วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 29 ฉบับที่ 2 เม.ย.–มิ.ย. 2562
The Journal of KMUTNB., Vol. 29, No. 2, Apr.–Jun. 2019

บทความวิจัย

การพัฒนากระเบื้องดินเผามุงหลังคาดูดซึมน้ำต่ำจากดินแดงพื้นบ้านผสมเศษแก้ว

อภิรัฐ ธีรภาพวิเศษพงษ์*
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สิริพรรณ นิลไพรัช
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 2218 5549 อีเมล: apirat.t@chula.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.12.003
รับเมื่อ 3 กันยายน 2561 แก้ไขเมื่อ 26 ตุลาคม 2561 ตอบรับเมื่อ 30 ตุลาคม 2561 เผยแพร่ออนไลน์ 6 ธันวาคม 2561
© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

กระเบื้องดินเผามุงหลังคาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ยังคงได้รับความนิยมใช้งานตามอาคารบ้านเรือน วัด โรงแรม และแหล่งท่องเที่ยวทางวัฒนธรรม กระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาค อย่างไรก็ตาม กระเบื้องดังกล่าวยังมีข้อด้อยบางประการ เช่น การเกิดคราบดำจากตะไคร่จากการดูดซึมน้ำสูง สีของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ ความแข็งแรงต่ำ อีกทั้ง ในการขั้นตอนหลังเผาต้องรออุณหภูมิต่ำ (< 200°ซ) จึงเอากระเบื้องออกจากเตาโดยไม่เสียหาย ซึ่งทำให้เสียเวลาในการผลิต ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาสูตรกระเบื้องดินเผามุงหลังคาดูดซึมน้ำต่ำ และมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยผลการวิจัยพบว่าสูตรกระเบื้องที่ใช้ดินแดงบ้านเบิก อ.ท่าวุ้ง จ.ลพบุรี เป็นวัตถุดิบหลัก และเศษแก้วเหลือทิ้งเป็นส่วนผสม ด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนัก Al_2O_3 : SiO_2 เท่ากับ 0.30 โดยประมาณ ทำให้ได้กระเบื้องที่มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าร้อยละ 1 หลังเผาที่ 1,150°ซ และสามารถนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาได้ที่อุณหภูมิ 200°ซ โดยไม่แตกร้าว และยังคงความแข็งแรงตาม มอก 158-2518

คำสำคัญ: กระเบื้องดินเผามุงหลังคา, กระเบื้องดูดซึมน้ำต่ำ, เศษแก้ว

การอ้างอิงบทความ: อภิรัฐ ธีรภาพวิเศษพงษ์ และ สิริพรรณ นิลไพรัช, "การพัฒนากระเบื้องดินเผามุงหลังคาดูดซึมน้ำต่ำจากดินแดงพื้นบ้านผสมเศษแก้ว," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 2, หน้า 314–320, เม.ย.–มิ.ย. 2562.

Research Article

Development of Low Water Absorption Terracotta Roof Tile from Local Pottery Clay and Soda Lime Glass Cullet

Apirat Theerapapvisetpong*
Department of Materials Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand
Siriphan Nilpairach
Metal and Materials Science Research Institute, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 2218 5549, E–mail: apirat.t@chula.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.12.003
Received 3 September 2018; Revised 26 October 2018; Accepted 30 October 2018; Published online: 6 December 2018
© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

A clay roof tile is a product which has been used for construction such as houses, temples, hotels as well as other cultural tourist attractions located around the country. However, there are some disadvantages of installing the clay roof tile such as the high moisture adsorption, which leads to the growth of algae causing black stain on tile. After firing process, it is necessary to wait until the temperature decreases to lower than 200°C before taking the finished product out to prevent it from the damage resulted in long time consuming. Moreover, the non-uniform in color and low strength may be counted as their drawback. In this study, we focus on developing the clay roof tile with low moisture adsorption and improved mechanical strength. The use of Banberg clay from Lopburi province as a raw material, incorporating with cullet with an Al_2O_3 : SiO_2 weight ratio of 0.30, lead to the reduction in moisture adsorption more than 1%, after firing at 1150°C. Moreover, the fired tile can be taken out of the furnace at 200°C without cracking and maintains the strength according to TIS 158-2518.

Keywords: Terracotta Roof Tile, Low Water Absorption Tile, Cullet

Please cite this article as: A. Theerapapvisetpong and S. Nilpairach, "Development of low water absorption terracotta roof tile from local pottery clay and soda lime glass cullet," *The Journal of KMUTNB*, vol. 29, no. 2, pp. 314–320, Apr.–Jun. 2019 (in Thai).

1. บทนำ

ในบรรดาวัสดุก่อสร้าง กระเบื้องดินเผามุงหลังคาเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีกลุ่มผู้บริโภคกระจายอยู่ทั่วประเทศ เนื่องจากสามารถนำไปใช้กับสิ่งก่อสร้างที่หลากหลาย ได้แก่ หลังคาอุโบสถ หลังคาบ้านทรงไทย หลังคาอาคารสิ่งก่อสร้างที่มีสถาปัตยกรรมเชิงอนุรักษ์ อาคารร้านค้า โรงแรมและรีสอร์ท เป็นต้น สินค้ากลุ่มนี้เมื่อมีการสั่งซื้อจะมีคำสั่งซื้อในปริมาณมาก และยังมีการเติบโตของตลาดอย่างต่อเนื่อง กระเบื้องดินเผามุงหลังคาที่ใช้ดินแดงท้องนาเพียงอย่างเดียวหรือดินแดงผสมเป็นวัตถุดิบหลักแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ กระเบื้องหลังคาที่ใช้ดินแดงผสมชนิดเคลือบ และกระเบื้องหลังคาที่ใช้ดินแดงผสมแบบไม่มีเคลือบ

ในกระบวนการผลิตของผู้ประกอบการขนาดเล็กยังไม่ได้ให้ความสำคัญกับสมบัติของกระเบื้องดินเผามุงหลังคามากเพียงเลือกใช้แหล่งดินผสมและผลิตกระเบื้องให้ความแข็งแรงในระดับที่ยอมรับได้หรือ มอก. 158-2518 ได้กำหนดไว้ แต่เป็นมาตรฐานที่ไม่ได้นำมาบังคับใช้ ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คำนึงถึงระบบผลึกที่เกิดขึ้นหลังเผาและผู้ผลิตไม่ทราบกลไกการเปลี่ยนเฟส อาจทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายระหว่างผลิตได้ เช่น มีความแข็งแรงต่ำ บิดงอง่าย และเกิดเฟสคริสโตบาไลต์ (Cristobalite) ในเนื้อกระเบื้อง ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายได้เมื่อเปิดประตูเตาที่อุณหภูมิสูง หรือมีอัตราการลดอุณหภูมิเร็วเกินไปในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนเฟส เฟสดังกล่าวเกิดการตกผลึกในระบบที่มีปริมาณซิลิกาอิสระสูง เมื่อหลอมเป็นเนื้อแก้วแล้วลดอุณหภูมิลงจะตกผลึกเป็นคลิสโตบาไลต์ ดังนั้นหากควบคุมปริมาณอัตราส่วนระหว่าง Al_2O_3 : SiO_2 ในสูตรดินปั้น โดยให้มีสัดส่วนสูงขึ้นเล็กน้อยจะทำให้ปริมาณซิลิกาอิสระลดลง

การใช้เศษแก้วเป็นส่วนผสมในการพัฒนาเนื้อกระเบื้องมีการวิจัยอย่างต่อเนื่อง ดังผลงานวิจัยที่ผ่านมา [1] ได้ผสมเศษแก้วโซดาไลม์กับเนื้อดินแดงและดินสโตนแวร์ พบว่าเพียงร้อยละ 10 ก็สามารถได้เนื้อเซรามิกดูดซึมน้ำต่ำกว่าร้อยละ 1 เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,125–1,150°ซ Kim *et al*. [2] พบว่าใช้ปริมาณเศษแก้วจากจอ LCD ร้อยละ 5 เผาที่อุณหภูมิ 1,150 °ซ สามารถลดค่าดูดซึมน้ำได้ต่ำกว่าร้อยละ 1 Youssef *et al*. [3] ใช้เศษแก้ว ปริมาณร้อยละ 10 ในเนื้อกระเบื้องบุผนังเผาที่อุณหภูมิ 1,100°ซ ได้ค่าดูดซึมน้ำหลังเผาร้อยละ 8 นอกจากนี้การลดความชื้นสะสมในเนื้อกระเบื้องจะช่วยลดการเกิดคราบดำจากสาหร่ายต่างๆ ที่มักพบบนหลังคาบ้านที่ใช้วัสดุมุงหลังคาดูดซึมน้ำสูง อาทิ สาหร่าย สกุล Chlorella ซึ่งพบบริเวณคราบสีเขียวบนพื้นผิวกระเบื้องดินเผา อิฐ และซีเมนต์ [4] ในงานของ Gualtieri [5] พบว่าการใช้แก้วที่เหลือทิ้งจากชุมชนสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ [5] ในการผลิตกระเบื้องเนื้อสโตนแวร์ไฟต่ำได้ ในขณะที่ Tucci *et al*. [6] รายงานเกี่ยวกับการใช้โซดาไลม์ (Soda Lime) ทดแทนการใช้โซเดียมเฟลด์สปาร์ (Na-feldspar) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่าร้อยละ 0.5 แต่เผาที่อุณหภูมิสูงถึง 1,200°ซ Maschio *et al*. [7] ได้ทดลองใช้เศษแก้วที่เป็นวัตถุดิบเหลือใช้จากโรงงานผลิตกระดาษและดินแดงมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการทำกระเบื้องสโตนแวร์สีแดงโดยใช้กระบวนการเผาเร็ว (Fast Firing) ซึ่งใช้เตาเกรเดียนในเวลาเพียง 50 นาที พบว่าต้องใช้ส่วนผสมแก้วถึงร้อยละ 28 ผสมกับดินแดงร้อยละ 30 เผาเกินอุณหภูมิ 1,120°ซ จึงจะได้กระเบื้องสโตนแวร์เนื้อสีแดงที่มีคุณภาพผ่านมาตรฐาน และเฟสหลักในเนื้อกระเบื้องที่ตรวจพบ ได้แก่ ควอตซ์ อะนอร์ไทต์ และไดออปไซต์ ไม่พบการเกิดเฟสคริสโตบาไลต์

ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการพัฒนาสูตรดินแดงแหล่งท้องถิ่นผสมกับเศษแก้วและวัตถุดิบอื่น เพื่อให้ได้เนื้อกระเบื้องที่มีสมบัติดูดซึมน้ำต่ำ และมีปริมาณเฟสคริสโตบาไลต์ต่ำ เพื่อลดความเสียหายในช่วงเปิดเตาในขณะลดอุณหภูมิลง ทำให้นำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาได้เร็วขึ้น รอบการเผาผลิตภัณฑ์ใช้เวลาสั้นลง

2.วิธีการวิจัย

2.1 การออกแบบสูตรดินผสม

ดินแดงที่เลือกศึกษานำมาใช้ในการพัฒนาเป็นสูตรกระเบื้องดินเผามุงหลังคา ได้จากแหล่งดินแดงพื้นบ้านที่มีการขุดหน้าดินและนำมากองสะสมเพื่อใช้ผลิตอิฐก่อสร้างในพื้นที่ตำบลบ้านเบิก อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี และใช้วัตถุดิบเกรดการค้าสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกอื่นเป็น

ส่วนผสม ได้แก่ ดินขาวระนอง เฟลด์สปาร์ ควอร์ต หินผุ และเศษแก้วละเอียด ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบด้วยเทคนิค XRF แล้วออกแบบส่วนผสมเนื้อดินปั้นให้มีอัตราส่วน Al_2O_3 : SiO_2 อยู่ระหว่าง 0.278–0.308

2.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

เตรียมตัวอย่างทดสอบด้วยการผสมดินและวัตถุดิบตามสูตรที่ออกแบบในเครื่องบดบอลมิลขนาดความจุ 1 กิโลกรัม เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำมาเกรอะในอ่างปูนปลาสเตอร์แล้วรีดเป็นแท่งทรงกระบอกด้วยเครื่องรีด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

2.3 การวิเคราะห์ทดสอบสมบัติตัวอย่างก่อนเผา

ทำการวัดขนาดเมื่อแห้งแท่งดินตัวอย่างก่อนเผา และทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัดของแท่งดินแห้งด้วยวิธี 3-point Bending โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

2.4 การเผาตัวอย่าง

ในการทดลองนี้ได้มุ่งเน้นสูตรดินเพื่อใช้กับเตาเผาของโรงงาน จึงพิจารณาการเผาในระดับห้องปฏิบัติการเพียงอุณหภูมิเดียว คือ 1,150°ซ ทำการเผาด้วยเตาไฟฟ้า เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5°ซ/นาที

2.5 การวิเคราะห์ทดสอบสมบัติตัวอย่างหลังเผา

ทำการวัดขนาดของตัวอย่างหลังเผาเพื่อหาค่าการหดตัวหลังเผา ทำการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำโดยชั่งน้ำหนักชิ้นงานหลังเผา จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ในน้ำอีก 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักชิ้นงานเปรียบเทียบกับก่อนต้ม นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM C373 – 88 (2006) ทำการตรวจสอบการทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิฉับพลันตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C484 – 99 (2003) โดยนำตัวอย่างไปให้ความร้อนในเตาที่อุณหภูมิ 200°ซ แล้วนำออกจากเตาให้เย็นตัวในอากาศปกติ ตรวจสอบการแตกร้าวด้วยการจุ่มในสีย้อมสังเกตรอยแตกร้าวที่ผิวตัวอย่าง ทำการศึกษาองค์ประกอบเฟสในชิ้นงานหลังเผาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ โดยใช้เครื่อง XRD (Bruker D8 Advanced) และเปรียบเทียบปริมาณเฟสผลึกในชิ้นงานด้วยด้วยเทคนิค Rietveld จากโปรแกรม TOPAS

3. ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบด้วยเทคนิค XRF ดังแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า ดินแดงบ้านเบิก (LB) เป็นดินที่มี SiO_2 ถึงประมาณร้อยละ 62 โดยน้ำหนัก Al_2O_3 ร้อยละ 19 โดยน้ำหนัก และสารช่วยลดอุณหภูมิการเผาทั้ง Na_2O, K_2O, CaO และ MgO รวมกันร้อยละ 4.7 โดยน้ำหนัก สารให้สีในดินแดงได้แก่ Fe_2O_3 5.49 โดยน้ำหนัก ดินขาวระนองถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมเป็นแหล่งให้ Al_2O_3 ซึ่งมีสูงถึงร้อยละ 32 โดยน้ำหนัก และในเฟลด์สปาร์เป็นตัวควบคุมและเติมเต็มส่วนผสมที่ขาด เช่นเดียวกับหินผุ จากองค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบดังกล่าวมา ได้สูตรดินปั้นสำหรับเตรียมตัวอย่างทดสอบดังตารางที่ 2 และเมื่อคำนวณองค์ประกอบเคมีในดินปั้นจะได้สัดส่วน Al_2O_3 : SiO_2 อยู่ระหว่าง 0.278–0.308 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของแหล่งดินและวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมดินผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

วัตถุดิบ	ดินบ้านเบิก(LB)	ดินขาวระนอง	เฟลด์สปาร์	ควอตซ์	หินผุ	เศษแก้ว
Al_2O_3	19.3	32.38	18.09	0.18	16.72	1.1
SiO_2	61.7	42.21	66.56	98.81	76.64	61.39
Fe_2O_3	5.49	1.19	0.12	0.1	0.19	0.37
TiO_2	0.94	0.06	0.02	0.05	0.12	0.11
Na_2O	0.44	0.08	3.29	0.3	0.1	10.75
K2O	2.21	2.43	11.3	0.07	0.19	0.31
CaO	0.64	0.06	0.26	0.1	0.1	9.27
MgO	1.41	0.13	0.03	0.1	0.1	4.04
LOI	7.46	21.45	0.34	0.3	5.84	12.66

ตารางที่ 2 สูตรเนื้อดินปั้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก) จำนวนตัวอย่างทดสอบ n = 10 ชิ้น ต่อสูตร

วัตถุดิบ	LB0	LB-1	LB-2	LB-3
ดินบ้านเบิก	57.5	57.5	60.3	63.6
ดินขาวระนอง	19	16.5	13.5	10.1
เฟลด์สปาร์	0.6	1.2	1.4	1.5
ควอตซ์	5	5	5	5
หินผุ	7.9	9.8	9.8	9.8
เศษแก้ว	10	10	10	10

ตารางที่ 3 ปริมาณออกไซด์ในสูตรเนื้อดินปั้นที่ใช้ดินแดงบ้านเบิกเป็นวัตถุดิบหลัก (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

สูตร	LB0	LB-1	LB-2	LB-3
Al_2O_3	21.13	20.59	20.05	19.45
SiO_2	68.59	69.17	69.54	69.96
Fe_2O_3	3.44	3.39	3.49	3.61
TiO_2	0.67	0.66	0.69	0.72
Na_2O	1.49	1.51	1.51	1.52
K_2O	2.01	2.01	2.01	2.00
CaO	1.47	1.46	1.48	1.49
MgO	1.21	1.2	1.22	1.25
$Al_2O_3 : SiO_2$	0.308	0.298	0.288	0.278

ผลการตรวจสอบสมบัติก่อนเผาของตัวอย่างดินรีดและตากแห้งในตารางที่ 4 แสดงร้อยละการหดตัวและค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด โดยเปรียบเทียบกับสูตร LB ซึ่งใช้ดินแดงบ้านเบิกเพียงอย่างเดียว พบว่ามีค่าการหดตัวมากถึงร้อยละ 7.1 แต่เมื่อพิจารณาสูตร LB0 ถึงสูตร LB-3 ซึ่งเป็นสูตรที่นำดินแดงบ้านเบิกมาผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ พบว่ามีค่าการหดตัว เรียงจากน้อยไปมาตามปริมาณการลดปริมาณดินขาวจากร้อยละ 19 ในสูตร LB0 จนเหลือร้อยละ 10.1 ในขณะที่เนื้อดินแดงเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าดินแดงบ้านเบิกมีเนื้อที่ละเอียดและอุ้มน้ำมาก เมื่อมีปริมาณดินแดงนี้มากในสูตรทำให้การหดตัวเมื่อแห้งสูงตามไปด้วย ส่วนค่าความแข็งแรงพบว่าสูตร LB ซึ่งเป็นดินแดงบ้านเบิกอย่างเดียวนั้นให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด และลดลงเมื่อมีการเติมส่วนผสมประเภท Non Plastic ลงไปดังสูตร LB0 ถึง LB-3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินแดงบ้านเบิกที่มีเนื้อดินละเอียดเมื่อแห้งจะเกิดการอัดแน่นของเม็ดดินได้มากส่งผลทำให้เกิดความแข็งแรงมากตามไปด้วย ในขณะที่การเติมส่วนผสมดินประเภทที่ไม่มีความเหนียวมีแนวโน้มทำให้ดินลดความแข็งแรงลง และเมื่อเปรียบเทียบสูตรดินผสมด้วยกันแล้วพบว่าแนวโน้มความแข็งแรงลดลงตามปริมาณเฟลด์สปาร์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นส่วนผสมในกลุ่มไม่ให้ความเหนียวของเนื้อดินปั้น

ตารางที่ 4 แสดงร้อยละการหดตัวและค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของตัวอย่างก่อนเผา

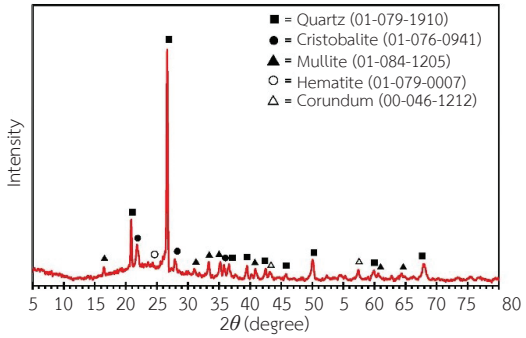
สูตร	การหดตัวเชิงเส้น (%)	ความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa)
LB	7.15 (±0.40)	4.19 (±0.27)
LB0	1.99 (±0.96)	3.73 (±0.67)
LB-1	3.36 (±1.42)	3.60 (±0.73)
LB-2	4.04 (±0.19)	2.50 (±0.24)
LB-3	4.50 (±0.25)	2.18 (±0.19)

ในการทดลองชิ้นงานหลังเผาเบื้องต้นได้พิจารณาเพียงสูตร LB0 และ LB-1 โดยเผาที่อุณหภูมิ 1,150°ซ และเทียบกับสูตร LB ผลการทดลองดังตารางที่ 5 เมื่อเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,150°ซ พบว่าสูตร LB, LB0 และ LB-1 มีค่าการหดตัวหลังเผาเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 4.75, 8.87 และ 9.24 ตามลำดับ และยังพบว่าค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานสูตร LB0 และ LB-1 มีค่าร้อยละ 0.10 และ 0.04 ซึ่งเข้าใกล้ร้อยละ 0 และแตกต่างจากสูตร LB อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับค่าการหดตัวเชิงเส้นหลังเผา ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงพบว่าสูตร LB, LB0 และ LB-1 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 39.52, 48.78 และ 50.55 เมกะปาสกาล ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ 1,150°ซ เป็นอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการสุกตัวของสูตรเนื้อดินได้ดี เนื่องจากสัดส่วนของ $Al_2O_3 : SiO_2$ ที่ลดลง โดยเฉพาะสูตรที่มีสัดส่วนของ $Al_2O_3 : SiO_2$ น้อยที่สุด

ตารางที่ 5 สมบัติหลังเผาที่อุณหภูมิ 1,150°ซ ของชิ้นงานที่เตรียมจากสูตรเนื้อดินปั้นโดยใช้ดินแดงบ้านเบิกเป็นวัตถุดิบหลัก

สูตร	การหดตัวเชิงเส้น (%)	การดูดซึมน้ำ (%)	ความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa)
LB	4.75 (±0.11)	7.03 (±0.38)	39.52 (±2.80)
LB0	8.87 (±0.92)	0.10 (±0.16)	48.78 (±7.45)
LB-1	9.24 (±1.31)	0.04 (±0.10)	50.55 (±6.68)

ผู้วิจัยได้เลือกสูตร LB-1 ไปทดสอบสมบัติอื่นๆ ได้ผลดังนี้ ผลการวิเคราะห์เฟสผลึกในตัวอย่างหลังเผาแสดงดังรูปที่ 1 พบว่ามีองค์ประกอบของควอตซ์ คริสโตบาไลต์ และ



รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของเนื้อดินปั้นสูตร LB-1 หลังเผาที่ 1,150°ซ

มัลไลต์ นอกจากนั้นยังพบฮีมาไทต์ และคอรันดัมเล็กน้อย การตรวจพบปริมาณเฟสมัลไลต์ในชิ้นงานมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มความแข็งแรงให้มีค่าสูงขึ้น โดยมัลไลต์เกิดจากการทำปฏิกิริยาของดินที่เป็นส่วนผสมในสูตรดินปั้น ณ อุณหภูมิสูง นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาปริมาณผลึกและปริมาณอสัณฐานด้วยการคำนวณพื้นที่ใต้แผนภาพพบว่ามีปริมาณผลึกอยู่ร้อยละ 55 และปริมาณอสัณฐานอยู่ร้อยละ 45 และเมื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณของแร่แต่ละชนิดที่อยู่ในรูปผลึกด้วยเทคนิค Rietveld พบว่ามีควอตซ์ร้อยละ 26.73 คริสโตบาไลต์ร้อยละ 4.43 มัลไลต์ร้อยละ 16.23 ฮีมาไทต์ร้อยละ 2.32 และคอรันดัมร้อยละ 5.77

เมื่อทดสอบค่าความต้านต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างเฉียบพลันที่อุณหภูมิ 200°ซ และตรวจสอบจากการแตกร้าวของชิ้นงานหลังการทดสอบด้วยการแช่สีย้อมและร้อยละค่าความแข็งแรงของกระเบื้องที่ลดลงหลังผ่านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างเฉียบพลัน (Thermal Shock Resistance) พบว่าหลังการทดสอบไม่พบรอยแตกที่ผิวของชิ้นงาน แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานสูตร LB-1 หลังเผาที่ 1,150°ซ มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างเฉียบพลัน

4. สรุป

เนื้อดินปั้นกระเบื้องมุงหลังคาที่ใช้ดินบ้านเบิก อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี เป็นหลักและปรับปรุงส่วนผสมด้วยดินขาว เฟลด์สปาร์ หินผุ ควอร์ต และเศษแก้ว โดยควบคุมอัตราส่วน Al_2O_3 : SiO_2 ประมาณ 0.30 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ทำให้เกิดเฟสมัลไลต์ที่อุณหภูมิ 1,150°ซ เพิ่มความแข็งแรงให้แก่เนื้อดินเผา การเติมวัตถุดิบช่วยการหลอมตัวอย่างเฟลด์สปาร์และเศษแก้วยังช่วยลดดูดซึมน้ำลงอีกด้วย โดยพบว่าดินผสมที่เตรียมได้มีเฟสคลิสโตบาไลต์ต่ำ จนไม่ทำให้ดินเผาเกิดการเสียหายเมื่อทำการทดสอบการทนต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลันที่ 200°ซ สูตรดินผสมจากผลการวิจัยนี้ ทำให้ได้สูตรเนื้อดินผสมที่สามารถนำไปพัฒนาเป็นเนื้อกระเบื้องมุงหลังคาที่มีสมบัติการดูดซึมน้ำต่ำต่อไปได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้ชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม” สัญญาเลขที่ RDG60T0066

เอกสารอ้างอิง

[1] A. Theerapapvisetpong and S. Nilpairach, “Utilization of glass cutting sludge and sanitary ware sludge in ceramic pressed bodies,” *Key Engineering Materials*, vol. 659, pp. 169–174, 2015.

[2] K. Kim, K. Kim, and J. Hwang, “Characterization of ceramic tiles containing LCD waste glass,” *Ceramics International*, vol. 42, no. 6, pp. 7626–7631, 2016.

[3] N. F. Youssef, M. F. Abadir, and M. A. O. Shater, “Utilization of soda glass (cullet) in the manufacture of wall and floor tiles,” *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 18, no. 12, pp. 1721–1727, 1998.

[4] G. d. S. Sandra, B. Patricia, and G. Patricia, “Phototrophic biofilms on exterior brick substrate,” *Research & Reviews in BioSciences*, vol. 11,

no. 2, pp. 1–10, 2016.

[5] A. F. Gualtieri, "Development of low-firing b-fluxed stoneware Tiles," *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 92, no. 11, pp. 2571–2577, 2009.

[6] A. Tucci, L. Esposito, E. Rastelli, C. Palmonari, and E. Rambaldi, "Use of soda-lime scrap-glass as a fluxing agent in a porcelain stoneware tile mix," *Journal of the European Ceramic Society*, Article vol. 24, no. 1, pp. 83–92, 2004.

[7] S. Maschio, E. Furlani, G. Tonello, N. Faraone, E. Aneggi, D. Minichelli, L. Fedrizzi, A. Bachiorrini, and S. Bruckner, "Fast firing of tiles containing paper mill sludge, glass cullet and clay," *Waste Management*, vol. 29, no. 11, pp. 2880–2885, 2009.