

การเตรียมตัวกรองเซรามิกชนิดมัลไลต์จากดินขาว ดินดำและอะลูมินา



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

พฤษภาคม 2552

การเตรียมตัวกรองเซรามิกชนิดมัลไลต์จากดินขาว ดินดำและอะลูมินา



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

พฤษภาคม 2552

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การเตรียมตัวกรองเซรามิกชนิดมัลไลต์จากดินขาว ดินดำและอะลูมินา



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

พฤษภาคม 2552

สุมิตรา นาคเครือ. (2552). การเตรียมตัวกรองเซรามิกชนิดมัลไลต์จากดินขาว ดินดำและอะลูมินา.

ปริญญาานิพนธ์ วศ.ม.(วิศวกรรมเคมี).กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สินศุภา จุ้ยจุลเจิม.

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมตัวกรองเซรามิกชนิดมัลไลต์จากส่วนผสมดินขาว ดินดำ และอะลูมินา ซึ่งขึ้นรูปด้วยวิธีเทน้ำสลิป และการอัดรีด การขึ้นรูปด้วยวิธีเทน้ำสลิป น้ำดินเตรียมจาก ดินขาว ดินดำ อะลูมินา น้ำ สารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ และสารละลายโซเดียมซิลิเกต และเผา ตัวกรองที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณ อะลูมินาเพิ่มขึ้น ทำให้ความพรุน ความแข็งแรงและเพอมีเอทพลั๊กซ์เพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การ หดตัวลดลง การขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีด เนื้อดินปั้นเตรียมจากดินขาว ดินดำ อะลูมินา น้ำ สารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ และน้ำมันปาล์มโอสลิน และเผาตัวกรองที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า การเผาตัวกรองที่อุณหภูมิสูงทำให้ ความพรุนและเพอมีเอทพลั๊กซ์มีค่าลดลง ในขณะที่ความแข็งแรงและเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่า เพิ่มขึ้น และเมื่อเผาตัวกรองที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตัวกรองที่มีดินดำ และดินขาวเป็นส่วนผสมไม่มีเพอมีเอทไหลออกมา

คำสำคัญ : ตัวกรองเซรามิก ดินดำ ดินขาว อะลูมินา การเทน้ำสลิป การอัดรีด ไมโครฟิลเตรชัน

PREPARATION OF CERAMIC FILTER FROM CHINA CLAY BALL CLAY AND ALUMINA



AN ABSTRACT
BY
SUMITRA NAKKHRUE

Presented in partial fulfillment of the requirements for the
Master of Engineering degree in Chemical Engineering
at Srinakharinwirot University

May 2009

Sumitra Nakkhrue. (2009). *Preparation of Ceramic Filter From China clay Ball clay and Alumina*. Master thesis, M.Eng. (Chemical Engineering). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Assist. Prof. Dr. Sittinun Tawkaew, Assist. Prof. Dr. Sinsupha Chuichulcherm.

This research was to prepare the ceramic filter from china clay, ball clay and alumina by slip casting and extrusion methods. The slip was prepared from china clay, ball clay, alumina, water, polyvinyl alcohol and sodium silicate and being fired at 1200°C for 2 hours. The result showed that an increase in the alumina amount of leads to increase the porosity and strength of filter but to decrease the filter shrinkage. In the extrusion method, the powder consists of china clay, ball clay, alumina, water, polyvinyl alcohol and palm oline oil, and was fired at 1200 - 1500°C for 2 hours. The result showed that as the fired temperature increase, the porosity and permeate flux of the filter decrease, whereas the strength and shrinkage of the filter increase. However, the filters fired at 1500°C for 2 hours were fail to filtrate.

Keyword : Ceramic filter, Ball clay, China clay, Slip casting, Extrusion, Microfiltration

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การเตรียมตัวกรองเซรามิกชนิดมัลไลต์จากดินขาว ดินดำและอะลูมินา

ของ
สุมิตรา นาคเครือ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวិชากรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

วันที่ เดือน พ.ศ. 2552

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธานประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว) (รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริวรรณ ศรีสรจันทร์)

..... กรรมการ กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สินศุภา จั๋ยจุลเจิม) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สินศุภา จั๋ยจุลเจิม)

.....กรรมการ
(ดร. สิทธิสุนทร สุโพธิณะ)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยคำแนะนำ ความช่วยเหลือ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์และให้ความอนุเคราะห์ อย่างดีจากคณาจารย์หลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สินศุภา จุ้ยจุลเจิม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในทุกขั้นตอนของการวิจัยและการเขียนปริญญานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริวรรณ ศรีสรจรรย์ ดร.สิทธิสุนทร สุโพธิณะ ในการเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บัญชา ศิลป์สกุลสุข ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องกระเจิงรังสีเอ็กซ์ (XRD) คุณเสริมสุข รัตเรง ที่ได้ช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องกระเจิงรังสีเอ็กซ์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่านที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานจนสามารถทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้การอุปการะเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจด้วยดีมาโดยตลอด

สุมิตรา นาคเครือ

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
ขอบเขตของงานวิจัย	2
วิธีการดำเนินงานวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 ผลงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
ชนิดของวัตถุดิบ	3
การขึ้นรูปเซรามิก	10
ปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูป	16
การกรอง	19
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
3 วิธีการทดลอง	32
สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	33
อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง	33
วิธีการสำหรับการเตรียมตัวกรองเซรามิก	33
การทดสอบสมบัติทางกายภาพของตัวกรอง	37
การทดสอบสมบัติการกรอง	42
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	45
วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมตัวกรองเซรามิก	45
การขึ้นรูปตัวกรองด้วยวิธีการเทน้ำสลิป	50
ลักษณะโครงสร้างของตัวกรอง	52
ลักษณะจุลโครงสร้างของตัวกรอง	56
สมบัติทางกายภาพของตัวกรอง	59

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 (ต่อ)	
สมบัติการกรองน้ำ.....	63
สมบัติการกรองเชื้อ.....	65
การขึ้นรูปตัวกรองด้วยวิธีการอัดรีด.....	67
สมบัติทางกายภาพของตัวกรอง.....	69
สมบัติการกรองน้ำ.....	73
สมบัติการกรองเชื้อ.....	75
ค่าความต้านทาน.....	76
5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะจากงานวิจัย.....	80
สรุปผลงานวิจัย.....	80
ข้อเสนอแนะ.....	81
บรรณานุกรม.....	82
ภาคผนวก.....	86
ภาคผนวก ก ผลข้อมูลดิบการขึ้นรูปตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีเทน้ำสลিপ.....	87
ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบการขึ้นรูปตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีการอัดรีด.....	98
ภาคผนวก ค การคำนวณ.....	113
ภาคผนวก ง คำอธิบายสัญลักษณ์.....	126
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	129

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 สูตรทางเคมีของแร่ในดินขาว	4
2 ส่วนประกอบของดินขาวและดินดำ	7
3 หน้าที่ของสารเติมแต่ง.....	11
4 วิธีการเตรียมชิ้นงานดิบ.....	14
5 อัตราส่วนของวัตถุดิบในตัวกรองสูตรต่าง ๆ.....	28
6 อัตราส่วนของตัวกรองสูตรดินดำ.....	35
7 อัตราส่วนของตัวกรองสูตรดินขาว.....	35
8 อัตราส่วนของตัวกรองที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีด.....	36
9 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ.....	45
10 ความต้านทานของเยื่อแผ่น.....	76
ก-1 ข้อมูลความยาวของชิ้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ของตัวกรองสูตร ดินดำ.....	88
ก-2 ข้อมูลความยาวของชิ้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ของตัวกรองสูตร ดินขาว.....	89
ก-3 น้ำหนักชิ้นงานในขณะเปียก น้ำหนักชิ้นงานที่ชั่งในน้ำและน้ำหนักชิ้นงาน ในขณะแห้งของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	90
ก-4 น้ำหนักชิ้นงานในขณะเปียก น้ำหนักชิ้นงานที่ชั่งในน้ำและน้ำหนักชิ้นงาน ในขณะแห้งของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	91
ก-5 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเส้นผ่านศูนย์กลางภายในความยาวของชิ้นงาน และแรงกดของตัวกรองสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	93
ก-6 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเส้นผ่านศูนย์กลางภายในความยาวของชิ้นงาน และแรงกดของตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	93

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
ก-7	ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำของตัวกรองสูตรดินดำที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 0 ถึง 60 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ที่เวลาการกรองต่างๆหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวาง อัตราการไหลของน้ำเป็น 4 ลิตรต่อนาที และความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่นเท่ากับ 3.27×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร.....	94
ก-8	ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำของตัวกรองสูตรดินขาวที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 0 ถึง 60 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ที่เวลาการกรองต่างๆหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวาง อัตราการไหลของน้ำเป็น 4 ลิตรต่อนาที และความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่นเท่ากับ 3.27×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร.....	95
ก-9	ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองเชื้อยีสต์ของตัวกรองสูตรดินดำที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 0 ถึง 60 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักที่เวลาการกรองต่างๆหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวาง อัตราการไหลของน้ำเป็น 4 ลิตรต่อนาที และความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่นเท่ากับ 3.27×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร.....	96
ก-10	ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองเชื้อยีสต์ของตัวกรองสูตรดินขาวที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 0 ถึง 60 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักที่เวลาการกรองต่างๆหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวาง อัตราการไหลของน้ำเป็น 4 ลิตรต่อนาที และความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่นเท่ากับ 3.27×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร.....	97
ข-1	ความยาวของชิ้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสและความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงของตัวกรองสูตรดินดำ.....	99
ข-2	ความยาวของชิ้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสและความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงของตัวกรองสูตรดินดำ.....	100

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข-3 ความยาวของชิ้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสและความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงของตัวกรองสูตรดินดำ.....	100
ข-4 ความยาวของชิ้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสและความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงของตัวกรองสูตรดินดำ.....	100
ข-5 ความยาวของชิ้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสและความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงของตัวกรองสูตรดินขาว.....	101
ข-6 ความยาวของชิ้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสและความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงของตัวกรองสูตรดินขาว.....	101
ข-7 ความยาวของชิ้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสและความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงของตัวกรองสูตรดินขาว.....	102
ข-8 ความยาวของชิ้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสและความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงของตัวกรองสูตรดินขาว.....	102
ข-9 ข้อมูลค่าน้ำหนักชิ้นงานในขณะเปียก น้ำหนักชิ้นงานที่ชั่งในน้ำ และน้ำหนักชิ้นงานในขณะแห้ง ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 – 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	103
ข-10 ข้อมูลค่าน้ำหนักชิ้นงานในขณะเปียก น้ำหนักชิ้นงานที่ชั่งในน้ำ และน้ำหนักชิ้นงานในขณะแห้ง ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 – 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	103
ข-11 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวของชิ้นงาน แรงกดและของตัวกรองสูตรดินดำหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 – 1500 องศาเซลเซียสเป็นเวลาเวลา 2 ชั่วโมง.....	104
ข-12 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวของชิ้นงาน แรงกดและของตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 – 1500 องศาเซลเซียสเป็นเวลาเวลา 2 ชั่วโมง.....	104

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข-13 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำ หลังเผา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบ การกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที.....	104
ข-14 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำ หลังเผา ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบ การกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที.....	105
ข-15 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาวหลังเผา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบ การกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที.....	105
ข-16 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาวหลังเผา ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบ การกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที.....	106
ข-17 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาวหลังเผา ที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบ การกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที.....	106
ข-18 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองเชื้อยีสต์ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุด ทดสอบการกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที.....	107
ข-19 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองเชื้อยีสต์ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุด ทดสอบการกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที.....	107

บัญชีตาราง (ต่อ)

[illegible]

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง

หน้า

- ข-27 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองเชื้อยีสต์ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาว
หลังเผาที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุด
ทดสอบการกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ
1.895 ลิตรต่อนาที..... 111



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 การตีลามิเนชันของเคโอลิน.....	4
2 โครงสร้างของแร่เคโอลินที่อัตราส่วนของชั้นซิลิเกตต่อชั้นอะลูมินาเป็น (ก) 1:1 และ (ข) 2:1.....	5
3 พีคของเคโอลิน พีคที่มีเครื่องหมายสีเหลี่ยมคือพีคเคโอลิน พีคที่ไม่มี เครื่องหมายสีเหลี่ยมคือพีคของฮอลโลไซต์ และไมกา.....	6
4 โครงสร้างอะลูมินา.....	8
5 จุลโครงสร้างของมัลไลต์เมื่อเผาที่อุณหภูมิ (ก) 1500 (ข) 1600 และ (ค) 1650 องศาเซลเซียส	9
6 พีค XRD ของมัลไลต์.....	10
7 การขึ้นรูปด้วยวิธีเทน้ำสลิต.....	14
8 ลักษณะของงานที่ออกมาตามหัวรีด.....	15
9 เครื่องอัดรีด.....	15
10 การดูดซับของพอลิเมอร์ในดิน (ก) อนุภาคของดินในน้ำ (ข) อนุภาคของดินที่ มีการเติมพอลิเมอร์ลงไป (ค) อนุภาคของดินที่มีการรวมตัวกัน และ (ง) อนุภาคของดินที่มีการกระจายตัว.....	17
11 การปรับอุณหภูมิในการเผา.....	19
12 การเปรียบเทียบการกรองแบบปลายปิด(ก)และแบบไหลขวาง(ข).....	21
13 การเตรียมแม่แบบปูนปลาสเตอร์.....	33
14 เครื่องอัดรีดท่อทรงกระบอก (ก) และ หัวแม่แบบทรงกระบอก (ข).....	36
15 เครื่องกระเจิงรังสีเอ็กซ์ (XRD) รุ่น Brooker D8 ประเทศเยอรมัน.....	37
16 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น JSM 6301F ประเทศ ญี่ปุ่น.....	38
17 ลักษณะของ Penetrometer.....	41
18 ชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวางรุ่น1(ก) และแผนภาพแสดงทิศทางการไหล (ข).....	43
19 ชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวางรุ่น2 (ก)และแผนภาพแสดงทิศทางการไหล (ข)	44

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
20 โครงสร้างของดินดำ (ก) ก่อนเผา และ (ข) หลังเผา เมื่อ K คือ เคโอลิไนต์ M คือ มัลไลต์ และ Q คือ ควอร์ต.....	46
21 จุลโครงสร้างของดินดำ ที่กำลังขยาย 10000 เท่า (ก) ก่อนเผา และ (ข) หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	46
22 โครงสร้างของดินขาวที่กำลังขยาย 10000 เท่า (ก) ก่อนเผา และ (ข) หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อ K คือ เคโอลิไนต์ M คือ มัลไลต์ F คือ เฟลสปา และ Q คือ ควอร์ต.....	47
23 จุลโครงสร้างของดินขาวที่กำลังขยาย 10000 เท่า (ก) ก่อนเผาและ(ข)หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	48
24 โครงสร้างของอะลูมินา (ก) ก่อนเผา และ (ข) หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อ A คือ อะลูมินา.....	49
25 จุลโครงสร้างของอะลูมินาก่อนเผาที่กำลังขยาย 10000 เท่า.....	49
26 ค่าความหนืดของน้ำสลิปที่เตรียมจาก (ก) ดินดำ และ (ข) ดินขาว ที่ปริมาณการเติมอะลูมินาต่างๆ (เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก).....	51
27 โครงสร้างของตัวกรองสูตรดินดำก่อนเผา ที่ปริมาณการเติมอะลูมินาต่างๆ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เมื่อ A คือ อะลูมินา K คือ เคโอลิไนต์ และ Q คือ ควอร์ต.....	53
28 โครงสร้างของตัวกรองสูตรดินดำหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ปริมาณการเติมอะลูมินาต่างๆ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เมื่อ A คือ อะลูมินา M คือ มัลไลต์ และ Q คือ ควอร์ต.....	54
29 โครงสร้างของตัวกรองสูตรดินขาว ก่อนเผา ที่ปริมาณการเติมอะลูมินาต่างๆ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เมื่อ A คือ อะลูมินา K คือ เคโอลิไนต์ และ Q คือ ควอร์ต.....	55
30 โครงสร้างของตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่ปริมาณการเติมอะลูมินาต่างๆ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เมื่อ A คือ อะลูมินา M คือ มัลไลต์ และ Q คือ ควอร์ต.....	56

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
31 โครงสร้างจุลภาคของตัวกรองสูตรดินดำหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่เปอร์เซ็นต์การเติมอะลูมินา 0 10 20 30 40 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 10000 เท่า.....	57
32 โครงสร้างจุลภาคของตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่เปอร์เซ็นต์การเติมอะลูมินา 0 10 20 30 40 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 10000 เท่า.....	58
33 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของตัวกรองเซรามิกหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง	59
34 ความพรุนของตัวกรองหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	60
35 ขนาดรูพรุนของตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เวลา 2 ชั่วโมง ที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 50 (ก) และ 60 (ข) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	61
36 ขนาดรูพรุนของตัวกรองสูตรดินดำหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	62
37 ความแข็งแรงของตัวกรองสูตรดินดำ และตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	63
38 เพอมีเอทฟลักซ์ฟลักซ์การกรองน้ำเปล่าของตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับค่าฟลักซ์จากการคำนวณตามสมการที่ 27.....	65
39 เพอมีเอทฟลักซ์การกรองเชื้อยีสต์ของตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	66
40 เปอร์เซ็นต์การกักเก็บสารของตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและปริมาณการเติมอะลูมินา 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	67
41 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	68

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
42 ความพรุนของตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	69
43 ขนาดรูพรุนของตัวกรองสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	70
44 ขนาดรูพรุนของตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	71
45 ความแข็งแรงของตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	72
46 เอมิเอทฟลักซ์การกรองน้ำเปล่าของตัวกรองสูตรดินดำหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับค่าฟลักซ์จากการคำนวณตามสมการที่ 27.....	73
47 เอมิเอทฟลักซ์การกรองน้ำเปล่าของตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับค่าฟลักซ์จากการคำนวณตามสมการที่ 27.....	74
48 เปอร์เซนต์การกักเก็บสารของตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็น เวลา 2 ชั่วโมง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่ที่ 1.895 ลิตรต่อนาที...	75
49 ค่าความต้านทานของตัวกรองสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อ R_m คือ ความต้านทานของเยื่อแผ่น R_f คือ ความต้านทานการอุดตัน R_t คือ ความต้านทานรวม และ R_c คือความต้านทานของเค้ก.....	78
50 ค่าความต้านทานของตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆเมื่อ R_m คือ ความต้านทานของเยื่อแผ่น R_f คือ ความต้านทานการอุดตัน R_t คือ ความต้านทานรวม และ R_c คือความต้านทานของเค้ก.....	79
ก-1 ตัวอย่างตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาวที่ผลิตได้.....	92
ก-2 ตัวอย่างตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำที่ผลิตได้.....	92
ข-1 ตัวอย่างตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาวที่ผลิตได้.....	112
ข-2 ตัวอย่างตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำที่ผลิตได้.....	112
ค-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเอมิเอทของน้ำเปล่ากับเวลาที่ใช้ในการกรอง เมื่อความดันตกต่างที่เยื่อแผ่นเท่ากับ 4.31×10^4 นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร	117

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ค-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรพอลิเมอร์ของน้ำหมักกับเวลาที่ใช้ในการกรอง เมื่อ ความดันแตกต่างที่เยื่อแผ่นเท่ากับ 4.31×10^4 นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร	118
ค-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรพอลิเมอร์ของน้ำหลังการใช้งานกับเวลาที่ใช้ใน การกรองเมื่อ ความดันแตกต่างที่เยื่อแผ่นเท่ากับ 4.31×10^4 นิวตันต่อ ลูกบาศก์เมตร.....	119
ค-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพอลิเมอร์ของน้ำเปล่ากับค่าความดันแตกต่าง ที่ผิวเยื่อแผ่น.....	120
ค-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพอลิเมอร์ของน้ำหมักกับค่าความดันแตกต่างที่ ผิวเยื่อแผ่น.....	122
ค-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพอลิเมอร์ของน้ำเปล่าหลังการใช้งานกับค่า ความแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่น.....	123

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีการแยกของแข็ง-ของเหลว ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น การเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนในหางนม การกรองน้ำดื่ม การกรองน้ำอ้อยในอุตสาหกรรมน้ำตาล การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้ การบำบัดน้ำเสีย อุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพ เป็นต้น ในอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการแยกของแข็ง-ของเหลว เพื่อใช้แยกเซลล์จุลินทรีย์ออกจากน้ำหมัก เทคโนโลยีการแยกใช้เทคนิคการคัดขนาด โดยตัวกลางจะทำหน้าที่คัดขนาดอนุภาคโมเลกุลสารที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดรูพรุนของตัวกลางจะถูกกักไว้ ในขณะที่อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูพรุนสามารถผ่านออกมาได้ การแยกของแข็ง-ของเหลวในอุตสาหกรรมการหมักได้ประยุกต์ใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชันเพื่อใช้ในการผลิต หรือแยกผลิตภัณฑ์ออก หรือการแยกเซลล์กลับมาใช้ใหม่ ตัวกลางที่ทำหน้าที่คัดขนาดในปัจจุบันสามารถแบ่งตามชนิดของวัสดุที่ใช้ในการผลิตได้แก่ เซรามิก โพลีเมอร์ และโลหะ แต่ตัวกรองโพลีเมอร์และโลหะไม่เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการหมัก เนื่องจากในอุตสาหกรรมการหมักจำเป็นต้องมีการสเตอริไรต์เพื่อฆ่าเชื้อ ทำให้ไม่เหมาะกับตัวกรองโพลีเมอร์ ในขณะที่ตัวกรองโลหะสามารถทนต่อการกัดกร่อน – ต่าง หรือสภาวะที่มีการกัดกร่อนได้น้อย ส่วนตัวกรองเซรามิก สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง และทนต่อสภาวะการกัดกร่อนของจุลินทรีย์ ซึ่งเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการหมัก

ตัวกรองเซรามิกสามารถแบ่งได้ตามชนิดของวัสดุได้แก่ เช่น ตัวกรองซิลิกา ตัวกรองอะลูมินา ตัวกรองมัลไลต์ เป็นต้น ตัวกรองซิลิกาเป็นตัวกรองที่มีราคาถูก และนิยมใช้กันทั่วไป แต่มีข้อเสียคือไม่ทนต่อการกัดกร่อนจากเบส ไม่สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงและความแข็งแรงต่ำ ขณะที่ตัวกรองอะลูมินาเป็นตัวกรองที่มีความแข็งแรง ทนต่อสภาพกรด-เบส แต่มีราคาแพง ตัวกรองมัลไลต์เป็นตัวกรองที่มีความแข็งแรง ทนต่อสภาพกรด-เบส และมีราคาถูกกว่าตัวกรองอะลูมินา องค์ประกอบหลักของมัลไลต์คืออะลูมินาและซิลิกา มีสูตรโครงสร้างเป็น $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ผลึกเป็นรูปเข็ม จุดหลอมเหลว 1700 ถึง 1750 องศาเซลเซียส วัสดุที่ใช้ในการเตรียมมัลไลต์ได้แก่ ดินขาว ดินดำ และอะลูมินา ซึ่งหาได้ง่ายและมีราคาถูก

การขึ้นรูปเซรามิกมีหลายวิธี เช่น การเทน้ำสลิบ การอัดรีด เป็นต้น วิธีการเทน้ำสลิบเป็นวิธีที่เติมน้ำสลิบลงไปแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ เมื่อเทน้ำสลิบลงไปแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ แบบพิมพ์จะดูดซับน้ำจากน้ำสลิบที่บริเวณผิวหน้าแบบพิมพ์ทำให้เกิดเป็นชั้นเค้กที่ผิวหน้า ส่วนการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีดเป็นการขึ้นรูปโดยอัดเนื้อดินปั้นซึ่งมีความเหนียวผ่านแผ่นโลหะซึ่งมีลักษณะคล้ายรวงผึ้ง วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปจะประกอบด้วยผงอนุภาคของวัสดุและสารเติมแต่งต่างๆ จากนั้นอัดเนื้อดินปั้นผ่านกระบอกสูบ ซึ่งอาจมีการดูดอากาศออกด้วย นอกจากนี้อาจใส่แบบไว้ที่

ปลายกระบอกลูกเพื่อให้ชิ้นงานมีรูปร่างตามต้องการ หรืออาจให้เนื้อดินปั้นผ่านกระบอกลูกออกมาแล้วตัดแต่งดินเอาไว้ตามความเหมาะสมเพื่อใช้ในการขึ้นรูปต่อไป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของสารตั้งต้นต่อการเตรียมตัวกรองเซรามิก ด้วยวิธีการเทน้ำสลิป และการอัดรีด
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีการเทน้ำสลิป และการอัดรีด
3. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติการกรองของตัวกรองที่เตรียมได้

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการผลิตตัวกรองเซรามิก อัตราส่วนของดินขาว ดินดำ และอะลูมินา
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของตัวกรองเซรามิก ได้แก่ โครงสร้างของตัวกรอง โครงสร้างระดับจุลภาค และขนาดรูพรุน
3. ศึกษาและทดสอบสมบัติการกรองโดยใช้น้ำ และสารแขวนลอยของยีสต์

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการผลิตตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีการเทน้ำสลิป และการอัดรีด
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ ของตัวกรองเซรามิก ได้แก่ โครงสร้างของตัวกรอง โครงสร้างระดับจุลภาค ขนาดรูพรุน ด้วยวิธี XRD SEM และวัดขนาดรูพรุนโดยการใช้ปรอท
3. ศึกษาและทดสอบสมบัติการกรองโดยใช้น้ำ และสารแขวนลอยของยีสต์ ด้วยชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวาง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงผลของสารตั้งต้นในการเตรียมตัวกรองเซรามิก
2. ทำให้ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปตัวกรองเซรามิก
3. สามารถประยุกต์ใช้ตัวกรองสำหรับแยกของแข็งออกจากของเหลว และลดการนำเข้าตัวกรองจากต่างประเทศ

บทที่ 2

ผลงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ชนิดของวัตถุดิบ

ดินหรือแร่ดินเป็นวัตถุดิบที่ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่น การผลิตอาหาร อาหารสัตว์ เครื่องดื่ม กระดาษ ยาง พลาสติก หน้กเทียม งานตกแต่งภายใน ภายนอก ยาเครื่องสำอาง สี ดินสอ ดินสอสี ผลิตภัณฑ์พอร์ทเลน และเซรามิก เป็นต้น (Konta.1995: 275-335) สมบัติสำคัญของดินที่ถูกนำมาใช้ในงานเซรามิก คือ

1. ความเหนียว (Plasticity) มีความสำคัญในกระบวนการขึ้นรูปเซรามิก โดยอาศัยความสามารถในการละลายน้ำของดิน ซึ่งมีสัดส่วนและปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการขึ้นรูปขึ้นงาน เพื่อให้ได้ชิ้นงานมีรูปร่างคงตัวและความแข็งแรงระหว่างการอบแห้งและการเผา

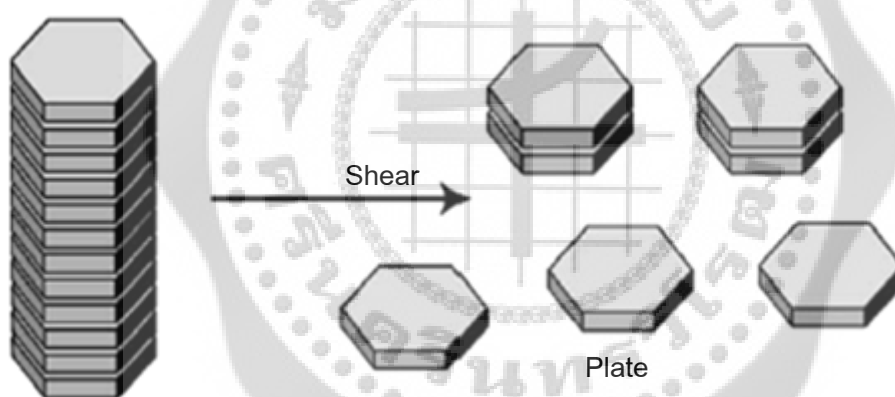
2. ช่วยในการหลอมเหลวองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในชิ้นงานระหว่างการทำการเผา เพื่อให้ชิ้นงาน มีความแข็งแรงและไม่เสียรูปร่างขณะทำการเผา

องค์ประกอบหลักในดินคือแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) ซึ่งเป็นสารประกอบไฮดรอะลูมิเนียมซิลิเกต (Hydrous aluminosilicate) มีสูตรโครงสร้างเป็น $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ดังแสดงในตาราง 1 (Konta.1995: 275-335) เคโอลิไนต์มีรูปร่างเป็นแผ่นหกเหลี่ยม ดังแสดงในภาพประกอบ 1 ซึ่งแสดงการเกิดดีลามีเนชัน (Delamination) ของเคโอลิไนต์เมื่อเกิดการแขวนลอยในน้ำ ซึ่งเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการทำความสะอาด ภาพประกอบ 2 แสดงการเชื่อมกันของแผ่นซิลิเกต (Silicate) และแผ่นอะลูมิเนต (Aluminate) ภาพประกอบ 2 (ก) แสดงการเชื่อมกันในอัตราส่วน 1:1 ซึ่งมีการใช้ออกซิเจนอะตอมร่วมกันระหว่างแผ่นซิลิเกตและแผ่นอะลูมิเนตและยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ภาพประกอบ 2 (ข) แสดงการเชื่อมกันในอัตราส่วน 2:1 โดยแผ่นซิลิเกตจำนวน 2 แผ่น ถูกเชื่อมด้วยแผ่นอะลูมิเนต ซึ่งการเชื่อมกันของแผ่นซิลิเกตและแผ่นอะลูมิเนตในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ทำให้อนุภาคของดินมีสมบัติแตกต่างกันไปด้วย (Konan; et al. 2007: 101-108) ภาพประกอบ 3 แสดงโครงสร้างของเคโอลิไนต์เมื่อวัดด้วยวิธีการกระเจิงแสง (XRD) พบพีคหลักจำนวน 2 พีค ที่มุม 2θ เท่ากับ 14.32 และ 29.00 องศา และพบพีคเคโอลิไนต์ที่มุม 2θ ระหว่าง 22-28 องศา โดยที่มุม 29.00 องศา ปริมาณพีคของเคโอลิไนต์สูงกว่าที่มุม 14.32 องศา นอกจากนี้ยังพบพีคของฮอลโลไซต์ (Hollosite) และไมกา (Mica)

ตาราง 1 สูตรทางเคมีของแร่ในดินขาว

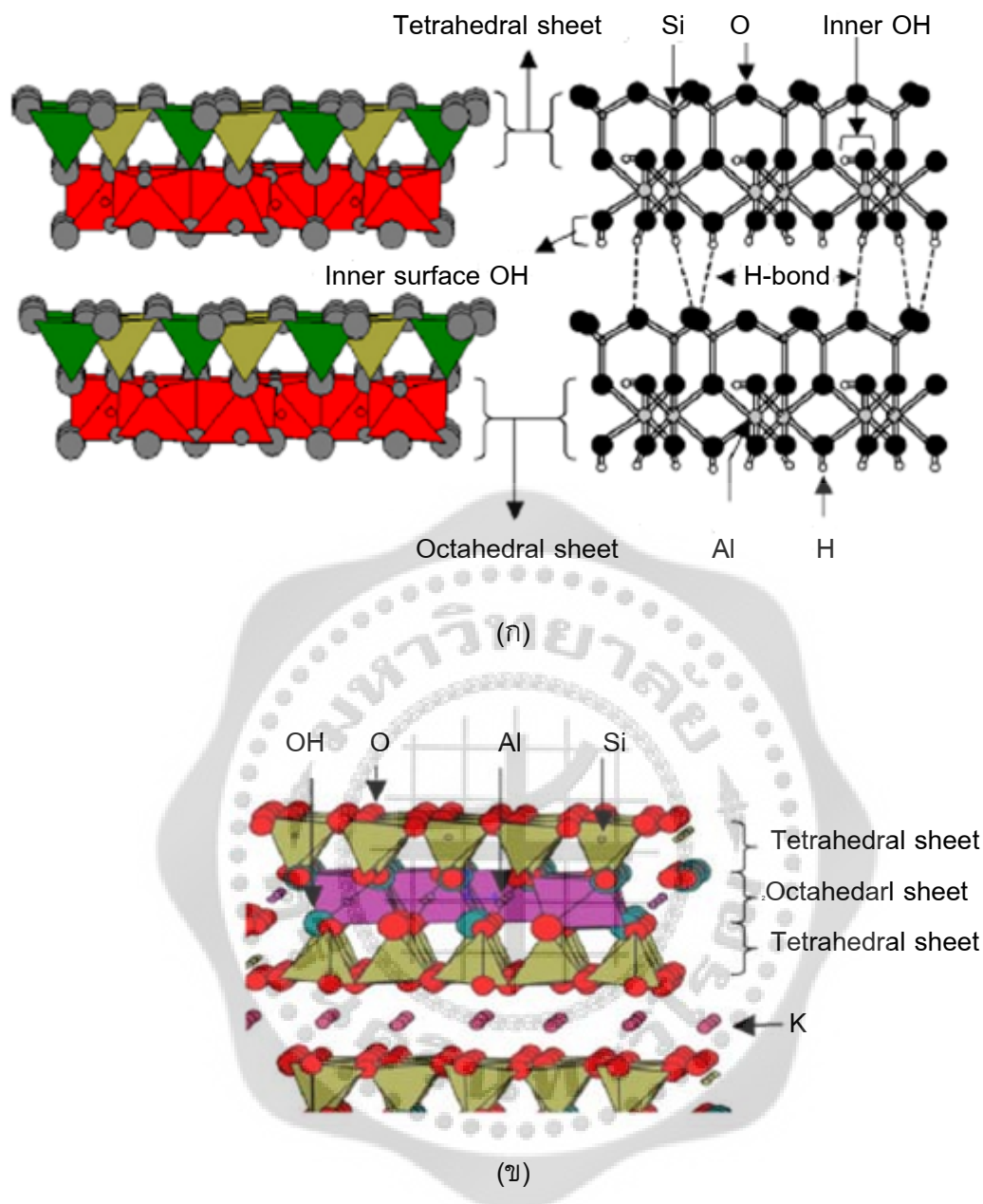
เคโอลินไนต์ (Kaolinite)	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$
ฮอลลอยไซต์ (Halloysite)	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
ไพโรฟิลไลต์ (Pyrophyllite)	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_2$
มอนท์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite)	$\text{Al}_{1.67}\text{Na}_{0.33}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_2$ หรือ $\text{Al}_{1.67}\text{Mg}_{0.33}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2(\text{OH})_2$
ไมกา (Mica)	$\text{Al}_2\text{K}(\text{Si}_{1.5}\text{Al}_{0.5}\text{O}_5)_2(\text{OH})_2$
อิลไลต์ (Illite)	$\text{Al}_{2-x}\text{Mg}_x\text{K}_{1-x-y}(\text{Si}_{1.5-y}\text{Al}_{0.5+y}\text{O}_5)_2(\text{OH})_2$

ที่มา: Konta. (1995). Clay and man: Clay raw materials in the service of man.
Applied Clay Science. 10: 275-335.



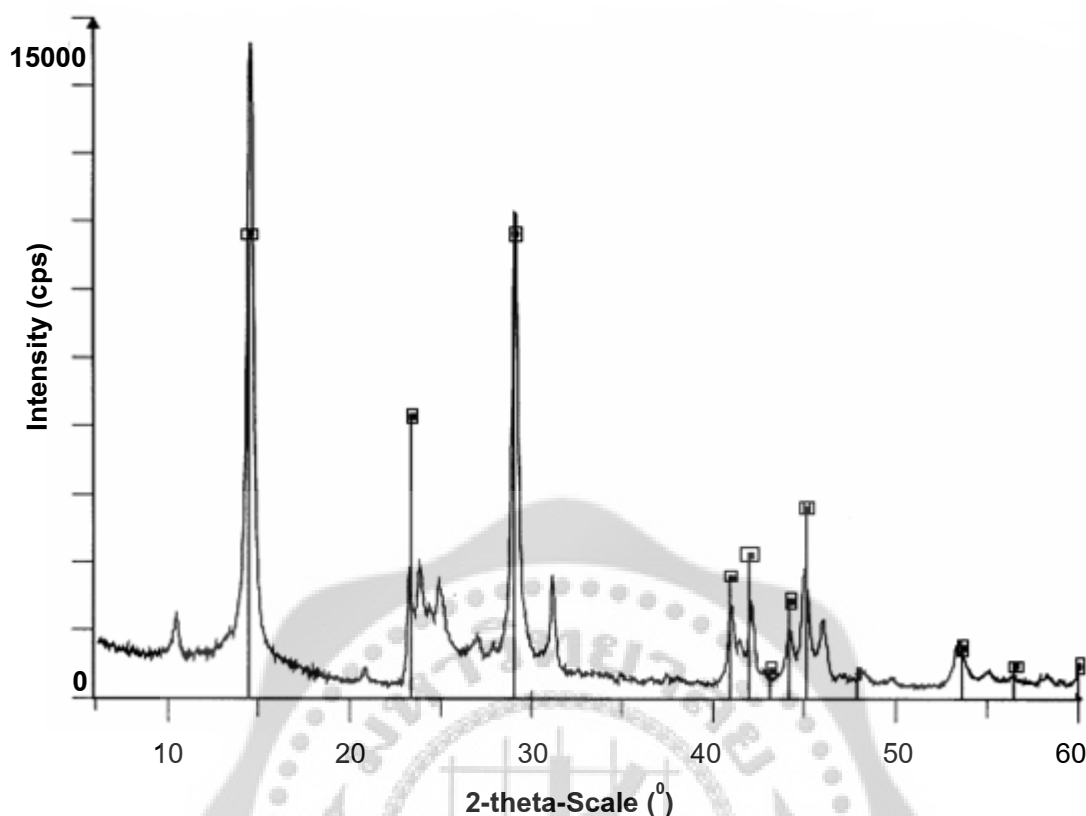
ภาพประกอบ 1 การดีลามีเนชันของเคโอลิน

ที่มา: Murray; & Kogel. (2005). Engineered clay products for the paper industry.
Applied Clay Science. 29: 199-206.



ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของแร่เคโอลินต์ที่อัตราส่วนของชั้นซิลิเกตต่อชั้นอะลูมิเนียมเป็น (ก) 1:1 และ (ข) 2:1

ที่มา: Konan; et al. (2007). Surface properties of kaolin and illite suspensions in Concentrated calcium hydroxide medium. *Journal of Colloid and Interface Science*. 307: 101–108.



ภาพประกอบ 3 พีคของเคโอลิไนต์ พีคที่มีเครื่องหมายสี่เหลี่ยมคือพีคเคโอลิไนต์ พีคที่ไม่มีเครื่องหมายสี่เหลี่ยมคือพีคของฮอลโลไซต์ และไมกา

ที่มา: Feret; & Roy. (2002). Determination of quartz in bauxite by a combined X-ray diffraction and X-ray fluorescence method. *Spectrochimica Acta Part B*. 57: 551–559.

1. ดินขาว (Kaolin clay) เป็นดินที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 1810 องศาเซลเซียส หลังเผาจะมีสีขาว ดินขาวทนไฟมีจุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง 1760 ถึง 1810 องศาเซลเซียส การเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1745 องศาเซลเซียส หรือในช่วงอุณหภูมิ 1760 ถึง 1830 องศาเซลเซียส จะทำให้ดินขาวมีความแข็งแรงสูงสุด องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวแสดงในตาราง 2 จากตารางพบว่าองค์ประกอบหลักของดินขาว คือเคโอลิไนต์ซึ่งมีประมาณ 80 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไมกาหรืออิลไลต์ประมาณ 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกนั้นจะเป็นออกไซด์ต่างๆ ควอทซ์ ต่างเฟลสป่า และโลหะหนัก นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อปริมาณควอทซ์สูงขึ้นปริมาณของซิลิกา (SiO_2) จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วยในขณะที่ปริมาณของอะลูมินา (Al_2O_3) และน้ำหนัที่หายไป (Loss on ignition, L.O.I) มีค่าลดลง ดินขาวที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณของเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดินขาวถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การผลิตผลิตภัณฑ์อิฐแวร์

(Earthenware) เครื่องสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์ไวท์แวร์ (White ware) กระเบื้องที่มีสีขาว เป็นส่วนผสมในซีเมนต์และวัสดุขุดดิน อนุญาตให้ใช้ไฟฟ้า และใช้เติมเพื่อเพิ่มน้ำหนักให้พอร์ทเลนซ์ เป็นต้น

2. ดินดำ (Ball Clay) เป็นดินที่มีอุณหภูมิในการหลอม 1750 ถึง 1790 องศาเซลเซียสหลังเผาจะมีสีขาว และมีความทนไฟ ดินดำมีถ่านลิกไนต์เป็นส่วนประกอบประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนประกอบทางเคมีของดินดำแสดงในตาราง 2 ดินดำถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อช่วยในการหล่อ เนื่องจากมีสมบัติเป็นสารช่วยกระจายตัว จึงถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสุญญากาศ นอกจากนี้ยังมีการใช้ดินดำผสมลงไปเพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงและเป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมกระเบื้อง กระเบื้องสี เป็นส่วนผสมในสารเคลือบ และช่วยเพิ่มการเกาะติดในโครงสร้างของแผ่นฟิล์ม

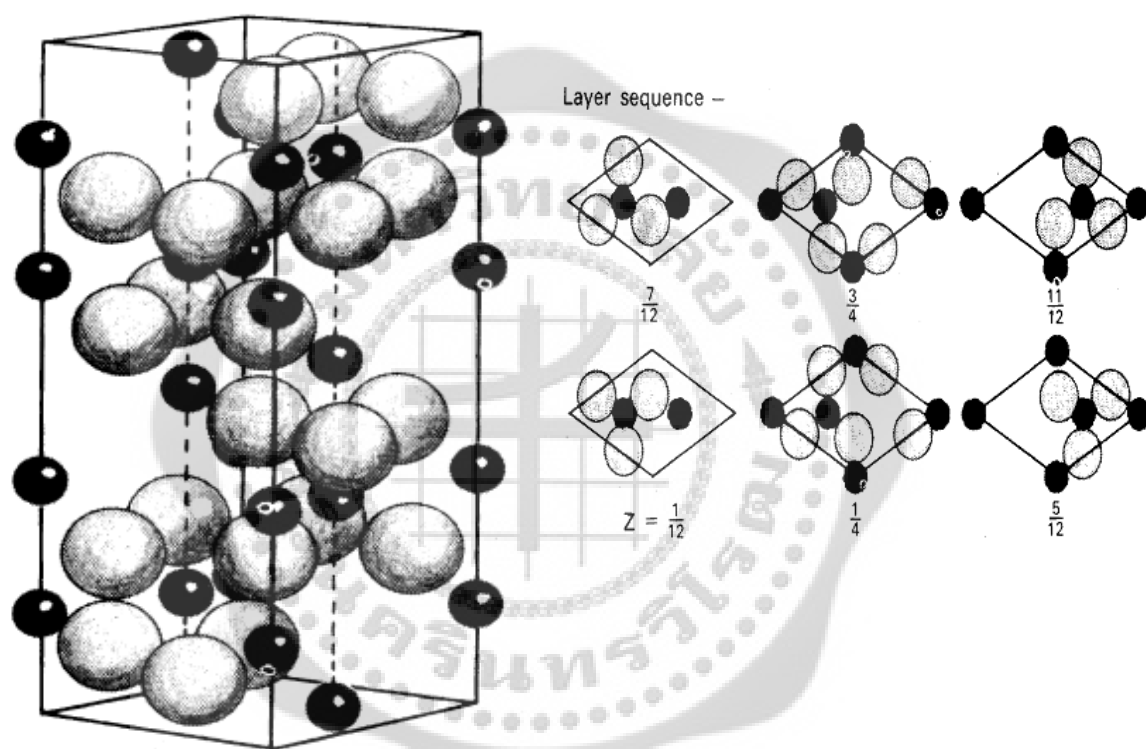
ตาราง 2 ส่วนประกอบของดินขาวและดินดำ

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณที่พบในดินขาว (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ปริมาณที่พบในดินดำ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
SiO ₂	45.3-53.0	40.6-49.1
Al ₂ O ₃	32.0-38.0	29.0-37.4
MgO	0.0-0.54	0.0-0.5
Na ₂ O	0.0-0.7	0.0-0.7
TiO ₂	0.2-1.7	0.16-1.97
Fe ₂ O ₃	0.8-1.2	0.4-2.8
CaO	0.10-0.7	0.1-0.5
K ₂ O	0.2-2.5	0.1-2.7
L.O.I (1000°C)	9.1-14.2	12.3-25.0

ที่มา: Konta. (1995). Clay and man: Clay raw materials in the service of man.
Applied Clay Science. 10: 275-335.

3. อะลูมินา (Alumina) หรืออะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium Oxide) มีสูตรทางเคมีเป็น Al₂O₃ เป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญมากในงานเซรามิก โดยอะลูมินาจะถูกเติมลงไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับชิ้นงาน แอลฟาอะลูมินา (Alpha Phase, α -Al₂O₃) เป็นอะลูมินาที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด เนื่องจากเป็นเฟสที่มีความเสถียร อะลูมินามีความหนาแน่นเป็น 3.98 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลว 2048 ± 6 องศาเซลเซียส ความร้อนจำเพาะเท่ากับ 47.70 จูลต่อโมล.องศาเซลเซียส โดยทั่วไปมักพบอะลูมิเนียมในรูปไฮเดรต (Hydrate) เช่น หินบอกไซต์ (Bauxite rock)

ซึ่งประกอบด้วยเรโบห์ไมต์ (Boehmite, $\text{AlO}(\text{OH})$) ดังแสดงในสมการที่ 1 (Loffler; Mader. 2005: 639-648) นอกจากนี้ยังพบอยู่ในรูปผลึกคอร์ันดัม อะลูมินามีโครงสร้างที่มีการจัดเรียงตัวแบบเฮกซะโกนอลโคลสแพคกิง (Hexagonal closed packing) ดังแสดงในภาพประกอบ 4

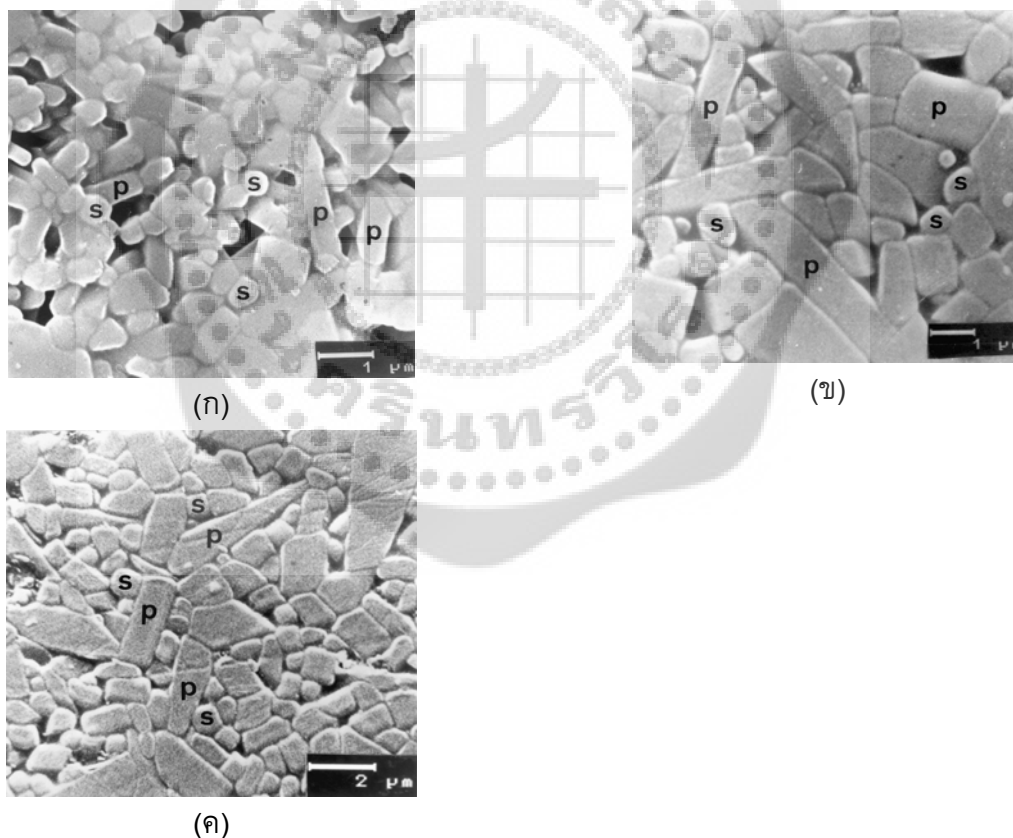
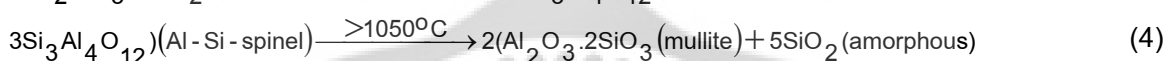
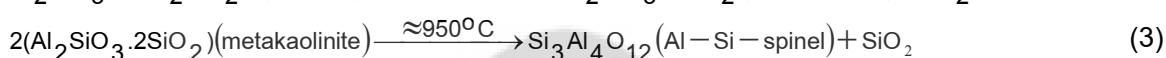
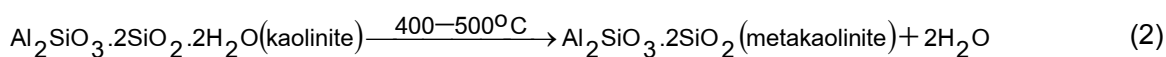


ภาพประกอบ 4 โครงสร้างอะลูมินา

ที่มา: Feret; Roy; & Boulanger. (2000). Determination of alpha and beta alumina in ceramic alumina by X-ray diffraction. *Spectrochimica Acta Part B*. 55: 1051-1061.

4. มัลไลต์ (Mullite) เป็นวัสดุที่ใช้ในงานเซรามิกขั้นสูงเนื่องจากมีค่าการนำความร้อนต่ำ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำ ทนต่อความร้อนและสารเคมี มีสูตรโครงสร้างเป็น $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ มีความหนาแน่น 3.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลว 1850 องศาเซลเซียส การสังเคราะห์มัลไลต์โดยทั่วไปจะเลือกใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูก เช่น เคโอลิไนต์ อะลูมินา ซิลลิมาไนต์ (Sillimanite)

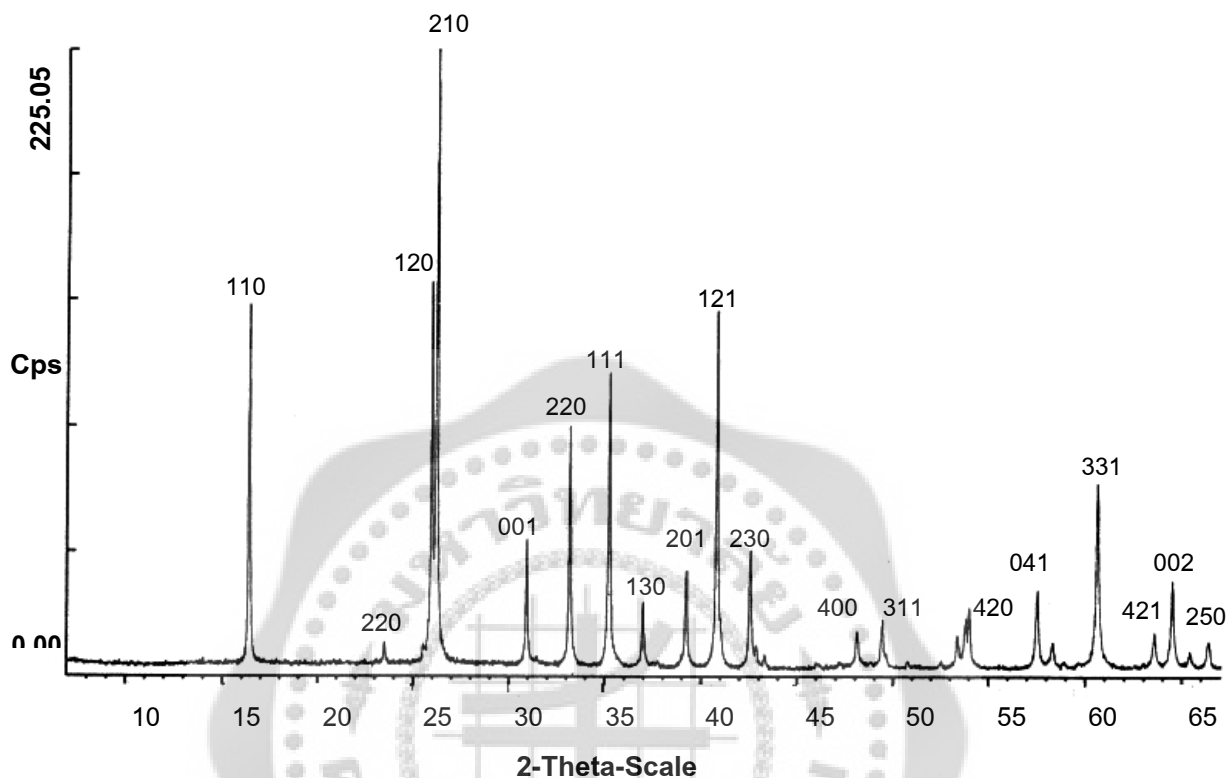
จีบไซต์ (Gibbsite) และโบห์ไมท์ (Boehmite) มัลไลต์เกิดจากการเปลี่ยนเฟสของเคโอลิไนต์ (Kaolinite) ดังแสดงในสมการที่ 2 ถึง 4 ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนเฟสของเคโอลิไนต์เมื่อเผาที่อุณหภูมิต่างๆ (Yung-Feng Chen; et al. 2004: 2389-2397) ภาพประกอบ 5 แสดงจุลโครงสร้างของมัลไลต์หลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าผลึกของมัลไลต์มีขนาดอยู่ระหว่าง 1.2 ± 0.2 ไมครอน (Sainz; et al. 2004: 403-412) ภาพประกอบ 6 แสดงพีค XRD ของมัลไลต์ที่มุม 2θ ปรากฏพบพีคของมัลไลต์ที่ตำแหน่ง 001 220 และ 111 ตามลำดับ (Sainz; et al. 2004: 403-412)



ภาพประกอบ 5 จุลโครงสร้างของมัลไลต์เมื่อเผาที่อุณหภูมิ (ก) 1500 (ข) 1600 และ (ค) 1650 องศาเซลเซียส

ที่มา: Sainz; et al. (2000). XRD microstructural analysis of mullites obtained from kaolinite-alumina mixtures. *Journal of the European Ceramic Society*. 20: 403-

412.



ภาพประกอบ 6 พีค XRD ของมัลไลต์

ที่มา: Sainz; et al. (2000). XRD microstructural analysis of mullites obtained from kaolinite-alumina mixtures. *Journal of the European Ceramic Society*. 20: 403-412.

การขึ้นรูปเซรามิก

การเตรียมชิ้นงานดิบเตรียมได้โดยนำผงวัตถุดิบและสารเติมแต่ง (Additive) มาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ ตามวิธีของการขึ้นรูป สารเติมแต่งที่ใช้เติมลงไปในวัตถุดิบมีหลายชนิดและทำหน้าที่แตกต่างกันดังแสดงในตาราง 3 (Konta.1995: 275-335) เมื่อขึ้นรูปชิ้นงานแล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นออกจากชิ้นงานซึ่งชิ้นงานที่ได้จะยังไม่แข็งแรง เปราะและหักง่าย นอกจากนี้ในการเตรียมชิ้นงานต้องเผื่อการหดตัวของชิ้นงานหลังเผาไว้ด้วย เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างและขนาดตามต้องการ โดยชิ้นงานดิบควรมีความหนาแน่นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ และหลังเผาควรมีความหนาแน่นประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์

การขึ้นรูปชิ้นงานดินสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเทน้ำสลิป (Slip casting) การอัดรีด (Extrusion) การอัดดินเหนียว (Plastic Pressing) การหล่อแบบแผ่นบาง (Tape casting) เป็นต้น การที่จะเลือกใช้วิธีใดในการขึ้นรูป ขึ้นอยู่กับชิ้นงานที่ต้องการผลิต โดยแต่ละวิธีจะมีเทคนิคในการขึ้นรูป การประยุกต์ใช้งานและข้อจำกัดของ ดังแสดงในตาราง 4 (Konta.1995: 275-335)

ตาราง 3 หน้าที่ของสารเติมแต่ง

สาร	หน้าที่
ตัวประสาน (Binder)	เพิ่มความแข็งแรงให้กับชิ้นงาน
สารหล่อลื่น (Lubricant)	ช่วยในการไหล ช่วยให้ชิ้นงานร้อนจากแบบ
สารเพิ่มความเหนียว (Plasticizer)	ช่วยให้น้ำสลิปไหลตัวได้ดี เพิ่มความเหนียว
สารช่วยกระจายตัว (Deflocculant)	ควบคุมค่าพีเอช ช่วยให้อนุภาคเกิดการกระจายตัว หรือแขวนลอยในน้ำได้ดี
สารเพิ่มความชื้น (Wetting agent)	ลดแรงตึงผิว
สารช่วยรักษาความชื้น (Wetting retention agent)	รักษาความชื้น
สารต้านไฟฟ้าสถิต (Antistatic agent)	ควบคุมประจุไฟฟ้า
สารต้านการเกิดฟอง (Antifoam agent)	ลดการเกิดฟอง
สารเพิ่มฟอง (Foam stabilizer)	เพิ่มฟอง
สารก่อกลิเอด (Chelating)	ลดความว่องไวในการเกิดโฟม
สารต้านการเกิดเชื้อราและแบคทีเรีย (Fungicide and bacteria)	ลดและป้องกันการเกิดเชื้อรา
สารช่วยการหลอม (Sintering aid)	ช่วยในการเผา

ที่มา: Musikant. (1990). What every engineer should know about ceramics. Copy right ©1. MARCEL DEKKER, INC. 59.

ตาราง 4 วิธีการเตรียมชิ้นงานดิบ

วิธีการเตรียม	ลักษณะการเตรียม	การประยุกต์ใช้งาน	ข้อจำกัด
การอัดรีด	ผสมผงวัตถุดิบกับตัวประสานเข้าด้วยกัน จนกระทั่งก้อนมวลทั้งหมดอ่อนนุ่มจากนั้นอัดรีดก้อนมวลให้ผ่านหัวรีดออกมา	อัตราการผลิตสูง เครื่องมือมีราคาถูก ใช้สำหรับผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นท่อ ก้อน กระเบื้อง อื่นๆ	ต้องใช้กับงานที่มีลักษณะตามขวาง
การฉีดผ่านแบบพิมพ์	ผสมผงวัตถุดิบกับตัวประสานชนิดพอลิเมอร์ นำไปให้ความร้อนอย่างช้าๆ ฉีดส่วนผสมในขณะที่ร้อนเข้าไปในแบบ จะได้ชิ้นงานออกมามีรูปร่างตามแบบ	ควบคุมขนาดได้ง่าย ได้ผลผลิตสูงใช้สำหรับผลิตชิ้นงานที่มีขนาดจำกัด และมีความซับซ้อน	กำจัดเรซินที่อยู่ในชิ้นงานดิบได้ยาก และอาจทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสียหาย
การอัด	เตรียมผงวัตถุดิบโดยการอัดผ่านหัวรีดภายใต้แรงดันสูง	เหมาะกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและยืดหยุ่น กระบวนการผลิตง่าย	ไม่เหมาะกับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่
การเทน้ำสลิป	น้ำสลิปเตรียมจากน้ำและผงวัตถุดิบ การหล่ออาศัยการดูดซับของแบบพิมพ์ เมื่อแห้งส่วนผสมจะเกาะอยู่ที่ผนังแบบพิมพ์	เหมาะกับชิ้นงานหรือส่วนประกอบที่มีขนาดใหญ่แบบพิมพ์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้	กระบวนการผลิตช้า
การหล่อแบบแผ่นบาง	เตรียมวัตถุดิบผสมกับน้ำหรือตัวทำละลาย น้ำสลิปจะปาดเป็นชั้นบางๆ บนผิวแผ่นรองรับ ความหนาของแผ่นควบคุมโดยการปาดด้วยใบมีด	เป็นกระบวนการผลิตขั้นส่วนที่มีลักษณะแผ่นบางให้ผลผลิตมากประหยัด	ไม่เหมาะกับชิ้นงานที่ต้องการความหนามาก ควบคุมการผลิตได้ยาก

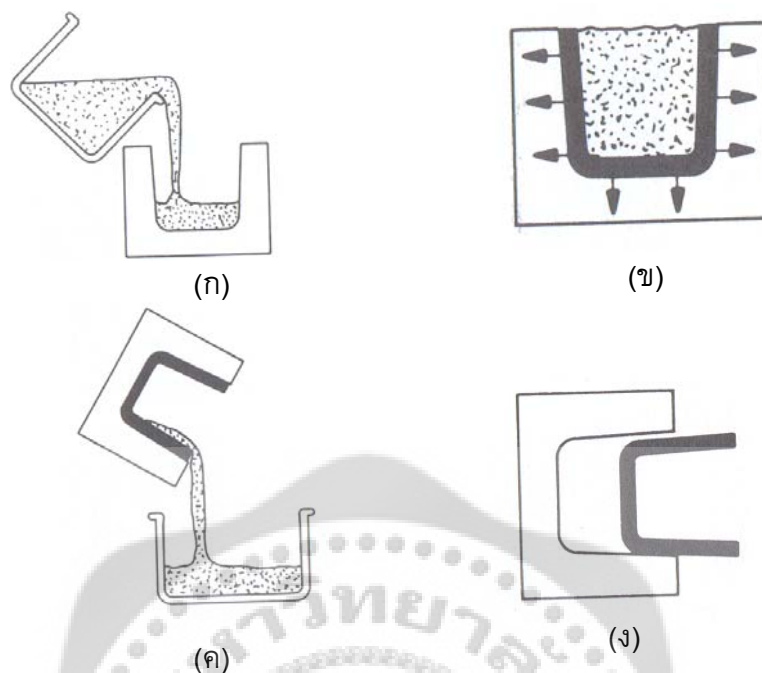
ที่มา: Musikant. (1990). What every engineer should know about ceramics. Copy right ©1. MARCEL DEKKER, INC. 59.

1. การขึ้นรูปด้วยวิธีการเทน้ำสลิป เป็นกระบวนการขึ้นรูปโดยอาศัยการดูดซับของเหลวที่แบบพิมพ์วัตถุดิบจะถูกดูดซับที่ผิวของแบบพิมพ์ บริเวณผิวพิมพ์และเนื้อปูนปลาสเตอร์จะมีรูเล็กๆ ทำหน้าที่ดูดซับน้ำ เมื่อเทน้ำสลิปลงไปแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ แบบพิมพ์จะดูดซับน้ำสลิปตรงบริเวณผิวพิมพ์ที่มีน้ำสลิปหล่ออยู่ ความชื้นของน้ำจะถูกดูดเก็บไว้ในแบบพิมพ์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การจับตัวของชั้นดินตรงบริเวณผิวปูนปลาสเตอร์จะเริ่มขึ้น และชั้นดินจะมีความหนาขึ้นทีละน้อย เมื่อได้ความหนาตามที่ต้องการ จึงเทน้ำสลิปส่วนที่ไม่แข็งตัวออกทิ้ง ผลลัพธ์ที่ได้ไว้ในแบบพิมพ์ เพื่อให้ปูนปลาสเตอร์ ทำหน้าที่ดูดซับน้ำออกจากเนื้อดินต่อไป รอให้แข็งตัว แกะพิมพ์ออก ดังแสดงในภาพประกอบ 7 น้ำชิ้นงานที่แกะออกจากแบบพิมพ์อบให้แห้งสนิทแล้วนำไปเผา ความหนาของชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่น้ำสลิปอยู่ในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ ดังแสดงในสมการที่ 5 น้ำสลิปหรือน้ำเนื้อดินปั้นเตรียมได้จากการนำผงวัตถุดิบผสมกับน้ำ เติมสารช่วยกระจายตัวเพื่อให้ น้ำสลิปเกิดการกระจายตัวได้ดี น้ำสลิปที่ใช้ควรมีคุณสมบัติที่ไหลตัวได้ดี มีปริมาณน้ำน้อย และมีปริมาณเนื้อดินสูง (Musikant. 1990: 52-62)

$$X = K(t)^{1/2}$$

(5)

เมื่อ X คือ ความหนาของชิ้นงาน
K คือ ค่าคงที่
t คือ เวลาที่ใช้ในการหล่อ

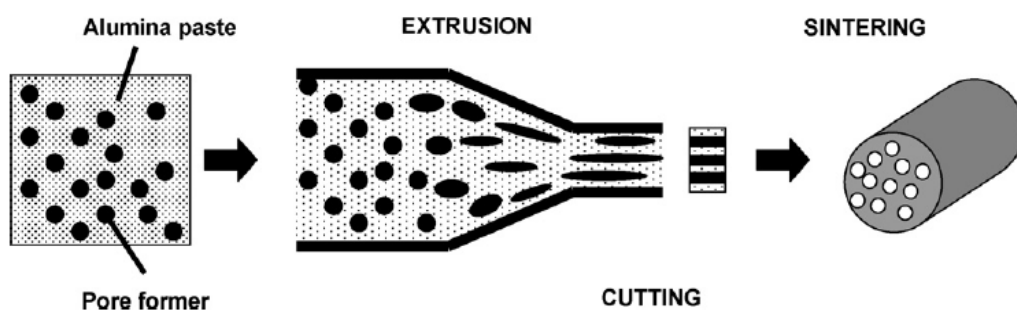


ภาพประกอบ 7 การขึ้นรูปด้วยวิธีเทน้ำสลิป (ก) เทน้ำดินลงในแบบปูนปลาสเตอร์ (ข) เนื้อปูนปลาสเตอร์ดูดซับน้ำดิน (ค) เทน้ำดินออกจากแบบปูนปลาสเตอร์ (ง) แกะชิ้นงานออกจากแบบปูนปลาสเตอร์

ที่มา: Musikant. (1990). What every engineer should know about ceramics.

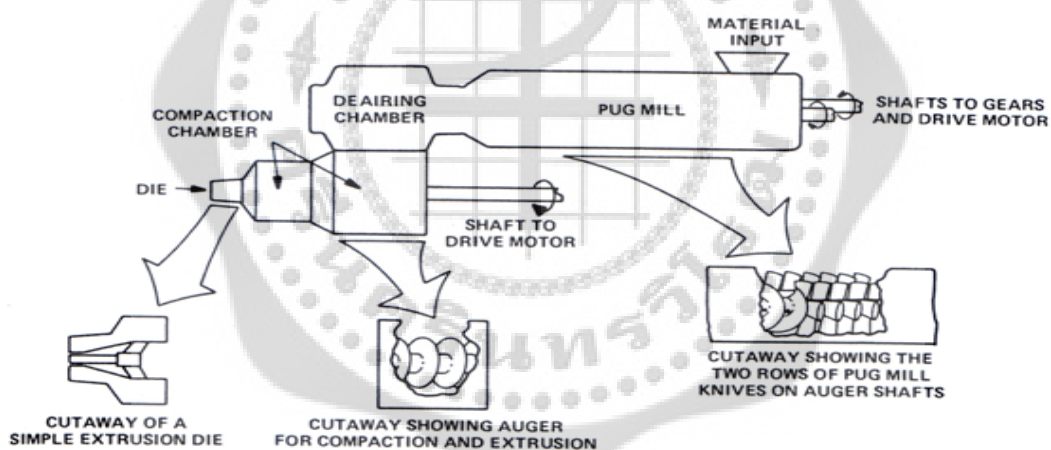
Copy right ©1. MARCEL DEKKER, INC. 59.

2. วิธีการผลิตตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีการอัดรีด เป็นกระบวนการขึ้นรูปโดยอัดเนื้อดินปั้นที่มีความเหนียวให้ผ่านกระบอกลูกสูบ รูปร่างขึ้นอยู่กัลักษณะหัวรีดเมื่อส่วนผสมผ่านออกมาจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างตามหัวรีด ดังแสดงในภาพประกอบ 8 ความดันที่ใช้ในการอัดรีดอยู่ระหว่าง 50 ถึง 10000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ผสมอยู่ในเนื้อดินปั้นมีค่าเท่ากับ 15 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เครื่องอัดรีดแสดงดังภาพประกอบ 9 การเตรียมเนื้อดินอัดรีดทำได้โดยผสมวัตถุดิบกับตัวประสาน จากนั้นเทวัตถุดิบลงใน Hopper วัตถุดิบจะเคลื่อนตัวหล่นลงบนเกลียวลำเลียง จากนั้นเกลียวลำเลียงจะขนถ่ายวัตถุดิบเข้าสู่ช่องการอัดตัวแล้วผ่านกระบอกลูกสูบออกมา การนวดจะทำให้วัตถุดิบและตัวประสานเข้ากันได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะช่วยให้การอัดรีดผ่านแม่พิมพ์ดีขึ้น ปริมาณน้ำที่เหมาะสมจะช่วยให้เนื้อเซรามิกมีความเหนียว นอกจากนี้ชนิดของวัตถุดิบ ลักษณะของวัตถุดิบและความละเอียดของวัตถุดิบ มีผลต่อความเหนียวของเนื้อเซรามิกด้วย (Musikant; Solomon.1990: 52-63)



ภาพประกอบ 8 ลักษณะของงานที่ออกมาตามหัวรีด

ที่มา: Isobe; et al. (2007). Preparation and properties of porous alumina ceramics with uni-directionally oriented pores by extrusion method using a plastic substance as pore former. *Journal of the European Ceramic Society*. 27: 61–66.



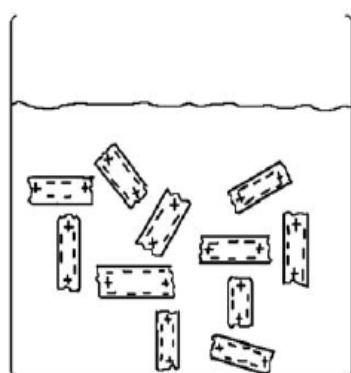
ภาพประกอบ 9 เครื่องอัดรีด

ที่มา: Musikant. (1990). What every engineer should know about ceramics. Copyright ©1. MARCEL DEKKER, INC. 59.

ปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูป

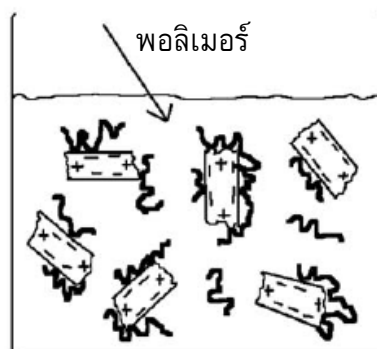
1. ขนาดของวัตถุดิบ วัตถุดิบที่มีขนาดเล็กจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีความละเอียด มีความหนาแน่น และมีความแข็งแรงสูง ในการขึ้นรูปด้วยวิธีน้ำสลีปขนาดของวัตถุดิบจะมีผลต่อการกระจายตัวในน้ำสลีปโดยวัตถุดิบที่มีอนุภาคนาขนาดเล็กจะกระจายตัวได้ดีกว่าวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ขนาดของวัตถุดิบยังช่วยให้ส่วนผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีขึ้น

2. ตัวประสาน (Binder) เป็นสารเติมชนิดหนึ่งซึ่งช่วยทำให้เกิดความเหนียว โดยจะเติมลงไปเพื่อให้อนุภาคของเนื้อดินปั้นมีการยึดเกาะกันได้มากขึ้น ช่วยให้ชิ้นงานมีการรักษารูปร่างให้คงตัวหลังการขึ้นรูป ไม่เปราะและแตกง่าย นอกจากนี้ตัวประสานยังเติมลงไปเพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดหยุ่นให้กับชิ้นงาน ตัวอย่างตัวประสานที่นิยมใช้ในงานเซรามิก เช่น โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinylalcohol หรือ PVA) เป็นตัวประสานที่ใช้กับวัตถุดิบกลุ่มออกไซด์ ในการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดเนื้อดินปั้นแบบแห้ง โพลีไวนิลแอลกอฮอล์จะถูกเติมลงไปเพื่อทำให้เนื้อดินอัดรีดที่ต้องการอัดมีความเหนียว สามารถอัดผ่านแม่พิมพ์ได้ ชิ้นงานที่ได้จะมีความแข็งแรง นอกจากนี้โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ยังช่วยให้อนุภาคของดินยึดติดกันได้ดี โดยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์จะจับบริเวณผิวหน้าของอนุภาคดินด้วยพันธะไฮโดรเจน ดังแสดงในภาพประกอบ 10 เมื่ออนุภาคของดินแขวนลอยในน้ำจะเกิดการดึงดูดกันระหว่างอนุภาคของดินและน้ำ ดังแสดงในภาพประกอบ 10 (ก) เมื่อเติมพอลิเมอร์ลงในน้ำดิน พอลิเมอร์จะเข้าจับกับอนุภาคของดินบริเวณผิวหน้า ดังแสดงในภาพประกอบ 10 (ข) ในภาพประกอบ 10 (ค) และ (ง) แสดงถึงการจับกันระหว่างพอลิเมอร์กับอนุภาคของดินในขณะทีอนุภาคของดินมีการรวมตัวกัน และขณะที่อนุภาคของดินมีการกระจายตัว จากภาพประกอบ 10 (ข) ถึง (ง) จะเห็นได้ว่าไม่ว่าดินจะอยู่ในขณะที่มีการรวมตัวกันหรือกระจายตัว พอลิเมอร์จะเกาะอยู่ที่บริเวณผิวหน้าดินเสมอ



Clay + water system

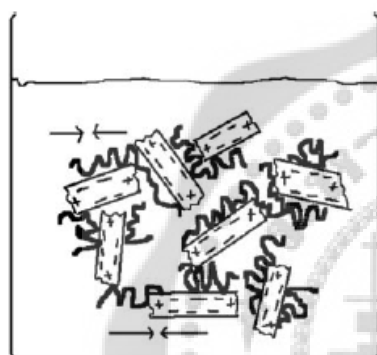
(ก)



Clay + water + polymer system

(steric interaction)

(ข)



Clay + water + polymer system

(Bridging flocculation)

(ค)



Clay + water + polymer system

(Steric repulsion)

(ง)

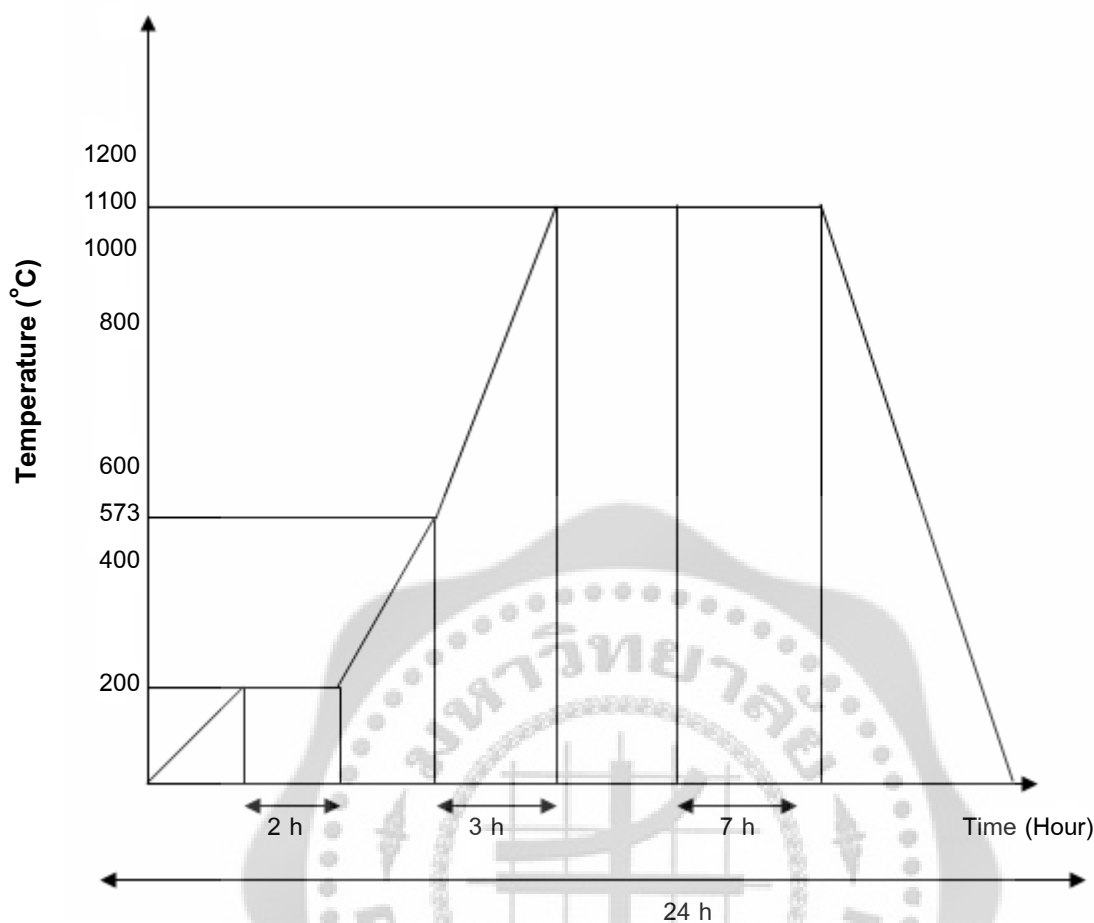
ภาพประกอบ 10 การดูดซับของพอลิเมอร์ในดิน (ก) อนุภาคของดินในน้ำ (ข) อนุภาคของดินที่มีการเติมพอลิเมอร์ลงไป (ค) อนุภาคของดินที่มีการรวมตัวกัน และ (ง) อนุภาคของดินที่มีการกระจายตัว

ที่มา: Isci; et al. (2004). The modification of rheologic properties of clays with PVA effect. *Materials Letters*. 58: 1975–1978.

3. การกำจัดสารเติมแต่งและการเผา หลังจากการขึ้นรูปชิ้นงานแล้ว ชิ้นงานยังคงมีความชื้นอยู่ ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดออกด้วยการอบแห้งซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในการผลิตเซรามิก ชิ้นงานที่ขึ้นรูปเสร็จแล้วต้องรอให้แห้งสนิทก่อนนำไปเผา โดยปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิปกติ และอบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 100 ถึง 150 องศาเซลเซียส จนกระทั่งชิ้นงานแห้งสนิท การอบแห้งจะต้องไม่ทำให้เกิดแรงเค้นขึ้นภายในชิ้นงาน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ชิ้นงานเกิดการโค้งงอและแตกหัก

การหดตัวระหว่างการอบแห้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่อยู่ระหว่างอนุภาค และขนาดอนุภาค ของวัตถุดิบ ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง เช่น การกระจายตัวของอนุภาค ปริมาณน้ำ ธรรมชาติของ วัสดุ อุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วลมที่ใช้ระหว่างการอบแห้ง

การเผาควรรเผาในเตาเผาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความดัน เพื่อให้ชิ้นงานคงรูปและ มีความแข็งแรง ในกระบวนการเผาต้องควบคุมให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ ดัง แสดงในภาพประกอบ 11 ซึ่งเป็นการเผาดักรองรับ Barbotine ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 1100 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศ (Belouatek; et al. 2005: 163-168) การเผาชิ้นงานประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่การเผาดิบ (Biscuit Firing) และการเผาอบเชื่อม (Sintering) การเผาดิบเป็นการเผครั้งที่หนึ่งเมื่อชิ้นงานผ่านการเผาดิบแล้ว สารเติมแต่ง สารอินทรีย์จะถูกกำจัดออกในขั้นตอนนี้ ชิ้นงานที่ได้จะมีความพรุนตัว สูง เนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิต่ำโดยอุณหภูมิในการเผาอยู่ระหว่าง 750 ถึง 800 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเผาไม่น้อยกว่า 8 ถึง 10 ชั่วโมง หลังจากเผาดิบจะเป็นการเผาอบเชื่อมซึ่ง เป็นการเผาที่อุณหภูมิสูงและเป็นการเผครั้งสุดท้ายซึ่งจะทำให้อนุภาคของเม็ดดินเกิดการเชื่อม ติดกัน ทำให้เกิดขอบรอยต่อขึ้นระหว่างอนุภาค และทำให้เกิดการหดตัวขึ้น เมื่อขอบรอยต่อระหว่าง อนุภาคมีการขยายใหญ่ขึ้นจะส่งผลให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ปริมาณรูพรุนจะ ลดลง โดยที่รูพรุนจะกระจายเป็นรูพรุนเดี่ยว และมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบ 11 การปรับอุณหภูมิในการเผา

ที่มา: Belouatek; et al. (2005). Preparation of inorganic supports for liquid waste treatment. *Microporous and Mesoporous Materials*. 85: 163–168.

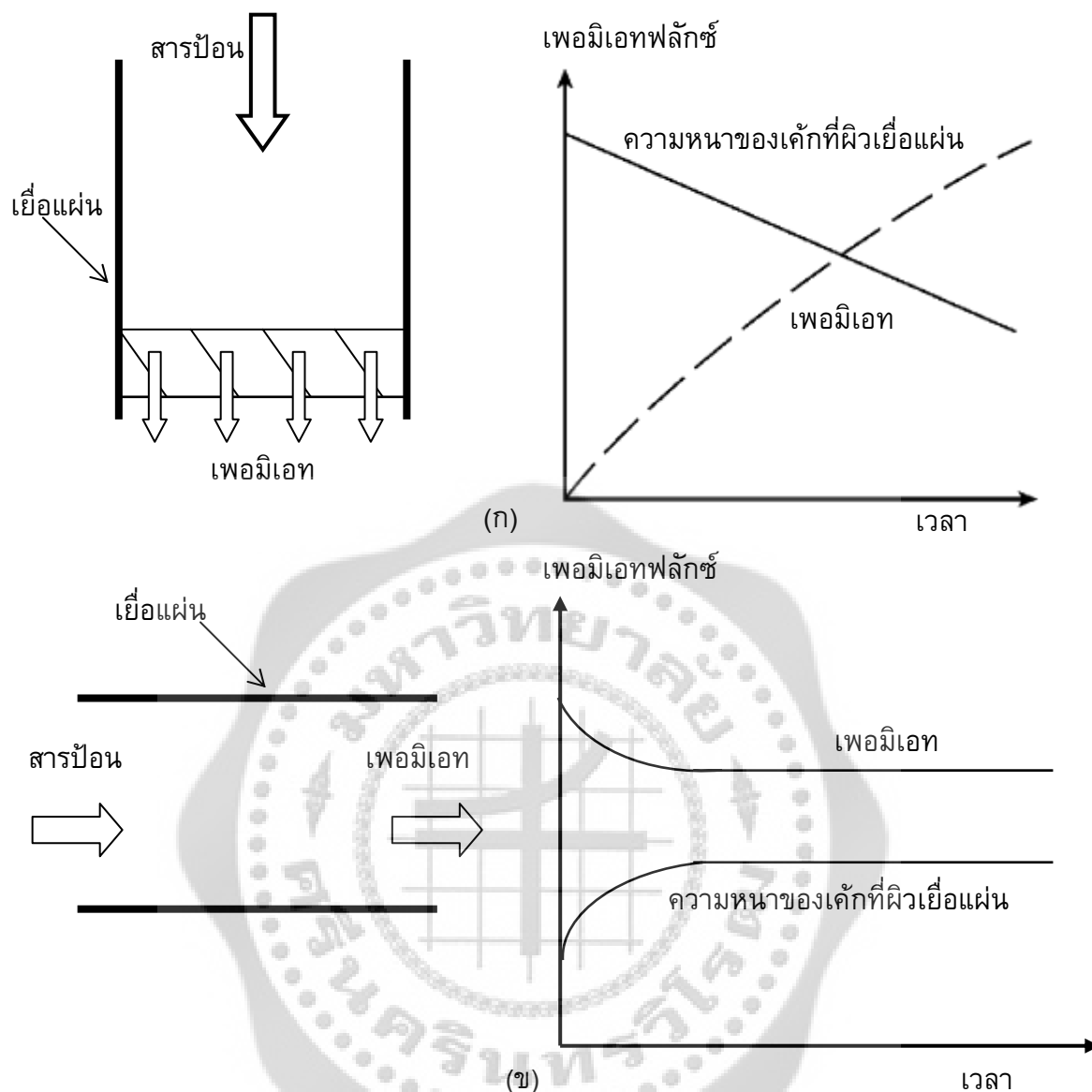
การกรอง

เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane) เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อแผ่นเพื่อแยกสาร หรือเพิ่มความเข้มข้น หรือทำสารให้บริสุทธิ์ การใช้เยื่อแผ่นในการแยกสารจะต้องมีแรงขับเคลื่อนที่ทำให้ของผสมหรือสารละลายไหลผ่านเยื่อแผ่นและเกิดการแยก

1. ชนิดของการกรอง กระบวนการไมโครฟิลเตรชันเป็นกระบวนการแยกตัวถูกละลายหรืออนุภาคคอลลอยด์ หรือสารแขวนลอยออกจากของเหลว ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 10 ไมครอน โดยใช้ความดันเป็นแรงขับซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 5 บรรยากาศ ของเหลวที่ไหลผ่านเยื่อแผ่นได้เรียกว่าเพอมีเอท (Permeate) ส่วนของเหลวที่ไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้เรียกว่ารีเทนเตต (Retentate) กระบวนการไมโครฟิลเตรชันสามารถแบ่งลักษณะการทำงานได้เป็น 2 แบบ คือ การ

กรองแบบปลายปิด (Dead-end) เป็นการกรองโดยป้อนสารให้ไหลในทิศทางที่ตั้งฉากกับเยื่อแผ่น อนุภาคของของแข็งที่มีขนาดใหญ่จะถูกกักไว้บนผิวเยื่อแผ่นหรือภายในเยื่อแผ่นเท่านั้น เมื่อเกิดการอุดตันที่ผิวหรือภายในของเยื่อแผ่นทำให้เพอมีเอทไหลผ่านไปได้น้อย การกรองวิธีนี้เหมาะสำหรับการกรองอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอนหรือกรองสารแขวนลอยที่มีความเข้มข้นต่ำ การกรองแบบไหลขวางหรือไหลขนาน (Cross-flow) เป็นการกรองโดยใช้ความดันป้อนสารให้ไหลผ่านเยื่อแผ่นในแนวนอน เพื่อให้เกิดแรงเฉือน (Shear force) และกวาดอนุภาคที่เกาะอยู่กับเยื่อแผ่น ทำให้ความหนาของเค้กกับผิวหน้าเยื่อแผ่นมีค่าคงที่ การกรองวิธีนี้เหมาะสำหรับการกรองอนุภาคที่มีขนาด 0.001 ถึง 10 ไมครอน ดังแสดงในภาพประกอบ 12 ในภาพประกอบ 12 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะการป้อนสาร และความหนาของเค้กกับค่าเพอมีเอทฟลักซ์ ตามลำดับ กระบวนการไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางถูกนำมาใช้ในงานเทคโนโลยีชีวภาพ โดยใช้ในการแยกเซลล์ออกจากน้ำหมัก การทำให้ใส หรือการกรองเชื้อก่อนการบรรจุผลิตภัณฑ์ เป็นต้น





ภาพประกอบ 12 การเปรียบเทียบการกรองแบบปลายปิด (ก) และแบบไหลขวาง (ข)

ที่มา: U.S. Department of Energy. Crossflow Office of Environmental Management
Office of Science and Technology. (1998). Filtration Tanks Focus Area.
INNOVATIVE TECHNOLOGY Summary Report DOE/EM. 0370.

2. ทฤษฎีการกรอง การทำนายค่าฟลักซ์ในระหว่างกระบวนการกรองได้ใช้แบบจำลองความต้านทานอนุกรม (Resistance-in-series) (Choi; et al. 2005: 189-199) ดังแสดงในสมการที่ 6

$$J = \frac{\Delta P}{\mu_p(R_m + R_a + R_p + R_c)} \quad (6)$$

เมื่อ	J	คือ เฟรมีเอทฟลักซ์ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
	ΔP	คือ ความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่น (ปาสคาล)
	μ_p	คือ ค่าความหนืดของสารละลาย (ปาสคาลวินาที)
	R_m	คือ ค่าความต้านทานของเยื่อแผ่น (เมตร ⁻¹)
	R_a	คือ ค่าความต้านทานเนื่องจากการดูดซับของตัวถูกละลาย (เมตร ⁻¹)
	R_p	คือ ค่าความต้านทานเนื่องจากการอุดตัน (เมตร ⁻¹)
	R_c	คือ ค่าความต้านทานของเค้ก (เมตร ⁻¹)

ผลรวมของความต้านทานการดูดซับของตัวถูกละลายและความต้านทานโพลาไรซ์เกิดขึ้นเมื่อทำการกรองน้ำหมักที่สภาวะคงที่ (Steady state) สามารถหาความต้านทานการดูดซับที่สภาวะคงที่ได้จากสมการที่ 7 โดย R_{ass} และ R_{pss} คือค่า ความต้านทานการดูดซับของตัวถูกละลายและความต้านทานโพลาไรซ์ที่สภาวะคงที่ตามลำดับ

$$R_a + R_p = (R_{ass} + R_{pss})(1 - \exp(-bt)) \quad (7)$$

เมื่อ	R_{ass}	คือ ความต้านทานจากการดูดซับบนเยื่อแผ่นที่สภาวะคงที่ (เมตร ⁻¹)
	R_{pss}	คือ ความต้านทานเนื่องจากการเกิดโพลาไรเซชันที่สภาวะคงที่ (เมตร ⁻¹)
	b	คือ ค่าพารามิเตอร์ (วินาที ⁻¹)
	t	คือ เวลา (วินาที)

ค่าความต้านทานของเค้ก (R_c) เกิดจากเค้กบนผิวหน้าของเยื่อแผ่น เค้กที่เกิดขึ้นในระหว่างการกรองน้ำหมักส่วนใหญ่เป็นเค้กที่สามารถอัดตัวได้ ส่งผลให้อัตราการกรองมีค่าลดลง หาค่าได้จากสมการที่ 8

$$R_C = \frac{m}{A} \Delta P^n \quad (8)$$

เมื่อ	R_C	คือ มวลของตะกอนบนผิวหน้าของเมมเบรน (เมตร ⁻¹)
	m	คือ น้ำหนักของแบคทีเรีย (กิโลกรัม)
	A	คือ พื้นที่การกรอง (ตารางเมตร)
	α	คือ ความต้านทานจำเพาะของเค้ก (เมตรต่อกิโลกรัม)

ในกรณีที่เค้กอัดตัวได้ค่า n หาได้จากการทดลอง ส่วนน้ำหนักของเค้กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ($\frac{m}{A}$) คำนวณได้โดยการทำสมดุลมวล หาค่าได้จากสมการที่ 9

$$\frac{dm}{dt} = \left(JC - \frac{D}{\delta} (C_m - C) \right) A \quad (9)$$

เมื่อ	C	คือ ความเข้มข้นของแบคทีเรียในสายรีเทนเทท (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
	C_m	คือ ความเข้มข้นของแบคทีเรียที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
	D	คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของตัวถูกละลาย (ตารางเมตรต่อวินาที)
	δ	คือ ความหนาของเค้ก (เมตร)
	A	คือ พื้นที่ผิวของเมมเบรน (ตารางเมตร)

เมื่อความเข้มข้นของสารละลายที่สายรีเทนเทท มีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น สามารถตัดทิ้งได้ และเมื่อรวมเทอมสัมประสิทธิ์การแพร่ของตัวถูกละลาย กับความเข้มข้นที่ผิวหน้าเยื่อแผ่นและความหนาของเค้ก ($\frac{D}{\delta} C_m$) เข้าด้วยกันสามารถคำนวณความเข้มข้นของฟลักซ์ที่สภาวะคงตัว ($J_{ss}C$) ได้จากสมการที่ 10

$$\frac{D}{\delta} C_m = J_{ss}C \quad (10)$$

- เมื่อ $J_{ss}C$ คือ ความเข้มข้นของฟลักซ์ที่สภาวะคงตัว(เมตรต่อวินาทีหรือลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
- C_m คือ ความเข้มข้นของแบคทีเรียที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
- D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของตัวถูกละลาย (ตารางเมตรต่อวินาที)

การหมักในระบบกะ (Batch system) เมื่อทราบค่าพอมิเอทฟลักซ์ และให้ค่าการกักกันของเซลล์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์โดยค่าการกักกันของเซลล์แปรผันตามความเข้มข้นของแบคทีเรียสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 11

$$C = \frac{C_0 V_0}{V_0 - A \int_0^t J dt} \quad (11)$$

- เมื่อ C_0 คือ ความเข้มข้นของแบคทีเรียตอนเริ่มต้น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
- C คือ ความเข้มข้นของแบคทีเรียในรีเทนเทท (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
- V_0 คือ ปริมาตรตอนเริ่มต้น (ลูกบาศก์เมตร)
- A คือ พื้นที่การกรอง (ตารางเมตร)
- J คือ พอมิเอชันฟลักซ์ (ลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
- t คือ เวลา (วินาที)

การศึกษาผลของอัตราเร็วในการกรองสารชีวภาพ โดยใช้กระบวนการกรองแบบไหลขวาง พบว่าความต้านทานในการกรองเกิดจากการอุดตันของตัวทำละลาย ค่าความต้านทานเนื่องจากการอุดตัน การสะสมของโมเลกุล (Concentration polarization) และการอุดตันแบบผันกลับและไม่ผันกลับ ปัจจัยที่ทำให้เกิดการอุดตันได้แก่ มวลของของแข็ง มวลของเค้ก และความหนาของเค้กโดยศึกษาจากแบบจำลองความต้านทานในแนวนาน (Resistance-in-series model) โดยใช้กฎของดาร์ซี (Darcy's law) ซึ่งใช้หาค่าความต้านทานการกรองกับค่าพอมิเอท ดังสมการที่ 12

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_t} \quad (12)$$

เมื่อ	J	คือ เฟอมีเอทฟลักซ์ (ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)
	ΔP	คือ ผลต่างของความดัน (ปาสคาล)
	μ	คือ ค่าความหนืดของสารละลาย (ปาสคาล.วินาที)
	R_t	คือ ค่าความต้านทานรวม (เมตร ⁻¹)

ความต้านทานรวมหาได้จากสมการที่ 13

$$R_t = R_m + R_a + R_p + R_f \quad (13)$$

เมื่อ	R_m	คือ ค่าความต้านทานของเยื่อแผ่น (เมตร ⁻¹)
	R_a	คือ ค่าความต้านทานเนื่องจากการดูดซับของตัวถูกละลาย (เมตร ⁻¹)
	R_p	คือ ค่าความต้านทานโพลาไรซ์ (เมตร ⁻¹)
	R_f	คือ ค่าความต้านทานการอุดตัน (เมตร ⁻¹)

ความต้านทานของเยื่อแผ่นหาได้จากสมการที่ 14

$$J_w = \frac{\Delta P}{\mu_w R_m} \quad (14)$$

เมื่อ	J_w	คือ เฟอมีเอทฟลักซ์ (ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)
	ΔP	คือ ผลต่างของความดัน (ปาสคาล)
	μ_w	คือ ค่าความหนืดของสารละลาย (ปาสคาล.วินาที)
	R_m	คือ ค่าความต้านทานเยื่อแผ่น (เมตร ⁻¹)

การอุดตันที่ผิวหรือการอุดตันที่สามารถล้างได้ เรียกว่าการอุดตันแบบผันกลับได้ (R_{rf}) แต่ ถ้าเกิดการอุดตันโดยสารที่ทำให้เกิดการอุดตันไปอุดตันรูพรุน หรือเกิดเป็นเค้กหนาจนไม่สามารถล้างได้ เรียกว่า การอุดตันที่ไม่ผันกลับ (R_{if}) ค่าการอุดตันจึงสามารถหาได้จากการอุดตันทั้งสองแบบ ดังสมการที่ 15

$$R_f = R_{rf} + R_{if} \quad (15)$$

หลังจากใช้งานแล้วจะทำการล้างเยื่อแผ่นด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดชั้นโพลารไรซ์ ดังนั้นค่าความต้านทานของชั้นโพลารไรซ์จึงถูกกำจัดไป ค่าความต้านทานที่เหลืออยู่คือ ค่าความต้านทานของเยื่อแผ่น และความต้านทานของการอุดตัน ซึ่งหาได้จากสมการที่ 16 และ 17 ตามลำดับ (พินิจาสามพรานไพบุลย์. 2538: 1-163)

$$R_m + R_f = \frac{\Delta P}{\mu_w J'_w} \quad (16)$$

$$R_f = \frac{\Delta P}{\mu_w J'_w} - R_m \quad (17)$$

เมื่อ J'_w คือ ฟลักซ์ของน้ำกลั่นหลังจากที่ล้างเยื่อแผ่นด้วยน้ำกลั่นแล้ว (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อนาที)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chen; et al. (2004: 221-228) ศึกษาผลของการเติมอะลูมินาลงในดินขาวเพื่อใช้ในการผลิตตัวกรองเซรามิก โดยผู้วิจัยได้นำอะลูมินาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 ไมโครเมตร และ 4.0 ไมโครเมตร เผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นใช้ดินขาวผสมกับอะลูมินา 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ นำส่วนผสมทั้งหมดมาขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีด ที่ความดัน 18 เมกะปาสคาล อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ชิ้นงานที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร และยาว 10 เซนติเมตร นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1100 ถึง 1300 องศา

เซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นจะพบเฟสมัลไลต์มากขึ้น ในขณะที่ขนาดของรูพรุนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมอะลูมินา เมื่อนำชิ้นงานที่เติมอะลูมินา 40 เปอร์เซ็นต์ หลังเผา 1100 และ 13000 องศาเซลเซียส มาศึกษาขนาดของรูพรุน พบว่าชิ้นงานหลังเผาที่ 1100 องศาเซลเซียส ขนาดรูพรุนเพิ่มจาก 0.60 ไมโครเมตร เป็น 0.75 ไมโครเมตร และชิ้นงานหลังเผาที่ 1300 องศาเซลเซียส ขนาดรูพรุนเพิ่มจาก 0.95 ไมโครเมตร เป็น 1.25 ไมโครเมตร ตามลำดับ

Chen; Wang; & Hon. (2004: 2389-2397) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฟสของมัลไลต์ในเซรามิกชนิดมัลไลต์โดยได้นำดินขาวขนาด 1.3 ไมโครเมตร ผสมกับตัวประสาน แล้วขึ้นรูปด้วยการอัดรีดที่มีความดัน 18 เมกะปาสกาล อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ชิ้นงานที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร และยาว 10 เซนติเมตร และเผาที่อุณหภูมิ 950 ถึง 1400 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่า

1. เคโอลินที่ไม่ได้เผาปรากฏฟีดของกาลีนไนด์ และ ควอทซ์
2. เคโอลินหลังเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ปรากฏฟีดควอทซ์ และสไปเนล
3. เคโอลินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ปรากฏฟีดควอทซ์ และสไปเนล
4. เคโอลินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส ปรากฏฟีดควอทซ์ และสไปเนล
5. เคโอลินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ปรากฏเฉพาะของฟีดมัลไลต์

Belouatek; et al. (2005: 163-165) ได้เตรียมตัวกรองเพื่อใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสีย โดยนำบาร์โบไทน์ ดินขาว เฟลสปาร์และทรายมาผสมกันที่อัตราส่วนต่าง ๆ โดยมีทั้งหมด 5 สูตร คือ S0 S1 S2 S3 และ S4 ซึ่งในแต่ละสูตรมีส่วนผสมดังแสดงในตาราง 5 มีโซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารช่วยกระจายตัวและขึ้นรูปด้วยการเทน้ำสลีป เผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำชิ้นงานที่ได้มาวัดขนาดรูพรุน พื้นที่ผิว ความหนาแน่น ความพรุนและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสูตร S0 S1 S2 และ S3 จากการศึกษาพบว่าขนาดรูพรุนมีค่าเท่ากับ 0.07 0.22 0.19 และ 0.06 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ พื้นที่ผิวมีค่า 0.73 1.06 0.41 และ 1.47 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 2.24 2.53 2.50 และ 2.50 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ความพรุนมีค่าเท่ากับ 14.47 46.79 28.44 และ 12.22 เปอร์เซ็นต์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าเท่ากับ 0.9 1. 3 1.3 และ 0.8 ไมโครเมตร นอกจากนี้เมื่อนำชิ้นงานมาศึกษาสมบัติการกรอง โดยใช้สารละลาย Evans blue (ความเข้มข้น 10^{-4} โมลต่อลิตร) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (ความเข้มข้น 10^2 โมลต่อลิตร) และสารละลายแซคคาโรส (ความเข้มข้น 10^2 โมลต่อลิตร) ที่ความดัน 3.5 บาร์ จากการทดลองพบว่าสูตร S3 มีค่าการกักเก็บสารละลาย Evans blue ได้ดีที่สุดคือ 98 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สูตร S0 S1 และ S2 มีค่าการกักเก็บเท่ากับ 95 75 และ 65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการกรองสารละลายโซเดียมคลอไรด์ พบว่าสูตร S0 มีค่าการกักเก็บได้ดีที่สุดคือ 13 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สูตร S1 S2 และ S3 มีค่าการกักเก็บเท่ากับ 5 1 และ 7 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนการกรองสารละลายแซคคาโรส พบว่าสูตร S0 และ S3 มีค่าการกักเก็บดีที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สูตร S1 และ S2 มีค่าการกักเก็บเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 5 อัตราส่วนของวัตถุดิบในตัวกรองสูตรต่างๆ

สูตร	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของ							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
S0	70.67	23.76	0.33	0.75	0.24	0.24	1.26	2.81
S1	69.20	24.17	0.32	0.74	0.30	1.23	2.74	2.69
S2	67.74	26.87	0.32	0.72	0.23	0.23	1.68	2.69
S3	70.67	24.76	0.33	0.76	0.24	0.24	1.68	2.69
S4	68.49	23.99	2.42	0.73	0.23	0.23	1.22	2.72

ที่มา Belouatek; et al. (2005). Preparation of inorganic supports for liquid waste treatment. *Microporous and Mesoporous Materials*. 85: 163–168.

Bouzerara; et al. (2006: 1663-1671) นำเคโอลินมาผสมกับโดโลไมต์เพื่อใช้ในการผลิตชั้นรองรับโดยขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีดที่ความดัน 75 เมกะปาสคาลและเผาขึ้นงานที่อุณหภูมิ 1000 ถึง 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำชิ้นงานมาศึกษาหาน้ำหนักที่หายไปของเคโอลินและโดโลไมต์ผสมกับเคโอลินที่ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดรูพรุน และปริมาณรูพรุนของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 1250 และ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงโดยมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากการศึกษาพบว่า น้ำหนักที่หายไปของเคโอลินหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสเท่ากับ 21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดของรูพรุนหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 1250 และ 1300 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 3.5 3.2 และ 4.3 ไมโครเมตร ตามลำดับ ปริมาณรูพรุนหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 1250 และ 1300 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ 16 14 และ 17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Bottino; et al. (2004: 303-309) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ตัวกรองเซรามิกที่ผลิตจากอะลูมินาและตัวกรองโพลีเมอร์ชนิด PTFE ในการกรองน้ำมันมะกอกให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีไมโครฟิลเตรชันและอัลตราฟิลเตรชัน ที่ความดัน 100 ถึง 1000 กิโลปาสคาล อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการปั๊ม 1 ถึง 6 เมตรต่อวินาที โดยทำการปั๊มน้ำมันมะกอกปริมาตร 5 ลิตร ที่ได้จากการหีบผลมะกอก จากการศึกษาพบว่า เมื่อปั๊มน้ำมันมะกอกที่อุณหภูมิและความดันสูง เพอเมอเทฟลักซ์ที่ได้มีค่าสูงขึ้น การกรองโดยใช้ตัวกรองโพลีเมอร์จะให้ค่าเพอเมอเทฟลักซ์สูงกว่าการกรองที่ใช้ตัวกรองเซรามิก เมื่อทำการกรองน้ำมันมะกอกที่อุณหภูมิ 20 และ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวกรองโพลีเมอร์และตัวกรองเซรามิก พบว่าเพอเมอเทฟลักซ์ที่กรองด้วยตัวกรองโพลีเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 10 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง เป็น 24 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง และค่าเพอเมอเทฟลักซ์ที่กรองด้วยตัวกรองเซรามิกมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 10 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง เป็น 23 ลิตร

ต่อตารางเมตร-ชั่วโมง และเมื่อทำการกรองน้ำมันมะกอกที่ความดัน 600 กิโลปาสกาล เพอมีเอทพริกซ์ที่กรองด้วยตัวกรองทั้งสองชนิดมีค่าสูงสุด ส่วนการกรองที่ความดัน 200 กิโลปาสกาล เพอมีเอทพริกซ์ที่กรองด้วยตัวกรองทั้งสองชนิดมีค่าต่ำสุด

Isobe; et al. (2006: 2213-2217) ได้ศึกษาการเตรียมตัวกรองอะลูมินาที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีด โดยการนำอะลูมินาที่มีขนาด 0.4 ไมโครเมตร มาผสมกับเส้นใยไพลอน 66 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 ไมโครเมตรและยาว 800 ไมโครเมตร ปริมาณ 0 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร น้ำกลั่น เมทิลเซลลูโลส และแอมโมเนียมโพลีคาร์บอกซิลลิกแอซิด 40 4 และ 0.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดรีด เเผชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากการศึกษาชิ้นงานพบว่าความพรุนเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมไพลอน 66 และรูพรุนของชิ้นงานก่อนการอัดรีดมีลักษณะการจัดเรียงกระจัดกระจายและไม่เป็นระเบียบ ส่วนชิ้นงานหลังการอัดรีดรูพรุนจะมีการจัดเรียงอย่างเป็นระเบียบ

Isobe; et al. (2007: 61-66) ศึกษาการเตรียมตัวกรองเซรามิกที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีด โดยการนำอะลูมินาโพลีไวนิลอะซิเตด (PVAC) 0 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร น้ำกลั่น 25 เมทิลเซลลูโลส 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กรดโอเลอิก 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และแอมโมเนียมโพลี (Carboxylic acid) 0.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นำส่วนผสมทั้งหมดเข้าเครื่องปั่นเพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดรวมเป็นเนื้อเดียวกันโดยปั่นที่ความเร็วรอบ 800 และ 2000 รอบต่อนาที ขึ้นรูปด้วยการอัดรีด ชิ้นงานที่ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เเผที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อนำชิ้นงานมาศึกษาการกระจายตัวของรูพรุน พบว่าชิ้นงานก่อนการอัดรีดมีรูพรุนแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ รูพรุนขนาดเล็กมีขนาด 0.4 ไมโครเมตร และรูพรุนขนาดใหญ่มีขนาด 20 ถึง 80 ไมโครเมตร ความหนาแน่นและความพรุนของชิ้นงานก่อนเติม PVAC 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีค่าเท่ากับ 3.77 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ความหนาแน่นและความพรุนของชิ้นงานหลังเติม PVAC 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีค่าเท่ากับ 2.39 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและ 40 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

Jonger; & Potgieter. (2005: 3145-3149) ได้ใช้ถั่วลอ่ย ดินดำ เบนโทไนท์และยิปซัมผลิตตัวกรองเซรามิกเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยทำการผลิตตัวกรองจากดินขาว เฟลสป่า และทราย ใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารช่วยกระจายตัว และขึ้นรูปด้วยการเทน้ำสลิป โดยมีสูตรในการขึ้นรูปคือ FCB ประกอบด้วย ถั่วลอ่ย ดินดำ และเบนโทไนท์ ที่ปริมาณ 80 15 และ 5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สูตร FCI ประกอบด้วย ถั่วลอ่ย ดินดำ และ น้ำทิ้งที่มีตะกอนเหล็ก ที่ปริมาณ 80 15 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสูตร FPIB ประกอบด้วย ถั่วลอ่ย ดินดำ และ น้ำทิ้งที่มีเหล็กผสมกับเบนโทไนท์ ที่ปริมาณ 80 15 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขึ้นรูปตัวกรองด้วยวิธีการเทน้ำสลิป และเผที่อุณหภูมิ 900 ถึง 1050 องศาเซลเซียส จากนั้นนำชิ้นงาน สูตร FCI และ สูตร FCB มาทดสอบความแข็งแรงซึ่งมีค่าเท่ากับ 22.74 และ 17.04 ตามลำดับ ทดสอบการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นของชิ้นงานสูตร FCI สูตร FCB และสูตร FPIB ซึ่งมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 16.71 20.77

และ 29.57 ตามลำดับ และความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 6.81 3.96 และ 2.48 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ

She; & Ohji. (2003: 610-614) ใช้ผงอะลูมินาผสมกับซิลิคอนคาร์ไบด์และแกรไฟต์ในการผลิตตัวกรองเซรามิก ชนิดมัลไลต์ และขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีดและเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1450 ถึง 1650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิในการเผามีผลต่อรูพรุนเปิด ขนาดรูพรุน และความแข็งแรงของชิ้นงาน โดยพบว่าชิ้นงานที่เผาด้วยอุณหภูมิ 1450 1550 และ 1650 องศาเซลเซียส ให้ค่ารูพรุนเปิดเท่ากับ 60 58 และ 35 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ขนาดของรูพรุนมีค่าเท่ากับ 150 200 และ 320 นาโนเมตร ตามลำดับ หลังเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1450 องศาเซลเซียส พบว่ามีเฟสของมัลไลต์ เฟสของคริสโตบาไลต์ และเฟส α - Al_2O_3 นอกจากนี้พื้นที่ผิวของชิ้นงานมีเท่ากับ 12.5 8.5 และ 2.8 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ

Ribeiro; et al. (2002: 319-326) นำตะกอนน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ ซึ่งในตะกอนของน้ำทิ้งมีองค์ประกอบของอะลูมินา นำมาผสมกับไดอะตอมไมต์ ดินขาว และดินดำ เพื่อสังเคราะห์มัลไลต์ โดยทำการขึ้นรูปด้วยการอัดรีดและเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1400 ถึง 1650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยมีสูตรในการขึ้นรูปได้แก่สูตร C1 สูตร C2 และสูตร C3 โดยสูตร C1 ประกอบด้วย Al-sludge และไดอะตอมไมต์ที่ปริมาณ 79.5 และ 21.5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ สูตร C2 ประกอบด้วย Al-sludge ดินขาว ดินดำ และไดอะตอมไมต์ ที่ปริมาณ 42 15 15 และ 28 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และสูตร C3 ประกอบด้วย Al-sludge 100 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่าชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 1450 องศาเซลเซียส สูตร C1 จะพบเฟส α - Al_2O_3 และเฟสของมัลไลต์ นอกจากนี้การเผาที่อุณหภูมิ 1650 องศาเซลเซียส สูตร C2 พบเฉพาะเฟสของมัลไลต์ และสูตร C3 พบเฉพาะเฟสของ α - Al_2O_3

Carrere; Blaszkow; & Balmann. (2001: 107-116) ศึกษาการสร้างแบบจำลองการกรองแบบไหลขวางของตัวกรองอะลูมินา ที่มีรูพรุนขนาด 0.1 ไมครอน เพื่อใช้แยกแบคทีเรียออกจากสารละลายกรดแลกติก เมื่อความดันแตกต่างเยื่อแผ่นคงที่ จากการทดลองพบว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในการกรองเพิ่มขึ้น เพอเมอแฟล็กซ์มีค่าลดลง เนื่องจากความต้านทานที่เกิดขึ้น จากความต้านทานของเยื่อแผ่น ความต้านทานจากการดูดซับสารละลายบนเยื่อแผ่นและความต้านทานเนื่องจากการเกิดโพลาไรเซชันและความต้านทานของเค้ก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.27×10^{11} เมตร⁻¹ 1.23×10^{13} เมตร⁻¹ และ 6.65×10^5 เมตร⁻¹ ตามลำดับ

Hung; & Liu. (2006: 157-164) ได้ศึกษาการแยกสาหร่ายสีเขียวออกจากน้ำด้วยวิธีไมโครฟิลเตรชัน โดยนำสาหร่ายคอลเรลลา ความเข้มข้น 13.9 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 6 ทำการกรองด้วยตัวกรองที่มีพื้นที่ในการกรอง 4 ตารางเซนติเมตร ขนาดรูพรุน 0.22 ไมครอน ป้อนสารที่ความดัน 40 50 และ 60 กิโลปาสกาล อัตราเร็วในการป้อนสารเท่ากับ 0.43 และ 0.83 เมตรต่อนาที่ จากการศึกษาพบว่าเมื่อทำการป้อนสารโดยให้มีการไหลแบบราบเรียบ พบว่าที่ความดัน 40 50 และ 60 กิโลปาสกาล ค่าฟลักซ์เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 44.7×10^5 59.8×10^5 และ 59.2×10^5 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที ตามลำดับ เมื่อทำการกรองสิ้นสุดลง ค่าฟลักซ์ที่ได้มีค่าลดลงเป็น $8.5 \times$

10^5 9.7×10^5 และ 7.9×10^5 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาทีตามลำดับ เมื่อทำการกรองโดยเพิ่มความดันจาก 40 ไปเป็น 50 กิโลปาสคาล

Meng; et al. (2005: 107-116) ศึกษาปัญหาการอุดตันของเยื่อแผ่นในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ โดยศึกษาเยื่อแผ่นที่ผลิตจากโพลีเอทรีลีน ขนาดรูพรุน 0.1 ไมครอน นำมาทดสอบการกรองแบบปลายปิดกับน้ำเสียที่มีตะกอนอนุภาคขนาดใหญ่กับตะกอนที่มีอนุภาคขนาดเล็ก จากการศึกษาพบว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการกรองเพิ่มขึ้นค่าฟลักซ์มีค่าลดลง โดยตะกอนน้ำเสียที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จะมีค่าฟลักซ์ที่น้อยกว่าตะกอนที่มีอนุภาคขนาดเล็ก เนื่องจากตะกอนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่เกิดการสร้างเส้นใยของแบคทีเรีย ในขณะที่ตะกอนอนุภาคขนาดเล็ก จะไม่มีการสร้างเส้นใยของแบคทีเรีย ทำให้ความต้านทานของเค้กน้อยกว่าตะกอนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ การกรองตะกอนที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะมีความต้านทานของชั้นเค้กเท่ากับ 2.46×10^{11} เมตร⁻¹ และตะกอนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จะมีความต้านทานของชั้นเค้ก 8.42×10^{11} เมตร⁻¹ ตามลำดับ

Singh; & Cheryan. (1997: 195-202) ได้ศึกษาการอุดตันของตัวกรองเซรามิกที่ใช้ในการกรองแป้งข้าวโพดด้วยวิธีไมโครฟิลเตรชัน โดยนำแป้งข้าวโพดหมักมากรองด้วยตัวกรองอะลูมินาที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร พื้นที่การกรอง 0.0055 ตารางเมตร และขนาดรูพรุน 0.2 ไมครอน ทำการป้อนสารปริมาตร 4 ลิตร ที่อัตราเร็วในการกรอง 3 4 และ 5 เมตรต่อนาที ความดัน 103 207 และ 310 กิโลปาสคาล จากการศึกษาพบว่า เมื่ออัตราเร็วและความดันที่ใช้ในการป้อนสารมีค่าเพิ่มขึ้นค่าเพอเมอเทฟลักซ์จะสูงกว่าการป้อนสารที่มีอัตราเร็วในการไหลต่ำ ความดันสูง ค่าการอุดตันจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการอัดตัวของเค้กบริเวณผิวของเยื่อแผ่น เมื่อเพิ่มอัตราเร็วในการกรองจะทำให้ค่าการอุดตันลดลง นอกจากนี้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการกรองคือที่ความดัน 103 ถึง 207 กิโลปาสคาล และ อัตราเร็วในการไหล 4 ถึง 5 เมตรต่อนาที

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารเคมีสำหรับการเตรียมตัวกรองเซรามิก

- 1.1 ดินดำ PRB จากบริษัทคอมพาวด์เคลย์ ประเทศไทย
- 1.2 ดินขาวระนอง จากบริษัทคอมพาวด์เคลย์ ประเทศไทย
- 1.3 อะลูมินา จากบริษัท Kuraray ประเทศนิวซีแลนด์
- 1.4 Polyvinylalcohol (PVA) จากบริษัท Kuraray ประเทศนิวซีแลนด์
- 1.5 Sodium Silicate (Na_2SiO_3) จากบริษัท คอมพาวด์เคลย์ ประเทศไทย
- 1.6 ปูนพลาสติก จากบริษัทเครือซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย
- 1.7 น้ำมันพืชปาล์ม ยี่ห้อโอลีน บริษัทโอลีน ประเทศไทย
- 1.8 น้ำ RO (Reverse Osmosis)

2. สารเคมีสำหรับการหมัก

- 1.1 น้ำตาลทราย
- 1.2 เชื้อยีสต์ สายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae*
- 1.3 แมกนีเซียมซัลเฟต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) จากบริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 1.4 โพแตสเซียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (KH_2PO_4) จากบริษัท Antibioticos S.P.A. ประเทศ อิตาลี
- 1.5 แอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) จากบริษัท Asia Pacific Specialty Chemical Limited ประเทศออสเตรเลีย
- 1.6 ยีสต์แอกซ์แทร็ก จากบริษัท Becton Dickinson and Company ประเทศฝรั่งเศส
- 1.7 กรดน้ำส้ม จากบริษัท VWR International Ltd. ประเทศอังกฤษ
- 1.8 สารละลายเอทานอลมาตรฐาน 99.8 เปอร์เซ็นต์ ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) ความหนาแน่น 0.78 จากบริษัทCario Erba Rcagenti S.P.A. ประเทศอิตาลี
- 1.9 ฟีนอล ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) จากบริษัท Cario Erba Rcagenti S.P.A. ประเทศอิตาลี
- 1.10 กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) จากบริษัท Merck KGaA ประเทศเยอรมนี
- 1.11 น้ำตาลกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) จากบริษัท Fluka ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง

1. แบบปูนปลาสเตอร์ สำหรับหล่อชิ้นงานซึ่งมีขนาดยาว 12 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร
2. เตาอบ Lenton Thermal Design รุ่น WE 120 (P) ประเทศอังกฤษ
3. เตาเผา Fisher Scientific Isotherm Muffle Furnace รุ่น 550-58 ประเทศอังกฤษ
4. เครื่องกวน
5. เครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น RVDV 5.0 ประเทศอังกฤษ
6. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์
7. เครื่องชั่งชนิดสองตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS
8. เครื่องวิเคราะห์ XRD Brooker D8 ประเทศเยอรมัน
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy) JSM 540s ประเทศญี่ปุ่น
10. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ บริษัท Shimadzu รุ่น UV-1601 ประเทศญี่ปุ่น
11. เครื่องวัดความพรุน (Mercury Porosity) Quatachrome รุ่น Pore master 33 ประเทศสหรัฐอเมริกา
12. ชุดอุปกรณ์สำหรับหมัก ปริมาตร 2 ลิตร บริษัท B. E. Marubishi ประเทศไทย
13. ไมโครปิเปต บริษัท Rainin Instrument Co, Inc. รุ่น L-10 มิลลิลิตร และ L-1000 ไมโครเมตร
14. เครื่องวัดพีเอช จาก บริษัท Denver Instrument รุ่น Wikipedia ประเทศสหรัฐอเมริกา
15. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี รุ่น Perkin Elmer GC ประเทศสหรัฐอเมริกา
16. เครื่องปั่นแยก บริษัท Labouip รุ่น Centurion 1000 Series ประเทศอังกฤษ
17. เครื่องเขย่า บริษัท Bibby รุ่น Orbitaz shaker S01 ประเทศอังกฤษ
18. เครื่องนึ่งความดันสูง บริษัท Astell Scientific รุ่น CLSO284 ประเทศอังกฤษ
19. ปัมป์จากบริษัท Watson Marlow รุ่น 205 U ประเทศอังกฤษ
20. ชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวางรุ่น 1
21. ชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวางรุ่น 2

วิธีการสำหรับการเตรียมตัวกรองเซรามิก

1. การเตรียมตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีการเทน้ำสลิป แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนได้แก่
 - 1.1 ขั้นตอนการเตรียมแม่แบบปูนปลาสเตอร์ ซึ่งปูนปลาสเตอร์และน้ำในอัตราส่วน 1 กิโลกรัม ต่อ 0.7 ลิตร ใส่ลงในภาชนะสำหรับผสม เติมน้ำปูนปลาสเตอร์ลงไปโดยไม่ต้องกวน เมื่อเติมน้ำปูนปลาสเตอร์จนหมดกวนให้เข้ากัน เทใส่ในแม่แบบ รอจนปูนปลาสเตอร์แห้ง อบที่อุณหภูมิไม่เกิน 65

องศาเซลเซียส หรือผึ่งลมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้แม่แบบปูนปลาสเตอร์ ดังแสดงในภาพประกอบ 13 ซึ่งสามารถนำมาใช้ขึ้นรูปชิ้นงานได้



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 13 การเตรียมแม่แบบปูนปลาสเตอร์ (ก) แม่แบบปูนปลาสเตอร์ (ข)

1.2 ชนิดของดินสำหรับการหล่อ ผสมอะลูมินา ดินดำ ดินขาว สารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ และน้ำ ตามลำดับ ในอัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตาราง 5 และ 6 ตามลำดับ โดยมีความเข้มข้นของของแข็งเท่ากับ 58 กรัมต่อลิตร ผสมน้ำสลিপด้วยเครื่องกวนที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที จนเป็นเนื้อเดียวกัน นำน้ำสลิปที่เตรียมได้มาบดในหม้อบดเป็นเวลา 30 นาที เทน้ำสลิปลงในแม่แบบปูนปลาสเตอร์ ทิ้งไว้จนได้ความหนาของชิ้นงานตามต้องการ เทน้ำสลิปออกจากแม่แบบ ปล่อยให้แห้ง รอจนกระทั่งชิ้นงานร้อนออกจากแม่แบบ นำชิ้นงานที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ตาราง 6 อัตราส่วนของตัวกรองสูตรดินดำ

ปริมาณอะลูมินา (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	อะลูมินา (กรัม)	ดินดำ (กรัม)	น้ำ (กรัม)	สารละลายโพสไฟฟอสเฟต แอลกอฮอล์ (กรัม)
10	21.6	206.4	150.95	57.60
20	43.2	184.8	150.95	57.60
30	64.8	163.2	150.95	57.60
40	86.4	141.6	150.95	57.60
50	108.0	120.0	150.95	57.60
60	129.6	98.4	150.95	57.60

ตาราง 7 อัตราส่วนของตัวกรองสูตรดินขาว

ปริมาณอะลูมินา (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	อะลูมินา (กรัม)	ดินขาว (กรัม)	น้ำ (กรัม)	สารละลายโพสไฟฟอสเฟต แอลกอฮอล์ (กรัม)
10	21.6	206.4	150.95	57.60
20	43.2	184.8	150.95	57.60
30	64.8	163.2	150.95	57.60
40	86.4	141.6	150.95	57.60
50	108.0	120.0	150.95	57.60
60	129.6	98.4	150.95	57.60

2. การเตรียมตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีการอัดรีด การขึ้นรูปตัวกรองเซรามิกโดยวิธีการอัดรีดเป็นกระบวนการอัดเนื้อดินปั้นที่มีความเหนียวผ่านแม่พิมพ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูปร่างเป็นท่อทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร มีความหนา 2 มิลลิเมตร การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ทำได้โดยผสมอะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับดินดำ ดินขาว น้ำมันปาล์มโอสัน และน้ำ ในอัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตาราง 7 ผสมส่วนผสมเข้าด้วยกัน นำเข้าเครื่องอัดรีด รีดขึ้นงานให้มีความยาว 25 ถึง 30 เซนติเมตร ปล่อยให้แห้ง นำชิ้นงานที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำชิ้นงานที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ภาพประกอบ 14 แสดงเครื่องอัดรีดท่อทรงกระบอกที่มีหัวแม่แบบเป็นรูปทรงกระบอก เมื่อเนื้อดินปั้นผ่านเครื่องอัดรีดออกมาจะได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกตามหัวแม่แบบ

ตาราง 8 อัตราส่วนของตัวกรองที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีด

สูตร	ปริมาณส่วนผสม (กรัม)			
	อะลูมินา	ดิน	น้ำ	น้ำมันปาล์มโอสีน
ดินดำ	480	320	16	235
ดินขาว	480	320	16	262



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 14 เครื่องอัดรีดท่อทรงกระบอก (ก) และ หัวแม่แบบทรงกระบอก (ข)

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของตัวกรอง

ชิ้นงานหรือตัวกรองหลังการเผาถูกนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้าง โครงสร้างจุลภาค การหดตัว ความพรุน ขนาดรูพรุน ความหนาแน่น และความแข็งแรง

1. การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้าง ตัดชิ้นงานให้มีขนาดเล็ก บดจนละเอียด อัดใส่ในช่องตัวอย่าง วิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่อง XRD Bruker X-ray diffraction รุ่น Bruker D8 ดังแสดงในภาพประกอบ 15 โดยวัดที่มุม 2θ (2 theta) ตั้งแต่ 10 ถึง 60 องศา



ภาพประกอบ 15 เครื่องกระเจิงรังสีเอ็กซ์ (XRD) รุ่น Bruker D8 ประเทศเยอรมัน

2. การวิเคราะห์จุลโครงสร้าง ตัดชิ้นงานให้มีความหนา 2 มิลลิเมตร วิเคราะห์จุลโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy) รุ่น JSM 540S ที่กำลังขยาย 1500 และ 10000 เท่า ดังแสดงในภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น JSM 6301F ประเทศญี่ปุ่น

3. เปอร์เซ็นต์การหดตัว การหดตัว เป็นสมบัติอย่างหนึ่งของตัวกรองเซรามิก ซึ่งการหดตัวจะเกิดขึ้น 2 ระยะ คือ ระยะการหดตัวเมื่อแห้งและระยะการหดตัวเมื่อเผา วิธีการทดสอบหาค่าการหดตัวสามารถทำได้โดยการวัดความยาวของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสและความยาวของชิ้นงานหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวโดยใช้สมการที่ 18 (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2547: 34-35)

$$S = \frac{L_{be} - L_{af}}{L_{be}} \times 100 \quad (18)$$

เมื่อ S คือ เปอร์เซ็นต์การหดตัว
 L_{be} คือ ความยาวของชิ้นงานก่อนเผา (เซนติเมตร)
 L_{af} คือ ความยาวของชิ้นงานหลังเผา (เซนติเมตร)

4. ความพรุน ตัดชิ้นงานให้มีขนาด 1 ถึง 2 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักชิ้นงานในขณะแห้ง (W_1) นำชิ้นงานแช่ในน้ำจนท่วม ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักให้หมด ชั่งน้ำหนักชิ้นงานเปียก (น้ำหนักอ้อมตัวด้วยน้ำ W_2) ชั่งน้ำหนักชิ้นงานในน้ำ (W_3) ซึ่งความพรุนสามารถคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์โดยใช้สมการที่ 19 (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2547: 36-38)

$$P = \frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3} \times 100 \quad (19)$$

เมื่อ	P	คือ เปอร์เซนต์ความพรุนของชิ้นงาน
	W_1	คือ น้ำหนักแห้งของชิ้นงาน (กรัม)
	W_2	คือ น้ำหนักอิมมัวด้วยน้ำของชิ้นงาน (กรัม)
	W_3	คือ น้ำหนักของชิ้นงานในน้ำ (กรัม)

5. ความหนาแน่น (กุลจิรา สุจิโรจน์; ผกามาศ แซ่หว่อง; และ ดวงเดือน อาจองค์. 2545:

44-45) ความหนาแน่น (Density) คือค่าน้ำหนักต่อปริมาตรหนึ่งหน่วยของสาร ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่น เช่น ขนาดและน้ำหนักขององค์ประกอบ การจัดเรียงตัวของอะตอมในระบบผลึก และปริมาตรรูพรุนในโครงสร้างของวัสดุ

ความหนาแน่นแท้จริง (True density, ρ_t) เป็นค่าความหนาแน่นทางทฤษฎีของสารซึ่งประกอบด้วยเนื้อสารเท่านั้นไม่รวมรูพรุนเปิด (Open porosity) และรูพรุนปิด (Closed porosity) ความหนาแน่นแท้จริงสามารถหาได้โดยการชั่งน้ำหนักชิ้นงานขณะแห้ง (W_1) วัดหาปริมาตรที่แท้จริง (V_T) ซึ่งสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 20

$$\rho_t = \frac{W_1}{V_T} \quad (20)$$

เมื่อ	ρ_t	คือ ความหนาแน่นแท้จริงของชิ้นงาน(กรัมต่อมิลลิลิตร)
	W_1	คือ น้ำหนักแห้งของชิ้นงาน (กรัม)
	V_T	คือ ปริมาตรที่แท้จริงของชิ้นงาน (มิลลิลิตร)

ความหนาแน่นมวล (Bulk density, ρ_B) เป็นค่าความหนาแน่นของสารซึ่งนอกจากเนื้อสารแล้ว ในชิ้นงานยังประกอบด้วยรูพรุนเปิด รูพรุนปิด และตำหนิต่างๆ ความหนาแน่นมวลหาได้จากหลักของอาร์คิมิดีส (Archimedes's Principle) โดยเริ่มจากการวัดน้ำหนักแห้ง (Dry weight, W_1) จากนั้นนำชิ้นงานจุ่มลงในน้ำ วัดน้ำหนักชิ้นงานในน้ำ (Suspended weight, W_2) นำชิ้นงานมาซับจนหมดแล้วจึงวัดน้ำหนักเปียก (Wet weight, W_3) นำข้อมูลของน้ำหนักมาคำนวณหาความหนาแน่นและปริมาณรูพรุนของสารได้ซึ่งสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 21

$$\rho_B = \frac{W_1}{W_3 - W_2} \quad (21)$$

เมื่อ	ρ_B	คือ ความหนาแน่นมวลของชิ้นงาน (กรัมต่อมิลลิกรัม)
	W_1	คือ น้ำหนักแห้งของชิ้นงาน (กรัม)
	W_2	คือ น้ำหนักชิ้นงานในน้ำ (กรัม)
	W_3	คือ น้ำหนักชิ้นงานเปียก (กรัม)

6. ขนาดรูพรุนและการกระจายตัว ตัดชิ้นงานให้มีขนาดความยาว 5 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักชิ้นงาน วางไว้ในเซลล์ตัวอย่างเข้าเครื่องวิเคราะห์ขนาดรูพรุนด้วยปรอท (Mercury Porosimetry) Quatachrome รุ่น Poremaster 33 การวัดรูพรุนด้วยวิธีการใช้ปรอท (ซัชวาล สุขมัน. 2543: 31-32) เป็นวิธีที่อาศัยหลักการเพิ่มความดันให้กับปรอทซึ่งมีความดันระดับหนึ่งที่สามารถดันปรอทเข้าไปอยู่ในรูพรุนของชิ้นงานได้ โดยชิ้นงานต้องผ่านการดูดอากาศออกแล้ว ซึ่งความดันอยู่ในระดับ 10^{-2} ทอร์ อุปกรณ์สำคัญของเครื่องมือคืออุปกรณ์สำหรับใส่ชิ้นงานที่เรียกว่า Penetrometer ดังแสดงในภาพประกอบ 17 หลังจากใส่ชิ้นงานเข้าไปแล้วจึงเริ่มทำการวัดขนาดรูพรุน ด้วยการเพิ่มความดันเพื่อให้ปรอทเข้าไปอยู่ในรูพรุน ซึ่งบริเวณก้านของ Penetrometer จะมีการเคลือบสารบางอย่างไว้เพื่อบ่งบอกถึงปริมาณปรอทที่เปลี่ยนแปลงไป กราฟที่ได้จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ให้ปรอทกับปริมาณปรอทที่เข้าไปในรูพรุนคือการกระจายขนาดของรูพรุน ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับขนาดรูพรุนสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 22 และ 23

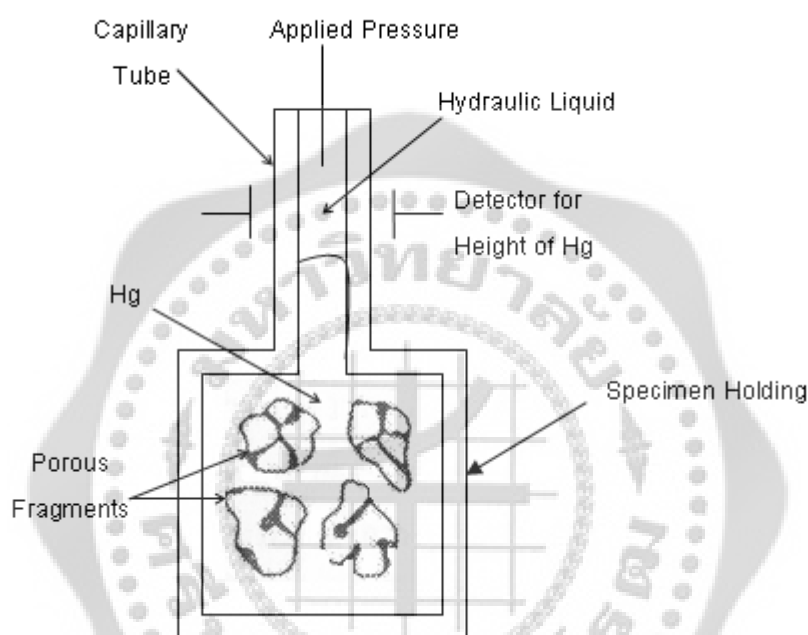
$$r = \frac{2\gamma \cos\theta}{P} \quad (22)$$

เมื่อ	γ	คือ แรงตึงผิวของปรอทซึ่งมีค่าเท่ากับ 485.0 ไดน์ต่อเซนติเมตร
	θ	คือ มุมสัมผัสระหว่างปรอทกับชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 130°

ดังนั้น

$$r = \frac{180}{P} \quad (23)$$

เมื่อ r คือ รัศมีของขนาดรูพรุน (ไมโครเมตร)
 P คือ ความดันที่ดันปรอทเข้าไปในรูพรุน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)



ภาพประกอบ 17 ลักษณะของ Penetrometer

ที่มา: ชัชวาล สุขมัน. (2543). การผลิตและพัฒนาชั้นรองรับเยื่อแผ่นอลูมินาชนิดไมโครฟิลเตรชัน. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร

7. ความแข็งแรง ความแข็งแรง (Strength) คือการวัดความสามารถของวัสดุในการต้านทานต่อแรงที่มากระทำซึ่งจะทำให้เกิดการเริ่มร้าว (Crack initiation) และเกิดการแตกหักของวัสดุในที่สุดโดยแรงที่มากระทำอาจเป็นแรงดึง แรงกด หรือแรงเฉือน ทำได้โดยนำชิ้นงานมาตัดให้มี ความยาว 1 เซนติเมตร วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก และความยาวของชิ้นงาน นำชิ้นงานไปทดสอบแรงอัดด้วยเครื่องวัดความแข็งแรง รุ่น LLOYD ประเทศอังกฤษ คำนวณหาความแข็งแรงของชิ้นงาน ดังสมการที่ 24

$$S = \frac{8FLD_o}{\pi(D_o^4 - D_i^4)} \quad (24)$$

เมื่อ	S	คือ ความแข็งแรงของชิ้นงาน
	F	คือ แรงกด (กิโลกรัม)
	L	คือ ความยาวชิ้นงาน (เมตร)
	D _o	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (เมตร)
	D _i	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (เมตร)

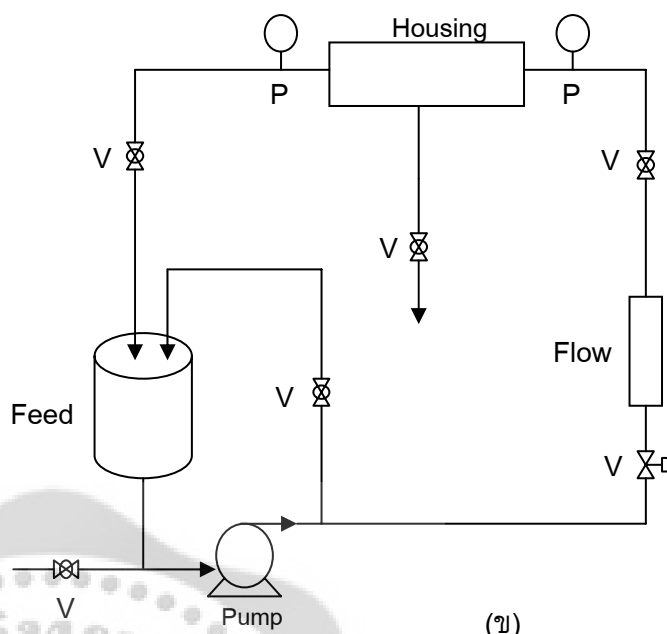
การทดสอบสมบัติการกรอง

1. การทดสอบการกรองของตัวกรองที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการเทน้ำสลิป การทดสอบการกรองน้ำ นำตัวกรองหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มากรองน้ำโดยใช้เครื่องทดสอบการกรองแบบไหลขวางดังแสดงในภาพประกอบ 18 เก็บปริมาณน้ำในสายเพอมีเอตทุก 10 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อัตราการไหลของน้ำเป็น 4 ลิตรต่อนาที และที่ความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่นเท่ากับ 3.27×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร

การทดสอบการกรองเชื้อยีสต์ นำตัวกรองหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาทดสอบการกรองเชื้อยีสต์โดยใช้สูตรสารอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อยีสต์ *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 การหมักเชื้อยีสต์ทำได้โดยการเตรียมหัวเชื้อจำนวน 3 ขวด ซึ่งแต่ละขวดใช้สารอาหารจำนวน 250 มิลลิลิตร เชื้อเชื้อ เชย้า ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 วัน เติมหหัวเชื้อทั้ง 3 ขวดลงในถังหมักขนาด 10 ลิตร ฟ้นอากาศ หมักเป็นเวลา 5 วัน นำน้ำหมักไปทดสอบการกรองโดยใช้เครื่องทดสอบการกรองแบบไหลขวางดังแสดงในภาพประกอบ 18 โดยทำการกรองที่อัตราการไหลของน้ำเป็น 4 ลิตรต่อนาที และที่ความดันแตกต่างเท่ากับ 3.27×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 18 ชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวางรุ่น 1 (ก) และแผนภาพแสดงทิศทางการไหล (ข)

2. การทดสอบการกรองของตัวกรองที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีด ตัวกรองเซรามิกที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีด หลังเผาหลังที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส จะถูกนำมาทดสอบการกรองน้ำและกรองเชื้อยีสต์โดยต่อเข้ากับชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวางดังแสดงในภาพประกอบ 19 โดยทำการทดสอบการกรองที่ความดัน 3.27×10^4 3.62×10^4 3.96×10^4 และ 4.31×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร กำหนดให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่ที่ 1.89 ลิตรต่อนาที จับเวลาวัดปริมาตรเพมิเอททุก 5 นาที เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง

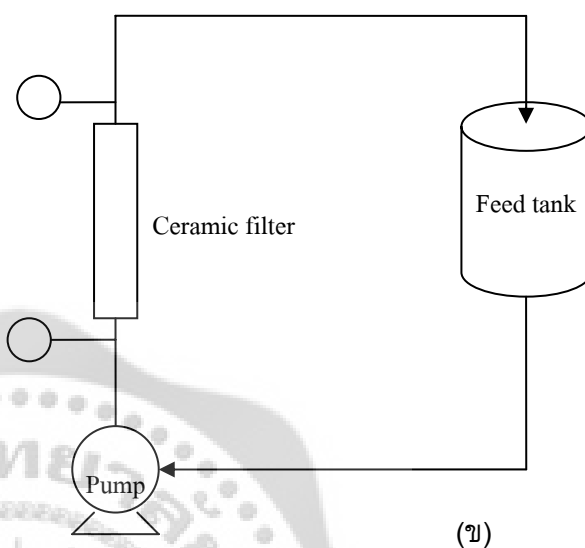
3. การวัดความเข้มข้นของเชื้อยีสต์ในน้ำหมัก การวัดความเข้มข้นทำได้โดยนำน้ำหมักจำนวน 10 มิลลิลิตร มาปั่นที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เทสารละลายใส่ทิ้ง เติมน้ำประมาณ 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปั่นอีกครั้งเป็นเวลา 5 นาที เติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 10 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรสโคปียี่ห้อ SHIMADSU รุ่น UV-161 Japan คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกักเก็บสาร ดังสมการที่ 25

$$\text{เปอร์เซ็นต์การกักเก็บสาร} = \left(\frac{ABS_f - ABS_i}{ABS_f} \right) \times 100 \quad (25)$$

เมื่อ ABS_f คือ ค่าการดูดกลืนแสงของรีเทนเทต
 ABS_i คือ ค่าการดูดกลืนแสงของเพอมีเอทที่เวลาใดๆ



(ก)



ภาพประกอบ 19 ชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวางรุ่น 2 (ก) และแผนภาพแสดงทิศทางการไหล (ข)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

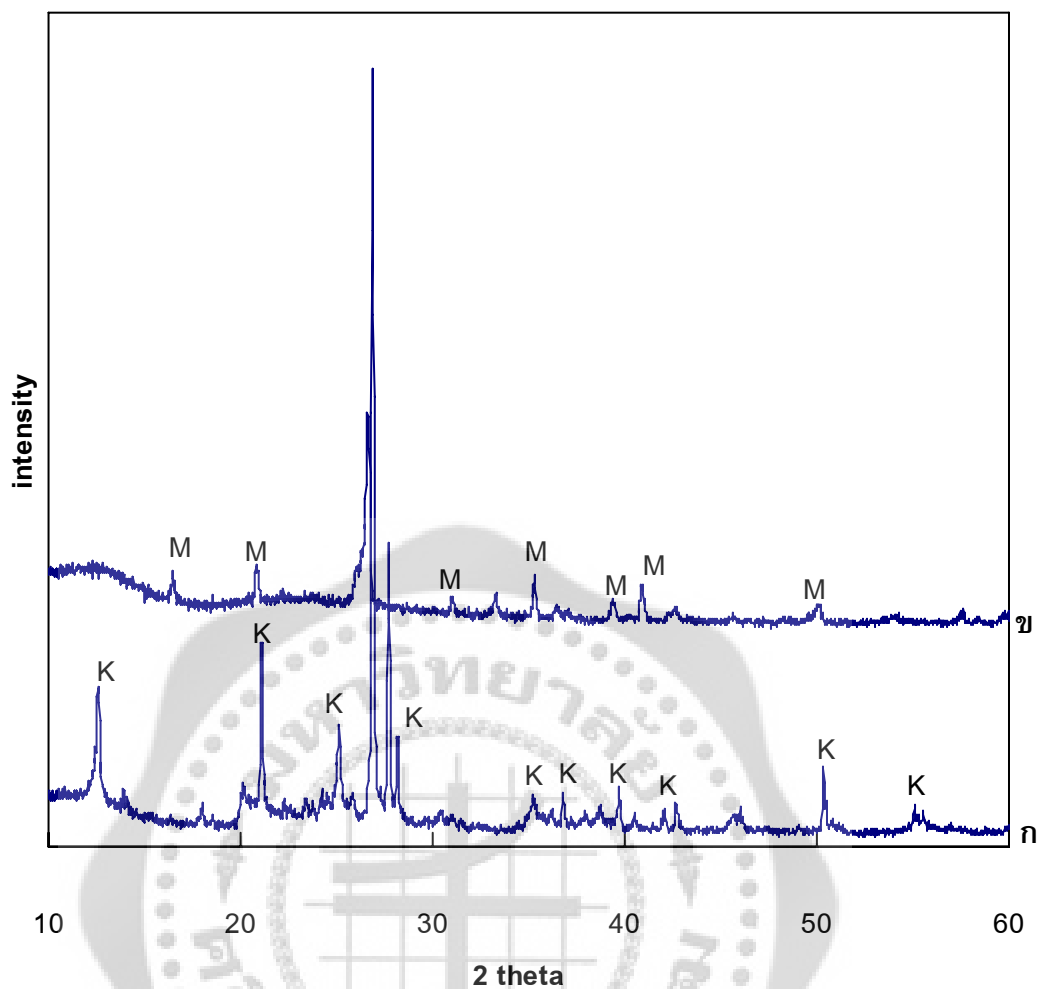
วัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมตัวกรองเซรามิก

ในงานวิจัยนี้วัตถุดิบที่เลือกใช้ในการผลิตตัวกรองได้แก่ ดินขาว ดินดำ และอะลูมินา ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

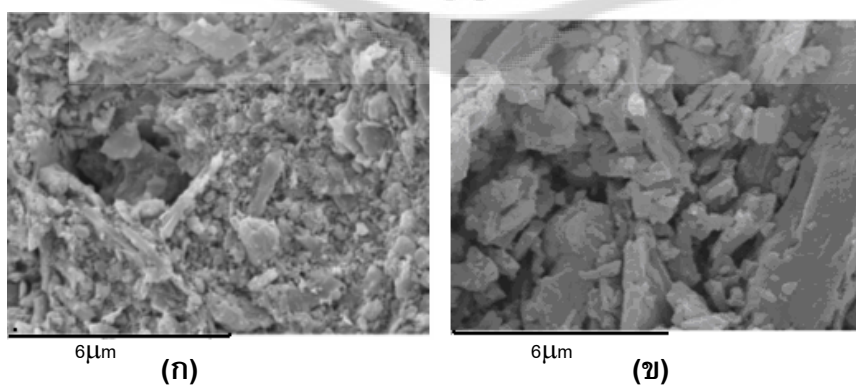
1. ดินดำ ดินดำที่เลือกใช้เป็นดินดำชนิด PBA จากการศึกษารายละเอียดของดินดำพบว่าประกอบด้วย ซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) ไอรอน (III) ออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และกำมะถัน ดังแสดงในตาราง 9 จากตาราง พบว่า ดินดำมีปริมาณซิลิกาและอะลูมินาเท่ากับ 63.70 และ 22.50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเมื่อนำดินดำไปศึกษาลักษณะโครงสร้างด้วยวิธีการกระเจิงแสง พบว่า โครงสร้างของดินดำก่อนเผาประกอบด้วยฟีดของ เคโอลิไนต์ ที่มีมุม 12.36 21.18 25.20 35.26 37.04 39.78 50.54 50.38 และ 55.62 องศา คริสโตบาลไลต์ที่มีมุม 26.68 องศา และควอทซ์ที่มีมุม 27.74 องศา ดังแสดงในภาพประกอบ 20 ส่วนโครงสร้างของดินดำหลังเผาที่ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าฟีดของเคโอลิไนต์ เปลี่ยนเฟสไปเป็นมัลไลต์ ที่มีมุม 16.58 21.23 26.68 33.36 35.48 39.52 41.12 และ 49.96 องศาซึ่งให้ผลการทดลองตรงกับของ Chen; Wang & Hon. (2004: 2389-2397) ทั้งนี้เนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส แร่เคโอลิไนต์เปลี่ยนไปเป็นมัลไลต์โดยแร่ เคโอลิไนต์ จะเริ่มเปลี่ยนเฟสไปเป็นเมตาเคโอลิไนต์หลังเผาที่อุณหภูมิ 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส และเมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นอะลูมินาจะแตกตัว ไปเป็นมัลไลต์และคายซิลิกาออกไปซึ่งให้ผลการทดลองตรงกับของ Chen; et al. (2004: 221-228) และเมื่อนำดินดำมาศึกษาจุลโครงสร้างก่อนเผาและหลังเผา พบว่าดินดำมีรูปร่างเป็นแผ่นหกเหลี่ยมเรียงซ้อนกันโดยดินดำก่อนเผามีขนาดของแผ่นเล็กกว่าดินดำหลังเผา ดังแสดงในภาพประกอบ 21

ตาราง 9 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

องค์ประกอบ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	K_2O	Na_2O	MgO	กำมะถัน
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

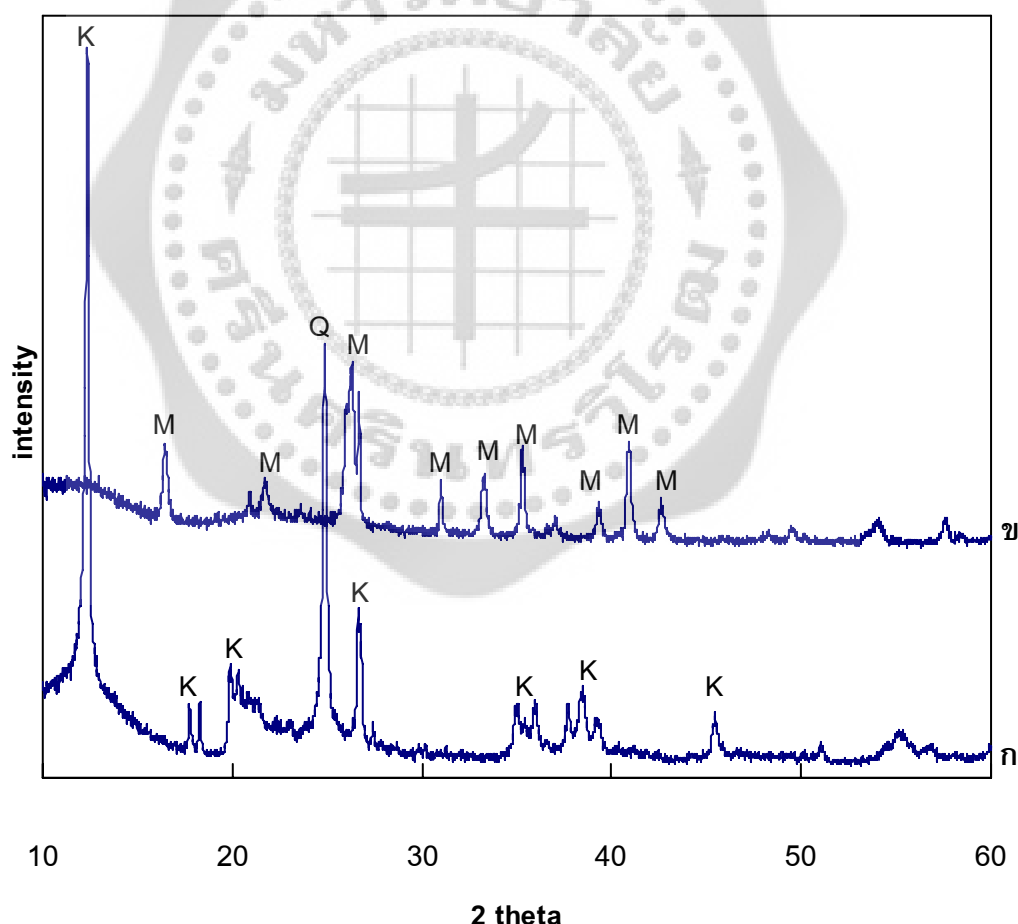


ภาพประกอบ 20 โครงสร้างของดินดำ (ก) ก่อนเผา และ (ข) หลังเผา เมื่อ K คือ เคโอลิไนต์ M คือ มัลไลต์ และ Q คือ ควอร์ต

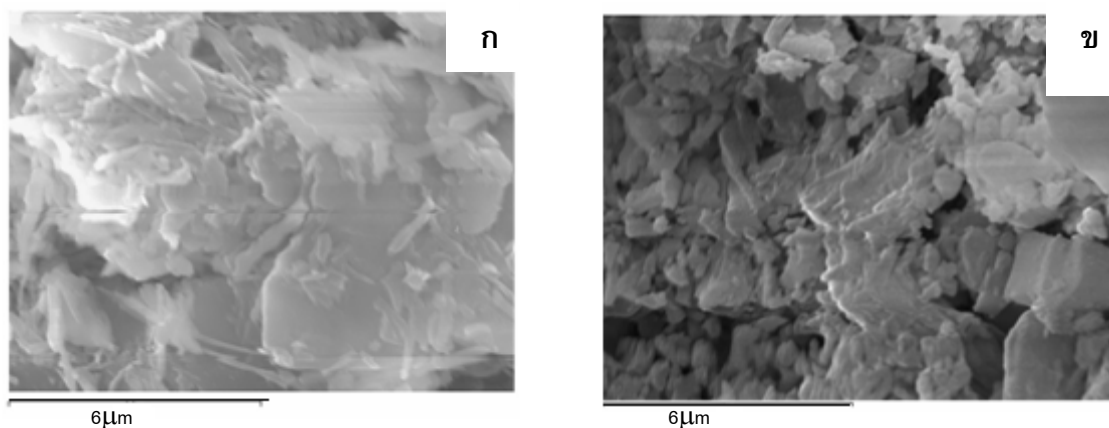


ภาพประกอบ 21 จุลโครงสร้างของดินดำ ที่กำลังขยาย 10000 เท่า (ก) ก่อนเผา และ (ข) หลังเผาที่ อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2. ดินขาว จากการศึกษาร่องรอยประกอบทางเคมีของดินขาว พบว่าประกอบด้วย ซิลิกา อะลูมินา ไอรอน (III) ออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ และกำมะถัน แสดงในตาราง 8 จากตารางพบว่า ดินขาวมีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกับดินดำ แต่ดินขาวมีปริมาณอะลูมินาสูงกว่าดินดำ ส่วนปริมาณซิลิกาของดินขาวมีน้อยกว่าดินดำ ลักษณะโครงสร้างของดินขาวเมื่อทำการศึกษาร่องรอยการกระเจิงแสง (XRD) ที่มุม 2 theta พบว่าโครงสร้างหลักของดินขาวก่อนเผาประกอบด้วย เคโอลิไนต์เหมือนดินดำ โดยพบพีคเคโอลิไนต์ที่มุม 12.52 18.28 26.82 35.58 38.10 และ 45.88 องศา เฟลสปาที่มุม 20.08 องศา และควอร์ตที่มุม 24.94 องศา ผลการศึกษาโครงสร้างของดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าพีคของเคโอลิไนต์เปลี่ยนแปรเป็นมัลไลต์ที่มุม 16.52 21.78 31.04 33.34 35.48 40.94 และ 41.16 องศา ดังแสดงในภาพประกอบ 22 และเมื่อนำดินขาวไปศึกษาจุลโครงสร้างก่อนเผาและหลังเผา พบว่ามีรูปร่างเป็นแผ่นหกเหลี่ยมเรียงซ้อนกันโดยดินขาวก่อนเผามีขนาดของแผ่นเล็กกว่าดินขาวหลังเผา ซึ่งมีโครงสร้างจุลภาคคล้ายกับดินดำ ดังแสดงในภาพประกอบ 23

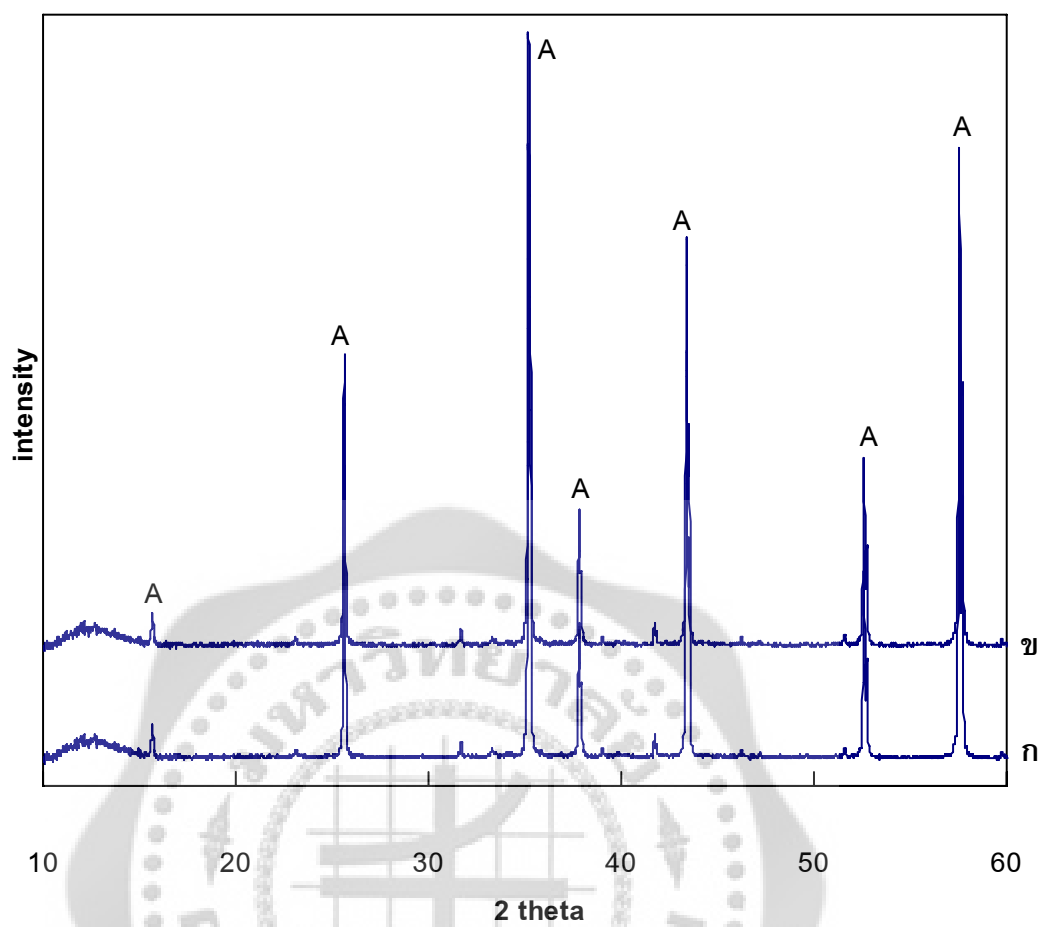


ภาพประกอบ 22 โครงสร้างของดินขาว ที่กำลังขยาย 10000 เท่า (ก) ก่อนเผา และ (ข) หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อ K คือ เคโอลิไนต์ M คือ มัลไลต์ F คือ เฟลสปา และ Q คือ ควอร์ต

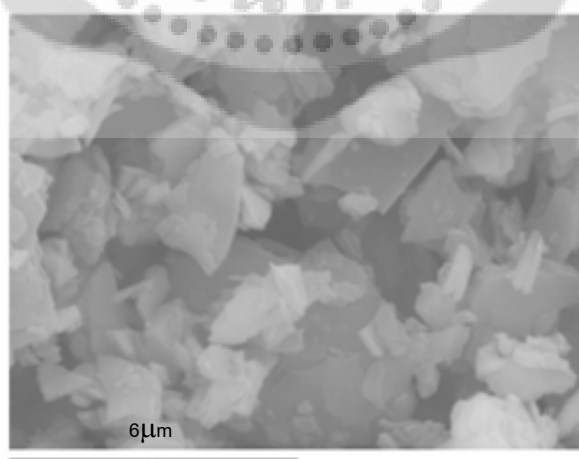


ภาพประกอบ 23 จุลโครงสร้างของดินขาว ที่กำลังขยาย 10000 เท่า (ก) ก่อนเผา และ (ข) หลังเผา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3. อะลูมินา อะลูมินามีลักษณะเป็นผงสีขาวเนื้อละเอียดมีองค์ประกอบหลัก คือ อะลูมินา 99.50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกนั้นเป็นซิลิกา ไอรอน(III)ออกไซด์ โซเดียมออกไซด์ และ แก้ว ซึ่งมีปริมาณต่ำมาก ดังแสดงในตาราง 9 และเมื่อนำอะลูมินาไปศึกษาลักษณะโครงสร้างด้วยวิธีการกระเจิงแสง พบเพียงฟุ้งของอะลูมินาเท่านั้น ดังแสดงในภาพประกอบ 24 ซึ่งลักษณะโครงสร้างของอะลูมินาไม่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสทั้งก่อนเผาและหลังเผา และเมื่อนำอะลูมินาไปศึกษาจุลโครงสร้างพบว่า มีรูปร่างเป็นแผ่น ดังแสดงในภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 24 โครงสร้างของอะลูมินา (ก) ก่อนเผา และ (ข) หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อ A คือ อะลูมินา



ภาพประกอบ 25 จุลโครงสร้างของอะลูมินาก่อนเผาที่กำลังขยาย 10000 เท่า

การขึ้นรูปตัวกรอง

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ศึกษาการขึ้นรูปตัวกรองเซรามิกเป็นสองวิธี คือ วิธีการเทน้ำสลิปในหัวข้อ 1 และวิธีการอัดรีด ในหัวข้อ 2

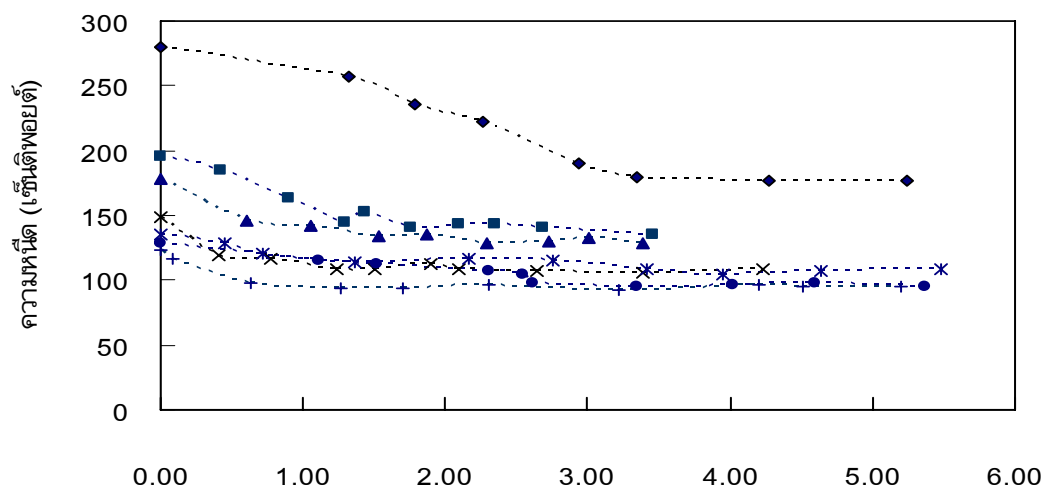
1. การขึ้นรูปตัวกรองด้วยวิธีเทน้ำสลิป

การขึ้นรูปตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีเทน้ำสลิปเป็นกระบวนการเทน้ำสลิปลงในแม่พิมพ์ เมื่อได้ความหนาของชิ้นงานตามต้องการ จะมีการเทน้ำสลิปที่เหลือออกจากแม่พิมพ์ น้ำสลิปต้องมีสมบัติไหลตัวได้ดี มีปริมาณน้ำน้อย มีปริมาณเนื้อดินสูง การเพิ่มปริมาณเนื้อดินได้โดยการสารช่วยการกระจายตัว

1.1 การศึกษาความหนืดของน้ำสลิป ในงานวิจัยนี้มีการปรับความหนืดของน้ำสลิปให้มีค่าอยู่ระหว่าง 100 ถึง 200 เซนติพอยต์ โดยเลือกใช้สารละลายโซเดียมซิลิเกต ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นสารช่วยกระจายตัวซึ่งโซเดียมซิลิเกตจะทำให้น้ำสลิปเกิดการกระจายตัวและลอยตัวอย่างสมบูรณ์ จากตาราง 9 พบว่าในเนื้อดินมีอนุภาคมวลพวกบวกสอง เช่น Ca^{2+} Mg^{2+} เมื่อเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตลงไปจะทำให้ Ca^{2+} และ Mg^{2+} กลายเป็น CaSiO_3 และ MgSiO_3 ซึ่งไม่ละลายน้ำ ทำให้น้ำสลิปเกิดการกระจายตัวได้ดี ดังสมการที่ 26 และ 27 (ปริดา พิมพ์ขาวขำ. 2547)



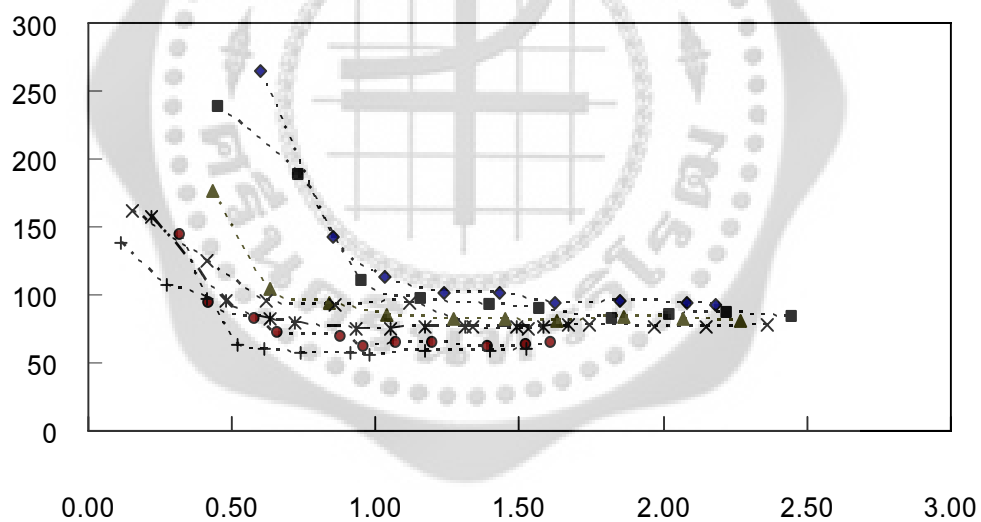
จากการศึกษาพบว่าความหนืดของน้ำสลิปก่อนเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตลงไปมีความหนืดสูง แต่เมื่อเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตลงไปความหนืดของน้ำสลิปจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายโซเดียมซิลิเกตจะทำให้อนุภาคของดินในน้ำสลิปเกิดการกระจายตัวและผลึกซึ่งกันและกัน ทำให้อนุภาคของดินกระจายตัวในน้ำสลิป ซึ่งส่งผลให้ความหนืดของน้ำสลิปลดลง เมื่อเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตลงไปจนถึงปริมาณหนึ่งความหนืดของน้ำสลิปจะไม่เปลี่ยนแปลง ดังแสดงในภาพประกอบ 26 จากภาพประกอบ 26 พบว่าปริมาณสารละลายโซเดียมซิลิเกตที่เติมลงในตัวกรองสูตรดินขาวใช้ปริมาณน้อยกว่าตัวกรองสูตรดินดำ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของดินดำมีปริมาณสารอินทรีย์สูงกว่าดินขาว และนอกจากนี้ปริมาณการเติมอะลูมินาในตัวกรองทั้งสองสูตรยังมีผลต่อความหนืดของน้ำสลิปโดยพบว่า เมื่อปริมาณการเติมอะลูมินาเพิ่มขึ้นความหนืดของน้ำสลิปจะมีค่าลดลง เนื่องจากอะลูมินาไม่มีสารอินทรีย์อยู่ในส่วนประกอบและมีความละเอียดน้อยกว่าดิน จึงทำให้ความหนืดของน้ำสลิปลดลง



ปริมาณสารละลายโซเดียมซิลิเกต (กรัม)

(ก)

ความหนืด (เซ็นติพอยต์)



ปริมาณสารละลายโซเดียมซิลิเกต(กรัม)

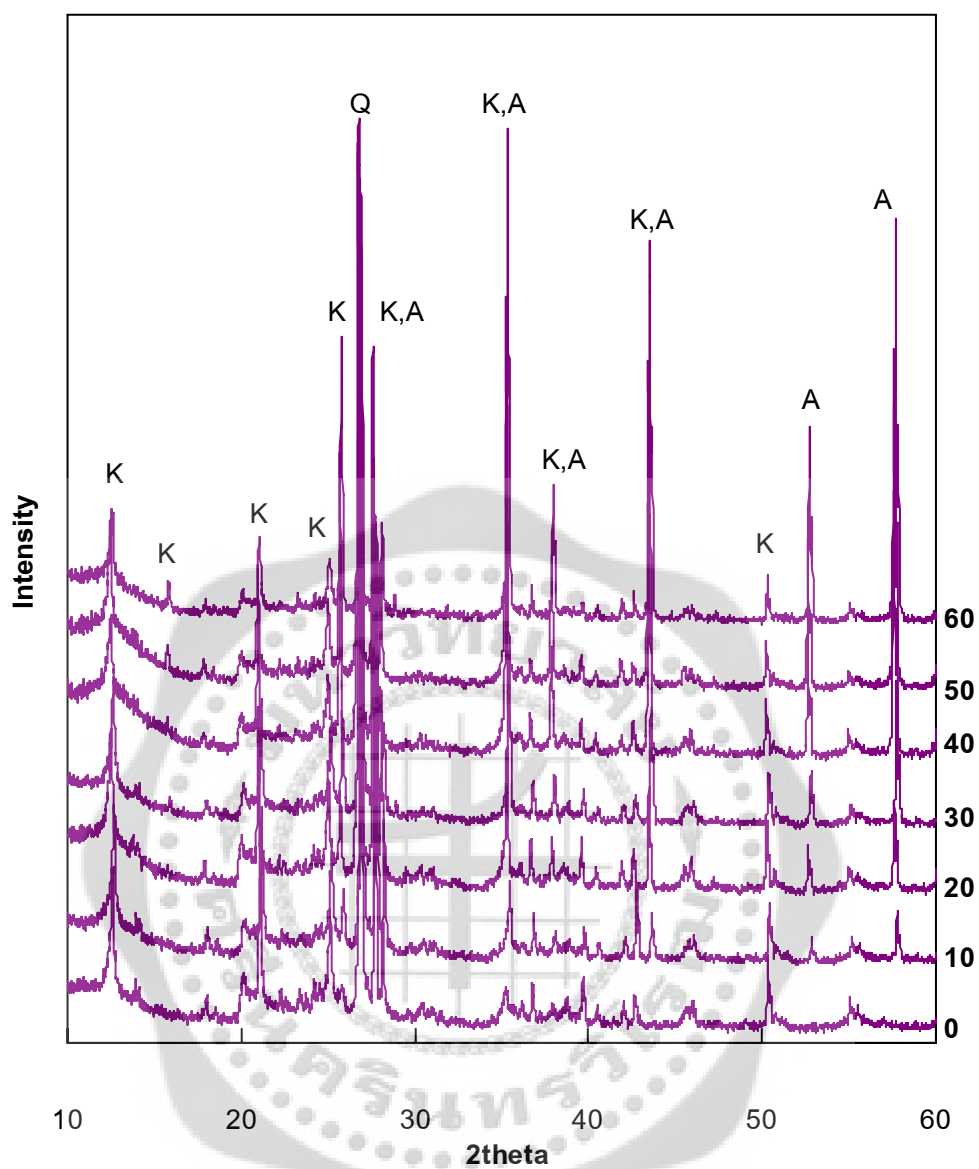
(ข)

---◆--- 0 ---■--- 10 ---▲--- 20 ---×--- 30 ---*--- 40 ---●--- 50 ---+--- 60

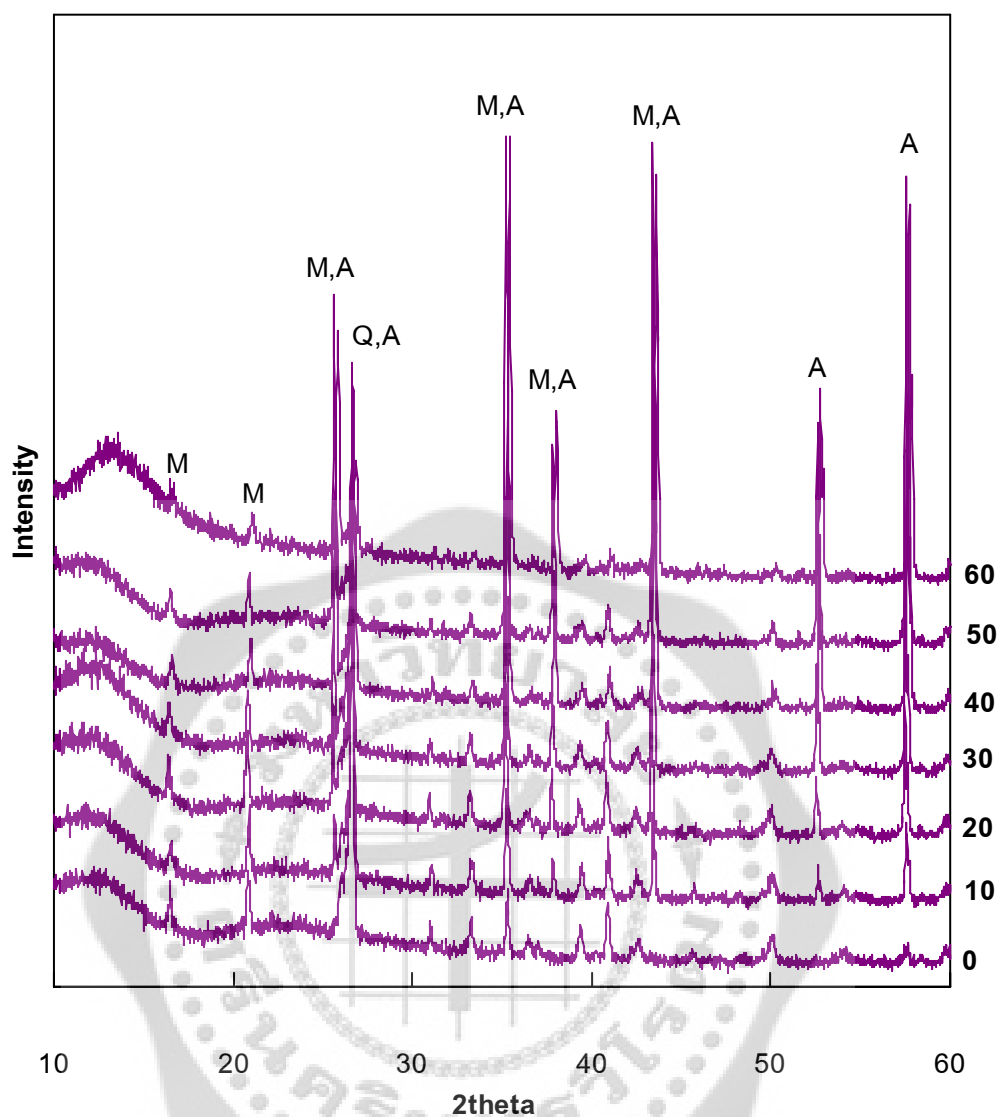
ภาพประกอบ 26 ค่าความหนืดของน้ำสลิปที่เตรียมจาก (ก) ดินดำ และ (ข) ดินขาว ที่ปริมาณการเติมอะลูมินาต่างๆ (เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก)

2.2 ลักษณะโครงสร้างของตัวกรอง การศึกษาลักษณะโครงสร้างของตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวที่ผลิตได้โดยการวิเคราะห์โครงสร้างของตัวกรองก่อนเผาและหลังเผาด้วยเครื่อง XRD ที่มุม 2θ ผลการศึกษาดังแสดงในภาพประกอบ 27 ถึง 30

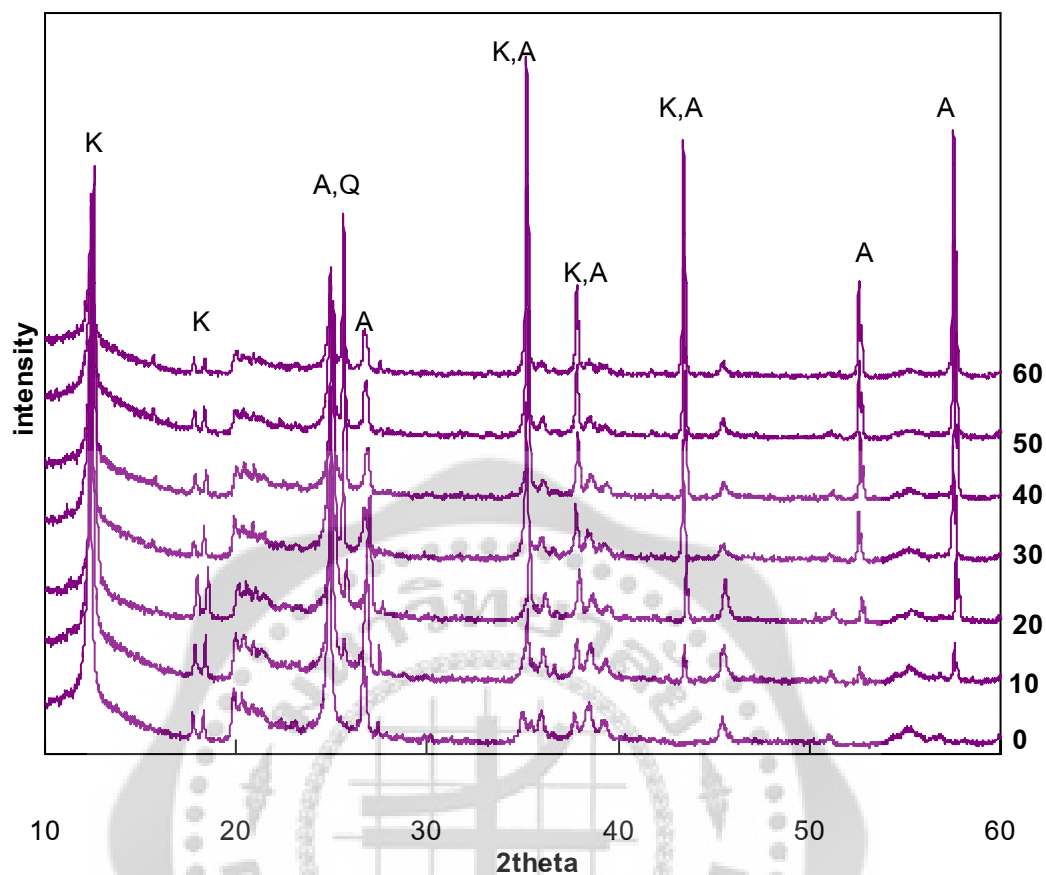
เมื่อนำตัวกรองที่เตรียมได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธีเทน้ำสลีปก่อนเผาและหลังเผาที่ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ศึกษาลักษณะโครงสร้างด้วยวิธีการกระเจิงแสง จากการศึกษาพบว่าตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวก่อนเผามีพบเฟสของเคโอลิไนต์ที่มุม 12.8 21.22 25.58 25.74 27.56 และ 50.48 องศา พีคของอะลูมินาที่มุม 52.60 และ 57.58 องศา และควอร์ตที่มุม 26.92 องศา นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อปริมาณการเติมอะลูมินาเพิ่มขึ้นทำให้พีคอะลูมินาสูงขึ้นและที่มุม 35.24 38.04 และ 43.72 องศา พบพีคของอะลูมินาและเคโอลิไนต์อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากอะลูมินาที่เติมลงไปในตัวกรองกระจายตัวอยู่ในเนื้อดินทำให้พบพีคตรงบริเวณดังกล่าว ซึ่งให้ผลการทดลองตรงกับ Chen; Wang & Hon. (2004: 221-228) และเมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างของตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาพบว่าการเปลี่ยนแปลงของเคโอลิไนต์ไปเป็นมัลไลต์ที่มุม 17.02 21.00 และ 42.00 องศา อะลูมินาที่มุม 52.98 และ 57.60 องศา ควอร์ตที่มุม 26.90 องศา และที่มุม 25.72 35.38 38.08 43.76 พบพีคของอะลูมินาและมัลไลต์ที่ตำแหน่งเดียวกัน



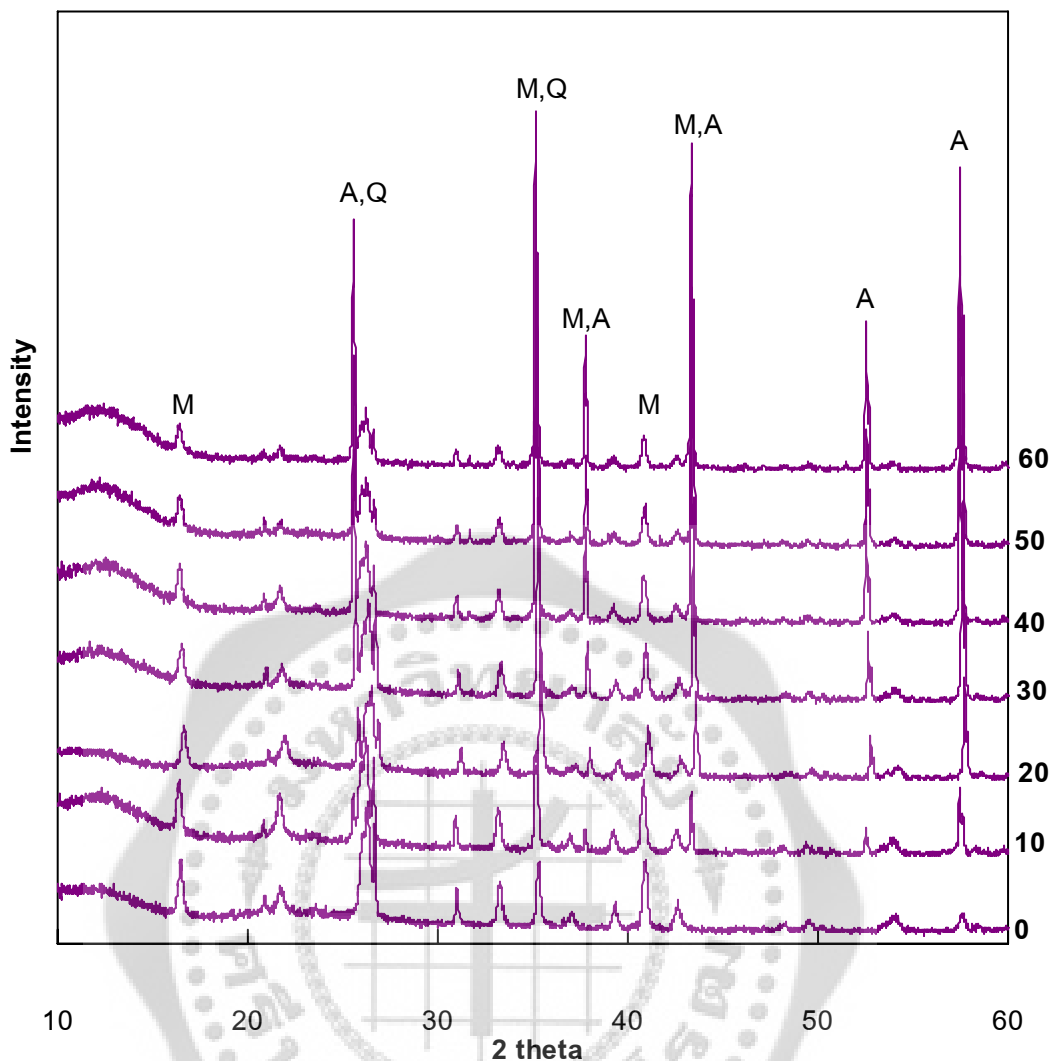
ภาพประกอบ 27 โครงสร้างของตัวกรองสูตรดินตำก่อนเผา ที่ปริมาณการเติมอะลูมินาต่างๆ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เมื่อ A คือ อะลูมินา K คือ เคโอลิไนต์ และ Q คือ ควอร์ต



ภาพประกอบ 28 โครงสร้างของตัวกรองสูตรดินดำหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ปริมาณการเติมอะลูมินาต่างๆ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เมื่อ A คือ อะลูมินา M คือ มัลไลต์ และ Q คือ ควอร์ต

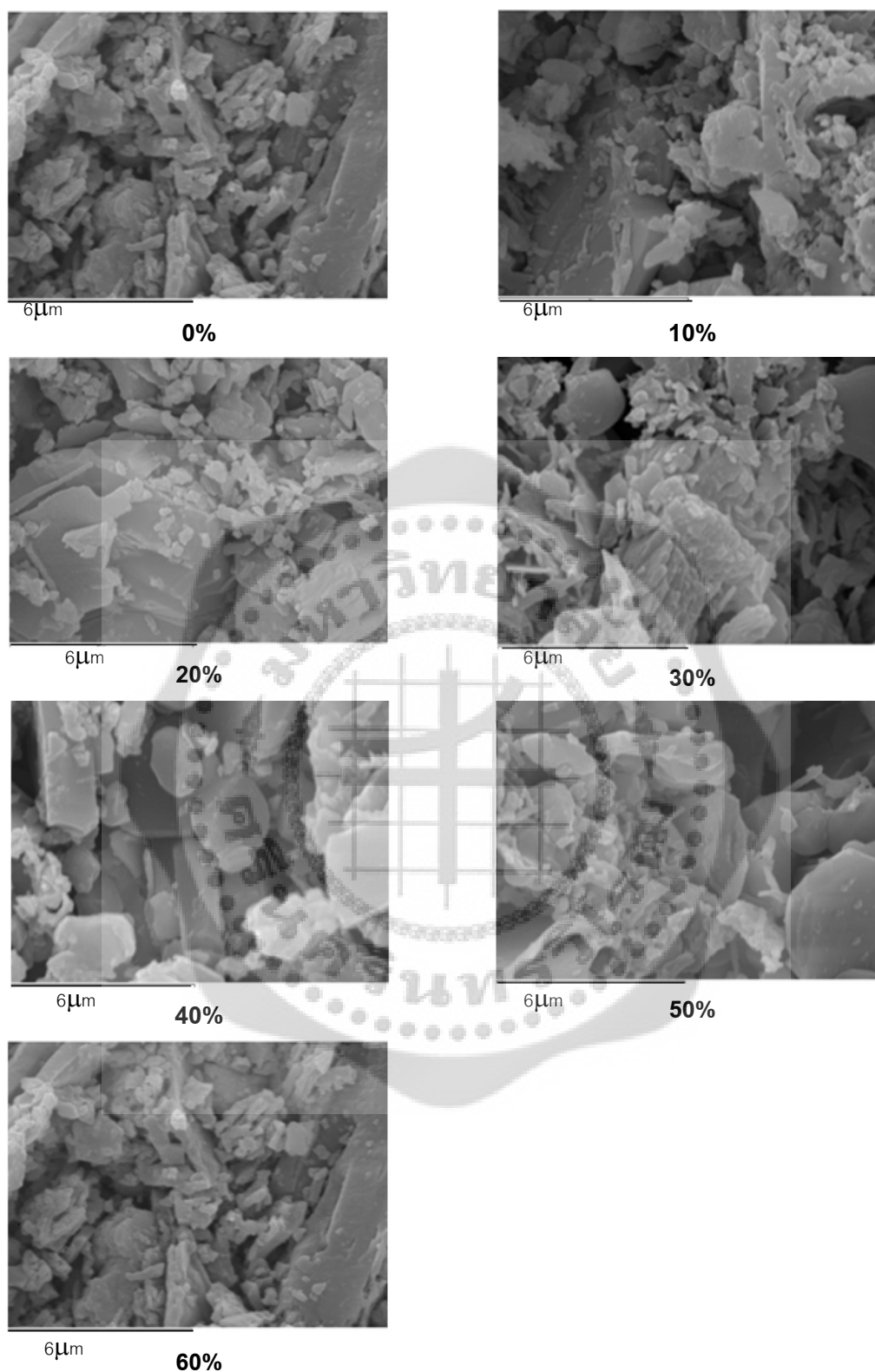


ภาพประกอบ 29 โครงสร้างของตัวกรองสูตรดินขาว ก่อนเผา ที่ปริมาณการเติมอะลูมินาต่างๆ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เมื่อ A คือ อะลูมินา K คือ เคโอลิไนต์ และ Q คือ ควอร์ต

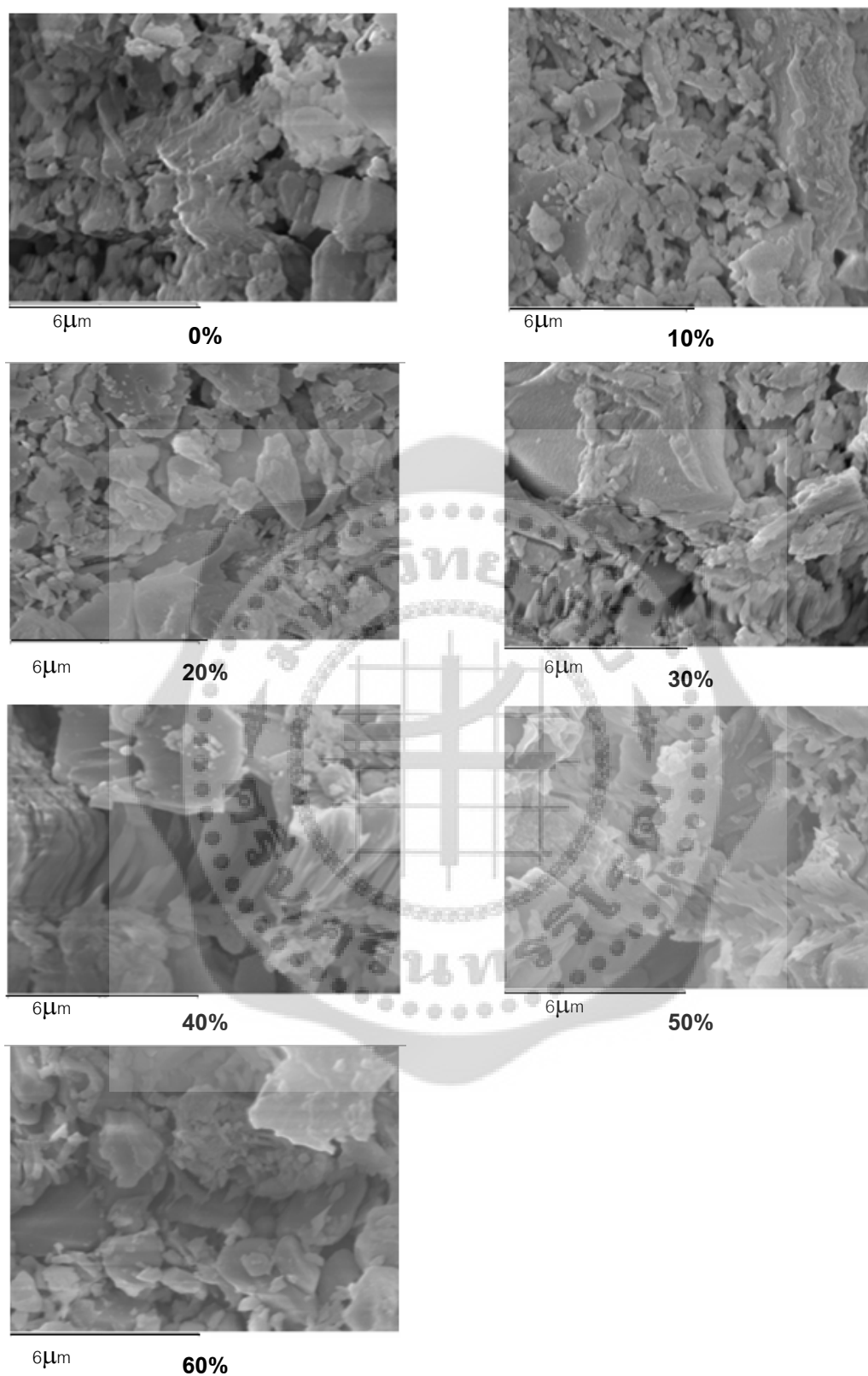


ภาพประกอบ 30 โครงสร้างของตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ปริมาณการเติมอะลูมินาต่างๆ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เมื่อ A คือ อะลูมินา M คือ มัลไลต์ และ Q คือ ควอร์ต

2.3 ลักษณะจุลโครงสร้างของตัวกรอง เมื่อนำตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาศึกษาลักษณะจุลโครงสร้างของตัวกรองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าลักษณะของตัวกรองจะเป็นแผ่นและแท่ง เมื่อปริมาณการเติมอะลูมินาเพิ่มขึ้นพบว่าเกรนมีขนาดใหญ่ การเติมอะลูมินาที่ปริมาณ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้เกรนมีขนาดใหญ่ที่สุด และพบว่าตัวกรองสูตรดินดำจะมีขนาดเกรนที่ใหญ่กว่าตัวกรองสูตรดินขาว ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของดินดำมีปริมาณอินทรีย์สารสูงกว่าดินขาวจึงเกิดการหลอมรวมกันของสารอินทรีย์ที่อยู่ในเนื้อดินทำให้เกรนมีขนาดใหญ่กว่า ดังแสดงในภาพประกอบ 31 และ 32



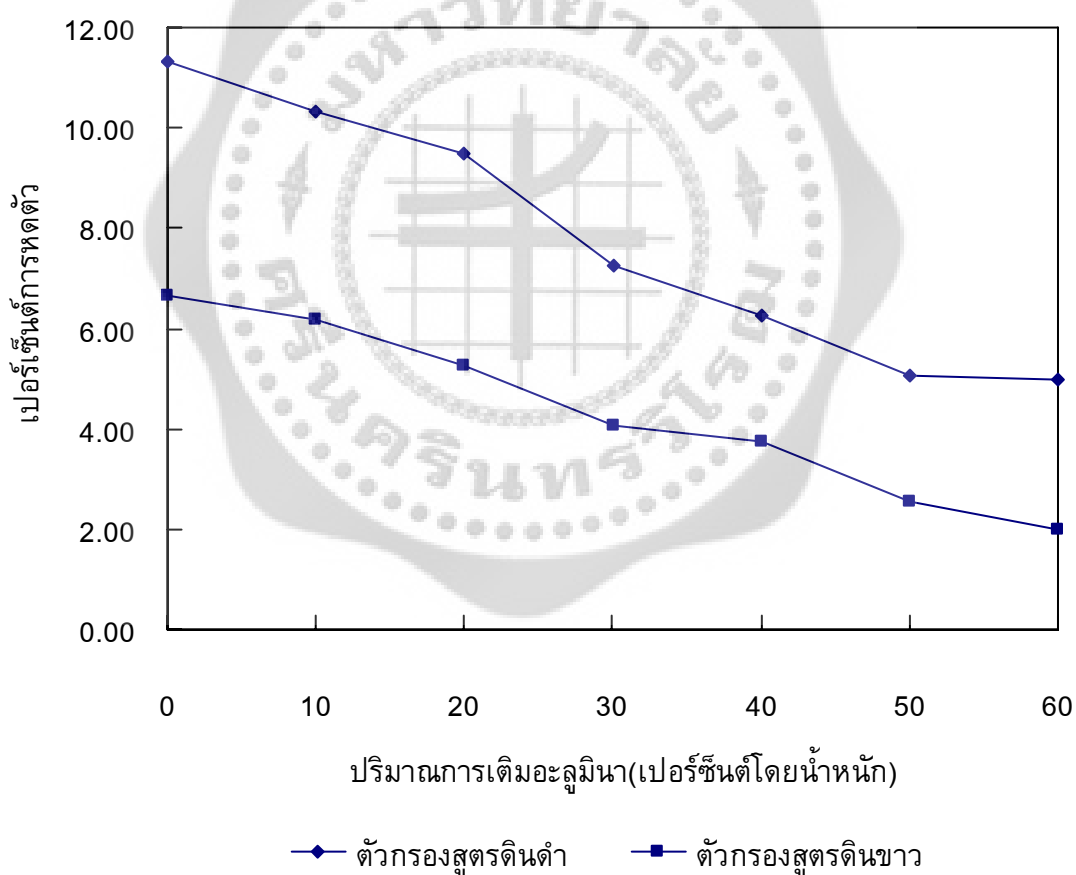
ภาพประกอบ 31 โครงสร้างจุลภาคของตัวกรองสูตรดินดำหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่เปอร์เซ็นต์การเติมอะลูมินา 0 10 20 30 40 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 10000 เท่า



ภาพประกอบ 32 โครงสร้างจุลภาคของตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่เปอร์เซ็นต์การเติมอะลูมินา 0 10 20 30 40 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 10000 เท่า

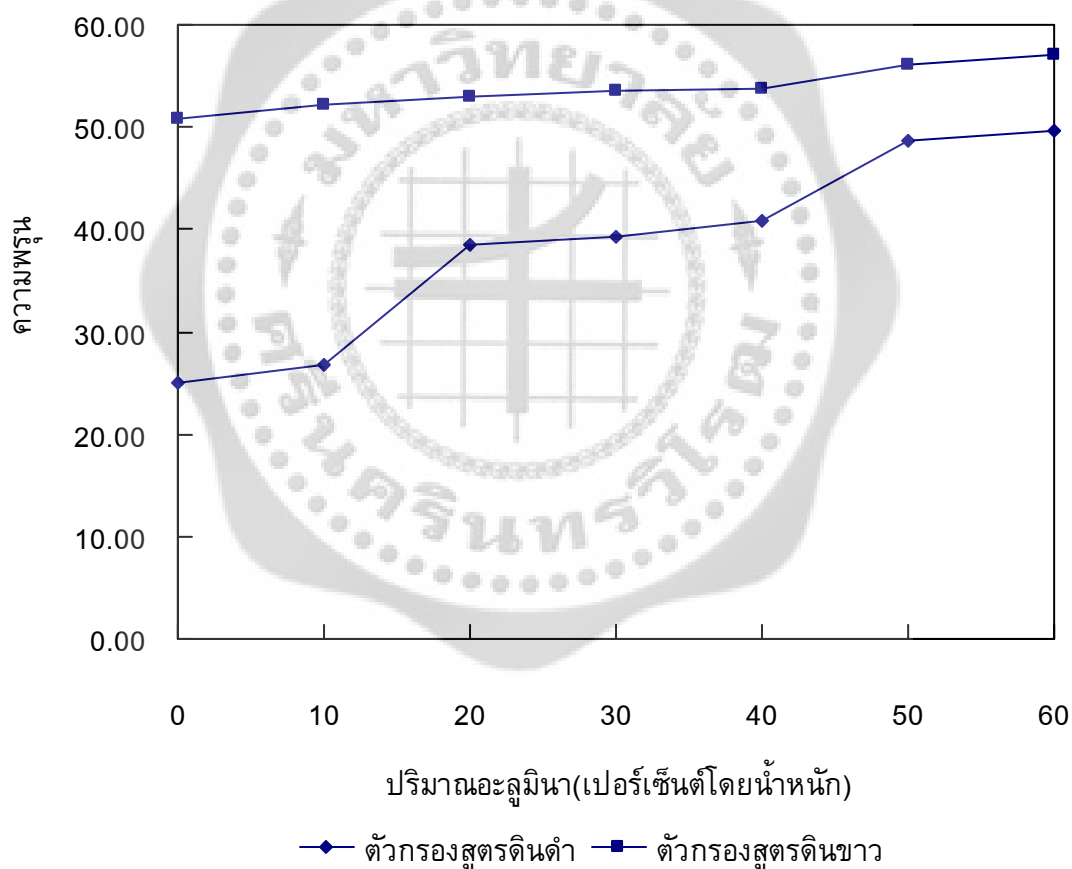
2.4 สมบัติทางกายภาพของตัวกรอง นำตัวกรองที่ขึ้นรูปด้วยวิธีเทน้ำสลิป หลังเผาที่ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การหดตัว ความพรุน และความแข็งแรง

2.4.1 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของตัวกรอง เมื่อนำตัวกรองเซรามิกหลังเผาที่ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาศึกษาเปอร์เซ็นต์การหดตัว ผลการศึกษาแสดงดังภาพประกอบ 33 จากการศึกษพบว่าเมื่อปริมาณอะลูมินาเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การหดตัวของตัวกรองทั้ง 2 สูตร มีค่าลดลง และการเติมอะลูมินาที่ปริมาณ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้ตัวกรองทั้ง 2 สูตรมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำที่สุด โดยตัวกรองสูตรดินดำมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงกว่าตัวกรองสูตรดินขาวซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.99 และ 1.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอะลูมินาไม่มีความเหนียวและมีปริมาณสารอินทรีย์ที่น้อยกว่าดิน ดังนั้นการเติมอะลูมินาลงไปในดินในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การหดตัวของตัวกรองมีค่าลดลง



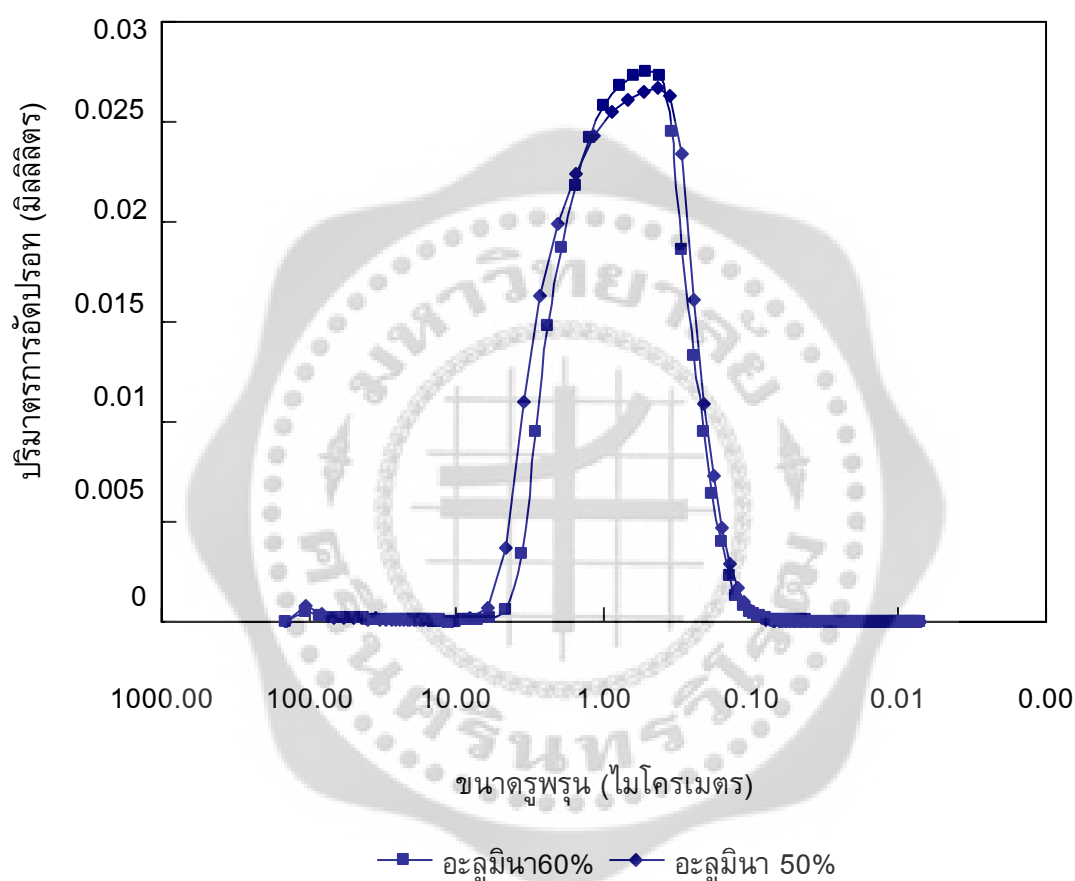
ภาพประกอบ 33 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของตัวกรองเซรามิกหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.4.2 ความพรุนของตัวกรอง เมื่อนำตัวกรองเซรามิกหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาวัดค่าความพรุน ผลการศึกษาแสดงดังภาพประกอบ 34 จากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณการเติมอะลูมินาเพิ่มขึ้น ทำให้ความพรุนของตัวกรองมีค่าเพิ่มขึ้น และการเติมอะลูมินาที่ปริมาณ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้ตัวกรองทั้งสองสูตรมีความพรุนมากที่สุด ซึ่งให้ผลตรงกับการทดลอง CHen; Wang; & Hon. (2004: 2389-2397) โดยตัวกรองสูตรดินขาวมีความพรุนสูงกว่าตัวกรองสูตรดินดำซึ่งมีค่าเท่ากับ 48.01 และ 39.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีของดินยังมีผลต่อความพรุนของตัวกรอง โดยดินดำมีปริมาณซิลิกาและสารอินทรีย์สูงกว่าดินขาว เมื่อเผาตัวกรองที่อุณหภูมิสูงองค์ประกอบจึงหลอมรวมกันเป็นแผ่นใหญ่ขึ้นและไปปิดรูพรุนของตัวกรอง ทำให้ความพรุนมีค่าน้อยลง ส่งผลให้ตัวกรองดินดำมีความพรุนต่ำกว่าตัวกรองสูตรดินขาว

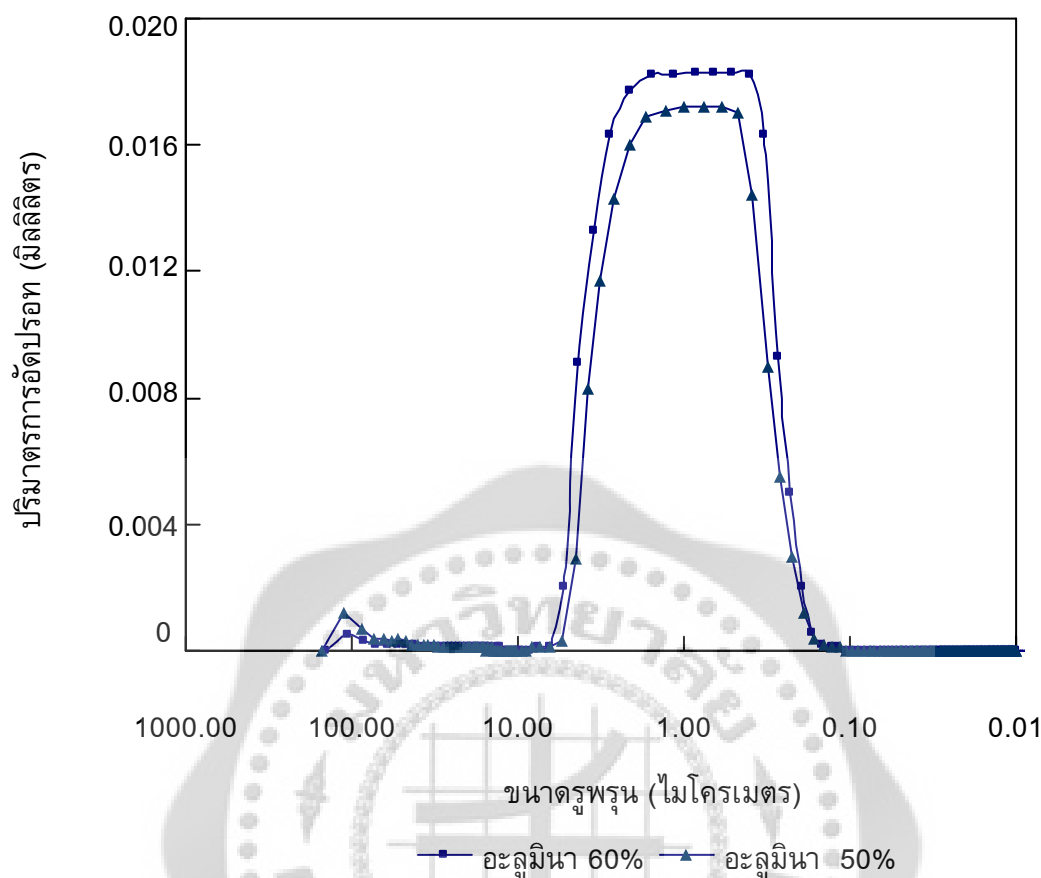


ภาพประกอบ 34 ความพรุนของตัวกรองหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.4.3 การกระจายตัวของรูปพรุน เมื่อนำตัวกรองเซรามิกที่เติมอะลูมินา 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาวัดการกระจายตัวของรูปพรุน ผลการศึกษาแสดงดังภาพประกอบ 35 และ 36 จากการศึกษาพบว่า การเติมอะลูมินาในปริมาณเท่ากันขนาดรูปพรุนของตัวกรองทั้ง 2 สูตร มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งพบว่าพีคสูงสุดอยู่ในช่วง 1 ไมโครเมตร และที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาตรการอัดปรอทจะมีค่าสูงที่สุด โดยตัวกรองสูตรดินขาวมีปริมาตรการอัดปรอทสูงกว่าตัวกรองสูตรดินดำ

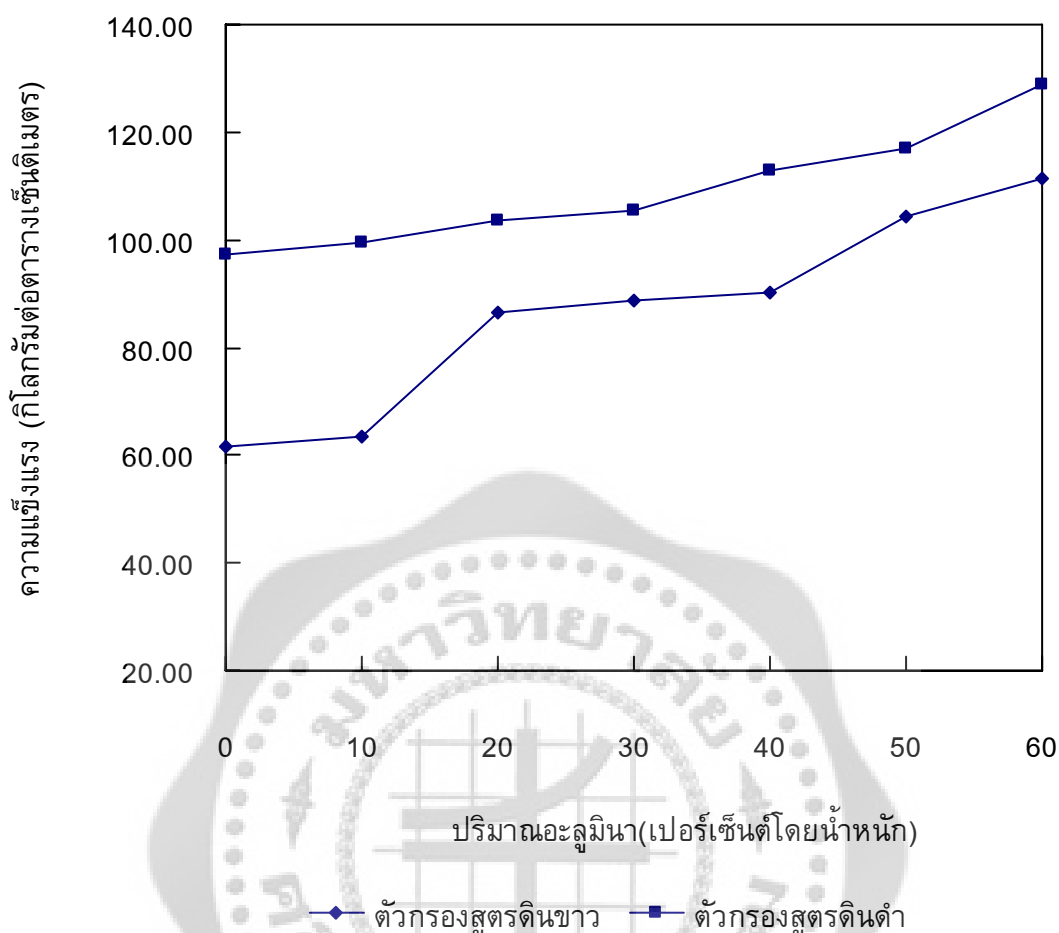


ภาพประกอบ 35 ขนาดรูปพรุนของตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เวลา 2 ชั่วโมง ที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 50 (ก) และ 60 (ข) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ภาพประกอบ 36 ขนาดรูพรุนของตัวกรองสูตรดินดำหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.4.4 ความแข็งแรงของตัวกรอง เมื่อนำตัวกรองหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาวัดความแข็งแรงด้วยเครื่องวัดความแข็งแรงโดยใช้แรงกด ผลการศึกษาแสดงดังภาพประกอบ 37 จากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณการเติมอะลูมินาเพิ่มขึ้นทำให้ตัวกรองมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากอะลูมินามีความแข็งแรงสูง ดังนั้นการเติมอะลูมินาลงในตัวกรองจึงช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับตัวกรอง และการเติมอะลูมินาที่ปริมาณ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้ตัวกรองทั้งสองสูตรมีความแข็งแรงสูงสุด โดยตัวกรองสูตรดินดำมีความแข็งแรงสูงกว่าตัวกรองสูตรดินขาวซึ่งมีค่าเท่ากับ 128.93 และ 111.25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของดินดำที่มีปริมาณสารอินทรีย์และโซเดียมออกไซด์สูงกว่าดินขาว จึงทำให้หลังเผาส่วนผสมหลอมรวมกันได้ดี ประกอบกับขนาดอนุภาคของดินดำที่มีขนาดเล็ก และละเอียดกว่าดินขาวจึงทำให้ตัวกรองสูตรดินดำมีความแข็งแรงมากกว่า



ภาพประกอบ 37 ความแข็งแรงของตัวกรองสูตรดินดำ และตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

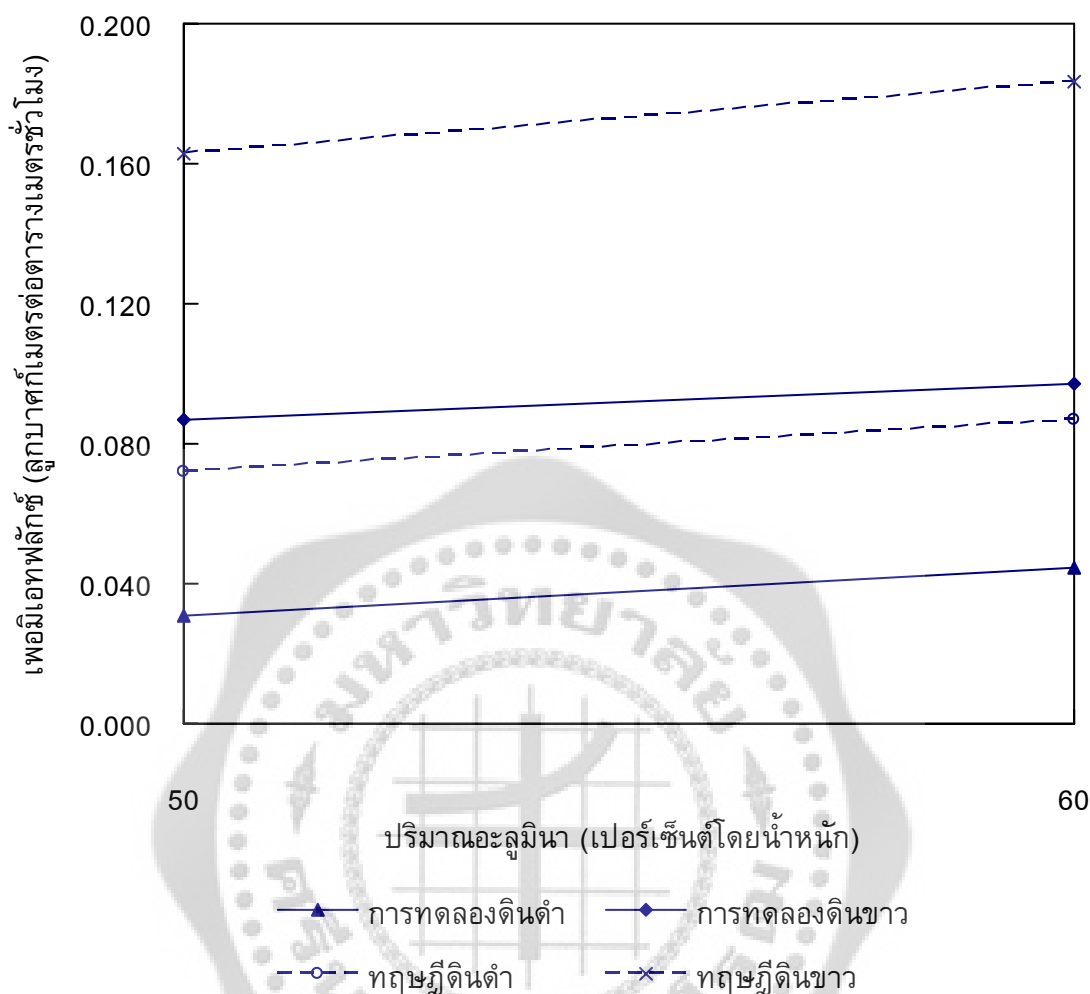
2.5 สมบัติการกรองน้ำ เมื่อนำตัวกรองที่ขึ้นรูปด้วยวิธีเทน้ำสลิป หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาศึกษาสมบัติการกรองน้ำ โดยใช้เครื่องทดสอบการกรองแบบไหลขวางรุ่น 1 เพื่อหาค่าฟลักซ์ (J) ของน้ำเปล่า โดยทำการทดลองที่อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที ผลต่างของความดันที่ผิวเยื่อแผ่น เท่ากับ 3.27×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บค่าฟลักซ์น้ำทุกๆ 10 นาที ผลการศึกษาแสดงดังภาพประกอบ 38 จากการศึกษพบว่าเมื่อปริมาณการเติมอะลูมินาเพิ่มขึ้น ทำให้ตัวกรองมีฟลักซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากความพรุนของตัวกรองเพิ่มขึ้น จึงทำให้น้ำสามารถผ่านตัวกรองได้ดี และที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตัวกรองทั้งสองสูตรมีค่าฟลักซ์สูงสุด โดยตัวกรองสูตรดินขาวมีค่าฟลักซ์สูงกว่าตัวกรองสูตรดินดำซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.097 และ 0.045 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งตัวกรองสูตรดินขาวสามารถกรองน้ำได้ทุกสูตร ส่วนตัวกรองสูตรดินดำสามารถกรองน้ำได้เพียง 3 สูตร คือที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 40 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองวัดค่าฟลักซ์ที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่และความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่นมีค่าคงที่ ดังนั้นค่าฟลักซ์ที่ได้จึงขึ้นอยู่กับความพรุนและพื้นที่ผิวของตัวกรอง ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวกรองขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการผลิตตัวกรอง ดังนั้นการเติมอะลูมินาในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้พื้นที่ผิวและความพรุนของตัวกรองมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

การวัดค่าฟลักซ์ที่ความดันคงที่จึงสามารถหาค่าได้จากสมการที่ 27 (Seader; & Henley. 2003: 502-503) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์กับขนาดรูพรุนโดยผ่านเยื่อแผ่นที่ความดันคงที่และกำหนดให้รูพรุนเป็นทรงกระบอกหรือแคปิลารี แต่ในความเป็นจริงเยื่อแผ่นมีขนาดรูพรุนต่างกันและอาจไม่เป็นทรงกระบอก เมื่อเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ที่ได้จากการทดลองกับค่าฟลักซ์ที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 27 พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในภาพประกอบ 38 จากภาพประกอบ 38 พบว่าค่าฟลักซ์ที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าค่าฟลักซ์ที่ได้จากการคำนวณ ทั้งนี้เนื่องจากค่าฟลักซ์ที่ได้จากสมการที่ 27 คำนวณจากปริมาณความพรุนของเยื่อแผ่นส่งผลให้พื้นที่ในการกรองมีค่าเพิ่มขึ้นและทำให้ค่าฟลักซ์ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งความพรุนของตัวกรองเกิดจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตดังนั้นปริมาณอะลูมินาที่เติมลงไปในส่วนผสมของดินดำและดินขาวของตัวกรองในแต่ละสูตรจึงมีผลต่อความพรุนของเยื่อแผ่น ตัวอย่างผลการศึกษาเพอมีเอทฟลักซ์ของตัวกรองสูตรดินดำและสูตรดินขาวโดยนำค่าต่างๆ แทนค่าลงในสมการที่ 27 จะได้ค่าเพอมีเอทฟลักซ์ดังแสดงในภาพประกอบ 38

$$N = \frac{\rho \varepsilon D^2}{32 \mu l_M} (P_0 - P_L) \quad (27)$$

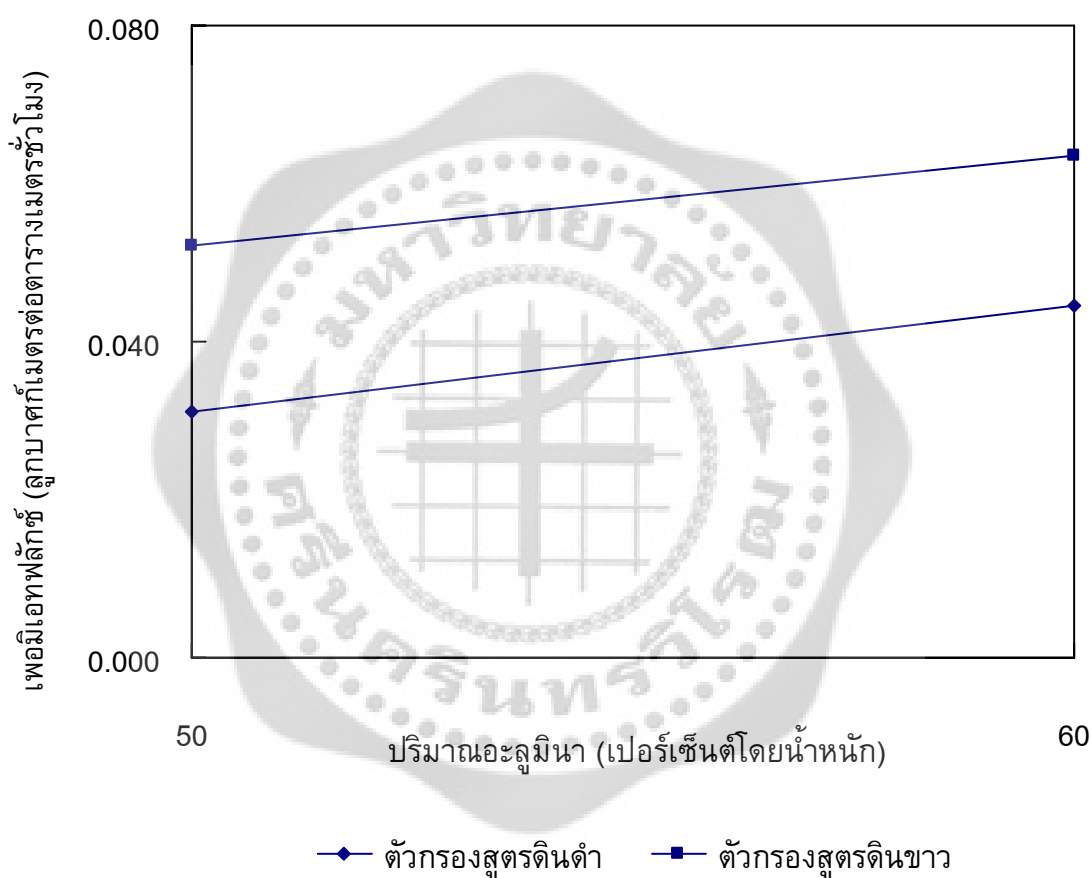
เมื่อ	N	คือ การไหลของฟลักซ์ทั้งหมด (Bulk-flow flux) (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรชั่วโมง)
	P_0	คือ ความดันบริเวณส่วนต้นของเยื่อแผ่น (นิวตันต่อตารางเมตร)
	P_L	คือ ความดันบริเวณส่วนท้ายของเยื่อแผ่น (นิวตันต่อตารางเมตร)
	μ	คือ ความหนืดของของเหลว (นิวตันต่อวินาที)
	l_M	คือ ความหนาของเยื่อแผ่น (เมตร)
	ε	คือ เปอร์เซ็นต์ความพรุนของเยื่อแผ่น
	ρ	คือ ความหนาแน่นของของเหลว (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)
	D	คือ ขนาดของรูพรุน (เมตร)
	μ	คือ ความหนาแน่นของน้ำ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)



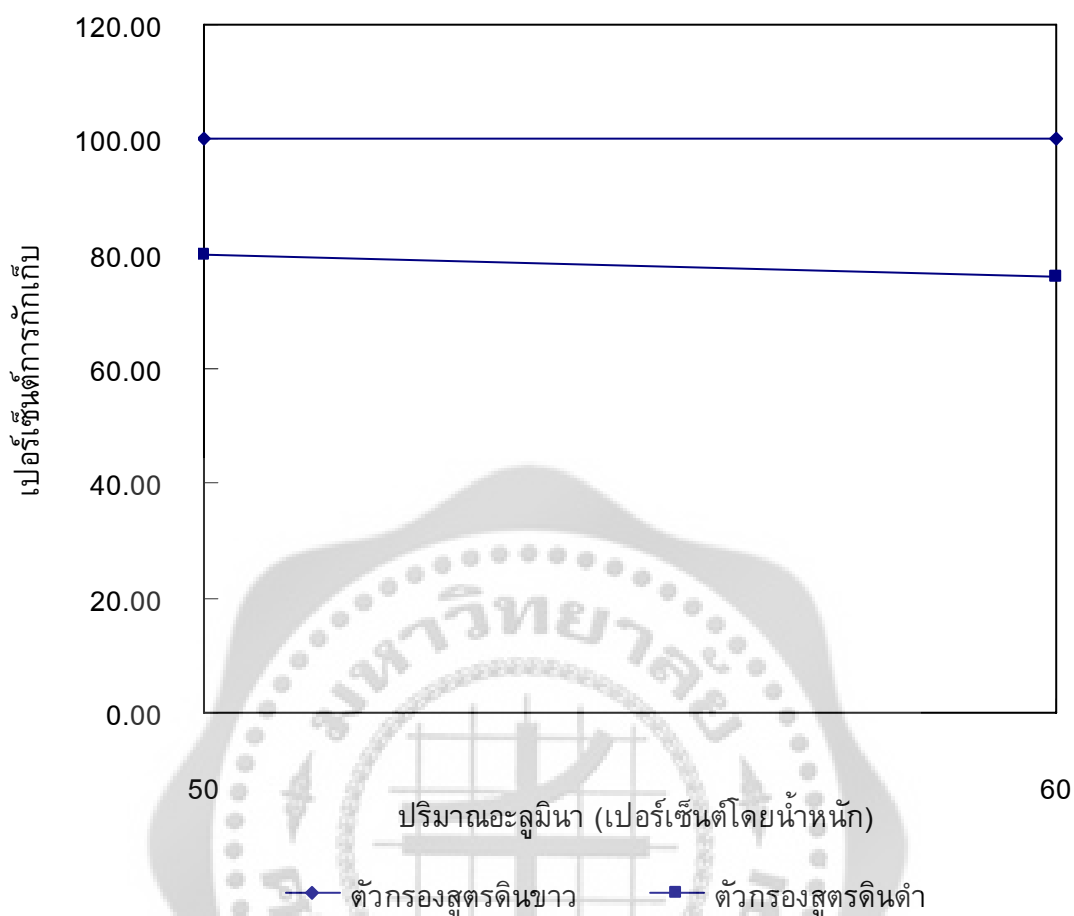
ภาพประกอบ 38 เอมิเอทฟลักซ์การกรองน้ำเปล่าของตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับค่าฟลักซ์จากการคำนวณตามสมการที่ 27

2.6 สมบัติการกรองเชื้อ นำตัวกรองที่ขึ้นรูปด้วยวิธีเทน้ำสลิป หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาศึกษาสมบัติการกรองเชื้อ โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ทดสอบที่ความเข้มข้นของเชื้อยีสต์เท่ากับ 0.0167 กรัมต่อลิตร โดยทำการทดลองที่อัตราการไหลของน้ำหมักเท่ากับ 4 ลิตรต่อนาที และความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่นเท่ากับ 3.27×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยเก็บน้ำหมักทุก 10 นาที ผลการศึกษาแสดงดังภาพประกอบ 39 จากการศึกษพบว่าตัวกรองสูตรดินขาวสามารถกรองเชื้อได้ดีกว่าตัวกรองสูตรดินดำซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการกรองน้ำ ที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตัวกรองทั้งสองสูตรมีค่า ฟลักซ์สูงสุด ซึ่งตัวกรองสูตรดินขาวและตัวกรองสูตรดินดำมีค่าฟลักซ์เท่ากับ 0.0652 และ 0.0163 ลิตรต่อตารางเมตรชั่วโมง ตามลำดับ การศึกษา

ค่าการกักเก็บสารของตัวกรองพบว่าตัวกรองสูตรดินดำสามารถกักเก็บสารได้ดีกว่าตัวกรองสูตรดินขาว ซึ่งมีค่าเท่ากับ 99.95 และ 76.05 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพประกอบ 40 นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อปริมาณการเติมอะลูมินามีค่าเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การกักเก็บสารจะมีค่าลดลง เนื่องจากการเติมอะลูมินาทำให้ความพรุนของตัวกรองมีค่ามากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับความพรุน ขนาดรูพรุนของตัวกรองและปริมาณฟลักซ์ที่กรองได้ การที่ตัวกรองมีความพรุนมากและรูพรุนมีขนาดใหญ่จะทำให้สารแขวนลอยสามารถผ่านตัวกรองออกมาได้ดีกว่าตัวกรองที่มีความพรุนน้อยและมีรูพรุนขนาดเล็ก ส่งผลให้ค่าการกักเก็บสารของตัวกรองมีค่าลดลงด้วย



ประกอบ 39 เพอเมียมิตซ์การกรองเชื้อยีสต์ของตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 40 เปอร์เซ็นต์การกักเก็บสารของตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และปริมาณการเติมอะลูมินา 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

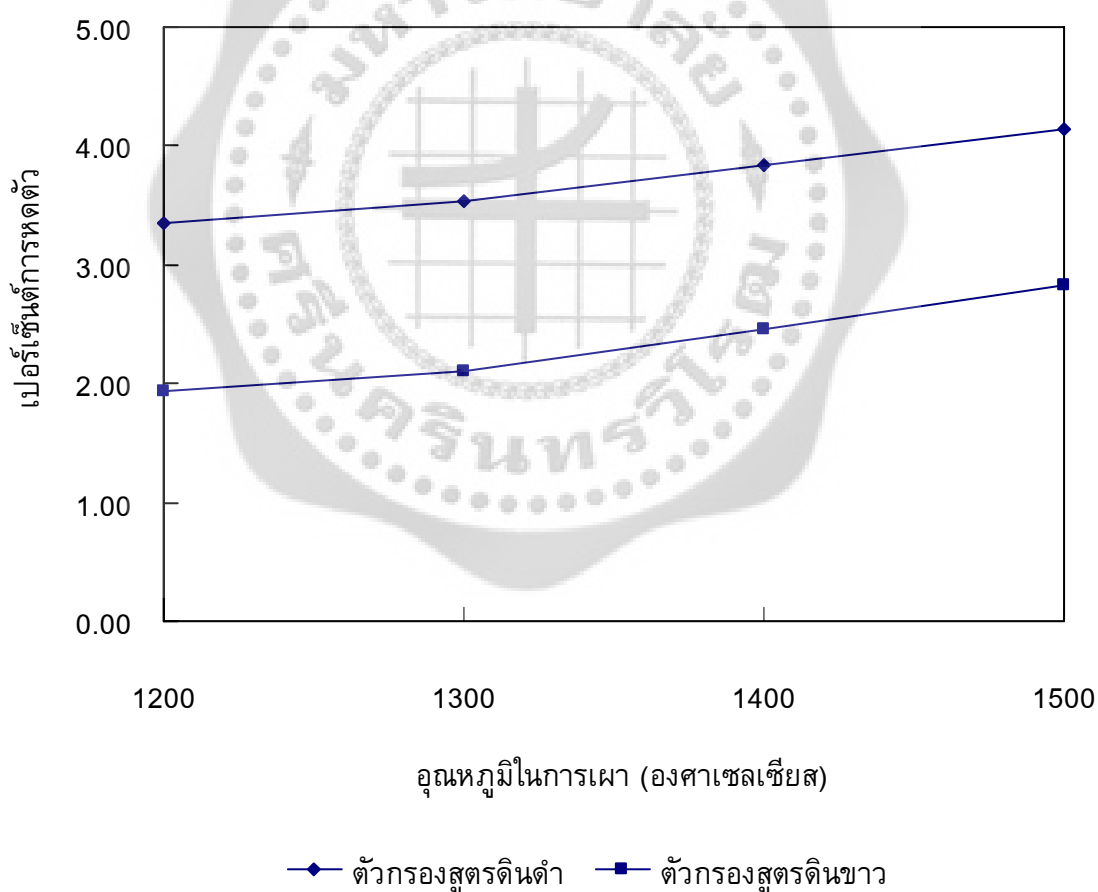
2. การขึ้นรูปตัวกรองด้วยวิธีการอัดรีด

การขึ้นรูปตัวกรองด้วยวิธีการอัดรีดเป็นกระบวนการอัดเนื้อดินปั้นที่มีความเหนียวผ่านแม่พิมพ์ ชั้นงานที่ได้หลังการอัดรีดมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอก ในการวิจัยมีวิธีการผลิตตัวกรองโดยนำดินดำ ดินขาว ผสมกับอะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เติมน้ำมันพืชโอเลอิน 16 กรัม และน้ำ โดยปริมาณน้ำที่เติมลงในดินดำและดินขาวมีค่าเท่ากับ 235 และ 262 กรัมตามลำดับ ซึ่งปริมาณน้ำที่เติมลงในดินดำมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่เติมลงในดินขาวเนื่องจากดินดำมีความเหนียวและละเอียดกว่าดินขาวจึงใช้น้ำในปริมาณที่น้อยกว่า นำส่วนผสมทั้งหมดผสมเข้าด้วยกัน นำเข้าเครื่องอัดรีด อบชิ้นงานที่ผลิตได้ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ศึกษาสมบัติทางกายภาพของตัวกรองได้แก่ เปอร์เซ็นต์การหดตัว ความพรุนของตัวกรอง การกระจายตัวของรูพรุนและความแข็งแรงของตัวกรอง สมบัติการกรองน้ำและการกรองเชื้อยีสต์ที่ความเข้มข้น 21 กรัมต่อลิตร ความดันแตกต่างที่ผิว

เยื่อแผ่นเท่ากับ 3.27×10^4 3.62×10^4 3.96×10^4 และ 4.31×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร และ อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่ที่ 1.895 ลิตรต่อนาที

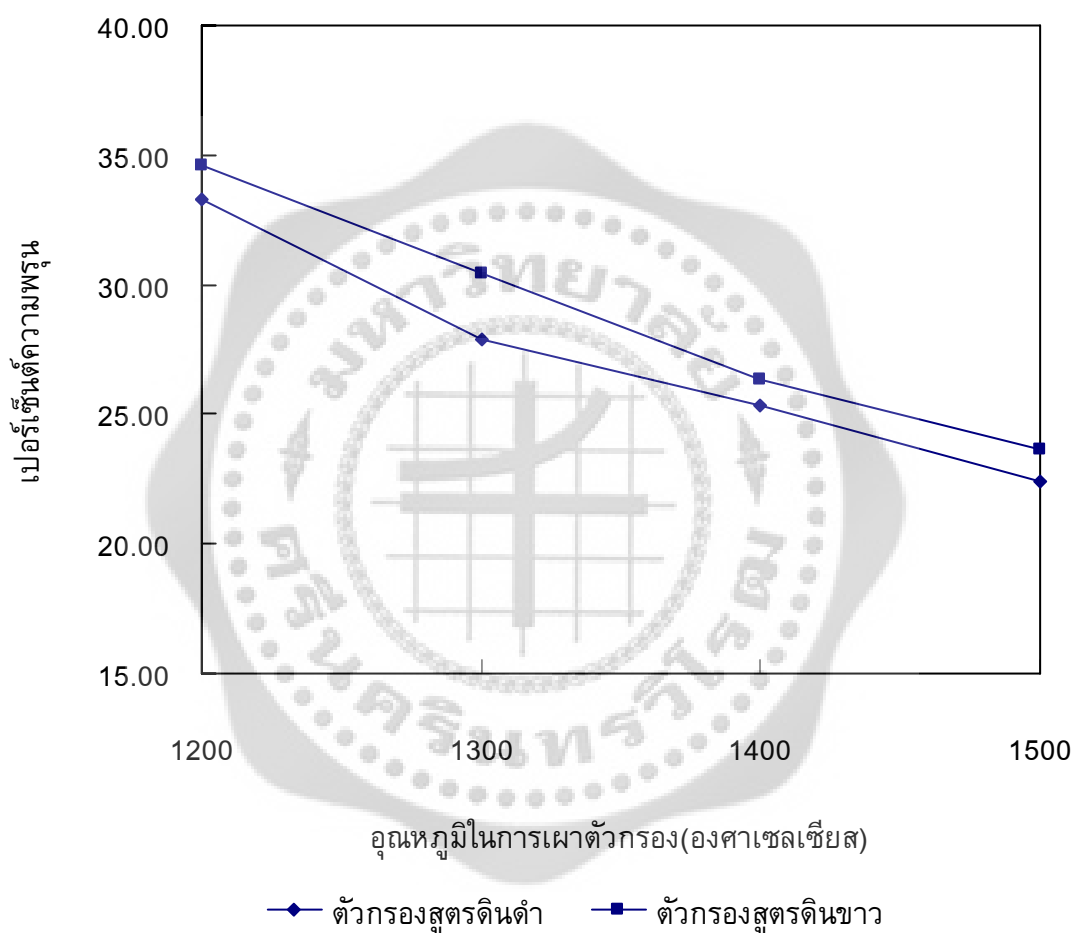
2.1 สมบัติทางกายภาพของตัวกรอง

2.1.1 เปอร์เซ็นต์การหดตัว เมื่อนำตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาศึกษาเปอร์เซ็นต์การหดตัว ผลการศึกษาแสดงดังภาพประกอบ 41 จากการศึกษพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าเพิ่มขึ้น โดยพบว่าการเผาตัวกรองที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส ทำให้ เปอร์เซ็นต์การหดตัวของตัวกรองทั้ง 2 สูตรมีค่ามากที่สุด โดยตัวกรองสูตรดินดำมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวสูงกว่าตัวกรองสูตรดินขาวซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.14 และ 2.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิสูงส่วนผสมต่างๆ หลอมรวมกันได้มากขึ้น ส่งผลให้ตัวกรองมีการหดตัวสูงขึ้นด้วย



ภาพประกอบ 41 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

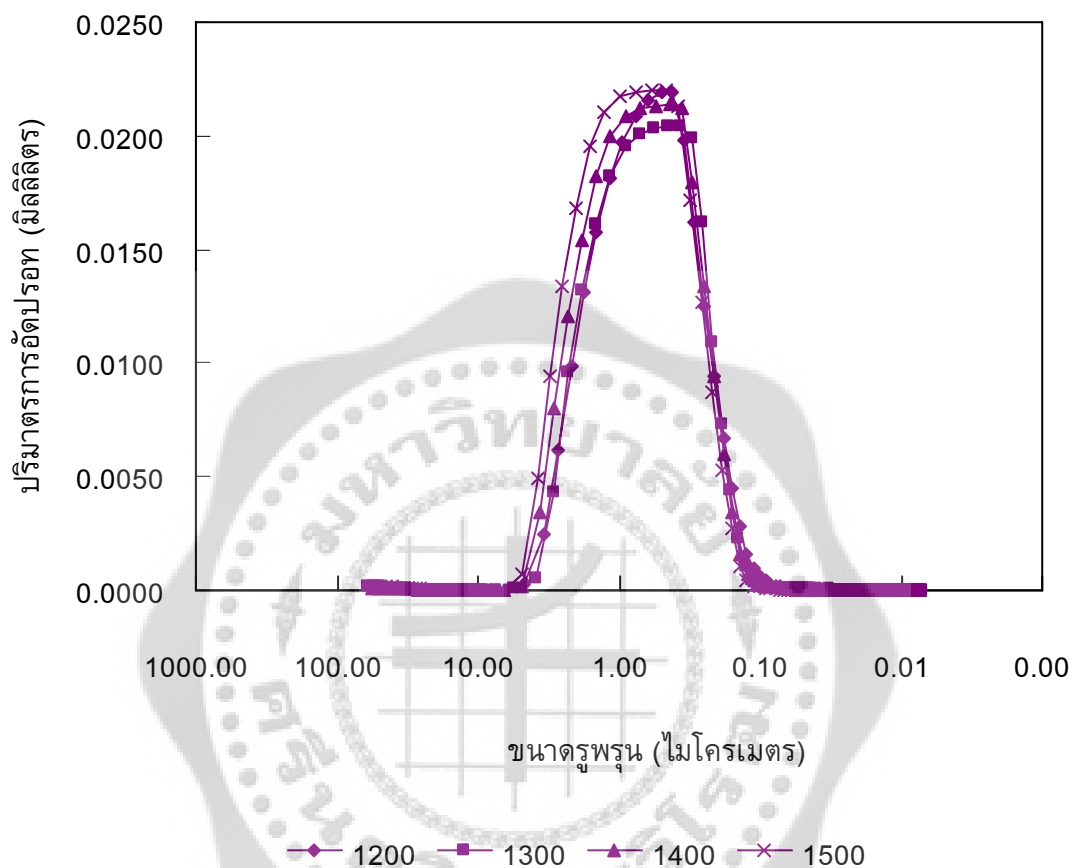
2.1.1 ความพรุนของตัวกรอง เมื่อนำตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาศึกษาความพรุนของตัวกรอง ผลการศึกษาแสดงดังภาพประกอบ 42 จากการศึกษพบว่าตัวกรองสูตรดินขาวมีความพรุนสูงกว่าตัวกรองสูตรดินดำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 23.68 และ 22.41 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และการเผาตัวกรองที่อุณหภูมิสูงทำให้ความพรุนของตัวกรองมีค่าลดลง โดยพบว่าการเผาตัวกรองที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส ความพรุนของตัวกรองมีค่าต่ำสุด



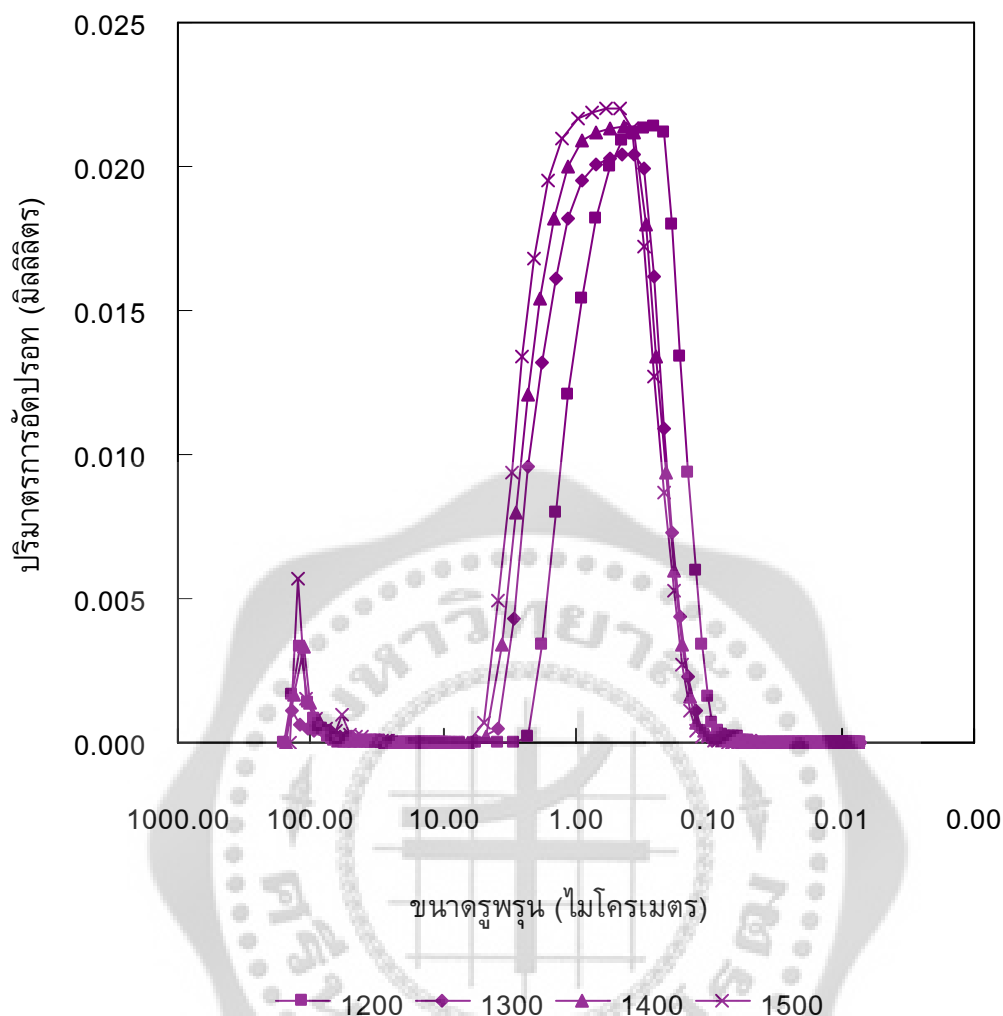
ภาพประกอบ 42 ความพรุนของตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.2.5 การกระจายตัวของรูพรุน เมื่อนำตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาศึกษาขนาดรูพรุนและการกระจายตัวของรูพรุนด้วยวิธีการใช้ปรอท ผลการศึกษาแสดงดังภาพประกอบ 43 และ 44 จากการศึกษพบว่าตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวมีขนาดรูพรุนที่ใกล้เคียงกัน โดยพบว่าพีคสูงสุดอยู่ในช่วง 1 ไมโครเมตร นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูงขนาดรูพรุนเฉลี่ยมี

ค่าลดลงทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมหลอมรวมกันได้ดี ทำให้เกรนมีขนาดใหญ่และส่งผลให้รูปทรงมีขนาดเล็กลง โดยพบว่าตัวกรองสูตรดินดำมีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 1 ไมโครเมตร ส่วนตัวกรองสูตรดินขาวมีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 100 และ 1 ไมโครเมตร



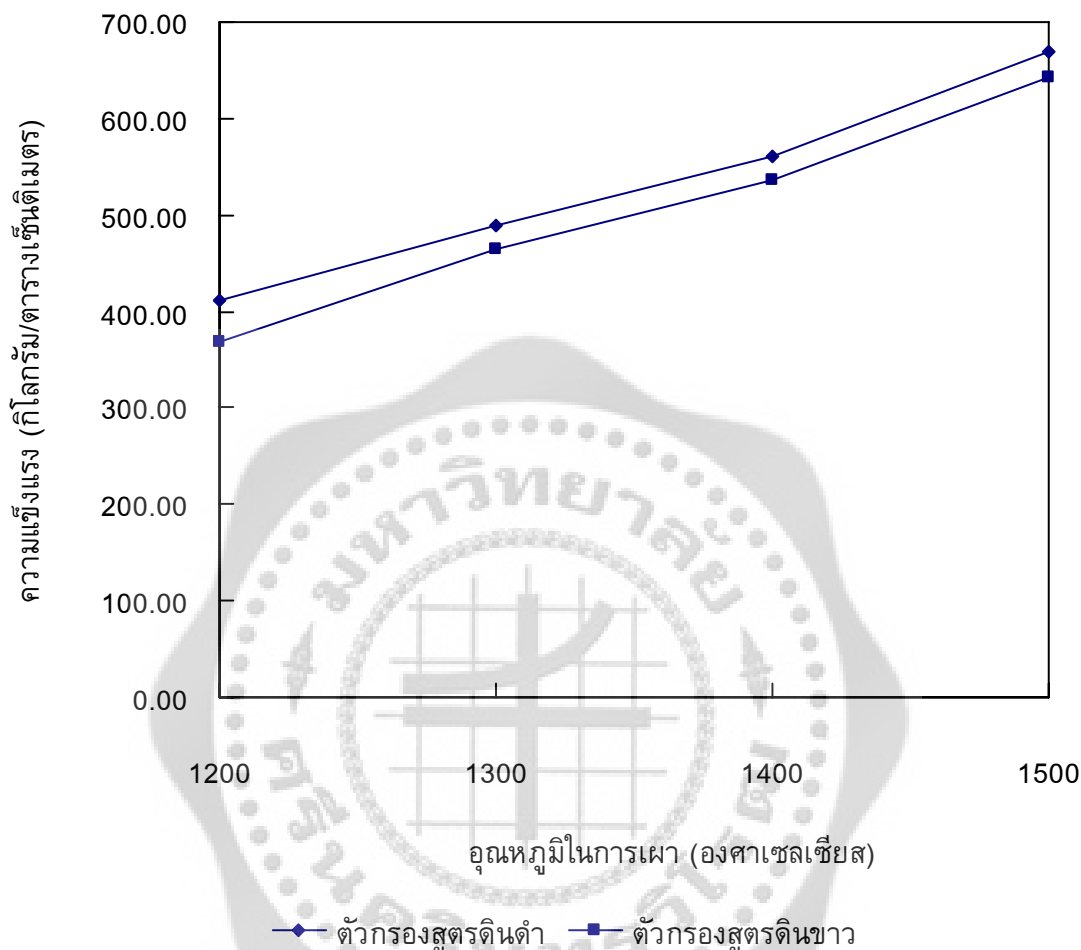
ภาพประกอบ 43 ขนาดรูปทรงของตัวกรองสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



ภาพประกอบ 44 ขนาดรูพรุนของตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.2.6 ความแข็งแรงของตัวกรอง เมื่อนำตัวกรองสูตรดินขาวและตัวกรองสูตรดินดำ หลังเผาที่ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาแสดงดังภาพประกอบ 45 จากการศึกษพบว่า เมื่อเผาตัวกรองที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความแข็งแรงของตัวกรองเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้ส่วนผสมต่างๆ ที่อยู่ในตัวกรองหลอมรวมกันได้ดีกว่าการเผาที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ความแข็งแรงของตัวกรองมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย การเผาตัวกรองที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส ทำให้ตัวกรองมีความแข็งแรงมากที่สุด โดยพบว่าตัวกรองสูตรดินดำมีความแข็งแรงมากกว่าตัวกรองสูตรดินขาวซึ่งมีค่าเท่ากับ 670.31 และ 640.79 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของดินดำที่มี ปริมาณสารอินทรีย์และ โซเดียมออกไซด์ที่มากกว่าดินขาวจึงทำให้ส่วนผสมหลอมรวมกันได้ดี นอกจากนี้กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของไส้กรองเซรามิกไว้ว่า “ ผิวไส้กรองน้ำต้องไม่แตก ร้าว หรือกะเทาะ ส่วน

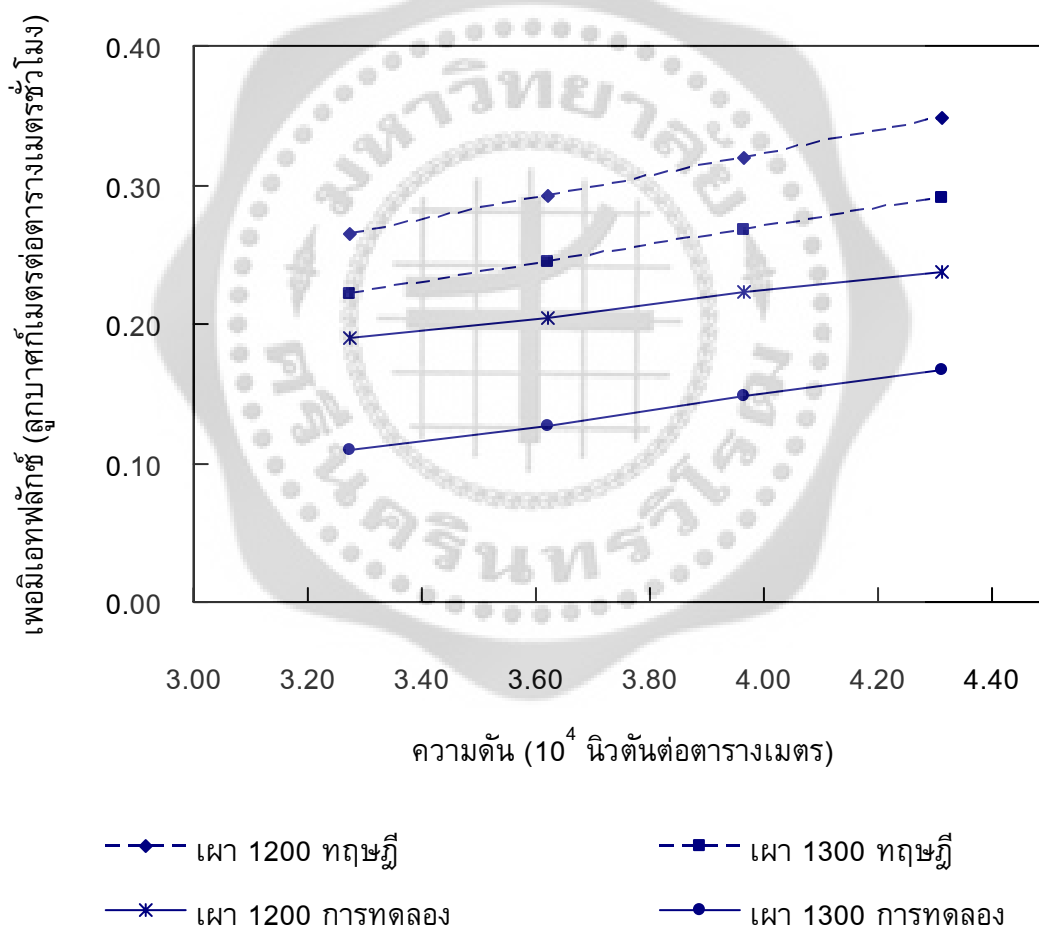
ที่เป็นรอยต่อต้องแข็งแรง ต้องทนความดัน 700 ± 10 กิโลพาสคัลได้ โดยไม่เกิดความเสียหายใดๆ เช่น แตก หัก ร้าว” (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. 2540: 1-2)



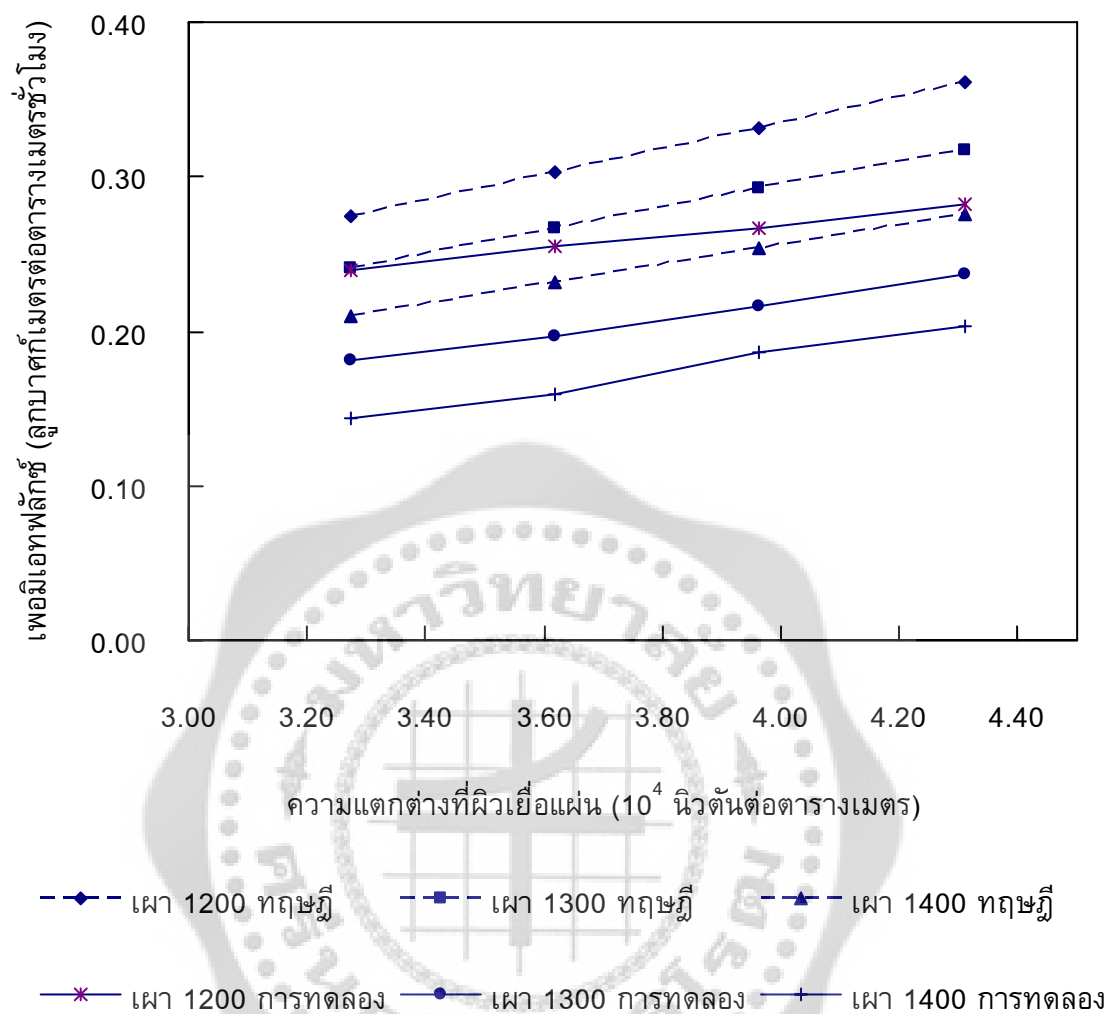
ภาพประกอบ 45 ความแข็งแรงของตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.2 สมบัติการกรองน้ำ เมื่อนำตัวกรองสูตรดินขาวและตัวกรองสูตรดินดำ หลังเผาที่ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส มาศึกษาสมบัติการกรองน้ำ โดยใช้ชุดทดสอบการกรองรุ่น 2 ทำการกรองที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่ที่ 1.895 ลิตรต่อนาที ความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่นเท่ากับ 3.27×10^4 3.62×10^4 3.96×10^4 และ 4.31×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร เก็บฟลักซ์น้ำทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 30 นาที ผลการศึกษาแสดงดังภาพประกอบ 47 และ 48 จากการศึกษาพบว่าการเผาตัวกรองที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส และที่ความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่นเท่ากับ 4.31×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร ตัวกรองทั้งสองสูตรมีค่าฟลักซ์สูงสุด โดยตัวกรองสูตรดินขาวมีค่าฟลักซ์สูงกว่าตัวกรองสูตรดินดำซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0047 และ 0.0040 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรชั่วโมง

ตามลำดับเมื่อเพิ่มความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่นทำให้แรงขับเคลื่อนมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาตรเพอมีเอทมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้เพอมีเอทฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้การเผาตัวกรองที่อุณหภูมิสูงทำให้ปริมาตรเพอมีเอทมีค่าลดลง โดยพบว่าการเผาตัวกรองที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส ตัวกรองสูตรดินดำไม่มีเพอมีเอทไหลออกมา และการเผาตัวกรองที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส ตัวกรองทั้งสองสูตรไม่สามารถกรองได้ ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติทางกายภาพของตัวกรอง เพราะเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูงตัวกรองจะมีเกรนใหญ่ขึ้นทำให้ไปปิดรูพรุนของตัวกรองทำให้ปริมาตรเพอมีเอทมีค่าลดลง และเมื่อคำนวณหาเพอมีเอทฟลักซ์ตามทฤษฎีในสมการที่ 27 เปรียบเทียบกับผลการทดลองค่าเพอมีเอทฟลักซ์ที่ได้แสดงดังภาพประกอบ 46 ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติทางกายภาพของตัวกรอง

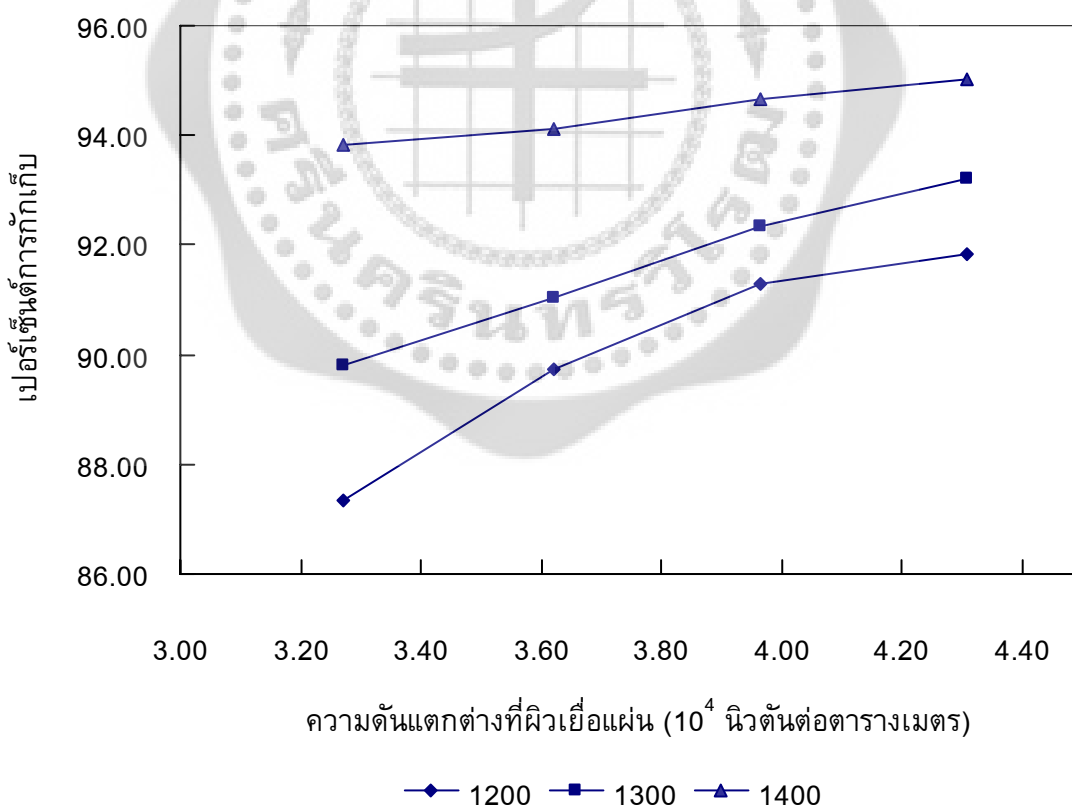


ภาพประกอบ 46 เพอมีเอทฟลักซ์การกรองน้ำเป่าของตัวกรองสูตรดินดำหลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับค่าฟลักซ์จากการคำนวณตามสมการที่ 27



ภาพประกอบ 47 เพอมีเอทฟลักซ์การกรองน้ำเปล่าของตัวกรองสูตรดินขาวหลังเฝ้าที่อุณหภูมิ
 ต่างๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับค่าฟลักซ์จากการคำนวณตามสมการที่ 27

2.3 สมบัติการกรองเชื้อ เมื่อนำตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 ถึง 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาศึกษาสมบัติการกรองเชื้อ โดยนำเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* ที่ความเข้มข้น 21 กรัมต่อลิตร กรองที่ความดันแตกต่างกันที่ผิวเยื่อแผ่น เท่ากับ 3.27×10^4 3.62×10^4 3.96×10^4 และ 4.31×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ผลการศึกษาแสดงถึงภาพประกอบ 48 จากการศึกษพบว่าเมื่อความดันที่ใช้ในการกรองเพิ่มขึ้นค่าการกักเก็บสารของตัวกรองมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความดันทำให้แรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนสารแขวนลอยได้มากขึ้น มีผลทำให้อัตราการไหลของสารแขวนลอยไหลได้มากขึ้นและเกิดการสะสมของของสารแขวนลอยที่ผิวหน้าเยื่อแผ่นได้มากขึ้น และการเผาตัวกรองที่อุณหภูมิสูงขึ้นเพอมีเอทฟลักซ์ที่ได้มีค่าลดลง เนื่องจากตัวกรองมีเกรนขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งอาจไปปิดรูพรุนทำให้การไหลทำให้กรองน้ำได้น้อยลง โดยพบว่าตัวกรองสูตรดินดำมีค่าการกักเก็บสารสูงกว่าตัวกรองสูตรดินขาว นอกจากนี้เมื่อเวลาที่ใช้ในการกรองเพิ่มขึ้นทำให้เพอมีเอทฟลักซ์มีค่าลดลง ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การกักเก็บมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการสะสมของชั้นเค้ก ทำให้ไปอุดตันรูพรุน ซึ่งให้ผลการทดลองในทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Meng; et al. (2005: 107-116)



ภาพประกอบ 48 เปอร์เซ็นต์การกักเก็บสารของตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่ที่ 1.895 ลิตรต่อนาที

2.4 ค่าความต้านทาน

ความต้านทานของเยื่อแผ่น (R_m) เป็นค่าที่บอกความต้านทานการไหลผ่านของสาร ซึ่งสามารถหาค่าความต้านทานของเยื่อแผ่นได้จากสมการที่ 14 ผลการศึกษาแสดงในตาราง 10 โดยพบว่าตัวกรองสูตรดินดำมีค่าความต้านทานของเยื่อแผ่นสูงกว่าตัวกรองสูตรดินขาว ซึ่งสอดคล้องกับค่าเพอมีเอทฟลักซ์ของตัวกรอง นอกจากนี้การเผาตัวกรองที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความต้านทานของเยื่อแผ่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

$$J_w = \frac{\Delta P}{\mu_w R_m} \quad (14)$$

เมื่อ	J_w	ฟลักซ์ของน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรชั่วโมง)
	ΔP	ความดันที่ให้กับระบบ (นิวตันต่อตารางเมตร)
	μ_w	ความหนืดของน้ำ (นิวตันวินาที)
	R_m	ความต้านทานของเยื่อแผ่น (เมตร ⁻¹)

ตาราง 10 ความต้านทานของเยื่อแผ่น

อุณหภูมิในการเผาตัวกรอง (องศาเซลเซียส)	ความต้านทานของเยื่อแผ่น (เมตร ⁻¹)	
	ตัวกรองสูตรดินดำ	ตัวกรองสูตรดินขาว
1200	0.086×10^{13}	0.065×10^{13}
1300	0.108×10^{13}	0.086×10^{13}
1400	-	0.094×10^{13}
1500	-	-

หมายเหตุ – ไม่มีเพอมีเอทไหลออกมา

ความต้านทานการอุดตัน (R_p) ตัวกรองเมื่อผ่านการใช้งานแล้วจะมีการสะสมของเค้กบริเวณผิวหน้าของตัวกรอง เมื่อนำตัวกรองทั้งสองสูตรหลังจากใช้งานแล้วมาล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดชั้นเค้กหรือชั้นโพลารไรซ์ ความต้านทานของชั้นเค้กจะถูกกำจัดไป ความต้านทานที่เหลืออยู่คือความต้านทานของตัวกรองและความต้านทานการอุดตัน ซึ่งสามารถหาความต้านทานของการอุดตันได้จากสมการที่ 16

ความต้านทานรวม (R_t) เมื่อนำตัวกรองไปกรองเชื้อยีสต์จะมีการสะสมของเค้กซึ่งจะทำให้เกิดความต้านทานการกรอง การหาความต้านทานรวมจึงหาได้จากฟลักซ์การกรองเชื้อยีสต์ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการที่ 17

ความต้านทานของเค้ก (R_c) เมื่อนำค่าความต้านทานการอุดตันและความต้านทานรวมมาแทนค่าหาความต้านทานของเค้กได้จากการแทนค่าความต้านทานต่างๆ ลงในสมการที่ 13

จากภาพประกอบ 49 และ 50 พบว่าความต้านทานของเค้กมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากการใช้งานเยื่อแผ่นได้ถูกนำมาใช้ซ้ำอีกครั้งและความต้านทานของเค้กจึงถูกกำจัดไป เหลือเพียงความต้านทานการอุดตันเท่านั้น ดังนั้นความต้านทานที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จึงเป็นความต้านทานเนื่องจากการอุดตัน นอกจากนี้การเผาตัวกรองที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ค่าความต้านทานมีค่าสูงขึ้น โดยตัวกรองสูตรดินดำมีความต้านทานสูงกว่าตัวกรองสูตรดินขาวซึ่งสอดคล้องกับเพอมีเอท ฟลักซ์และสมบัติทางกายภาพของตัวกรอง

จาก

$$R_m + R_f = \frac{\Delta P}{\mu_w J'_w} \quad (16)$$

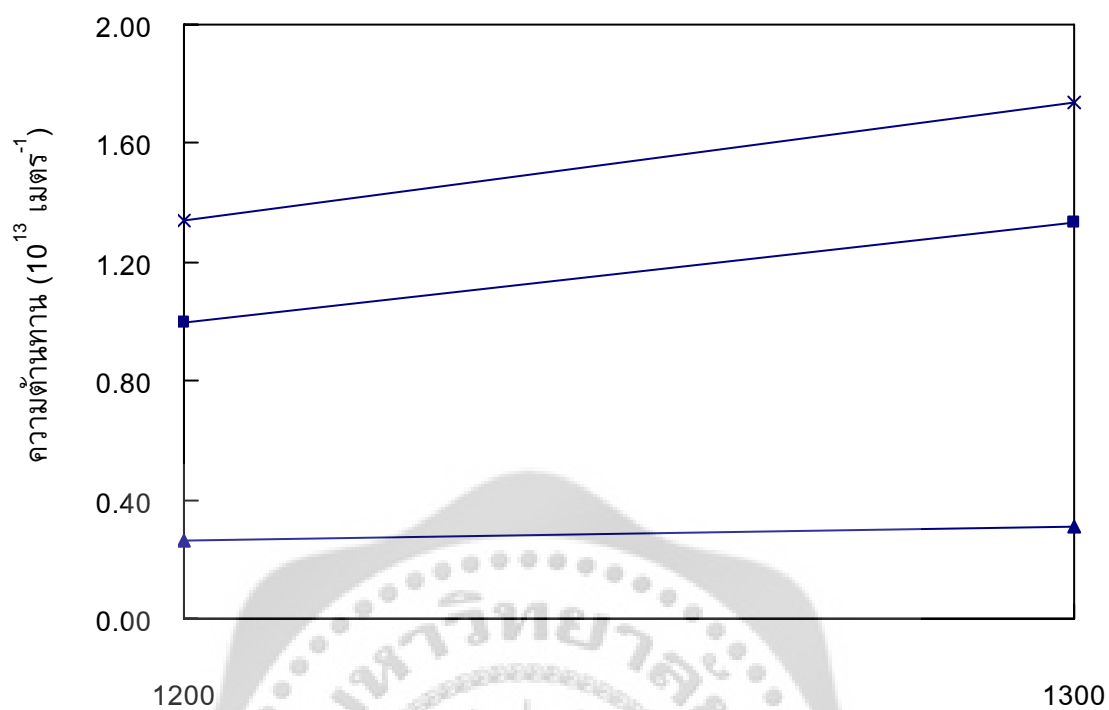
ดังนั้น

$$R_f = \frac{\Delta P}{\mu_w J'_w} - R_m \quad (17)$$

$$R_t = \frac{\Delta P}{\mu_p J}$$

$$R_c = R_t - (R_m + R_f)$$

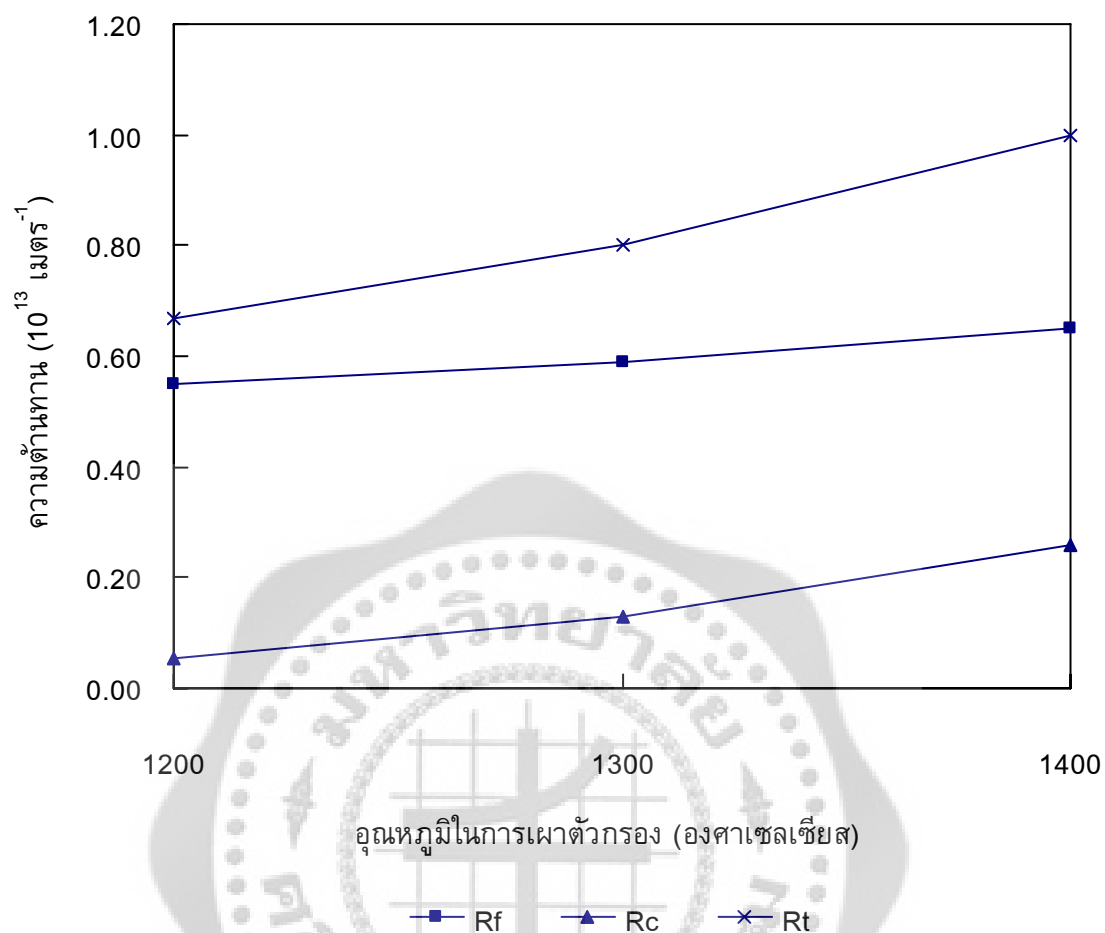
เมื่อ	J'_w	ฟลักซ์ของน้ำหลังการใช้งาน (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรชั่วโมง)
	μ_p	ความหนืดของสารละลาย (นิวตันวินาที)
	R_m	ความต้านทานเยื่อแผ่น (เมตร ⁻¹)
	R_f	ความต้านทานการอุดตัน (เมตร ⁻¹)
	R_c	ความต้านทานของเค้ก (เมตร ⁻¹)
	R_t	ความต้านทานรวม (เมตร ⁻¹)



อุณหภูมิในการเผาดั้วกรอง(องศาเซลเซียส)

■ R_f ▲ R_c × R_t

ภาพประกอบ 49 ค่าความต้านทานของตัวกรองสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อ R_m คือ ความต้านทานของเยื่อแผ่น R_f คือ ความต้านทานการดูดตัน R_t คือความต้านทานรวม และ R_c คือความต้านทานของแก้ว



ภาพประกอบ 50 ค่าความต้านทานของตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผ่าที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อ R_m คือ ความต้านทานของเยื่อแผ่น R_f คือ ความต้านทานการดูดซับ R_t คือความต้านทานรวม และ R_c คือความต้านทานของแก้ว

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การเตรียมตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำและสูตรดินขาว ขึ้นรูปตัวกรองด้วยวิธีเทน้ำสลิป และการอัดรีด วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตัวกรอง คือ ดินดำ ดินขาวและอะลูมินา

1. ผลการศึกษาการขึ้นรูปตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีเทน้ำสลิป การศึกษาการขึ้นรูปตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีเทน้ำสลิป พบว่าการเติมอะลูมินาที่ปริมาณ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตัวกรองมีความพรุน เพอมีเอทฟลักซ์ และความแข็งแรงสูงสุด ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าต่ำสุด โดยตัวกรองสูตรดินขาวมีเปอร์เซ็นต์ความพรุนสูงกว่าตัวกรองสูตรดินดำซึ่งมีค่าเท่ากับ 48.01 และ 39.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ความแข็งแรงของตัวกรองสูตรดินดำมีค่าสูงกว่าตัวกรองสูตรดินขาวซึ่งมีค่าเท่ากับ 128.93 และ 111.25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การหดตัวของตัวกรองสูตรดินดำมีค่าสูงกว่าตัวกรองสูตรดินขาวซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.99 และ 1.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เพอมีเอทฟลักซ์ของตัวกรองสูตรดินขาวมีค่าสูงกว่าตัวกรองสูตรดินดำซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.269 และ 0.062 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรชั่วโมง ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การกักเก็บสารของตัวกรองสูตรดินดำมีค่ามากกว่าตัวกรองสูตรดินขาว ซึ่งมีค่าเท่ากับ 99.99 และ 76.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. ผลการศึกษาการขึ้นรูปตัวกรองด้วยวิธีการอัดรีด การศึกษาการขึ้นรูปตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีการอัดรีด พบว่าการเผาตัวกรองที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เปอร์เซ็นต์การหดตัว และความแข็งแรงมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความพรุนและเพอมีเอทฟลักซ์มีค่าลดลง การเผาตัวกรองที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ทำให้ตัวกรองทั้งสองสูตร มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนมากที่สุด โดยตัวกรองสูตรดินขาวมีเปอร์เซ็นต์ความพรุนสูงกว่าตัวกรองสูตรดินดำซึ่งมีค่าเท่ากับ 34.56 และ 33.32 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ การเผาตัวกรองที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียสทำให้เปอร์เซ็นต์การหดตัวและความแข็งแรงของตัวกรองมีค่าสูงสุด โดยเปอร์เซ็นต์การหดตัวของตัวกรองสูตรดินดำและตัวกรองสูตรดินขาวมีค่าเท่ากับ 4.14 และ 2.83 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ตัวกรองสูตรดินดำมีความแข็งแรงสูงกว่าตัวกรองสูตรดินขาวซึ่งมีค่าเท่ากับ 201.71 และ 148.62 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ สมบัติการกรองของตัวกรองหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และที่ความดันแตกต่างของผิวเยื่อแผ่น 4.31×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร เพอมีเอทฟลักซ์ของตัวกรองทั้งสองสูตรมีค่าสูงสุด โดยตัวกรองสูตรดินขาวมีเพอมีเอทฟลักซ์สูงกว่าตัวกรองสูตรดินดำซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0041 และ 0.040 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร

ข้าวโม่ง การกรองเชื้อยีสต์ที่ความเข้มข้น 21 กรัมต่อลิตร ทดสอบการกรองที่ความดัน 3.27×10^4 3.62×10^4 3.96×10^4 และ 4.31×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร และอัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่ที่ 1.89 ลิตรต่อนาที ค่าพหุมิเอทพล็กซ์ของตัวกรองสูตรดินขาวมีค่าสูงกว่าตัวกรองสูตรดินดำซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0024 และ 0.0018 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรข้าวโม่ง ตามลำดับ การกรองหลังเผาที่ อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส ตัวกรองทั้งสองสูตรไม่สามารถกรองได้ และหลังการใช้งานเยื่อแผ่น จะถูกนำไปล้างทำความสะอาด ดังนั้นความต้านทานของเค้กจะถูกกำจัดไป เหลือเพียงความต้านทานของเยื่อแผ่นและความต้านทานการอุดตัน ซึ่งความต้านทานที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นความต้านทานเนื่องจากการอุดตัน และการเผาตัวกรองที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ค่าความต้านทานมีค่าสูงขึ้น และพบว่าตัวกรองสูตรดินดำมีความต้านทานสูงกว่าตัวกรองสูตรดินขาว ซึ่งค่าความต้านทานของเยื่อแผ่น ความต้านทานการอุดตัน และความต้านทานของเค้กของตัวกรองสูตรดินดำหลังเผาที่ อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ 0.108×10^{13} 1.33×10^{13} เมตร⁻¹ และ 0.31×10^{13} เมตร⁻¹ ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพบว่าความพรุนและพื้นที่ผิวของตัวกรองมีค่าน้อย ส่งผลให้พหุมิเอทพล็กซ์ที่ได้มีค่าน้อยตามไปด้วย ดังนั้นจึงควรศึกษาหรือพัฒนาการผลิตตัวกรองที่มีความพรุนและพื้นที่ผิวในการกรองมากขึ้น



บรรณานุกรม

- กุลจิรา สุจิโรจน์; ผกามาศ แซ่หว่าง; และ ดวงเดือน อางองค์. (2545). *การผลิตเซรามิกส์โดยการอัดแบบ*. กรุงเทพฯ: พิมพ์ครั้งที่ 1. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- ชัชวาล สุขมัน (2543). *การผลิตชั้นรองรับเยื่อแผ่นอลูมินาชนิดไมโครฟิลเตรชัน*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2547). *เซรามิกส์*. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งมหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.
- พนิดา สามพรานไพบูลย์. (2538). *การลดลงของฟลักซ์และความต้านทานต่อการไหลในระบบ Cross-flow Microfiltration*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม.(วิศวกรรมเคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- ราชกิจจานุเบกษา. (2540, 28 สิงหาคม). *ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2265 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 25511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ไส้กรองเซรามิก*.
- Belouatek, A. et al. (2005). Preparation of inorganic supports for liquid waste treatment. *Microporous and Mesoporous Materials*. 85: 163–168.
- Bottino, A. et al. (2004). Application of membrane processes for the filtration of extra virgin olive oil. *Journal of Food Engineering*. 65: 303–309.
- Bouzerara, F. et al. (2006). Porous ceramic supports for membranes prepared from kaolin and dolomite mixtures. *Journal of the European Ceramic Society*. 26: 1663–1671.
- Carrere, H.; Blaszkowa, F.; & Balmann, H. R. (2001). Modelling the clarification of lactic acid fermentation broths by cross-flow microfiltration. *Journal of Membrane Science*. 186: 219–230.
- Carrere, H. ; Blaszkowa, F.; & Balmann, H. R. (2002). Modelling the microfiltration of lactic acid fermentation broths and comparison of operating modes. *Desalination*. 145: 201-206.
- Chen, Y. F. et al. (2004). Effects of Al_2O_3 addition on the phases, flow characteristics and morphology of the porous kaolin ceramics. *Materials Science and Engineering A*. 373: 221–228.
- Chen, Y. F.; Wang, M.C.; & Hon, M. H. (2004). Phase transformation and growth of mullite in kaolin ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*. 24: 2389–2397.
- Choi, H. et al. (2005). Influence of cross-flow velocity on membrane performance during filtration of biological suspension. *Journal of Membrane Science*. 248: 189–199.

- Feret, F. R. ; Roy, D.; & Boulanger, C. (2000). Determination of alpha and beta alumina in ceramic alumina by X-ray diffraction. *Spectrochimica Acta Part B*. 55: 1051-1061.
- Feret, F. R.; & Roy, D. (2002). Determination of quartz in bauxite by a combined X-ray diffraction and X-ray fluorescence method. *Spectrochimica Acta Part B*. 57: 551–559.
- Hung, M. T.; & Liu, J. C. (2006). Microfiltration for separation of green algae from water. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 51: 157–164.
- Isci, S.; et al. (2004). The modification of rheologic properties of clays with PVA effect. *Materials Letters*. 58: 1975–1978.
- Isobe, T.; et al. (2006). Extrusion method using nylon 66 fibers for the preparation of porous alumina ceramics with oriented pores. *Journal of the European Ceramic Society*. 26: 2213–2217.
- Isobe, T.; et al. (2007). Preparation and properties of porous alumina ceramics with uni-directionally oriented pores by extrusion method using a plastic substance as a pore former. *Journal of the European Ceramic Society*. 27: 61–66.
- Jonker, A.; & Potgieter, J.H. (2005). An evaluation of selected waste resources for utilization in ceramic materials applications. *Journal of the European Ceramic Society*. 25:3145–3149.
- Konan, K. L.; et al. (2007). Surface properties of kaolin and illite suspensions in concentrated calcium hydroxide medium. *Journal of Colloid and Interface Science*. 307: 101–108.
- Konta, J. (1995). Clay and man: Clay raw materials in the service of man. *Applied Clay Science*. 10: 275-335.
- Loffler, L.; & Mader, W. (2005). Anisotropic X-ray diffraction peak broadening and twinning in diaspore-derived corundum. *Journal of the European Ceramic Society*. 25: 639–648.
- Meng, F.; et al. (2005). Application of fractal permeation model to investigate membrane fouling in membrane bioreactor. *Journal of Membrane Science*. 262: 107–116.
- Murray, H.H.; & Kogel, J. (2005). Engineered clay products for the paper industry. *Applied Clay Science*. 29: 199– 206.
- Musikant, S. (1990). *What every engineer should know about ceramic*. Copyright ©1991. New York: MARCEL DEKKER, INC.

- Ribeiro, M. J.; et al. (2002). Recycling of Al-rich industrial sludge in refractory ceramic pressed bodies. *Ceramics International*. 28: 319–326.
- Sainz, M.A.; et al. (2000). XRD microstructural analysis of mullites obtained from Kaolinite-alumina mixtures. *Journal of the European Ceramic Society*. 20: 403-412.
- Seader, J.D.; & Henley, E. J. (2002). SEPARATION PROCESS PRINCIPLES Second Edition. New York: John Wiley & sons, Inc.
- She, J. H.; & Ohji, T. (2003). Fabrication and characterization of highly porous mullite ceramics. *Materials Chemistry and Physics*. 80: 610–614.
- Singh, N.; & Cheryan, M. (1997). Fouling of a ceramic microfiltration membrane by corn starch hydrolysate. *Journal of Membrane Science*. 135: 195-202.
- U.S. Department of Energy Office of Environmental Management Office of Science and Technology. (1998). Crossflow Filtration tanks Focus Area. *INNOVATIVE TECHNOLOGY Summary Report*. DOE/EM: 0370.
- Viswabaskaran, V.; Gnanam, F. D.; & Balasubramanian, M. (2003). Mullitisation behavior of calcined clay–alumina mixtures. *Ceramics International*. 29: 561–571.





ภาคผนวก ก
ผลข้อมูลดิบการขึ้นรูปตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีเทน้ำสลิป

ตาราง ก-1 ข้อมูลความยาวของชิ้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ของตัวกรองสูตรดินดำ

ปริมาณอะลูมินา เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	ความยาวก่อนเผา (เซนติเมตร)			ความยาวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)			ความยาวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)		
	ชั้นที่1	ชั้นที่2	ชั้นที่3	ชั้นที่1	ชั้นที่2	ชั้นที่3	ชั้นที่1	ชั้นที่2	ชั้นที่3
0	16.53	17.03	16.51	16.50	17.00	16.50	14.70	15.10	14.60
10	16.38	16.59	16.11	16.40	16.60	16.10	14.60	14.90	14.50
20	16.50	16.82	16.31	16.50	16.80	16.30	14.90	15.20	14.80
30	17.11	17.21	17.01	17.10	17.20	17.00	16.00	16.10	15.90
40	17.00	17.21	17.31	17.00	17.20	17.30	16.00	16.10	16.20
50	16.30	16.00	16.00	16.30	16.00	16.00	15.60	15.10	15.00
60	16.00	16.10	16.00	16.00	16.10	16.00	15.20	15.30	15.20

ตาราง ก-2 ข้อมูลความยาวของชั้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ของตัวกรองสูตรดินขาว

ปริมาณอะลูมินา เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	ความยาวก่อนเผา (เซนติเมตร)			ความยาวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)			ความยาวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)		
	ชั้นที่1	ชั้นที่2	ชั้นที่3	ชั้นที่1	ชั้นที่2	ชั้นที่3	ชั้นที่1	ชั้นที่2	ชั้นที่3
0	17.23	16.82	17.02	17.20	16.80	17.00	16.00	15.70	15.90
10	18.03	17.71	17.71	18.00	17.70	17.70	16.90	16.60	16.60
20	17.12	17.30	16.90	17.10	17.30	16.90	16.30	16.50	16.10
30	17.31	17.12	17.22	17.30	17.10	17.20	16.60	16.40	16.50
40	15.61	15.52	15.31	15.60	15.50	15.30	15.10	15.00	14.80
50	16.62	16.92	16.81	16.60	16.90	16.80	16.10	16.40	16.30
60	16.12	16.31	16.52	16.10	16.30	16.50	15.70	15.90	16.10

ตาราง ก-3 น้ำหนักชิ้นงานในขณะเปียก น้ำหนักชิ้นงานที่ชั่งในน้ำ และน้ำหนักชิ้นงานในขณะแห้ง ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ปริมาณอะลูมินา (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	น้ำหนักชิ้นงานเปียก (กรัม)			น้ำหนักชิ้นงานในน้ำ (กรัม)			น้ำหนักชิ้นงานแห้ง (กรัม)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
0	24.41	23.60	24.50	10.90	11.20	11.17	21.30	20.80	21.25
10	32.72	32.61	31.21	16.09	16.20	16.24	27.95	28.13	27.24
20	34.04	34.46	34.30	14.30	14.10	14.85	28.00	27.98	27.80
30	35.00	35.21	35.43	16.29	16.43	16.87	28.86	28.91	29.12
40	40.59	41.35	41.68	18.69	19.08	19.26	32.78	33.64	33.73
50	41.31	41.92	41.52	18.74	19.87	18.95	32.61	33.69	33.34
60	42.96	43.00	42.37	19.92	20.18	19.62	33.76	34.09	33.71

ตาราง ก-4 ข้อมูลค่าน้ำหนักชิ้นงานในขณะเปียก น้ำหนักชิ้นงานที่ชั่งในน้ำ และน้ำหนักชิ้นงานในขณะแห้ง ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ปริมาณอะลูมินา (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	น้ำหนักชิ้นงานเปียก (กรัม)			น้ำหนักชิ้นงานในน้ำ (กรัม)			น้ำหนักชิ้นงานแห้ง (กรัม)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
0	29.69	29.00	29.24	12.30	11.12	11.61	24.16	23.35	23.67
10	38.10	38.34	38.08	19.54	19.62	19.53	31.29	31.32	31.28
20	39.52	39.09	39.13	21.29	20.23	20.25	32.49	31.84	31.86
30	40.18	40.22	40.30	21.64	21.74	21.83	32.56	32.67	32.71
40	40.84	41.00	40.97	21.94	22.08	22.00	32.64	32.71	32.78
50	41.76	41.96	41.85	22.16	22.20	22.21	32.93	33.10	33.00
60	44.72	44.52	44.96	23.67	22.96	24.37	34.52	34.31	35.03



ภาพประกอบ ก-1 ตัวอย่างตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาวที่ผลิตได้



ภาพประกอบ ก-2 ตัวอย่างตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำที่ผลิตได้

ตาราง ก-5 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวของชิ้นงาน และแรงกด
ของตัวกรองสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ปริมาณอะลูมินา (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน (เซนติเมตร)	ความยาวของชิ้นงาน (เซนติเมตร)	แรงกด (นิวตัน)
0	1.50	1.16	4.10	197.57
10	1.52	1.10	4.00	243.64
20	1.52	1.10	3.90	259.93
30	1.55	1.09	4.00	285.24
40	1.59	1.15	4.20	302.14
50	1.63	1.08	4.20	374.73
60	1.67	1.18	4.10	422.94

ตาราง ก-6 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวของชิ้นงาน และแรงกด
ของตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ปริมาณอะลูมินา (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน (เซนติเมตร)	ความยาวของชิ้นงาน (เซนติเมตร)	แรงกด (นิวตัน)
0	1.58	1.00	4.20	186.71
10	1.58	0.84	4.20	210.54
20	1.60	1.19	4.00	236.47
30	1.62	1.10	4.10	278.13
40	1.59	0.90	3.90	321.58
50	1.60	1.05	4.10	326.24
60	1.57	0.99	4.20	331.95

ตาราง ก-7 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำของตัวกรองสูตรดินดำที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 0 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่เวลาการกรองต่างๆ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวาง อัตราการไหลของน้ำเป็น 4 ลิตรต่อนาที และความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่นเท่ากับ 3.27×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร

เวลา (นาทีก)	ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)						
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
10	-	-	-	-	32.48	84.16	104.08
20	-	-	-	-	32.56	76.23	101.32
30	-	-	-	-	31.56	74.36	100.25
40	-	-	-	-	32.2	68.42	99.84
50	-	-	-	-	32.17	65.31	97.51
60	-	-	-	-	32.36	64.44	96.35
70	-	-	-	-	32.64	65.27	96.22
80	-	-	-	-	32.15	64.35	95.98
90	-	-	-	-	31.6	64.28	95.47
100	-	-	-	-	31.96	64.61	95.29
110	-	-	-	-	31.81	64.33	95.34
120	-	-	-	-	31.15	64.29	95.26

หมายเหตุ – ไม่สามารถกรองได้

ตาราง ก-8 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำของตัวกรองสูตรดินขาวที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 0 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่เวลาการกรองต่างๆ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวาง อัตราการไหลของน้ำเป็น 4 ลิตรต่อนาที และความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่นเท่ากับ 3.27×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร

เวลา (นาที)	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)							
10	83.44	90.97	94.42	113.27	116.30	147.14	168.43
20	83.00	87.24	92.57	111.43	112.04	145.16	165.66
30	82.98	84.32	93.01	112.94	105.98	143.77	163.33
40	82.67	80.51	90.79	101.64	102.57	141.50	161.33
50	82.55	78.82	89.16	100.87	101.24	133.85	159.94
60	82.34	77.68	87.34	98.65	101.11	124.55	158.38
70	82.11	76.54	86.27	96.62	100.82	123.97	156.94
80	81.94	77.29	85.33	92.84	99.68	121.74	155.12
90	81.79	77.61	85.48	89.37	98.54	120.38	153.87
100	81.82	77.34	85.21	89.57	98.75	120.22	152.51
110	81.34	77.38	85.42	89.45	98.42	120.54	151.63
120	81.25	77.25	85.32	89.33	98.21	120.27	150.75

ตาราง ก-9 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองเชื้อยีสต์ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 0 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวาง อัตราการไหลของน้ำเป็น 4 ลิตรต่อนาที และความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่นเท่ากับ 3.27×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร

เวลา (นาที)	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)							
10	-	-	-	-	13.06	30.54	46.23
20	-	-	-	-	12.39	28.45	45.71
30	-	-	-	-	11.83	27.48	44.37
40	-	-	-	-	10.89	27.53	43.24
50	-	-	-	-	9.55	24.54	41.92
60	-	-	-	-	9.27	24.74	39.97
70	-	-	-	-	8.72	22.39	37.59
80	-	-	-	-	8.47	20.60	35.82
90	-	-	-	-	8.42	19.25	33.92
100	-	-	-	-	8.39	18.71	32.21
110	-	-	-	-	8.37	17.58	30.83
120	-	-	-	-	8.35	16.93	29.21

หมายเหตุ – ไม่สามารถกรองได้

ตาราง ก-10 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองเชื้อยีสต์ของตัวกรองสูตรดินขาวที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 0 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่เวลาการกรองต่างๆ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ด้วยชุดทดสอบการกรองแบบไหลขวาง อัตราการไหลของน้ำเป็น 4 ลิตรต่อนาที และที่ความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่นเท่ากับ 3.27×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร

เวลา (นาที)	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)							
10	42.74	62.21	77.81	96.36	106.34	119.20	134.62
20	41.02	61.32	75.87	94.25	102.59	116.07	131.54
30	39.54	60.26	73.61	91.37	98.21	114.39	129.39
40	38.23	58.63	71.24	87.54	96.42	111.48	127.65
50	38.32	56.05	69.43	86.38	94.23	109.01	125.21
60	38.14	53.50	67.21	84.36	91.08	107.22	122.87
70	37.50	51.23	64.35	82.99	88.51	104.38	120.11
80	37.70	49.23	62.20	80.27	86.32	102.54	118.32
90	36.74	48.58	60.72	78.36	84.66	98.77	115.94
100	36.77	48.99	58.02	76.34	83.22	96.12	113.26
110	36.66	47.36	56.79	75.77	80.91	95.29	111.78
120	36.10	46.37	54.83	74.51	78.86	93.37	109.47



ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข
ข้อมูลดิบการขึ้นรูปตัวกรองเซรามิกด้วยวิธีการอัดรีด

ตาราง ข-1 ความยาวของชิ้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ของตัวกรองสูตรดินดำ

ชิ้นงาน	ความยาวก่อนเผา (เซนติเมตร)	ความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)	ความยาวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)
ชิ้นที่ 1	30.02	30.00	29.00
ชิ้นที่ 2	30.02	30.00	29.00
ชิ้นที่ 3	29.03	29.00	28.00

ตาราง ข-2 ความยาวของชิ้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ของตัวกรองสูตรดินดำ

ชิ้นงาน	ความยาวก่อนเผา (เซนติเมตร)	ความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)	ความยาวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)
ชิ้นที่ 1	29.03	29.00	28.00
ชิ้นที่ 2	28.02	28.00	27.00
ชิ้นที่ 3	28.03	28.00	27.00

ตาราง ข-3 ความยาวของชั้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ของตัวกรองสูตรดินดำ

ชั้นงาน	ความยาวก่อนเผา (เซนติเมตร)	ความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)	ความยาวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)
ชั้นที่ 1	29.13	29.10	28.00
ชั้นที่ 2	28.52	28.50	27.40
ชั้นที่ 3	28.33	28.30	27.20

ตาราง ข-4 ความยาวของชั้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงของตัวกรองสูตรดินดำ

ชั้นงาน	ความยาวก่อนเผา (เซนติเมตร)	ความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)	ความยาวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)
ชั้นที่ 1	28.73	28.70	27.50
ชั้นที่ 2	29.02	29.00	27.80
ชั้นที่ 3	29.22	29.20	28.00

ตาราง ข-5 ความยาวของชั้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ของตัวกรองสูตรดินขาว

ชั้นงาน	ความยาวก่อนเผา (เซนติเมตร)	ความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)	ความยาวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)
ชั้นที่ 1	25.73	25.70	25.20
ชั้นที่ 2	25.82	25.80	25.30
ชั้นที่ 3	26.02	26.00	25.50

ตาราง ข-6 ความยาวของชั้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ของตัวกรองสูตรดินขาว

ชั้นงาน	ความยาวก่อนเผา (เซนติเมตร)	ความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)	ความยาวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)
ชั้นที่ 1	23.62	23.60	23.10
ชั้นที่ 2	24.03	24.00	23.50
ชั้นที่ 3	23.73	23.70	23.20

ตาราง ข-7 ความยาวของชั้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงของตัวกรองสูตรดินขาว

ชั้นงาน	ความยาวก่อนเผา (เซนติเมตร)	ความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)	ความยาวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)
ชั้นที่ 1	28.03	28.00	27.30
ชั้นที่ 2	29.02	29.00	28.30
ชั้นที่ 3	28.33	28.30	27.60

ตาราง ข-8 ความยาวของชั้นงาน ก่อนเผา หลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงของตัวกรองสูตรดินขาว

ชั้นงาน	ความยาวก่อนเผา (เซนติเมตร)	ความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)	ความยาวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส (เซนติเมตร)
ชั้นที่ 1	27.82	27.80	27.00
ชั้นที่ 2	28.02	28.00	27.20
ชั้นที่ 3	27.53	27.50	26.70

ตาราง ข-9 ข้อมูลค่าน้ำหนักชิ้นงานในขณะเปียก น้ำหนักชิ้นงานที่ชั่งในน้ำ และน้ำหนักชิ้นงานในขณะแห้ง ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำ หลังเผาที่ อุณหภูมิ 1200 – 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิในการเผา (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักชิ้นงานเปียก (กรัม)			น้ำหนักชิ้นงานในน้ำ (กรัม)			น้ำหนักชิ้นงานแห้ง (กรัม)		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
1200	25.86	25.92	25.87	12.09	12.48	12.14	21.29	21.42	21.30
1300	24.87	24.78	24.90	11.97	11.67	11.98	18.60	18.50	18.64
1400	20.34	20.45	20.40	7.53	7.64	7.58	17.10	17.21	17.15
1500	19.53	19.69	19.45	6.32	6.43	6.38	16.50	16.74	16.57

ตาราง ข-10 ข้อมูลค่าน้ำหนักชิ้นงานในขณะเปียก น้ำหนักชิ้นงานที่ชั่งในน้ำ และน้ำหนักชิ้นงานในขณะแห้ง ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาว หลังเผาที่ อุณหภูมิ 1200 – 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิในการเผา (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักชิ้นงานเปียก (กรัม)			น้ำหนักชิ้นงานในน้ำ (กรัม)			น้ำหนักชิ้นงานแห้ง (กรัม)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1200	24.33	24.85	24.47	13.42	13.85	13.57	20.56	21.03	20.72
1300	23.68	24.00	24.02	10.92	11.97	12.00	18.87	19.10	19.15
1400	21.37	22.00	21.50	10.28	10.37	10.30	18.47	18.96	18.50
1500	19.28	19.15	19.18	8.52	8.21	8.11	16.73	16.62	16.50

ตาราง ข-11 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวของชิ้นงาน และแรงกดของตัวกรองสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 – 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิในการเผาตัวกรอง (องศาเซลเซียส)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (เซนติเมตร)	ความยาวของชิ้นงาน (เซนติเมตร)	แรงกด (นิวตัน)
1200	0.95	0.52	1.50	258.50
1300	0.92	0.48	1.49	263.10
1400	0.88	0.44	1.51	268.40
1500	0.82	0.39	1.50	270.60

ตาราง ข-12 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวของชิ้นงาน และแรงกดของตัวกรองสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 – 1500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

อุณหภูมิในการเผาตัวกรอง (องศาเซลเซียส)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (เซนติเมตร)	ความยาวของชิ้นงาน (เซนติเมตร)	แรงกด (นิวตัน)
1200	0.97	0.53	1.490	231.59
1300	0.94	0.51	1.500	234.94
1400	0.91	0.47	1.510	236.38
1500	0.87	0.44	1.490	236.12

ตาราง ข-13 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบการกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที

เวลา (นาทีก)	ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)			
	$3.27 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.62 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.96 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$4.31 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$
5	54.52	58.81	63.04	67.94
10	108.13	116.26	125.68	134.07
15	160.51	172.47	187.60	199.60
20	212.18	228.41	248.37	264.02
25	262.57	282.49	307.56	327.89
30	312.50	336.33	366.41	390.16

ตาราง ข-14 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบการกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที

เวลา (นาที่)	ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)			
	$3.27 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.62 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.96 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$4.31 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$
5	32.04	37.39	43.11	48.82
10	63.69	73.67	85.94	96.74
15	94.17	109.38	127.56	142.79
20	124.12	143.63	168.33	188.40
25	152.83	177.39	208.15	232.79
30	180.21	210.24	244.66	276.37

ตาราง ข-15 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบการกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที

เวลา (นาที่)	ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)			
	$3.27 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.62 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.96 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$4.31 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$
5	68.39	73.33	78.42	82.61
10	135.74	145.58	154.03	163.00
15	202.58	216.25	227.54	240.71
20	266.89	284.49	299.05	316.46
25	329.48	351.12	367.12	390.08
30	391.34	415.30	433.66	460.50

ตาราง ข-16 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาว หลังเผาที่ อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบการกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที

เวลา (นาที)	ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)			
	$3.27 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.62 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.96 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$4.31 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$
5	53.39	57.33	62.78	68.82
10	104.74	112.58	123.34	134.65
15	153.58	166.26	182.07	198.36
20	199.89	217.92	238.78	260.11
25	245.48	267.55	293.46	320.73
30	290.34	315.23	346.12	380.15

ตาราง ข-17 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาว หลังเผาที่ อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบการกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที

เวลา (นาที)	ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)			
	$3.27 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.62 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.96 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$4.31 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$
5	42.35	47.36	53.75	58.19
10	81.88	92.65	105.09	114.61
15	120.80	135.75	155.70	170.24
20	158.25	177.14	204.76	224.49
25	194.54	216.65	253.57	276.74
30	230.11	253.80	53.75	328.16

ตาราง ข-18 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองเชื้อยีสต์ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบการกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที

เวลา (นาทีก)	ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)			
	$3.27 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.62 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.96 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$4.31 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$
5	26.44	30.09	34.38	38.72
10	52.07	59.55	67.56	76.16
15	76.46	88.24	99.82	112.32
20	99.67	115.46	130.91	142.86
25	122.13	141.51	161.02	172.74
30	143.40	167.48	190.87	200.83

ตาราง ข-19 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองเชื้อยีสต์ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบการกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที

เวลา (นาทีก)	ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)			
	$3.27 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.62 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.96 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$4.31 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$
5	19.32	21.63	25.71	29.12
10	38.20	42.54	50.69	57.80
15	55.95	62.45	74.44	84.92
20	72.16	80.84	97.25	111.51
25	87.58	97.96	118.66	136.68
30	102.41	114.54	139.42	160.97

ตาราง ข-20 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองเชื้อยีสต์ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบการกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที

เวลา (นาทีก)	ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)			
	$3.27 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.62 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.96 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$4.31 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$
5	32.13	35.21	39.62	41.32
10	63.60	69.55	78.18	81.50
15	93.65	102.76	115.67	120.81
20	123.52	135.41	151.95	159.46
25	151.98	166.74	187.36	196.79
30	179.51	196.86	222.28	232.91

ตาราง ข-21 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองเชื้อยีสต์ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบการกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที

เวลา (นาทีก)	ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)			
	$3.27 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.62 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.96 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$4.31 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$
5	24.32	26.54	30.17	38.12
10	32.88	51.45	59.15	74.80
15	45.75	75.36	85.90	109.92
20	62.92	96.75	110.71	144.51
25	83.41	115.87	134.12	177.68
30	108.59	134.45	156.88	209.97

ตาราง ข-22 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองเชื้อยีสต์ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาว หลังเผาที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบการกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที

เวลา (นาทีก)	ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)			
	$3.27 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.62 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.96 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$4.31 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$
5	7.31	10.96	13.21	16.37
10	13.76	20.43	25.47	31.85
15	18.95	28.74	37.05	46.57
20	23.46	36.28	47.81	59.98
25	27.68	42.60	57.63	72.31
30	31.76	48.23	66.68	83.92

ตาราง ข-23 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำหลังการใช้งานของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำ หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบการกรองชนิดไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที

เวลา (นาทีก)	ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)			
	$3.27 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.62 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.96 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$4.31 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$
5	35.82	41.83	47.34	52.79
10	69.35	80.38	92.96	102.40
15	99.80	116.50	136.12	150.03
20	129.37	151.04	178.72	196.45
25	157.76	183.62	219.63	242.08
30	185.05	215.46	259.21	286.35

ตาราง ข-24 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำหลังการใช้งานของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำ
 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบการกรองชนิด
 ไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที

เวลา (นาที)	$3.27 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.62 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.96 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$4.31 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$
ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)				
5	18.45	24.51	30.45	35.62
10	34.98	65.85	59.07	69.23
15	49.43	86.31	86.23	100.80
20	62.00	104.75	112.75	131.36
25	73.35	122.33	138.25	159.90
30	83.69	139.17	162.83	187.17

ตาราง ข-25 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำหลังการใช้งานของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาว
 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบการกรองชนิด
 ไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที

เวลา (นาที)	$3.27 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.62 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.96 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$4.31 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$
ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)				
5	41.35	46.36	51.75	55.39
10	78.88	90.65	101.06	108.60
15	114.80	132.75	148.67	159.23
20	148.25	173.14	193.73	207.48
25	180.54	211.65	234.54	253.73
30	212.11	247.80	272.85	298.15

ตาราง ข-26 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำหลังการใช้งานของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาว
 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบการกรองชนิด
 ไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที

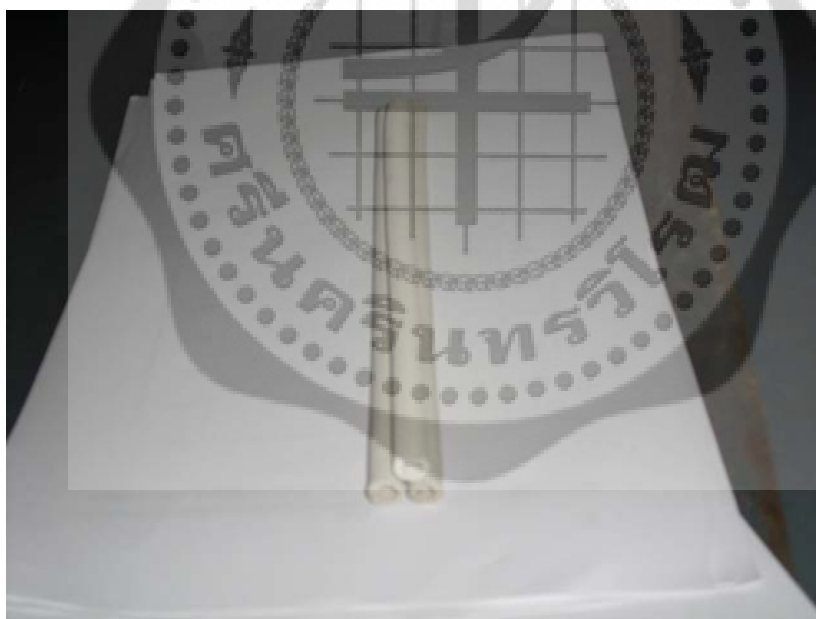
เวลา (นาที)	$3.27 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.62 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.96 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$4.31 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$
ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)				
5	34.15	39.46	44.75	49.53
10	64.60	75.75	86.06	96.05
15	92.72	110.06	125.32	140.01
20	119.56	142.47	161.78	180.86
25	143.93	172.92	195.16	219.58
30	166.50	201.07	226.80	256.04

ตาราง ข-27 ข้อมูลการทดสอบสมบัติการกรองน้ำหลังการใช้งานของตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาว
 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยชุดทดสอบการกรองชนิด
 ไหลขวาง อัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่เท่ากับ 1.895 ลิตรต่อนาที

เวลา (นาที)	$3.27 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.62 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$3.96 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$	$4.31 \times 10^4 \text{ (N/m}^2\text{)}$
ปริมาตรเพอมีเอท (มิลลิลิตร)				
5	20.72	25.21	30.46	36.78
10	39.36	48.41	57.69	71.47
15	55.60	69.77	81.92	104.03
20	69.88	90.03	105.29	134.27
25	82.16	108.98	127.26	162.64
30	93.08	126.91	147.12	188.92



ภาพประกอบ ข-1 ตัวอย่างตัวกรองเซรามิกสูตรดินขาวที่ผลิตได้



ภาพประกอบ ข-2 ตัวอย่างตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำที่ผลิตได้



ภาคผนวก ค

การคำนวณ

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การหดตัวของตัวกรองเซรามิก

$$\text{จาก } S = \frac{L_{be} - L_{af}}{L_{be}} \times 100 \quad (18)$$

เมื่อ S คือ เปอร์เซ็นต์การหดตัว
 L_{be} คือ ความยาวของชิ้นงานก่อนเผา (เซนติเมตร)
 L_{af} คือ ความยาวของชิ้นงานหลังเผา (เซนติเมตร)

ตัวอย่าง จากตารางภาคผนวก ก-1 แสดงความยาวของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก วัดชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เท่ากับ 16.03 เซนติเมตร และความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เท่ากับ 15.23 เซนติเมตร นำค่ามาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัว ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การหดตัว} &= \frac{16.03 - 15.20}{16.03} \times 100 \\ &= 4.79 \text{ เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์การหดตัวของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 4.79 เปอร์เซ็นต์

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความพรุนของตัวกรองเซรามิก

$$P = \frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3} \times 100 \quad (19)$$

เมื่อ	P	คือ เปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงาน
	W_1	คือ น้ำหนักแห้งของชิ้นงาน (กรัม)
	W_2	คือ น้ำหนักอ้อมตัวด้วยน้ำของชิ้นงาน (กรัม)
	W_3	คือ น้ำหนักของชิ้นงานในน้ำ (กรัม)

ตัวอย่าง จากตารางที่ภาคผนวก ก-3 ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนักในขณะเปียกเท่ากับ 42.78 กรัม น้ำหนักชิ้นงานในขณะแห้งเท่ากับ 33.85 กรัม และน้ำหนักชิ้นงานที่ชั่งในน้ำเท่ากับ 19.91 กรัม สามารถนำค่ามาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความพรุนของชิ้นงาน} &= \frac{42.78 - 33.85}{42.78 - 19.91} \times 100 \\ &= 39.02 \text{ เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ความพรุนของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เท่ากับ 39.02 เปอร์เซ็นต์

การคำนวณความแข็งแรงของตัวกรองเซรามิก

$$\text{จาก } S = \frac{8FLD_o}{\left(\pi \left(D_o^4 - D_i^4 \right) \right)} \quad (24)$$

เมื่อ	S	คือ ความแข็งแรงของชิ้นงาน
	F	คือ แรงกด (กิโลกรัม)
	L	คือ ความยาวชิ้นงาน (เมตร)
	D _o	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (เมตร)
	D _i	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (เมตร)

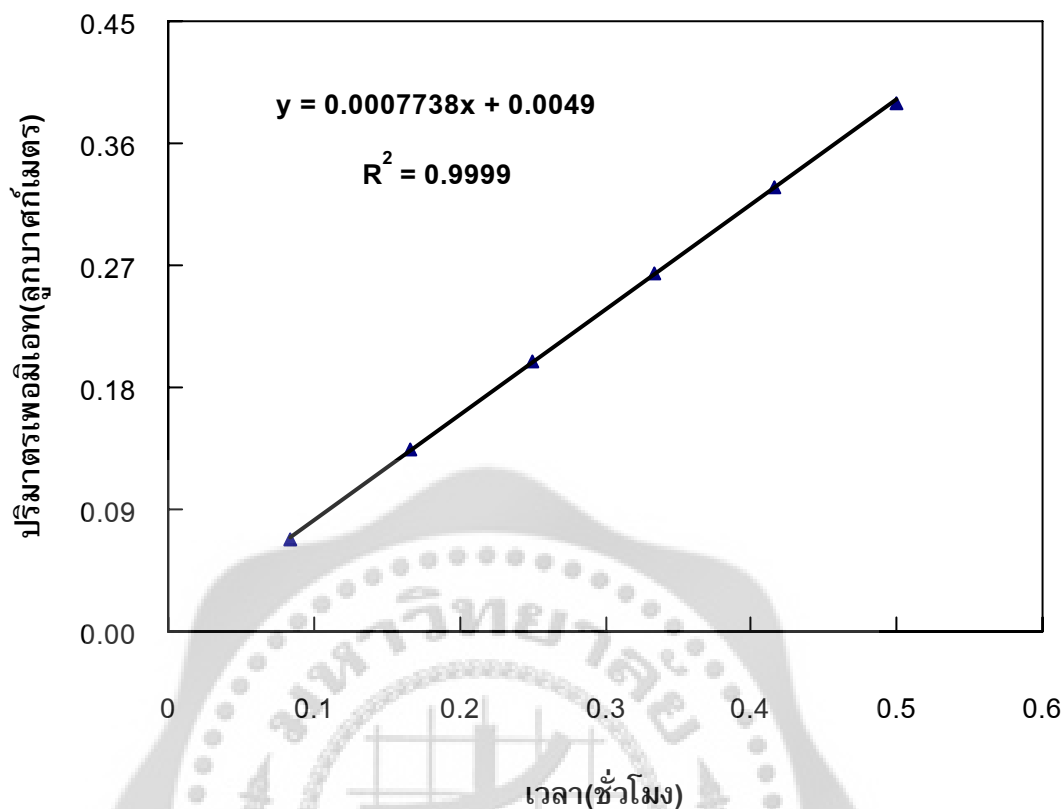
ตัวอย่าง จากตารางที่ภาคผนวก ก-5 ของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำไปวัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 1.67 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 1.18 เซนติเมตร ความยาวของชิ้นงานเท่ากับ 4.10 เซนติเมตร และแรงกดเท่ากับ 43.16 กิโลกรัม สามารถนำค่ามาคำนวณหาความแข็งแรง ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความแข็งแรงของชิ้นงาน} &= \frac{8 \times 43.16 \times 4.10 \times 1.67}{\pi(1.67^4 - 1.18^4)} \\ &= 128.93 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความแข็งแรงของตัวกรองเซรามิกสูตรดินดำที่ปริมาณการเติมอะลูมินา 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 128.93 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

การคำนวณค่าฟลักซ์น้ำเปล่า

จากตาราง ข-13 สามารถคำนวณหาค่าฟลักซ์น้ำเปล่าโดยการพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรพอลิเมอร์กับเวลาที่ใช้ในการกรอง หาค่าฟลักซ์น้ำจากความชันของกราฟและพื้นที่การกรอง ดังแสดงในภาพประกอบ ค-1



ภาพประกอบ ค-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพอมิเอทของน้ำเปล่ากับเวลาที่ใช้ในการกรอง เมื่อความดันแตกต่างที่เยื่อแผ่นเท่ากับ 4.31×10^4 นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร

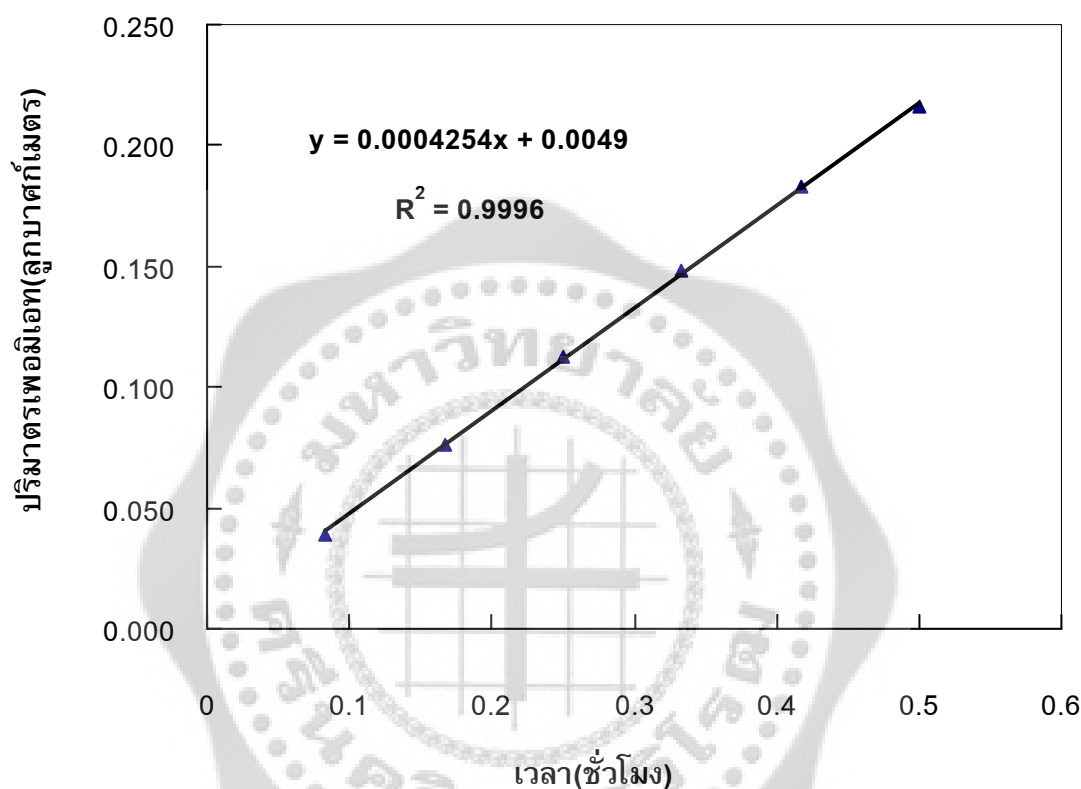
จากภาพประกอบ ค-1 ที่ความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่น 4.31×10^4 นิวตันต่อตารางเมตรกราฟมีความชันเส้นกราฟเท่ากับ 0.000734 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และตัวกรองมีพื้นที่การกรองเท่ากับ 0.00327 ตารางเมตร

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น ฟลักซ์น้ำเปล่า (J)} &= \frac{\text{ความชันเส้นกราฟ}}{\text{พื้นที่การกรอง}} \\
 &= \frac{0.0007734 \text{ m}^3/\text{hr}}{0.00327 \text{ m}^2} \\
 &= 0.24 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง·ตารางเมตร}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ที่ความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่น 4.31×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร ตัวกรองเซรามิก หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ค่าฟลักซ์น้ำเปล่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.24 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรชั่วโมง

การคำนวณค่าฟลักซ์การกรองเชื้อยีสต์

จากตาราง ข-15 สามารถคำนวณหาค่าฟลักซ์การกรองเชื้อยีสต์ โดยการพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเพอมีเอทกับเวลาที่ใช้ในการกรอง และหาค่าฟลักซ์น้ำจากความชันของกราฟและพื้นที่การกรอง ดังแสดงในภาพประกอบ ค-2



ภาพประกอบ ค-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเพอมีเอทของน้ำหมักกับเวลาที่ใช้ในการกรองเมื่อความดันแตกต่างที่เยื่อแผ่นเท่ากับ 4.31×10^4 นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร

จากภาพประกอบ ค-2 ที่ความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่น 4.31×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร กราฟมีค่าความชันเส้นกราฟเท่ากับ 0.000425 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และตัวกรองมีพื้นที่การกรองเท่ากับ 0.00327 ตารางเมตร

$$\text{ดังนั้น ฟลักซ์เชื้อยีสต์} = \frac{\text{ความชันเส้นกราฟ}}{\text{พื้นที่การกรอง}}$$

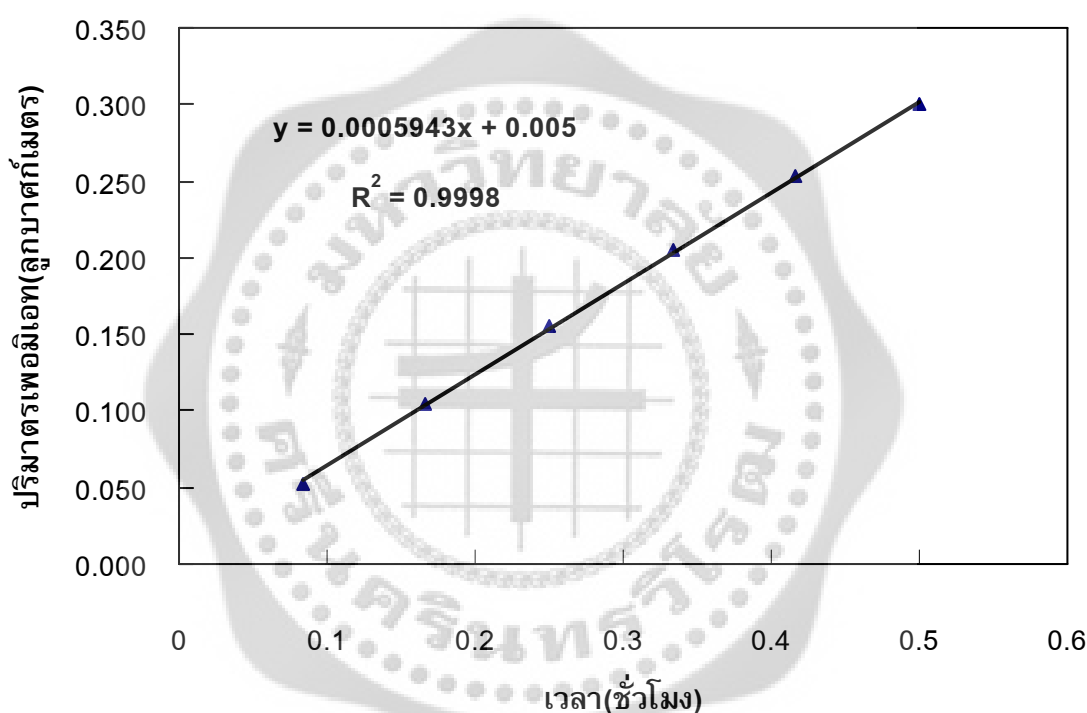
$$= \frac{0.000425 \text{ m}^3/\text{hr}}{0.00327 \text{ m}^2}$$

$$= 0.13 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง} \cdot \text{ตารางเมตร}$$

ดังนั้น ที่ความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่น 4.31×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร ตัวกรองเซรามิก หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ค่าฟลักซ์การกรองเชื้อยีสต์เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.13 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรชั่วโมง

การคำนวณค่าฟลักซ์น้ำเปล่าของตัวกรองที่ใช้แล้ว

จากตารางภาคผนวก ข-23 สามารถคำนวณหาค่าฟลักซ์น้ำเปล่าที่ใช้ล้างตัวกรอง โดยการพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเพอมีเอทกับเวลาที่ใช้ในการกรอง หาค่าฟลักซ์น้ำจากความชันของกราฟและพื้นที่การกรองดังแสดงในภาพประกอบ ค-3



ภาพประกอบ ค-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเพอมีเอทของน้ำหลังการใช้งานกับเวลาที่ใช้ในการกรองเมื่อ ความดันแตกต่างที่เยื่อแผ่นเท่ากับ 4.31×10^4 นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร

จากภาพประกอบ ค-3 ที่ความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่น 4.31×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร กราฟมีค่าความชันเส้นกราฟเท่ากับ 0.5943 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และตัวกรองมีพื้นที่การกรองเท่ากับ 0.00327 ตารางเมตร

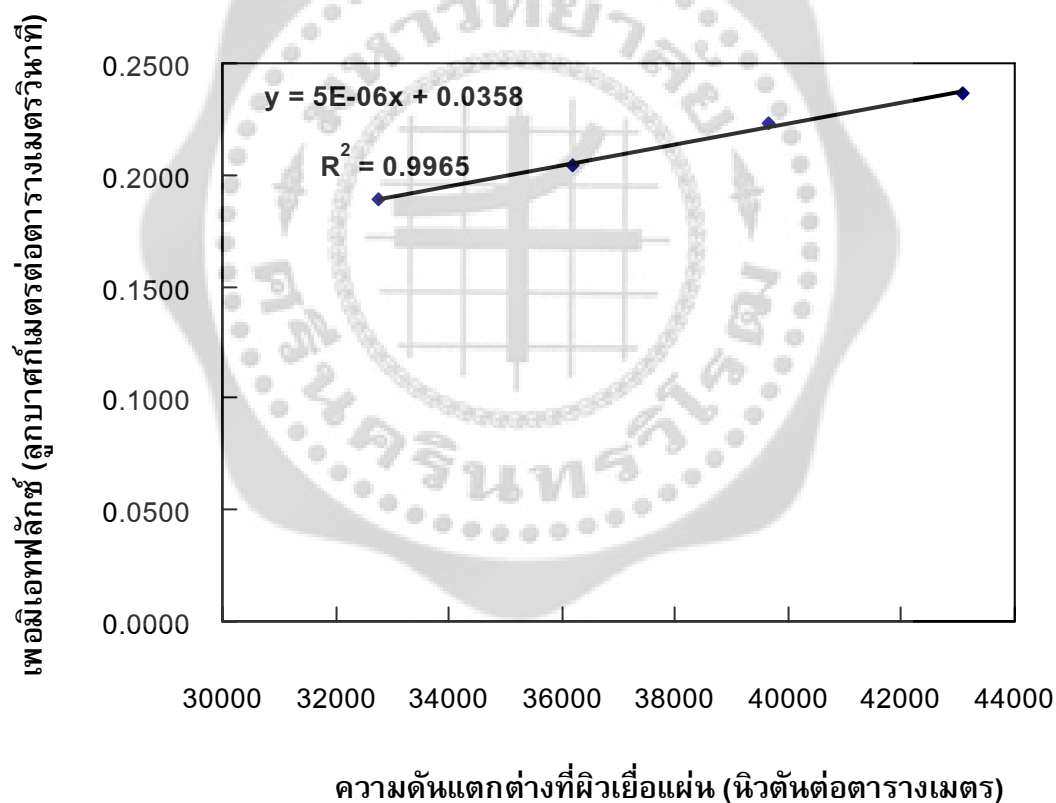
$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น ฟลักซ์น้ำหลังการใช้งาน (J)} &= \frac{\text{ความชันเส้นกราฟ}}{\text{พื้นที่การกรอง}} \\
 &= \frac{0.0005943 \text{ m}^3/\text{hr}}{0.00327 \text{ m}^2}
 \end{aligned}$$

$$= 0.18 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง·ตารางเมตร}$$

ดังนั้น ที่ความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่น 4.31×10^4 นิวตันต่อตารางเมตร ตัวกรองเซรามิก หลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ค่าฟลักซ์น้ำเปล่าของตัวกรองที่ใช้งานแล้วมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.186 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรชั่วโมง

การคำนวณความต้านทานของเยื่อแผ่น (R_m)

การคำนวณหาค่าความต้านทานเยื่อแผ่นของตัวกรอง หาได้จากการพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเพอมีเอทฟลักซ์กับความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่น ดังแสดงในภาพประกอบ ค-4



ภาพประกอบ ค-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอมีเอทฟลักซ์ของน้ำเปล่ากับค่าความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่น

คำนวณความต้านทานเยื่อแผ่นได้จากสมการ

$$J_w = \frac{\Delta P}{\mu_w R_m} \quad (14)$$

เมื่อ $\frac{\Delta P}{J}$ คือ $\frac{1}{\text{ความชันเส้นกราฟ}}$

ดังนั้น

$$R_m = \frac{1}{\text{ความชันเส้นกราฟ}} \times \frac{1}{\text{ความหนืดของน้ำ}}$$

ความหนืดของน้ำที่ 28 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 8.36×10^{-4} ปาสคาล·วินาที ความชันเส้นกราฟ = 4×10^{-6} ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง·ตารางเมตร·ปาสคาล

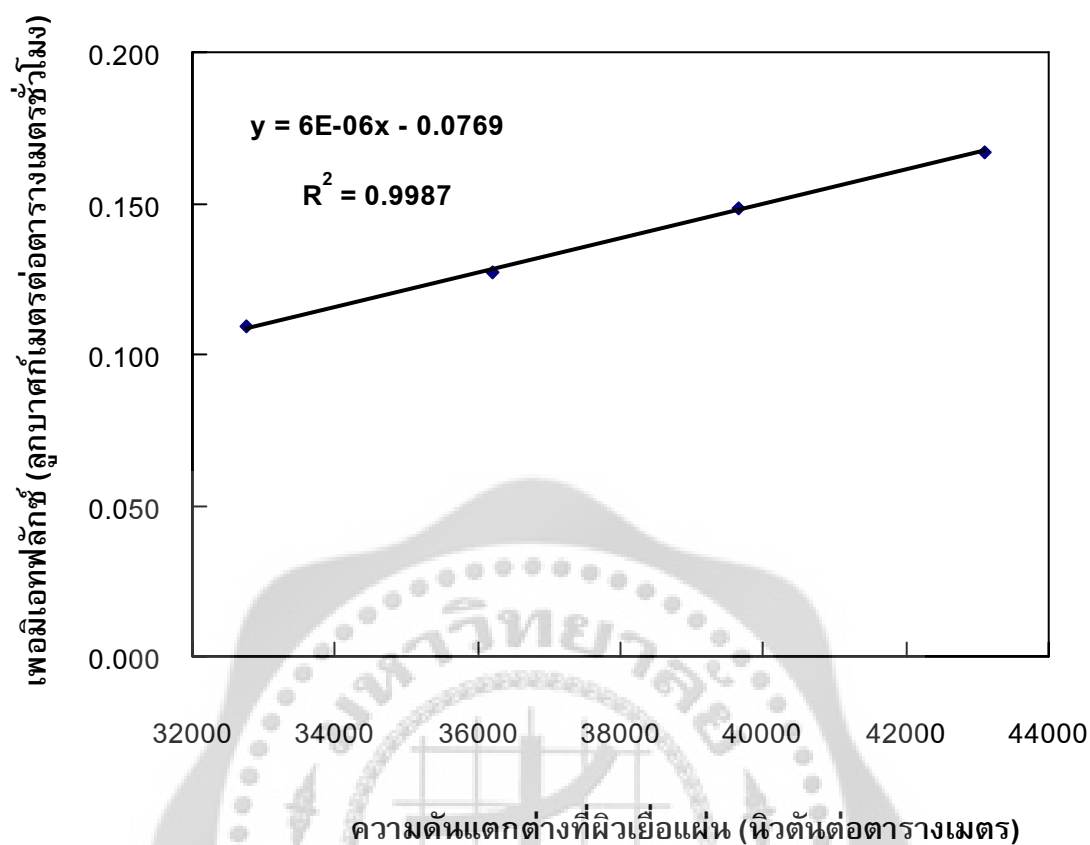
$$R_m = \frac{1}{5 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{hr} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} \times \frac{1}{8.36 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}}$$

$$R_m = 0.086 \times 10^{13} \text{ เมตร}^{-1}$$

ดังนั้น ความต้านทานเยื่อแผ่นของตัวกรองเซรามิกมีค่าเท่ากับ $0.086 \times 10^{13} \text{ เมตร}^{-1}$

การคำนวณความต้านทานรวม (R_t)

การคำนวณหาค่าความต้านทานรวมของตัวกรอง หาได้จากการพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเพอมีเอทฟลักซ์กับความดันตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่น ดังแสดงในภาพประกอบ ค-5



ภาพประกอบ ค-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอมีเอทฟลักซ์ของน้ำหมักกับค่าความดันแตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่น

คำนวณความต้านทานรวมได้จากสมการ

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_t} \quad (12)$$

เมื่อ $\frac{\Delta P}{J}$ คือ $\frac{1}{\text{ความชันเส้นกราฟ}}$

ดังนั้น

$$R_t = \frac{1}{\text{ความชันเส้นกราฟ}} \times \frac{1}{\text{ความหนืดของเชื้อยีสต์}}$$

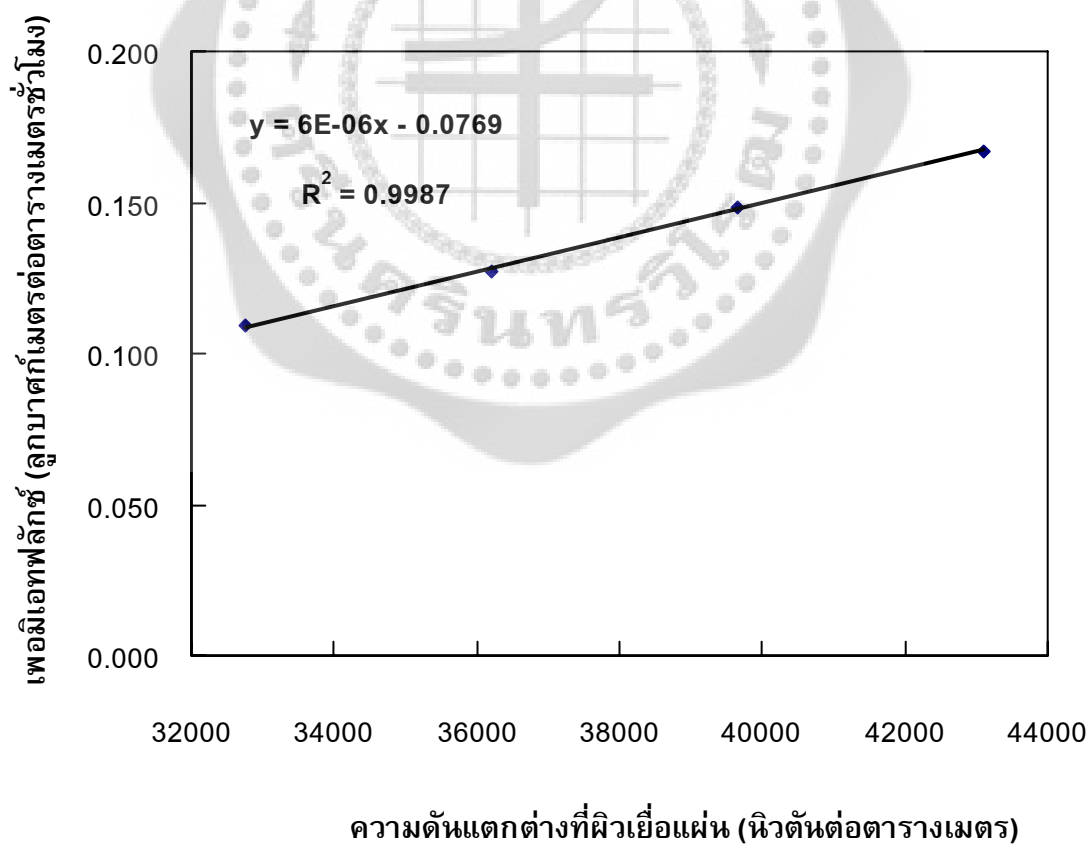
เมื่อความหนืดของเชื้อยีสต์ที่ 28 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 8.98×10^{-4} ปาสคาล·วินาที
ความชันเส้นกราฟ $= 3 \times 10^{-7}$ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง·ตารางเมตร·ปาสคาล

$$R_t = \frac{1}{3 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{hr} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} \times \frac{1}{8.98 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}}$$

ดังนั้น ความต้านทานรวมของตัวกรองเซรามิกมีค่าเท่ากับ 1.34×10^{13} เมตร⁻¹

การคำนวณความต้านทานการอุดตัน(R_t)

การคำนวณหาความต้านทานการอุดตันของตัวกรอง หาได้จากการพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเพอมีเอทฟลักซ์ของตัวกรองหลังการใช้งานกับความดันตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่น ดังแสดงในภาพประกอบ ค-6



ภาพประกอบ ค-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอมีเอทฟลักซ์ของน้ำเปล่าหลังการใช้งานกับค่าความดันตกต่างที่ผิวเยื่อแผ่น

สามารถคำนวณความต้านทานการอุดตันได้จากความสัมพันธ์

$$R_f = \frac{\Delta P}{\mu_w J'_w} - R_m \quad (17)$$

เมื่อ $\frac{\Delta P}{J}$ คือ $\frac{1}{\text{ความชันเส้นกราฟ}}$

ดังนั้น

$$R_f = \frac{1}{\text{ความชันเส้นกราฟ}} \times \frac{1}{\text{ความหนืดของน้ำ}}$$

เมื่อความหนืดของน้ำที่ 28 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 8.36×10^{-4} ปาสคาล·วินาที
ความชันเส้นกราฟ = 4×10^{-7} ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง·ตารางเมตร·ปาสคาล

$$R_f = \left(\frac{1}{4 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{hr} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} \times \frac{1}{8.36 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}} \right) - 0.086 \times 10^{13}$$

ดังนั้น ความต้านทานการอุดตันของตัวกรองเซรามิกมีค่าเท่ากับ 4.52×10^{13} เมตร⁻¹

การคำนวณความต้านทานชั้นเค้ก(R_c)

การคำนวณหาค่าความต้านทานชั้นเค้กของตัวกรองเซรามิค สามารถหาได้จากสมการ ซึ่งค่าความต้านทานรวมเท่ากับ 1.34×10^{13} เมตร⁻¹ ค่าความต้านทานเยื่อแผ่นเท่ากับ 0.0718×10^{13} เมตร⁻¹ และค่าความต้านทานการอุดตันเท่ากับ 1.0×10^{13} เมตร⁻¹

$$R_t = R_m + R_c + R_f$$

$$R_c = 0.067 \times 10^{13} - (0.086 \times 10^{13} + 0.452 \times 10^{13})$$

$$R_c = 0.13 \times 10^{13} \text{ เมตร}^{-1}$$

ดังนั้นความต้านทานรวมของตัวกรองเซรามิคมีค่าเท่ากับ 0.13×10^{13} เมตร⁻¹





ภาคผนวก ง

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
J	เพอมีเอทฟลักซ์ (เมตรต่อวินาทีหรือลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
ΔP	ความดันแตกต่างที่ผิวเมมเบรน (ปาสคาล)
μ	ความหนืดของสารละลาย (ปาสคาลวินาที)
R_m	ความต้านทานของเมมเบรน (เมตร ⁻¹)
R_a	ความต้านทานเนื่องจากการดูดซับของตัวถูกละลาย (เมตร ⁻¹)
R_p	ความต้านทานเนื่องจากการอุดตัน (เมตร ⁻¹)
R_c	ความต้านทานของเค้ก (เมตร ⁻¹)
R_{ass}	ความต้านทานจากการดูดซับบนเยื่อแผ่นที่สภาวะคงที่ (เมตร ⁻¹)
R_{PSS}	ความต้านทานเนื่องจากการเกิดโพลาไรเซชันที่สภาวะคงที่ (เมตร ⁻¹)
t	เวลา (วินาที)
m	น้ำหนักของแบคทีเรีย (กิโลกรัม)
A	พื้นที่การกรอง (ตารางเมตร)
α	ความต้านทานจำเพาะของเค้ก (เมตรต่อกิโลกรัม)
C	ความเข้มข้นของแบคทีเรียในสายรีเทนเทท (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
C_m	ความเข้มข้นของแบคทีเรียที่ผนังเมมเบรน (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
C_o	ความเข้มข้นของแบคทีเรียตอนเริ่มต้น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
D	สัมประสิทธิ์การแพร่ของตัวถูกละลาย (ตารางเมตรต่อวินาที)
δ	ความหนาของเค้ก (เมตร)
J_{SSC}	ความเข้มข้นของฟลักซ์ที่สภาวะคงตัว (เมตรต่อวินาทีหรือลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
V_o	ปริมาตรตอนเริ่มต้น (ลูกบาศก์เมตร)
S	เปอร์เซ็นต์การหดตัว
L_{be}	ความยาวของชั้นงานก่อนเผา (เซนติเมตร)
L_{af}	ความยาวของชั้นงานหลังเผา (เซนติเมตร)
P	เปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นงาน

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

W_1	น้ำหนักแห้งของชิ้นงาน (กรัม)
W_2	น้ำหนักอิมัตว์ด้วยน้ำของชิ้นงาน (กรัม)
W_3	น้ำหนักของชิ้นงานในน้ำ (กรัม)
P_t	ความหนาแน่นแท้จริงของชิ้นงาน(กรัมต่อมิลลิลิตร)
V	ปริมาตรที่แท้จริงของชิ้นงาน (มิลลิลิตร)
ρ_B	ความหนาแน่นมวลของชิ้นงาน (กรัมต่อมิลลิลิตร)
γ	แรงตึงผิวของปรอซึ่งมีค่าเท่ากับ 485.0 ไดน์ต่อเซ็นติเมตร
θ	ความดันที่ดันปรอทเข้าไปในรูพรุน
S	ความแข็งแรงของชิ้นงาน
L	ความยาวชิ้นงาน (เมตร)
D_o	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (เมตร)
D_i	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (เมตร)
ABS_f	ค่าการดูดกลืนแสงของรีเทนเทต
ABS_i	ค่าการดูดกลืนแสงของเพอมีเอทที่เวลาใดๆ
N	การไหลของฟลักซ์ทั้งหมด (Bulk-flow flux) (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรชั่วโมง)
a_v	พื้นที่ผิวจำเพาะของเมมเบรน (ตารางเมตร)
P_o	ความดันบริเวณส่วนต้นของเมมเบรน (นิวตันต่อตารางเมตร)
P_L	ความดันบริเวณส่วนท้ายของเมมเบรน (นิวตันต่อตารางเมตร)
l_m	ความหนาของเมมเบรน (เมตร)
a	พื้นที่ผิวทั้งหมดของรูพรุน (ตารางเมตร)
ε	รูพรุนทั้งหมด
D	ขนาดรูพรุน (เมตร)



ประวัตย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล นางสาวสุมิตรา นาคเครือ
 วันเดือนปีเกิด 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2519
 สถานที่เกิด นครราชสีมา
 สถานที่อยู่ปัจจุบัน 6/1 หมู่ 1 ตำบล ละหานปลาค้าว อำเภอ เมืองยาง
 จังหวัด นครราชสีมา 30270

ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน ครู คศ.1
 สถานที่ทำงานปัจจุบัน โรงเรียนมัธยมวัดศรีจันทร์ประดิษฐ์ 4 หมู่ 2 ถนน สุขุมวิท
 ตำบล บางปูใหม่ อำเภอ เมืองสมุทรปราการ
 จังหวัด สมุทรปราการ 10280

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2534 มัธยมศึกษาตอนต้น
 จากโรงเรียนชุมพวงศึกษา

พ.ศ. 2537 มัธยมศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนชุมพวงศึกษา

พ.ศ. 2541 การศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์-เคมี
 จากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พ.ศ. 2552 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมเคมี
 จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การนำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการ

สุมิตรา นาคเครือ, บัญชา ศิลป์สกุลสุข และ สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, การเตรียมตัวกรองเซรามิกจากดินดำและดินขาว, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 ประจำปี 2548, 29-30 ตุลาคม 2548