



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การใช้เศษขี้เลื่อยเพื่อเพิ่มคุณสมบัติและความพรุนตัวในอิฐมอญ

Using sawdust waste to increase properties and porosity in clay bricks



อดิศักดิ์ ภาชา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2561)

เอกสารอ้างอิง

- ASTM C326-09, 2014. Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic Whiteware Clays, ASTM Book of Standards Vol. 15.02.
- ASTM C373-14a, 2014. Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, Ceramic Tiles, and Glass Tiles, ASTM Book of Standards Vol. 15.02.
- ASTM C62-13a, 2013. Standard Specification for Building Brick (Solid Masonry Units Made From Clay or Shale), ASTM Book of Standards Vol. 04.05.
- ASTM C773-88, 2011. Standard Test Method for Compressive (Crushing) Strength of Fired Whiteware Materials, ASTM Book of Standards Vol. 15.02.
- Demir I. (2006). An investigation on the production of construction brick with processed waste tea. *J. Build Environ*; 41: 1274-1278.
- Faller A. (2004). The preparation of sawdust. Entwicklung und Erlangen Nurnberg.
- Faria K C P, Gurgel R F, Holanda J N F. (2012), "Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks", *Environ Manage*, 101, 7-12.
- Iopscience (2013) Superconductor Science and Technology [Online], Available HTTP: <http://iopscience.iop.org> [2013 March 20]
- Norton F.H. (1970) Fine ceramics. Mc Graw Hill, Inc.
- Okunade E. A. (2008). The effect of wood ash and sawdust admixtures on the engineering properties of a burnt laterite-clay brick. *J. Eng Appl Sci*; 8: 1042- 1048.
- Smaller pores (2006) Porous Materials [Online]. Available HTTP: http://www.uio.no/studier/emner/matnat/.../16KJM5100_2006_porous_epf [2013 March 26].
- Somchai Teparak (1976) Strength of Ceramics. A special project physical 439 report. Department of Physics, Chaing Mai University.
- Souza A E, Teixeira S R, Santos G T A, Costa F B, Longo E. (2011), "Reuse of sugarcane bagasse ash (SCBA) to produce ceramic materials", *Environ Manage*, 92, 2774-2780.
- Sveada M. (2000). The influence of sawdust on the physical properties of a clay brick. SK-Bratislava, Slovak Technical University.

TISI (2001). 77 Standards specification for building brick (Solid masonry unit made from clay or shale) Thai Industrial Standards Institute, pp. 3, TISI.

กาญจนะ แก้วกำเนิด. (2541). วัสดุทนไฟ. ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พานทอง อินทรชัย. (2548). คุณสมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนของอิฐดินเหนียวผสมเถ้าลอยและยิปซัมจาก
โรงไฟฟ้าแม่เมาะ. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ไพจิตร อังศิริวัฒน์ (2541) เนื้อดินเซรามิก สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร
วรพงษ์ เทียมสอน (2555) เซรามิกเพื่อการก่อสร้างและเซรามิกเพื่องานเทคนิค โอ.เอส. พรินติ้ง เฮ้าส์
เอก ช่อประดับ. (2547). คุณสมบัติเชิงกายภาพของอิฐสามัญที่ทำจากดินเหนียวผสมแกลบ. วิทยานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากเจ้าหน้าที่ประจำห้องทดลองทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ช่วยอำนวยความสะดวก และเตรียมเครื่องมืองานวิจัยขึ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ที่สนใจที่จะนำไปพัฒนากระบวนการผลิตอิฐมอญ

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อดิศักดิ์ ภาษา

2561



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย การใช้เศษซีลี้อยู่เพื่อเพิ่มคุณสมบัติและความพรุนตัวในอิฐมอญ
ผู้ดำเนินการวิจัย ผศ.ดร.อดิศักดิ์ ภาษา
หน่วยงาน สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (การผลิต) คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปี พ.ศ. 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการเติม ซีลี้อยู่ ต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของอิฐ นำมาผสมกับดินเหนียวในอัตราส่วนร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนัก ตัวอย่างของอิฐทั้งหมดเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าค่าการหดตัวหลังการเผามีการหดตัวอยู่ระหว่าง 4 – 7 % ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่าง 11 – 24 % ค่าความพรุนตัวอยู่ระหว่าง 20 – 40 % ค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.3 – 1.9 g/cm³ ค่าความแข็งแรงอยู่ระหว่าง 2.8 – 24 MPa สรุปผลจากการศึกษาพบว่าตัวอย่างของอิฐที่เติมซีลี้อยู่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุสำหรับสร้างรูปพรุนและเป็นตัวเติมในกระบวนการผลิตอิฐ



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Research Title Using sawdust waste to increase properties and porosity in clay bricks
Researcher Asst.Prof.Dr.Adisak Luecha
Organization Industrial Technology (Manufacturing), Faculty of Engineering
Rajabhat Maha Sarakham University
Year 2019

ABSTRACT

In this study, the effects of sawdust additives on physical and mechanical properties of fired clay bricks were examined. Sawdust incorporated to the clay body at the dosages of 0, 2.5, 5, 7.5 and 10 wt.%. All samples were fired at 900-1100 °C. The results indicated that the fired shrinkage was 4-7%, water absorption 11-24%, porosity 20-40%, bulk density 1.3-1.9 g/cm³, compressive strength 2.8-24 MPa. The results thus showed that sawdust was a potential material for use as a pore former additive to raw clay-brick production.



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การผลิตที่เป็นมิตรกับสังคมและสิ่งแวดล้อมซึ่งรวมถึงการสนับสนุนอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในปัจจุบันให้มีความรับผิดชอบต่อโลก สิ่งแวดล้อมและสังคมมากขึ้น การประยุกต์เทคโนโลยีการผลิตสีเขียว เป็นการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์เพื่อให้การใช้วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากรธรรมชาติเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยให้เกิดของเสียน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย จึงเป็นการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด ทั้งนี้รวมถึงการเปลี่ยนวัตถุดิบ การใช้น้อย การใช้ซ้ำ การนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจะช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนในการผลิตไปพร้อมกัน โดยจะครอบคลุมถึงการป้องกันมลพิษ (Pollution Prevention) การผลิตที่สะอาด (Cleaner Production) การลดของเสียให้เหลือน้อยที่สุด (Waste Minimization) หรือไม่เหลือเลย (Zero Waste) ไปจนถึงการใช้ทรัพยากรมนุษย์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด คำจำกัดความนี้เน้นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่แหล่งกำเนิด โดยการคำนึงถึงมวลสารเข้าสู่กระบวนการผลิต (Inputs) มากกว่ามวลออกจากกระบวนการผลิต (Outputs) เพื่อหาวิธีที่จะเพิ่มผลิตผล โดยมีของเสียหรือมีการปล่อยมลพิษลดน้อยลง ประเทศไทยมีแหล่งของเศษวัสดุชีวมวลอยู่มาก หากรู้จักนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ เราจะสามารถลดปัญหาของขยะที่เกิดจากเศษวัสดุชีวมวลได้นอกจากนั้นยังช่วยลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดการสูญเสียเงินตราของประเทศ ดังนั้นการคิดค้นและพัฒนาการนำเศษวัสดุชีวมวลมาใช้เป็นตัวเติมในรูปแบบต่าง ๆ สำหรับการผลิตอิฐมอญจึงเป็นการแสวงหาหนทางใหม่ ในการใช้เศษวัสดุที่มีอยู่จำนวนมากมาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาในอนาคต ในขณะที่เดียวกันก็ต้องพยายาม ลดความสูญเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานจากการผลิตด้วยเช่นกัน

อิฐเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดหนึ่ง การทำอิฐดิน (Clay Brick) มีมาตั้งแต่สมัยโบราณเริ่มแรกใช้ดินทำเป็นก้อนตากแดดให้แห้ง ต่อมามนุษย์เรียนรู้ที่จะทำอิฐโดยเอาดินมาปั้นแล้วนำไปเผาไฟจึงได้ดินที่มีคุณภาพแข็งแรงขึ้น ในปัจจุบันมีการทำอิฐโดยเลือกดิน (Clay) ชนิดต่างๆ มากมายด้วยกันในอัตราส่วนต่างๆ และเพิ่มสารบางชนิดเข้าไปด้วย ทั้งนี้เพื่อจะได้อิฐไปใช้งานที่แตกต่างกันออกไป อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีใช้กันมากทั้งประเทศและทั่วโลก ในประเทศอิฐที่ใช้กันมากได้แก่ อิฐมอญหรืออิฐดินเผา ซึ่งผลิตจากดินเหนียวและมีการผลิตขึ้นในท้องถิ่น การทำอิฐสำหรับก่อสร้างของไทยได้ทำกันมานานแล้ว โดยส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมครอบครัวในแถบชนบทซึ่งมีขนาดเล็กและอิฐที่ผลิตส่วนใหญ่เป็นอิฐมอญ ต่อมาได้ได้มีการตั้งโรงงานใช้เครื่องจักรเข้ามาช่วยมากขึ้นทำให้การผลิตอิฐมีคุณภาพและประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเพิ่มความเป็นฉนวนความร้อนของอิฐ ซึ่งอิฐที่ได้นั้นจะมีรูพรุนมากส่งผลให้การส่งผ่านความร้อนต่ำเมื่อนำไปใช้งาน และทำให้ประหยัดพลังงาน อิฐที่มีคุณภาพดีเป็นสินค้าโภคภัณฑ์ขั้นพื้นฐานสำหรับที่อยู่อาศัยและทันสมัยสำหรับงานโครงสร้างอื่นๆ อิฐมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในเรื่องของความเป็นเนื้อเดียวกันและความแข็งแรง โดยพบว่าความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำเป็นสองคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญโดยทั่วไปของอิฐซึ่งจะทำให้อิฐสามารถรักษาสภาพให้คงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศที่แปรปรวนได้ ดังนั้นปัจจัยหลักที่มีส่วนสำคัญในการผลิตอิฐคือ

ประเภทของวัตถุดิบที่นำมาใช้และอุณหภูมิในการเผาอิฐ ซึ่งทั้งสองปัจจัยนี้มีผลโดยตรงต่ออิฐในแง่ของความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำรวมถึงการนำไปใช้งานของอิฐ เพื่อให้ได้อิฐที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลที่เหมาะสมจึงมีการใส่สารเติมแต่งเข้าช่วย โดยสารเติมแต่งที่ใช้บ่อยในการผลิตอิฐขึ้นอยู่กับลักษณะอิฐที่ต้องการ ซึ่งคุณสมบัติที่พึงประสงค์ของอิฐที่จะนำมาใช้งานต้องมีน้ำหนักเบา มีกำลังรับแรงอัดสูง และการดูดซึมน้ำต่ำ โดยวิธีหนึ่งที่จะทำให้อิฐมีน้ำหนักเบาคือเพิ่มความพรุนตัวโดยการเติมวัสดุกลุ่มอินทรีย์สาร (Organic matte) และอนินทรีย์สาร (Inorganic matte) เช่น เศษหญ้า แกลบข้าว ชี้เลื่อย โฟม กากกาแฟ และหินปูน ซึ่งในระหว่างการเผาวัสดุเหล่านี้จะถูกเผาจนเกิดเป็นรูพรุนในเนื้อวัสดุ รวมทั้งยังพบว่ากลุ่มวัสดุที่สร้างความพรุนตัวอย่าง เช่น อินทรีย์โดยทั่วไปจะมีราคาถูกกว่ากลุ่มอนินทรีย์สาร ซึ่งทั้งสองกลุ่มสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการสร้างรูพรุนตัว นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในเรื่องของการประหยัดพลังงานลดความร้อนเมื่อนำมาก่อสร้างเป็นผนังของอาคารก่อสร้าง เนื่องจากความพรุนตัวในเนื้ออิฐนั่นเอง ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพของอิฐโดยทำให้มีลักษณะเฉพาะคือน้ำหนักเบา แต่ความแข็งแรงยังเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้ถูกกำหนดเอาไว้จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจสำหรับการผลิตอิฐสำหรับนำมาใช้ในงานก่อสร้าง

จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (อิฐสามัญก่อสร้าง มอก. 77-2545) ได้กำหนดให้อิฐสามัญก่อสร้างมีค่าความแข็งแรงมากกว่า 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่าการดูดซึมน้ำต้องต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วในกระบวนการผลิตอิฐมอญในชุมชนอาจไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดเอาไว้เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลต่อการผลิต เช่น อุณหภูมิในการเผาอิฐ ถ้าหากการเผาอิฐไม่สุกก็จะทำให้อิฐนั้นเปราะ มีการดูดซึมน้ำสูง ในการที่จะพัฒนาอิฐให้ได้ตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ทำได้ โดยการควบคุมการเผาและการใช้สารเติมแต่งผสมในเนื้อดินเพื่อที่จะให้เนื้ออิฐหลังการเผามีเนื้อแน่นซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของอิฐ อีกทั้งยังจะช่วยให้อิฐมีการดูดซึมน้ำที่ต่ำลงด้วย

จากการศึกษาทำให้พบว่า เป็นสิ่งที่น่าสนใจมากที่สุดที่จะทำอิฐให้มีความเป็นฉนวนความร้อนซึ่งมีความสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจความเป็นอยู่ของพลเมืองในที่สุด เช่น อาคารที่อยู่อาศัย อาคารโรงงานอุตสาหกรรม เตาเผาขยะ เตาเผาศพ เป็นต้น อีกประการหนึ่งเมื่อเทียบกับการลงทุนเพื่อทำอิฐแล้วนำมาใช้หรือจำหน่ายพบว่าเป็นไปได้ที่จะให้ผลตอบแทนสูงกว่าการจำหน่ายในปัจจุบันมาก ซึ่งถ้าหากลงทุนดำเนินการจริงๆ จะให้ผลคุ้มค่าในเชิงผลตอบแทนและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า งานวิจัยนี้มุ่งหวังจะทำการศึกษาลักษณะความพรุนตัวของอิฐต่อสมบัติเชิงกล รวมทั้งตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของอิฐ โดยหวังว่าส่วนผสมและอิฐที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานของวัสดุก่อสร้าง

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงทางกายภาพ สมบัติเชิงกลและความพรุนตัวของอิฐมอญผสมชี้เลื่อย

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ศึกษาผลของอัตราส่วนผสมของการใช้ เศษชี้เลื่อย ต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และความพรุนตัวของอิฐมอญ โดยใช้แหล่งดินเหนียวจากชุมชนการผลิตอิฐมอญ

1.3.2 อิฐผลิตโดยวิธีโคลนอ่อน (soft mud process) เนื่องจากเป็นวิธีที่แพร่หลาย หากมีการนำผลการทดลองครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้ก็จะสามารถประยุกต์ใช้ได้โดยตรง

1.3.3 ส่วนผสมของตัวเติม ต่อดินเหนียวที่ผลิตอิฐ เท่ากับ 0, 2.5, 5, 7.5, และ 10% เเผที่อุณหภูมิ 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส และทำอิฐขนาดเดียวกันคือ 160x65x40 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐสามัญก่อสร้าง มอก. 77-2545

1.3.4 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น การหดตัว การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และค่าความพรุนตัว ตามมาตรฐาน ASTM C362-82 และ C373-88

1.3.5 ทดสอบสมบัติเชิงกลได้แก่ ค่าความต้านทานความเค้นอัด ตามมาตรฐาน ASTM C773-88

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ)

รีไซเคิล (Recycle) เป็นการจัดการวัสดุเหลือใช้ที่กำลังจะเป็นขยะ โดยนำไปผ่านกระบวนการแปรสภาพ โดยเฉพาะการหลอม เพื่อให้เป็นวัสดุใหม่แล้วนำกลับมาใช้ได้ อีก ซึ่งวัสดุที่ผ่านการแปรสภาพนั้นอาจจะ เป็นผลิตภัณฑ์เดิมหรือผลิตภัณฑ์ใหม่ก็ได้ รีไซเคิลมีความหมายต่างจาก รีユส (Reuse) ซึ่งหมายถึง การนำกลับมาใช้ใหม่โดยไม่ผ่านกระบวนการแปรสภาพใดๆทั้งสิ้น ในความเข้าใจของคนบางกลุ่มนั้น การรีไซเคิลยังหมายถึง การนำวัสดุเหลือใช้กลับมาปรับเปลี่ยนรูปแบบ หรือพัฒนารูปร่างใหม่ ให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบอื่นๆ

อิฐมอญ (Clay brick) เป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันแพร่หลายมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อิฐมอญทำจากดินเหนียว น้ำ และวัสดุที่ไม่มีความเหนียว อาทิ ขี้เถ้าแกลบ ทราบ ผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม ขนาดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใส่แบบพิมพ์อัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตามขนาดที่ต้องการ ทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปเผาจนสุก

สารเติมแต่ง สารตัวเติม (Additive) สารเคมีปริมาณเล็กน้อยซึ่งเติมในเซรามิกเพื่อปรับปรุงสมบัติให้ เป็นไปตามต้องการ

กระบวนการ กรรมวิธี (Process) การกระทำเป็นขั้นตอนต่อเนื่องกันโดยมีการพิจารณากำหนดไว้ล่วงหน้า

ขี้เลื่อย (Sawdust) เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงเลื่อยมีลักษณะเป็นผงหยาบ หรือละเอียดขึ้นอยู่กับกระบวนการของโรงเลื่อย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ส่งเสริมการนำวัสดุเหลือใช้ให้นำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และลดต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมในระยะยาวให้ดีขึ้น

1.5.2 เป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ซึ่งในข้อกำหนดของมาตรฐานมอก. 77-2545 ว่าด้วยเรื่องของอิฐสามัญก่อสร้าง

1.5.3 เป็นการส่งเสริมให้เกิดการวิจัยอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการนำวัสดุที่มีเหลือใช้ในท้องถิ่นหรือชุมชนเอามาใช้ให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งเป็นการถ่ายทอดความรู้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงกับอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมอญ



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติของอิฐตัวอย่างทั้งทางด้านกายภาพ และสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความหนาแน่น ความพรุน การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงของอิฐก่อสร้าง จึงจำเป็นต้องศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของส่วนผสมที่นำมาศึกษาต่างๆ ด้วย ดังต่อไปนี้

2.1 ดินเหนียว (Clays)

ดิน (Clay) หมายถึง สิ่งที่เกิดจากการตกตะกอนทับถมของเปลือกโลกโดยธรรมชาติองค์ประกอบของดินที่สำคัญคือ แร่ดิน (Clay mineral) ซึ่งเป็นแร่ดินที่ทำให้ดินมีคุณสมบัติเฉพาะคือ ความเป็นพลาสติก (Plasticity) แร่ดินที่สำคัญ คือ แร่กาอลิน (Kaolinite) แร่มอนท์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite) และแร่อิลไลต์ (Illite) แต่ดินในธรรมชาติยังประกอบด้วยผลึกของแร่ต่างๆ ที่ไม่ได้เป็นแร่ดิน แต่เรียกว่า แร่องค์ประกอบ (Accessory mineral) ที่พบมากได้แก่ ควอตซ์ (Quartz) เฟลด์สปาร์ (Feldspar) ไมกา (Mica) และแร่เหล็ก (Iron) สำหรับส่วนประกอบอื่นในดินคือ สารอินทรีย์และน้ำ สารอินทรีย์จะอยู่ในรูปต่างๆ คือ ลิกไนต์ ไช (Waxes) พวกรีดอินทรีย์ ส่วนน้ำจะอยู่ในรูปที่เป็นส่วนประกอบของผลึกแร่ หรืออาจจะอยู่ในรูปที่ถูกดูดซึมอยู่ตามผิวแร่และตามช่องว่างของแร่ (พานทอง อินทรชัย, 2548) ปริมาณองค์ประกอบต่างๆ ในดินและความละเอียดของเนื้อดินโดยธรรมชาติ จะเป็นตัวกำหนดบทบาทในการใช้ดินเป็นวัตถุดิบในงานเซรามิก เช่น ดินกาอลิน เหมาะสำหรับใช้ทำเครื่องปั้นดินเผาที่สีขาว (White ware) และใช้เป็นดินทนไปได้ดี มีความเหนียวและความแกร่งเมื่อแห้ง (Dry strength) น้อยกว่าดินดำ (Ball clay) เนื่องจากมีเนื้อหยาบกว่าดินดำ แต่ดินกาอลินให้ความทนไฟสูงกว่าดินดำ ซึ่งภายหลังการเผาดินดำจะมีสี เพราะมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์สูง ดินเหนียวสามารถจำแนกตามชนิดของแร่องค์ประกอบ หรือสมบัติบางประการของดินเหนียวคือ (เอก ช่อประดับ, 2547)

1. ดินขาว (Kaolin หรือ China clay) เป็นวัตถุดิบที่มีความละเอียด ทนความร้อนสูง มีสูตรโมเลกุลอย่างง่ายคือ $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ส่วนประกอบทางเคมีประกอบด้วย ซิลิกาประมาณ 45% อลูมินาประมาณ 40% และน้ำประมาณ 12%
2. ดินเหนียวดำชนิด Ball clay เป็นดินที่มีแร่กาอลิน หรือ เคโอไลไนต์ (Kaolinite) ไม่น้อยกว่า 65% โดยน้ำหนัก

3. ดินเหนียวดำชนิด Plastic clay เป็นดินเหนียวดำที่มีอยู่ในประเทศไทย มีเคโอลิไนต์น้อยกว่า 65% โดยน้ำหนัก โดยทั่วไปเรียกว่าดินดำ ดินเหนียวดำเมื่อเปียกน้ำจึงมีความเหนียวสูง ดินเหนียวดำเป็นดินตะกอนที่มีเนื้อดินเป็นเม็ดละเอียด เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงเนื้อดินจะมีสีขาวถึงครีม ดินเหนียวดำมีการหดตัวสูง ส่วนประกอบทางเคมีประกอบไปด้วย ซิลิกา 40-60% อลูมินาประมาณ 30% น้ำในผลึกและสารอินทรีย์ประมาณ 10% นอกจากนั้นเป็นออกไซด์ของโลหะต่างๆ เช่น TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O และ Na_2O ปนอยู่เล็กน้อย แร่ที่พบในดินดำมากที่สุดคือ เคโอลิไนต์ นอกจากนั้นมี มอนต์มอริลโลไนต์ อิลไลต์ ควอทซ์ และไมกา ปนอยู่เล็กน้อย สารอินทรีย์ที่พบได้แก่ ลิกไนต์ แวกซ์ เรซิน ลิกนิน และฮิวมัส นอกจากนี้มีเกลืออนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเกลือซัลไฟต์และคลอไรด์ของ Al, Fe, Ca, Mg, K และ Na

4. ดินทนไฟ (Fire clay) มีคุณสมบัติที่สำคัญคือไม่หลอมละลายและไม่ขยายตัวมากที่อุณหภูมิสูง

5. เบนโทไนท์ (Bentonite) คือดินที่เกิดจากการทับถมของขี้เถ้าภูเขาไฟนานนับล้านๆ ปี ประกอบด้วยแร่ธาตุมอริลโลไนท์ (Montmorillonite) ดินชนิดนี้มีขนาดเม็ดเล็กมากสามารถดูดซึมน้ำไว้ได้มาก ผลึกของแร่ดินมีเม็ดละเอียดมากเป็นพิเศษ มีความเหนียวมาก มีแร่เหล็ก 3-4% การหดตัวเมื่อแห้งและการหดตัวเมื่อเผาสูง ใช้ในการปรับปรุงเนื้อดินเพื่อเพิ่มความเหนียว (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541)

6. ดินเหนียวชนิดอื่นๆ เช่นดินแดงในแหล่งธรรมชาติที่มีบนผิวโลกมีผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันออกไป บางชนิดมทรายปนในเนื้อดินมาก ปริมาณของธาตุในดินแต่ละแหล่งแตกต่างกันไปด้วย จึงทำให้สีหลังการเผาแตกต่างกันไป เช่น สีเหลือง สีส้มนวล สีแดง สีแดงเข้ม และสีน้ำตาล เป็นต้น

7. ดินแดงทั่วไป (Terra-cotta clay) ดินแดงในแหล่งธรรมชาติทั่วไปบนผิวโลกมีผลวิเคราะห์ทางเคมีแตกต่างกันไป บางชนิดมีทรายปนในเนื้อดินมาก บางชนิดมีความเหนียวและเนื้อละเอียด ปริมาณของแร่ธาตุในดินแต่ละแหล่งแตกต่างกันไปด้วย ซึ่งทำให้สีภายหลังการเผาแตกต่างกันไปเช่น สีเหลือง สีส้มนวล สีแดง สีแดงเข้มและสีน้ำตาล เป็นต้น ถ้าในเนื้อดินมีแร่เหล็กประเภทออกไซด์หรือออกซิไดซ์ (Oxidized) และไฮเดรท (Hydrated) เนื้อดินภายหลังจากการเผาจะได้สีสมแดงสวยงาม แต่ถ้าในเนื้อดินมีแร่เหล็กประเภทซัลไฟด์ (Sulfide) เนื้อดินจะเกิดจุดดำๆของแร่เหล็กภายในหลังเผา จุดดำๆ ของแร่เหล็กในเนื้อผลิตภัณฑ์หรือเนื้ออิฐที่เผาแล้ว เมื่อเหล็กซัลไฟด์ถูกออกซิเจนในอากาศจะเกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ กลายเป็นกรด ซัลฟูริกหรือกำมะถัน ซึ่งทำให้เนื้อดินมีสีดำเป็นจ้ำๆ (Scum) ซึ่งมาภายหลัง ในกรณีเดียวกันถ้าเนื้อดินแดงมีปริมาณของแร่ยิปซัมปนอยู่ ซึ่งเป็นเกลือซัลเฟตของแคลเซียม เนื้อดินก็จะเกิดสีคล้ำเป็นจ้ำๆ ภายหลังจากการเผาเช่นกัน

ถ้าในเนื้อดินแดงมีปริมาณของหินปูนมากกว่า 30% แล้วนำมาเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 800 °C ดินจะยุบตัว หลังจากการเผาเนื่องจากแคลเซียมเกิดการสลายตัวในรูปผลึกที่อุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นเพื่อป้องกันปฏิกิริยาการยุบตัวของผลิตภัณฑ์ ควรเผาที่อุณหภูมิ 900-1050 °C จึงปลอดภัยสำหรับเนื้อดิน เทอราคอตตา เพราะเกลือซัลเฟตจากแคลเซียม จะเกาะรวมตัวกันกับซิลิกา และอลูมินาในอุณหภูมิที่สูงกว่า 900 °C แต่ถ้าเผาเกินอุณหภูมิ 1,100 °C หินปูนในเนื้อดินจะทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลาย ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ หรืออิฐที่ทำจากดินแดง เกิดการหดตัวอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ มีขนาดมาตรฐานเดิม การเผาเนื้อดินเทอราคอตตาได้ยาก ถึงแม้บางครั้งจะเผาในตัวเดียวกัน แต่คุณภาพของผลิตภัณฑ์มีสีและผิวความมันวาวไม่สม่ำเสมอ โดยปกติในดินแดงโดยทั่วไปมีปริมาณของหินปูน 10-20%

แร่ยิปซัมในดินแดงจะเปลี่ยนรูปผลึกเป็นคัลเซียมซัลเฟตที่อุณหภูมิประมาณ 200 °C และตามทฤษฎีแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 1,200 °C แต่เนื่องจากในดินแดงมีสารที่มีมลทินในปริมาณสูง จึงทำให้เนื้อดินเกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,200 °C ส่วนแมกนีเซียมซัลเฟตในดินแดงจะเกิดปฏิกิริยาในอุณหภูมิประมาณ 1,000 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิของแร่ยิปซัม แต่ไม่ค่อยพบสารแมกนีเซียมซัลเฟตในดินแดงมากนัก ในบางครั้งจะพบสารประกอบของโพแทสเซียมซัลเฟตและโซเดียมซัลเฟตในดินแดงแต่ไม่บ่อยนัก

ในการเผาเนื้อดินแดงจะต้องระวังในการใช้เชื้อเพลิงที่มีความบริสุทธิ์ และเผาในบรรยากาศสันดาสมบูรณ์ ถ้าเชื้อเพลิงถ่านหินที่มีก๊าซซัลเฟอร์ในการเผาไหม้เจือปน สามารถทำปฏิกิริยากับผิวผลิตภัณฑ์กลายเป็นเกลือซัลเฟตผิวดินจะหลอมตัวเป็นมันวาวได้ ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์อยู่เพียง 1.5% ก็สามารถทำปฏิกิริยากับเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ การเกิดเกลือซัลเฟตหลอมตัวเป็นมันวาวบนผิวผลิตภัณฑ์จะเริ่มก่อตัวที่อุณหภูมิระหว่าง 600-800 °C ถ้ามีก๊าซซัลเฟอร์ในเตาเกิน 0.5 ขึ้นไป

ดินแดงที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ดินเผาพื้นบ้านและทำอิฐจักเป็นดินที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งรวมทั้งดินดานหรือดินตะกอนด้วย ดินแดงและดินดานต่างมีองค์ประกอบทางเคมีสลับซับซ้อนและมีธาตุเจือปนอยู่มากกว่าดินขาว

โดยปกติองค์ประกอบทางเคมีของดินแดงนอกจากจะมีแร่กาไลนไนท์แล้ว ยังประกอบด้วยแร่ไมกาควอทซ์ เฟลด์สปาร์ ซัลเฟต เหล็กออกไซด์ เหล็กไฮดรอกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ และโพแทสเซียมออกไซด์ ซึ่งมีในปริมาณมากน้อยไม่เท่ากัน ในดินแต่ละแหล่งทำให้เนื้อดินแต่ละชนิดเผาสุกตัวในอุณหภูมิต่างกัน

สีของดินแดงที่ผู้ผลิตอิฐนิยมนำมาใช้แล้วจะต้องมีสีแดงสดแต่สีแดงในอิฐเกิดจากองค์ประกอบของวัตถุดิบหลายตัว เช่นเหล็กออกไซด์ อะลูมินา หินปูนและขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเผาด้วยการนำวัตถุดิบที่เป็นแร่ธาตุที่ให้สีในดินแดงมาเผาทดสอบที่อุณหภูมิ 1,000 °C จะได้สีแตกต่างกันไปตามตารางข้างล่าง

ตารางที่ 2.1 การทดสอบองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ให้สีในดินแดงเผาทดสอบที่อุณหภูมิ 1000 °C OF.

| ใช้เวลาในการเผาทดสอบ 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 1,000 °C OF | |
|--|--------------------|
| วัตถุดิบให้สีในดินแดง | สีหลังการเผา |
| Fe_2O_3 | สีน้ำตาลเข้มอมม่วง |
| $CaO-Fe_2O_3$ | สีม่วงอมเทา |
| $CaO-Al_2O_3-Fe_2O_3$ | สีแดงเข้ม |
| $7CaO-Fe_2O_3$ | สีเทาอ่อน |
| $4CaO-Al_2O_3-Fe_2O_3$ | สีเหลืองอมเทา |
| $Al_2O_3-Fe_2O_3$ | สีแดงอมน้ำตาล |
| $7CaO-Al_2O_3-Fe_2O_3$ | สีเหลืองอมเทา |
| $2Al_2O_3-Fe_2O_3$ | สีแดงเข้ม |
| $4CaO-Fe_2O_3$ | สีแดง |
| $CaO-2Al_2O_3-Fe_2O_3$ | สีเหลืองอมเทา |
| $4CaO-2Al_2O_3-Fe_2O_3$ | สีเหลืองสด |
| $7CaO-2Al_2O_3-Fe_2O_3$ | สีเหลืองสด |

(ไพจิตร อิงศิริวัฒน์, 2541)

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินแดงและดินเหลืองตามธรรมชาติการเผาดินแดง

| ผลวิเคราะห์ทางเคมี | สูตรดินแดง | | | สูตรดินเหลือง | | |
|--------------------------------|------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| วัตถุดิบ | | | | | | |
| SiO ₂ | 61.30 | 70.22 | 79.43 | 47.86 | 55.02 | 48.34 |
| Al ₂ O ₃ | 18.87 | 13.67 | 10.07 | 11.90 | 13.90 | 11.63 |
| Fe ₂ O ₃ | 6.66 | 6.80 | 5.35 | 5.18 | 4.53 | 4.59 |
| CaO | 0.85 | - | - | 14.96 | 10.95 | 15.87 |
| MgO | 1.20 | 1.30 | 1.40 | 1.71 | 1.76 | 1.79 |
| Alkali | 2.20 | 3.37 | 3.98 | 3.66 | 1.48 | 2.78 |
| FeO | - | - | 0.12 | - | - | - |
| CO ₂ | - | - | - | 10.44 | 8.64 | 11.71 |
| LOI | 3.20 | 5.30 | - | 4.64 | 3.31 | 5.28 |

(ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541)

ในการเผาเนื้อดินชนิดที่มีสีเหลืองต้องระวังไม่ให้มีก๊าซซัลเฟอร์ในเตาเผา เพราะก๊าซซัลเฟอร์ในเตาเผาจะทำให้เนื้อดินสีเหลืองเปลี่ยนเป็นสีแดงได้ เนื้อดินที่มีแคลเซียมสูง (CaO) ซึ่งเกิดปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ (SO₂) กลายเป็นแคลเซียมซัลเฟต (CaSO₄) เมื่อถูกบรรยากาศที่ร้อนหรือสันดาปไม่สมบูรณ์ ผิวของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนเป็นสีเทาเงิน เนื่องจากเขม่าหรือควันจากเชื้อเพลิงคาร์บอนจับสารให้สีบนผิวของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างนี้ดูได้จากเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน ที่มีสีม่วงอมเทาหรือกระเบื้องมุงหลังคาของญี่ปุ่น (Smoked roofing-tiles) ผิวที่มีสีเทาเข้มวาว เหลือบประกายของโลหะ

สรุปการเผาผลิตภัณฑ์เทอราคอตตาควรใช้เชื้อเพลิงที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ เช่น เตาไฟฟ้า หรือเตาแก๊ส และควรเผาในอุณหภูมิไม่เกิน 1100 °C ในบรรยากาศการเผาสันดาปสมบูรณ์ นอกจากเนื้อดินที่ทนอุณหภูมิ ได้เกิน 1200 °C สามารถเผาแบบรีดักชันได้ เช่น ผลิตภัณฑ์ด่านเกวียน

2.2 ผลของความร้อนที่มีต่อดิน

ในการเผาดินให้เป็นอิฐ เมื่อให้ความร้อนต่อดินจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดปฏิกิริยาในดิน การเปลี่ยนแปลงจะมีทั้งทางเคมีและทางกายภาพ การเผาอิฐมีจุดประสงค์เพื่อ เผาไหม้อินทรีย์สารต่างๆ เพื่อ

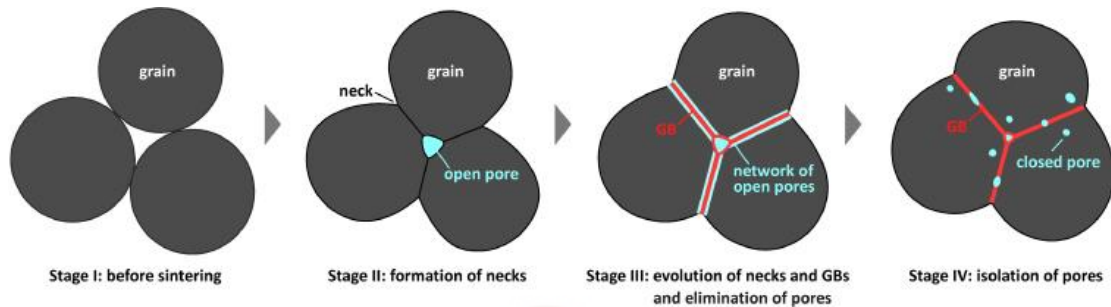
เปลี่ยนโครงสร้างของแร่ ทำให้เกิดเนื้อแก้วเพื่อเชื่อมอนุภาค และทำให้เนื้อแน่นขึ้น โดยที่เป็นผลของอุณหภูมิที่มีต่อเนื้อดินดังแสดงในตารางที่ 2.3 และ 2.4

ตารางที่ 2.3 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการเผาเนื้อดิน

| อุณหภูมิ (°C) | ปฏิกริยา |
|---------------|---|
| 100-200 | น้ำที่อยู่รอบๆ อนุของดินระเหยกลายเป็นไอ และเกิดการเผาไหม้ของอินทรีย์สาร ถ้าหากช่วงนี้เผาเร็วเกิดไปอาจทำให้เกิดการแตกหรือระเบิดของผลิตภัณฑ์ได้ |
| 450 | น้ำในโครงสร้างของดินเริ่มระเหย |
| 230-573 | ผลึกของซิลิกาหรือควอทซ์ เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปผลึกช่วงนี้ทำให้เกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว |
| 500-600 | น้ำในโครงสร้างของดินถูกเผาออกหมด ดินเริ่มเปลี่ยนสภาพ |
| 900-950 | เศษของอินทรีย์สาร (Carbon) ในเนื้อดินถูกเผาออกหมด หินปูนสลายตัวทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิประมาณ 825 °C |
| 980 | ดินเปลี่ยนโครงสร้างเริ่มเกิดการหดตัว เนื่องมาจากตัวหลอมละลาย (Flux) เริ่มหลอมรวมตัวกัน |
| 1050-1100 | เฟลด์สปาร์ในเนื้อดินเริ่มหลอมละลาย เกิดเป็นโครงสร้างรูปเข็มประสานกันจากผลึกมัลไลต์ในเนื้อดิน ช่วยทำให้เนื้อดินมีความแข็งแกร่ง และการหดตัวของเนื้อดินยังเป็นไปอย่างต่อเนื่อง |
| >1200 | ผลึกมัลไลต์มีมากขึ้น และเริ่มหลอมละลายปิดรูพรุนในเนื้อดินเพิ่มความแข็งแกร่งมากขึ้น โครงสร้างผลึกเปลี่ยนเป็นเนื้อแก้ว 60% มัลไลต์ 21% และควอทซ์ 19% |

ที่มา (Norton, F.H, 1970, p. 140)

กระบวนการที่สำคัญที่เกิดขึ้นในการเผาคือ Sintering และ Vitrification โดย Sintering เป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคของวัสดุเกิดพันธะซึ่งกันและกันโดยการแพร่ของแข็งที่อุณหภูมิสูง แต่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสารประกอบที่ถูกเผานั้น ส่วน Vitrification คือการหลอมหรือการเกิดเฟสของแก้ว ผลคือแก้วจะหลอมเหลวและแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างของวัสดุ และบางครั้งอาจเกิดปฏิกิริยากับวัสดุภายใน และเมื่ออุณหภูมิลดลง แก้วจะแข็งตัว และช่วยยึดอนุภาคที่ไม่หลอมเหลวให้ติดกันดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงกระบวนการหลอมละลายของวัสดุคิบเมื่อผ่านการเผาฟีนิก (Sintering)
(Iopscience, 2013, p. 1)

ตารางที่ 2.4 กระบวนการสำคัญที่เกิดขึ้นระหว่างเผาอิฐ

| อุณหภูมิ (°C) | กระบวนการ |
|---------------|--|
| 0-200 | ไอน้ำ |
| 460-700 | Dehydration (น้ำแยกออกจากโมเลกุล) |
| 600-900 | Oxidation เกิด CO, CO ₂ , ferrous oxide, ferric oxide |
| 900-1230 | Ferrous oxidation เปลี่ยนเป็น ferric oxide |
| 1280 | เกิด Vitrification |

ทีมา (Terapak, 1976)

2.3 อิฐ (Brick)

การทำอิฐเริ่มจากคนที่อาศัยอยู่ตามบริเวณลุ่มน้ำสายใหญ่ เช่น ลุ่มน้ำไทกริส (Tigris) และยูเฟทีส (Euphrates) โดยเริ่มสังเกตเห็นดินริมฝั่งที่น้ำแห้ง เมื่อถูกแดดเผาแห้งแตกเป็นก้อนๆ พบว่ามีความแข็งแรงและทนทานจึงได้นำโคลนและดินบริเวณริมฝั่งที่น้ำแห้งแล้วนำมาปั้นตากก็จะได้เป็นดินก้อนที่แข็งแรงทนทาน ดินบริเวณนั้นจึงนิยมนำมาทำอิฐในการก่อสร้างอาคารต่างๆ เช่น โบสถ์ ปราสาท เป็นต้น การทำอิฐโดยการใช้ดินนำเป็นก้อนแล้วตากแดดให้แห้ง มีมาหลายพันปีก่อนที่จะมีการบันทึกทางประวัติศาสตร์ ซึ่งอยู่ในราวสมัยของ Sargon of Akkad (3800 B.C.) ผู้สถาปนาอาณาจักร Chaldean ซึ่งต่อมาชาว Chaldean ได้เรียนรู้ที่จะทำอิฐโดยการเอาดินเหนียวมาเผาไฟ ตัวอย่างเช่น หอคอย Tower of Babel ระหว่างปี 406-562 B.C. จากนั้นในช่วงประมาณ 3000 B.C. ได้รู้จักการทำอิฐแข็งกว่าเดิมด้วยการเผาในเตาเผา ซึ่งเห็นได้จากโบราณสถานสำคัญๆ แถบตะวันออกกลางและแถบเมดิเตอร์เรเนียน โบราณสถานที่ยิปต์ที่ได้ปรากฏให้เห็นในปัจจุบันแสดงว่าชาวอียิปต์ตอนต้นได้รู้จักการทำอิฐดินเหนียวซึ่งมีทั้งแบบเผาและแบบตากแดดให้แห้งแข็งมานานแล้ว ขณะที่ชาวโรมันก็มีการใช้อิฐอย่างกว้างขวางเช่นกัน และยังรู้จักใช้ตัวประสานในการก่ออิฐที่ทำจากหินปูนและหินภูเขาไฟด้วย ซึ่งศิลปะการทำอิฐของชาวโรมันมีหลายแบบและได้สูญหายไปในช่วงที่อาณาจักรเสื่อมลงแล้วเป็นที่ปรากฏเป็นที่รู้จักอีกครั้งในช่วงศตวรรษที่ 17

ในส่วนของทางซีกโลกตะวันออก จีนได้อ้างว่าเป็นชาติแรกที่มีการทำอิฐ แต่ไม่มีการยืนยัน ซึ่งตามข้อสังเกตที่ได้จากวัสดุที่ใช้ในการสร้างกำแพงเมืองจีน (The great wall of china) นั้นสร้างจากอิฐที่เผาไฟและอิฐที่ไม่ได้เผาไฟ แต่อาจจะเป็นไปได้ว่าได้เรียนรู้ถ่ายทอดจากบาบิโลเนียน (Babylonians)

อิฐถูกนำเข้าสู่ประเทศอังกฤษเป็นครั้งแรกโดยชาวโรมันยุคตอนต้น เพื่อนำมาก่อสร้างศาสนสถาน จากนั้นมีการใช้สร้างปราสาทและที่อยู่ของพวกขุนนาง ต่อมาคนชั้นกลางจึงได้นำมาใช้ในการก่อสร้างเนื่องจากในช่วงนั้นเกิดเพลิงไหม้บ้านเมืองอยู่บ่อยๆ ทว่าทวีปยุโรปอิฐจึงถูกเลือกมาใช้เป็นวัสดุทนไฟในการก่อสร้างอย่างแพร่หลาย ต่อมาแม้ว่าจะมีการจดทะเบียนเครื่องจักรที่ใช้ในการทำอิฐเป็นครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1619 โรงงานทำอิฐยังมีพื้นฐานการผลิตอิฐที่ต้องใช้แรงงานคนทั้งสิ้น จนกระทั่งยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม เพื่อตอบสนองความต้องการใช้อิฐที่มีมากขึ้นจึงได้มีการนำเครื่องจักรมาแทนที่อย่างเร่งด่วน เริ่มมีการใช้เตาเผาของ Hoffman ซึ่งเผาไหม้ได้อย่างสม่ำเสมอและยังทำงานได้อย่างต่อเนื่อง นับตั้งแต่นั้นชาวอังกฤษได้มีการค้นคว้าพัฒนาเรื่อยมา จนอังกฤษได้ชื่อว่าเป็นหนึ่งในประเทศที่มีโรงงานผลิตอิฐแบบอัตโนมัติทั้งหมด ซึ่งทำให้การผลิตอิฐได้ถึง 7000 ล้านก้อนในปี 1971

ในประเทศไทยมีการทำอิฐเผาเป็นอุตสาหกรรมมานานนับร้อยปี ซึ่งเห็นได้จากโบราณสถานนับแต่สมัยเชียงแสน เช่น เมืองโบราณเชียงแสน อ.เชียงแสน จ.เชียงราย สมัยสุโขทัยและอยุธยา ซึ่งใช้สร้างวัด เจดีย์ กำแพงเมือง ฯลฯ สืบมาจนถึงปัจจุบัน เป็นลักษณะกิจการเป็นแบบอุตสาหกรรมในครัวเรือน คือทำด้วยมือ และจะทำเฉพาะในฤดูที่ว่างเว้นจากการทำนา อิฐที่ได้จะมีขนาดไม่แน่นอน ใหญ่บ้างเล็กบ้างตามความต้องการของท้องถิ่นที่ผลิต ซึ่งเป็นที่รู้จักกันทั่วไปในสมัยนั้นคือ อิฐมอญ ทำขายโดยชาวมอญแถบพุมธานี ปากเกร็ด นนทบุรี และในปัจจุบันมีโรงงานทำอิฐมอญกระจายตัวอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศเป็นจำนวนมาก

อิฐเป็นวัสดุเซรามิก (Ceramic) ชนิดหนึ่ง อิฐเมื่อผ่านการเผาแล้ว สามารถจำแนกได้เป็นชั้นๆ ตามเนื้อคุณภาพของเนื้ออิฐดังนี้

อิฐชั้นที่ 1 จะมีลักษณะสุกตัวทั้งก้อน มีสีเหลืองปนแดง เวลาเคาะมีเสียงดังกังวานแสดงถึงความแข็งแรง รูปร่างขนาดสม่ำเสมอตามมาตรฐาน ไม่มีรอยแตกร้าว

อิฐชั้นที่ 2 มีลักษณะสุกตัวทั่วทั้งก้อน มีสีเหลืองปนแดง แต่มีรูปร่างบิดเบี้ยวบ้างเล็กน้อย และผิวอิฐอาจจะมีรอยร้าวบ้าง

อิฐชั้นที่ 3 เป็นอิฐที่ไม่สุกตัวทั้งก้อน มีสีจางกว่าชนิดที่ 1 บางก้อนอาจมีสีดำต่าง คือ มีสีเหลืองปนดำ แข็งตัวไม่สม่ำเสมอ รูปร่างบิดเบี้ยวบ้าง มีรอยแตกร้าวเล็กน้อย

อิฐชั้นที่ 4 เป็นอิฐที่เผาสุกตัวจนเกินไป สีค่อนข้างเข้มหรือดำ รูปร่างและขนาดไม่สม่ำเสมอและมีรอยแตกร้าวเล็กน้อย

สำหรับ มาตรฐานเลขที่ มอก. 77-2545 เป็นมาตรฐานที่ว่าด้วย มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ ซึ่งได้กำหนดขนาด ค่าความเค้นอัดต่ำสุดและค่าการดูดซึมน้ำสูงสุด ไว้เพื่อใช้ในการทดสอบอิฐก่อสร้างสามัญ ตามตารางที่ 2.5 และ 2.6 ดังนี้

ตารางที่ 2.5 แสดงขนาดอิฐก่อสร้างสามัญ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

| ประเภทที่ | ขนาด (มิลลิเมตร) | | |
|-----------|------------------|-------|------|
| | ยาว | กว้าง | หนา |
| 1 | 140±5 | 65±3 | 40±2 |
| | 160±5 | 65±3 | 40±2 |
| | 190±5 | 90±3 | 40±2 |
| 2 | 190±5 | 90±3 | 65±2 |
| | 190±5 | 90±3 | 90±3 |

ที่มา (Thai Industrial Standards Institute, 1988, p. 3.)

สำหรับค่าที่ใช้เป็นเกณฑ์ ในการพิจารณาการผ่านการทดสอบ ตามมาตรฐาน มอก. 77-2545 แสดงดังตารางที่ 2.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความเค้นอัดที่จะผ่านมาตรฐานของอิฐสามัญก่อสร้าง

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าความเค้นอัดต่ำสุดและค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดของอิฐสามัญก่อสร้าง

| ประเภทที่ | ยาวxกว้างxหนา (มิลลิเมตร) | ความเค้นอัดต่ำสุด (MPa) | การดูดซึมน้ำสูงสุด (% โดยน้ำหนักของอิฐ) |
|-----------|------------------------------|----------------------------|--|
| 1 | 140x65x40 | 3.5 | 25 |
| | 140x65x40 | 3.5 | 25 |
| | 190x90x40 | 3.5 | 25 |
| 2 | 190x90x65 | 15.0 | 15 |
| | 190x90x90 | 15.0 | 15 |

2.4 ชนิดของอิฐก่อสร้าง

ลักษณะทั่วไปของอิฐก่อสร้างมีทรงเหลี่ยมขนาดแตกต่างกัน มีแบบเนื้อตัน และมีช่องว่าง ผิวเรียบ ผิวมีลวดลาย มีน้ำหนักมาก ส่วนใหญ่มีสีแดงคล้ำ เป็นต้น ในปัจจุบันได้มีการแบ่งชนิดของอิฐก่อสร้างให้ชัดเจนยิ่งขึ้น เพื่อให้ง่ายต่อการผลิต โดยอิฐก่อสร้างสามารถแบ่งออกได้ดังนี้ (วรพงษ์ เทียมสอน, 2555)

2.4.1 อิฐมอญ เป็นอิฐขนาดเล็กเท่ากับ 6x16x3.5 เซนติเมตร ทำจากดินท้องถิ่นที่มีเนื้อละเอียดปนทราย ไม่เหนียวมากจนเกินไป อาจมีการผสมกลบหรือซีเมนต์เล็กน้อยเข้าไปด้วย สามารถขึ้นรูปด้วยแรงงานคนคือใช้บล็อกซีเมนต์ที่มีขนาดตามิฐ หรือใช้เครื่องช่วยในการขึ้นรูป จากนั้นนำไปตากให้แห้งเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 7-10 วัน แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียส จึงทำให้อิฐที่ได้มีความแข็งแรงต่ำ ความพรุนตัวสูง นำไปใช้ก่อสร้างผนังอาคารที่ไม่ต้องการรับน้ำหนักมาก

2.4.2 อิฐสามัญ (Common brick) เป็นอิฐที่นิยมใช้กันมาก มีหลายขนาด ทำจากดินเหนียวและวัตถุดิบเติมแต่ง ขึ้นรูปด้วยมือหรือเครื่องจักรเพื่อให้อิฐเนื้อแน่น จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิปานกลางในช่วง 800-900 องศาเซลเซียส ทำให้อิฐที่ได้มีความแข็งแรงสูง ความพรุนตัวต่ำ เมื่อนำไปใช้งานต้องฉาบด้วยปูนซีเมนต์

ตามมาตรฐาน ASTM C62 ได้กำหนดขนาดมาตรฐานของอิฐสามัญไว้ที่ขนาด $2\frac{1}{4} \times 3\frac{3}{4} \times 8$ นิ้ว และแบ่งชนิดของอิฐสามัญเป็น 3 ชนิดได้แก่ ชนิดทนต่อสภาพอากาศสูง (Severe Weathering; SW) ชนิดทนต่อสภาพอากาศปานกลาง (Moderate Weathering; MW) และชนิดทนต่อสภาพอากาศได้น้อย (No Weathering; NW) โดยแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 สมบัติทางกายภาพของอิฐสามัญ

| ชนิด | ความทนแรงอัด (psi) | การดูดซึมน้ำ (%) | สัมประสิทธิ์การอมตัว | บริเวณที่ตั้ง |
|---------|-----------------------|---------------------|----------------------|------------------|
| เกรด SW | 3000 | 17 | 0.78 | ใต้ดิน เปียกชื้น |
| เกรด MW | 2500 | 22 | 0.88 | พื้น แห้ง |
| เกรด NW | 1500 | ไม่จำกัด | ไม่จำกัด | ผนัง |

2.4.3 อิฐประดับ (Facing brick) เป็นอิฐที่มีผิวสวยงาม สีสันทากหลาย มีความพรุนตัวต่ำมาก แข็งแรงสูง เมื่อนำไปใช้งานไม่ต้องมีการฉาบปูนทับ เนื่องจากต้องการโชว์ผิวอิฐ ตามมาตรฐาน ASTM C216 ได้ระบุชนิดของอิฐประดับไว้ 2 ชนิดคือ ชนิด SW และ MW เท่านั้น มีความแข็งแรงต่อแรงอัดได้ 3000 และ 2500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) สำหรับชนิด SW และ MW ตามลำดับ

2.4.4 อิฐด้านวิศวกรรม (Engineering brick) เป็นอิฐที่มีความแข็งแรงทนต่อแรงอัดได้มากกว่า 7500 psi ความพรุนตัวต่ำ 3-4 % หรือมีความพรุนตัวน้อยมากถึงไม่มีความพรุนตัว ใช้กับงานก่อสร้างอาคารสูง ห้องใต้ดิน ถนน สะพาน เป็นต้น

ตัวอย่างของอิฐด้านวิศวกรรมที่ใช้งานในการปูถนน (Paving brick) ตามมาตรฐานของ ASTM C62 และ C216 ได้กำหนดไว้เป็นอิฐชนิด SW เท่านั้น

2.4.5 อิฐทนต่อสภาพกรด (Acid-resistance brick) เป็นอิฐที่เน้นความทนต่อสารละลาย หรือสภาวะแวดล้อมที่มีแก๊สกัดกร่อนสูง เช่น SO_2 , CO เป็นต้น มีความพรุนตัวต่ำกว่า 1% และส่วนใหญ่จะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักมากกว่า 80%

2.4.6 อิฐตัน (Solid brick) เป็นอิฐที่มีเนื้อแน่นทั้งหมด ไม่มีช่องว่าง

2.4.7 อิฐกลวง (Hollow brick) เป็นอิฐที่มีช่องว่างโดยมีเนื้อที่ช่องว่างหน้าตัด 25-30% ซึ่งปัจจุบันอิฐกลวงเป็นที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากน้ำหนักเบา และมีความแข็งแรงสูง สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น การบรรจุสารดูดความชื้น หรือจุลินทรีย์ที่เป็นฉนวนความร้อนลงในช่องว่าง ทำให้อิฐนั้นมีสมบัติด้านการเป็นฉนวนความร้อนหรือเสียงมากขึ้น

ตามมาตรฐาน ASTM C625 กำหนดชนิดของอิฐกลวงไว้ 2 ชนิดคือ SW และ MW โดยกำหนดสมบัติไว้ในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 สมบัติทางกายภาพของอิฐกลวง

| ชนิด | ความทนแรงอัด (psi) | การดูดซึมน้ำ (%) | สัมประสิทธิ์การอึมตัว |
|---------|--------------------|------------------|-----------------------|
| เกรด SW | 3000 | 17 | 0.78 |
| เกรด MW | 2500 | 25 | 0.88 |

การออกแบบช่องว่างของอิฐกลวงจะต้องออกแบบให้มีความสมมาตรทั้งก่อน รูปร่างของช่องว่างมักเป็นวงกลมหรือสี่เหลี่ยม เพื่อรับน้ำหนักโดยทั่วทั้งก้อนพร้อมๆ กันและที่สำคัญคือ พื้นที่ของช่องว่างควรอยู่ระหว่าง 25-30% ของพื้นที่หน้าตัด

2.5 ลักษณะเฉพาะและสมบัติของอิฐก่อสร้าง

อิฐก่อสร้างแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะและสมบัติที่แตกต่างกัน ทำให้การเลือกใช้อิฐก่อสร้างจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานตามที่ต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานเฉพาะด้านที่ต้องการความแข็งแรงสูงมาก หรือการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัสสารเคมี การสัมผัสกับสภาพอากาศชื้นอยู่ตลอดเวลา เป็นต้น สำหรับลักษณะเฉพาะและสมบัติของอิฐก่อสร้างบางชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ลักษณะเฉพาะและสมบัติของอิฐ

| ลักษณะเฉพาะและ สมบัติ/องค์ประกอบทาง เคมี | ชนิด | | |
|--|-----------|-----------------|----------|
| | อิฐประดับ | อิฐด้านวิศวกรรม | อิฐสามัญ |
| SiO ₂ | 60.1 | 62.7 | 46.2 |
| Al ₂ O ₃ | 16.7 | 23.1 | 13.7 |
| Fe ₂ O ₃ | 5.8 | 8.4 | 6.0 |
| TiO ₂ | 0.5 | 1.2 | 0.8 |
| CaO | 6.5 | 0.9 | 11.4 |
| MgO | 4.2 | 1.2 | 12.8 |
| K ₂ O | 3.3 | 2.6 | 3.3 |
| Na ₂ O | 1.2 | 0.4 | 0.3 |
| ความหนาแน่น (g/cm ³) | 1.78 | 2.31 | 1.67 |
| ความพรุนตัว (%) | 14.9 | 0.4 | 21.0 |
| ความทนแรงอัด (psi) | 4030 | 11750 | 2780 |
| ค่าเกลือที่ละลายน้ำ (%) | 0.94 | 0.20 | 5.70 |

จากองค์ประกอบเคมีและสมบัติของอิฐแต่ละชนิด แสดงให้เห็นว่าถ้าต้องการใช้อิฐก่อสร้างที่ต้องการรับน้ำหนักสูงจะต้องเลือกใช้อิฐด้านวิศวกรรม เนื่องจากมีองค์ประกอบของซิลิกา และอะลูมินา สูงที่อาจอยู่ในรูปผลึกมัลไลต์ Mullite (3Al₂O₃·2SiO₂) ซึ่งมีโครงสร้างแข็งแรงส่งผลให้อิฐมีความแข็งแรงสูงตามไปด้วย ประกอบกับมีปริมาณของเกลือที่ละลายน้ำได้น้อย ทำให้ไม่ถูกชะหรือยุบส่งผลให้อิฐมีอายุการใช้งานได้นาน สำหรับอิฐสามัญนั้นจะเห็นได้ว่าเป็นความแข็งแรงค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเมื่อนำไปใช้งานจะต้องฉาบปูนซีเมนต์ทับช่วยเพิ่มความแข็งแรงสูงขึ้น และการที่มีปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้สูงนั้นอาจเป็นข้อดีที่ช่วยให้เกิดปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ทำให้เกิดการยึดเกาะได้ดีขึ้น ในส่วนของอิฐประดับนั้นมีปริมาณซิลิกา และอะลูมินาสูงส่งผลให้มีความแข็งแรง เนื่องจากเวลาใช้งานได้ไม่ฉาบด้วยปูนซีเมนต์ทับ และควรมีค่าเกลือที่ละลายน้ำได้ไม่สูงมากนัก เนื่องจากจะต้องสัมผัสกับอากาศ น้ำ และ ลม อยู่ตลอดเวลา เป็นต้น

2.6 กระบวนการผลิตอิฐ (Manufacture of bricks)

2.6.1 Soft mud process เป็นกระบวนการผลิตแบบพื้นบ้านที่ใช้แรงงานคนเป็นหลัก และมีปริมาณน้ำที่ผสมในดินค่อนข้างสูง (20-30%) โดยมีลำดับขั้นตอนคือ การเตรียมดิน การขึ้นรูปเป็นก้อน การผึ่งให้แห้ง และการเผา

2.6.2 Stiff mud process เป็นกระบวนการผลิตแบบที่มีขั้นตอนการผลิตเหมือนกับ Soft Mud Process แต่ใช้น้ำน้อยกว่าในการเตรียมดิน (12-15%) และใช้เครื่องจักรในการขึ้นรูปและตัดเป็นก้อน

2.6.3 Dry press process เป็นกระบวนการผลิตอิฐแบบโรงงาน มีลำดับขั้นตอนการผลิตเหมือนกับ Soft Mud Process แต่ต่างกันที่เตรียมดินนำเข้าเครื่องบด ไม่เติมน้ำในกระบวนการเตรียมดิน อัดเป็นก้อนโดยใช้เครื่องจักร

ในประเทศไทย มีการผลิตอิฐทั้ง 3 วิธี โดยวิธี Soft mud process ถูกใช้ในกระบวนการผลิตอิฐของชาวบ้านที่มีอาชีพทำอิฐมอญชาย มีวิธีคือ นำดินเหนียวมาผสมกับน้ำ แล้วขึ้นรูปโดยการนำดินเหนียวใส่ในแบบไม้ ถอดออกจากแบบ ตากอิฐสดให้แห้ง แล้วนำไปเผาในเตาเผาแบบเปิดโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง กรรมวิธีขึ้นรูปโดยใช้แรงงานคนนำดินใส่แบบและปาดให้ได้รูปอิฐนั้นจำเป็นต้องใช้น้ำเป็นส่วนผสมเพื่อช่วยหล่อลื่นเป็นปริมาณค่อนข้างมาก ทำให้อิฐที่ได้มีรูพรุนมากและกำลังรับแรงอัดต่ำ ส่งผลให้อิฐไม่เป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม สำหรับการผลิตอิฐด้วยวิธี Stiff mud process และ Dry press process ถูกใช้กระบวนการผลิตอิฐของโรงงานผลิตอิฐซึ่งขึ้นรูปโดยใช้เครื่องจักรอัด และตัดเป็นก้อนด้วยเส้นลวด เเผาในเตาเผาแบบปิด อิฐที่ได้จะมีความแข็งแรงมากกว่าการผลิตโดยใช้แรงงานคน

2.7 การเผาอิฐก่อสร้าง (Brick firing)

การเผาอิฐก่อสร้างอาจมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมีขึ้นอยู่กับชนิดของดินส่วนผสม การขึ้นรูป เนื่องจากอิฐก่อสร้างส่วนใหญ่มีดินเป็นส่วนผสมหลัก และมีวัตถุดิบที่เติมแต่งอีกเล็กน้อย โดยวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ใช้จะมีสิ่งเจือปนที่เป็นตัวหลอม (Fluxing agent) ช่วยทำให้อิฐสุกตัว (Vitrification) ได้ที่อุณหภูมิไม่สูงมากนักอยู่ในช่วง 900-1200 องศาเซลเซียส ซึ่งการเผาอิฐแบ่งออกเป็น 3 ช่วงดังนี้

2.7.1 ช่วงเริ่มต้นให้ความร้อน (Per-heating) อุณหภูมิ 100-600 องศาเซลเซียส ในช่วงนี้จะให้ความร้อนอย่างช้าๆ เพื่อกำจัดความชื้นที่เหลือในอิฐ และเผาไล่อินทรีย์สารที่อยู่ในดินให้หมด ช่วงนี้เป็นช่วงที่เกิดการแตกร้าวได้ง่าย เนื่องจากมีการระเหยของน้ำ ทำให้มีแรงดันสูงเกิดขึ้นในเนื้ออิฐ ขณะเดียวกันถ้าดินนั้นมีส่วนผสมของควอตซ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 573 องศาเซลเซียส ที่เรียกว่า Quarts

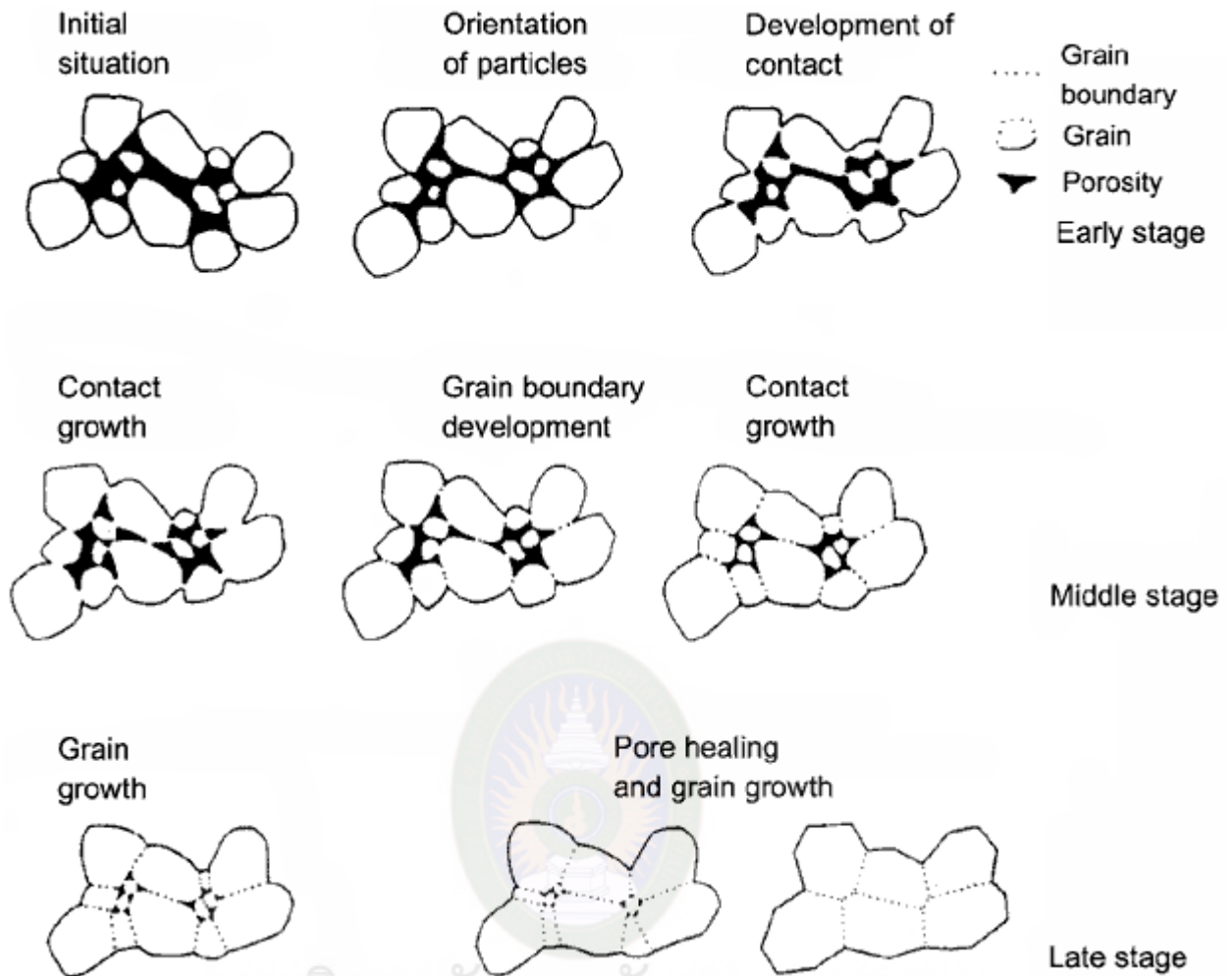
inversion ดังนั้นจึงต้องทำการให้ความร้อนอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันการไม่ใช้อิฐเกิดการแตกร้าวและเสียหายในระหว่างการเผาช่วงแรกนี้

2.7.2 ช่วงเผา (Firing) อุณหภูมิ 600-1200 องศาเซลเซียส ในช่วงนี้สามารถให้ความร้อนด้วยอัตราการเผาที่เร็วได้ ช่วงนี้เป็นช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่นการเปลี่ยนจากดินเป็นมลไลต์ หรือเกิดการหลอมของสารช่วยหลอม (เฟลด์สปาร์) หรือสิ่งเจือปนอื่นๆ แล้วเหนียวนำไปเกิดการสุกตัว ขณะเดียวกันอิฐจะเกิดการหดตัวจนอิฐมีความแน่นตัว ความพรุนตัวต่ำ และส่งผลให้มีความแข็งแรงสูง

การสุกตัวของอิฐก่อสร้างแบ่งได้ 3 ช่วงคือ ช่วงแรกของการสุกตัว (Early stage) เป็นช่วงที่อนุภาคของดินมีการเคลื่อนตัวเข้ามาชิดกัน ซึ่งอนุภาคของดินมาชิดกันเรียกจุดเชื่อมต่อว่า (Contact) ที่บริเวณเล็กๆ ขณะเดียวกันอิฐเริ่มมีการหดตัวเล็กน้อย แต่ยังคงมีช่องว่างภายในอิฐค่อนข้างสูงที่เกิดการระเหยของสารอินทรีย์และความชื้นในช่วงเริ่มให้ความร้อน

ช่วงกลางของการสุกตัว (Middle stage) เป็นช่วงที่มีการขยายพื้นที่กว้างขึ้นทำให้บริเวณที่อนุภาคชิดกันขยายกว้างมากขึ้นหรือที่เรียกว่าเกรน (Grain) จนขยายไปถึงอนุภาคดินที่อยู่ข้างเคียงโดยเรียกบริเวณที่อนุภาคชิดกันกันว่าขอบเกรน (Grain boundary) และอิฐมีการหดตัวมากขึ้นพร้อมๆ กับเริ่มหลอมละลายของสารบางตัวหรือตัวช่วยหลอมจนทำให้ช่องว่างเริ่มลดลงพร้อมๆ กับการขยายขอบเกรนมากขึ้น

ช่วงท้ายของการสุกตัว (Last stage) เป็นช่วงอนุภาคชิดกันมากขึ้นขอบเกรนขยายพื้นที่มากจนได้เกรนโตขึ้น (Grain growth) และอิฐมีการหดตัวมากขึ้นจนกระทั่งช่องว่างในอิฐลดลงน้อยลงและหมดไปในที่สุดพร้อมๆ กับการเกิดมลไลต์ทำให้ได้อิฐที่มีความแข็งแรงสูง ความพรุนตัวน้อย และมีความหนาแน่นสูง



ภาพที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอิฐก่อสร้างในระหว่างการเผา

ช่วงการเย็นตัว (Cooling) อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิห้อง ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ปล่อยให้อิฐมีการเย็นตัว ซึ่งจะต้องระมัดระวังการเกิด Quartz inversion ที่อุณหภูมิ 573 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงต้องทำให้อิฐเย็นตัวช้าลงจนกระทั่งผ่านอุณหภูมินี้ไปแล้ว จึงสามารถเพิ่มอัตราการเย็นตัวได้ โดยปกติจะทำการเปิดเตาที่อุณหภูมิประมาณ 100-120 องศาเซลเซียส เพื่อให้อิฐเย็นตัวเร็วขึ้น จึงนำออกมาจากเตาเผา

2.8 การตรวจสอบสมบัติของอิฐ

หลังจากที่นำอิฐเผาแล้วออกจากเตาจะต้องทำการตรวจสอบสมบัติหลังการเผาของอิฐ เพื่อควบคุมคุณภาพของอิฐให้เป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ โดยอิฐแต่ละชนิดจะมีสมบัติที่กำหนดไว้แตกต่างกัน ซึ่งสมบัติที่สำคัญของอิฐที่จะต้องตรวจสอบทุกครั้งได้แก่

2.8.1 ความคงทน (Durability) ความคงทนต่อสภาวะอากาศ น้ำ ลม สภาพความเป็นกรด-ด่างของอิฐเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากอิฐถูกนำไปใช้ในการก่อสร้างที่จะต้องสัมผัสกับสภาพแวดล้อมโดยตรง เช่น พื้นถนน กำแพง การบุผนังภายนอกอาคาร การก่อสร้างที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นการยึดเกาะ การฉาบปูนซีเมนต์ ซึ่งปูนซีเมนต์นี้มีสภาพความเป็นด่าง ทำให้อิฐก่อสร้างต้องสามารถทนต่อสภาพต่างได้ หรือแม้แต่การใช้อิฐก่อสร้างบุผนังหรือปูพื้นในห้องปฏิบัติการเคมี เป็นต้น

2.8.2 สี (Color) สีของอิฐก่อสร้างจะต้องสม่ำเสมอทั้งก้อน โดยสีอิฐจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับออกไซด์ให้สีที่อยู่ในดินแต่ละชนิด รวมถึงปริมาณออกไซด์ให้สี บรรยากาศการเผา อุณหภูมิการเผา ซึ่งปกติทั่วไปอิฐมักมีเฉดสีเป็นสีแดง แดงเข้ม น้ำตาลเข้มจนถึงสีดำที่เกิดจากเหล็กออกไซด์ หรือแมงกานีสที่ปะปนอยู่ในดิน โดยเหล็กออกไซด์เมื่อเผาในบรรยากาศรีดักชันจะทำให้อิฐมีสีดำ และถ้าเผาที่อุณหภูมิสูงสีของอิฐมักมีสีเข้มกว่าที่เผาอุณหภูมิต่ำ

2.8.3 ลักษณะของเนื้ออิฐ (Texture) เนื้ออิฐหรือผิวอิฐส่วนใหญ่จะมีลักษณะเรียบ รอยตัดเรียบ ขอบและมุมของอิฐได้เหลี่ยมหรือฉาก แต่อิฐในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้มีลวดลายและรูปร่างแตกต่างกันมากขึ้นเพื่อให้เกิดความสวยงามและมีรูปร่างใหม่ๆ ในการพัฒนาผิวอิฐนี้ทำได้โดยติดตั้งล้อกลิ้งใบมีดตัดแต่งรูปร่างต่อจากส่วนของหัวเครื่องรีด เพื่อกดให้ผิวของอิฐเรียบหรือเกิดลวดลายตามต้องการ

2.8.4 การเบี่ยงเบนของขนาด (Size variation) ขนาดของอิฐก่อสร้างหลังการเผาเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากการก่อสร้างจะต้องใช้อิฐเรียงซ้อนกันให้เกิดแนวเส้นตรงหรือได้ระดับสม่ำเสมอ ซึ่งอิฐก่อสร้างหลังการเผาจะมีขนาดเล็กกว่าอิฐก่อนเผาค่อนข้างมากที่เกิดจากการหดตัวระหว่างการอบและหลังการเผา โดยปกติการหดตัวของอิฐได้มีการกำหนดไว้เพื่อป้องกันการเบี่ยงเบนขนาดคือ การหดตัวเมื่อแห้งอยู่ระหว่าง 2-4% และการหดตัวหลังการเผาอยู่ระหว่าง 2.5-4% การหดตัวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้น ซึ่งมีโอกาสทำให้อิฐเกิดการเบี่ยงเบนขนาดได้ง่าย หรือเกิดการบิดเบี้ยวได้ แต่จะส่งผลดีต่อความคงทนและลดความพรุนตัว

2.8.5 ความแข็งแรงต่อแรงอัด (Compressive strength) อิฐก่อสร้างส่วนใหญ่ต้องการความแข็งแรงอัดสูง เพื่อให้สามารถใช้งานกับสิ่งปลูกสร้างที่ต้องรับน้ำหนักมาก เช่น เขื่อน สะพาน ถนน อาคารสูง เป็นต้น

2.8.6 การดูดซึมน้ำ (Water absorption) อิฐก่อสร้างส่วนใหญ่ควรมีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของสิ่งสกปรก โดยเฉพาะอิฐก่อสร้างที่ต้องใช้ในอาคารหรืออิฐที่ตกแต่งภายใน รวมถึงการใช้งานด้านสถาปัตยกรรมก่อสร้างใต้ดินหรือใกล้แหล่งน้ำ ซึ่งจะต้องใช้อิฐที่มีการดูดซึมน้ำน้อยมากหรือไม่ดูดซึมน้ำเลย เนื่องจากน้ำเมื่อเข้าไปอยู่ในรูพรุนของอิฐ ขณะระเหยหรือสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง น้ำในอิฐจะเกิดการระเหยและมีแรงดันสูงที่จะทำให้อิฐร้าวหรือแตกได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้อิฐก่อสร้างในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอยู่เสมอ

2.9 ความพรุนตัวของวัสดุและการดูดซึมน้ำ

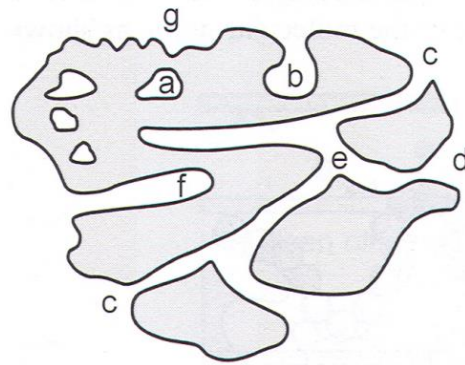
รูพรุน (Pore) หรือช่องว่างอากาศ (Air space) ในเนื้อวัสดุ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ รูพรุน เปิด (Opened or unsealed pores) และรูพรุนปิด (Closed or sealed pores) โดยที่รูพรุนเปิดจะมีส่วนหนึ่งต่อกันผิววัสดุได้ดังแสดงดังภาพที่ 2.3

ความพรุนตัว (Porosity) ของวัสดุเป็นอัตราส่วนของช่องว่างอากาศที่มีอยู่ระหว่างอนุภาคของของแข็งในวัสดุต่อปริมาตรวัสดุ ความพรุนมี 2 ชนิดคือ

2.9.1 ความพรุนจริง (True porosity) เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของช่องว่างทั้งหมด (ทั้งรูพรุนปิดและรูพรุนเปิด) ในวัสดุต่อปริมาตรทั้งหมดของวัสดุ

2.9.2 ความพรุนปรากฏ (Apparent porosity) เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของน้ำหรือของเหลวที่วัสดุสามารถดูดซึมผ่านเข้าไปได้ต่อปริมาตรทั้งหมดของวัสดุ โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงความพรุนจะหมายถึงความพรุนตัวปรากฏ

ความพรุนที่เพิ่มขึ้นในเนื้ออิฐ ทำให้ความหนาแน่นและกำลังของอิฐลดลงในขณะที่ความเป็นฉนวนความร้อนเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าความนำความร้อนเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความหนาแน่นของอิฐ วัสดุที่มีความพรุนเพิ่มขึ้นจะมีกำลังลดลงในอัตราส่วนที่มากกว่าความหนาแน่นลดลง ในอิฐที่มีความพรุนเท่ากัน อิฐที่มี Pore Size ขนาดเล็กกว่าจะนำความร้อนได้น้อยกว่า (เอก ซ่อประดับ, 2547)



ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะของรูพรุนแบบต่างๆ

Accessibility: a: Closed pores, b,c,d,e,f: Open pores, b, f: Blind pores (Dead-end or saccate) and e: Through pores ;shape: c: Cylindrical open, f: Cylindrical blind, b: Ink-bottle-shaped , d: Funnel shaped and g: Roughness.

ที่มา (Smaller pores, 2006, p. 1)

2.10 สารเติมแต่ง (Additive)

สารเติมแต่งที่นำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐนั้น มีหลากหลายขึ้นอยู่กับความต้องการและลักษณะเฉพาะของอิฐที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการนำตัวเติมมาผสมในการทำอิฐเพื่อทำให้เกิดรูพรุนในเนื้ออิฐ โดยคาดหวังว่ารูพรุนที่เกิดขึ้นในเนื้ออิฐนี้จะส่งผลในด้านความเป็นฉนวนความร้อนของอิฐก่อสร้าง นอกจากนั้นผลจากการใช้สารเติมแต่งที่ทำให้เกิดรูพรุนแล้วในขณะเดียวกันคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลจะยังคงเป็นไปตามมาตรฐาน ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวเติมเพื่อศึกษาลักษณะของรูพรุนที่เกิดขึ้นในเนื้ออิฐคือ แกลบข้าว ขี้เลื่อย และเศษหญ้า

2.10.1 ขี้เลื่อย (Sawdust) ขี้เลื่อยเป็นของเสียที่ได้จากไม้เช่น อุตสาหกรรมทำเฟอร์นิเจอร์เป็นหลัก ขี้เลื่อยยังสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับให้ความร้อน ขี้เลื่อยเมื่อผ่านการเผาจะเหลือเถ้าและหากนำมาใช้ผสมในการทำอิฐก็จะเป็นวัสดุที่สร้างรูพรุนได้ดีอีกชนิดหนึ่ง องค์ประกอบทางเคมีของขี้เลื่อยประกอบไปด้วย คาร์บอน (carbon) 60.8%, ไฮโดรเจน (hydrogen) 5.2%, ออกซิเจน (oxygen) 33.8% และ ไนโตรเจน (nitrogen) 0.9%. ไม้แห้งจะมีองค์ประกอบคือ เซลลูโลส (cellulose), ลิกนิน (lignin), เฮมิ

เซลลูโลส (hemicelluloses) และอื่นๆ (5-10%) เศษชี้เลื่อยสามารถนำมาใช้สำหรับสร้างรูปพูนในผลิตภัณฑ์เซรามิกได้ เช่น ผลิตภัณฑ์อิฐก่อสร้าง เป็นต้น



ภาพที่ 2.4 ลักษณะของชี้เลื่อย

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Faller (2004) ศึกษาใช้ชี้เลื่อยผสมดินเหนียวเพื่อผลิตอิฐ โดยใช้ชี้เลื่อยขนาดใหญ่ป่นอยู่ตั้งแต่ 0.5-10 มิลลิเมตร หลังการเผาจะให้ให้มีช่องว่างขนาดไม่เท่ากันและความพรุนตัวมาก ทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง และค่าความเป็นฉนวนความร้อนเพิ่มตามไปด้วย

Sveda (2000) ศึกษาอิทธิพลของชี้เลื่อยต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของเนื้อดิน โดยทดลองผลิตอิฐจากแร่ดินมอนโมริลโลไนท์ (Montmorillonite Mineral) ผสมกับชี้เลื่อย 2 ขนาดคือ 0-1 มิลลิเมตร และ 1-4 มิลลิเมตร ทำให้อิฐลดการนำความร้อนได้ประมาณ 30-40% โดยมีค่าความแข็งแรงประมาณ 40-70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

Ismail Demir (2006) ศึกษาการนำกากของเสียจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขามาใช้เป็นส่วนผสมในอิฐก่อสร้าง โดยศึกษาผลของความพรุนตัว ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าความแข็งแรงของอิฐซึ่งใช้กากใบชาผสมในเนื้ออิฐคือ 0, 2.5 และ 5% โดยน้ำหนัก เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มกากใบชาหลังการเผาจะทำให้ความพรุนตัวสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าความหนาแน่นลดลง ส่งผลให้มีสมบัติการเป็นฉนวนเพิ่มขึ้น

Okunade, E. A. (2008) ใช้เถ้าไม้และชี้เลื่อยผสมในเนื้อดินสำหรับทำอิฐในอัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนักที่ใช้ในการศึกษา อัตราส่วนผสมจาก 0-10 เปอร์เซ็นต์ ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณของชี้เลื่อย

เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการรับแรงอัดลดลงในขณะที่อุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้นจาก 950 องศาเซลเซียส เป็น 1100 องศาเซลเซียส ค่าการรับแรงอัดเพิ่มขึ้นสูงขึ้น และค่าการดูดซึมน้ำลดลง

เอก ข้อประดับ (2547) ศึกษาผลของแคลบจ่อคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐสามัญที่ทำจากดินเหนียวผสมแคลบมีอัตราส่วนของแคลบต่อดินเหนียวโดยน้ำหนักแห้งที่ร้อยละ 0, 3.4, 4.9 และ 7.8 เผาที่อุณหภูมิ 800, 1000 และ 1200 องศาเซลเซียส ผลจากการทดลองพบว่า แคลบมีผลทำให้อิฐมีกำลังรับแรงอัดลดลง และลดในอัตราที่รวดเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของความพรุน เมื่ออิฐมีความพรุนตัวเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อิฐที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างคืออิฐที่ผสมแคลบร้อยละ 2.2 เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 24

พนาทอง อินทรชัย (2548) ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนของอิฐดินเหนียวผสมเถ้าลอยและยิปซัมจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยศึกษาคุณสมบัติเชิงกลคือ ความต้านทานความเค้นอัดและความต้านทานโมเมนต์ดัด และศึกษาคุณสมบัติเชิงความร้อนคือการนำความร้อน รวมไปถึงศึกษาสมบัติทางกายภาพคือ ความหนาแน่น ความพรุน และการดูดซึมน้ำ ตัวอย่างของอิฐเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยเป็น 0, 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และยิปซัม 0, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนที่เหลือเป็นดินเหนียว ผลจากการศึกษาพบว่า ที่ส่วนผสมยิปซัม 10% ที่ทุกสัดส่วนของเถ้าลอย ค่าความต้านทานความเค้นอัดและค่าความต้านทานโมเมนต์ดัดจะสูงกว่าที่ส่วนผสมต่ำกว่าหรือสูงกว่า 10% ส่วนผสมของเถ้าลอยในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นจาก 0% จะทำให้ค่าความต้านทานความเค้นอัดและค่าความต้านทานโมเมนต์ดัดลดลง แต่จะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยที่ส่วนผสมของเถ้าลอยอยู่ในช่วงมากกว่า 20% การผสมเถ้าลอยมากขึ้นจะทำให้ค่าการนำความร้อนลดลงในขณะที่ความแข็งแรงลดลง สำหรับค่าความหนาแน่น ความพรุน และการดูดซึมน้ำ ผ่านมาตรฐานและอยู่ในเกณฑ์ของอิฐสามัญก่อสร้าง ซึ่งอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือ เถ้าลอย : ยิปซัม : ดินเหนียว เท่ากับ 0 : 10 : 90 % โดยน้ำหนัก อิฐที่ได้จะมีค่าความต้านทานความเค้นอัดระหว่าง 3.8340-4.3545 เมกะพาสคัล ค่าความต้านทานโมเมนต์ดัด 3.0752-3.6477 เมกะพาสคัล และค่าการนำความร้อนคือ 0.2997-0.3026 วัตต์ต่อเมตร เคลวิน

Faria et al. (2012) ได้รายงานผลการศึกษาจากการใช้เถ้าขานอ้อยผสมในการทำอิฐดินเผาพบว่า หลังจากการเผาปริมาณการดูดซึมน้ำของอิฐจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าความแข็งแรงของอิฐลดลง อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในการเผาที่เหมาะสมคือ 1000 °C ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำจะน้อยลงนั้นแสดงให้เห็นว่าซิลิกาที่ได้จากเถ้าขานอ้อยทำปฏิกิริยาหลอมละลายรวมกับตัวหลอมละลายที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อดินเช่น เฟลด์สปาร์ และตัว

หลอมละลายอื่นๆ ซึ่งจะทำให้รูพรุนลดลงและส่งผลให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของเถ้าชานอ้อยที่เหมาะสมสำหรับเป็นส่วนผสมในดินเพื่อทำอิฐควรมิเกิน 10 % โดยน้ำหนักของส่วนผสมและเหมาะที่จะนำเอามาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐดินเผา

Souza et al. (2011) ศึกษาการนำเถ้าชานอ้อยมาเป็นตัวเติมในส่วนผสมของการทำวัสดุเซรามิกสำหรับทำกระเบื้องผนังหลังคา โดยเถ้าชานอ้อยที่นำมาผสมในการทำกระเบื้องผนังหลังคาเท่ากับ 0, 20, 40 และ 60% ของเถ้าโดยน้ำหนัก และนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไปเผาที่อุณหภูมิ 800, 900, 1000, 1100 และ 1200 °C. ผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าชานอ้อยจาก 0-60% ในตัวอย่างชิ้นทดลองนั้นปริมาณการดูดซึมน้ำจะลดลงและค่าการดูดซึมน้ำจะไม่เปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 °C แต่จะเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดที่อุณหภูมิ 1100 และ 1200 °C เป็นผลมาจากการหลอมเหลวของเฟสที่เป็นตัวหลอมละลายในเนื้อดินร่วมกับซิลิกาและองค์ประกอบอื่นๆ ที่มาจากเถ้าชานอ้อย ซึ่งจะทำให้ความพรุนตัวลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้น การเพิ่มปริมาณของเถ้าชานอ้อยจะทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงของชิ้นตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่ม จำทำให้ความพรุนลดลงค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้น สรุปผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้เถ้าชานอ้อยในปริมาณตั้งแต่ 20-60% โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิในการเผาตั้งแต่ 1000 °C ขึ้นไปจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องผนังหลังคาที่มีความทนทานที่ดี ดูดซึมน้ำน้อยและค่าความแข็งแรงสูง นอกจากนี้การนำเถ้าชานอ้อยมาใช้ยังเป็นผลดีของการเพิ่มมูลค่าจากของเสียที่มีอยู่ในปริมาณที่มากเป็นการนำเอามาใช้ให้เกิดประโยชน์และยังช่วยในเรื่องการรักษาสิ่งแวดล้อมอีกทางด้วย อีกทั้งหากมีการศึกษาเพิ่มเติมผลจากการใช้เถ้าชานอ้อยเป็นตัวเติมในส่วนผสมของอิฐดินเผา เมื่อผสมเถ้าชานอ้อยแล้วหลังจากการเผาจะเกิดเป็นรูพรุนขึ้นในเนื้ออิฐ ซึ่งตรงนี้อาจจะต้องศึกษาการปรับปรุงการเป็นแนวความร้อนสำหรับอิฐดินเผาได้อีกทางหนึ่งก็เป็นได้

บทที่ 3

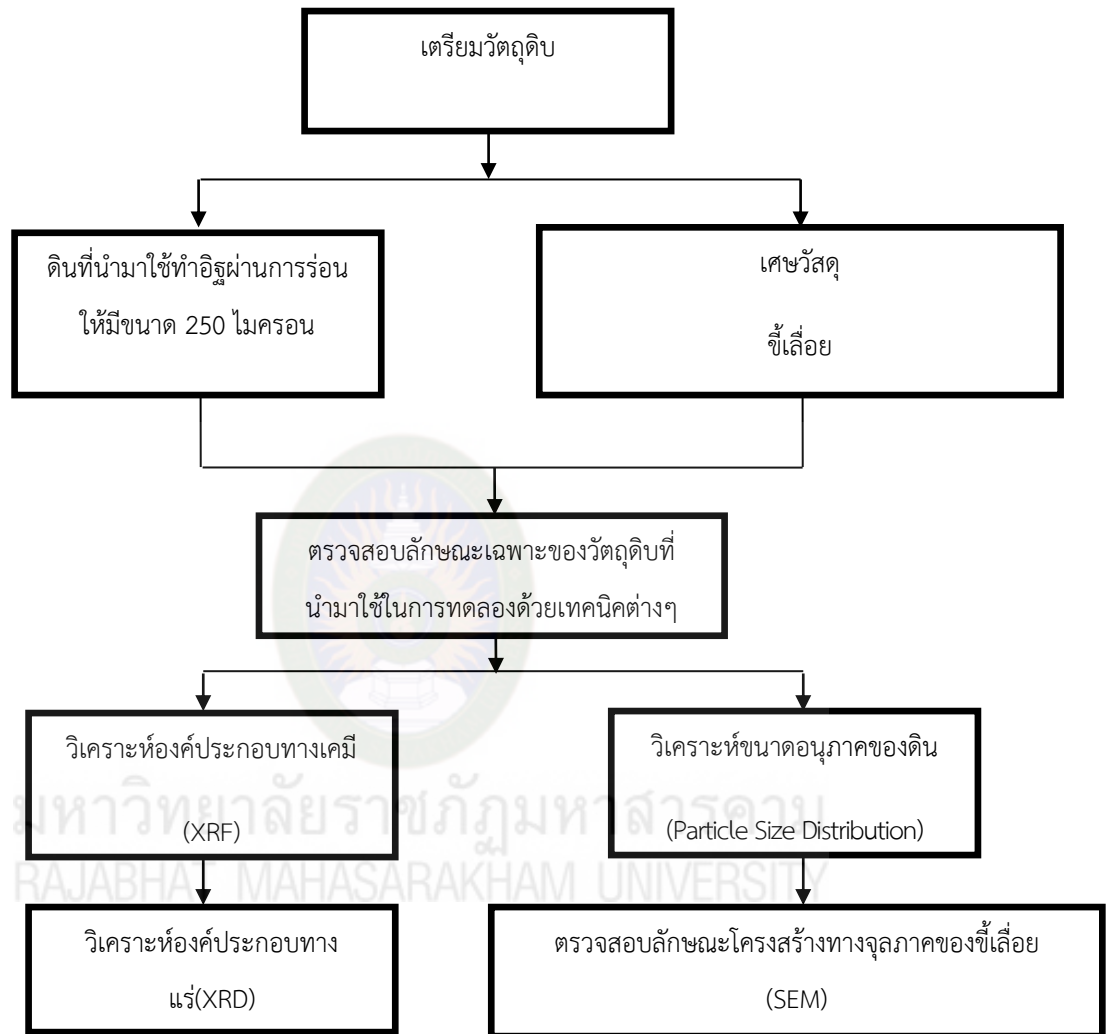
วิธีการดำเนินการทดลอง

ในบทนี้จะได้อธิบายวิธีการและขั้นตอนในการทดลอง โดยจะศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล ของการเติมซีเมนต์ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐดงรายละเอียดดังนี้

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ดินที่ใช้นำมาศึกษาในครั้งนี้ได้จากแหล่งของการผลิตอิฐ อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม วัตถุดิบที่นำมาจะทำการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี (Chemical compositions) โดยใช้เทคนิค X-ray fluorescence, XRF องค์ประกอบทางแร่ (Mineral compositions) โดยใช้เทคนิค X-ray diffractometer, XRD ตรวจสอบขนาดอนุภาคของดิน (Particle size distribution) ซึ่งวิธีการทดลองแสดงดังแผนภาพที่ 3.1

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



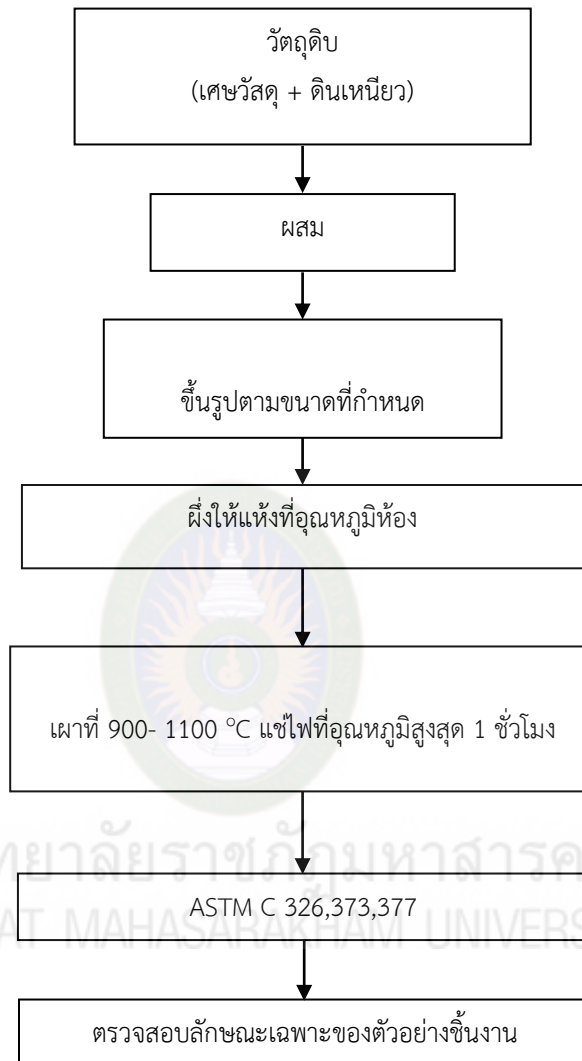
ภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.2 การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

ในการทดลองนี้ได้นำเศษวัสดุที่ผ่านการบดละเอียดมาใช้ผสมในการขึ้นรูปอิฐด้วยอัตราส่วนแตกต่างกันออกไปคือ 0%, 2.5%, 5.0%, 7.5% และ 10% โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 3.1 วิธีการขึ้นรูปอ้างอิงจากการผลิตแบบชาวบ้านเป็นการอัดดินลงในแบบที่มีขนาด 140 x 65 x 40 มิลลิเมตร หลังการขึ้นรูปปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างของอิฐไปเผาด้วยเตาแบบปิดที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส แช่วไฟไว้ที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง และตรวจสอบลักษณะของชิ้นตัวอย่างอิฐ ทางด้านสมบัติทางกายภาพ เช่น การหดตัวหลังการเผา ตามมาตรฐาน ASTM C 326-09 (2014) สมบัติเชิงกลได้แก่ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ ความพรุนตัวปรากฏ ASTM C 373-14a (2014) และค่าความแข็งแรง ตามมาตรฐาน ASTM C 773-88 (2011) ตามลำดับ แผนการดำเนินการทดลองดังแสดงตามแผนภาพที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง (โดยน้ำหนัก) เตรียมดิน และ ซีเมนต์

| ตัวอย่าง | ดิน (%) | เศษวัสดุซีเมนต์ (%) |
|----------|---------|---------------------|
| 1 | 100 | 0 |
| 2 | 97.5 | 2.5 |
| 3 | 95 | 5 |
| 4 | 92.5 | 7.5 |
| 5 | 30 | 10 |



ภาพที่ 3.2 แสดงวิธีการทดลองและการตรวจสอบลักษณะของชิ้นตัวอย่างอิฐ

3.3 ตรวจสอบลักษณะเฉพาะของวัสดุ

3.3.1 ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี

3.3.3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF: Mesa-500W, Horiba, Japan).

3.3.2 ตรวจสอบองค์ประกอบทางแร่

3.3.2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่และความเป็นผลึกเป็นวัสดุด้วยเทคนิค X-ray Diffraction Technique (XRD: X' Pert Pro MPD, Philips, Netherlands).

3.3.3 วิเคราะห์ขนาดอนุภาคของดิน

3.3.3.1 วิเคราะห์ขนาดอนุภาคของดินด้วยเทคนิค Particle size analyzer (Mastersizer 2000+Hydro 2000 MU, Malvern Instruments Limited, UK)

3.3.4 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ

3.3.4.1 การหดตัวหลังการเผา (Fired shrinkage) ของชั้นตัวอย่างหลังการเผา ที่อุณหภูมิ 900-1100 °C. ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังนี้

- วัดความยาวของอิฐหรือซึ้นทดสอบ หลังทำการอบแห้ง เป็นค่าความยาวหลังการแห้ง (ซม.)
- วัดความยาวของอิฐหรือซึ้นทดสอบ หลังทำการเผา เป็นค่าความยาวหลังการเผา (ซม.)
- คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผาตาม สมการ

$$\% \text{ การหดตัวหลังการเผา} = \frac{\text{ความยาวหลังการอบแห้ง} - \text{ความยาวหลังการเผา}}{\text{ความยาวหลังการอบแห้ง}} \times 100 \quad (3.1)$$

3.3.4.2 การหาค่าความพรุนตัว (Porosity) เป็นการเปรียบเทียบปริมาตรของรูพรุนกับปริมาตรหรือน้ำหนักของชิ้นทดสอบ สมการที่ใช้หาค่าความพรุนตัวปรากฏ (Apparent porosity) คือ อัตราส่วนของปริมาตร รูพรุนเปิด (Open pores volume) ต่อ ปริมาตรทั้งหมด (Total volume) ดังจะหาได้จากสมการ

$$\% \text{ Porosity} = \frac{W - D}{W - S} \times 100 \quad (3.2)$$

โดยที่ $W - D$ = น้ำหนักของน้ำที่อยู่ในเนื้ออิฐ (กรัม)

$$= (\text{มวลอิฐ} + \text{มวลน้ำ}) - (\text{มวลอิฐ}) = \text{มวลน้ำ}$$

$$W - S = (\text{มวลอิฐ} + \text{มวลน้ำ}) - (\text{มวลอิฐ} + \text{มวลน้ำ} - \text{แรงลอยตัวของอิฐ})$$

$$= \text{แรงลอยตัวของอิฐ}$$

3.3.4.3 การหาค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ค่าการดูดซึมน้ำเป็นสมบัติทางกายภาพอีกอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญ เพราะต้องมีค่าอยู่ในพิสัยที่เหมาะสมเพื่อให้การนำอิฐไปใช้งานได้ดี ดังนั้นค่าการดูดซึมน้ำของอิฐจึงต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ โดยกาหาค่าการดูดซึมน้ำหาได้จากสมการคือ

$$\% \text{ Water absorption} = \frac{W - D}{D} \times 100 \quad (3.3)$$

โดยที่ $W - D$ = น้ำหนักของน้ำที่อยู่ในเนื้ออิฐ (กรัม)

$$D = \text{น้ำหนักเนื้ออิฐแห้ง (กรัม)}$$

3.3.4.4 การหาค่าความหนาแน่น (Bulk density) ความหนาแน่นของอิฐเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่มีความสำคัญต่อการเลือกใช้อิฐพอสมควรเนื่องจากต้องคำนึงถึงภาระของโครงสร้างของสิ่งก่อสร้าง ซึ่งค่าความหนาแน่นหาได้สมการดังนี้

$$\text{Density} = \frac{D}{W - S} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (3.4)$$

โดยที่ Density = ความหนาแน่นทั้งก้อนของอิฐ (g/cm³)

D = น้ำหนักอิฐแห้ง (กรัม)

W - S = (มวลอิฐ + มวลน้ำ) - (มวลอิฐ + มวลน้ำ - แร่งลอยตัวของอิฐ)
= แร่งลอยตัวของอิฐ ซึ่งเท่ากับปริมาตรของอิฐ

3.3.4.5 การหาค่าความหนาแน่นปรากฏของของแข็ง (Apparent density) วัสดุที่มีรูพรุน (Porous solid) จะมีหลายวิธีที่จะแสดงถึงปริมาตร และค่านี้จะต้องหาได้ก่อนที่จะหาค่าความหนาแน่น (Density) ที่ถูกต้องและแม่นยำ (ปริมาตรจะแสดงเป็นปริมาตรก่อนบดและปริมาตรหลังบด) ซึ่งจะหาได้จากสมการ

เมื่อ S - I = ปริมาตรของรูพรุนเปิด + ปริมาตรรูพรุนปิด + ปริมาตรของของแข็ง

S - D = ปริมาตรรูพรุนปิด

D - I = ปริมาตรรูพรุนปิด + ปริมาตรของของแข็ง

ความหนาแน่นปรากฏของของแข็งคือ

$$\text{Apparent density} = \frac{D}{D - I} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (3.5)$$

โดยที่ D = น้ำหนักของชิ้นงานที่แห้ง (กรัม)

S = น้ำหนักของชิ้นงานที่ Soaked (กรัม)

l = น้ำหนักของชิ้นงานที่ immersed (กรัม)

3.3.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล

3.3.5.1 การทดสอบค่าความต้านทานความเค้นอัด (Compressive strength)

การตรวจสอบค่าความต้านทานความเค้นอัดของอิฐ เป็นการตรวจสอบค่าความแข็งแรงของอิฐประการหนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบคุณสมบัติความต้านทานความเค้นอัดของอิฐนั้นจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ โดยการทดสอบหาค่าต้านทานความเค้นอัดหาได้จากสมการดังนี้

$$C = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \quad (3.6)$$

โดยที่ C = ความต้านทานความเค้นอัด (MPa)

P = น้ำหนักประลัย (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของอิฐที่รับแรงอัด (mm^2)

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

บทนี้ได้จะได้กล่าวถึงลักษณะเฉพาะของวัตถุที่ใช้ในการศึกษาและอภิปรายผลการทดลอง คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกลของอิฐจากการใช้ ดิน และซีเมนต์เป็นส่วนผสมในการขึ้นรูป ตัวอย่างอิฐตามอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 % โดยน้ำหนัก และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส ซึ่งผลจากการทดลองอภิปรายได้ดังนี้

4.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุ (XRF)

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (X-ray fluorescence, XRF) ของดิน แกลบข้าว ซีเมนต์ และเศษที่นำมาใช้ทำอิฐดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุที่นำมาใช้ในการศึกษา

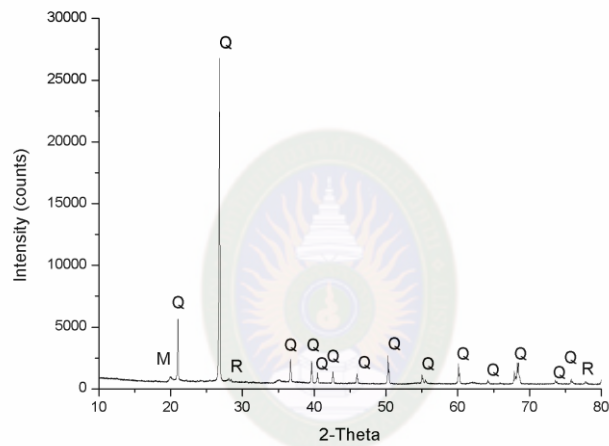
| องค์ประกอบทางเคมี | ดิน (wt.%) | ซีเมนต์ (wt.%) |
|--------------------------------|---------------|-------------------|
| SiO ₂ | 58.76 | 0.027 |
| Al ₂ O ₃ | 21.34 | 0.047 |
| Fe ₂ O ₃ | 5.10 | 0.01 |
| CaO | 0.21 | 0.107 |
| K ₂ O | 3.10 | 0.060 |
| Na ₂ O | - | 0.007 |
| P ₂ O ₅ | - | 0.002 |
| TiO ₂ | 0.93 | 0.002 |
| MnO | 1.18 | 0.001 |
| MgO | - | 0.006 |
| LOI (Loss on ignition) | 8.74 | 99.65 |

ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่า ในองค์ประกอบของ ดิน จะพบปริมาณของ ซิลิกา (SiO₂) 58 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของอลูมินา (Al₂O₃) คือ 21 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ปริมาณที่สูญหายหลังการเผาของซีเมนต์จะมากที่สุดถึง 99 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะว่าในองค์ประกอบของซีเมนต์จะเป็นกลุ่ม เซลลูโลส

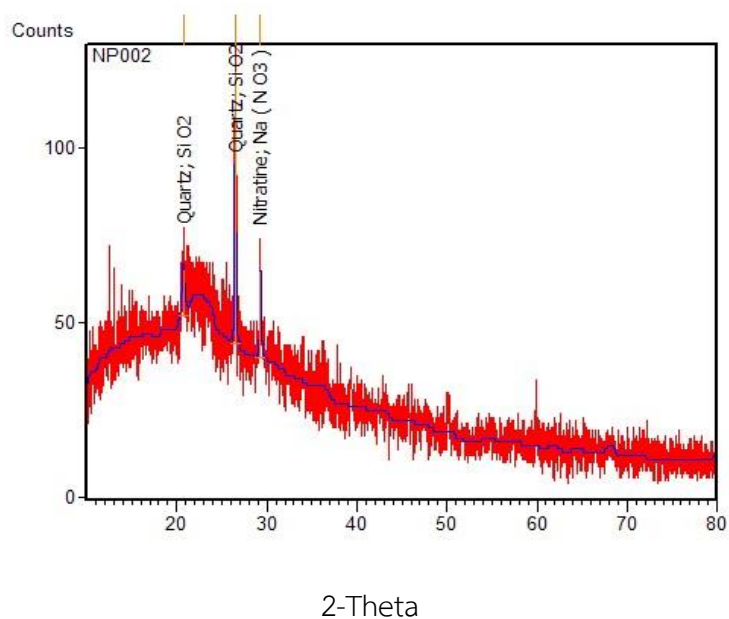
ลิกนิน เมื่อนำไปเผาจะพบว่ามีปริมาณต่ำกว่าค่อนข้างเยอะกว่าเศษวัสดุชนิดอื่นๆ โดยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแสดงไว้ตามตารางที่ 4.1

4.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของวัตถุคืบ (XRD)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ (X-ray diffraction technique, XRD) ของดิน ชี้เลื่อย แสดงตามภาพที่ 4.1 และ 4.2 ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแรพบว่าเฟสที่พบในดินคือ คอทซ์ (Quartz) มัสโคไวท์ (Muscovite) และรูไทร์ (Rutile) (ภาพที่ 4.1) ในขณะที่ชี้เลื่อย พบว่าองค์ประกอบทางแร่ประกอบไปด้วยซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก (ภาพที่ 4.2)



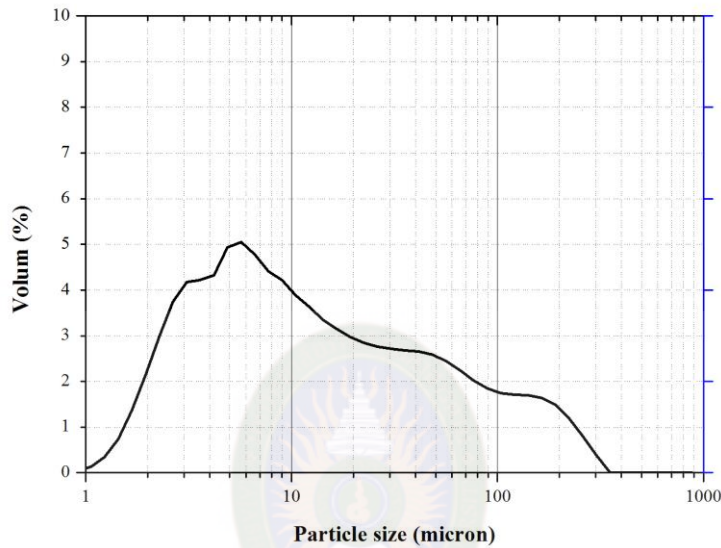
ภาพที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของดินด้วยเทคนิค XRD



ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของชี้เลื่อยด้วยเทคนิค XRD

4.3 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของดิน (Particle size analysis)

ขนาดอนุภาคของดินที่นำมาใช้สำหรับการทำอิฐได้วิเคราะห์หาขนาดอนุภาค (Particle size distribution) เพื่อศึกษาสภาวะการนำมาใช้งาน เพื่อการขึ้นรูปของอิฐ พบว่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1-200 ไมครอน ดังแสดงตามภาพที่ 4.3

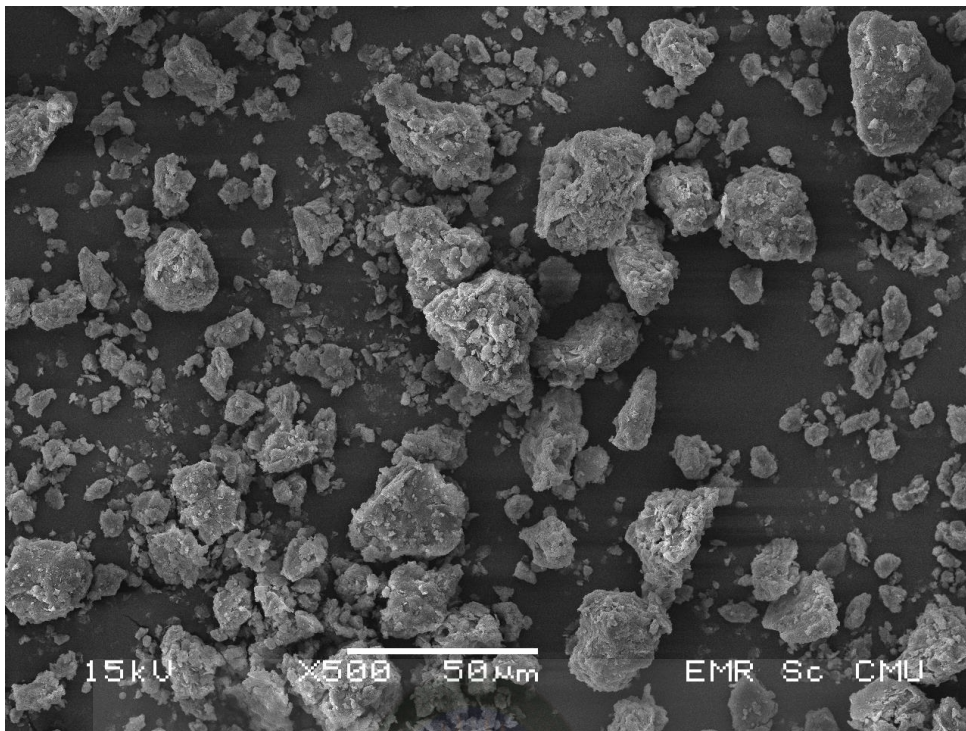


ภาพที่ 4.3 แสดงการกระจายของขนาดอนุภาคของดิน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

4.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของวัตถุดิบ

จากภาพที่ 4.4 และ 4.5 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของวัตถุดิบซึ่งถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกวาด (Scanning electron microscopy, SEM) พบว่า ลักษณะของดินที่นำมาใช้สำหรับการทดลองนี้สังเกตได้จากการจับตัวกันเป็นก้อนของขนาดอนุภาคของดินซึ่งเหมาะแก่การนำมาใช้ขึ้นรูปของอิฐ ส่วนที่ละเอียดจะมีลักษณะที่มีรูพรุนคล้ายกับรังแตน และมีความพรุนตัวในตัวเอง



ภาพที่ 4.4 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของดินด้วยเทคนิค SEM



ภาพที่ 4.5 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของซีลี้อยด้วยเทคนิค SEM

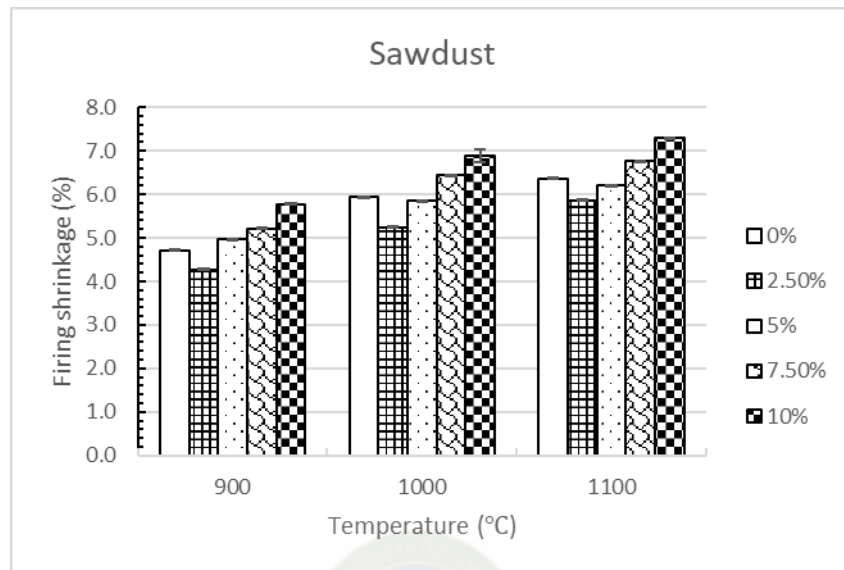
4.5 สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล (Physical and mechanical properties)

จากผลการทดลองนำขี้เลื่อย (Sawdust) นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปตัวอย่างอิฐทดลอง ที่อัตราส่วนผสม 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเผาอิฐที่อุณหภูมิ 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส ผลจากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพ และสมบัติเชิงกล ต่อลักษณะของรูพรุนที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของอิฐ สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

4.5.1 การหดตัวหลังการเผา (Fired shrinkage) โดยทั่วไปการหดตัวที่ใช้ในการสร้างอิฐดินเหนียวเกิดขึ้นเนื่องจากการระเหยของน้ำที่แทรกตัวอยู่ระหว่างอนุภาคดินเหนียวถ้าหากดินเหนียวมีขนาดอนุภาคที่ละเอียด เมื่อน้ำระเหยออกไปจะเกิดการหดตัวเป็นอย่างมาก และถ้าหากขนาดอนุภาคของดินมีขนาดอนุภาคโตการหดตัวก็จะน้อยกว่า โดยปกติคุณภาพที่ดีของการหดตัวของอิฐจะต้องต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ผลจากการใช้ตัวเติมก็จะส่งผลต่อการหดตัวของอิฐเช่นเดียวกันทั้งนี้ขนาดของอนุภาคของตัวเติมก็เป็นปัจจัยร่วมด้วย และอีกหนึ่งปัจจัยก็คือการขึ้นรูปของอิฐ โดยการขึ้นรูปด้วยวิธีการใช้เครื่องรีดจะทำให้ขนาดดินมีการอัดตัวแน่นกว่า ในขณะที่การขึ้นรูปด้วยวิธีการใช้แบบพิมพ์ไม่โดยการใช้แรงของคนขึ้นรูปจะทำให้การแพคตัวของดินไม่แน่นเท่ากับการใช้เครื่องสำหรับขึ้นรูป ผลจากการทดลองใช้ขี้เลื่อย (Sawdust) เติมเป็นส่วนผสมในการทำอิฐที่อัตราส่วนผสมระหว่าง 2.5-10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส การหดตัวหลังการเผาของอิฐที่เติมขี้เลื่อย พบว่าที่อุณหภูมิการเผาที่ 900 องศาเซลเซียส อิฐมีค่าการหดตัวอยู่ระหว่าง 4.27 % ถึง 5.77 % ในขณะที่อิฐเผาอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าการหดตัวตั้งแต่ 5.25 % จนถึง 6.9 % และอิฐที่เผาอุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าการหดตัวอยู่ระหว่าง 5.87 % ถึง 7.31 % ดังแสดงตามภาพที่ 4.6

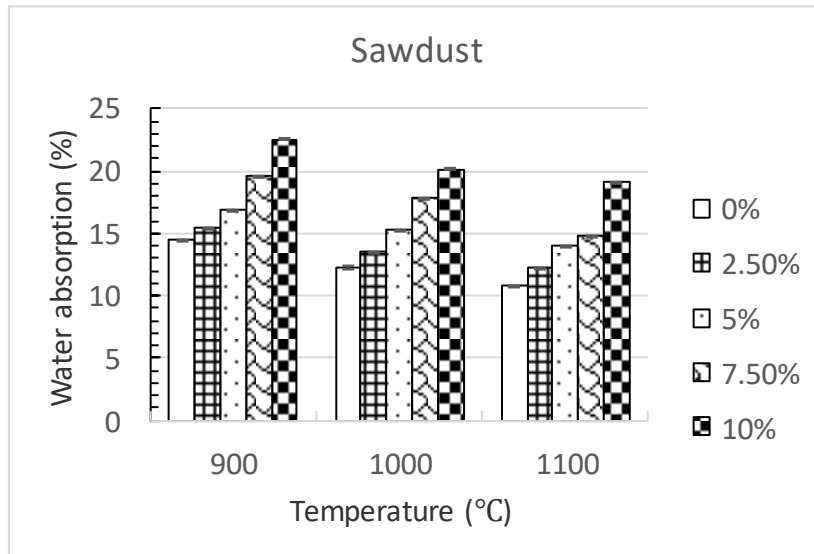
จากผลการทดลองใช้เศษวัสดุเป็นตัวเติมในส่วนผสมของอิฐช่วงอุณหภูมิการเผาจะส่งผลโดยตรงต่อลักษณะของอิฐหลังการเผาครั้งนี้ ที่อุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีการหดตัวเล็กน้อยเป็นผลเนื่องมาจากการเผาไหม้ของอินทรีย์สาร และการระเหยของน้ำ ช่วงอุณหภูมิ 500 - 700 องศาเซลเซียส อิฐเกิดการขยายตัว ที่อุณหภูมิ 700 -900 องศาเซลเซียส เกิดการหดตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และช่วงอุณหภูมิจาก 900 -1200 องศาเซลเซียส จะเกิดการหดตัวอย่างมาก ซึ่งเกิดจากการหลอมละลายของกลุ่มอัลคาไลน์ (Flux) ในส่วนประกอบของเนื้อดิน เช่น ไมกา (Mica) มัสโคไวท์ (Muscovite) และเหล็ก (Iron) เป็นต้น ซึ่งในช่วงอุณหภูมิ 900 - 950 องศาเซลเซียส จะเกิดการเผาไหม้ของอินทรีย์สาร (Carbon) ในเนื้อดินถูกเผาไหม้หมด และพวกคาร์บอนไดออกไซด์จะสลายตัวที่อุณหภูมิ 825 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 980 องศาเซลเซียส ดินเริ่มเปลี่ยนโครงสร้าง และเกิดการหดตัวจากการเริ่มหลอมละลายของกลุ่มอัลคาไลน์ ในเนื้อดินเริ่มหลอมละลายที่ช่วงอุณหภูมิ 1050 - 1100 องศาเซลเซียส เกิดเป็นโครงสร้างผลึกมัลไลต์รูปเข็มประสานกันในเนื้อดิน ช่วงนี้เป็นช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่นการเปลี่ยนจากดินเป็นมัลไลต์ หรือเกิดการหลอมของสารช่วย

หลอม (เฟลด์สปาร์) หรือสิ่งเจือปนอื่นๆ แล้วเหนียวทำให้เกิดการสูกตัว ขณะเดียวกันอิฐจะเกิดการหดตัวจนอิฐมีความแน่นตัว แลความพรุนตัวของอิฐจะน้อยลง ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของอิฐ



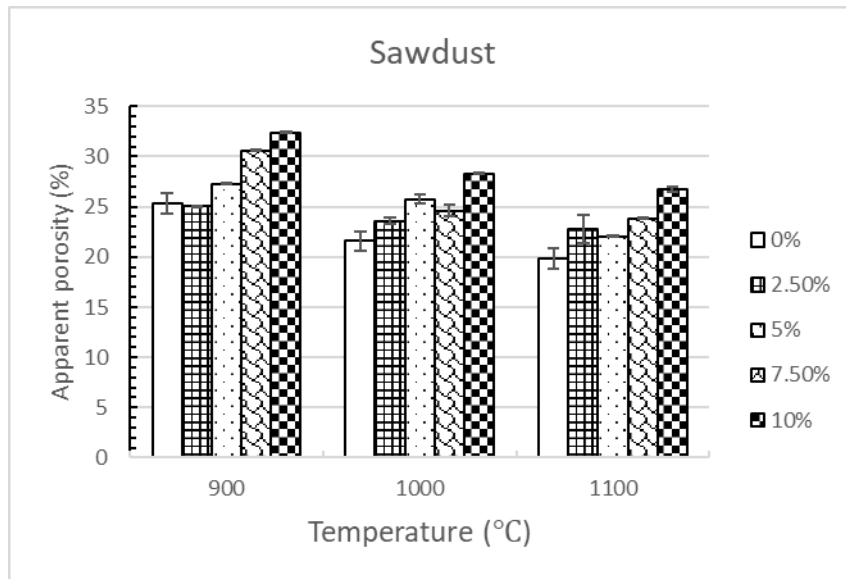
ภาพที่ 4.6 แสดงการหดตัวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส

4.5.2 การดูดซึมน้ำและความพรุนตัว (Water absorption and apparent porosity) การดูดซึมน้ำและความพรุนตัวของอิฐ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความทนทานของก้อนอิฐและวัดความพรุนตัวของอิฐ ดังนั้นโครงสร้างภายในของอิฐจะต้องหนาแน่นมากพอที่จะป้องกันไม่ให้น้ำซึมผ่านได้ในปริมาณมากกว่าที่มาตรฐานได้กำหนดเอาไว้ เพื่อเพิ่มความหนาแน่นและลดการดูดซึมน้ำ อุณหภูมิในการเผาเป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่ออิฐ อิฐก่อสร้างส่วนใหญ่ควรมีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของสิ่งสกปรก โดยเฉพาะอิฐก่อสร้างที่ต้องใช้ในอาคารหรืออิฐที่ตกแต่งภายใน รวมถึงการใช้งานด้านการก่อสร้างใต้ดินหรือใกล้แหล่งน้ำ ผลการศึกษาการใช้ซีเมนต์พบว่าตัวเติมแต่ละชนิดมีผลโดยตรงต่อลักษณะของรูพรุนที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของเนื้ออิฐและส่งผลโดยตรงต่อค่าการดูดซึมน้ำของอิฐ นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิในการเผาอิฐนั้นก็ยังมีผลโดยตรงเช่นกันต่อค่าการดูดซึมน้ำ คือเมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นจาก 900 ไปจนถึง 1100 องศาเซลเซียสจะเป็นผลทำให้ค่าดูดซึมน้ำต่ำลง ผลจากการทดลองพบว่าซีเมนต์ (Sawdust) อุณหภูมิการเผาที่ 900 องศาเซลเซียส อิฐมีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่าง 15.4 % ถึง 22.5 % ในขณะที่อิฐเผาอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซึมน้ำตั้งแต่ 13.5 % จนถึง 20.1 % และอิฐที่เผาอุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่าง 12.3 % ถึง 19.1 % ดังแสดงตามภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 แสดงค่าการดูดซึมน้ำเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส

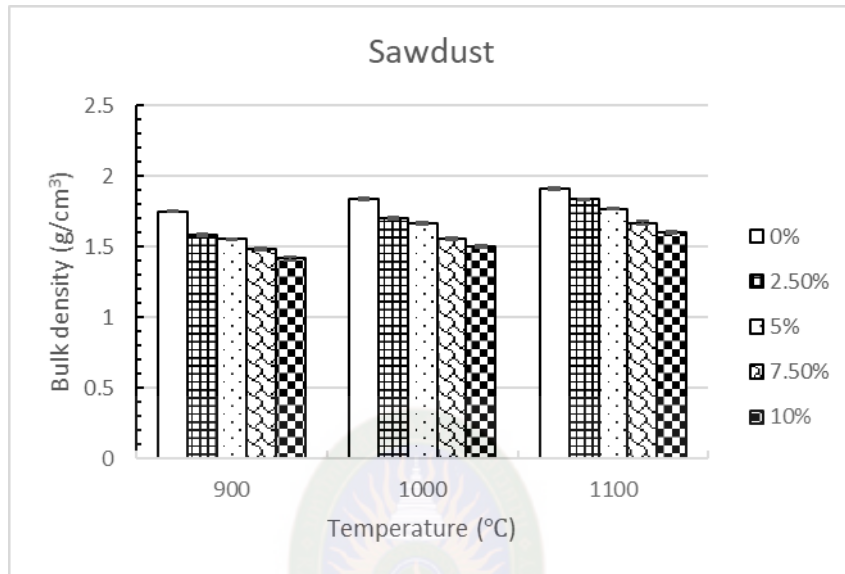
การดูดซึมน้ำของอิฐเป็นส่วนโดยตรงกับความพรุนตัวอย่างชัดเจน ดังนั้นแนวโน้มที่คล้ายกันพบในการดูดซึมน้ำและความพรุนตัว (Porosity) ความพรุนที่เพิ่มขึ้นในเนื้ออิฐ ทำให้ความหนาแน่นและค่าความแข็งแรงของอิฐลดลง ผลการศึกษาค่าความพรุนตัวของอิฐ เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของตัวเติมคือซีลี้อย พบว่าความพรุนตัวของอิฐจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสัดส่วนของตัวเติม ตั้งแต่ 2.5-10 % ผลการศึกษาแสดงค่าความพรุนตัวของอิฐจากการเติมซีลี้อย อุณหภูมิการเผาที่ 900 องศาเซลเซียส อิฐมีค่าความพรุนตัวอยู่ระหว่าง 25 % ถึง 32.4 % ในขณะที่อิฐเผาอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าความพรุนตัวตั้งแต่ 23.6 % จนถึง 28.3 % และอิฐที่เผาอุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส มีค่าความพรุนตัวอยู่ระหว่าง 22.8 % ถึง 26.8 % ดังแสดงตามภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 แสดงค่าความพรุนตัวของอิฐเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส

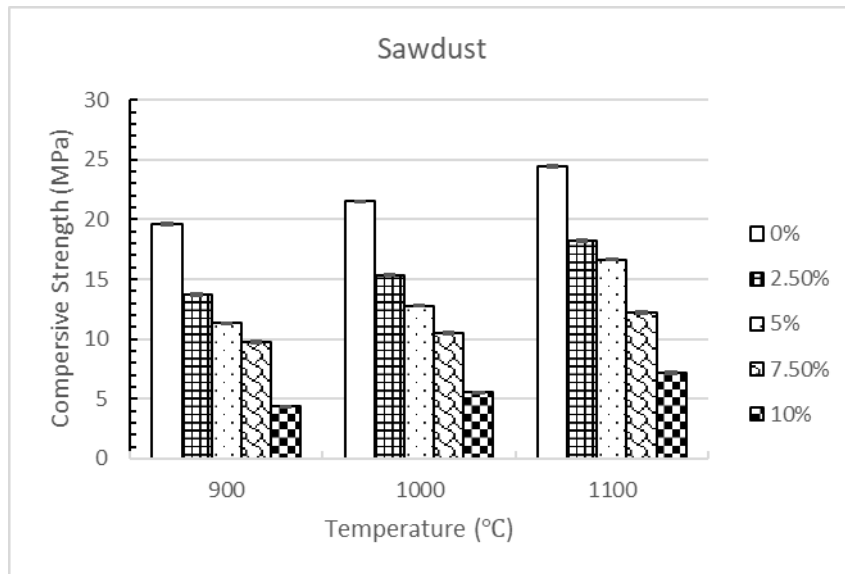
4.5.3 ความหนาแน่น (Bulk density) ความหนาแน่นของดินอิฐขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ซึ่งเป็นผลเฉพาะเจาะจงของวัตถุดิบที่ใช้วิธีการของการผลิตและอุณหภูมิของการเผาไหม้ ความหนาแน่นของอิฐดินเหนียวลดค่าความแข็งแรงก็จะลดลงในขณะที่ค่าดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ช่วงกลางของการสุกตัว (Middle stage) เป็นช่วงที่มีการขยายพื้นที่กว้างขึ้นทำให้บริเวณที่อนุภาคชิดกันขยายกว้างมากขึ้นหรือที่เรียกว่าเกรน (Grain) จนขยายไปถึงอนุภาคดินที่อยู่ข้างเคียงโดยเรียกรวมบริเวณที่อนุภาคชิดกันกันว่าขอบเกรน (Grain boundary) และอิฐมีการหดตัวมากขึ้นพร้อมๆ กับเริ่มหลอมละลายของสารบางตัวหรือตัวช่วยหลอมจนทำให้ช่องว่างเริ่มลดลงพร้อมๆ กับการขยายขอบเกรนมากขึ้น และช่วงท้ายของการสุกตัว (Last stage) เป็นช่วงอนุภาคชิดกันมากขึ้นขอบเกรนขยายพื้นที่มากจนได้เกรนโตขึ้น (Grain growth) และอิฐมีการหดตัวมากขึ้นจนกระทั่งช่องว่างในอิฐลดลงน้อยลงและหมดไปที่สุดในที่สุดพร้อมๆ กับการเกิดมลโลดทำให้ได้อิฐที่มีความแข็งแรงสูง ความพรุนตัวน้อย และมีความหนาแน่นสูง ดังนั้นการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของอิฐจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการทดสอบคุณสมบัติของอิฐมอญ ผลจากการศึกษาความหนาแน่นของอิฐเป็นสัดส่วนผกผันกับปริมาณของตัวเติมที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสมของอิฐ นอกจากนั้นความหนาแน่นของอิฐลดลงเป็นผลมาจากการเพิ่มในปริมาณที่สูงขึ้น ตั้งแต่ 2.5-10 % ในขณะที่ความหนาแน่นของอิฐที่เพิ่มขึ้นร่วมกับการเผาอุณหภูมิสูงเป็นผลให้ความพรุนตัวลดน้อยลง ซึ่งผลจากการทดลองพบว่า ความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density) ของอิฐหลังการเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส ผลจากการใช้ชีเลื่อยเป็นตัวเติมที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของอิฐหลังการเผาเป็นดังนี้

ขี้เลื่อย (Sawdust) อุณหภูมิการเผาที่ 900 องศาเซลเซียส อิฐมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.60 g/cm³ ถึง 1.41 g/cm³ ในขณะที่อิฐเผาอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นตั้งแต่ 1.70 g/cm³ ถึง 1.50 g/cm³ และอิฐที่เผาอุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.83 g/cm³ ถึง 1.60 g/cm³ ดังแสดงตามภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 แสดงค่าความหนาแน่นของอิฐเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส

4.5.4 ค่าความแข็งแรง (Compressive strength) ค่าความแข็งแรงของอิฐแสดงถึงดัชนีชี้วัดที่สำคัญสำหรับวัสดุก่อสร้าง ตามมาตรฐานของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 2545-77) ได้กำหนดค่าความแข็งแรงของอิฐก่อสร้างไว้คือ 3.5 เมกะปาสคาล (MPa) ในการศึกษาพบว่าค่าความแข็งแรงของอิฐเป็นผลโดยตรงกับปริมาณของตัวเติมขี้เลื่อยในการเผาอิฐ ค่าความแข็งแรงของอิฐจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มสูงขึ้น การลดลงของค่าความแข็งแรงของอิฐเป็นผลมาจากความพรุนตัว (Porosity) ที่เพิ่มขึ้นในเนื้ออิฐซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณของตัวเติมที่เพิ่มสูงขึ้น และจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่น (Density) ของอิฐลดลงด้วยเช่นกัน ผลจากการทดลองใช้ตัวเติมเป็นส่วนผสมในการทำอิฐเพื่อศึกษาผลของตัวเติมต่อสมบัติเชิงกลของอิฐพบว่าขี้เลื่อย (Sawdust) อุณหภูมิการเผาที่ 900 องศาเซลเซียส อิฐมีค่าความแข็งแรงอยู่ระหว่าง 13.7 MPa ถึง 4.35 MPa ในขณะที่อิฐเผาอุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแรงตั้งแต่ 15.4 MPa ถึง 5.52 MPa และอิฐที่เผาอุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแรงอยู่ระหว่าง 18.2 MPa ถึง 7.17 MPa ดังแสดงตามภาพที่ 4.10



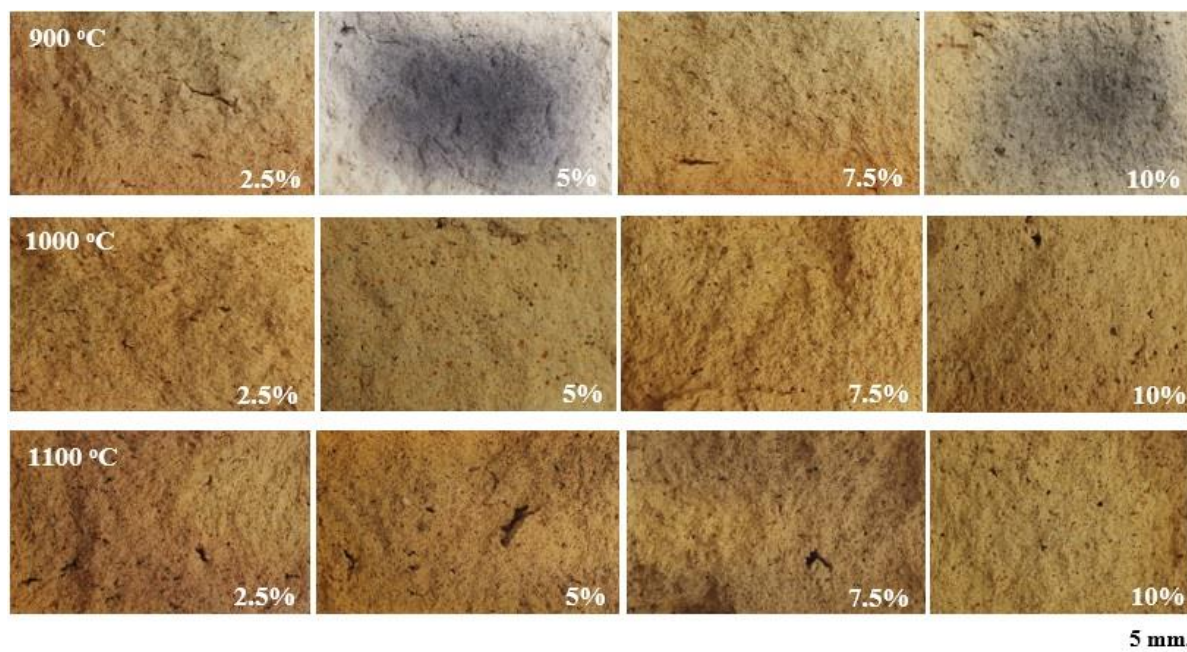
ภาพที่ 4.10 แสดงค่าความแข็งแรงของอิฐเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส

4.6 ลักษณะพื้นผิวของอิฐ

จากการศึกษาลักษณะของรูพรุนที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของอิฐ จากการเติมซีเมนต์ผสมในอัตราส่วนผสมคือ 2.5, 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส หลังการเผาพบว่า ปริมาณของรูพรุนที่เกิดขึ้นในเนื้ออิฐจะเพิ่มมากขึ้นตามอัตราส่วนของซีเมนต์ จึงทำให้ผลทางกายภาพของอิฐ เช่น ปริมาณการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ความพรุนตัว (Porosity) ของอิฐเพิ่มสูงขึ้น (สอดคล้องกับการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลในหัวข้อที่ 4.5) ในขณะที่ความหนาแน่น (Density) และความแข็งแรง (Strength) ของอิฐลดลง ซึ่งผลจากความพรุนตัวที่พบในอิฐนี้อาจส่งผลโดยตรงต่อความพรุน (Pore) หรือช่องว่างอากาศ (Air space) ในเนื้ออิฐ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ รูพรุน เปิด (Opened or unsealed pores) และรูพรุนปิด (Closed or sealed pores) โดยที่รูพรุนเปิดจะมีส่วนหนึ่งต่อกันผิววัตถุ ได้ความพรุนตัว (Porosity) ของวัตถุเป็นอัตราส่วนของช่องว่างอากาศที่มีอยู่ระหว่างอนุภาคของแข็งในวัตถุต่อปริมาตรวัตถุ ความพรุนมี 2 ชนิดคือ

4.6.1 ความพรุนจริง (True porosity) เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของช่องว่างทั้งหมด (ทั้งรูพรุนปิดและรูพรุนเปิด) ในวัตถุต่อปริมาตรทั้งหมดของวัตถุ

4.6.2 ความพรุนปรากฏ (Apparent porosity) เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของน้ำหรือของเหลวที่วัตถุสามารถดูดซึมผ่านเข้าไปได้ต่อปริมาตรทั้งหมดของวัตถุ โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงความพรุนจะหมายถึงความพรุนตัวปรากฏ ผลจากเติมซีเมนต์เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐเพื่อศึกษาลักษณะของความพรุนตัวปรากฏ (Apparent porosity) แสดงตามภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 แสดงลักษณะพื้นผิวของอิฐหลังการเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส ของการเติมปริมาณซีลีเนียมที่แตกต่างกัน



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากศึกษาครั้งนี้ได้มีการนำตัวเติม คือ ไม้เลื่อย (Sawdust) นำมาใช้เป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตอิฐ ที่อัตราส่วนผสม 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเผาอิฐที่อุณหภูมิ 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส ผลจากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพ และสมบัติเชิงกล ต่อลักษณะของรูพรุนที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของอิฐ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล ไม้เลื่อย (Sawdust) พบว่าการหดตัวหลังการเผาของอิฐที่ทุกอุณหภูมิตั้งแต่ 900 – 1100 องศาเซลเซียส ค่าการหดตัวหลังการเผามีการหดตัวอยู่ระหว่าง 4 – 7 % ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่าง 11 – 24 % ค่าความพรุนตัวอยู่ระหว่าง 20 – 40 % ค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.3 – 1.9 g/cm³ และค่าความแข็งแรงอยู่ระหว่าง 2.8 – 24 MPa.

จากการทดลองสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของอิฐนั้น จะได้ลักษณะของอิฐที่มีน้ำหนักเบา ซึ่งเป็นผลมาจากการเผาไหม้ของเศษวัสดุที่เป็นตัวเติมในอิฐโดยหลังการเผาทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในโครงสร้างของเนื้ออิฐ อย่างไรก็ตามจากมาตรฐาน มอก 77-2545 ว่าด้วยเรื่องอิฐสามัญก่อสร้างได้ระบุค่า การดูดซึมน้ำของอิฐไว้ต้องน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ และค่าความแข็งแรงต้องสูงกว่า 3.5 MPa จากการทดลองใช้ไม้เลื่อยพบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 2.5 – 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งถ้าหากอัตราส่วนผสมของตัวเติมสูงขึ้นมากกว่านี้จะส่งผลให้สมบัติต่างๆ ทั้งทางกายภาพและเชิงกลของอิฐลดลง เช่นค่าความแข็งแรง ในขณะที่ลักษณะของรูพรุนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ผิวของอิฐเป็นผลมาจากตัวเติมนั้น ปริมาณของรูพรุนก็จะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของตัวเติม

สรุปผลจากการทดลองในครั้งนี้พบว่าไม้เลื่อย (Sawdust) สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับเป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตอิฐ สร้างรูพรุน และทำให้อิฐที่ได้มีน้ำหนักเบา นอกจากนี้หากนำไปศึกษาในด้าน การเป็นฉนวนความร้อนก็จะเห็นความแตกต่างของการนำความร้อนของอิฐที่ใช้ตัวเติมแต่ละประเภทนั้นด้วย อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจศึกษาการนำเศษวัสดุที่มีในท้องถิ่นต่างๆที่ไม่ได้ใช้แล้วให้สามารถนำมาทดลองและใช้เป็นแนวทางสำหรับการทดลองที่แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้งานวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งหวังจะนำผลงานวิจัยนี้เผยแพร่ให้กับกลุ่มผู้สนใจทำอิฐมอญจากการใช้เศษวัสดุชนิดต่างๆ นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้ประกอบการผลิตอิฐมอญ ที่สำคัญยังเป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม และเพื่อความยั่งยืนสำหรับการผลิตอิฐมอญต่อไป



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การใช้เศษขี้เลื่อยเพื่อเพิ่มคุณสมบัติและความพรุนตัวในอิฐมอญ

Using sawdust waste to increase properties and porosity in clay bricks



อดิศักดิ์ ภาชา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2561)

สารบัญ

หน้า

| | |
|---|----------|
| กิตติกรรมประกาศ..... | |
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | |
| สารบัญ..... | |
| สารบัญตาราง..... | |
| สารบัญภาพ..... | |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย..... | 2 |
| 1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ)..... | 3 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 ดินเหนียว (Clays)..... | 4 |
| 2.2 ผลของความร้อนที่มีต่อดิน..... | 8 |
| 2.3 อิฐ (Brick)..... | 11 |
| 2.4 ชนิดของอิฐก่อสร้าง..... | 13 |
| 2.5 ลักษณะเฉพาะและสมบัติของอิฐก่อสร้าง..... | 15 |
| 2.6 กระบวนการผลิตอิฐ (Manufacture of bricks)..... | 17 |
| 2.7 การเผาอิฐก่อสร้าง (Brick firing)..... | 17 |
| 2.8 การตรวจสอบสมบัติของอิฐ..... | 19 |
| 2.9 ความพรุนตัวของวัสดุและการดูดซึมน้ำ..... | 21 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|-----------|
| 2.10 สารเติมแต่ง (Additive)..... | 22 |
| 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 23 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง..... | 26 |
| 3.1 การเตรียมวัตถุดิบ..... | 26 |
| 3.2 การเตรียมชิ้นตัวอย่าง..... | 28 |
| 3.3 ตรวจสอบลักษณะเฉพาะของวัสดุ..... | 30 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล..... | 34 |
| 4.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ (XRF)..... | 34 |
| 4.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของวัตถุดิบ (XRD)..... | 35 |
| 4.3 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของดิน (Particle size analysis)..... | 36 |
| 4.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของวัตถุดิบ..... | 36 |
| 4.5 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกล..... | 38 |
| 4.5.1 การหดตัวหลังการเผา (Fired shrinkage)..... | 38 |
| 4.5.2 การดูดซึมน้ำและความพรุนตัว (Water absorption and apparent porosity) | 39 |
| 4.5.3 ความหนาแน่น (Bulk density)..... | 41 |
| 4.5.4 ความแข็งแรง (Compressive strength)..... | 42 |
| 4.6 ลักษณะพื้นผิวของอิฐ (Surface texture of fired clay brick)..... | 43 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง..... | 45 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 46 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|---|------|
| 2.1 | การทดสอบองค์ประกอบของวัตถุบิที่ให้อสีในดินแดงเผาทดสอบที่อุณหภูมิ 1000 °C..... | 7 |
| 2.2 | เปรียบเทียบผลวิเคราะห์ทางเคมีของดินแดงและดินเหลืองตามธรรมชาติการเผา ดินแดง..... | 8 |
| 2.3 | ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการเผาเนื้อดิน..... | 9 |
| 2.4 | กระบวนการสำคัญที่เกิดขึ้นระหว่างเผาอิฐ..... | 10 |
| 2.5 | แสดงขนาดอิฐก่อสร้างสามัญ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)..... | 13 |
| 2.6 | แสดงค่าความเค้นอัดต่ำสุดและค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดของอิฐสามัญก่อสร้าง..... | 13 |
| 2.7 | สมบัติทางกายภาพของอิฐสามัญ..... | 14 |
| 2.8 | สมบัติทางกายภาพของอิฐกลวง..... | 15 |
| 2.9 | ลักษณะเฉพาะและสมบัติของอิฐ..... | 16 |
| 3.1 | แสดงอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง (โดยน้ำหนัก) เตรียมดิน และ ซีเมนต์..... | 28 |
| 4.1 | องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุบิที่นำมาใช้ในการศึกษา..... | 34 |

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | | หน้า |
|--------|---|------|
| 2.1 | แสดงกระบวนการหลอมละลายของวัสดุดิบเมื่อผ่านการเผาผนึก (Sintering)..... | 10 |
| 2.2 | แสดงการเปลี่ยนแปลงของอิฐก่อสร้างในระหว่างการเผา..... | 19 |
| 2.3 | แสดงลักษณะของรูปทรงแบบต่างๆ..... | 22 |
| 2.4 | ลักษณะของซีลี้อย..... | 23 |
| 3.1 | แสดงขั้นตอนและวิธีการทดลอง..... | 27 |
| 3.2 | แสดงวิธีการทดลองและการตรวจสอบลักษณะของชิ้นตัวอย่างอิฐ..... | 29 |
| 4.1 | ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของดินด้วยเทคนิค XRD..... | 35 |
| 4.2 | ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของซีลี้อยด้วยเทคนิค XRD..... | 35 |
| 4.3 | แสดงการกระจายของขนาดอนุภาคของดิน..... | 36 |
| 4.4 | แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของดินด้วยเทคนิค SEM..... | 37 |
| 4.5 | แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของซีลี้อยด้วยเทคนิค SEM..... | 37 |
| 4.6 | แสดงการหดตัวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส..... | 39 |
| 4.7 | แสดงค่าการดูดซึมน้ำเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส..... | 40 |
| 4.8 | แสดงค่าความพรุนตัวของอิฐเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส..... | 41 |
| 4.9 | แสดงค่าความหนาแน่นของอิฐเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส..... | 42 |
| 4.10 | แสดงค่าความแข็งแรงของอิฐเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส..... | 43 |
| 4.11 | แสดงลักษณะพื้นผิวของอิฐหลังการเผาที่อุณหภูมิ 900-1100 องศาเซลเซียส ของการเติมปริมาณซีลี้อยที่แตกต่างกัน..... | 44 |