เครื่องเตาเผาคอร์เดียไรต์-มัลไลต์

สุจินตา ไชติพานิช
ลดา พันธ์สุขุมธนา
สุมาลี ศิริตวนิชกุล

บทคัดย่อ

การทดลองนี้ เป็นการพัฒนาเครื่องเตาคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ซึ่งทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันได้ดี จาก ดินในประเทศ ทัลก์ อะลูมินา และกรือกมัลไลต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทดลองทำขึ้นซึ่งเผาที่อุณภูมิ 1300° ซ. มีความพรุนปรากฏ 28 ถึง 34% ความหนาแน่นรวม 1.87ถึง1.97 กรัม/ซม.^{3} มอดุลัสแตกร้าว 12ถึง 26 เมกะพาสคัล สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน 3.4×10^{-6} ถึง 3.6×10^{-6} ซม./ซม./ °ซ. และความทนไฟ 1517° ถึง 1567° ซ.

บทนำ

เครื่องเตาเผา (kiln furnitures) เป็นวัสดุทนไฟชนิดพิเศษ จำเป็นสำหรับการผลิตเซรามิก เพราะต้องใช้รองผลิตภัณฑ์ขณะเผาในเตา ดังแสดงในภาพที่ 1 การเผาแต่ละครั้งจะใช้เครื่องเตาเผามากน้อยไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับประเภทและรูปแบบของผลิตภัณฑ์ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทเคลือบผิว เช่น ถ้วยชาม กระเบื้อง โมเสก เครื่องสุขภัณฑ์รวมทั้งเครื่องประดับต่าง ๆ นั้น ต้องใช้เครื่องเตาเผาเป็นจำนวนมาก เพื่อแยกผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้นให้อยู่ห่างกัน นอกจากนั้นยังช่วยป้องกันผลิตภัณฑ์จากสิ่งปนเปื้อนอันมาจากบรรยากาศการเผาได้อีกด้วย

เครื่องเตาเผามีหลายรูปแบบเช่น เป็น เสา แผ่นแบน ๆ จาน หรือ กล่อง เป็นต้น จะใช้รูปแบบใดขึ้นกับรูปแบบผลิตภัณฑ์ ต้องเลือกให้เหมาะสมจึงจะให้ประสิทธิภาพการผลิตสูง มีผู้ผลิตบางรายลงทุนออกแบบเครื่องเตาเผาขึ้นมาใหม่ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ของตนโดยเฉพาะ

เครื่องเตาเผาจำแนกตามเนื้อส่วนประกอบได้หลายชนิด ได้แก่ ชนิดมัลไลต์ (mullite) ซึ่งทำจากดินทนไฟ (fire clay) ชนิดมีส่วนผสมของคอร์เดียไรต์ (cordierite) ชนิดซิลิคอนคาร์ไบด์ เป็นต้น การผลิตเซรามิกในสมัยก่อนใช้เครื่องเตาเผาทำจากดินทนไฟเป็นส่วนใหญ่แต่หลังจากเทคโนโลยีการผลิตได้พัฒนาก้าวหน้าไปมากขึ้น ระบบการเผาเปลี่ยนจากการเผาช้ามาเป็นการเผาเร็ว (fast firing) ทำให้มีการพัฒนาเครื่องเตาเผาที่สามารถทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลัน (thermal shock) ขึ้นมาใช้ เนื่องประเภทดินทนไฟซึ่งไม่ทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันจึงเสื่อมความนิยมไป ผู้ผลิตหันมาใช้เนื้อที่มีคอร์เดียไรต์และเนื้อซิลิคอนคาร์ไบด์ซึ่งทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันได้ดีกว่าแทน เพราะสามารถใช้งานได้หลายครั้งโดยไม่แตก ทำให้ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและลดต้นทุนการผลิต การใช้เนื้อแบบดินทนไฟนอกจากจะไม่ทนแล้ว ยังทำให้ผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าไปเผามีตำหนิมากเพราะเนื้อดินทนไฟซึ่งมีความพรุนสูงและแตกร้าวง่ายนั้น มักหลุดร่วงไปติดผิวเคลือบทำให้เกิดตำหนิ

ภาพที่ 1 เครื่องเตาเผากับการเผาผลิตภัณฑ์ เซรามิค

การผลิตเครื่องเคลือบดินเผาในปัจจุบันนี้โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตเพื่อส่งออกมีการแข่งขันสูง และเน้นเรื่องคุณภาพ อีกทั้งต้องพยายามลดต้นทุนการผลิต เครื่องเคาเผาเนื้อคอร์เดียไรต์ และซิลิคอนคาร์ไบด์ จึงเข้ามามีบทบาทในการผลิตมากขึ้น

คอร์เดียไรต์เป็นสารประกอบซิลิเกต มีสูตรทางเคมีคือ $2MgO.2Al_2O_3.5SiO_2$ เป็นสารชนิดหนึ่งในจำนวนไม่กี่ชนิดที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน (thermal expansion coefficient) ต่ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคอร์เดียไรต์เป็นส่วนผสมทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันได้ดี นำไปใช้งานที่มีการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิอย่างรวดเร็วอยู่เสมอโดยไม่แตกร้าว ผลิตภัณฑ์เนื้อคอร์เดียไรต์จึงมีประโยชน์นำไปใช้งานต่าง ๆ ได้มากมาย รวมทั้งเครื่องเคาเผาด้วย

คอร์เดียไรต์เป็นแร่ที่เกิดยากในธรรมชาติ ไม่มีแหล่งที่เกิดมากพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรมได้ ต้องเตรียมหรือสังเคราะห์ขึ้นมาใช้จากแร่หรือวัตถุดิบที่มีแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) อะลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ แมกนีไซด์ (MgO_3) ทัลก์ ($3MgO.4SiO_2.H_2O$) ดิน ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) และอะลูมินา (Al_2O_3) เป็นต้น นำวัตถุดิบดังกล่าวมาผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสมแล้วเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1300° - 1400° ซ. ก็จะเกิดปฏิกิริยาเป็นคอร์เดียไรต์ขึ้น กลุ่มแร่และวัตถุดิบที่นิยมใช้มาก คือ ดิน ทัลก์ และอะลูมินา ปฏิกิริยาการเกิดคอร์เดียไรต์จากดิน-ทัลก์-อะลูมินามีดังนี้

$$\underset{\text{ดิน}}{7(Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O)} + \underset{\text{ทัลก์}}{4(3MgO.4SiO_2.H_2O)} + \underset{\text{อะลูมินา}}{5Al_2O_3} \longrightarrow \underset{\text{คอร์เดียไรต์}}{6\,(2MgO.2Al_2O_3.5SiO_2)} + 18H_2O$$

เนื้อคอร์เดียไรต์ที่ทำจากวัตถุดิบธรรมชาติ มีการขยายตัวช่วงอุณหภูมิห้องถึง 1000° ซ. อยู่ระหว่าง 2.0×10^{-6} - 4.0×10^{-6} ซม./ซม./° ซ. การขยายตัวดังกล่าวยังไม่ต่ำพอที่จะทำให้วัสดุทนไฟทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันได้ดี จำเป็นต้องเติมกรือกเพื่อให้เกิดช่องเล็ก ๆ ในเนื้อ ช่องเล็กๆนี้จะลดมอดุลัสยืดหยุ่น ทำให้วัสดุทนไฟซึ่งตกอยู่ภายใต้ความเค้นอันเนื่องจากความร้อน ผิดรูปไปจากเดิมได้โดยไม่แตกร้าว เป็นการเพิ่มความทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันให้กับผลิตภัณฑ์ แม้การเติมกรือกจะทำให้มอดุลัสแตกร้าว (modulus of rupture) ต่ำลงบ้าง แต่ก็ช่วยทำให้ความต้านทานการทรุด (sag resistance) ดีขึ้นมาก ทำให้สามารถรับน้ำหนักที่อุณหภูมิสูงได้ดียิ่งขึ้น

วิธีทำให้เกิดช่องเล็กๆ ในเนื้อวิธีหนึ่งที่นิยม คือ การเติมกรือกที่มีการขยายตัวสูงกว่าคอร์เดียไรต์เข้าไป กรือกที่นิยมคือกรือกมัลไลต์ และเรียกเนื้อที่ได้นี้ว่าคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ มัลไลต์คือสารประกอบซิลิเกต มีสูตรเคมีคือ $3Al_2O_3.2SiO_2$ แม้มัลไลต์เป็นแร่ที่เกิดยากในธรรมชาติ แต่การนำมาใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรมไม่มีปัญหา เพราะผลิตขึ้นมาใช้เองได้ โดยการนำดินมาเผาที่อุณหภูมิสูงก็จะได้มัลไลต์เกิดขึ้น ปฏิกิริยาการเกิดมัลไลต์จากดินมีดังนี้

$$\underset{\text{ดิน}}{3(Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O)} \longrightarrow \underset{\text{มัลไลต์}}{3Al_2O_3.2SiO_2} + 4SiO_2 + 6H_2O$$

หรือถ้าต้องการมัลไลต์คุณภาพดีไม่มีซิลิกาเหลืออยู่ ก็อาจเติมอะลูมินาเข้าไป อะลูมินาจะทำปฏิกิริยากับดินเกิดเป็นมัลไลต์อย่างสมบูรณ์ ดังสมการ

$$\underset{\text{ดิน}}{Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O} + \underset{\text{อะลูมินา}}{2Al_2O_3} \rightarrow \underset{\text{มัลไลต์}}{3Al_2O_3.2SiO_2} + 2H_2O$$

เนื่องจากเครื่องเคาเผาเนื้อคอร์เดียไรต์ - มัลไลต์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นสำหรับการผลิตเซรามิก อันเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญเชิงเศรษฐกิจของประเทศ มีการประกอบการอยู่ทั่วทุกภาค ทั้งอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ อีกทั้งประเทศไทยเรามีวัตถุดิบโดย

เฉพาะแร่ดินที่สามารถนำมาทำเครื่องเคาเผาคุณภาพดีนี้ได้ ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กองการวิจัย จึงได้ศึกษาวิจัยและพัฒนาเครื่องเคาเผาเนื้อคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ เพื่อให้มีข้อมูล ข้อสนเทศ และเทคโนโลยีการทำ สำหรับเผยแพร่สู่ผู้ประกอบการและเพื่อนำแร่ทรัพยากรในประเทศ มาใช้ให้เกิดประโยชน์

วิธีการทดลอง

1. วัตถุดิบ

คอร์เดียไรต์ ใช้ดินขาว จ. ปราจีนบุรี ดินดำลานสกา จ.นครศรีธรรมราช ทัลก์จีน อะลูมินาคัลไซน์ชนิด A12 ของประเทศญี่ปุ่น องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบแสดงในตาราง ที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	L.O.I.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2
ดินขาวปราจีนบุรี*	10.2	55.9	31.8	1.3	0.1	0.1	0.33	0.19	-
ดินดำลานสกา	12.85	54.95	25.61	1.73	0.63	0.28	0.20	2.76	0.2
ทัลก์จีน	5.3	59.6	2.0	0.4	0.1	31.3	0.7	0.1	-
อะลูมินาคัลไซน์	-	0.04	99.4	trace	0.1	0.05	0.02	0.01	trace

*ไม่ได้ล้าง

ส่วนผสมคอร์เดียไรต์ที่ทดลองคือสูตร T3CB ประกอบด้วย

ดินขาวปราจีนบุรี	24.90 %
ดินดำลานสกา	16.54 %
ทัลก์จีน	39.78 %
อะลูมินาคัลไซน์	18.78 %

กร๊อก ใช้กร๊อกมัลไลต์ของโรงงานอิฐทนไฟ ได้ตรวจสอบองค์ประกอบเชิงแร่ของกร๊อกด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ พบว่ามีองค์ประกอบเชิงแร่ประกอบด้วยมัลไลต์เป็นหลัก มีอะลูมินาอยู่เล็กน้อย ส่วนควอรตซ์มีอยู่น้อยมาก

ในการทดลองนี้ทดลองทำส่วนผสมชนิดเนื้อหยาบและเนื้อละเอียดจึงนำกร๊อกมาร่อนเพื่อแบ่งออกเป็น 2 ขนาดคือ ขนาดหยาบ -18x35 เมช และขนาดละเอียด -25 เมช

2. ส่วนผสม ทดลองทำส่วนผสมคอร์เดียไรต์กับกร๊อกมัลไลต์หยาบและละเอียดโดยผสมกร๊อก 20-40 % รายละเอียดส่วนผสมแสดงในตารางที่ 2 รวมทดลองทั้งหมด 6 ตัวอย่าง

ตารางที่ 2 ส่วนผสมคอร์เดียไรต์-มัลไลต์

	คอร์เดียไรต์	กร๊อกหยาบ	กร๊อกละเอียด
B-MC25	75	25	-
B-MC35	65	35	-
B-MC45	55	45	-
B-MF20	80	-	20
B-MF25	75	-	25
B-MF35	65	-	35

3. การเตรียมตัวอย่าง เตรียมโดยการผสม ดิน ทัลก์ อะลูมินา ซึ่งเป็นส่วนประกอบของคอร์เดียไรต์ให้เข้ากันอย่างดีก่อน แล้วจึงผสมกร๊อกอัดขึ้นรูปให้เป็นชิ้นทดสอบด้วยความดัน 200 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1300° ซ.ยึนไฟ 2 ชั่วโมง เพื่อให้ดิน ทัลก์ อะลูมินา ทำปฏิกิริยาเกิดเป็นคอร์เดียไรต์ยึดกร๊อกให้ติดกัน

4. การวิเคราะห์ทดสอบ นำชิ้นตัวอย่างซึ่งเผา 1300° ซ. มาตรวจองค์ประกอบเชิงแร่ ทดสอบการหดตัว ความพรุนปรากฏ ความหนาแน่นรวม มอดุรัสแตกร้าว สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน (α) และหาค่าความทนไฟโดยการวัดสมมูลไพโรเมตริกโคน (pyrometric cone equivalent ,PCE)

5. การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ นอกจากการอัดเป็นชิ้นทดสอบแล้ว ยังได้ทดลองขึ้นรูปด้วย สำหรับการทดลองนี้ได้นำส่วนผสมมาอัดเป็นผลิตภัณฑ์ ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ความดัน 200 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ในขั้นต้นนี้ทำเป็นแผ่นและเสา

เผาผลิตภัณฑ์ที่อัดได้ในเตาไฟฟ้า อุณหภูมิ 1300° ซ. ยืนไฟ 2 ชั่วโมง

ผลการทดลอง

จากการทดลองทำเนื้อคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ โดยวิธีนำ ดิน ทัลก์ อะลูมินา ตามสัดส่วนคอร์เดียไรต์มาบดและผสมให้เข้ากันก่อน แล้วจึงนำมาผสมกับกรือกหยาบ (B-MC25 B-MC35 B-MC45) และกรือกละเอียด (B-MF20 B-MF25 B-MF35) และเผาที่อุณหภูมิ 1300° ซ. เพื่อให้ ดิน ทัลก์ อะลูมินา ทำปฏิกิริยาเกิดเป็นคอร์เดียไรต์ ยึดเม็ดกรือกติดกัน เกิดโครงสร้างแบบเม็ดกรือกกระจายอยู่ในเมทริกซ์คอร์เดียไรต์ อันทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันนั้น ปรากฏว่าได้เนื้อที่มีลักษณะทั่วไปดี ไม่มีรอยร้าวหรือการแตกหัก องค์ประกอบเชิงแร่ของส่วนผสมทั้ง 6 ตัวอย่าง ประกอบด้วยคอร์เดียไรต์และมัลไลต์เป็นหลัก ดังผลวิเคราะห์ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของคอร์เดียไรต์-มัลไลต์

	คอร์เดียไรต์	มัลไลต์	อะลูมินา	ควอรตซ์	คริสโตบาไลต์
B-MC25	xxxx	xxx	x	-	x
B-MC35	xxxx	xxx	x	-	อาจไม่มี
B-MC45	xxxx	xxx	x	x	อาจไม่มี
B-MF20	xxxx	xxx	x	-	xx
B-MF25	xxxx	xxx	x	x	x
B-MF35	xxxx	xxx	x	x	x

xxxx มาก xxx ปานกลาง xx น้อย x น้อยมาก -ไม่มี

เนื้อดังกล่าวมีสมบัติทางกายภาพและเชิงกล(ตารางที่ 4) ได้แก่ การหดตัว ความพรุนปรากฏ ความหนาแน่นรวม มอดุลัสแตกร้าว สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนและความทนไฟอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ทำเครื่องเคาเผาได้ส่วนผสมกรือกหยาบมีความแข็งแรงน้อยกว่าส่วนผสมกรือกละเอียด การเพิ่มปริมาณกรือกทำให้ความแข็งแรงต่ำลง ขณะที่ความพรุน ความทนไฟสูงขึ้น สัมประสิทธิ์การขยายตัว (20-1000° ซ.) ของเนื้อมีค่าค่อนข้างจะสูง

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล

	การหดตัว, %	ความพรุนปรากฏ,%	ความหนาแน่นรวม, กรัม/ลบ.ซม.	มอดุลัสแตกร้าว, เมกะพาสคัล ซม./ซม./° ซ.	α 20° ซ. -1000° ซ.,x10-6	ความทนไฟ ซ.
B-MC25	0.86	31.25	1.91	15.27	3.521	1522°
B-MC35	0.86	33.37	1.87	12.29	3.597	1567°
B-MC45	0.86	35.52	1.84	8.37	4.054	1584°
B-MF20	2.05	27.06	1.99	26.88	3.428	1517°
B-MF25	1.72	28.54	1.97	25.28	3.409	1517°
B-MF35	1.19	29.56	1.97	19.69	3.663	1525°

ไปเล็กน้อย คืออยู่ระหว่าง 3.41×10^{-6} ถึง 4.05×10^{-6} ถ้าปรับให้ต่ำลงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันดียิ่งขึ้น จากการศึกษาดูองค์ประกอบเชิงแร่ประกอบกับการพิจารณาเส้นกราฟแสดงการขยายตัวกับระดับอุณหภูมิ พบว่า ตัวอย่างที่มีคอร์เดียไรต์มาก คือ B-MC25 B-MF20 มีคริสโตบาไลต์ ซึ่งน่าจะมาจากทรายที่ปนอยู่ในดินที่ใช้ทำคอร์เดียไรต์อยู่ค่อนข้างมาก เส้นกราฟมีการขยายตัวไม่สม่ำเสมอช่วง 200 -270° ซ.

อันเนื่องมาจากการแปลงเฟสของคริสโตบาไลต์ จาก α——>β การขยายตัวไม่สม่ำเสมอก่อให้เกิดความเค้นสะสมในเนื้อและอาจทำให้ผลิตภัณฑ์แตกได้ เนื่องจากคริสโตบาไลต์น่าจะมาจากทรายในดิน การเลือกดินสำหรับทำคอร์เดียไรต์ จึงมีความสำคัญ ควรเลือกดินที่มีทรายปนอยู่น้อยหรือล้างทรายหยาบออกก่อน สำหรับตัวอย่างที่มีกร็อกมากขึ้นนั้น พบว่ามีทรายอยู่ในรูปของ α ควอรตซ์ อยู่เล็กน้อย

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำเนื้อคอร์เดียไรต์ - มัลไลต์ชนิดกร็อกหยาบ และชนิดกร็อกละเอียดสรุปส่วนผสมที่เหมาะจะทำเครื่องเตาเผาได้ดังนี้

ชนิดกร็อกหยาบ ส่วนผสม B-MC35 อันประกอบด้วยคอร์เดียไรต์ 65 ส่วน กร็อก 35 ส่วน เหมาะที่สุด ส่วนผสม B-MC25 และ B-MC45 ไม่ค่อยเหมาะสมเพราะ B-MC25 มีเส้นกราฟการขยายตัวเมื่อร้อนไม่เป็นเส้นตรง ส่วน B-MC45 มีความแข็งแรงค่อนข้างต่ำ อีกทั้งค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนค่อนข้างสูง

ชนิดกร็อกละเอียด ส่วนผสม B-MF25 B-MF35 อันประกอบด้วยคอร์เดียไรต์ 65-75 ส่วน และกร็อก 25-35 ส่วน เหมาะสมกว่าส่วนผสม B-MF20 เพราะเส้นกราฟการขยายตัวเมื่อร้อน เป็นเส้นตรงกว่า

ได้นำส่วนผสมที่ดีมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์โดยการอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกและเผา 1300° ซ. ยืนไฟ 2 ชั่งโมง ปรากฏว่าได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะทั่วไปดี ไม่มีรอยร้าวหรือการแตกหัก ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเหมาะสำหรับใช้ในเตาเผาเซรามิก อุณหภูมิประมาณ 1200° ซ.

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับเนื้อคอร์เดียไรต์ให้มีการขยายตัวเมื่อร้อนต่ำลง และเรียบเป็นเส้นตรง เพื่อจะได้ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยฉับพลันยิ่งขึ้น อาจโดยการเผาอุณหภูมิสูงขึ้น หรือโดยการใช้ดินที่มีคุณภาพดีขึ้น นอกจากนี้ ควรปรับเนื้อให้ทนไฟขึ้นเพื่อจะได้นำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า 1200° ซ. ได้ และควรทดลองเกี่ยวกับการขึ้นรูปโดยวิธีอื่นนอกไปจากการอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก เช่น โดยเครื่องรีด (extruder) เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

Basta,E.Z. and, M.K.A. A contribution to the synthesis of ceramic cordierite bodies. **Transaction of the British Ceramics Society**, February, 1973, vol. 72, no.2, p.69-75.

Diamond Refractories Limited. **British Ceramic Review**, Autumn, 1987, no.71,p.15.

Grosjean, P. Cordierite ceramics. **Interceram**, January, 1993, vol.42, no.1,p.11-15.

Lovatt, J.W. Refractories for fast firing kilns. **Ceramic Industries Journal**, June, 1984, vol.92, no.1045, p.21-22.

Mohr, William C. Development of properties in cordierite kiln furnitute. **American Ceramic Society Bulletin**, May, 1977,vol.56,no.4, p.428,430.

Mohr,William C. and Morris, Michael W. Plastic pressing of cordierite saggars. **Ceramic Engineering and Science Proceedings**, November- December, 1980, vol.1, nos.9-10, p.745-746.

Morhr, William C., et al. Cordierite slabs. **Ceramic Engineering and Science Proceedings**, November-December, 1980, vol.1, nos.9-10, p.826-828.

Schwandt, H. Kiln furniture for rapid firing processes.**Interceram**, January 1979, vol.28, no.1, p.59-60.

Somers, A.v., Berg, M. and shukle, A.A. Cordierite refractory compositions and and method of ofrming same. **Brit. Pat.** 1,481,500, 1975-10-15.

Underhill, D.E. and Marsham, D.J. Production and application of high quality kiln furniture. **Interceram**, January, 1980, vol.29,no.1,p.32-34.