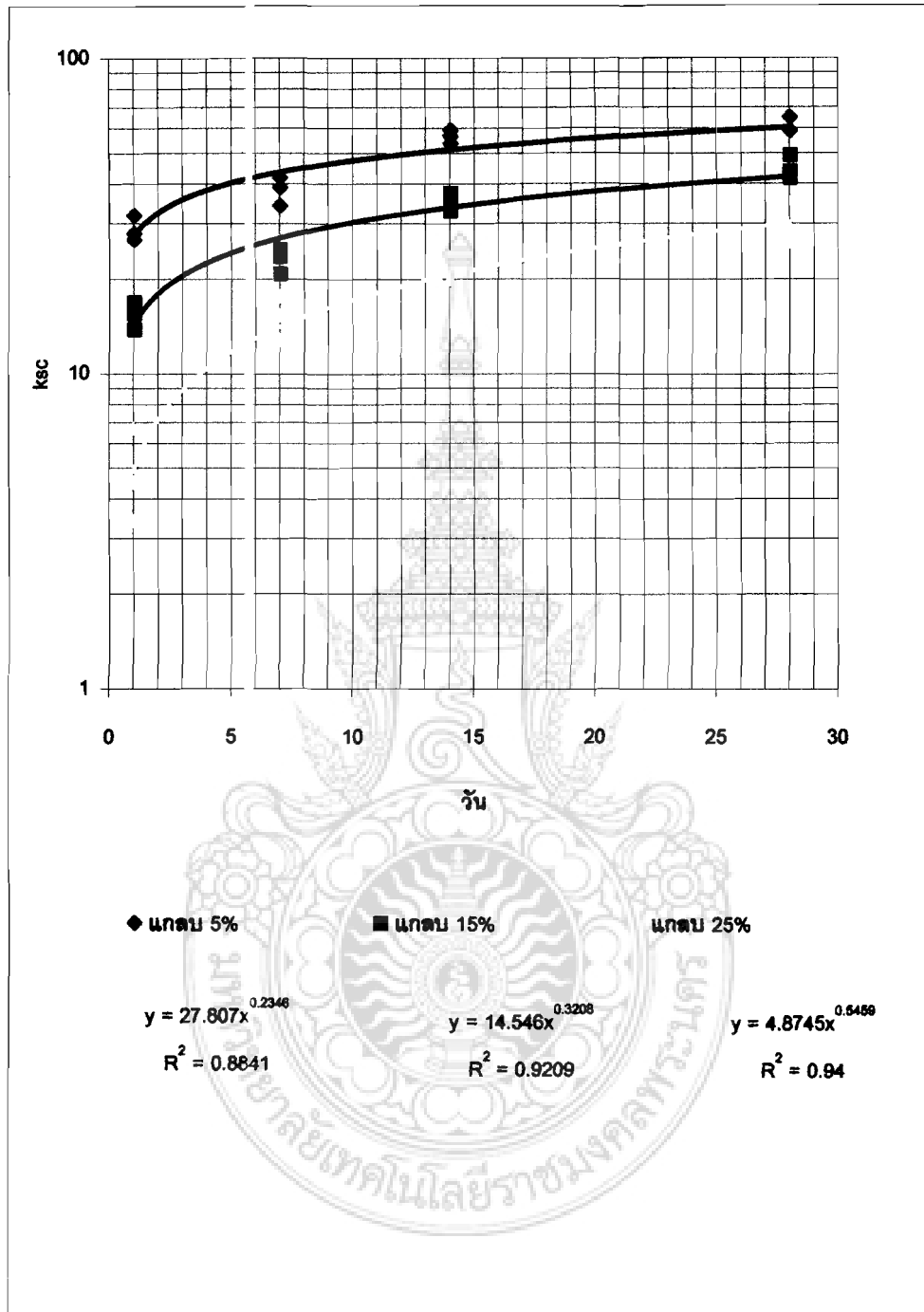
รูปที่ 4.2 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมฟางข้าว

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมแกลบ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมแกลบ

	วัน	แกลบ 5%	แกลบ 15%	แกลบ 25%
ตัวอย่าง 1	1	28.0	15.6	4.5
ตัวอย่าง 2	1	26.8	13.9	6.7
ตัวอย่าง 3	1	32.0	16.9	3.4
ตัวอย่าง 1	7	34.3	24.9	17.6
ตัวอย่าง 2	7	39.1	23.7	15.3
ตัวอย่าง 3	7	42.1	20.9	12.8
ตัวอย่าง 1	14	59.4	35.9	23.4
ตัวอย่าง 2	14	53.9	33.0	20.0
ตัวอย่าง 3	14	56.8	37.5	22.2
ตัวอย่าง 1	28	59.1	49.5	27.5
ตัวอย่าง 2	28	59.2	44.0	29.1
ตัวอย่าง 3	28	65.2	41.8	26.2



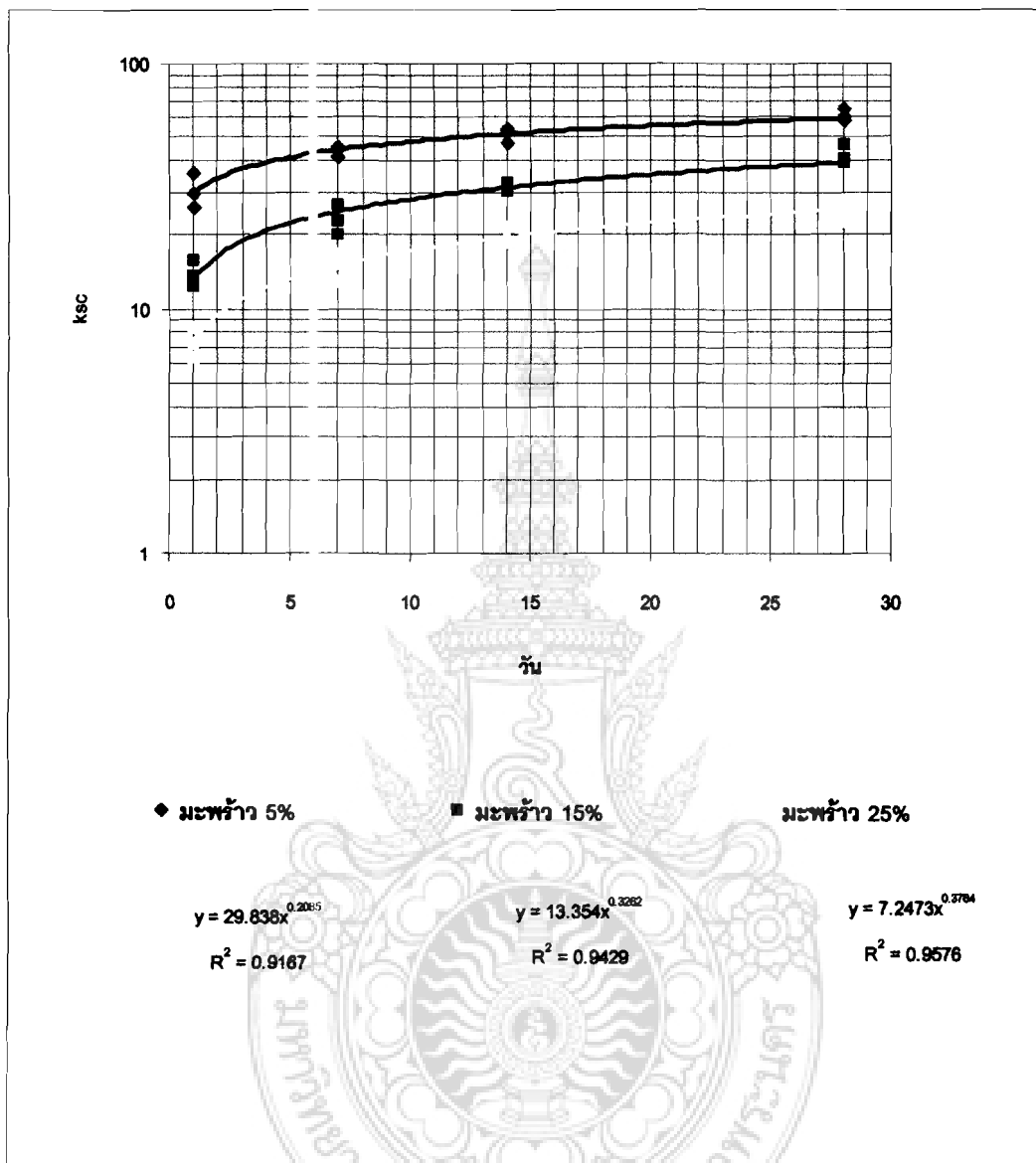


รูปที่ 4.3 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมแกลบ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าว

	วัน	มะพร้าว 5%	มะพร้าว 15%	มะพร้าว 25%
ตัวอย่าง 1	1	29.6	13.7	7.2
ตัวอย่าง 2	1	26.1	15.8	8.4
ตัวอย่าง 3	1	35.6	12.3	6.3
ตัวอย่าง 1	7	45.3	20.3	15.2
ตัวอย่าง 2	7	41.6	23.0	12.8
ตัวอย่าง 3	7	44.5	26.4	16.8
ตัวอย่าง 1	14	47.0	30.5	20.3
ตัวอย่าง 2	14	52.8	32.6	21.6
ตัวอย่าง 3	14	54.1	31.2	18.7
ตัวอย่าง 1	28	58.5	39.1	22.4
ตัวอย่าง 2	28	64.8	46.2	27.7
ตัวอย่าง 3	28	60.1	40.5	25.3

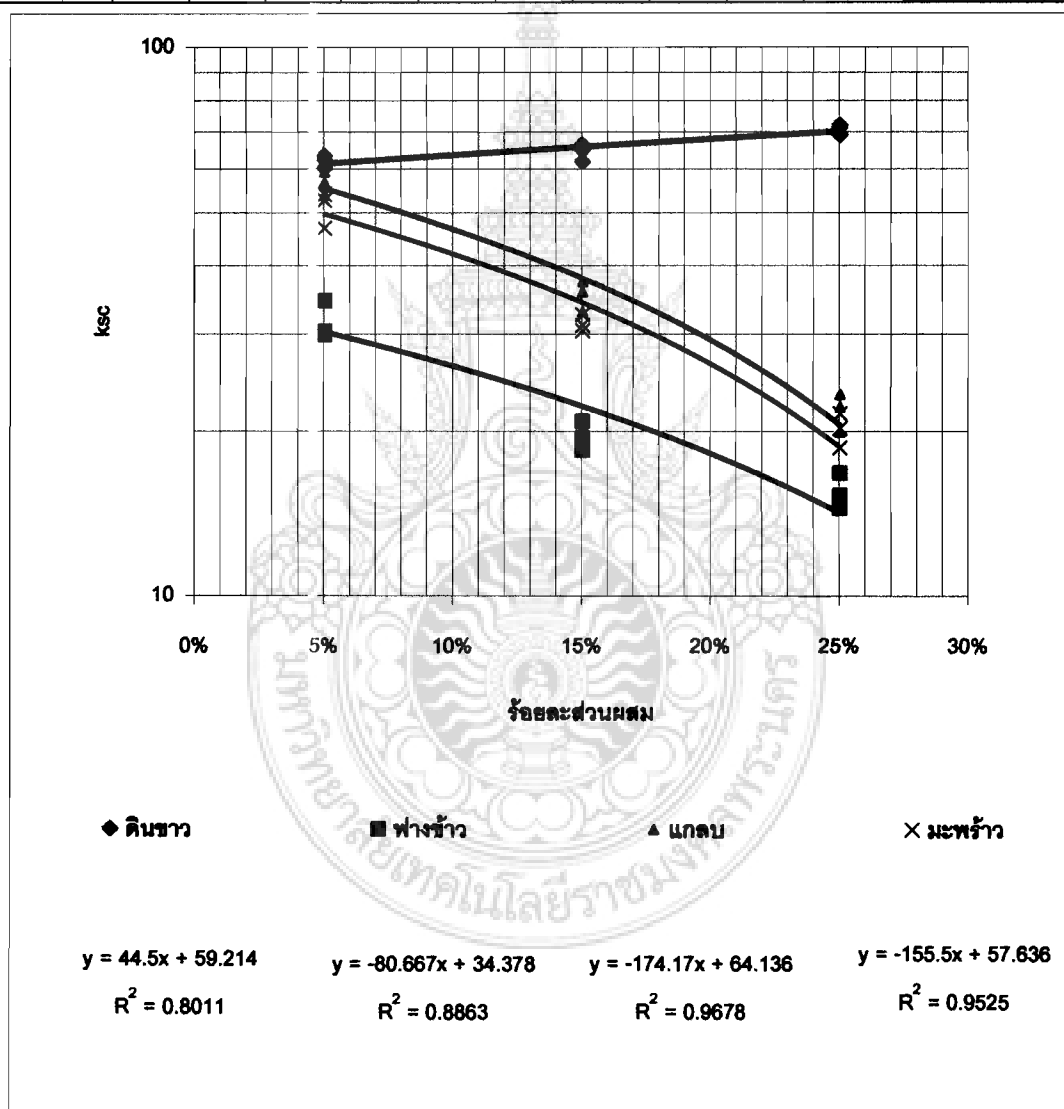




รูปที่ 4.4 แสดงค่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าว

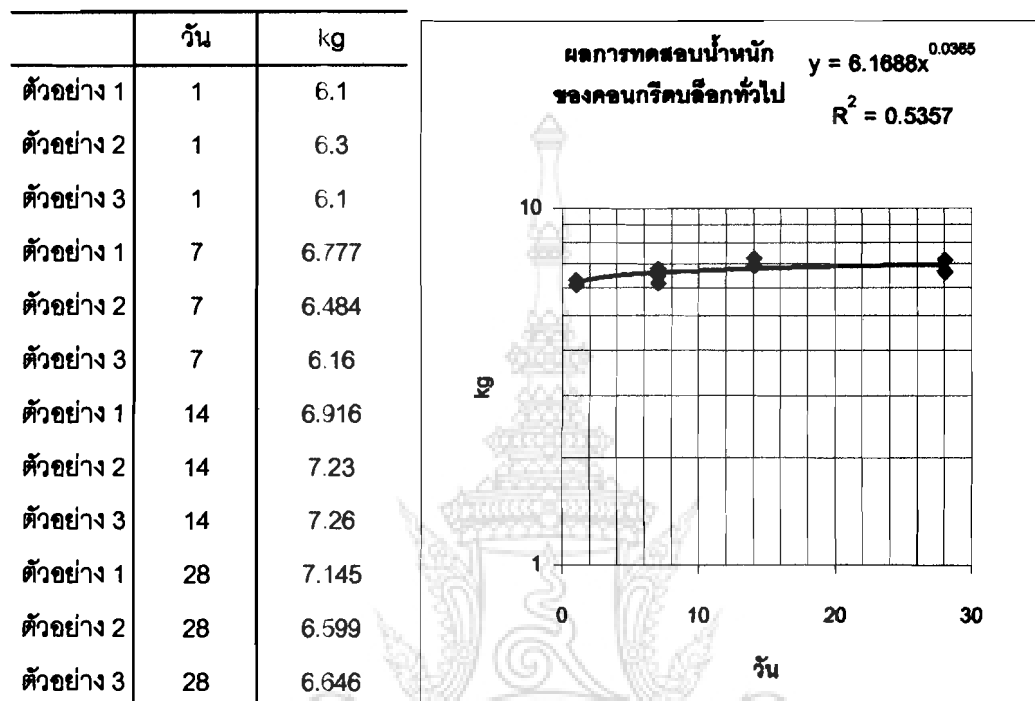
ผลเปรียบเทียบการรับกำลังอัดที่ 14 วัน

อัตราส่วน	5%	5%	5%	15%	15%	15%	25%	25%	25%	สมการ	R ²
ดินขาว	60.4	62.5	63.5	65.1	61.9	66.5	69.3	71.6	72.2	$44.5x + 59.214$	0.8011
ฟางข้าว	34.6	30.4	30	20.9	19.5	18.5	14.5	15.3	16.8	$-80.667x + 34.378$	0.8863
แกลบ	59.4	53.9	56.8	35.9	33	37.5	23.4	20	22.2	$-174.17x + 64.136$	0.9678
มะพร้าว	47	52.8	54.1	30.5	32.6	31.2	20.3	21.6	18.7	$-155.5x + 57.636$	0.9525



4.2 ผลการทดสอบน้ำหนัก

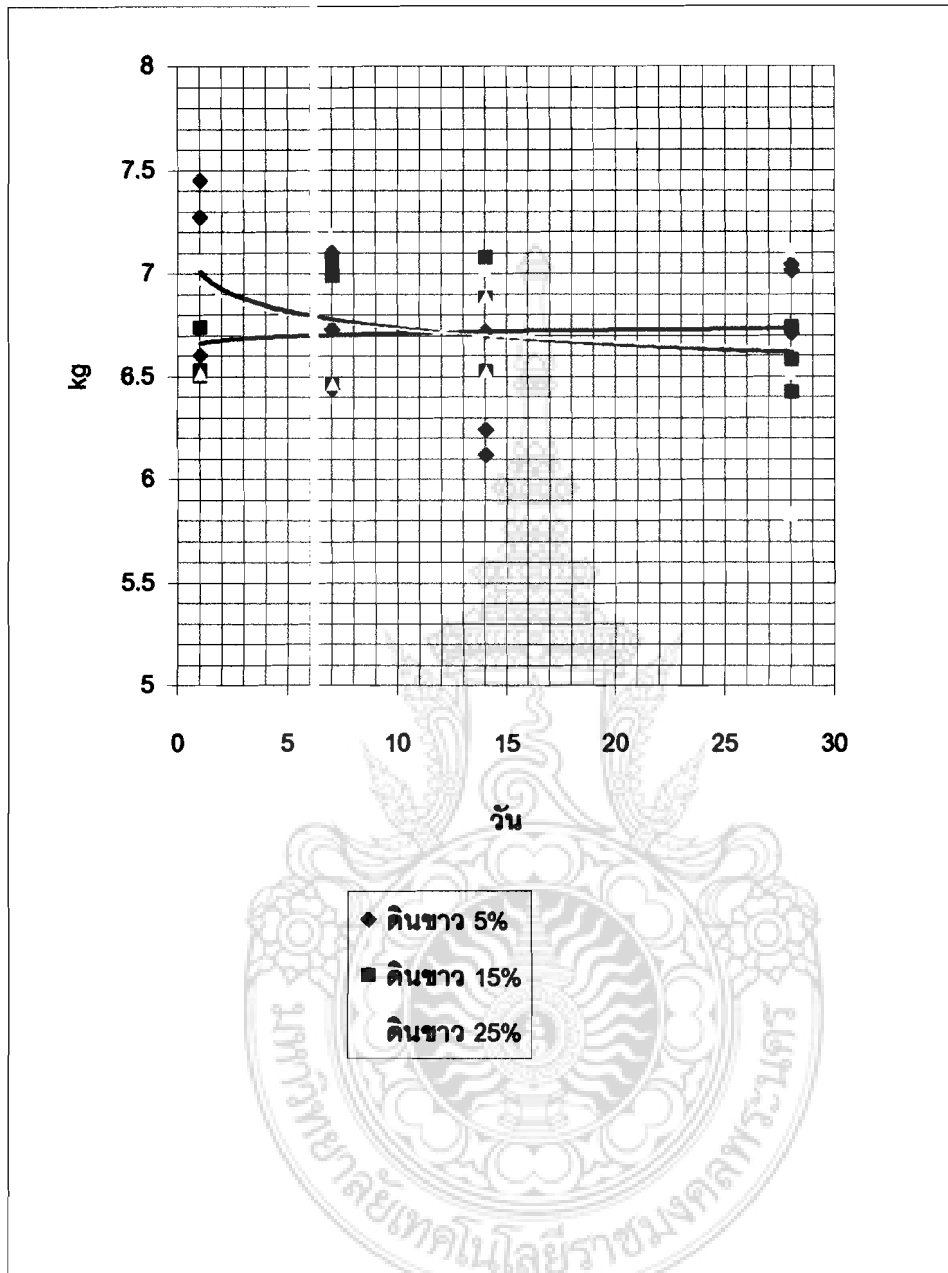
ผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกทั่วไป



ผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว

	วัน	ดินขาว 5%	ดินขาว 15%	ดินขาว 25%
ตัวอย่าง 1	1	7.5	6.7	6.5
ตัวอย่าง 2	1	7.3	6.5	7.0
ตัวอย่าง 3	1	6.6	6.5	7.1
ตัวอย่าง 1	7	6.7	6.5	6.5
ตัวอย่าง 2	7	7.1	7.0	7.2
ตัวอย่าง 3	7	6.4	7.1	7.2
ตัวอย่าง 1	14	6.1	7.1	6.5
ตัวอย่าง 2	14	6.7	6.9	6.9
ตัวอย่าง 3	14	6.2	6.5	7.0
ตัวอย่าง 1	28	7.0	6.7	7.1
ตัวอย่าง 2	28	6.7	6.6	5.8
ตัวอย่าง 3	28	7.0	6.4	6.5

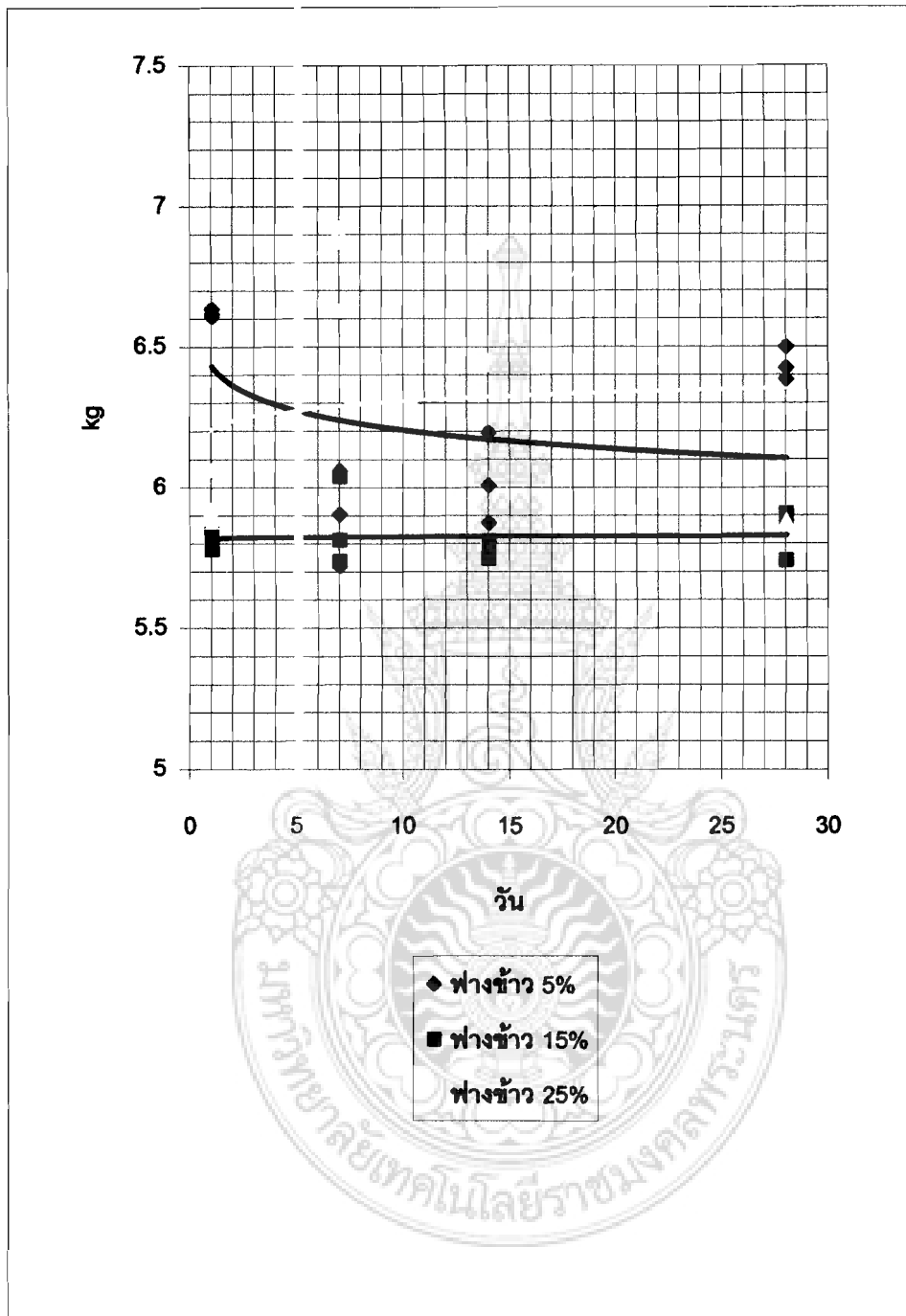


รูปที่ 4.5 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมฟางข้าว

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมฟางข้าว

	วัน	ฟางข้าว 5%	ฟางข้าว 15%	ฟางข้าว 25%
ตัวอย่าง 1	1	6.6	5.8	6.1
ตัวอย่าง 2	1	6.6	5.8	5.9
ตัวอย่าง 3	1	6.6	5.8	5.9
ตัวอย่าง 1	7	5.7	5.8	6.9
ตัวอย่าง 2	7	6.1	5.7	6.9
ตัวอย่าง 3	7	5.9	6.0	6.6
ตัวอย่าง 1	14	6.2	5.8	6.9
ตัวอย่าง 2	14	6.0	5.8	6.4
ตัวอย่าง 3	14	5.9	5.7	6.5
ตัวอย่าง 1	28	6.4	5.9	5.9
ตัวอย่าง 2	28	6.4	5.9	5.9
ตัวอย่าง 3	28	6.5	5.7	5.9

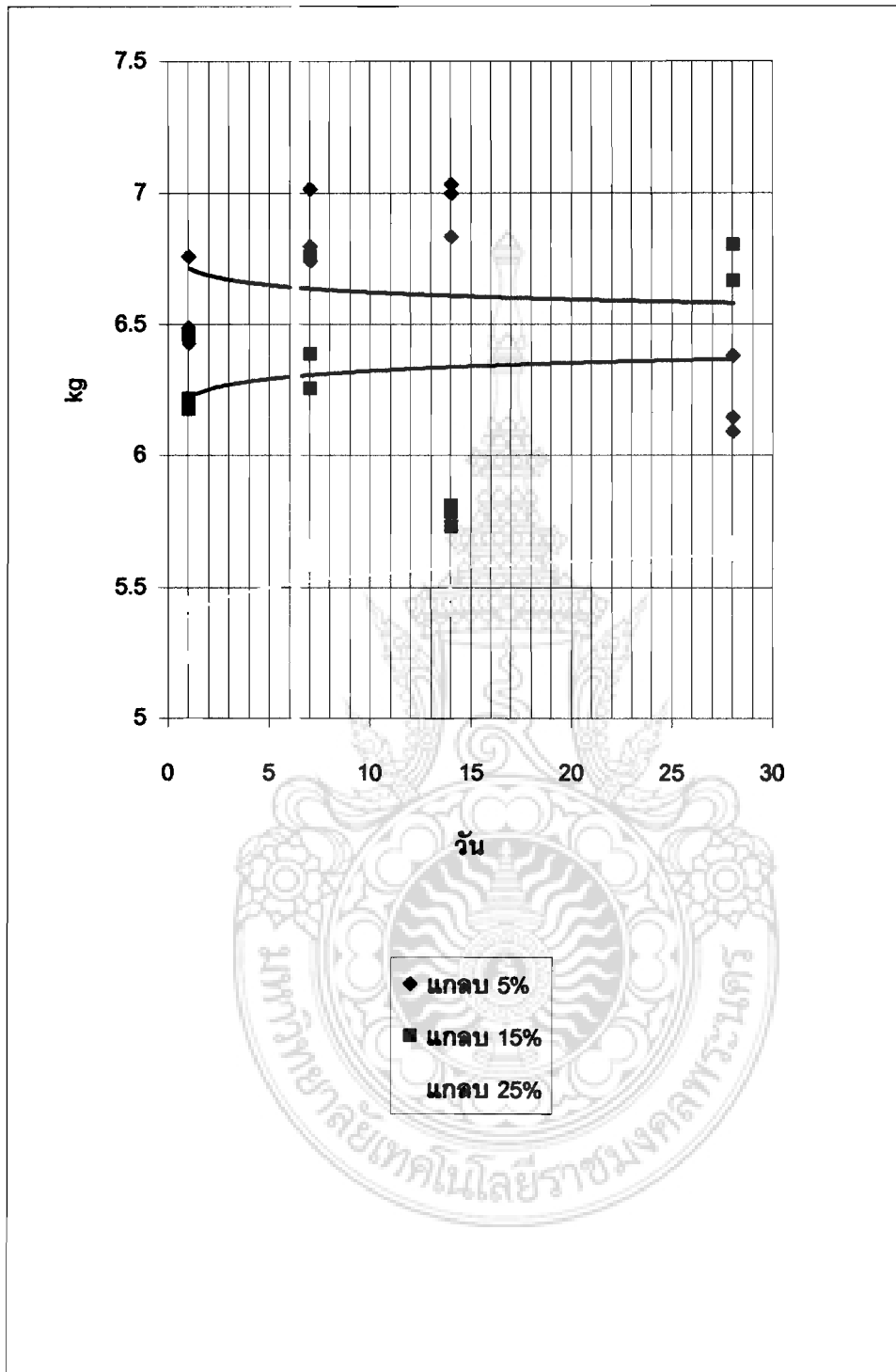


รูปที่ 4.6 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมฟางข้าว

ผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมแกลบ

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมแกลบ

	วัน	แกลบ 5%	แกลบ 15%	แกลบ 25%
ตัวอย่าง 1	1	6.8	6.2	5.4
ตัวอย่าง 2	1	6.4	6.2	5.4
ตัวอย่าง 3	1	6.5	6.5	5.2
ตัวอย่าง 1	7	6.7	6.4	5.7
ตัวอย่าง 2	7	6.8	6.3	5.6
ตัวอย่าง 3	7	7.0	6.8	5.6
ตัวอย่าง 1	14	7.0	5.8	5.5
ตัวอย่าง 2	14	6.8	5.7	5.5
ตัวอย่าง 3	14	7.0	5.8	5.4
ตัวอย่าง 1	28	6.4	6.8	5.7
ตัวอย่าง 2	28	6.1	6.8	5.6
ตัวอย่าง 3	28	6.1	6.7	5.7

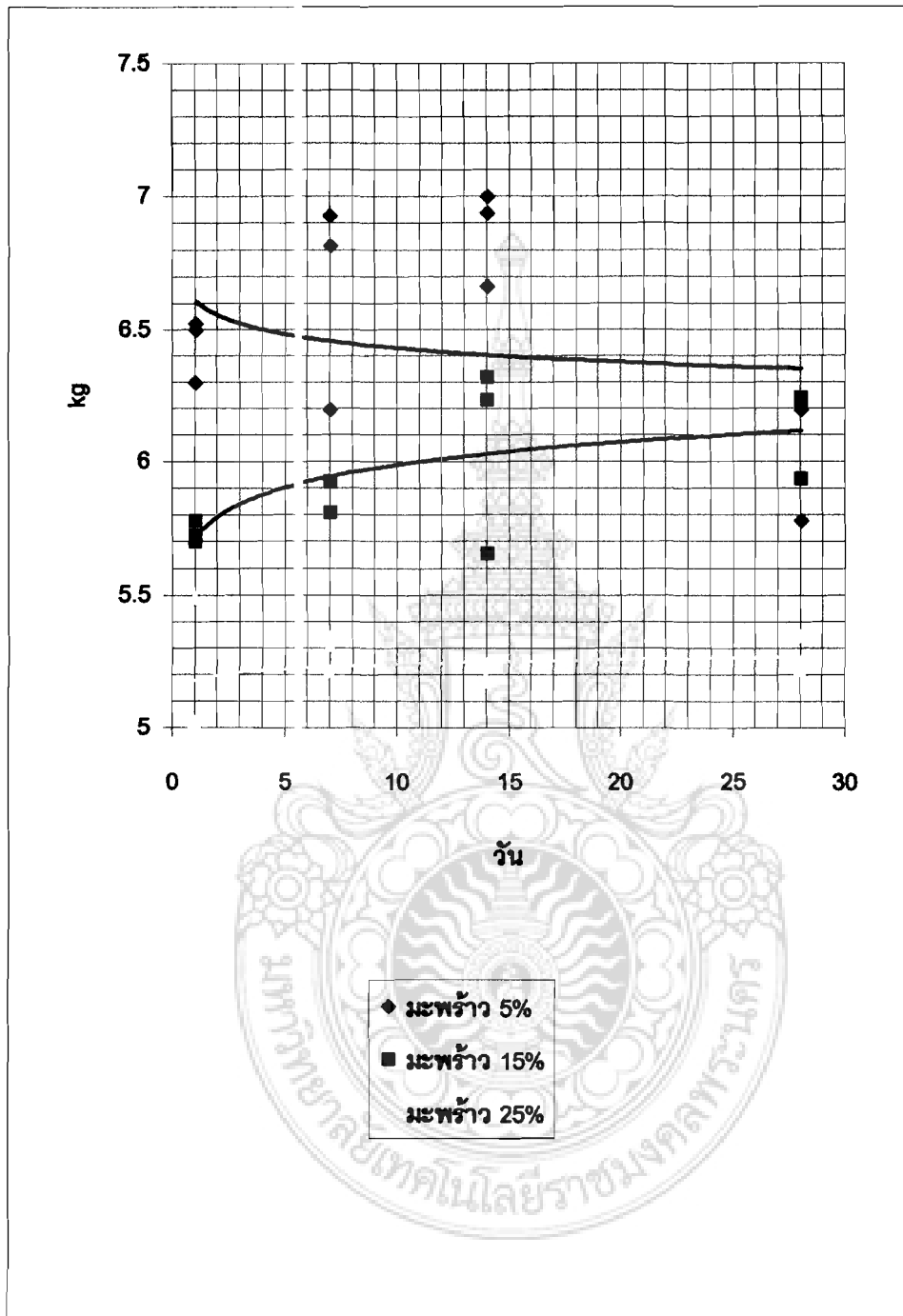


รูปที่ 4.7 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมแกลบ

ผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าว

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าว

	วัน	มะพร้าว 5%	มะพร้าว 15%	มะพร้าว 25%
ตัวอย่าง 1	1	6.5	5.8	5.0
ตัวอย่าง 2	1	6.5	5.7	5.0
ตัวอย่าง 3	1	6.3	5.7	5.5
ตัวอย่าง 1	7	6.8	5.8	5.3
ตัวอย่าง 2	7	6.9	5.9	5.2
ตัวอย่าง 3	7	6.2	5.9	5.3
ตัวอย่าง 1	14	7.0	6.3	5.2
ตัวอย่าง 2	14	6.9	6.2	5.2
ตัวอย่าง 3	14	6.7	5.7	5.2
ตัวอย่าง 1	28	6.2	5.9	5.2
ตัวอย่าง 2	28	5.8	6.2	5.2
ตัวอย่าง 3	28	5.8	6.2	5.3



รูปที่ 4.8 แสดงค่าผลการทดสอบน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าว

4.3 ผลการทดสอบการดูดซึม

การดูดซึม	ก่อนที่	แห้ง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		D	W	W
			เวลา	นบ.	เวลา	นบ.	D	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ซีเมนต์	1	6.633	14.10	7.198	14.40	7.085	0.11	8.52	6.81
	2	6.847	14.12	7.245	14.41	7.230	0.01	5.81	5.59
	3	6.759	14.13	7.153	14.42	7.135	0.02	5.83	5.56
ดินขาว 5%	1	7.015	14.20	7.426	14.50	7.402	0.02	5.86	5.52
	2	6.710	14.21	7.401	14.52	7.098	0.30	10.30	5.78
	3	7.040	14.24	7.438	14.55	7.420	0.02	5.65	5.40
ดินขาว 15%	1	6.741	14.30	7.101	15.06	7.090	0.01	5.34	5.18
	2	6.583	14.33	6.946	15.07	6.945	0.00	5.51	5.50
	3	6.424	14.35	6.859	15.09	6.848	0.01	6.77	6.60
ดินขาว 25%	1	7.108	14.45	7.605	15.15	7.598	0.01	6.99	6.89
	2	5.828	14.46	6.271	15.18	6.260	0.01	7.60	7.41
	3	6.510	14.50	6.974	15.19	6.962	0.01	7.13	6.94
ฟางข้าว 5%	1	6.385	15.02	6.795	15.25	6.784	0.01	6.42	6.25
	2	6.425	15.04	6.824	15.26	6.821	0.00	6.21	6.16
	3	6.500	15.05	6.901	15.28	6.895	0.01	6.17	6.08
ฟางข้าว 15%	1	5.908	15.10	6.403	15.46	6.386	0.02	8.38	8.09
	2	5.890	15.13	6.386	15.47	6.375	0.01	8.42	8.23
	3	5.742	15.15	6.274	15.49	6.264	0.01	9.27	9.09
ฟางข้าว 25%	1	5.882	15.30	6.432	16.00	6.422	0.01	9.35	9.18
	2	5.856	15.31	6.582	16.01	6.375	0.21	12.40	8.86
	3	5.889	15.33	6.407	16.02	6.400	0.01	8.30	8.68
แกลบ 5%	1	6.381	10.50	6.835	11.24	6.820	0.01	7.11	6.88
	2	6.092	10.54	6.577	11.26	6.556	0.02	7.96	7.62
	3	6.147	10.56	6.584	11.27	6.568	0.02	7.11	6.85
แกลบ 15%	1	6.807	11.05	7.275	11.41	7.264	0.01	6.88	6.71
	2	6.807	11.07	7.276	11.42	7.125	0.15	6.69	4.67
	3	6.668	11.09	7.148	11.44	7.260	0.11	7.20	8.88
แกลบ 25%	1	5.666	11.20	6.275	11.54	6.252	0.02	10.75	10.34
	2	5.625	11.22	6.222	11.58	6.186	0.04	10.61	9.97
	3	5.670	11.23	6.270	12.00	6.220	0.05	10.58	9.70
มะพร้าว 5%	1	6.195	11.35	6.651	12.13	6.611	0.04	7.36	6.72
	2	5.782	11.36	6.243	12.14	6.170	0.07	7.97	6.71
	3	5.780	11.38	6.222	12.15	6.141	0.08	7.65	6.25
มะพร้าว 15%	1	5.938	11.50	6.396	12.18	6.384	0.01	7.71	7.51
	2	6.214	11.52	6.675	12.19	6.655	0.02	7.42	7.10
	3	6.242	11.53	6.710	12.22	6.667	0.04	7.50	6.81
มะพร้าว 25%	1	5.242	12.05	5.825	12.37	5.793	0.03	11.12	10.51
	2	5.217	12.06	5.730	12.38	5.717	0.01	9.83	9.58
	3	5.345	12.08	5.855	12.40	5.844	0.01	9.54	9.34

4.4 ปริมาณค่าอัตราส่วน

ซีเมนต์/วัสดุ 1/9	อัตราส่วนที่ 1	อัตราส่วนที่ 2	อัตราส่วนที่ 3
ดินขาว	5%	5%	5%
เส้นใยฟางข้าว	5%	15%	10%
แกลบ	10%	5%	15%
เส้นใยมะพร้าว	15%	10%	5%
รวมเส้นใย	30%	30%	30%

4.5 ผลทดสอบการรับแรงอัดที่ปริมาณค่าอัตราส่วน

อัตราส่วนที่ 1	kg	ksc
ตัวอย่าง 1	5.862	40.5
ตัวอย่าง 2	6.037	41.3
ตัวอย่าง 3	6.078	44.2
เฉลี่ย	5.992	42.0

อัตราส่วนที่ 2	kg	ksc
ตัวอย่าง 1	5.862	40.5
ตัวอย่าง 2	6.037	51.7
ตัวอย่าง 3	6.078	44.2
เฉลี่ย	5.992	45.5

อัตราส่วนที่ 3	kg	ksc
ตัวอย่าง 1	6.567	61.6
ตัวอย่าง 2	6.67	78.8
ตัวอย่าง 3	6.545	55.1
เฉลี่ย	6.594	65.2

4.6 ผลทดสอบทางสถิติ

แบบที่ 1

SUMMARY OUTPUT

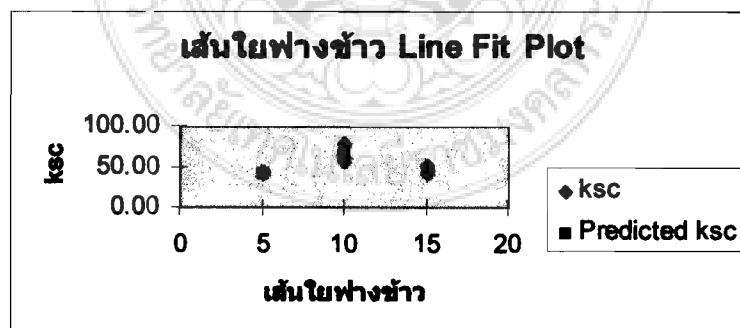
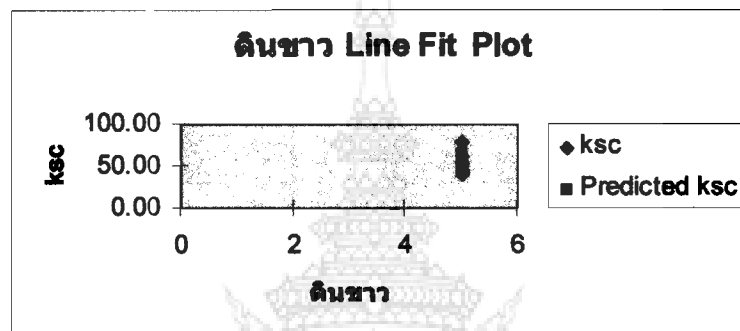
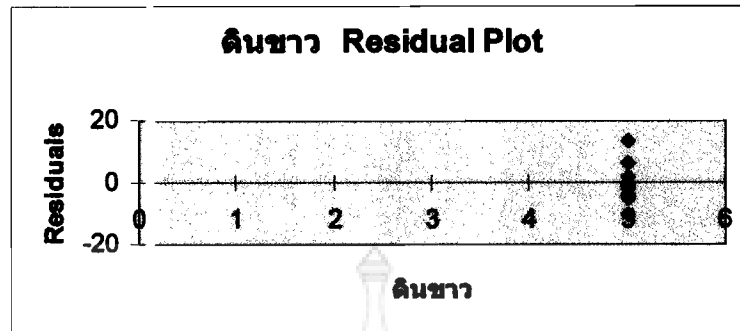
Regression Statistics	
Multiple R	0.845061
R Square	0.714129
Adjusted R Square	0.285505
Standard Error	7.875913
Observations	9

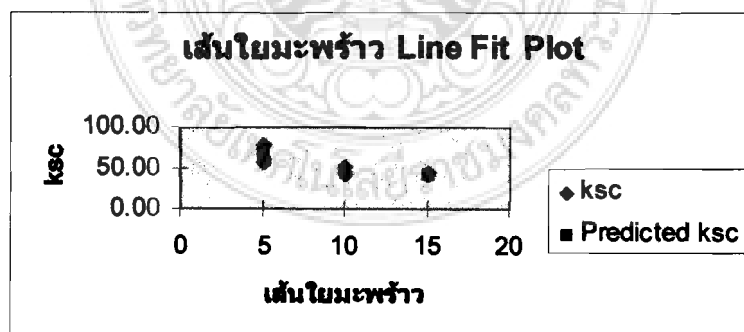
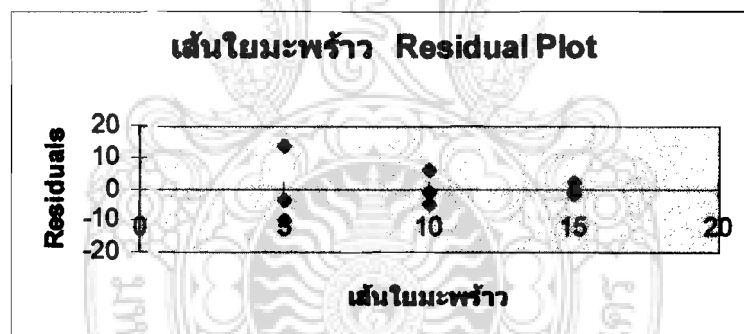
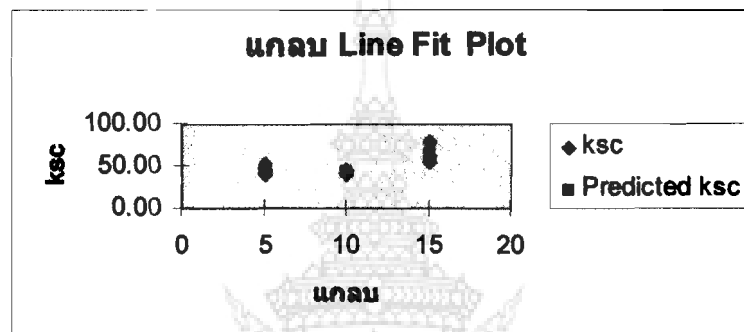
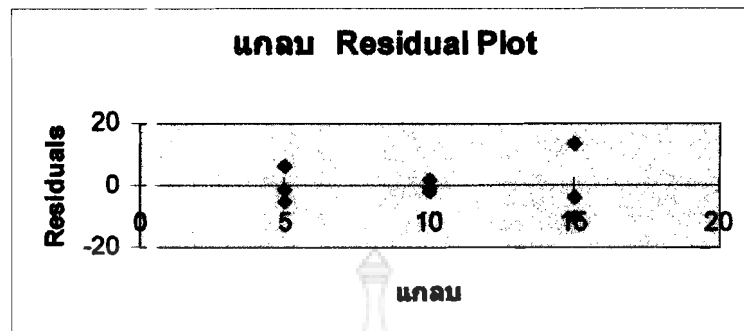
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	4	929.7356	232.4339	7.494241	0.038316
Residual	6	372.18	62.03		
Total	10	1301.916			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	4.855	13.127	0.370	0.724	-27.264	36.975	-27.264	36.975
คืนชาว เส้นใยฟาง	0	0	65535	#NUM!	0	0	0	0
ข้าว	1.757	0.743	2.367	0.056	-0.059	3.575	-0.059	3.575
แกลบ เส้นใย	2.848	0.743	3.837	0.009	1.032	4.666	1.032	4.666
มะพร้าว	0	0	65535	#NUM!	0	0	0	0

RESIDUAL OUTPUT

Observation	Predicted ksc	Residuals	Standard Residuals
1	42.13333	-1.63333	-0.26773
2	42.13333	-0.43333	-0.07103
3	42.13333	2.06667	0.338761
4	45.46667	-4.96667	-0.81412
5	45.46667	6.233333	1.021748
6	45.46667	-1.26667	-0.20763
7	65.16667	-3.56667	-0.58464
8	65.16667	13.63333	2.234732
9	65.16667	-10.0667	-1.6501





แบบที่ 2

Correlation matrix

	Rice Straw	Rice Hush	Coir	ksc
Rice Straw	1	-0.5	-0.5	0.113144375
Rice Hush	-0.5	1	-0.5	0.668683255
Coir	-0.5	-0.5	1	-0.781827629
ksc	0.113144375	0.668683255	-0.781827629	1

Index	Var Count	R2	RSS	Std. Error	Cp	Variables
1	1	0.552	331.302	6.880	2.685	Coir
2	2	0.710	214.664	5.981	1.979	Rice Straw ,Coir
3	3	0.709	215.558	6.566	4	Rice Straw ,Rice Hush ,Coir

แบบที่ 3

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.784092	0.614801	0.559772	8.488596

a Predictors: (Constant), เส้นใยมะพร้าว

Coefficients

Model		Unstandardized Coefficients	Std. Error	Standardized Coefficients	t	Sig.
		B		Beta		
1	(Constant)	74.04444	7.486238		9.890741	2.3E-05
	เส้นใยมะพร้าว	-2.31667	0.693091	-0.78409	-3.34251	0.012377

a Dependent Variable: KSC

แบบที่ 4

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.845828	0.715424	0.620566	7.880708
2	0.784092	0.614801	0.559772	8.488596

a Predictors: (Constant), เส้นใยมะพร้าว, แกลบ

b Predictors: (Constant), เส้นใยมะพร้าว

Coefficients

Model		Unstandardized Coefficients	Std. Error	Standardized Coefficients	t	Sig.
		B		Beta		
1	(Constant)	57.8111	13.1345		4.4015	0.0046
	แกลบ	1.0822	0.7430	0.3663	1.4566	0.1955
	เส้นใยมะพร้าว	-1.7756	0.7430	-0.6009	-2.3897	0.0540
2	(Constant)	74.0444	7.4862		9.8907	0.0000
	เส้นใยมะพร้าว	-2.3167	0.6931	-0.7841	-3.3425	0.0124

A Dependent Variable: KSC

4.7 แบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุด

MAX $K + RS + RH + C$

SUBJECT TO

- 1) $1.7577 RS + 2.8488 RH \geq 25.24$
- 2) $1.0822 RH - 1.7756 C \geq -27.81$
- 3) $-2.31667 C \geq -44.04$
- 4) $K \geq 5$
- 5) $RS \geq 5$
- 6) $RH \geq 5$
- 7) $C \geq 5$
- 8) $K + RS + RH + C \leq 30$

END

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 4

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 30.00000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
K	5.000000	0.000000
RS	5.000000	0.000000
RH	15.000000	0.000000
C	5.000000	0.000000

ROW SLACK OR SURPLUS DUAL PRICES

1)	26.280499	0.000000
2)	35.165001	0.000000
3)	32.456650	0.000000
4)	0.000000	0.000000
5)	0.000000	0.000000

6)	10.000000	0.000000
7)	0.000000	0.000000
8)	0.000000	1.000000

NO. ITERATIONS= 4

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

OBJ COEFFICIENT RANGES			
VARIABLE	CURRENT	ALLOWABLE	ALLOWABLE
	COEF	INCREASE	DECREASE
K	1.000000	0.000000	INFINITY
RS	1.000000	0.000000	INFINITY
RH	1.000000	INFINITY	0.000000
C	1.000000	0.000000	INFINITY

RIGHTHAND SIDE RANGES			
ROW	CURRENT	ALLOWABLE	ALLOWABLE
	RHS	INCREASE	DECREASE
1	25.240000	26.280499	INFINITY
2	-27.809999	35.165001	INFINITY
3	-44.040001	32.456650	INFINITY
4	5.000000	9.225112	5.000000
5	5.000000	10.000000	5.000000
6	5.000000	10.000000	INFINITY
7	5.000000	9.225112	5.000000
8	30.000000	INFINITY	9.225112

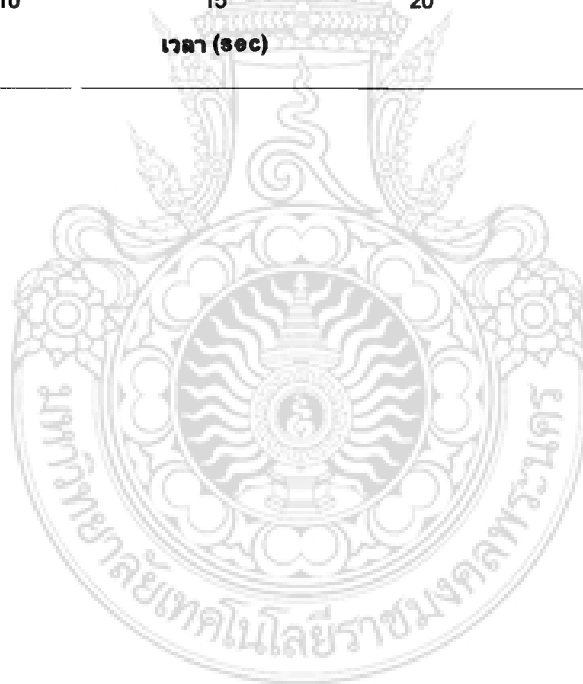
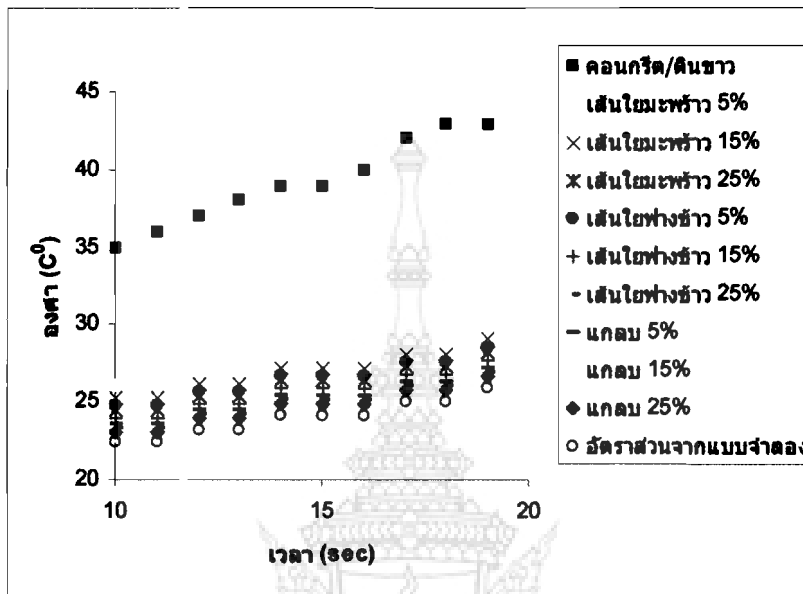
4.8 ผลทดสอบอัตราส่วนจากแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุด

วัสดุ	ซีเมนต์/วัสดุ ที่ 1: 9
ดินขาว	5%
เส้นใยฟางข้าว	5%
แกลบ	15%
เส้นใยมะพร้าว	5%
รวมเส้นใย	25%

ผลการทดสอบ

ซีเมนต์/วัสดุ 1/9	kg	ksc	การดูดซึม
ตัวอย่างที่ 1	5.97	62.8	8.96
ตัวอย่างที่ 2	6.23	68.3	7.35
ตัวอย่างที่ 3	6.05	65.1	8.04
เฉลี่ย	6.08	65.4	7.96
คอนกรีตบล็อก	6.68	32.2	6.72

4.9 ผลทดสอบการป้องกันความร้อน



บทที่ 5

สรุปผล

5.1 การทดสอบ

- 1) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาวที่ 5% 15% และ 25% มีค่าเพิ่มขึ้นต่างกันโดยเฉลี่ยที่ 4% และ 11% ตามลำดับ
- 2) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยฟางข้าวที่ 5% 15% และ 25% มีค่าลดลงต่างกันโดยเฉลี่ยที่ 42% และ 18% ตามลำดับ
- 3) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมแกลบที่ 5% 15% และ 25% มีค่าลดลงต่างกันโดยเฉลี่ยที่ 35% และ 41% ตามลำดับ
- 4) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าวที่ 5% 15% และ 25% มีค่าลดลงต่างกันโดยเฉลี่ยที่ 40% และ 38% ตามลำดับ
- 5) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาวที่ 5% 15% และ 25% ที่ 14 วันมีค่าเพิ่มขึ้นต่างกันโดยเฉลี่ยที่ 4% และ 9% ตามลำดับ
- 6) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยฟางข้าวที่ 5% 15% และ 25% ที่ 14 วันมีค่าเพิ่มขึ้นต่างกันโดยเฉลี่ยที่ 38% และ 20% ตามลำดับ
- 7) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมแกลบที่ 5% 15% และ 25% ที่ 14 วันมีค่าเพิ่มขึ้นต่างกันโดยเฉลี่ยที่ 37% และ 38% ตามลำดับ
- 8) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ ปริมาณค่าอัตราส่วนมีค่าน้ำหนักอยู่ในช่วง 5.8-6 กก. และมีกำลังรับแรงอัด 45-65 ksc
- 9) ผสมเส้นใยมะพร้าวที่ 5% 15% และ 25% ที่ 14 วันมีค่าเพิ่มขึ้นต่างกันโดยเฉลี่ยที่ 38% และ 35% ตามลำดับ

5.2 ผลวิเคราะห์ผลการสรุปข้อมูลของความสัมพันธ์

- 1) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาวที่ 5% 15% และ 25% มีค่าเพิ่มขึ้นต่างกันน้อยควรใช้ที่ 5%
- 2) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยฟางข้าวที่ 5% 15% และ 25% มีค่าลดลงต่างกันมากที่สุดที่ 25% ควรใช้ในช่วง 5-10%

- 3) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมแกลบที่ 5% 15% และ 25% มีค่าลดลงต่างมากที่ 25% ควรใช้ในช่วง 5-10%
- 4) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าวที่ 5% 15% และ 25% มีค่าลดลงต่างมากที่ 25% ควรใช้ในช่วง 5-10%
- 5) ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าวที่ 5% 15% และ 25% มีค่าลดลงต่างมากที่ 25% ควรใช้ในช่วง 5-10%
- 6) ผลการทดสอบของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว:เส้นใยมะพร้าว:ฟางข้าว:แกลบ แทนที่หินฝุ่นที่ 5%:5%:10%:15 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกธรรมดา มีกำลังรับแรงอัดมากกว่า 30% และมีน้ำหนักน้อยกว่า 10%
- 7) ผลการทดสอบของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว:เส้นใยมะพร้าว:ฟางข้าว:แกลบ แทนที่หินฝุ่นที่ 5%:15%:10%:5 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกธรรมดา มีกำลังรับแรงอัดมากกว่า 40% และมีน้ำหนักน้อยกว่า 10%
- 8) ผลการทดสอบของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว:เส้นใยมะพร้าว:ฟางข้าว:แกลบ แทนที่หินฝุ่นที่ 5%:10%:15%:5% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกธรรมดา มีกำลังรับแรงอัดมากกว่า 98% และมีน้ำหนักน้อยกว่า 0.01%
- 9) ผลทดสอบอัตราส่วนจากแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว:เส้นใยมะพร้าว:ฟางข้าว:แกลบ แทนที่หินฝุ่นที่ 5%:5%:15%:5% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกธรรมดา มีกำลังรับแรงอัดมากกว่า 98% และมีน้ำหนักน้อยกว่า 11%
- 10) ผลการทดสอบของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว:เส้นใยมะพร้าว:ฟางข้าว:แกลบ แทนที่หินฝุ่นทุกอัตราส่วนในข้างต้นมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 10%
- 11) ผลการทดสอบของคอนกรีตบล็อกผสมดินขาว:เส้นใยมะพร้าว:ฟางข้าว:แกลบ แทนที่หินฝุ่นทุกอัตราส่วนในข้างต้นเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกธรรมดา มีค่าการป้องกันความร้อนเฉลี่ยน้อยกว่า 28%

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 58 - 2533 และสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน ของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่อัตราส่วนซีเมนต์ต่อวัสดุ ที่ 1:9 ที่มีเปอร์เซ็นต์การแทนที่หินฝุ่นด้วยดินขาว:เส้นใยมะพร้าว:ฟางข้าว:แกลบที่ 5%:5%:15%:5% จึงมีความเหมาะสมที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะ

เพื่อผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกผสมวัสดุเส้นใยธรรมชาติมีสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน และมีน้ำหนักเบามากขึ้น ควรพัฒนาปรับปรุงมวลรวมที่ผสมวัสดุเส้นใยธรรมชาติเป็นก้อน ก้อนนำมาขึ้นรูปเพื่อเพิ่มสามารถรับกำลังอัดให้ผลิตภัณฑ์ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 58 – 2533



เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย

- [1] สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สสอ.), **ฉนวนความร้อน**, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, <http://www2.dede.go.th/dede/homesafe/book /acc.htm>.
- [2] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และกรมการปกครอง. 2548. **รายงานพลังงานของประเทศไทย. 2544.**
- [3] อุบลศรี ชัยสาม และ เขียวลักษณ์ นิสสภา, **คุณลักษณะของแร่ตามมาตรฐานการใช้งานและมาตรฐานการซื้อขายในตลาดแร่**, ฝ่ายข้อมูลและสถิติ กองวิชาการและวางแผน กรมทรัพยากรธรณี, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2537, หน้า 140-155.
- [4] Sayampuk, S., 2000. **Development of Durable Mortar and Concrete Incorporating Metakaolin from Thailand.** Ph.D.Thesis. Asia Inst. Technol.
- [5] Badogiannis, E., Papadaki, V. G., Chaniotakis, E., and Tsivills, S., 2003. **Exploitation of poor Greek kaolins : Strength development of metakaolin concrete and evaluation by means of k-value.** Concrete and Cement Reseach.
- [6] Xiaoqian, Q., and Zongjin, L., 2001. **The relationships between stress and strain or high- performance concrete.** Cement and Concrete Research.
- [7] ศักดิ์สิทธิ์ ศรีแสง , อุปวิทย์ สุวคันชกุล, สุดใจ เหม่าสีไพร, **การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเส้นใยมะพร้าว**,วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2550 (77-87)
- [8] สถาบันคลังสมองของชาติ, Policy Brief, พฤศจิกายน 2548, ปีที่ 2 ฉบับที่ 3
- [9] สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, **สถานการณ์ข้าวรายเดือน**, ฉบับที่ 6 มิถุนายน 2550
- [10] ดร.ลัดดาวัลย์ ภรรณนุช นักวิชาการสถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, **หยุดเผาฟางข้าวรักษาสิ่งแวดล้อม**, มติชนรายวัน วันที่ 12/02/2005
- [11] นายอัศวิน น้อยสุวรรณและคณะ, **คอนกรีตผสมแกลบ**, ปรินิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2548
- [12] สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2540), **ประมวลข้อมูลสถิติที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ.2540**,สำนักงานสถิติแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรื, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [13] กระทรวงอุตสาหกรรม. (2533). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก**. (มอก. 58 – 2533). กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- [14] ภาพพจน์ แก้วสีขาวและคณะ, **ผลกระทบของดินขาวต่อกำลังของมอร์ต้าซีเมนต์ผสม**, ปรินิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2548
- [15] ญกร พยัคฆพงษ์และคณะ, **การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตผสมดินขาวเผาและหรือแฉ่ำแกลบ**, ปรินิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2548
- [16] เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญและคณะ, **การนำกากของเสียมาใช้ประโยชน์แทนที่บางส่วนในการผลิตคอนกรีตบล็อก**, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548

- [17] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ (มอก. 15 เล่ม 1-2547), กทม., 2532.
- [18] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุท่อซึ่งทำด้วยคอนกรีต มอก. 109 – 2517, พิมพ์ครั้งที่ 3, 2541 กรุงเทพฯ
- [19] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก มอก. 109 – 2517, พิมพ์ครั้งที่ 3, 2541 กรุงเทพฯ

