

การผลิตแผ่นกรองซีลีกาจากถกอบ



นางสาว ประภาศวี หันชูจวิทยา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


พ.ศ. 2537

ISBN 974-583-490-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I1589C168

FABRICATION OF SILICA-MEMBRANE FROM RICE HUSKS



Miss Prapasri Puntujariya

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science**

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University


1994

ISBN 974-583-490-4


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การผลิตแผ่นกรองชนิดกาจากกถบ
โดย นางสาว ประภาศรี พันธุ์จริธา
ภาควิชา เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร. สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.ดร. ชิตพงษ์ ประดิษฐ์สุวรรณ




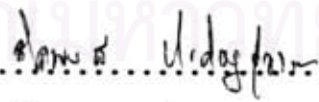
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

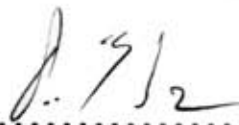

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูชาติ บารมี)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.ชิตพงษ์ ประดิษฐ์สุวรรณ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิศานต์)



ประกาศรี พันธุจริยา : การผลิตแผ่นกรองซิลิกาจากแกลบ
(FABRICATION OF SILICA-MEMBRANE FROM RICE HUSKS)

อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ; อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ.ดร.จิตพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ
101 หน้า. ISBN 974-583-940-4

การผลิตแผ่นกรองซิลิกาจากแกลบโดยการผ่านชั้นตอนดังนี้คือ นำแกลบต้มกับการด ไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร 3 ชั่วโมง จากนั้นผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง ได้ซิลิกาที่เป็นสัณฐานสีขาวถูกนำไปคั่วที่เวลาต่างอัดขึ้นรูปและนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ได้แผ่นกรองซิลิกาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.2-5.3 เซนติเมตร ทหนา 5-6 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นแผ่นที่มีผิวหน้าเนียนเรียบ มีรูพรุนขนาดละเอียดกระจายอยู่ทั่วแผ่น ขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.0-2.4 ไมครอน

จากการศึกษาผลของตัวแปรได้แก่ เวลาที่ใช้ในการบดสาร 15, 30 และ 45 นาที และแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรอง 1, 2 และ 3 เมกกะปาสกาล ตามลำดับ แผ่นกรองที่ผลิตได้มีเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรรูพรุนต่อปริมาตรทั้งหมดอยู่ในช่วง 27-42 เปอร์เซ็นต์ การกระจายขนาดของรูพรุนจากการขยายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 12 ไมครอน และมีความต้านทานการกรองของแผ่นกรองก่อนการใช้งานอยู่ในช่วง $15 \times 10^3 - 50 \times 10^3$ (1/เซนติเมตร)

ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์รูพรุน(%Po)และความต้านทานการกรองของแผ่นกรองก่อนการใช้งาน(R_{m0}) กับขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย(d_p) และแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูป(P) แสดงได้ดังสมการ

$$\%Po = 28.2423 \exp(0.0128 d_p - 0.0618 P) \quad [\text{เปอร์เซ็นต์}]$$

$$R_{m0} = (77.6141 - 3.7522 d_p + 4.5366 P) \times 10^7 \quad [1/\text{เซนติเมตร}]$$

เมื่อ $10.8 < d_p < 17.2$ [ไมครอน] $1 < P < 3$ [เมกกะปาสกาล]

ภาควิชา เคมีเทคนิค
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2537

ลายมือชื่อนิติต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C425640 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD : SILICA-MEMBRANE/FABRICATION/RICE HUSKS

PRAPASRI PUNTUJARIYA : FABRICATION OF SILICA-MEMBRANE FROM RICE HUSKS. THESIS ADVISORS : PROF.SOMSAK DAMRONGLERD,Ph.D.,CHIDPONG PRADITHASUWAN,Ph.D. 101 pp. ISBN 974-583-490-4

Fabrication of Silica-Membrane from rice husks was achieved in the following steps: boiling with 1 molar HCL for 3 h., incimneration at 600°C 6 h. White particle of high silica was the product after combustion, milling and pressing in the pellet form, sintring at 1200°C, 3h. The Silica-Membrane, 5.2-5.3 cm. in diameter and 5-6 mm. in thickness, with fine porosity having average pore size about 1.0-2.4 micron were performed.

The study of the parameters were milling time 15, 30, and 45 min. and pressing pressure 1×10^6 , 2×10^6 and 3×10^6 Pa respectively. The porosity of Silica-Membrane were about 27-42%. From Scanning Electron Microscope (SEM), mean pore size of menbrane was less than 12 micron and the resistance of filtration before use was about 15×10^3 to $50 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$.

The correlation of Porosity(%Po), resistance of filtration before use(R_{m0}),Average particle size of silica(d_p),and Pressing pressure(P) were

$$\begin{aligned} \%Po &= 28.2423 \exp(0.0128 d_p - 0.0618P) \quad [\%] \\ R_{m0} &= 77.6141 - 3.7522 d_p + 4.5366 P) \times 10^7 \quad [\text{cm}^{-1}] \end{aligned}$$

$$10.8 < d_p < 17.2 \quad [\text{micron}] \quad \text{and} \quad 1 < P < 3 \quad [\text{MPa}]$$

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค
สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา..... 2537

ลายมือชื่อนิสิต..... ประเวศร์ พิทยาธิยา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จล่วงไปด้วยดี ต้องขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ, อาจารย์ ดร. ชิตพงษ์ ประดิษฐสุวรรณ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือการวิจัยเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ชูชาติ บารมี, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชราพงษ์ วิกิจสานต์ และอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ช่วยชี้แนะให้งานวิจัยนี้สำเร็จล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณอุไรวรรณ ลีลาอดิศร ที่ให้คำแนะนำ ขอขอบคุณ คุณสังข์ ชมชื่น และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่ช่วยเหลือด้านเครื่องมือและการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมีเทคนิค และบัณฑิตวิทยาลัย ที่สนับสนุนด้านเงินทุนในงานวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิค และภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่านที่เป็นกำลังใจ สนับสนุน และช่วยเหลือให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จรวดเร็วยิ่งขึ้น

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจ และสนับสนุนการทำวิจัยนี้มาโดยตลอด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
สัญลักษณ์.....	ณ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 ^{๕๐๕๖๒๕๑} <u>แกลบข้าว</u>	3
2.2 <u>ชิลิกา</u>	4
2.2.1 <u>ประเภทของชิลิกา</u>	4
2.2.2 <u>การสังเคราะห์หรือสังเคราะห์ชิลิกาในทางการค้า</u>	6
2.2.3 <u>การนำชิลิกามาใช้ในงานอุตสาหกรรม</u>	7
2.3 <u>กระบวนการแยกสารโดยใช้การกรอง</u>	7
2.3.1 <u>ความหมายการกรอง</u>	7
2.3.2 <u>ประเภทของการกรอง</u>	8
2.3.3 <u>ลักษณะโดยทั่วไปของอนุภาคของแข็งและของเหลว</u>	9
2.3.4 <u>ชนิดของการกรอง</u>	13
2.3.5 <u>ทฤษฎีการกรอง</u>	15
2.3.6 <u>ตัวกลางกรอง</u>	17
2.4 <u>งานวิจัยในอดีต</u>	26

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	31
3.1 บทนำ.....	31
3.2 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	31
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ.....	31
3.2.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นกรอง.....	33
3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์แผ่นกรอง.....	36
4. ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	41
4.1 วัตถุดิบ.....	41
4.2 การผลิตแผ่นกรองซีลีกา.....	42
4.2.1 การกระจายตัวของอนุภาคซีลีกา.....	42
4.2.2 ลักษณะแผ่นกรองซีลีกา.....	45
4.3 การวิเคราะห์แผ่นกรอง.....	45
4.3.1 คุณสมบัติของแผ่นกรองซีลีกาก่อนใช้งาน.....	45
4.3.1.1 โครงสร้างของแผ่นกรอง.....	45
4.3.1.2 การกระจายขนาดรูพรุนของแผ่นกรอง.....	55
4.3.1.3 เปรอร์เซ็นต์รูพรุนของแผ่นกรอง.....	57
4.3.1.4 ความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง.....	60
4.3.2 คุณสมบัติของแผ่นกรองหลังการใช้งาน.....	63
4.3.2.1 ประสิทธิภาพการกรอง.....	63
4.3.2.2 ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองเมื่อใช้งานซ้ำ.....	68
4.3.3 การกำจัดอนุภาคที่ตกค้างภายในแผ่นกรอง.....	71
5. สรุปและข้อเสนอแนะ.....	73
รายการอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก.....	78
ประวัติผู้เขียน.....	101

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของแกลบ..... 3
2.2	องค์ประกอบทางเคมีของแกลบ..... 4
2.3	วิธีที่ใช้ในการหาขนาดของอนุภาคของแข็ง..... 12
2.4	ขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคของแข็งบางชนิด..... 13
2.5	ชนิดของตัวกลางกรองแบ่งตามความแข็งของวัสดุกรอง..... 18
2.6	คุณสมบัติของตัวกลางกรองเซรามิกส์ของบริษัทเมเจอร์ฟิลเตอร์ จำกัด.... 20
2.7	สัดส่วนช่องว่างของตัวกลางกรองชนิดต่าง ๆ..... 25
4.1	การกระจายตัวของซิลิกาที่ได้จากการบดโดยหม้อบดที่เวลาต่าง ๆ..... 43
4.2	ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของซิลิกาที่ได้จากการบดในเวลาต่าง ๆ..... 44
4.3	เปอร์เซ็นต์การกระจายขนาดรูพรุนของแผ่นกรองในช่วงขนาดรูพรุนต่าง ๆ... 55
4.4	ขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยของแผ่นกรองซิลิกาได้จากเครื่องวัดขนาดรูพรุน..... 57
4.5	สัดส่วนรูพรุนของแผ่นกรองซิลิกา..... 59
4.6	ค่า r^2 ของความสัมพันธ์สมการเส้นถดถอยระหว่างสัดส่วนรูพรุน กับขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยและแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรอง..... 60
4.7	ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองซิลิกาก่อนใช้งาน..... 61
4.8	ค่า r^2 ของความสัมพันธ์สมการเส้นถดถอยระหว่างความต้านทานการกรองก่อนใช้งาน กับขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยและแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูป..... 62
4.9	ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองซิลิกาที่ผ่านการใช้งาน เปรียบเทียบกับความต้านทานการกรองของแผ่นกรองซิลิกาก่อนการใช้งาน..... 69
4.10	ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองซิลิกาที่ผ่านการเผาหลังการใช้งาน เปรียบเทียบกับ ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองก่อนการใช้งาน..... 72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.1 ข้อมูลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของซิลิกา.....	79
ข.1 ข้อมูลและการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์รุกรุนของแผ่นกรองซิลิกา.....	82
ค.1 ผลที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรมโลตัส(เปอร์เซ็นต์รุกรุน).....	85
ค.2 ค่า F ที่ได้จากการคำนวณ(เปอร์เซ็นต์รุกรุน).....	87
ค.3 ค่า F ที่ได้จากการเปิดตารางที่ความเชื่อมั่นระดับต่างๆ.....	87
ง.1 ข้อมูลการทดลองหาค่าความต้านทานการกรองของแผ่นกรองก่อนการใช้งาน.	89
ง.2 ข้อมูลการทดลองหาค่าความต้านทานการกรองของแผ่นกรองหลังการใช้งาน การกรองครั้งที่1,2,3 และ หลังการเผาไล่สิ่งอุดตัน.....	90
จ.1 ผลที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรมโลตัส(ความต้านทานการกรอง).....	93
จ.2 ค่า F ที่ได้จากการคำนวณ(ความต้านทานการกรอง).....	95
จ.3 ค่า F ที่ได้จากการเปิดตารางที่ความเชื่อมั่นระดับต่างๆ.....	95
ฉ.1 ค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ในการทดลองกรองโดยใช้ แผ่นกรองที่ใช้ขนาดอนุภาค 17.2 ไมครอน และชั้นรูปโดยใช้แรงอัด 1 เมกกะปาสคาล.....	96
ฉ.2 ค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ในการทดลองกรองโดยใช้ แผ่นกรองที่ใช้ขนาดอนุภาค 17.2 ไมครอน และชั้นรูปโดยใช้แรงอัด 2 เมกกะปาสคาล.....	97
ฉ.3 ค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ในการทดลองกรองโดยใช้ แผ่นกรองที่ใช้ขนาดอนุภาค 17.2 ไมครอน และชั้นรูปโดยใช้แรงอัด 3 เมกกะปาสคาล.....	98
ฉ.4 ค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ในการทดลองกรองโดยใช้ แผ่นกรองที่ใช้ขนาดอนุภาค 14.7 ไมครอน และชั้นรูปโดยใช้แรงอัด 2 เมกกะปาสคาล	99

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ.5	
ค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ในการทดลองกรองโดยใช้ แผ่นกรองที่ใช้ขนาดอนุภาค 10.8 ไมครอน และชั้นรูปโดยใช้แรงอัด 2 เมกกะปาสคาล.....	100



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	แผนภาพแสดงกระบวนการกรองโดยทั่วไป..... 8
2.2	การกรองแบบเกิดเค้ก..... 8
2.3	การกรองแบบเบดลึก..... 9
2.4	ขนาดอนุภาคของแข็งแขวนลอยและวิธีที่ใช้ในการหาขนาดของอนุภาคของแข็ง... 11
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้ในการกรองและอัตราเร็วในการกรองกับ เวลา..... 14
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคกับประสิทธิภาพในการกรองของ ผ้าสักหลาดและตะแกรงลวด..... 22
2.7	การเปรียบเทียบอัตราเร็วในการกรองน้ำมัน ที่มีความหนืด 20 เซนติสโตก ของตัวกลางกรองที่ทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ..... 23
2.8	สัดส่วนรูพรุนของแผ่นอัดซิลิกาที่ผ่านการซินเทอร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ..... 27
2.9	แผ่นกรองที่มีการจัดเรียงตัวของอนุภาค..... 28
2.10	ลักษณะรูพรุนของแผ่นกรองที่ได้จากกระบวนการโพล-เจล..... 29
3.1	การต้มแกลด้วยกรดไฮโดรคลอริกโดยการรีฟลักซ์..... 32
3.2	เครื่องอัดไฮโดรลิก..... 34
3.3	สัดส่วนของเครื่องอัดไฮโดรลิก..... 35
3.4	แผนผังการทำงานของเครื่องกรอง..... 37
3.5	รูปการทำงานของเครื่องกรอง..... 38
3.6	เครื่องกรองทองเหลือง..... 38
3.7	สัดส่วนของเครื่องกรองทองเหลือง..... 39

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1	41
4.2	42
4.3	42
4.4	44
4.5	45
4.6	46
4.7	47
4.8	48
4.9	49
4.10	50
4.11	51
4.12	52
4.13	53
4.14	54

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์รูปทรงที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ...	59
4.16 เปรียบเทียบค่าความต้านทานการกรองที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ.....	62
4.17 ค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ ของแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งาน ครั้งต่างๆ (แผ่นกรองมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 17.2 ไมครอน ชั้นรูปโดย ใช้แรงอัด 1 เมกกะปาสคาล).....	63
4.18 ค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ ของแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งาน ครั้งต่างๆ (แผ่นกรองมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 17.2 ไมครอน ชั้นรูปโดย ใช้แรงอัด 2 เมกกะปาสคาล).....	64
4.19 ค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ ของแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งาน ครั้งต่างๆ (แผ่นกรองมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 17.2 ไมครอน ชั้นรูปโดย ใช้แรงอัด 3 เมกกะปาสคาล).....	64
4.20 ค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ ของแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งาน ครั้งต่างๆ (แผ่นกรองมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 14.7 ไมครอน ชั้นรูปโดย ใช้แรงอัด 2 เมกกะปาสคาล).....	65
4.21 ค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ ของแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งาน ครั้งต่างๆ (แผ่นกรองมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 10.8 ไมครอน ชั้นรูปโดย ใช้แรงอัด 2 เมกกะปาสคาล).....	65
4.22 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ในช่วงแรกของ การกรองครั้งต่างๆ โดยใช้แผ่นกรองที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยต่างกัน แต่ชั้นรูปโดยใช้แรงอัดเท่ากัน.....	67
4.23 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ในช่วงแรกของ การกรองครั้งต่างๆ โดยใช้แผ่นกรองที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเท่ากัน แต่ชั้นรูปโดยใช้แรงอัดต่างกัน.....	67

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการกรองหลังการใช้งานของแผ่นกรอง ที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเท่ากัน แต่ชั้นรูโพรใช้แรงอัดต่างกัน.....	70
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการกรองหลังการใช้งานของแผ่นกรอง ที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยต่างกัน แต่ชั้นรูโพรใช้แรงอัดเท่ากัน.....	70
ค.1 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์รูพรุนที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ...	85
ค.2 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์รูพรุนที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ...	86
จ.1 เปรียบเทียบค่าความต้านทานการกรองที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการคำนวณ.....	93
จ.2 เปรียบเทียบค่าความต้านทานการกรองที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการคำนวณ.....	94

สัญลักษณ์

A	พื้นที่การกรอง [ตารางเมตร]
d_p	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย [ไมครอน]
FW	น้ำหนักของแผ่นกรอง [กรัม]
m	มวลของเด็กเปียกต่อมวลของสารแขวนลอย [-]
M_1	น้ำหนักขวดไพโรมิเตอร์และจุกปิด [กรัม]
M_2	น้ำหนักขวดไพโรมิเตอร์และน้ำกลั่น [กรัม]
M_3	น้ำหนักขวดไพโรมิเตอร์และซิลิกา [กรัม]
M_4	น้ำหนักขวดไพโรมิเตอร์ ซิลิกา และน้ำกลั่น [กรัม]
n	ลำดับครั้งที่ใช้งานแผ่นกรอง
P	แรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรอง [เมกกะปาสคาล]
PV	ปริมาตรช่องว่างระหว่างอนุภาคภายในแผ่นกรอง [ลูกบาศก์เซนติเมตร]
ΔP	ความดันตกที่สูญเสียไปกับเด็กและตัวกลางกรอง [ปาสคาล]
χ_{Po}	เปอร์เซ็นต์รูพรุน [เปอร์เซ็นต์]
q	อัตราเร็วในการกรอง [เมตร/วินาที]
R_c	ความต้านทานการกรองของเด็ก [เมตร ⁻¹]
R_m	ความต้านทานการกรองของตัวกลางกรอง [เมตร ⁻¹]
R_{m0}	ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองก่อนการใช้งาน [เซนติเมตร ⁻¹]
R_{m1}	ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งานครั้งแรก [เซนติเมตร ⁻¹]
R_{m2}	ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งานครั้งที่สอง [เซนติเมตร ⁻¹]
R_{m3}	ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งานครั้งที่สาม [เซนติเมตร ⁻¹]
S	มวลของแข็งต่อมวลของสารแขวนลอย [-]
TV	ปริมาตรทั้งหมดของแผ่นกรอง [ลูกบาศก์เซนติเมตร]

สัญลักษณ์ (ต่อ)

V	ปริมาตรของช่องเหลวที่ได้จากการกรองต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่การกรอง [ลูกบาศก์เมตร/ตารางเมตร]
W	มวลของแข็งที่อยู่ในเค้ก [กิโลกรัม]
w	มวลของแข็งที่อยู่ในเค้กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่การกรอง [กิโลกรัม/ตารางเมตร]
w_m	มวลสัมพัทธ์ของของแข็งในเค้กที่มีค่าเทียบเท่ากับ ความต้านทานของตัวกลางกรอง [กิโลกรัม/ตารางเมตร]
O	เวลาที่ใช้ในการกรอง [วินาที]
α	ค่าเฉลี่ยความต้านทานการกรองจำเพาะ [เมตร/กิโลกรัม]
μ	ความหนืดของช่องเหลว [ปาสคาล-วินาที]
ϕ	เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นกรอง [เซนติเมตร]
χ	ความหนาเฉลี่ยของแผ่นกรอง [มิลลิเมตร]
ρ	ความหนาแน่นของช่องเหลวที่ได้จากการกรอง [กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



บทที่ 1

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมประเทศหนึ่ง มีผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญคือ ข้าว เมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการขัดสีแล้วจะได้ส่วนที่เป็นข้าวสาร และส่วนที่เป็นเปลือกข้าวหรือแกลบซึ่งเป็นผลพลอยได้ แกลบเมื่อนำมาเผาแล้วจะเหลือส่วนที่เป็นเถ้ามีซิลิกาอยู่สูงถึง 87-99 เปอร์เซ็นต์ (Shama, 1984) เนื่องจากประเทศไทยมีการส่งออกข้าวในปริมาณสูง ดังนั้น แกลบที่ได้จึงมีจำนวนมาก แกลบส่วนหนึ่งนั้นนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต้นกำเนิดพลังงาน ใช้ในอุตสาหกรรมทำอิฐ ปูน และอื่นๆ อย่างไรก็ตามยังมีปริมาณแกลบเหลือใช้อีกจำนวนมาก มีการนำแกลบมาสกัดซิลิกาได้เป็นผลสำเร็จ โดยซิลิกาที่ได้มีความบริสุทธิ์ 98 ± 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (พงษ์ศักดิ์ พองเพชร, 1992) ถึง 99.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (อุไรวรรณ ลีลาอดิศร, 1992) จากการใช้งานด้านการกรองพบว่า แผ่นกรองบางประเภทใช้ซิลิกาเป็นองค์ประกอบของตัวกลางกรอง (medium) (Purchas, 1971)

การกรองจัดเป็นกระบวนการแยกของแข็ง-ของเหลว ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรมหลายแขนง เช่น อุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม หรืออุตสาหกรรมทางด้านเคมีภัณฑ์ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากการกรองเป็นวิธีการแยกสารที่สะดวก ควบคุมง่ายและประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ดังนั้น การกรองจึงถูกนำไปประยุกต์ใช้กับสภาวะที่ต้องการความละเอียดและประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นกว่าเดิม (Fane, 1987) ทำให้วิธีการกรองและตัวกลางกรองจำเป็นต้องพัฒนาเพื่อสนองความต้องการนั้น ๆ แต่ในการใช้งานพบว่าค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ จะเสียไปกับตัวกลางกรองซึ่งมีอายุการใช้งานสั้น สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากเกิดการอุดตันภายในรูพรุนของตัวกลางกรอง

นอกจากนี้ วัสดุที่เป็นองค์ประกอบของตัวกลางกรองยังมีข้อจำกัดในด้านต่าง ๆ เช่น ตัวกลางกรองที่ทำจากโพลีเมอร์ ไม่สามารถใช้งานได้ ในสภาพที่เป็นกรดหรือด่าง รวมทั้งไม่

สามารถใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิสูง ส่วนตัวกลางกรองที่ทำจากโลหะมีปัญหาเรื่องการกัดกร่อน (corrosion) หรือเกิดสนิม ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการใช้งานการกรอง (Fane, 1987)

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำซิลิกาจากแกลบมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกรอง โดยศึกษาผลของตัวแปร คือ เวลาที่ใช้ในการบดซิลิกา และแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรองซิลิกา ที่มีต่อสัดส่วนรูพรุนภายในแผ่นกรอง และความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง เนื่องจากซิลิกาจัดเป็นองค์ประกอบหลักในผลิตภัณฑ์ทางเซรามิกส์ ซึ่งสามารถใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิสูงและทนต่อสภาพที่เป็นกรดต่าง (Iler, 1979) ทำให้แผ่นกรองซิลิกาที่ผลิตได้สามารถนำมาผ่านขั้นตอนต่างๆ เพื่อกำจัดอนุภาคที่อุดตันภายในรูพรุนได้สมบูรณ์กว่าแผ่นกรองที่ทำจากวัสดุอื่นๆ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยที่ประสิทธิภาพในการกรองไม่ลดลง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วารสารปริทัศน์

2.1 แกลบข้าว

แกลบเป็นของเหลือทิ้งทางเกษตรกรรมที่ได้เป็นจำนวนมากจากการปลูกข้าวในประเทศ ส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ทำปุ๋ย และใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ ที่เหลือจะถูกนำไปใช้ในการถลุงและส่งออกปศุสัตว์ต่างประเทศในรูปของเถ้าแกลบค้ำซึ่งมีองค์ประกอบเป็นซิลิกาและคาร์บอน (สุลภากร, 2530) องค์ประกอบต่างๆ ในแกลบข้าวขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของดินในพื้นที่ที่ทำการเพาะปลูก และปุ๋ยที่ใส่ลงในดิน (Iler, 1979) จากการสุ่มตัวอย่างแกลบข้าวนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ผลที่ได้แสดงดังตารางข้างล่าง

ตารางที่ 2.1 สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของแกลบ (Hunt, Dismukes และ Amick, 1984)

องค์ประกอบ	น้ำหนัก (%)
เถ้า	13 - 29
เซลลูโลส	34 - 44
ลิกนิน	19 - 47
น้ำตาล *)	17 - 26

*) D-xylose, L-arabinose, methylglucuronic acid, D-galactose

เมื่อนำเข้ามาวิเคราะห์ ผลที่ได้แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ (Cook,1985)

องค์ประกอบ	น้ำหนัก (%)
SiO_2	93.1
K_2O	2.3
MgO	0.5
Al_2O_3	0.4
CaO	0.4
Fe_2O_3	0.2
Na_2O	0.1

จากตารางที่ 2.2 พบว่า สารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในเถ้าสูงที่สุดคือ ซิลิกา นอกจากนี้ยังมีสารประกอบพวกอัลคาไลเอิร์ทและเหล็ก ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของดินและปุ๋ยที่ใส่ลงในดิน

2.2 ซิลิกา (Silica)

2.2.1 ประเภทของซิลิกา

ซิลิกา เป็นสารประกอบที่พบมากมาบนพื้นโลก มีสูตรโมเลกุลอย่างง่ายคือ SiO_2 มีทั้งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และจากการสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อให้มีคุณสมบัติเฉพาะตามต้องการ โดยทั่วไปซิลิกาที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมี 2 ประเภท คือ

2.2.1.1 ซิลิการูปผลึก (crystalline silica)

ซิลิการูปผลึกมีโครงสร้างผลึกได้หลายรูปแบบ โครงสร้างหลักที่ความดันปกติ (atmospheric pressure) มี 3 แบบ คือ ควอทซ์ (quartz), ไตริดิเมท (tridymite)

และคริสโตบาไลต์(cristobalite) การเปลี่ยนรูปโครงสร้างผลึกระหว่างโครงสร้างต่างๆ แสดงได้ดังนี้ คือ

ควอตซ์ $\rightleftharpoons 870^{\circ}\text{C} \rightleftharpoons$ ไตรคิไมท์ $\rightleftharpoons 1470^{\circ}\text{C} \rightleftharpoons$ คริสโตบาไลต์ $\rightleftharpoons 1723^{\circ}\text{C} \rightleftharpoons$ หลอมเหลว

2.2.1.2 ซิลิกาอสัณฐาน (amorphous silica)

ซิลิกาอสัณฐานแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

ก. วitreous silica (vitreous silica)

วitreous silica เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ซิลิกาแก้ว (silica glass) มีลักษณะแข็ง ไม่มีรูพรุน เกิดจากการแข็งตัวของซิลิการูปผลึกที่หลอมเหลว มีค่าการขยายตัวทางความร้อนต่ำมาก

ข. silica gel (silica gel)

ซิลิกาเจลมีลักษณะแข็ง มีรูพรุนสูง โครงสร้างรูพรุนแบบเปิด (open microporosity) แบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ

- aqueous gels (aqueous gels) เกิดจากสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวกลาง (aqueous solution)

- alcoxy gels (alcoxy gels) เกิดจากสารประกอบอัลคอกซี-ไซเลน (alcoxy-silanes)

- xerogels (xerogels) มีลักษณะแห้ง โดยการดึงตัวกลางของอะควาเจลหรือซีโรเจลที่เป็นของเหลวออก ลักษณะโครงสร้างเดิมจะเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับกระบวนการทำให้แห้ง

- aerogels (aerogels) มีลักษณะแห้ง โดยการแทนที่ตัวกลางของอะควาเจลหรือซีโรเจลที่เป็นของเหลวด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงสูงกว่าจุดวิกฤต (supercritical range) ลักษณะโครงสร้างขึ้นอยู่กับกระบวนการทำให้แห้ง

ค. silica powders (silica powders)

ซิลิกาผงมีการฝังกระจายของอนุภาคสูง โครงสร้างมีขนาดเล็กมาก หรือไม่มีโครงสร้าง แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

:- ผงอะควาจีนิน (aquagenic powders) เกิดจากการ

ตกตะกอนของอะควาเจล

:- ผงไพโรจีนิน (pyrogenic powders) เกิดจากการระเหยของซิลิกาโคสที่ใช้เปลวไฟในสภาวะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน และทำให้ไอซิลิกาเกิดการควบแน่นภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อย

:- ผงไบโอจีนิน (biogenic powders) เป็นประเภทของอะควาจีนินชนิดพิเศษประเภทหนึ่งที่พบในโครงสร้างของพืช และอยู่ในโครงสร้างของตัวไดอะตอม (diatom) ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กชนิดหนึ่ง

ซิลิกาทั้ง 2 ประเภทคือ ซิลิกาอนุภาคและซิลิกาอสัณฐาน นี้ ถึงแม้ว่าจะมีสูตรทางเคมีเหมือนกัน แต่มีสมบัติหลายอย่างที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากมีโครงสร้างแตกต่างกัน ทำให้สมบัติต่างๆ เช่น ความหนาแน่น (density) ความแข็ง (rigidity) และ ความว่องไวต่อปฏิกิริยา (reactivity) ไม่เหมือนกัน

2.2.2 การสังเคราะห์ซิลิกาอสัณฐานในทางการค้า

เนื่องจากความต้องการซิลิกาอสัณฐานที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวบางประการ ในการใช้งานทางอุตสาหกรรม ไม่สามารถพบได้ในซิลิกาที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น ต้องการซิลิกาอสัณฐานที่มีความบริสุทธิ์สูงและมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงในเวลาเดียวกัน หรือต้องการซิลิกาอสัณฐานที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงมาก (มากกว่า 50 ตารางเมตรต่อกรัม) จึงจำเป็นต้องมีการสังเคราะห์ซิลิกาอสัณฐานขึ้นมาเพื่อใช้ในทางอุตสาหกรรม การสังเคราะห์ซิลิกาอสัณฐานด้วยกระบวนการที่แตกต่างกันไป จะทำให้ซิลิกาอสัณฐานที่ได้มีสมบัติเพื่อการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ซิลิกาอสัณฐานชนิดสังเคราะห์ในทางการค้า แบ่งออกได้ดังนี้

2.2.2.1. นรีซินิเตค ซิลิกา (precipitated silica)

ซิลิกาอสัณฐานสังเคราะห์ชนิดนี้ มีความบริสุทธิ์ของซิลิกาประมาณ 96.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อยู่ในรูปของการรวมตัวเป็นก้อนทรงกลม (globular agglomeration)

2.2.2.2. ไพโรเจล เอ (pyrogel A)

ซิลิกาอสัณฐานสังเคราะห์ชนิดนี้ มีความบริสุทธิ์ของซิลิกามากกว่า 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อยู่ในรูปของการรวมตัวกันเป็นแบบแฟร็กทัล (fractal agglomeration)

2.2.2.3. ไพโรเจล บี (pyrogel B)

ซิลิกาอสัณฐานสังเคราะห์ชนิดนี้ มีความบริสุทธิ์ของซิลิกาใกล้เคียงกับทราย คือมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อยู่ในรูปลักษณะเป็นหยด

2.2.3. การนำซิลิกาอสัณฐานมาใช้ในงานอุตสาหกรรม

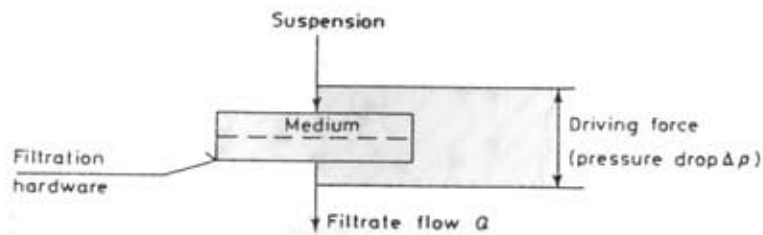
ในทางอุตสาหกรรมมีการนำซิลิกาอสัณฐานมาใช้งานกันมาก ได้แก่

- ก. เป็นสารเพิ่มความแข็งแรง (reinforcement) แก่สารอื่น เช่น ยางพลาสติก และโพลีเมอร์
- ข. เป็นสารที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติเกี่ยวกับแรงเสียดทาน (frictional properties) ของสารประเภทไฟเบอร์ และไข (waxes)
- ค. เป็นสารเพิ่มแรงยึดในกาวบางชนิด
- ง. เป็นสารเพิ่มความหนืด (viscosity agents) และปรับปรุงคุณสมบัติด้านการไหล (thixotropy) ในของเหลว เช่น จารบี สี หมึก ฆา และเครื่องสำอางค์
- จ. เป็นสารเพิ่มความเงา (optical effect)
- ฉ. เป็นสารช่วยปรับคุณสมบัติของพื้นผิวต่างๆ เช่น ช่วยให้เกิดการผสมของน้ำกับน้ำมันอย่างดี ป้องกันการเกิดโฟม และปรับสภาพพื้นผิวของสารให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ เป็นต้น
- ช. เป็นสารดูดความชื้น (adsorbents)

2.3 กระบวนการแยกสารโดยใช้การกรอง

2.3.1 ความหมายการกรอง

การกรอง (filtration) หมายถึง กระบวนการแยกของแข็งที่อยู่ในของไหลออกจากของไหลนั้น โดยการให้ของไหลนั้นไหลผ่านตัวกลางกรอง (medium) ของแข็งต่างๆจะถูกดักไว้บนผิวหน้าหรือภายในตัวกลางกรอง ส่วนของไหลจะไหลผ่านตัวกลางกรองไปได้ เรียกของไหลที่ผ่านตัวกลางกรองไปได้ว่า ฟิลเตรต (filtrate) ของไหลหมายถึง ของเหลวหรือก๊าซ เช่น น้ำ, อากาศ เป็นต้น การกรองผ่านตัวกลางกรองอาจให้ไหลผ่านเองช้าๆ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงโลกหรือใช้ความดันช่วย กระบวนการกรองแสดงดังรูปที่ 2.1



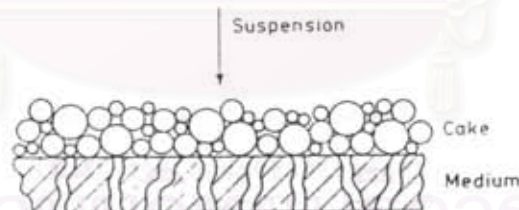
รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงกระบวนการกรองโดยทั่วไป (Cheremisinoff และ Azbel, 1983)

2.3.2 ประเภทของการกรอง

กระบวนการกรองสามารถแบ่งอย่างกว้าง ๆ ได้ 2 ประเภท คือ

2.3.2.1. การกรองแบบเกิดเค้ก (cake filtration)

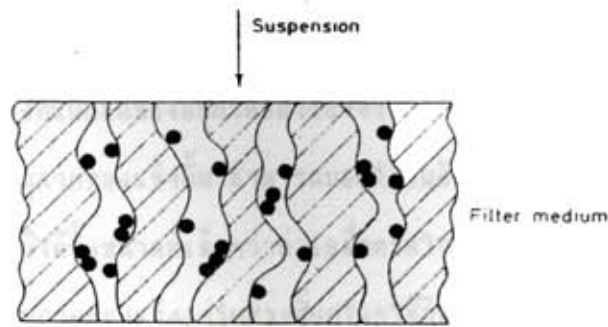
กระบวนการกรองแบบเกิดเค้ก เป็นกระบวนการที่อนุภาคของแข็งในสารแขวนลอย จะถูกกั้นและหยุดที่ผิวหน้าของตัวกลางกรอง โดยจะก่อตัวเป็นชั้นอนุภาคของแข็งชั้นเรียกว่าเค้ก (cake) ในขณะที่ของไหลสามารถไหลผ่านตัวกลางกรองออกไปได้ ลักษณะการกรองดังกล่าวแสดงได้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการกรองแบบเกิดเค้ก (Cheremisinoff และ Azbel, 1983)

2.3.2.2 การกรองแบบเบดลึก (deep bed filtration)

กระบวนการกรองแบบเบดลึก เป็นกระบวนการกรองที่อนุภาคของแข็งในสารแขวนลอยจะถูกดักไว้ในช่องว่างระหว่างของแข็งที่เป็นตัวกลาง ซึ่งจะทำให้ไม่มีเค้กเกิดขึ้นบนผิวหน้าของตัวกลางกรอง ในขณะที่ของไหลสามารถไหลผ่านตัวกลางกรองออกไปได้ ลักษณะการกรองดังกล่าวแสดงได้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการกรองแบบเบดเล็ก (Chermisinoff และ Azbel, 1983)

ในการกรองหลายๆกรณี การก่อดั้วของเล็กในกระบวนการกรองแบบเบดเล็กจะเกิดขึ้นเป็นขั้นต้นต่อเนื่องจากกระบวนการกรองแบบเบดเล็ก กรณีที่สารแขวนลอยมีความเข้มข้นน้อยมากๆ ทำให้เวลาในช่วงแรก อนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กอาจจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ภายในตัวกลางกรอง ก่อนที่จะเกิดการก่อดั้วของอนุภาคของแข็งที่มีขนาดใหญ่เป็นขั้นต้นบนแผ่นกรอง โดยทั่วไปแล้ว การกรองแบบเบดเล็กจะใช้ในการแยกสิ่งแปลกปลอมที่มีปริมาณน้อยเท่านั้น ส่วนการกรองแบบเบดเล็กจะใช้ในกรณีที่สารแขวนลอยมีความเข้มข้นสูง ทั้งกระบวนการกรองแบบเบดเล็กและกระบวนการกรองแบบเบดเล็กมีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป โดยจะนำกระบวนการทั้งสองมาใช้ร่วมกันอยู่เสมอ (Fane, 1987)

2.3.3 ลักษณะโดยทั่วไปของอนุภาคของแข็งและของเหลว

การเลือกระบบการกรองเพื่อแยกของแข็งออกจากของเหลว ต้องคำนึงถึงลักษณะของของเหลวและของแข็งที่ต้องการแยก ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของระบบที่เหมาะสม

2.3.2.1 ลักษณะของอนุภาค

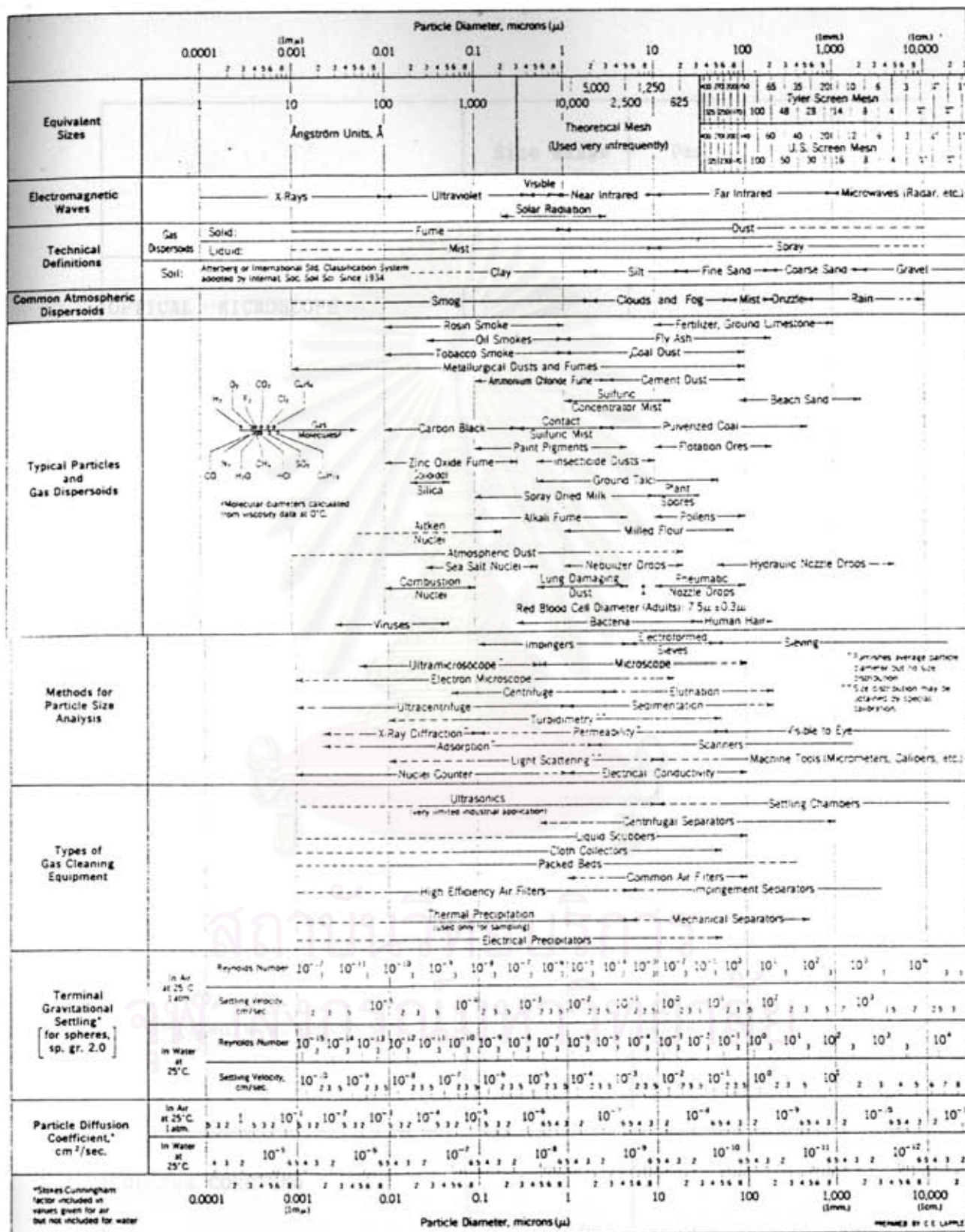
ลักษณะที่สำคัญของของแข็งมี 3 ประการ คือ รูปร่างของอนุภาค ขนาดของอนุภาค และความหนาแน่นของอนุภาค

โดยทั่วไปนั้นรูปร่างของหุศของเหลวจะมีลักษณะเป็นทรงกลม ทั้งนี้เนื่องมาจากแรงดึงดูดของของเหลว ดังนั้นของเหลวจึงมักมีรูปร่างที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกัน ในทางตรงกันข้ามของแข็งต่างกับของเหลวโดยสิ้นเชิง ของแข็งจะไม่มีควมสม่ำเสมอในเรื่องรูปร่างเหมือนของเหลว แม้ว่าของแข็งจะมีรูปผลึกซึ่งมีรูปร่างที่แน่นอนแต่การเกิดผลึกนั้นจะเกิดผสมกันระหว่าง

รูปผลึกแบบต่างๆ รวมทั้งเกิดการกระทบเสียดสีกัน ทำให้อนุภาคของแข็งมีรูปร่างและขนาดแตกต่างกัน การระบุรูปร่างที่แน่นอนของอนุภาคของแข็งจึงเป็นเรื่องยาก (Purchas, 1971) สำหรับการระบุขนาดของอนุภาคของแข็งนั้น สามารถบอกได้ในลักษณะของค่าเฉลี่ย ซึ่งขนาดที่แท้จริงของอนุภาคของแข็งนั้นมีได้ทั้งขนาดเล็กกว่าค่าเฉลี่ยหรือใหญ่กว่าค่าเฉลี่ย ในการใช้งานนั้นส่วนใหญ่จะแยกขนาดของอนุภาคของแข็งอยู่ในช่วงสั้นๆ โดยใช้วิธีการต่างๆ เช่น ใช้ตะแกรงร่อนขนาด (U.S. Sieve), การตรวจดูจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน, การคำนวณจากพื้นที่ผิว หรือจากอัตราการตกตะกอน ทั้งนี้ความเหมาะสมของวิธีการต่างๆ นั้นขึ้นกับช่วงขนาดของอนุภาคของแข็งที่ต้องการแยก (ปรีดา นิมิต์ชาวข้า, 2532) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และตารางที่ 2.3 แสดงถึงวิธีที่ใช้ในการหาขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคของแข็ง นอกจากนี้วิธีต่างๆข้างต้นการหาขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคของแข็งอาจได้จากข้อมูลที่ผ่านมา ดังแสดงในตารางที่ 2.4 แสดงถึงขนาดโดยทั่วไปของอนุภาคของแข็งบางชนิด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 แสดงขนาดของอนุภาคของแข็งแขวนลอยและวิธีที่ใช้ในการหาขนาดของอนุภาคของแข็ง (Purchas, 1971)

ตารางที่ 2.3 แสดงวิธีที่ใช้ในการหาขนาดของอนุภาคของแข็ง (Purchas, 1971)

Particle	Size Range (μm)	Parameter Measured
OPTICAL MICROSCOPE Filar Scale Globe and Circle Graticule Image Shearing Device Automatic Counters	0.8 - 150	Linear or projected Diameters against numbers of particles
SIEVES Wire Sieves Electroformed Sieves	0.4 -> 5 - 40	Sieve diameter against weight or minimum diameter against number
SEDIMENTATION METHODS Pipette Methods Balances and Cumulative Photosedimentometer	5 - 80	Stoke's diameter against weight Stoke's diameter against projected area
COULTER COUNTING	0.3 - 300	volume against number of particles

ตารางที่ 2.4 แสดงขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคของแข็งบางชนิด (Chermisinoff, 1983)

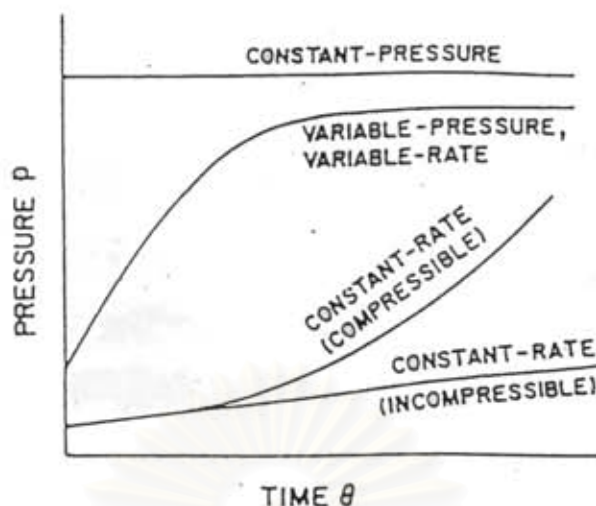
Particle	Dimension (μm)
Yeasts, Fungi	1-10
Bacteria	0.3-10
Viruses	0.03-0.3
Proteins (10^4 - 10^6 mol wt)	0.002-0.1
Enzymes	0.002-0.005
Antibiotics, Polypeptides	0.0006-0.0012
Sugar	0.0008-0.001
Water	0.0002

2.3.3.2 ลักษณะของของเหลว

ลักษณะที่สำคัญของของเหลวคือความหนืด เป็นคุณสมบัติที่มีผลต่อการกรองเป็นอย่างมาก ความหนืดจะมีการเปลี่ยนแปลงไวมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ สำหรับของเหลวที่อัตราเร็วในการกรองจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการกรองเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนืดมีค่าลดลง ทำให้การไหลของของเหลวเกิดขึ้นได้ง่ายขึ้น

2.3.4 ชนิดของการกรอง

ในระบบการกรองสามารถแบ่งการกรองเป็น 3 ชนิด ตามการเปลี่ยนแปลงความดันที่ใช้ในการกรองและอัตราเร็วในการกรอง (Matteson และ Orr, 1987) โดยตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กับเวลาดังแสดงใน รูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้ในการกรองและอัตราเร็วในการกรองกับเวลา (Matteson และ Orr, 1987)

2.3.4.1 การกรองที่ความดันคงที่ (constant-pressure filtration)

การกรองที่ความดันคงที่เป็นการกรองในระบบปิด โดยการให้ความดันแก่ระบบและควบคุมความดันภายในระบบให้มีความคงที่ ดังนั้นอัตราเร็วในการกรองจะเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ โดยจะมีค่าอัตราเร็วในการกรองสูงในช่วงเริ่มต้น คือช่วงที่ยังไม่เกิดเค้กหรือในช่วงที่ยังไม่เกิดการอุดตันภายในตัวกลางกรอง และมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากเกิดเค้กหรือเกิดการอุดตันภายในตัวกลางกรอง

2.3.4.2 การกรองที่อัตราเร็วการกรองคงที่ (constant-rate filtration)

การกรองที่อัตราเร็วการกรองคงที่เป็นการกรองในระบบเปิด โดยควบคุมอัตราเร็วในการกรองให้มีความคงที่ ซึ่งได้จากการปรับความดันให้เปลี่ยนแปลง ในช่วงแรกของการกรองเป็นช่วงที่ยังไม่เกิดเค้กหรือไม่เกิดการอุดตันภายในตัวกลางกรอง ทำให้ความดันที่ให้แก่ระบบมีค่าต่ำกว่าความดันที่ให้แก่ระบบเมื่อเวลาผ่านไปเนื่องจากเกิดเค้กหรือเกิดการอุดตันภายในตัวกลางกรอง

2.3.4.3 การกรองที่อัตราเร็วไม่คงที่และความดันไม่คงที่

(variable-pressure and variable-rate filtration)

การกรองที่อัตราเร็วไม่คงที่และความดันไม่คงที่ เป็นการกรองที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งความดันในการกรองและอัตราเร็วในการกรอง เช่น การกรองที่ใช้ปั๊มแบบเซนตริฟิวส์ (centrifugal pump)

2.3.5 ทฤษฎีการกรอง

จากสมการของ Ruth (Matteson และ Orr, 1987) เปรียบเทียบการไหลของของเหลวที่ได้จากการกรอง (filtrate) ภายในเค้กตามกฎของโธมัสโดยให้อัตราเร็วในการกรองเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันตกในการกรอง (pressure drop) และเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนืดของของเหลวและความต้านทานการกรอง เนื่องจากตัวกลางกรองและอนุภาคในสารแขวนลอย สมการที่ได้คือ

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราเร็ว} &= \frac{\text{ความดันตก}}{\text{ความหนืด (ความต้านทานของเค้ก + ความต้านทานของตัวกลาง)}} \\
 q &= \frac{\Delta P}{\mu (R_c + R_m)} \quad (1)
 \end{aligned}$$

เมื่อ

- q = อัตราเร็วในการกรอง [เมตร/วินาที]
 ΔP = ความดันตกที่สูญเสียไปกับเค้กและตัวกลางกรอง [ปาสคาล]
 R_c = ความต้านทานการกรองของเค้ก [1/เมตร]
 R_m = ความต้านทานการกรองของตัวกลางกรอง [1/เมตร]
 μ = ความหนืดของของเหลว [ปาสคาล-วินาที]

ความต้านทานการกรองของเค้กในสมการที่ (1) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับมวลของแข็งที่อยู่ในเค้ก และกำหนดนิยามของค่าเฉลี่ยความต้านทานการกรองจำเพาะ ดังสมการที่ (2)

$$R_c = \alpha_{sv} (W/A) = \alpha_{sv} w \quad (2)$$

เมื่อ

- W = มวลของแข็งที่อยู่ในเค้ก [กิโลกรัม]
 α_{sv} = ค่าเฉลี่ยความต้านทานการกรองจำเพาะ [เมตร/กิโลกรัม]
 w = มวลของแข็งที่อยู่ในเค้กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่การกรอง [กิโลกรัม/ตารางเมตร]

$$A = \frac{W}{\text{พื้นที่การกรอง}} \quad [\text{ตารางเมตร}]$$

จากสมการที่ (1) และสมการที่ (2) จะได้

$$q = \frac{\Delta P}{\mu (\alpha_w w + R_m)} \quad (3)$$

สมการที่ (3) คือ สมการการกรองของรัท (Ruth's filtration rate equation) เป็นสมการพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการกรอง ความสัมพันธ์ระหว่างมวลของแข็งในเค้ก และปริมาตรของของเหลวที่ได้จากการกรองสามารถหาได้จากสมการมวลสารดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{มวลของสารแขวนลอย} &= \text{มวลของเค้ก} + \text{มวลของของเหลวที่ได้จากการกรอง} \\ w/s &= m w + j v \end{aligned} \quad (4)$$

เมื่อ

- s = มวลของของแข็งต่อมวลของสารแขวนลอย [-]
- j = ความหนาแน่นของของเหลวที่ได้จากการกรอง [กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร]
- m = มวลของเค้กเปียกต่อมวลของเค้กแห้ง [-]
- v = ปริมาตรของของเหลวที่ได้จากการกรองต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่การกรอง [ลูกบาศก์เมตร/ตารางเมตร]

จากสมการที่ (4) จะได้

$$w = \frac{j s}{1 - ms} v \quad (5)$$

พิจารณาสมการแสดงอัตราเร็วการกรองในสมการที่ (3) ถ้าให้ค่า R_m แสดงได้ด้วยมวลสัมพัทธ์ของของแข็งในเค้กที่มีค่าเทียบเท่ากับค่าความต้านทานของตัวกลางกรอง จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง R_m และ w_m ตามแบบสมการที่ (2) ดังนี้

$$R_m = \alpha_{sv} W_m \quad (6)$$

เมื่อ

W_m = มวลสัมพัทธ์ของของแข็งในเค้กที่มีค่าเทียบเท่ากับความต้านทานของ
ตัวกลางกรอง [กิโลกรัม/ตารางเมตร]

ดังนั้นปริมาตรของของเหลวที่ได้จากการกรอง ที่ทำให้เกิด W_m นี้มีค่าเท่ากับ v_m จะ
ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง v_m และ W_m เขียนแบบสมการที่ (5) ดังสมการต่อไปนี้

$$W_m = \frac{\rho_s}{(1-m_s)} v_m \quad (7)$$

แทนค่า สมการที่ (5), (6) และสมการที่ (7) ลงในสมการที่ (3) จะได้

$$\frac{dv}{d\theta} = \frac{\Delta P (1-m_s)}{\mu \rho_s \alpha_{sv} (v+v_m)} \quad (8)$$

เมื่อ

θ = เวลาที่ใช้ในการกรอง [sec]

เมื่อนำข้อมูลการทดลองการกรองด้วยความดันคงที่มาเขียนกราฟระหว่าง $\Delta\theta/\Delta v$
กับ v จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

2.3.6 ตัวกลางกรอง (Filter Medium)

2.3.5.1 ชนิดของตัวกลางกรอง

ชนิดของตัวกลางกรองแบ่งเป็นกลุ่มโดยจัดเรียงตามความแข็ง (Rigidity)
ดังแสดงในตารางที่ 2.5 ทั้งนี้เนื่องจากความแข็งของตัวกลางกรองมีผลโดยตรงต่อการออกแบบ
เครื่องมือที่ใช้ในการกรองให้เหมาะสม ซึ่งบอกประสิทธิภาพของตัวกลางกรองในลักษณะของ
อนุภาคขนาดเล็กที่สุดที่สามารถดักจับได้

ตารางที่ 2.5 แสดงชนิดของตัวกลางกรองแบ่งตามความแข็งของวัสดุกรอง (Purchas, 1971)

Type	Examples	Minimum particle trapped, microns*				
(1) Solid fabrications	Scalloped washers, wire-wound tubes	5				
(2) Rigid porous media	(1) ceramics and stoneware	1				
	(2) sintered metal	3				
(3) Metal sheets	(1) perforated	100				
	(2) woven wire	5				
(4) Porous plastics	(1) plastic pads, sheets, etc.	3				
	(2) membranes	0.005				
(5) Woven fabrics	Cloths of natural and synthetic fibres	10				
(6) Cartridges	Yarn-wound spools, graded fibres	2				
(7) Non-woven sheets	(1) felts, lap, etc.	10				
	(2) paper	<table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding-right: 5px;">cellulose</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding-right: 5px;">glass</td> <td>2</td> </tr> </table>	cellulose	5	glass	2
	cellulose	5				
glass	2					
(3) sheets and mats	0.5					
(8) Loose solids	(1) fibres, e.g. asbestos, cellulose	submicron				
	(2) powders:					
	(i) diatomaceous earth	submicron				
	(ii) expanded perlite	submicron				
	(iii) inactive carbon	submicron				
	(iv) adsorbent powders	submicron				
(v) coarse materials	submicron					
(9) Liquids	(1) viscous oils	10 μ				
	(2) scrubbing liquids	1 μ				

จากตารางข้างต้นอาจจำแนกประเภทของตัวกลางกรองตามวัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางกรอง (Lloyd, 1985) ได้ดังนี้

ก. ตัวกลางกรองที่ทำจากวัสดุธรรมชาติ

ตัวกลางกรองที่ทำจากวัสดุธรรมชาติ เป็นตัวกลางกรองที่มีลักษณะทอเป็นผืน ซึ่งทำจากวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ ฝ้าย ขนสัตว์ ปอและไหม วัสดุต่างๆ เหล่านี้มีความคงทนต่อการใช้งานและง่ายต่อการล้างทำความสะอาดแต่มีการอุดตันของอนุภาคภายในตัวกลางกรองสูง

ข. ตัวกลางกรองที่ทำจากโพลีเอสเตอร์หรือโพลีเมอร์

ตัวกลางกรองที่ทำจากโพลีเอสเตอร์หรือโพลีเมอร์เป็นตัวกลางกรองที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นตัวกลางกรองที่ผลิตง่าย และสะดวกในการติดตั้งใช้งานรวมทั้งสามารถควบคุมขนาดและการกระจายขนาดของรูพรุน ความหนาของตัวกลางกรอง

และโครงสร้างภายในตัวกลางกรอง แต่ข้อจำกัดของวัสดุประเภทนี้คือมีความทนทานต่อสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้งานได้ในสภาพที่เป็นกรดหรือด่าง นอกจากนี้ยังไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส

ค. ตัวกลางกรองที่ทำจากเซรามิกส์และสโตนแวร์ (stoneware)

ตัวกลางกรองที่ขึ้นรูปจากวัสดุกรองดังกล่าวนี้ เป็นตัวกลางกรองที่มีความทนทานต่อสภาพที่เป็นกรดหรือด่างรวมทั้งสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูง ทั้งสโตนแวร์ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักและเซรามิกส์ซึ่งเป็นผงของอนินทรีย์สาร ต่างผ่านขั้นตอนต่าง ๆ รวมทั้งการเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิสูงถึง 1400 องศาเซลเซียส รูปแบบของตัวกลางกรองที่ผลิตนั้นมี 2 แบบคือ แบบที่มีรูปร่างเป็นแผ่นแบน ๆ ที่มีรูพรุน และแบบที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ตัวกลางกรองที่ทำจากเซรามิกส์และสโตนแวร์นี้มีข้อเสียในเรื่องความเปราะ นั่นคือตัวกลางกรองนี้สามารถแตกหักได้ง่าย แต่ข้อดีของตัวกลางกรองชนิดนี้คือ มีความทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าตัวกลางกรองชนิดอื่นๆ และมีช่วงขนาดของรูพรุนให้เลือกใช้งานได้ในช่วงกว้าง ดังแสดงในตารางที่ 2.6 เป็นการสรุปชนิดของเซรามิกส์ที่มีรูพรุนซึ่งผลิตโดยบริษัท ชูเมเชอร์ฟิลเตอร์ จำกัด (Schumacher Filters Ltd., PURCHAS, 1971) มีช่วงของรูพรุนอยู่ในช่วง 1 ไมครอน ถึง 2,500 ไมครอน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของตัวกลางกรองเซรามิกส์ของ บริษัทชเมเชอร์ฟิลเตอร์ จำกัด

(Schumacher Filters Ltd.) (PURCHAS, 1971)

Composition	Chemical resistance	Trade Name	Grade	Pore diameter		% Porosity	Bending strength lb./sq. in.	Average specific weight gm./c.c.	Permeability of 1 1/4 in. thick slab	
				Average	Max.				Air cfm.ft. ² @ 2 in.WG	Water Gal./ft. ² /min. @ 20 in.WG
Mixed silicates, high silicic acid	Hot and cold acids; (NOT hydrofluoric acid or acid fluorides)	Aerolith	5	15	20	50	3,555	1.25	0.4	0.51
			10	25	35	2,702				
			20	60	90	1,344				
			30	90	110	1,109				
			40	130	160	682				
			50							
		60								
		Bd	4	7	65-70		0.66			
Mixed aluminium silicates	Hot neutral and acid liquids (NOT hydrofluoric acid or acid fluorides), weak alkalis up to pH 9, hot gases up to 1,000°C.	Brown-yellow	20	25	35	47	1,337	1.70	1	0.68
			30	60	90	1,009				
			40	90	100	839				
			50	100	150	810				
			60	140	200	37	810			
				Diapor	0.8-1.5	1-2	42-53			
Quartz with synthetic resin bond	Cold and warm neutral acid gas and liquids (up to 160°C). (NOT for highly oxidising conditions or hot organic substances which may cause swelling)	Brandol	20	50	70	35	1,849	1.70	3	0.50
			30	80	100	1,806				
			40	120	150	1,550				
			50	140	170	1,493				
			60	190	280	1,465				
			70	260	400	1,422				
			80	290	400	1,422				
			90	300	360	1,393				
			100	310	410	1,351				
			120	500	800	1,322				
		300	800	1,200	1,280					
500-800	1,600	2,500	30							
Pure carbon	Cold and hot, acid or alkaline (NOT highly oxidizing liquids)	Carbo	10	15	50	35	498	1.25-1.50	1	0.01
			20	50	80	626				
			30	70	140	469				
			40	110	180	512				
			50	130	280	398				
			60	180	300	355				
Silicon carbide electro-corundum with mixed silicates	Cold and hot neutral and acid liquids and gases up to 1600°C (NOT hydrofluoric acid or acid fluorides)	SC.	10-60	40-300		35-40		SC 1.90		
		EK						EK 2.40		

ง. ตัวกลางกรองที่ทำจากโลหะ

ตัวกลางกรองที่ได้จากวัสดุกรองประเภทนี้สมใช้เป็นฐานรองรับ

ตัวกลางกรองชนิดอื่นๆ เนื่องจากความสามารถในการรับแรงกดอัดได้สูง ตัวกลางกรองประเภทนี้มีการกระจายตัวของรูพรุนที่ควบคุมได้ยาก ทำให้ตัวกลางกรองชนิดนี้เป็นทางเลือกสุดท้ายสำหรับนำไปใช้กับสภาวะที่ต้องการความบริสุทธิ์สูง ในปัจจุบันมีการนำโลหะชนิดต่างๆมาผลิตเป็นแผ่นกรองเพิ่มขึ้นเช่น บรอนซ์ สแตนเลส เป็นต้น โดยมีเทคนิคในการผลิตได้หลากหลายวิธีมากขึ้น เช่น ใช้เทคนิคการตัด (cutting) การดัด (bending) การเชื่อม (welding) แต่ข้อเสียคือ

ต้นทุนสูง

2.3.6.2 ลักษณะโดยทั่วไปของตัวกลางกรอง

ลักษณะต่าง ๆ พิจารณาตามหลักดังนี้ คือ

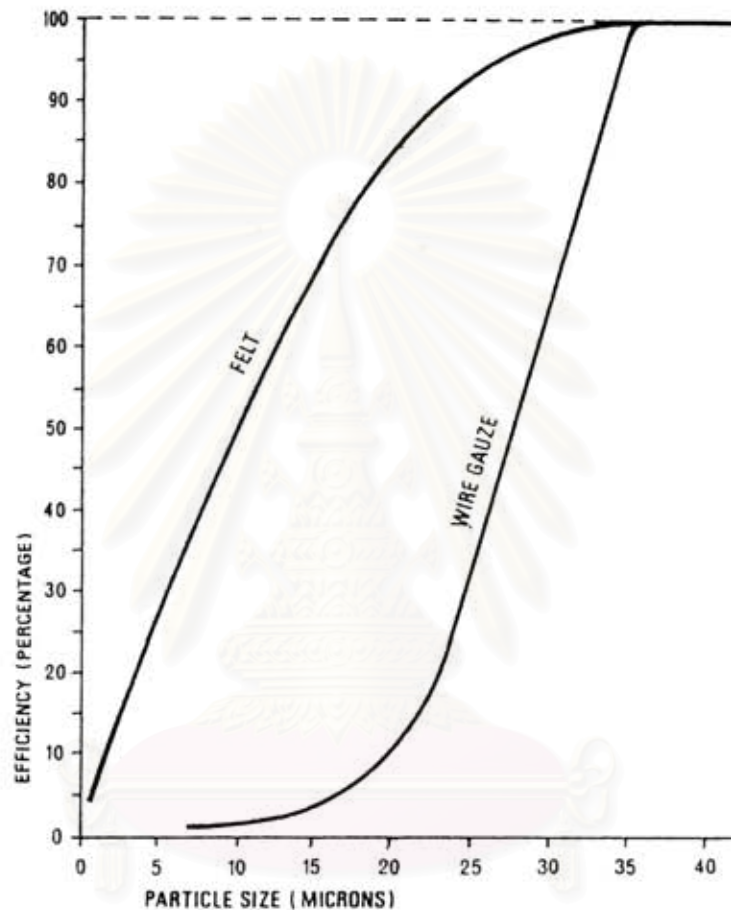
ก. โครงสร้างของตัวกลางกรอง

ตัวกลางกรองชนิดต่างๆ ตามตารางที่ 2.5 เป็นตัวกลางกรองที่มีรูพรุนซึ่งของเหลวสามารถไหลผ่านได้ ความแตกต่างของตัวกลางกรองชนิดต่างๆขึ้นกับลักษณะเฉพาะของตัวกลางกรองซึ่งประกอบด้วย ขนาดและรูปร่างรูพรุนทั้งพื้นผิวด้านบนและด้านข้างตลอดทั่วทั้งแผ่น เช่นรูพรุนมีลักษณะเป็นท่อตรงหรือคเคี้ยว ลักษณะดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรตลอดช่วงความลึกของตัวกลางกรอง จำนวนรูพรุนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ และความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของรูพรุน ความแตกต่างของลักษณะเฉพาะดังกล่าวขึ้นอยู่กับการผสมสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำตัวกลางกรอง และวิธีการในการผลิตตัวกลางกรองเช่น แผ่นโลหะเจาะรู (perforated metal sheet) ได้จากการเจาะหรือตัดแผ่นโลหะเป็นรูกลม ขนาดของรูพรุน รูปร่างของรูพรุน และการเรียงตัวของรูพรุนจะมีความสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งแผ่น แต่ละรูพรุนจะมีลักษณะเป็นท่อตรง และสามารถระบุขนาดที่ค่อนข้างแน่นอนของรูพรุนได้ ในขณะที่วัสดุที่มีรูพรุน เช่น เซรามิกส์ โลหะซินเทอร์ หรือพลาสติกซินเทอร์นั้น รูปร่างของรูพรุนขึ้นกับวิธีการในการขึ้นรูป เช่น การซินเทอร์หรือการผ่านอากาศไปยังวัสดุที่หลอมเหลว รูพรุนที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไปโดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะคเคี้ยวและขนาดของรูพรุนจะไม่สม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งแผ่น

ข. กลไกในการกรอง

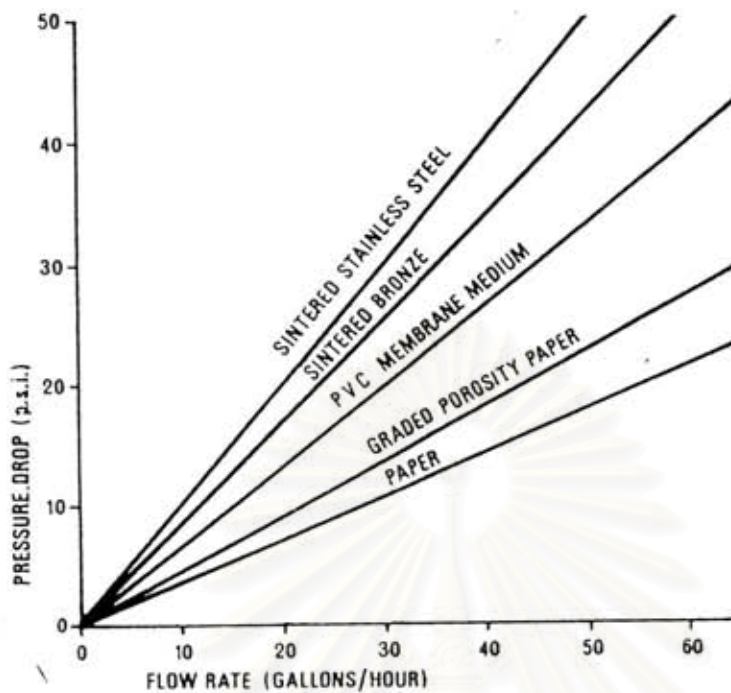
ในกระบวนการกรองโดยทั่วไปแบ่งการกรองออกเป็น 2 ลักษณะคือการกรองบริเวณผิวหน้าแผ่นกรองหรือการกรองแบบเกิดเล็ก และการกรองแบบเบคคิก อย่างไรก็ตาม กลไกในการกรองจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุกรองที่เลือกใช้ขึ้นนั้น ต้องสามารถดักจับอนุภาคที่ต้องการแยกได้ นั่นคือ วัสดุที่ใช้ทำตัวกลางกรองที่มีขนาดของรูพรุนอยู่ในช่วงหนึ่ง จะสามารถใช้งานได้ดีในการกรองลักษณะหนึ่ง ๆ เช่น ในรูปที่ 2.6 แสดงถึงประสิทธิภาพในการกรองของผ้าสักหลาด (felt) และ ตะแกรงลวด (wire gauze) เมื่อนำมาใช้กรองอนุภาคที่มีขนาดต่าง ๆ พบว่าแผ่นกรองทั้งสองชนิดต่างใช้งานได้ดีเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 35 ไมครอน คือสามารถจับอนุภาคที่มีขนาดโตกว่า 35 ไมครอน ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการใช้งานของตะแกรงลวดลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลง เนื่องจากกลไกในการกรองของตัวกลางกรองดังกล่าวเป็นลักษณะการกรองแบบเกิดเล็กมากกว่าแบบเบคคิก ในขณะที่ผ้าสักหลาดก็มีประสิทธิภาพ

ในการใช้งานลดลงเช่นกัน แต่ยังคงสามารถใช้งานได้ดีกว่าตะแกรงลวด ทั้งนี้เป็นเพราะอนุภาคยังสามารถถูกจับไว้ภายในชั้นความหนาของผ้าสักหลาด นั่นคือผ้าสักหลาดเหมาะในการใช้งานการกรองแบบเบคคิกนั้เอง



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคกับประสิทธิภาพในการกรองของผ้าสักหลาดและตะแกรงลวด (Purchas, 1971)

นอกจากนี้วัสดุที่ใช้ทำตัวกลางกรองต่างชนิดกัน ยังมีผลทำให้ความต้านทานการกรองแตกต่างกันอีกด้วย ทั้งๆ ที่ประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคอยู่ในระดับเดียวกัน ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงถึงอัตราเร็วในการกรองของตัวกลางกรองที่ทำจากวัสดุชนิดต่างๆ โดยที่แต่ละตัวกลางกรองต่างดักจับอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอนได้โดยประมาณทั้งสิ้น



รูปที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบอัตราเร็วในการกรองน้ำมันที่มีความหนืด 20 เซนติสโตก ของตัวกลางกรองที่ทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ (Purchas, 1971)

ค. ประสิทธิภาพในการใช้งานของตัวกลางกรอง

การวัดประสิทธิภาพในการใช้งานของตัวกลางกรอง แบ่งออกได้

เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้ คือ

:- ประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาค

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นว่า ขนาดของรูพรุนและขนาดเล็กที่สุดของอนุภาคที่ตัวกลางกรองสามารถดักจับได้นั้นมีความแตกต่างกัน ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองอาจจะพบได้ในลักษณะของขนาดของรูพรุน ซึ่งสามารถหาได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อขยายดูลักษณะรูพรุน หรือการทดสอบหาจุดบีบเบ็ด แต่วิธีหลังนี้ไม่สามารถให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำได้ ในทางปฏิบัติมักวัดประสิทธิภาพในการกรองจากการใช้งาน ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธีทำให้เกิดความแตกต่างกันไปมากมายในด้านผลการวิเคราะห์ที่ได้ แต่วิธีต่าง ๆ นั้นใช้หลักการในการหาค่าโดยผ่านของเหลวไปบนตัวกลางกรอง โดยใช้สารตัวอย่างความเข้มข้นต่าง ๆ วิเคราะห์หาขนาดและจำนวนอนุภาคเปรียบเทียบกันระหว่างของเหลวก่อนกรองและของเหลวหลังกรอง ในการหาค่าทั้งสองนั้น วิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปทำได้โดยส่องกล้องจุลทรรศน์ แต่อาจเกิดปัญหาการเกาะ



คิด เป็นก้อนของอนุภาค

:- ความต้านทานการไหลของตัวกลางกรอง

ความต้านทานการไหลของตัวกลางกรอง ขึ้นกับขนาดของรูพรุน และจำนวนรูพรุนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ความหนาแน่นของรูพรุน ตัวกลางกรองตามอุดมคตินั้นประกอบด้วย รูพรุนขนาดละเอียดจำนวนมากที่กันโดยผนังบางๆตลอดทั่วทั้งตัวกลางกรอง เพื่อให้พื้นที่สำหรับการไหลผ่านของของเหลวมากที่สุด ในทางปฏิบัติจำนวนรูพรุนที่เกิดขึ้นมีเพียงส่วนน้อยในแต่ละพื้นที่ หน้าตัด สัดส่วนของรูพรุนนั้นต่างขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลางกรอง และวิธีที่ใช้ในการผลิตตัวกลางกรอง ความแตกต่างดังกล่าวทำให้ค่าความต้านทานในการกรองของตัวกลางกรอง แต่ละชนิดแตกต่างกัน ความต้านทานการกรองเป็นส่วนที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากมีผลต่อต้นทุนส่วนใหญ่ ทั้งค่าใช้จ่ายหลักและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ทำให้ต้องมีการสนใจเป็นพิเศษต่อการเลือกใช้ตัวกลางกรอง จากสาเหตุดังกล่าว การทราบค่าความต้านทานการกรองจึงเป็นสิ่งจำเป็น แต่ก็ยังคงไม่มีมาตรฐานใดๆ ที่จะระบุถึงค่าความต้านทานการกรองได้ ทำให้เกิดความลำบากในการเปรียบเทียบค่าความต้านทานระหว่างตัวกลางกรองต่างชนิดกัน หรือแม้แต่ว่าความต้านทานการกรองที่เกิดจากวัสดุกรองชนิดเดียวกันแต่ต่างแหล่งกัน ความแตกต่างของความต้านทานการกรองนั้น ส่วนหนึ่งเนื่องมาจากความแตกต่างทางด้านลักษณะของวัสดุที่ใช้ทำตัวกลางกรอง นอกจากนั้นเนื่องมาจากวิธีการที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรอง

โดยทั่วไปการวัดสัดส่วนช่องว่างของตัวกลางกรอง (Porosity) เป็นวิธีการที่นิยมใช้ แม้ว่าอาจจะไม่ใช่เป็นการวัดค่าความต้านทานการกรองโดยตรงก็ตาม แต่วิธีดังกล่าวก็เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็วในการเปรียบเทียบตัวกลางกรองชนิดต่างๆ ในตารางที่ 2.7 แสดงถึงสัดส่วนช่องว่างของตัวกลางกรองบางชนิด ปัจจุบันที่มีผลต่อสัดส่วนของช่องว่างโดยตรงนั้นประกอบด้วย รูปร่าง ขนาด และการกระจายขนาดของอนุภาคที่ใช้ในการผลิตตัวกลางกรอง

ตารางที่ 2.7 แสดงเปอร์เซ็นต์ช่องว่าง(porosity)ของตัวกลางกรองชนิดต่าง ๆ
(Purchas, 1971)

	% porosity
Wedge wire screen	5-10
Perforated sheet	20
Wire mesh :	
twill weave	15-25
square	30-35
Porous plastics, metals, ceramics	30-50
Crude kieselguhr	50-60
Porous ceramic, special	70
Membranes, plastic foam	80
Asbestos/cellulose sheets	80
Refined filter aids (diatomaceous earth, expanded perlite)	80-90
Paper	60-95
Scott plastic foam	97

การหาค่าความต้านทานการกรองในทางปฏิบัตินั้น ทวีไปทำโดยวัดค่าอัตราการไหลของเหลวผ่านตัวกลางกรองภายใต้ความดันค่าหนึ่ง อากาศและน้ำเป็นของไหลที่นิยมนำมาใช้ อย่างไรก็ตาม ยังคงมีความแตกต่างกันมากในการวัดอัตราการไหล ระหว่างการกำหนดให้อัตราการไหลมีค่าคงที่โดยสังเกตค่าความดันลด กับการให้ความดันลดมีค่าคงที่แล้วสังเกตเวลาที่ใช้ในการเก็บของเหลวที่ต้องการปริมาณหนึ่งๆ

:- ความสามารถในการกำจัดอนุภาคที่ตกค้างภายในตัวกลางกรอง

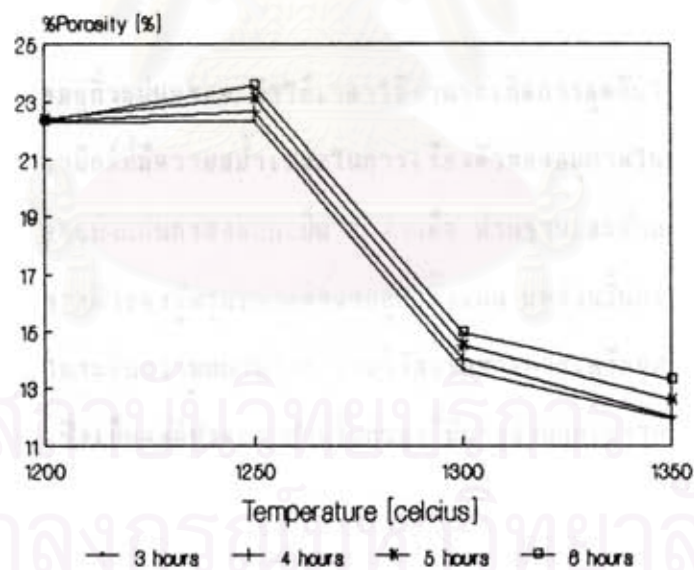
การดักจับอนุภาคของแข็งที่แขวนลอยในของเหลวหรือก๊าซ เช่น การกำจัดละอองน้ำมันในอากาศ จำเป็นที่จะต้องมีการกำจัดอนุภาคที่ถูกดักจับบริเวณผิวหน้าของตัวกลางกรองและภายในโครงสร้างของตัวกลางกรองเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ การกำจัดอนุภาคที่ถูกดักจับบริเวณผิวหน้าของตัวกลางกรองสามารถทำได้ง่าย แต่การกำจัดอนุภาคที่ตกค้างภายในโครงสร้างของตัวกลางกรองเป็นไปได้ยาก เนื่องมาจากความซับซ้อนของโครงสร้างของตัวกลางกรอง ชนิดของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นตัวกลางกรอง ตัวกลางกรองที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกันย่อมมีประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้ยังขึ้นกับกลไกในการกรองอีกด้วย ตัวกลางกรองที่เหมาะสมกับการกรองแบบเกิดเค้ก จะเกิดการสะสมตัวของเค้กบนผิวตัวกลางกรองอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการตกค้างของอนุภาคขนาดเล็กภายในโครงสร้างของตัวกลางกรองน้อยกว่าการกรองแบบเบคคิก ดังนั้นตัวกลางกรองที่ต้องการ จึงต้องเป็นตัวกลางกรองที่สามารถกำจัดอนุภาคเหล่านั้นออกไปได้ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกด้วย

2.4 งานวิจัยในอดีต

ในการศึกษาชีวภาพของแกลบซึ่งมีความสลับซับซ้อน จุดกำเนิดและโครงสร้างของซิลิกา จะเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเลือกกระบวนการที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแกลบเป็นซิลิกา โดยไม่มีผลต่อความบริสุทธิ์และโครงสร้างเดิมของซิลิกา (Iler, 1979) มีการศึกษาถึงการเตรียมและศึกษาคุณลักษณะของซิลิกาคุณภาพสูงจากแกลบ(อุไรวรรณ ลีลาอติสร, 1992) โดยนำมาผ่านกระบวนการด้วยสารเคมีโดยใช้กรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ นำแกลบที่ผ่านกระบวนการมาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ในบรรยากาศของการเผาไหม้ปกติ นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาศึกษาคุณลักษณะต่างๆพบว่า แกลบที่ผ่านกระบวนการด้วยกรด(กรดไฮโดรคลอริกหรือกรดซัลฟูริก) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติระหว่างฟุ้งซิลิกา(fumed silica) และซีโรเจล(xerogel) ความบริสุทธิ์ของซิลิกา 99.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในขณะที่การผลิตซิลิกาจากแกลบด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน (พงษ์ศักดิ์ ฟองเพชร, 1992) โดยนำแกลบมาผ่านการต้มกับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 15 นาที นำแกลบที่ได้ไปผ่านการไพโรไลซิสและเผาในเตาฟลูอิดไอซ์เบด การเผาจะได้เถ้าซึ่งมีซิลิกาความบริสุทธิ์ 98.5 ± 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีสิ่งเจือปนที่เป็น

องค์ประกอบหลักคือ แคลเซียม มีพวกอัลคาไลน์และธาตุอื่นปนอยู่เล็กน้อย การตรวจสอบรูปซิลิกา ด้วยเอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์พบว่า เป็นซิลิกาอสัณฐาน

มีการนำซิลิกาไปใช้เป็นองค์ประกอบในการผลิตตัวกลางกรองเซรามิกส์ โดยใช้เทคนิค ต่างๆกันออกไป ส่วนใหญ่นำซิลิกาไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปและซินเทอร์ให้เกิดการเชื่อมติดกัน ของอนุภาค(Reed,1989) พฤติกรรมในขณะซินเทอร์(sintering behavior) ของซิลิกาจาก แกลบ(Pornchai Sripiriyawong และ Charin Pienprasert,1992) ศึกษาโดยนำแกลบ มาผ่านขั้นตอนการสกัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เถ้าสีขาวที่ได้คือซิลิกาอสัณฐาน นำซิลิกาอสัณฐานที่สกัดได้บดด้วยหม้อบด(ball mill) ใช้เวลา 45 นาที อัดขึ้นรูปด้วยแรงอัด 0.5 เมกกะปาสคาล ซินเทอร์ที่อุณหภูมิ 1200-1400 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการซินเทอร์ 3-6 ชั่วโมง ศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสัดส่วน รูพรุน(Porosity) ของแผ่นอัดซิลิกา

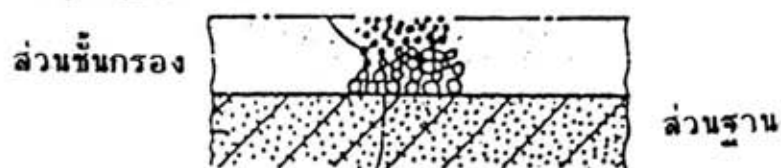


รูปที่ 2.8 แสดงสัดส่วนรูพรุน(porosity) ของแผ่นอัดซิลิกาที่ผ่านการซินเทอร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (Pornchai Sripiriyawong และ Charin Pienprasert,1992)

จากรูปที่ 2.8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนรูพรุนกับอุณหภูมิที่ใช้ในการซินเทอ์ พบว่าสัดส่วนรูพรุนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 1250 องศาเซลเซียส และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 1250 องศาเซลเซียส

มีการศึกษาถึงการผลิตแผ่นกรองเซรามิกส์(Kimura, Hikari, Tsunoda, Hideo, Yamamoto, Hiroichi, Kawasetu และ Nozomi, 1986) โดยการเตรียมสารแขวนลอยที่ประกอบด้วยวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบหลักเป็นอลูมินา 100 กรัม น้ำ 45 กรัม และตัวประสานที่เป็นสารอินทรีย์พริกไธ(wax) 15 กรัม นำสารแขวนลอยที่เตรียมได้มาอบแห้งโดยการพ่นเป็นละออง (spray dryer) ควบคุมให้อุณหภูมิมีขนาดอยู่ในช่วง 50-100 ไมครอน แคลไซด์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส จากนั้นนำผงอนุภาคที่เตรียมได้ 100 กรัม มาแขวนลอยในน้ำ 35 กรัม อีกครั้ง เติมตัวประสานพวกโพลีเมอร์เช่น อากริลิก จำนวน 3 กรัม นำไปอัดขึ้นรูปโดยใช้การกดอัดที่แรงอัด 200 ปาสคาล และซินเทอ์ที่อุณหภูมิ 1,600 องศาเซลเซียส แผ่นกรองที่ได้มีขนาดรูพรุนสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น

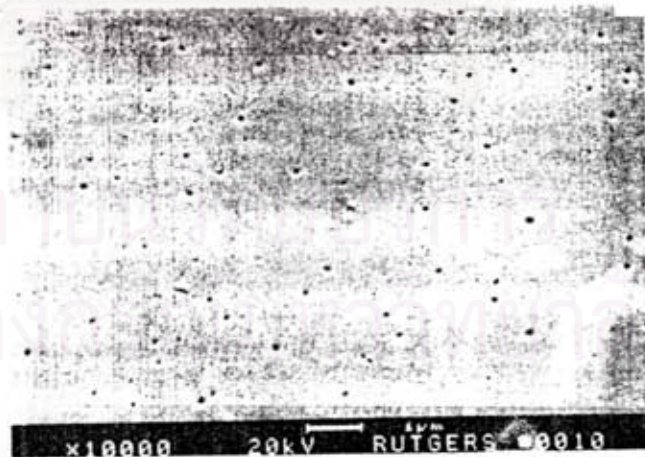
เนื่องจากแผ่นกรองที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวข้างต้น มีการกระจายตัวของรูพรุนขนาดต่างๆ กระจุกกระจายอยู่ทั่วแผ่นกรอง ทำให้เวลาใช้งานจะเกิดการอุดตันได้ง่าย จึงได้มีการศึกษาการผลิตแผ่นกรองเซรามิกส์ที่มีความสม่ำเสมอในการเรียงตัวของอนุภาคในความหนาในระดับต่างๆ (Komoda, 1989) โดยแบ่งแผ่นกรองออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนฐานและส่วนชั้นกรอง ส่วนฐานเป็นแผ่นกรองที่มีการกระจายตัวของรูพรุนขนาดต่างๆอยู่ทั่วทั้งแผ่น แต่ส่วนชั้นกรองเป็นชั้นบางๆที่มีการเรียงขนาดของรูพรุนในระดับความหนาต่างๆ งานวิจัยเริ่มจากการเตรียมสารแขวนลอยของผงเซรามิกส์เช่นอลูมินา ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนชั้นกรองที่มีบางส่วนถูกเผาไหม้ได้และมีการกระจายขนาดอยู่ในช่วงหนึ่ง ปล่อบให้เกิดการตกตะกอนอย่างอิสระของอนุภาค ภายใต้แรงโน้มถ่วงโลกบนพื้นผิวของส่วนฐานซึ่งเป็นแผ่นกรองที่ทำจากผงเซรามิกส์ได้จากการกดอัดและซินเทอ์ นำส่วนฐานและส่วนชั้นกรองที่ได้ไปอบแห้งและซินเทอ์ แผ่นกรองที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.9 แสดงแผ่นกรองที่มีการจัดเรียงตัวของอนุภาค (Komoda, 1989)

จากรูปที่ 2.9 พิจารณาส่วนชั้นกรองของแผ่นกรองที่ได้ พบว่ามีการเรียงตัวของอนุภาคขนาดใหญ่บริเวณด้านล่างติดกับส่วนฐาน และมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ เมื่อความหนาของส่วนชั้นกรองเพิ่มขึ้น การเรียงตัวของอนุภาคดังกล่าวทำให้ไม่เกิดปัญหาการอุดตันภายในแผ่นกรอง เนื่องจากรูพรุนมีการเรียงขนาดจากรูพรุนขนาดเล็กบริเวณผิวหน้าด้านบน และเพิ่มขนาดโคขึ้นเรื่อยๆ เมื่อลึกลงไป จนมีขนาดรูพรุนใหญ่สุดบริเวณผิวรอยต่อของส่วนฐานกับส่วนชั้นกรอง ขนาดของรูพรุนบริเวณผิวหน้าของส่วนชั้นกรองอยู่ในช่วง 0.1-0.5 ไมครอน ขนาดของรูพรุนบริเวณรอยต่อส่วนฐานกับส่วนชั้นกรองอยู่ในช่วง 1-5 ไมครอน

นอกจากวิธีการต่างๆข้างต้น ยังมีวิธีในการขึ้นรูปตัวกลางกรองเซรามิกส์ โดยไม่ผ่านการซินเทอ์ จากงานวิจัยในการใช้เทคนิคโซล-เจลในการผลิตแผ่นกรองเซรามิกส์ (Klein และ Giszpence, 1990) แผ่นกรองที่ได้เป็นแผ่นกรองที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก มีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 1-5 นาโนเมตร หนา 0.1 มิลลิเมตร นำมาใช้งานในด้านการแยกก๊าซ สารเริ่มต้นเป็นสารพวกอัลคอกไซด์ ในที่นี้ใช้เตตระเอทิลอซิซิลีเกต (TEOS) แขนวลอยในน้ำ ผ่านขั้นตอนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) คอนเดนเซชัน (Condensation) และโพลิเมอไรเซชัน (Polymerization) แผ่นกรองที่ได้มีลักษณะของรูพรุนดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะรูพรุนของแผ่นกรองที่ได้จากกระบวนการโซล-เจล (Klein และ Giszpence, 1990)

มีการศึกษาถึงการนำเทคนิคในการแยกเฟส (phase separation) มาใช้ผลิต

ตัวกลางกรองเซรามิกส์ (Morimoto, 1996) โดยการแทนที่ซิลิกาในองค์ประกอบของ $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ ด้วย Al_2O_3 และ P_2O_5 ในอัตราส่วนโดยมวลที่เท่ากัน เฟสที่แยกออกจากกันคือเฟสที่มี $\text{SiO}_2-\text{AlPO}_4$ เป็นส่วนใหญ่ และเฟสที่มี $\text{B}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}$ เป็นส่วนใหญ่ จากการล้างด้วยน้ำร้อนหรือสารละลายอินทรีย์ที่มีสภาพเป็นกรดอ่อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือเซรามิกส์ที่มีรูพรุน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของ $\text{SiO}_2-\text{AlPO}_4$ มีปริมาตรรูพรุน $3 \times 10^{-7} - 4 \times 10^{-7}$ ลูกบาศก์เมตรต่อกรัม และมีพื้นที่ผิวของรูพรุน 50-150 ตารางเมตรต่อกรัม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมวัตถุดิบ การขึ้นรูปแผ่นกรองชิลิกา และการวิเคราะห์แผ่นกรองชิลิกา ตามลำดับ วัตถุดิบในที่นี้คือ ชิลิกาอสัณฐาน ซึ่งเตรียมได้จากกลบข้าว โดยผ่านขั้นตอนการล้างแกลบ สกัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ และเผาเพื่อสังเคราะห์ชิลิกา(อุไรวรรณ ลีลาอติสร, 1992) ชิลิกาที่ได้นำมาบดให้มีขนาดเล็กลงโดย ควบคุมเวลาที่ใช้ในการบด อัดขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกและซินเทอร์ แผ่นกรองที่ได้นำมาทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกรองก่อนการใช้งานซึ่งประกอบด้วย การศึกษาโครงสร้างของแผ่นกรอง, การกระจายขนาดของรูพรุน, ขนาดเฉลี่ยของรูพรุนบริเวณพื้นผิวด้านบน, เปอร์เซ็นต์รูพรุน และความต้านทานการกรอง นอกจากนี้ยังทดสอบคุณสมบัติของแผ่นกรองหลังการใช้งานซึ่งประกอบด้วย ประสิทธิภาพการกรอง, กลไกในการกรอง และความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง

3.2 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

ขั้นตอนนี้มีลำดับการทำงานดังนี้ คือ

ทำความสะอาดแกลบ ==> สกัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ==> ผลิตชิลิกา

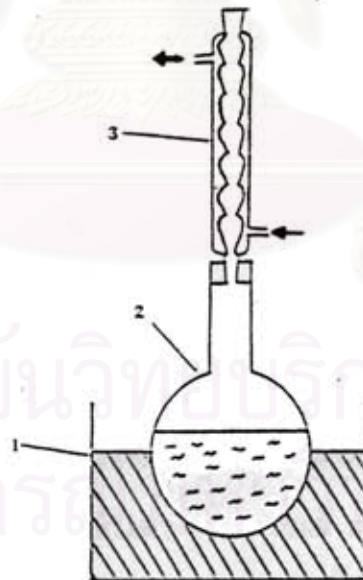
โดยมีรายละเอียดของแต่ละลำดับการทำงาน คือ

3.2.1.1 การทำความสะอาดแกลบ

ซึ่งแกลบ 1,200 กรัม นำมาล้างด้วยน้ำ เพื่อแยกเศษดินและเศษใบไม้ ออกจากแกลบและป่นให้แห้ง โดยใช้เครื่องซักผ้าสีท้อมิตซูบิชิ รุ่น CW 224E จากนั้นนำแกลบที่ได้ ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3.2.1.2 การสกัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

นำแกลบที่ผ่านการทำความสะอาดปริมาณ 500 กรัม บรรจุลงในขวด ก้นกลมขนาด 10 ลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร จำนวน 5 ลิตร รีฟลักซ์ในอ่างน้ำมันขนาดกว้าง 38 เซนติเมตร ยาว 88 เซนติเมตร สูง 34 เซนติเมตร ประกอบด้วย ชุดควบคุมความร้อนกำลังไฟฟ้า 3,000 วัตต์ และเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ ควบคุมอุณหภูมิในช่วง 0-400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำแกลบที่ผ่านการรีฟลักซ์มา ล้างด้วยน้ำจนหมดความเป็นกรด และอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง



รูปที่ 3.1 การต้มแกลบด้วยกรดไฮโดรคลอริกโดยการรีฟลักซ์

- 1 : อ่างน้ำมัน
- 2 : ขวดก้นกลม
- 3 : เครื่องควบแน่น

3.2.1.3 การผลิตซิลิกา

ซึ่งแกลบที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.2.1.2 ปริมาณ 50 กรัม ใส่ภาชนะเคลือบ ขนาดกว้าง 14 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร สูง 1 เซนติเมตร นำมาเผาในเตาเผา อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3.2.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นกรองซิลิกา

ขั้นตอนนมลำดับการทำงานดังนี้ คือ

เตรียมวัตถุดิบ ==> ขึ้นรูปแผ่นกรอง

รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

3.2.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ซึ่งซิลิกาที่ผลิตได้ปริมาณ 50 กรัม ใส่ในหม้อบด (Ball Mill) ขนาด 750 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีลูกบดทำจากอลูมินาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยประมาณ 1.5 เซนติเมตร จำนวน 50 ลูก ทำการบดโดยวางบนรางวางหม้อบด เปิดสวิตช์ไฟให้ รางวางหม้อบดหมุน เริ่มจับเวลาเมื่อครบกำหนดเวลาตามต้องการแล้ว ปิดสวิตช์ไฟให้รางวางหม้อบดหยุดหมุน เทซิลิกาจากในหม้อบดใส่ในภาชนะที่เตรียมไว้

3.2.2.2 การขึ้นรูปแผ่นกรอง

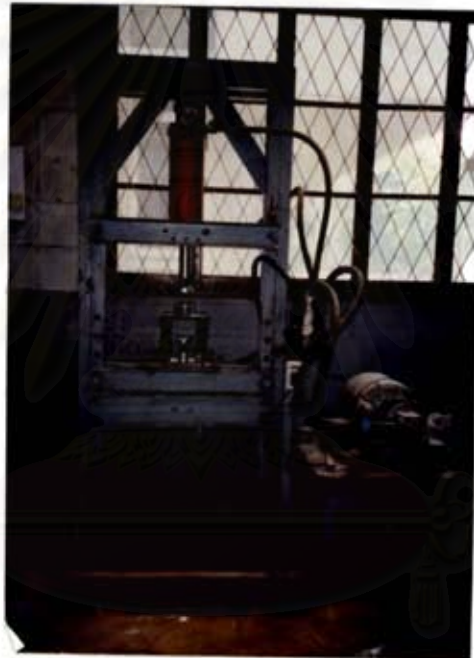
เตรียมเครื่องอัดไฮโดรลิกเพื่ออัดซิลิกา โดยเป็นเครื่องไฮโดรลิกที่มีแท่น กดอัดทั้งด้านบนและด้านล่าง ระหว่างแท่นกดอัดทั้งสองมีแม่พิมพ์เป็นท่อทรงกระบอกเปิดด้านบนและ ด้านล่าง เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร เพื่ออัดซิลิกาโดยทำการเปิดสวิตช์ ไฟให้เครื่องอัดไฮโดรลิกทำงาน เลื่อนแท่นกดอัดด้านล่างขึ้นมาจนติดฐานของเข้าทรงกระบอก ซึ่ง ซิลิกาที่ได้จากการบดปริมาณ 20 กรัม เทใส่ในเข้าอัดของเครื่องอัดไฮโดรลิกที่เตรียมไว้ เลื่อน แท่นกดอัดด้านบนลงมาช้าๆ จนกระทั่งถึงผิวหน้าของผงซิลิกา อัดผงซิลิกาด้วยความดันที่ต้องการ เลื่อนแท่นกดอัดด้านล่างลงอย่างช้าๆ แผ่นอัดซิลิกายังคงติดอยู่ในเข้าทรงกระบอกเปิด นำแผ่นอิฐ ทนความร้อนมารองรับแผ่นอัดซิลิกาที่เลื่อนตัวลงมา

นำแผ่นอัดซิลิกาที่ได้มาเผาในเตาเผาที่ควบคุมอุณหภูมิได้ โดยกำหนด

อัตราการเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิสูงถึง 1200 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เกิดการชินเทอร์ ๗ อุณหภูมิคงที่ 1200 องศาเซลเซียสนี้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาแล้ว ปิดสวิตซ์ไฟ

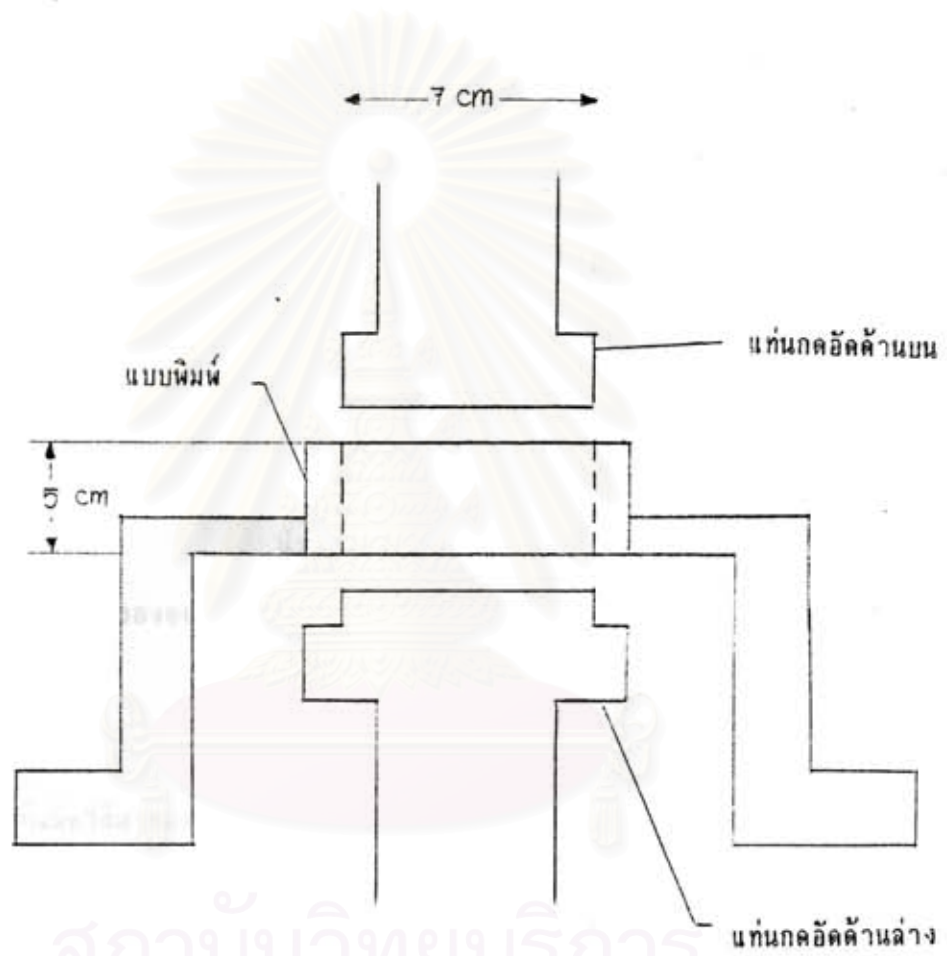
ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ

- ก. เวลาที่ใช้ในการบดซิลิกา 15, 30 และ 45 นาที
- ข. ความดันที่ใช้ในการอัดแผ่นซิลิกา 1, 2 และ 3 เมกกะปาสคาล



รูปที่ 3.2 เครื่องอัดไฮดรอลิก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.3 สัดส่วนของเครื่องอัดไฮดรอลิก

3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์แผ่นกรอง

การวิเคราะห์แผ่นกรองชนิดกาบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

3.2.3.1 คุณสมบัติของแผ่นกรองชนิดกาบ่งก่อนใช้งาน

:-การศึกษาลักษณะโครงสร้างของแผ่นกรอง การกระจายขนาดของรูพรุน และขนาดเฉลี่ยของรูพรุนบริเวณพื้นผิวด้านบน

นำแผ่นกรองที่ผลิตได้มาส่องขยายด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ สแกน (Scanning Electron Microscope:SEM) ซึ่งมีกำลังขยายได้สูงถึง 5,000 เท่า บริเวณที่ทำการส่องขยายกล้องดังกล่าวคือ บริเวณผิวหน้าด้านบนและบริเวณผิวด้านข้างภายใน แผ่นกรองซึ่งได้จากการหักแผ่นกรองอย่างเร็ว นำมาศึกษาค้นบนแท่นโลหะทรงกระบอก และเคลื่อน บริเวณพื้นผิวที่ต้องการขยายด้วยทอง ใสชิ้นงานที่เตรียมได้เข้าไปภายในตัวกล้อง ปรับแสงและความชัด เมื่อได้ภาพตามต้องการ บันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายรูปที่ติดอยู่กับกล้องจุลทรรศน์

:-การหาเปอร์เซ็นต์รูพรุนของแผ่นกรอง (Porosity)

นำแผ่นกรองที่ผลิตได้มาหาเปอร์เซ็นต์รูพรุนของแผ่นกรอง(Porosity) ตามมาตรฐานของอเมริกัน (ASTM ,Designation : D4197-82) (ภาคผนวก ข)

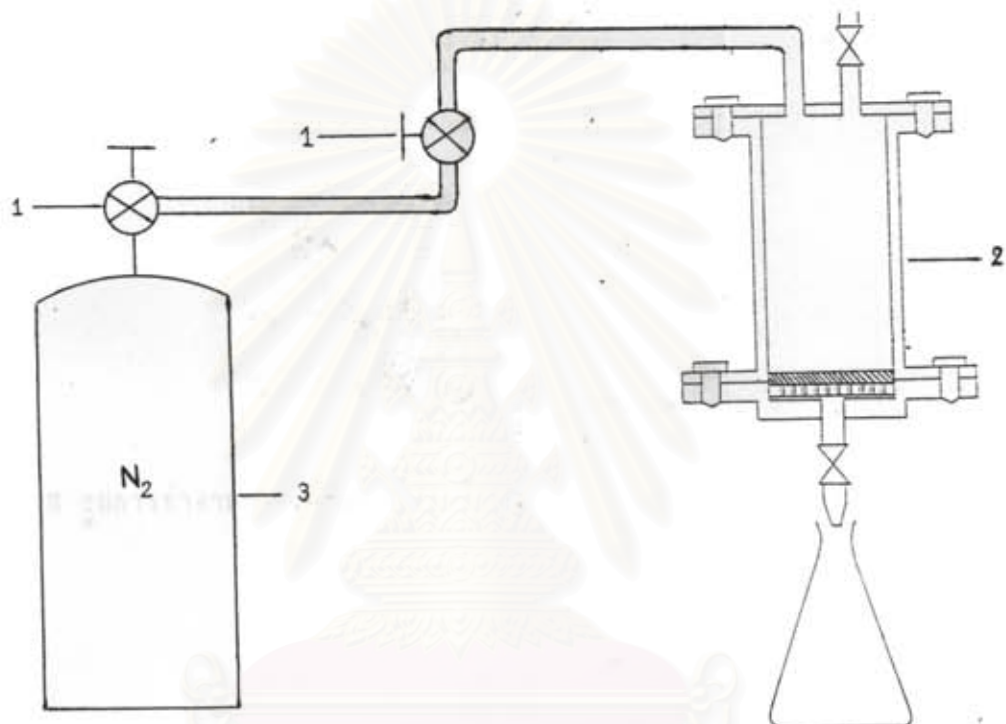
:-การหาความต้านทานของแผ่นกรองชนิดกาบ่ง

การหาความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง ทำได้โดยการนำแผ่น กรองที่ผลิตได้มาทดลองกรองผ่านด้วยน้ำกลั่น ภายใต้อัตราความดันคงที่ค่าหนึ่ง เครื่องกรองที่ใช้ในการ ทดลองเป็นเครื่องกรองทองเหลือง ประกอบด้วย ส่วนฐานซึ่งมีแผ่นเจาะรูทองเหลืองเส้นผ่านศูนย์กลาง กลาง 4.5 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร อยู่ภายใน, ตัวเครื่องกรองเป็นท่อทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.4 เซนติเมตร สูง 9.1 เซนติเมตร และฝาปิดซึ่งมีวาล์วเปิด-ปิด มี ท่อต่อเข้ากับถังภาชนะในโตรเจน

การหาค่าความต้านทานเริ่มจากการเตรียมเครื่องกรองโดยเติมน้ำให้เต็มส่วนฐานของ เครื่องกรอง ปิดวาล์วส่วนฐานของเครื่องกรอง นำแผ่นกรองชนิดกาบ่งวางในส่วนล่างของตัวเครื่อง กรอง ยึดติดโดยใช้ประเก็น นำตัวเครื่องกรองวางบนฐานของเครื่องกรองที่เตรียมไว้ ชั้นน็อค โตรอบให้แน่น เติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงในเครื่องกรอง ปิดฝาเครื่อง กรอง ชั้นน็อคให้แน่น เปิดภาชนะในโตรเจนเข้าสู่เครื่องกรองทางด้านบนให้มีความดันภายในเครื่อง กรอง 50 กิโลปาสกาล (kPa) ปิดวาล์วด้านล่างของเครื่องกรองและใช้ปั๊มเกอร์ที่ทราบน้ำหนัก

ที่แน่นอนแล้วมารองรับของเหลวที่กรองได้ (filtrate) ทุกๆ 5 วินาที เร็งตามลำดับ ประมาณ 8 ถึง 10 บีกเกอร์

เมื่อเก็บของเหลวที่กรองได้ครบแล้ว ปิดวาล์วก๊าซไนโตรเจน นำของเหลวที่กรองได้ มาชั่งน้ำหนัก และคำนวณค่าความต้านทานการกรอง



รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานของเครื่องกรอง

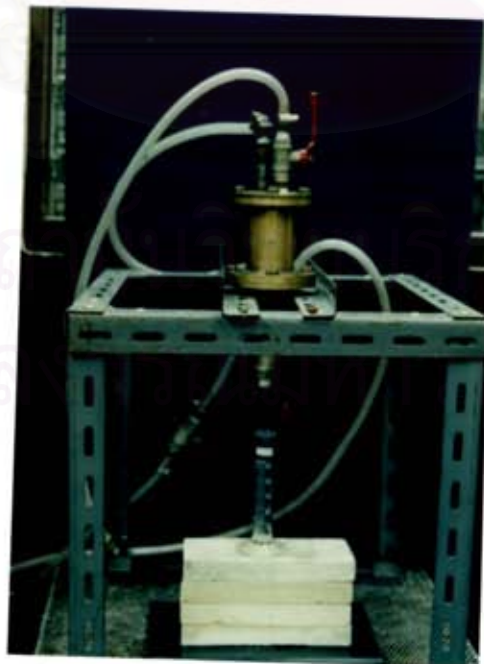
1 : วาล์ว

2 : เครื่องกรองทองเหลือง

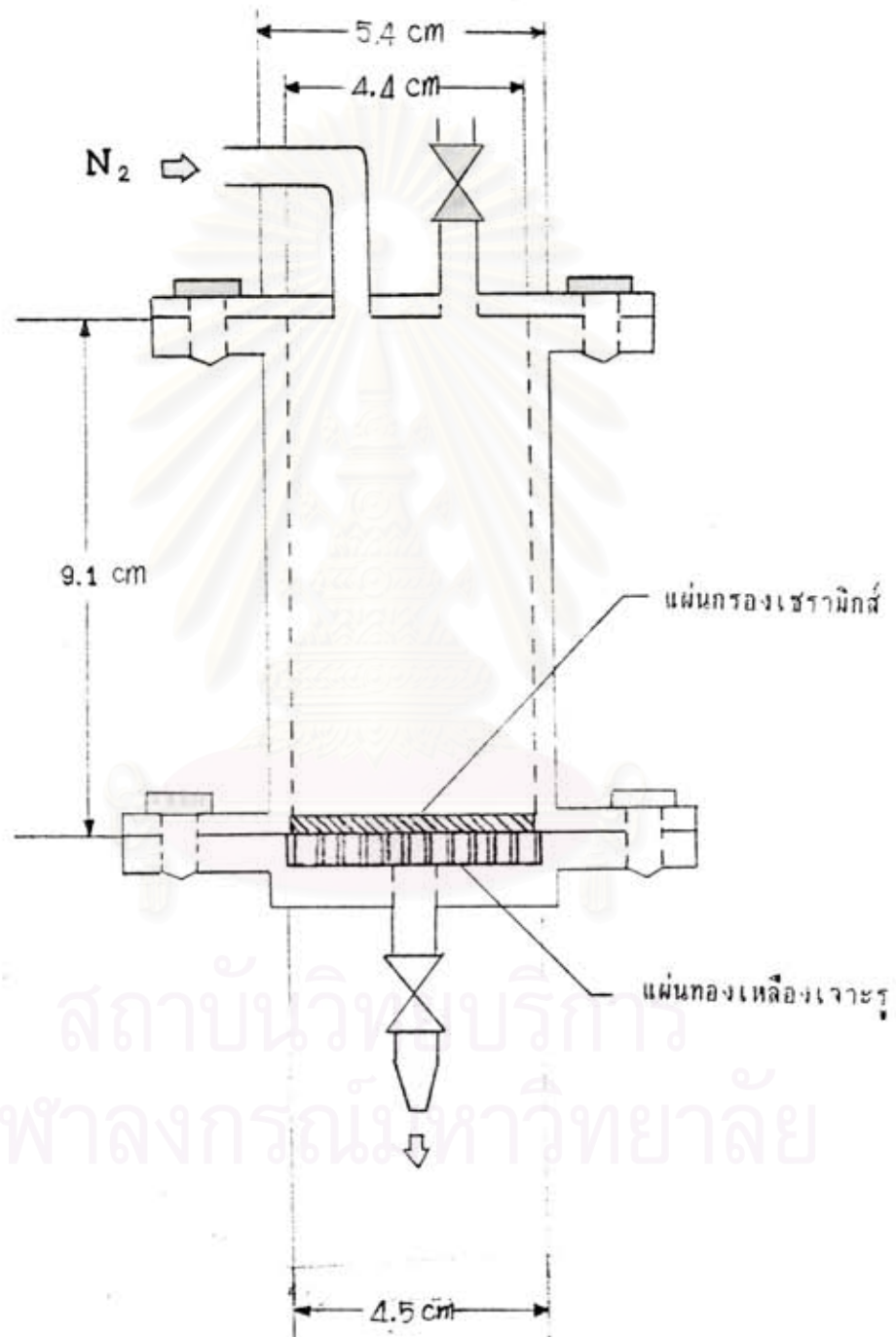
3 : ถังก๊าซไนโตรเจน



รูปที่ 3.5 รูปการทำงานเครื่องกรอง



รูปที่ 3.6 เครื่องกรองทองเหลือง



รูปที่ 3.7 สักส่วนของเครื่องกรองทองเหลือง

3.2.3.2 คุณสมบัติของแผ่นกรองซิลิกาเมื่อนำมาใช้งานซ้ำ

:- ประสิทธิภาพการกรอง ความต้านทานการกรองและกลไกในการกรอง

นำแผ่นกรองที่ผลิตได้มาทดลองกรองน้ำเบียร์สดที่ยังไม่ได้แยกฮีสต์ออกจากน้ำเบียร์ โดยการค้าเนินการทดลองตามวิธีการหาค่าความต้านทานการกรอง แต่ใช้น้ำเบียร์ที่เตรียมไว้แทนน้ำกลั่น และจับเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนถึง 30 นาที โดยจับเวลาทุกๆ 15 วินาที ในช่วง 5 นาทีแรก ต่อมาจับเวลาทุกๆ 5 นาที จนครบกำหนดเวลา

นำแผ่นกรองที่ผ่านการกรองมาล้างเด็กบริเวณผิวหน้า และหาค่าความต้านทานการกรองหลังการใช้งานแผ่นกรองครั้งที่ 1 นำน้ำเบียร์ที่กรองได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbency) ทุกๆ บีกเกอร์

นำแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งานครั้งที่ 1 มาทำการทดลองกรองน้ำเบียร์สดที่ยังไม่ได้แยกฮีสต์ออกจากน้ำเบียร์ นำมาล้างเด็กออกเพื่อหาค่าความต้านทาน และนำน้ำเบียร์ที่กรองได้วัดค่าการดูดกลืนแสง ซ้ำอีก 2 ครั้ง

:- การกำจัดอนุภาคตกค้างภายในแผ่นกรองซิลิกา

นำแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งานมาเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ครบกำหนดเวลา ทิ้งให้เย็น นำแผ่นกรองที่ผ่านการเผามาทดลองหาความต้านทานการกรอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 วัตถุประสงค์

การผลิตซิลิกาจากแกลบข้าว โดยนำแกลบมาทำความสะอาด ต้มด้วยกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของการเผาไหม้ปกติเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะได้เถ้าสีขาวซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกา อสังขฐาน เพราะ ฟุ้งกระจายได้ง่าย และมีความบริสุทธิ์ของซิลิกา 99.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (อุไรวรรณ ลีลาอดิศร, 1992) แกลบที่ผ่านการปรับสภาพและเผาแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ลักษณะของแกลบที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ



รูปที่ 4.2 ลักษณะของแกลบที่ผ่านการต้มกับกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

รูปที่ 4.3 ซิลิกาที่ได้จากการเผาแกลบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

4.2 การผลิตแผ่นกรองซิลิกา

4.2.1 การกระจายตัวของอนุภาคซิลิกา

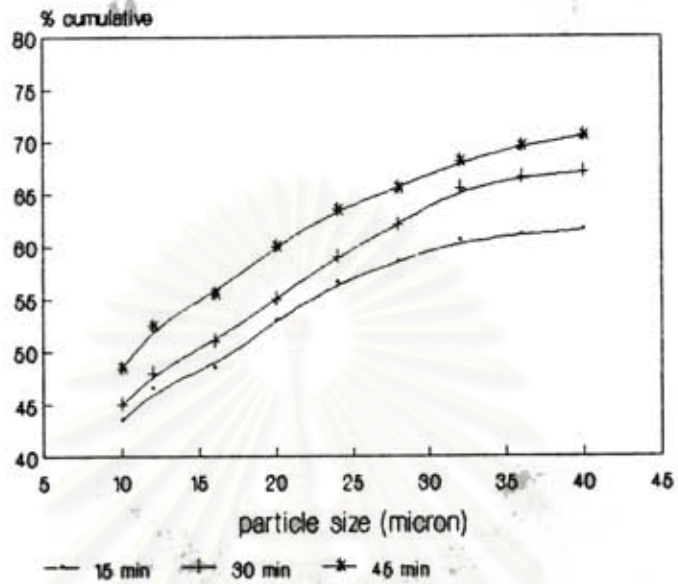
ซิลิกาที่ผลิตได้ ผ่านการบดด้วยหม้อบด (Ball Mill) ในช่วงเวลานานต่างๆ กัน (15, 30 และ 45 นาที) โดยใช้ปริมาณซิลิกาในการบดแต่ละครั้งเท่ากัน (50 กรัม) ซิลิกาที่บดได้แต่ละครั้งจะถูกนำมารวมกัน (สำหรับซิลิกาที่ใช้ช่วงเวลาที่เท่ากัน) และสุมซิลิกาจำนวนหนึ่ง มาวัดการกระจายตัวของอนุภาค โดยใช้เครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาคโดยอัตโนมัติ

(RS-1000) ซิลิกาที่ผ่านการบดโดยใช้ช่วงเวลาต่างกันมีการกระจายตัวของอนุภาค ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการกระจายตัวของซิลิกาที่ได้จากการบดโดยหม้อบดที่เวลาต่าง ๆ

ขนาด (μm)	จำนวน (%)		
	15 min	30 min	45 min
เริ่มวัดตั้งแต่ 10 μm			
เล็กกว่า 10	43.5	45.0	48.5
10 - 14	3.0	3.0	4.0
14 - 18	2.0	3.0	3.0
18 - 22	4.5	4.0	4.5
22 - 26	3.5	4.0	3.5
26 - 30	2.0	3.0	1.0
30 - 34	2.0	3.5	1.0
34 - 38	0.5	1.0	0.5
38 - 42	0.5	0.5	0.5
โตกว่า 42	38.5	33.0	33.6

เนื่องจากผงซิลิกามีลักษณะเบา และมักเกิดการเกาะตัวเป็นก้อน (agglomeration) (Iler, 1979) จึงทำให้มีข้อจำกัดในการหาช่วงขนาดของผงซิลิกา การหาขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของซิลิกาทำได้โดยตรงจากกราฟ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์สะสมของจำนวนอนุภาค (% cumulative) กับขนาดของอนุภาค (particle size) โดยขนาดอนุภาคเฉลี่ย (d_p) คือ ขนาดของอนุภาคที่ค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของจำนวนอนุภาค = 50 (Snow และ Allen, 1992)



รูปที่ 4.4 แสดงอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการบดที่มีต่อขนาดของอนุภาค

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าเมื่อใช้เวลาในการบดต่างกัน ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (d_p) มีขนาดต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยที่ได้จากการบดในเวลาต่างๆ

เวลาที่ใช้บดสาร (min)	d_p (μm)
15	17.2
30	14.7
45	10.8

4.2.2 ลักษณะแผ่นกรองซิลิกา

เมื่อเตรียมผงซิลิกาได้ตามวิธีการข้างต้นแล้ว นำผงซิลิกาที่มีขนาดโดยเฉลี่ยทั้งสามมาอัดขึ้นรูป โดสใช้ปริมาณซิลิกาในการอัดแต่ละครั้งเท่ากัน(20 กรัม) ขึ้นรูปโดสใช้แรงอัด 1, 2 และ 3 เมกกะปาสกาล อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 1200 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการขึ้นเทอร์ 3 ชั่วโมง(Pornchai และ Charin,1992) แผ่นกรองที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นแผ่นกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 5.2-5.3 เซนติเมตร หนา 0.5-0.6 เซนติเมตร ทุกแผ่นมีผิวเนียนเรียบ ไม่มีการหลุดร่วงของอนุภาคซิลิกาจากแผ่นกรอง นอกจากนี้ยังมีลักษณะแข็งแต่ค่อนข้างเปราะ ลักษณะแผ่นกรองที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.5

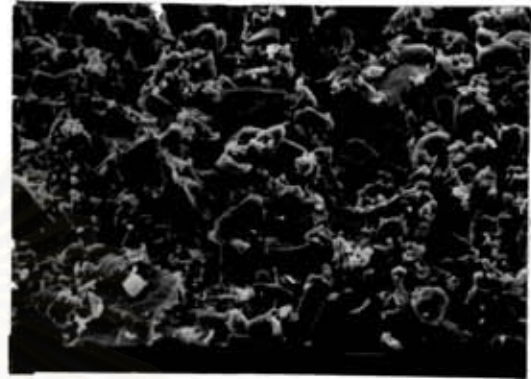
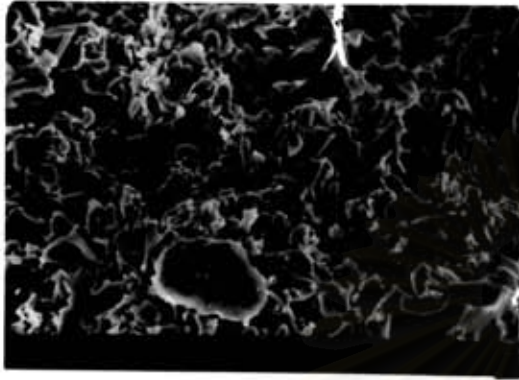
รูปที่ 4.5 แผ่นกรองซิลิกาที่ได้จากการอัดโดยเครื่องอัดไฮดรอลิก

4.3 การวิเคราะห์แผ่นกรอง

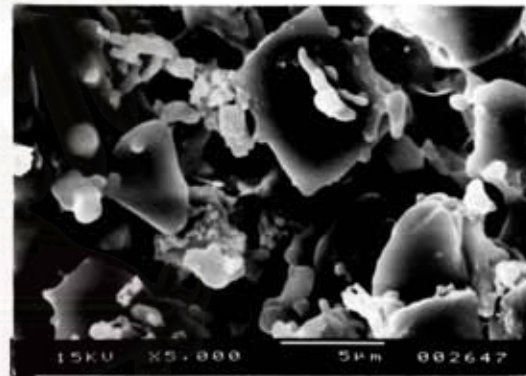
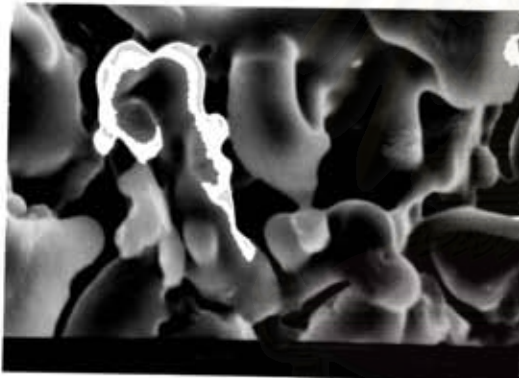
4.3.1 คุณสมบัติของแผ่นกรองซิลิกาก่อนใช้งาน

4.3.1.1 โครงสร้างของแผ่นกรอง

แผ่นกรองซิลิกาที่ผลิตได้นำมาส่องขยายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน(SEM) ภาพที่ได้ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



ก ข



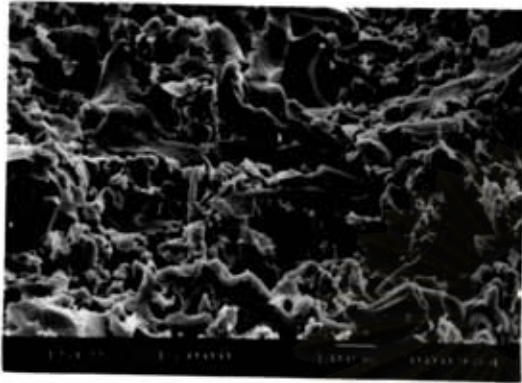
ค ง

สถาบันวิทยบริการ

รูปที่ 4.6 แสดงภาพขยายพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของแผ่นกรองที่ขึ้นรูปโดยใช้ซิลิกา ที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 17.2 ไมครอน และใช้แรงอัดในการขึ้นรูปแผ่นกรอง

1 เมกกะปาสคาล

- ก. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง กำลังขยาย 1,000 เท่า
- ข. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน กำลังขยาย 1,000 เท่า
- ค. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง กำลังขยาย 5,000 เท่า
- ง. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน กำลังขยาย 5,000 เท่า



ก



ข



ค

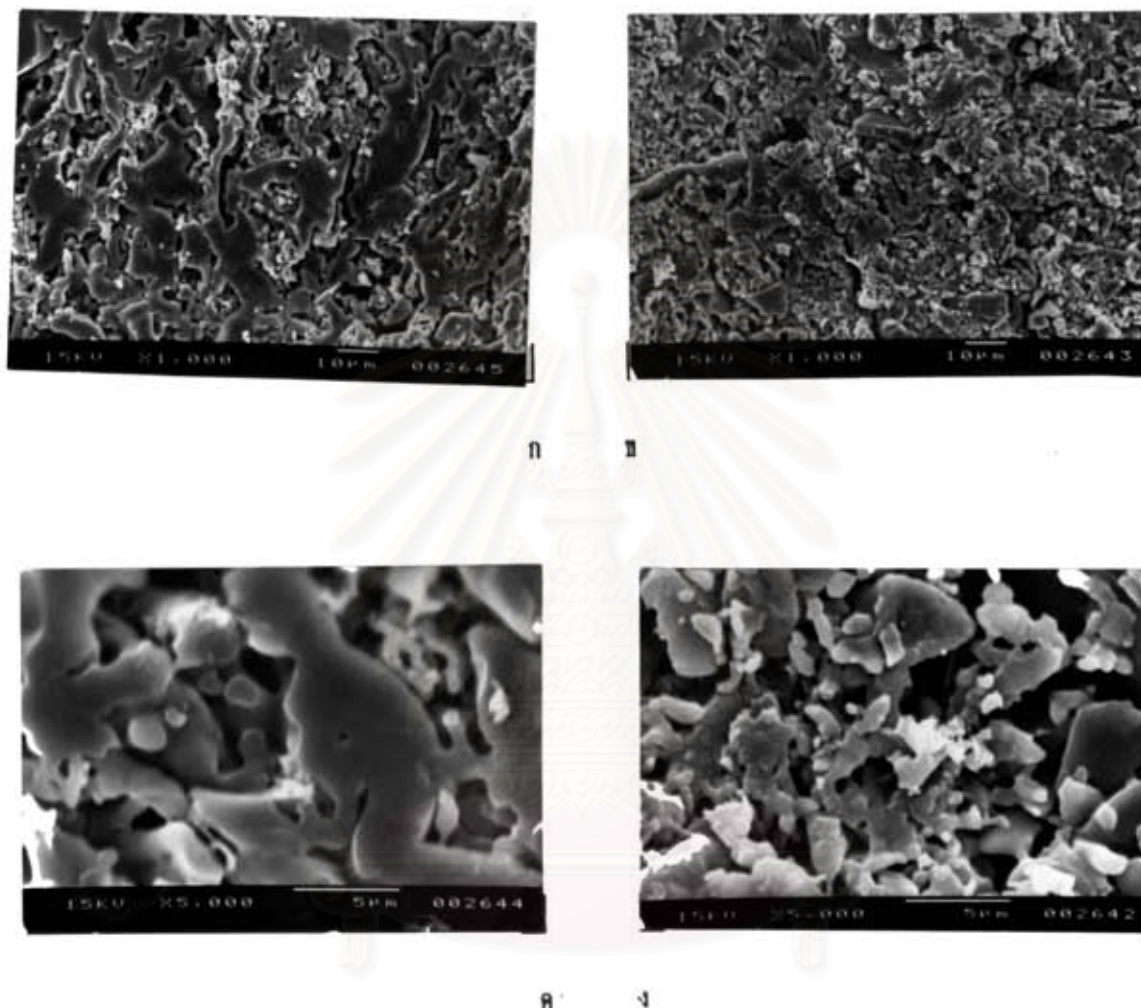


ง

สถาบันวิทยบริการ

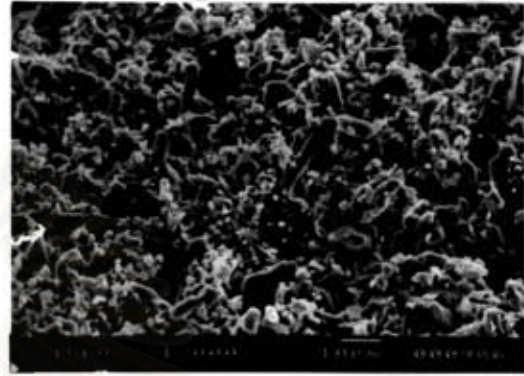
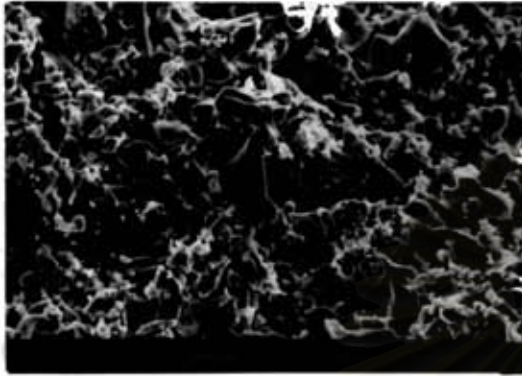
รูปที่ 4.7 แสดงภาพขยายพื้นผิวด้านบนและด้านข้างของแผ่นกรองที่ขึ้นรูปโดยใช้ซิลิกา
ที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 17.2 ไมครอน และใช้แรงอัดในการขึ้นรูปแผ่นกรอง
2 เมกกะปาสคาล

- | | | |
|---------------------------|-----------|------------|
| ก. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง | กำลังขยาย | 1,000 เท่า |
| ข. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน | กำลังขยาย | 1,000 เท่า |
| ค. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง | กำลังขยาย | 5,000 เท่า |
| ง. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน | กำลังขยาย | 5,000 เท่า |

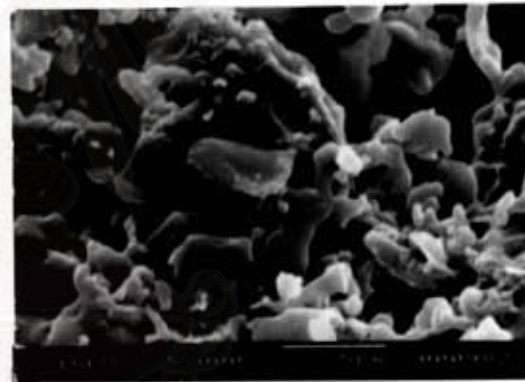
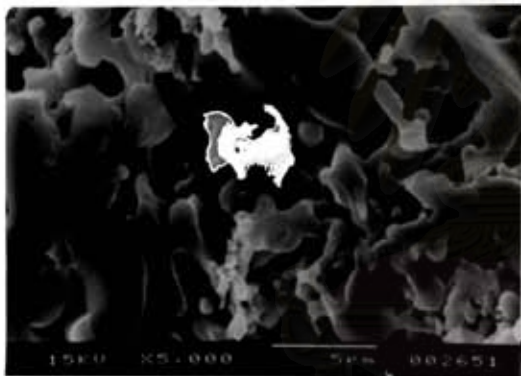


รูปที่ 4.8 แสดงภาพขยายพื้นผิวด้านบนและด้านข้างของแผ่นกรองที่ขึ้นรูปโดยใช้ซิลิกาที่มีขนาดอนุภาคโคสเจลล์ 17.2 ไมครอน และใช้แรงอัดในการขึ้นรูปแผ่นกรอง 3 เมกกะปาสคาล

ก. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง	กำลังขยาย	1,000 เท่า
ข. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน	กำลังขยาย	1,000 เท่า
ค. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง	กำลังขยาย	5,000 เท่า
ง. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน	กำลังขยาย	5,000 เท่า



ก ข



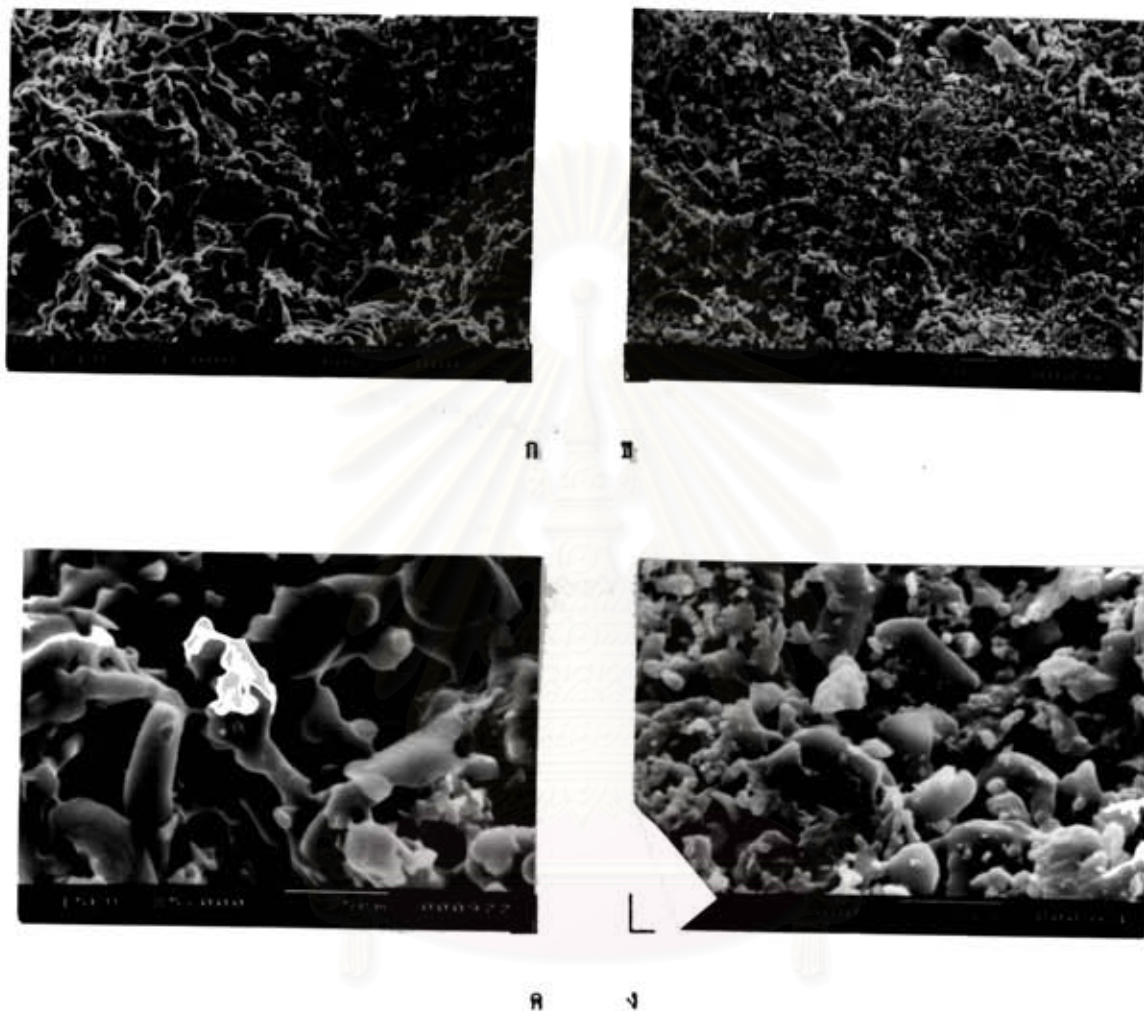
ค ง

สถาบันวิทยบริการ

รูปที่ 4.9 แสดงภาพขยายพื้นผิวด้านบนและด้านข้างของแผ่นกรองที่ขึ้นรูปโดยใช้ซิลิกา ที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 14.7 ไมครอน และใช้แรงอัดในการขึ้นรูปแผ่นกรอง

1 เมกกะปาสคาล

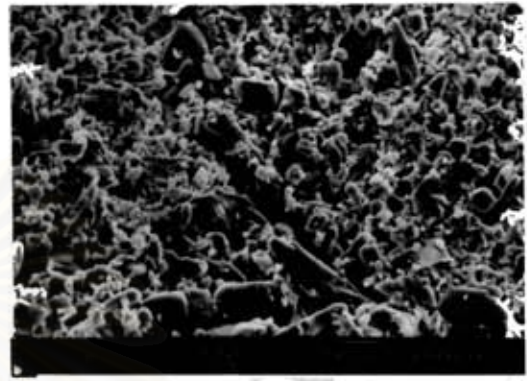
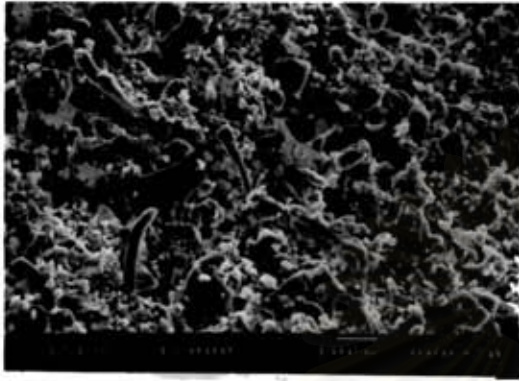
- | | | |
|---------------------------|-----------|------------|
| ก. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง | กำลังขยาย | 1,000 เท่า |
| ข. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน | กำลังขยาย | 1,000 เท่า |
| ค. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง | กำลังขยาย | 5,000 เท่า |
| ง. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน | กำลังขยาย | 5,000 เท่า |



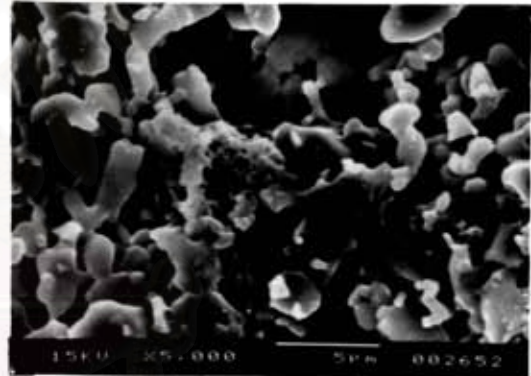
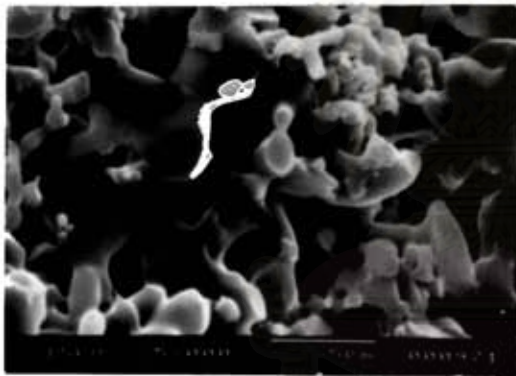
สถาบันวิทยบริการ

รูปที่ 4.10 แสดงภาพขยายพื้นผิวด้านบนและด้านข้างของแผ่นกรองที่ขึ้นรูปโดยใช้ซิลิกาที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 14.7 ไมครอน และใช้แรงอัดในการขึ้นรูปแผ่นกรอง 2 เมกกะปาสคาล

- | | | |
|---------------------------|-----------|------------|
| ก. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง | กำลังขยาย | 1,000 เท่า |
| ข. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน | กำลังขยาย | 1,000 เท่า |
| ค. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง | กำลังขยาย | 5,000 เท่า |
| ง. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน | กำลังขยาย | 5,000 เท่า |



ก ข



ค ง

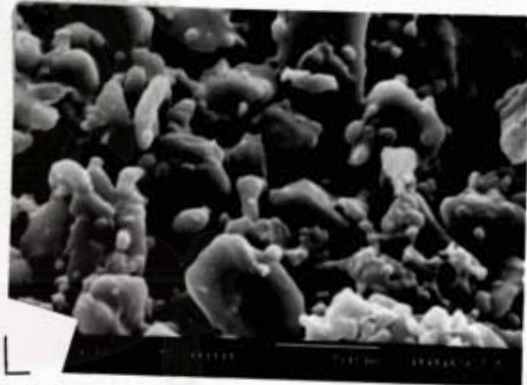
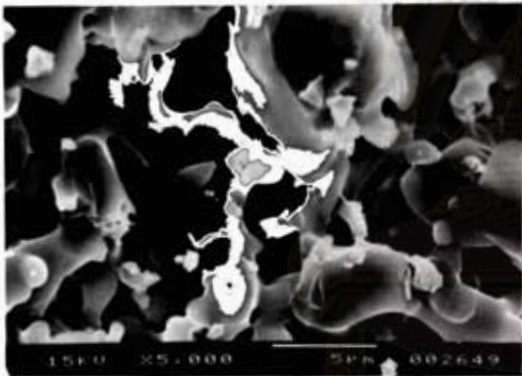
สถาบันวิทยบริการ

รูปที่ 4.11 แสดงภาพขยายพื้นผิวด้านบนและด้านข้างของแผ่นกรองที่ขึ้นรูปโดยใช้วิธีการที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 14.7 ไมครอน และใช้แรงอัดในการขึ้นรูปแผ่นกรอง 3 เมกกะปาสคาล

- | | | |
|---------------------------|-----------|------------|
| ก. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง | กำลังขยาย | 1,000 เท่า |
| ข. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน | กำลังขยาย | 1,000 เท่า |
| ค. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง | กำลังขยาย | 5,000 เท่า |
| ง. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน | กำลังขยาย | 5,000 เท่า |



ก ข



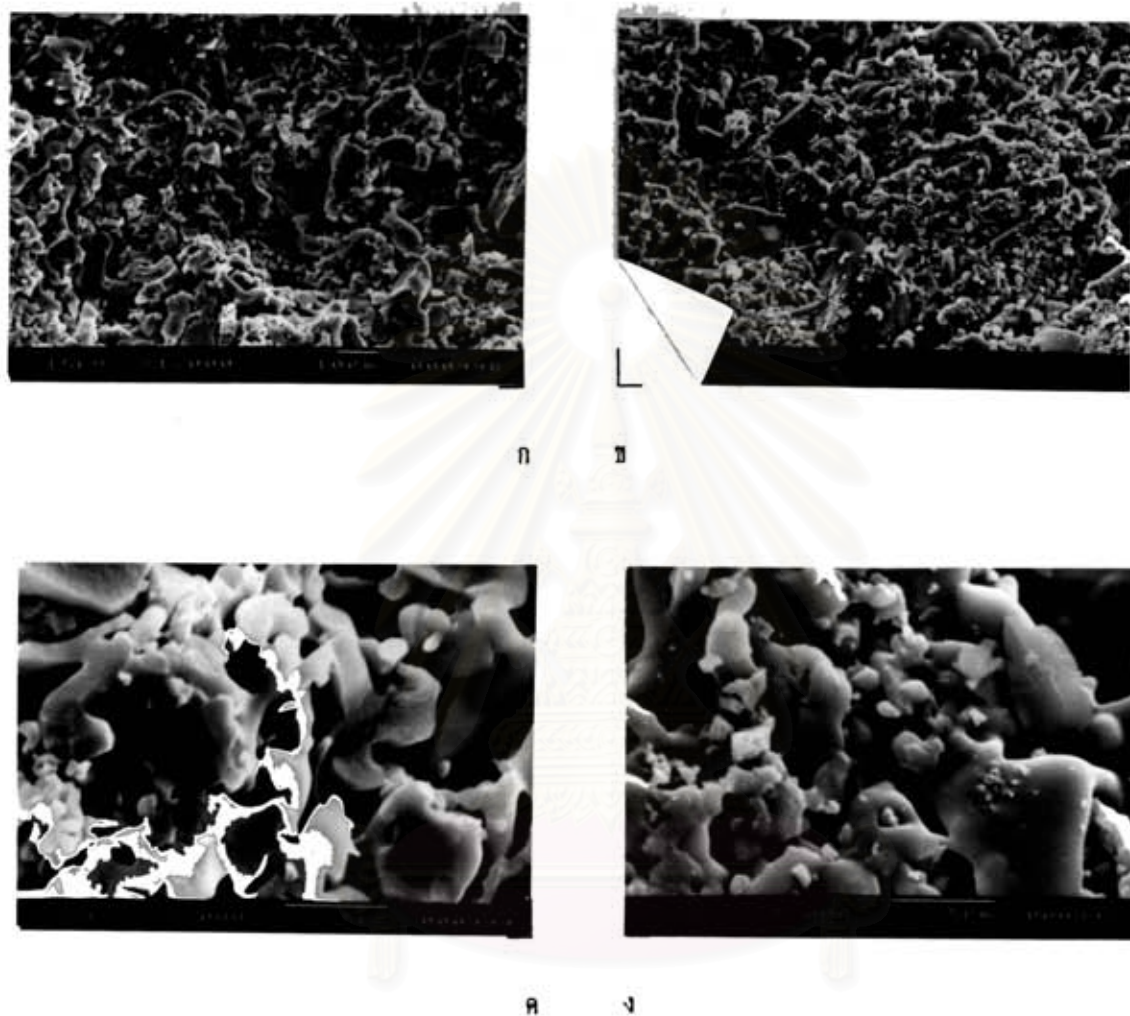
ค ง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.12 แสดงภาพขยายพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของแผ่นกรองที่ขึ้นรูปโดยใช้ซิลิกา ที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 10.8 ไมครอน และใช้แรงอัดในการขึ้นรูปแผ่นกรอง 1 เมกะปาสคาล

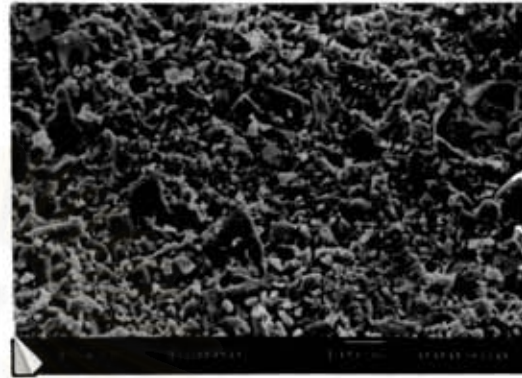
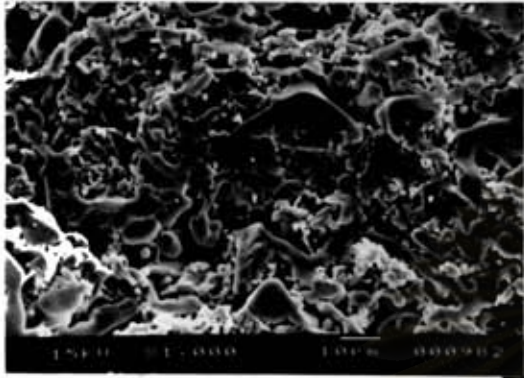
- | | | | |
|---------------------------|-----------|-------|------|
| ก. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง | กำลังขยาย | 1,000 | เท่า |
| ข. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน | กำลังขยาย | 1,000 | เท่า |
| ค. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง | กำลังขยาย | 5,000 | เท่า |
| ง. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน | กำลังขยาย | 5,000 | เท่า |



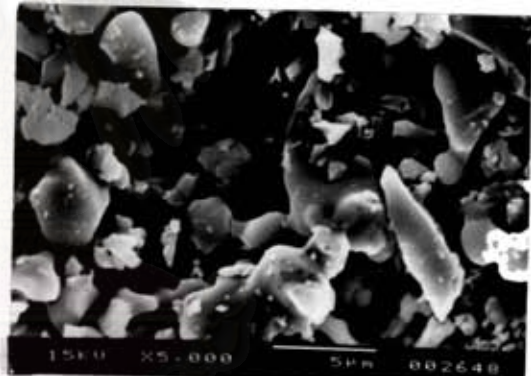
สถาบันวิทยบริการ

รูปที่ 4.13 แสดงภาพขยายพื้นผิวด้านบนและด้านข้างของแผ่นกรองที่ขึ้นรูปโดยใช้ซิลิกาที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 10.8 ไมครอน และใช้แรงอัดในการขึ้นรูปแผ่นกรอง 2 เมกกะปาสคาล

- | | | | | |
|----|------------------------|-----------|-------|------|
| ก. | ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง | กำลังขยาย | 1,000 | เท่า |
| ข. | ภาพขยายพื้นผิวด้านบน | กำลังขยาย | 1,000 | เท่า |
| ค. | ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง | กำลังขยาย | 5,000 | เท่า |
| ง. | ภาพขยายพื้นผิวด้านบน | กำลังขยาย | 5,000 | เท่า |



ก ข



ค ง

รูปที่ 4.14 แสดงภาพขยายพื้นผิวด้านบนและด้านข้างของแผ่นกรองที่ขึ้นรูปโดยใช้วิธีการที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 10.8 ไมครอน และใช้แรงอัดในการขึ้นรูปแผ่นกรอง 3 เมกกะปาสคาล

- | | | | |
|---------------------------|-----------|-------|------|
| ก. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง | กำลังขยาย | 1,000 | เท่า |
| ข. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน | กำลังขยาย | 1,000 | เท่า |
| ค. ภาพขยายพื้นผิวด้านข้าง | กำลังขยาย | 5,000 | เท่า |
| ง. ภาพขยายพื้นผิวด้านบน | กำลังขยาย | 5,000 | เท่า |

เมื่อนำแผ่นกรองที่ได้จากการอัดและขึ้นเทอร์มาส่องขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน(SEM) บริเวณพื้นผิวด้านบนและพื้นผิวด้านล่างของแผ่นกรอง โดยใช้กำลังขยาย 1,000 เท่า และ 5,000 เท่า จากรูปที่ 4.6 ถึงรูปที่ 4.14 พบว่า แผ่นกรองทุกแผ่นมีการยึดติดกันของอนุภาคซิลิกาอย่างหลวม มีอนุภาคซิลิกาขนาดต่างๆกันอยู่ปนกัน และเกิดการเชื่อมติดกันในบางส่วนของอนุภาค ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคซึ่งเป็นช่องเปิดที่มีขนาดต่างๆกัน กระจายอยู่ทั่วแผ่นกรอง

4.3.1.2 การกระจายขนาดรูพรุนของแผ่นกรอง

สุ่มวัดขนาดช่องว่างระหว่างอนุภาคจากรูปถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน พบว่า ช่องว่างระหว่างอนุภาคหรือที่เรียกว่ารูพรุนนี้ มีการกระจายขนาดอยู่ในช่วง ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การกระจายขนาดรูพรุนของแผ่นกรองในช่วงขนาดรูพรุนต่างๆ

สภาวะของแผ่นกรอง		จำนวนรูพรุนของแผ่นกรองในช่วงขนาดต่างๆ [%]						ขนาดรูพรุนเฉลี่ย [μm]
d_p [μm]	P [MPa]	0-2 [μm]	2-4 [μm]	4-6 [μm]	6-8 [μm]	8-10 [μm]	10-12 [μm]	
10.8	1	61.8	21.6	10.8	5.8	-	-	2.2
10.8	2	68.6	19.6	7.8	4.0	-	-	1.9
10.8	3	74.6	19.3	4.3	1.8	-	-	1.7
14.7	1	44.6	32.1	12.5	5.4	3.6	1.8	2.9
14.7	2	53.3	29.0	9.4	4.6	2.8	0.9	2.5
14.7	3	58.7	27.5	6.5	4.6	2.7	-	2.3
17.2	1	42.7	30.9	9.0	6.4	6.4	4.6	3.1
17.2	2	45.4	29.1	11.9	9.1	2.7	1.8	3.0
17.2	3	50.9	29.8	9.6	7.0	1.8	0.9	2.6

จากตาราง 4.3 ขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยของแผ่นกรองอยู่ในช่วง 1.7 ถึง 3.1 ไมครอน โดยแผ่นกรองที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 17.2 ไมครอน ขึ้นรูปด้วยแรงอัด 1,2 และ 3 เมกกะปาสกาล มีขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยลดลงจาก 3.1 เป็น 3.0 และ 2.6 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 4.6-4.8ง. แสดงภาพขยายพื้นผิวด้านบนของแผ่นกรองซิลิกาแต่ละแผ่น อนุภาคซิลิกาเรียงตัวกันอยู่หลวมๆ ในรูปที่ 4.6ง. อัดตัวแน่นขึ้นในรูป 4.7ง. และ 4.8ง. ตามลำดับ ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดเล็กลง ประกอบกับซิลิกาเป็นอนุภาคที่มีความเปราะ การกดอัดมีผลให้ขนาดอนุภาคของซิลิกาเล็กลง รูพรุนที่เกิดขึ้นจึงมีขนาดเล็กลง เมื่อใช้แรงอัดมากขึ้น

ในทำนองเดียวกัน แผ่นกรองที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 14.7 ไมครอน ขึ้นรูปด้วยแรงอัด 1,2 และ 3 เมกกะปาสกาล มีขนาดรูพรุนลดลงจาก 2.9 เป็น 2.5 และ 2.3 ไมครอน ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.9-4.11ง. แสดงภาพขยายพื้นผิวด้านบนของแผ่นกรองซิลิกา และแผ่นกรองที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 10.8 ไมครอน ขึ้นรูปด้วยแรงอัด 1,2 และ 3 เมกกะปาสกาล มีขนาดรูพรุนลดลงจาก 2.2 เป็น 1.9 และ 1.7 ไมครอน ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.12-4.14 ง.

เมื่อนำแผ่นกรองซิลิกาไปผ่านการวัดขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยด้วยเครื่องวัดขนาดรูพรุน (Pore Sizer 9320) ซึ่งอาศัยหลักการอัดปรอทเข้าไปในรูพรุน และวัดค่าในลักษณะของพื้นที่ผิวของรูพรุนภายในแผ่นกรองและปริมาตรของรูพรุนของแผ่นกรอง ผลที่ได้ดังแสดงในตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 ขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยของแผ่นกรองซิลิกา ได้จากเครื่องวัดขนาดรูพรุน (Pore Sizer)

สภาวะในการ ขึ้นรูป แผ่นกรอง	d_p [μm]	10.8			14.7			17.2		
	P [MPa]	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ย [μm]		1.6	1.3	1.0	1.8	1.6	1.2	2.4	2.3	2.1

จากตารางข้างต้นพบว่า ค่าขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยของแผ่นกรองซิลิกาที่วัดได้จาก

เครื่องวัดขนาดรูพรุน ซึ่งได้จากการสมมติว่าถ้ารูพรุนภายในแผ่นกรองมีลักษณะกลม ขนาดของรูพรุนของแผ่นกรองจะอยู่ในช่วง 1.0-2.4 ไมครอน เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยของแผ่นกรองซิลิกาที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) จะเห็นได้ว่า ขนาดรูพรุนที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีขนาดใหญ่กว่าการวัดขนาดรูพรุนโดยใช้เครื่องวัดขนาดรูพรุน ทั้งนี้เนื่องจาก การหาขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เป็นการสังเกตจากภาพถ่ายในระนาบหนึ่งๆ เท่านั้น แต่การหาขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยโดยใช้เครื่องวัดขนาดรูพรุนเป็นการหาขนาดเฉลี่ยของรูพรุนทั่วทั้งแผ่น

4.3.1.3 เปอร์เซ็นต์รูพรุนของแผ่นกรอง

นำแผ่นกรองซิลิกามาทดสอบหาเปอร์เซ็นต์รูพรุนของแผ่นกรองตามมาตรฐานของอเมริกัน (ASTM ; D 4197-82) โดยเปอร์เซ็นต์รูพรุนของแผ่นกรองหาได้จากความสัมพันธ์

$$\text{เปอร์เซ็นต์รูพรุน}[\%] = \frac{\text{ปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคภายในแผ่นกรอง (Pore Volume)} \times 100}{\text{ปริมาตรทั้งหมดของแผ่นกรอง (Total Volume)}}$$

ปริมาตรทั้งหมดของแผ่นกรองหาได้จากการคำนวณโดยตรง โดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นกรอง และความหนาโดยเฉลี่ยของแผ่นกรองซิลิกา (ภาคผนวก ข)

ปริมาตรช่องว่างระหว่างอนุภาคภายในแผ่นกรองหาได้จาก ผลต่างระหว่างปริมาตรทั้งหมดของแผ่นกรองกับปริมาตรของอนุภาคซิลิกา ในการหาเปอร์เซ็นต์รูพรุนของแผ่นกรอง ต้องทราบความหนาแน่นของอนุภาคซิลิกาหลังซินเทอร์ (ภาคผนวก ก) ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์รูพรุนของแผ่นกรองที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยและแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปแตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์รูพรุน(Porosity)ของแผ่นกรองซิลิกา

สภาวะในการ ขึ้นรูป แผ่นกรอง	d_p [μm]	10.8			14.7			17.2		
	P [MPa]	1	2	3	1	2	3	1	2	3
เปอร์เซ็นต์รูพรุน(%Po) [-]		1.6	29.7	26.7	38.6	32.5	27.6	42.1	35.5	29.7

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์รูพรุน (%Po), ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (d_p) และแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรอง (P) เมื่อแสดงโดยสมการเส้นถดถอย(Multiple Regression) โดยใช้โปรแกรมโลตัส (LOTUS) พิจารณาใน 4 รูปแบบ คือ ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Simple Linear Regression) , ความสัมพันธ์แบบลอการิทึม (Logarithmic Regression) , ความสัมพันธ์แบบเลขชี้กำลัง (Exponential Regression) และความสัมพันธ์แบบพาวเวอร์ (Power Regression)

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า determination coefficient (r^2) ของความสัมพันธ์สมการเส้นถดถอยระหว่างเปอร์เซ็นต์รูพรุนกับขนาดอนุภาคเฉลี่ยและแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูป

รูปแบบของความสัมพันธ์	r^2
เส้นตรง	0.9207
ลอการิทึม	0.9074
เลขชี้กำลัง	0.9429
พาวเวอร์	0.9205

จากค่า determination coefficient (r^2) ของความสัมพันธ์แบบต่างๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 ของผลการวิเคราะห์หาสมการที่เหมาะสมโดยโปรแกรมดังกล่าว จะได้ว่าความสัมพันธ์ทั้ง 4 รูปแบบสามารถนำมาใช้ในการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านี้ได้เป็นอย่างดี และความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด คือความสัมพันธ์แบบเอกซ์โปเนนเชียล เนื่องจากมีค่า r^2 สูงสุด (McClave และ Benson, 1985) ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

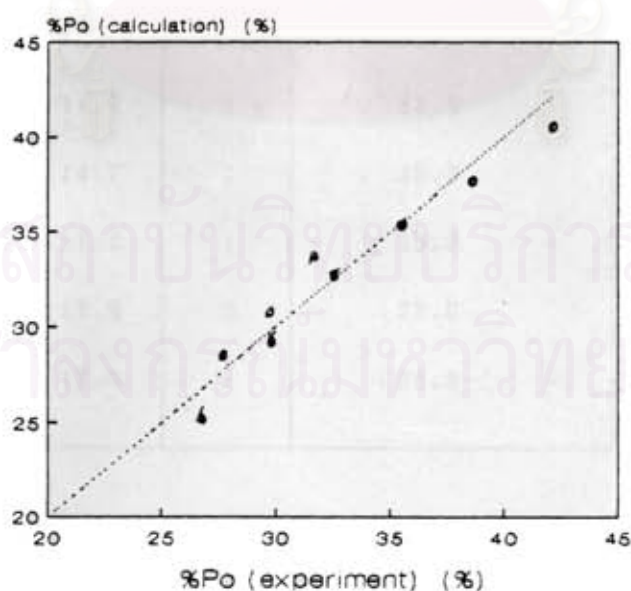
$$\%Po = 28.2423 \exp [0.0128 (d_u) - 0.0618 (P)] \quad (4-1)$$

โดย

$$10.8 < d_u < 17.2 \quad [\text{ไมครอน}]$$

$$1 < P < 3 \quad [\text{เมกะปาสคาล}]$$

และจากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าสมการ (4-1) นี้สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์รุกรุน(%Po), ขนาดอนุภาคเฉลี่ย(d_u) และแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูป(P) ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์รุกรุนที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

4.3.1.4 ความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง

นำแผ่นกรองที่ผลิตได้มาทดสอบหาความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง โดยกรองผ่านด้วยน้ำกลั่นในเครื่องกรองระบบปิดด้วยความดันคงที่ 50 กิโลปาสกาล นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง(ภาคผนวก ง) ค่าที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความต้านทานการกรอง(R_{m0}) ของแผ่นกรองซิลิกาก่อนใช้งาน

สภาวะของแผ่นกรอง		ความต้านทานการกรอง (R_{m0}) $\times 10^{-7}$ [cm^{-1}]
d_p [μm]	P [MPa]	
10.8	1	42.6
10.8	2	46.2
10.8	3	49.4
14.7	1	28.2
14.7	2	31.2
14.7	3	35.3
17.2	1	15.2
17.2	2	22.5
17.2	3	28.5

จากตารางที่ 4.7 พบว่าค่าความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง(R_{m0}) มีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรอง(P)และขนาดอนุภาคเฉลี่ย(d_p) ในขณะที่ขนาดอนุภาคเฉลี่ยคงที่ เมื่อแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรองเพิ่มขึ้น ความต้านทานการกรอง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการกดอัดเพื่อขึ้นรูปแผ่นกรองโดยใช้แรงอัดเพิ่มขึ้นทำให้อนุภาคซิลิกา

ถูกบีบตัวให้อยู่ชิดกันมากยิ่งขึ้น ประกอบกับซิลิกาพื้นฐานมีคุณสมบัติเปราะ การกดอัดอาจทำให้อณูภาคซิลิกาถูกบีบค้ำยให้เล็กลงกว่าเดิม ขนาดรูพรุนของแผ่นกรองที่เกิดขึ้นจึงมีขนาดลดลง ถ้าให้แรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปคงที่ เมื่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ความต้านทานการกรองมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากขนาดรูพรุนที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกัน และเมื่อนำความต้านทานการกรองก่อนการใช้งาน (R_{uo}), ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (d_p) และแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรอง (P) มาหาความสัมพันธ์ตามสมการเส้นถดถอย (Multiple Regression) โดยใช้โปรแกรมโลตัส (LOTUS) ซึ่งมีความสัมพันธ์ 4 รูปแบบ คือ

1. ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Simple Linear Regression)
2. ความสัมพันธ์แบบลอการิทึม (Logarithmic Regression)
3. ความสัมพันธ์แบบเลขชี้กำลัง (Exponential Regression)
4. ความสัมพันธ์แบบพาวเวอร์ (Power Regression)

จากความสัมพันธ์ทั้ง 4 รูปแบบข้างต้น สมการเส้นถดถอยต่างมีค่าความแปรปรวน (ภาคผนวก จ) ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า determination coefficient (r^2) ของความสัมพันธ์สมการเส้นถดถอยระหว่างความต้านทานการกรอง กับขนาดอนุภาคเฉลี่ยและแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูป

รูปแบบของความสัมพันธ์	r^2
เส้นตรง	0.9862
ลอการิทึม	0.9802
เลขชี้กำลัง	0.9238
พาวเวอร์	0.9094

จากตารางข้างต้น พบว่า ความสัมพันธ์ทั้ง 4 รูปแบบ สามารถนำมาใช้ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานการกรองก่อนการใช้งาน (R_{uo}), ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (d_p)

และแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูป(P)

ความสัมพันธ์ที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ ความสัมพันธ์ที่มีค่า r^2 สูงสุด (McClave และ Benson, 1985) ดังนั้นสมการเส้นถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานการทรงก่อนการใช้งาน (R_{mo}), ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (d_p) และแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูป(P) ได้อย่างเหมาะสมคือ ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ที่มีสมการดังนี้

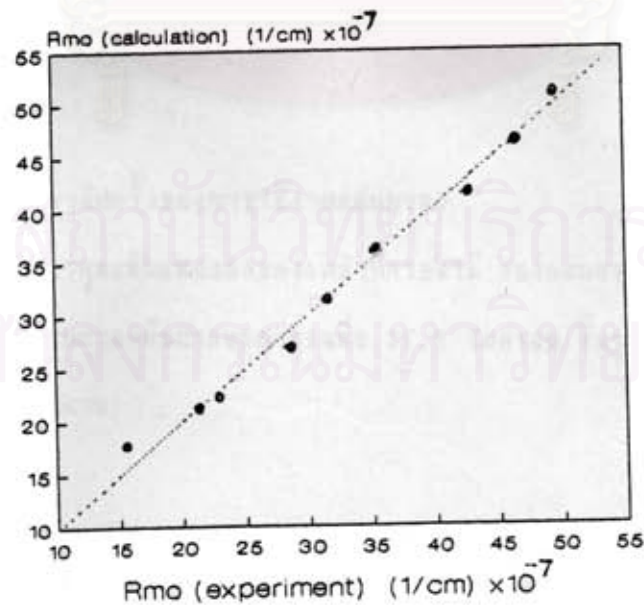
$$R_{mo} = (77.6141 - 3.7522 d_p + 4.5366 P) \times 10^7 \quad (4-2)$$

โดย

$$10.8 < d_p < 17.2 \quad [\text{ไมครอน}]$$

$$1 < P < 3 \quad [\text{เมกะปาสคาล}]$$

และจากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าสมการ (4-1) นี้สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานการทรง (R_{mo}), ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (d_p) และแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูป(P) ได้เป็นอย่างดี

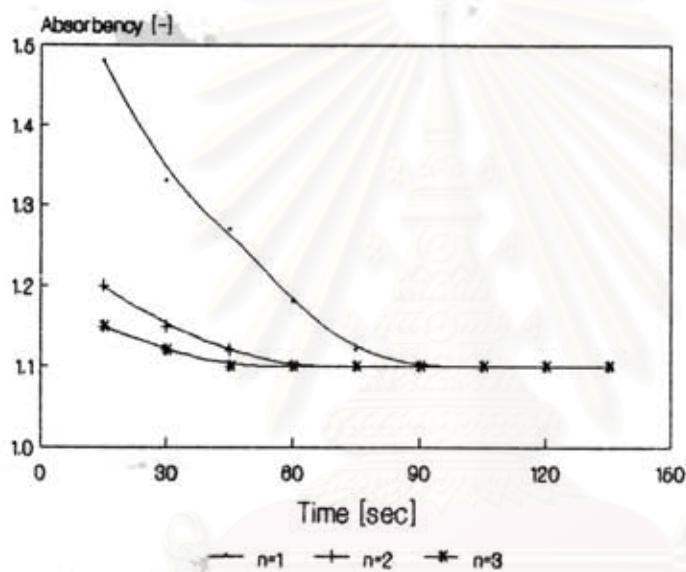


รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบค่าความต้านทานการทรงที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

4.3.2 คุณสมบัติของแผ่นกรองหลังการใช้งาน

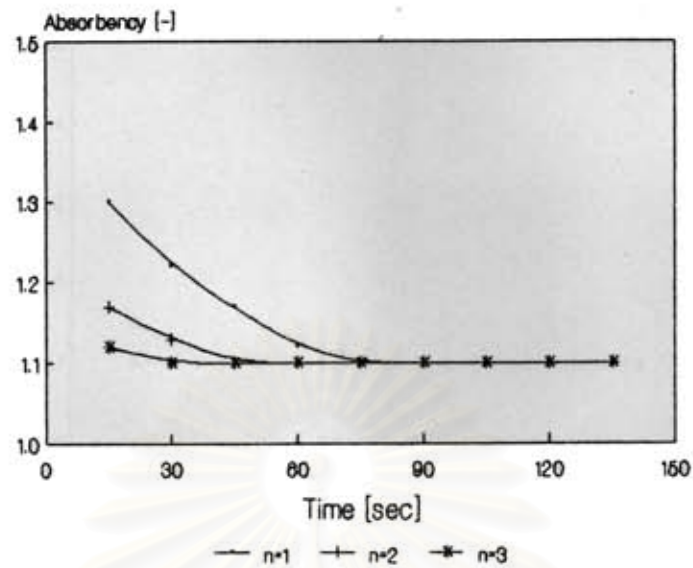
4.3.2.1 ประสิทธิภาพการกรอง

จากการทดลองกรองน้ำเบียร์สดที่ยังไม่ได้แยกขี้สัดออกจากน้ำเบียร์ ด้วยแผ่นกรองซิลิกา ของเหลวที่กรองได้ในช่วงเวลาการกรองต่างๆ นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbency) ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ถึงรูปที่ 4.19 โดยเป็นการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้จากการใช้งานแผ่นกรองครั้งที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



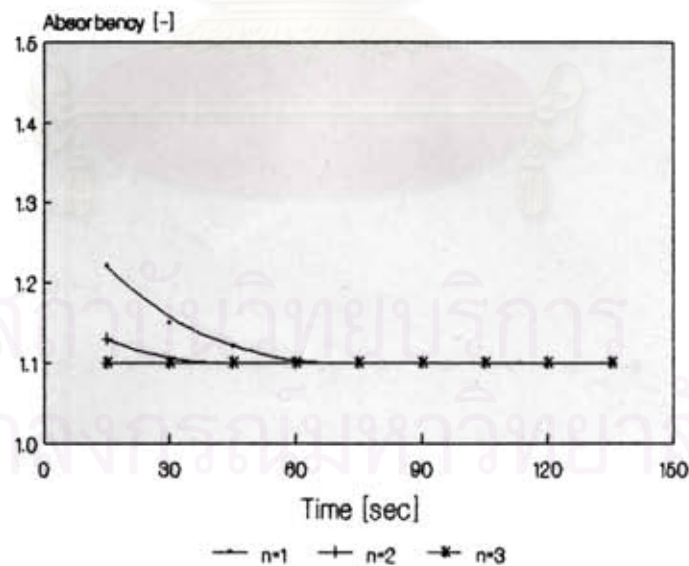
n = ลำดับครั้งที่ของการใช้งานแผ่นกรอง

รูปที่ 4.17 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ ของแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งานครั้งต่างๆ (แผ่นกรองมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 17.2 ไมครอน ขึ้นรูปโดยใช้แรงอัด 1 เมกกะปาสคาล)



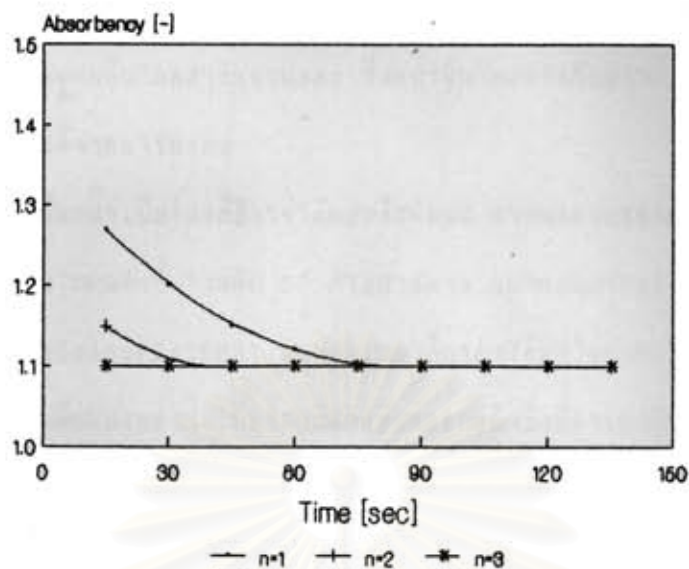
n = ลำดับครั้งที่ใช้งานแผ่นกรอง

รูปที่ 4.18 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ ของแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งานครั้งต่างๆ (แผ่นกรองมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 17.2 ไมครอน ขึ้นรูปโดยใช้อัด 2 เมกกะปาสคาล)



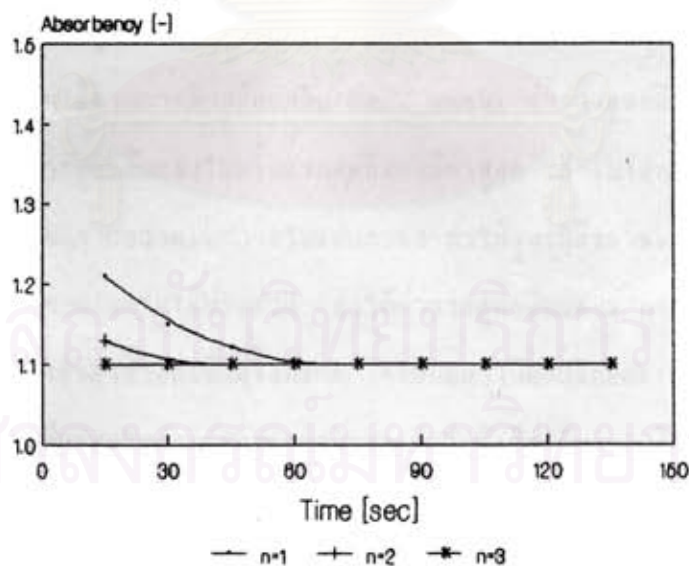
n = ลำดับครั้งที่ใช้งานแผ่นกรอง

รูปที่ 4.19 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ ของแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งานครั้งต่างๆ (แผ่นกรองมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 17.2 ไมครอน ขึ้นรูปโดยใช้แรงอัด 3 เมกกะปาสคาล)



n = ลำดับครั้งที่ใช้งานแผ่นกรอง

รูปที่ 4.20 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ ของแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งานครั้ง
ต่างๆ (แผ่นกรองมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 14.7 ไมครอน ขึ้นรูปโดยใช้แรงอัด 2
เมกกะปาสกาล)



n = ลำดับครั้งที่ใช้งานแผ่นกรอง

รูปที่ 4.21 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ ของแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งานครั้ง
ต่างๆ (แผ่นกรองมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 10.8 ไมครอน ขึ้นรูปโดยใช้แรงอัด 2
เมกกะปาสกาล)

การนำมาทดลองกรองโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงนี้ โดยทั่วไป ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ เป็นความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนโดยสารแขวนลอย ซึ่งแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในของเหลวที่ได้จากการกรอง

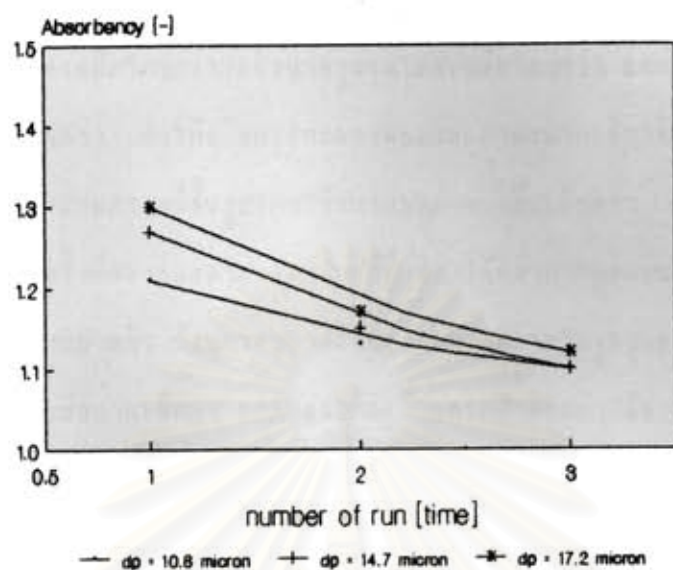
ในงานวิจัยนี้เลือกน้ำเบียร์สดที่ยังไม่ได้แยกยีสต์ออก มาทดลองกรองแยกยีสต์โดยใช้ เครื่องกรองที่เป็นระบบปิด ทดลองที่ความดัน 50 กิโลปาสกาล ขนาดอนุภาคของยีสต์อยู่ในช่วง 1-10 ไมครอน (Cheremisinoff;1983) นำของเหลวที่กรองได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสง เปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเบียร์สดที่แยกยีสต์ออกแล้วซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.1

ในการกรองครั้งแรกของแผ่นกรอง ของเหลวที่กรองได้ในทุกกรณี มีค่าการดูดกลืนแสง สูงกว่าค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเบียร์ที่นำมาเปรียบเทียบกับ ค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มลดลงเมื่อ เวลาผ่านไปจนมีค่าเท่ากับค่าเปรียบเทียบ($A=1.1$) แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกของการกรองเกิดการหลุดรอดของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดของรูพรุนในแผ่นกรองออกมาได้ ซึ่งคาดว่าจะ เป็นช่วงที่ยังไม่เกิดเค้ก แต่เมื่อเวลาผ่านไป ค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มลดลงแสดงว่ามีการหลุดรอด ของอนุภาคขนาดเล็กน้อยลง ของเหลวที่กรองได้มีความใสมากขึ้น ซึ่งเป็นช่วงที่มีเค้กเกิดขึ้นหน้า แผ่นกรองทำให้อนุภาคเกิดการขวางกั้นกันเอง

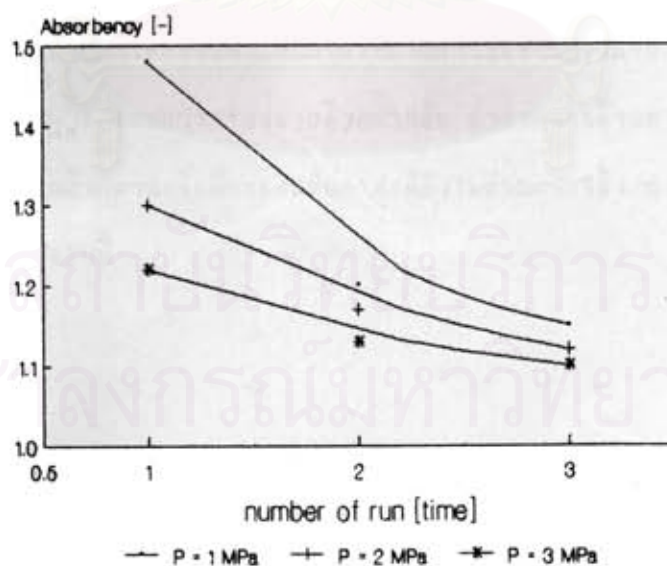
เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงของการกรองครั้งที่สอง โดยใช้แผ่นกรองที่ผ่านการล้าง เค้กบริเวณผิวหน้าออกแต่ไม่ได้ผ่านการล้างย้อนกลับ(back wash) ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงแรก มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงในครั้งแรกแต่ยังคงมีค่าสูงกว่าค่าเปรียบเทียบ แสดงให้ เห็นว่า เกิดการอุดตันของอนุภาคขนาดเล็กภายในแผ่นกรอง ทำให้รูพรุนมีขนาดเล็กลงกว่าเดิมแต่ ยังคงมีการหลุดรอดของอนุภาคออกไปได้บางส่วน ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่าค่าเปรียบเทียบ

เมื่อนำมาทดลองกรองซ้ำอีกเป็นครั้งที่สาม จะพบแนวโน้มในลักษณะเดียวกับการกรอง ครั้งที่สองคือ ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงแรกจะลดลงจากเดิมใกล้เคียงกับค่าเปรียบเทียบและเมื่อ เวลาผ่านไป ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงเข้าสู่ค่าเปรียบเทียบ

เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงในช่วงแรกของการกรองแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบกัน ผลที่ได้ แสดงในรูปที่ 4.22 และรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ในช่วงแรกของการกรองครั้งต่างๆ โดยใช้แผ่นกรองที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยแตกต่างกัน (10.8, 14.7 และ 17.2 ไมครอน) แต่ชั้นรูปโดยใช้แรงอัดเท่ากัน (2 เมกกะปาสกาล)



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ในช่วงแรกของการกรองครั้งต่างๆ โดยใช้แผ่นกรองที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากัน (14.7 ไมครอน) แต่ชั้นรูปโดยใช้แรงอัดต่างกัน (1, 2 และ 3 เมกกะปาสกาล)

จากรูปที่ 4.22 และรูปที่ 4.23 ข้างต้น เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นกรองที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยแตกต่างกันแต่แรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปเท่ากัน (ตารางที่ 4.3) แผ่นกรองที่ขึ้นรูปโดยใช้น้ำขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่กว่าจะมีขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยใหญ่กว่า และมีการกระจายขนาดของรูพรุนอยู่ในช่วงกว้างกว่า ทำให้เกิดการหลุดลอดของอนุภาคขนาดเล็กได้มากกว่า ดังนั้น ค่าการดูดกลืนแสงจึงสูงกว่าแผ่นกรองที่ขึ้นรูปโดยใช้น้ำขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กกว่า แผ่นกรองแต่ละแผ่นเมื่อนำมาใช้งานซ้ำเป็นครั้งที่สองและสาม ของเหลวที่กรองได้มีค่าการดูดกลืนแสงลดลง แสดงว่าแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว มีอนุภาคขนาดเล็กแทรกตัวอยู่ในรูพรุนของแผ่นกรอง ทำให้ช่องว่างภายในแผ่นกรองมีขนาดเล็กลง อนุภาคขนาดเล็กแทรกตัวออกมาได้ยากขึ้น

ของเหลวที่กรองได้จึงมีคุณภาพที่ดีขึ้นคือใสขึ้น เช่นเดียวกันแผ่นกรองที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากันแต่ใช้แรงอัดในการขึ้นรูปไม่เท่ากัน (ตารางที่ 4.3) แผ่นกรองที่ใช้แรงอัดในการขึ้นรูปสูงกว่าจะมีขนาดรูพรุนที่เล็กกว่า การหลุดลอดของอนุภาคขนาดเล็ก จึงเกิดได้น้อยกว่าแผ่นกรองที่ใช้แรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปต่ำกว่า ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มีค่าต่ำกว่า

4.3.2.2 ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองเมื่อนำมาใช้งานซ้ำ ($R_{m,n}$)

นำแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งานมาแล้วจากเคบรีเวฟผิวหน้าของแผ่นกรองออกแล้วนำมาหาค่าความต้านทานการกรองของแผ่นกรองที่ผ่านการใช้งานครั้งแรก ($R_{m,1}$), ครั้งที่สอง ($R_{m,2}$) และครั้งที่สาม ($R_{m,3}$) โดยการกรองผ่านด้วยน้ำกลั่น นำค่าความต้านทานการกรองที่หาได้มาเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานเริ่มต้นของแผ่นกรองที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ($R_{m,0}$) ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ต่อไปนี้

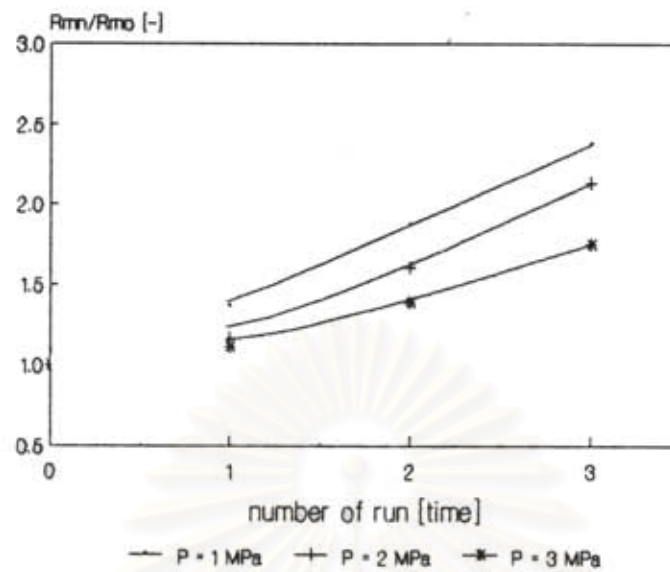
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองซิลิกาที่ผ่านการใช้งาน (R_{m1}) เปรียบเทียบกับ ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองซิลิกาก่อนการใช้งาน (R_{m0})

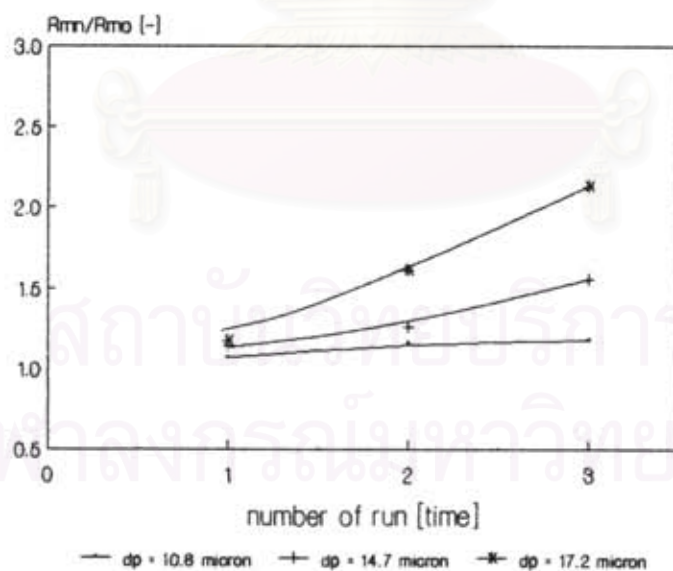
สภาวะของแผ่นกรอง		$\frac{R_{m1}}{R_{m0}}$	$\frac{R_{m2}}{R_{m0}}$	$\frac{R_{m3}}{R_{m0}}$
d_p [μm]	P [MPa]	[-]	[-]	[-]
10.8	2	1.0631	1.1606	1.1763
14.7	2	1.1399	1.2572	1.5593
17.2	1	1.3679	1.8736	2.3736
17.2	2	1.1703	1.6093	2.1347
17.2	3	1.1144	1.3888	1.7562

จากตารางข้างต้น แสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.24 และรูปที่ 4.25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการกรองหลังการใช้งานของแผ่นกรองที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากัน (17.2 ไมครอน) แต่ขึ้นรูปโดยใช้แรงอัดในการขึ้นรูปแผ่นกรองต่างกัน (1, 2 และ 3 เมกกะปาสคาล)



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการกรองหลังการใช้งานของแผ่นกรองที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยต่างกัน (10.8, 14.7 และ 17.2 ไมครอน) แต่ขึ้นรูปโดยใช้แรงอัดในการขึ้นรูปเท่ากัน (2 เมกกะปาสคาล)

พิจารณาค่าความต้านทานการกรองจากรูปที่ 4.24 และรูปที่ 4.25 จะเห็นว่า เมื่อแผ่นกรองผ่านการใช้งาน ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองมีค่าสูงขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าการตกตะกอนแสงของของเหลวที่กรองได้ในรูปที่ 4.22 และรูปที่ 4.23 มีค่าลดลงเข้าสู่ค่าเปรียบเทียบกับเมื่อผ่านการใช้งานในครั้งที่ 2 และ 3 แสดงว่ามีการสะสมตัวของอนุภาคแขวนลอยภายในแผ่นกรอง ซึ่งการสะสมตัวของอนุภาคแขวนลอยนี้มีผลให้รูพรุนมีขนาดเล็กลง อัตราการไหลผ่านของของเหลวจึงน้อยลงจากเดิม นั่นคือความต้านทานการกรองของแผ่นกรองมีค่าสูงขึ้น จากรูปที่ 4.24 แผ่นกรองทุกแผ่นต่างมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากัน เมื่อนำมาขึ้นรูปโดยใช้แรงอัดในการขึ้นรูปที่ต่างกัน แผ่นที่ใช้แรงอัดในการขึ้นรูปสูงกว่า มีขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยเล็กกว่า (ตาราง 4.3) ประกอบกับมีการกระจายขนาดของรูพรุนในช่วงที่แคบกว่า ทำให้โอกาสที่อนุภาคขนาดเล็กแทรกตัวเข้าไปสะสมภายในแผ่นกรองได้ยากกว่า การอุดตันจึงเกิดขึ้นได้น้อยกว่าแผ่นกรองที่ใช้แรงอัดในการขึ้นรูปต่ำ ทำให้ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองที่ขึ้นรูปโดยใช้แรงอัดในการขึ้นรูปสูง มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าแผ่นกรองที่ขึ้นรูปโดยใช้แรงอัดในการขึ้นรูปต่ำ ในทำนองเดียวกัน แผ่นกรองที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่กว่า มีแนวโน้มที่จะเกิดการอุดตันสูงกว่าแผ่นกรองที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กกว่า

4.3.3 การกำจัดอนุภาคที่ตกค้างภายในแผ่นกรอง

จากข้อมูลข้างต้น เมื่อนำแผ่นกรองซิลิกาไปใช้งาน แผ่นกรองมีแนวโน้มที่จะเกิดการอุดตันภายใน แผ่นกรองที่ผ่านการใช้งานหลายครั้ง จะเกิดการสะสมตัวของอนุภาคแขวนลอยภายในแผ่นกรองขึ้นเรื่อยๆทุกครั้งที่ ทำให้ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองเพิ่มสูงขึ้น ในที่สุดแผ่นกรองไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานต่อไปได้ เนื่องจากแผ่นกรองซิลิกาเป็นแผ่นกรองที่ทำจากวัสดุที่มีความทนทานต่ออุณหภูมิสูง นำแผ่นกรองไปทดลองเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมตัวของซิลิกาโดยเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่สารอินทรีย์สลายตัว สารแขวนลอยที่นำมาทดลองกรองเป็นน้ำเบียร์ที่มีสีส้มปนอยู่ เมื่อนำมากรอง สารแขวนลอยที่ติดค้างภายในแผ่นกรองจะเป็นสีส้มขนาดต่างๆ ซึ่งจัดเป็นสารอินทรีย์ หลังจากเผาแล้ว นำแผ่นกรองมาทดลองกรองหาค่าความต้านทานการกรอง โดยใช้ น้ำกลั่น เป็นของเหลวที่ไหลผ่าน ความต้านทานของแผ่นกรองที่ได้ เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานการกรองของแผ่นกรองที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองซิลิกาที่ผ่านการเผาหลังการใช้งาน (R_{mr})
เปรียบเทียบกับความต้านทานการกรองของแผ่นกรองซิลิกาก่อนการใช้งาน (R_{mo})

สภาวะของแผ่นกรอง		R_{mo}	R_{mr}	$\frac{R_{mr}}{R_{mo}}$
d_o [μm]	P [MPa]	$\times 10^{-7}$ [cm^{-1}]	$\times 10^{-7}$ [cm^{-1}]	[-]
10.8	2	46.2608	47.3843	1.0243
14.7	2	31.2142	32.5088	1.0415
17.2	1	15.2369	15.4687	1.0152
17.2	2	22.5366	22.8232	1.0127
17.2	3	28.5520	29.1199	1.0199

ความต้านทานการกรองของแผ่นกรองที่ผ่านการเผาได้สิ่งอุดตันภายใน มีค่าใกล้เคียง
ค่าความต้านทานการกรองของแผ่นกรองที่ยังไม่ได้ผ่านการใช้งาน แสดงว่า แผ่นกรองที่ผลิตได้
สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยมีประสิทธิภาพใกล้เคียงแผ่นกรองแผ่นเดิม นับเป็นการนำ
แผ่นกรองที่ใช้งานแล้วกลับมาใช้งานได้อีก โดยไม่ต้องเปลี่ยนแผ่นใหม่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลที่ผ่านมาข้างต้น พบว่า มีความเป็นไปได้ในการนำซิลิกาจากแกลบมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกรอง โดยเวลาที่ใช้ในการบดซิลิกาและแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูป มีผลต่อเปอร์เซ็นต์รูพรุนและความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง อนุภาคซิลิกาที่ได้จากการบดมีขนาดโดยเฉลี่ยลดลงเมื่อใช้เวลาในการบดเพิ่มขึ้น โดยขนาดอนุภาคซิลิกาที่ได้จากบดมีขนาดอยู่ในช่วง 10.8 ไมครอน ถึง 17.2 ไมครอน เมื่อใช้เวลาในการบด 15 นาที ถึง 45 นาที จากภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านพบว่า การนำซิลิกามาบดก่อนที่จะนำไปอัดขึ้นรูปและขึ้นเทอร์ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส มีผลต่อการยึดติดกันของอนุภาคซิลิกาภายในแผ่นกรอง ทำให้ผิวของแผ่นกรองมีลักษณะเนียนเรียบ ไม่เกิดการหลุดร่วงของผงซิลิกา

แผ่นกรองที่ผลิตได้มีขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.0 ไมครอน ถึง 2.4 ไมครอน ขึ้นกับแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูป เมื่อใช้อนุภาคขนาดโดยเฉลี่ยเท่ากัน ขึ้นรูปโดยใช้แรงอัดต่างกัน ขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้แรงอัดเพิ่มขึ้น (จาก 1 เมกกะปาสกาล ถึง 3 เมกกะปาสกาล) และเมื่อใช้อนุภาคขนาดโดยเฉลี่ยแตกต่างกัน ขึ้นรูปโดยใช้แรงอัดเท่ากัน ขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อใช้อนุภาคขนาดโดยเฉลี่ยใหญ่ขึ้น (จาก 10.8 ไมครอน ถึง 17.2 ไมครอน)

สภาวะต่างๆที่ใช้ในการผลิตแผ่นกรอง คือขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคซิลิกา และแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูป มีผลต่อเปอร์เซ็นต์รูพรุนของแผ่นกรองและความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง คือ แผ่นกรองที่ใช้อนุภาคขนาดโดยเฉลี่ยเท่ากัน ขึ้นรูปโดยใช้แรงอัดต่างกัน เมื่อใช้แรงอัดเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์รูพรุนมีแนวโน้มลดลงและมีความต้านทานการกรองสูงขึ้น ในขณะที่แผ่นกรองที่ใช้อนุภาคขนาดโดยเฉลี่ยต่างกันแต่ขึ้นรูปโดยใช้แรงอัดเท่ากัน เมื่อใช้อนุภาคขนาดโดยเฉลี่ยใหญ่ขึ้น เปอร์เซ็นต์รูพรุนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีความต้านทานการกรองลดลง

ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของซิลิกา (d_p), แรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรอง (P) ที่มีต่อความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง (R_{m0}) ซึ่งเป็นความต้านทานการกรองของแผ่นกรองก่อนการใช้งานและเปอร์เซ็นต์รุกรุนของแผ่นกรอง ($\%Po$) แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\%Po = 28.2423 \exp (0.0128 d_p - 0.0618 P)$$

$$R_{m0} = (77.6141 - 3.7552 d_p + 4.5366 P) \times 10^7$$

เมื่อ $10.8 < d_p < 17.2$ [ไมครอน]

$1 < P < 3$ [เมกกะปาสคาล]

จากความแตกต่างในด้านเปอร์เซ็นต์รุกรุนและขนาดรุกรุนโดยเฉลี่ยของแผ่นกรองทำให้เกิดความแตกต่างเมื่อนำแผ่นกรองมาใช้งานโดยกรองแยกอนุภาคช่วงขนาดเดียวกัน แผ่นกรองที่ใช้อนุภาคขนาดโดยเฉลี่ยเท่ากัน ขึ้นรูปโดยใช้แรงอัดต่างกันนั้น เมื่อแรงอัดเพิ่มขึ้น สัดส่วนรุกรุนและขนาดรุกรุนโดยเฉลี่ยจะลดลง อนุภาคในสารแขวนลอยจะหลุดลอยไปได้ลดลง ทำให้ของเหลวที่ได้จากการกรองใสขึ้น ในขณะที่แผ่นกรองที่ใช้อนุภาคขนาดโดยเฉลี่ยต่างกัน ขึ้นรูปโดยใช้แรงอัดเท่ากันเมื่อใช้อนุภาคขนาดโดยเฉลี่ยสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์รุกรุนและขนาดรุกรุนโดยเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้น ทำให้อนุภาคในสารแขวนลอยหลุดลอยไปได้เพิ่มขึ้น ของเหลวที่ได้จากการกรองจึงขุ่นมากขึ้น

ในการใช้งานแผ่นกรอง ขณะกรองจะเกิดการสะสมตัวของอนุภาคในสารแขวนลอยภายในแผ่นกรอง ซึ่งมีผลทำให้ความต้านทานการกรองสูงขึ้นจากเดิม ปริมาณการสะสมตัวของอนุภาคในสารแขวนลอยภายในแผ่นกรองขึ้นกับขนาดรุกรุนของแผ่นกรอง เมื่อแผ่นกรองมีขนาดรุกรุนลดลง การสะสมตัวของอนุภาคขนาดเล็กภายในแผ่นกรองจะเกิดได้น้อยลง และปัญหาการอุดตันของอนุภาคขนาดเล็กภายในแผ่นกรอง โดยเฉพาะสารจำพวกสารอินทรีย์ สามารถกำจัดได้โดยการเผาที่อุณหภูมิสูงช่วง 600-800 องศาเซลเซียส

จากผลการวิจัย มีข้อเสนอแนะดังนี้ คือ

1. ควรมีการทดลองขึ้นรูปแผ่นกรองในรูปแบบอื่น เช่น เป็นท่อทรงกระบอก
2. ทดลองนำแผ่นกรองที่ผลิตได้ ไปใช้งานในระบบการกรองแบบต่อเนื่อง โดยใช้

เทคนิคของการกรองแบบไหลผ่านหน้าตัดขวาง (cross-flow filtration)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ราชการอ้างอิง

ภาษาไทย

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. เซรามิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

พงษ์ศักดิ์ ฟองเพชร. การผลิตซีเมนต์จากแกลบด้วยเทคนิคฟลอยด์เซชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

ศุลกากร, กรม. สถิติการนำเข้าและการส่งออกของกรมศุลกากรปี 2517-2530. กรุงเทพมหานคร : กรมศุลกากร, 2530.

อุไรวรรณ ด้ลาอศิสร. การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์ภาพสงจากแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

ภาษาอังกฤษ

ASTM Standards, Standard Test Methods for Percent Porosity of Membrane Filters. U.S.A.: American Society of Testing and Materials, 1990.

Cheremisinoff, N.P., and Azbel, D.S. Liquid Filtration. Butterworths: Ann Arbor Science Publishers, 1983.

Cook, D. Rice husk ash cements : their development and applications. In R. Khane (ed.), UNIDO - Monograph , pp.13-14. Vienna : n.p., 1985.

Fane, A.G. An Introduction to membrane processes. Suwandi, M.S., and Suki, A. (eds.) Proceedings of the fourth Asean (Training) Workshop on Membrane Technology. 1-53. UKM, Bangi, Malaysia, Ap.15-25, 1987.

Hunt, L.P., Dismukes, J.P., Amick, J.A. Rice Hulls as a Raw Material for

- Producing Silicon. J. Electrochem. Soc. . 131 (1984) : 1683-1686.
- Iler, R.V. The Chemistry of Silica. New York: John Wiley & Sons, 1979.
- Komoda, T. Porous Ceramic Filter. United States Patent number 4,810,273, 1989.
- Kimura et al. Manufacture of porous ceramics. Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 62,278,175. Dec. 3, 1986.
- Klein, L.C., and Gisqenc, N. Sol-Gel Processing for Gas Separation Membranes. Ceramic Bulletin. Vol.69,1990:1821-1830
- Lloyd, D.R., ed. Materials Science of Synthetic Membranes. Washington, D.C. :ACS Symposium Series 269, 1985.
- Matteson, M.J., and Orr, C., eds. Filtration. New York: Marcel Dekker, Inc., 1987.
- Mc.Clave, J.T., and Benson, P.G. Statistics for Business and Economics. San Francisco : Dellen Publishing Company, 1985.
- Pornchai Sripiriyawong, Charin Pienprasert, Sintering Behavior of Silica Powders. Senior Project. Chulalongkorn University, 1992.
- Puchas, D.B. Industrial Filtration of Liquids. 2nd ed. LONDON: International Textbook Co., 1971.
- Reed, J.S. Principles of Ceramic Processing. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- Shama, N.K., Williams, W.S., Zangvil, A. Formation and Structure of Silicon Carbide Whiskers from Rice-hulls. J. Am. Ceram. Soc. 67(1984): 715-720.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การหาความหนาแน่นของซิลิกาและการคำนวณ

การหาความหนาแน่นของซิลิกา (ใช้วิธีการแทนที่น้ำ) ตามขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) ชั่งน้ำหนักขวดไพโนมิเตอร์ (pynometer) และจุกปิด
- 2) เติมน้ำกลั่นในขวดไพโนมิเตอร์จนเต็ม ปิดจุก นำไปชั่งน้ำหนัก
- 3) เทน้ำออกให้หมด นำขวดไพโนมิเตอร์และจุกไปชั่งน้ำหนัก
- 4) นำตัวอย่างใส่ขวดไพโนมิเตอร์ในข้อ (3) ปริมาณ 5 - 10 กรัม ปิดจุกนำไปชั่งน้ำหนัก
- 5) นำขวดไพโนมิเตอร์ในข้อ (4) เติมน้ำกลั่นให้เต็ม ปิดจุก นำไปชั่งน้ำหนัก

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของซิลิกา

ขั้นตอน	ตัวแปร	ครั้งที่ 1 [กรัม]	ครั้งที่ 2 [กรัม]
น้ำหนักขวดไพโนมิเตอร์และจุกปิด	M_1	32.7122	32.7238
น้ำหนักขวดไพโนมิเตอร์และน้ำกลั่น	M_2	84.7620	84.7633
น้ำหนักขวดไพโนมิเตอร์และซิลิกา	M_3	34.1728	34.5572
น้ำหนักขวดไพโนมิเตอร์ ซิลิกาและน้ำ	M_4	85.5819	85.8148

การคำนวณ (จากข้อมูลการทดลองครั้งที่ 1)

$$\text{จาก } \rho = M/V$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของสาร [กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร]

M = น้ำหนักของสาร [กรัม]

V = ปริมาตรของสาร [ลูกบาศก์เซนติเมตร]

จากข้อมูลในตารางที่ ก.1

$$\begin{aligned} M &= M_2 - M_1 \\ &= 34.1728 - 32.7122 \\ &= 1.4447 \quad \text{กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \text{ปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยซิลิกา} \quad 1.4447 \quad \text{กรัม} \\ &= \text{ปริมาตรน้ำทั้งหมด} - \text{ปริมาตรน้ำที่เหลือจากการถูกแทนที่} \\ &= (M_2 - M_1) - (M_4 - M_3) \\ &= (84.7620 - 32.7122) - (85.5819 - 34.1728) \\ &= 0.6407 \quad \text{ลูกบาศก์เซนติเมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= 1.4447/0.6407 \\ &= 2.2549 \quad \text{กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร} \end{aligned}$$

ความหนาแน่นของซิลิกาจากข้อมูลการทดลองครั้งที่ 1 = 2.2549 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ความหนาแน่นของซิลิกาจากข้อมูลการทดลองครั้งที่ 2 = 2.3448 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่นเฉลี่ยของซิลิกา} &= (2.2549 + 2.3448)/2 \\ &= 2.29985 \quad \text{กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข

การหาเปอร์เซ็นต์รูพรุนของแผ่นกรอง(%Porosity)

วิธีการนี้เป็นการหาเปอร์เซ็นต์รูพรุนของแผ่นกรองโดยเปอร์เซ็นต์รูพรุนของแผ่นกรอง (Porosity;%Po) คือ อัตราส่วนของปริมาตรช่องว่างระหว่างอนุภาคภายในแผ่นกรอง (Pore Volume;PV) กับ ปริมาตรทั้งหมดของแผ่นกรอง (Total Volume;TV) เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังสมการ

$$\%Po = (PV/TV) \times 100$$

ขั้นตอนการหาเปอร์เซ็นต์รูพรุนของแผ่นกรอง

1. เตรียมแผ่นกรอง เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร
2. จุ่มแผ่นกรองในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 90 ± 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำแผ่นกรองใส่ในหม้อดูดความชื้น (dessicator) ประมาณ 30 ถึง 60 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
3. ชั่งน้ำหนักแผ่นกรองที่ได้ออก (Filter Weight;FW) โดยให้มีความละเอียดระดับ 0.01 มิลลิกรัม
4. หาค่าความหนาโดยเฉลี่ยของแผ่นกรอง

การคำนวณ

1. คำนวณปริมาตรของซิลิกาในแผ่นกรองแต่ละแผ่น (Solid Volume;SV) จากน้ำหนักของแผ่นกรองและความหนาแน่นของซิลิกา
2. คำนวณปริมาตรทั้งหมดของแผ่นกรองโดย ใช้ความหนาเฉลี่ยที่วัดได้ (x) และเส้นผ่านศูนย์กลาง (φ)

3. คำนวณปริมาตรช่องว่างระหว่างอนุภาคภายในแผ่นกรอง จาก

$$PV = TV - SV$$

4. คำนวณเปอร์เซ็นต์รูพรุนของแผ่นกรองจากสูตรข้างต้น

ตารางที่ ๗.1 ข้อมูลและการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์รูพรุนของแผ่นกรองซิลิกา

d_p [μ]	P [MPa]	γ [cm]	FW [g]	SV [cm ³]	TV [cm ³]	PV [cm ³]	×Po [-]
17.2	1	0.60	13.8	6.0	10.4	4.3	42.1
17.2	2	0.56	14.4	6.2	9.7	3.4	35.4
17.2	3	0.53	14.8	6.4	9.1	2.7	29.6
14.7	1	0.58	14.1	6.1	10.0	3.8	38.6
14.7	2	0.57	15.3	6.6	9.8	3.2	32.4
14.7	3	0.53	15.2	6.6	9.1	2.5	27.6
10.8	1	0.57	15.5	6.7	9.8	3.1	31.6
10.8	2	0.55	15.4	6.7	9.5	2.8	29.7
10.8	3	0.50	14.6	6.3	8.6	2.3	26.7

โดย d_p = ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย [ไมครอน]

P = แรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูป [เมกะปาสกาล]

การคำนวณ

แผ่นกรองที่ขึ้นรูปจากซิลิกาที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย (d_p) 17.2 ไมครอน
 ขึ้นรูปด้วยแรงอัด (P) 1 เมกกะปาสคาล มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (ϕ) 4.7 เซนติเมตร
 หนา (δ) 0.60 เซนติเมตร มีน้ำหนัก (FW) 13.8493 กรัม

$$\begin{aligned} \text{จาก TV} &= \pi r^2 \delta \\ &= \pi (4.7/2)^2 (0.60) \\ &= 10.4139 \quad \text{ลูกบาศก์เซนติเมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SV} &= \text{FW}/\rho \\ &= (13.8493)/(2.29785) \\ &= 6.0271 \quad \text{ลูกบาศก์เซนติเมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PV} &= \text{TV} - \text{SV} \\ &= 10.4139 - 6.0271 \\ &= 4.3868 \quad \text{ลูกบาศก์เซนติเมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%P_o &= (\text{PV}/\text{TV}) \times 100 \\ &= (4.3868/10.4139) \times 100 \\ &= 42.1245 \quad \text{เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

สถาบันวิจัยการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การหาความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์รุกรานและการทดสอบทางสถิติ

นำข้อมูลคือเปอร์เซ็นต์รุกราน(%Po) ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย(d_p) และแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรอง(P) มาสร้างสมการถดถอยโดยใช้โปรแกรมโลตัส (LOTUS;Regression) ตามความสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

1. ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง

$$\%Po = \beta_0 + \beta_1 d_p + \beta_2 P$$

2. ความสัมพันธ์แบบเอกซโพเนนเชียล

$$\log(\%Po) = \beta_0 + \beta_1 d_p + \beta_2 P$$

3. ความสัมพันธ์แบบลอการิทึม

$$\%Po = \beta_0 + \beta_1 \log(d_p) + \beta_2 \log(P)$$

4. ความสัมพันธ์แบบพาวเวอร์

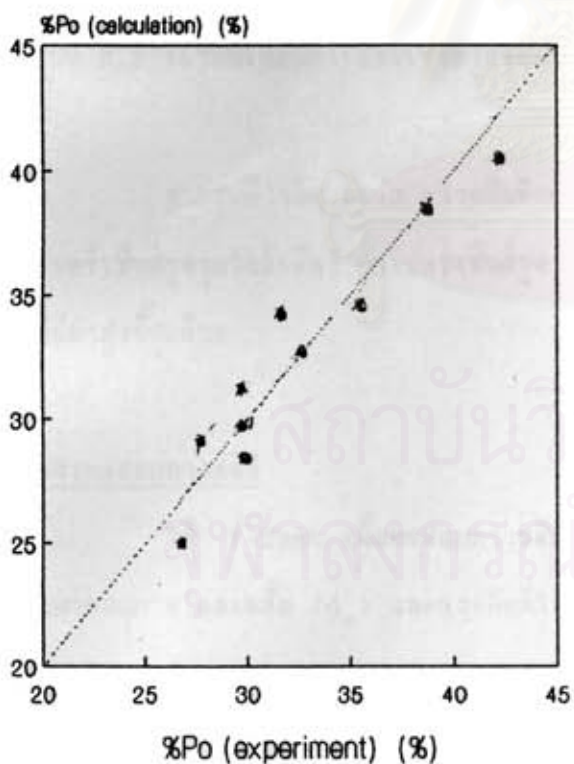
$$\log(\%Po) = \beta_0 + \beta_1 \log(d_p) + \beta_2 \log(P)$$

เมื่อ $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ คือ สัมประสิทธิ์ซึ่งเป็นค่าคงที่ ผลที่ได้จากการคำนวณดังแสดงในตาราง ค.1 ต่อไปนี้

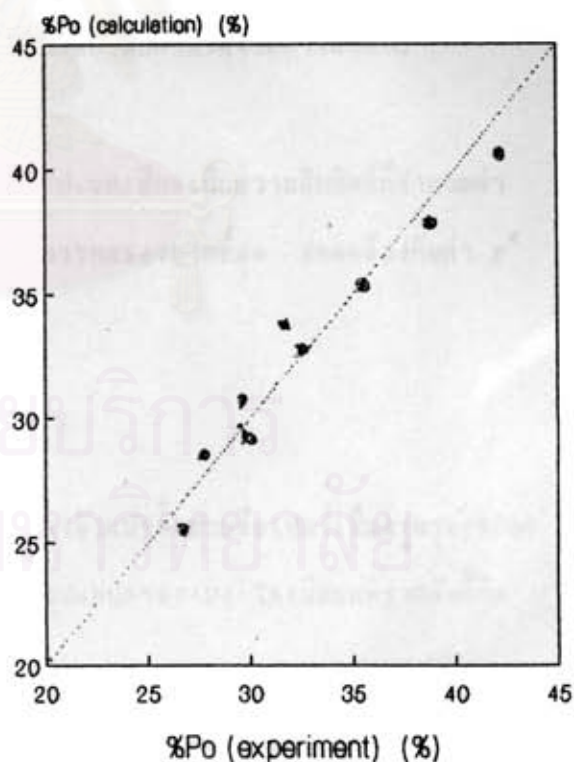
ตารางที่ ค.1 ผลที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรมโลตัส (LOTUS;Regression)

รูปแบบของความสัมพันธ์	β_0	β_1	β_2	r^2
เส้นตรง	27.9678	0.9946	-4.7232	0.9207
ลอการิทึม	2.1726	31.0296	-19.4195	0.9074
เอกซโพเนนเชียล	1.4509	0.0128	-0.0618	0.9429
พาวเวอร์	1.1170	0.3999	-0.2521	0.9205

เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ที่พบนอกจากการทดลอง และการคำนวณโดยความสัมพันธ์จากสมการเส้นถดถอย แสดงได้ดังรูปต่อไปนี้

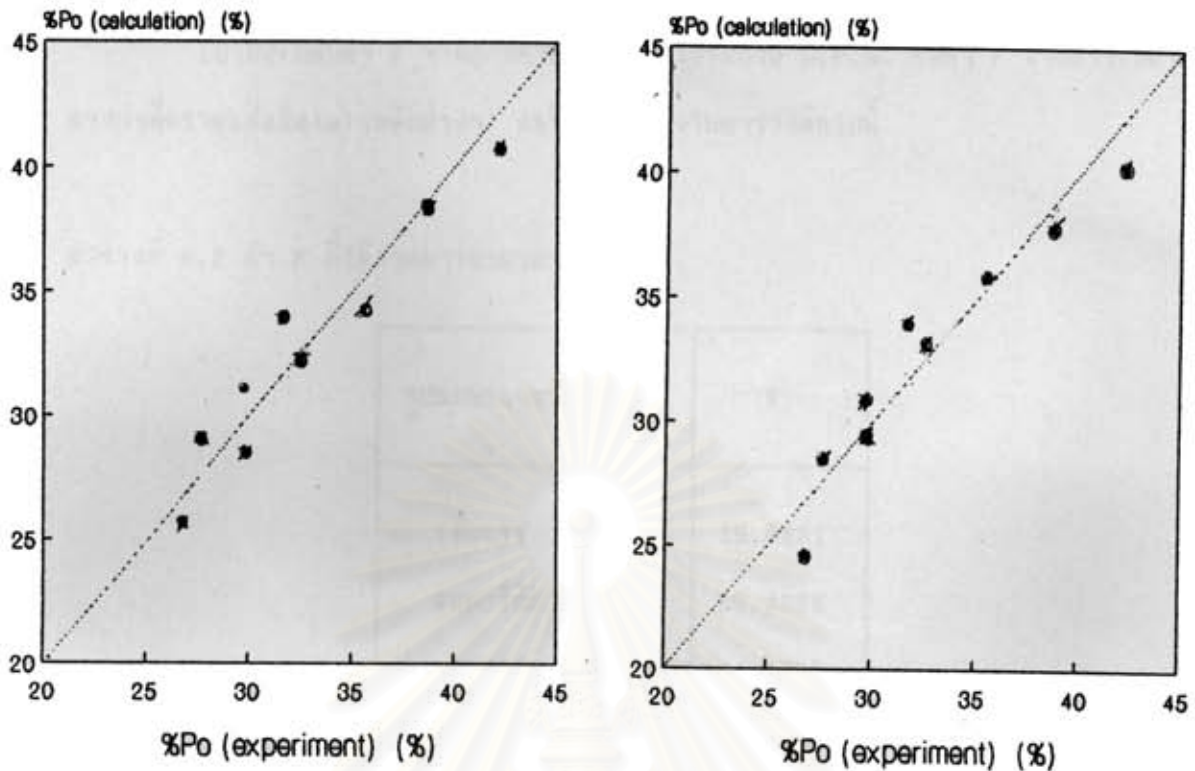


logarithmic



exponential

รูปที่ ค.1 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ที่พบนอกจากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ



power

linear

รูปที่ ค.2 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์รูปทูนที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

จากรูปข้างต้น พบว่า ความสัมพันธ์แบบเอกซโพเนนเชียลเป็นความสัมพันธ์ที่คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์รูปทูนใกล้เคียง ค่าเปอร์เซ็นต์รูปทูนที่ได้จากการทดลองมากที่สุด สอดคล้องกับค่า r^2 ที่มีค่าสูงที่สุดด้วย

การทดสอบทางสถิติ

ใช้ F-Test เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสามคือเปอร์เซ็นต์รูปทูน (x_{Po}) ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย (d_p) และแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรอง (P) โดยมีสมมติฐานดังนี้คือ

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0 \text{ หรือ } \beta_2 \neq 0$$

ถ้าตัวแปรทั้ง 3 มีความสัมพันธ์กัน จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และยอมรับ H_1 โดยเปรียบเทียบค่า F ที่ได้จากการคำนวณ กับค่า F จากการเปิดตาราง ถ้า F จากการคำนวณมากกว่า ค่า F จากการเปิดตาราง จะปฏิเสธ H_0

เปรียบเทียบค่า F จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม S.P.S. กับค่า F จากการเปิดตารางที่ความเชื่อมั่น (α) ระดับต่างๆ ผลที่ได้ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ค.2 ค่า F ที่ได้จากการคำนวณ

รูปแบบของความสัมพันธ์	F
เส้นตรง	32.9281
ลอการิทึม	29.4675
เอกซโพเนนเชียล	44.7707
พาวเวอร์	33.9004

ตารางที่ ค.3 ค่า F ที่ได้จากการเปิดตารางที่ความเชื่อมั่นระดับต่างๆ

α	F
0.10	3.46
0.05	5.14
0.025	7.26
0.01	10.92

จากตาราง ค.2 พบว่า ค่า F ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากการเปิดตารางทุกระดับความเชื่อมั่น และทุกความสัมพันธ์ นั่นคือ ปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 แสดงว่า ทุกความสัมพันธ์ต่างใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสามได้

ภาคผนวก ง

การคำนวณค่าความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง

จากข้อมูลน้ำหนักของของเหลวที่กรองได้ในช่วงเวลาดังๆ นำมาคำนวณหาค่าน้ำหนักเฉลี่ย และเปลี่ยนเป็นปริมาตรต่อพื้นที่การกรอง และนำมาคำนวณค่าความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง โดย

$$R_m = (\Delta P / \mu) (\Delta \theta) / (V/A)$$

- เมื่อ R_m = ความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง [1/เซนติเมตร]
 $\Delta \theta$ = เวลาที่ใช้ในการเก็บของเหลวที่กรองได้แต่ละบีกเกอร์ [วินาที]
 V = ปริมาตรของเหลวที่กรองได้ในบีกเกอร์ [ลูกบาศก์เซนติเมตร]
 A = พื้นที่การกรอง [ตารางเซนติเมตร]
 ΔP = ความดันที่ใช้ในการทดลอง [ปาสคาล]
 μ = ความหนืดของของเหลว [ปาสคาล-วินาที]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการทดลองหาค่าความต้านทานการกรองของแผ่นกรองก่อนการใช้งาน(R_{m0})

สภาวะของแผ่นกรอง		น้ำหนักเฉลี่ยของของเหลวที่กรองได้ ในเวลา 5 วินาที [g]
d_p [μ m]	P [MPa]	
10.8	1	6.1743
10.8	2	5.6967
10.8	3	5.3272
14.7	1	9.3353
14.7	2	8.4427
14.7	3	7.4556
17.2	1	17.2957
17.2	2	11.6935
17.2	3	9.2299

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลการทดลองหาค่าความต้านทานการกรองของแผ่นกรองหลังการใช้งาน การกรองครั้งที่ 1,2,3 และ หลังการเผาไล่สิ่งอุดตัน

สภาวะในการขึ้นรูปแผ่นกรอง		น้ำหนักของของเหลวที่กรองได้(กรัม) ในเวลา 5 วินาที			
P [MPa]	d_p [μm]	กรองครั้งที่ 1	กรองครั้งที่ 2	กรองครั้งที่ 3	หลังเผา
1	17.2	12.6436	9.2315	7.2868	17.0365
2	17.2	9.9923	7.2663	5.4779	11.5467
3	17.2	8.2826	6.6458	5.2556	9.0499
2	14.7	7.4063	6.7154	5.4143	8.1065
2	10.8	5.3583	4.9083	4.8427	5.5616

การคำนวณ (ตารางที่ ง.2)

จากข้อมูลน้ำหนักเฉลี่ยของของเหลวที่กรองได้ในเวลา 5 วินาที ของแผ่นกรองที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 17.2 ไมครอน และใช้แรงอัด 1 เมกกะปาสคาลในการขึ้นรูปแผ่นกรอง หลังจากผ่านการใช้งานการกรองครั้งที่ 1

$$\text{น้ำหนักของของเหลวที่กรองได้} = 12.6436 \text{ กรัม}$$

ของเหลวที่ใช้ในการกรองคือ น้ำ ซึ่งมีความหนาแน่น 1 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

$$\text{ดังนั้น ปริมาตร (V)} = 12.6436 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

พื้นที่การกรอง(A) ในที่นี้เป็นวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.7 เซนติเมตร

$$\text{พื้นที่การกรอง(A)} = \pi (3.7/2)^2$$

$$= 10.7521 \text{ ตารางเซนติเมตร}$$

เนื่องจาก เวลาที่ใช้ในการเก็บของเหลว(Δt) = 5 วินาที

$$\text{ความดันที่ใช้ในการทดลอง} = 4.9 \times 10^4 \text{ ปาสคาล}$$

$$\text{ความหนืดที่อุณหภูมิห้อง} = 10^{-3} \text{ ปาสคาล-วินาที}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จกน} \quad R_{\text{no}} &= (P/\mu) (\Delta\theta) / (V/A) \\
 &= (4.9 \times 10^4 / 10^{-3}) (5) / (12.6436 / 10.7521) \\
 &= 20.8348 \times 10^7 \quad (1/\text{เซนติเมตร})
 \end{aligned}$$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

การหาความสัมพันธ์ของความต้านทานการกรองของแผ่นกรองและการทดสอบทางสถิติ

นำข้อมูลคือ ความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง (R_{m0}) ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย (d_p) และแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรอง (P) มาสร้างสมการถดถอยโดยใช้โปรแกรมโลตัส (LOTUS; Regression) ตามความสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

1. ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง

$$R_{m0} = \beta_0 + \beta_1 d_p + \beta_2 P$$

2. ความสัมพันธ์แบบเอกซโพเนนเชียล

$$\log(R_{m0}) = \beta_0 + \beta_1 d_p + \beta_2 P$$

3. ความสัมพันธ์แบบลอการิทึม

$$R_{m0} = \beta_0 + \beta_1 \log(d_p) + \beta_2 \log(P)$$

4. ความสัมพันธ์แบบพาวเวอร์

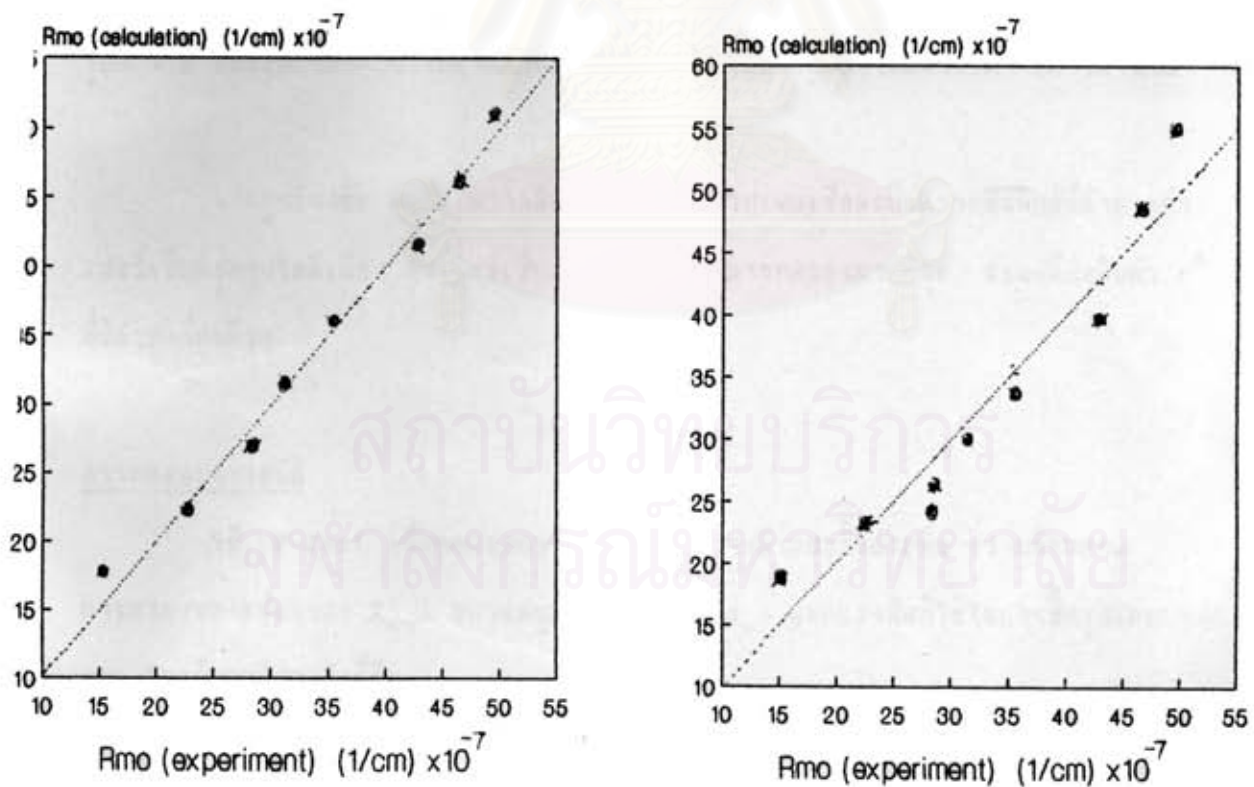
$$\log(R_{m0}) = \beta_0 + \beta_1 \log(d_p) + \beta_2 \log(P)$$

เมื่อ $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ คือ สัมประสิทธิ์ซึ่งเป็นค่าคงที่ ผลที่ได้จากการคำนวณดังแสดงในตาราง จ.1 ต่อไปนี้

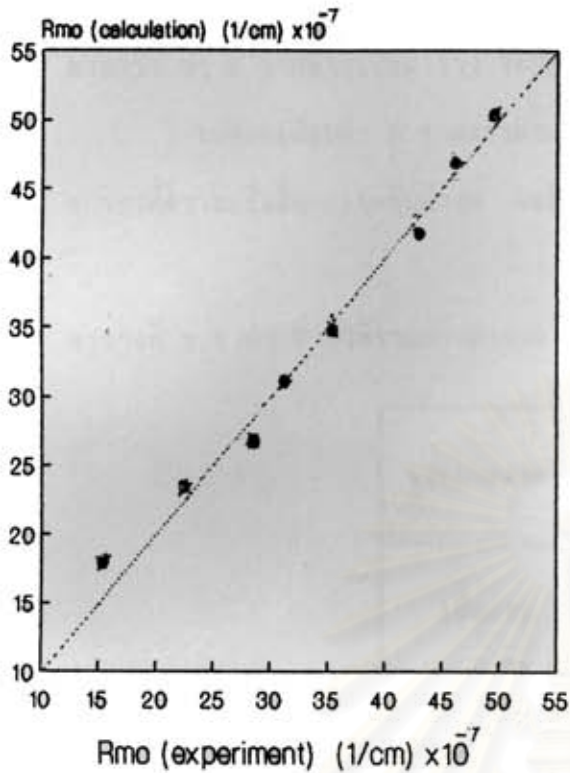
ตารางที่ จ.1 ผลที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรมโลตัส (LOTUS;Regression)

รูปแบบของความสัมพันธ์	β_0	β_1	β_2	r^2
เส้นตรง	77.6141	-3.7522	4.5366	0.9862
ลอการิทึม	162.9978	-117.4649	18.6217	0.9802
เอกซโพเนนเชียล	2.0805	-0.0512	0.0724	0.9238
พาวเวอร์	3.2401	-1.5897	0.3005	0.9094

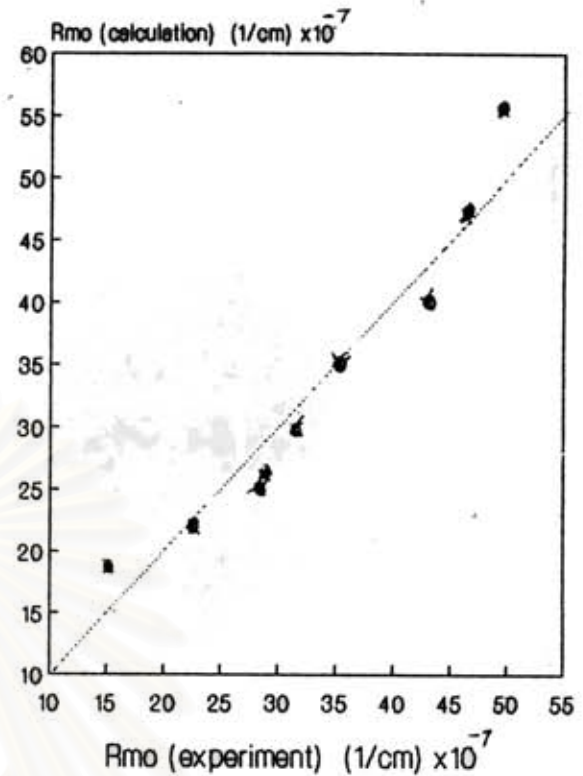
เปรียบเทียบค่าความต้านทานการกรองของแผ่นกรองที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ โดยความสัมพันธ์จากสมการเส้นถดถอย แสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ จ.1 เปรียบเทียบค่าความต้านทานการกรองที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ



logarithmic



exponential

รูปที่ ๑.๒ เปรียบเทียบค่าความต้านทานการกรองที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

จากรูปข้างต้น พบว่า ความสัมพันธ์แบบเอกซโพเนนเชียลเป็นความสัมพันธ์ที่คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์รูพรุนใกล้เคียง ค่าเปอร์เซ็นต์รูพรุนที่ได้จากการทดลองมากที่สุด สอดคล้องกับค่า r^2 ที่มีค่าสูงที่สุดด้วย

การทดสอบทางสถิติ

ใช้ F-Test เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสามคือ ความต้านทานการกรองของแผ่นกรอง (R_{m0}) ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย (d_p) และแรงอัดที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นกรอง (P) โดยมีสมมติฐานดังนี้คือ

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0 \text{ หรือ } \beta_2 \neq 0$$

ถ้าตัวแปรทั้ง 3 มีความสัมพันธ์กัน จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 และยอมรับ H_1 โดยเปรียบเทียบค่า F ที่ได้จากการคำนวณ กับค่า F จากการเปิดตาราง ถ้า F จากการคำนวณ

มากกว่า ค่า F จากการเปิดตาราง จะปฏิเสธ H_0

เปรียบเทียบค่า F จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม S.P.S. กับค่า F จากการเปิดตารางที่ความเชื่อมั่น (α) ระดับต่างๆ ผลที่ได้ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ๑.๒ ค่า F ที่ได้จากการคำนวณ

รูปแบบของความสัมพันธ์	F
เส้นตรง	68.9424
ลอการิทึม	95.3607
เอกซโพเนนเชียล	42.6621
พาวเวอร์	44.6948

ตารางที่ ๑.๓ ค่า F ที่ได้จากการเปิดตารางที่ความเชื่อมั่นระดับต่างๆ

α	F
0.10	3.46
0.05	5.14
0.025	7.26
0.01	10.92

จากตาราง ๑.๒ พบว่า ค่า F ที่ได้จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่า F ที่ได้จากการเปิดตารางทุกระดับความเชื่อมั่น และทุกความสัมพันธ์ นั่นคือ ปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 แสดงว่า ทุกความสัมพันธ์ต่างใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสามได้

ภาคผนวก ง

ข้อมูลการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbency)

ผลจากการกรองแยกยีสต์ในน้ำเบียร์ นำของเหลวที่กรองได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสง

ตารางที่ ง.1 ค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ในการทดลองกรอง โดยใช้แผ่นกรองที่
ใช้ขนาดอนุภาค 17.2 ไมครอน และชั้นรูปโดยใช้แรงอัด 1 เมกกะปาสกาล

เวลา (นาที:วินาที)	ค่าการดูดกลืนแสง [-]		
	กรองครั้งที่ 1	กรองครั้งที่ 2	กรองครั้งที่ 3
0:15	1.48	1.20	1.15
0:30	1.33	1.15	1.12
0:45	1.27	1.12	1.10
1:00	1.18	1.10	1.10
1:15	1.12	1.10	1.10
1:30	1.10	1.10	1.10
2:00	1.10	1.10	1.10
5:00	1.10	1.10	1.10
10:00	1.10	1.10	1.10

ตารางที่ ๑.2 ค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ในภากรทดลองกรอง โดยใช้แผ่นกรองที่
ใช้ขนาดอนุภาค 17.2 ไมครอน และชั้นรูปโดยใช้แรงอัด 2 เมกะปาสคาล

เวลา (นาที:วินาที)	ค่าการดูดกลืนแสง [-]		
	กรองครั้งที่ 1	กรองครั้งที่ 2	กรองครั้งที่ 3
0:15	1.30	1.17	1.12
0:30	1.22	1.13	1.10
0:45	1.17	1.10	1.10
1:00	1.12	1.10	1.10
1:15	1.10	1.10	1.10
1:30	1.10	1.10	1.10
2:00	1.10	1.10	1.10
5:00	1.10	1.10	1.10
10:00	1.10	1.10	1.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.3 ค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ในการศึกษาทดลองกรอง โดยใช้แผ่นกรองที่
ใช้ขนาดอนุภาค 17.2 ไมครอน และชั้นรูปโดยใช้แรงอัด 3 เมกกะปาสกาล

เวลา (นาที:วินาที)	ค่าการดูดกลืนแสง [-]		
	กรองครั้งที่ 1	กรองครั้งที่ 2	กรองครั้งที่ 3
0:15	1.22	1.13	1.10
0:30	1.15	1.10	1.10
0:45	1.12	1.10	1.10
1:00	1.10	1.10	1.10
1:15	1.10	1.10	1.10
1:30	1.10	1.10	1.10
2:00	1.10	1.10	1.10
5:00	1.10	1.10	1.10
10:00	1.10	1.10	1.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.4 ค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ในการศึกษาทดลองกรอง โดยใช้แผ่นกรองที่ใช้ขนาดอนุภาค 14.7 ไมครอน และชั้นรูปโดยใช้แรงอัด 2 เมกกะปาสคาล

เวลา (นาที:วินาที)	ค่าการดูดกลืนแสง [-]		
	กรองครั้งที่ 1	กรองครั้งที่ 2	กรองครั้งที่ 3
0:15	1.27	1.15	1.10
0:30	1.20	1.10	1.10
0:45	1.15	1.10	1.10
1:00	1.12	1.10	1.10
1:15	1.10	1.10	1.10
1:30	1.10	1.10	1.10
2:00	1.10	1.10	1.10
5:00	1.10	1.10	1.10
10:00	1.10	1.10	1.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.5 ค่าการดูดกลืนแสงของของเหลวที่กรองได้ในการทดลองกรอง โดยใช้แผ่นกรองที่
ใช้ขนาดอนุภาค 10.8 ไมครอน และชั้นรูปโดยใช้แรงอัด 2 เมกะปาสคาล

เวลา (นาที:วินาที)	ค่าการดูดกลืนแสง [-]		
	กรองครั้งที่ 1	กรองครั้งที่ 2	กรองครั้งที่ 3
0:15	1.21	1.13	1.10
0:30	1.15	1.10	1.10
0:45	1.12	1.10	1.10
1:00	1.10	1.10	1.10
1:15	1.10	1.10	1.10
1:30	1.10	1.10	1.10
2:00	1.10	1.10	1.10
5:00	1.10	1.10	1.10
10:00	1.10	1.10	1.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประวัติผู้เขียน

นางสาว ประภาศรี พันธุจริยา เกิดวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ.2512 จังหวัดกรุงเทพฯ ๙
สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2533 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2534



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย