

รายงานการวิจัย

การผลิตตัวกรองมลไลต์โดยวิธีเทน้ำสลิป

The Production Mullite Filter by Slip Casting Method



ผศ. ดร. สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว

เมษายน 2549

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก

เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี 2547

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมตัวกรองเซรามิกจากวัตถุดิบที่เป็นดินขาว ดินดำ และอะลูมินา ซึ่งขึ้นรูปด้วยวิธีการเทน้ำสลิป น้ำดินเตรียมจากดินดำหรือดินขาว อะลูมินา น้ำ โพลีไวนิล แอลกอฮอล์และโซเดียมซิลิเกต และเผาที่ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากผลทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวกรองเซรามิกทั้งชนิดดินดำและดินขาวหลังการเผามีเฟสของมัลไลต์ เกิดขึ้น การเพิ่มเปอร์เซ็นต์อะลูมินาในน้ำสลิปทำให้ตัวกรองมีความพรุนเพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์การหดตัวลดลง เปอร์เซ็นต์อะลูมินาที่เหมาะสมในการผลิตตัวกรองเซรามิกจากดินทั้งสองชนิด คือ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของของแข็ง สมบัติของตัวกรองดินดำที่มีอะลูมินาในปริมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว ค่าความพรุน ขนาดรูพรุนเฉลี่ย ฟลักซ์น้ำและค่าการกักเก็บที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที และความต่างความดัน 4.75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เท่ากับ 3.21 เปอร์เซ็นต์ 22.50 เปอร์เซ็นต์ 0.86 ไมโครเมตร 150 ลิตรต่อ (ตารางเมตร-ชั่วโมง) และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



Abstract

This research was to prepare the ceramic filter from china clay, ball clay and alumina by slip casting method. The slip was prepared from ball clay or china ball clay, alumina, water, polyvinyl alcohol and sodium silicate and fired at 1200°C for 2 hours. The results showed that when the fired ceramic filter of both clay occurred mullite phase. The increasing of percent of alumina in slip, the porosity increased whereas the shrinkage decreased. The suitable percent of alumina for both of clay types of ceramic filter preparation was 60 % weight of solid. It's properties showed that the percent of shrinkage, porosity, pore size, water flux and percent of rejection at 5 lit/min of flow rate and 4.75 psi of transmembrane pressure were 3.21 %, 22.50 %, 0.86 μm , 150 $\text{l/m}^2\text{hr}$ and 100 %, respectively.



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากการสนับสนุนและการร่วมมือเป็นอย่างดีจาก บุคคลและเจ้าหน้าที่ภายในภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มศว. องค์รักษ์ ตลอดจนขอขอบคุณ นิสิตช่วยงานวิจัย นางสาวสมิตรา นาคเครือ นายสำราญ ท่อกะโทก นาย มณฑป เกษมอำไพพรรณ ที่ได้ทุ่มเททั้งร่างกายและแรงใจในการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผ.ศ. บัญชา ศิลปสกุลสุข ที่ให้เสียสละเวลา ตลอดจนภาควิชาฟิสิกส์ที่ได้ให้ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องวิเคราะห์ XRD ตลอดจนศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติที่ได้ช่วยวิเคราะห์ SEM

ขอขอบ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ได้ให้การสนับสนุน เงินทุนวิจัยจากเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี 2547 ดากสัญญาเลขที่ 020/2547 ตลอดจนเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัยของมหาวิทยาลัยที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และให้คำแนะนำในการ จัดทำงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

ดร. สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์	1
1.4 ขอบเขตการวิจัย	1
1.5 แผนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 วิธีการผลิตตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีการเทน้ำสลิป	3
2.2 การขึ้นรูปวิธีการเทน้ำสลิป	3
2.3 มัลไลต์	4
2.4 กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน	5
2.5 การประยุกต์ใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน	7
2.6 การประยุกต์ใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชันในเทคโนโลยีชีวภาพ	7
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.7.1 กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์	8
2.7.2 การสังเคราะห์มัลไลต์	9
2.7.3 กระบวนการกรอง	
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง	12
3.1 สารเคมี	12
3.2 อุปกรณ์	12
3.3 การดำเนินการทดลอง	12
3.3.1 การเตรียมแม่แบบปูนปลาสเตอร์	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
3.1.2 ชนิดของดินสำหรับการหล่อ	13
3.3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ	13
3.3.4 การทดสอบการกรองน้ำ	15
3.3.5 การทดสอบการกรองเชื้อยีสต์	16
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	18
4.1 โครงสร้างและโครงสร้างจุลภาคของวัตถุดิบ	18
4.2 ปริมาณสารช่วยกระจายตัว	20
4.3 โครงสร้างและโครงสร้างจุลภาคก่อนเผาและหลังการเผา	21
4.4 ผลของเปอร์เซ็นต์อะลูมินาต่อสมบัติกายภาพ	24
4.5 สมบัติการกรองน้ำ	28
4.6 สมบัติการกรองเชื้อ	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	30
5.1 สรุปผลการทดลอง	30
5.2 ข้อเสนอแนะ	30
เอกสารอ้างอิง	31
ประวัติผู้วิจัย	33

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติของมลโไลต์ที่อุณหภูมิต้อง	5
2.1	ชนิดแร่ที่พบในแหล่งดิน Sindrgi และ Kure	9
2.3	สารตั้งต้นและตัวทำละลายในการเตรียมเจลต่างๆ	10
3.1	อัตราส่วนของอะลูมินาต่อดินดำที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อปริมาณน้ำเป็น 42 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก	13
3.2	อัตราส่วนของอะลูมินาต่อดินขาวที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อปริมาณน้ำเป็น 42 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก	13
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของดินดำ ดินขาว และอะลูมินา	18
4.2	ขนาดรูพรุนและความพรุน	26



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กระบวนการเหน้าสลิป	4
2.2	การเปรียบเทียบการกรองแบบบ่่ายบิตและแบบไหลขวาง	6
3.1	แผนภาพแสดงทิศทางการไหล (ก) และชุดทดสอบการกรอง (ข)	16
4.1	พีค XRD ของดินดำ (ก) ดินขาว (ข) และ อะลูมินา (ค) เมื่อ K = Kaolinite; F = Feldspars; C = Cristobalite; Q = Quartz; A = alumina	18
4.2	จุลโครงสร้างของดินดำ (ก) ดินขาว (ข) และ อะลูมินา (ค) ที่กำลังขยาย 1500 เท่า (ด้านซ้าย) และ 10000 เท่า (ด้านขวา)	19
4.3	ค่าความหนืดของน้ำดินที่เตรียมจากดินดำ (ก) และดินขาว (ข) เมื่อ ปริมาณการเติมอะลูมินาในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ปริมาณน้ำในน้ำดินเท่ากับ 42.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	20-21
4.4	พีค XRD ของตัวอย่างของตัวกรองดินดำ (1) ตัวกรองดินดำที่เติมอะลูมิ นา 60 เปอร์เซ็นต์ (2) ตัวกรองดินขาว (3) และตัวกรองดินขาวที่เติม อะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์ ก่อนเผา ที่ 1200 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง เมื่อ A คือ Alumina K คือ Kaolinite Q คือ Quartz	22
4.5	พีค XRD ของตัวอย่างของตัวกรองดินดำ (1) ตัวกรองดินดำที่เติมอะลูมิ นา 60 เปอร์เซ็นต์ (2) ตัวกรองดินขาว (3) และตัวกรองดินขาวที่เติม อะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์ หลังเผาที่ 1200 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง เมื่อ A คือ Alumina K คือ Kaolinite Q คือ Quartz	23
4.6	โครงสร้างจุลภาคของตัวกรองเซรามิกหลังเผาที่ 1200 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ที่เปอร์เซ็นต์อะลูมินา 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของ ของแข็งที่กำลังขยาย 1500 เท่า (ด้านซ้าย) และ 10000 เท่า (ด้านขวา) ของดินขาว (ก) และดินดำ (ข)	24
4.7	ความพรุน เปอร์เซ็นต์การหดตัวและความหนาแน่นของตัวกรองของตัว กรองดินดำที่เปอร์เซ็นต์การเติมอะลูมินาต่างๆ หลังเผา 1200 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	25
4.8	ความพรุน เปอร์เซ็นต์การหดตัวและความหนาแน่นของตัวกรองดินขาว ที่เปอร์เซ็นต์การเติมอะลูมินาต่างๆ หลังเผา 1200 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 2 ชั่วโมง	26
4.9	ขนาดรูพรุนของตัวกรองดินขาวที่เปอร์เซ็นต์อะลูมินาต่างๆ หลังเผา 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.10	ขนาดรูปทรงของตัวกรองดินดำที่เปอร์เซ็นต์อะลูมินาต่างๆ หลังเผา 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	27
4.11	กราฟแสดงปริมาณฟลักซ์น้ำที่กรองได้โดยใช้ตัวกรองดินขาวและดินดำที่ปริมาณการเติมอะลูมินาต่างๆ	28
4.12	กราฟแสดงค่าการกักกันสารของตัวกรองดินขาวและดินดำที่ปริมาณการเติมอะลูมินาต่างๆ	29



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันรัฐบาลได้ส่งเสริมให้เกิดงานวิจัยและการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับกระบวนการทางชีวภาพเพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้าทางการเกษตรโดยเฉพาะกระบวนการหมัก ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย แต่กระบวนการหมักจำเป็นต้องมีการแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำหมัก ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคการกรอง สำหรับกระบวนการกรองที่นิยมใช้ในกระบวนการหมักคือ กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน สำหรับกระบวนการไมโครฟิลเตรชันจำเป็นต้องใช้ตัวกรองซึ่งใช้ได้ทั้งแบบเซรามิกและพอลิเมอร์ แต่ในกระบวนการหมักจำเป็นต้องมีการฆ่าเชื้อซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูง ดังนั้นทำให้ดัดกรองเซรามิกเป็นที่นิยมใช้ ตัวกรองเซรามิกส์สามารถแบ่งได้ตามชนิดของวัสดุได้ เช่น ตัวกรองสารประกอบซิลิกา ตัวกรองอะลูมินา ตัวกรองเซอร์โคเนีย ตัวกรองไทเทเนีย เป็นต้น ตัวกรองสารประกอบซิลิกาเป็นตัวกรองที่มีราคาถูก และนิยมใช้กันทั่วไป แต่ไม่ทนต่อการกัดกร่อนจากเบส ไม่สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงและมีความแข็งแรงต่ำ ขณะที่ตัวกรองอะลูมินาเป็นตัวกรองที่มีความแข็งแรง ทนต่อสภาพกรด-เบส แต่มีราคาแพง

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น ตัวกรองเซรามิกส่วนใหญ่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาวิธีการสร้างตัวกรองมัลไลต์ มัลไลต์เป็นเซรามิกที่มีค่าการขยายตัวทางความร้อนต่ำ เหมาะสำหรับงานทางเทคโนโลยีชีวภาพ งานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นที่จะพยายามหาวัตถุดิบภายในประเทศ คือดินขาวหรือดินดำซึ่งเป็นดินที่สามารถหาได้ในประเทศ เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตตัวกรองมัลไลต์และใช้วิธีการเทน้ำสลิบในการผลิตตัวกรอง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนผสมของดินขาวหรือดินดำต่ออะลูมินาที่เหมาะสม สำหรับผลิตตัวกรองด้วยวิธีการเทน้ำสลิบ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและทดสอบตัวกรองเซรามิกโดยทดสอบกับการกรองเชื้อยีสต์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

ได้ตัวกรองมัลไลต์ที่อาจนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการหมักหรือกระบวนการกรองได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

- 1.4.1 ทำการศึกษาโดยทำการเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้ดินดำ ดินขาวและอะลูมินา เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการขึ้นรูปตัวกรองเซรามิกโดยวิธีการเทน้ำสลิบ

- 1.4.2 ศึกษาผลของความหนืด ปริมาณสารช่วยกระจายตัวต่อความหนาของชั้นงานก่อนเผา
- 1.4.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิ ระยะเวลาในการเผาและอัตราส่วนของดินต่ออะลูมินาที่มีผลต่อคุณสมบัติของชั้นงานหลังเผา
- 1.4.4 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพต่อคุณสมบัติการกรองโดยเปรียบเทียบระหว่างการกรองน้ำและการกรองเชื้อยีสต์

แผนการดำเนินงาน

รวมระยะเวลาในการทำงาน 1 ปี

กิจกรรม	เดือน					
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
1. ค้นคว้าและสำรวจเอกสาร						
2. จัดซื้ออุปกรณ์และต่อชุดทดลองทำการออกแบบและสร้างชุดชุดผสมน้ำดินเพื่อเตรียมน้ำสลิปและชุดทดสอบการกรองเชื้อยีสต์						
3. ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบผลการใช้ดินดำ ดินขาวและอะลูมินาเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการขึ้นรูปตัวกรองเซรามิกโดลวิธีเทน้ำสลิปน้ำ						
4. ศึกษาผลของความหนืด ปริมาณสารช่วยกระจายตัวต่อความหนาของชั้นงานก่อนเผา						
5. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ขนาดรูพรุน ความหนาแน่น ความแข็งแรง เป็นต้น						
6. ทดลองสมบัติการกรองน้ำและการกรองเชื้อยีสต์						
7. เขียนรายงานฉบับสมบูรณ์						

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิธีการผลิตตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีการเทน้ำสลิป

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีการเทน้ำสลิป มีดังนี้

ขนาดอนุภาค ขนาดของอนุภาคเป็นตัวกำหนดขนาดของรูพรุน โดยอนุภาคขนาดใหญ่ จะให้รูพรุนขนาดใหญ่ นอกจากนี้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะตกตะกอนได้อย่างรวดเร็วในระหว่างการเทน้ำสลิป

สารเติมแต่ง (Additives) สารเติมแต่งได้แก่ ตัวประสาน (Binder) สารเพิ่มความ

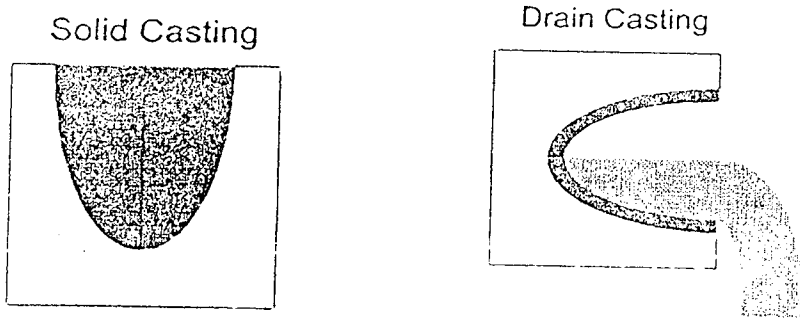
ยืดหยุ่น (Plasticizer) และสารช่วยการกระจายตัว (Deflocculant) เป็นต้น

ตัวประสาน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ตัวประสานอินทรีย์ เช่น เบนโทไนด์ และ ตัวประสานอินทรีย์ได้แก่ สารกลุ่มโพลีเมอร์ เช่น Poly-Vinyl Alcohol Sodium Carboxy Methyl Cellulose เป็นต้น ตัวประสานทำหน้าที่ความเหนียวและความแข็งแรงแก่ชิ้นงาน

สารช่วยการกระจายตัว เป็นสารที่เติมเข้าไปในน้ำสลิป ทำให้ผิวของอนุภาคเกิดประจุที่เหมือนกัน ทำให้อนุภาคเกิดการกระจายตัวและแขวนลอยอยู่ในสารละลายได้ สารช่วยการกระจายตัวที่นิยมใช้ได้แก่ กรด HNO_3 หรือ HCl Alkali hydroxide โซเดียมซิลิเกต เป็นต้น

2.2 การขึ้นรูปวิธีการเทน้ำสลิป

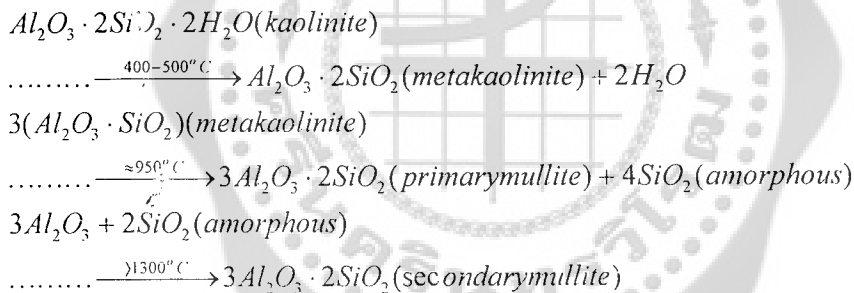
การขึ้นรูปวิธีการเทน้ำสลิป เป็นกระบวนการอาศัยความสามารถในการดูดน้ำจากแม่แบบ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ขั้นตอน คือ 1. การเทน้ำสลิปลงในแบบพิมพ์ที่มีรูพรุน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแม่แบบปูนปลาสเตอร์ที่แห้งสนิท ซึ่งบริเวณผิวแบบพิมพ์และเนื้อปูนปลาสเตอร์จะมีรูเล็กๆทำหน้าที่ดูดซับน้ำได้ดีเมื่อเทน้ำสลิปลงในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์แบบพิมพ์จะดูดซับน้ำจากสลิปตรงบริเวณผิวแบบพิมพ์ที่มีน้ำสลิปหล่ออยู่ การดูดซับน้ำของแบบพิมพ์จะเป็นไปอย่างต่อเนื่องและช้าๆ ความชื้นของน้ำจะถูกดูดเก็บไว้ในแบบพิมพ์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การจับตัวของชั้นสลิปตรงบริเวณผิวปูนปลาสเตอร์จะเริ่มขึ้นและชั้นดินจะหนาขึ้นเรื่อยๆทีละน้อย 2. เมื่อวัสดุมีความหนามากเพียงพอแล้ว กระบวนการหล่อจะถูกยับยั้งและน้ำสลิปที่มากเกินไปจะถูกเทออกจากช่องว่าง หลังจากนั้นทิ้งผลิตภัณฑ์ไว้ในแบบพิมพ์เพื่อ 3. รอจนกระทั่งชั้นของเนื้อสลิปเริ่มแข็งตัวหรือหดตัวลงเล็กน้อย เห็นช่องว่างระหว่างเนื้อสลิปและผิวแบบพิมพ์ เนื้อชิ้นงานจะร้อนออกมาจากแบบ รอจนกระทั่งชิ้นงานแห้ง จึงทำการแกะออกจากพิมพ์ ดังแสดงดังในรูป



รูปที่ 2.1 กระบวนการเทน้ำสลิป

2.3 มัลไลต์

มัลไลต์เป็นเซรามิกชนิดหนึ่งที่มีองค์ประกอบหลักเป็นอะลูมินา และซิลิกา มีสูตรโครงสร้างเป็น $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ มีผลึกรูปเข็ม มีจุดหลอมเหลว $1700 - 1750^{\circ}C$, มีค่าคงที่การนำความร้อนสูงเป็นฉนวนไฟฟ้า, ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิความร้อน, ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและด่าง มัลไลต์เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะลูมินาและซิลิกา โดยวัตถุดิบที่นิยมใช้ในการเตรียมมัลไลต์ได้แก่ ดินขาว และอะลูมินา ซึ่งมีสมการแสดงปฏิกิริยาดังนี้



มัลไลต์คือสารผสมระหว่างอะลูมินาและซิลิกาในอัตราส่วนของ $SiO_2:Al_2O_3$ เป็น 3:2 และมีสูตรโมเลกุลเป็น $3SiO_2 \cdot 2Al_2O_3$ มัลไลต์เป็นเซรามิกที่สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง มีค่าการขยายตัวทางความร้อนต่ำ มัลไลต์ใช้ประยุกต์ในงานทางด้านความต้านทานคุณสมบัติของมัลไลต์ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของมัลไลต์ ที่อุณหภูมิห้อง

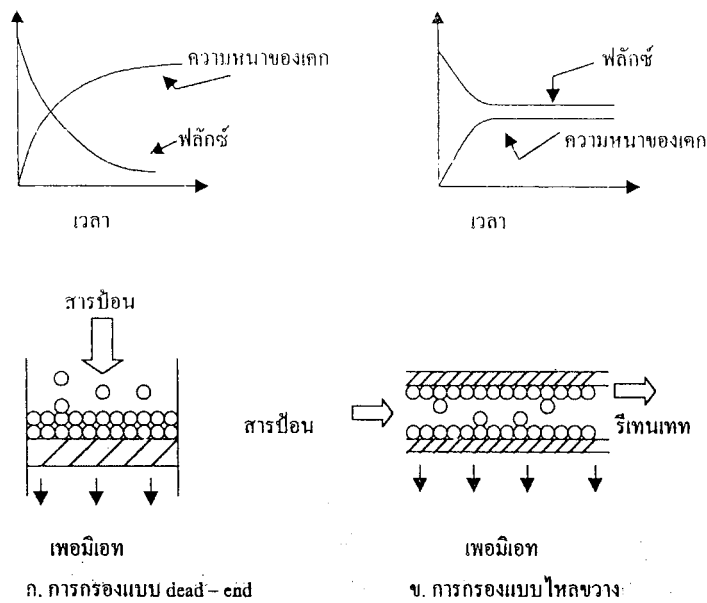
ความหนาแน่น	2.8 gm/cc
สี	สีขาว
Flexural Strength	180 MPa
Elastic Modulus	151 GPa
Compressive Strength	1310 MPa
ความแข็ง	1070 Kg/mm ²
จุดหลอมเหลว	1650 ^o C

การสังเคราะห์มัลไลต์สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1. ปฏิกริยาระหว่าง hydrous aluminosilicate ซึ่งโดยทั่วไปใช้ดินขาวหรือแร่ kaolinite ซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ซึ่งเป็นแร่ที่มีปริมาณซิลิกาสูง ทำให้เมื่อใช้แร่ kaolinite นำไปเผาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นมัลไลต์ได้สูงสุดเท่ากับ 64% โดยน้ำหนัก
2. ปฏิกริยาระหว่าง anhydrous aluminosilicate ซึ่งโดยทั่วไปคือแร่ sillimanite, andalusite และ kyanite ซึ่งมีสูตรเคมีคือ $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ดังนั้นเมื่อนำไปแร่เหล่านี้ไปเผาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นมัลไลต์ได้สูงสุดเท่ากับ 88% โดยน้ำหนัก

2.4 กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน

ไมโครฟิลเตรชัน เป็นกระบวนการแยกของแข็งโดยใช้เยื่อแผ่น ความดันที่ใช้กระบวนการแยกอยู่ระหว่าง 1 ถึง 5 บรรยากาศ เยื่อแผ่นมีขนาดรูพรุน 0.1-10 μm ตัวถูกละลายที่แยกโดยเยื่อแผ่นนี้ มีขนาดที่เทียบเป็นน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 300,000 ขึ้นไป กระบวนการไมโครฟิลเตรชันสามารถแบ่งลักษณะการทำงานได้เป็น 2 แบบ คือ การกรองแบบปลายปิด (dead-end) ซึ่งสายป้อนไหลในทิศทางที่ตั้งฉากกับเยื่อแผ่น ซึ่งทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคบนผิวเยื่อแผ่น ทำให้ความสามารถในการแยกลดลง และการกรองแบบไหลขวาง (crossflow) ซึ่งสายป้อนไหลในทิศทางขนานกับเยื่อแผ่น หรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของเฟอมีเอท ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบการกรองแบบปลายปิดและแบบไหลขวาง

เพอมีเอทฟลักซ์ในกระบวนการไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวาง ค่าฟลักซ์จะเป็นตัวบอกลักษณะประสิทธิภาพของการกรองในรูปปริมาตรของเพอมีเอทที่ผ่านรูพรุนของเยื่อแผ่นต่อหน่วยพื้นที่ของเยื่อแผ่นต่อเวลา สามารถแสดงในรูปของความต้านทานการกรองดังสมการ (2.1)

$$J = \Delta P_{TM} / \mu R_t \quad (2.1)$$

- เมื่อ J คือ เพอมีเอชันฟลักซ์ (ลิตร ต่อ ตารางเมตร-ชั่วโมง)
- ΔP_{TM} คือ ผลต่างของความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลายป้อนกับเพอมีเอท (บาร์)
- μ คือ ค่าความหนืดของสารละลาย (กิโกลกรัม ต่อ เมตร-วินาที)
- R_t คือ ค่าความต้านทานรวมของเยื่อแผ่น (ต่อเมตร)

ความต้านทานรวม (R_t) ในกระบวนการไมโครฟิลเตรชันเป็นผลจากปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย คือความต้านทานของเยื่อแผ่น ความต้านทานเนื่องจากการเกิดโพลาไรเซชัน (R_p) และความต้านทานเนื่องจากการเกิดสเกล (fouling, R_f) ดังนั้นความต้านทานรวมของเยื่อแผ่นสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.2) ซึ่งความต้านทานของเยื่อแผ่นสามารถหาได้จากการทดลองด้วยน้ำเปล่า

$$R_t = R_m + R_p + R_f \quad (2.2)$$

ในระบบการกรองไมโครฟิลเตรชัน ค่าความดันสามารถคำนวณได้จากผลต่างของความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารป้อนกับความดันด้านเพอมีเอท ดังสมการที่ (2.3)

$$\Delta P_{TM} = (P_i + P_o / 2) - P_f \quad (2.3)$$

เมื่อ ΔP_{TM} คือ ผลต่างความดันที่ผิวเยื่อแผ่นด้านสารละลายป้อนกับเพอมีเอท (บาร์)

P_i คือ ความดันขาเข้าของสารละลายป้อน (บาร์)

P_o คือ ความดันขาออกของสารละลายป้อน (บาร์)

P_f คือ ความดันด้านสารละลายเพอมีเอท (บาร์)

โดยทั่วไปเทอมของความดันด้านสารละลายเพอมีเอทจะมีค่าศูนย์ ซึ่งเป็นความดันบรรยากาศ ดังนั้นผลต่างความดันที่ผิวเยื่อแผ่นสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (2.4)

$$\Delta P_{TM} = P_i - (\Delta P / 2) \quad (3.4)$$

2.5 การประยุกต์ใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน

กระบวนการไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวาง มีข้อได้เปรียบตรงที่เป็นระบบปิด มีเยื่อแผ่นให้เลือกหลายชนิด ได้เพอมีเอทที่ใส แต่มีราคาการดำเนินการต่ำ และดูแลรักษาได้ง่าย แต่มีข้อเสียตรงที่ราคาการลงทุนสูง ต้องทำความสะอาดเยื่อแผ่นเป็นระยะๆ และสารละลายต้องมีปริมาณของแข็งไม่เกิน 50 % ในปัจจุบันแนวโน้มการใช้ระบบไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ยกตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมน้ำผลไม้และเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมนมและอาหาร การแยกตะกอนโปรตีนจากนมถั่วเหลือง การบำบัดน้ำและการบำบัดน้ำทิ้ง เป็นต้น

2.6 การประยุกต์ใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชันในเทคโนโลยีชีวภาพ

กระบวนการเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมชีวเคมีมีการใช้งานไมโครฟิลเตรชันใน 2 แนวทาง คือ

1. ใช้ในเครื่องปฏิกรณ์ในการผลิตหรือแยกผลิตภัณฑ์จากการหมัก ตามที่ทราบกันดีว่าการหมักในระบบต่อเนื่อง มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบกะ แต่ในระบบต่อเนื่องซึ่งเกิดปัญหาของการ Washout ของเซลล์ได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำเยื่อแผ่นมาใช้ร่วมกับเครื่องปฏิกรณ์ในการหมัก เพื่อแยกเซลล์และผลิตภัณฑ์ออก

จากกันและป้อนกลับเซลล์ มาใช้ต่อจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสม ช่วยเพิ่มสมรรถนะ

• และผลิตผลของกระบวนการหมัก

2. ใช้เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเซลล์ (Cell harvesting) แยกกากเซลล์ออกจากผลิตภัณฑ์โดยอาจใช้งานร่วมกับไดอะฟิลเตรชัน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์

Ruys และ Sorrell (1990) สามารถเตรียมครุชิลเบิลอะลูมินาที่มีความหนาน้อยกว่า 0.7 mm โดยใช้ Sodium Carboxy methylcellulose (SCMC) เป็นสารช่วยกระจายตัวและสารตัวยึดเกาะ โดยใช้สูตรน้ำสลิป คือ อะลูมินา (AES-HPS, 0.4 μm) 55%wt โดยน้ำหนักและ SCMC 0.55 %wt และทำการเผาที่อุณหภูมิ 1600 °C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ในขณะที่ Smith และ Haber (1992) ได้ศึกษาผลของการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของอะลูมินาต่อความหนาแน่นของชิ้นงานก่อนการเผา พบว่า อัตราส่วนระหว่างอะลูมินาขนาดใหญ่และขนาดเล็กมีผลต่อความหนาแน่นของชิ้นก่อนเผา โดยสูตรน้ำสลิปที่เหมาะสมคือ อะลูมินาชนิด A-14 :A-16 เป็น 85:15 %wt ที่ความเข้มข้นของของแข็งเป็น 50 %vol. โดยใช้ Tetrasodium phosphate เป็นสารช่วยกระจายตัว โดยทำให้น้ำสลิปมี pH เป็น 10.1 และ Smith และคณะ (1994) ได้ศึกษาผลของความหนืดของน้ำสลิปต่อการขึ้นรูปของชิ้นงานและขนาดรูพรุน พบว่า ชิ้นงานที่ได้จากการหล่อ น้ำสลิปที่มีความหนืดต่ำจะให้ค่าการกระจายตัวของรูพรุนแคบ ทำให้สามารถควบคุมขนาดของรูพรุนได้ ซึ่งขนาดของรูพรุนของตัวกรองจะมีผลต่อความสามารถในการกรองของตัวกรอง

Conceicao และคณะ (2003) ศึกษาผลของตัวประสานชนิด Carboxy methylcellulose ที่น้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ ต่อค่าความหนืดของน้ำดินขาวชนิด standard porcelain, ECC international, UK โดยใช้สารช่วยกระจายตัวที่เป็น ammonium polycarbonate (Targon 1128, BK Landenberg, Germany) พบว่า การใช้ตัวประสานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้ความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าอัตราการหล่อมูลมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย

Tsetsekou และคณะ (2001) ได้ศึกษาคุณสมบัติรีโอโลยีของน้ำสลิปอะลูมินาต่อคุณสมบัติการหล่อ โดยใช้สารช่วยกระจายตัวเป็น Darvan C Duramax D 3005 และ Dolapix CE 64 โดยใช้ปริมาณของของแข็งในน้ำสลิปเป็น 40 60 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อปริมาณของของแข็งในน้ำสลิปมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดของน้ำสลิปมีค่าเพิ่มขึ้น คุณสมบัติสารช่วยกระจายตัว Dolapix CE64 มีช่วงปรับความหนืดกว้างกว่าสารช่วยกระจายตัวชนิด Darvan C และ Duramax D 3005 และการใช้ตัวช่วยกระจายตัวทั้ง 3 ชนิดมีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงานดิบไม่แตกต่างกัน

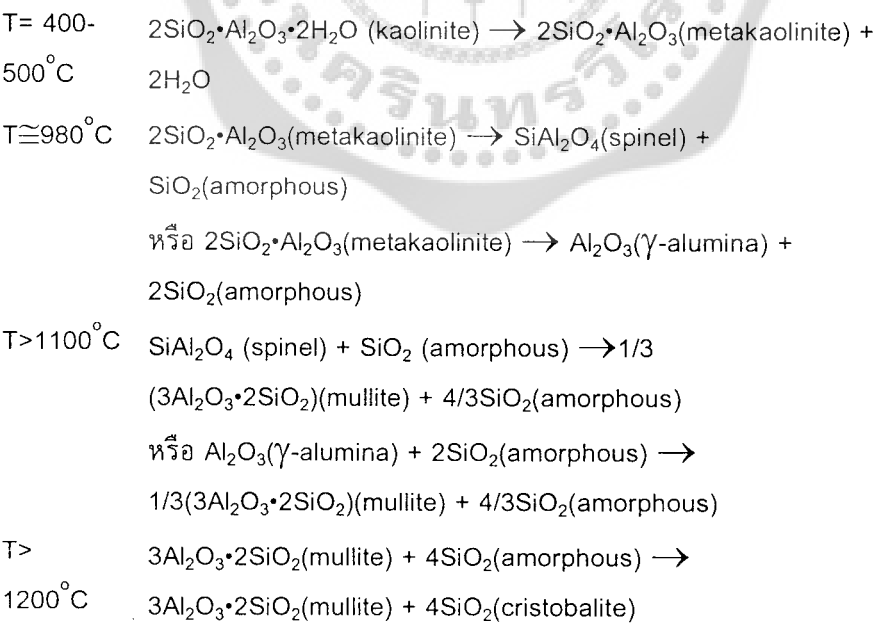
Yildiz และคณะ (1998) ได้ศึกษาการใช้ตัวช่วยกระจายตัวชนิด Sodium silicate สำหรับดินขาวจากแหล่ง Sindirgi และ Kure ในประเทศตุรกี ซึ่งดินในแต่ละแห่งประกอบด้วยแร่ชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2.2 จากการทดลองพบว่า ดินจากแหล่ง Sindirgi ซึ่งมีปริมาณแร่ kaolinit สูงจำเป็นต้องใช้ Sodium silicate ในปริมาณสูงกว่าดินจากแหล่ง Kure เนื่องจากมีปริมาณแร่ kaolinite ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า ดินจากแหล่ง Sindirgi จะให้ค่าอัตราการหล่อที่สูงกว่าดินจากแหล่ง kure การหล่อน้ำสลิปที่ความหนืดต่ำทำให้อัตราเร็วในการหล่อดีค่าต่ำและค่าความพรุนของชิ้นงานก่อนเผาต่ำด้วย

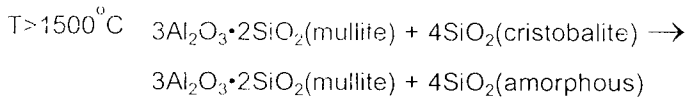
ตารางที่ 2.2 ชนิดแร่ที่พบในแหล่งดิน Sindirgi และ Kure

แหล่งดิน	แร่
Sindirgi	Kaolinite Quartz
Kure	kaolinite Quartz Illite

2.7.2 การสังเคราะห์มัลไลต์

Chen และคณะ (2000) ได้ศึกษาวิธีการเตรียมมัลไลต์จากการเผาดินขาว พบว่าการเผาดินขาวที่อุณหภูมิต่างๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสภายในเนื้อดินขาว ซึ่งสามารถแสดงได้ตามสมการข้างล่าง การเกิดเฟสมัลไลต์ในเนื้อดินขาวจะเริ่มเกิดเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 1100 °C และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้ เฟสในส่วนแก้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจากเนื้อ amorphous กลายเป็น critobalite





Mazel และคณะ (2002) ได้ทำการสังเคราะห์มัลไลต์จากแร่ andalusite และ alumina P172SB พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่าง andalusite และ alumina ที่ 60:40 เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเฟรมัลไลต์เริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 1050 °C แต่เมื่ออัตราส่วนผสมระหว่าง andalusite และอะลูมินาเป็น 80 ต่อ 40 และ 100 ต่อ 0 เกิดการเปลี่ยนเฟรมัลไลต์ที่ 1100 องศาเซลเซียส

Temujin และคณะ (2002) ได้ศึกษาผลของการบดต่อการเตรียมมัลไลต์จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง kaolinite และ alumina hydrate ชนิด gibbsite และ boehmite พบว่าการบดเป็นการทำให้อนุภาคมีขนาดละเอียดขึ้น ทำให้อุณหภูมิที่ทำให้เกิดเฟรมัลไลต์มีอุณหภูมิต่ำลง

Ivankovic และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาการเตรียมมัลไลต์จากเจลระหว่าง alumina และ silica โดยใช้ aluminium nitrate อะลูมินา (degusa 15 nm) และ boehmite เป็นแหล่งของอะลูมินาและใช้ tetraethylsiland (TEOS) เป็นแหล่งซิลิกา การเตรียมเจลตามที่แสดงในตารางที่ 3 แล้วนำไปเผาที่ 1600 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า หลังการเผาเจล A และ B มีการโตของเกรนที่ไม่สม่ำเสมอ โดยมีความยาวของเกรนมากกว่าความกว้าง ในเจล A เกรนมีความยาวตั้งแต่ 4-10 µm ในขณะที่เจล B เกรนมีขนาดโตและมีความยาวระหว่าง 5-7 µm ซึ่งจะมีเกรนขนาดเล็กแทรกตัวอยู่ระหว่างเกรนขนาดใหญ่ ในขณะที่เจล C และ D หลังการเผาเกรนมีขนาดโตอย่างสม่ำเสมอ โดยเจล C มีขนาดเกรน 0.5 µm และ เจล D มีขนาด 1.3 µm

ตารางที่ 2.3 สารตั้งต้นและตัวทำละลายในการเตรียมเจลต่าง ๆ

ตัวอย่าง	แหล่งอะลูมินา/ตัวทำละลาย	แหล่งซิลิกา/ตัวทำละลาย
A	Al(NO ₃) ₃ •9H ₂ O/น้ำ	TEOS/เอทานอล
B	Al(NO ₃) ₃ •9H ₂ O/เอทานอลและน้ำ	TEOS/เอทานอล
C	γ-Al ₂ O ₃ /น้ำ	TEOS/เอทานอล
D	Boehmite/น้ำ	TEOS/เอทานอล

Twahiro และคณะ (2001) ได้เตรียมมัลไลต์จากปฏิกิริยาระหว่างซิลิกาจาก sodium disilicate และ sodium metasilicate กับอะลูมินาจากเกลือไนเตรท ด้วยวิธีรวมตะกอน พบว่าการใช้ sodium disilicate จะเกิดเฟรมัลไลต์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศา

เซลเซียส ในขณะที่ใช้ sodium metasilicate จะเกิดเฟสซิลิเกตที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

2.7.3 กระบวนการกรอง

Taniguchi และคณะ (1987) ได้ทำสอบการกรองน้ำหมักโดยใช้แผ่นกรองชนิดเซรามิกส์ (ขนาดรูพรุน 0.2 μm) ด้วยการกรองแบบโหลขวาง พบว่าสามารถใช้ประยุกต์ในการแยกน้ำหมักออกจากกระบวนการหมักของเชื้อ *Bifidobacterium longum* เพื่อใช้ในการผลิตกรดแลคเตดและเกลืออะซิเตรดได้

Kokugan และ Kokugan (1997) ได้ประยุกต์ใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชันสำหรับกระบวนการผลิตเอทานอลจากโมลาสโดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* และใช้ตัวกรองเซรามิกชนิด 19 ท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ละท่อคือ 4 mm และมีขนาดรูพรุน 0.2 μm จากการวิจัยพบว่า วิธีนี้สามารถเพิ่มความสามารถในการใช้น้ำตาลจากโมลาสและสามารถผลิตเอทานอลเพิ่มขึ้นถึง 18.1 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลาการหมัก 78 ชั่วโมง

Afonso และคณะ (2002) ได้ประยุกต์กระบวนการไมโครฟิลเตรชันสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตหินอ่อน โดยใช้ตัวกรอง Carbosep M45 ซึ่งมีขนาดรูพรุน 0.45 μm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 mm ความยาว 60 cm สามารถลดปริมาณของแข็งที่แขวนลอยได้ 10 เท่า

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 สารเคมี

- 3.1.1 ดินดำ PRB บริษัท คอมพาวด์เคลย์
- 3.1.2 ดินขาวระนอง บริษัท คอมพาวด์เคลย์
- 3.1.3 อะลูมินา บริษัท Kuraray
- 3.1.4 Polyvinylalcohol (PVA) บริษัท Kuraray
- 3.1.5 Sodium Silicate (Na_2SiO_3) บริษัท คอมพาวด์เคลย์
- 3.1.6 ปูนพลาสติก จากบริษัท เครือซิเมนต์ไทย

3.2 อุปกรณ์

- 3.2.1 แม่แบบปูนพลาสติก สำหรับหล่อชิ้นงานซึ่งมีขนาดยาว 12 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร
- 3.2.2 เตาอบ Lenton Thermal Design รุ่น WE 120 (P) ประเทศอังกฤษ
- 3.2.3 เตาเผา Fisher Scientific Isotherm Muffle Furnace รุ่น 550-58 ประเทศอังกฤษ
- 3.2.4 เครื่องกวน
- 3.2.5 เครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น RVDV 5.0 ประเทศ
- 3.2.6 เวอร์เนียคาลิเปอร์
- 3.2.7 เครื่องชั่ง
- 3.2.8 เครื่องวิเคราะห์ XRD Brooker D8 ประเทศเยอรมัน
- 3.2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy) JSM 540s ประเทศญี่ปุ่น
- 3.2.10 เครื่องสเปกโตรสโคปีหยั่ง SHIMADSU รุ่น UV-161 ประเทศญี่ปุ่น
- 3.2.11 เครื่องวัดความพรุน (Mercury Porosity) Quatachrome รุ่น Pore master 33 ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3 การดำเนินการทดลอง

3.3.1 การเตรียมแม่แบบปูนพลาสติก

ซึ่งปูนพลาสติกและน้ำในอัตราส่วน 1 กิโลกรัมต่อ 0.7 ลิตร ใส่น้ำลงในภาชนะสำหรับผสม ค่อยเติมปูนพลาสติกลงไป โดยไม่ต้องกวน เมื่อเติมปูนพลาสติกจนหมด คั้นให้ผสมเข้ากันดี เทใส่ในแม่แบบ รอนปูนพลาสติกแห้ง อบที่อุณหภูมิไม่เกิน 65 องศาเซลเซียส หรือผึ่งลมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.2 ชนิดของดินสำหรับการหล่อ

ผสมอะลูมินา ดินดำ สารละลายโพสโซไวทิลแอลกอฮอล์และน้ำ ตามอัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตาราง 3.1 และ 3.2 ผสมน้ำดินด้วยเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที จนเป็นเนื้อเดียวกัน นำน้ำดินที่เตรียมได้มาบดในหม้อบดเป็นเวลา 30 นาที เทน้ำดินลงในแม่แบบปูนปลาสเตอร์ ทิ้งไว้จนได้ความหนาของชิ้นงานตามต้องการ เทน้ำดินออกจากแม่แบบ ปล่อยให้แห้ง รอจนกระทั่งชิ้นงานร้อนออกจากแม่แบบ นำชิ้นงานที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง วัดความหนาของชิ้นงานที่ได้ นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของอะลูมินาต่อดินดำที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อปริมาณน้ำเป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ร้อยละอะลูมินา	อะลูมินา(กรัม)	ดินดำ(กรัม)	น้ำ (42%)	PVA
60%	129.6	98.4	150.95	57.60
50%	108	120	150.95	57.60
40%	86.4	141.6	150.95	57.60
30%	64.8	163.2	150.95	57.60
20%	43.2	184.8	150.95	57.60
10%	21.6	206.4	150.95	57.60

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของอะลูมินาต่อดินขาวที่อัตราส่วนต่างๆ เมื่อปริมาณน้ำเป็น 42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ร้อยละอะลูมินา	อะลูมินา(กรัม)	ดินดำ(กรัม)	น้ำ (42%)	PVA
60%	129.6	98.4	150.95	57.60
50%	108	120	150.95	57.60
40%	86.4	141.6	150.95	57.60
30%	64.8	163.2	150.95	57.60
20%	43.2	184.8	150.95	57.60
10%	21.6	206.4	150.95	57.60

3.3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ชิ้นงานหรือแท่งกรองหลังการเผาถูกนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การวิเคราะห์เฟส โครงสร้างจุลภาค การหดตัว ความพรุน ขนาดรูพรุนและการกระจายตัว ความหนาแน่น และความแข็งแรง

การวิเคราะห์เฟส

ตัดชิ้นงานให้มีขนาดเล็ก บดจนละเอียด อัดใส่ในช่องตัวอย่าง วิเคราะห์เฟสด้วยเครื่อง XRD Brooker X-ray diffraction รุ่น Bruker D8 โดยวัดตั้งแต่ 10 ถึง 60 องศา (2θ)

การวิเคราะห์จุลโครงสร้าง

วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy) รุ่น JSM 540S ที่กำลังขยาย 1500 และ 10000 เท่า เพื่อวิเคราะห์หา ลักษณะของรูพรุน

การหดตัว (Shrinkage)

การหดตัวทำได้โดยวัดความยาวก่อนและหลังเผาของชิ้นงาน คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวโดยใช้สมการ (3.1)

$$S = \frac{L_{be} - L_{af}}{L_{be}} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ S เป็นเปอร์เซ็นต์การหดตัว

L_{be} เป็นความยาวของชิ้นงานก่อนเผา (เซนติเมตร)

L_{af} เป็นความยาวของชิ้นงานหลังเผา (เซนติเมตร)

ความพรุน (Porosity)

ตัดชิ้นงานให้มีขนาด 1 ถึง 2 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักชิ้นงานในขณะแห้ง (D) นำชิ้นงานแช่ในน้ำจนท่วม ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เช็ดชิ้นงานให้หมาด ชั่งน้ำหนักชิ้นงานเปียก (M) ชั่งน้ำหนักชิ้นงานในน้ำ (S) ซึ่งความพรุนสามารถคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์โดยใช้สมการที่ (3.2)

$$P = \frac{M - D}{M - S} \times 100 \quad (3.2)$$

- เมื่อ P เป็นเปอร์เซ็นต์ความพรุนของซีเมนต์
 M เป็นน้ำหนักกึ่งตัวของซีเมนต์ (กรัม)
 D เป็นน้ำหนักแห้งของซีเมนต์ (กรัม)
 S เป็นน้ำหนักของซีเมนต์ในน้ำ (กรัม)

ความหนาแน่นแท้จริงและความหนาแน่นมวลของซีเมนต์ (True and bulk density)

ความหนาแน่นแท้จริงสามารถหาได้โดยการชั่งน้ำหนักซีเมนต์ขณะแห้ง (D) วัดหาปริมาตร (V_T) ที่แท้จริง จากซึ่งความหนาแน่นสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.3)

$$D_T = \frac{D}{V_T} \quad (3.3)$$

- เมื่อ D_T เป็นความหนาแน่นแท้จริงของซีเมนต์ (กรัมต่อมิลลิลิตร)
 D เป็นน้ำหนักแห้งของซีเมนต์ (กรัม)
 V_T เป็นปริมาตรที่แท้จริงของซีเมนต์ (มิลลิลิตร)

ความหนาแน่นมวลสามารถหาได้โดยการชั่งน้ำหนักซีเมนต์ขณะแห้ง (D) วัดขนาดของซีเมนต์เพื่อหาปริมาตร (V) ซึ่งความหนาแน่นสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.4)

$$D_B = \frac{D}{V} \quad (3.4)$$

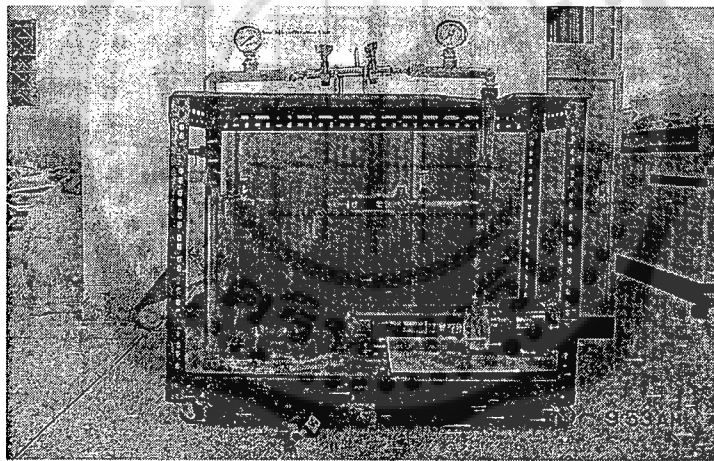
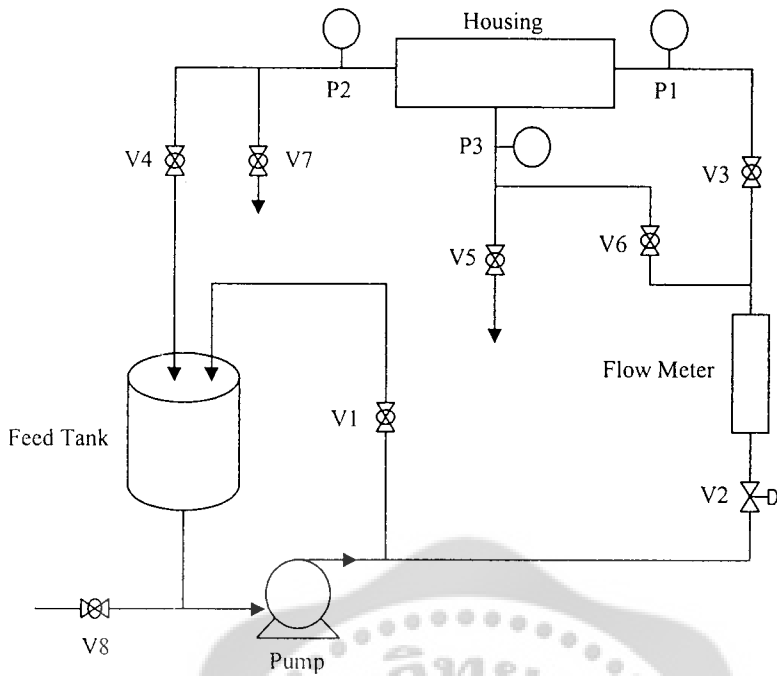
- เมื่อ D_B เป็นความหนาแน่นมวลของซีเมนต์ (กรัมต่อมิลลิลิตร)
 D เป็นน้ำหนักแห้งของซีเมนต์ (กรัม)
 V_T เป็นปริมาตรของซีเมนต์ (มิลลิลิตร)

ขนาดรูพรุนและการกระจายตัว

ตัดซีเมนต์ให้มีขนาดความยาว 5 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักซีเมนต์ วางไว้ในเซลล์ตัวอย่างเข้าเครื่องวิเคราะห์ขนาดรูพรุนด้วยปรอท (Mercury Porosity) Quatachrome รุ่น Pore master 33

3.3.4 การทดสอบการกรองน้ำ

นำแท่งกรองที่ผ่านการเผามาทดสอบการกรองน้ำโดยนำต่อเข้ากับเครื่องทดสอบการกรอง ดังแสดงในรูป 3.1 โดยทำการปรับค่าความดันของน้ำขาออก เก็บปริมาณน้ำในสายเพอมีเอตทุก 10 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อัตราการไหลของน้ำเป็น 4 ลิตรต่อวินาที และที่ความดันแตกต่างกันเป็น 4.75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งค่าที่ได้ทำให้สามารถทราบค่าความต้านทานของแท่งกรอง



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงทิศทางการไหล (ก) และชุดทดสอบการกรอง (ข)

3.3.5 การทดสอบการกรองเชื้อยีสต์

สูตรสารอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* คือ น้ำตาลทราย 200 กรัมต่อลิตร โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 5 กรัมต่อลิตร แมกนีเซียมซัลเฟต 0.4 กรัมต่อลิตร แอมโมเนียมซัลเฟต 1.8 กรัมต่อลิตร ยีสต์เอกแทรกซ์ 1 กรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 3.5 ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก 0.1 โมลต่อลิตร

ในการหมักเชื้อยีสต์ทำได้โดยการเตรียมหัวเชื้อจำนวน 3 ขวด ซึ่งแต่ละขวดใช้สารอาหารจำนวน 250 มิลลิลิตร เชื้อเชื้อ เขย่า ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 วัน เติมหหัวเชื้อทั้ง 3 ขวดลงในถังหมักขนาด 10 ลิตร ฟนอากาศ หมักเป็นเวลา 5 วัน นำน้ำหมักไปทดสอบการกรอง

การวัดความเข้มข้นของเชื้อยีสต์ในน้ำหมักทำได้โดยการนำน้ำหมักจำนวน 10 มิลลิลิตร มาปั่นที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เทสารละลายใส่ทิ้ง เติมน้ำประมาณ 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปั่นอีกครั้งเป็นเวลา 5 นาที เติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 10 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรสโคปียี่ห้อ SHIMADSU รุ่น UV-161 Japan



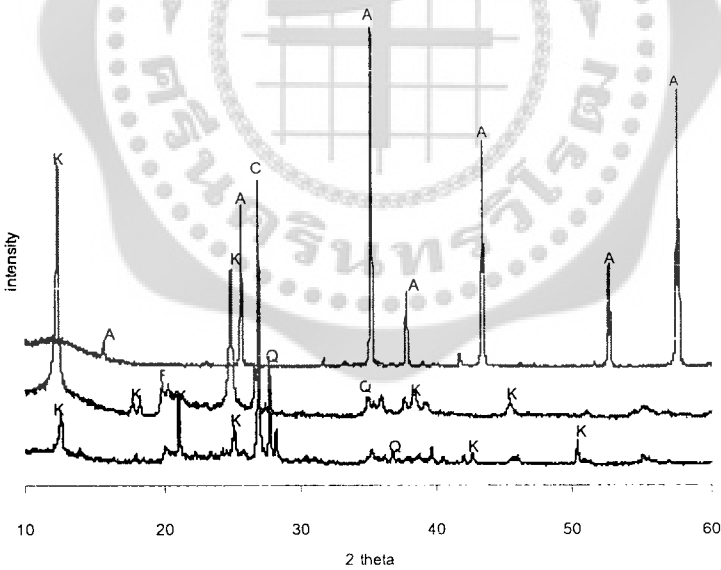
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 โครงสร้างและโครงสร้างจุลภาคของวัตถุดิบ

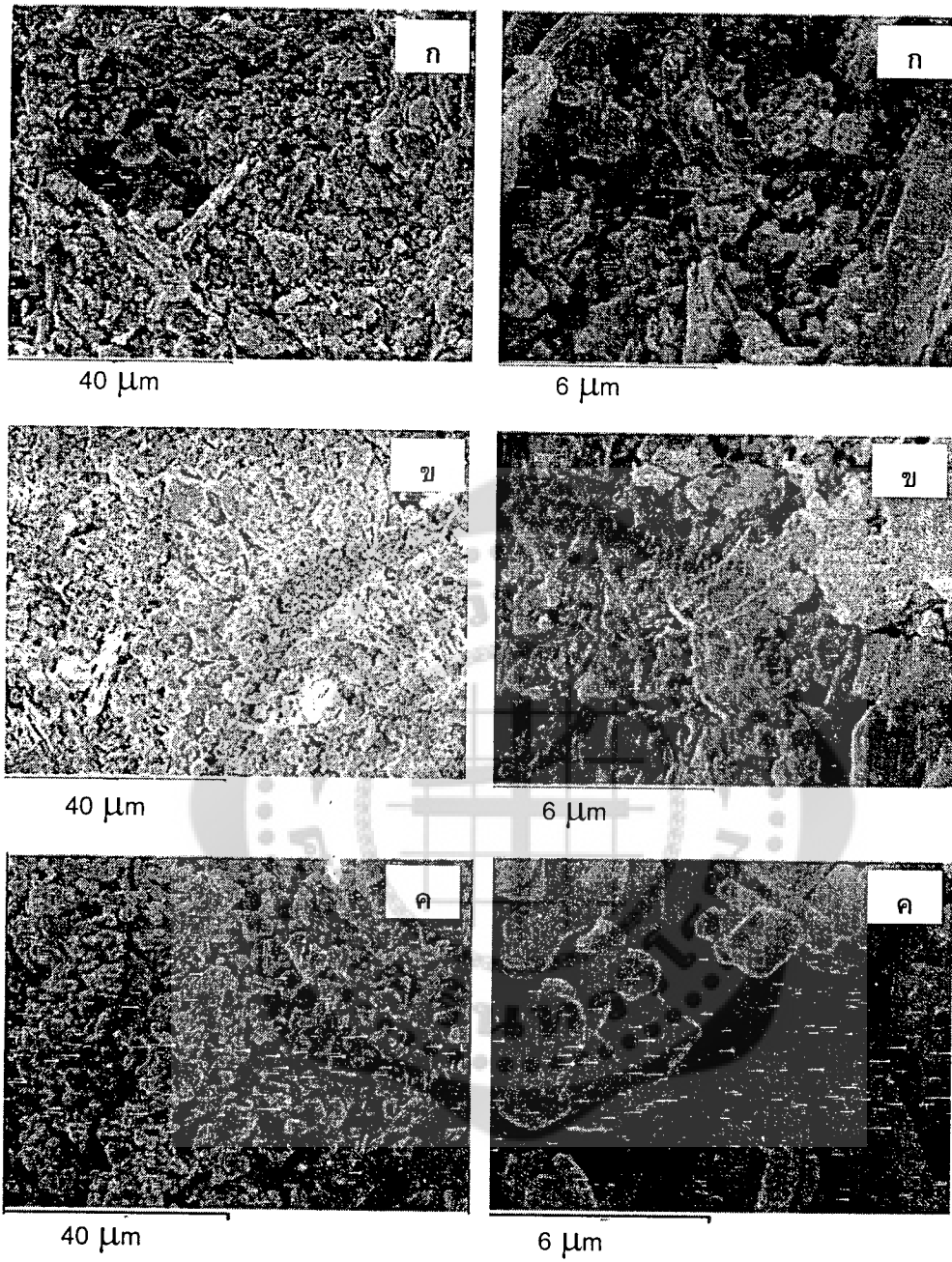
ในตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของดินดำ ดินขาวและอะลูมินาที่ใช้ในการทดลอง ผลการวิเคราะห์ XRD ของดินดำ ดินขาว และอะลูมินาแสดงในรูปที่ 4.1 จากการวิเคราะห์ XRD ของดินขาวและดินดำ พบว่าทั้งดินขาวและดินดำมีพีคของเกาลีไนต์ ควอทซ์ และเฟลสปาเป็นส่วนใหญ่ แต่ในดินขาวมีปริมาณของเกาลีไนต์สูงกว่าในดินดำ ส่วนอะลูมินาพบเพียงพีคอะลูมินา จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคที่กำลังขยาย 10000เท่า (รูปที่ 4.2) พบว่า ดินดำและดินขาวมีรูปร่างเป็นแผ่นและเป็นแท่ง ส่วนอะลูมินามีลักษณะเป็นแผ่นเรียงซ้อนกัน

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของดินดำ ดินขาว และอะลูมินา

องค์ประกอบ(%โดยน้ำหนัก)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	เถ้า
ดินดำ	63.70	22.50	1.01	0.13	3.61	0.91	0.25	7.88
ดินขาว	46.70	36.70	1.09	0.01	1.25	0.05	0.05	14.30
อะลูมินา	0.018	99.50	0.02	-	-	0.30	-	0.15



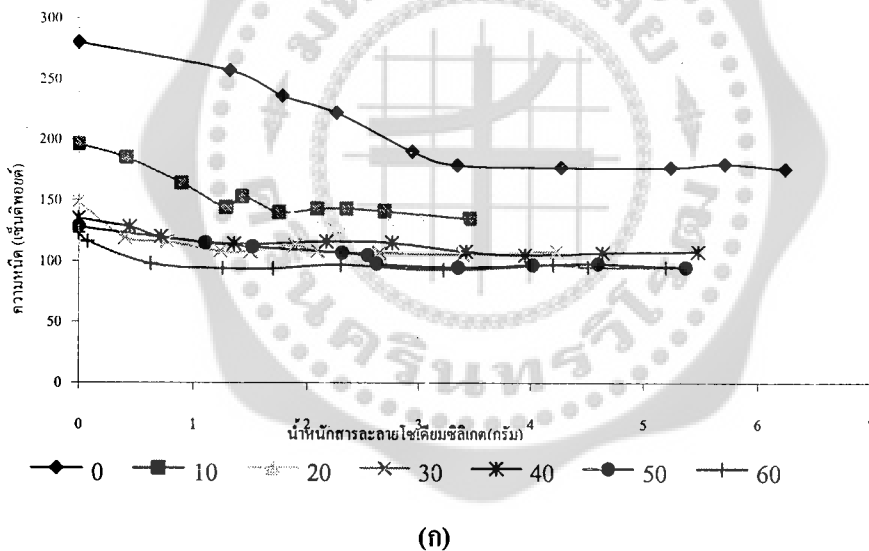
รูปที่ 4.1 พีค XRD ของดินดำ (ก) ดินขาว (ข) และ อะลูมินา (ค) เมื่อ K = Kaolinite; F = Feldspars; C = Cristobalite; Q = Quartz; A = alumina



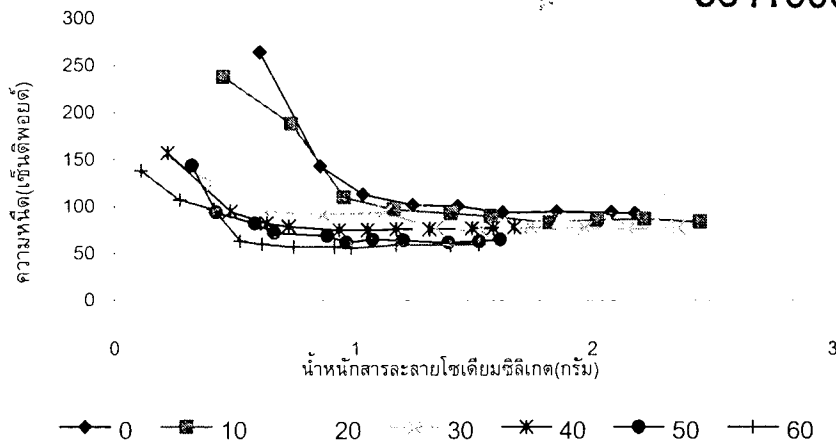
รูปที่ 4.2 จุลโครงสร้างของดินดำ (ก) ดินขาว (ข) และ อะลูมินา (ค) ที่กำลังขยาย 1500 เท่า (ด้านซ้าย) และ 10000 เท่า (ด้านขวา)

4.2 ปริมาณสารช่วยกระจายตัว

การหล่อขึ้นงานโดยวิธีการเทน้ำสลีป จำเป็นต้องให้น้ำดินเกิดการกระจายตัวที่ดี และความหนืดที่ใช้ในการหล่อประมาณ 100 ถึง 200 เซนติพอยต์ ดังนั้น ในการทดลองตอนนี้ จึงศึกษาหาปริมาณสารช่วยการกระจายตัวที่เหมาะสม สำหรับสารช่วยกระจายตัวเลือกใช้ สารละลายโซเดียมซิลิเกต เป็นสารช่วยกระจายตัว เนื่องจากเป็นสารที่หาซื้อได้ง่ายราคาถูก เป็นที่นิยมใช้ และมีคุณสมบัติช่วยการกระจายตัวของดินได้ดี ในการทดลองหาปริมาณ โซเดียมซิลิเกตที่เหมาะสม ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งสามารถหาค่า ความหนืดต่ำสุดในแต่ละสูตรน้ำดินได้ การเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตลงในน้ำดินมากขึ้น ทำให้ความหนืดของน้ำดินมีค่าลดลง เนื่องจาก อนุภาคของดินเมื่อกระจายตัวในน้ำ อนุภาค ดินซึ่งมีรูปร่างเป็นรูปแผ่นบางๆ หกเหลี่ยมจะมีประจุที่ผิวด้านข้างเป็นลบ ในขณะที่ผิวหน้า เป็นบวก ดังนั้นเมื่อเกิดการกระจายตัวในน้ำ ทำให้เกิดการดึงดูดกันทางไฟฟ้าสถิตย์ของดิน ขึ้น ทำให้ในช่วงก่อนเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต น้ำดินมีค่าความหนืดสูง หลังจากเติม สารละลายโซเดียมซิลิเกต ซิลิเกตไอออนถูกดูดซับที่ผิวหน้าดิน ทำให้ผิวหน้าดินมีประจุเป็น ลบ ซึ่งเป็นผลให้เกิดการผลักกันทางไฟฟ้าสถิตย์ ทำให้ค่าความหนืดของน้ำดินมีค่าลดลง



รูปที่ 4.3 ค่าความหนืดของน้ำดินที่เตรียมจากดินดำ (ก) และดินขาว (ข) เมื่อปริมาณการเติม อะลูมินาในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ปริมาณน้ำในน้ำดินเท่ากับ 42.5 เปอร์เซนต์โดย น้ำหนัก

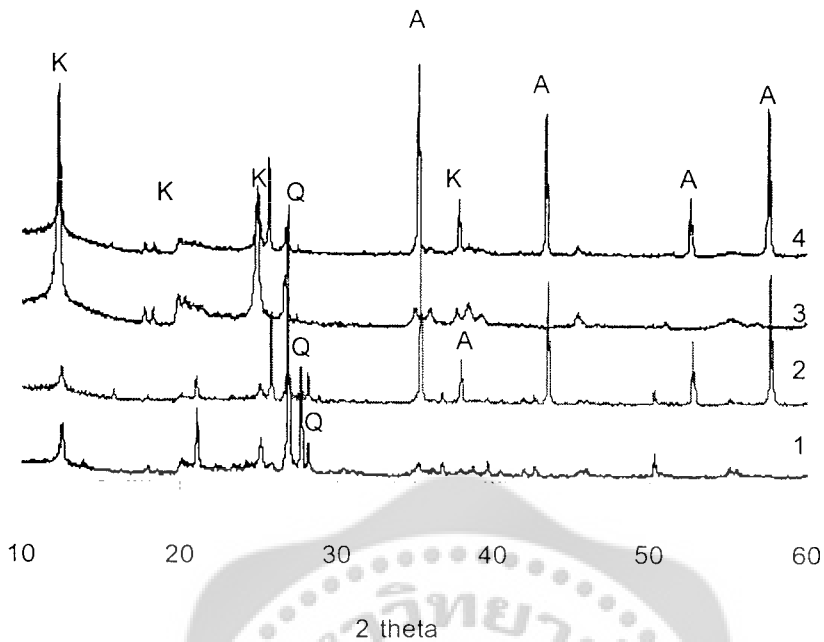


(ข)

รูปที่ 4.3 ค่าความหนืดของน้ำดินที่เตรียมจากดินดำ (ก) และดินขาว (ข) เมื่อปริมาณการเติมอะลูมินาในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ปริมาณน้ำในน้ำดินเท่ากับ 42.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ต่อ)

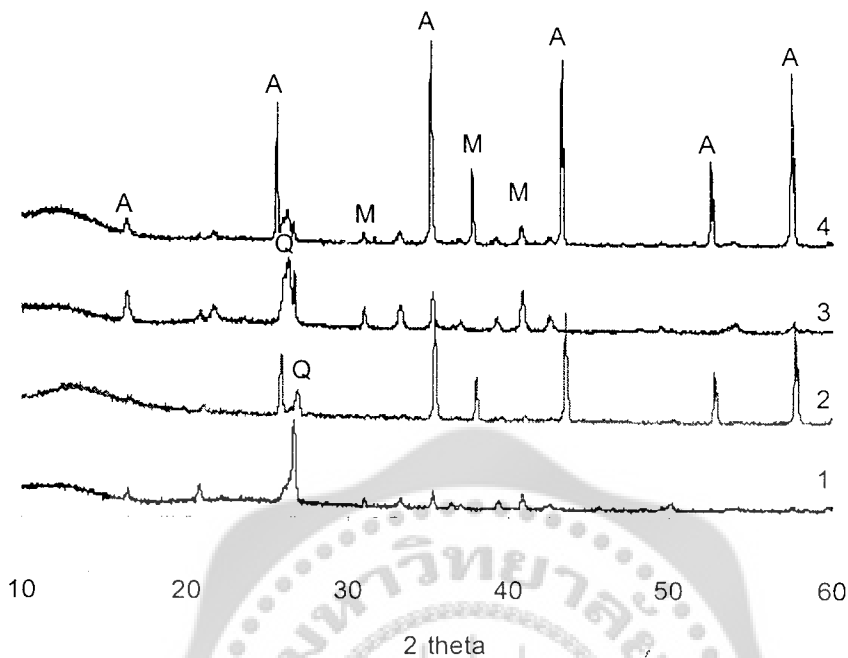
4.3 โครงสร้างและโครงสร้างจุลภาคก่อนเผาและหลังการเผา

เมื่อนำตัวกรองที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างก่อนและหลังเผาที่ 1200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า โครงสร้างของตัวกรองหลังการเผามีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของพีค XRD เกิดขึ้นดังแสดงผลวิเคราะห์ในรูปที่ 4.4 จากรูปที่ 4.4 (1) และ 4.4 (2) พบว่าเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์อะลูมินาในน้ำสลิป ทำให้ความเข้มของพีคอะลูมินาในตัวอย่างก่อนเผามีค่าเพิ่มขึ้น (พีคตำแหน่ง 25.66 35.42 43.42 52.78 และ 57.56 องศา) และเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่ระหว่างดินดำและดินขาวดังแสดงในรูป 4.4 (1) และ (3) ตามลำดับ ซึ่งพบว่าในดินดำมีปริมาณของกาลิไนต์ต่ำกว่าในดินขาว (พีคตำแหน่ง 12.6 องศา) และมีปริมาณของคริสโตบาไลต์สูงกว่าในดินขาว (พีคตำแหน่ง 26.9 องศา)



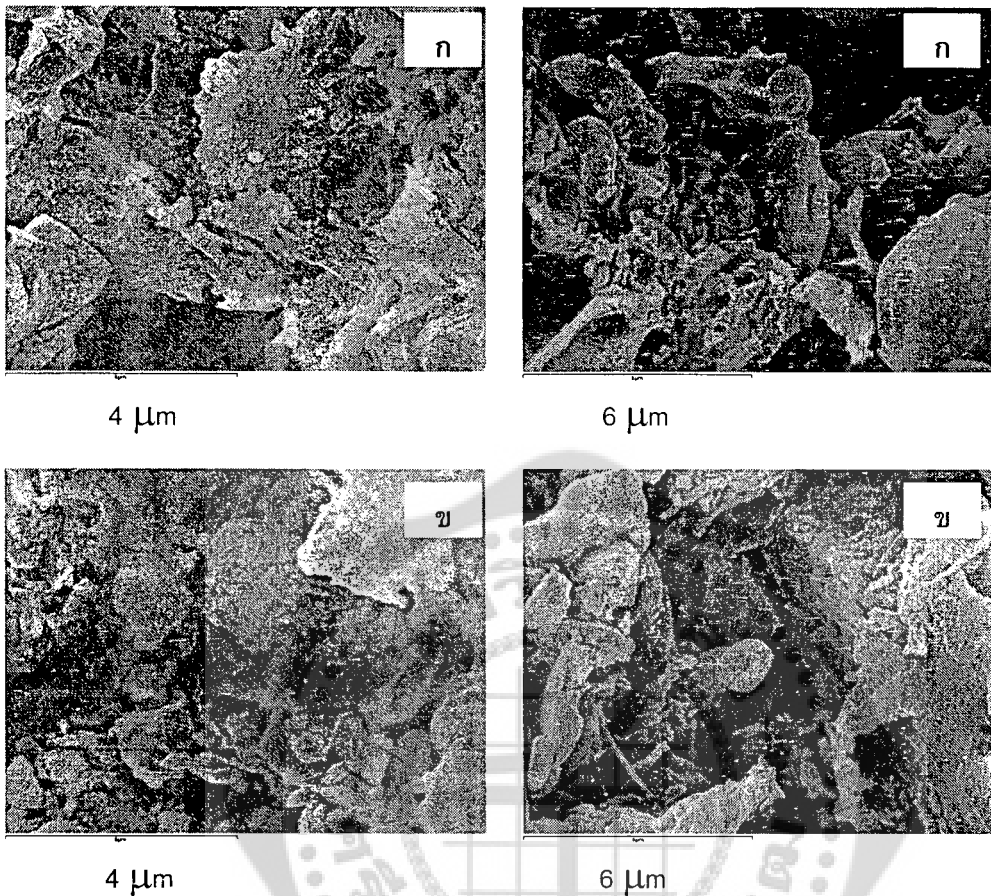
รูปที่ 4.4 พิกัด XRD ของตัวอย่างของตัวกรองดินดำ (1) ตัวกรองดินดำที่เติมอะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์ (2) ตัวกรองดินขาว (3) และตัวกรองดินขาวที่เติมอะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์ ก่อนเผา ที่ 1200 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง เมื่อ A คือ Alumina K คือ Kaolinite และ Q คือ Quartz

ในรูปที่ 4.5 และปริมาณของคริสโตบาไลต์ในตัวอย่างหลังเผามีค่าลดลง (พิกัดตำแหน่ง 26.9 องศา) ในขณะที่เมื่อนำตัวกรองไปเผาแล้ววิเคราะห์ XRD ดังแสดงในรูปที่ 5 ข พบว่า พิกัดของเกาลีไนต์หายไป และพบพิกัดของมัลไลต์ (พิกัดตำแหน่งที่ 16.5 21.0 26.8 31.2 33.4 41.1 และ 50.2 องศา) ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงจากเกาลีไนต์เป็นมัลไลต์ ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในแนวเดียวกับ (Ribeiro และคณะ, 2001)



รูปที่ 4.5 พิกัด XRD ของตัวอย่างของตัวกรองดินดำ (1) ตัวกรองดินดำที่เติมอะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์ (2) ตัวกรองดินขาว (3) และตัวกรองดินขาวที่เติมอะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์ หลังเผา ที่ 1200 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง เมื่อ A คือ Alumina K คือ Kaolinite Q คือ Quartz และ M คือ Mullite

เมื่อนำตัวกรองที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคหลังเผาที่ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6 จากรูปที่ 4.6 (ก) และ (ข) พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์อะลูมินา เป็น 50 และ 60 ตัวกรองมีลักษณะจุลโครงสร้างเป็นแผ่นและแท่ง เมื่อเปอร์เซ็นต์อะลูมินา เป็น 60 พบว่าโครงสร้างจุลภาคมีการหลอมรวมกัน ทำให้แผ่นมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีเกรนโตขึ้น ซึ่งแสดงถึงการหลอมรวมตัวกันมากขึ้น ทั้งนี้สาเหตุน่าจะมาจากอะลูมินามีฟลักซ์มาก จากตารางที่ 4.1 พบว่าในดินดำมีปริมาณอะลูมินามากกว่าในดินขาวและในดินดำยังมีปริมาณ Na_2O มากกว่าดินขาวจึงทำให้เกิดการหลอมได้ง่ายขึ้น (Tsetsekou และคณะ, 2001, Kokugan และ Kokugan, 2003)

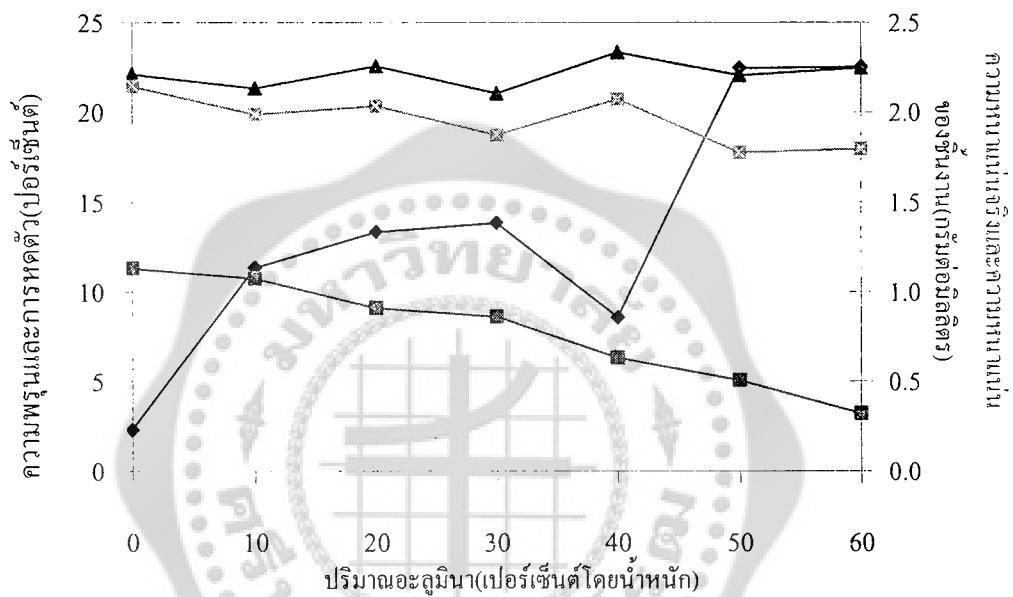


รูปที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคของตัวกรองเซรามิกหลังเผาที่ 1200 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ที่เปอร์เซ็นต์อะลูมินา 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของของแข็งที่กำลังขยาย 1500 เท่า (ด้านซ้าย) และ 10000 เท่า (ด้านขวา) ของดินขาว (ก) และดินดำ (ข)

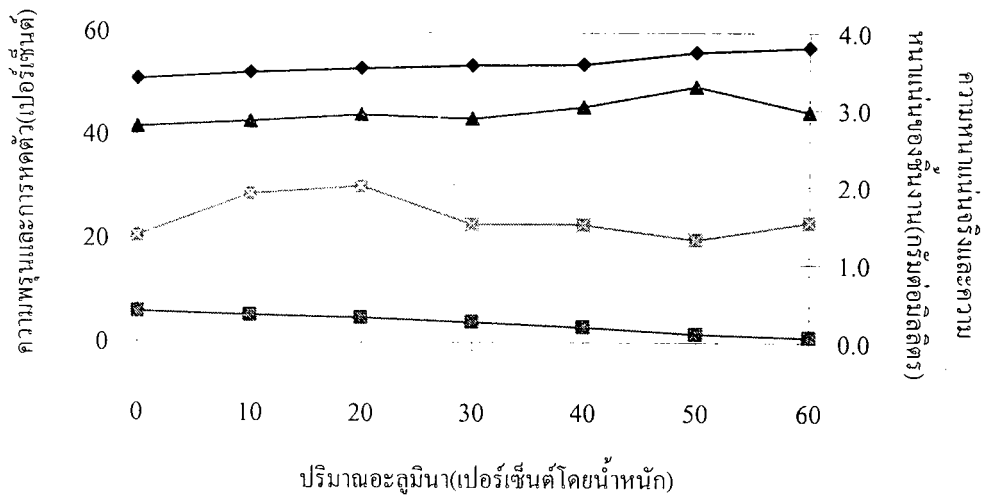
4.4 ผลของเปอร์เซ็นต์อะลูมินาต่อสมบัติกายภาพ

เมื่อนำตัวกรองเซรามิกชนิดดินดำและดินขาวหลังเผามา 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาวัดค่าความพรุนและเปอร์เซ็นต์การหดตัวของตัวกรองที่เปอร์เซ็นต์อะลูมินาต่าง ๆ ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.7 และรูป 4.8 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์อะลูมินามีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความพรุนมีค่าเพิ่มขึ้นในขณะที่เปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าลดลง เนื่องจากอะลูมินามีความละเอียดกว่าดินขาวและดินดำ ทำให้เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์อะลูมินาลงในส่วนผสม เนื้ออะลูมินาจะเข้าไปแทรกตัวในเนื้อดิน ทำให้ความพรุนเพิ่มขึ้น และเมื่อนำตัวกรองไปวัดขนาดรูพรุนพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์อะลูมินาเพิ่มขึ้นรูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยพบว่าตัวกรองดินดำจะมีขนาดรูพรุนเล็กกว่าตัวกรองดินขาว ซึ่งสอดคล้องกับค่าความพรุนของชิ้นงาน และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบโครงสร้างจุลภาคพบว่าการ

หลอมรวมกัน ทำให้แผ่นมีขนาดใหญ่และเกรนโตขึ้น ซึ่งจะไปปิดรูพรุนทำให้รูพรุนมีขนาดเล็กลง นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีของดินดำที่มีปริมาณ Na_2O มากกว่าดินขาว จึงทำให้เกิดการหลอมได้ง่ายขึ้น รูพรุนของตัวกรองดินดำจึงมีขนาดเล็กลง ทั้งนี้เนื่องจากการอะลูมินามีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่าดินดำและดินขาว ทำให้เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส องค์ประกอบในดินดำและดินขาวเกิดการหลอมตัวและมีการเปลี่ยนโครงสร้าง ในขณะที่อะลูมินาจะทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบที่เป็นซิลิกา เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นมัลไลต์บางส่วน ทำให้เกิดความความพรุนภายในชิ้นงาน



รูปที่ 4.7 ความพรุน เปอร์เซนต์การหดตัวและความหนาแน่นของตัวกรองของตัวกรองดินดำที่ เปอร์เซนต์การเติมอะลูมินาต่างๆ หลังเผา 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

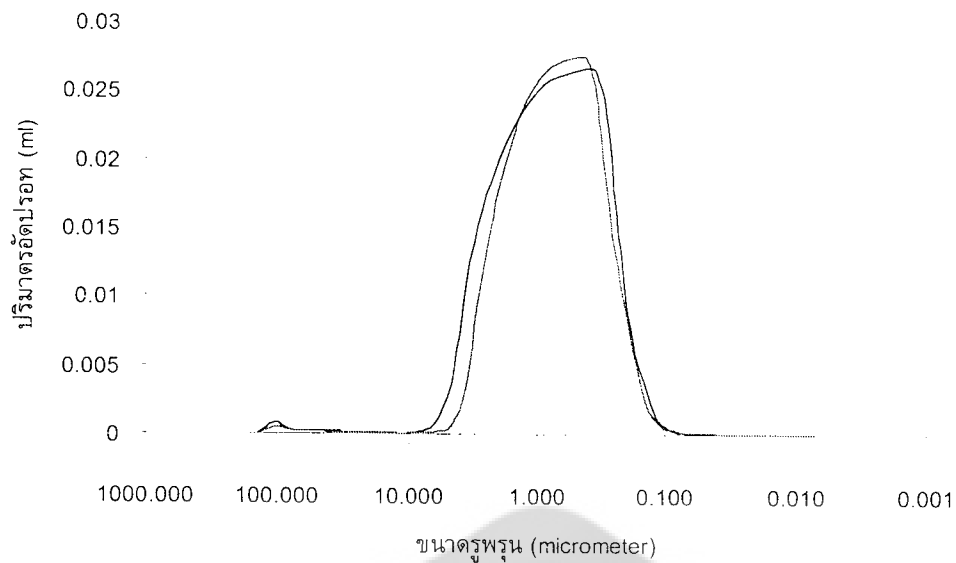


รูปที่ 4.8 ความพรุน เปอร์เซนต์การหดตัวและความหนาแน่นของตัวกรองดินขาวที่ เปอร์เซนต์การเติมอะลูมินาต่าง ๆ หลังเผา 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

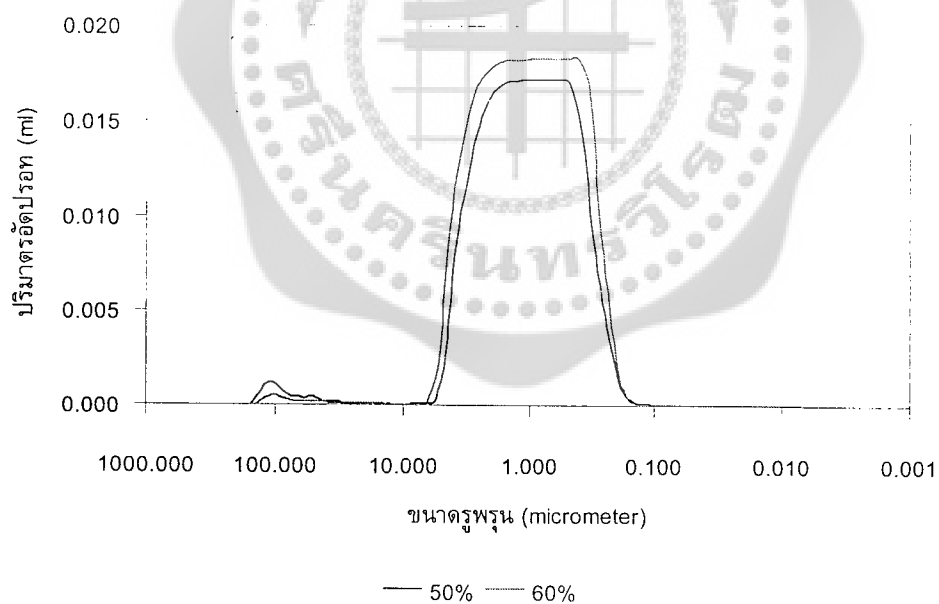
การวิเคราะห์การกระจายตัวของรูพรุนสำหรับตัวกรองดินดำและดินขาวแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ การกระจายตัวของรูพรุนของตัวกรองดินขาวมีลักษณะการกระจายตัวที่ แคบกว่าการกระจายตัวของรูพรุนของตัวกรองดินดำ นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มปริมาณการเติม อะลูมินาทำให้ปริมาณความสามารถในการอัดปรมิค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความพรุน ของตัวกรอง ขนาดของรูพรุนเฉลี่ยในตัวกรองดินดำและดินขาวขึ้นอยู่กับปริมาณอะลูมินาใน ส่วนผสม ในตารางที่ 4.2 แสดงขนาดของรูพรุนของตัวกรองเซรามิกหลังเผาที่ 1200 องศา เซลเซียส เป็น เวลา 2 ชั่วโมง จากตารางที่ 4.2 พบว่า ขนาดรูพรุนของดินดำและดินขาวมีขนาด ใกล้เคียงกัน มีค่าเท่ากับ 0.63 และ 0.86 ไมโครเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ขนาดรูพรุนและความพรุน

ชนิดตัวกรอง	ขนาดรูพรุน(ไมโครเมตร)	ความพรุน (เปอร์เซ็นต์)
ดินขาวที่อะลูมินา 0 เปอร์เซนต์	0.33	45.68
ดินขาวที่อะลูมินา 50 เปอร์เซนต์	0.54	56.98
ดินขาวที่อะลูมินา 60 เปอร์เซนต์	0.63	56.27
ดินดำที่อะลูมินา 50 เปอร์เซนต์	1.30	41.60
ดินดำที่อะลูมินา 60 เปอร์เซนต์	0.86	41.83



รูปที่ 4.9 ขนาดรูพรุนของตัวกรองดินขาวที่เปอร์เซ็นต์อะลูมินาต่างๆ หลังเผา 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

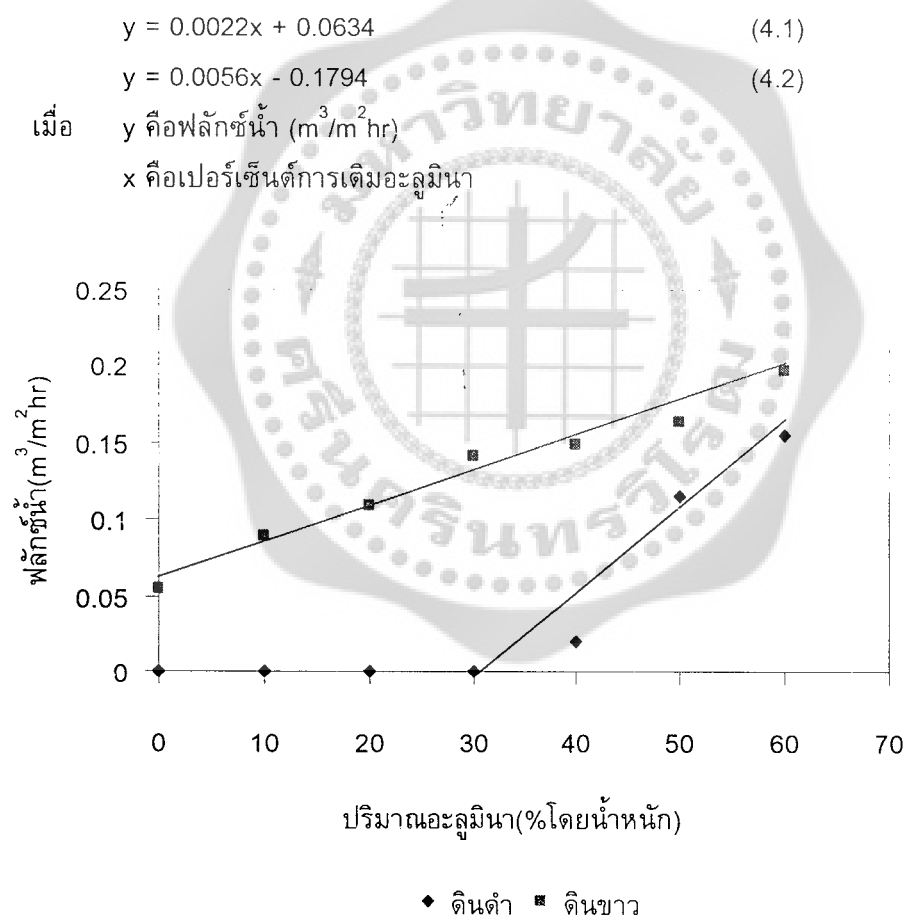


รูปที่ 4.10 ขนาดรูพรุนของตัวกรองดินดำที่เปอร์เซ็นต์อะลูมินาต่างๆ หลังเผา 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4.5 สมบัติการกรองน้ำ

จากการทดลองเพื่อหาค่าฟลักซ์ (J) ของน้ำเปล่า โดยอาศัยการวัดที่ความแตกต่างความดัน (ΔP_{TM}) ที่ 0.27 atm และอัตราการไหลที่ 5 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าค่าฟลักซ์ของน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณอะลูมินาที่เติมลงไปโดยพบว่า ตัวกรองดินดำและดินขาวเมื่อปริมาณการเติมอะลูมินาเพิ่มขึ้น ค่าฟลักซ์น้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังรูปที่ 4.11 ตัวกรองดินดำที่เติมอะลูมินาในปริมาณ 0 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไม่สามารถกรองน้ำได้ในขณะที่ตัวกรองดินขาวที่เติมอะลูมินาตั้งแต่ 0 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถกรองน้ำได้ทุกตัวอย่าง การเพิ่มปริมาณอะลูมินาที่เติมลงส่วนผสมของดินสามารถเพิ่มค่า ฟลักซ์น้ำให้มีค่าเพิ่มขึ้น (Yung-Feng Chen และคณะ, 2004)

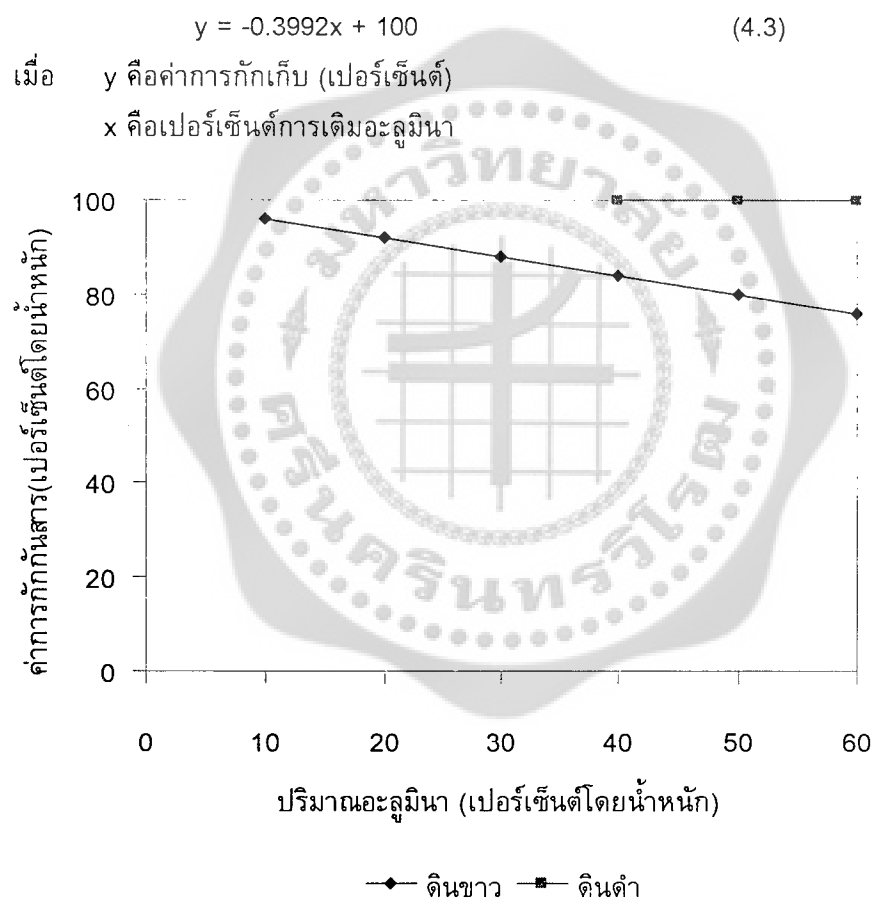
จากรูป 4.12 เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์น้ำกับปริมาณการเติมอะลูมินาสามารถเขียนได้ตามสมการ (4.1) และ (4.2) สำหรับตัวกรองดินดำและดินขาวตามลำดับ



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงปริมาณฟลักซ์น้ำที่กรองได้โดยใช้ตัวกรองดินขาวและดินดำที่ปริมาณการเติมอะลูมินาต่างๆ

4.6 สมบัติการกรองเชื้อ

การศึกษาความสามารถในการกรองเชื้อโดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ในการทดสอบที่ความเข้มข้นของเชื้อยีสต์เท่ากับ 0.0167 กรัมต่อลิตร เมื่อใช้ความแตกต่างความดันเท่ากับ 0.27 บาร์ อัตราการไหลของน้ำหมักเท่ากับ 5 ลิตรต่อนาที ซึ่งให้ผลการทดลองดังแสดงในรูป 4.14 ของแท่งกรองดินดำและดินขาว จากรูปที่ 4.12 พบว่าตัวกรองดินดำมีค่าการกักกันสารดีกว่าตัวกรองดินขาว ตัวกรองดินดำที่มีการเติมอะลูมินาที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่าค่าความสามารถกักเก็บมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ตัวกรองดินขาวที่มีการเติมอะลูมินาที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณอะลูมินาที่เติมเพิ่มขึ้นในส่วนผสม ค่าความสามารถในการกักเก็บมีค่าลดลง โดยค่าความสามารถการกักเก็บของตัวกรองดินขาวสามารถแสดงได้ตามสมการ (4.3)



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าการกักกันสารของตัวกรองดินขาวและดินดำที่ปริมาณการเติมอะลูมินาต่าง ๆ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

เปอร์เซ็นต์อะลูมินาที่เหมาะสมในการผลิตตัวกรองเซรามิกทั้งชนิดดินดำและดินขาวคือ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของของแข็ง ซึ่งจากการทดลองพบว่าตัวกรองดินดำมีค่าฟลักซ์น้ำต่ำกว่าตัวกรองดินขาว แต่ตัวกรองดินดำให้ค่าการกักเก็บเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ทุกสูตรผสม สำหรับสูตรในการผลิตตัวกรองคือ ใช้ดินดำและอะลูมินา โดยปริมาณอะลูมินาเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของของแข็ง เเผาที่ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าตัวกรองมีสมบัติของเปอร์เซ็นต์การหดตัว ค่าความพรุน และค่าฟลักซ์น้ำที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที่ และความความดันแตกต่างกัน 4.75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็น 3.21 เปอร์เซ็นต์ 22.50 เปอร์เซ็นต์ และ 150 ลิตรต่อ(ตารางเมตร-ชั่วโมง) ตามลำดับ

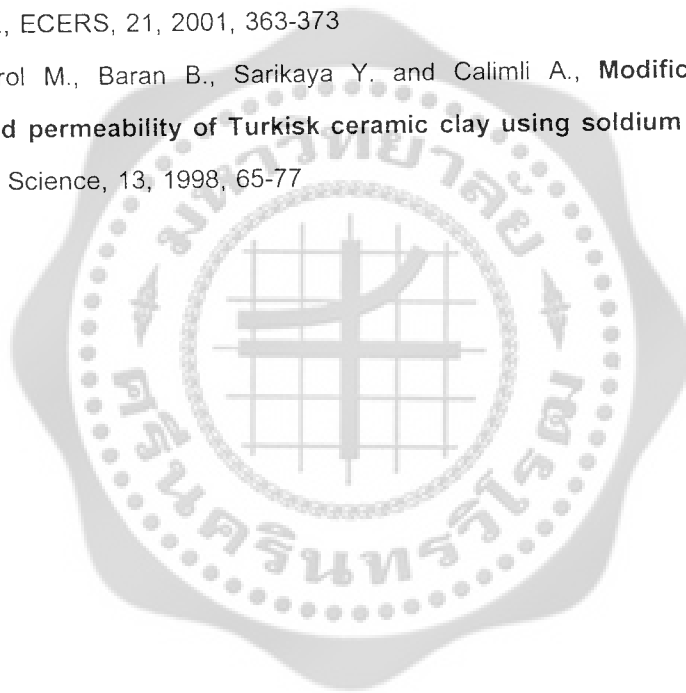
5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองพบว่าค่าความพรุนของแท่งกรองเซรามิกที่เดิมได้มีค่าต่ำ ในการทดลองขั้นต่อไปจึงควรเพิ่มความพรุนของแท่งกรอง เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมได้ นอกจากนี้ควรมีการเคลือบชั้นเยื่อแผ่น เพื่อให้สามารถกรองสารที่มีขนาดเล็ก และยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกรอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] อภิชาติ แสงรุ่งเรืองกิจ, การผลิตพอลิ-บีตาไฮดรอกซีบิวทิเรตโดยผลิตจากเชื้อ *Alcaligenes eutrophus* ATCC17697 ในถังปฏิกรณ์ชีวมวลด้วยการกรองชนิดไมโครฟิลเตรชัน, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 1996
- [2] Afonso, M. D., Alves, A. M. B. and Mohsen M., **Crossflow microfiltration of mable processing wastewaters.**, *Desalination*, 149, 2002, 153-152
- [3] Chen, C. Y., Lan, G. S. and Tuan, W. H. **Preparation of mullite during the sintering of kaolin powder compacts.**, *Ceramic International*, 26, 2000, 715-720
- [4] Conceicao, S.I., Velhoa, J. L. and Ferreina, J. M. F., **Influence of deagglomeration and carboxy methyl cellulose binders on rheological behaviour of kaolin suspensions.**, *Applied Clay Science*, 23, 2003, 257-264
- [5] Ivankovic, H., Tkalcec, E., Nass, R. and Schmidt, H., **Correlation of the precursor type with densification behavior and microstructure of sintered mullite ceramics.**, *ECERS*, 23, 2003, 283-292
- [6] Iwahiro, T., Nakamura, Y., Komatsu, R. and Ikeda K., **Crystallization behavior and characteristics of mullites formed alumina-silica gels prepared by the geopolymer technique in acidic conditions.**, *ECERS*, 21, 2001, 2515-2519
- [7] Kokugan, K. and Kokugan, T., **The effect of molasses pretreatment by ceramic microfiltration membrane on ethanol fermentation.**, *J. Fermentation and Bioengineering.*, 83, 1997, 577-582
- [8] Mazel, F., Gonon, M. and Fantozzi, G., **Manufacture of mullite substrates from andalusite for the development of thin film solar cells.**, *ECERS*, 22, 2002, 453-461
- [9] Peterson, R. A., Webste E. T. R., Niezyniecki, G. M., Anderson, M. A. and Hill, C. G., **Ceramic membranes for novel separations.**, *Separation Science and technology*, 1995, 1589-1709
- [10] Ruys, A. J. and Sorrell C. C., **Slip casting of high-purity alumina using sodium carboxymethylcellulose as deflocculant/binder.**, *Ceram. Bull.*, 1990, 828-832
- [11] Smith, P. A. and Haber R. A., **Reformulation of an aqueous alumina slip based on modification particle-size distribution and particle packing.**, *J. Am. Ceram. Soc.*, 1992, 290-294

- [12]Smith, P. A., Kerch H., Krueger, S., Long, G. G., Keller, J. and Haber, R. A., **Pore sizes and filtration rates from two alumina slips.**, J. Am. Ceram. Soc., 1994, 1777-1782
- [13]Taniguchi M., Kotane N. and Kobayashi T., **High concentration cultivation of bifidobacterium Longum in fermenter with cross-flow filtration.**, Appl. Microbiol. Biotechnol., 25, 1987, 438-441
- [14]Temuujin J., Mackenzie K. L. D., Schmucker M., Schneider H., McManus J. and Wimpweis S., **Phase evolution in mechanically treated mixtures of kaolinite and alumina hydrates (gibbsite and boehmite).**, ECERS, 20, 413-421
- [15]Tsetsekou A., Agrafiotis C. and Milias A., **Optimization of the rheological properties of alumina slurries for ceramic processing applications Part I: Slip-casting.**, ECERS, 21, 2001, 363-373
- [16]Ylidiz N., Erol M., Baran B., Sarikaya Y. and Calimli A., **Modification of rheology and permeability of Turkish ceramic clay using sodium silicate.**, Applied Clay Science, 13, 1998, 65-77



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล (ภาษาไทย) นาย สิทธินันท์ ท่อแก้ว

(ภาษาอังกฤษ) Mr Sittinun Tawkaew

รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ (ถ้ามี)

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ ระดับ 8

หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้สะดวกพร้อมโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

ผศ. ดร. สิทธินันท์ ท่อแก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ถนน รังสิต-นครนายก อำเภอ องครักษ์ จังหวัด นครนายก 26120

โทรศัพท์ 037-322-608

โทรสาร 037-322-608

e-mail: sittinun@swu.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี สาขาวิชา วท.บ. (เคมี) มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ปี ที่สำเร็จ

2535

ปริญญาโท สาขาวิชา วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปี ที่สำเร็จ

2539

หัวข้อวิทยานิพนธ์ที่ทำ A High Alumina Ceramic Filter for Bioseparation

ปริญญาเอก สาขาวิชา PhD (Applied Chemistry) Tohoku University, Sendai Japan

ปี ที่สำเร็จ

2545

หัวข้อวิทยานิพนธ์ที่ทำ Preparation of Semiconductor/Layered Compound

Nanocomposites and Their Photocatalytic Activity for Water Pollution Control

สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

Photocatalytic Reaction, Hydrothermal Synthesis, Kinetic Modeling, Ceramic membrane, solid-liquid separation, ethanol fermentation

การพิมพ์วิจัยในวารสารในประเทศ

1. สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, การเตรียมซีโอไลต์และโซดาไลต์จากดินขาว, วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง ปีที่ 1 ฉบับที่ 3 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2547, 56-60
2. ดวงมณี เรืองสุข, วิวิริยะ มะเดชะ, สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, การตกตะกอนอนุภาคอะลูมินาในชุดตกตะกอน, วารสารวิชาการวิศวกรรม พลังงานและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 1 พฤษภาคม 2548 ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2548, 73-78
3. สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, อภิวัดน์ พิทักษ์วงศ์, ศักดิ์ศิริ วงษ์ดี, การเตรียมซีโอไลต์เอนตัวรองรับดินขาว, วารสารวิชาการวิศวกรรม พลังงานและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 2 พฤศจิกายน 2548 ถึง เมษายน พ.ศ. 2549, 52-58

การนำเสนอผลงานผลงานวิจัยระดับนานาชาติ

1. Sittinun Tawkaew, Watchara Weangkaew, Chirakarn Muangnapoh, ,Preparation and Characterization of Ceramic Filter for Bioseparation, 1st international Conference on Ferment technology for valued added agriculture products, 22 – 25th March 2005, Khon Kaen, THAILAND

การนำเสนอผลงานผลงานวิจัยระดับชาติ

จำนวน 4 เรื่อง

1. สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, สุธี อธิปัญญาพันธุ์, สุรีย์พร ศักดิ์นภาวุฒิ, งามอาจ พุทธรักษา, การบำบัดสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยกระบวนการย่อยสลายด้วยแสง, การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 4 ระหว่างวันที่ 19-21 มกราคม 2548 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี
2. สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, ชาญชัย อนันตปัญญสุทธิ, เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ, การย่อยสลายสีย้อมผ้าด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสง, การประชุมวิชาการประจำปี พ.ศ. 2547 ของสมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 ระหว่างวันที่ 12-15 ธันวาคม 2547
3. สมิตรา นาคเครือ, บัญชา ศิลปสกุลสุข, สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, การเตรียมตัวกรองเซรามิกจากดินดำและดินขาว, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 ประจำปี พ.ศ. 2548 ระหว่างวันที่ 27-28 ตุลาคม 2548, โรงแรมจอมเทียน ปาล์มบีช รีสอร์ท พัทยา จังหวัดชลบุรี
4. ชาญชัย อนันตปัญญสุทธิ, เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ, สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, การย่อยสลายสีย้อมชิบาร์คอนเรตด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสง, การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 5 ประจำปี 2548 ระหว่างวันที่ 8-10 มีนาคม 2549, โรงแรมสยามซิตี้ กรุงเทพฯ