การสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากเถ้าชานอ้อย
Synthesis of cordierite from bagasse ash

วรรณา ต.แสงจันทร์[1*], ปราณี จันทร์ลา[1], ศันศนีย์ รักไทยเจริญชีพ[1]
และสุทธิมา ศรีประเสริฐสุข[1]
Wanna T.saengchantara[1*], Pranee Junlar[1], Sansanee Rugthaicharoencheep[1],
and Sutthima Sriprasertsuk[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากเถ้าชานอ้อย คำนวณสูตรส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองจากตารางสามเหลี่ยมโดยแปรเปลี่ยนปริมาณ MgO ระหว่างร้อยละ 9-14 Al_2O_3 ระหว่างร้อยละ 30-38 และ SiO_2 ระหว่างร้อยละ 47-55 คำนวณเป็นสูตรวัตถุดิบโดยใช้เถ้าชานอ้อย แมกนีไซต์ ดินขาว และอะลูมินา นำไปเผาสังเคราะห์ให้เกิดคอร์เดียไรต์ที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 °C ตรวจสอบเฟสที่ได้หลังเผา โดยใช้เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์(XRD) จากนั้นคัดเลือกสูตรส่วนผสมที่มีคอร์เดียไรต์เกิดขึ้นปริมาณสูงสุด นำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ และเผาที่อุณหภูมิ 1300 °C ศึกษาสมบัติทางกายภาพหลังเผา ได้แก่ การหดตัว การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ความแข็งแรง (Modulus of rupture) และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน (Coefficient of thermal expansion) ผลการศึกษาทดลอง พบว่าสูตรส่วนผสมที่มี คอร์เดียไรต์ เกิดขึ้นปริมาณสูงสุด หลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 °C มีสมบัติทางกายภาพดังนี้ การหดตัว (Shrinkage) ร้อยละ 8.6 การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ร้อยละ 8.4 ความหนาแน่น (Bulk density) 2.09 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความแข็งแรง 48.9 เมกะพาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน 3.53×10^{-6}/ °C

Abstract

This research presents the results of a cordierite synthesis from bagasse ash. The formulas were calculated using a tri-axial table by varying the amount of MgO, Al_2O_3, and SiO_2 in the range of 9-17%, 30-38%, and 47-55%, respectively. The selected raw materials were mixed using bagasse ash, magnesite, kaolin, and alumina and fired at 1250 and 1300 °C to form a cordierite phase. The structures were analyzed using powder X-ray diffraction (XRD) method. A formula with the highest cordierite phase was selected to form samples and then fired at 1300 °C. The physical properties, i.e., firing shrinkage, water absorption, bulk density, modulus of rupture (MOR), and coefficient of thermal expansion (COE) were studied. The samples yielded firing shrinkage of 8.6%, water absorption of 8.4%, bulk density of 2.09 g/cm^3, MOR of 48.9 MPa, and COE of 3.53×10^{-6} / °C.experimental body fried at 1200 °C was found its ability to absorb the liquid at a certain level and to release the fragrance.

คำสำคัญ : เถ้าชานอ้อย, คอร์เดียไรต์, วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม
Keywords : Bagasse Ash, Cordierite, Industrial Waste

[1]กรมวิทยาศาสตร์บริการ
*Corresponding author E-mail address : wanna@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

คอร์เดียไรต์เป็นสารประกอบของแมกนีเซียม อะลูมิเนียมซิลิเกต มีสูตรเคมี คือ $2MgO.2Al_2O_3.5SiO_2$ เป็นแร่ที่เกิดในธรรมชาติ พบได้น้อยมาก แต่สามารถสังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบที่มีแมกนีเซียออกไซด์ (MgO) อะลูมินา (Al_2O_3) และ ซิลิกา (SiO_2) เป็นองค์ประกอบ เช่น แมกนีไซต์ ($MgCO_3$) ทัลค์ ($3MgO.4SiO_2.H_2O$) ดิน ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) และอะลูมินา (Al_2O_3) โดยต้องเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1400 ˚C เพื่อให้เกิดเป็นคอร์เดียไรต์ แต่หากมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของวัตถุดิบธรรมชาติบางชนิด ก็จะสามารถสังเคราะห์คอร์เดียไรต์ที่อุณหภูมิประมาณ 1200-1300 ˚C ได้ เนื่องจากในวัตถุดิบธรรมชาติมักมีสิ่งเจือปนซึ่งช่วยให้เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น(1) คอร์เดียไรต์เป็นสารที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำ คือ อยู่ระหว่าง 1.5-4.0x10^{-6}/ ˚C (2) ทำให้มีสมบัติทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ดี จึงนิยมนำคอร์เดียไรต์ไปใช้งานในสภาวะที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอยู่เสมอ เช่น อุปกรณ์ในเตาเผา ตัวกรองไอเสียในรถยนต์ และแผงวงจรไฟฟ้า เป็นต้น(3)

เถ้าชานอ้อยเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเผาไหม้ของชานอ้อยที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งในแต่ละปีมีเถ้าเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก โดยมีจำนวนประมาณ 596,000 ตันต่อปี ซึ่งจะส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมต่อไปในอนาคต ปัจจุบันมีการนำเถ้าชานอ้อยไปใช้ประโยชน์เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่ได้จากอุตสาหกรรมน้ำตาล โดยนำไปผสมคอนกรีตใช้ในงานก่อสร้าง จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยเบื้องต้นโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ พบว่าเถ้าชานอ้อยมี SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนั้นมี Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, K_2O , MgO, P_2O_5 และ Na_2O ตามลำดับ

การศึกษาทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสูตรส่วนผสมที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากเถ้าชานอ้อย โดยนำเถ้าชานอ้อยมาผสมกับแมกนีไซต์ ดินขาว และอะลูมินา เพื่อนำไปใช้งานในสภาวะที่ต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน เช่น อุปกรณ์ในเตาเผา เป็นต้น งานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมไปใช้ประโยชน์ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

2. วิธีการทดลอง (Experimental)

ทำการคัดเลือกวัตถุดิบที่นำมาใช้ วิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบโดยใช้เทคนิค WD-XRF จากนั้นคำนวณส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง เตรียมส่วนผสมและนำไปเผาสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 ˚C ทดสอบเฟสที่เกิดขึ้น ทำการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมทดลองขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ นำไปเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300 ˚C และ ทดสอบสมบัติทางกายภาพทางความร้อน และค่าความแข็งแรง

2.1 วัตถุดิบที่ใช้

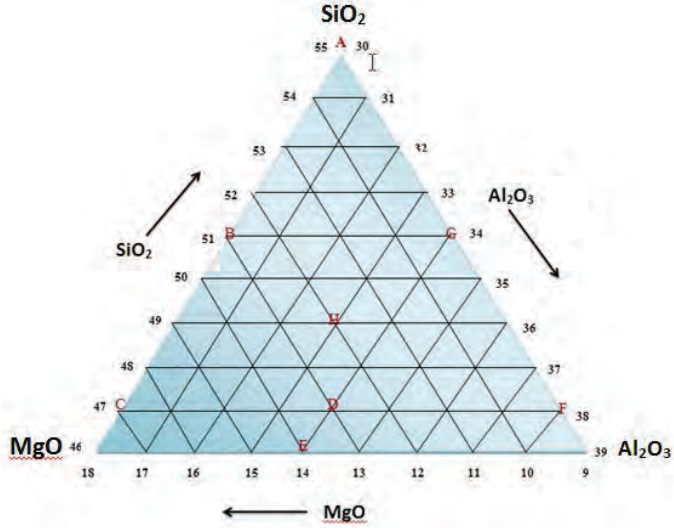
- เถ้าชานอ้อย (Bagasse Ash) จากบริษัท เกษตรไทยอุตสาหกรรมน้ำตาล จำกัด
- แมกนีไซต์ ($MgCO_3$) จากบริษัทเซอร์นิคอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
- ดินขาว (Kaolin) ชนิด cerafast จากบริษัทอินดัสเตรียลมินเนอรัลดิเวลลอปเมนต์ จำกัด
- อะลูมินา (Al_2O_3) ชนิด A31 จากบริษัทไนโซ จำกัด องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง แสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

Composition (%)	Bagasse ash	Magnesite	Kaolin	Al_2O_3
SiO_2	71.12	-	47.2	0.02
Na_2O	0.43	-	0.4	0.30
MgO	1.58	41.88	0.06	-
Al_2O_3	8.96	0.05	37.3	99.6
P_2O_5	1.06	-	0.06	-
SO_3	0.28	-	-	-
K_2O	2.61	-	1.7	-
CaO	7.81	0.55	0.1	-
TiO_2	0.67	-	-	-
MnO	0.26	-	-	-
Fe_2O_3	4.73	0.05	1.0	0.02
ZrO_2	0.05	-	-	-
BaO	0.03	-	-	-
L.O.I.	0.43	54.81	13.0	0.10

2.2 คำนวณส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนผสมของคอร์เดียไรต์ที่ใช้ในการทดลอง คำนวณโดยใช้ตารางสามเหลี่ยม กำหนดให้ MgO มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 9-17, Al_2O_3 มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 30-38 และ SiO_2 มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 47-55 (4) แสดงดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตารางสามเหลี่ยมที่ใช้กำหนดส่วนผสมในการทดลอง

กำหนดจุดที่ใช้ในการทดลอง คือ A B C D E F G และ H ตามลำดับ โดยแต่ละจุดมีปริมาณร้อยละของ MgO Al_2O_3 และ SiO_2 แสดงในตารางที่ 2 และแทนที่ MgO Al_2O_3 และ SiO_2 ในแต่ละจุดด้วยวัตถุดิบ ได้แก่ เถ้าลอย แมกนีไซต์ ดินขาว และอะลูมินา แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณร้อยละของ MgO Al_2O_3 และ SiO_2 ที่ใช้ในการทดลอง

Sample	MgO	Al_2O_3	SiO_2
A	9	30	55
B	13	30	51
C	17	30	47
D	13	34	47
E	14	34	46
F	9	38	47
G	9	34	51
H	12	33	49

ตารางที่ 3 ส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

Sample	Bagasse ash	Magnesite	Kaolin	Alumina
A	57	16	13	14
B	51	21	13	15
C	46	29	11	14
D	42	23	19	16
E	38	23	24	15
F	44	16	26	14
G	42	21	23	14
H	46	19	21	14

2.3 วิธีทดลองสังเคราะห์คอร์เดียไรต์เบื้องต้น

นำเถ้าชานอ้อยอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 ˚C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วร่อนเถ้าชานอ้อยผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช จากนั้นผสมวัตถุดิบตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 3 บดส่วนผสมด้วยโกร่งไฟฟ้าเป็นเวลา 30 นาที นำส่วนผสมใส่เบ้าอะลูมินา และเผาในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 ˚C อัตราเร่งไฟ 2.5 ˚C ต่อนาที ยืนไฟ 60 นาที จากนั้นนำไปวิเคราะห์เฟสที่ได้

2.4 วิธีเตรียมชิ้นทดสอบ

คัดเลือกสูตรส่วนผสมที่เหมาะสม คือ สูตรที่เกิดคอร์เดียไรต์สูงสุดและไม่มีควอตซ์เกิดขึ้น ทำเป็นเม็ดแกรนูลโดยร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 เมช อัดขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบในแบบพิมพ์โลหะขนาด 30 มม.×60 มม.×10 มม. ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก โดยใช้แรงอัด 180 กก.ต่อซม.^{2} แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1300 ˚C ด้วยอัตราเร่งไฟ 2.5 ˚C ต่อนาที ยืนไฟ 60 นาที

2.5 การทดสอบสมบัติหลังเผา

นำตัวอย่างที่ผ่านการเผาแล้วมาวิเคราะห์ทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้

2.5.1 วิเคราะห์เฟส โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8-Advance มี Cu เป็นตัวกำเนิดรังสี และ Ni เป็น filter โดยมีค่า 2θ ตั้งแต่ 5 ถึง 80 องศา ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 ˚C โดยบดส่วนผสมให้เป็นผงละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช

2.5.2 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การหดตัว การดูดซึมน้ำ และค่าความหนาแน่น โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 373-88 (Reapproved 2006) ใช้ชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิ 1300 ˚C

2.5.3 ทดสอบสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนโดยใช้เครื่องไดลาโตมิเตอร์ (Dilatometer) ยี่ห้อ Netzsch รุ่น DIL 402 ใช้ชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิ1300 ˚C นำมาตัดให้มีขนาด 0.5 มม.×40 มม.× 0.5 มม. (กว้าง × ยาว × หนา)

2.5.4 ทดสอบค่าความแข็งแรง โดยใช้เครื่อง universal testing ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น Autograph AG-X plus ใช้ชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผาผนึกที่อุณหภูมิ1300 ˚C

2.6 การทดลองทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

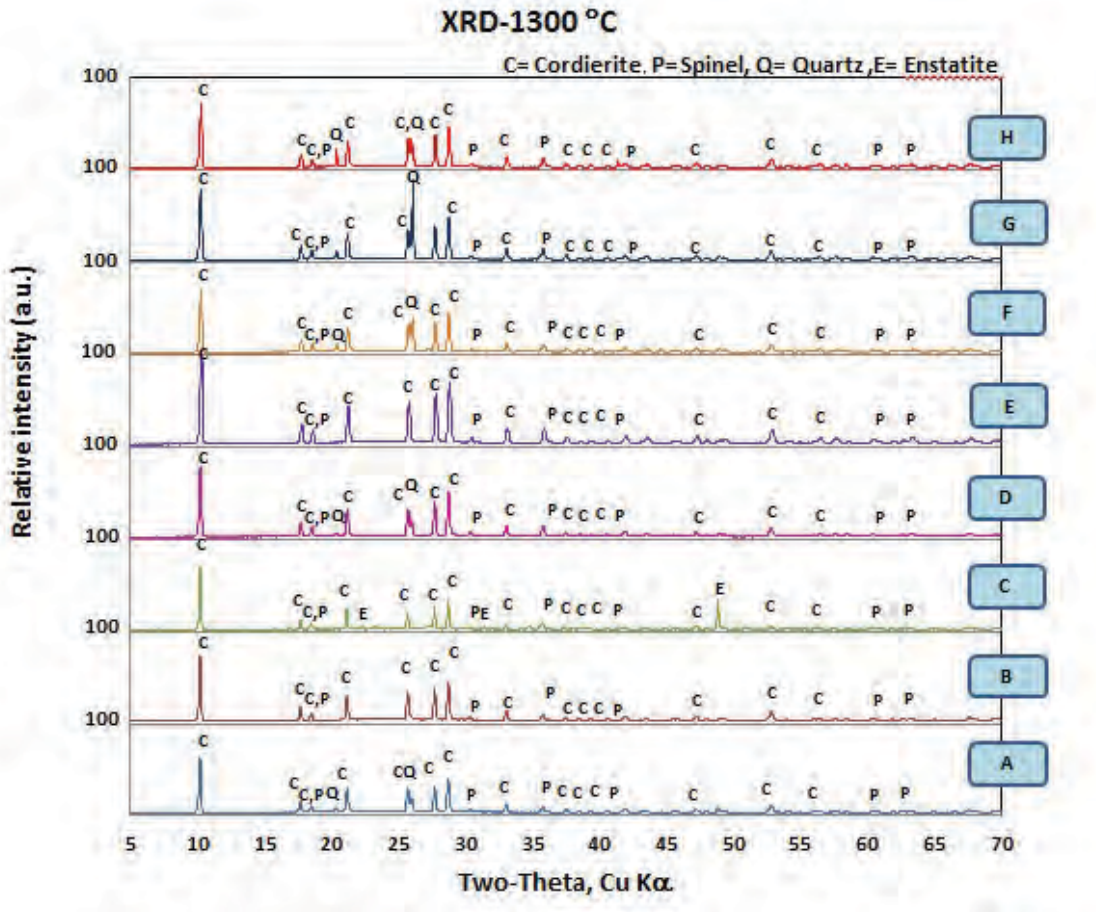
คัดเลือกสูตรเนื้อคอร์เดียไรต์ที่มีคอร์เดียไรต์เกิดมากที่สุดโดยดูจากผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่วิทยา และมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่ำไปทดลองทำผลิตภัณฑ์แผ่นรองเผาขนาด 100มม.×100มม.×10 มม. (กว้าง×ยาว×หนา) โดยเครื่องอัด Friction press เผาที่อุณหภูมิ 1300 ˚C อัตราเร่งไฟ 2.5 ˚C ต่อนาที ยืนไฟ 60 นาที

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล (Results and Discussion)

3.1 ผลการทดลองสังเคราะห์คอร์เดียไรต์จากส่วนผสมของเถ้าชานอ้อย แมกนีไซต์ ดินขาว และอะลูมินา เผาที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 ˚C เมื่อนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์เฟสโดย XRD พบว่า ที่อุณหภูมิ 1250 ˚C ทุกสูตรสามารถเกิดคอร์เดียไรต์โดยมีสปิเนล และควอตซ์เกิดขึ้นปนมาทุกสูตร ยกเว้นสูตร E และเมื่อเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 1300 ˚C มีเพียงสูตร B และ E เท่านั้นที่ไม่มีควอตซ์ เกิดขึ้น นอกจากนั้นสูตร C ยังมีเฟสของ Enstatite ($MgO.SiO_2$) เกิดขึ้น ทั้งที่อุณหภูมิ 1250 และ 1300 ˚C เนื่องจากสูตร C มีปริมาณ MgO สูงถึงร้อยละ 17 ซึ่ง MgO ที่มาจากแมกนีไซต์ และเถ้าชานอ้อย สามารถทำปฏิกิริยากับ SiO_2 กลายเป็น $MgO.SiO_2$ ได้ (5)

คัดเลือกสูตร B และ E ขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ เพื่อศึกษาสมบัติหลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 ˚C เนื่องจากทั้งสองสูตรไม่มีควอตซ์ปนมาหลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 ˚C เพราะการมีควอตซ์ในส่วนผสมจะทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกร้าวเสียหายเมื่อนำไปใช้งานในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน เนื่องจากควอตซ์จะเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างไปมาระหว่าง Low Quartz และ High Quartz ที่อุณหภูมิ 573 ˚C ทำให้มีการขยายปริมาตรเพิ่มขึ้น (6)

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ค่าความแข็งแรง และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของชิ้นทดสอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 ˚C แสดงใน ตารางที่ 4 พบว่า สูตร B มีการหดตัว และความหนาแน่น มากกว่าสูตร E และการดูดซึมน้ำต่ำกว่า อาจเป็นเพราะ สูตร B มีการสุกตัวมากกว่า เนื่องจากส่วนผสมมีปริมาณเถ้าชานอ้อยมากกว่า ซึ่งในเถ้าชานอ้อยมีปริมาณด่างที่เป็นมลทินปนมาในปริมาณสูงทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ และสูตร E มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน ต่ำกว่าสูตร B อาจเนื่อง



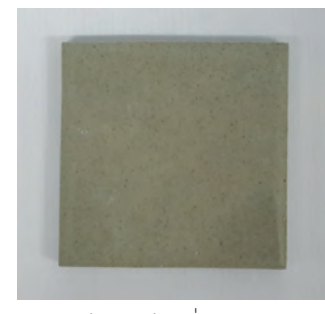
รูปที่ 2 XRD patterns ของสูตร A - H เผาที่อุณหภูมิ 1300 ˚C

มาจากสูตร E มีคอร์เดียไรต์เกิดขึ้นมากกว่า และมีความพรุนตัวมากกว่า วัสดุที่มีความพรุนตัวมากกว่าจะมีค่าสัมประสิทธิการขยายตัวเมื่อร้อนต่ำกว่า (7)

ตารางที่ 4 สมบัติของสูตร B และสูตร E เผาที่อุณหภูมิ 1300 ˚C

Properties	Formula B	Formula E
Shrinkage,%	10.2	8.6
Water absorption,%	6.1	8.4
Bulk density,g/cm^3	2.12	2.09
Modulus of rupture, MPa	35	49
Coefficient of thermal expansion (25x900 ˚C), x10^{-6}/ ˚C	3.89	3.53

3.2 ผลการทดลองทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ โดยคัดเลือกสูตรที่เกิดคอร์เดียไรต์สูงสุด คือ สูตร E มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อยร้อยละ 38 แมกนีไซต์ร้อยละ 23 ดินขาวร้อยละ 24 และอะลูมินาร้อยละ 15 มาทดลองอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นรองเผา เผาที่อุณหภูมิ 1300 ˚C อัตราเร่งไฟ 2.5 ˚C ต่อนาที ยืนไฟ 60 นาที ผลิตภัณฑ์หลังเผาไม่เกิดการบิดเบี้ยว สามารถนำไปใช้เป็นแผ่นรองเผา แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผ่นรองเผาคอร์เดียไรต์เผาที่อุณหภูมิ 1300 ˚C

4. สรุป (Conclusion)

เถ้าชานอ้อยสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์คอร์เดียไรต์ได้ โดยนำมาผสมกับแมกนีไซต์ ดินขาว และอะลูมินา ส่วนผสมที่ทำให้เกิดคอร์เดียไรต์สูงสุด คือ เถ้าชานอ้อยร้อยละ 38 แมกนีไซต์ร้อยละ 23 ดินขาวร้อยละ 24 และอะลูมินาร้อยละ 15 เผาสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 1300 ˚C และชิ้นทดสอบมีการหดตัว (Shrinkage) ร้อยละ 8.6 การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ร้อยละ 8.4 ความหนาแน่น (Bulk density) 2.09 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความแข็งแรง 49 เมกะพาสคาล และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน $3.53x10^{-6}$ / ˚C สามารถนำไปทำอุปกรณ์ในเตาเผา เช่น แผ่นรองเผา เผาอุณหภูมิ 1300 ˚C ได้

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาและเจ้าหน้าที่ สำนักเทคโนโลยีชุมชนทุกท่านที่ช่วยสนับสนุน การทำกิจกรรมวิจัย ขอขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญด้านแก้ว โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์การทดสอบองค์ประกอบเคมีของวัตถุดิบ และการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน

6. เอกสารอ้างอิง (References)

(1) SINGER, F. and Sonia S. SINGER. Industrial Ceramics, London : Chapman and Hall, 1979, pp. 482-487

(2) EPPLER, Richard, A. and Douglas R. EPPLER, Glazes and Glass Coating, Westerville, USA : The American ceramic society, 1998, pp. 25-29

(3) Low thermal expansion modified cordierite, US. Patent 4,403,017, Sep 6, 1983.

(4) LEVIN, E.M, C.R. ROBBINS and H.F. MCMURDIE. Phase Diagrams for Ceramists, Ohio, USA : The American Ceramic Society, 1964, p. 246

(5) NORTON, F. Fine Ceramics: Technology and Applications, New York : Mcgraw-Hill, 1970, p. 273

(6) KINGERY, W.D. et.al. Introduction to Ceramics, 2nd edition, Singapore : John Wiley & Son, 1991, p.87

(7) SHUI, Z.H. et.al. Effect of porosity on the thermal expansion coefficient, Constr. Build. Mater. 24(9), 2010, pp. 1761-1767.