

## อิทธิพลของขนาดเส้นใยมะพร้าวที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตบล็อก ชนิดไม่รับน้ำหนักผสมเส้นใยมะพร้าว

### Effect coconut fiber size on mechanical properties of non-weighted concrete blocks mixed with coconut fibers

ลาวัลย์ ชันเกษตร<sup>1\*</sup>, ชลธิชา จีบตะคุ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ; kkklawan@yahoo.com

#### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้คือการพัฒนาคอนกรีตบล็อกให้มีน้ำหนักเบาและมีค่าการนำความร้อนต่ำจากเส้นใยมะพร้าว การศึกษาที่พิจารณาที่ขนาดของเส้นใยมะพร้าวที่แตกต่างกันหลายขนาดโดยทำการร่อนเส้นใยมะพร้าวผ่านตะแกรง โดยมี ขนาดอยู่ที่ค้ำตะแกรงเบอร์4 ผ่านตะแกรงเบอร์4 ค้ำตะแกรงเบอร์8 และผ่านตะแกรงเบอร์8 ตามกระบวนการผลิตจากโรงงานประจำท้องถิ่น ซึ่งขอบเขตการศึกษาของชิ้นตัวอย่างประกอบด้วย ค่าการนำความร้อน ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าความหนาแน่น ผลการทดสอบพบว่าการใช้เส้นใยมะพร้าวขนาดผ่านตะแกรงเบอร์4 เป็นส่วนผสมที่สามารถลดค่าการนำความร้อนและน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างที่เบาที่สุดมีค่าเท่ากับ 4.9 kg ต่อหนึ่งชิ้นตัวอย่าง ซึ่งคุณสมบัติของคอนกรีตที่มีเส้นใยมะพร้าวขนาดผ่านตะแกรงเบอร์4 เป็นส่วนผสมมีค่าคุณสมบัติต่าง ๆตามขอบเขตของการศึกษา ดังนี้ ค่าการนำความร้อนมีค่าเท่ากับ 0.512 W/m.K ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเท่ากับ 11.914 kg/cm<sup>2</sup> ค่าความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 944.67 kg/m<sup>3</sup> และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเท่ากับ 3.09 % คอนกรีตบล็อกที่ใช้เส้นใยมะพร้าวขนาดผ่านตะแกรงเบอร์4 มีค่าการนำความร้อนต่ำ และมีน้ำหนักที่เบาเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นผนังอาคารสำหรับการประหยัดพลังงานเมื่อนำมาใช้เป็นผนังอาคารกันความร้อน

**คำสำคัญ :** ขนาดเส้นใยมะพร้าว , คุณสมบัติเชิงกล , คอนกรีตบล็อก

#### Abstract

The main purpose of this research is to develop concrete blocks to be lightweight and have low thermal conductivity from coconut fibers. This study looked at several different sizes of coconut fibers by sifting coconut fibers through a sieve, with the size at stale no. 4 through the number 4 sieve. Freeze grating no. 8 and pass through sieve no. 8 according to the production process from the local factory, where the scope of study of the sample includes: Thermal conductivity Compressive strength Water absorption and density Tests showed the use of coconut-sized fiber through sieve no.4. It is an ingredient that can reduce the thermal conductivity and weight of the lightest sample piece is equal to 4.9 kg per sample piece, which has the properties of concrete with coconut fibers in size through a sieve no.4. As an ingredient, there are

various properties according to the scope of the study as follows: The thermal conductivity value is 0.512 W/m.K. the compressive strength is 11.914 kg/cm<sup>2</sup>, the density is 944.67 kg/m<sup>3</sup>, and the water absorption value is 3.09 %. The light weight is suitable to form a building wall for energy saving when used as a heat-proof building wall.

**Keywords :** Coconut fiber size, Mechanical properties, concrete blocks

## 1. บทนำ (Introduction)

ในปัจจุบันพลังงานมีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาทางด้านธุรกิจและอุตสาหกรรม ราคาพลังงานมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากแหล่งพลังงานลดน้อยลง รวมทั้งราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นและในขณะเดียวกันการใช้พลังงานก็มีมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่ประสบกับปัญหาดังกล่าว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาแนวทางลดการใช้พลังงานและค่าใช้จ่าย ทางด้านพลังงาน และแนวทางหนึ่งคือการพิจารณาการประหยัดพลังงานในอาคารและบ้านเรือน ซึ่งการปรับปรุงดังกล่าวจะส่งผลให้การใช้พลังงานลดลง เนื่องจากการใช้วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน[1],[2],[3] เช่น การสิ้นเปลืองจากค่าไฟฟ้าที่เกิดจากเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร มะพร้าวเป็นพืชที่นิยมปลูกกันมากในทุกภาคของประเทศ และมีพื้นที่ปลูกรวมทั้งประเทศ 2,163,439 ไร่ พื้นที่ให้ผลผลิต 1,917,287 ไร่ ผลผลิต 1,947,964 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 1,016 กิโลกรัมต่อไร่ จากปริมาณผลผลิตมะพร้าวดังกล่าวทำให้มีปริมาณเปลือกมะพร้าวเหลือทิ้งในปริมาณมาก[4] โดยมีเส้นใยที่ได้จากเปลือกมะพร้าว และขุยมะพร้าวด้านใน วัสดุทั้ง 2 ชนิด เป็นวัสดุธรรมชาติที่ไม่มีสารพิษ เส้นใยมะพร้าว เป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้นค่อนข้างยาว สามารถต้านทานปฏิกิริยาจากจุลินทรีย์ ทนการกัดกร่อนจากน้ำเค็มได้ดี[5] นิยมนำไปใช้ประโยชน์จากอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เช่น เชือกและที่นอน เป็นต้น และยังส่งผลให้เกิดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจึงทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมหากไม่มีการกำจัดที่เหมาะสม

มีงานวิจัยมากมายที่นำวัสดุเหลือใช้มาทำวัสดุให้เกิดประโยชน์[6],[7],[8],[9],[10] แนวคิดของงานวิจัยนี้จึงจะพัฒนาคอนกรีตบล็อกที่มีองค์ประกอบของเส้นใยมะพร้าว ซึ่ง

จะทำให้คอนกรีตบล็อกที่ได้มีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ และน้ำหนักเบา ลดการใช้พลังงานในส่วนบ้านพักอาศัย และได้วัสดุก่อสร้างราคาถูกและเหมาะสมกับชุมชน

## 2. วิธีการวิจัย (Methodology)

### 2.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ หินฝุ่น น้ำ เส้นใยมะพร้าวที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 4 ผ่านเบอร์ 4 ค้ำตะแกรงเบอร์ 8 และค้ำเบอร์ 8 ดังภาพที่ 1 เครื่องผสมคอนกรีต ตะแกรงร่อนวัสดุ เครื่องชั่งน้ำหนัก แบบหล่อคอนกรีต เครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing Machine ; UTM) เครื่องทดสอบการนำความร้อน เครื่องตัดเส้นใย ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 วัสดุที่ใช้การทดลอง



ภาพที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

## 2.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม

การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตบล็อก จำนวน 4 อัตราส่วน โดยทำการนำเส้นใยมะพร้าวขนาดค้ำตะแกรงเบอร์ 4 ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ค้ำตะแกรงเบอร์ 8 และผ่านตะแกรงเบอร์ 8 เป็นส่วนผสมแทนทราย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมต่อ 1 โม้ของเครื่องผสมท้องถิ่น

ขนาดเส้นใย	หินปูน kg	น้ำ kg	ปูนซีเมนต์ kg	เส้นใยมะพร้าว kg
ค้ำ#4	100	30	24	8
ผ่าน#4	100	30	24	8
ค้ำ#8	100	30	24	8
ผ่าน#8	100	30	24	8

## 2.3 การเตรียมตัวอย่างส่วนผสมและการขึ้นรูป

การเตรียมตัวอย่างส่วนผสมคอนกรีตบล็อก ใช้ส่วนผสมปูนซีเมนต์ หินปูน น้ำ และเส้นใยมะพร้าวตามตารางที่ 1 แล้วนำส่วนผสมทั้งหมดใส่ในเครื่องผสมและเครื่องขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก ของท้องถิ่นตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 5 ก้อน ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเตรียมตัวอย่างส่วนผสมและการขึ้นรูป

## 2.4 การทดสอบคอนกรีตบล็อก

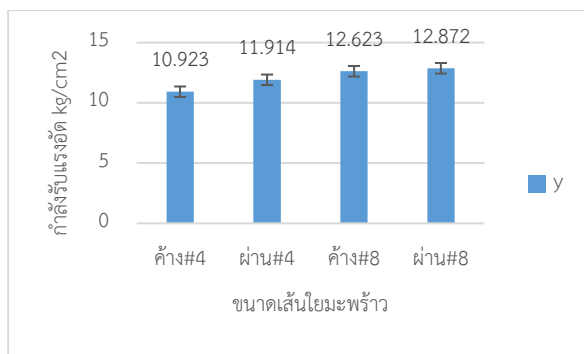
การทดสอบคอนกรีตบล็อกทำการทดสอบตามมาตรฐานของสมาคมเพื่อการทดสอบและวัสดุของอเมริกา (ASTM) [11] เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมญี่ปุ่น (JIS) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย (มอก.) [12], [13] ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ การทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C129 และ มอก. 58-2533 การทดสอบการดูดซึมน้ำ มอก. 77-2545 การทดสอบความหนาแน่น ASTM C90 ส่วนการทดสอบค่าการนำความร้อน ดำเนินตามมาตรฐานเครื่องมือที่ทำการทดสอบมาตรฐาน JIS C1602

## 3. ผลการวิจัย (Results)

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลตามมาตรฐาน มอก.58-2533 และมาตรฐานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องจากการหาค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังต่อไปนี้

### 3.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

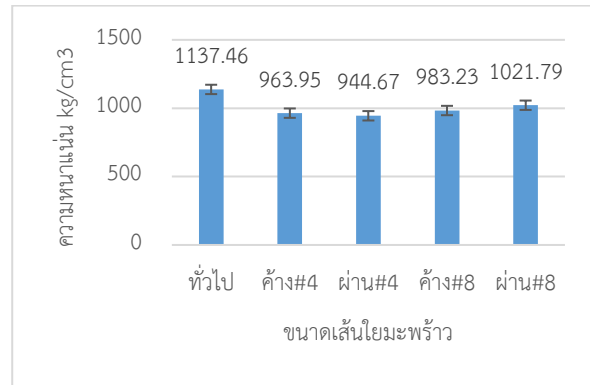
จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าว ทั้ง 4 ขนาด โดยมีการคำนวณค่า Standard error (SE) ซึ่งในแต่ละขนาดมีค่าเท่ากับ 0.25 0.22 0.21 และ 0.27 เมื่อเปรียบเทียบกันสามารถสรุปได้ว่าเส้นใยมะพร้าวที่มีขนาดที่ละเอียดมากจะสามารถรับกำลังอัดได้มากกว่าขนาดของเส้นใยที่มีความหยาบ และมีขนาดใหญ่ จากผลการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งจะพบว่าคอนกรีตบล็อกที่มีเส้นใยมะพร้าวขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 8 เป็นส่วนผสมสามารถรับกำลังแรงอัดได้มากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 12.872 kg/cm<sup>2</sup>



ภาพที่ 4 ขนาดของเส้นใยและค่ากำลังรับแรงอัด

### 3.2 การทดสอบความหนาแน่น

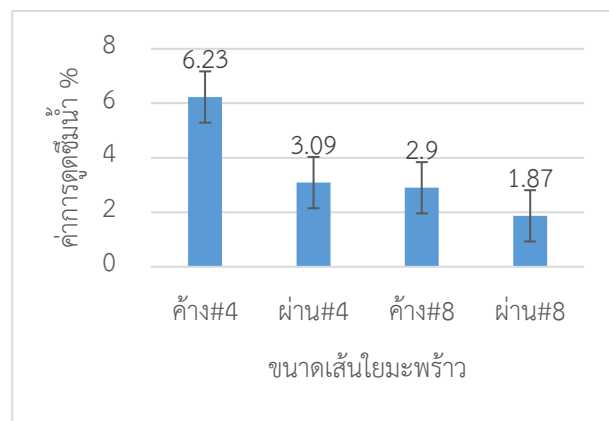
ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าว ทั้ง 4 ขนาดโดยมีการคำนวณค่า Standard error (SE) ซึ่งในแต่ละขนาดมีค่าเท่ากับ 0.35 0.56 0.61 และ 0.67 มีผลการทดสอบดังแสดง ในภาพที่ 5 พบว่าขนาดของเส้นใยมะพร้าวที่มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เป็นขนาดที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 944.67 kg/cm<sup>3</sup> เนื่องจากขนาดของเส้นใยเป็นขนาดที่เหมาะสมในการนำมาผสมในคอนกรีตบล็อก ซึ่งมีขนาดที่พอเหมาะต่อการนำมาเป็นส่วนผสม และสิ่งที่พบจากผลการทดสอบนี้อีกประการหนึ่งคือค่าความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าวทุกขนาดมีค่าความหนาแน่นที่น้อยกว่ามาตรฐานกำหนดไว้ซึ่งไม่เกิน 1680 kg/cm<sup>3</sup> ในประเภทน้ำหนักเบา[12]



ภาพที่ 5 ขนาดของเส้นใยและค่าความหนาแน่น

### 3.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

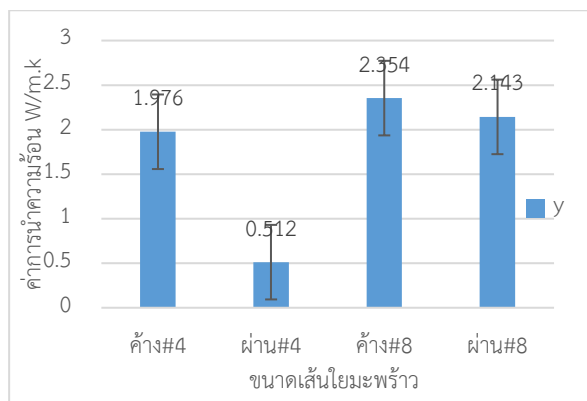
ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าว ทั้ง 4 ขนาดโดยมีการคำนวณค่า Standard error (SE) ซึ่งในแต่ละขนาดมีค่าเท่ากับ 0.45 0.56 0.51 และ 0.37 จะมีความแปรผันผกผันกับความละเอียดของขนาดของเส้นใยมะพร้าว ซึ่งจะพบว่าขนาดของเส้นใยที่มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 8 จะมีค่าการดูดซึมน้ำที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.87 % เนื่องจากความละเอียดของเส้นใยมะพร้าวที่มีขนาดเล็กซึ่งมีความหนาแน่นมากจึงทำให้น้ำไม่สามารถซึมเข้าไปได้ง่าย ต่างกับเส้นใยมะพร้าวขนาดอื่น ๆ ที่มีความหยาบและมีช่องว่างมาก น้ำจึงสามารถซึมเข้าไปได้ง่ายกว่าดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ขนาดของเส้นใยและค่าการดูดซึมน้ำ

### 3.4 การทดสอบค่าการนำความร้อน

สภาพการนำความร้อน หรือเรียกอีกอย่างว่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าว โดยค่าสภาพการนำความร้อนที่น้อยแสดงว่ามีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีโดยมีการคำนวณค่า Standard error (SE) ซึ่งในแต่ละขนาดมีค่าเท่ากับ 1.35 1.26 1.62 และ 1.07 สามารถสรุปได้ ดังภาพที่ 7 พบว่าคอนกรีตบล็อกที่มีเส้นใยมะพร้าวขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เป็นส่วนผสมมีค่าการนำความร้อนที่น้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.512 W/m.K จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขนาดของเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เป็นขนาดที่มีขนาดเส้นใยที่ไม่ละเอียดจนเกินไปสามารถประสานกับส่วนผสมอื่นได้อย่างพอเหมาะต่อความสามารถในการนำความร้อนได้น้อยที่สุด[14]



ภาพที่ 7 ขนาดของเส้นใยและค่าการนำความร้อน

### 4. การอภิปราย (Discussion)

จากการทดสอบเพื่อหาขนาดของเส้นใยมะพร้าวที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเส้นใยมะพร้าว ทั้ง 4 ขนาด พบว่า ด้านสภาพทั่วไป น้ำหนัก การดูดซึมน้ำ การรับกำลังแรงอัด ความหนาแน่น และสภาพการนำความร้อน เมื่อเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ในการวิจัย พบว่าค่าที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าการนำความร้อน และค่าการดูดซึมน้ำ ในส่วนของด้านการรับกำลังที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานเนื่องจากเมื่อมีค่าความหนาแน่นน้อยลงย่อมส่งผลให้ค่าการรับกำลังน้อยลงไปด้วย และในส่วนของการนำความร้อนนั้นเนื่องจากในเส้นใยมะพร้าวมี

เซลลูโลสทำให้วัสดุมีความเป็นฉนวนซึ่งเส้นใยมะพร้าวมีค่าใกล้เคียงกับไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็ง [15],[16] และยังเพิ่มช่องว่างในคอนกรีตบล็อกทำให้เพิ่มคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีขึ้น

### 5. สรุปผล (Conclusion)

คอนกรีตบล็อกผสมเส้นใยมะพร้าวขนาดต่าง ๆ ตามผลการวิจัยพบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมเส้นใยมะพร้าวขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 โดยมีขนาด 4.75 mm. คือขนาดที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการทำคอนกรีตบล็อกมากที่สุดเนื่องจากมีค่าคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมที่สุดและเมื่อเทียบกับมาตรฐานก็ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานในหลายด้าน และมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำที่สุดอีกด้วย

### 6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถานประกอบการ ซึ่งเป็นสถานประกอบการขนาดเล็กดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตอิฐบล็อก และต่อเติมโครงสร้างอาคาร ท่างหุ้มส่วนจำกัด ทิทเอน คอนสตรัคชั่น เลขที่ 14 หมู่ที่ 3 ตำบลไร่รอด อำเภอดอนเจดีย์ จังหวัดสุพรรณบุรี 72170

### 7. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Fordos,Z., Natural or Modified Cellulose of fiber as reinforced in Cement Composites. Natural Fiber Reinforced Cement and Concrete, Swamy, R.N., 1sted., Blackie and Son Limited, Glasgow and London,(1998), pp.173-206.
- [2] Agopyan, V., "Vegetable Fiber Reinforced Building Materials-Developments in Brazil and Other Latin American Countries", Natural Fiber Reinforced Cement and Concrete, Swamy,R. N. , 1 sted. , Blackie and Son Limited, Glasgow and London, (1998), pp.208-242.
- [3] Rehsi,S.S., "Use of Natural Fiber Concrete in India", Natural Fiber Reinforced Cement and Concrete, Swamy. R.N. , 1 sted., Blackie and Son

- Limited, Glasgow and London,(1988), pp.243-255.
- [4] Office of the Higher Education Commission. Development of Light- weight Materials from Coconut Fiber, Project of Research and Technology Transfer of Coconut. Bangkok: Research Network in Lower Central of Thailand, Office of the Higher Education Commission; 2004. (in Thai)
- [5] Asasutjarit, C. , Hirunlabh, J. , khedari, J. , Charoenvai, S. , Zeghmati, B. , & Shin, U. C. , Development of coconut coir-based lightweight cement board. Construction and Building Materials. 2007; 21(2): 277–288.c
- [6] คมกฤษ โพธิ์รัมย์เย็น,การนำเรซินเชื่อมสภาพจากโรงงานน้ำตาลมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างประเภทมวลเบา, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น : (2548), หน้า 1-8
- [7] วิพล ไชยชนะ การทำอิฐมอดูดินซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม : (2545), หน้า 1-12
- [8] พรชัย เกษมกิจวัฒนา, ภาณุพงษ์ นกแก้ว, สรวารณห์ ทับทิมทอง และอนันต์ สุวรรณสารกุล, การพัฒนาอิฐดินซีเมนต์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น: (2541), หน้า 1-6
- [9] พรนภา วาสนาสถาพร, การพัฒนาบล็อกซีเมนต์ไฟเบอร์เบสที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ,วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี : (2545), หน้า 1-10
- [10] ปกรณ์ งามพร้อม, วุฒิชัย ศรีนิยม และทวีศักดิ์ ผุดมาก ,บล็อกประสานผสมโฟม, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ : (2550), หน้า 1-15
- [11] American society for testing and materials, ASTM Chemical-resistant materials, vitrified clay, concrete, fiber- cement products, mortars, masonry, (1998), pp. 93-98
- [12] สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มอก. 58-2533: (2533), หน้า 12
- [13] สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77-2554: (2554), หน้า 12
- [14] Pakunworakij T. , Puthipiroj P. , Oonjittichai W. Challenges in the New Millennium. Pearson Prentice Hall. and Tisavipat P. Thermal resistance efficiency of building insulation material from agricultural waste. Journal of Architectural/ Planning Research and Studies. (2006), pp.119-126.
- [15] Akihiro, H., et.al., “Wet disk milling pretreatment without sulfuric acid for enzymatic hydrolysis of rice straw,” Bioresource Technology. 2009; pp. 2706-2711
- [16] Daljit, S. A. , Mukest, C. and Parajit K. G. , “ Involvement of lignin peroxidase,mangancse peroxidase and laccase in degradation and selective ligninolysis of wheat staw,” International Biodeterioration & Biodegradation. 2002; pp. 15-20