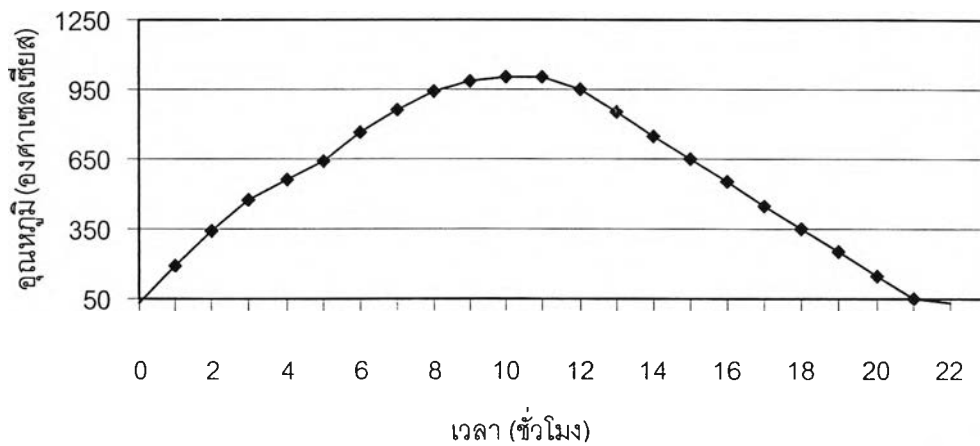


บทที่ 5

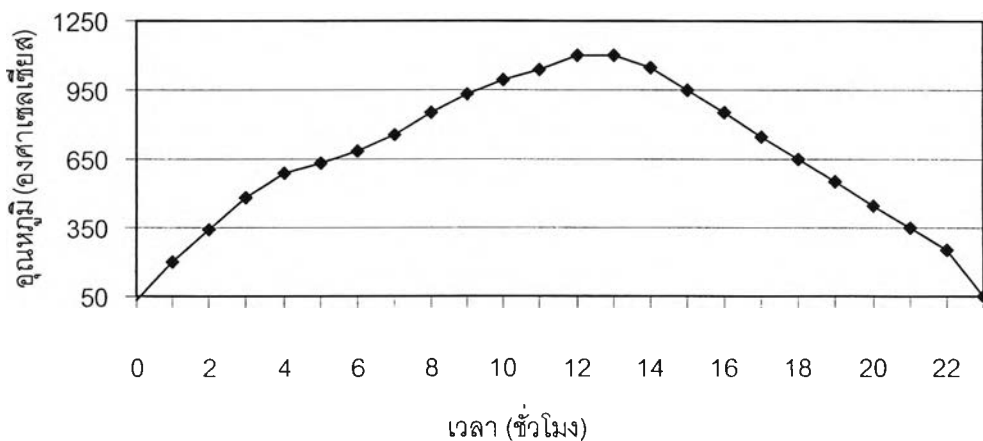
ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 การศึกษาการนำของเสียที่เป็นแก้วแทนวัตถุดิบในกระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิก

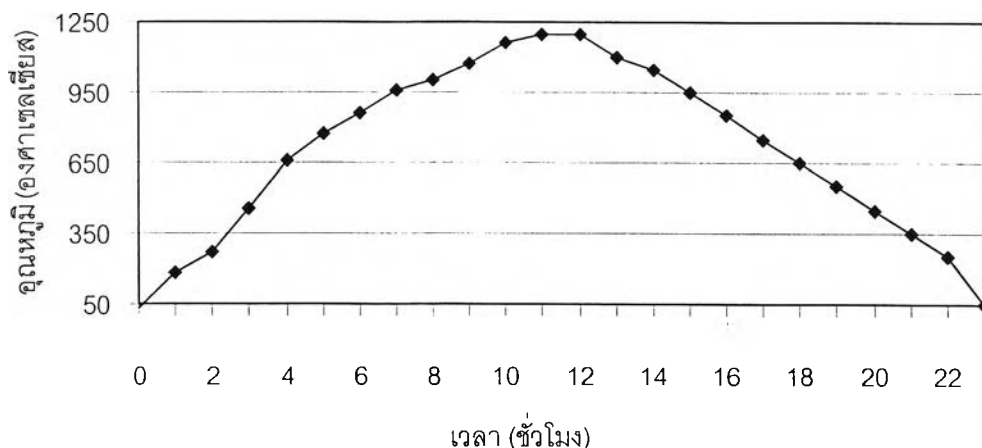
การทดลองนี้ได้นำของเสียที่เป็นแก้ว (ขวดแก้วสีชา) ที่ใช้แล้วมาผลิตกระเบื้องเซรามิกโดยนำมาใช้แทนแร่เฟลด์สปาร์และทำการศึกษหาอัตราส่วนการทดแทนที่เหมาะสม โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนการทดแทนเป็น 0 25 50 75 และ 100% (ในวัตถุดิบมีอัตราส่วน ดินดำ ต่อเฟลด์สปาร์ เท่ากับ 8 : 5 คิดเป็น 60% รวมกับทรายอบแห้ง 40%) และแปรใช้อุณหภูมิในการเผาเป็น 1000 1100 และ 1200 องศาเซลเซียส การควบคุมอุณหภูมิของการเผาเป็นดังรูปที่ 5.1 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ พิจารณาค่าที่เหมาะสมจากค่ากำลังรับแรง ค่าการหดตัวหลังการเผา ค่าการดูดซึมน้ำ รวมถึงพิจารณาคุณสมบัติด้านการทนสารเคมีและการทนความร้อน



รูปที่ 5.1 การควบคุมอุณหภูมิของการเผากระเบื้องที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.2 การควบคุมอุณหภูมิของการเผากระเบื้องที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.3 การควบคุมอุณหภูมิของการเผากระเบื้องที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

การควบคุมอุณหภูมิของการเผากระเบื้องในงานวิจัยนี้เป็นไปตามหลักการดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 (หัวข้อ 3.9.7) โดยใช้เวลาในการเผาแช่ไฟ (Soaking time) เท่ากับ 1 ชั่วโมง

5.1.1 การทดสอบความแข็งแรงเชิงกล (Mechanical strength test)

เป็นการทดสอบหาค่าความแข็งแรงภายใต้กำลังรับแรงดัด ดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.4 5.5 และ 5.6 เมื่อพิจารณาค่ากำลังรับแรงดัดพบว่ากระเบื้องที่ผ่านมาตรฐาน มอก.36-2516 และ มอก.37-2529 คือกระเบื้องที่ผ่านการเผา ณ อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส โดยเมื่อมีการแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้วในอัตราส่วน 0% 25% 50% 75% และ 100% ค่ากำลังรับแรงดัดมีค่าลดลงเป็น 48.11 42.29 36.65 35.15 และ 33.50 ตามลำดับ แต่ก็ยังมีค่าไม่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน จากผลดังกล่าวแสดงว่าสามารถใช้ของเสียที่เป็นแก้วแทนเฟลด์สปาร์ได้ 100%

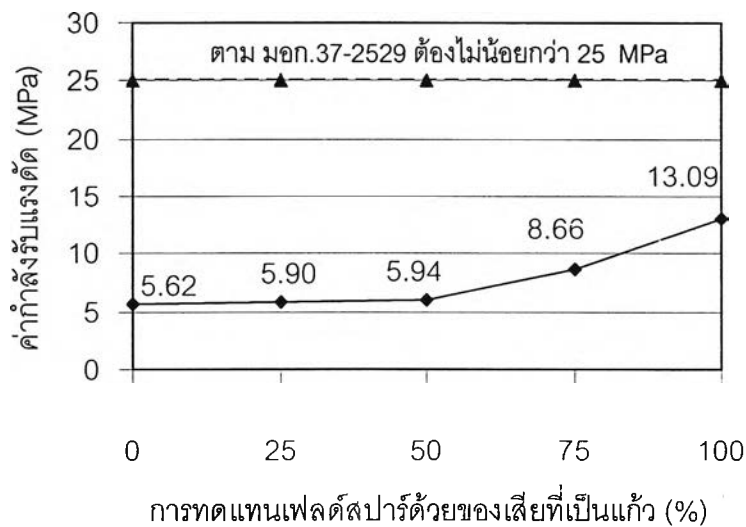
จากค่ากำลังรับแรงดัดของการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้ว 100% ที่ยังสูงเกินมาตรฐานนี้ประกอบกับแก้วสามารถหลอมได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเฟลด์สปาร์ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานจึงทดลองลดอุณหภูมิในการเผาลงเหลือ 1100 และ 1000 องศาเซลเซียสตามลำดับ ผลปรากฏว่าค่ากำลังรับแรงดัดที่ได้มีค่าลดลงดังรูปที่ 5.7 โดยพบว่ากระเบื้องที่เผา ณ อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียสมีค่ากำลังรับแรงดัดต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้เพียงเล็กน้อยคือ มีค่ากำลังรับแรงดัด เท่ากับ 24.55 เมกกะปาสคาล ในขณะที่มอก.37-2529 กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 25 เมกกะปาสคาล

ส่วนผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงดัดของกระเบื้องที่ใช้เฟลด์สปาร์ 100% (ไม่มีของเสียที่เป็นแก้ว) พบว่า เมื่อลดอุณหภูมิเหลือ 1100 และ 1000 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมละลายของเฟลด์สปาร์ ค่ากำลังรับแรงดัดลดลงอย่างมาก กล่าวคือ มีค่า 5.85 และ 5.62 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมที่มีแก้วที่เผา ณ อุณหภูมิเดียวกันพบว่าส่วนผสมที่มีแก้วให้ค่ากำลังรับแรงดัดที่สูงกว่า ดังนั้นการใช้ของเสียที่เป็นแก้วแทนเฟลด์สปาร์ในกรณีนี้จะ

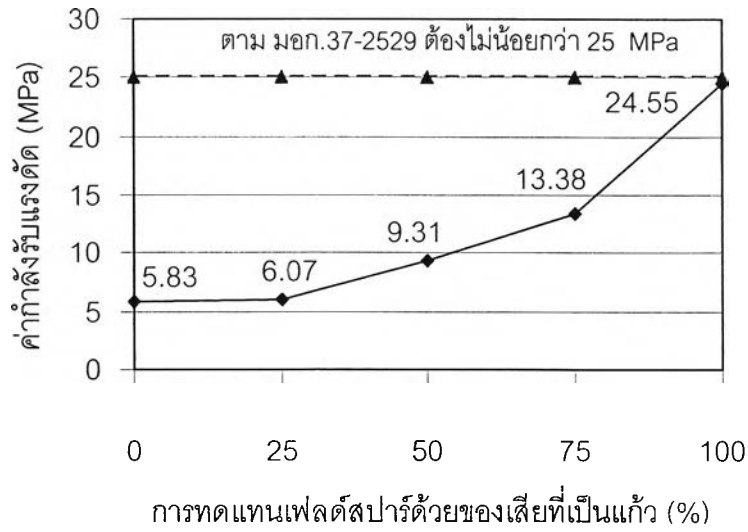
ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงมากขึ้น กระเบื้องที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.36-2516 ซึ่งถือว่าดีและเป็นข้อดีและเป็นการลดต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิต

ตารางที่ 5.1 ค่ากำลังรับแรงดัด (เมกะปาสคาล) ของกระเบื้องหลังการเผา

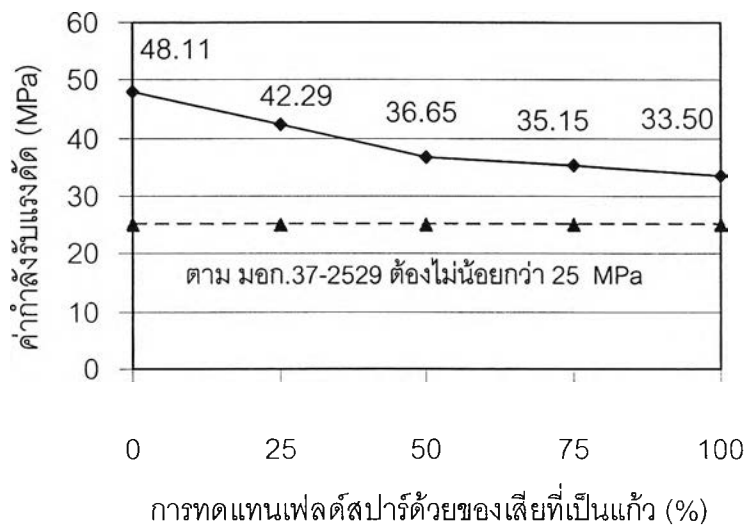
การทดลอง	อุณหภูมิที่ใช้เผา (องศาเซลเซียส)		
	1000	1100	1200
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 100% และขูดแก้ว 0%)	5.62	5.85	48.11
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 75% และขูดแก้ว 25%)	5.90	6.07	42.29
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 50% และขูดแก้ว 50%)	5.94	9.31	36.65
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 25% และขูดแก้ว 75%)	8.66	13.38	35.15
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 0% และขูดแก้ว 100%)	13.09	24.55	33.50
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนัง มอก.36-2516	ไม่กำหนด		
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนัง มอก.37-2529	ไม่น้อยกว่า 25 เมกะปาสคาล		



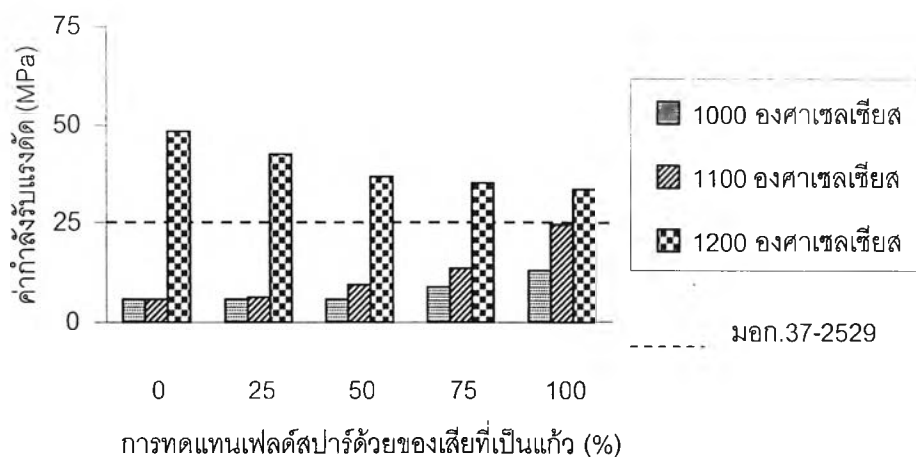
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้ว (%) กับค่ากำลังรับแรงดัดหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสี้ยที่เป็นแก้ว (%) กับ ค่ากำลังรับแรงดัดหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสี้ยที่เป็นแก้ว (%) กับ ค่ากำลังรับแรงดัดหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดัด (MPa) กับการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้ว (%) ที่อุณหภูมิ 1000 1100 และ 1200 องศาเซลเซียส

5.1.2 การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption test)

เมื่อพิจารณาค่าการดูดซึมน้ำ ดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.8 5.9 และ 5.10 พบว่า กระเบื้องที่ผ่านมาตรฐาน มอก.36-2516 และ มอก.37-2529 คือกระเบื้องที่ผ่านการเผา ณ อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส โดยเมื่อมีการแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้วในอัตราส่วน 0% 25% 50% 75% และ 100% ค่าการดูดซึมน้ำจะมีค่า 2.95 3.10 4.97 5.30 และ 5.83 ตามลำดับ จากผลดังกล่าวแสดงว่าสามารถใช้ของเสียที่เป็นแก้วแทนเฟลด์สปาร์ได้ 100% โดยกระเบื้องที่ได้มีค่าการดูดซึมน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

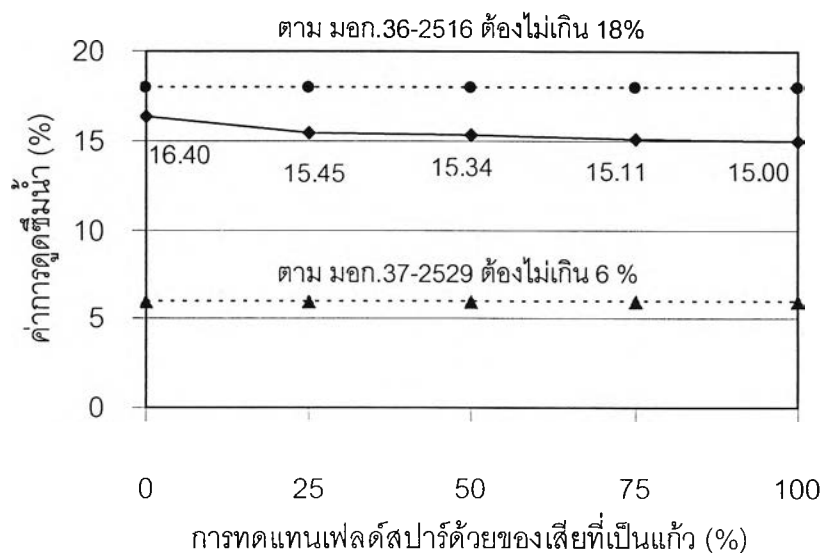
จากค่าการดูดซึมน้ำของการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้ว 100% ที่ยังผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ประกอบกับแก้วสามารถหลอมได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเฟลด์สปาร์ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานจึงทดลองลดอุณหภูมิในการเผาองเหลือ 1100 และ 1000 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลปรากฏว่าค่าการดูดซึมน้ำผ่านมาตรฐาน มอก.36-2516 แต่ไม่ผ่านมาตรฐาน มอก.37-2529 ดังนั้นการนำของเสียที่เป็นแก้วมาแทนเฟลด์สปาร์และทำการเผาที่อุณหภูมิดังกล่าวจึงเหมาะสำหรับการผลิตกระเบื้องดินเผาผนัง

ส่วนผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องที่ใช้เฟลด์สปาร์ 100% (ไม่มีของเสียที่เป็นแก้ว) พบว่า เมื่อลดอุณหภูมิเหลือ 1100 และ 1000 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมละลายของเฟลด์สปาร์ ค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้นอย่างมาก กล่าวคือ มีค่า 15.11 และ 16.40 ตามลำดับ ค่าดังกล่าวผ่านมาตรฐาน มอก.36-2516 แต่ไม่ผ่านมาตรฐาน มอก.37-2529 ดังนั้นการใช้เฟลด์สปาร์ในส่วนผสมและเผาทำการเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมละลายนี้จะส่งผลทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าสูง ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับส่วนผสมที่มีแก้วที่เผา ณ อุณหภูมิเดียวกัน

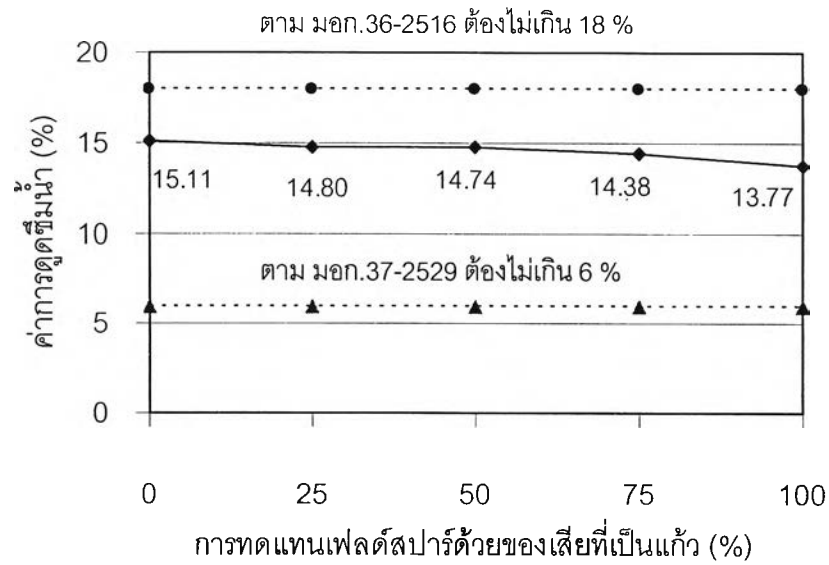
พบว่าส่วนผสมที่มีแก้วให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่า ดังนั้นการใช้ของเสียที่เป็นแก้วแทนเฟลด์สปาร์ในกรณีนี้จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติด้านการดูดซึมน้ำที่ดีขึ้น ซึ่งถือได้ว่าเป็นข้อดีและยังเป็นการลดต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิต

ตารางที่ 5.2 ค่าการดูดซึมน้ำ (%) ของกระเบื้องหลังการเผา

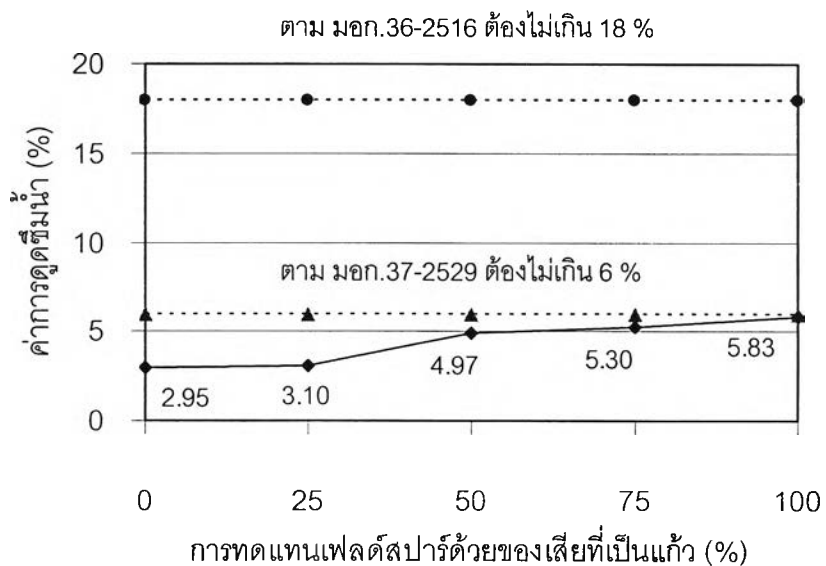
การทดลอง	อุณหภูมิที่ใช้เผา (องศาเซลเซียส)		
	1000	1100	1200
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 100% และขวดแก้ว 0%)	16.40	15.11	2.95
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 75% และขวดแก้ว 25%)	15.45	14.80	3.10
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 50% และขวดแก้ว 50%)	15.34	14.74	4.97
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 25% และขวดแก้ว 75%)	15.11	14.38	5.30
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 0% และขวดแก้ว 100%)	15.00	13.77	5.83
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนัง มอก.36-2516	ไม่เกิน 18%		
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนัง มอก.37-2529	ไม่เกิน 6%		



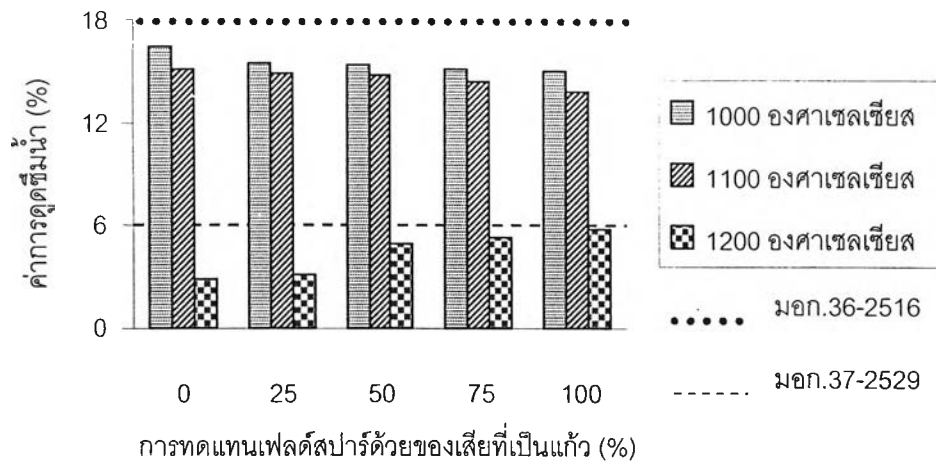
รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้ว (%) กับค่าการดูดซึมน้ำหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้ว (%) กับ ค่าการดูดซึมน้ำหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้ว (%) กับ ค่าการดูดซึมน้ำหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.11 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูซึมน้ำ (%) กับการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้ว (%) ที่อุณหภูมิ 1000 1100 และ 1200 องศาเซลเซียส

5.1.3 การทดสอบค่าการหดตัว (Firing shrinkage test)

จากการทดสอบหาค่าการหดตัวของกระเบื้องเซรามิก ดังตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.12 5.13 และ 5.14 พบว่ากระเบื้องที่ได้จากการเผา ณ อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส มีค่าการหดตัวสูง ทั้งนี้เพราะแก้วและเฟลด์สปาร์สามารถหลอมตัวได้ดี โดยเมื่อมีแก้วในส่วนผสมมากขึ้น โครงสร้างผลึกของแก้วอาจมีส่วนช่วยในการลดการหดตัว อีกปัจจัยหนึ่งของการหดตัวขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ในวัตถุดิบ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539) ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ที่แร่เฟลด์สปาร์มีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าแก้วสีขาที่เติมลงไป ค่าการหดตัวจึงสูงกว่าส่วนผสมที่มีแก้ว

กรณีนี้ที่เผาที่อุณหภูมิ 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส เฟลด์สปาร์ยังไม่หลอมละลายค่าการหดตัวจึงมีค่าน้อย แต่เมื่อเพิ่มแก้วในส่วนผสมการหดตัวจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.15 ทั้งนี้เพราะแก้วหลอมละลายที่อุณหภูมิดังกล่าว

5.1.4 การทดสอบการทนสารเคมี (Chemical durability test)

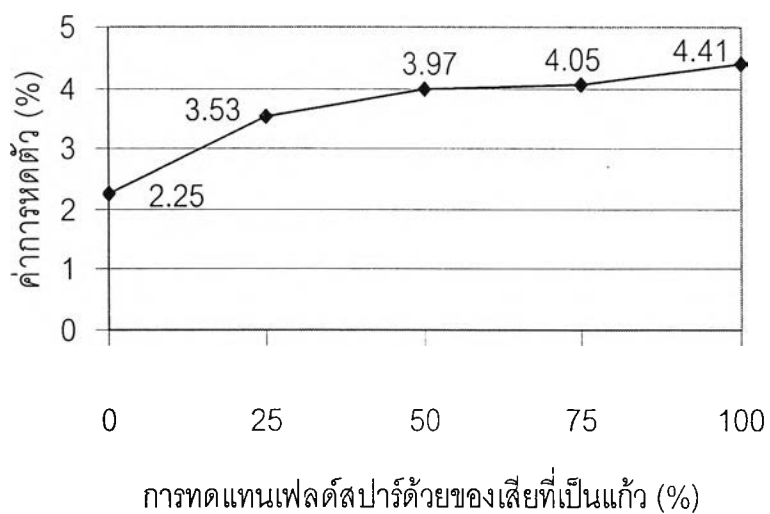
จากการทดสอบการทนสารเคมีของกระเบื้องเซรามิกหลังการเผา ดังตารางที่ 5.4 พบว่า กระเบื้องทุกส่วนผสมสามารถทนกรด (สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 3% โดยปริมาตร) และทนด่าง (สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3% โดยน้ำหนัก) ได้ เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ได้ทำการพิจารณาที่ผิวของกระเบื้องส่วนที่แช่ในสารเคมีกับบริเวณที่ไม่ได้แช่ไม่พบข้อแตกต่าง ทำให้สรุปได้ว่ากระเบื้องในงานวิจัยนี้มีคุณสมบัติด้านการทนสารเคมี

ตารางที่ 5.3 ค่าการหดตัว (%) ของกระเบื้องหลังการเผา

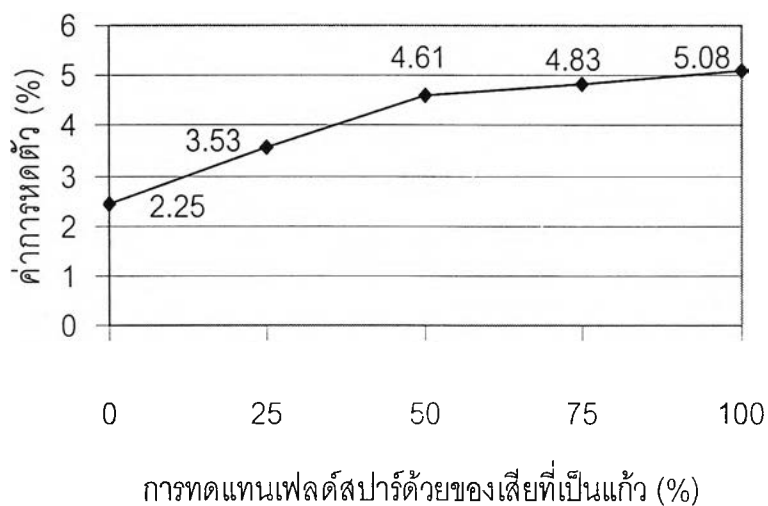
การทดลอง	อุณหภูมิที่ใช้เผา (องศาเซลเซียส)		
	1000	1100	1200
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 100% และขวดแก้ว 0%)	2.25	2.42	15.48
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 75% และขวดแก้ว 25%)	3.53	3.58	14.73
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 50% และขวดแก้ว 50%)	3.97	4.61	10.23
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 25% และขวดแก้ว 75%)	4.05	4.83	10.02
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 0% และขวดแก้ว 100%)	4.41	5.08	7.76
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนัง มอก.36-2516	ไม่กำหนด		
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนัง มอก.37-2529	ไม่กำหนด		

ตารางที่ 5.4 ผลการทนสารเคมีของกระเบื้องหลังการเผา

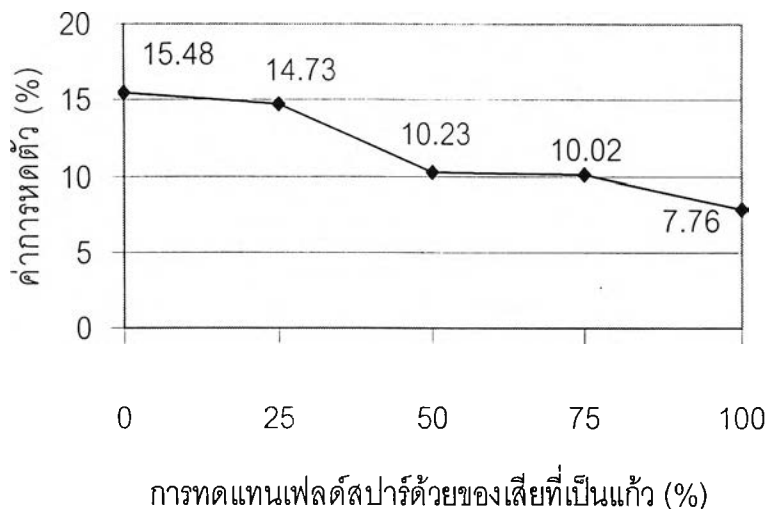
การทดลอง	อุณหภูมิที่ใช้เผา (องศาเซลเซียส)		
	1000	1100	1200
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 100% และขวดแก้ว 0%)	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 75% และขวดแก้ว 25%)	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 50% และขวดแก้ว 50%)	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 25% และขวดแก้ว 75%)	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 0% และขวดแก้ว 100%)	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนัง มอก.36-2516	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง		
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนัง มอก.37-2529	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง		



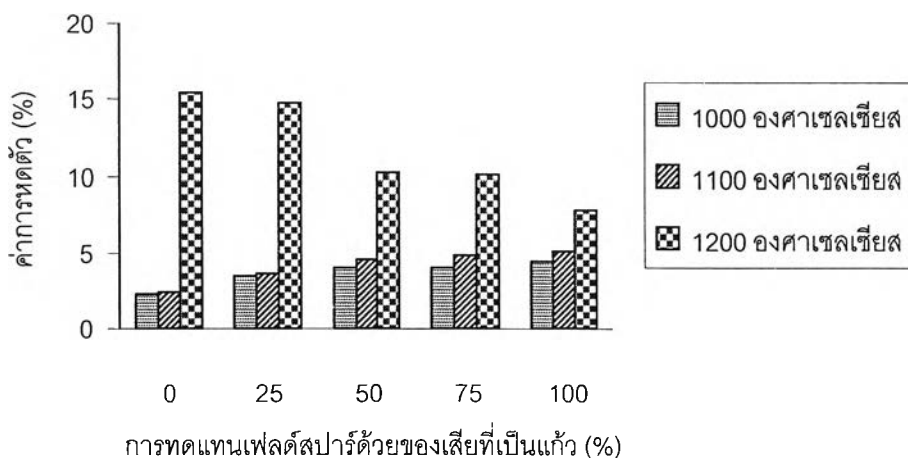
รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้ว (%) กับ ค่าการหดตัว (%) ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้ว (%) กับ ค่าการหดตัว (%) ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้ว (%) กับค่าการหดตัว (%) ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.15 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัว (%) กับการทดแทนเฟลด์สปาร์ด้วยของเสียที่เป็นแก้ว (%) ที่อุณหภูมิ 1000 1100 และ 1200 องศาเซลเซียส

5.1.5 การทดสอบความทนการราน (Crazing durability test)

จากการทดสอบความทนการรานของกระเบื้องหลังการเผา ดังตารางที่ 5.5 พบว่าเมื่อพิจารณาที่ผิวของกระเบื้องหลังการหยดเมธิลีนบลู 1% ไม่พบรอยเส้นของการราน ทำให้สรุปได้ว่ากระเบื้องในงานวิจัยนี้มีคุณสมบัติด้านความทนการราน

ตารางที่ 5.5 ผลความทนการรานของกระเบื้องหลังการเผา

การทดลอง	อุณหภูมิที่ใช้เผา (องศาเซลเซียส)		
	1000	1100	1200
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 100% และขวดแก้ว 0%)	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 75% และขวดแก้ว 25%)	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 50% และขวดแก้ว 50%)	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 25% และขวดแก้ว 75%)	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
ส่วนผสมที่มี (เฟลด์สปาร์ 0% และขวดแก้ว 100%)	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนัง มอก.36-2516	ไม่ปรากฏรอยร้าวบนผิว		
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนัง มอก.37-2529	ไม่ปรากฏรอยร้าวบนผิว		

5.2 คุณสมบัติทางเคมีขององค์ประกอบ

คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญในด้านความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ซึ่งถือได้ว่าเป็นปัจจัยหลักของคุณภาพกระเบื้องเซรามิกจะพิจารณาแร่ธาตุที่สำคัญอยู่ 2 ธาตุ คือ SiO_2 และ Al_2O_3 (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539) โดยในงานวิจัยนี้ได้นำขวดแก้วสีขามาใช้แทนเฟลด์สปาร์ เมื่อทำการวิเคราะห์ซึ่งให้ผลดังตารางที่ 5.6 พบว่าเฟลด์สปาร์และขวดแก้วสีขามีปริมาณ SiO_2 ใกล้เคียงกัน (ประมาณ 70% โดยน้ำหนัก) แต่มีปริมาณ Al_2O_3 ที่ต่างกัน กล่าวคือขวดแก้วสีขามีปริมาณที่น้อยกว่า ซึ่งจากผลที่เป็นดังนี้อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกระเบื้องในด้านความแข็งแรงได้ แต่ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นอยู่กับปริมาณที่นำมาใช้ทดแทน (ดูผลการวิเคราะห์ทางเคมีทั้งหมดของขวดแก้วสีขาในภาคผนวก ค.)

ตารางที่ 5.6 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบด้วยวิธีเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF)

ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบ (%โดยน้ำหนัก)							
	Na_2O	Al_2O_3	SiO_2	CaO	K_2O	TiO_2	Fe_2O_3	MgO
ดินดำ	0.28	25.05	60.24	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
ขวดแก้วสีขา	15.87	1.26	70.69	10.65	0.15	0.08	0.25	1.06
ทรายแก้วบด	0.02	0.45	98.90	0.03	0.03	0.05	0.04	0.04

จากองค์ประกอบของแก้วและเฟลด์สปาร์ที่มี SiO_2 ใกล้เคียงกันทำให้ตัวอย่างกระเบื้องที่มีแก้ว 0% และตัวอย่างกระเบื้องที่มีแก้ว 100% มีค่า SiO_2 ไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 5.7 และพบว่า อุณหภูมิในการเผาไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทางเคมี

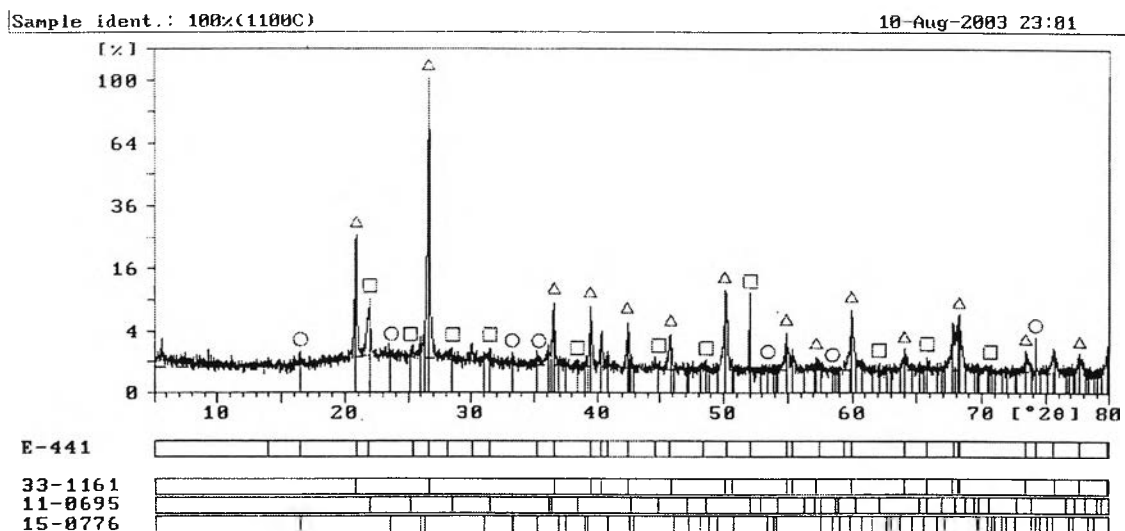
จากองค์ประกอบของแก้วและเฟลด์สปาร์ที่มี Al_2O_3 น้อยกว่าในเฟลด์สปาร์มาก ทำให้ตัวอย่างกระเบื้องที่มีแก้ว 100% มีค่า Al_2O_3 น้อยกว่าตัวอย่างกระเบื้องที่มีแก้ว 0% ดังแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ผลวิเคราะห์ทางเคมีกระเบื้องเซรามิกด้วยวิธีเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF)

ตัวอย่าง		ปริมาณสารประกอบ (%โดยน้ำหนัก)							
แก้ว	อุณหภูมิที่เผา	Na_2O	Al_2O_3	SiO_2	CaO	K_2O	TiO_2	Fe_2O_3	MgO
0%	1100 °C	2.60	13.29	81.61	0.30	1.07	0.22	0.57	0.33
100%	1100 °C	4.39	8.84	82.55	2.22	0.77	0.26	0.52	0.46
0%	1200 °C	3.38	12.25	81.90	0.32	0.96	0.25	0.50	0.32
100%	1200 °C	4.12	10.27	82.08	1.40	0.89	0.26	0.55	0.42

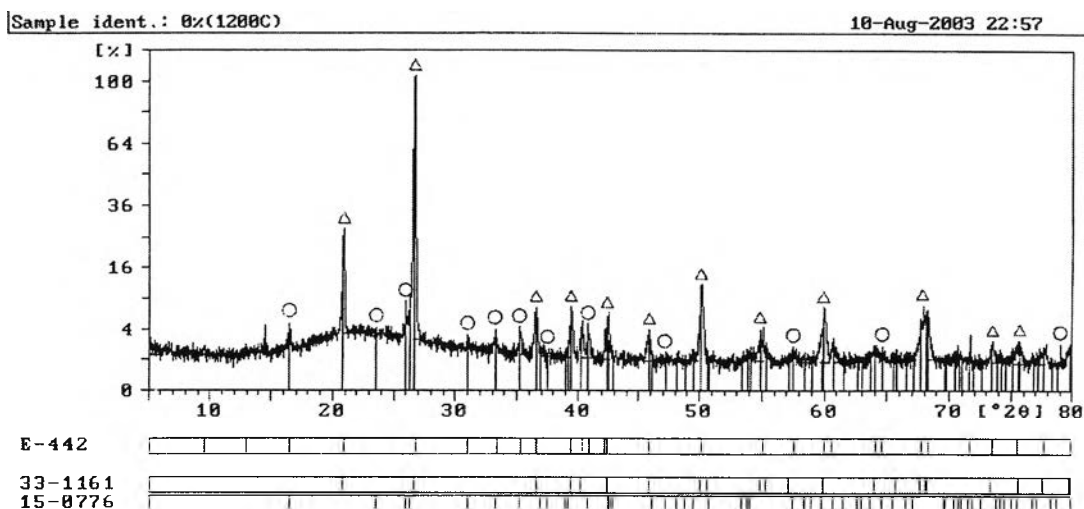
5.3 เฟสที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์

ในการวิเคราะห์หาเฟสได้ทำการเลือกส่วนผสมที่ผ่านมาตรฐาน คือ ส่วนผสม (แก้ว 100% เผาที่ 1100 องศาเซลเซียส) (แก้ว 0% เผาที่ 1200 องศาเซลเซียส) และ (แก้ว 100% เผาที่ 1200 องศาเซลเซียส) ดังรูปที่ 5.16 5.17 และ 5.18 พบว่ากระเบื้องหลังเผาเกิดเฟสของสารประกอบที่สำคัญที่สำคัญคือ ควอตซ์ (SiO_2) และในตัวอย่างที่มีแก้วเป็นองค์ประกอบเกิดเฟส Cristobalite (SiO_2) โดยเฟสที่สำคัญที่พบคือเฟสของมัลไลต์ ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายเข็มที่มีความแข็งแรงสูง และเป็นส่วนที่ให้ความแข็งแรงสูงในเซรามิก โดยพบทั้งสามตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ แต่การเกิดมัลไลต์ที่สมบูรณ์จะต้องเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1200 องศาเซลเซียส (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539) ผลดังกล่าวจึงเป็นผลที่สามารถยืนยันถึงความแข็งแรงของกระเบื้องที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ยังทำให้สรุปได้ว่าการนำขวดแก้วสีขาวเข้ามาแทนเฟลด์สปาร์สามารถทำได้และกระเบื้องที่ได้ก็มีความแข็งแรง



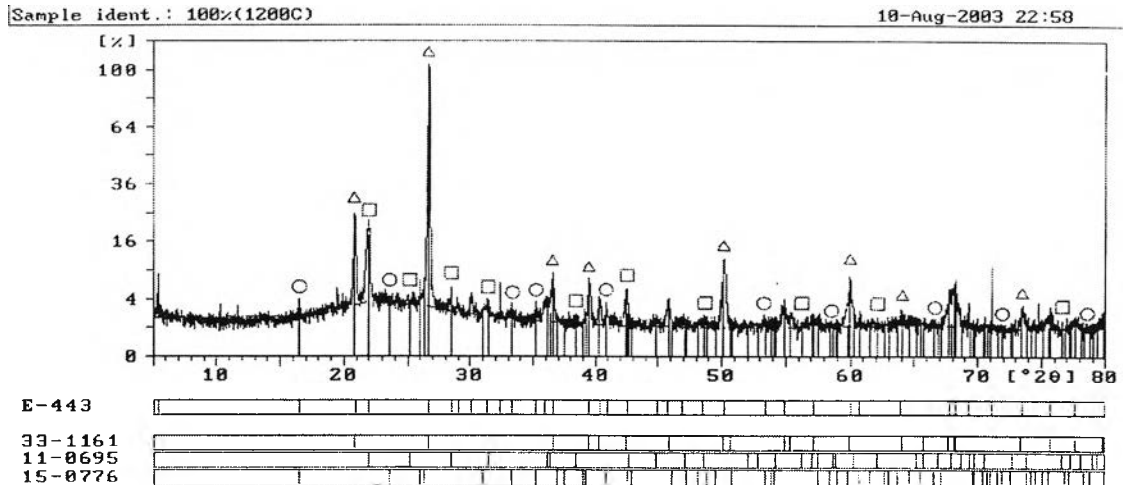
△ = Quartz, □ = Cristobalite, ○ = Mullite

รูปที่ 5.16 ผลการวิเคราะห์เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) ของกระเบื้องส่วนผสม
(แก้ว 100% เเผที่ 1100 องศาเซลเซียส)



△ = Quartz, ○ = Mullite

รูปที่ 5.17 ผลการวิเคราะห์เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) ของกระเบื้องส่วนผสม
(แก้ว 0% เเผที่ 1200 องศาเซลเซียส)



△ = Quartz, □ = Cristobalite, ○ = Mullite

รูปที่ 5.18 ผลการวิเคราะห์เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชั่น (XRD) ของกระเบื้องส่วนผสม (แก้ว 100% เเผที่ 1200 องศาเซลเซียส)

5.4 การประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้น

จากตารางที่ 5.8 แสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตกระเบื้องเซรามิกโดยนำสัดส่วนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (แก้ว 100% เเผที่ 1200 องศาเซลเซียส) และ (แก้ว 0% เเผที่ 1200 องศาเซลเซียส) ซึ่งผ่านมาตรฐาน มอก.36-2516 และ มอก.39-2529 มาเปรียบเทียบ เมื่อคิดเป็นราคาของกระเบื้องต่อ 1 แผ่น พบว่าราคาของส่วนผสม (แก้ว 100% เเผที่ 1200 องศาเซลเซียส) คือ 9.08 บาท ในขณะที่ส่วนผสม (แก้ว 0% เเผที่ 1200 องศาเซลเซียส) คือ 11.18 บาท ซึ่งเมื่อพิจารณากระเบื้องทั้งสองส่วนผสมนี้พบว่า การนำของเสียที่เป็นแก้ว (ขวดแก้วสีชา) มาแทนแร่เฟลด์สปาร์สามารถลดต้นทุนในการผลิต 2.11 บาท เนื่องจากเตาที่ใช้ในการเผาเป็นเตาที่ใช้ในห้องทดลอง ซึ่งมีขนาดเล็กและมีความจุน้อย อีกทั้งราคาวัตถุดิบที่นำมาคำนวณเป็นราคาที่สั่งซื้อในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับการสั่งซื้อในอุตสาหกรรม ทำให้ราคาของกระเบื้องที่ผลิตได้มีราคาสูง นอกจากค่าใช้จ่ายที่ลดลงนี้แล้ว การนำของเสียที่เป็นแก้วมาแทนแร่เฟลด์สปาร์ยังเป็นทางหนึ่งของการจัดการของเสียโดยเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ ช่วยลดปริมาณขยะโดยเฉพาะขวดแก้วสีชาซึ่งมีอยู่ในปริมาณมากในปัจจุบันได้อีกทางหนึ่ง

ตารางที่ 5.8 ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตกระเบื้องเซรามิกต่อจำนวนกระเบื้อง 80 แผ่น

ค่าใช้จ่าย	ราคาต่อหน่วย	(แก้ว 100% เเผาที่ 1200°C)		(แก้ว 0%เผาที่ 1200°C)	
		จำนวนที่ใช้	ราคา (บาท)	จำนวนที่ใช้	ราคา (บาท)
ดินดำ	50 บาทต่อ กก.	4.81 กก.	240.50	4.81 กก.	240.50
เฟลด์สปาร์	58 บาทต่อ กก.	-	-	2.99 กก.	173.42
ทรายอบแห้ง	37 บาทต่อ กก.	5.20 กก.	192.40	5.20 กก.	192.40
ขวดแก้วสีชา	0.25 บาทต่อ กก.	2.99 กก.	0.75	-	-
*ค่าพลังงานที่ใช้ในเตาอบ	9 บาทต่อ ชม.	2 ชม.	18.00	2 ชม.	18.00
*ค่าพลังงานในการบด	4.50 บาทต่อ ชม.	1.00 ชม.	4.50	-	-
*ค่าพลังงานในการขึ้นรูป	9.30 บาทต่อ ชม.	2.50 ชม.	23.25	2.50 ชม.	23.25
ค่าแก๊สที่ใช้ในการเผา	740 บาทต่อ ถัง	1/3 ถัง	246.67	1/3 ถัง	246.67
รวม	-	-	726.07	-	894.24

*กำลังไฟฟ้าของเครื่องบด = 1.50 กิโลวัตต์

*กำลังไฟฟ้าของเตาอบ = 3.00 กิโลวัตต์

*กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดขึ้นรูป = 3.10 กิโลวัตต์