

ส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำอิฐทนไฟฉนวน จากวัตถุดิบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ดร. ไพศาล คงคาญฉาย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำอิฐทนไฟฉนวน โดยใช้วัตถุดิบ 3 ชนิด คือ แกลบเผา ดินเหนียวจากบ้านเชียงเครือ ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร และดินขาวจากตำบลโนนทอง กิ่งอำเภอนาเยีย จังหวัดอุตรธานี ได้แปรค่าอัตราส่วนผสมเป็น 17 สูตร และทำการเผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้ทดสอบค่าความหนาแน่นโดยรวม ความพรุนปรากฏ ความต้านทานแรงบีบดเมื่อเย็น และสภาพนำความร้อน จากผลการทดสอบพบว่า อิฐตัวอย่างจำนวน 8 สูตรมีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐทนไฟฉนวน (มอก. 554) คือ มีความหนาแน่นโดยรวมอยู่ในช่วง 0.52-0.80 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ความพรุนปรากฏอยู่ในช่วง 66-76 เปอร์เซ็นต์ ความต้านทานแรงบีบดอยู่ในช่วง 3.9-0.68 กิโลแคลอรี/ซว้โม่ง-องศาเซลเซียส

Suitable Compositions for Making Insulating Firebricks Using Raw Materials from the Northeast of Thailand

Dr. Paisan Kongkachuchay

Assistant Professor

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering Khon Kaen University

Abstract

The characteristics and effects of raw materials and their compositions for making insulating firebricks were studied. The raw materials used are rice-husk ash, ball clay from Sakonnakorn, and kaolin from Udonthani. The compositions were varied to be 17 formulae. After mixing and shaping, the samples were then fired at 1300⁰C for 30 minutes. Subsequently, some important properties were tested following standard methods set by the office of Industrial Products Standards, Ministry of Industry. The obtained results show that there are 8 formulae of prepared firebricks having essential properties which meet the standard.

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมด้านเซรามิกส์ในประเทศไทยมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นมาก ผลิตภัณฑ์รูปแบบต่างๆ ได้รับการพัฒนาปรับปรุงจนมีระดับคุณภาพทัดเทียมกับต่างประเทศ หนึ่งในผลิตภัณฑ์เหล่านั้นคือ วัสดุทนไฟ (refractory) ซึ่งใช้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเตาเผาและเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูง โดยทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักและเป็นฉนวนกันความร้อน การผลิตวัสดุทนไฟในประเทศไทยมีผู้ผลิตรายใหญ่อยู่ 2 ราย คือ บริษัทเอเชีย รีแฟรคทอรี อุตสาหกรรม จำกัด และกลุ่มธุรกิจวัสดุทนไฟในเครือบริษัทปูนซิเมนต์ไทย (มหาชน) จำกัด วัสดุทนไฟที่ดีต้องมีความคงทนต่ออุณหภูมิสูงโดยไม่เกิดการหลอมเหลวหรือสลายตัว มีสภาพเหนียวไม่ทำปฏิกิริยากับสภาวะแวดล้อมภายใต้บรรยากาศการใช้งาน และเป็นฉนวนความร้อนที่ดี[1] วัสดุทนไฟถูกนำมาใช้ในหลายรูปแบบแต่ที่ใช้มากที่สุดคือ ในรูปของอิฐทนไฟ คุณสมบัติของวัสดุทนไฟจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีเป็นหลัก องค์ประกอบที่สำคัญ[2] ได้แก่ อะลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) หรือแมกนีเซีย (MgO) โดยมีองค์ประกอบแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุทนไฟ

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับอิฐทนไฟรวม 6 ประเภท คือ อิฐทนไฟไฟร์เคลย์ อิฐทนไฟอะลูมินาสูง อิฐทนไฟเชิงต่าง: อิฐโครม อิฐทนไฟเชิงต่าง:อิฐแมกนีไซต์ อิฐทนไฟเชิงต่าง:อิฐโครม-แมกนีไซต์และแมกนีไซต์-โครม อิฐทนไฟฉนวน สำหรับโครงการวิจัยนี้สนใจศึกษาเทคนิคการผลิตอิฐทนไฟฉนวน (insulating firebricks) เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมการใช้วัตถุดิบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยเลือกใช้ดินเหนียว (ball clay) จากแหล่งดินบ้านเชียงเครือ ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ดินขาว (china clay หรือ kaolin) จากแหล่งดินตำบลโนนทอง กิ่งอำเภอนายูง จังหวัดอุดรธานี ซึ่งเป็นแหล่งดินใหม่ที่เพิ่งพบได้ไม่นาน และแกลบเผา (rice-husk ash, RHA) ซึ่งเป็นวัตถุดิบเหลือใช้และมีอยู่มากมายในภูมิภาคนี้ ในการวิจัยได้ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด พร้อมสภาวะที่เหมาะสมในการทำอิฐทนไฟฉนวน และทดสอบคุณสมบัติของอิฐทนไฟฉนวนที่ได้เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และมาตรฐานของบริษัทเอเชีย รีแฟรคทอรี อุตสาหกรรม จำกัด

การทดลอง

วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการทำอิฐทนไฟฉนวนมี 3 ชนิด คือ ดินเหนียว (หรือดินดำ) จากบ้านเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ดินขาวจากตำบลโนนทอง กิ่งอำเภอนายูง จังหวัดอุดรธานี และเกลบเผา ดินเหนียวและดินขาวมีส่วนประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1[3] ส่วนเกลบเผามีซิลิกา ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก[4]

การเตรียมวัตถุดิบ

ก่อนนำดินทั้ง 2 ชนิดไปผสมขึ้นรูปเป็นก้อนอิฐ ต้องผ่านขั้นตอนการแยกสิ่งเจือปนออก เริ่มจากนำมาอบแห้งด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำไปย่อยขนาดให้เล็กลงด้วยเครื่องบดแบบมี้อน (hammer mill) จนสามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช (0.5 มิลลิเมตร) ได้หมด ล้างดินที่ได้เพื่อแยกสิ่งเจือปนออก โดยนำดินน้ำหนักประมาณ 50 กิโลกรัมใส่ในถังขนาด 200 ลิตร ผสมกับน้ำด้วยอัตราส่วน ดิน : น้ำ เท่ากับ 1:3 เติงถึงทำมุ่มกับแนวตั้งประมาณ 10 องศา กวนน้ำเข้าด้วยอัตราการใช้ประมาณ 200 มิลลิลิตร/นาที น้ำดินส่วนที่สะอาดจะไหลล้นออกจากถังลงสู่ถังเก็บ ส่วนสิ่งเจือปนที่หนักกว่าจะตกอยู่ส่วนล่างของถัง นำน้ำดินส่วนที่เก็บไว้ไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบกรองอัด (plate and frame filter) อบแห้งดินที่แยกได้ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปบดโดยวิธีเดิม จนสามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช จะได้ดินที่พร้อมใช้งานต่อไป

เกลบเผาที่ใช้ในการทดลองเป็นเกลบเผาที่ใช้ในโรงงานอิฐบริเวณชานเมือง จังหวัดขอนแก่น เลือกใช้เฉพาะส่วนที่เป็นสีขาวซึ่งพบว่ามีปริมาณซิลิกาออสฐานประมาณ 95 เมช ได้หมด

การผสม

เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ได้ทดลองแปรค่าอัตราส่วนระหว่างดินเหนียว ดินขาว และเกลบเผาเป็น 17 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 2 ทำการผสมโดยซึ่งวัตถุดิบแต่ละชนิดด้วยเครื่องชั่ง (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องบดแบบลูกบอล (ไม้ใส่ลูกบอล) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นผสมให้เข้ากับน้ำโดยพ่นน้ำลงบนเนื้อดินให้

ทำให้มีปริมาณน้ำในเนื้อดินผสมประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ได้ดินผสมคงรูปอยู่ได้เมื่อนำไปขึ้นรูป

การขึ้นรูป

นำดินผสมที่ได้เทลงในแบบทำจากไม้รูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 9x9x4.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปาดดินส่วนที่ล้นแบบออกให้ผิวหน้าด้านบนเรียบเสมอบนแบบ ทั้งไว้จนแห้งพอสมควร จึงแกะแบบออก ปล่อยให้ชิ้นตัวอย่างแห้งและมีความแข็งแรงพอที่จะเคลื่อนย้ายได้จึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียส/นาทีก่อนที่จะนำไปเผาในขั้นต่อไป

การเผา (sintering)

นำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแล้วไปเผาแก๊สแบบออกซิเดชัน ขนาดความจุภายใน 0.2 ลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ด้วยอัตราการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียส/นาทีก่อนที่จะนำไปทดสอบต่อไป

การทดสอบคุณสมบัติหลักการเผา

อัฐตัวอย่างหลังการเผานำไปทดสอบคุณสมบัติต่อไปนี้

1. ความหนาแน่นโดยรวม (bulk density) ใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 558 เล่ม 9
2. ความพรุนปรากฏ (apparent porosity) ใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 558 เล่ม 9
3. ความต้านทานแรงบีบอัดเมื่อเย็น (crushing strength) ใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 558 เล่ม 7
4. สภาพนำความร้อน (thermal conductivity) เนื่องจากไม่มีเครื่องมือทดสอบหาค่าได้โดยตรงจึงใช้วิธีทดสอบทางอ้อม โดยนำชิ้นตัวอย่างที่ได้และอิฐไฟของบริษัทเอเซียรีแฟรคทอรีเกรด C2 มากลึงเป็นแท่งทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร นำแท่งอิฐตัวอย่างและแท่งอิฐมาตรฐานเสียบไว้ที่ผนังเตาให้อยู่ห่างกันประมาณ 10 เซนติเมตร ให้เฉพาะส่วนปลายของแท่งสัมผัสกับความร้อนภายในเตาโดยตรง ทำการทดสอบโดยเพิ่มอุณหภูมิภายในเตาจนถึง 800 องศาเซลเซียส

รักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่แล้ววัดอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองด้านของแท่งอิฐโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล นำค่าอุณหภูมิที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าสภาพนำความร้อนโดยคิดว่าแท่งอิฐทั้งสองได้รับปริมาณความร้อนเท่ากัน

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ลักษณะทั่วไปหลังการเผา

หลังจากเผาชิ้นตัวอย่างทั้ง 17 สูตรตามตารางที่ 2 พบว่า อิฐที่มีปริมาณดินเหนียวมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและมีเกลบน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีน้ำหนักมากกว่าสูตรอื่นๆ เนื้อดินมีความพรุนน้อย จึงได้ตัดสูตรของอิฐที่มีอัตราส่วนเกลบ : ดินเหนียว : ดินขาวเท่ากับ 50:40:10 40:40:20 40:30:30 40:20:40 40:10:50 30:50:20 30:40:30 30:30:40 และ 30:20:50 ออก และไม่ได้นำไปทดสอบในขั้นต่อไป

ความหนาแน่นโดยรวม

อิฐตัวอย่างหลังการเผามีค่าความหนาแน่นโดยรวมอยู่ในช่วง 0.52 ถึง 0.80 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยที่สูตร 50:10:40 ให้ค่าความหนาแน่นโดยรวมสูงที่สุด คือ 0.8 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่สูตร 70:20:10 มีค่าความหนาแน่นโดยรวมต่ำที่สุด คือ 0.52 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังรายละเอียดในตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ พบว่าเกลบเผามีความหนาแน่นสูงสุด คือ ประมาณ 2.1 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนดินเหนียวและดินขาวมีความหนาแน่นประมาณ 2.5 และ 2.4 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ดังนั้นสูตรที่มีปริมาณเกลบเผามากกว่าจะมีความหนาแน่นโดยรวมต่ำกว่าซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบที่ได้ และพบว่าค่าที่ได้อยู่ในช่วงมาตรฐานที่กำหนดไว้ใน มอก. 554 สำหรับอิฐทนไฟลอน คือ มีค่าระหว่าง 0.60 - 1.25 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับอิฐทนไฟลอนเกรด C2 ของบริษัทเอเชีย รีเฟรคทอรี มีความหนาแน่นโดยรวม 1.2 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ความพรุนปรากฏ

ภายหลังการทดสอบหาค่าความพรุนปรากฏตามวิธีใน มอก. 558 เล่ม 9 ผลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 พบว่าสูตร 70:20:10 มีค่าความพรุนปรากฏสูงสุด คือ 76 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่

สูตร 50:10:40 มีค่าความพรุนปรากฏต่ำที่สุด คือ 66 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าอิฐตัวอย่างที่มีค่าความหนาแน่นโดยรวมสูงจะมีค่าความพรุนปรากฏต่ำ และเมื่อเพิ่มปริมาณเกลบเผาในส่วนผสมมีผลทำให้ค่าความพรุนปรากฏเพิ่มขึ้น ใน มอก. 554 ไม่ได้กำหนดค่าความพรุนปรากฏไว้ในมาตรฐาน สำหรับอิฐมาตรฐาน C2 มีค่าความพรุนปรากฏ 76 เปอร์เซ็นต์

ความต้านทานแรงบีบอัดเมื่อเย็น

จากผลการทดสอบที่แสดงไว้ในตารางที่ 3 พบว่า สูตร 50:10:10 มีค่าความต้านทานแรงบีบอัดเมื่อเย็นสูงที่สุดคือ 8.3 เมกาสกาล (MPa) และสูตร 70:10:20 ให้ค่าต่ำที่สุดคือ 3.9 เมกาสกาล ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 554 ได้กำหนดค่าความต้านทานแรงบีบอัดเมื่อเย็นสำหรับอิฐทนไฟลอนชนิด ก และ ข ทุกชั้นคุณภาพไว้ไม่ต่ำกว่า 1.0 และ 2.5 เมกาสกาล ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอิฐตัวอย่างทุกสูตรมีค่าความต้านทานแรงบีบอัดสูงกว่ามาตรฐานสำหรับอิฐทนไฟ C2 มีค่าความต้านทานแรงบีบอัด 5.9 เมกาสกาล จัดอยู่ในอิฐทนไฟลอนชนิด ค

ค่าความต้านทานแรงบีบอัดเมื่อเย็นเป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของอิฐทนไฟ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดและสัดส่วนของวัตถุดิบ อุณหภูมิที่ใช้เผา ความพรุนปรากฏ เป็นต้น จากวัตถุดิบ 3 ชนิด ที่ใช้จะเห็นว่วงศ์ประกอบหลักที่ให้ความแข็งแรง คือ ดินเหนียวและดินขาว เพราะว่าในดินทั้งสองมีอะลูมินาเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างอยู่ด้วยนอกเหนือจากซิลิกาที่เป็นองค์ประกอบหลัก (ดูตารางที่ 1) โดยทั่วไปอะลูมินามีความแข็งแรงสูงกว่าซิลิกาประมาณ 5 เท่า[5] และจากการทดสอบได้ผลสอดคล้องกับข้อสังเกตดังกล่าว คือ สูตรที่มีปริมาณดินเหนียวและดินขาวมากกว่าจะมีค่าความต้านทานบีบอัดสูงกว่า

สภาพนำความร้อน

จากการวัดอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองด้านของแท่งอิฐตัวอย่างและแท่งอิฐมาตรฐาน C2 ซึ่งทางผู้ผลิตได้ทดสอบแล้วว่ามีค่าสภาพนำความร้อนเท่ากับ 0.50 กิโลแคลอรี/ซม²-มม-องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เนื่องจากได้ทำการทดสอบอิฐทนไฟทั้งสองภายใต้สภาวะเดียวกัน จึงคิดว่าอิฐทั้งสองได้รับปริมาณความร้อน (Q) เท่ากัน และสมมุติให้แท่งอิฐนำความร้อนในแนวยาวเท่านั้น ดังนั้นสามารถคำนวณค่าสภาพนำความร้อนของแท่งอิฐตัวอย่างได้ดังนี้

$$Q = \frac{k_c A_c \Delta T_c}{L_c} = \frac{k_s A_s \Delta T_s}{L_s} \quad (1)$$

$$k_s = \frac{L_s k_c A_c \Delta T_s}{L_c A_s \Delta T_s} \quad (2)$$

โดยที่

k_c, k_s = ค่าสภาพนำความร้อนของอิฐมาตรฐาน C2 และอิฐตัวอย่างตามลำดับ

A_c, A_s = พื้นที่หน้าตัดของแท่งอิฐมาตรฐาน C2 และอิฐตัวอย่างตามลำดับ

L_c, L_s = ความยาวของแท่งอิฐมาตรฐาน C2 และอิฐตัวอย่างตามลำดับ

$\Delta T_c, \Delta T_s$ = ผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองด้านของแท่งอิฐมาตรฐาน C2 และอิฐตัวอย่างตามลำดับ

ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 3 สรุปได้ว่าสูตร 50:10:40 มีค่าสภาพนำความร้อนต่ำที่สุด คือ 0.24 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง-เมตร-องศาเซลเซียส ในขณะที่สูตร 50:20:30 มีค่าสูงที่สุดคือ 0.68 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง-เมตร-องศาเซลเซียส จำเห็นว่าค่าที่ทดสอบได้อยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกับอิฐทนไฟมาตรฐาน C2 คือ 0.5 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง-เมตร-องศาเซลเซียส แต่ทั้งนี้ควรจะได้ทดสอบโดยการวัดโดยตรงอีกครั้ง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้

สรุป

จากการทดลองทำอิฐทนไฟนวนโดยใช้วัตถุดิบ 3 ชนิด คือ ดินเหนียว ดินขาวและ แกลบเผาซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายและมีอยู่มากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นำมาผสมกันด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ รวม 17 สูตร และนำไปเผ่ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ผลการทดสอบคุณสมบัติหลังการเผาพบว่าเมื่ออยู่ 8 สูตรที่มีคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับการใช้งาน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐทนไฟนวน (มอก. 554) คือ มีความหนาแน่นโดยรวมอยู่ในช่วง 0.52-0.80 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ความพรุนปรากฏอยู่ในช่วง 66-76 เปอร์เซ็นต์ ความต้านทานแรงบีบอัดอยู่ในช่วง 3.9-8.3 เมกะปาสกาล และสภาพนำความร้อนอยู่ในช่วงอยู่ในช่วง 0.24-0.68 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง-เมตร-องศาเซลเซียส

เอกสารอ้างอิง

1. W.D. Callister, Jr., "**Materials Science and Engineering: An Introduction**," 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc., New York (1994), p. 430
2. W.D. Kingery, H.K. Bowen, and D.R. Uhlmann, "**Introduction to Ceramics**," 2nd edition, John Wiley & Sons, New York (1976) p. 542.
3. กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม, **รายงานการวิเคราะห์ทางเคมี**, 2533.
4. M.L. Allen, "**Rice-Husks as a Fuel and as a Resource**," Proceeding of 2nd Asian Conference on Technology for Rural Development, Kuala Lumpur (1984).
5. L.H. Van Vlack, "**Element of Materials Science and Engineering**," 6th edition, Addison Wesley, New York (1989), pp. inner cover.

ตารางที่ 1

ส่วนประกอบทางเคมีของดินที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบ	ส่วนประกอบ (%โดยน้ำหนัก)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂ &Na ₂ O	MgO	Misc.
ดินเหนียวสกลา	63.5	22.4	3.5	1.4	-	0.9	8.3
ดินขาวอุดรา	75.3	15.0	1.5	0.1	0.1	0.2	7.8

ตารางที่ 2

อัตราส่วนในการผสมดินเพื่อใช้ทำอิฐทนไฟลอน

สูตร	ปริมาณ (%โดยน้ำหนัก)		
	แกลบเผา	ดินเหนียว	ดินขาว
1	30	20	50
2	30	30	40
3	30	40	30
4	30	50	20
5	40	10	50
6	40	20	40
7	40	30	30
8	40	40	20
9	50	10	40
10	50	20	30
11	50	30	20
12	50	40	10
13	60	10	30
14	60	20	20
15	60	30	10
16	70	10	20
17	70	20	10

ตารางที่ 3

คุณสมบัติของอิฐทนไฟผ่นหลังการเผา (A = แกลบเผา, B = ดินเหนียว, C = ดินขาว)

อัตราส่วน (A:B:C)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ความพรุน (%)	แรงบีบอัด (MPa)	นำความร้อน (kcal/h.m. ⁰ C)
50:10:40	0.80	66	8.3	0.24
50:20:30	0.77	67	7.9	0.68
50:30:20	0.75	67	6.5	0.36
60:10:30	0.74	68	4.2	0.25
60:20:20	0.64	70	5.4	0.46
60:30:10	0.69	69	4.1	0.48
70:10:20	0.56	72	3.9	0.37
70:20:10	0.52	76	4.2	0.45
C2	1.2	76	5.9	0.50