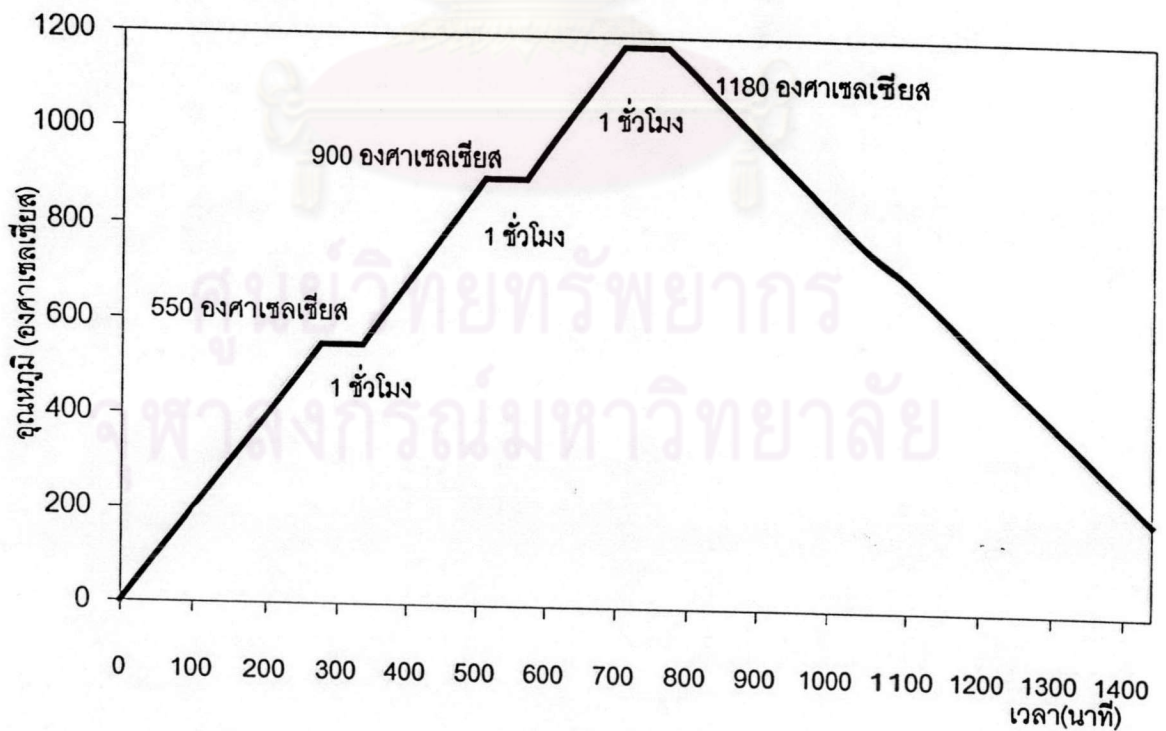


ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 7 การทดลอง โดยทำการเสนอผลการทดลองพร้อมทั้งวิจารณ์ผลการทดลองเป็นส่วนๆ ดังนี้

5.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

การทดลองนี้ได้นำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมาผลิตเซรามิกโดยใช้แทนที่อะลูมินาบริสุทธิ์และทำการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วกับส่วนผสมอื่น (ดินดำและเฟลด์สปาร์) โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมเป็น 30 35 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผาตั้งรูปที่ 5.1 แล้วพิจารณาค่าที่เหมาะสมจากค่ากำลังรับแรงดัดที่สูงที่สุดเป็นสิ่งสำคัญ และได้ทำการวัดค่าความเหนียว ค่าความหนาแน่น ค่าการหดตัวทั้งก่อนเผาและหลังเผา และค่าการดูดซึมน้ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติทั่วไปของเซรามิกเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาค่าที่เหมาะสมอีกด้วย



รูปที่ 5.1 แผนภูมิการเผาแห้งทดสอบที่อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส

5.1.1 สมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบ

-ขนาดของอนุภาค

ในการทดลองได้ทำการคัดขนาดของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้หลังจากผ่านการบดออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด 100 เมช (0.149มม.-0.105มม.) 150 เมช (0.105มม.-0.74มม.) และ 200 เมช (เล็กกว่า 0.74มม.) ซึ่งในการศึกษาผลของอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วนี้จะใช้ขนาด 150 เมช ในการทดลอง โดยมีขนาดของดินดำและเฟลด์สปาร์เล็กกว่า 0.44มม. (325เมช)

5.1.2 สมบัติทางเคมีของวัตถุดิบ

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วหลังจากผ่านการเผาและบด ดินดำ และ เฟลด์สปาร์ที่ใช้ในการทดลองโดยเครื่อง XRF ส่วนประกอบที่สำคัญของซิลิกา-อะลูมินา คือ Al_2O_3 ซึ่งมีค่าเป็น 67.27% และ SiO_2 ซึ่งมีค่าเป็น 16.12% ส่วนประกอบที่สำคัญของดินดำ คือ SiO_2 ซึ่งมีค่าเป็น 60.24% และ Al_2O_3 ซึ่งมีค่าเป็น 25.05% ส่วนประกอบที่สำคัญของเฟลด์สปาร์ คือ SiO_2 ซึ่งมีค่าเป็น 72.16% และ Al_2O_3 ซึ่งมีค่าเป็น 16.81% ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมีอะลูมินาเป็นส่วนประกอบที่มากที่สุดถึง 67% ซึ่งอาจจะนำมาใช้แทนอะลูมินาบริสุทธิ์ในการผลิตเซรามิกได้

ตารางที่ 5.1 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบ โดยใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์

| ตัวอย่าง | ปริมาณสารประกอบ (%โดยน้ำหนัก) | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------------------|-----------|---------|--------|-------|--------|---------|-----------|-------|-------|
| | Na_2O | Al_2O_3 | SiO_2 | SO_3 | CaO | K_2O | TiO_2 | Fe_2O_3 | MgO | Cl |
| ซิลิกา-อะลูมินา | 12.92 | 67.27 | 16.12 | 3.23 | 0.46 | trace | trace | - | - | trace |
| ดินดำ | 0.28 | 25.05 | 60.24 | trace | 0.24 | 2.06 | 0.57 | 1.55 | 0.63 | - |
| เฟลด์สปาร์ | 8.00 | 16.81 | 72.16 | - | 1.07 | 1.01 | 0.21 | 0.22 | 0.21 | - |

5.1.3 ศึกษาผลของอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อคุณสมบัติของเซรามิกที่ผลิตได้

5.1.3.1 ค่าความเหนียว

จากการทดสอบหาค่าความเหนียวของส่วนผสม พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมเป็น 30 35 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าความเหนียวของส่วนผสมทั้งหมดลดลงเท่ากับ 20 17 16 และ 13 ตามลำดับ เนื่องจากซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วไม่มีคุณสมบัติในการเพิ่มความเหนียว เมื่ออัตราส่วนในส่วนผสมมากขึ้น ทำให้อัตราส่วนของส่วนที่ให้ความเหนียวซึ่งก็คือดินดำมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.2

5.1.3.2 ค่าการหดตัวหลังอบแห้ง

จากการทดสอบหาค่าการหดตัวหลังอบแห้งของแท่งทดสอบ พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมเป็น 30 35 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าการหดตัวหลังอบแห้งมีค่าลดลงเล็กน้อยเท่ากับ 4.87 4.79 4.74 และ 4.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.3 เนื่องจากปริมาณดินดำในส่วนผสมมีค่าลดลง ซึ่งดินดำเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการหดตัวหลังอบแห้ง เนื่องจากดินดำมีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำ เมื่อนำไปอบแห้งน้ำเกิดการระเหยออกไป ส่วนผสมก็จะเกิดการหดตัวลง ถ้ามีปริมาณของดินดำมากก็จะมี การหดตัวของส่วนผสมหลังอบแห้งมากตามไปด้วย

5.1.3.3 ค่าความหนาแน่นหลังอบแห้ง

จากการทดสอบหาค่าความหนาแน่นหลังอบแห้งของแท่งทดสอบ พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมเป็น 30 35 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าความหนาแน่นหลังอบแห้งลดลงเท่ากับ 1.55 1.50 1.47 และ 1.41 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.4 ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากค่าการหดตัวที่มีค่าลดลงตามอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วที่เพิ่มขึ้น ทำให้แท่งทดสอบที่มีอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วสูงกว่ามีปริมาตรมากกว่าแท่งทดสอบที่มีอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่ำกว่าในขณะที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกัน และเนื่องมาจากการที่ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมีคุณสมบัติในการดูดความชื้น ทำให้ต้องใช้น้ำในการผสมมากขึ้นและหลังจากอบแห้ง น้ำระเหยออก ทำให้น้ำหนักของแท่งทดสอบลดลงตามไปด้วย

5.1.3.4 ค่าความแข็งแรงหลังอบแห้ง

จากการทดสอบหาค่าความแข็งแรงหลังอบแห้งของแท่งทดสอบโดยการวัดค่ากำลังรับแรงดัด พบว่า แท่งทดสอบที่มีอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสม 40 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่ากำลังรับแรงดัดหลังอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 106.91 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 5.5 แต่ไม่สามารถบอกถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมได้

5.1.3.2 ค่าการหดตัวหลังอบแห้ง

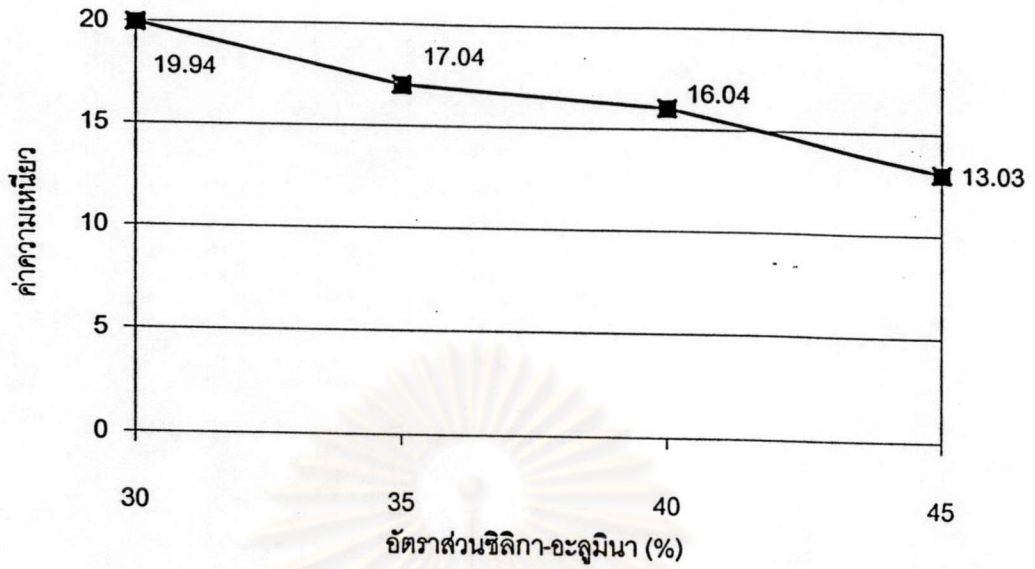
จากการทดสอบหาค่าการหดตัวหลังอบแห้งของแท่งทดสอบ พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมเป็น 30 35 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าการหดตัวหลังอบแห้งมีค่าลดลงเล็กน้อยเท่ากับ 4.87 4.79 4.74 และ 4.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.3 เนื่องจากปริมาณดินดำในส่วนผสมมีค่าลดลง ซึ่งดินดำเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการหดตัวหลังอบแห้ง เนื่องจากดินดำมีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำ เมื่อนำไปอบแห้งน้ำเกิดการระเหยออกไป ส่วนผสมก็จะเกิดการหดตัวลง ถ้ามีปริมาณของดินดำมากก็จะมี การหดตัวของส่วนผสมหลังอบแห้งมากตามไปด้วย

5.1.3.3 ค่าความหนาแน่นหลังอบแห้ง

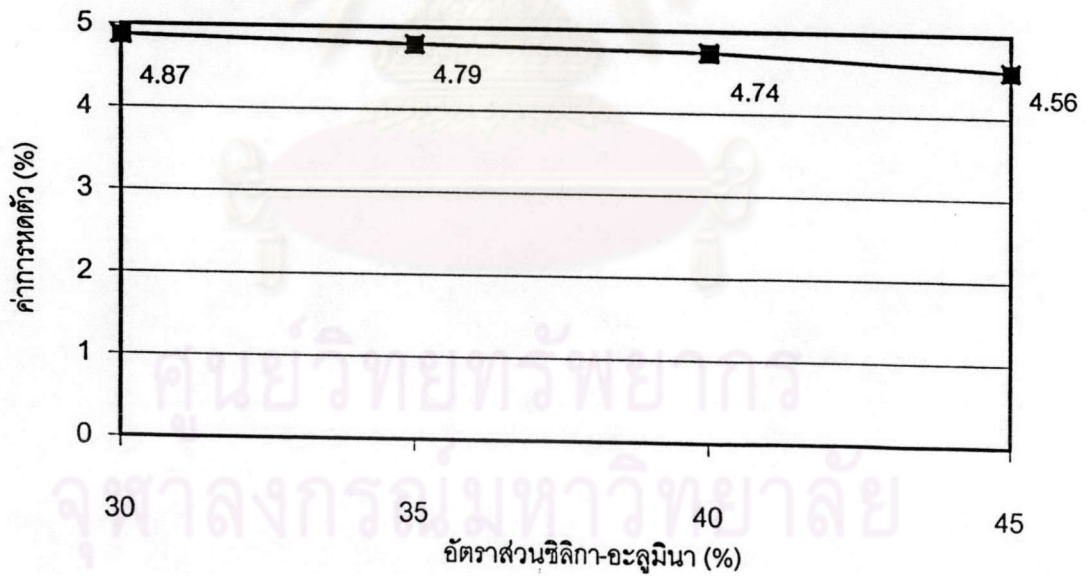
จากการทดสอบหาค่าความหนาแน่นหลังอบแห้งของแท่งทดสอบ พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมเป็น 30 35 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าความหนาแน่นหลังอบแห้งลดลงเท่ากับ 1.55 1.50 1.47 และ 1.41 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.4 ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากค่าการหดตัวที่มีค่าลดลงตามอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วที่เพิ่มขึ้น ทำให้แท่งทดสอบที่มีอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วสูงกว่ามีปริมาตรมากกว่าแท่งทดสอบที่มีอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่ำกว่าในขณะที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกัน และเนื่องมาจากการที่ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมีคุณสมบัติในการดูดความชื้น ทำให้ต้องใช้น้ำในการผสมมากขึ้นและหลังจากอบแห้งน้ำระเหยออก ทำให้น้ำหนักของแท่งทดสอบลดลงตามไปด้วย

5.1.3.4 ค่าความแข็งแรงหลังอบแห้ง

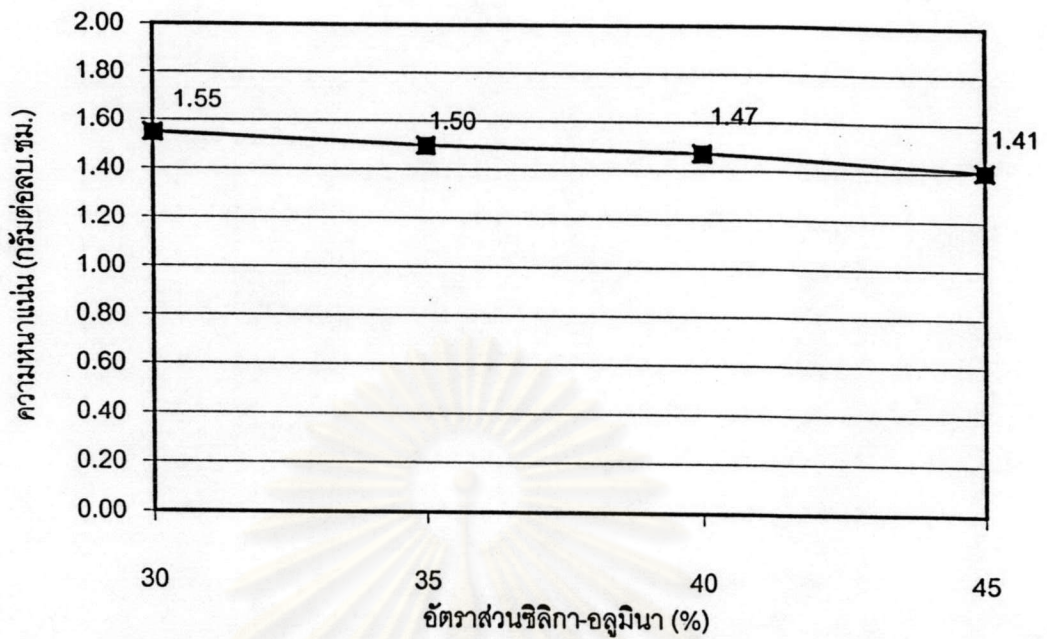
จากการทดสอบหาค่าความแข็งแรงหลังอบแห้งของแท่งทดสอบโดยการวัดค่ากำลังรับแรงดัด พบว่า แท่งทดสอบที่มีอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสม 40 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่ากำลังรับแรงดัดหลังอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 106.91 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (10.48 เมกกะปาสคาล) ดังรูปที่ 5.5 แต่ไม่สามารถบอกถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมได้



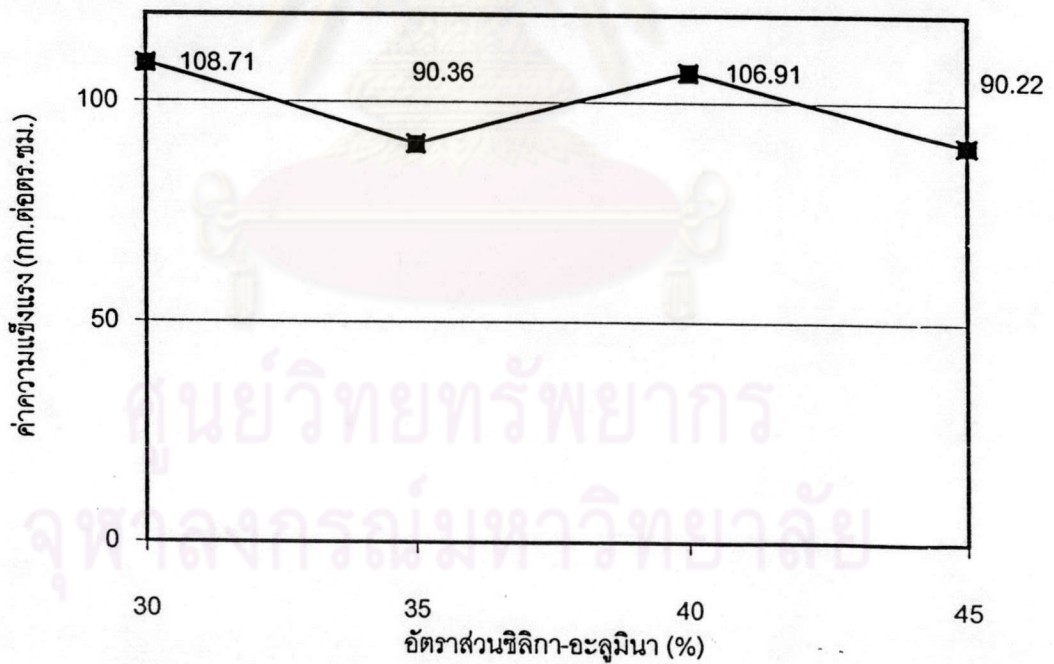
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียวกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวหลังอบแห้งกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นหลังอบแห้งกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงหลังอบแห้งกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

5.1.3.5 ค่าการหดตัวหลังเผา

จากการทดสอบหาค่าการหดตัวของแท่งทดสอบหลังเผา พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมเป็น 30 35 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ทำให้การหดตัวของแท่งทดสอบหลังเผามีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 12.11 14.00 15.86 และ 16.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.6 เนื่องจากหลังการเผาอนุภาคมีการหลอมตัวรวมกันเข้าแทนที่ช่องว่างภายในซึ่งจากการที่แท่งทดสอบที่มีอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมมากกว่ามีค่าความหนาแน่นหลังอบแห้งต่ำกว่าซึ่งแสดงถึงการที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคภายในสูงกว่าด้วย ทำให้การหดตัวหลังการเผาสูงตามไปด้วย

5.1.3.6 ค่าความหนาแน่นหลังเผา

จากการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของแท่งทดสอบหลังเผา พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมเป็น 30 35 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าความหนาแน่นหลังเผาสูงขึ้นเล็กน้อยเท่ากับ 2.17 2.24 2.30 และ 2.31 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.7 เนื่องจากผลของการหดตัวหลังเผาที่สูงขึ้น ทำให้ปริมาตรของแท่งทดสอบหลังเผาที่มีอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมมากกว่ามีค่าลดลง ในขณะที่น้ำหนักเท่ากัน ทำให้ค่าความหนาแน่นที่ได้สูงขึ้น

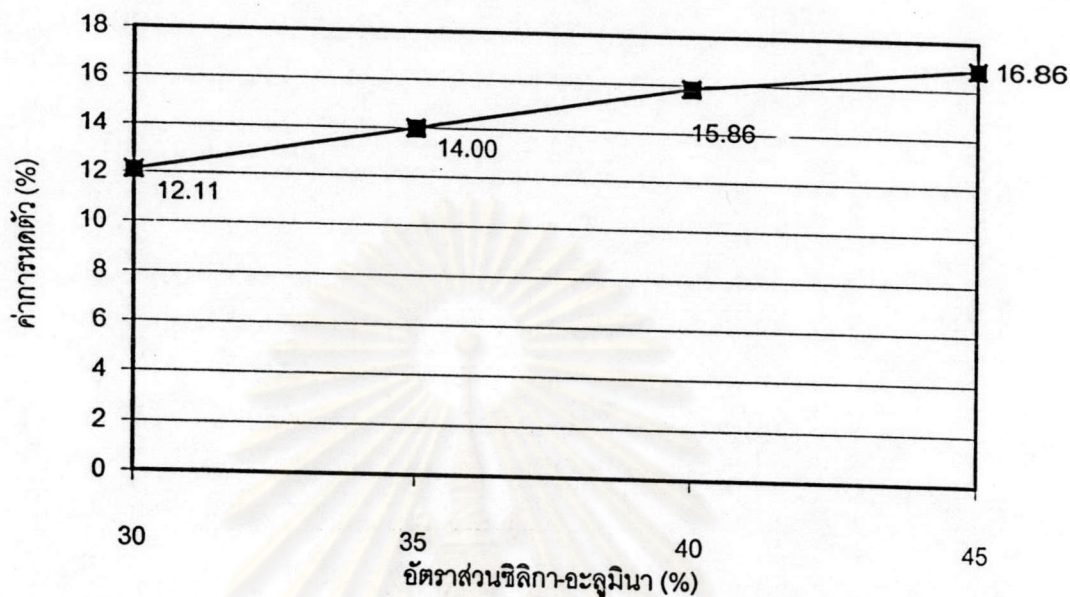
5.1.3.7 ค่าความแข็งแรงหลังเผา

จากการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของแท่งทดสอบหลังเผา โดยการวัดค่ากำลังรับแรงดัด พบว่า แท่งทดสอบที่มีอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสม 40 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่ากำลังรับแรงดัดหลังเผาสูงสุดเท่ากับ 199.34 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(19.55 เมกกะปาสคาล) ดังรูปที่ 5.8 ซึ่งไม่สามารถบอกถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมได้ แต่อาจสังเกตได้ว่า ค่าความแข็งแรงหลังเผามีส่วนที่สอดคล้องกับค่าความแข็งแรงหลังอบแห้ง คือ ถ้าค่าความแข็งแรงหลังอบแห้งสูงขึ้นก็อาจทำให้ค่าความแข็งแรงหลังเผาสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ไม่ได้เป็นสัดส่วนที่แน่นอน

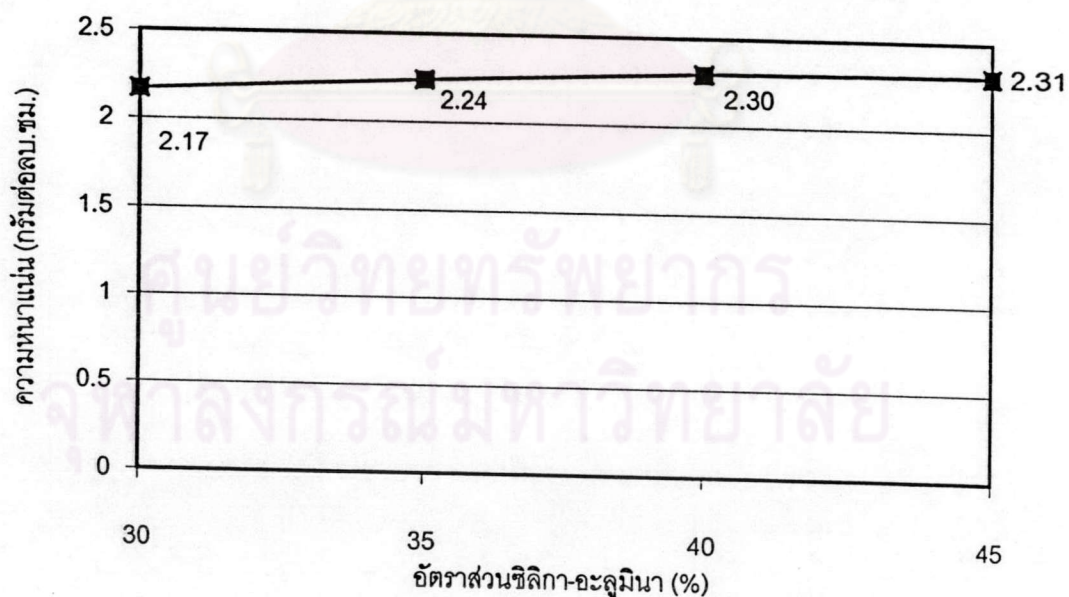
5.1.3.8 ค่าการดูดซึมน้ำ

จากการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของแท่งทดสอบหลังเผา พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมเป็น 30 35 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของแท่งทดสอบหลังเผาลดลงเท่ากับ 3.87 3.53 2.78 และ 2.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

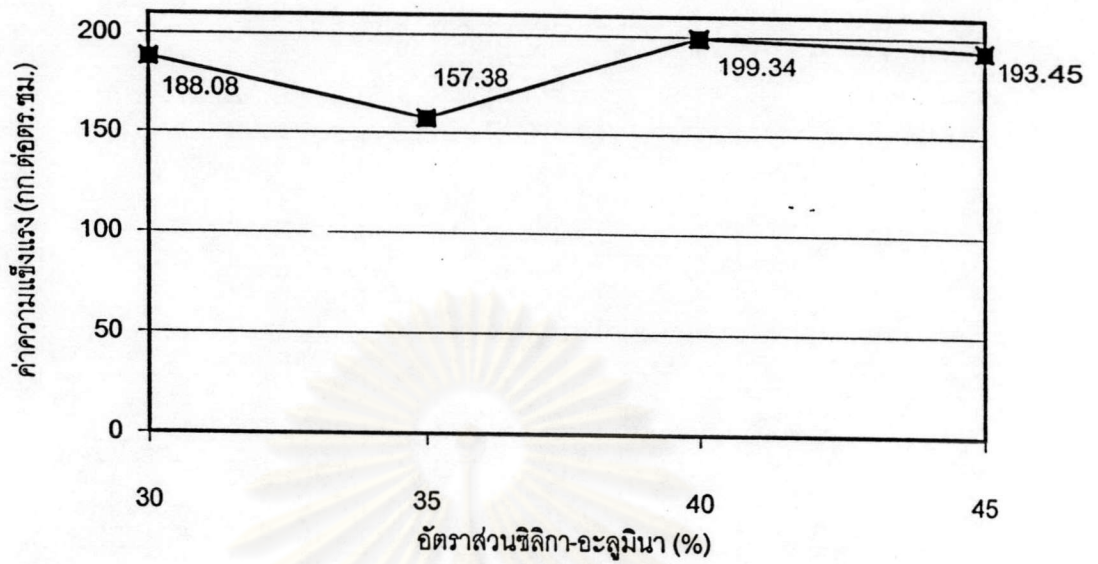
ดังรูปที่ 5.9 ซึ่งเป็นผลจากค่าความหนาแน่นหลังเผาที่เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสม ทำให้แท่งทดสอบมีรูพรุนลดลง จึงดูดซึมน้ำได้ลดลง



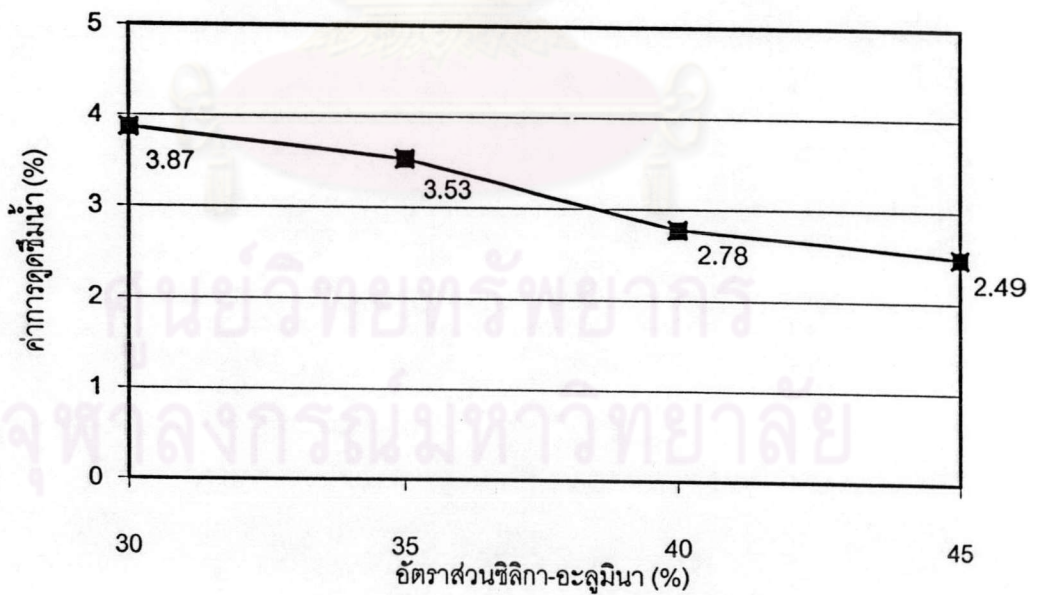
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดตัวหลังเผากับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นหลังเผากับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงหลังเผากับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

5.2 การศึกษาผลของขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษามลของขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสม โดยทำการแบ่งขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็น 3 ขนาดคือ 100 เมช (0.149 มม.-0.105 มม.) 150 เมช (0.105 มม.-0.74 มม.) และ 200 เมช (เล็กกว่า 0.74 มม.) โดยเลือกอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วที่เหมาะสม เป็น 40 เปอร์เซ็นต์ และใช้อุณหภูมิเช่นเดียวกับรูปที่ 5.1

5.2.1 ค่าความเหนียว

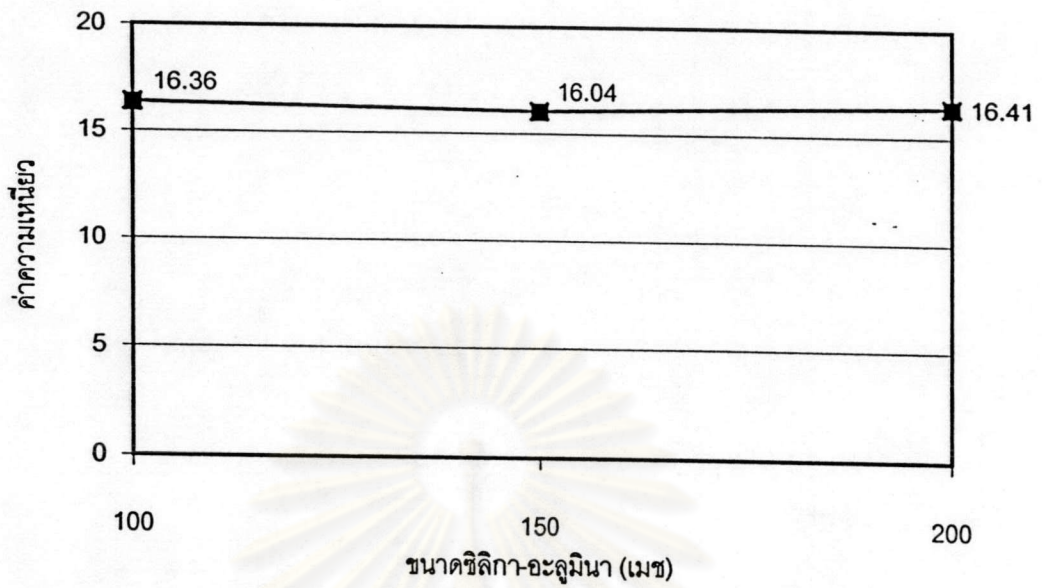
จากการทดสอบหาค่าความเหนียวของส่วนผสม พบว่า แม้จะทำการเปลี่ยนแปลงขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมเป็นขนาด 100 เมช 150 เมช และ 200 เมช แต่ก็ยังไม่ทำให้ค่าความเหนียวของส่วนผสมทั้งหมดเปลี่ยนแปลงจนเห็นผลได้ชัดเจน ดังรูปที่ 5.10 แต่ก็ยังมีผลในการผสม คือ เมื่อขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเล็กลง ทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ทำให้ดูดน้ำได้มากขึ้น มีผลทำให้ต้องใช้น้ำในการผสมเพิ่มขึ้น

5.2.2 ค่าการหดตัวหลังอบแห้ง

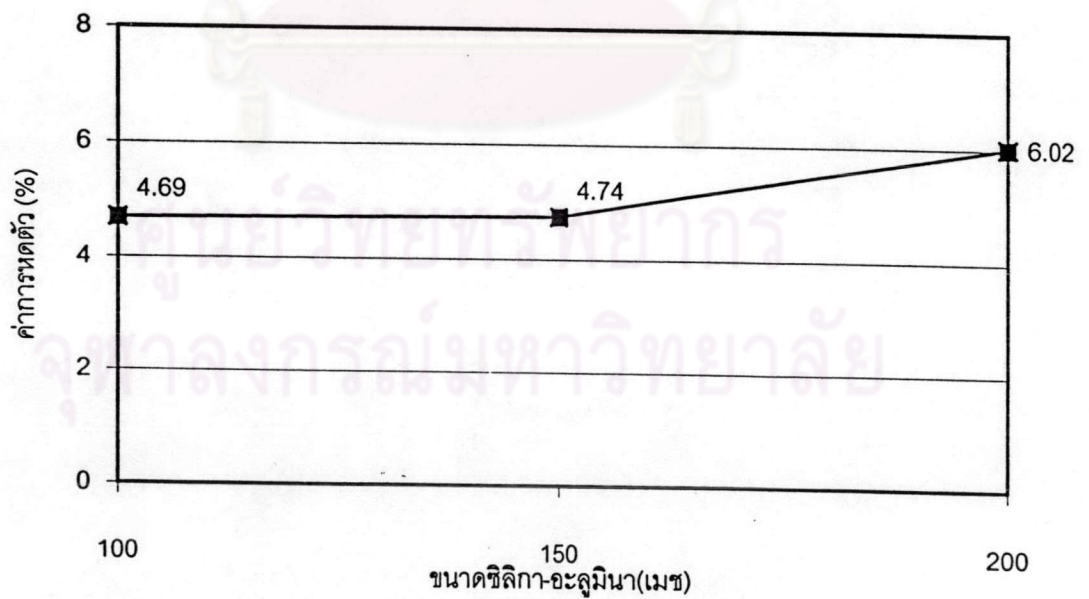
จากการทดสอบหาค่าการหดตัวหลังอบแห้งของแท่งทดสอบ พบว่า เมื่อขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมลดลงเป็นเมช 100 150 และ 200 ทำให้ค่าการหดตัวหลังอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.69 4.74 และ 6.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเฉพาะในขนาด 200 เมช ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 0.74 มิลลิเมตร มีค่าการหดตัวหลังอบแห้งเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังรูปที่ 5.11 เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นในการผสม ทำให้ค่าการหดตัวหลังอบแห้งเพิ่มขึ้น

5.2.3 ค่าความหนาแน่นหลังอบแห้ง

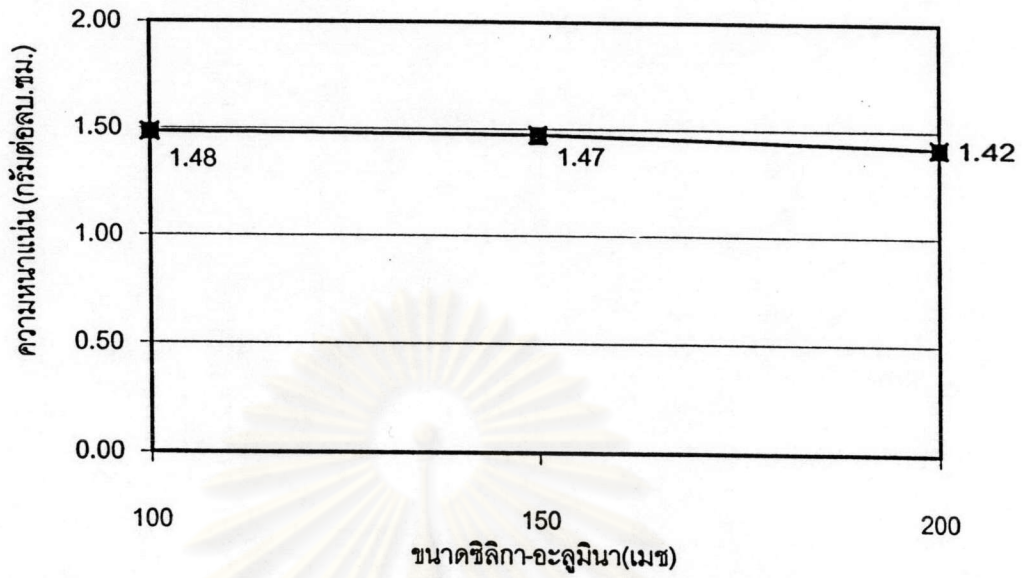
จากการทดสอบหาค่าความหนาแน่นหลังอบแห้งของแท่งทดสอบ พบว่า เมื่อขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมลดลงเป็น 100 เมช 150 เมช และ 200 เมช ทำให้ค่าความหนาแน่นหลังอบแห้งลดลงเล็กน้อยเท่ากับ 1.48 1.47 และ 1.42 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.12 ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมเพิ่มขึ้น หลังจากอบแห้งน้ำระเหยออก ทำให้น้ำหนักของแท่งทดสอบลดลง ทำให้ค่าความหนาแน่นลดลงเล็กน้อย



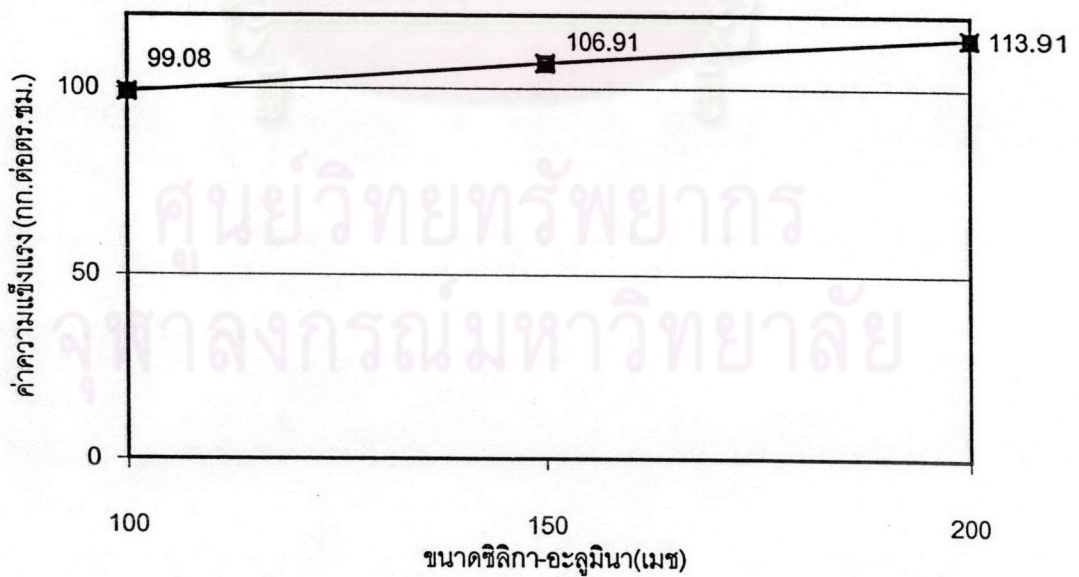
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียวกับขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวหลังอบแห้งกับขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นหลังอบแห้ง
กับขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงหลังอบแห้ง
กับขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

5.2.4 ค่าความแข็งแรงหลังอบแห้ง

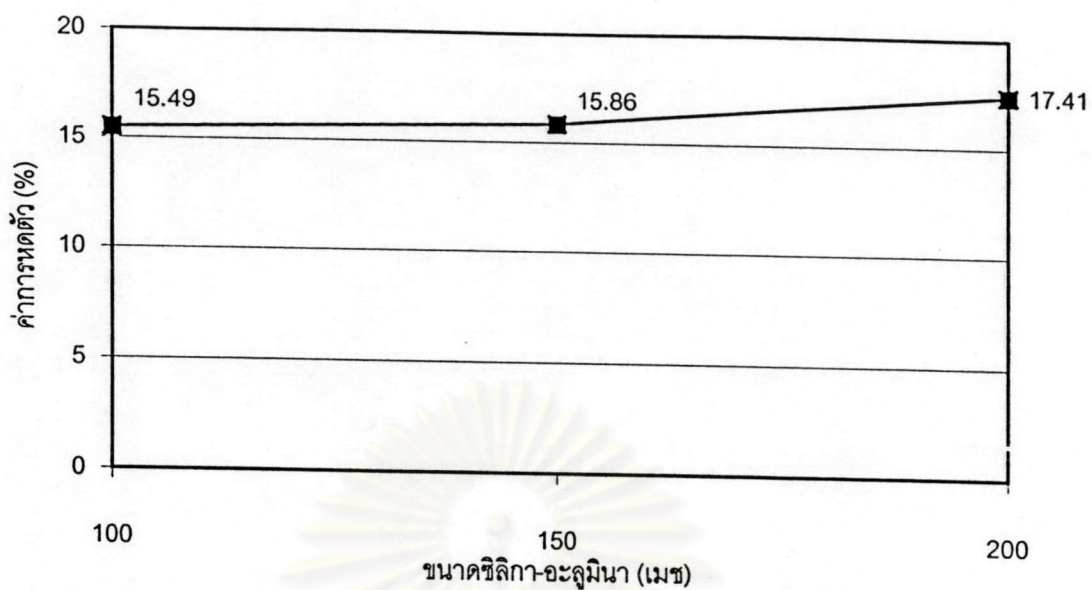
จากการทดสอบหาค่าความแข็งแรงหลังอบแห้งของแท่งทดสอบโดยการวัดค่ากำลังรับแรงดัด พบว่า แท่งทดสอบที่มีขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนเป็นขนาด 200 เมช (เล็กกว่า 0.74 มม.) ให้ค่ากำลังรับแรงดัดหลังอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 113.91 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(11.17 เมกกะปาสคาล) และเมื่อขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมลดลงเป็น 100 เมช 150 เมช และ 200 เมช ทำให้ค่าความแข็งแรงหลังอบแห้งของแท่งทดสอบเพิ่มขึ้นเท่ากับ 99.08 108.91 และ 113.91 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(9.72 10.68 และ 11.17 เมกกะปาสคาล) ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.13 ซึ่งอาจเป็นผลจากขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าทำให้มีช่องว่างระหว่างอนุภาคน้อยลง และเกิดการกระจายตัวของส่วนผสมได้ดีกว่า ซึ่งความแข็งแรงหลังอบแห้งของแท่งทดสอบได้จากดินดำเป็นสำคัญ เมื่อดินดำสามารถกระจายไปได้ทั่วถึง และมีความสม่ำเสมอของส่วนผสมทำให้สามารถรับแรงดัดได้สูงขึ้น

5.2.5 ค่าการหดตัวหลังเผา

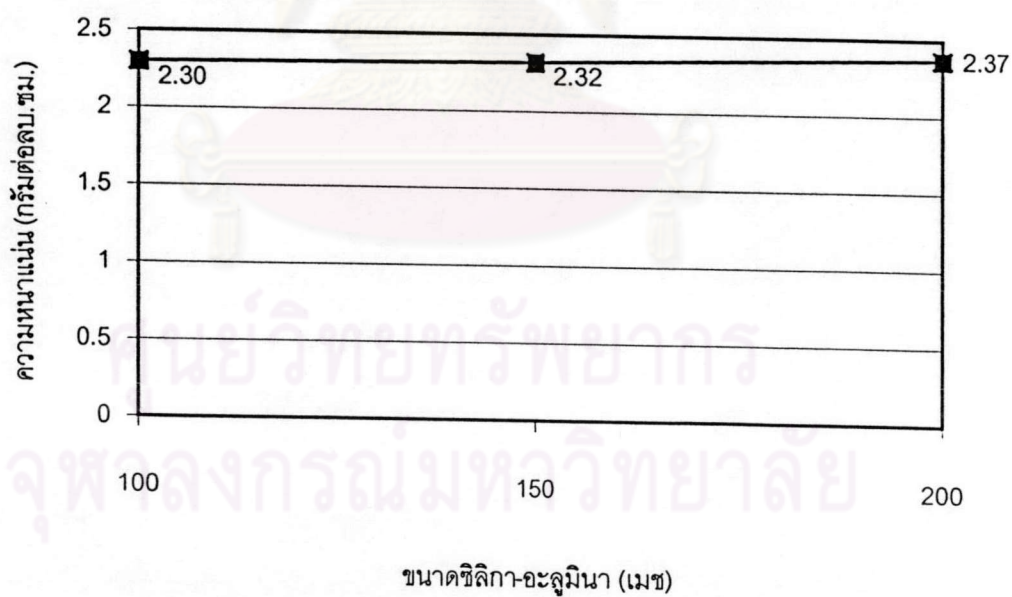
จากการทดสอบหาค่าการหดตัวของแท่งทดสอบหลังเผา พบว่า เมื่อขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมลดลงเป็น 100 เมช 150 เมช และ 200 เมช ทำให้การหดตัวของแท่งทดสอบหลังเผามีค่าสูงขึ้นเท่ากับ 15.49 15.86 และ 17.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.14 เนื่องจากหลังการเผาอนุภาคมีการหลอมตัวรวมกันเข้าแทนที่ช่องว่างภายใน ซึ่งจากการที่แท่งทดสอบที่มีอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมมากกว่ามีค่าความหนาแน่นหลังอบแห้งต่ำกว่าซึ่งแสดงถึงการที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคภายในสูงกว่าด้วย และเนื่องจากขนาดของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วที่มีขนาดเล็กกว่า ทำให้มีการหลอมตัวได้เร็วและดีกว่า ซิลิกา-อะลูมินาที่มีขนาดใหญ่ ทำให้การหดตัวหลังการเผาสูงตามไปด้วยเช่นเดียวกัน

5.2.6 ค่าความหนาแน่นหลังเผา

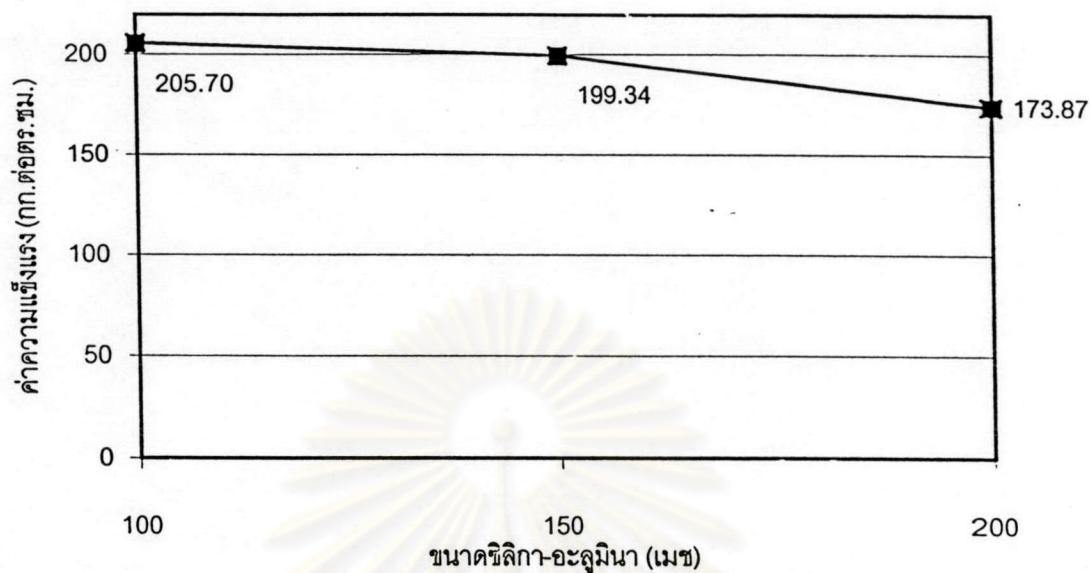
จากการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของแท่งทดสอบหลังเผา พบว่า เมื่อขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมลดลงเป็น 100 เมช 150 เมช และ 200 เมช ทำให้ค่าความหนาแน่นหลังเผาสูงขึ้นเล็กน้อยเท่ากับ 2.30 2.32 และ 2.37 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ ดังรูปที่ 5.15 เนื่องจากผลของการหดตัวหลังเผาที่สูงขึ้น ทำให้ปริมาตรของแท่งทดสอบหลังเผาที่มีอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมมากกว่ามีค่าลดลง ในขณะที่น้ำหนักเท่ากัน ทำให้ค่าความหนาแน่นที่ได้สูงขึ้นเช่นเดียวกัน



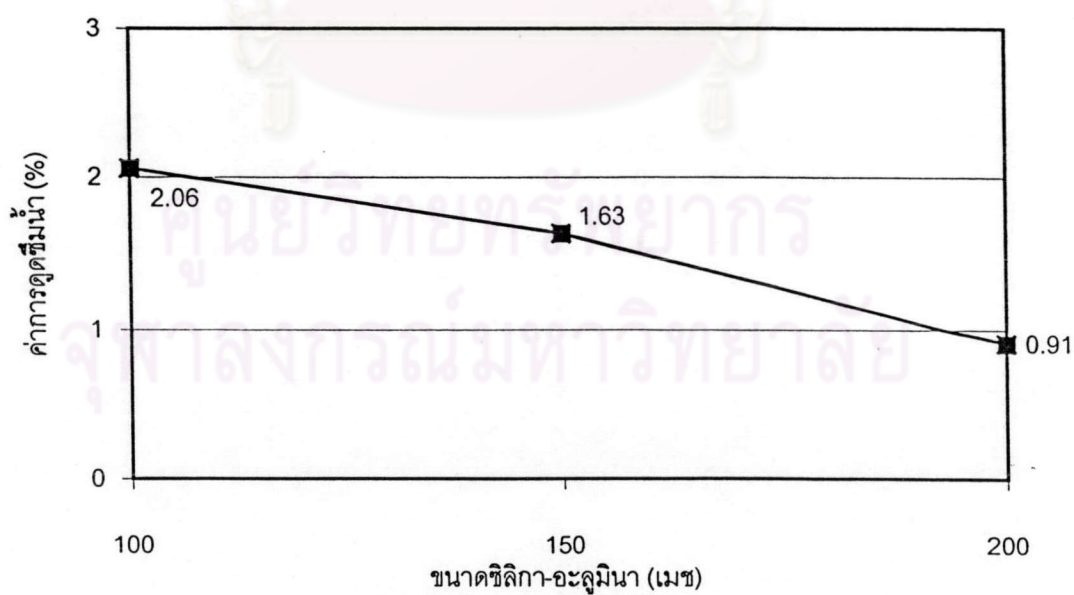
รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหัดตัวหลังเผากับขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นหลังเผา กับขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงหลังเผากับขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

5.2.7 ค่าความแข็งแรงหลังเผา

จากการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของแท่งทดสอบหลังเผา โดยการวัดค่ากำลังรับแรงดัด พบว่า แท่งทดสอบที่มีขนาดอนุภาคของส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมเป็นขนาด 100 เมช (0.149-0.105 มม.) ให้ค่ากำลังรับแรงดัดหลังเผาสูงสุดเท่ากับ 205.70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(20.17 เมกกะปาสคาล) และเมื่อขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมลดลงเป็น 100 เมช 150 เมช และ 200 เมช ทำให้ค่ากำลังรับแรงดัดหลังเผาของแท่งทดสอบลดลงเท่ากับ 205.70 199.34 และ 173.87 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(20.17 19.55 และ 17.05 เมกกะปาสคาล) ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.16 ซึ่งเมื่อเทียบกับค่ากำลังรับแรงดัดหลังอบแห้ง พบว่า มีแนวโน้มที่สวนทางกัน และไม่สอดคล้องกับผลจากการทดลองที่ 5.1 ซึ่งอาจเกิดจากผลของการที่แท่งทดสอบมีความหนาแน่นสูง ซึ่งทำให้มีการยืดหยุ่นตัวได้น้อยลง จึงทำให้สามารถรับแรงกดที่มากกระทำได้น้อยกว่า คือ มีลักษณะที่แข็ง แต่แตกหักได้ง่าย

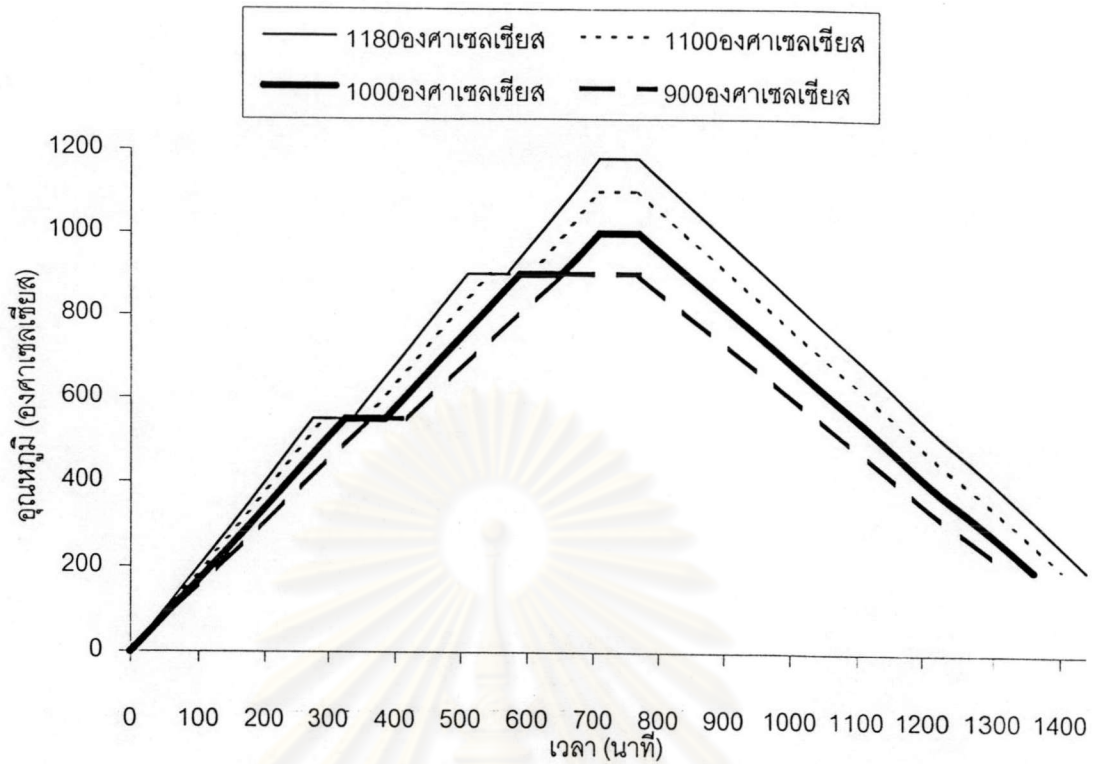
5.2.8 ค่าการดูดซึมน้ำ

จากการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของแท่งทดสอบหลังเผา พบว่า เมื่อขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสมลดลงเป็น 100 เมช 150 เมช และ 200 เมช ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของแท่งทดสอบหลังเผาลดลงเป็น 2.06 1.63 และ 0.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.17 ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความหนาแน่นหลังเผาที่เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในส่วนผสม ทำให้แท่งทดสอบมีรูพรุนลดลง โดยเฉพาะที่ผิวของแท่งทดสอบ เกิดการหลอมตัวเป็นเนื้อเดียว จึงดูดซึมน้ำได้ลดลงอย่างมาก

5.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาค่าผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา โดยทำการแปรค่าอุณหภูมิเป็น 900 1000 1100 และ 1180 องศาเซลเซียสดังรูปที่ 5.18 โดยเลือกอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วที่เหมาะสม เป็น 40 เปอร์เซ็นต์ และมีขนาดอนุภาคเป็น 100 เมช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.18 แผนภูมิการเผาแท่งทดสอบที่อุณหภูมิ 900 1000 1100 และ 1180 องศาเซลเซียส

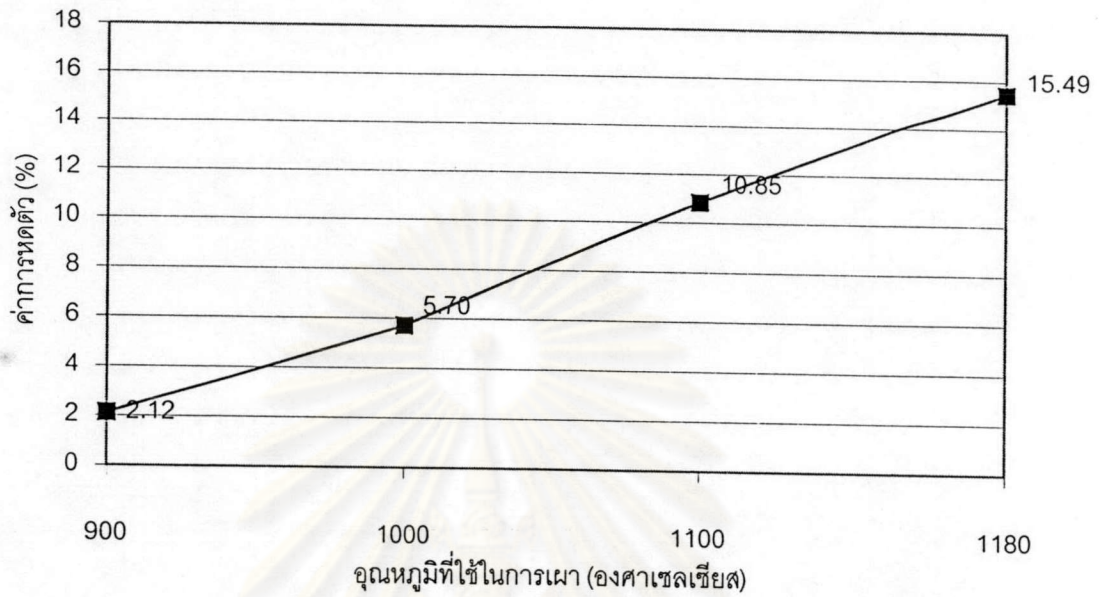
5.3.1 ค่าการหดตัวหลังเผา

จากการทดสอบหาค่าการหดตัวของแท่งทดสอบหลังเผา พบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาลดลงเป็น 1180 1100 1000 และ 900 องศาเซลเซียส (1453 1373 1273 และ 1173 เคลวิน) ทำให้การหดตัวของแท่งทดสอบหลังเผามีค่าลดลงเท่ากับ 15.49 10.85 5.70 และ 2.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.19 เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาอนุภาคลดลง การหลอมตัวของอนุภาคภายในजनसम्पूर्णก็ลดลงด้วย จึงทำให้แท่งทดสอบมีการหดตัวน้อยลงตามไปด้วย

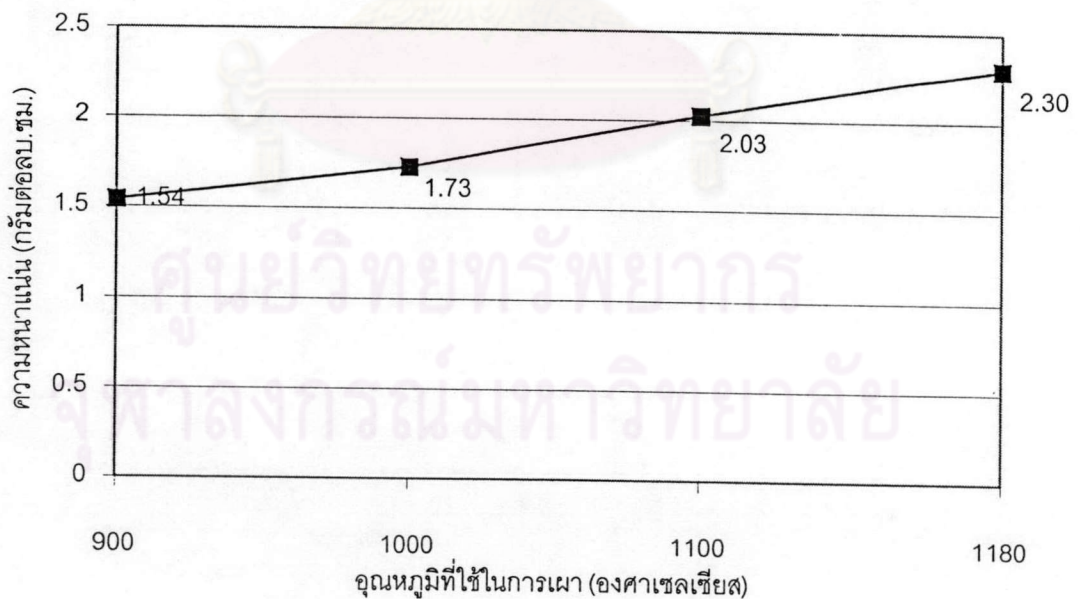
5.3.2 ค่าความหนาแน่นหลังเผา

จากการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของแท่งทดสอบหลังเผา พบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาลดลงเป็น 1180 1100 1000 และ 900 องศาเซลเซียส (1453 1373 1273 และ 1173 เคลวิน) ทำให้ค่าความหนาแน่นหลังเผาลดลงเท่ากับ 2.30 2.03 1.73 และ 1.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.20 เนื่องจากผลของการหดตัวหลังเผาลดลง ทำให้ปริมาตรของ

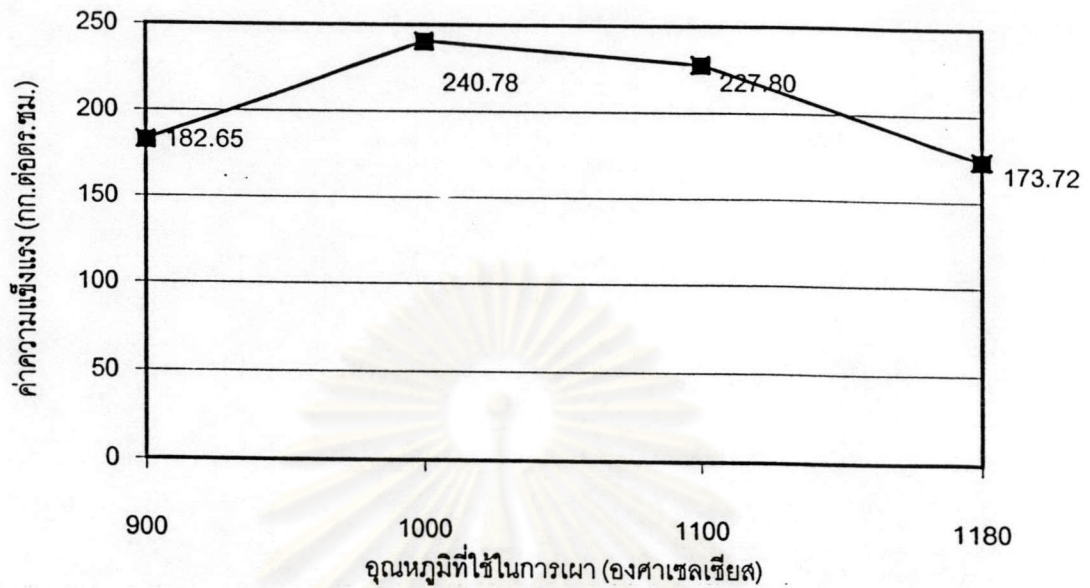
แห้งทดสอบหลังเผาที่ต่ำกว่า ซึ่งมีการสุกตัวไม่สมบูรณ์ จึงมีปริมาณมากกว่าแห้งทดสอบหลังเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า ยังผลให้ค่าความหนาแน่นลดลง



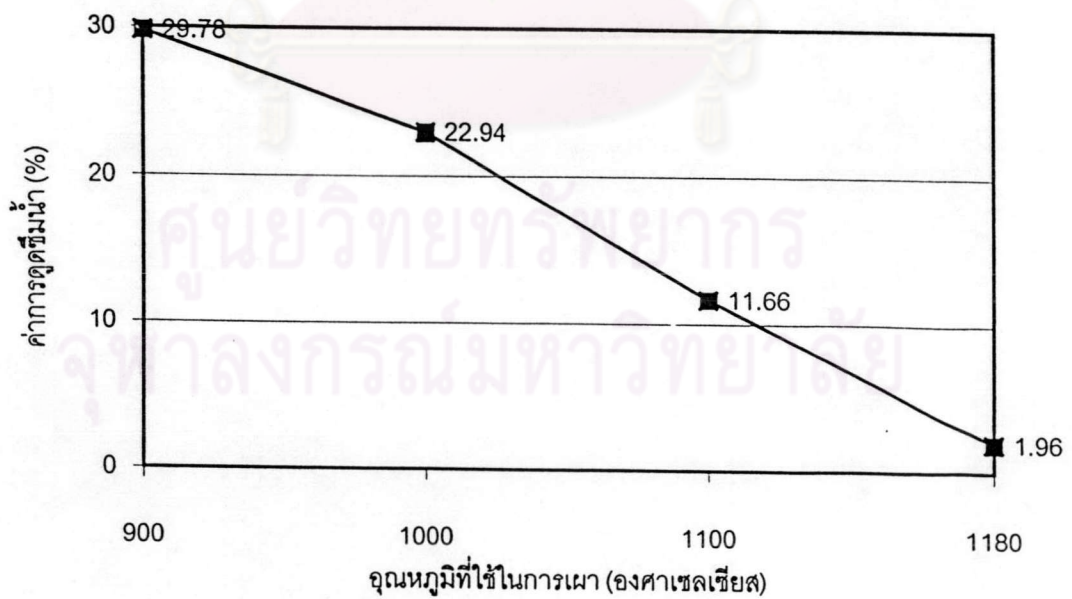
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวหลังเผากับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นหลังเผากับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา



รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงหลังเผากับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา

5.3.3 ค่าความแข็งแรงหลังเผา

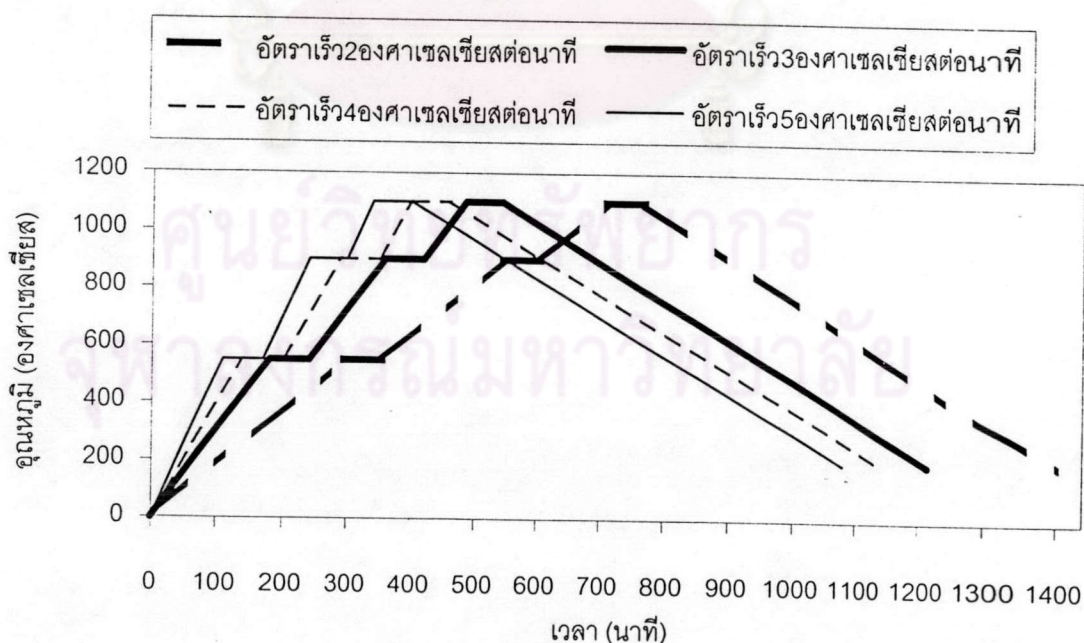
จากการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของแท่งทดสอบหลังเผา โดยการวัดค่ากำลังรับแรงดัด พบว่า แท่งทดสอบที่เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส(1273 เคลวิน) ให้ค่ากำลังรับแรงดัดหลังเผาสูงสุดเท่ากับ 240.78 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(23.61 เมกกะปาสคาล) แต่ไม่สามารถบอกถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงหลังเผากับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาได้ ดังรูปที่ 5.21

5.3.4 ค่าการดูดซึมน้ำ

จากการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของแท่งทดสอบหลังเผา พบว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาลดลงเป็น 1180 1100 1000 และ 900 องศาเซลเซียส(1453 1373 1273 และ 1173 เคลวิน) ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของแท่งทดสอบหลังเผาสูงขึ้นเท่ากับ 1.96 11.66 22.94 และ 29.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.22 ซึ่งเป็นผลจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไม่สูงพอที่จะทำให้ส่วนผสมผสมสุกตัวอย่างสมบูรณ์ ทำให้แท่งทดสอบมีรูพรุนทั้งที่ผิวนอกและภายในสูง ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปได้มาก

5.4 การศึกษาผลของอัตราเร็วที่ใช้ในการเผา

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาค่าผลของอัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา โดยทำการแปรค่าเป็น 2 3 4 และ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที ดังรูปที่ 5.23 โดยเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเป็น 1100 องศาเซลเซียส(1373 เคลวิน) อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วที่เหมาะสม เป็น 40 เปอร์เซ็นต์ และมีขนาดอนุภาคเป็น เมช 100



รูปที่ 5.23 แผนภูมิการเผาแท่งทดสอบที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราเร็วเป็น 2 3 4 และ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

5.4.1 ค่าการหดตัวหลังเผา

จากการทดสอบหาค่าการหดตัวของแท่งทดสอบหลังเผา พบว่า เมื่ออัตราเร็วที่ใช้ในการเผาเพิ่มขึ้นเป็น 2 3 4 และ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที ทำให้การหดตัวของแท่งทดสอบหลังเผามีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเท่ากับ 10.85 11.42 11.42 และ 11.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.24 เนื่องจากเมื่ออัตราเร็วที่ใช้ในการเผาอนุภาคสูงขึ้น ทำให้เกิดการหลอมตัวของอนุภาคของส่วนผสมได้ดีขึ้น จึงทำให้แท่งทดสอบมีการหดตัวสูงขึ้นด้วย

5.4.2 ค่าความหนาแน่นหลังเผา

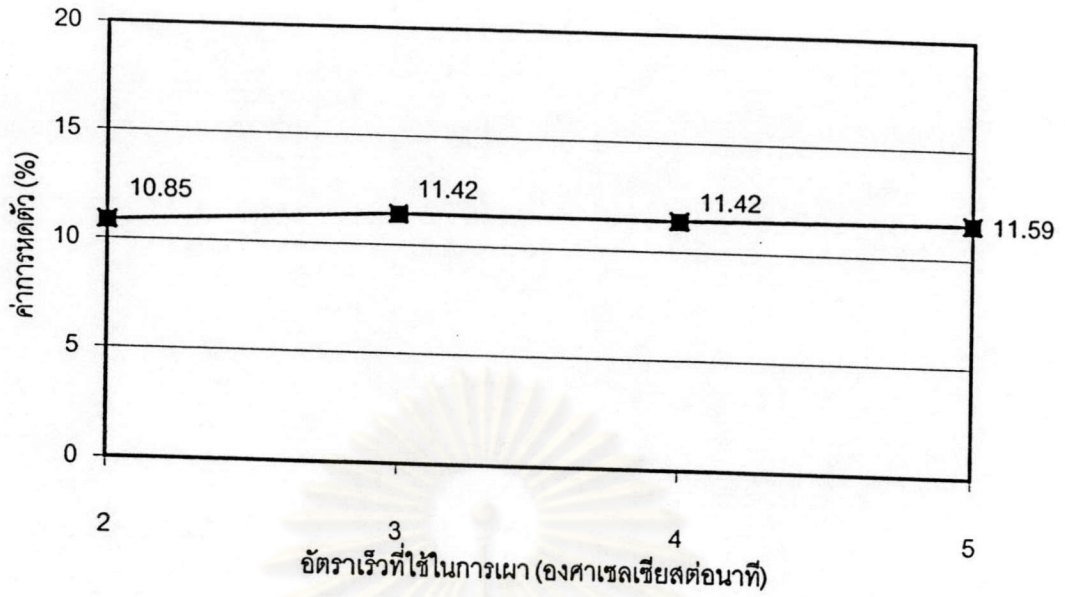
จากการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของแท่งทดสอบหลังเผา พบว่า เมื่ออัตราเร็วที่ใช้ในการเผาสูงขึ้นเป็น 2 3 4 และ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที ทำให้ค่าความหนาแน่นหลังเผาเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังรูปที่ 5.25 เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผายังมีค่าเท่าเดิม ทำให้การสุกตัวของแท่งทดสอบไม่เปลี่ยนแปลง ค่าความหนาแน่นจึงไม่เปลี่ยนแปลงด้วย

5.4.3 ค่าความแข็งแรงหลังเผา

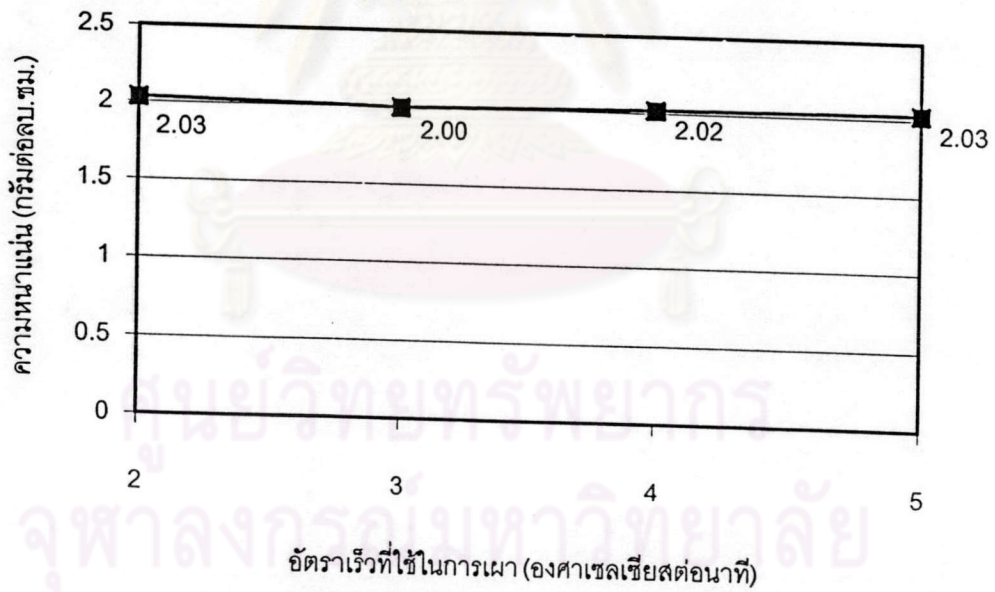
จากการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของแท่งทดสอบหลังเผา โดยการวัดค่ากำลังรับแรงดัด พบว่า แท่งทดสอบที่ใช้อัตราเร็วในการเผา 3 องศาเซลเซียสต่อนาที ให้ค่ากำลังรับแรงดัดหลังเผาสูงสุดเท่ากับ 247.34 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(24.25 เมกกะปาสคาล) แต่ไม่สามารถบอกถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงหลังเผากับอัตราเร็วที่ใช้ในการเผาได้ ซึ่งจากค่ากำลังรับแรงดัดหลังเผาที่ได้มีค่าไม่สูงนักเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ควรจะได้เมื่อใช้อะลูมินาบริสุทธิ์เป็นตัวทนไฟในการผลิต เนื่องจากมีความไม่บริสุทธิ์ของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว วิธีการที่ใช้ในการขึ้นรูป ความสม่ำเสมอของเนื้อดิน และการสุกตัวของเซรามิกที่ผลิตได้ไม่สมบูรณ์ ดังรูปที่ 5.26

5.4.4 ค่าการดูดซึมน้ำ

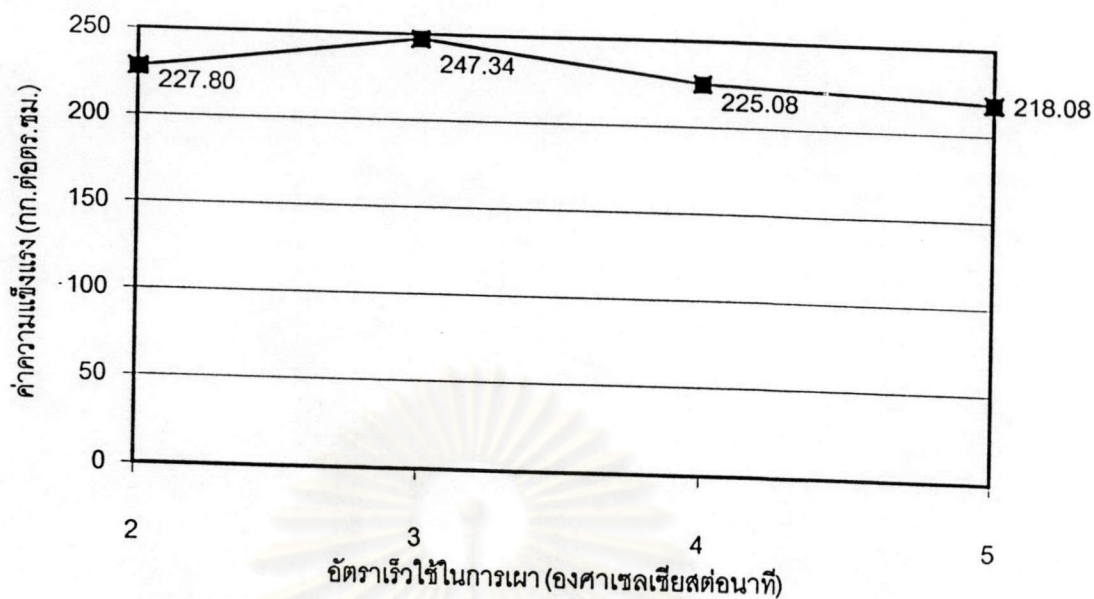
จากการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของแท่งทดสอบหลังเผา พบว่า เมื่ออัตราเร็วที่ใช้ในการเผาเพิ่มขึ้นเป็น 2 3 4 และ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของแท่งทดสอบหลังเผาเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังรูปที่ 5.27 ซึ่งเป็นผลจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไม่เปลี่ยนแปลง



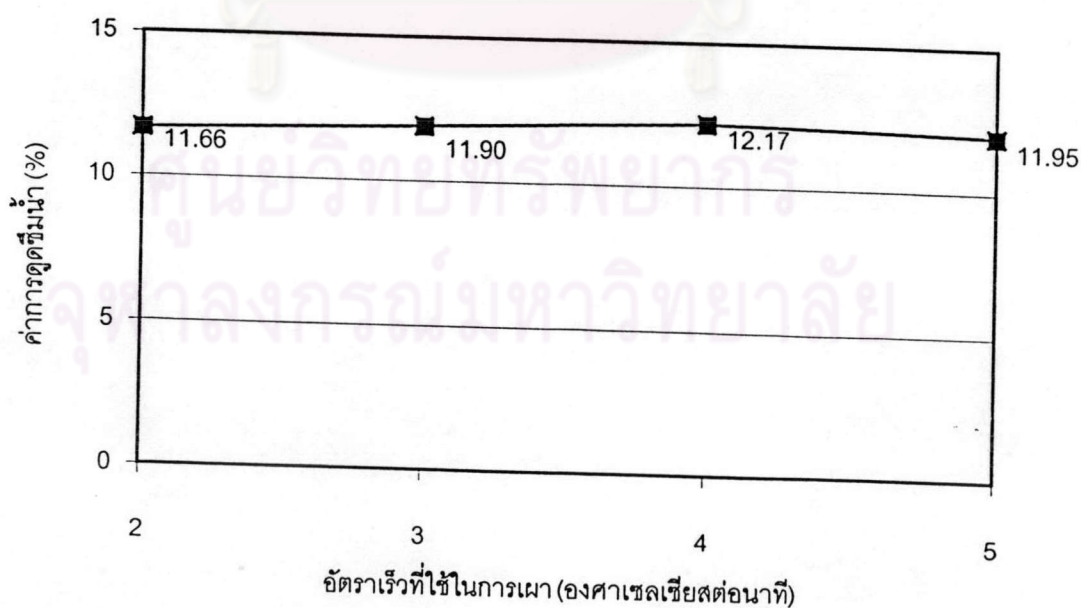
รูปที่ 5.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวหลังเผา กับอัตราเร็วที่ใช้ในการเผา



รูปที่ 5.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นหลังเผา กับอัตราเร็วที่ใช้ในการเผา



รูปที่ 5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการความแข็งแรงหลังเผา
กับอัตราเร็วที่ใช้ในการเผา



รูปที่ 5.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับอัตราเร็วที่ใช้ในการเผา

5.5 การศึกษาประสิทธิภาพในการลดการชะละลาย

จากการทดสอบการชะละลายสารแอนทราควินโนน ไม่พบสารแอนทราควินโนน ในแท่งทดสอบหลังการเผา เนื่องจากได้ทำการเผาซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วก่อนทำการอบเพื่อ กำจัดสารแอนทราควินโนนไปครั้งหนึ่งแล้ว และเมื่อนำมาใช้ทำเป็นแท่งทดสอบได้ทำการเผาอีก ครั้งหนึ่งจึงไม่พบสารแอนทราควินโนนอีก (สารละลายใสไม่มีสี)

นอกจากนี้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกี่ยวกับภาชนะเซรามิกที่ใช้กับ อาหาร ได้กำหนดปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่ละลายออกมาน้อยกว่า 2.5 และ 0.25 มิลลิกรัม ต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ซึ่งจากการชะละลายแท่งทดสอบหลังการเผา ไม่พบปริมาณตะกั่วและ แคดเมียม ซึ่งผ่านมาตรฐานภาชนะเซรามิกบรรจุอาหารสำหรับทารก

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบน้ำชะละลาย

| โลหะหนัก | ผลการทดสอบน้ำชะละลาย | ค่ามาตรฐาน |
|----------|----------------------|----------------------------|
| ตะกั่ว | n.d. | <2.5 มก./ซม. ³ |
| แคดเมียม | n.d. | <0.25 มก./ซม. ³ |

หมายเหตุ : n.d. = not detectable

5.6 การตรวจสอบแร่ซิลิกาที่เกิดขึ้น

จากการวิเคราะห์หาเฟสของสารประกอบด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (XRD) พบว่า ในแท่งทดสอบหลังเผาเกิดเฟสของสารประกอบที่สำคัญ คือ ควอตซ์ (SiO_2) อัลไบท์ ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) และคอร์ันดัม (Al_2O_3) ซึ่งในเฟสของคอร์ันดัม เป็นส่วนที่มีความแข็งแรงสูงถึง 9 แต่ไม่พบเฟสของมัลไลต์ ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายเข็มที่มีความแข็งแรงสูง และเป็น ส่วนที่ให้ความแข็งแรงสูงในเซรามิกประเภทอะลูมินาเอิร์ทเทินแวร์ จึงทำให้แท่งทดสอบเซรามิกที่ ผลิตได้มีความแข็งแรงแต่ไม่แข็งแรง เพราะแตกหักได้ง่าย

เนื่องจากแร่ซิลิกาจะเริ่มเกิดเป็นผลึกเล็กๆที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส และเกิดเป็นผลึกรูปร่างคล้ายเข็มขนาดใหญ่เมื่ออุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส และจะเกิดได้ดีเมื่ออุณหภูมิขนาดเล็กดังแสดงในรูปที่ 5.30 ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่สูง พอ แต่จากการทดลองพบว่าหากเพิ่มอุณหภูมิในการเผาขึ้นไป จะทำให้เกิดการหลอมตัวของผิว นอกของแท่งทดสอบและเกิดการขยายตัวทำให้เสียรูปร่าง จึงไม่สามารถเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นได้

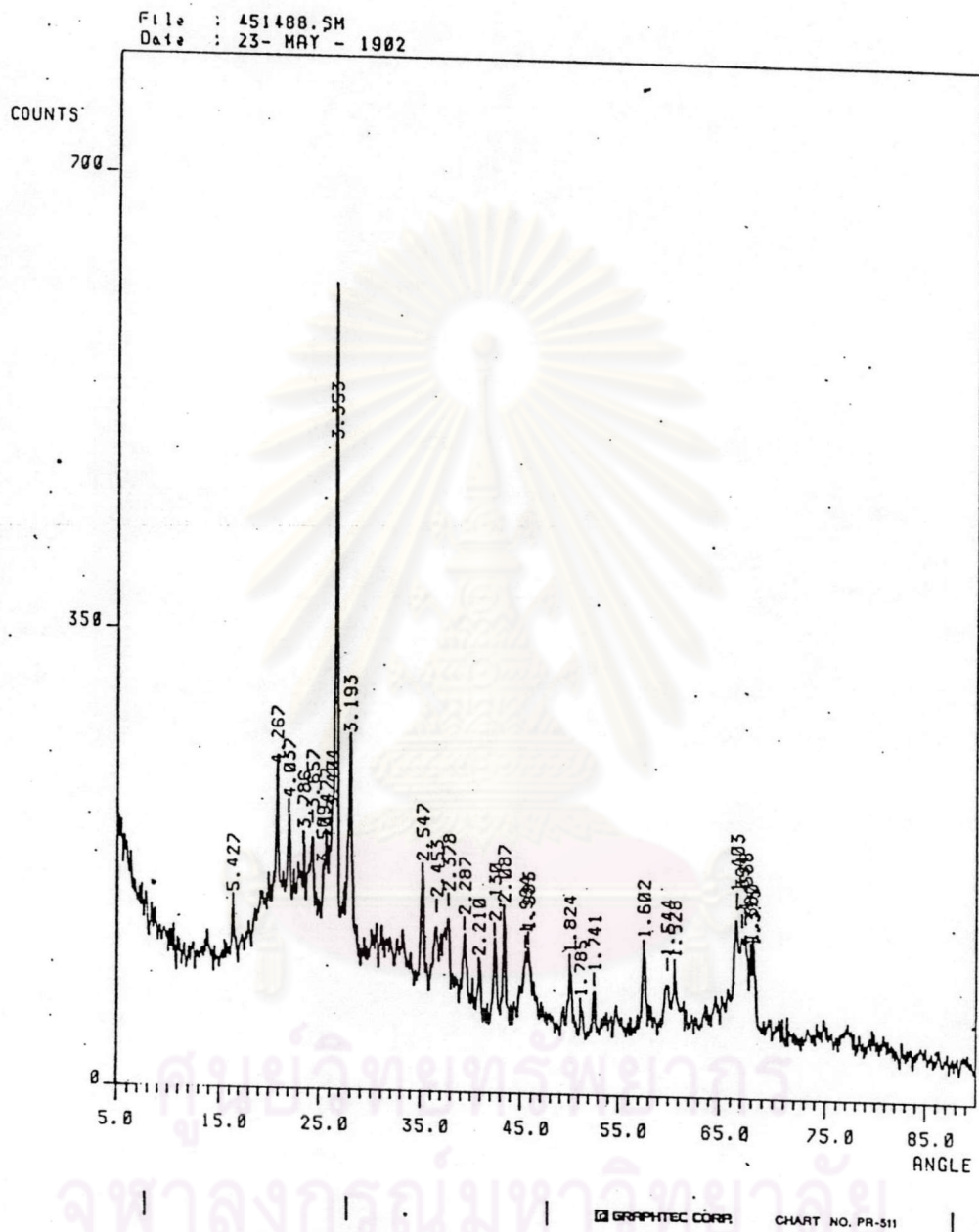
ตารางที่ 5.4 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุของแท่งทดสอบหลังเผาโดย เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์ (XRF) โดยส่วนประกอบที่สำคัญของแท่งทดสอบ คือ SiO_2 และ Al_2O_3 ซึ่งมีปริมาณถึง 48.41% และ 41.71% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ ได้จากแท่งทดสอบก่อนเผา พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

ตารางที่ 5.3 X-ray diffraction pattern ของแท่งทดสอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส
อัตราการผลิตอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที

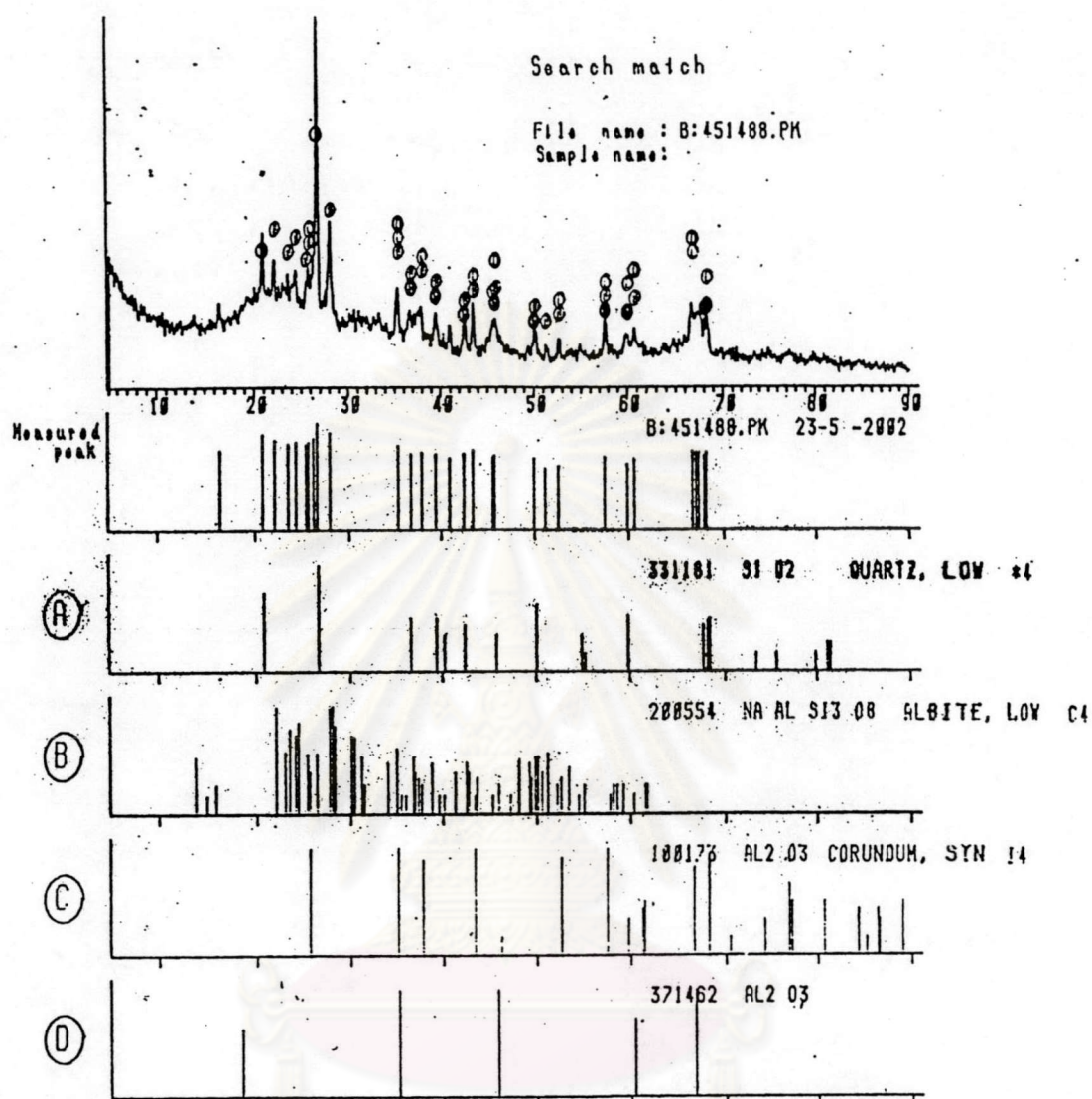
| Measure condition | | 2 θ (°) | D (Å) | I (counts) | I/I ₀ |
|-------------------|------------|----------------|-------|------------|------------------|
| Sample | ceramic | | | | |
| Target | Cu | 18.32 | 5.427 | 138 | 22 |
| kV | 45.0 kV | 20.80 | 4.267 | 255 | 41 |
| mA | 35.0 mA | 22.00 | 4.037 | 210 | 34 |
| Start angle | 5.00 deg. | 23.48 | 3.786 | 179 | 29 |
| Stop angle | 90.00 deg. | 24.32 | 3.657 | 188 | 30 |
| Step angle | 0.040 deg. | 25.36 | 3.509 | 176 | 28 |
| M. time | 1.50 sec. | 25.60 | 3.477 | 197 | 32 |
| Operator | | 26.16 | 3.404 | 222 | 36 |
| Hemo | | 26.56 | 3.353 | 618 | 100 |
| | | 27.92 | 3.193 | 273 | 44 |
| | | 35.20 | 2.547 | 161 | 26 |
| | | 36.60 | 2.453 | 120 | 19 |
| | | 37.80 | 2.378 | 128 | 21 |
| | | 39.36 | 2.287 | 122 | 20 |
| | | 40.80 | 2.210 | 102 | 17 |
| | | 42.40 | 2.130 | 119 | 19 |
| | | 43.32 | 2.087 | 136 | 22 |
| | | 45.44 | 1.994 | 109 | 18 |
| | | 45.72 | 1.983 | 112 | 18 |
| | | 49.96 | 1.824 | 100 | 16 |
| | | 51.12 | 1.785 | 68 | 11 |
| | | 52.52 | 1.741 | 79 | 13 |
| | | 57.48 | 1.602 | 111 | 18 |
| | | 59.84 | 1.544 | 85 | 14 |
| | | 60.56 | 1.528 | 96 | 16 |
| | | 66.60 | 1.403 | 130 | 21 |
| | | 67.08 | 1.394 | 124 | 20 |
| | | 67.40 | 1.388 | 126 | 20 |
| | | 67.88 | 1.380 | 112 | 18 |
| | | 68.12 | 1.375 | 124 | 20 |

ศูนย์วิทยุโทรทัศน์

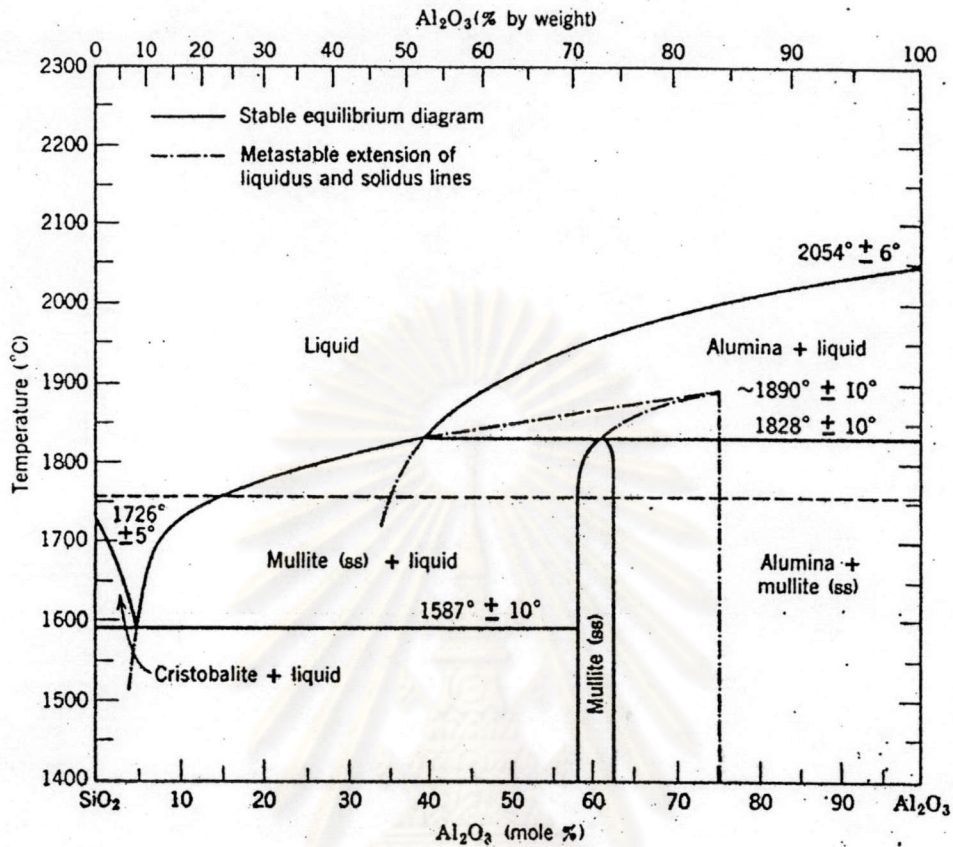
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.28 X-ray diffraction pattern ของแท่งทดสอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที



รูปที่ 5.29 X-ray diffraction pattern และเฟสของแท่งทดสอบหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียสต่อนาที



รูปที่ 5.30 แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงเฟสของเซรามิกที่มีส่วนประกอบเป็น SiO_2 - Al_2O_3
(Aksay และ Pask, 1974)

จากรูปที่ 5.30 จะเห็นได้ว่า แร่มีลไทท์จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงและที่อัตราส่วนของอะลูมินาต่อซิลิกาโดยน้ำหนักสูงกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ซึ่งในการทดลองนี้ไม่สามารถทำได้เนื่องจากข้อจำกัดของเตาเผาที่ใช้ในการทดลอง และเกิดการหลอมละลายที่ผิวของแท่งทดสอบเซรามิกที่อุณหภูมิประมาณ 1180 องศาเซลเซียส (1453 เคลวิน) ซึ่งหากทำการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นอีก จะทำให้แท่งทดสอบเซรามิกหลอมละลาย ไม่สามารถคงรูปร่างได้ และนอกจากนี้ อัตราส่วนระหว่างอะลูมินาต่อซิลิกาของแท่งทดสอบเซรามิกที่ได้ มีค่าประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 5.4 และยังมีผลของสิ่งเจือปนอื่นๆ จึงทำให้ไม่พบแร่มีลไทท์ในแท่งทดสอบเซรามิก

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุของแท่งทดสอบก่อนและหลังเผาโดย
เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรมิเตอร์ (XRF)

| ตัวอย่าง | ปริมาณธาตุ(%โดยน้ำหนัก) | | | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------|------------------|--------------------------------|
| | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | SO ₃ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | Fe ₂ O ₃ |
| แท่งทดสอบก่อนเผา | 7.11 | 0.28 | 40.04 | 45.33 | - | 1.29 | 0.52 | 1.00 | 0.26 | 0.62 |
| แท่งทดสอบหลังเผา | 6.59 | 0.29 | 41.71 | 48.41 | 0.10 | 0.10 | 1.08 | 0.60 | 0.23 | 0.83 |

5.7 การประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้น

ตารางที่ 5.5 แสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตเซรามิกโดยใช้ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นตัวทนไฟแทนที่อะลูมินาบริสุทธิ์ซึ่งคิดราคาจากวัตถุดิบที่ใช้ ค่าไฟฟ้าของเตาอบ เตาเผา เครื่องบดและเครื่องนวดดินและขึ้นรูป

ตารางที่ 5.5 แสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตเซรามิกโดยใช้ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นตัวทนไฟแทนอะลูมินาบริสุทธิ์ต่อ 1 กิโลกรัม

| วัสดุที่ใช้ | เซรามิกที่มีอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 40% | | เซรามิกที่ผลิตโดยใช้อะลูมินาบริสุทธิ์ | | |
|---|--|--------------|---------------------------------------|--------------|------------|
| | ราคา | ปริมาณที่ใช้ | ค่าใช้จ่าย | ปริมาณที่ใช้ | ค่าใช้จ่าย |
| ส่วนประกอบ | (บาท/กก.) | (กก.) | (บาท) | (กก.) | (บาท) |
| ดินดำ | 50.00 | 0.37 | 18.50 | 0.40 | 20.00 |
| เฟลด์สปาร์ | 58.00 | 0.23 | 13.40 | 0.25 | 14.50 |
| ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว/อะลูมินาบริสุทธิ์ | 0.00/30.00 | 0.40 | 0.00 | 0.35 | 10.50 |
| ค่าพลังงานที่ใช้ในการบด | 2.70 | 1.00 | 2.70 | 1.00 | 2.70 |
| ค่าพลังงานที่ใช้ในเตาอบ | 7.92 | 1.00 | 7.92 | 1.00 | 7.92 |
| ค่าพลังงานที่ใช้ในเตาเผา | 49.32 | 1.00 | 49.32 | 1.00 | 49.32 |
| ค่าพลังงานที่ใช้ในการนวดดินและขึ้นรูป | 2.20 | 1.00 | 2.20 | 1.00 | 2.20 |
| รวม | - | - | 94.04 | - | 107.14 |

- * กำลังไฟฟ้าของ Ball Mill = 0.75 กิโลวัตต์ ใช้เวลา 12 ชม.
 กำลังไฟฟ้าของเตาอบ = 2.20 กิโลวัตต์ ใช้เวลา 12 ชม.
 กำลังไฟฟ้าของเตาเผา = 13.70 กิโลวัตต์ ใช้เวลา 12 ชม.
 กำลังไฟฟ้าของเครื่อง extrusion = 2.20 กิโลวัตต์ ใช้เวลา 2 ชม.

จากตารางที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายในการผลิตเซรามิกโดยใช้ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นตัวทอนไฟแทนที่อะลูมินาบริสุทธิ์ที่สำคัญคือ ค่าพลังงานที่ใช้ในการเผาซึ่งสูงถึงครึ่งหนึ่งของค่าใช้จ่ายทั้งหมด รองลงมาคือ ค่าของวัตถุดิบซึ่งก็คือ ดินดำและเฟลด์สปาร์ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตที่คำนวณได้ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการบำบัดโดยการนำไปฝังในหลุมฝังกลบ เนื่องจากเตาที่ใช้ในการเผาเป็นเตาที่ใช้ในห้องทดลองซึ่งมีขนาดเล็กมีความจุน้อย และราคาวัตถุดิบที่นำมาคำนวณเป็นราคาที่สูงขึ้นในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับการสั่งซื้อในอุตสาหกรรมจริง จึงมีราคาสูงกว่ามาก แต่จะเห็นได้ว่าไม่มีค่าใช้จ่ายจากซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วซึ่งนำมาใช้แทนที่อะลูมินาบริสุทธิ์ที่มีราคา 30 บาทต่อกิโลกรัม

5.8 ภาพรวมของเซรามิกที่ผลิตจากซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

จากผลการทดลองการนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้เป็นตัวทอนไฟแทนที่อะลูมินาบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นการนำของเสียกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต ทำให้ของเสียกลับมามีมูลค่าพบว่า ถึงแม้คุณสมบัติของเซรามิกที่ผลิตได้จากการใช้ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วจะไม่ดีเท่ากับเซรามิกที่ผลิตจากอะลูมินาบริสุทธิ์ เนื่องจากความไม่บริสุทธิ์ในซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วก็ตาม แต่เซรามิกที่ผลิตได้จากการใช้ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วก็มีคุณสมบัติที่ดีพอที่จะนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกอื่นๆ ได้ และเป็นทางเลือกในการบำบัดของเสียที่ดีอีกทางหนึ่งด้วย โดยภาพรวมเปรียบเทียบคุณสมบัติของเซรามิกที่ผลิตจากซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วกับอะลูมินาบริสุทธิ์แสดงในตารางที่ 5.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าความแข็งแรงหลังเผาของเซรามิกที่ผลิตจากซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมีค่าเพียง 247 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(24 เมกกะปาสคาล) ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากเซรามิกที่ผลิตจากอะลูมินาบริสุทธิ์ที่มีค่า 1450 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(142 เมกกะปาสคาล) จะพบว่า มีค่าลดลงอย่างมาก แต่ค่าความแข็งแรงหลังเผาของเซรามิกที่ผลิตจากซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ยังมีค่าสูงเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นที่ไม่ต้องรับแรงสูง เช่น กระเบื้องปูผนัง

นอกจากนี้การนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเซรามิกยังเป็นการช่วยลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นของเสียซึ่งไม่มีราคา และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการนำไปฝังกลบซึ่งมีค่าใช้จ่าย 12000 บาทต่อตัน อีกด้วย จึงเป็นทางเลือกในการบำบัดที่ดีอีกทางหนึ่ง และอาจจะทำการส่งไปยังโรงงานผลิตเซรามิกโดยให้ค่าตอบแทนเพื่อนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วไปใช้เป็นวัตถุดิบโดยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดลงได้

ตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของเซรามิกที่ผลิตจากซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว กับอะลูมินาบริสุทธิ์

| | เซรามิกที่ผลิตจากอะลูมินา บริสุทธิ์ | เซรามิกที่ผลิตจากซิลิกา- อะลูมินาที่ใช้แล้ว |
|-------------------------|--|---|
| ปริมาณที่ใช้ต่อกิโลกรัม | อะลูมินาบริสุทธิ์ 0.35 กิโลกรัม | ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 0.40 กิโลกรัม |
| อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา | 1180 องศาเซลเซียส (1453 เคลวิน) | 1100 องศาเซลเซียส (1373 เคลวิน) |
| ค่าการหดตัวหลังเผา | 15.0 เปอร์เซ็นต์ | 11.42 เปอร์เซ็นต์ |
| ค่าการดูดซึมน้ำ | 0 - 1 เปอร์เซ็นต์ | 11 เปอร์เซ็นต์ |
| ค่าความแข็งแรงหลังเผา | 1450 กก./ซม. ² (142 เมกกะปาสคาล) | 247 กก./ซม. ² (24 เมกกะปาสคาล) |
| ค่าใช้จ่ายในการผลิต | 107 บาทต่อกิโลกรัม | 94 บาทต่อกิโลกรัม |
| การนำไปใช้ประโยชน์ | ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ความแข็งแรงสูง | ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องรับ แรงมาก เช่น กระเบื้องบุผนัง แจกัน เป็นต้น |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย