

บทที่ 4

วิจารณ์และสรุป

ในการทดลองและผลการทดลองหาส่วนผสมคอร์เดียไรต์-มัลไลต์สำหรับใช้เป็นวัสดุทนทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขั้วปลั๊ก ได้มีการดำเนินงานตั้งต้นจากการนำวัสดุคอร์เดียไรต์-มัลไลต์มาทำการเตรียมโดยใช้มัลไลต์ทำการบดเพื่อลดขนาดและนำมาคัดขนาดโดยให้สารมีขนาดประมาณ 105 ไมครอน (หรือร่อนผ่านตะแกรง 150 เมช) คิดเป็นอัตราส่วนประมาณ 80% ส่วนคอร์เดียไรต์ก็เช่นเดียวกัน นำคอร์เดียไรต์ทำการบดเพื่อลดขนาด แล้วนำมาคัดขนาดเช่นเดียวกับของมัลไลต์ ที่เลือกร่อนผ่านตะแกรง 150 เมช โดยคิดเป็นอัตราส่วนประมาณ 80% นั้น เนื่องจากว่า ได้คำนึงถึงการจัดเรียงอนุภาค เมื่อนำสารทั้งสองชนิดมาผสมกันแล้วทำการขึ้นรูป เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพทำให้เกิดการแน่นตัว เมื่อทำการขึ้นรูปโดยการอัดได้ดียิ่งขึ้น และการที่ได้เลือกวัสดุคอร์เดียไรต์และมัลไลต์ทำการบดมาใช้ เพื่อต้องการควบคุมเรื่องของความคงที่ ของสมบัติเฉพาะตัวให้เหมือนกัน (หมายเหตุ : เนื่องจากมัลไลต์มีค่าความแข็งมาก จึงทำให้เกิดการปนเปื้อนของเหล็กในขั้นตอนการบด)

จากนั้น เมื่อนำมาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ ประกอบด้วย คอร์เดียไรต์ต่อมัลไลต์ 100:0 90:10 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 30:70 20:80 10:90 และ 0:100 ทั้งนี้ทุกส่วนผสมได้มีการเติม 0.6 wt% ของตัวทำให้เกิดความเหนียว Polyvinyl Alcohol (PVA) ผสมในหม้อบดความเร็วสูง (Speed Mill) เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ส่วนผสมทั้งสอง คือ วัสดุคอร์เดียไรต์และมัลไลต์ มีการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปขึ้นรูปทำชิ้นทดสอบเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.015 m. และรูปแท่งกว้าง 0.03 m × ยาว 0.15 m × หนา 0.03 m แล้วนำไปอัดขึ้นรูปในแบบพิมพ์โลหะ ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก แรงอัด 1,000 - 1,500 kg/cm² แล้วนำชิ้นทดสอบทั้งหมดตากแห้ง มีผลคือ ชิ้นทดสอบที่เป็นผลิตภัณฑ์ก่อนเผา (Green Products) สามารถทรงรูปได้อย่างดี อันเนื่องมาจากตัวที่ก่อให้เกิดความเหนียว 0.6 wt% ของ PVA

จากนั้นนำไปเผาที่เตาเผาไฟฟ้า โดยมีการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมตั้งแต่ 1250 - 1400°C ในบรรยากาศการเผาแบบออกซิเดชัน ชิ้นทดสอบต่างๆถูกนำมาคัดเลือกเพื่อทำการทดลองอัดด้วยแรง 1,500 kg/cm² และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1250 - 1400°C พบว่า ชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1400°C ในอัตราส่วนผสมคอร์เดียไรต์ต่อมัลไลต์ 100:0 90:10 และ 80:20 คือมีปริมาณคอร์เดียไรต์สูงกว่า 80% ในส่วนผสมจะเกิดการเสียรูปทรงหลอมเกาะติดพื้นแผ่นรอง จึงไม่สามารถนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ได้ การที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจาก เหล็ก (Fe₂O₃) ที่มีอยู่ในคอร์เดียไรต์ และมัลไลต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบด ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลอม (Fluxing) ทำให้คอร์เดียไรต์ในส่วนผสมดังกล่าว ไม่สามารถทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิ 1400°C ได้ นอกจากนี้ในอัตราส่วนดังกล่าว ยังแสดงผลให้ค่าการหดตัวที่สูง จึงไม่เหมาะสมในการนำมาทำเป็นวัสดุทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิฉับพลัน

ดังนั้น ชิ้นทดสอบที่มีรูปร่างทรงรูปอยู่ได้จึงถูกนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ เพื่อจะได้คัดเลือกชิ้นทดสอบที่ดีที่สุด ในการนำมาทำเป็นวัสดุทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิฉับพลันต่อไป

ผลการศึกษาค่าความหนาแน่น ค่าความพรุนตัว และค่าการซึมน้ำของชิ้นทดสอบหลังเผา พบว่า ค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1250°C จะให้ค่าความหนาแน่นต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 1300, 1350, 1400°C ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิ 1250°C ยังไม่ใช่อุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเผาฟนิก (Sintering) จึงทำให้ชิ้นงานที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมินี้ ยังไม่ก่อให้เกิดการแน่นตัว ส่งผลทำให้แสดงค่าความหนาแน่นต่ำ โดยพบว่าที่อัตราส่วนผสมที่มีปริมาณเปอร์เซ็นต์คอร์เดียไรต์มากขึ้นเท่าไร ค่าความหนาแน่นที่ได้ก็จะลดลง (แสดงผลดังรูป 3.2) ซึ่งการเผาที่อุณหภูมิ 1300°C ก็แสดงแนวโน้มเช่นเดียวกัน แต่ค่าความหนาแน่นจะให้ค่าที่มากกว่าเผาที่อุณหภูมิ 1250°C ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ที่อุณหภูมิ 1300°C คอร์เดียไรต์เริ่มหลอมไปปิดรูพรุนบางส่วนของผลึก ทำให้ชิ้นทดสอบมีเนื้อแน่นขึ้น แต่ก็ยังไม่ยึดถือว่าเป็นอุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเผาฟนิก (Sintering) ส่วนชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิ 1350°C และ 1400°C พบว่าแนวโน้มของค่าความหนาแน่นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ ลดลงจนถึงจุดหนึ่ง และเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณคอร์เดียไรต์มากกว่า 60% โดยค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง 2.08 - 2.60 g/cm³ ซึ่งค่าความหนาแน่นนี้จะมีความสัมพันธ์กับความพรุน และค่าการซึมน้ำ คือชิ้นทดสอบที่มีค่าความหนาแน่นสูง จะให้ค่าความพรุนตัวต่ำ เมื่อค่าความพรุนตัวต่ำ ก็จะส่งผลทำให้ค่าการซึมน้ำของชิ้นงานมีค่าต่ำไปด้วย (แสดงผลดังรูปที่ 3.3 และ 3.4)

โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่น คือ อุณหภูมิที่ก่อให้เกิดการเผาผนึก (Sintering) เนื่องจากที่อุณหภูมิ 1350-1400°C คอเรียไรต์จะเริ่มหลอมตัวกลายเป็นแก้วหลอม แล้วไหลเข้าไปเติมเต็มในช่องว่างของรูพรุนระหว่างมัลไลต์ ดังแสดงในรูปที่ 10-15 ทำการดู SEM จาก Polished Section และพบว่าที่อุณหภูมิ 1400°C อัตราส่วนผสมระหว่างคอเรียไรต์ต่อมัลไลต์ 70:30 จะให้ค่าความหนาแน่นสูงที่สุด คือ 2.58 g/cm³ มีค่าความพรุนตัวเท่ากับ 1.00% และค่าการซึมน้ำเท่ากับ 0.39% จึงแสดงให้เห็นว่าวัสดุที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิฉับพลันได้ดีควรมีค่าความพรุนตัวจำนวนหนึ่ง ด้วยปริมาณความพรุนตัวที่เหมาะสม เช่นนี้จะมีเหตุผลสนับสนุนให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนในสารผสมนั้นลดลง จึงคาดการณ์ได้ว่าเมื่อนำสารผสมที่มีสมบัติดังกล่าวมาผลิตเป็นวัสดุที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิฉับพลันจะสามารถใช้งานได้ดี คือ ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิฉับพลันได้ดี จากการพิจารณาค่าดังกล่าว ทำให้สามารถเลือกได้ว่า ที่อัตราส่วนผสมระหว่างคอเรียไรต์ต่อมัลไลต์ 70:30 และเผาที่อุณหภูมิ 1400°C เป็นอัตราส่วนผสมและสภาวะที่ดีที่สุดในการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนและค่าการทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิฉับพลันต่อไป

เมื่ออัตราส่วนผสมคอเรียไรต์ต่อมัลไลต์ 70:30 เผาที่อุณหภูมิ 1400°C เป็นอัตราส่วนผสมและสภาวะที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงนำตัวอย่างมาทดสอบค่าความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน โดยการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM, C1171-91 ซึ่งประเมินได้จากสายตา พบว่าอัตราส่วนดังกล่าวสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ร้อน- เย็น (1200°C- 25°C) ได้ถึง 8 รอบ แต่เมื่อถึงรอบที่ 9 พบว่า ชิ้นทดสอบเริ่มเกิดการแตกร้าวขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้ด้วยสายตา จากความเข้าใจในผลงานที่เกิดขึ้นมีความเห็นว่า ในอัตราส่วนผสมคอเรียไรต์ต่อมัลไลต์ 70:30 นั้น ปริมาณของมัลไลต์จะยังคงส่งเสริมในเรื่องของสมบัติความแข็งแรงเชิงกลได้เพียงพอเมื่ออยู่ร่วมกับคอเรียไรต์ 70% ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ให้ความเหมาะสมในด้านความแข็งแรงเชิงกลหรือเป็นส่วนผสมที่สามารถทนต่อแรงกระทำเนื่องด้วยความร้อนหรือที่เรียกว่า Thermal Stress ได้ดีกว่าส่วนผสมอื่น เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากพฤติกรรมทางความร้อน จะสังเกตได้ว่า ช่วงของการขึ้นและลงของอุณหภูมิแทบจะไม่เกิดช่องว่าง (Loop) เลยนั้น แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนผสมนี้สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิฉับพลันได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมอื่น นอกจากนี้ ปริมาณคอเรียไรต์ 70% ซึ่งเชื่อว่าเมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิ 1400°C จะอยู่ในสภาพเป็นแก้ว มีผลให้ช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนของสารผสมคอเรียไรต์-มัลไลต์ ในอัตราส่วนนี้ ซึ่งก็ตรงกับผลการทดลองที่ได้เปลี่ยนค่า α ของมัลไลต์ จาก $5.53 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ มาเป็น $2.98 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ในช่วงอุณหภูมิห้องถึง 1000°C ซึ่งถือว่าให้ค่าที่ต่ำมากและเป็นค่าที่น่าพอใจในการนำมาทำเป็น

วัสดุทนทานการเปลี่ยนแปลงความร้อนฉับพลัน ดังนั้น อัตราส่วนผสมคอร์เดียไรต์ต่อมัลไลต์ 70:30 เเผาที่อุณหภูมิ 1400 °C จึงให้ผลที่สอดคล้องกันทั้งค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อนและค่าการทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน

ส่วนผลการศึกษาปัจจัยอื่นๆ นอกเหนือจากตัวแปรที่เป็นสมบัติทางกายภาพดังกล่าวมาแล้ว ปัจจัยอื่นๆ ที่อาจเกี่ยวข้องของการศึกษาให้เกิดการเปรียบเทียบโดยเฉพาะอัตราส่วนผสมคอร์เดียไรต์ต่อมัลไลต์ 70:30 ยังสามารถให้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับอัตราส่วนผสมนี้ โดยสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปทำผลิตภัณฑ์เพื่อประยุกต์ใช้งานต่อไป แต่ในท้ายของการศึกษาสารผสมคอร์เดียไรต์-มัลไลต์เพื่อรวบรวมข้อมูลอีกครั้งหนึ่ง มาประกอบการอธิบายสารผสมคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ 70:30 ด้วยการวิเคราะห์ XRD และ SEM ทำให้ทราบว่าสารผสมคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ในอัตราส่วนผสมนี้ เมื่อขึ้นรูปด้วยแรงอัด 1,500 kg/cm² และเผาที่ 1400 °C จะปรากฏเฟสของมัลไลต์มากขึ้น และยังคงปรากฏเฟสของคอร์เดียไรต์อยู่ แต่พบว่า ความสูงพีคของการเกิดคอร์เดียไรต์ลดลง ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจาก คอร์เดียไรต์เกิดการหลอมแล้วอยู่ในสถานะของแก้ว จึงทำให้พีคที่ปรากฏมีความสูงลดลง เมื่อเทียบกับขณะที่ยังไม่ได้เผา ซึ่งจะเป็นผลดี ที่แก้วเหล่านั้นแทรกเข้าไปอยู่ในท่ามกลางของผลึกมัลไลต์ ก่อให้เกิดการเกาะยึดกับผลึกมัลไลต์ให้แข็งแรง ช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงเชิงกล และช่วยลดปริมาณรูพรุนให้เหมาะสมของสารผสมนี้ ครั้นเมื่อติดตามการดูโครงสร้างทางจุลภาคจาก SEM ที่ได้เห็นปริมาณการปกคลุมของเนื้อแก้วของคอร์เดียไรต์ที่เข้าไปเติมเต็มในรูพรุนของโครงสร้างมัลไลต์ ทำให้วัสดุผสมดูแล้วเกิดเนื้อแน่นขึ้น นอกจากนั้น ภายในรูพรุนก็ยังพบว่าเกิดโครงสร้างของมัลไลต์สานตัวเป็นร่างแห และมีแก้วเข้าเติมตามช่องว่าง ทำให้วัสดุมีความแข็งแรง ดังนั้นด้วยความเหมาะสมของปริมาณคอร์เดียไรต์และมัลไลต์ในส่วนผสมดังกล่าว ย่อมมีผลสร้างความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิฉับพลันที่ดี เมื่อส่วนผสมนั้นเป็น คอร์เดียไรต์ต่อมัลไลต์ 70:30 เเผาที่อุณหภูมิ 1400 °C

สรุป สารผสมคอร์เดียไรต์-มัลไลต์ ที่มีอัตราส่วนผสมที่ 70:30 ด้วยส่วนผสมนี้เมื่อถูกแรงอัดเป็นชั้นทดสอบ $1,500 \text{ kg/cm}^2$ เผาด้วยอุณหภูมิที่ 1400°C จะให้ค่าต่างๆ ของสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย ค่าความพรุนตัวปรากฏ 1% ค่าความหนาแน่น 2.58 g/cm^3 ค่าการซึมน้ำ 0.39% และค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน $2.98 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ที่ช่วงอุณหภูมิห้องถึง 1000°C มีความสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนฉับพลัน โดยการวัดจากจำนวนรอบตามวิธี ASTM ได้ 8 รอบ จากนั้นศึกษาโครงสร้างทางแร่ (XRD) และโครงสร้างทางจุลภาค (SEM) ซึ่งจากข้อมูลทั้งสองก็สามารถยืนยันได้ว่าที่อัตราส่วนผสมดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนฉับพลันได้ดี

ข้อเสนอแนะ : งานที่ควรทำต่อในอนาคต

1. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดคุณสมบัติการทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิฉับพลัน (Thermal Shock Resistance) เช่น โครงสร้างผลึก (Crystal Structure), ขนาดของเกรน (Grain Size), ขนาดอนุภาค (Particle Size) เป็นต้น
2. ศึกษาเพิ่มเติมโดยการนำสารตัวเติม ที่ช่วยลดค่าการขยายตัวเนื่องด้วยความร้อน เช่น สปอดูมิน (Spodumene) มาผสมในอัตราส่วนผสมดังกล่าว
3. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างทางจุลภาค (Microstructure) ในรูปแบบของ Polished Cross Section เพื่อดูรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของมัลไลต์กับคอร์เดียไรต์ในแต่ละส่วนผสมและที่อุณหภูมิการเผาต่างๆ
4. ควรมีการนำเอาส่วนผสมจากงานวิจัยนี้ ไปทำเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับทดลองใช้งานจริง
5. ควรมีการทดลองเผาที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 1400°C เพื่อสังเกตพฤติกรรมทางความร้อนที่มีผลต่อการทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิฉับพลัน