



การใช้ดินขาวผสม กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือก  
ทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลดน้ำหนักใน  
ผนังคอนกรีตบล็อก

ผศ. ปราโมทย์ วิจารณ์กุล  
ผกา มาศ ชูสิทธิ์  
สัจจะชาญ พริตมะลี  
ประชุม คำพูน

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณประจำปี ๒๕๕๔  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การใช้ดินขาวผสม กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือก  
ทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลดน้ำหนักใน  
ผนังคอนกรีตบล็อก

ผศ. ปราโมทย์ วีรานุกูล  
ผกา มาศ ชูสิทธิ์  
สัจจะชาญ พรีตมะลี  
ประชุม คำพูน

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณประจำปี ๒๕๕๔  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

**The Application of Kaolin With Coconut Meal, Plywood from Corncobs and  
Durian Peel in Concrete Masonry Unit Wall for Increasing  
Effective Heat Protection and Lightweight**

**Asst. Prof. Pramot Weeranukul**

**Pakamas Choosit**

**Sajjachan Pradmali**

**Prachoom Khamput**



**This Report is Funded by Rajamangala University of Technology Phra Nakhon,  
Faculty of Industry Education, Fiscal 2011**

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ดินขาวผสม กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลดน้ำหนักในผนังคอนกรีตบล็อก โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1: กากดินขาว เท่ากับ 1: 60 โดยน้ำหนัก แทนที่กากดินขาวด้วยเส้นใย ได้แก่ กากมะพร้าว, ต้นข้าวโพด, และเปลือกทุเรียน ร้อยละ 1.67, 3.33 และ 5 ทำการขึ้นรูปตัวอย่างขนาด 6.9 x 39 x 19 เซนติเมตร ด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก ทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล ตามมาตรฐาน มอก. 58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก พบว่า การใส่เส้นใยลงในคอนกรีตบล็อกกากดินขาว ทำให้ความหนาแน่น สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมีค่าน้อยลง แต่การเปลี่ยนแปลงความยาวและการดูดซึมน้ำ มีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยคอนกรีตบล็อกกากดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใยมีความต้านทานแรงอัดสูงที่สุด รองลงมาคือ คอนกรีตบล็อกกากดินขาวผสมเส้นใยต้นข้าวโพด, คอนกรีตบล็อกกากดินขาวผสมเส้นใยกากมะพร้าว, และคอนกรีตบล็อกกากดินขาวผสมเส้นใยเปลือกทุเรียน มีความต้านทานแรงอัดต่ำที่สุด ตามลำดับ อย่างไรก็ตามก็มีความเป็นไปได้ที่จะใช้เส้นใยดังกล่าวมาเป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อลดน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกกากดินขาวให้น้อยลงได้

**คำสำคัญ:** คอนกรีตบล็อก, กากดินขาว, เส้นใยกากมะพร้าว, เส้นใยต้นข้าวโพด, เส้นใยเปลือกทุเรียน



## ABSTRACT

This research aims to study the application of kaolin with coconut meal, plywood from corncobs and durian peel in concrete masonry unit wall for increasing effective heat protection and lightweight. The ratio of cement type 1: kaolin is equal to 1: 60 by weight. The kaolin is replaced by fiber include coconut meal fiber, corn cob fiber, durian peel fiber with 1.67%, 3.33% and 5% by weight of kaolin. The kaolin concrete block mixed with fiber sample size is formed to 6.9 x 39 x 19 centimeter with the hydraulic compactor. The samples tested in physical and mechanical properties follow the TIS 58-2533 standard. Resulting, their fibers can reduce the density, thermal conductivity, and compressive strength and increase the changing length and water absorption of kaolin concrete blocks. The kaolin concrete block without fiber has highest compressive strength, followed by the kaolin concrete block mixed with corn cob fiber, the kaolin concrete block mixed with coconut meal fiber, and the kaolin concrete block mixed with durian peel fiber has lowest compressive strength, respectively. However, their fibers have possibility to be composite materials to reduce weight of kaolin concrete blocks.

**Keywords:** Concrete block, Kaolin, Coconut meal fiber, Corn cob fiber, Durian peel fiber



## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง	1
วัตถุประสงค์	5
ขอบเขตของงานวิจัย	6
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
การใช้วัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน	8
ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก	9
มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก	11
สมบัติทางเคมีของดินขาวจากแหล่งต่างๆ	12
โครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยธรรมชาติ	13
การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	13
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	27
วัสดุและอุปกรณ์	27
การเตรียมวัสดุ	30
การออกแบบอัตราส่วนผสม	30
การขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก	31
การทดสอบคอนกรีตบล็อก	33
การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบ	36
แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย	37
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	38
ความหนาแน่น	38
การดูดซึมน้ำ	41

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
การเปลี่ยนแปลงความยาว	42
ความต้านทานแรงอัด	44
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	50
การใช้งานจริง	52
บทที่ 5 สรุปลผลและข้อเสนอแนะ	55
สรุปลผล	55
ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	9
2.2	10
2.3	11
2.4	12
2.5	12
2.6	12
2.7	14
2.8	14
2.9	15
2.10	16
2.11	17
2.12	18
2.13	19
2.14	19
2.15	20
2.16	21
	โรงงานกระดาษกระทรวงอุตสาหกรรม ประเทศไทย
2.17	21
2.18	22
2.19	23
3.1	31
4.1	38
4.2	41
4.3	43
4.4	44
4.5	50



## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การป้องกันและลดความร้อนเข้าสู่อาคาร	8
3.1	เครื่องทดสอบ UTM (Universal testing Machine)	28
3.2	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล	28
3.3	เครื่องผสมคอนกรีตบดล็อก	29
3.4	เครื่องอัดคอนกรีตบดล็อก	29
3.5	การผสมส่วนผสมต่างๆด้วยเครื่องผสมคอนกรีตบดล็อก	32
3.6	คอนกรีตบดล็อกภาคินขาวภายหลังการขึ้นรูป	32
3.7	คอนกรีตบดล็อกภาคินขาวผสมเส้นใยชนิดต่างๆ	33
3.8	คอนกรีตบดล็อกที่เข้าเครื่องทดสอบความต้านทานแรงอัด	33
3.9	ลักษณะการวิบัติของก้อนตัวอย่าง	34
3.10	การชั่งน้ำหนักก่อนแช่น้ำ	35
3.11	คอนกรีตบดล็อกที่แช่น้ำเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ	35
4.1	ความหนาแน่นของคอนกรีตบดล็อกภาคินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ที่อายุ 28 วัน	39
4.2	ภาพขยายคอนกรีตบดล็อกภาคินขาวผสมเส้นใยจากมะพร้าวจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า	40
4.3	ภาพขยายคอนกรีตบดล็อกภาคินขาวผสมเส้นใยต้นข้าวโพดจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า	40
4.4	ภาพขยายคอนกรีตบดล็อกภาคินขาวผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า	41
4.5	การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบดล็อกภาคินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ที่อายุ 28 วัน	42
4.6	การเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตบดล็อกภาคินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ที่อายุ 28 วัน	43
4.7	ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบดล็อกภาคินขาวผสมเส้นใยจากมะพร้าวที่อายุต่างๆ	45
4.8	ภาพขยายจากมะพร้าวจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า	46
4.9	ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบดล็อกภาคินขาวผสมเส้นใยต้นข้าวโพดที่อายุต่างๆ	46

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.10	ภาพขยายของเส้นใยต้นข้าวโพดจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า	47
4.11	ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาหินขาวผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนที่อายุต่างๆ	48
4.12	ภาพขยายของเส้นใยเปลือกทุเรียนด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า	49
4.13	ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาหินขาวผสมเส้นใยต่างๆ	49
4.14	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกกาหินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ที่อายุ 28 วัน	51
4.15	อาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกกาหินขาวที่ผสมเส้นใยในอัตราส่วน CN3 เปรียบเทียบกับอาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป	52
4.16	อุณหภูมิภายในอาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกกาหินขาวที่ผสมเส้นใยในอัตราส่วน CN3 เปรียบเทียบกับอาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป	53
4.17	อุณหภูมิสูงสุดภายในอาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกกาหินขาวที่ผสมเส้นใยในอัตราส่วน CN3 เปรียบเทียบกับอาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อก	53
4.18	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในอาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกกาหินขาวที่ผสมเส้นใยในอัตราส่วน CN3 เปรียบเทียบกับอาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อก	54

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง

ในการพัฒนาประเทศนั้น พลังงานเป็นพื้นฐานสำคัญของการพัฒนาทางเศรษฐกิจ และการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชน ค่าพลังงานมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากแหล่งพลังงานลดน้อยลง รวมถึงค่าน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น และในขณะเดียวกันการใช้พลังงานก็มีสูงขึ้น โดยภาพรวมการใช้พลังงานในภาคธุรกิจที่อยู่อาศัยนับวันจะมีการใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง [1] จากข้อมูลตัวเลขทางเศรษฐกิจในปี พ.ศ.2544 พบว่าการใช้พลังงานของภาคธุรกิจและที่อยู่อาศัยของประเทศโดยรวม มีการใช้พลังงานอยู่ในลำดับที่ 3 รองลงมาจากภาคการขนส่งและภาคอุตสาหกรรม โดยแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นคิดเป็นอัตราการเจริญเติบโตประมาณร้อยละ 1.7 ต่อปี (ในช่วงปี 2533-2543) และใน พ.ศ.2544 บ้านอยู่อาศัยในประเทศไทยมีจำนวนประมาณ 15.7 ล้านครัวเรือน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานได้จัดทำการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในครัวเรือน พบว่า จากปริมาณการใช้พลังงานทั่วประเทศ 7,438 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบ เป็นพลังงานไฟฟ้าปริมาณทั้งสิ้น 661 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ จากการคาดการณ์ของคณะกรรมการพยากรณ์ไฟฟ้า ยังได้คาดการณ์ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคที่อยู่อาศัย จะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 6 ในช่วงระยะเวลา 15 ปีข้างหน้า ด้วยเหตุนี้การอนุรักษ์พลังงาน การใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคที่อยู่อาศัยจึงเป็นเรื่องสำคัญ และเร่งด่วนที่ควรถูกหยิบยกขึ้นมาพิจารณา [2]

จากการศึกษาถึงสัดส่วนความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่ พักอาศัยของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [2] พบว่า พลังงานที่ใช้ไปกับระบบปรับอากาศมีสัดส่วนที่สูงที่สุด แนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศก็คือ การป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยการป้องกันความร้อนให้กับเปลือกอาคารจากการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างและการเลือกใช้วัสดุประกอบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างเหมาะสม ถ้าเลือกใช้วัสดุที่สามารถป้องกันความร้อนได้ดีผู้อยู่อาศัยภายในบ้าน ก็จะไม่รู้สึกร้อนเป็นการเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงาน และการป้องกันความร้อนให้กับผนังอาคาร

ด้วยเหตุนี้การค้นคว้าหาวัสดุชนิดใหม่ๆ เพื่อการประหยัดพลังงาน การป้องกันความร้อนและยังคงความแข็งแรงให้กับผนังอาคารจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยการพัฒนาปรับปรุงวัสดุผนังที่เป็นมวลสาร (Mass Wall) ชนิดคอนกรีตบล็อก โดยลักษณะของคอนกรีตบล็อกมีทั้งชนิดรับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนัก ที่ผลิตขึ้นในประเทศและใช้กันทั่วไปคือคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักขนาด 70 X 190 X 390 มิลลิเมตร ในแต่ละปีมีความต้องการใช้เป็นจำนวนมากทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ ส่วนใหญ่จะมีลักษณะกลวง (Hollow Concrete Block) และเป็นที่ยอมรับใช้มากเนื่องจากมีราคาถูก และสามารถหาซื้อได้

ง่าย ไม่มีปัญหาในขั้นตอนการก่อสร้างเนื่องจากช่างมีความเคยชินในการทำงานอยู่แล้ว อีกทั้งยังสามารถทำงานได้เร็วเพราะมีขนาดก้อนใหญ่กว่าอิฐมอญและจากลักษณะที่มีรูกลวงตรงกลางทำให้ช่องอากาศภายในนั้นเป็นฉนวนในการกันความร้อนที่ดี แต่ข้อเสียคือจะเปราะและแตกง่าย การตอกตะปูยึดทุกต้องทำที่ปูนก่อเสาเอ็นหรือคานเอ็น ซึ่งถ้าเป็นผนังฉาบปูนจะหาตำแหน่งยาก ส่วนผนังเซาะร่องหาจุดเจาะทุกไม่ยากเท่าไรหากเกิดน้ำรั่วเข้าผนัง น้ำจะซึมได้ดีกว่าอิฐมอญ และบล็อกที่ขายกันทั่วไปคุณภาพต่ำ บางกว่าที่กำหนด (เช่น ขนาดความหนา 7 ซม. จะเหลือ 6 ถึง 6.5 ซม.) มือทุบแตก หล่นก็แตก วิธีการแก้ปัญหาข้อเสียของคอนกรีตบล็อกวิธีหนึ่งคือ การประยุกต์ใช้ดินขาว (Kaolin) และ การนำเอาวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรเช่น เส้นใยธรรมชาติ ( Natural fibers) และกากมะพร้าว มาใช้ประโยชน์ในการป้องกันความร้อน ความแข็งแรง และน้ำหนักเบา อีกทั้งช่วยลดต้นทุนในผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก

ปัจจัยในเลือกการใช้ ดินขาว (Kaolin) และ การนำเอาวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรชนิด เส้นใยธรรมชาติ (เส้นใยจากต้นข้าวโพด เส้นใยจากเปลือกทุเรียน) และกากมะพร้าว มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก จากการพิจารณาคูณสมบัติเพิ่มการป้องกันความร้อน ความแข็งแรง น้ำหนักเบา และลดต้นทุนในผลิต โดยสอดคล้องกับการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม การเพิ่มมูลค่า ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ดินขาว (Kaolin) คือ แร่ที่มีสีขาว ประกอบด้วย ไฮดรอกไซด์อะลูมิเนียม ซิลิเกต (Hydrous aluminium silicate) มีสูตร  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_3 \cdot 2H_2O$  ส่วนประกอบทางเคมี มีซิลิกา ร้อยละ 46 อะลูมินา ร้อยละ 40 น้ำ ร้อยละ 14 ความถ่วงจำเพาะ 2.6 ความแข็งแรง 2.0-2.5 จุดหลอมประมาณ  $1,785\text{ }^{\circ}\text{C}$  มักเกิดจากการสลายตัวโดยกระบวนการแปรสภาพเป็นดินขาวเคโอลิน (Kaolinization) และจะประกอบด้วยแร่เคลโอไลต์ (Kaolinite) ฮาลลอยไซต์ (Halloysite) หรืออิลไลต์ (Illite) เป็นส่วนใหญ่ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอุตสาหกรรมเซรามิก เพราะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์คุณสมบัติเฉพาะตัวของดินขาวแต่ละแหล่งเหมาะกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท [3] แต่ปัญหาหลักในปัจจุบันของดินขาวที่มีผลกระทบต่ออุตสาหกรรมเซรามิก เป็นอย่างมากก็คือราคาขายส่งดินขาวจากแหล่งผลิตไปยังโรงงานเซรามิกในภาคเหนือ เช่นที่จังหวัดลำปาง มีราคาที่สูงมาก เนื่องจากระยะทางไกล ราคาน้ำมันที่แพงขึ้น และปัจจัยองค์ประกอบอื่นๆ อีกหลายประการ จึงทำให้มีดินขาวเหลืออยู่ที่แหล่งเป็นจำนวนมาก ดังนั้นทางผู้รับผิดชอบพื้นที่ของแหล่งดินขาว ที่เป็นแหล่งใหญ่ๆ เช่นจังหวัดระนอง ซึ่งก็คือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต่างๆ ก็ได้มีนโยบายในการที่จะนำดินขาวมาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น โดยมีความคิดที่จะนำมาเป็นส่วนประกอบของวัสดุก่อสร้าง ที่ไม่ต้องมีกระบวนการขั้นตอนที่ยุ่งยากซับซ้อนมากจนเกินไปนัก เพื่อที่จะนำมาใช้ได้โดยง่ายในทันที โดยมีการศึกษาคุณสมบัติดินขาวกับคอนกรีต Sayamipuk, S. (2000) [4] ได้ศึกษาดินขาวจากแหล่งระนองในประเทศไทยพบว่า อนุภาคของดินขาวยังมีส่วนช่วยในการพัฒนากำลังอัดของมอร์ต้าเนื่องจากผลของ Microfiller Effect และ Badogiannis, E.,

Papadakis, V.G., Chaniotakis, E. and Tsvivilis, S. (2003) [5] ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมที่ตอบสนองต่อกำลังของคอนกรีตโดยเมื่อ ดินขาวแทนที่ทรายจะทำให้กำลังสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาที่ 90 วัน Xiaoqian, Q., and Zongjin, L. (2001) [6] ทำการศึกษาการเติมดินขาวลงในคอนกรีตจะทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้นในเวลาอันสั้นและในระยะยาวกำลังก็จะสูงกว่าเดิมด้วย ดังนั้นการนำดินขาวที่มีอยู่มากมายในท้องถิ่นมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้างคือ คอนกรีตบดล็อกเพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงในด้านกำลังอัด สามารถแก้ไขข้อเสียที่เปราะและแตกง่ายได้ และเป็นการเพิ่มมูลค่าของดินขาวด้วย

2) วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ประเทศไทยมีเส้นใยธรรมชาติมากมาย [7] เป็นเศษเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะกากมะพร้าว (Coconut meal) จากอุตสาหกรรมกะทิ เส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนจากการเกษตร ที่มีข้อดี หลายประการดังนี้หาง่าย เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีใช้ไม่หมดสิ้น เป็นของเหลือทิ้ง มีราคาถูก ทำให้สามารถใช้ลดต้นทุนการผลิต มีสมบัติเชิงกลดี มีความแข็งแรงและ มอดูลัสสูง ความหนาแน่นต่ำ ทำให้มีน้ำหนักเบา การกันความร้อน ช่วยกำจัดและลดการคายน้ำของเสียจากเกษตรกรรมอุตสาหกรรม และการลดการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ โดยมีความสำคัญและมีมาของการเลือกกากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

มะพร้าว จัดเป็นพืชชนิดหนึ่งที่สัมพันธ์กับเศรษฐกิจและสังคมไทย ซึ่งนอกจากจะสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกแล้วยังก่อให้เกิดอุตสาหกรรมแปรรูปต่อเนื่องเป็นสินค้าส่งออกสร้างรายได้ให้แก่ประเทศได้ อีกทั้งยังเป็นส่วนหนึ่งในวิถีชีวิตคนไทย โดยเฉพาะวัฒนธรรมการบริโภค [8] มีการปลูกในทุกพื้นที่ของประเทศประมาณ 2.04 ล้านไร่ มีผลผลิตมะพร้าวเท่ากับ 2.75 ล้านตัน มีสัดส่วนการใช้ประโยชน์แบ่งเป็นการบริโภคภายในประเทศ ร้อยละ 60 และ ร้อยละ 40 สำหรับ ใช้ในอุตสาหกรรมและส่งออก และมีแนวโน้มของปริมาณการใช้ เพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี ซึ่งส่งผลให้ของเหลือใช้ ที่ได้จากมะพร้าวก็ ขอมมีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งถ้าไม่สามารถกำจัดเหลือใช้ ที่ได้จากมะพร้าวเหล่านั้นก็จะส่งผลทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม จึงเกิดแนวคิดโดยการนำกากมะพร้าวมาประยุกต์ ซึ่งกากมะพร้าวเป็นเส้นใยจากพืชหรือเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fibers) เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งเกิดจากเซลลูโลสยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมีเป็น โมเลกุลใหญ่มีสูตรเป็น  $(C_6H_{10}O_5)_x$  กล่าวคือในโมเลกุลเซลลูโลสจะเกิดจากหน่วยโมเลกุลซ้ำ (Repeat units) ยึดจับกันเป็นสายยาว หน่วยโมเลกุลซ้ำ คือ เซลโลไบโอส (Cellobiose) เกิดจากบีต้า กลูโคส 2 โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะ C-O-C ในโมเลกุลเซลลูโลสจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่มากมายจะทำหน้าที่ดึงดูดน้ำ หรือเกิดปฏิกิริยาจับกับหมู่ธาตุอื่นๆ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสมีความเป็นระเบียบ (Crystalline) ค่อนข้างมากคือ 85 – 95 % และระหว่างสายโมเลกุลจะมีการยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) เป็นระยะๆ ซึ่งมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีความเหนียวแข็งแรงค่อนข้างสูง น้ำหนักเบา เหมาะที่จะนำมาใช้เป็น

ส่วนประกอบของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก เพื่อให้ลดการแตกร้าว ลดน้ำหนักคอนกรีตและเป็นการลดต้นทุนการผลิตและช่วยกำจัดวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากมะพร้าว

ข้าวโพด ปลูกกันมากในเกือบทุกภาคของประเทศ ภาคเหนือ จะปลูกมากในจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดหนองคาย นครราชสีมา และภาคกลาง ในพื้นที่จังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร ราชบุรี ระยะเวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 40-45 วัน ปลูกได้ดีในช่วงฤดูฝน แต่ถ้าเป็นพื้นที่ในเขตชลประทานสามารถปลูกได้ตลอดปี (4 ครั้ง/ปี) ดังนั้น เศษเหลือจากการผลิตข้าวโพดฝักอ่อน เช่น ต้นข้าวโพด เปลือกฝักข้าวโพด และไหม จึงมีมากในเกือบทุกภาคของประเทศ และเกือบตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในเขตชลประทาน ต้นข้าวโพดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร หลังการเก็บเกี่ยว [9 – 10] จากข้อมูลของกรมเศรษฐกิจการพาณิชย์พบว่า ประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์จากข้าวโพดฝักอ่อน และข้าวโพดหวาน ในรูปข้าวโพดอ่อนสด ข้าวโพดอ่อนกระป๋อง ข้าวโพดหวานแช่แข็ง และข้าวโพดหวานกระป๋อง โดยในปี พ.ศ.2536 มีการส่งออกประมาณ 36,000 ตัน คิดเป็นมูลค่า 840 ล้านบาท และเพิ่มขึ้นมาเป็น 82,000 ตัน มูลค่า 2,100 ล้านบาท ในปี พ.ศ.2540 และปัจจุบันสามารถผลิตได้ประมาณ 4 ล้านตันต่อปี จากพื้นที่ปลูกรวมทั้งประเทศประมาณ 6 ล้านไร่ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดในประเทศที่ต้องการประมาณ 5.5 ล้านตันต่อปี ในจำนวนนี้ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ 60% ที่เหลือ 40% ส่งออกนอกประเทศ ซึ่งจากความต้องการของตลาด โดยเฉพาะเพื่อการใช้ในการผลิตอาหารสัตว์นั้นส่งผลให้พื้นที่สำหรับการปลูกข้าวโพดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 7.8 ล้านไร่ต่อปี จากการค้นคว้าวิจัยเพื่อที่จะนำเอาส่วนเหลือใช้หลังการเก็บเกี่ยวพืชไร่ชนิดต่างๆ ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากในภาคจีน โดยต้องกำจัดทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ ต้องสูญเสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายจำนวนมาก ด้วยการขนไปทิ้ง หรือฝังกลบ หรือไม่ก็ทำการเผาทำลาย อันเป็นการก่อมลภาวะให้แก่สภาพแวดล้อมอีกโสดหนึ่งต่างหาก ได้มีความพยายามหาวิธีการต่างๆ เพื่อนำเอาเศษเหลือใช้ของพืชไร่หลังการเก็บเกี่ยว อาทิเช่น ฟางข้าว ต้น-ซังข้าวโพด ต้นถั่วเหลือง ต้นข้าว ฟาง เปลือกถั่วลิสง มาใช้ให้เป็นประโยชน์ โดยส่วนใหญ่จะนำมาเป็นอาหารสัตว์ใช้เลี้ยงสัตว์สี่กระเพาะ ซึ่งประสิทธิภาพก็ไม่สูงเป็นที่น่าพอใจนัก และก็ไม่สามารถนำมาใช้เลี้ยงสัตว์กระเพาะเดียว เช่น หมู เป็ด ไก่ หรือปลาได้ และพบว่าต้นข้าวโพดมีส่วนประกอบของ วัตถุแห้ง (dry matter) 25.3 % เยื่อใยหยาบ (crude fiber) 26.8 % ไขมัน (ether extract) 0.9 % ลิกนิน 3.8 - 4.3 % และจากการปลูกข้าวโพดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 7.8 ล้านไร่ต่อปีต้องมีต้นเหลือทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวจำนวนมาก เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ถ้านำมาผสมคอนกรีตจะทำให้ลดน้ำหนักของคอนกรีตได้ และทำให้ราคาไม่สูงมากนักถ้าเทียบกับการผสมวัสดุอื่น แต่อาจทำให้กำลังของคอนกรีตตกลง ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโครงสร้างที่ไม่ต้องรับแรงมากได้ เหมาะที่จะใช้เป็นวัสดุในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก เพื่อเป็นการใช้วัสดุที่มีมากให้มีประโยชน์ และลดต้นทุนการผลิต

ทุเรียน พืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่ง ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งในและต่างประเทศ ในปี 2551 มีพื้นที่ปลูกรวมประมาณ 694,764 ไร่ ผลผลิตรวมประมาณ 746,639 ตัน และในจังหวัดนนทบุรี มีพื้นที่ปลูกประมาณ 761 ไร่ มีผลผลิตประมาณ 161 ตัน เนื่องจากปัจจุบันเกษตรกรสามารถพัฒนาให้สามารถออกผลผลิตได้เกือบตลอดปี เปลือกทุเรียนซึ่งเป็นของเหลือทิ้ง จำนวนมากและเป็นปัญหาในการกำจัดทิ้ง มีส่วนประกอบที่เป็นเส้นใยค่อนข้างมาก โดยนอกเหนือจากส่วนที่เป็นพอลิแซคคาไรด์แล้ว ยังประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเยื่อเซลลูโลส สูงถึง 30% พบว่า เปลือกทุเรียนมีคุณภาพทางเคมีอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำมาใช้เตรียมเยื่อเซลลูโลสคุณภาพสูงได้ ประกอบกับการพิจารณาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ ได้แก่ เรื่อง ราคา ปริมาณที่มีอยู่ แหล่งของวัตถุดิบที่สามารถรวบรวมได้ สะดวกจากตลาดต่างๆ ทำให้นับได้ว่าเปลือกทุเรียนนับเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจยิ่ง

จากคุณสมบัติของดินขาว กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมีอยู่มากมายในท้องถิ่น มาประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้างคือ คอนกรีตมวลบล็อกแบบไม่รับน้ำหนัก จึงนับเป็นแนวความคิดที่มีประโยชน์ และบูรณาการการใช้วัสดุที่มีเหลือใช้จากการเกษตรจำนวนมากในท้องถิ่นเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (ลดมลพิษจากการเผาทำลาย และการขุดทราย) เพื่อเพิ่มการมูลค่า เพื่อการส่งเสริมให้ชุมชน และบริษัทฯ ขนาดเล็กได้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลบล็อกแบบไม่รับน้ำหนักผสมดินขาว กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่อนุรักษ์พลังงาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพและราคาถูก

## 1.2 วัตถุประสงค์

โครงการวิจัยคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสม ของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และ ดินขาว กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและ/หรือเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

- 1) เพื่อศึกษาผลิตภัณฑ์ คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักโดยใช้ ดินขาว กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและ/หรือเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุผสมเพิ่ม ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อน
- 2) เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้วัสดุผสม สำหรับทำคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสม ของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และ ดินขาว กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและ/หรือเส้นใยจากเปลือกทุเรียน
- 3) เพื่อทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ใช้ ดินขาว กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและ/หรือเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุผสม และ คุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน

4) เพื่อพัฒนาปรับปรุงผลิตผลผลิตภัณฑ์ คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักโดยใช้ ดินขาว กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและ/หรือเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุผสมเพิ่ม ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนที่มีราคาถูกลง

5) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำดินขาว กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและ/หรือเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมาใช้งานจริงในการผลิต คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัยและเหมาะสม

6) เพื่อนำดินขาว กากมะพร้าว ต้นข้าวโพดและ/หรือเปลือกทุเรียนที่มีจำนวนมากในท้องถิ่น มาใช้เกิดประโยชน์และมีมูลค่ามากขึ้นได้มากขึ้น

7) เพื่อกำจัดกากมะพร้าว ต้นข้าวโพดและ/หรือเปลือกทุเรียนที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร โดยวิธี อนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เพื่อให้การศึกษาคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของดินขาว กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน บรรลุตามจุดมุ่งหมายที่วางไว้ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตการศึกษาไว้ดังนี้

- 1) ใช้ดินขาวจากจังหวัดระนอง และเขตภาคกลาง
- 2) ใช้กากมะพร้าว จากในเขตภาคกลาง
- 3) ใช้เส้นใยจากต้นข้าวโพดและ/หรือเส้นใยจากเปลือกทุเรียนในเขตภาคกลาง
- 4) ออกแบบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้วัสดุผสม คอนกรีตสำหรับทำคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสม ของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราช ดินขาว กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและ/หรือเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ไม่น้อยกว่า 2 อัตราส่วน
- 5) ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตสำหรับทำคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก และคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน
- 6) หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้วัสดุผสม สำหรับทำคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสม ของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราช ดินขาว กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและ/หรือเส้นใยจากเปลือกทุเรียนจากผลการทดสอบ
- 7) ทำการขึ้นรูปและทดสอบที่สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม/ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และ/หรือ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



#### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับดินขาวภายในพื้นที่ของจังหวัดที่เป็นแหล่งดินขาว
- 2) สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับกากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพด และ/หรือเส้นใยจากเปลือกทุเรียนภายในพื้นที่ของจังหวัดที่เป็นแหล่งมะพร้าว ข้าวโพด และทุเรียน
- 3) สามารถกำจัดของเหลือใช้จากภาคการเกษตร ลดการทำลายสิ่งแวดล้อม และลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ
- 4) สามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งดินขาวไปนอกพื้นที่ของแหล่งดินขาว
- 5) ทราบความเหมาะสมในการที่จะนำดินขาวผสมกากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและ/หรือเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมาใช้ในการป้องกันความร้อนในผนังอาคาร และสามารถนำเป็นองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้เป็นวัสดุประกอบในงานวัสดุก่อสร้างได้
- 6) สามารถให้ความรู้ในการใช้ดินขาวผสมกากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและ/หรือเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังอาคารกับภาคธุรกิจ และชุมชน ภายในพื้นที่เป้าหมาย
- 7) ได้วัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดีและมีราคาถูก
- 8) เขียนบทความเผยแพร่ในวารสารวิชาการที่เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง และ/หรือเข้าร่วมบรรยายในงานประชุมสัมมนาของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง หรือทำการจดสิทธิบัตรในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- 9) สามารถสร้างความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.)/ชุมชน ในการบูรณาการงานวิจัยร่วมกันตามยุทธศาสตร์ของประเทศ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัย การใช้ดินขาวผสม กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพด และเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อก สามารถใช้งานจริงในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัยและเหมาะสม โดยมีรายละเอียดทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดในด้านการอนุรักษ์พลังงาน คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ความแข็งแรงมาตรฐาน ของวัสดุและผลิตภัณฑ์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 2.1 การใช้วัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

เนื่องจากเมืองไทยเป็นประเทศที่อยู่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น แนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศก็คือ การป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร สำหรับบ้านพักอาศัยนั้น ก็มีหลายแนวทาง อาทิ

- การสร้างความเย็นให้กับสภาพแวดล้อม
- การป้องกันความร้อนให้กับเปลือกอาคาร
- การเลือกใช้การระบายอากาศภายในอาคารอย่างเหมาะสม



รูปที่ 2.1 การป้องกันและลดความร้อนเข้าสู่อาคาร

สาเหตุของความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารมาจากภายนอกมากกว่าที่เกิดขึ้นภายในอาคาร การที่จะลดความร้อนรวมลงได้ก็จะต้องมาจากการมีการป้องกันความร้อนที่ดีจากกรอบอาคาร ซึ่งส่วนหนึ่ง

สามารถทำได้โดยการเลือกใช้วัสดุที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานของแต่ละพื้นที่ ก็จะสามารถช่วยลดความร้อนได้ ดังนั้นระบบของวัสดุรอบอาคารมีส่วนสำคัญในการป้องกันความร้อน ระบบของวัสดุรอบอาคารที่ใช้กันอยู่ทั่วไป แบ่งตามวัสดุผนังและหลังคา ในที่ได้ศึกษาในด้านวัสดุผนัง ที่เป็นมวลสาร (Mass Wall) หมายถึง ผนังที่มีมวลสารยึดติดกันทั่วทั้งผนัง โดยการก่อหรือการหล่อเข้าด้วยกัน เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูน ผนังก่อคอนกรีตบล็อก ผนังก่อคอนกรีตมวลเบา และผนังคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น [1]

## 2.2 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก

ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก จะถูกผลิตในลักษณะอุตสาหกรรมมากกว่าอิฐฉาบปูน โดย มีทั้งชนิดรับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนัก ที่ผลิตขึ้นในประเทศ และใช้กันทั่วไปคือ คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ขนาด 70 X 190 X 390 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่จะมีลักษณะกลวง (Hollow Concrete Block) และเป็นที่ยอมรับใช้มากเนื่องจากมีราคาถูก และสามารถหาซื้อได้ง่าย [11] ไม่มีปัญหาในขั้นตอนการก่อสร้าง เนื่องจากช่างมีความเคยชินในการทำงานอยู่แล้ว อีกทั้งยังสามารถทำงานได้เร็วเพราะมีขนาดก้อนใหญ่กว่าอิฐฉาบปูน และจากลักษณะที่มีรูกลวงตรงกลางทำให้ช่องอากาศภายในนั้นเป็นฉนวนในการกันความร้อนที่ดี แต่ข้อเสียคือจะเปราะและแตกง่าย การตอกตะปูยึดผูกต้องทำที่ปูนก่อเสาเอ็นหรือคานเอ็น ซึ่งถ้าเป็นผนังฉาบปูนจะหาตำแหน่งยาก ส่วนผนังเซาะร่องหาจุดเจาะผูกไม่ยากเท่าไรหากเกิดน้ำรั่วเข้าผนัง น้ำจะซึมได้ดีกว่าอิฐฉาบปูน และบล็อกที่ขายกันทั่วไปคุณภาพต่ำ บางกว่าที่กำหนด เช่น ขนาดความหนา 7 ซม. จะเหลือ 6-6.5 ซม. ทำให้มือทุบแตก และหล่นก็แตก เป็นต้น

### ตารางที่ 2.1 ลักษณะของคอนกรีตบล็อก

ลักษณะ	หน่วย
ราคาต่อหน่วย (บาท)	4.50
ราคารวมต่อตารางเมตร (บาท)	200
ค่าวัสดุ+ค่าแรงต่อตารางเมตร (บาท)	390
ขนาด (cm <sup>3</sup> )	7x19x39
ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	765
จำนวนก้อนต่อตารางเมตร (ก้อน, แผ่น)	14
น้ำหนักต่อตารางเมตร (kg/m <sup>2</sup> )	90
น้ำหนักรวมฉาบปูนต่อตารางเมตร (kg/m <sup>2</sup> )	130
ค่าการนำความร้อน“K” (Conductivity – K value)(W/m.K)	0.529

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของคอนกรีตบล็อก (ต่อ)

ลักษณะ	หน่วย
ค่าการต้านทานความร้อน“R” (Resistivity – R value) (m <sup>2</sup> K/W)	0.149
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (Thermal Expansion /°C)	4.5 x 10 <sup>-6</sup>
การหดตัวเมื่อแห้ง	0.8
การปลดคกิ้น	ไม่มีคกิ้น
อัตราการซึมน้ำ (%)	30%
การยึดหดตัวของวัสดุ (มม./ม.)	- 0.8
จำนวนผู้ผลิต	มาก
ปริมาณการผลิตเทียบกับความต้องการ	เพียงพอ
ขั้นตอนการก่อสร้าง	ง่าย
การบำรุงรักษา	ง่าย
อายุใช้งาน	มากกว่า50 ปี

ตารางที่ 2.2 ข้อดี – ข้อเสียของคอนกรีตบล็อก

ข้อดี	ข้อเสีย
1) ราคาถูก 2) แข็งแรง 3) มีช่องอากาศที่ช่วยกันความร้อนได้	1) อายุการใช้งานยังไม่มีที่ยืนยัน 2) ต้องใช้ปูนฉาบ

ในการประยุกต์การใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุคอนกรีตบล็อกมีคุณสมบัติคล้ายอิฐมอญ แต่มีลักษณะเป็นรูกลวงตรงกลางและมีขนาดใหญ่กว่ามาก การที่จะแก้ปัญหาในการป้องกันความร้อนโดยการทำเป็นผนัง 2 ชั้น อาจจะไม่เหมาะสม เนื่องจากขนาดที่มีความหนาของวัสดุ ทำให้ต้องเสียพื้นที่ไปเป็นผนังมากเกินไป ฉะนั้นควรที่จะใช้วัสดุประกอบอื่นแทน เช่น การเพิ่มฉนวนภายในหรือใช้วัสดุมวลสารน้อยปิดทับภายนอก เป็นต้น แต่ทั้งนี้การที่จะติดตั้งหรือประกอบวัสดุใดๆเข้ากับคอนกรีตบล็อก จะต้องคำนึงถึงข้อเสียของวัสดุนั้นๆ คือ เป็นวัสดุที่น้ำสามารถซึมผ่านและกระจายตัวได้ง่าย ฉะนั้นจะต้องมีการฉาบทับหรือปิดด้วยวัสดุที่สามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำ ก่อนที่จะติดตั้งฉนวนภายใน เพราะฉนวนเกือบทุกชนิดจะเสื่อมสภาพเมื่อมีน้ำหรือความชื้นเข้ามาสะสมภายในฉนวน ข้อเสียอีกประการของวัสดุนั้นๆ คือ ความเปราะและแตกหักง่าย ซึ่งผู้อาศัยมักพบปัญหาการเจาะ ตอก หรือ แขนงสิ่งของต่างๆ ไม่ค่อยได้ สาเหตุเนื่องจากรูกลวงที่อยู่ตรงกลางของบล็อก ซึ่งปัญหานี้ อาจแก้ไขได้

โดยการเทปูนลงในช่องว่างเหล่านั้น เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุ แต่ผลกระทบก็คือ น้ำหนักโดยรวมของอาคารก็จะมากขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งช่องอากาศที่เป็นฉนวนกันความร้อนก็จะหมดตามไปด้วย จึงควรพัฒนาปรับปรุงผนังคอนกรีตบล็อกให้มีความเหมาะสมและตอบสนองต่อความต้องการอันแท้จริงของผู้อยู่อาศัยมากยิ่งขึ้น

### 2.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

คุณลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58 - 2533) มีลักษณะทั่วไปคือ คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักทุกก้อน ต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าว หรือส่วนเสียบอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอย่างถูกต้อง หรือทำให้สิ่งก่อสร้างเกิดความคงทนถาวร รอยร้าวเล็กน้อยที่มักเกิดขึ้นในกรรมวิธีผลิตตามปกติ หรือรอยปริเล็กน้อยเนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งอย่างธรรมดาจะต้องไม่เป็นสาเหตุอ้างในการยอมรับ คอนกรีตไม่รับน้ำหนัก ซึ่งต้องการฉาบปูนหรือแต่งปูนต้องมีผิวหน้าหยาบพอควรแก่การจับยึดของปูน คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักซึ่งต้องการก่อแบบผิวเผย ด้านผิวเผยจะต้องไม่มีรอยบิ่นรอยร้าวหรือตำหนิอื่นๆ ถ้าในการสังกรวหนึ่งมีก้อนซึ่งมีรอยบิ่นเล็กน้อยที่ยาวมากกว่า 25 มิลลิเมตร เป็นจำนวนไม่มากกว่าร้อยละ 5 จะต้องไม่ถือเป็นสาเหตุในการไม่ยอมรับความต้านทานแรงอัดค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน ต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล ค่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน ต้องไม่น้อยกว่า 2.0 เมกะพาสคัล คาดว่าคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบจะมีคุณสมบัติเทียบเคียงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 58 - 2533 ด้านทางด้านคุณลักษณะทั่วไปด้านความต้านทานแรงอัด ค่าการดูดซึม และคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน [11]

ตารางที่ 2.3 ความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ควบคุมความชื้น) [11]

การหดตัวทางยาวร้อยละ	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

## 2.4 สมบัติทางเคมีของดินขาวจากแหล่งต่างๆ

ดินขาวปราจีน (CPB-CM) เป็นดินขาวที่ประกอบด้วย แร่เคโอลิไนต์และควอทซ์ เป็นดินขาวละเอียดปนทรายที่ถูกพัฒนามาสะสมตัวเป็นชั้นในแอ่งที่ราบ มีความเหนียวพอประมาณแต่มีความทนไฟสูง เหมาะที่จะใช้เป็นส่วนผสม [3]

ตารางที่ 2.4 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินขาวปราจีน

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

ดินขาวลำระนอง (WRN-CMS) เป็นดินขาวลำเนื้อละเอียด เกรดสุกัณฑ์ ส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เคโอลิไนต์ และอาลลอยไซด์ สีของเนื้อดินหลังการเผาจะให้สีขาว มีความทนไฟสูง เหมาะสำหรับเป็นส่วนผสมในเนื้อวัสดุทนไฟและในเครื่องดินเผาที่ต้องการความขาว, ส่วนผสมน้ำสลิปสำหรับงานหล่อแบบ โดยเฉพาะในพวกสุกัณฑ์ต่างๆ และใช้ในน้ำเคลือบ

ตารางที่ 2.5 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินขาวลำระนอง

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

ดินขาวลำวังเหนือ (WLP-WN) ดินขาวเนื้อละเอียด ส่วนประกอบสำคัญ คือ แร่เคโอลิไนต์และอิลไลต์ มีสีหลังเผาสีขาวออกเหลืองเล็กน้อย มีความทนไฟปานกลาง และมีค่า Costing Rate ดี

ตารางที่ 2.6 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินขาวลำวังเหนือ

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

จากข้อมูลสมบัติทางเคมีของดินขาวจะเห็นว่า มีแร่ธาตุต่างๆ ที่สามารถนำมาเป็นส่วนประกอบของคอนกรีตโดยการนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน [4 – 6] หรือเป็นวัสดุผสมเพิ่มในคอนกรีตได้ ดังนั้น แนวความคิดในการนำดินขาวมาผสมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักจึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่ง และ

สมควรนำมาทำการศึกษาวิจัยอย่างเป็นจริงจัง เพื่อที่จะได้มีวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีและมีราคาถูกกว่าวัสดุฉนวนชนิดอื่น ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดต่อไป

## 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ เส้นใยจากพืชหรือเส้นใยเซลลูโลส เส้นใยจากสัตว์หรือเส้นใยโปรตีน เส้นใยแร่ โลหะ เส้นใยเซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งเกิดจากเซลลูโลสยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมีเป็นโมเลกุลใหญ่มีสูตรเป็น  $(C_6H_{10}O_5)_x$  โครงสร้างและการยึดเกาะของโมเลกุลแสดงในภาพประกอบ โครงสร้างเคมีของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของเส้นใย กล่าวคือในโมเลกุลเซลลูโลสจะเกิดจากหน่วยโมเลกุลซ้ำ (Repeat units) ยึดจับกันเป็นสายยาว หน่วยโมเลกุลซ้ำคือ เซลโลโบส (Cellobiose) เกิดจากบีต้า กลูโคส 2 โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะ C-O-C ในโมเลกุลเซลลูโลสจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่มากมายจะทำหน้าที่ดึงดูดน้ำ หรือเกิดปฏิกิริยาจับกับหมู่ธาตุอื่นๆ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสมีความเป็นระเบียบ (Crystalline) ค่อนข้างมากคือ 85 – 95 % และระหว่างสายโมเลกุลจะมีการยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) เป็นระยะๆ ซึ่งมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีความเหนียวแข็งแรงค่อนข้างสูง จากข้อมูลคุณสมบัติทางโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยธรรมชาติ จะเห็นว่าสามารถนำมาเป็นส่วนประกอบของคอนกรีตได้ ดังนั้นแนวความคิดในการนำเส้นใยธรรมชาติมาผสมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่ง และสมควรนำมาทำการศึกษาวิจัยอย่างเป็นจริงจัง เพื่อที่จะได้มีวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีและมีราคาถูกกว่าวัสดุฉนวนชนิดอื่น ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดต่อไป

จากข้อมูลการใช้วัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ลักษณะ/ข้อดี/ข้อเสียของคอนกรีตบล็อก มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก คุณสมบัติทางเคมีของดินขาว และโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยธรรมชาติ ดังนั้นแนวความคิดในการนำดินขาวผสมกากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อกที่ จึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่ง และสมควรนำมาทำการศึกษาวิจัยอย่างเป็นจริงจัง เพื่อที่จะได้มีวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี มีความแข็งแรง ลดการแตกร้าว และมีราคาถูกกว่าวัสดุฉนวนชนิดอื่น ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดต่อไป

## 2.6 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

1) ดินขาว (China clay or Kaolin) หรือดินเกาหลียง คือแร่ที่มีลักษณะเป็นดินสีขาวซึ่งประกอบด้วยสารประกอบผลึกเล็ก ๆ ของแร่ Kaolinite

- สูตรเคมี	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		
- ส่วนประกอบทางเคมี	ซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ )	46	เปอร์เซ็นต์
	อะลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	40	เปอร์เซ็นต์
	น้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ )	14	เปอร์เซ็นต์
- คุณสมบัติทางกายภาพ	ความแข็ง	2.0-2.5	
	ความถ่วงจำเพาะ	2.6	
	จุดหลอมประมาณ	1,785°C	

เกรดในทางการค้าของดินขาวที่บริสุทธิ์ที่สุดมีส่วนประกอบเกือบใกล้เคียงกัน

### 1.1) คุณลักษณะของแร่ดินขาวตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing Materials)

#### 1.1.1) สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสี: ASTM D 603-91

**ตารางที่ 2.7** คุณลักษณะของดินขาวสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสี ตามมาตรฐาน ASTM

คุณลักษณะ	เปอร์เซ็นต์
ซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ )	43-47
อะลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	37-40
การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ (Loss on ignition)	10-15
ความชื้นและสารที่ระเหยได้ (Moisture and other volatile matter) สูงสุด	1.0
สารที่ค้างบนตะแกรงมีขนาด 325 เมช สูงสุด	2.0

#### 1.1.2) สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสีขาว (White pigment) : ASTM D 603-91

**ตารางที่ 2.8** คุณลักษณะของดินขาวสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสีขาว ตามมาตรฐาน ASTM

คุณลักษณะ	Ideal	Typical	Range	Maximum
	(เปอร์เซ็นต์)	(เปอร์เซ็นต์)	(เปอร์เซ็นต์)	(เปอร์เซ็นต์)
อะลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	39.5	38.80	37-42 <sup>A</sup>	-
ซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ )	46.54	45.40	43-48 <sup>B</sup>	-
เฟอร์ริกออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	-	0.3	-	0.50
ไทเทเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ )	-	1.50	-	2.00



ตารางที่ 2.8 คุณลักษณะของดินขาวสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสีขาว ตามมาตรฐาน ASTM (ต่อ)

คุณลักษณะ	Ideal (เปอร์เซ็นต์)	Typical (เปอร์เซ็นต์)	Range (เปอร์เซ็นต์)	Maximum (เปอร์เซ็นต์)
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	-	0.10	-	0.20
โซเดียมออกไซด์ (Na <sub>2</sub> O)	-	0.10	-	0.30
โพแทสเซียมออกไซด์ (K <sub>2</sub> O)	-	0.10	-	0.20
ออกไซด์อื่นๆ (Other oxides)	-	trace	-	0.10
ความชื้น ที่ 105°C	-	-	-	1.0
การสูญเสียน้ำหนักที่ 1,000°C	13.96	13.8	-	15.0

หมายเหตุ A: ขอมให้อะลูมินา (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) มีได้สูงกว่าขีดต่ำสุด 5% สำหรับ Allophane

B: ขอมให้ซิลิกา (SiO<sub>2</sub>) มีได้สูงกว่าขีดต่ำสุด 5% สำหรับ Quartz

1.2) คุณลักษณะของแร่ดินขาวตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม  
ประเทศไทย

1.2.1) แร่ดินขาวใช้ผสมทำกระดาษ (มอก. 74-2529)

ตารางที่ 2.9 คุณลักษณะของดินขาวสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมผสมทำกระดาษ ตามมาตรฐาน มอก.

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

## 1.2.2) แร่ดินขาวสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา (มอก. 485-2526)

ตารางที่ 2.10 คุณลักษณะของดินขาวสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา ตามมาตรฐาน มอก.

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		
	คุณภาพที่ 1	คุณภาพที่ 2	คุณภาพที่ 3
1. กากที่ค้างบนแรงขนาด 45 ไมโครเมตร มีปริมาณร้อยละของน้ำหนักรวมแห้ง ไม่เกิน	1.0	2.0	5.0
2. การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา มีปริมาณร้อยละของน้ำหนักรวมแห้งไม่น้อยกว่า	12.0	10.5	10.5
3. อะลูมินา (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) โดยร้อยละของน้ำหนักรวมแห้งไม่น้อยกว่า	36.0	30.0	30.0
4. ซิลิกา (SiO <sub>2</sub> ) โดยร้อยละของน้ำหนักรวมแห้งไม่น้อยกว่า	45.0	50.0	50.0
5. เหล็กออกไซด์ (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) โดยร้อยละของน้ำหนักรวมแห้งไม่เกิน	1.0	1.5	2.0
6. ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO <sub>2</sub> ) โดยร้อยละของน้ำหนักรวมแห้งไม่เกิน	0.7	1.5	1.5
7. เหล็กออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์รวมกัน โดยร้อยละของน้ำหนักรวมแห้ง 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

## 1.2.3) แร่ดินขาวสำหรับอุตสาหกรรมสี (มอก. 1058-2534)

ตารางที่ 2.11 คุณลักษณะของดินขาวสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมสี ตามมาตรฐาน มอก.

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		
		ชั้นคุณภาพ ที่ 1	ชั้นคุณภาพ ที่ 2	ชั้นคุณภาพที่ 3
1	ความหยาบละเอียด ร้อยละไม่น้อยกว่า			
	- ขนาดเล็กกว่า 20 ไมโครเมตร	99.5	95	90
	- ขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร	88	80	70
	- ขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร	65	35	15
2	กากที่ค้างบนร่ง 45 ไมโครเมตร (32 เมช) ร้อยละไม่เกิน	0.05	0.1	0.5
3	ความชื้น ร้อยละไม่เกิน	2		
4	น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผาที่ อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ร้อยละ ของน้ำหนักอบแห้ง	10 ถึง 14		
5	ความเป็นกรด-ด่าง เมื่อทำเป็น สารละลายร้อยละ 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 ไม่เกิน	0.5		

## 1.2.4) แร่ดินขาวสำหรับอุตสาหกรรมยาง (มอก.1059-2534)

ตารางที่ 2.12 คุณลักษณะของดินขาวสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมยาง ตามมาตรฐาน มอก.

รายการที่	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	กากที่ค้างบนร่อน ร้อยละ ไม่เกิน แรง 125 ไมโครเมตร แรง 45 ไมโครเมตร	0.01 0.1			
4	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	2			
5	น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผาที่ อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสร้อยละของ น้ำหนักอบแห้ง	10 ถึง 14	6 ถึง 14	10 ถึง 14	6 ถึง 14
6	ความเป็นกรด-ด่าง เมื่อทำเป็นสารละลาย ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก	4.5 ถึง 9.5			
7	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่ 27/27 องศา เซลเซียส	2.4 ถึง 2.8			
8	เหล็ก (คำนวณเป็น Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) ร้อยละไม่เกิน	2			
9	ทองแดง มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	50			
10	แมงกานีส มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	100			

## 1.2.5) แร่ดินขาวสำหรับอุตสาหกรรมยาปราบศัตรูพืช (มอก. 1060-2534)

ตารางที่ 2.13 คุณลักษณะของดินขาวสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมยาปราบศัตรูพืช ตามมาตรฐาน มอก.

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	กากที่ค้ำบนแรง 45 ไมโครเมตร (325 เมช) ร้อยละ ไม่เกิน	0.5
2	ความชื้น ร้อยละไม่เกิน	3.0
3	ความเป็นกรด-ด่าง เมื่อทำเป็นสารละลายร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก	5.5 ถึง 7.5
4	ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (bulk density) กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	0.3 ถึง 0.4
5	สารหนู (คำนวณเป็น $As_2O_3$ ) มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	10

## 1.2.6) แร่ดินขาวสำหรับอุตสาหกรรมปุ๋ย

ตารางที่ 2.14 คุณลักษณะของดินขาวสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมปุ๋ย

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 โดยน้ำหนัก	5.5 ถึง 7.5
5	สารหนู (คำนวณเป็น $As_2O_3$ ) มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	10

## 1.2.7) แร่ดินขาวสำหรับใช้เคลือบกระดาษ (มอก. 1064-2534)

ตารางที่ 2.15 คุณลักษณะของดินขาวสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมปืย ตามมาตรฐาน มอก.

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	ความหยาบละเอียด	
	ขนาดใหญ่กว่า 5 ไมโครเมตร ร้อยละ ไม่เกิน	5
	ขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	80
2	ซิลิกาต่ออะลูมินา ไม่เกิน	1.20 - 1.00
3	กากที่ค้ำบนแรง 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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) ร้อยละ ไม่เกิน	0.7

## 1.3) คุณลักษณะของแร่ดินขาวที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ของโรงงานกระดาษกระทรวงอุตสาหกรรม ประเทศไทย

## 1.3.1) 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	

## 1.3.2) คุณลักษณะทางเคมี

ตารางที่ 2.16 คุณลักษณะทางเคมีของดินขาวสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ตามมาตรฐาน โรงงาน  
กระดาษกระทรวงอุตสาหกรรม ประเทศไทย

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

## 1.4) แร่ดินขาวล้างที่ผลิตได้ของประเทศไทย

## 1.4.1) คุณลักษณะของแร่ดินขาวล้างที่ผลิตได้ของประเทศไทย

ตารางที่ 2.17 คุณลักษณะของแร่ดินขาวล้างที่ผลิตได้ของประเทศไทย

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

## 1.4.2) สมบัติทางกายภาพของแร่ดินขาวล้างที่ผลิตได้ของประเทศไทย

## - ดินขาวล้างเวียงป่าเป้า

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

## - ดินขาวระนอง

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

## 1.5) คุณลักษณะของแร่ดินขาวที่ผลิตได้อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง

ตารางที่ 2.18 คุณลักษณะของแร่ดินขาวล้างที่ผลิตได้ของประเทศไทย

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

2) กากมะพร้าว (Coconut meal) เป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันมะพร้าว ของโรงงานผลิตน้ำมันพืช คุณสมบัติ มีโปรตีนประมาณ 18-21 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเป็นกากมะพร้าวจากการคั้นกะทิจะมีโปรตีนต่ำมาก



ตารางที่ 2.19 ส่วนประกอบทางเคมีของกากมะพร้าว

ส่วนประกอบ (%)	
ความชื้น	10
โปรตีน	21
ไขมัน	6
เยื่อใย	12
เถ้า	7
แคลเซียม	0.2
ฟอสฟอรัสใช้ประโยชน์ได้	0.2
ไกลซีน	0.88

3) คอนกรีตเบา คือ คอนกรีตที่มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป คอนกรีตเบาประเภทที่ใช้มวลรวมเบา คอนกรีตประเภทนี้เป็นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมน้ำหนักเบาเป็นวัสดุผสมแทนมวลรวมธรรมชาติสามารถแบ่งชนิดของมวลรวมได้เป็น 4 ชนิด คือ

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

3.2) มวลรวมเบาที่ได้จากขบวนการผลิต ได้แก่ ดินเหนียวผสมสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศ(Expanded Clay Aggregate) และดินดานผสมถ่านที่บดละเอียดแล้ว(Expanded Shale Aggregate) ดินเหนียวผสมสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศ(Expanded Clay Aggregate) เป็นการนำเอาดินเหนียวมาผสมกับสารก่อฟองอากาศแล้วนำไปเผาในหม้อดินที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมินี้ จะมีการขยายตัวของดินเหนียว เนื่องจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ภายในและเกิดเป็นฟองอากาศอยู่ภายในเนื้อดิน เมื่อผ่านการเผาแล้ว ดินจะมีความแข็ง ผิวเรียบแน่น แต่มีเนื้อภายในเป็นโพรงอากาศ สำหรับดินดานผสมถ่านที่บดละเอียดแล้ว(Expanded Shale Aggregate) เป็นการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส วัสดุดิบจะถูกหลอมรวมกัน และจะมีฟองอากาศถูกกักเก็บไว้ภายในเนื้อดิน ลักษณะของดินที่ได้จะมีความแข็งมากหลังจากการเผาก็จะนำไปย่อยให้ได้ขนาดตามต้องการ มวลรวมเบาทั้งสองชนิดนี้จะมีน้ำหนักที่แข็งแรงก่อนข้างดี และเป็นมวลรวมที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีตเบามากที่สุด

3.3) มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ ได้แก่ การใช้ไม้บางชนิดใส่ผสมเข้ากับเนื้อคอนกรีต

3.4) มวลรวมเบาที่ได้จากของเหลือจากขบวนการผลิต ได้แก่ ขี้เถ้าหนัก (Flymace Bottom Ash) ที่ได้จากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ดินขาว กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนผสมในคอนกรีต สามารถรวบรวมมาได้พอสังเขป ดังนี้

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

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

3) Xiaoqian, Q., and Zongjin, L. (2001) [6] ทำการศึกษาการเติมดินขาวลงในคอนกรีตจะทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้นในเวลาอันสั้นและในระยะยาวกำลังก็จะสูงกว่าเดิมด้วย จะเห็นว่าดินขาวมีผลทำให้กำลังสูงขึ้นอย่างมาก ส่วนความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตจะได้รับผลกระทบน้อยมากเมื่อใส่ดินขาว 5%

4) ศักดิ์สิทธิ์ ศรีแสง (2007) [7] ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุสำหรับคอนกรีตบล็อก ชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเส้นใยมะพร้าว มีอัตราส่วนที่จะใช้ในการทดสอบคือการนำเส้นใยมะพร้าวมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และทรายเพื่อมาผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักในอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 3 ของน้ำหนักทราย มีสูตรในการทดลองจำนวน 12 สูตร แต่และสูตรจะทำการผลิตคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190x 390 มิลลิเมตร จำนวนสูตรละ 25 ก้อน รวม 300 ก้อน แล้วนำไปเทียบเคียงคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 58 – 2533 และคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน ผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดได้แก่ สูตรที่ 8 คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 25 ของมวลรวม ทรายร้อยละ 52.50 ของมวลรวม เส้นใยมะพร้าวร้อยละ 22.50 ของมวลรวม และใช้น้ำร้อยละ 15 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยมีคุณสมบัติทางกายภาพด้านคุณลักษณะทั่วไปด้านความหนาของเปลือก ขนาด โดยอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน  $\pm 2$  มิลลิเมตร ด้านความแข็งแรงผ่านเกณฑ์มาตรฐานปราศจาก

รอยแตกร้าว หรือส่วนเสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตบล็อก ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ ตรวจพินิจ ด้านความต้านทานแรงอัด เมื่ออายุก่อนคอนกรีตบล็อกครบ 28 วัน ต้องมีความต้านทานแรงอัดมีเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุดแต่ละก้อน 2.0 เมกะพาสคัล และเฉลี่ยจากก้อนคอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อน 2.5 เมกะพาสคัล สูตร 8 มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงที่สุด คือ ความต้านทานแรงอัดก้อนที่ 1 – 5 มีค่า 2.86, 2.91, 2.88, 2.89, 2.90 เมกะพาสคัล ตามลำดับ และค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 5 ก้อน มีค่า 2.65 เมกะพาสคัล และร้อยละการดูดซึมน้ำที่ร้อยละ 14 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือต้องน้อยกว่าร้อยละ 25 และค่าความเป็นฉนวนความร้อนยังมีค่าการนำความร้อนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป

5) อัครวิน น้อยสุวรรณ (2006) [12] ได้ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมวัสดุธรรมชาติได้แก่ แกลบ ซึ่งได้ศึกษาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของคอนกรีตธรรมดา ในด้าน กำลังต้านทานแรงอัด หน่วยน้ำหนัก และปริมาณการดูดซึมน้ำ โดยออกแบบกำลังอัดประลัยที่ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และใช้ปริมาณแกลบที่ผสมในคอนกรีตมีอัตราส่วนร้อยละ 5, 10, 20, 50 และ 100 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า หน่วยน้ำหนักและกำลังต้านทานแรงอัด มีค่าลดลงเมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น แต่ ปริมาณการดูดซึมน้ำ มีค่ามากขึ้น

6) ภาพพจน์ แก้วสีขาว (2006) [12] ได้ศึกษากำลังอัดของมอร์ตาร์ซีเมนต์ผสมดินขาวเผา โดยใช้ดินขาวเผาแทนที่ซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20, 30, 40 อัตราส่วนผสมของทรายต่อสารซีเมนต์เท่ากับ 2.75 โดยน้ำหนัก ปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมทำให้ความชื้นเหลวของมอร์ตาร์เกิดการไหลแผ่ ร้อยละ  $110 \pm 5$  จากการศึกษาพบว่า กำลังอัดของมอร์ตาร์ซีเมนต์ผสมดินขาวเผา จากผลการเปรียบเทียบค่าของ Strength Activity Index ของมอร์ตาร์ในอัตราส่วนร้อยละ 20, 30, 40 ที่อายุ 7 วัน มีค่ากำลังอัด ร้อยละ 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) [13] ได้ศึกษากำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์มาตรฐานขนาด  $10 \times 10 \times 10$  ซม. โดยใช้ปริมาณน้ำที่ทำให้ค่ายุบตัวระหว่าง 5 – 8 ซม. ในการผสมได้แทนที่ปริมาณซีเมนต์ด้วยดินขาวเผาและ/หรือเถ้าแกลบในอัตราส่วนต่างๆดังนี้ OPC MK20 MK40 RHA20 RHA40 MRA3010 MRA2020 MRA1030 RKL40 RKL100 และ LMK40 ทำการบ่มโดยแช่ในน้ำเก็บไว้ภายใต้ อุณหภูมิห้อง เมื่อก่อนตัวอย่างมีอายุครบ 1, 3, 7, 28, และ 90 วัน นำมาเซ็ดให้แห้ง วัดขนาด ซึ่งน้ำหนัก และทำการทดสอบกำลังอัด จากการทดสอบพบว่า ก้อนตัวอย่างที่ผสมดินขาวเผาจะให้กำลังอัดสูงกว่า ตัวอย่างที่ผสมเถ้าแกลบที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน แต่ทั้งนี้กำลังอัดที่ได้จะแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์ของ

สารปอซโซลานที่เพิ่มขึ้น พบว่า MK20 RHA20 และMK40 มีค่า Strength Activity Index มากกว่า 75% ของกำลังอัดคอนกรีตปกติที่อายุ 7 และ 28 วัน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่จะสามารถนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป

8) เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ (2006) [14] ได้ศึกษาการนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วและขานอ้อยที่ผ่านการดูดซับสีแล้วมาใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนัง โดยทำการทดลองศึกษาสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างที่กำหนดตามมาตรฐานคอนกรีตบล็อกปูผนัง เช่น ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และความชื้นน้ำ ทดลองโดยใช้อัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 อัตราส่วนผสมของซีเมนต์ต่อทรายต่อหินกรีดเท่ากับ 1:2:3 โดยแปรค่าอัตราส่วนของขานอ้อยที่ผ่านการดูดซับสีต่อวัสดุประสานที่ 0.5 0.10 0.15 และ 0.20 และระยะเวลาบ่มเป็น 7 14 21 และ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนของขานอ้อยที่ผ่านการดูดซับสีต่อวัสดุประสานที่ 0.15 และระยะเวลาการบ่มเป็น 21 วัน มีความเหมาะสมในการนำไปทำคอนกรีตบล็อกปูผนังให้ค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 7.19 เมกะปาสคาล ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่กำหนด โดยมีความหนาแน่น 1.98 ก./ลบ.ซม. และมีความชื้นน้ำ 12.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่าการใช้ดินขาว ที่ผ่านกระบวนการเป็นส่วนผสมแทนที่ของปูนซีเมนต์ ให้คอนกรีตที่ได้มีราคาต้นทุนที่ลดลงและมีความแข็งแรงสำหรับโครงสร้างรับน้ำหนักสูง การใช้วัสดุการเกษตรเหลือใช้จากอุตสาหกรรมและ เส้นใยธรรมชาติผสมในคอนกรีต แทนที่ของ มอร์ตาร์และเป็นส่วนผสมเพิ่มคอนกรีตในผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างที่ได้มีราคาต้นทุนที่ลดลง มีคุณสมบัติป้องกันความร้อน น้ำหนักเบา แต่มีความแข็งแรงลดลง ซึ่งได้แสดงคุณสมบัติของคอนกรีตและผลิตภัณฑ์คอนกรีต แนวทางการศึกษาวิจัย และระเบียบวิธีเพียงพอที่จะนำมาประยุกต์ใช้วัสดุผสมสำหรับทำคอนกรีตสำหรับใช้เป็นคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยใช้ดินขาว กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือกทุเรียน โดยมีกรรมวิธีที่อนุรักษ์พลังงานและลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม และเหมาะสมที่ส่งเสริมชุมชนบริษัทขนาดเล็กสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง ในการผลิตและก่อสร้างบ้านพักอาศัยได้อย่างมีประสิทธิภาพและราคาถูก

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุที่มีมาตรฐาน ได้แก่

- 1) สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- 2) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- 3) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการวิจัยเรื่องการใช้ดินขาวผสม กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพด และเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลดน้ำหนักในผนังคอนกรีตบล็อก โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

- 1) ดินขาว จากจังหวัดอุดรธานี
- 2) กากมะพร้าว
- 3) ต้นข้าวโพด
- 4) เปลือกทุเรียน
- 5) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตาม มอก. 15 เล่ม 1-2547 [15]
- 6) แบบหล่อขนาด 70 x 190 x 390 มม.
- 7) เหล็กกระทุ้งไม้ผสมคอนกรีต
- 8) ตะแกรง (Sieve) สำหรับร่อนวัสดุผสม
- 9) เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 10) สร้างถังบ่มและที่จัดเก็บตัวอย่างคอนกรีตบล็อก
- 11) เครื่องทดสอบกำลังอัด (Universal testing Machine) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบ UTM (Universal testing Machine)

12) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

13) เครื่องผสมคอนกรีตบดล็อก ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องผสมคอนกรีตบดล็อก

14) เครื่องอัดคอนกรีตบดล็อก ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องอัดคอนกรีตบดล็อก

### 3.2 การเตรียมวัสดุ

จากวัสดุที่นำมาใช้ในโครงการวิจัยเรื่องการใช้ดินขาวผสม กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพด และเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลดน้ำหนักในผนังคอนกรีตบล็อก ต้องมีการเตรียมก่อนการขึ้นรูป ดังนี้

#### 1) การเตรียมเส้นใยทุเรียน

1.1) นำเปลือกทุเรียนสดมาหั่นเป็นชิ้นตามแนวขวางของเปลือกกว้างประมาณ 4-5 เซนติเมตรต่อชิ้น

1.2) นำเปลือกทุเรียนที่หั่นแล้วมาใส่ถุง แล้วรัดปากถุงให้แน่น แล้วนำไปวางไว้ในที่ร่มเพื่อให้ขึ้นรา จะเริ่มสังเกตเห็นราได้ภายใน 1 – 2 สัปดาห์

1.3) เมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 3 ให้นำเปลือกทุเรียนมาตำด้วยครกหิน วิธีเลือก ให้ใช้นิ้วมือบีบที่เปลือกทุเรียน ขึ้นไหนดึมนำมาตำ ส่วนขึ้นไหนแข็งให้ใส่ถุงไว้ดังเดิม

1.4) นำเปลือกทุเรียนที่ตำได้แล้วมาล้างด้วยน้ำสะอาด สิ่งที่ไม่ใช่เส้นใยจะชะล้างออกไป ล้างประมาณ 3 – 4 ครั้ง หรือจนกว่าจะได้เส้นใย

1.5) นำเส้นใยที่ได้ไปตากแดดให้แห้ง พร้อมทั้งจะใช้งาน

#### 2) การเตรียมเส้นใยต้นข้าวโพด

2.1) ต้นข้าวโพดที่ได้มานำไปบอกให้หมดให้เหลือแต่ต้น หั่นเป็นท่อนประมาณ 4-5 เซนติเมตร

2.2) นำไปบด แล้วจะได้เส้นใยออกมา

2.3) นำเส้นใยที่ได้มาไปตากแดดให้แห้ง พร้อมทั้งจะใช้งาน

#### 3) การเตรียมกากมะพร้าว

นำกากมะพร้าวที่ได้มาจากการที่คั้นน้ำเสร็จเรียบร้อยแล้วมาตากแดดให้แห้ง พร้อมทั้งจะใช้งาน

### 3.3 การออกแบบอัตราส่วนผสม

ในการออกแบบอัตราส่วนผสมของโครงการวิจัยเรื่องการใช้ดินขาวผสม กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพด และเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลดน้ำหนักในผนังคอนกรีตบล็อก สามารถสรุปเป็นได้ ดังตารางที่ 3.1



**ตารางที่ 3.1** อัตราส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยจากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพด และเส้นใยจากเปลือกทุเรียน โดยน้ำหนัก

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	กาดินขาว	น้ำประปา	เส้นใย กากมะพร้าว	เส้นใย ต้นข้าวโพด	เส้นใย เปลือกทุเรียน
CB0	1	6.0	0.8	-	-	-
CC1	1	5.9	0.8	0.1	-	-
CC2	1	5.8	0.8	0.2	-	-
CC3	1	5.7	0.8	0.3	-	-
CN1	1	5.9	0.8	-	0.1	-
CN2	1	5.8	0.8	-	0.2	-
CN3	1	5.7	0.8	-	0.3	-
DR1	1	5.9	0.8	-	-	0.1
DR2	1	5.8	0.8	-	-	0.2
DR3	1	5.7	0.8	-	-	0.3

หมายเหตุ เลือกลงใช้ชนิดของเส้นใยได้ดีที่สุดแค่ 3 กิโลกรัม เท่านั้น ถ้ามากกว่านี้จะทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นคอนกรีตบล็อกกาดินขาวได้ และหากผสมเส้นใย ทั้ง 3 ชนิด ร่วมกัน จะทำให้เส้นใยจับตัวเป็นก้อน ซึ่งยากต่อการผสมและการขึ้นรูป รวมทั้งได้ชิ้นงานที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากแบบหล่อที่ใช้เป็นแบบคอนกรีตบล็อกกวางที่มีความหนาของขอบช่องว่าง ทั้ง 3 ช่อง น้อย จึงมักเกิดโพรงขนาดใหญ่บริเวณขอบ ในงานวิจัยนี้จึงไม่นำเส้นใย ทั้ง 3 ชนิด มาผสมร่วมกัน

### 3.4 การขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก

การใช้ดินขาวผสม กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพด และเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลดน้ำหนักในผนังคอนกรีตบล็อก สำหรับนำไปทำการทดสอบนั้น สามารถสรุปได้ ดังนี้

1) นำเส้นใยตัวอย่างที่เตรียมไว้ตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดตามตารางที่ 3.1 จากนั้นนำกาดินขาว และปูนซีเมนต์เทใส่เครื่องผสมคอนกรีตบล็อกแล้วผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน

2) ใส่ น้ำที่เตรียมไว้ลงไป ในเครื่องผสมคอนกรีตบล็อก การใส่น้ำควรใส่น้ำลงไปทีละน้อย โดยทำการหยุดเครื่องผสมและทำการเคาะเส้นใย กาดินขาว และปูนซีเมนต์ที่เกาะตามข้างเครื่องผสมคอนกรีตบล็อกออกบ่อยๆ และเติมน้ำจนครบ จากนั้นทำการหมุนเครื่องผสมคอนกรีตบล็อกเป็นเวลา 10 - 15 นาที ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การผสมส่วนผสมต่างๆด้วยเครื่องผสมคอนกรีตบล็อก

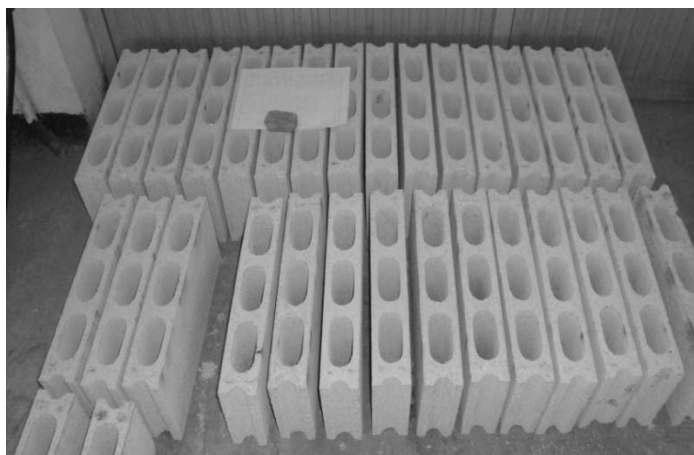
3) ก่อนที่จะใส่ส่วนผสมลงในเครื่องอัดบล็อกควรทาน้ำมันก่อน เพื่อไม่ให้เป็นส่วนผสมติดกับเครื่องอัดบล็อกและป้องกันการสึกหลอของเครื่องอัดบล็อก

4) นำส่วนผสมที่ผสมจนเข้ากันดีแล้วไปอัดในเครื่องอัดบล็อก และแต่ละก้อนใส่ส่วนผสมให้เท่าๆกัน การอัดบล็อก 1 ครั้ง ได้คอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใย 2 ก้อน ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 คอนกรีตบล็อกกาดินขาวหลังจากการขึ้นรูป

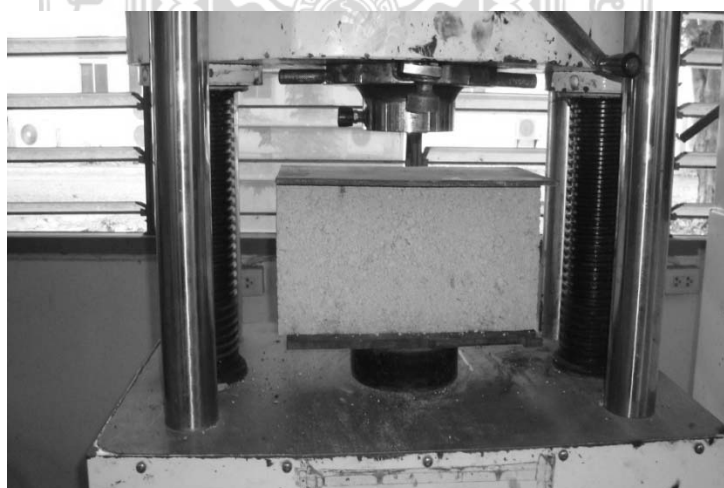
5) เมื่อทำการอัดเสร็จแล้วให้ยกคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยที่ได้ออกจากเครื่องอัดบล็อก และนำไปวางให้เป็นระเบียบเรียบร้อย การวางควรจะวางในที่ที่สม่ำเสมอเพราะกันคอนกรีตบล็อกแตก ดังรูปที่ 3.7



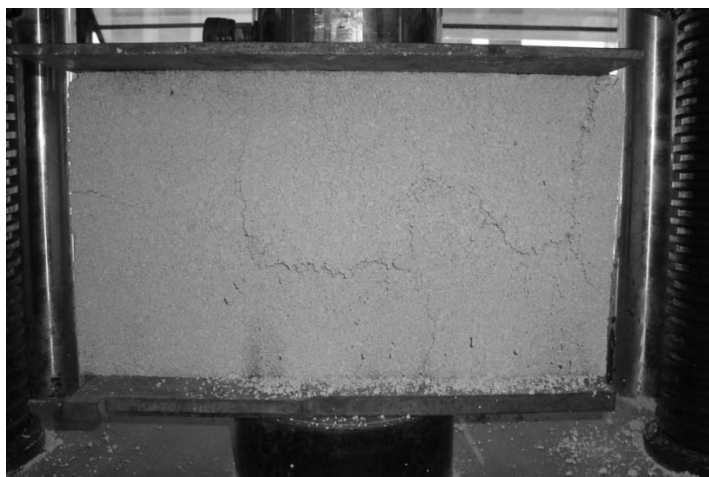
รูปที่ 3.7 คอนกรีตบล็อกกาคินขาวผสมเส้นใยชนิดต่างๆ

### 3.5 การทดสอบคอนกรีตบล็อก

- 1) ทดสอบหาความหนาแน่น ที่อายุ 28 วัน จำนวนอัตราส่วนละ 10 ตัวอย่าง [16]
- 2) ทดสอบกำลังอัดหรือความต้านทานแรงอัด ที่อายุ 14, 21, และ 28 วัน จำนวนอัตราส่วนละ 10 ตัวอย่าง [11, 16] โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้
  - 2.1) วัดขนาดคอนกรีตบล็อกกาคินขาวผสมเส้นใยต่างๆ เป็นมิลลิเมตร (กว้าง x ยาว x หนา) แล้วชั่งน้ำหนักโดยอ่านค่าละเอียดถึง 0.5 กรัม
  - 2.2) นำเข้าเครื่องทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานแรงอัด โดยใช้อัตราการเพิ่มแรงอัดประมาณ 100 กก./ตร.ซม. จนกระทั่งคอนกรีตพังทลายแล้วบันทึกค่าแรงอัดสูงสุด



รูปที่ 3.8 คอนกรีตบล็อกที่เข้าเครื่องทดสอบความต้านทานแรงอัด



รูปที่ 3.9 ลักษณะการวิบัติของก้อนตัวอย่าง

2.3) กำหนดค่าความต้านทานแรงอัดโดยสูตรที่ใช้คำนวณ คือ

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $\sigma$  = กำลังอัดหรือความต้านทานแรงอัด (กก./ตร.ซม.)  
 $P$  = แรงกดที่ทำให้ชิ้นส่วนเกิดการวิบัติ (กก.)  
 $A$  = พื้นที่รับแรงอัด (ตร.ซม.)

3) ทดสอบการดูดซึมน้ำ [16] ของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยต่างๆที่อายุ 28 วัน จำนวนอัตราส่วนละ 10 ตัวอย่าง โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

3.1) นำคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยต่างๆที่เตรียมไว้ทดสอบวัดขนาด (กว้าง x ยาว x หนา) และน้ำหนักของก้อนตัวอย่างพร้อมจดบันทึกข้อมูลของแต่ละก้อน (ก่อนแช่น้ำ)



รูปที่ 3.10 การซังน้ำหนักก่อนแช่น้ำ

3.2) นำคอนกรีตบล็อกภาคดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ไปแช่น้ำให้ท่วมคอนกรีตบล็อกภาคดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำคอนกรีตบล็อกภาคดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ขึ้นมาใช้ผ้าซับน้ำบน ผิวคอนกรีตบล็อกภาคดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ที่ละก้อนแล้วซังน้ำหนักให้เสร็จภายใน 3 นาที จดบันทึกค่าน้ำหนักคอนกรีตบล็อกภาคดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ที่ดูดซึมน้ำ



รูปที่ 3.11 คอนกรีตบล็อกที่แช่น้ำเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ

3.3) จากนั้นวัดขนาด (กว้าง x ยาว x หนา) และน้ำหนักของก้อนตัวอย่างพร้อมจดบันทึกข้อมูลของแต่ละก้อน (หลังแช่น้ำ)

3.4) ทำการคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำตามสูตร ดังนี้

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ  $W_1$  = น้ำหนักคอนกรีตบล็อกภาคดินขาวผสมเส้นใยต่างๆแห้ง  
 $W_2$  = น้ำหนักคอนกรีตบล็อกภาคดินขาวผสมเส้นใยต่างๆที่ดูดซึมน้ำ

4) ทดสอบค่าการหดตัว หรือการเปลี่ยนแปลงความยาว ที่อายุ 28 วัน จำนวนอัตราส่วนละ 10 ตัวอย่าง [17]

5) ทดสอบสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ที่อายุ 28 วัน จำนวนอัตราส่วนละ 10 ตัวอย่าง

6) ทดสอบการใช้งานจริง โดยนำคอนกรีตบล็อกภาคดินขาวที่ผสมเส้นใยในอัตราส่วนที่เหมาะสม มาก่อเป็นผนังของอาคารจำลองและฉาบด้วยปูนซีเมนต์สำหรับงานฉาบทั่วไป แล้ววัดอุณหภูมิภายในอาคารด้วยเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง เปรียบเทียบกับอาคารจำลองที่ก่อและฉาบด้วยคอนกรีตบล็อกและปูนฉาบทั่วไป ทำการวัดอุณหภูมิภายใน ทุกๆ 2 ชั่วโมง รวม 36 ชั่วโมง

### 3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบ

- 1) เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบ
- 2) วิเคราะห์ เปรียบเทียบระหว่างค่าสมบัติต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบคอนกรีตมวลบล็อกไม่รับน้ำหนักผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดินขาว กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและ/หรือเส้นใยจากเปลือกทุเรียน กับคอนกรีตมวลบล็อกปกติทั่วไป
- 3) หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของคอนกรีตมวลบล็อกไม่รับน้ำหนักผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดินขาว กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและ/หรือเส้นใยจากเปลือกทุเรียน จากการทดสอบ
- 4) วิเคราะห์ปัญหา สาเหตุ การแก้ไข และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับการทดสอบในครั้งต่อไป
- 5) จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายทอดเทคโนโลยี
  - 5.1) รวบรวมข้อมูลการเตรียมวัสดุ ผลการทดสอบ ผลวิเคราะห์
  - 5.2) จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์
  - 5.3) จัดทำเอกสารและแผ่นพับประชาสัมพันธ์เผยแพร่/ส่งให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจทั่วไป ฯลฯ
  - 5.4) เขียนบทความวิจัยส่งลงในวารสารวิชาการต่างๆหรือร่วมเสนอผลงานในงานประชุมสัมมนาวิชาการต่างๆ

### 3.7 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

เมื่อดำเนินงานวิจัยสำเร็จตามวัตถุประสงค์และระยะเวลาที่กำหนดแล้ว

- 1) จัดทำเอกสารและแผ่นพับประชาสัมพันธ์เผยแพร่ให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจทั่วไป
- 2) เขียนบทความวิจัยส่งลงในวารสารวิชาการหรือร่วมเสนอผลงานในงานประชุมสัมมนาวิชาการต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จำนวนไม่น้อยกว่า 1 งาน
- 3) วางเป้าหมายดำเนินการวิจัยในขั้นสูงต่อไป โดยดำเนินงานแบบบูรณาการร่วมกับหน่วยงานอื่นๆ เพิ่มมากขึ้น ให้มีผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีมากขึ้น



## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

จากการดำเนินงานวิจัยเรื่องการใช้ดินขาวผสม กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลดน้ำหนักในผนังคอนกรีตบล็อก สามารถสรุปผลการทดสอบแบ่งตามประเภทการทดสอบได้ ดังนี้

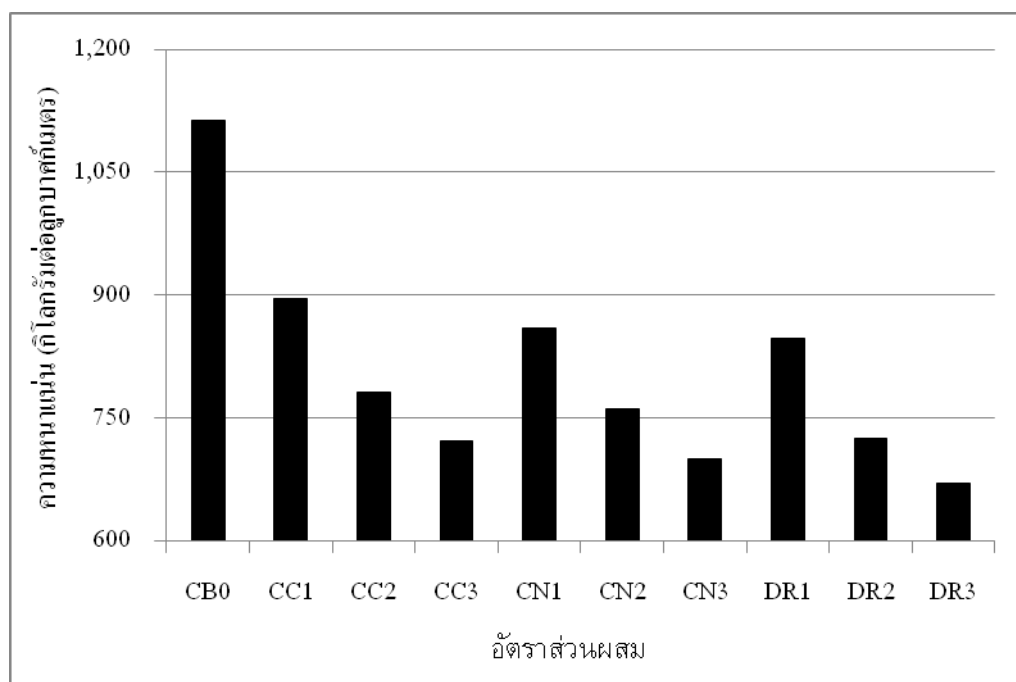
#### 4.1 ความหนาแน่น

จากการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกจากดินขาวผสมเส้นใยชนิดต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกจากดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ที่อายุ 28 วัน

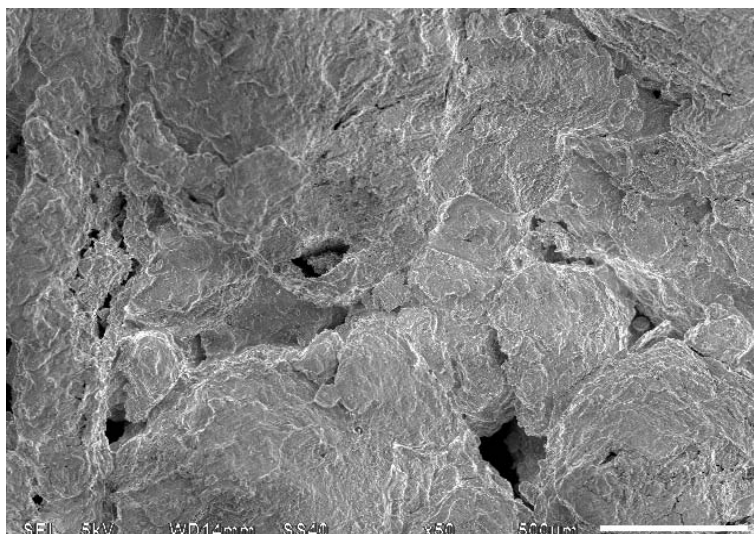
ชนิดเส้นใย	อัตราส่วน	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ร้อยละที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับ CB0
ไม่ผสมเส้นใย	CB0	1,114	0.00
กากมะพร้าว	CC1	896	19.57
	CC2	782	29.80
	CC3	723	35.10
ต้นข้าวโพด	CN1	860	22.80
	CN2	761	31.69
	CN3	701	37.07
เปลือกทุเรียน	DR1	847	23.97
	DR2	726	34.83
	DR3	671	39.77



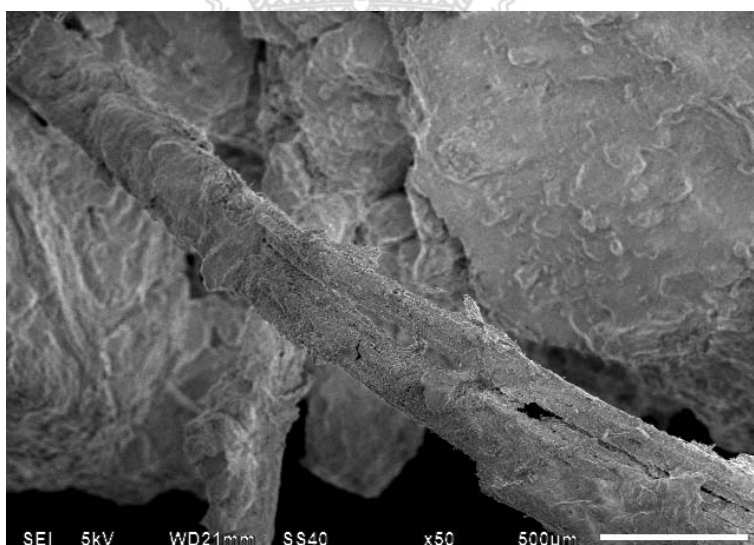


รูปที่ 4.1 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกกากคินข้าวผสมเส้นใยต่างๆ ที่อายุ 28 วัน

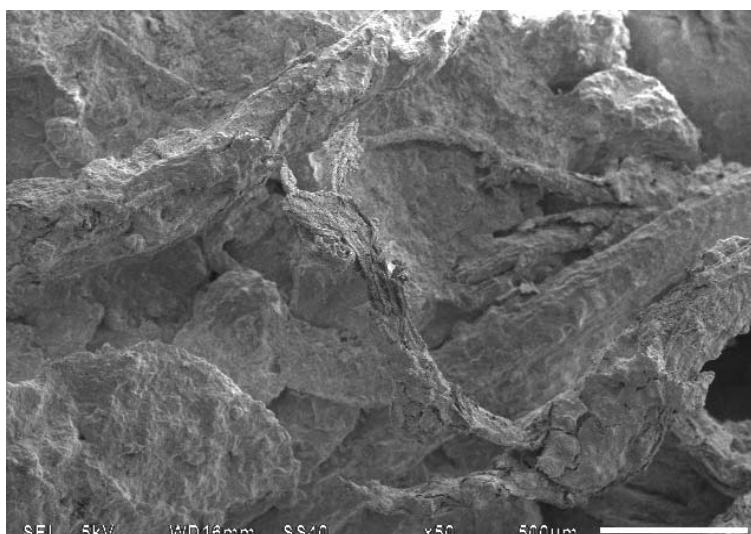
จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่า การใช้เส้นใยต่างๆ เป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกกากคินข้าวปริมาณมาก จะแปรผกผันกับความหนาแน่น กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้นจะทำให้คอนกรีตบล็อกกากคินข้าวมีความหนาแน่นลดน้อยลง สังเกตได้จากคอนกรีตบล็อกกากคินข้าวปกติที่ไม่ผสมเส้นใยจะมีความหนาแน่นสูงสุด เท่ากับ 1,114 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงไปเป็นคอนกรีตบล็อกกากคินข้าวที่ผสมกากมะพร้าว เท่ากับ 723 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ลดลงร้อยละ 33.10 จากคอนกรีตบล็อกกากคินข้าวที่ไม่ผสมเส้นใย), เส้นใยต้นข้าวโพด เท่ากับ 701 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ลดลงร้อยละ 37.07 จากคอนกรีตบล็อกกากคินข้าวที่ไม่ผสมเส้นใย), และเส้นใยทุเรียน เท่ากับ 671 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ลดลงร้อยละ 39.77 จากคอนกรีตบล็อกกากคินข้าวที่ไม่ผสมเส้นใย) ซึ่งมีค่าความหนาแน่นน้อยลง ตามลำดับ เนื่องจากเส้นใยต่างๆ ที่ผสมในคอนกรีตบล็อกกากคินข้าว มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่ากากคินข้าว และเมื่อใส่เส้นใยปริมาณมากขึ้น จะทำให้เนื้อคอนกรีตบล็อกไม่สม่ำเสมอเกิดช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกมากขึ้น ดังรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 จึงส่งผลให้ความหนาแน่นลดน้อยลง



รูปที่ 4.2 ภาพขยายคอนกรีตบล็อกภาคดินขาวผสมเส้นใยจากมะพร้าวจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า



รูปที่ 4.3 ภาพขยายคอนกรีตบล็อกภาคดินขาวผสมเส้นใยต้นข้าวโพดจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า



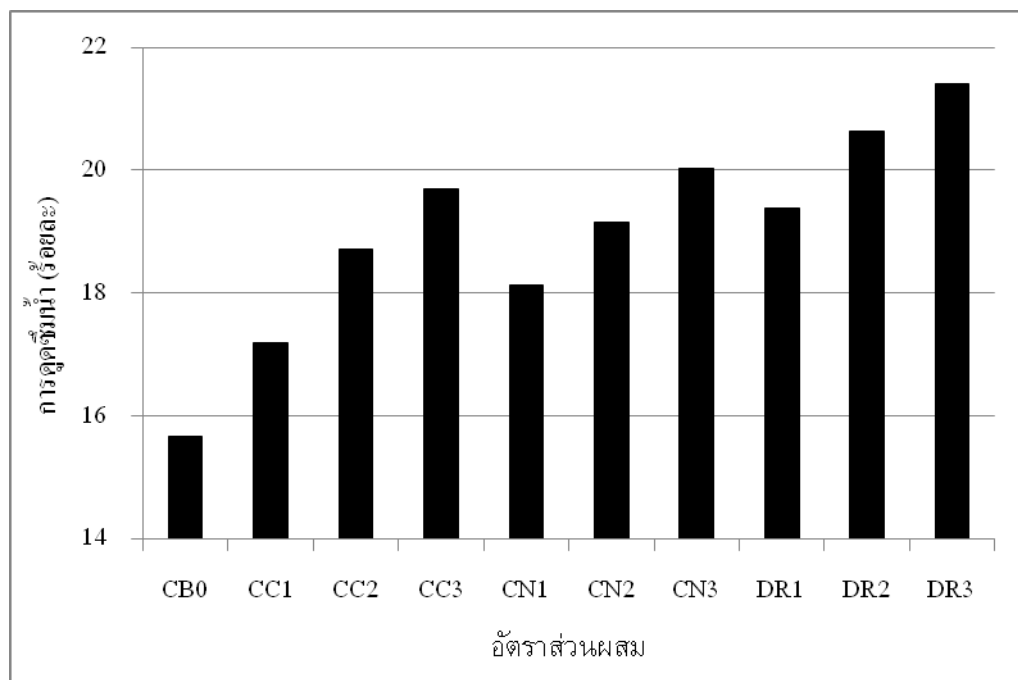
รูปที่ 4.4 ภาพขยายคอนกรีตบล็อกกากดินขาวผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า

#### 4.2 การดูดซึมน้ำ

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกกากดินขาวผสมเส้นใยชนิดต่างๆ นั้น สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกกากดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ที่อายุ 28 วัน

ชนิดเส้นใย	อัตราส่วน	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ร้อยละที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับ CB0
ไม่ผสมเส้นใย	CB0	15.68	0.00
กากมะพร้าว	CC1	17.19	9.63
	CC2	18.71	19.32
	CC3	19.70	25.64
ต้นข้าวโพด	CN1	18.13	15.63
	CN2	19.15	22.13
	CN3	20.04	27.81
เปลือกทุเรียน	DR1	19.38	23.60
	DR2	20.64	31.63
	DR3	21.41	36.54



รูปที่ 4.5 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ที่อายุ 28 วัน

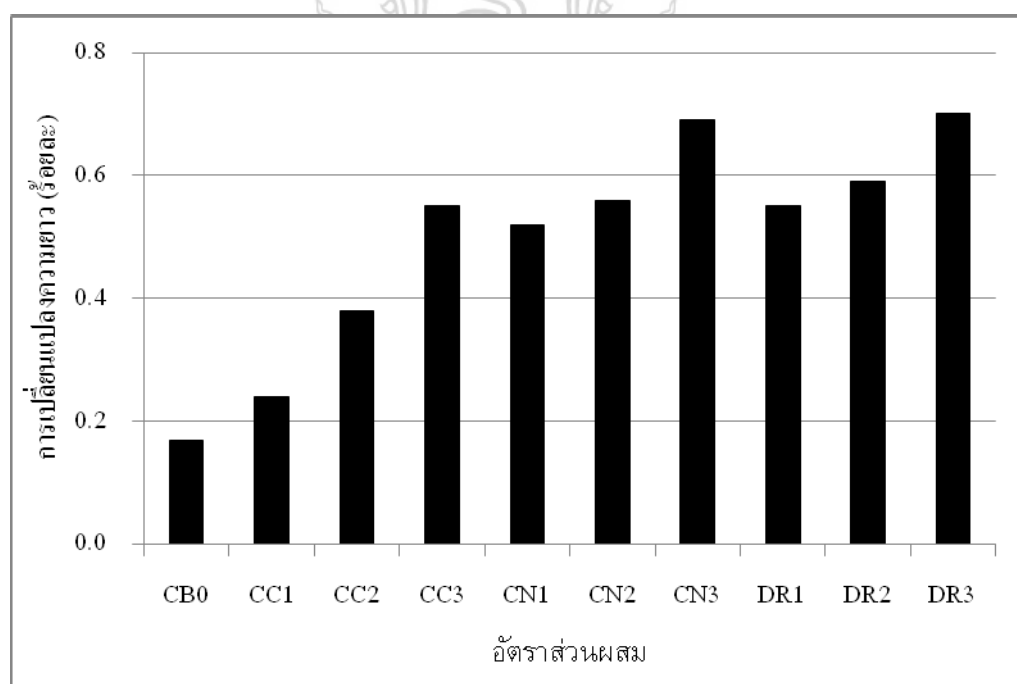
จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.5 พบว่า การใช้เส้นใยต่างๆเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกปริมาณมาก จะแปรผันตามร้อยละการดูดซึมน้ำ กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมากขึ้นจะทำให้คอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ผสมเส้นใยต่างๆ ดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น สังเกตได้จาก คอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ผสมเส้นใยทุเรียน จะมีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุด เท่ากับ ร้อยละ 21.41 (สูงกว่าคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใยถึงร้อยละ 36.54), รองลงมาคือ เส้นใยต้นข้าวโพด เท่ากับ ร้อยละ 27.81 (สูงกว่าคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใย ร้อยละ 27.81), เส้นใยกากมะพร้าว เท่ากับ ร้อยละ 19.70 (สูงกว่าคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใย ร้อยละ 25.64) และคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใยจะมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำลดน้อยลง เท่ากับ ร้อยละ 15.68 เนื่องจากเส้นใยต่างๆเป็นเส้นใยธรรมชาติซึ่งมีหลอดลำเลียงอาหารอยู่ปริมาณมาก จึงมีจิ้งค่าการดูดซึมน้ำสูง [18] ซึ่งจากการทดสอบพบว่าทุกอัตราส่วนมีค่าการดูดซึมน้ำไม่เกินมาตรฐาน มอก. 58-2533 กำหนดไว้ คือไม่เกินร้อยละ 25 [11] อีกทั้งผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่า ร้อยละการดูดซึมน้ำจะแปรผกผันกับความหนาแน่น

#### 4.3 การเปลี่ยนแปลงความยาว

จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ที่อายุ 28 วัน

ชนิดเส้นใย	อัตราส่วน	การเปลี่ยนแปลงความยาว (มม.)	การเปลี่ยนแปลงความยาว (ร้อยละ)	ร้อยละที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับ CB0
ไม่ผสมเส้นใย	CB0	0.66	0.17	0.00
กากมะพร้าว	CC1	0.94	0.24	41.18
	CC2	1.47	0.38	123.53
	CC3	2.16	0.55	223.53
ต้นข้าวโพด	CN1	2.04	0.52	205.88
	CN2	2.19	0.56	229.41
	CN3	2.69	0.69	305.88
เปลือกทุเรียน	DR1	1.70	0.55	223.53
	DR2	2.29	0.59	247.06
	DR3	2.73	0.70	311.76



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ที่อายุ 28 วัน

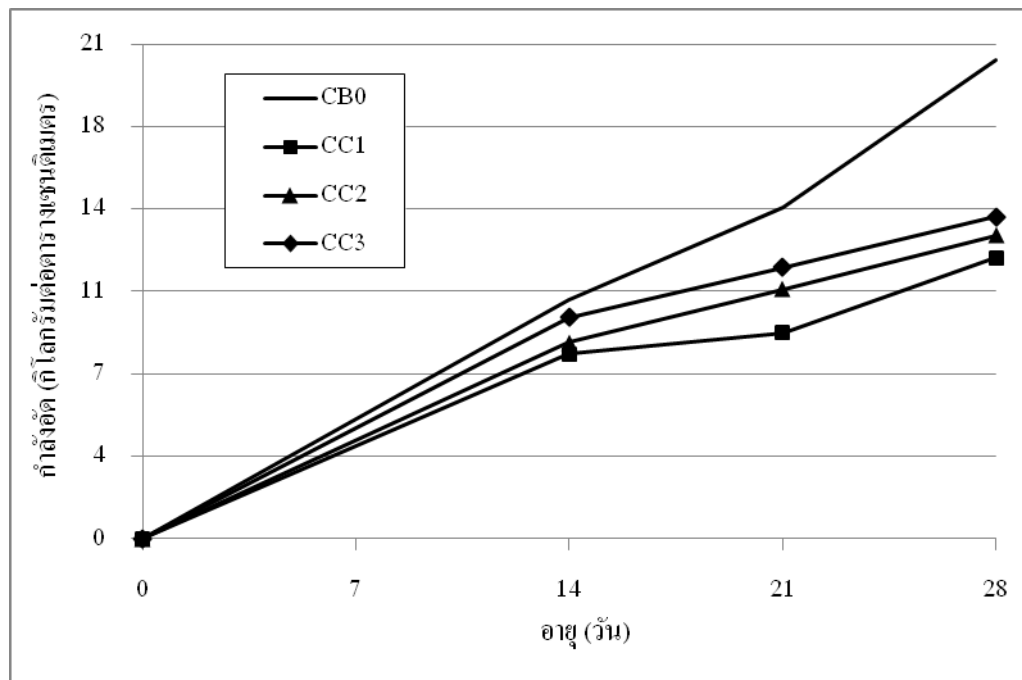
จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.6 พบว่า การเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตบล็อกกาคดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ เมื่อเพิ่มเส้นใยต่างๆ ในปริมาณมากขึ้นจะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงความยาว กล่าวคือ เมื่อใส่เส้นใยมากขึ้นจะทำให้คอนกรีตบล็อกกาคดินขาวมีการเปลี่ยนแปลงความยาวมากขึ้น โดยเฉพาะเส้นใยทุเรียนที่มีการเปลี่ยนแปลงความยาวเพิ่มขึ้นกว่า ร้อยละ 311.76 หรือประมาณ 3 เท่า ของคอนกรีตบล็อกกาคดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใย เนื่องจากเส้นใยต่างๆ มีรูปร่างไม่แน่นอน เวลาแช่น้ำแล้วเส้นใยที่อยู่ในคอนกรีตบล็อกกาคดินขาว จะขยายตัวทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามทุกอัตราส่วนผสมมีการเปลี่ยนแปลงความยาวผ่านตามที่มาตรฐาน มอก. 58-2533 กำหนดไว้มากกว่า 0.045 ที่การดูดกลืนน้ำ น้อยกว่าร้อยละ 25 ในพื้นที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ยน้อยกว่าร้อยละ 50 [11] ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจะแปรผันตรงกับร้อยละการดูดซึมน้ำ แต่จะแปรผกผันกับความหนาแน่น

#### 4.4 ความต้านทานแรงอัด

จากการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาคดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.7 ถึง 4.10

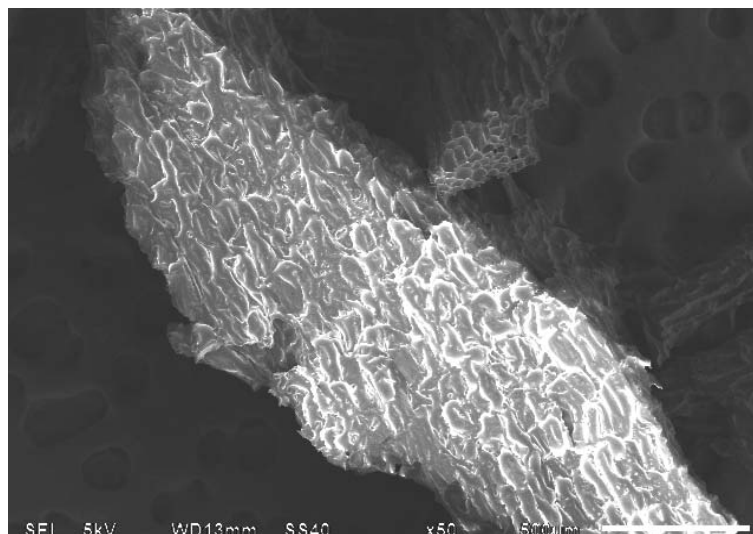
ตารางที่ 4.4 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาคดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ที่อายุ 28 วัน

ชนิดเส้นใย	อัตราส่วน	ความต้านทานแรงอัด (กก./ตร.ซม.)			ร้อยละที่เปลี่ยนแปลง เมื่อเทียบกับ CB0 ที่อายุ 28 วัน
		14 วัน	21 วัน	28 วัน	
ไม่ผสมเส้นใย	CB0	10.12	14.06	20.30	0.00
กากมะพร้าว	CC1	7.83	8.75	11.93	41.23
	CC2	8.32	10.59	12.87	36.60
	CC3	9.40	11.53	13.66	32.71
ต้นข้าวโพด	CN1	8.17	11.46	12.49	38.47
	CN2	8.75	11.51	13.80	32.02
	CN3	9.41	12.66	15.27	24.78
เปลือกทุเรียน	DR1	7.91	9.26	12.61	37.88
	DR2	8.38	9.45	12.85	36.70
	DR3	9.17	10.86	13.18	35.07

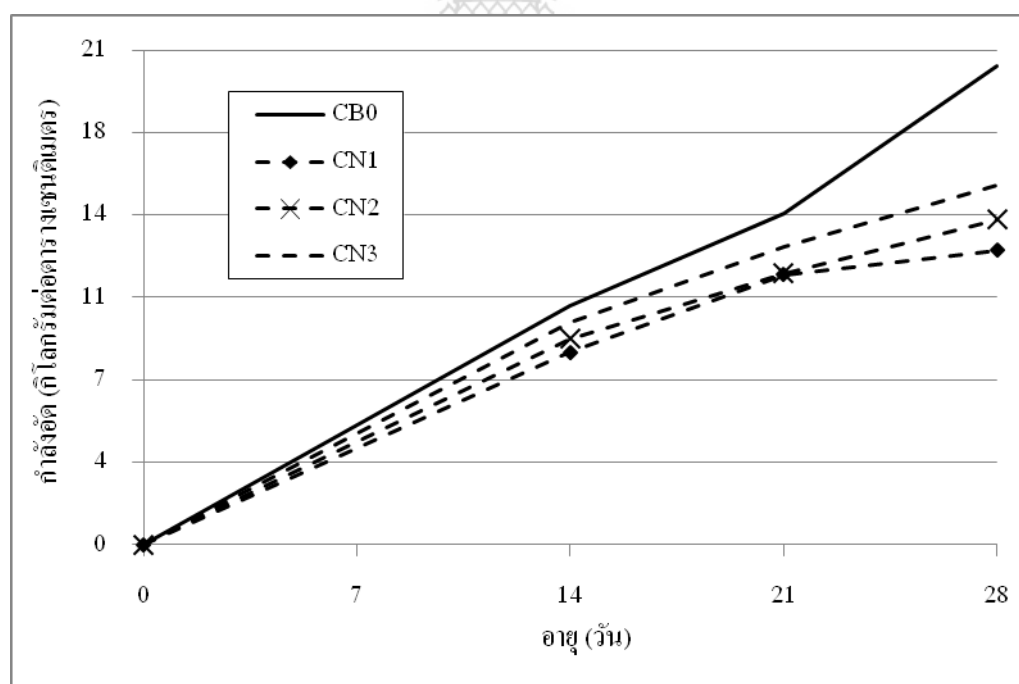


รูปที่ 4.7 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยกากมะพร้าวที่อายุต่างๆ

จากรูปที่ 4.7 พบว่า คอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ผสมเส้นใยกากมะพร้าวในปริมาณมากจะมีความต้านทานแรงอัดมากกว่าคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ผสมเส้นใยกากมะพร้าวในปริมาณที่น้อยกว่า เนื่องจากการที่เส้นใยกากมะพร้าวมีลักษณะเป็นขุยเล็กๆ (รูปที่ 4.8) จึงมีผลต่อขนาดคละที่ดีขึ้น ทำให้ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณมากจึงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ผสมเส้นใยกากมะพร้าวทุกอัตราส่วนก็ยังคงมีความต้านทานแรงอัดน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใยกากมะพร้าวถึงร้อยละ 32.71 เพราะเมื่อใส่กากมะพร้าวลงไปคอนกรีตบล็อกกาดินขาวจะทำให้ความหนาแน่นและพื้นที่รับแรงอัดลดลง



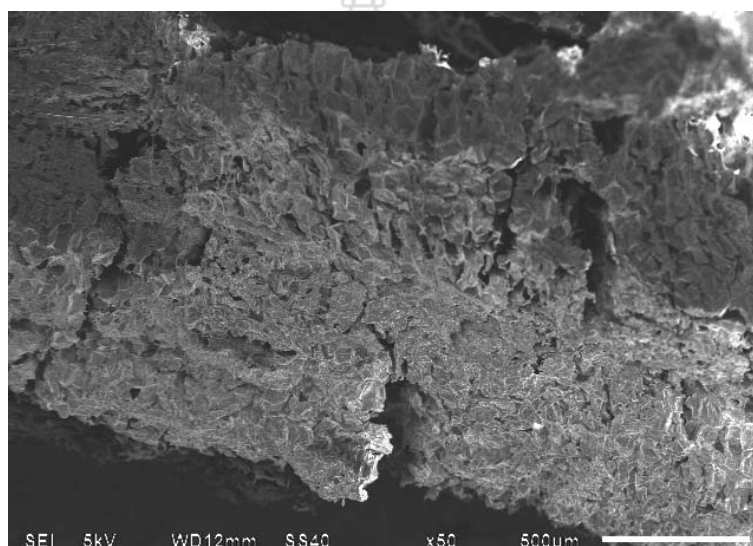
รูปที่ 4.8 ภาพขยายกามะพร้าวจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า



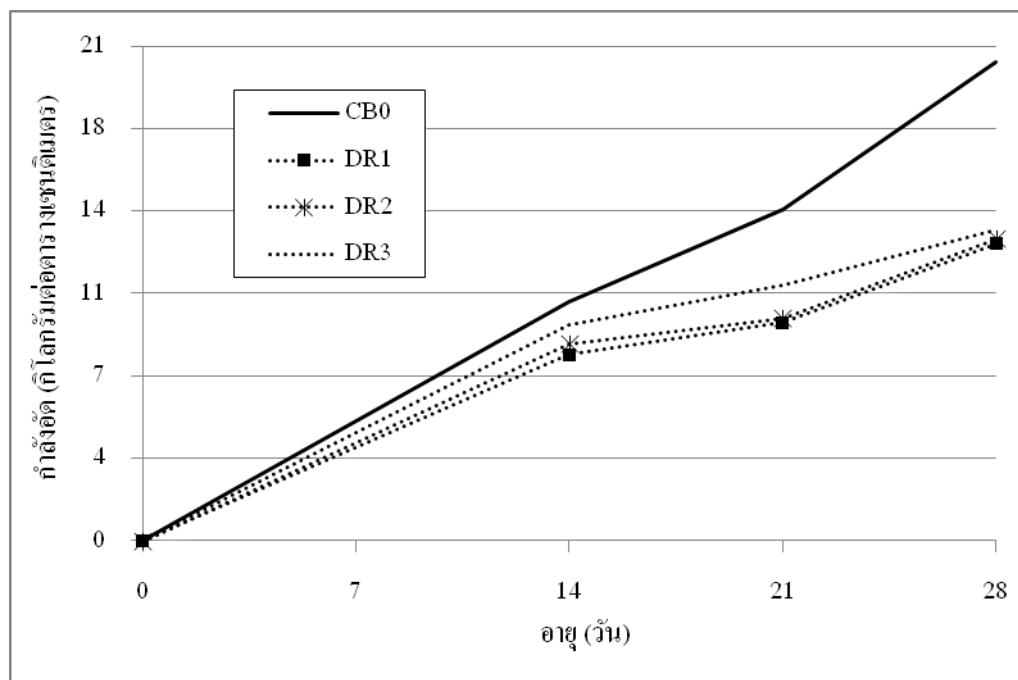
รูปที่ 4.9 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยต้นข้าวโพดที่อายุต่างๆ



จากรูปที่ 4.9 พบว่า ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกภาคดินขาวทุกอัตราส่วนจะแปรผันตามอายุของคอนกรีตบล็อกที่เพิ่มขึ้น และเมื่อผสมเส้นใยต้นข้าวโพดแทนที่ในภาคดินขาวเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความต้านทานแรงอัดมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่เส้นใยต้นข้าวโพดมีความขรุขระและเป็นเส้นๆ (รูปที่ 4.10) ทำให้สามารถช่วยในการยึดเกาะของปูนซีเมนต์ได้ดีขึ้น แต่ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเส้นใยต้นข้าวโพดทุกอัตราส่วน ก็ยังน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกภาคดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใยต้นข้าวโพดประมาณ ร้อยละ 24.78 เนื่องจากเมื่อใส่เส้นใยต้นข้าวโพดลงไป ในคอนกรีตบล็อกภาคดินขาวจะทำให้ความหนาแน่นลดลง ความต้านทานแรงอัดจึงลดลงตามไปด้วย

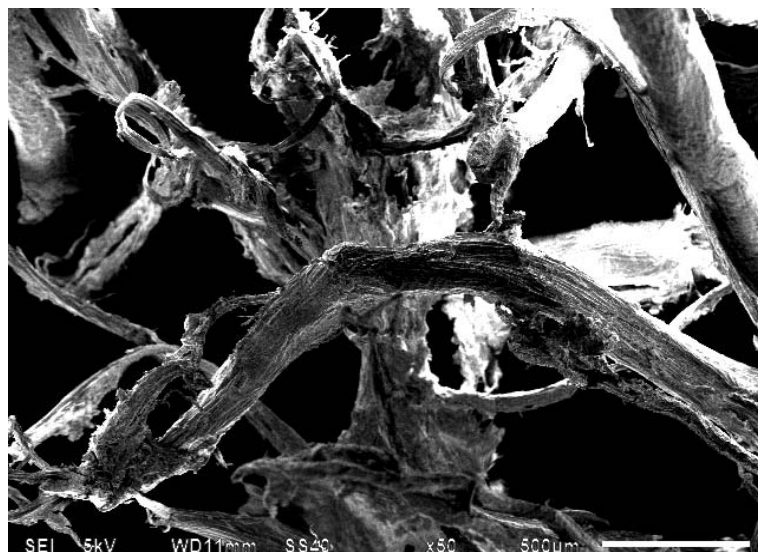


รูปที่ 4.10 ภาพขยายของเส้นใยต้นข้าวโพดจากกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า

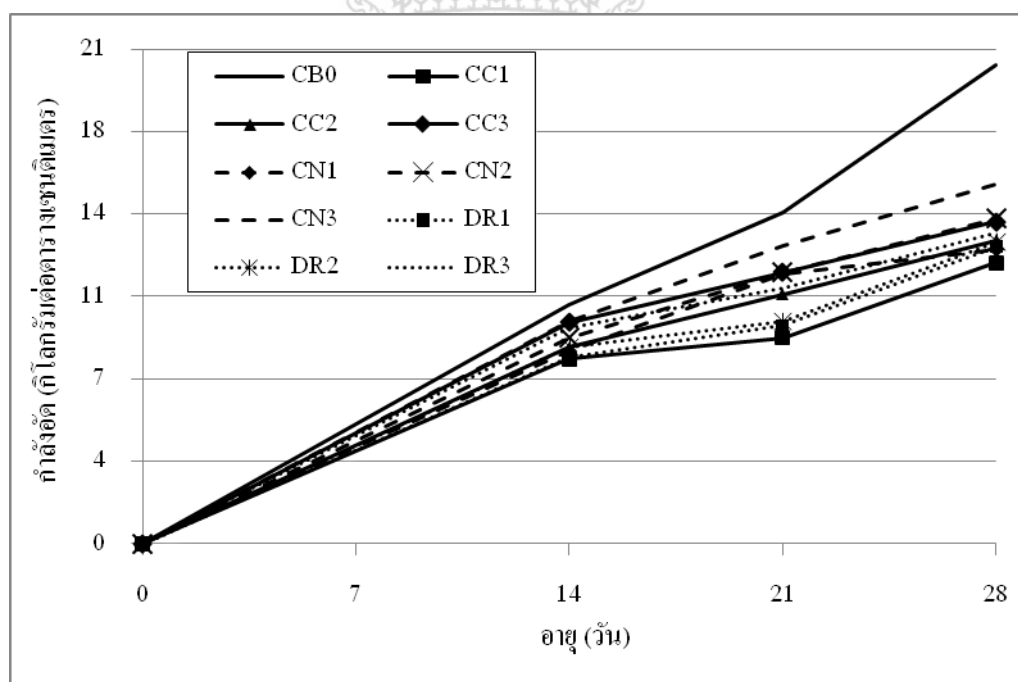


รูปที่ 4.11 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนที่อายุต่างๆ

จากรูปที่ 4.11 พบว่า ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวทุกอัตราส่วนจะแปรผันตามอายุของคอนกรีตบล็อกที่เพิ่มขึ้น และเมื่อผสมเส้นใยทุเรียนแทนที่ในกาดินขาวเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความต้านทานแรงอัดมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่เส้นใยทุเรียนมีความขรุขระและเป็นเส้นๆ (รูปที่ 4.12) ทำให้สามารถช่วยในการยึดเกาะของปูนซีเมนต์ได้ดีขึ้น แต่ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเส้นใยทุเรียนทุกอัตราส่วนยังน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนถึงประมาณร้อยละ 35.07 เนื่องจากเมื่อใส่เส้นใยเปลือกทุเรียนลงไปคอนกรีตบล็อกกาดินขาว จะทำให้ความหนาแน่นลดลง จึงส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงอัดลดลงเช่นเดียวกับการผสมเส้นใยกมะพร้าวและเส้นใยต้นข้าวโพด



รูปที่ 4.12 ภาพขยายของเส้นใยเปลือกทุเรียนด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า



รูปที่ 4.13 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตเปลือกกากดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ

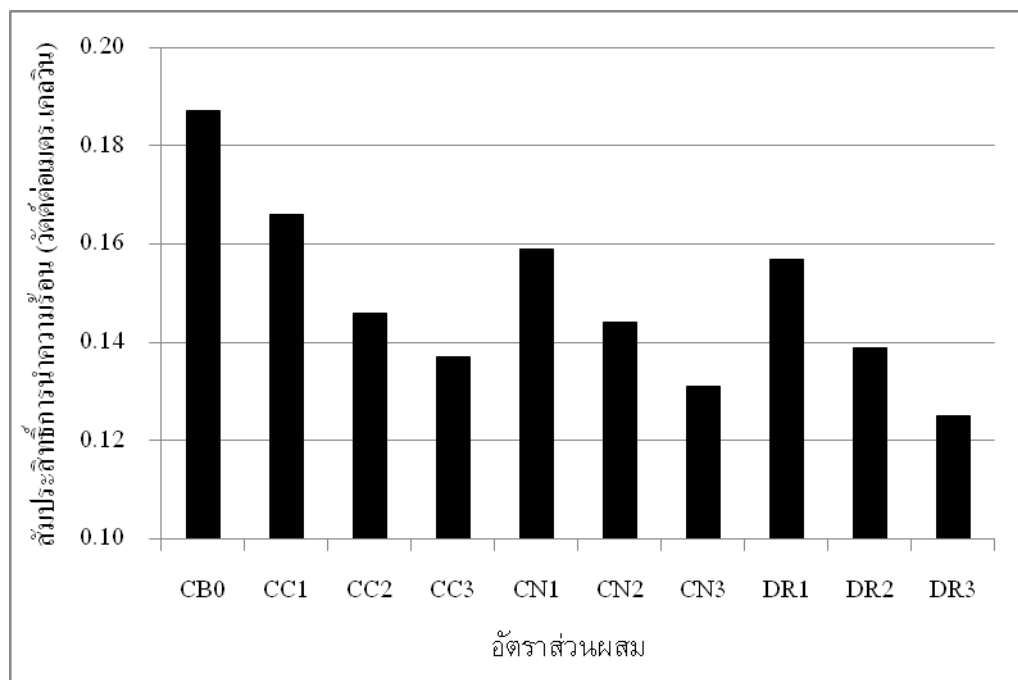
จากรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.4 พบว่า ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นตามอายุของคอนกรีตบล็อกกาคดินขาวที่เพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตบล็อกกาคดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใย จะมีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด ที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 20.30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งผ่านมาตรฐาน มอก. 58-2533 ที่กำหนดค่าความต้านทานแรงอัดไม่น้อยกว่า 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร [11] รองลงมาคือ คอนกรีตบล็อกกาคดินขาวผสมเส้นใยต้นข้าวโพด คอนกรีตบล็อกกาคดินขาวผสมเส้นใยกากมะพร้าว และ คอนกรีตบล็อกกาคดินขาวผสมเส้นใยทุเรียน มีความต้านทานแรงอัดต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการผสมเส้นใยทำให้ความหนาแน่นและพื้นที่ในการรับแรงต่างๆ ของคอนกรีตบล็อกลดลง จึงส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดลดลงดังที่กล่าวมาแล้ว เป็นที่น่าสังเกตว่า คอนกรีตบล็อกกาคดินขาวผสมเส้นใยต้นข้าวโพดมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกกาคดินขาวผสมกากมะพร้าว แต่ค่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาคดินขาวผสมเส้นใยต้นข้าวโพดมีมากกว่า เพราะกากมะพร้าวเป็นขุยเล็กๆ ทำให้มีความหนาแน่นมากกว่า แต่เส้นใยต้นข้าวโพดมีลักษณะขรุขระเป็นเส้นๆ จึงทำให้เกิดช่องว่างภายในคอนกรีตบล็อกทำให้ความหนาแน่นน้อยกว่า แต่สามารถรับกำลังอัดได้มากกว่า เพราะว่าเส้นใยต้นข้าวโพดมีความแข็งแรงมากกว่ากากมะพร้าวและสามารถยึดเกาะกับปูนซีเมนต์ได้ดีกว่า

#### 4.5 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

จากการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกกาคดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.5 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกกาคดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ที่อายุ 28 วัน

ชนิดเส้นใย	อัตราส่วน	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/ม.เคลวิน)	ร้อยละที่เปลี่ยนแปลง เมื่อเทียบกับ CB0
ไม่ผสมเส้นใย	CB0	0.187	0.00
กากมะพร้าว	CC1	0.166	11.23
	CC2	0.146	21.93
	CC3	0.137	26.74
ต้นข้าวโพด	CN1	0.159	14.97
	CN2	0.144	22.99
	CN3	0.131	29.95
เปลือกทุเรียน	DR1	0.157	16.04
	DR2	0.139	25.67
	DR3	0.125	33.16



รูปที่ 4.14 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ ที่อายุ 28 วัน

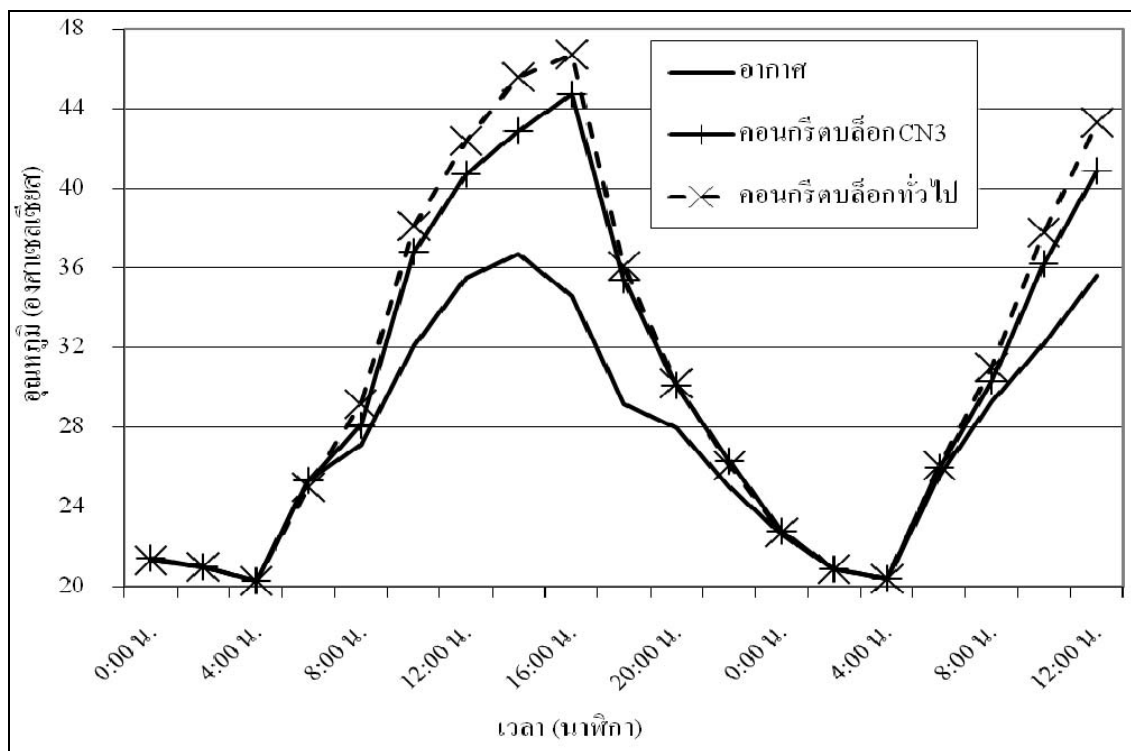
จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.14 พบว่า การผสมเส้นใยชนิดต่างๆ สามารถช่วยในเรื่องความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนให้กับคอนกรีตบล็อกกาดินขาวได้เป็นอย่างดี สังเกตได้จากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำจะมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี แต่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่สูงจะมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ไม่ดี โดยคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด (ต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใยถึงร้อยละ 33.16) รองลงมาคือ คอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยต้นข้าวโพด (ต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใย ร้อยละ 29.95), คอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยกากมะพร้าว (ต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใย ร้อยละ 26.74), และคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใย มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยจะมีช่องว่างหรือฟองอากาศภายในเนื้อที่สูงกว่าคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใย ซึ่งช่องว่างหรือฟองอากาศดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อน ทำให้การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยลดต่ำลงได้

#### 4.6 การใช้งานจริง

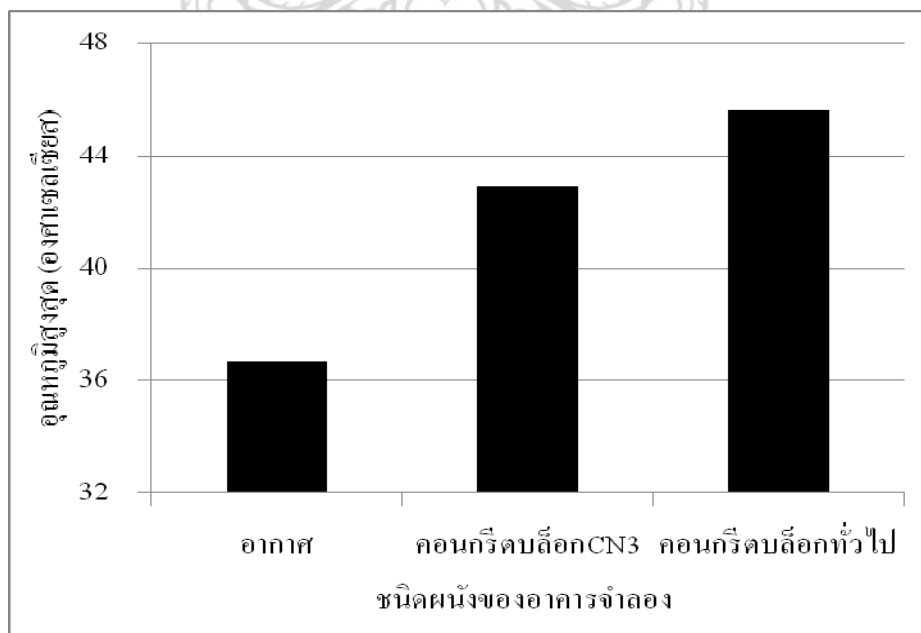
เมื่อทดสอบการใช้งานจริง โดยนำคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ผสมเส้นใยในอัตราส่วนที่เหมาะสม มาก่อเป็นผนังของอาคารจำลองและฉาบด้วยปูนซีเมนต์สำหรับงานฉาบทั่วไป แล้ววัดอุณหภูมิภายในอาคารด้วยเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง เปรียบเทียบกับอาคารจำลองที่ก่อและฉาบด้วยคอนกรีตบล็อกและปูนฉาบทั่วไป สามารถสรุปผลได้ ดังรูปที่ 4.15 ถึง 4.18



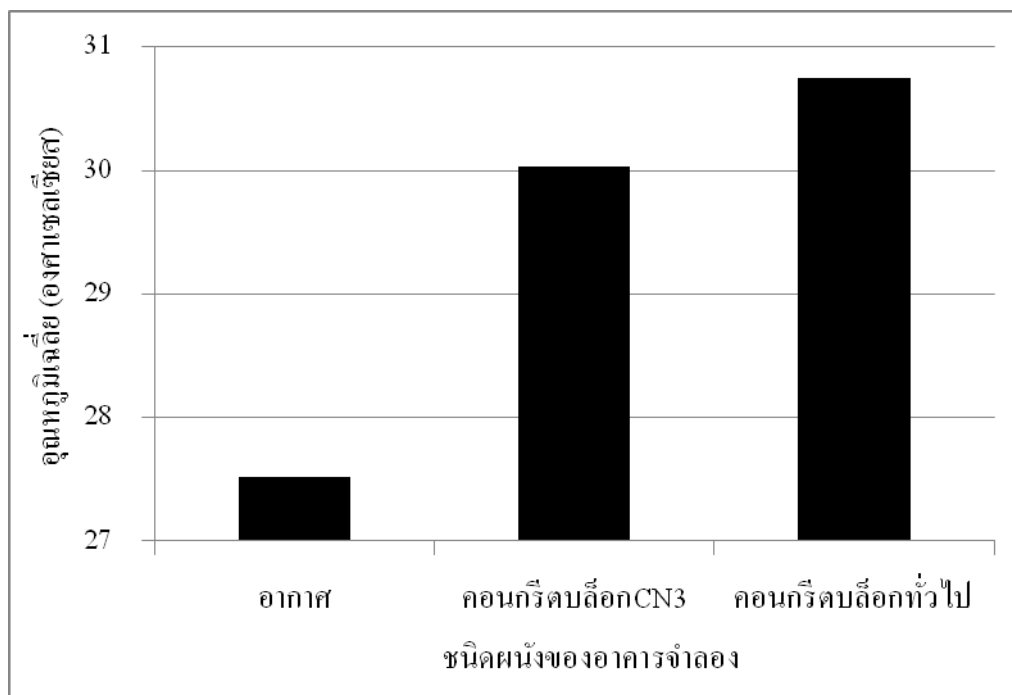
รูปที่ 4.15 อาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ผสมเส้นใยในอัตราส่วน CN3  
เปรียบเทียบกับอาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป



รูปที่ 4.16 อุณหภูมิภายในอาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ผสมเส้นใยในอัตราส่วน CN3 เปรียบเทียบกับอาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป



รูปที่ 4.17 อุณหภูมิสูงสุดภายในอาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ผสมเส้นใยในอัตราส่วน CN3 เปรียบเทียบกับอาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป



**รูปที่ 4.18** อุณหภูมิเฉลี่ยภายในอาคารจำลองที่ก่อกำกับด้วยคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ผสมเส้นใยในอัตราส่วน CN3 เปรียบเทียบกับอาคารจำลองที่ก่อกำกับด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป

จากรูปที่ 4.15 ถึง 4.18 พบว่า อุณหภูมิภายในอาคารจำลองที่ก่อกำกับด้วยคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ผสมเส้นใยในอัตราส่วน CN3 และอาคารจำลองที่ก่อกำกับด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไปไม่มีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้อุณหภูมิภายในอาคารจำลองที่ก่อกำกับด้วยคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ผสมเส้นใยจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอาคารจำลองที่ก่อกำกับด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไปมากพอสมควร ซึ่งเป็นผลมาจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำมากของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยเมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลการทดสอบการใช้ดินขาวผสม กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลดน้ำหนักในผนังคอนกรีตบล็อกนั้น สามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะได้ ดังนี้

#### 5.1 สรุปผล

การใช้ดินขาวผสม กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพดและเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนและลดน้ำหนักในผนังคอนกรีตบล็อก โดยทำการอัดเป็นคอนกรีตขนาด 6.9 x 39 x 19 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก สามารถสรุปผลได้ ดังนี้

ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ผสมเส้นใยต่างๆ จะแปรผกผันกับปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น โดยเมื่อผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนจะมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด รองลงมาคือ เส้นใยต้นข้าวโพด เส้นใยกากมะพร้าว และคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใยตามลำดับ โดยที่ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเส้นใยจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าการไม่ผสมเส้นใยประมาณ 1.2 ถึง 1.7 เท่า

การดูดซึมน้ำและการเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ผสมเส้นใยต่างๆ มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตาม โดยคอนกรีตบล็อกดูดซึมน้ำสูง การเปลี่ยนแปลงความยาวจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยที่เมื่อคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนมีการดูดซึมน้ำและเปลี่ยนแปลงความยาวสูงสุด รองลงมาคือ เส้นใยต้นข้าวโพด เส้นใยกากมะพร้าว และคอนกรีตบล็อกที่ไม่ผสมเส้นใย ตามลำดับ โดยทุกอัตราส่วนผสมผ่านตามาตรฐานของ มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่กำหนดไว้ว่า แหล่งผลิตคอนกรีตบล็อกที่มีความชื้นสัมพัทธ์ น้อยกว่า 50 การหดตัวและขยายตัวทางยาว มากกว่าร้อยละ 0.045 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ ต้องไม่เกินร้อยละ 25 ซึ่งจากผลการทดสอบ การดูดซึมน้ำสูงสุด คือ ร้อยละ 21.41 และการเปลี่ยนแปลงความยาวสูงสุด คือ ร้อยละ 0.070 จากคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยเปลือกทุเรียน

ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาดินขาวผสมเส้นใยต่าง ๆ นั้น ทุกอัตราส่วนจะมีค่าความต้านทานแรงอัดต่ำกว่ามาตรฐานที่ มอก. 58-2533 กำหนดโดยที่คอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใย จะมีค่าความต้านทานแรงอัด ที่อายุ 28 วัน เท่ากับ มาตรฐาน คือ 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งความต้านทานแรงอัดที่ได้จะแปรผกผันกับปริมาณเส้นใยที่เพิ่มมากขึ้น โดยที่คอนกรีตบล็อกกาดินขาวที่ผสมเส้นใยต้นข้าวโพด มีค่าความต้านทานแรงมากที่สุด เท่ากับ 15.27 กิโลกรัมต่อ

ตารางเซนติเมตร รองลงมาคือ คอนกรีตบล็อกกาหินขาวที่ผสมกากมะพร้าวมีค่าความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 13.66 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และคอนกรีตบล็อกกาหินขาวที่ผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนมีค่าความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 13.18 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

ความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน หรือที่พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ คอนกรีตบล็อกกาหินขาวที่ผสมเส้นใยชนิดต่างๆ พบว่า เส้นใย ทั้ง 3 ชนิด สามารถช่วยในเรื่องความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนให้กับคอนกรีตบล็อกกาหินขาวได้เป็นอย่างดี ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำ จะมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี โดยเส้นใยทุเรียนสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนได้ต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกกาหินขาวที่ไม่ผสมเส้นใยสูงสุดถึง ร้อยละ 33.16 รองลงมาคือ เส้นใยต้นข้าวโพด ที่สามารถลดได้ ร้อยละ 29.95, และเส้นใยกากมะพร้าว ที่สามารถลดได้ ร้อยละ 26.74 ตามลำดับ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าคอนกรีตบล็อกที่ได้ หากนำไปใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป หรือดูจากลักษณะภายนอกและการใช้งานแล้ว จะสามารถนำไปใช้งานได้ แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ มอก. 58-2533 เรื่อง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก พบว่า ทั้งค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ร้อยละการดูดซึมน้ำ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด และยังมีข้อดีที่ความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกปกติที่ไม่ผสมเส้นใย จะมีข้อเสียเปรียบอยู่บ้างในด้านของการรับกำลัง ซึ่งคอนกรีตบล็อกที่ผสมเส้นใย ยังมีค่าที่ไม่ถึงกำหนดอยู่เล็กน้อย ซึ่งปัญหาดังกล่าวจะสามารถแก้ไขได้โดยการลดปริมาณของเส้นใยให้น้อยลง หรืออาจเลือกใช้เส้นใยชนิดอื่นที่มีความหนาแน่นมากกว่า และการเปลี่ยนชนิดของกาหินขาว จากที่มีเม็ดละเอียดอยู่มาก เป็นกาหินขาวเม็ดหยาบ หรือกาหินขาวที่มีลักษณะเป็นกรวดหรือทราย มีความเป็นไปได้อย่างสูงที่จะช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีความแข็งแรงมากขึ้นได้ อีกทั้งการอบเส้นใยให้แห้ง ก่อนที่จะนำมาผสมก็จะช่วยให้คอนกรีตบล็อกกาหินขาวมีความดูดซึมน้ำและการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่าเดิมได้อีกด้วย

## บรรณานุกรม

- [1] สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สสอ.). 2553. **ฉนวนความร้อน**. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www2.dede.go.th/dede/homesafe/book/acc.htm>.
- [2] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และกรมการปกครอง. 2546. **รายงานพลังงานของประเทศไทย ประจำปี 2544**. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และกรมการปกครอง.
- [3] อุบลศรี ชัยสาม และ เขียวลักษณ์ นิสิตภา. 2537. **คุณลักษณะของแร่ตามมาตรฐานการใช้งานและมาตรฐานการซื้อขายในตลาดแร่**. ฝายข้อมูลและสถิติ กองวิชาการและวางแผน กรมทรัพยากรธรณี. พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 140-155.
- [4] Sayamipuk, S.. 2000. **Development of Durable Mortar and Concrete Incorporating Matakaolin from Thailand**. Ph.D.Thesis. Asian Institute of Technology.
- [5] Badogiannis, E., Papadaki, V. G., Chaniotakis, E., and Tsivilis, 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 สุวคันธกุล, และสุดใจ เหง้าสีไพร. 2550. **การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเส้นใยมะพร้าว**. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2550. หน้า 77-87.
- [8] สถาบันคลังสมองของชาติ. 2548. **Policy Brief**. ปีที่ 2 ฉบับที่ 3 เดือนพฤศจิกายน 2548.
- [9] อานุกาพ นุ่นสง. 2551. **ข้าวโพดซีฟรุ๊กป่า จับตาวิกฤตความมั่นคงทางอาหาร**. สำนักข่าวประชาธรรม. ฉบับวันที่ 28 เมษายน 2551. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.newspnn.com>.
- [10] วารุณี พานิชผล และวลัยกานต์ เจียมเจตจรูญ. 2541. **ประมวลข้อมูลสถิติที่สำคัญของประเทศไทย พ.ศ.2541**. ตารางคุณค่าทางอาหารสัตว์. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 29 หน้า.

- [11] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2533. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ( มอก. 58 – 2533 )**. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- [12] ภาพพจน์ แก้วสีขาวและคณะ. 2548. **ผลกระทบของดินขาวต่อกำลังของมอร์ตาร์ซีเมนต์ผสม.ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.**
- [13] ญกร พยัคฆพงษ์และคณะ. 2548. **การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตผสมดินขาวเผาและ/หรือเถ้าแกลบ. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.**
- [14] เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ และคณะ. 2548. **การนำกากของเสียมาใช้ประโยชน์แทนที่บางส่วนในการผลิตคอนกรีตบล็อก. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.**
- [15] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2547. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ (มอก. 15 เล่ม 1-2547)**. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- [16] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2517. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีต (มอก. 109 – 2517)**. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- [17] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2517. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก (มอก. 110 – 2517)**. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- [18] ชูตาภรณ์ การ์เมน. 2553. **เรื่องของเส้นใย**. ฉบับวันที่ 20 ตุลาคม 2553. [ออนไลน์] เข้าถึงจาก <http://www.chu-g.com/index.php?lay=show&ac=article&id=531280&ntype=1>.

ภาคผนวก



ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกภาคดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ  
(กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

อัตราส่วน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
CB0	1,136	1,103	1,147	1,092	1,058	1,081	1,159	1,170	1,069	1,125	1,114
CC1	869	851	923	941	914	905	932	878	860	887	896
CC2	813	759	751	798	743	774	805	790	766	821	782
CC3	745	694	752	730	709	737	716	759	687	701	723
CN1	894	877	826	851	817	886	869	834	903	843	860
CN2	746	769	753	723	784	731	799	776	738	791	761
CN3	680	666	722	736	715	708	729	687	673	694	701
DR1	881	822	813	864	805	839	872	855	830	889	847
DR2	755	741	697	719	690	748	733	704	762	711	726
DR3	658	678	664	637	691	644	705	684	651	698	671

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตบดสี่เหลี่ยมคางหมูผสมเส้นใยต่างๆ  
(ร้อยละ)

อัตราส่วน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
CB0	0.16	0.16	0.18	0.18	0.17	0.17	0.18	0.17	0.16	0.17	0.17
CC1	0.25	0.23	0.23	0.24	0.23	0.24	0.25	0.24	0.24	0.25	0.24
CC2	0.39	0.36	0.40	0.38	0.37	0.39	0.38	0.40	0.36	0.37	0.38
CC3	0.57	0.56	0.53	0.54	0.52	0.57	0.56	0.53	0.58	0.54	0.55
CN1	0.54	0.53	0.50	0.51	0.49	0.54	0.53	0.50	0.55	0.51	0.52
CN2	0.55	0.57	0.55	0.53	0.58	0.54	0.59	0.57	0.54	0.58	0.56
CN3	0.71	0.66	0.72	0.70	0.68	0.70	0.68	0.72	0.66	0.67	0.69
DR1	0.57	0.56	0.53	0.54	0.52	0.57	0.56	0.53	0.58	0.54	0.55
DR2	0.61	0.57	0.61	0.60	0.58	0.60	0.58	0.62	0.56	0.57	0.59
DR3	0.73	0.71	0.67	0.69	0.67	0.72	0.71	0.68	0.74	0.69	0.70

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกกาศดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ  
(วัดต่อเมตร.เคลวิน)

อัตราส่วน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
CB0	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20	0.18	0.19	0.19
CC1	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.17
CC2	0.15	0.14	0.14	0.15	0.14	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15
CC3	0.14	0.13	0.14	0.14	0.13	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.14
CN1	0.17	0.16	0.15	0.16	0.15	0.16	0.16	0.15	0.17	0.16	0.16
CN2	0.14	0.15	0.14	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15	0.14
CN3	0.13	0.12	0.13	0.14	0.13	0.13	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13
DR1	0.16	0.15	0.15	0.16	0.15	0.16	0.16	0.16	0.15	0.16	0.16
DR2	0.14	0.14	0.13	0.14	0.13	0.14	0.14	0.13	0.15	0.14	0.14
DR3	0.12	0.13	0.12	0.12	0.13	0.12	0.13	0.13	0.12	0.13	0.13



ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบดลือกากดินขาว อัตราส่วน CB0  
(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

CB0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14 วัน	10.42	9.82	10.22	9.92	10.02	10.63	10.32	10.52	9.72	9.61	10.12
21 วัน	13.50	14.62	13.92	14.20	14.76	14.34	13.36	14.48	13.78	13.64	14.06
28 วัน	21.11	20.91	20.71	21.32	19.69	20.50	19.89	20.10	19.29	19.49	20.30



ตารางที่ 5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบดลือกากดินขาว อัตราส่วน CC1  
(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

CC1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14 วัน	7.91	7.52	7.67	7.60	8.14	8.22	7.44	8.06	7.75	7.99	7.83
21 วัน	8.66	8.93	8.31	8.58	8.40	8.49	9.19	9.10	8.84	9.01	8.75
28 วัน	11.33	12.05	12.29	12.41	11.81	12.17	11.57	11.69	12.53	11.45	11.93



ตารางที่ 6 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบดลือกากดินขาว อัตราส่วน CC2  
(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

CC2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14 วัน	8.15	8.24	7.90	8.40	8.57	8.74	7.99	8.49	8.65	8.07	8.32
21 วัน	11.12	10.06	10.80	10.48	10.91	10.38	10.17	10.27	11.01	10.70	10.59
28 วัน	13.13	12.48	12.23	13.51	12.36	13.00	12.61	13.38	13.26	12.74	12.87



ตารางที่ 7 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบดลือกากดินขาว อัตราส่วน CC3  
(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

CC3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14 วัน	9.59	9.31	9.68	9.21	8.93	9.12	9.78	9.87	9.02	9.49	9.40
21 วัน	11.18	10.95	11.88	12.11	11.76	11.65	11.99	11.30	11.07	11.41	11.53
28 วัน	14.21	13.25	13.11	13.93	12.98	13.52	14.07	13.80	13.39	14.34	13.66



ตารางที่ 8 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบดสีอ็อกากากดินขาว อัตราส่วน C/N1

(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

C/N1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14 วัน	8.42	7.84	8.50	8.25	8.01	8.33	8.09	8.58	7.76	7.92	8.17
21 วัน	11.92	11.69	11.00	11.35	10.89	11.80	11.57	11.12	12.03	11.23	11.46
28 วัน	12.24	12.61	12.37	11.87	12.86	11.99	13.11	12.74	12.12	12.99	12.49



ตารางที่ 9 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาหินขาว อัตราส่วน CN2

(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

CN2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14 วัน	8.66	9.01	8.58	9.19	8.31	8.93	9.10	8.84	8.40	8.49	8.75
21 วัน	10.93	11.86	12.09	11.28	11.74	11.16	11.97	11.39	11.05	11.63	11.51
28 วัน	13.39	13.25	14.08	13.94	13.11	14.35	14.21	14.49	13.52	13.66	13.80



ตารางที่ 10 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาจดินขาว อัตราส่วน CN3

(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

CN3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14 วัน	9.69	9.03	9.79	9.50	9.22	9.60	9.32	9.88	8.94	9.13	9.41
21 วัน	13.17	12.91	12.15	12.53	12.03	13.04	12.79	12.28	13.29	12.41	12.66
28 วัน	14.96	15.42	15.12	14.51	15.73	14.66	16.03	15.58	14.81	15.88	15.27



ตารางที่ 11 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาจดินขาว อัตราส่วน DR1

(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

DR1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14 วัน	8.15	7.59	8.23	7.99	7.75	8.07	7.83	8.31	7.51	7.67	7.91
21 วัน	9.63	9.45	8.89	9.17	8.80	9.54	9.35	8.98	9.72	9.07	9.26
28 วัน	12.36	12.74	12.48	11.98	12.99	12.11	13.24	12.86	12.23	13.11	12.61





ตารางที่ 12 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาจดินขาว อัตราส่วน DR2

(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

DR2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14 วัน	8.63	8.04	8.72	8.46	8.21	8.55	8.30	8.80	7.96	8.13	8.38
21 วัน	9.83	9.64	9.07	9.36	8.98	9.73	9.54	9.17	9.92	9.26	9.45
28 วัน	12.59	12.98	12.72	12.21	13.24	12.34	13.49	13.11	12.46	13.36	12.85



ตารางที่ 13 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกกาจดินขาว อัตราส่วน DR3

(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

DR3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
0 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14 วัน	9.45	8.80	9.54	9.26	8.99	9.35	9.08	9.63	8.71	8.89	9.17
21 วัน	11.29	11.08	10.43	10.75	10.32	11.19	10.97	10.53	11.40	10.64	10.86
28 วัน	12.92	13.31	13.05	12.52	13.58	12.65	13.84	13.44	12.78	13.71	13.18



ตารางที่ 16 ผลการทดสอบอุณหภูมิอากาศจำลองจากการใช้งานจริง  
(องศาเซลเซียส)

ช่วงเวลา	เวลา (นาฬิกา)	อากาศ	คอนกรีตบล็อกCN3	คอนกรีตบล็อกทั่วไป
1	0:00	21.30	21.40	21.30
2	2:00	21.00	21.00	21.00
3	4:00	20.30	20.30	20.30
4	6:00	25.40	25.30	25.00
5	8:00	27.10	28.10	29.20
6	10:00	32.10	36.80	38.10
7	12:00	35.50	40.70	42.40
8	14:00	36.70	42.90	45.60
9	16:00	34.60	44.70	46.70
10	18:00	29.20	35.40	36.10
11	20:00	28.00	30.10	30.20
12	22:00	25.00	26.30	26.10
13	0:00	22.60	22.80	22.70
14	2:00	20.90	20.90	20.90
15	4:00	20.40	20.40	20.40
16	6:00	25.60	26.00	26.10
17	8:00	29.30	30.30	31.00
18	10:00	32.20	36.20	37.80
19	12:00	35.60	40.90	43.30
เฉลี่ย		27.52	30.03	30.75