Journal of Thailand Concrete Association
วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

# GUIDELINES AND POSSIBILITIES FOR THE APPLICATION OF BIOMASS MATERIALS FOR CONCRETE BLOCK PRODUCTION

# แนวทางและความเป็นไปได้สำหรับการประยุกต์ใช้วัสดุชีวภาพในการผลิตอิฐก่อผนัง

ณัฐวุฒิ อินทบุตร[1]

[1]อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

**ARTICLE INFO:**

*Received:August October 24, 2017*
*Received Revised Form:*
*October 27, 2017*
*Accepted: October 31, 2017*

**ABSTRACT:**

This paper aims to present the possibilities for using biomass materials to concrete block production. The guidelines and knowledge have been proposed by many researchers. It has been found that the biomass materials acted as a cementitious material which could be used for partially replacing cement amount in mix proportions. The use of renewable cementitious materials needed intensive consideration of materials amount mix proportions. Because compressive strength of concrete block significantly decreased due to the increase in amount of biomass materials which result in low quality products. In addition to the use of bound material from biomass ash replace the cement, the use of fiber from crushed natural materials as a mixing in concrete block production also contributes to the thermal resistance of the building as a result of the increased amount of fiber. However, the increase of the fiber volume resulted in lower compressive strength of the concrete block which was not satisfied the industrial standard. Therefore, it is possible to use biomass materials as a mixing in the concrete block production but the mix proportions have to be carefully considered. It is in order to obtain the quality standard materials, developed commercially and add value to waste materials. It leads to the innovation of new materials for construction.

**KEYWORDS:**Biomass Materials, Cementitious Material, Concrete Block, Thermal Resistance, Materials Innovation

**Corresponding Author,*
*Email address: nuttawut_took@hotmail.com*


©2017 J. of TCA All rights reserved

**บทคัดย่อ:**

บทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำเสนอความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุทางชีวภาพมาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐเพื่อใช้ในการก่อผนัง โดยได้รวบรวมแนวทางและองค์ความรู้มาจากนักวิจัยหลายๆท่าน พบว่าวัสดุจำพวกเถ้าชีวภาพทำหน้าที่เป็นวัสดุเชื่อมประสานทดแทนปูนซีเมนต์ได้ ทั้งนี้การเลือกใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านของสัดส่วนที่พอเหมาะ เพราะถ้ามีปริมาณมากเกินไปก็จะส่งผลให้วัสดุไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน นอกจากการใช้วัสดุเชื่อมประสานจากเถ้าชีวภาพในการทดแทนปูนซีเมนต์แล้ว การใช้เส้นใยจากวัสดุธรรมชาติบดละเอียดมาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐก่อผนังยังมีส่วนช่วยในการต้านทานความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของเส้นใยอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของเส้นใยในปริมาณมากส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของอิฐลดลงจนต่ำกว่ามาตรฐานด้วย ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการเลือกใช้วัสดุทางชีวภาพมาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐก่อผนัง แต่ต้องมีสัดส่วนที่พอเหมาะ เพื่อให้ได้วัสดุที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน เป็นการพัฒนาต่อยอดในเชิงพาณิชย์ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุที่เหลือทิ้ง นำไปสู่การสร้างนวัตกรรมให้กับวัสดุก่อสร้างอีกทางหนึ่งด้วย

**คำสำคัญ:**วัสดุชีวภาพ วัสดุเชื่อมประสาน อิฐก่อผนัง การต้านทานความร้อนนวัตกรรมวัสดุ

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันโลกของเราประสบปัญหาต่างๆมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะส่งผลกระทบในด้านต่างๆตามมา เช่น เกิดภาวะโลกร้อน (global warming) เกิดขยะ เกิดมลพิษ ทั้งนี้เพื่อเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมนักวิจัยหลายๆท่านจึงได้มีการค้นคว้าวิจัยโดยการนำวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากกระบวนการทางการเกษตร วัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรม และของเสียจากการเผาไหม้จำพวกเถ้าต่างๆ มาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุเช่น คอนกรีต อิฐบล็อก อิฐบล็อกประสาน หรือวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น โดยวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ต่างก็มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ทั้งในส่วนของการช่วยเพิ่มกำลังให้กับวัสดุ หรือช่วยในการดูดซับความร้อนไม่ให้เข้าสู่ตัวอาคารบ้านเรือน ซึ่งในการนำวัสดุที่เหลือใช้เหล่านี้กลับมาใช้ใหม่ช่วยให้เป็นการลดมลภาวะและมลพิษกับสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งด้วย

ทั้งนี้ในปัจจุบันวัสดุก่อสร้างได้มีราคาแพงขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม หรือวัสดุที่มีคุณภาพสูง รวมถึงต้นทุนในการออกแบบและก่อสร้างสูงตามไปด้วย แต่ถึงอย่างไรในระยะยาวการนำวัสดุที่เหลือใช้กลับมาใช้ใหม่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายลง อีกทั้งยังลดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม รวมถึงประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้น [1] ดังนั้นในการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างจึงจำเป็นจะต้องพิจารณาในหลายๆด้าน เช่น ราคา น้ำหนัก ความสามารถในการดูดซึมน้ำ ความสามารถในการรับน้ำหนัก คุณสมบัติในการต้านทานความร้อน เป็นต้น ทั้งนี้คุณสมบัติต่างๆดังกล่าวที่ได้จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาทำให้เราทราบว่าวัสดุบางประเภทที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุขึ้นมาใหม่นั้นมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป เช่น บางประเภทช่วยในการเพิ่มกำลังรับนำหนัก แต่อาจจะไม่ช่วยในการต้านทานความร้อน วัสดุบางประเภทช่วยในการต้านทางความร้อน แต่ไม่ช่วยในการเพิ่มกำลังรับน้ำหนัก หรืออาจจะมีราคาแพง และอาจเป็นวัสดุที่หายากด้วย อีกทั้งจาการศึกษาพบว่ายังขาดการรวบรวมคุณสมบัติต่างๆ ข้อดี ข้อเสีย พฤติกรรม และความสามารถของวัสดุเหล่านี้เพื่อใช้เป็นประโยชน์ในการศึกษาหรือการพาณิชย์ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจและมีแนวคิดที่จะดำเนินการรวบรวมหาแนวทางและความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ในการผลิตอิฐบล็อก อิฐบล็อกประสาน หรืออิฐก่อผนัง เพื่อในอนาคตได้มีการพัฒนาปรับปรุงต่อยอดแนวทางและความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือทิ้งมาเป็นวัสดุที่ใช้งานได้จริง ส่งผลให้เกิดการนำวัสดุที่เหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพ เกิดองค์ความรู้ในแวดวงวิชาการต่อไป


©2017 J. of TCA All rights reserved

## 2. ลักษณะและคุณสมบัติของอิฐก่อผนัง

คอนกรีตบล็อกหรืออิฐก่อผนังสำหรับงานก่อสร้างได้ถูกจัดแบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพได้แก่ คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก และคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม มอก.57-2533 [2] และมอก.58-2533 [3] ได้ระบุลักษณะของคอนกรีตบล็อกทั้งสองว่าเป็นก้อนคอนกรีตที่ทำมาจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสมที่เหมาะสมชนิดต่างๆ ใช้สำหรับก่อผนังหรือกำแพงมีรูโพรงขนาดใหญ่ทะลุตลอดก้อน ทั้งนี้ความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักไม่ต่ำกว่า 7 เมกะพาสคัล และคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัล โดยคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักนี้สามารถออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกได้ ส่วนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจะไม่สามารถพิจารณาออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกใดๆเว้นแต่น้ำหนักของตัวเองเท่านั้น คุณสมบัติการดูดกลืนน้ำมีค่าระหว่าง 30% – 45% ทั้งสองชั้นคุณภาพ ขนาดและมิติของคอนกรีตทั้งสองจะมีขนาดคล้ายกันเว้นแต่ว่าคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจะมีขนาดเริ่มต้นเล็กกว่าคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก ซึ่งขนาดของก้อนคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักมีขนาดความหนาตั้งแต่ 90 มม. 140 มม. และ 190 มม. ความสูงคือ 190 มม. ความยาวตั้งแต่ 140 มม. 190 มม. 290 มม. และ 390 มม. และขนาดของก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักมีความหนาเริ่มต้นที่ 70 มม. ดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2

**ตารางที่ 1** ขนาดของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก [2]

| ความหนา(มม.) | ความสูง (มม.) | ความยาว (มม.) |
|---|---|---|
| 90 | 190 | 140 |
| 140 | 190 | 140 |
| 190 | 190 | 140 |
| 90 | 190 | 190 |
| 140 | 190 | 190 |
| 190 | 190 | 190 |
| 90 | 190 | 290 |
| 140 | 190 | 290 |
| 190 | 190 | 290 |
| 90 | 190 | 390 |
| 140 | 190 | 390 |
| 190 | 190 | 390 |

**ตารางที่ 2** ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก [3]

| ความหนา (มม.) | ความสูง (มม.) | ความยาว (มม.) |
|---|---|---|
| 70 | 190 | 140 |
| 90 | 190 | 140 |
| 140 | 190 | 140 |
| 190 | 190 | 140 |
| 70 | 190 | 190 |
| 90 | 190 | 190 |
| 140 | 190 | 190 |
| 190 | 190 | 190 |
| 70 | 190 | 290 |
| 90 | 190 | 290 |
| 140 | 190 | 290 |
| 190 | 190 | 290 |
| 70 | 190 | 390 |
| 90 | 190 | 390 |
| 140 | 190 | 390 |
| 190 | 190 | 390 |

## 3. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปรับปรุงคุณสมบัติของอิฐก่อผนัง

จากหัวข้อที่ผ่านมาพบว่าคุณสมบัติของอิฐก่อผนังตามมาตรฐานนั้นเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง ในปัจจุบันได้มีการคิดค้นและศึกษาพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุให้ดียิ่งขึ้น ราคาถูกลง โดยนักวิจัยทำการพัฒนาทั้งในส่วนของความสามารถในการรับน้ำหนักและความสามารถในการเป็นฉนวนกันความร้อน โดยคุณสมบัติในการปรับปรุงดังนี้

*3.1 คุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน*

ในการปรับปรุงกำลังในการรับน้ำหนักของวัสดุจะนิยมใช้วัสดุเชื่อมประสานที่มีคุณสมบัติพื้นฐานคล้ายกับปูนซีเมนต์มาแทนที่บางส่วนหรือเพิ่มเข้าไปเพื่อให้รับกำลังดีขึ้น [4] โดยคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสานจะต้องมีองค์ประกอบหลักทางเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ ซึ่งจากการศึกษาของ สุวัฒน์ และคณะ [5] พบว่า เถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอย และเถ้าแกลบมีองค์ประกอบหลักคือ $SiO_2$ $Al_2O_3$และ $Fe_2O_3$ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการ


©2017 J. of TCA All rights reserved

เกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ เธียรศักดิ์ และคณะ [4] ที่ได้ทำการศึกษาการนำเถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอยและเถ้าแกลบมาทำเป็นวัสดุจำพวกจีโอโพลิเมอร์ ทำให้ทราบว่าการปรับปรุงคุณสมบัติของ $SiO_2$และ $Al_2O_3$ ในปริมาณที่เหมาะสมส่งผลให้วัสดุมีกำลังสูงขึ้น ทั้งนี้การนำเถ้าแกลบมาผสมในคอนกรีตนอกจากจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติคอนกรีตให้มีกำลังสูงขึ้นแล้วยังช่วยให้คอนกรีตมีความทนทานมากขึ้นไปด้วย [6] นอกจากเถ้าแกลบแล้วการใช้เถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตในปริมาณที่เหมาะสมก็สามารถทำให้คอนกรีตมีความทนทาน ลดการหดตัวของคอนกรีต อายุการแตกร้าวเพิ่มขึ้น และมีประสิทธิภาพในการต้านสารละลายซัลเฟตด้วย [7-9]

นอกจากเถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอยและเถ้าแกลบแล้วยังมีนักวิจัยได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสานจากเถ้าชานอ้อย โดยพบว่าเถ้าชานอ้อยมี $SiO_2$เป็นองค์ประกอบหลักมากกว่า 50% และนอกจากนั้นยังมีองค์ประกอบอื่นๆร่วมด้วยเช่น $Al_2O_3$CaO $Fe_2O_3$ $K_2O$ MgO $P_2O_3$และ $Na_2O_3$ตามลำดับ [10] ทั้งนี้ที่เถ้าชานอ้อยมี $SiO_2$ ในปริมาณมากนั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี ทำให้สามารถนำเถ้าชานอ้อยมาแทนที่ปูนซีเมนต์ได้บางส่วนโดยยังคงคุณสมบัติในการรับน้ำหนักได้ดี [11] โดยการทำปฏิกิริยาของเถ้าชานอ้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของซิลิกอนออกไซด์ที่ไม่เป็นผลึก สิ่งเจือปน ขนาดอนุภาค และความละเอียด [12] นอกจากนี้ Chusilpและคณะ[13] ยังพบว่าอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมของเถ้าชานอ้อยบดละเอียดเพื่อให้ได้กำลังอัดที่สูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดคือร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ปกป้อง และคณะ [14] ที่พบว่าการใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสานสามารถช่วยพัฒนากำลังอัดที่อายุปลายของคอนกรีตได้ตั้งแต่อายุ 60 วันขึ้นไป และยังพบอีกว่าการใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดสามารถช่วยลดค่าการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากธรรมชาติและลดการขยายตัวของมอร์ตาร์เนื่องจากซัลเฟตได้อีกด้วย คุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสาน ดังแสดงในตารางที่ 3

นอกจากวัสดุที่มีคุณสมบัติจำพวกจีโอโพลิเมอร์ดังกล่าวแล้ว ยังมีนักวิจัยบางส่วนได้ทดลองนำเถ้าของวัสดุชีวภาพในท้องถิ่นมาผสมในสัดส่วนต่างๆเพื่อใช้ในการผลิตอิฐก่อสร้าง เช่น โพซี และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพารา ธงเทพ และประชุม [16] ได้นำเถ้ากะลามะพร้าวมาเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบา เป็นต้น โดยผลการศึกษาพบว่าการนำวัสดุชีวภาพเหล่านี้สามารถแทนที่ปูนซีเมนต์ได้บางส่วนเพื่อลดต้นทุนในการผลิต แต่อย่างไรก็ตามเถ้าชีวภาพเหล่านี้ไม่ได้ช่วยในการเพิ่มกำลังให้กับวัสดุมากนัก จึงเหมาะกับการผลิตอิฐก่อผนังประเภทน้ำหนักเบามากกว่า

**ตารางที่ 3** องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบ และเถ้าชานอ้อย [4] [5] [12]

| องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ) | ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 | เถ้าถ่านหิน | เถ้าแกลบ | เถ้าชานอ้อย |
|---|---|---|---|---|
| Silicon Dioxide ($SiO_2$) | 20.9 | 33.9 | 93.5 | 55.0 |
| Aluminium Oxide ($Al_2O_3$) | 4.8 | 17.4 | 0.2 | 5.1 |
| Ferric Oxide ($Fe_2O_3$) | 3.4 | 13.0 | 0.4 | 4.1 |
| Calcium Oxide (CaO) | 65.4 | 25.7 | 0.9 | 11.0 |
| Magnesium Oxide (MgO) | 1.3 | 1.9 | 0.4 | 0.9 |
| Sodium Oxide ($Na_2O$) | 0.3 | 1.2 | - | 0.2 |
| Potassium Oxide ($K_2O$) | 0.4 | 2.5 | 3.3 | 1.2 |
| Sulfur Trioxide ($SO_3$) | 2.7 | 3.4 | 0.2 | 2.2 |
| Loss On Ignition (LOI) | 1.0 | 2.9 | 8.7 | 19.6 |


©2017 J. of TCA All rights reserved

*3.2 คุณสมบัติวัสดุที่ใช้ทำฉนวนกันความร้อน*

ในการปรับปรุงคุณสมบัติให้มีคุณภาพดีกว่ามาตรฐานและราคาถูกลงนั้น นอกจากปรับปรุงคุณสมบัติด้านกำลังแล้ว การปรับปรุงคุณสมบัติด้านการเป็นฉนวนกันความร้อนก็มีส่วนสำคัญในการพัฒนาวัสดุก่อสร้างให้ดีขึ้น โดยลักษณะของอิฐบล็อกได้มีการออกแบบให้ข้างในเป็นรูโพรงเพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร เพราะการนำความร้อนของคอนกรีตสูงกว่าการนำความร้อนของอากาศ ดังนั้นการทำให้อิฐก่อผนังมีรูโพรงหรือช่องว่างก็จะสามารถลดอุณหภูมิเข้าสู่อาคารได้ [1] ทั้งนี้การออกแบบลักษณะทางกายภาพของอิฐก่อผนังเพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอในการช่วยลดอุณหภูมิที่เข้าสู่ตัวอาคาร เพราะประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนดังนั้นจึงมีแนวคิดการนำผลผลิตจากธรรมชาติเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐก่อผนังเพื่อลดการนำความร้อน [17-19] โดย Joseph และคณะ [17] ได้นำเส้นใยมะพร้าวมาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกประสานและพบว่าการเพิ่มเส้นใยมะพร้าวมีส่วนช่วยในการลดการนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร นอกจากนี้ นพนันท์ และคณะ [18] ได้ทดลองใช้ฟางข้าวมาผสมในกระบวนการผลิตอิฐบล็อกดินซีเมนต์ซึ่งทำให้ช่วยลดอุณหภูมิเข้าสู่ตัวอาคารได้ แต่อย่างไรก็ตามการใส่วัสดุจากธรรมชาติในปริมาณมากๆนอกจากจะช่วยลดการนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารแล้ว ยังจะส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดของวัสดุต่ำลงอาจจะส่งผลต่อการนำไปใช้งานได้ [17-18]

นอกจากการศึกษาการต้านทานความร้อนจากวัสดุธรรมชาติในกระบวนการผลิตอิฐก่อผนังแล้ว การนำสารวัสดุจำพวกนาโนซิลิกา พาราฟิน หรือเถ้าชีวภาพ มาเป็นส่วนผสมในวัสดุหรือมอร์ตาร์ก็ยังสามารถช่วยลดการนำความร้อนได้ด้วย [20-22] ดังนั้นคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำฉนวนกันความร้อนส่วนใหญ่มีส่วนผสมของวัสดุจากธรรมชาติ เพราะวัสดุจำพวกเส้นใยหรือไฟเบอร์มีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ แต่ต้องระวังกำลังของวัสดุถ้าใส่เข้าไปในปริมาณมาก และในส่วนของคุณสมบัติของวัสดุจำพวกนาโนซิลิกา พาราฟิน หรือเถ้าชีวภาพ นั้นจะมีส่วนช่วยในการลดการนำความร้อนได้เนื่องจากเถ้าชีวภาพเมื่อนำมาผสมจะทำให้เพิ่มความพรุนของวัสดุ ส่งผลให้การนำความร้อนลดลง [20] สอดคล้องกับการศึกษาของ พงษ์ศักดิ์ และคณะ [21] เมื่อวัสดุมีอนุภาคขนาดเล็กมาผสมกับซีเมนต์เพสต์ทำให้เกิดการเกาะตัวกันแบบไม่เสถียร ขาดการอัดแน่นของอนุภาคทำให้เนื้อของเพสต์มีช่องว่างเพิ่มขึ้นส่งผลให้การนำความร้อนลดลง และการนำวัสดุเปลี่ยนสถานะประเภทพาราฟินมาผสมกับมอร์ตาร์ปูนฉาบก็ยังมีประสิทธิภาพกักเก็บความร้อนบางส่วนได้ดีกว่าปูนฉาบธรรมดา เพราะพาราฟินจะกักเก็บความร้อนบางส่วนไว้ในชั้นปูนฉาบทำให้การถ่ายเทอุณหภูมิจากภายนอกไปยังภายในช้าลง ทำให้ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ [22]

## 4. การปรับปรุงคุณสมบัติของอิฐก่อผนัง

*4.1 ผลของการปรับปรุงคุณสมบัติการรับกำลังของอิฐก่อผนัง*

การพัฒนาวัสดุในงานก่อสร้างจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการพัฒนาความสามารถในการรับน้ำหนักของวัสดุให้ดีกว่าหรือเทียบเท่ามาตรฐานแต่ราคาถูกลง มีการศึกษาวิจัยจำนวนมากเกี่ยวกับเรื่องการพัฒนาวัสดุดังกล่าวโดย วันโชค และคณะ [20] ได้ทำการทดลองใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุเชื่อมประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตอิฐบล็อกด้วยสัดส่วน ปูนซีเมนต์ : เถ้าลอย อยู่ที่ร้อยละ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20 และ 70 : 30 ต่อน้ำหนัก โดยการศึกษาพบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอยู่ที่ 2.93 -4.32 เมกะพาสคัล ในอายุบ่ม 28 วัน ซึ่งทั้งนี้กำลังจะลดลงตามสัดส่วนของเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากใช้ปูนซีเมนต์ลดลง แต่อย่างไรก็ตามค่ากำลังดังกล่าวก็ยังสูงกว่าค่ามาตรฐานของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ 2.5 เมกะพาสคัล [3] นอกจากนั้น สมพงษ์ และสุภชัย [23] ได้ทำการศึกษาการใช้เถ้าแกลบและเถ้าลอยแทนที่กากตะกอนโครเมียมในหินฝุ่นในการผลิตอิฐบล็อกประสานตั้งแต่ 0% - 40% พบว่ากำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน มีค่าตั้งแต่ 54 – 167.8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้กำลังรับแรงอัดที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบแทนที่กากตะกอนโครเมียมในหินฝุ่นสูงสุด 30% ที่ให้ค่ากำลังอัดสูงกว่ามาตรฐานคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก และอิฐบล็อกประสานที่ผสมเถ้าแกลบมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าอิฐที่ผสมเถ้าลอย และยังมีความทนทานกว่าอิฐที่ผสมเถ้าลอยด้วย

ในส่วนของการใช้เถ้าชานอ้อยมาเป็นส่วนผสมในการปรับปรุงคุณสมบัติการรับกำลังของอิฐก่อผนังนั้น จีรวัฒน์[24] ได้ทำการทดลองใช้เถ้าชานอ้อยมาเป็นส่วนผสมในการผลิตชิ้นงานต้นแบบในการผลิตอิฐบล็อกประสาน โดยนำเถ้าชานอ้อยมาผสมกับปูนซีเมนต์และหินฝุ่นตั้งแต่ 0.2 – 4 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ โดยใช้ปูนซีเมนต์คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ผลการศึกษาพบว่า กำลังรับแรงอัดมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 287 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนของ ปูนซีเมนต์ : หินฝุ่น : เถ้าชานอ้อย อยู่ที่ 1 : 0.8 : 0.2 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ทั้งนี้เพราะว่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่มีปริมาณหินฝุ่นมากและมีปริมาณเถ้าชาน


©2017 J. of TCA All rights reserved

อ้อยน้อยมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราส่วนผสมที่มีปริมาณเถ้าชานอ้อยมากจะส่งผลเสียต่อกำลังอัด ถ้าหากต้องการกำลังอัดของตัวอย่างทดสอบที่สูงควรผสมเถ้าชานอ้อยไม่เกิน 0.2 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และถ้าหากต้องการกำลังอัดสูงกว่า 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ควรผสมเถ้าชานอ้อยไม่เกิน 0.8 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

*4.2 ผลของการปรับปรุงคุณสมบัติการต้านทานความร้อนของอิฐก่อผนัง*

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการใช้เส้นใยจากวัสดุจากธรรมชาติมาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐก่อผนัง โดยเส้นใยมะพร้าวมีส่วนช่วยในการลดการนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารได้ จากการศึกษาของ Joseph และคณะ [17] ได้นำเส้นใยมะพร้าวมาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกประสาน เพื่อศึกษาผลการนำความร้อนของอิฐที่ผสมเส้นใยจากธรรมชาติ พบว่าปริมาณเส้นใยในสัดส่วนของดิน : ปูนซีเมนต์ : ทราย : เส้นใยมะพร้าว เท่ากับ 5.75 : 1.25 : 1.0 : 0.8 ต่อปริมาตร ให้การนำความร้อนต่ำที่สุดที่ 0.651 W/m.Kและมีค่ากำลังอัด 3.88 เมกะพาสคัล ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ 2.5 เมกะพาสคัล ในส่วนของผลการปรับปรุงคุณสมบัติการต้านทานความร้อนของอิฐบล็อกดินซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของฟางข้าว นพนันท์ และคณะ [18] ศึกษาทดลองนำฟางข้าวมาเป็นส่วนผสมผลิตอิฐบล็อกดินซีเมนต์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดของ ดิน : ปูนซีเมนต์ : ทราย คือ 3 : 1 : 1 โดยปริมาตร และมีอัตราส่วนของฟางข้าวผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 20% มีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุดที่ 0.489 W/m.K มีกำลังรับแรงอัด 56.32 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

วัสดุจากธรรมชาติที่ใช้เป็นคุณสมบัติในการลดการนำความร้อนนอกจากเส้นใยมะพร้าวและฟางข้าวแล้ว ผักตบชวาก็เป็นอีกวัสดุหนึ่งที่มีคุณสมบัติช่วยในการลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคารได้ โดย วรรณี และ ชัยรัตน์ [19] ทำการศึกษาใช้ผักตบชวาบดละเอียดมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกโดยได้ทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของอิฐบล็อกในส่วนผสมต่างๆ ระหว่างผักตบชวากับหินฝุ่นที่อัตราส่วน หินฝุ่น : ผักตบชวา คือ 90 : 10, 85 : 15 และ 80 : 20 พบว่าอิฐบล็อกที่มีส่วนผสมในอัตราส่วน หินฝุ่น : ผักตบชวา เท่ากับ 90 : 10 ให้คุณสมบัติดีที่สุด ซึ่งมีค่าการนำความร้อนที่ 0.105 W/m.K และมีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยผักตบชวามีค่าการนำความร้อนอยู่ที่ 0.089 W/m.K ทั้งนี้นับว่าเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่มีคุณสมบัติการนำความร้อนต่ำ อีกทั้งยังเป็นพืชที่เจริญเติบโตง่ายจัดเป็นวัชพืชและยังกีดขวางการสัญจรทางน้ำยากต่อการกำจัด ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมทำอิฐบล็อกวัสดุก่อสร้างได้ซึ่งน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้ประโยชน์ไม่ปล่อยให้สูญเปล่าหรือเป็นภาระในการกำจัดและเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง

## 5. แนวทางในการประยุกต์และพัฒนาคุณสมบัติของอิฐบล็อกสำหรับก่อผนังจากเศษวัสดุที่เหลือใช้

จากการการศึกษาที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าวัสดุที่เหลือใช้จากภาคการเกษตรหรือวัสดุที่เหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมสามารถนำกลับมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุประเภทอิฐบล็อกสำหรับก่อผนังได้ โดยในส่วนของคุณสมบัติทางด้านการรับแรงอัด จะพบว่าวัสดุที่เหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมจำพวกเถ้าต่างๆทั้งเถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอย เถ้าแกลบ และเถ้าชานอ้อย สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานเพื่อปรับปรุงกำลังของวัสดุให้ดีขึ้น หรือนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อลดต้นทุนในการใช้ปูนซีเมนต์ แต่ยังคงให้มีกำลังรับแรงอัดได้ตามมาตรฐาน ทั้งนี้ปริมาณที่ทดแทนปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 20 – 40% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ถ้าใช้ในปริมาณมากกว่านี้ทำให้กำลังของวัสดุต่ำกว่ามาตรฐาน หรืออาจจะปั้นขึ้นรูปได้ยาก นอกจากกำลังอัดที่ขึ้นอยู่กับปริมาณของวัสดุเชื่อมประสานแล้ว ปริมาณน้ำหรืออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานก็มีส่วนทำให้กำลังของวัสดุลดลงด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพื่อให้วัสดุมีกำลังรับแรงอัดได้ดีที่สุด [25] นอกจากข้อดีในด้านการรับกำลังของวัสดุแล้วการนำเถ้าชีวภาพมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานในส่วนผสมของการผลิตอิฐบล็อกสำหรับก่อผนังนั้นจะทำให้หน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อกที่ใช้ในการก่อสร้างลดลงตามการเพิ่มขึ้นของเถ้าชีวภาพ ซึ่งจากการลดลงของหน่วยน้ำหนักนี้จะทำให้วัสดุมีน้ำหนักเบาลง ประหยัดต้นทุนในการก่อสร้าง โดยสาเหตุที่ทำให้หน่วยน้ำหนักลดลงนั้นเนื่องมาจากคุณสมบัติของเถ้าชีวภาพที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ [26] ทั้งนี้ปริมาณน้ำหรืออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเพิ่มขึ้นก็ส่งผลให้หน่วยน้ำหนักของวัสดุมีค่าลดลงด้วย เพราะการใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณความพรุนสูง และมีโพรงขนาดใหญ่ในเนื้อวัสดุ[27] ในส่วนคุณสมบัติการต้านทานความร้อนของอิฐก่อผนังพบว่า การนำเศษวัสดุทางชีวภาพมาย่อย


©2017 J. of TCA All rights reserved

ให้ละเอียดแล้วใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐก่อผนัง จะมีส่วนช่วยให้วัสดุนั้นมีการต้านทานความร้อนได้ดีขึ้น การนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารลดลง โดยวัสดุส่วนใหญ่ที่นำมาเป็นส่วนผสมจะมีลักษณะเป็นเส้นใย เช่นใยมะพร้าว ฟางข้าว และผักตบชวาเป็นต้น วัสดุเหล่านี้มีค่าการนำความร้อนต่ำ โดยส่วนใหญ่จะเป็นการใส่เพิ่มเข้าไปในส่วนผสมหรือแทนที่วัสดุมวลรวม เช่นดิน หรือหินฝุ่น เป็นต้น ทั้งนี้การใส่เส้นใยเข้าไปในปริมาณมากจะทำให้วัสดุมีความหนาแน่นลดลง [17] วัสดุมีความพรุนเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อมีความพรุนเพิ่มขึ้นจะทำให้การนำความร้อนลดลง [28] โดยสัดส่วนที่ใช้ไม่ควรเกิน 20% ของน้ำหนัก เพราะถ้ามากกว่านี้วัสดุขึ้นรูปได้ยาก และกำลังลดลงต่ำกว่ามาตรฐาน

ดังนั้นการประยุกต์ใช้วัสดุทางชีวภาพจึงมีความเป็นได้ในการนำมาเป็นส่วนผสมเพื่อผลิตอิฐที่ใช้สำหรับก่อผนัง ตามแนวทางและสัดส่วนดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทั้งนี้ส่วนใหญ่จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในด้านการลดการนำความร้อน ทำให้วัสดุมีการต้านทานความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารได้ดีขึ้น ในการปรับปรุงส่วนใหญ่วัสดุจะอยู่ในชั้นคุณภาพตามมาตรฐานของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก เพราะการใช้วัสดุทางชีวภาพทำให้กำลังของวัสดุลดลง และในส่วนของความเป็นไปได้ในการปรับปรุงคุณภาพด้านกำลังของวัสดุ การใช้เถ้าชีวภาพทดแทนปูนซีเมนต์นั้นสามารถทำให้วัสดุมีคุณภาพได้ตามมาตรฐานโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในชั้นคุณภาพตามมาตรฐานของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักเช่นกัน โดยความเป็นไปได้ในการใช้ส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1

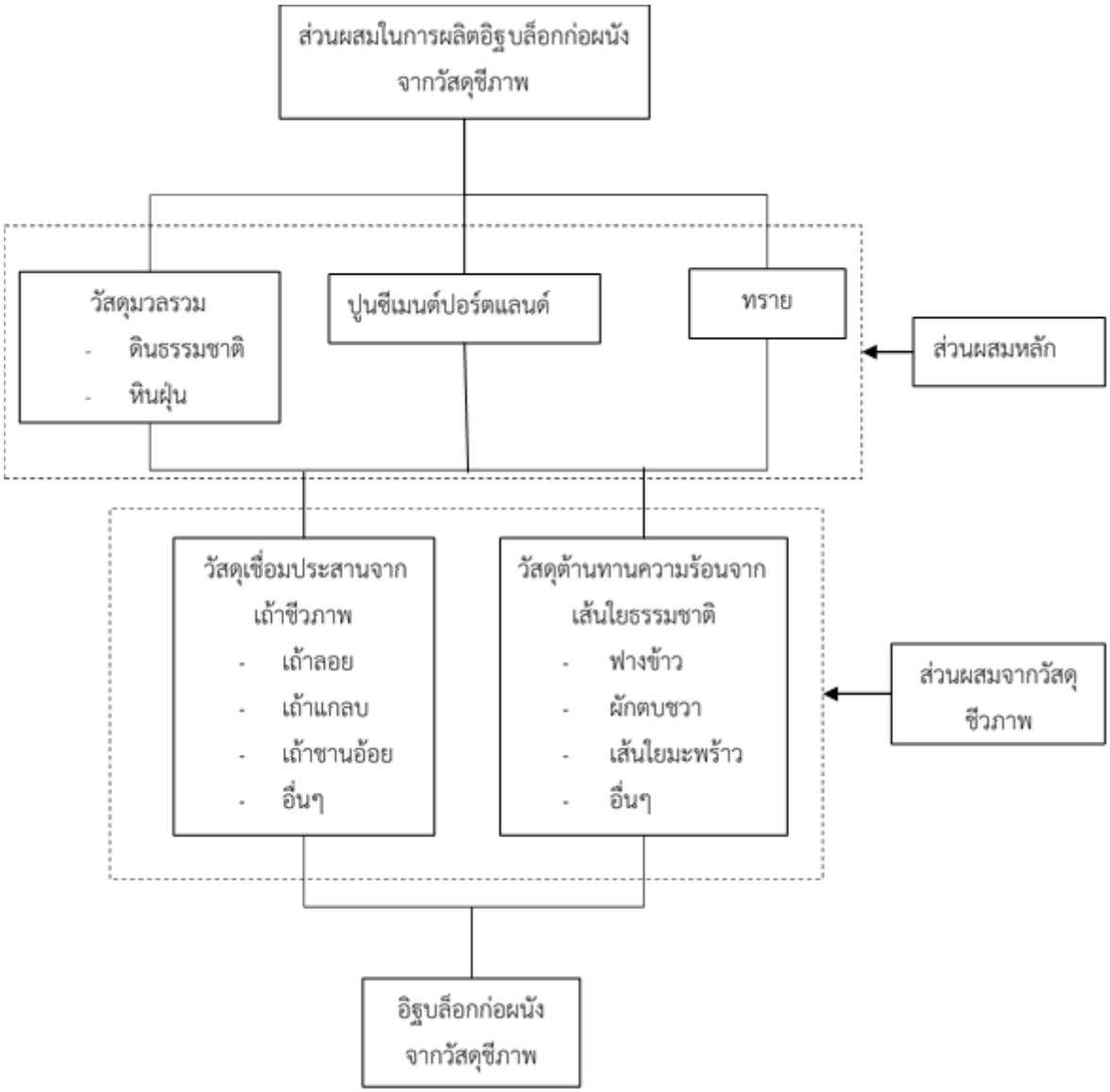
จากรูปที่ 1 เป็นการนำเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้วัสดุชีวภาพในการผลิตอิฐบล็อกก่อผนังในเบื้องต้น โดยในส่วนผสมดังกล่าวได้นำเสนอในส่วนของการใช้วัสดุเชื่อมประสานจากเถ้าชีวภาพในการทดแทนปูนซีเมนต์ และใช้วัสดุเส้นใยจากธรรมชาติมาช่วยในการลดการนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารในส่วนผสมเดียวกัน ทั้งนี้การนำส่วนผสมดังกล่าวไปประยุกต์ใช้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่ผลิตได้เพื่อให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานพร้อมใช้งาน และใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

## 6. สรุป

การปรับปรุงคุณภาพของวัสดุจำพวกอิฐก่อผนังจะมีการปรับปรุงอยู่ 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ 1) ส่วนของคุณสมบัติทางด้านการรับกำลังของวัสดุ และ 2) ส่วนของการต้านทานความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยการรับกำลังของวัสดุมีแนวทางในการปรับปรุงคือ การเติมวัสดุเชื่อมประสานที่ได้มาจากเถ้าชีวภาพแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิต สิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือการเลือกใช้วัสดุเชื่อมประสานจากเถ้าชีวภาพให้มีสัดส่วนในปริมาณที่พอเหมาะ เพื่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านคุณภาพและราคา นอกจากนี้การปรับปรุงคุณภาพของวัสดุด้านการต้านทานความร้อนจะเลือกใช้วัสดุเส้นใยจากธรรมชาติมาเป็นส่วนผสมเพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร ทั้งนี้ก็ควรมีการเลือกใช้ในปริมาณที่เหมาะสมเพราะถ้ามีปริมาณเส้นใยในวัสดุมากนอกจากจะช่วยต้านทานความร้อนแล้วยังจะทำให้กำลังของวัสดุลดลงต่ำกว่ามาตรฐานของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักส่งผลต่อการนำไปใช้งานได้

ดังนั้นในการศึกษาที่ผ่านมาของการใช้วัสดุทางชีวภาพมาปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุนี้จะไม่เกิดประโยชน์เลยถ้าไม่มีการนำไปพัฒนาต่อยอดทางธุรกิจ สร้างเป็นผลิตภัณฑ์ของวัสดุที่ลดการใช้พลังงาน ลดการใช้สารเคมี ลดการใช้ปูนซีเมนต์ โดยหันมาใช้วัสดุทางธรรมชาติเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุที่เหลือทิ้ง ทำให้ลดต้นทุนในการผลิตวัสดุก่อสร้างลงได้ เกิดนวัตกรรม เกิดการพัฒนาทางด้านวัสดุวิศวกรรมทางด้านการก่อสร้างต่อไปในอนาคต


©2017 J. of TCA All rights reserved




**รูปที่ 1** แนวทางในการประยุกต์ใช้วัสดุชีวภาพในการผลิตอิฐบล็อกก่อผนัง

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ได้สนับสนุนให้ทำการศึกษาค้นคว้า จัดทำ ตีพิมพ์ และเผยแพร่บทความ

## 8. เอกสารอ้างอิง

[1] K.S. Al-Jabri, A.W. Hago, A.S. Al-Nuaimi, A.H. Al-Saidy., " Concrete blocks for thermal insulation in hot climate" . *Cement and Concrete Research*, no.35, pp.1472– 1479,2005.

[2] *Standard for Hollow Load-Bearing Concrete Masonry Unit*, TIS 57-2533 , Ministry of Industry, Thailand, 11 p,1990.

[3] *Standard for Hollow Non-Load-Bearing Concrete Masonry Units*,TIS 58-2533, Ministry of Industry, Thailand, 11 p, 1990.

[4] T. Klabprasit, C.Jaturapitakkul, P. Chindaprasirt, and S. Songpiriyakij, " Fly Ash and Bio-mass Ash Based Geopolymer Pastes Part I: Effect of Mix Proportion on Compressive Strength" ,*Research and Development Journal*,Vol.19(2). pp.9-16, 2008.


©2017 J. of TCA All rights reserved

[5] S. Ramjan, W.Tangchirapat, and C.Jaturapitakkul,“ Effect of Finenesses of Fly Ash and Rice Husk Ash on Compressive Strength and Expansion of Mortar in Accelerated Mortar Bar Method” . *Journal of Thailand Concrete Association*,Vol.5(1). pp.1-13, 2017.

[6] P. Chindaprasirt, S.Rukzon, and V. Sirivivatnanon,“Resistance to Chloride Penetration of Blended Portland Cement Mortar Containing Palm Oil Fuel Ash, Rice Husk Ash and Fly Ash,” *Construction and Building Materials*, Vol. 22, pp.932- 938, 2008.

[7] P. Julnipitawong, and S.Tangtermsirikul, “A study on effect of strength accelerationg compound on properties of concrete and mortar*”, Thailand Concrete Association Journal*, Vol. 2, No. 1, pp. 17-29, 2014.

[8] K. Keawmanee, S. Tangtermsirikul, and K. Methanataworn, “ Basic Properties and Durability of Concrete with Fly Ash and $CaCO_3$ Powder”, *Thailand Concrete Association Journal*, Vol. 3, No. 2, pp. 8-16, 2015.

[9] M. Kongsook, S.Hemavibool, S. Tongaroonsri, and S.Tangtermsirikul, “Effect of Fly Ash, Limestone Powder and Bottom Ash on Shrinkage Cracking Behavior of Concrete”, *Thailand Concrete Association Journal*, Vol. 4, No. 1, pp. 30-39, 2016.

[10] S. Sujjavanich and A.Duangchan, “Pozzolanic Reactivity and Water Requirement of Bagasse Ash,” *Pro. The 2nd Concrete National Conference*, Chiengmai, Thailand, 2004, pp. 118-122.

[11] A. Duangchan,“ Development of Bagasse Ash Concrete Block for Construction” . M.S. Thesis, Dept. Civil Eingineering, Kasetsart University, Thailand, 2006.

[12] R. Somna, and C. Jaturapitakkul, “ Use of Ground Bagasse Ash to Improve Compressive Strength, Water Permeability, and Chloride Resistance of Recycled Aggregate Concrete” . *KMUTT Research and Development Journal*. V34 (4).pp. 369-381, 2012.

[13] N. Chusilp, C. Jaturapitakkul, and K. Kiattikomol, “Effects of LOI of ground bagasse ash on the compressive strength and sulfate resistance of mortars”, *Construction and Building Materials*, Vol. 23(12), pp. 3523-3531, 2009.

[14] P. Rattanachu, W. Tangchirapat, and C. Jaturapitakkul, “Mechanical Properties of High Strength Concrete Containing Recycled Concrete Aggregate with Ground Bagasse Ash”,*Thailand Concrete Association Journal*, Vol. 4, No. 2, pp. 36-48, 2016.

[15] P. Vaji, S.Hayeehama, and A.Dasaesamoh, “ Heat Transfer of Non-Load-Bearing Interlocking Block with Mixture of Para Rubber Wood Fly Ash” . *J. Res. Unit Sci. Technol. Environ. Learning*, Vol. 4(1). pp.1-6, 2013.

[16] T. Sirisoda, and P. Comput, “ Light-Weight Concrete Block Products from Coconut Shell Ash for Small and Medium Enterprises” , *Proc. The 2nd National RMUTR Conf.*, Nakornphathom, 2017.

[17] J. Khedari, P.Watsanasathaporn, and J.Hirunlabh, “ Development of fibre-based soil–cement block with low thermal conductivity” ,*Cement & Concrete Composites,*Vol.27. pp. 111–116, 2015.

[18] N. Nankongnab, P. Jittabut, and C.Phompetch, “ Development of Low Thermal Conductivity Soil-Cement Block from Rice Straw” ,*Journal of Science Ladkrabang*,Vol.18(1). pp.32-41, 2009.

[19] W. Ekasilp, and C. Boonthanomwong, “ Thermal Insulator Performance of Water Hyacinth and Sawdust Hollow Concrete Block” , *Proc. National Research Conference Rangsit University*, Pathumthani, 2014, pp. 179-186.

[20] W. Kroehong, S. Sangpaen, P. Sitkanarak, and J. Wilairat, “ Mechanical Properties, Microstructure and Thermal Conductivity of Concrete Block Containing Fly Ash” ,*KMUTT Research and Development Journal.* V39 (3). pp. 407- 425, 2016.

[21] P. Jittabut, S.Phinitsomboon, and P. Chindaprasirt,“ The Study of Mechanical Properties and

 ©2017 J. of TCA All rights reserved

Thermal Conductivity of Cement Paste Containing Nanosilica",*RMUTI Journal.* Vol.7(2). pp. 1-15, 2014.

[22] P. Sukontasukkul, E, Intawong, P.Preemanoch, and P. Chindaprasirt, " Use of paraffin impregnated lightweight aggregates to improve thermal properties of concrete panels" ,*Materials and Structures*. Vol.49. pp. 1793-1803, 2016.

[23] S. Hirunmasuwan, and N.S, Isarangkul," The Utilization of Rice Hush Ash and Fly Ash as Pozzolanic Materials for Stabilization and Solidification of Chromium Sludge in the Form of Concrete Interlocking Block for Using as Construction Materials" , *Journal of Science and Technology.* Vol.25(6). pp. 1073-1082, 2017.

[24] C. Vimuttasoongviriya, " Bagasse Ash with Cement and Fine Stone Behavior" , *Proc.* The *2nd Graduate Research conference Mahasarakham Rajabhat University, Mahasarakham, 2017,* pp.542-547.

[25] S. Garaged, " Compressive Strength of Interlocking Block Manufactured from Cement and Crushed Golden Apple Snail Shell" , M.S. Thesis, Dept. Civil Eingineering, Suranaree University of Technology, Thailand, 2014.

[26] P. Torkittikul, T.Nochaiya, W. Wongkeo, and A. Chaipanich, "Utilization of Coal Bottom Ash to Improve Thermal Insulation of Construction Material," *Journal of Material Cycles and Waste Management*, pp. 1-13, 2015.

[27] X. Chen,and S. Wu, "Influence of Water-to-Cement Ratio and Curing Period on Pore Structure of Cement Mortar," *Construction and Building Materials*, V38, pp. 804-812, 2013.

[28] M. Sutcu, H.Alptekin, E.Erdogmus, Y.Er, and O. Gencel, "Characteristics of Fired Clay Bricks with Waste Marble Powder Addition as Building Materials," *Construction and Building Materials*, V82, pp. 1-8, 2015.

 ©2017 J. of TCA All rights reserved