

การนำกลับคืนของโพลีเอเทอร์โพลีออกซินิดนุ่ที่คั่งค้างในเครื่องกรองแบบใบ



นายทองใบ อุดหนุน

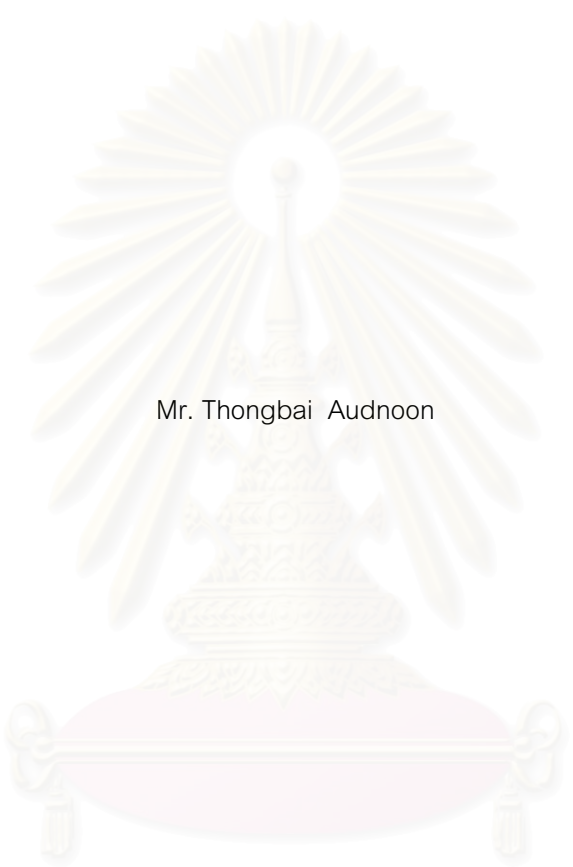
สถาบันวิทยบริการ
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 947-53-1587-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RECOVERY OF FLEXIBLE POLYETHER POLYOL RETAINED IN LEAF FILTER



Mr. Thongbai Audnoon

สถาบันวิทยบริการ
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-53-1587-7

ทองใบ อุดหนุน : การนำกลับคืนของโพลีเอเทอร์โพลีออลชนิดนุ่มที่คงค้างในเครื่องกรองแบบใบ (RECOVERY OF FLEXIBLE POLYETHER POLYOL RETAINED IN LEAF FILTER) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.วิทย์ สุนทรนันท์, 131 หน้า. ISBN 974-53-1587-7.

งานวิจัยได้ทำการศึกษาแนวทางการนำกลับคืนโพลีเอเทอร์โพลีออลชนิดนุ่มที่คงค้างในเครื่องกรองใบโดยใช้ฟิลเตอร์เพรสแบบแผ่นและกรอบ โดยพิจารณาฟิลเตอร์เค้กของผลิตภัณฑ์เกรด RAYPOL 3003 และ RAYPOL 3008 จากส่วนที่อยู่ใต้แผ่นกรองและส่วนที่ติดแผ่นกรองของเครื่องกรองแบบใบ โดยใช้เครื่องกรองด้วยมืออัดรีดที่ความดันคงที่ 6, 10, 15 และ 20 bar_g แล้ววัดปริมาณฟิลเตอร์ที่ได้ออกเทียบกับเวลา เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานจำเพาะของฟิลเตอร์เค้ก (α) และความต้านทานจำเพาะของแผ่นกรอง (R_m) ที่แต่ละความดันพร้อมพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่า α และ R_m ศึกษาการทดสอบคุณสมบัติของฟิลเตอร์ที่กรองได้ให้สัมพันธ์กับอากาศที่เวลาต่างกัน ศึกษาหาขนาดโดยเฉลี่ย การกระจายตัว และรูปร่างของอนุภาคนอกจากนี้ยังทำการประเมินความเป็นไปได้ของโครงการตามหลักการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์อีกด้วย

จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้น ขนาดของอนุภาคและความดันลด มีผลต่อทั้งค่า α ของฟิลเตอร์เค้ก และค่า R_m ของตัวกรอง โดยฟิลเตอร์เค้กที่ติดแผ่นกรองจะมีความเข้มข้นมากและมีขนาดอนุภาคที่เล็ก ค่า α จึงสูงกว่ากรณีของฟิลเตอร์เค้กที่อยู่ใต้แผ่นกรอง เมื่อเกิดทำการกรองอนุภาคนขนาดเล็กสามารถแทรกและสะสมตัวอยู่ภายในแผ่นกรองทำให้ค่า R_m ของตัวกรองสูงขึ้นในทำนองเดียวกัน ฟิลเตอร์เค้กของผลิตภัณฑ์เกรด RAYPOL 3003 จะส่งผลให้ค่า α และ R_m สูงกว่า RAYPOL 3008 ด้วยเหตุผลเดียวกัน ส่วนระยะเวลาในการสัมผัสอากาศของฟิลเตอร์ที่กรองได้ พบว่าไม่ควรเกิน 1 วัน เนื่องจากระยะเวลาการสัมผัสอากาศที่นานขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นในอากาศถูกดูดซึมเข้าไปในผลิตภัณฑ์มากขึ้น รวมทั้งส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์เนื่องจากการออกซิเดชันอีกด้วย

สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการพบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่า 6,991,590 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน 58.82% ระยะเวลาคืนทุน 22 เดือน

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2548.....

4571421821 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: SPECIFIC CAKE RESISTANCE / FILTER MEDIUM RESISTANCE / FILTRATION

THONGBAI AUDNOON : RECOVERY OF FLEXIBLE POLYETHER POLYOL RETAINED IN LEAF FILTER. THESIS ADVISOR : WIT SOONTARANUN, Ph.D., 131 pp. ISBN 974-53-1587-7.

The recovery of flexible polyether polyol retained in leaf filter by using plate and frame filter press was studied by considering filter cakes of RAYPOL 3003 and RAYPOL 3008. Both filter cakes deposited on the leaf and in the bottom of leaf filter were pressed with Hand Filter at pressure 6, 10, 15 and 20 bar_g. Then the volume of resulted filtrate was measured and used to calculate α and R_m for each pressure. The factors affecting α and R_m were considered. The effects of exposure time to air on the properties of resulted filtrate were also studied. In addition, particle size, size distribution, and shape were investigated. Lastly, the feasibility study of applying filtration technique for recovery of polyol was conducted.

It was found that the concentration, particle size, and pressure difference had an effect on α and R_m . Filtered cake deposited on the leaf exhibited higher concentration and smaller particle size in comparison to that on the bottom. This resulted on higher α value. During filtration, smaller particles could penetrate and deposit in the pores inside the filter media resulting on an increase of R_m . Similarly, the filter cake of RAYPOL 3003 exhibited higher α and R_m than RAYPOL 3008 for the same reason. Regarding to the exposure time, it was found that the recovery time should not be over 1 day to ensure product quality. This was because longer exposure time resulted in an absorption of moisture from the air and a degradation by oxidation.

For the economic feasibility, it was found that net present value (NPV) was 6,991,590 baht, internal rate of return (IRR) was 58.82% and payback period was 22 months.

Department.....Chemical Engineering..... Student's signature.....
Field of study.....Chemical Engineering..... Advisor's signature.....
Academic year.....2005.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อ. ดร. วิทย์ สุนทรนันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์มา ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล และรองศาสตราจารย์ ดร. สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์ ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ข้อคิด และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณพนักงานบริษัท ทีพีไอ โพลีเอทิลีน จำกัด ทุกท่านที่มีส่วนร่วมในรายงานฉบับนี้ และ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ธุรการทุกท่านของภาควิชา วิศวกรรมเคมี ที่ได้ช่วยติดต่อประสานงานระหว่างนิสิตกับอาจารย์ที่ปรึกษาและทางมหาวิทยาลัยให้จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และน้องๆ พี่ๆ ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สัญลักษณ์.....	ฏ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ปัญหาที่พบในกระบวนการ.....	6
1.3 จุดประสงค์ของการศึกษา.....	6
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	6
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	7
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	27
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.2 วิธีการทดลอง.....	30
3.3 วิธีการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์.....	33
4 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	51
4.1 ส่วนของของเหลวคั่งค้างที่มี polyol เป็นองค์ประกอบหลัก.....	51
4.2 ส่วนของ filter cake ที่ตกค้างบริเวณด้านล่างของเครื่องกรองแบบใบ.....	52
4.3 ส่วนของ filter cake ที่ติดกับแผ่นกรองของเครื่องกรองแบบใบ.....	68
4.4 การหาขนาดโดยเฉลี่ยของฟิลเตอร์เค้ก.....	83

บทที่	หน้า
4.5 การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ตามหลักการวิเคราะห์..... ทางเศรษฐศาสตร์	88
5 สรุปผลการวิจัย.....	95
รายการอ้างอิง.....	97
ภาคผนวก.....	98
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง.....	99
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ.....	119
ภาคผนวก ค การออกแบบเครื่องกรอง.....	122
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	131

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 แสดงลักษณะของ waste filter cake ที่ได้จากเครื่องกรองแบบใบ.....	3
1.2 แสดงแผนผังกระบวนการผลิต Flexible Polyether Polyol.....	4
2.1 แผนภาพหน้าตัดตัวกรองและฟิลเตอร์เค้ก.....	10
2.2 แสดงกลไกกระบวนการกรอง.....	15
2.3 ความดันไฮดรอลิก (P_L) และความดันอัด(P_S) บนฟิลเตอร์เค้กและตัวกรอง...	16
2.4 แสดงความดันขาเข้าที่กระทำต่อเครื่องกรอง.....	19
2.5 แสดงลักษณะของ plate and frame filter press.....	21
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาในการกรอง..... สำหรับลักษณะการกรองแบบต่างๆ	24
3.1 เครื่องมือ Scanning Electron Microscopy (SEM).....	27
3.2 เครื่องมือ Particle Size Analyzer.....	28
3.3 เครื่องอบแห้ง (Dryer).....	29
3.4 เครื่องอัดฟิลเตอร์เค้กด้วยมือ (Hand Filter).....	30
4.1 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับฟิลเตรทที่ได้จากเค้กเปียก..... ได้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันต่างกัน	54
4.2 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันแตกต่างกัน..... สำหรับเค้กเปียกได้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003	54
4.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับฟิลเตรทที่ได้จาก..... เค้กเปียกได้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันต่างกัน	55
4.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันแตกต่างกัน..... สำหรับเค้กเปียกได้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008	56
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(ts-t)/(Vs-V)$ กับ $(Vs+V)$ จากเค้กเปียกได้..... แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันคงที่ 6, 10, 15 และ 20 bar _g	57
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(ts-t)/(Vs-V)$ กับ $(Vs+V)$ จากเค้กเปียกได้..... แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันคงที่ 6, 10, 15 และ 20 bar _g	57
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานจำเพาะของเค้ก(α)..... กับความดันของเค้กได้แผ่นกรอง	60

	ญ หน้า
ภาพประกอบ	
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อการไหลผ่าน..... ตัวกรอง (R_m) กับความดันของเค้กได้แผ่นกรอง	60
4.9 ลักษณะโฟมเกรด RAYPOL 3003 ที่ผลิตจาก polyol ที่ได้จาก..... การอัดเค้กได้แผ่นกรองที่ความดัน 10 bar _g	66
4.10 ลักษณะโฟมเกรด RAYPOL 3008 ที่ผลิตจาก polyol ที่ได้จาก..... การอัดเค้กได้แผ่นกรองที่ความดัน 10 bar _g	67
4.11 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับฟิลเตรทที่ได้จาก..... เค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันต่างๆ	69
4.12 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันที่ต่างกัน..... สำหรับเค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003	70
4.13 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับฟิลเตรทที่ได้จาก..... เค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันต่างๆ	71
4.14 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันแตกต่างกัน..... สำหรับเค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008	71
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ts-t)/(Vs-V) กับ (Vs+V) จาก..... เค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันคงที่ 6, 10, 15 และ 20 bar _g	72
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ts-t)/(Vs-V) กับ (Vs+V) จาก..... เค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันคงที่ 6, 10, 15 และ 20 bar _g	73
4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานจำเพาะของเค้ก(α)..... กับความดันของเค้กติดแผ่นกรองและเค้กได้แผ่นกรอง เกรด 3003 และ 3008	75
4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อการไหลผ่าน..... ตัวกรอง (R_m) กับความดันของเค้กติดแผ่นกรองและ เค้กได้แผ่นกรอง เกรด 3003 และ 3008	75
4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า α และ R_m กับความดันลดของ..... ฟิลเตรท RAYPOL 3003 ที่ได้จากฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองและ ได้แผ่นกรอง	76

4.20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า α และ R_m กับความดันลดของ..... ฟิลเตอร์ RAYPOL 3008 ที่ได้จากฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองและ ได้แผ่นกรอง	76
4.21	ลักษณะโฟมเกรด RAYPOL 3003 ที่ผลิตจาก polyol ที่ได้จาก..... การอัดเค้กติดแผ่นกรองที่ความดัน 10 bar _g	81
4.22	ลักษณะโฟมเกรด RAYPOL 3008 ที่ผลิตจาก polyol ที่ได้จาก..... การอัดเค้กติดแผ่นกรองที่ความดัน 10 bar _g	82
4.23	Size distribution ของเค้กติดแผ่นกรองและเค้กได้แผ่นกรอง..... เกรด 3003 batch no. 2PE4028	85
4.24	Size distribution ของเค้กติดแผ่นกรองและเค้กได้แผ่นกรอง..... เกรด 3008 batch no. 2PE4003	85
4.25	แสดงขนาดและผลึกเค้กส่วนที่ติดแผ่นกรองสำหรับ..... ผลิตภัณฑ์ RAYPOL 3003 batch no. 2PE4051	86
4.26	แสดงขนาดและผลึกเค้กส่วนที่อยู่ใต้แผ่นกรองสำหรับ..... ผลิตภัณฑ์ RAYPOL 3003 batch no. 2PE4051	86
4.27	แสดงขนาดและผลึกเค้กส่วนที่ติดแผ่นกรองสำหรับ..... ผลิตภัณฑ์ RAYPOL 3008 batch no. 2PE4003	87
4.28	แสดงขนาดและผลึกเค้กส่วนที่อยู่ใต้แผ่นกรองสำหรับ..... ผลิตภัณฑ์ RAYPOL 3008 batch no. 2PE4003	87

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แสดงองค์ประกอบของ flexible filter cake โดยคำนวณจากสมมูลมวล.....	5
1.2 แสดงปริมาณฟิลเตอร์เค้กของ flexible polyether polyol.....	5
ค่าใช้จ่ายในการกำจัดและรายได้ที่สูญเสียไป ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 – พ.ศ. 2548	
2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของการกรองประเภทต่างๆ.....	15
3.1 แสดง cone spindle number และค่าความหนืดที่ speed ต่างกัน.....	49
4.1 แสดงร้อยละเค้กแห้งและ polyol ในส่วนของของเหลวคงค้างที่มี polyol.....	52
เป็นองค์ประกอบหลัก	
4.2 แสดงร้อยละเค้กแห้งและ polyol ในส่วนตกค้างบริเวณด้านล่างของ.....	53
เครื่องกรองแบบใบ	
4.3 แสดงค่าความต้านทานจำเพาะของเค้ก ความต้านทานต่อการไหลผ่าน.....	58
ตัวกรอง พื้นที่ที่ใช้กรอง เวลาในการกรองและปริมาณฟิลเตรทที่กรองได้ ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของฟิลเตอร์เค้กได้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ที่ ความดันต่างๆ	
4.4 แสดงค่าความต้านทานจำเพาะของเค้ก ความต้านทานต่อการไหลผ่าน.....	58
ตัวกรอง พื้นที่ที่ใช้กรอง เวลาในการกรองและปริมาณฟิลเตรทที่กรองได้ ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของฟิลเตอร์เค้กได้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 ที่ ความดันต่างๆ	
4.5 แสดงผลการทดสอบ polyol เกรด RAYPOL 3003 ที่ได้จาก.....	62
การอัดเค้กเปียกได้แผ่นกรองผ่าน Hand Filter ความดันสูงสุด 10 bar _g	
4.6 แสดงผลการทดสอบ polyol เกรด RAYPOL 3008 ที่ได้จาก.....	64
การอัดเค้กเปียกได้แผ่นกรองผ่าน Hand Filter ความดันสูงสุด 10 bar _g	
4.7 แสดงร้อยละเค้กแห้งและ polyol ในส่วนที่ติดกับแผ่นกรอง.....	68
ของเครื่องกรองแบบใบ	
4.8 แสดงค่าความต้านทานจำเพาะของเค้ก ความต้านทานต่อการไหลผ่าน.....	73
ตัวกรอง พื้นที่ที่ใช้กรอง เวลาในการกรองและปริมาณฟิลเตรทที่กรองได้ ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของ ฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ที่ ความดันต่างๆ	

ตาราง	หน้า
4.9 แสดงค่าความต้านทานจำเพาะของเค้ก ความต้านทานต่อการไหลผ่าน.....	74
ตัวกรอง พื้นที่ที่ใช้กรองเวลาในการกรองและปริมาณฟิลเตอร์ที่กรองได้ ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 ที่ ความดันต่างๆ	
4.10 แสดงเวลาที่ใช้ในการกรองน้ำผ่านแผ่นกรองที่ใช้กรอง.....	78
ฟิลเตอร์เค้ก เกรด RAYPOL 3003 เสร็จแล้วที่ความดันต่างๆ	
4.11 ผลการทดสอบ polyol เกรด RAYPOL 3003 ที่ได้จากการอัดเค้ก.....	79
ติดแผ่นกรองผ่าน Hand Filter ความดันสูงสุด 10 bar _g	
4.12 แสดงผลการทดสอบ polyol เกรด RAYPOL 3008 ที่ได้จาก.....	80
การอัดเค้กติดแผ่นกรองผ่าน Hand Filter ความดันสูงสุด 10 bar _g	
4.13 แสดงค่าเฉลี่ยขนาดของเม็ดเค้กเกรด RAYPOL 3003 ที่ตกค้าง.....	83
ใต้แผ่นกรอง และที่ติดอยู่กับแผ่นในเครื่องกรองแบบใบ	
4.14 แสดงค่าเฉลี่ยขนาดของเม็ดเค้กเกรด RAYPOL 3008 ที่ตกค้าง.....	84
ใต้แผ่นกรอง และที่ติดอยู่กับแผ่นในเครื่องกรองแบบใบ	
4.15 แสดงรายละเอียดของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักที่ต้องใช้.....	91
งบประมาณดำเนินการสำหรับโครงการติดตั้งฟิลเตอร์เพรส ชนิดแผ่นและกรอบ	
4.16 แสดงงบกระแสเงินสดเพื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน.....	92
4.17 แสดงการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ.....	92
4.18 แสดงการคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน.....	93
4.19 แสดงการคำนวณระยะเวลาคืนทุน.....	93

สัญลักษณ์

A	=	พื้นที่การกรอง (L^2)
AT	=	Agitation Time (T)
c	=	ปริมาณของแข็งต่อหน่วยปริมาตรของของเหลว (ML^{-3})
CT	=	Cream Time (T)
FRD	=	Free Rise Density (ML^{-3})
IA	=	Acid Number (mgKOH/g)
IOH	=	Hydroxyl Number (mgKOH/g)
IRR	=	อัตราผลตอบแทนภายใน
K^+	=	Potassium Ion (PPM)
k_1	=	ค่าคงที่ = 5 (จากการทดลองของ Kozeny – Carman)
L	=	ความหนาโดยปริมาตรที่เทียบเท่าความหนาของผ้ากรองและพีรีโคท (L)
L_c	=	ความหนาของฟิลเตอร์เค้ก (L)
m_c	=	มวลทั้งหมดของฟิลเตอร์เค้กแห้ง (M)
Na^+	=	Sodium Ion (PPM)
NPV	=	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
ΔP	=	ความดันลดเหนือตัวกรอง ($ML^{-1}T^{-2}$)
ΔP_c	=	ความดันตกคร่อมเนื่องจากฟิลเตอร์เค้ก ($ML^{-1}T^{-2}$)
ΔP_m	=	ความดันตกคร่อมเนื่องจากตัวกรอง ($ML^{-1}T^{-2}$)
R_m	=	ความต้านทานต่อการไหลผ่านตัวกรอง (L^{-1})
RT	=	Reactivity Time (T)
SEM	=	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
S_o	=	พื้นที่หน้าตัดจำเพาะของ 1 อนุภาค (L^2/L^3 หรือ L^{-1})
S_p	=	พื้นที่หน้าตัดของ 1 อนุภาค (L^2)
S', S	=	สัมประสิทธิ์การอัดตัวของฟิลเตอร์เค้ก
t	=	เวลา (T)
t_{cycle}	=	เวลาที่ใช้ในการกรอง 1 รอบ (T)
t_{dry}	=	เวลาที่ใช้ในลดลิกเคอร์ออกจากฟิลเตอร์เค้ก หรือการทำให้แห้ง (T)
TDI	=	Toluene Diisocyanate
t_{wash}	=	เวลาที่ใช้ในการล้างฟิลเตอร์เค้ก (T)

- V = ปริมาตรของของเหลวที่ผ่านตัวกรอง (L^3)
- V_{cycle} = ปริมาตรของฟิลเตอร์ต่อ 1 รอบของการกรอง (L^3)
- V_p = ปริมาตรของ 1 อนุภาค (L^3)
- w = ปริมาณของแข็งต่อหน่วยพื้นที่ (ML^{-2})

สัญลักษณ์กรีก

- α = ความต้านทานจำเพาะของฟิลเตอร์เค้ก (LM^{-1})
- α_0 = ค่าคงที่สำหรับเฉพาะการทดลอง
- α_0' = ความต้านทานจำเพาะของฟิลเตอร์เค้ก เมื่อแรงอัดเป็น 0
- ϵ = ช่องว่างของอนุภาค
- ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาคของแข็ง (ML^{-3})
- μ = ความหนืดของของไหล ($ML^{-1}T^{-1}$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บริษัท ทีพีไอ โพลีโอล จำกัด ก่อตั้งขึ้นเมื่อเดือนกันยายน พ.ศ.2530 เป็นบริษัทในเครือของบริษัท อุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด (มหาชน) ตั้งอยู่ที่บ้านเลขที่ 299 หมู่ 5 ถนนสุขุมวิท ตำบลเชิงเนิน อำเภอเมือง จังหวัดระยอง อยู่ในเขตพื้นที่เดียวกับโรงงานต่างๆของศูนย์อุตสาหกรรมทีพีไอ (TPI Complex) เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตได้รับมาจาก Synthesia Co., Ltd. ประเทศสเปน บริษัทเริ่มดำเนินการผลิตมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตประกอบด้วย Polyether Polyol , Polyester Polyol , Polyurethane Prepolymer และ Formulated System มีกำลังการผลิตรวม ประมาณ 25,000 ตันต่อปี

ผลิตภัณฑ์ของบริษัทถูกนำไปใช้ในการผลิตฟองน้ำวิทยาศาสตร์ ซึ่งใช้ทำที่นอน เบาะรองนั่ง เฟอร์นิเจอร์ชุดรับแขก ฉนวนความเย็นภายในตู้เย็น กระจกน้ำแข็ง ฉนวนความเย็นที่ใช้หุ้มท่อถังและอาคาร พื้นรองเท้าแตะและรองเท้ากีฬา งานหล่อไฟเบอร์กลาส กระเบื้องลอนใสและกระดุม เป็นต้น

โรงงาน TPI Polyol ประกอบด้วยหน่วยผลิตผลิตภัณฑ์หลัก 4 หน่วยผลิตดังนี้

1. หน่วยผลิต Polyether Polyol
2. หน่วยผลิต Polyester Polyol
3. หน่วยผลิต Polyurethane Prepolymer
4. หน่วยผลิต Formulated System

นอกจากนี้โรงงานยังประกอบด้วยหน่วยงานสนับสนุนอื่นๆ อาทิเช่น หน่วยงานควบคุมคุณภาพ หน่วยงานวิจัยและพัฒนา หน่วยงานซ่อมบำรุง หน่วยงาน Material Management หน่วยงานบริหารงานบุคคล และหน่วยงานธุรการ เป็นต้น โดยมีผู้บังคับบัญชาสูงสุดของโรงงานคือผู้จัดการโรงงาน (Manufacturing Manager) การดูแลและการจัดการด้านความปลอดภัยอยู่ภายใต้การดูแลของ TPI Safety Committee และ TPI Complex 2 Safety Committee

ในเรื่องการควบคุมระบบคุณภาพบริษัทได้เริ่มนำระบบคุณภาพ ISO-9000 เข้ามาใช้ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2539 และได้รับอนุมัติประกาศนียบัตรรับรองคุณภาพ ISO-9000 จากสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.) ในเดือนกรกฎาคม 2541 ส่วนระบบการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม (ISO 14000) บริษัทอยู่ระหว่างการดำเนินการจัดทำ ซึ่งคาดว่าจะได้รับการรับรองจากสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.) ภายในปลายปี 2549

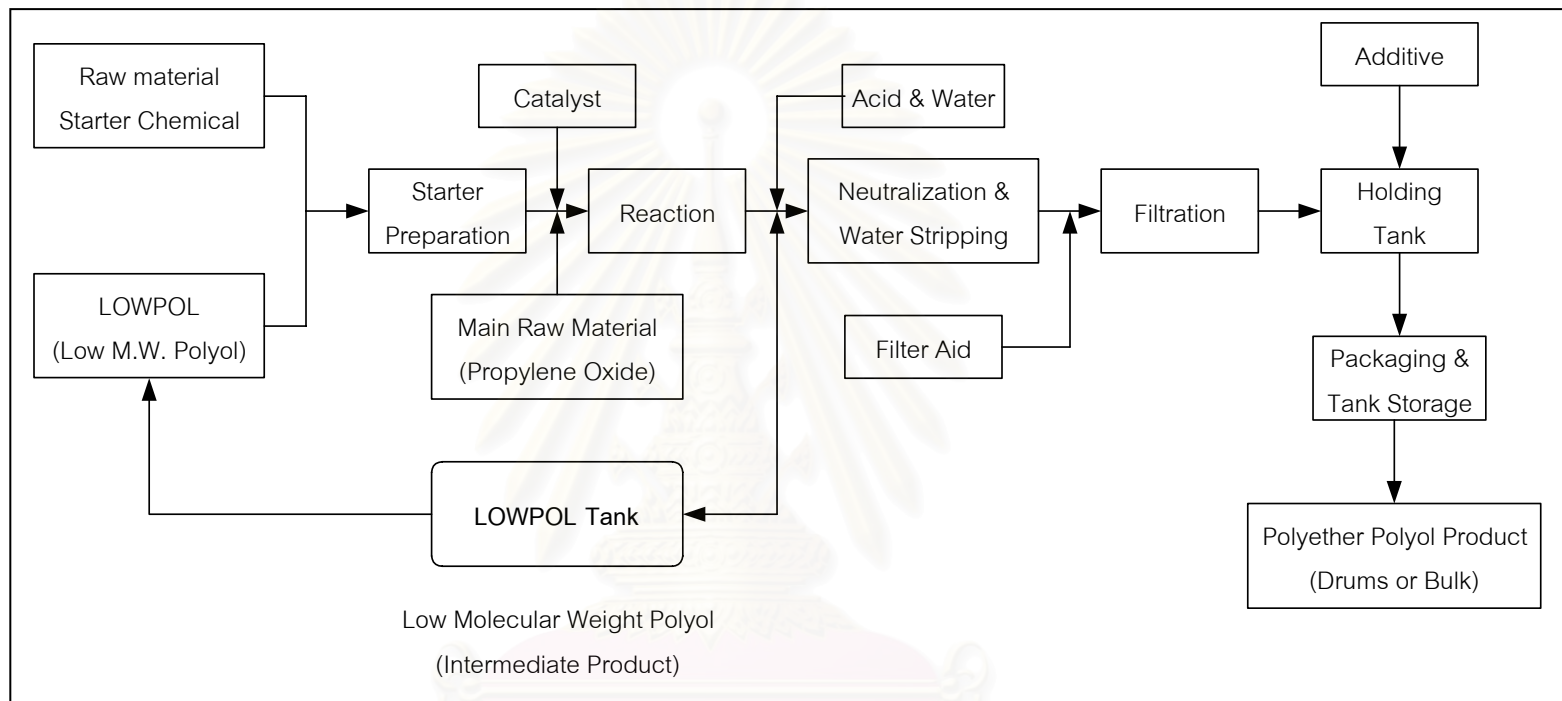
ปัจจุบันผู้บริหารระดับสูงของบริษัทให้ความสำคัญ เอาใจใส่และให้การสนับสนุนการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมสูงมาก สังเกตได้จากงบประมาณที่แต่ละหน่วยงานได้รับการจัดสรรเพื่อมาแก้ไขปัญหาด้านนี้ปีหนึ่งๆรวมกันเป็นจำนวนหลายร้อยล้านบาท สำหรับ TPI Polyol ในปี 2548 ได้รับจัดสรรงบประมาณก้อนหนึ่งเพื่อนำมาดำเนินการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเช่นกันโดยเป็นโครงการที่เกิดจากกระบวนการผลิตจำนวนสองโครงการคือ โครงการแก้ไขปัญหาน้ำเสียและโครงการแก้ไขปัญหาฟิลเตอร์เค้กเป็ยที่ที่เกิดจากกระบวนการผลิต Polyether Polyol การกำจัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตนับว่าเป็นปัญหาที่มีความสำคัญมากในปัจจุบัน เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ออกแบบไว้เดิมไม่สามารถรองรับปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิตที่มีการขยายเพิ่มเติมไปมากในปัจจุบัน ซึ่งปัญหานี้กำลังอยู่ระหว่างการแก้ไข โดยบริษัทมีแผนที่จะสร้างระบบ waste water pretreatment และต่อท่อน้ำเสียไปยังบ่อบำบัดกลางโดยตรง (ไม่ผ่านบ่อบักน้ำเสียที่โรงงานผลิตเม็ดพลาสติก ABS) โดยปัจจุบันโครงการนี้อยู่ระหว่างขั้นตอนการหาผู้รับเหมาเข้ามาดำเนินงาน

ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตอีกประเภทหนึ่งที่มีมากตามกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นคือ waste filter cake (ดูรูปที่ 1.1) ที่มีประมาณ 1-2% ของผลิตภัณฑ์ Flexible Polyether Polyol ในแต่ละ batch ที่ทำการผลิต ซึ่ง waste filter cake เหล่านี้จะมี polyol ที่เป็นผลิตภัณฑ์หลักผสมอยู่เป็นจำนวนโดยเฉลี่ย 40-60% โดยน้ำหนัก และมีองค์ประกอบที่เหลือเป็น Potassium Sulfate, Magnesium Silicate และ Diatomaceous Earth ซึ่งองค์ประกอบแต่ละชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 1.1 ส่งผลให้บริษัทสูญเสียผลิตภัณฑ์และรายได้ในส่วนนี้ไปปีหนึ่งๆเป็นเงินหลายล้านบาท (ดูตารางที่ 1.2 ประกอบ) นอกจากนี้บริษัทยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในกระบวนการกำจัด waste filter cake เพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น ปัจจุบันการกำจัด waste filter cake เหล่านี้มีเพียงวิธีเดียวเท่านั้นคือการนำไปเผาที่โรงงานปูนซิเมนต์ของบริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด จังหวัดสระบุรี ขั้นตอนการดำเนินงานมีความยุ่งยากมากพอสมควรเนื่องจากบริษัทฯ ต้องว่าจ้างผู้รับเหมาภายนอกมาขนให้ อีกทั้งระยะทางในการขนส่งไกลมากและฟิลเตอร์เค้กมีความเป็ยแฉะสูง โครงการ “การแยก Flexible Polyether Polyol ออกจาก waste filter cake โดยใช้ Filter Press” จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่บริษัทสามารถนำข้อมูลไปดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้นและใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาในการออกแบบระบบการรีด polyol ออกจาก waste filter cake ในอนาคตได้



รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะของ waste filter cake ที่ได้จากเครื่องกรองแบบใบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.2 แสดงแผนผังกระบวนการผลิต Flexible Polyether Polyol

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.1 แสดงองค์ประกอบของ flexible filter cake โดยคำนวณจากสมดุลมวล

รายการ	องค์ประกอบ	สัดส่วนโดยน้ำหนัก (% wt)
1	Polyols	56.9
2	K ₂ SO ₄ (S)	31.9
3	Magnesium Silicate MgO : 2.5 SiO ₂	3.4
4	Diatomaceous earth	7.8
รวม		100

ตารางที่ 1.2 แสดงปริมาณฟิลเตอร์เค้กของ flexible polyether polyol ค่าใช้จ่ายในการกำจัด และรายได้ที่สูญไปตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 – พ.ศ. 2548

พ.ศ.	ปริมาณ ฟิลเตอร์เค้ก (กก.)	ปริมาณ polyol ที่ปนอยู่ ในฟิลเตอร์เค้ก (กก.)	ค่าใช้จ่ายใน การกำจัด (บาท)	ปริมาณ polyol ที่ สามารถนำกลับคืน (กก.)	คิดเป็นเงินที่ จะได้กลับคืน (บาท)
2540	92,463	48,385	351,359	20,370	1,299,580
2541	65,000	34,014	247,000	14,320	913,584
2542	77,350	40,476	293,930	17,040	1,087,165
2543	110,012	57,568	418,046	24,236	1,546,234
2544	79,625	41,667	302,575	17,541	1,119,141
2545	81,250	42,517	308,750	17,899	1,141,980
2546	126,750	66,327	481,650	27,923	1,781,489
2547	191,100	100,001	726,180	42,099	2,685,937
2548	159,900	83,674	607,620	35,226	2,247,417
รวม	983,450	514,630	3,737,110	216,654	13,822,527

หมายเหตุ :

- 1) ใช้ข้อมูลคำนวณเบื้องต้นจากหัวข้อ 4.5
- 2) เงินที่ได้รับกลับคืนประกอบด้วยเงินที่ได้จากปริมาณ polyol ที่สามารถนำกลับคืน และค่าใช้จ่ายในการกำจัดที่ลดลง

1.2 ปัญหาที่พบในกระบวนการ

- มี polyol และ waste filter cake ค้างอยู่ใต้ชุดกรองจำนวนมากเมื่อกรอง polyol เสร็จ
- ไม่มีระบบคัดแยก polyol ออกจาก waste filter cake ที่ดีพอทำให้สูญเสียผลิตภัณฑ์หลักไปกับ waste filter cake ในแต่ละ batch มีเป็นจำนวนมาก
- waste filter cake ที่เปียกแฉะทำให้การกำจัดทำได้ลำบาก
- การกำจัด waste filter cake ปัจจุบันใช้วิธีการเผา ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน

1.3 จุดประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาศักยภาพในการนำกลับคืนของโพลีเอเทอร์โพลีออกซินินนุ่ม (flexible polyether polyol) ที่ค้างในเครื่องกรองแบบใบ

1.4 ขอบเขตการศึกษา

พิจารณาแนวทางในการนำกลับคืนของโพลีเอเทอร์โพลีออกซินินนุ่มที่ค้างในเครื่องกรองแบบใบ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

- ส่วนของของเหลวค้าง ซึ่งมี polyol เป็นองค์ประกอบหลัก
- ส่วนของฟิลเตอร์เค้กที่ตกค้างบริเวณด้านล่างเครื่องกรองแบบใบ
- ส่วนของฟิลเตอร์เค้กที่ติดแผ่นกรอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

- ลดการสูญเสียผลิตภัณฑ์หลัก
- % yield ของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นและคงที่
- ลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการกำจัดฟิลเตอร์เค้ก
- ลดปัญหาหรือผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 การกรอง (Filtration)

การกรองเป็นการแยกทางกลชนิดหนึ่งที่จะแยกเอาอนุภาคของของแข็งออกจากของไหล โดยให้ของเหลวที่มีอนุภาคแขวนลอยอยู่ผ่านแผ่นกรองที่เป็นรูพรุน ตัวกลางจะจับอนุภาคที่แขวนลอยซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าช่องเปิดของแผ่นกรองแล้วให้ของเหลวถูกขับให้เคลื่อนผ่านไปได้อย่างผลต่างความดัน อนุภาคที่แขวนลอยในของเหลว ซึ่งไม่ผ่านช่องเปิดของตัวกลางจะถูกกักไว้และสะสมตัวบนแผ่นกรอง เกิดเป็นสิ่งที่เรียกว่าฟิลเตอร์เค้ก (filter cake) ส่วนของเหลวที่กรองได้เรียกว่าฟิลเตรท (filtrate) ตัวอย่างฟิลเตรทซึ่งเป็นองค์ประกอบของของผสมที่ต้องการ เช่น การทำให้น้ำผลไม้หรือน้ำมันพืชใส การทำให้โพลีออล (polyol) ใส ส่วนตัวอย่างที่สารแขวนลอยเป็นองค์ประกอบที่ต้องการ เช่นการแยกโปรตีนที่ตกตะกอนออกจากสารละลายที่ทำกรสกัด อย่างไรก็ตาม ในบางครั้งสารแขวนลอยไม่สามารถแยกออกได้อย่างเร็ว จำเป็นต้องใช้ตัวช่วยกรอง (filter aid) หรือเทคนิคการแยกอื่นๆ

ในการกรองจำเป็นที่ขนาดช่องเปิดของแผ่นกรอง (filter medium หรือ septum) จะต้องสัมพันธ์กับขนาดของอนุภาคที่ต้องการแยก ในบางกรณีอาจมีการเคลือบเค้กหรืออนุภาคที่ละเอียดอื่นๆบางๆ (ประมาณ $0.5-1.0 \text{ kg/m}^3$ ของผิวกรอง)บนแผ่นกรองก่อนที่กระบวนการกรองหลักจะเกิดขึ้น เนื่องจากแผ่นกรองมีความสามารถในการกักอนุภาคที่แขวนลอยได้น้อย การเคลือบชั้นต้นนี้เพื่อให้มีรูละเอียดพอต่อการกรอง เราเรียกกระบวนการนี้ว่า การพรีโคท (pre-coat) และเรียกสารที่เติมลงไปเพื่อให้เกิดการพรีโคทว่าตัวช่วยกรอง (filter aid) โดยที่ตัวช่วยกรองนี้จะก่อให้เกิดเค้กที่มีรูพรุนกับสารที่แขวนลอยในของเหลว ป้องกันไม่ให้สายธารของของเหลวทำการพัดพาสารที่สะสมอยู่บนแผ่นกรองให้เข้าไปอุดตันอยู่ในรูพรุนของแผ่นกรอง ตัวช่วยกรองที่ใช้กันมากได้แก่ diatomaceous earth และ perlite ขณะที่การกรองดำเนินต่อไป ตัวช่วยกรองและของแข็งที่แขวนลอยจะเป็นส่วนของฟิลเตอร์เค้ก ซึ่งทำให้ความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาตรของฟิลเตรทเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของตัวช่วยกรองที่จะผสมกับสารป้อน มักมีความเข้มข้นเป็น 1-2 เท่าของความเข้มข้นของสารแขวนลอย โดยความเข้มข้นตัวช่วยกรองที่ต้องใช้ดังกล่าวเพื่อให้เกิดเค้กที่มีรูพรุนมากพอสำหรับการไหลของฟิลเตรท ถ้าความเข้มข้นของตัวช่วยกรองไม่เพียงพอจะทำให้การไหลของฟิลเตรทลดลงอย่างรวดเร็ว และทำให้วงจรการกรองสั้นลง

2.1.2 จุดประสงค์ของการกรองและการเตรียมการกรองขั้นต้น

2.1.2ก จุดประสงค์ของการกรอง

โดยปกติจุดประสงค์ของการกรองจะเป็นไปเพื่อ

- การทำให้ใสเพื่อการทำให้ของเหลวบริสุทธิ์
- การแยกเพื่อเอาอนุภาคของของแข็งกลับคืนมา
- การแยกเพื่อเอาอนุภาคของของแข็ง และของเหลวกลับคืนมา
- การแยกโดยการมุงเพื่อทำให้เกิดความสะอึก หรือเป็นการปรับปรุงการดำเนินงานในขั้นอื่นๆ ต่อไป

2.1.2ข การเตรียมการกรอง

- การพรีโค้ต และสารช่วยกรอง

เมื่อมีอนุภาคของสารแขวนลอยปรากฏอยู่ในขั้นตอนการทำให้ใส การพรีโค้ต (precoat) และการเติมสารช่วยกรอง (filter aids) จะช่วยป้องกันไม่ให้สายธารของของเหลว ทำการพัดพาสารที่สะสมอยู่บนตัวกรอง ให้เข้าไปอุดตันอยู่ในรูพรุนของตัวกรอง โดยตัวพรีโค้ตจะช่วยปกป้องผิวหน้าของตัวกรองจากการอุดตันดังกล่าว ในบางสถานการณ์อาจจะมีการใช้พรีโค้ตเพื่อช่วยยืดอายุการใช้งาน และปรับปรุงความต้านทานต่อการกัดกร่อนของตัวกรองที่มีลักษณะหยาบ เช่น แผ่นตะแกรงโลหะ ส่วนสารช่วยกรองที่ใส่เข้าไปตอนบ่อนสาร นอกจากจะช่วยในการแยกอนุภาคของแข็งแล้วยังช่วยในการก่ตัวของเค้กด้วย โดยมันจะทำหน้าที่เป็นตัวต่อต้านที่แทรกอยู่ระหว่างอนุภาคเพื่อป้องกันการอัดตัวของอนุภาคทั้งหลาย และภายใต้ผลกระทบจากแรงดัน – ความเร็ว มันจะผลิตชั้นที่ไม่ซึมซับน้ำอยู่บนตัวกรองหรือบนตัวพรีโค้ตถ้ามีพรีโค้ตอยู่ด้วย

- การรวมตัวของตะกอน (Coagulation)

ในบางกรณีอาจเร่งการตกตะกอนของสารแขวนลอยด้วยการทำให้เกิดการรวมตัวของตะกอน โดย การรวมตัวแบบ Coagulation เป็นวิธีที่มักจะใช้ในการทำให้ใสหรือการกรองสารที่มีขนาดเล็ก ละเอียดมาก ในขณะที่การรวมของตะกอนแบบ Flocculation นั้นมักจะใช้ควบคู่กับการกวน

การเติมสารเคมีเข้าไปจะมีผลต่อโครงสร้างของสารแขวนลอย โดยทำให้สารนั้นสูญเสียธรรมชาติของความเป็นคอลลอยด์ และมีสภาพเข้าใกล้ธรรมชาติของความเป็นผลึกมากขึ้น โดยปกติจะเกิดพร้อมกับการรวมตัวของตะกอนเกาะกันเป็นก้อน โดยขั้นตอนต่อมาอาจเป็นการตกตะกอนถ้าอนุภาคนั้นมีความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างจากของเหลวมากพอ จึงทำให้ได้ของเหลวที่ใสขึ้นและถ้า

ต้องการให้ได้ความใสอย่างสมบูรณ์แบบ ก็อาจจะต้องมีการกรองเป็นลำดับต่อมาด้วย ถ้าพื้นที่ในการกรองไม่มากจนเกินไป

- การควบคุมอุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อความหนืดซึ่งมีผลต่ออัตราการไหล ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นตัวแปรที่สำคัญในการกรอง ทั้งนี้เพราะเมื่อของเหลวมีความหนืดลดลง ของเหลวจะมีการซึมผ่านเข้าไปในรูขนาดเล็กได้ดีขึ้น ด้วยเวลาที่น้อยลง ในบางโอกาส อุณหภูมิจะมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนรูปของอนุภาคของแข็งหรือส่วนประกอบของมัน ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทำใส

- pH

การควบคุม pH อย่างเหมาะสมอาจจะทำให้ได้ของเหลวที่ใสขึ้น เพราะว่าการเพิ่มความเข้มข้นหรือความเป็นกรด อาจจะทำให้ลักษณะของอนุภาคเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น มีการเปลี่ยนจากอนุภาคที่อ่อนนุ่ม, หรือวัสดุที่เป็นเยื่อเมือก ให้กลายเป็นอนุภาคที่มีลักษณะเนื้อแน่น หรือมีลักษณะที่แตกต่างไปจากเดิมจนไม่ต้องอาศัย วิธีการกรองเข้ามาแก้ปัญหา

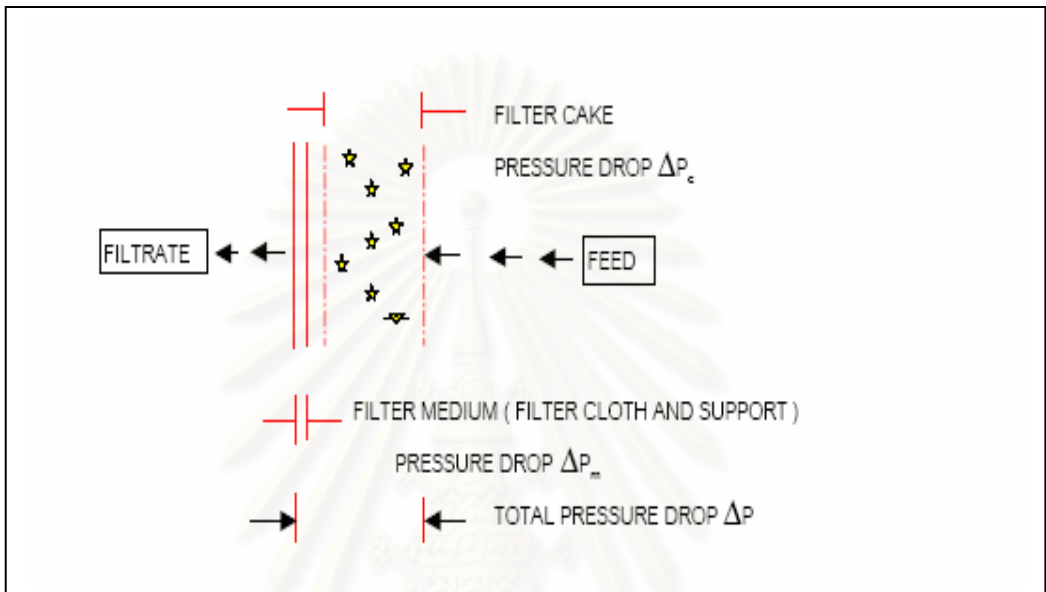
2.1.3 ทฤษฎีการวิเคราะห์การกรอง

เมื่อสารแขวนลอยของอนุภาคต่างๆผ่านตัวกรอง อนุภาคแรกจะจับอยู่ที่ตัวกรองทำให้พื้นที่ที่ของเหลวสามารถไหลผ่านได้ลดลง ซึ่งทำให้ความต้านทานต่อการไหลของของเหลวเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของเค้กเพิ่มขึ้น ดังนั้น การไหลของฟิลเตรทจะลดลงเมื่อเวลาของการกรองผ่านไป ถ้าต้องการรักษาอัตราการไหลของฟิลเตรท ความแตกต่างของความดันที่ใช้ต้องสูงขึ้น สมการอัตราการกรองเขียนได้ดังนี้

$$\text{อัตราการกรอง} = \frac{\text{แรงขับเคลื่อน (ความแตกต่างของความดัน)}}{\text{ความต้านทานต่อการไหล}}$$

ความต้านทานทั้งหมดได้จากผ้ากรอง mesh หรือ เบด และความต้านทานจะเพิ่มขึ้นเมื่อฟิลเตรทเค้กสะสมเพิ่มมากขึ้น ความต้านทานของฟิลเตรทเค้กได้จากผลคูณของความต้านทานจำเพาะของฟิลเตรทเค้ก (ความต้านทานต่อหน่วยความหนาซึ่งเป็นความต้านทานต่อการไหลของฟิลเตรทผ่านฟิลเตรทเค้ก) กับความหนาของเค้ก ส่วนความต้านทานของตัวกรองและชั้นของพีรีโคทของสารช่วยกรอง จะรวมกันเป็นความต้านทานอันเดียวที่เรียกว่าความต้านทานของตัวกรอง (filter resistance) มักแสดงเทอมความต้านทานของตัวกลางในรูปของความหนาของฟิลเตรทเค้กที่ประมาณขึ้น (fictitious thickness: L) โดยที่ความหนานี้เมื่อคูณกับความต้านทานจำเพาะของฟิลเตรทเค้กแล้ว

จะให้ค่าความต้านทานของตัวกรอง รูปที่ 2.1 แสดงส่วนของตัวกรองที่แสดงตัวกลางที่ใช้กรองปริโคท และสารช่วยกรอง โดยมีความดันที่ลดลง (ΔP) ของตัวกลางที่ใช้กรอง (ผ้ากรองร่วมกับปริโคท) (ΔP_m) และความดันที่ลดลงเหนือเค้ก (ΔP_c)



รูปที่ 2.1 แผนภาพหน้าตัดตัวกรองและฟิลเตอร์เค้ก
ที่มา : ดัดแปลงจาก รุ่งนภา (2001)

ดังนั้นสมการทั้งหมดเพื่อหาอัตราการไหลเชิงปริมาตร กรณีการกรองผ่านเค้ก คือ

$$Q = \frac{\Delta P A}{\mu(R_c + R_m)} \dots\dots\dots(2.1)$$

โดยสมมติว่าความต้านทานของเค้กเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของเค้กบนพื้นที่การกรอง ซึ่งจะได้

$$R_c = \alpha w \dots\dots\dots(2.2)$$

เมื่อ

R_m = ความต้านทานต่อการไหลผ่านตัวกรอง (m^{-1})

R_c = ความต้านทานต่อการไหลของเค้ก (m^{-1})

μ = ความหนืดของของไหล ($N.s/m^2$)

α = ความต้านทานจำเพาะของฟิลเตอร์เค้ก (m/kg)

w = ปริมาณเค้กที่สะสมอยู่บนตัวกรอง (kg/m^2)

A = พื้นที่การกรอง (m^2)

ΔP = ความดันลดเหนือตัวกรอง (N/m^2) = $(\Delta P_m + \Delta P_c)$

แทน R_c จากสมการ (2.2) ลงในสมการ (2.1) จะได้

$$Q = \frac{\Delta PA}{\alpha \mu_w + \mu R_m} \dots\dots\dots(2.3)$$

เนื่องจากความหนาของฟิลเตอร์เค้กจะเป็นสัดส่วนกับปริมาตรของ slurry ที่ป้อนให้แก่เครื่องกรอง ดังนั้นความหนาของฟิลเตอร์เค้กจึงถูกนำมาเชื่อมโยงกับปริมาตรของฟิลเตรทได้ด้วยสมการสมดุลมวล ดังนี้

$$m_c = \rho_p (1-\epsilon)AL \dots\dots\dots(2.4)$$

แต่ปริมาตรของฟิลเตรทที่ถูกกักอยู่ในฟิลเตอร์เค้กมีปริมาณน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรของฟิลเตรทที่ได้จากการกรอง (V) ดังนั้น $\epsilon LA \simeq 0$ นั่นคือ

$$m_c = \rho_p (1-\epsilon)AL = cV \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{และ } wA = cV \dots\dots\dots(2.6)$$

เมื่อ

c = ความเข้มข้นของของแข็งใน suspension (kg/m^3)

m_c = มวลทั้งหมดของฟิลเตอร์เค้กแห้ง (kg)

V = ปริมาตรของของเหลวที่ผ่านตัวกรอง (m^3)

L = ความหนาของฟิลเตอร์เค้ก (m)

ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาคของแข็ง (kg/m^3)

เพราะฉะนั้นความต้านทานทั้งหมดสามารถเขียนได้ดังนี้

$$Q = \frac{\Delta PA}{\alpha \mu_c (V/A) + \mu R_m} \dots\dots\dots(2.7)$$

โดยที่

$$Q = \frac{dV}{dt} \dots\dots\dots(2.8)$$

สมการ (2.7) เป็นสมการพื้นฐานของการกรอง ซึ่งแสดงอัตราการกรองในเทอมของปริมาณที่วัดได้ สมการนี้สามารถใช้นำมาทำนายการทำงานของเครื่องกรองขนาดใหญ่โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการหรือการทดสอบในระดับไพล๊อท สมการ (2.7) สามารถใช้กับการกรองที่อัตราการไหลคงที่ และการกรองภายใต้ความดันคงที่

2.1.3ก การกรองด้วยอัตราคงที่ (constant rate filtration)

ในวงจรการกรองช่วงแรกที่เกิดขึ้น มักพบว่า ความต้านทานของตัวกรองนั้นมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับความต้านทานของฟิลเตอร์เค้ก เนื่องจากความหนาของเค้กยังบางอยู่ ภายใต้สภาวะเช่นนี้ ความต้านทานต่อการไหลจะคงที่และการกรองจะดำเนินต่อไปด้วยอัตราเกือบคงที่ สำหรับการกรองด้วยอัตราคงที่ เทอม Q จะมีค่าคงที่ และ ΔP จะเปลี่ยนแปลงตามเวลา เพราะฉะนั้น สมการ (2.7) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$Q = \frac{\Delta P(t)A}{\alpha\mu_c[(V(t)/A] + \mu_{R_m}} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

โดยที่ $V = Qt \quad \dots\dots\dots(2.10)$

แทน V จากสมการ (2.10) ลงใน (2.9) จะได้

$$\Delta P = \frac{\alpha\mu_c Q^2 t}{A^2} + \frac{\mu_{R_m} Q}{A} \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

และ $v = \frac{Q}{A} \quad \dots\dots\dots(2.12)$

จากสมการ (2.11) ถ้าพล็อตกราฟระหว่าง ΔP กับ t จะสามารถคำนวณหาค่า α และ R_m ได้

2.1.3ข การกรองด้วยความดันคงที่ (constant pressure filtration)

ในระบบวนการกรองส่วนใหญ่ เมื่อเค้กเริ่มเกิดขึ้น การไหลจะเกิดขึ้นภายใต้ความแตกต่างของความดันที่คงที่ ภายใต้สภาวะเช่นนี้ ΔP ในสมการ (2.7) จะคงที่ เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\frac{dt}{dV} = a_1 \frac{V}{A^2 \Delta P} + b_1 \frac{1}{A \Delta P} \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

โดยที่

$$a_1 = \alpha \mu c \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

$$b_1 = \mu R_m \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

อินทิเกรตจาก $V=0$ ที่ $t = 0$ ถึง $V=V$ ที่ $t = t$ จะได้

$$\int_0^t dt = \frac{a_1}{A^2 \Delta P} \int_0^V V dV + \frac{b_1}{A \Delta P} \int_0^V dV \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

เพราะฉะนั้น

$$t = a_1 \frac{V^2}{2A^2 \Delta P} + b_1 \frac{V}{A \Delta P} \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

จากสมการ (2.16) ถ้าเราอินทิเกรตจาก t_s, V_s ซึ่งเป็นเวลาเริ่มต้นและปริมาตรเริ่มต้นที่ความดันคงที่ จะได้สมการใหม่ ดังนี้

$$\frac{t - t_s}{V - V_s} = \frac{\alpha \mu c}{2A^2 \Delta P} (V + V_s) + \frac{\mu R_m}{A \Delta P} \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

สมการของการกรอง (2.18) สามารถหาค่าคงที่ของการกรอง เช่น α และ R_m ของตัวกรองขนาดเล็ก ซึ่งสามารถขยายขนาดของการกรองไปสู่การกรองที่ใหญ่ขึ้นได้ ซึ่งจะครอบคลุมสภาวะการกรองที่โรงงานต่างๆ ใช้กันอยู่และยังสามารถใช้ทำนายการทำงานของเครื่องกรองที่อาศัยผลจากการทดลอง ถ้าการทดสอบนั้นกระทำที่ความดันคงที่ โดยเก็บและวัดปริมาณของฟิลเตรทในช่วงเวลาหนึ่ง ก็สามารถสร้างกราฟระหว่าง $t/(V/A)$ กับ (V/A) ได้และจากสมการ (2.18) จะเห็นว่า กราฟนี้เป็นเส้นตรง โดยมีความชันเป็น $(\alpha \mu c / 2A^2 \Delta P)$ และจุดตัดแกนเป็น $\mu R_m / A \Delta P$ เนื่องจากค่า $\mu, c, \Delta P$ และ A หาได้ ดังนั้นเมื่อทราบความชันและจุดตัดแกนก็สามารถคำนวณหาค่า α และ R_m ได้

2.1.4 ประเภทการกรอง

การกรองแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

- Surface filtration หรือ Cake filtration

ในช่วงสั้นๆของระยะแรกของการกรอง อนุภาคของแข็งที่สะสมอยู่บนตัวกรองหรือฟิลเตอร์เค้ก จะทำหน้าที่เป็นตัวกรองด้วย การกรองจะดำเนินไปเรื่อยๆจนสิ้นสุดลงเมื่อความดันตกของเบดมีค่าสูงเกินกว่าที่จะยอมรับได้ โดยปกติการกรองแบบนี้จะเกิดเมื่อ slurry มีปริมาณความเข้มข้นของอนุภาค อย่างน้อยที่สุดเป็น 1% โดยแรงที่ใช้ในการกรองอาจจะเป็นแรงเหวี่ยง แรงจากความดัน แรงสุญญากาศ หรือแรงดึงดูดของโลก

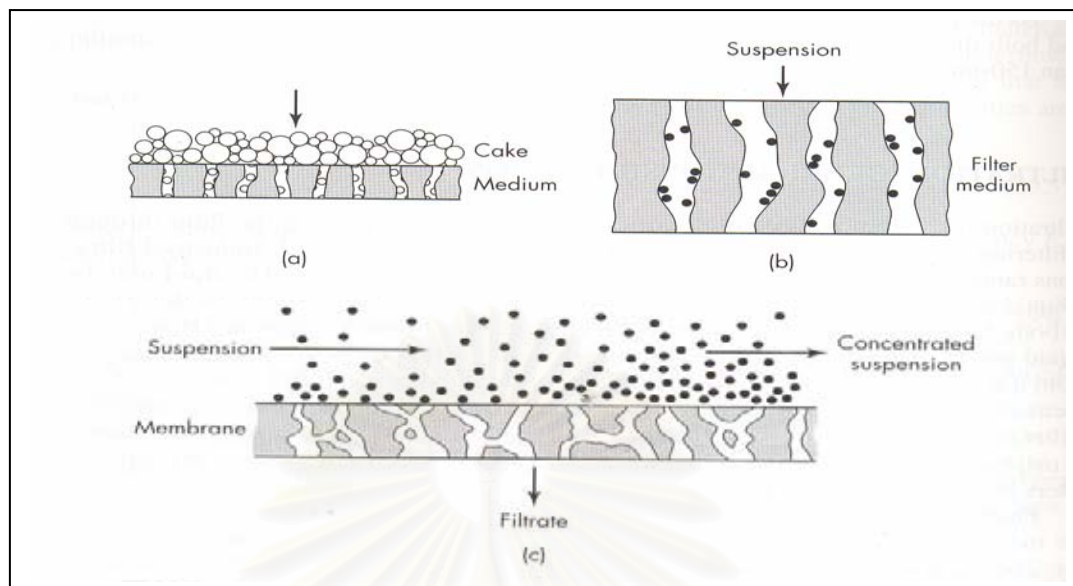
- Deep bed filtration หรือ Clarifying filtration

การกรองตามความลึก การแยกจะเกิดขึ้นในตัวกรอง เพราะว่าอนุภาคของของแข็งมีขนาดเล็กกว่ารูของตัวกรอง อนุภาคของของแข็งจึงถูกดักไว้ในตัวกรองหรือที่ผิวของตัวกรอง การกรองตามความลึกแตกต่างจากการร่อน (screening) ตรงที่รูของตัวกรองมีขนาดใหญ่กว่า ด้วยขนาดรูของตัวกรองที่โตกว่าขนาดของอนุภาคของแข็ง ทำให้อนุภาคของแข็งถูกแรงดึงดูดที่ผิวยึดติดเอาไว้บนพื้นผิวหรือภายในช่องทางเดินของของไหล เมื่อเวลาผ่านไป รูบนตัวกรองในช่องการไหลจะมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ แต่ปกติจะไม่ตันสนิทจนของไหลไม่สามารถผ่านไป (ดูรูป 2.2b)

ในทางปฏิบัติ อาจจะมีการกรองหลายชนิดเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับกันไป ตัวอย่างเช่น ในระยะแรกของการกรอง เมื่อรูพรุนบนตัวกรองมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของอนุภาค การกรองที่เกิดขึ้นในช่วงนี้จะเป็นการตามความลึก แต่เมื่อเวลาผ่านไป มีการอุดตันและการสะสมตัวของอนุภาคในรูเพิ่มขึ้น เป็นผลให้รูบนตัวกรองมีขนาดลดลงเรื่อยๆ การกรองจึงอาจเปลี่ยนจากการกรองตามความลึก เป็นการกรองผ่านตัวกลางและการกรองผ่านเค้ก (ดูรูป 2.2a)

- Cross flow filtration หรือ Membrane filters

cross flow filtration จะนำไปประยุกต์ใช้กับความเข้มข้นของสารแขวนลอยที่มีอนุภาคขนาดเล็ก สารที่เป็นคอลลอยด์ หรือประยุกต์ใช้กับสัดส่วนของสารละลายระดับ macromolecule ได้ หลักการคือจะป้อนสารแขวนลอยภายใต้ความดันด้วยความเร็วสูงพอเหมาะให้ไหลผ่านตัวกรอง (ดูรูป 2.2c) ชั้นบางๆของของแข็งจะเกิดขึ้นที่ผิวของตัวกรอง แต่ของเหลวที่มีความเร็วสูงจะไม่ทำลายชั้นบางๆเหล่านี้ ตัวกรองที่ใช้อาจเป็น ceramic โลหะหรือ polymer membrane ที่มีรูเล็กพอที่จะไม่ยอมให้ของแข็งผ่านไป แต่จะยอมให้เฉพาะของเหลวใสเท่านั้นผ่านออกมา



รูปที่ 2.2 แสดงกลไกกระบวนการกรอง; (a) cake filter, (b) clarifying filter, (c) cross flow filter
ที่มา : McCabe และคณะ (2001)

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของการกรองประเภทต่างๆ

Description	Surface filtration	Deep bed filtration	Cross flow filtration
Suspension concentration	High	Low	Low
Filter medium	Thin	Thick	Thin
Particle deposition	On medium surface	Inside medium	On medium surface
Particle size	Larger than medium pore	Smaller than medium pore	Larger than medium pore
Pressure drop	Low initial ΔP	High initial ΔP	Low initial ΔP
Filter aids	Usually use	Do not use	Do not use

2.1.5 ความต้านทานจำเพาะของฟิลเตอร์เค้ก

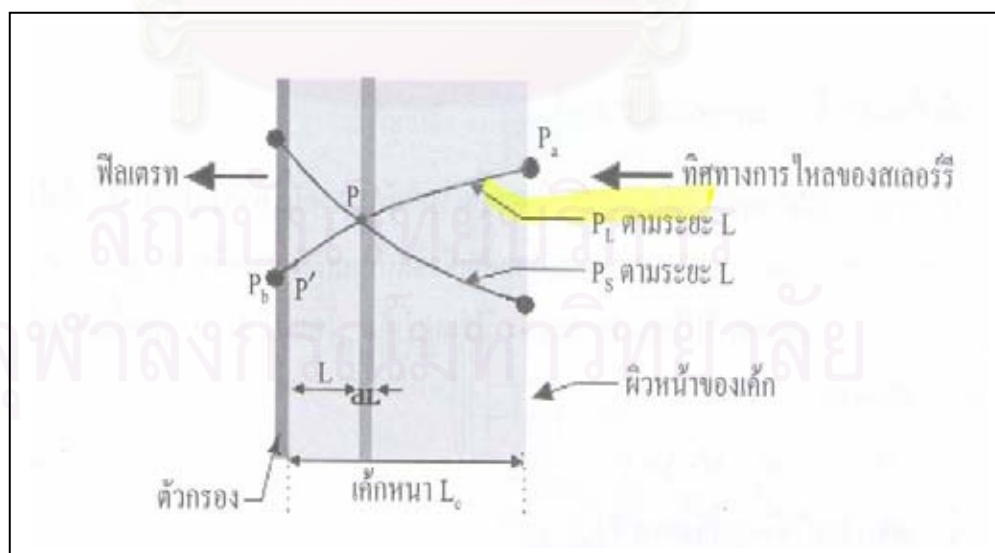
2.1.5ก สมการโดยทั่วไป

ฟิลเตอร์เค้กแต่ละชนิดจะมีค่าความต้านทานต่อกรไหลแตกต่างกัน ถ้าให้ α คือความต้านทานจำเพาะของฟิลเตอร์เค้ก (specific cake resistance) โดยมีรูปของสมการดังนี้

$$\alpha = \frac{k_1 S_0^2 (1-\epsilon)}{\epsilon^3 \rho_p} \quad (2.19.a)$$

- โดย k_1 = ค่าคงที่ = 5 (จากการทดลองของ Kozeny – Carman)
 S_0 = พื้นที่หน้าตัดจำเพาะของ 1 อนุภาค = $\frac{S_p}{V_p}$
 S_p = พื้นที่หน้าตัดของ 1 อนุภาค
 V_p = ปริมาตรของ 1 อนุภาค
 ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาคของของแข็ง

ในทางฟิสิกส์ α คือ ความดันตกที่ทำให้ฟิลเตอร์ที่มีค่าความหนืดเป็น 1 หน่วยและมี ความเร็ว 1 หน่วย ไหลผ่านฟิลเตอร์เค้กที่ประกอบด้วยอนุภาคของของแข็ง 1 หน่วยมวลต่อ 1 หน่วยพื้นที่ของการกรอง α เป็นปริมาณเฉพาะเฉลี่ยของฟิลเตอร์เค้กทั้งหมด มีหน่วยเป็น LM^{-1} (Length Mass⁻¹) และเป็นค่าที่หาได้จากการทดลองสำหรับสไลด์จ์ แต่ละชนิด



รูปที่ 2.3 ความดันไฮดรอลิก (P_L) และความดันอัด (P_s) บนฟิลเตอร์เค้กและตัวกรอง
ที่มา : สวัสดิ์ (2003)

ความต้านทานในแต่ละชั้นของฟิลเตอร์เค้กนั้นจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามแรงกลที่กระทำต่อฟิลเตอร์เค้ก ความดันของของเหลวหรือที่เรียกว่าความดันไฮดรอลิก (P_L) ในฟิลเตอร์เค้กจะมีค่ามากที่สุดที่ผิวน้ำของฟิลเตอร์เค้กและมีค่าน้อยที่สุดที่ตัวกรอง แต่สำหรับฟิลเตอร์เค้กที่อัดตัวได้กลับถูกอัด (P_S) น้อยที่สุดที่ผิวน้ำของฟิลเตอร์เค้ก (ที่ซึ่งเค้กมีความพรุนมากที่สุด) และถูกอัดแน่นมากที่สุดที่ตัวกรอง (ที่ซึ่งเค้กมีความพรุนน้อยที่สุด) ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่สายธารของฟิลเตรทไหลผ่านอนุภาคมันจะถ่ายเทโมเมนตัม ที่เกิดจากความหนืดของมัน ให้แก่อนุภาคเป็นผลให้เกิดแรงเสียดทานที่ผิวของอนุภาค เรียกว่า แรงแดร็ก แต่เนื่องจากอนุภาคที่อยู่ผิวน้ำของฟิลเตอร์เค้ก มีการส่งผ่านของแรงนี้ให้แก่อนุภาคที่อยู่ลึกเข้าไปในเนื้อเค้ก ทำให้อนุภาคส่วนที่อยู่ใกล้ตัวกรองถูกแรงอัดกระทำมากกว่าอนุภาคที่ผิวน้ำของฟิลเตอร์เค้ก แรงแดร็กนี้กระทำในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับแรงขับเคลื่อนของฟิลเตรท ถ้านำเอาแรงสะสมเหล่านี้มาหารด้วยพื้นที่ของการกรองจะเรียกว่า “ความดันเค้น (stress pressure) หรือ ความดันอัด (compressive pressure, P_S)” ซึ่งจะมีค่าเป็นศูนย์ที่ผิวน้ำของฟิลเตอร์เค้กและมีค่ามากที่สุดที่ผิวน้ำของตัวกรอง (รูปที่ 2.3) ในขณะที่ความดันของของเหลว, P_L , มีค่าลดลง แต่ P_S จะมีค่าสูงขึ้น ความดัน P_S นี้จะมีทิศทางขนานกับทิศทางของการไหล ดังนั้น ความดันทั้งหมดที่กระทำต่อฟิลเตอร์เค้กจะประกอบด้วย ($P_L + P_S$) จากรูปที่ (2.3) แรงแดร็กสะสมที่ระยะทาง L จะมีค่าเท่ากับความดันตก ($P_a - P$)

เนื่องจาก P_S จะเป็นความดันที่บีบให้อนุภาคของของแข็งมีรูปร่างบิดเบี้ยวไปจากเดิม ดังนั้นเทอม k_f , S_p / V_p , และ ϵ จึงมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละชั้นของฟิลเตอร์เค้ก ทำให้ฟิลเตอร์เค้กมีความต้านทานต่อการไหลแตกต่างกันไป ความต้านทานของฟิลเตอร์เค้ก (α) จึงขึ้นกับความดันลดด้วย

2.1.5ข ชนิดของฟิลเตอร์เค้ก

ฟิลเตอร์เค้กแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

- **เค้กที่อัดตัวได้ (Compressible Cake)**

เนื่องจากแรงอัดที่กระทำต่อฟิลเตอร์เค้กอาจจะทำให้อนุภาคเบียดตัวเข้าชิดกันและกันมากขึ้น ดังนั้น ค่า ϵ , k_f , และ S_p / V_p จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปในแต่ละชั้นของฟิลเตอร์เค้ก โดย α จะเพิ่มขึ้นตามค่าของความดันลด (ΔP) ดังนี้

$$\alpha = \alpha'_0 + b (-\Delta P_C)^s \quad (2.19.b)$$

ซึ่งอาจจะเขียนได้ในรูปที่ง่าย ๆ ว่า

$$\alpha = \alpha_0 (-\Delta P_C)^s \quad (2.19.c)$$

โดย α'_0	=	ความต้านทานจำเพาะของฟิลเตอร์เค้กเมื่อแรงอัดมีค่าเป็น 0
S', S	=	สัมประสิทธิ์ของการอัดตัวได้ (compressibility coefficient) ของฟิลเตอร์เค้กซึ่งจะมีค่าสูงขึ้น ถ้าสล็อตจัดตัวได้ง่ายขึ้น สัมประสิทธิ์ของการอัดตัวได้จะมีค่าเป็น 0 สำหรับฟิลเตอร์เค้ก ที่อัดตัวไม่ได้ และมีค่าเข้าสู่ 1 เมื่อการอัดตัวมีค่าสูงขึ้น
$\alpha_0, S, \alpha'_0, S', b$	=	ค่าคงที่สำหรับเฉพาะการทดลองนั้นๆ

อย่างไรก็ตามสมการที่ (2.19.c) จะเชื่อถือไม่ได้เมื่อ $-\Delta P_c$ มีค่าต่ำหรือมีค่าเป็นศูนย์ การอัดตัวได้ของเค้กนี้จะมีประโยชน์ต่อการลดความชื้นในตัวเค้กโดยไม่ต้องปรับอัตราการไหลของของเหลวให้มีค่าต่ำๆ แต่มีข้อเสียคือ มันเพิ่มแรงต้านต่อการไหลของฟิลเตรท แม้แต่ที่ความดันต่ำที่สุด ผลก็คืออัตราการกรองที่ได้จะมีค่าต่ำและเค้กที่ได้มีความชื้นสูง จึงทำให้กระบวนการกรองนี้ใช้ไม่ได้ผล แต่อาจจะแก้ปัญหาโดยการใช้นาฬิกาเทคนิคในการเตรียมสล็อตก่อนเข้าสู่กระบวนการ หรือโดยการใช้สารช่วยกรองเพื่อลดค่าความอัดตัวได้อย่างสล็อตจัดลงมา

- **เค้กที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible Cake)**

เค้กที่อัดตัวไม่ได้ มักจะประกอบด้วยอนุภาคที่มีลักษณะสม่ำเสมอ มีลักษณะเป็นของแข็งโดยเค้กจะมีค่าการซึมผ่าน และมีค่าความพรุนคงที่

ภายใต้ความดันต่ำ ค่า α จะไม่ขึ้นกับความดันลดของฟิลเตอร์เค้กและอัตราการไหลของของเหลว โดยเฉพาะถ้าเป็นสล็อตจัดตัวไม่ได้อย่างสมบูรณ์แบบ ดังนั้นจึงทำให้ไม่สามารถลดความชื้นของเค้กด้วยการเพิ่มความดันได้เลย

2.1.6 แรงขับเคลื่อนของเครื่องกรอง

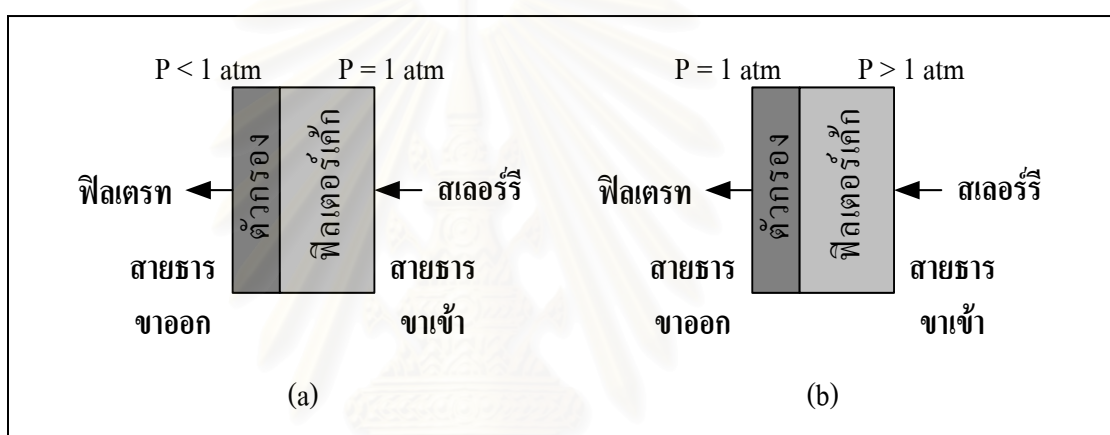
ในการบังคับให้ฟิลเตรทไหลผ่านเครื่องกรองนั้น จะต้องให้แรงขับหรือความดันแก่เครื่องกรอง โดยอาจแบ่งความดันด้านขาเข้าเครื่องกรอง (upstream pressure) ออกได้เป็น 2 ประเภท (รูปที่ 2.4) คือ

- ◆ ประเภทที่ดำเนินงานโดยใช้ความดันบรรยากาศ (รูปที่ 2.4.a) ดังนั้นความดันด้านขาออก (downstream pressure) คือ ความดันสุญญากาศ

- ◆ ประเภทที่ดำเนินงาน โดยใช้ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ (รูปที่ 2.4.b) โดยความดันที่สูงกว่าบรรยากาศนั้นอาจได้มาจากแรงดึงดูดของโลก, แรงเนื่องจากปั๊ม และแรงเนื่องจากแรงหมุนเหวี่ยง เป็นต้น

กรณีแบ่งเครื่องกรองตามแรงขับเคลื่อน (driving force) สามารถจำแนกได้ 4 ประเภท คือ

1. Gravity Filtration เมื่อใช้แรงขับเคลื่อนเป็นแรงโน้มถ่วงของโลก
2. Vacuum Filtration เมื่อใช้แรงขับเคลื่อนเป็นแรงสุญญากาศ
3. Pressure Filtration เมื่อใช้แรงขับเคลื่อนเป็นแรงดัน
4. Centrifugal Filtration เมื่อใช้แรงขับเคลื่อนเป็นแรงหมุนเหวี่ยง



รูปที่ 2.4 แสดงความดันขาเข้าที่กระทำต่อเครื่องกรอง (a) ความดันบรรยากาศ
(b) ความดันที่สูงกว่าบรรยากาศ

จากรูปที่ (2.3) เมื่อฟิลเตรทไหลผ่านเครื่องกรอง แรงต้านจะทำให้ความดันจะมีค่าตกลง (ΔP) ดังนี้

$$-\Delta P = P_b - P_a = (P' - P_a) + (P_b - P') = -\Delta P_c - \Delta P_m \quad (2.20)$$

โดย Δ = ค่าที่ออกมาจากระบบ - ค่าที่เข้าสู่ระบบ

$$-\Delta P_c = (P' - P_a) = \text{ความดันตกคร่อมเนื่องจากฟิลเตอร์เค้ก}$$

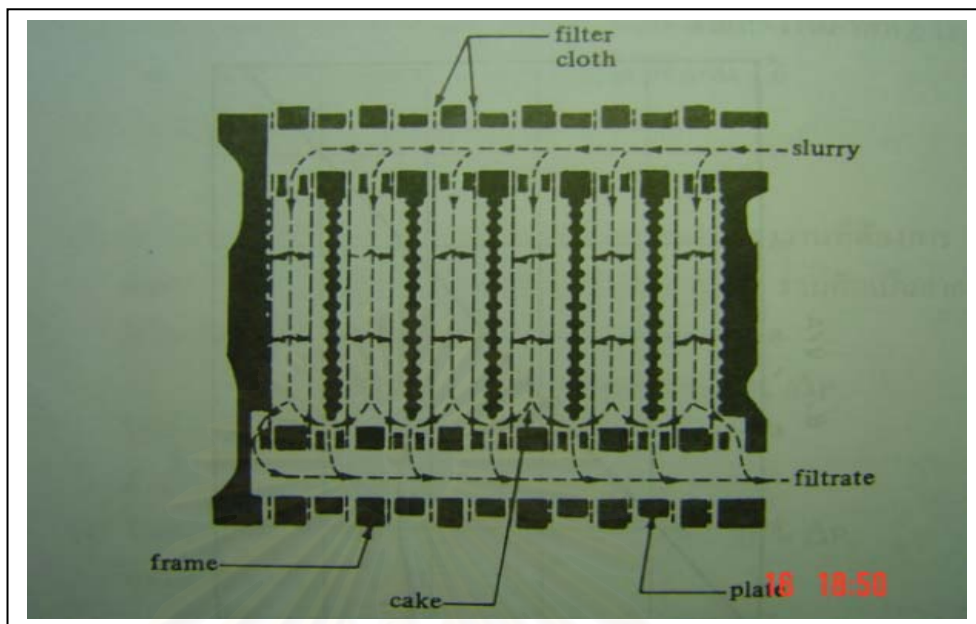
$$\Delta P_m = (P_b - P') = \text{ความดันตกคร่อมเนื่องจากตัวกรอง}$$

2.1.7 เครื่องกรองด้วยความดัน (pressure filtration)

เครื่องกรองด้วยความดันที่นิยมใช้กันคือ ฟิลเตอร์เพรสแบบแผ่นและกรอบ (plate-and-frame filter press) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

ในฟิลเตอร์เพรสแบบแผ่นและกรอบ ประกอบด้วยแผ่นและกรอบที่ประกอบสลับกันโดยมีผ้ากรองที่คลุมแต่ละด้านของแผ่น แผ่นจึงมีช่องทางการไหลภายใน เมื่อของเหลวฟิลเตรทไหลลงมาตามแผ่นแต่ละแผ่น ของเหลวจะไหลลงตามผิวที่เป็นร่องของแผ่น และถูกระบายผ่านช่องทางออกในฐานของแต่ละแผ่น สารป้อนที่เป็นสารแขวนลอยจะป้อนเข้าสู่เครื่องกรองและไหลไปตามท่อเข้าไปยังแต่ละกรอบที่เปิดอยู่ เพื่อที่สารแขวนลอยจะเข้าไปจนเต็มกรอบ จากนั้นฟิลเตรทจะไหลผ่านผ้ากรองและของแข็งจะสะสมเป็นเค้กบนผ้ากรองที่อยู่ด้านกรอบ ส่วนฟิลเตรทจะไหลผ่านผ้ากรองและหน้าของแผ่นไปตามช่องทางสู่ทางออก กระบวนการกรองจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งกรอบต่างๆเต็มไปด้วยของแข็ง ความดันที่ต้องการรักษาอัตราการไหลของฟิลเตรทจะสูงขึ้น ในทางปฏิบัติจะปล่อยให้ความดันเพิ่มขึ้นถึงค่าที่กำหนดไว้ จากนั้นแผ่นและกรอบจะถูกแยกออกจากกันและทำการกำจัดของแข็งหรือเค้กออกแล้วนำเครื่องกรองมาประกอบใหม่และเริ่มวงจรการกรองอีกครั้งหนึ่ง

ข้อเสียของเครื่องฟิลเตอร์เพรสแบบแผ่นและกรอบคือ กระบวนการเป็นแบบกะไม่ต่อเนื่อง ทำให้มีต้นทุนด้านแรงงานสูงในการล้างเค้กและทำการประกอบเครื่องใหม่ รวมทั้งต้นทุนในการเดินเครื่องในตอนแรกในวงจรการกรอง และไม่สามารถใช้ในกระบวนการที่มีผลผลิต (throughput) สูง อย่างไรก็ตาม เครื่องกรองชนิดนี้ก็มีข้อดีในแง่ที่ว่าการทำงานกระทำได้ง่ายสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์หลายชนิด และมีความยืดหยุ่นในการปฏิบัติงาน สามารถใช้งานที่ความดันสูงได้ในกรณีที่ของเหลวมีความหนืดสูง



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของ plate and frame filter press

ที่มา : รุ่งนภา (2001)

2.1.8 ลักษณะการดำเนินงานและกลไกของบ่ม

2.1.8ก ลักษณะการดำเนินงานการกรอง

ถ้าพิจารณาความต่อเนื่องของการกรอง อาจแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

- การกรองแบบครั้งคราว (Batch Filtration)

ในการกรองแบบนี้มักจะรวมเอาการกรอง, การล้าง, และการทำให้ฟิลเตอร์เค้กแห้ง เข้ามาไว้ด้วยกันในเครื่องกรอง ดังนั้น ในหนึ่งรอบของการดำเนินการ จะประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

- (1) การกรอง (filtering) หรือการก่อเค้ก
- (2) การล้างฟิลเตอร์เค้ก (washing) เพื่อกำจัดตัวทำละลายที่ถูกกักอยู่ในฟิลเตอร์เค้ก หรือเพื่อละลายสารปนเปื้อนออกไปจากฟิลเตอร์เค้ก
- (3) การทำให้ฟิลเตอร์เค้กแห้ง (deliquoring) เพื่อประโยชน์ในการลดขนาดและความชื้น อาจจะเพื่อให้ง่ายต่อการเผาทำลายเค้กในภายหลัง หรือเพื่อการขนส่ง
- (4) การทำความสะอาดเครื่องกรอง (cleaning)

ปริมาณสำหรับเก็บฟิลเตอร์เค้กในเครื่องกรอง จะเป็นข้อจำกัดสำหรับการคำนวณขนาดของเครื่องกรอง และเวลาใน 1 รอบของการกรอง โดยจำนวนรอบของการกรองใน 1 วัน ($N_{\text{Cycle, day}}$) คือ

$$(N_{\text{Cycle, day}}) = \frac{24}{t_{\text{cycle}}} = \frac{24}{t + t_{\text{wash}} + t_{\text{dry}}} \quad (2.21)$$

และปริมาณฟิลเตรทที่มากที่สุดในแต่ละวัน จะเกิดเมื่อ

$$\frac{d(N_{\text{cycle, day}} V_{\text{cycle}})}{dt} = 0 \quad (2.22)$$

โดย t_{cycle} = เวลาที่ใช้ในการกรอง 1 รอบ, h
 t = เวลาที่ใช้ในการกรองทั้งหมด, h
 t_{wash} = เวลาที่ใช้ในการล้างฟิลเตอร์เค้ก, h
 t_{dry} = เวลาที่ใช้ในการลดลิกเคอร์ออกจากฟิลเตอร์เค้ก หรือการทำให้แห้ง, h
 V_{cycle} = ปริมาตรของฟิลเตรทต่อ 1 รอบของการกรอง
 ตัวอย่างของการกรองลักษณะนี้คือ press, plate & frame, recessed plate, leaf, horizontal, vertical, plate, tray, tube หรือ candle, nutsche, vacuum leaf, และ แบบพิเศษอื่นๆ

● การกรองแบบต่อเนื่อง (Continuous Filtration)

เครื่องกรองแบบต่อเนื่องจะมีพื้นที่ผิวของการกรองมาก การกรองแบบนี้จะมีการป้อนสเลอริมีการผลิตฟิลเตอร์เค้กและฟิลเตรทอย่างต่อเนื่อง ลักษณะที่สำคัญคือ จะมีโซน (zone) มากกว่า 2 โซนขึ้นไปทำงานอย่างต่อเนื่องในการแยกของแข็งออกมา เช่น การก่อกฟิลเตอร์เค้ก การล้างเค้ก การลดปริมาณความชื้นในฟิลเตอร์เค้ก (de-liquoring หรือสำหรับน้ำจะเรียกว่า de-watering) การทำให้แห้ง การกำจัดฟิลเตอร์เค้กออกจากระบบ และการล้างตัวกรอง โดยจะมีการดึงเอาของเหลวทั้งหมดที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวข้างต้นออกไปจากระบบอย่างต่อเนื่อง อาจแบ่งตัวเครื่องออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) ส่วนที่อยู่ซึ่งมีหน้าที่ยึดค้ำอุปกรณ์ต่างๆ (2) อุปกรณ์ส่วนที่เคลื่อนที่ได้และกลไกสำหรับชุดเค้ก เครื่องกรองแบบต่อเนื่องอาจจะแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ◆ แบ่งออกตามวิธีของการผลิตความดันลด ดังนี้

	ความดันลด ($N \cdot m^{-2}$)
ความดันสถิตของชั้นของสารแขวนลอยที่ต้องการแยก	โดยปกติจะมากกว่า 5
แรงกระทำของเครื่องอัดอากาศ	5 – 9
แรงกระทำของปั๊ม	≥ 50

- ◆ เนื่องจากอิทธิพลของสนามแรงดึงดูดของโลก มีความสำคัญมากต่อการกรอง จึงอาจแบ่งเครื่องกรองออกตามทิศทางระหว่างแรงดึงดูดของโลก และทิศทางไหลของฟิลเตรท เช่น แรงที่กระทำในทิศทางตรงข้ามกัน (countercurrent) แรงในทิศทางเดียวกัน (cocurrent) แรงที่กระทำในทิศทางที่ตั้งฉากกันและกัน (crosscurrent)

ส่วนใหญ่แล้วเครื่องกรองแบบต่อเนื่องจะเป็นการกรองที่ความดันคงที่โดยเฉพาะประเภทเครื่องกรองสุญญากาศ เช่น Drum, Disk, Belt, Thin-Cake Pressure หรือ Dynamic Filter

- การกรองแบบกึ่งต่อเนื่อง (semi-continuous filtration)

การกรองแบบนี้จะเป็นลักษณะผสมระหว่างการกรองแบบต่อเนื่อง และแบบครั้งคราว ตัวอย่างของเครื่องกรอง คือ Table หรือ Tilting, Intermittent Belt, Automatic Press, Plate & Frame, Recessed Plate

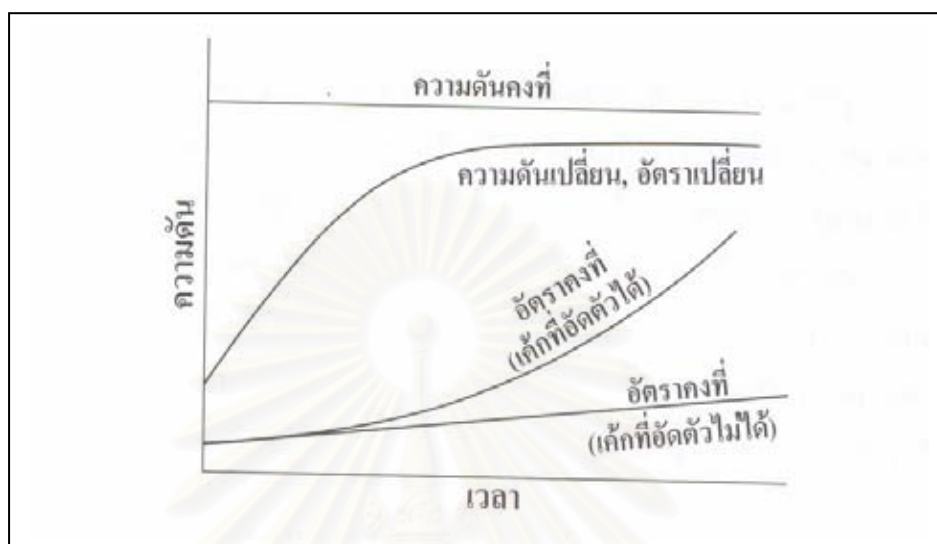
3.1.8ข กลไกของปั๊ม

ในเครื่องกรองอันหนึ่ง ตัวแปรสำคัญที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้คือความดันลด (ΔP) และอัตราการกรอง และเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ในทางคณิตศาสตร์ อาจแบ่งกระบวนการกรองออกตามการเปลี่ยนแปลงของความดันลด และอัตราการกรองที่เปลี่ยนไปตามเวลา (รูปที่ 2.6) โดยทั่วไปแล้วกลไกของปั๊มจะเป็นตัวตัดสินลักษณะการกรองดังนี้

- การกรองด้วยความดันคงที่ (Constant – Pressure Filtration)

“การกรองด้วยความดันคงที่” กระทำได้โดยการควบคุมให้ ΔP และความดันด้านขาออก (outlet pressure) มีค่าคงที่ (รูปที่ 2.6) แรงดันขาเข้าที่จะส่งให้ฟิลเตรทไหลผ่านตัวกรองและฟิลเตอร์เค้ก อาจจะได้มาจากการ slurry เข้าไปในตัวกรอง แต่เนื่องจากฟิลเตอร์เค้กที่สะสมตัวมากขึ้นบนตัวกรอง จะทำให้อัตราการกรองมีค่าลดลงไปเรื่อยๆ โดยอัตราการกรองจะมีค่าสูงสุดที่จุดเริ่มต้นของการ

กรอง จนในที่สุดฟิลเตอร์ก็หยุดไหล กลไกของปั๊มที่เป็นตัวขับเคลื่อนการกรองแบบนี้คือ การอัดก๊าซที่ความดันคงที่หรือการใช้ปั๊มสุญญากาศ



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเวลาในการกรอง
สำหรับลักษณะการกรองแบบต่างๆ
ที่มา : สวัสดิ์ (2003)

- การกรองด้วยอัตราการที่ (Constant – Rate Filtration)

“การกรองด้วยอัตราการที่” กระทำได้โดยการควบคุมให้อัตราการกรองมีค่าคงที่ ด้วยการเพิ่ม ΔP ให้มีค่าสูงขึ้นไปเรื่อยๆ ตามการสะสมตัวที่มากขึ้นของฟิลเตอร์เค้กบนตัวกรอง โดย ΔP จะมีค่าต่ำที่สุดที่จุดเริ่มต้นของการกรอง และมีสูงที่สุดในตอนท้ายของการกรอง การเพิ่ม ΔP อาจทำได้โดยการค่อยๆ เพิ่มความดันเข้า กลไกของปั๊มที่เป็นตัวขับเคลื่อนการกรองแบบนี้ คือ การปั๊มด้วยวิธีการแทนที่ (positive displacement pump)

ในการดำเนินงาน อาจจะมีการกรองทั้ง 2 วิธีประกอบกัน เช่น ในระยะแรกอาจเป็นการกรองด้วยอัตราการที่ เนื่องจากในช่วงแรกของการกรองยังมีการสะสมตัวของฟิลเตอร์เค้กไม่สูงนักทำให้แรงต้านต่อการไหลเกิดจากอิทธิพลของตัวกรองเป็นหลัก ดังนั้นความต้านทานในระยะนี้จึงมีค่าค่อนข้างจะต่ำ และค่อนข้างที่จะคงที่ ทำให้การกรองดำเนินไปด้วยอัตราที่ค่อนข้างจะคงที่ได้ เพื่อเป็นการลดการสูญเสียของอนุภาคของของแข็งที่หลุดผ่านตัวกรองเมื่อความต้านทานมีค่าต่ำและเพื่อหลีกเลี่ยงการที่อนุภาคไปอัดแน่นอยู่ในตัวกรองถ้าใช้ความต้านทานที่มีค่าสูงในตอนแรก (โดยเฉพาะเมื่อฟิลเตอร์เค้กเป็นลักษณะที่อัดตัวได้) แต่เมื่อฟิลเตอร์เค้กมีการสะสมตัวมากขึ้น ความต้านทานจะมีค่า

เพิ่มขึ้นสูงจนถึงระดับที่อาจเป็นอันตรายกับเครื่องขับ เช่น บีบได้ จึงต้องมีการเปลี่ยนวิธีการกรองมาเป็น"การกรองด้วยความดันคงที่"เพื่อความปลอดภัย จนกระทั่งสิ้นสุดการกรอง

- การกรองด้วยการแปรความดันและอัตราการกรอง (Variable – Pressure & Variable – Rate Filtration)

การกรองแบบนี้ จะมีทั้งความดันและอัตราการกรองเปลี่ยนไปพร้อมกัน กลไกของปั๊มที่เกี่ยวข้อง คือ ปั๊มแบบหมุนเหวี่ยง (centrifugal pump) เพราะจะให้อัตราการกรองเปลี่ยนไปตามความดัน

รูปที่ (2.6) แสดงความดันในการกรองกับเวลาสำหรับกลไกทั้ง 3 แบบของปั๊ม จากรูปจะพบว่าการกราฟของการกรองด้วยความดันคงที่จะเป็นเส้นตรงที่ไม่ขึ้นกับเวลา ส่วนกราฟของการกรองด้วยอัตราคงที่ของอนุภาคชนิดที่อัดตัวไม่ได้ นั้น จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงกับเวลา

กราฟสำหรับการกรองด้วยการแปรความดันและอัตราการกรองนั้นได้มาจากการกรองด้วยปั๊มแบบหมุนเหวี่ยงและลักษณะของกราฟจะขึ้นอยู่กับลักษณะของปั๊มแบบหมุนเหวี่ยงนั้น ถ้าในช่วงแรกของกราฟเป็นเส้นตรงแสดงว่า ปั๊มจะให้อัตราการกรองที่ค่อนข้างจะคงที่ ดังนั้นกราฟจะมีลักษณะใกล้เคียงกับกราฟของการกรองด้วยอัตราคงที่แล้วต่อด้วยวิธีของการกรองด้วยความดันคงที่

- การกรองในหลายมิติ (Constant – Pressure Filtration)

สมการของการกรองส่วนใหญ่จะมาจากสมมุติฐานว่าพื้นที่ของการกรองมีค่าคงที่ แต่ในทางปฏิบัติ พื้นที่ของการกรองอาจจะมีค่าไม่คงที่ เช่น การสะสมตัวของฟิลเตอร์เค้กบนพื้นที่ทรงกระบอกหรือการสะสมเค้กอย่างไม่จำกัดทิศทางบน Filter leaf เป็นต้น ดังนั้นการกรองจึงมีได้หลายทิศทาง

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Fathi-Najafi และ Theliander (1995) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะของ filter cake โดยศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติความต้านทานจำเพาะของการกรอง (specific filtration resistance ; α) และความพรุน (porosity ; ϵ) ที่ความดันคงที่ (constant pressure) โดยใช้ Filter Test Equipment ที่สามารถวัดโพรไฟล์ของความดันอย่างต่อเนื่องในระหว่างกระบวนการกรองกำลังดำเนินไป ซึ่งชุด Filter Test Equipment สามารถดัดแปลงมาใช้วัดค่า local hydraulic pressure ได้ ส่วนค่า local filtration properties (specific filtration resistance and porosity) จะคำนวณจากค่าความดันที่วัดได้จากการทดลอง โดยในการทดลองนี้พบว่าข้อมูลที่ได้จากการใช้ชุด Filter Test Equipment ตรวจวัด เมื่อนำไปใช้คำนวณกับสมการหลักที่กำหนดไว้ จะให้ค่า local filtration properties ที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

Tien (2002) ได้เขียนบทความเพื่อกำหนดขอบเขตทิศทางและหัวข้องานวิจัยเกี่ยวกับการกรองเค้ก (cake filtration) ที่จะนำเสนอในอนาคตว่าหัวข้อหรือเรื่องที่จะนำเสนอจะต้องประกอบไปด้วยสูตรที่มีความถูกต้องและกระบวนการที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อนำมาใช้คำนวณหาคุณลักษณะของเค้กจากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ผลจากความถูกต้องและความละเอียดในการวัดการเปลี่ยนแปลงความหนาของเค้กจะทำให้การวิเคราะห์การเกิดเค้กได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างหัวข้อที่นำเสนอกับงานวิจัยในอดีตและปัจจุบันจะต้องนำมาพิจารณาด้วย

Mota (2003) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนของอนุภาคขนาดใหญ่ (หยาบ) และอนุภาคขนาดเล็ก (ละเอียด) ที่อยู่ในเบตพบว่า

- อนุภาคเล็กที่ปนอยู่ในอนุภาคใหญ่ในเบตมากกว่า 10% จะทำให้ความพรุนและการซึมผ่านเค้ก (cake permeability) ลดลง
- การปรับปรุงการซึมผ่านเค้กให้ดีขึ้น สัดส่วนโดยปริมาตรของตัวช่วยกรองในสารแขวนลอยจะต้องมีอย่างน้อย 50-60% ของปริมาตรของแข็งรวม
- ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถใช้ควบคุมความพรุนของผสมได้ถ้าทราบสัดส่วนความพรุนอนุภาคใหญ่และอนุภาคเล็ก

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ,SEM)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดขนาดและดูลักษณะโครงสร้างผลึกของอนุภาค หลักในการวัดจะอาศัยกล้องจุลทรรศน์ที่สามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพได้มากกว่าเดิม โดยการประยุกต์นำเอาอิเล็กตรอนที่มีช่วงคลื่นสั้นกว่าคลื่นแสงมาใช้แทนคลื่นแสงและใช้เลนส์สนามแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้แทนเลนส์กระจก และมีตัวตรวจวัดที่จะมาจับสัญญาณอิเล็กตรอนที่เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนไปกระทบผิวตัวอย่างจากนั้นก็จะมีอุปกรณ์ในการแปลงสัญญาณที่ได้ให้เป็นสัญญาณภาพปรากฏบนจอรับภาพต่อไป ผลที่ได้คือ ภาพของวัตถุหรือตัวอย่างที่มีกำลังขยายมากกว่า 3,000 ถึง 100,000 เท่า โดยในการทดลองครั้งนี้เลือกใช้เครื่อง Scanning Microscope ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5800LV ลักษณะของเครื่องรุ่นดังกล่าวแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องมือ Scanning Electron Microscopy (SEM)

ที่มา : ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2005)

3.1.2 เครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาค (Particle Size Analyzer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาค ใช้หลักการกระเจิงแสง (light scattering) โดยใช้ He⁺/Neon เป็นแหล่งกำเนิด แสงที่กระเจิงออกไปกระทบหรือชนวัตถุแล้วเกิดการกระเจิง จากนั้น detector จะวัดมุมกระเจิง แล้วคำนวณเป็นขนาดของอนุภาค (by volume) ซึ่งเครื่องที่ใช้ทดลองนี้เป็นของบริษัท Malvern Instrument ประเทศอังกฤษ ลักษณะของเครื่องรุ่นดังกล่าวแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องมือ Particle Size Analyzer

ที่มา : ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2005)

3.1.3 เครื่องอบแห้ง (Dryer)

เป็นเครื่องมืออบให้เค้กแห้งก่อนนำไปวัดขนาดและศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องมือ Particle Size Analyzer และ Scanning Electron Microscope นอกจากนี้ยังใช้อบฟิลเตอร์เค้กที่ได้จากกระบวนการอัดรีดด้วย Hand Filter เพื่อหาอัตราส่วนของ polyol และเค้กแห้งในของผสมดังกล่าวด้วย

ในการทดลองเลือกใช้เครื่องอบแห้งยี่ห้อ OTTO รุ่น CO-708 220V 50Hz 1100W ลักษณะของเครื่องรุ่นดังกล่าวแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องอบแห้ง (Dryer)

3.1.4 เครื่องกรองด้วยมือ (Hand Filter)

เป็นเครื่องมือที่ใช้แยกฟิลเตรทออกจากฟิลเตอร์เค้กเพื่อให้ฟิลเตอร์เค้กที่เปียกและแห้ง โดยการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ประดิษฐ์อุปกรณ์ Hand Filter ขึ้นมาใช้งานเพื่อเลียนแบบฟิลเตอร์เพรสที่ใช้งานจริงในอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องจากว่าอุปกรณ์จริงที่มีขนาดเล็กสำหรับใช้งานในห้องแล็บหรือห้องวิจัยหายากและมีราคาแพง เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อหรือกระบอกลดที่ใช้มีขนาด 6.5 เซนติเมตร สูง 7.0 เซนติเมตร วัสดุที่ใช้เป็น stainless steel ต่อพ่วงกับชุดอัดกระบอกลดพร้อม pressure gauge ส่วนผ้ากรองที่ใช้เป็นผ้ากรองที่ทำจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ (polyester) ขนาด 25 ไมครอน รายละเอียด เครื่องกรองด้วยมือ แสดงในรูปที่ 3.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 เครื่องอัดฟิลเตอร์เค็กด้วยมือ (Hand Filter)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ส่วนของของเหลวคงค้าง ซึ่งมี polyol เป็นองค์ประกอบหลัก

3.2.1ก ศึกษาศักยภาพการนำกลับคืนโดยระบบที่ใช้ในปัจจุบัน โดย

- หาปริมาณของ polyol และ filter cake ที่ถูกดันกลับไปยัง neutralization vessel ด้วยก๊าซไนโตรเจนในแต่ละแบทช์

3.2.1ข ออกแบบระบบการกรองแบบแผ่นและกรอบเพื่อใช้ในการนำกลับคืนของเหลวส่วนนี้ โดย

- วิเคราะห์องค์ประกอบและวัดปริมาณของของเหลวที่คงค้าง ซึ่งผ่านการผลักดันด้วยก๊าซไนโตรเจนออกจากเครื่องกรองแบบใบ
- ออกแบบเครื่องกรองแบบแผ่นและกรอบเพื่อรองรับของเหลวส่วนนี้ โดยพิจารณาเงื่อนไขต่อไปนี้ประกอบ
 - เวลาที่จะใช้ในการกรอง
 - พื้นที่ของตัวกรอง
 - อัตราการไหล
 - ความดัน
 - ความเข้มข้นของ polyol

3.2.1ค เปรียบเทียบศักยภาพของระบบการกรองที่ได้จากข้อ 3.2.1ข กับระบบที่ดำเนินการในปัจจุบัน

3.2.2 ส่วนของ filter cake ที่ตกค้างบริเวณด้านล่างของเครื่องกรองแบบใบ

3.2.2ก หาปริมาณของ filter cake และ polyol ที่ตกค้างบริเวณด้านล่างของเครื่องกรองแบบใบ

3.2.2ข ออกแบบระบบการนำกลับคืนของ polyol ด้วยการกรองแบบแผ่นและกรอง โดยพิจารณาเงื่อนไขต่อไปนี้ประกอบ

- เวลาที่จะใช้ในการกรอง
- พื้นที่ของตัวกรอง
- อัตราการไหล
- ความดัน
- ความเข้มข้นของ polyol

3.2.2ค ทดสอบคุณสมบัติของ polyol ที่นำกลับคืนมาได้ โดยการพิจารณา

- การเสื่อมสภาพที่เวลาของการสัมผัสกับอากาศต่างๆกัน
- ทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของ polyol โดยการทดสอบค่า Hydroxyl Number, Acid Number, Unsaturated Content, ปริมาณโปแตสเซียมและโซเดียมไอออน และปริมาณน้ำ เป็นต้น
- ทดสอบขึ้นรูปโฟมสำหรับตัวอย่างที่ไม่ผ่านหรือเบี่ยงเบนไปจากคุณสมบัติเดิมมาก

3.2.3 ส่วนของ filter cake ที่ติดอยู่กับใบกรอง

ทำการศึกษาเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2ก ถึง 3.2.2ค

3.2.4 การหาขนาดโดยเฉลี่ยและการพิจารณารูปร่างของฟิลเตอร์เค้กแต่ละส่วน

วิธีการนี้ต้องเตรียมตัวอย่างก่อนนำไปตรวจวัดตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) สุ่มตัวอย่างฟิลเตอร์เค้กมาประมาณ 6-7 batch
- 2) นำฟิลเตอร์เค้กมาผสมกับ acetone (industrial grade) ด้วยอัตราส่วนฟิลเตอร์เค้ก : acetone ประมาณ 3:1 โดยน้ำหนัก แล้วกวนให้เข้ากัน

- 3) ทิ้งไว้ ~ 2-3 นาทีแล้วเท acetone ที่เปื้อน polyol ออก
- 4) ทำซ้ำข้อ 1) – 3) อีก 2 ครั้ง เพื่อให้มั่นใจว่า waste filter cake ที่ได้ไม่มี polyol ปน
- 5) นำ waste filter cake ไปตากแห้งแล้วนำไปหาขนาดของเม็ดเค้กโดยใช้เครื่องมือ particle size analyzer โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง
- 6) วิเคราะห์การกระจายของเม็ดเค้กที่ได้จากเครื่องมือ particle size analyzer
- 7) ยืนยันผลการทดลองอีกครั้งโดยใช้เครื่องมือ Scanning Electron Microscope (SEM)
- 8) จากการทดลองในข้อ 1) – 8) จะได้ขนาดของเม็ดเค้กตั้งแต่เล็กที่สุด จนถึงขนาดใหญ่ที่สุด

3.2.5 การกรองในห้องปฏิบัติการ

ในการทดลองจะใช้เครื่องมือ Hand Filter เป็นอุปกรณ์สำหรับกรองและแยก polyol- solid ออกจากกัน ซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

- 1) กวน waste filter cake ที่มี polyol ผสมให้เข้ากันภายใต้อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ
- 2) ใส่ของผสมเข้าไปในกระบอกอัดความดันของ Hand Filter
- 3) ค่อยๆเพิ่มความดันเข้าไปในกระบอกอัดตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป
- 4) จดบันทึกค่าความดันและน้ำหนักของ filtrate ที่กรองได้ในแต่ละช่วงเวลา
- 5) หาน้ำหนักของ waste filter cake ที่ได้หลังสิ้นสุดการกรอง
- 6) หาปริมาณความเปียกที่เหลืออยู่ใน waste filter cake
- 7) คำนวณหาเวลาที่ใช้ในการกรองและปริมาตรต่อพื้นที่ต่อเวลา สำหรับแต่ละสภาวะ

3.2.6 การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการตามหลักการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

โดยการพิจารณาจากงบลงทุน งบดำเนินการ แล้วคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน (payback period) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ตามหลักการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

3.3 วิธีการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์

3.3.1 วิธีวิเคราะห์ปริมาณน้ำ (water content)

- สารเคมี
 1. Karl Fischer Reagent, Hydranal Composite 5 (Titer = 5 mg H₂O / ml)
 2. ตัวทำละลาย ประกอบด้วย
 - Methanol ; RPE Grade
 - Methanol ; Chloroform (50 : 50, v/v)
- อุปกรณ์
 1. 701 KF Titrino / 716 DMS Titrino (Auto Titrator)
 2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
 3. 703 Ti Stand
 4. Syringe ขนาด 2 ml
- วิธีวิเคราะห์
 1. เครื่อง 701 KF Titrino
 2. เปิด Switch On เครื่อง Autotitrator หน้าจอจะปรากฏ
 - " KFR Volume - d x.xxx ml "
 - " Water x.xxx % "
 3. เปิด Switch On เครื่อง 703 Ti Stand ปรับความเร็วโดยหมุนที่ปุ่ม Stiring Speed Adjustment ให้ magnetic bar หมุนในอัตราเร็วที่เหมาะสม แล้วกดปุ่ม "Start" ที่ Keypad
 4. ถ้าหน้าจอปรากฏ " KFT wait " แสดงว่าระบบยังมีความชื้นอยู่ ให้รอจนกระทั่งหน้าจอปรากฏ "KFT conditioning" แสดงว่าระบบไม่มีความชื้น เครื่องพร้อมที่จะใช้งานได้ กดปุ่ม "Drift" ที่ keypad รอจนกระทั่ง Drift ต่ำกว่า 20 l /min
 5. ใช้ syringe ดูดตัวอย่าง แล้วนำไปวางบนตำแหน่งกึ่งกลางของ weighting pan ของเครื่องชั่ง กดปุ่ม T เพื่อปรับน้ำหนักให้เป็นศูนย์
 6. กดปุ่ม "START" หน้าจอจะปรากฏ sample size x.xxxx g จากนั้นฉีดตัวอย่างใน syringe จากช่อง injection port ลงไปใน vessel
 7. นำ syringe ไปชั่งบนเครื่องชั่งอีกครั้ง เพื่อหาค่าน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในปริมาณที่แน่นอน

8. ป้อนค่าน้ำหนักตัวอย่างที่ชั่งได้ลงบน keypad เช็คข้อมูลที่ป้อนเข้าไปบน display ของเครื่อง Auto Titrator ว่าน้ำหนักที่ป้อนค่าลงไปถูกต้องหรือไม่ จากนั้นกดปุ่ม "Enter" เพื่อป้อนข้อมูล (ในกรณีที่ป้อนน้ำหนักตัวอย่างผิด ให้กดปุ่ม "clear" แล้วป้อนน้ำหนักที่ถูกต้องลงไป)
 9. รวบรวมกระทั่งการไตเตรทเสร็จสมบูรณ์ บันทึกค่าน้ำหนักของตัวอย่างด้วยทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกค่าปริมาตรของ KF reagent ที่ใช้ด้วยทศนิยม 3 ตำแหน่ง บันทึกค่า water content ที่มีอยู่ในตัวอย่างด้วยทศนิยม 3 ตำแหน่ง
- การคำนวณ

การคำนวณค่า water content ของเครื่อง 701 KF Titration แสดงได้ดังนี้

$$\text{Water Content (\%wt.)} = \frac{(\text{KFR. Volume} - \text{Blank}) \times \text{Titer} \times \text{Factor}}{\text{Sample Size} \times \text{Divisor}}$$

KFR Volume = ปริมาตรของ Reagent ที่ใช้ในการ Titration

Factor = 0.1

Divisor = 1.0

Blank = KFR Volume x Factor

Titer = $\frac{\text{Sample Size} \times \text{Factor}}{\text{KFR Volume}}$

ค่า Titer จะใช้น้ำ demin. วิเคราะห์ โดยใช้ methanol เป็นสารละลาย ซึ่งค่า factor ในการหาค่า Titer = 1.0 โดยหน่วยของ Titer จะเป็น มก./ มล.

3.3.2 วิธีวิเคราะห์ pH

- สารเคมี
 1. 0.01 N HCl
 2. 0.01N NaOH
 3. Isopropanol : น้ำ demin. อัตราส่วน 10:6
 4. 0.0025 N Ammonium ใน Ethanol
 5. 0.0025 N 2-Chloropropionic ใน Ethanol
 6. MEK : Toluene : EA (1:1:1) Mixture (v/v)

- อุปกรณ์
 1. 691 pH Meter
 2. Combined pH Glass Electrode 6.0233.100
 3. กระบอกแก้วตวงขนาด 150 มล.
 4. ปีกเกอร์ขนาด 100 มล.
 5. Magnetic Stirrer and Magnetic Bar
 6. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- วิธีวิเคราะห์
 1. ตวงสารละลายผสม Isopropanol : น้ำ demin. 60 มล. ลงในปีกเกอร์ขนาด 100 มล. พร้อมทั้งใส่ magnetic bar ลงไป ปรับความเร็วของ stirrer ในอัตราเร็วที่ต่ำระวังอย่าให้มีฟองอากาศในสารละลายผสม
 2. ปรับ pH ของสารละลายผสมให้มีค่า pH ที่แน่นอนในช่วง 7 ± 0.05 โดยใช้ 0.01 N Std. HCl หรือ 0.01N Std. NaOH
 3. ชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 10 g พร้อมทั้งจดบันทึกค่า และเทสารละลายผสมที่ปรับสภาพให้เป็นกลางแล้วลงในตัวอย่าง จากนั้นกวนจนตัวอย่างละลายในสารละลายผสมอย่างสมบูรณ์
 4. ปรับความเร็วของ stirrer ในอัตราเร็วที่ต่ำเพื่อป้องกันการดูดซึมของก๊าซ CO_2 แล้วจุ่ม electrode ลงในสารละลาย รอจนกระทั่ง pH มีค่าคงที่ จึงทำการบันทึกค่า pH ที่อ่านได้

3.3.3 วิธีวิเคราะห์ Acid Number

- สารเคมี
 1. Isopropanol : น้ำ demin. อัตราส่วน 2 : 1
 2. 0.1% (wt./v) Bromothymol Blue in Isopropanol Indicator
 3. 0.01 N Standard Potassium Hydroxide ในน้ำ demin. (0.01 N Std. KOH)
- อุปกรณ์
 1. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
 2. ปีกเกอร์ขนาด 100 มล.
 3. กระบอกแก้วตวงขนาด 100 มล.

4. ไมโครบิวเตรทขนาด 5 มล. ความละเอียด 0.01 มล.
 5. magnetic stirrer ; Model ES 5 และ magnetic bar
- วิธีวิเคราะห์
 1. ตวงสารละลาย Isopropanol : น้ำกลั่น 50 มล. ลงใน บีกเกอร์ขนาด 100 มล. พร้อมทั้งใส่ magnetic bar ปรับความเร็วของ stirrer ให้เหมาะสม เพื่อป้องกันการดูดซึมของก๊าซ CO₂
 2. หยด 0.1% Bromothymol Blue ใน Isopropanol 2 - 3 หยด ลงในสารละลายผสม จะได้สารละลายที่มีสีเหลือง จากนั้นปรับสภาพสารละลายผสมให้เป็นกลาง โดยใช้ 0.01 N Std. KOH สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเขียว
 3. ชั่ง Sample ประมาณ 10 g ลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายผสมที่ปรับสภาพเป็นกลาง บั่นกวนจนตัวอย่างละลายเข้ากันหมด ถ้าตัวอย่างมีความเป็นกรด สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง
 4. นำสารละลายที่ได้มาไตเตรทกับ 0.01 N Std. KOH จนได้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีเขียว
 5. จดปริมาตรของสารละลาย 0.01 N Std. KOH ที่อ่านได้จากการไตเตรท

- การคำนวณ

$$\text{Acid Number (mgKOH/g)} = \frac{V \times N \times 56.1}{\text{Wt.}}$$

V = ปริมาตรของ 0.01 N Std. KOH ที่ใช้ในการไตเตรทหน่วยเป็น มล.

N = ความเข้มข้นของ 0.1 N Std. KOH หน่วยเป็น นอร์มัล

Wt. = น้ำหนักของตัวอย่างหน่วยเป็น กรัม

3.3.4 วิธีวิเคราะห์ Potassium Ion และ Sodium Ion

- สารเคมี
 1. Isopropanol ที่มีความบริสุทธิ์อย่างน้อย 99.7%
 2. สารละลายมาตรฐานของ K⁺ + Na⁺ ความเข้มข้น 100 ppm.
 3. น้ำ demin.
- อุปกรณ์
 1. Flame Photometer
 2. บีกเกอร์ขนาด 150 มล.

3. ขวดลูกผสมพู่ขนาด 50 มล.
 4. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
 5. ปิเปตขนาด 2 มล.
 6. Pipette Manipulator
- วิธีวิเคราะห์
 1. เปิดสวิตช์ "On" เครื่อง Flame Photometer จากนั้นเปิดวาล์ว drain เพื่อให้ของเหลวที่ค้างอยู่ออกจากระบบจนหมดแล้วปิดวาล์ว จากนั้นเปิดวาล์วถังแก๊ส LPG แล้วกดปุ่ม Ignition ค้างไว้และปรับหมุนปุ่ม Fuel เพื่อช่วยในการจุดติดไฟ รอจนหน้าจอ display ปรากฏคำว่า "FLM" ควร Warm เครื่อง ก่อนใช้งาน 10 - 15 นาที
 2. ชั่งตัวอย่าง ~5.0 g ลงใน ขวดลูกผสมพู่ขนาด 50 มล. จำนวน 2 ขวด ระบุสัญลักษณ์ "S" (Sample) และ "A" (Addition) จดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้ทั้งสองขวด
 3. เติม Isopropanol ลงในขวดลูกผสมพู่ "S" แล้วปรับปริมาตรจนถึงขีดระดับ 50 มล. ปิดจุกและเขย่าให้เข้ากันจนตัวอย่างละลายหมด จากนั้นเทใส่บีกเกอร์และระบุสัญลักษณ์ "S"
 4. ปิเปตสารละลายมาตรฐานของ $K^+ + Na^+$ ความเข้มข้น 100 ppm. ปริมาตร 1 มล. ลงใน ขวดลูกผสมพู่ "A" เติม isopropanol แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีด 50 มล. ปิดจุกและเขย่าให้เข้ากันจนตัวอย่างละลายหมด จากนั้นเทใส่บีกเกอร์และระบุสัญลักษณ์ "A"
 5. ปรับปุ่ม Filter Select ไปที่ตำแหน่ง K หรือ Na แล้วปรับหมุนปุ่ม fuel เพื่อปรับเปลวไฟให้ได้สีฟ้า จากนั้นจุ่มสายยาง inlet tubing ลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลาย isopropanol เพื่อกำจัด K^+ และ Na^+ ที่ค้างในระบบ แล้วปรับหมุนปุ่ม Blank จนหน้าจอ display เป็น "0.00"
 6. จุ่มสายยาง inlet tubing ลงในบีกเกอร์ "S" รอจนค่าที่อ่านได้คงที่ บันทึกผล แล้วจุ่มสายยาง เติมลงในบีกเกอร์ "A" รอจนค่าที่อ่านได้คงที่ บันทึกผล
 7. หลังการวิเคราะห์เสร็จ จุ่มสายยาง inlet tubing ลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลาย isopropanol เพื่อกำจัด K^+ และ Na^+ ที่ค้างในระบบออก
 8. ปิดวาล์วถัง LPG รอจนคำว่า "FLM" หายไปจากหน้าจอ display กด สวิตช์ Power Off

- การคำนวณ

$$K^+ \text{ หรือ } Na^+ \text{ (ppm)} = \frac{2S \times 10}{(A-S)}$$

เมื่อ S = ค่าที่อ่านได้จากตัวอย่าง

A = ค่าที่อ่านได้จาก Addition

3.3.5 วิธีวิเคราะห์ Hydroxyl Number โดยใช้ Imidazol Catalysed Phthalic Anhydride

- สารเคมี

1. Pyridine บริสุทธิ์ 99.5%
2. Phthalization Reagent
3. น้ำ demin.
4. 1.0 N Standard Sodium Hydroxide (1.0 N Std. NaOH)
5. 1% (w/v) Phenolphthalein in Pyridine Indicator

- อุปกรณ์

1. ขวดลูกผสมฟูล์ ชนิด screw - capped ขนาด 250 มล.
2. ปีกเกอร์ 100 มล.
3. Autoburette 25 ml , Subdivision 0.05 ml
4. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
5. กระบอกตวงขนาด 10 มล.
6. Transfer Pipette 10 มล.
7. Water Bath 100 °C
8. Pipette Manipulator
9. นาฬิกาจับเวลา

- วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างลงในขวดลูกผสมฟูล์ 250 มล. จำนวน 2 Flask โดยให้น้ำหนักใกล้เคียงกัน ($X \pm 0.0100$ กรัม) กำหนดการชั่งน้ำหนักโดยการคำนวณคร่าวๆ ดังนี้

$$X, \text{ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)} = \left(\frac{561}{\text{IOH}} \right) \times \left(\frac{1}{2.5} \right)$$

ถ้าทราบ molecular weight (MW.) สามารถคำนวณน้ำหนักตัวอย่างได้จากสมการ

$$X, \text{ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)} = \frac{\text{Approx. MW.}}{100 \times \text{IOH} - \text{per molecule}}$$

โดยที่ค่า IOH คือ ค่าประมาณของ Hydroxyl Number ของตัวอย่าง

2. ปิเปต phthalization reagent 10 มล. ลงในขวดลูกชมพู่ แล้วชั่งน้ำหนัก phthalization reagent ที่แน่นอน
 3. ปิดฝา flask ให้สนิท แล้วแกว่งจนตัวอย่างละลายหมด
 4. นำ flask ไปแช่ใน Water Bath ที่ควบคุมอุณหภูมิที่ $98 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที โดยให้ระดับน้ำใน Water Bath สูงกว่าระดับของตัวอย่างใน flask
 5. เมื่อครบ 15 นาที นำ flask มาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องหรืออาจจะนำไปแช่ในภาชนะที่มีน้ำเย็น เพื่อช่วยให้อุณหภูมิลดลงเร็วขึ้น ตวงน้ำกลั่น 4 มล. เทลงใน flask แล้วค่อย ๆ เทใส่ flask โดยกัล้วข้าง ๆ flask แล้วปิดฝา แกว่งให้เข้ากันแล้วตวง pyridine 8 มล. รินใส่โดยกัล้วข้าง ๆ flask แกว่งให้เข้ากันอีกครั้งแล้วตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 2 นาที เติม 1% Phenolphthalein in Pyridine Indicator 2 - 3 หยด แล้วนำมาไตเตรทด้วย 1.0 N Std. NaOH จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อน และสีคงที่อยู่ที่ประมาณ 15 วินาที
 6. จดปริมาตรของสารละลาย 1.0 N Std. NaOH ที่อ่านได้จากการไตเตรท
 7. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1-6 โดยทำ blank และตัวอย่างอ้างอิง เปรียบเทียบอย่างละ 1 flask
- การคำนวณ

$$\text{Hydroxyl Number (mgKOH/g)} = \frac{[(V_b/P_b \times P_s) - V_s] \times 56.1 \times N}{W_t.}$$

$$\text{IOH } K_{\text{Free Base}} = \frac{\text{IOH} - (\% \text{KOH} \times 10)}{1 - [(\% \text{KOH} \times 10) \times 0.038]} \times 56.1$$

IOH = ค่า Hydroxyl Number ที่ได้จากการคำนวณ หน่วยเป็น mgKOH/g

V_b = ปริมาตรของ 1.0 N Std. NaOH ที่ใช้ในการไตเตรท Blank หน่วยเป็น มล.

P_b = น้ำหนัก phthalization reagent ที่ใช้ในการวิเคราะห์ของ Blank หน่วยเป็น กรัม

- V_s = ปริมาตรของ 1.0 N Std. NaOH ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง หน่วยเป็น มล.
 P_s = น้ำหนักของ phthalization reagent ที่ใช้ในการวิเคราะห์ของตัวอย่าง หน่วยเป็น กรัม
 N = ความเข้มข้นของ 1.0 N Std. NaOH หน่วยเป็น นอร์มัล
 W_t = น้ำหนักของตัวอย่าง หน่วยเป็น กรัม

3.3.6 วิธีวิเคราะห์ Unsaturation

- สารเคมี
 1. Mercuric Acetate Reagent
 2. Sodium Bromide , Assay Min. (After Drying) 99.0%
 3. 0.1 N Standard Potassium Hydroxide in Methanol (0.1 N Std. KOH in MeOH)
 4. 1% (w/v) Phenolphthalein in Methanol Indicator
- อุปกรณ์
 1. ขวดลูกผสมฟู่ 250 มล.
 2. Transfer Pipette 25 มล.
 3. Autoburette 25 มล. , Subdivision 0.05 มล.
 4. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
 5. Magnetic Stirrer และ Magnetic Bar
 6. Pipette Manipulator
- วิธีวิเคราะห์
 1. ชั่งตัวอย่าง ประมาณ 15 กรัม ลงในขวดลูกผสมฟู่ ขนาด 250 มล. จำนวน 2 flask บันทึกน้ำหนักที่ได้ด้วยทศนิยม 4 ตำแหน่ง
 2. ปิเปิด mercuric acetate reagent 25 มล. ลงในขวดลูกผสมฟู่และใส่ magnetic bar ลงไป จากนั้นนำไปปั่นจนให้ตัวอย่างละลายจนหมด
 3. ชั่ง sodium bromide ประมาณ 3 - 4 กรัม ใส่ลงในขวดลูกผสมฟู่ จากนั้นนำไปปั่นจนให้สารละลายเข้ากันดี
 4. เติม 1% phenolphthalein in methanol 2 - 3 หยด ลงในขวดลูกผสมฟู่ จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปไตเตรทด้วย 0.1 N Std. KOH in methanol จนกระทั่งสารละลาย

เปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อน จดบันทึกปริมาตรของ 0.1 N Std. KOH ใน methanol ที่ใช้ในการไตเตรทไว้

5. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 - 4 โดยทำ Blank เปรียบเทียบ

- การคำนวณ

$$\text{Unsaturation (meq/g)} = \frac{(V_s - V_b) \times N}{W_t}$$

เมื่อ V_s = ปริมาตรของ 0.1 N Std. KOH in MeOH ที่ใช้ในการไตเตรท Sample หน่วยเป็น มล.

V_b = ปริมาตรของ 0.1 N Std. KOH in MeOH ที่ใช้ในการไตเตรท Blank หน่วยเป็น มล.

N = ความเข้มข้นของ Std. KOH in MeOH หน่วยเป็น นอร์มัล

W_t = น้ำหนักของ Sample ที่ใช้หน่วยเป็น กรัม

Note : V_b ต้องอยู่ในช่วง 1-5 มล. กรณี $V_b < 1$ มล. ปิเปต glacial acetic ใส 2-3 หยด และใส magnetic bar กวนให้เข้ากัน

3.3.7 วิธีวิเคราะห์ Appearance

- สารเคมี

-N/A

- อุปกรณ์

1. Fluorescent Electric Lamp / Desk Lamp
2. ปีกเกอร์หรือภาชนะบรรจุที่มีฝาปิด
3. Nessler Tube
4. Test Tube
5. เตาอบ

- วิธีวิเคราะห์

1. ตรวจสอบลักษณะของตัวอย่างจากภาชนะบรรจุที่ใส โดยใช้สายตาตรวจดูว่า ตัวอย่างมีลักษณะภายนอกปกติ ปราศจากสิ่งเจือปนเช่นเส้นใย ผง สี ทราวย ตะกอนดำ หรือสาร

แขวนลอยอื่นๆอยู่ในตัวอย่างหรือไม่ การบันทึกข้อมูลให้ระบุลักษณะของตัวอย่างที่
ตรวจพบตามความเป็นจริง

- การคำนวณ

-N/A

3.3.8 วิธีวิเคราะห์ Color

- สารเคมี

1. น้ำ demin.

- อุปกรณ์

- สำหรับการวิเคราะห์ค่าสี Pt-Co Scale

1. Nessler Tube 50 มล.
2. Color Comparator , Lovibond 2000
3. Nessler Disc NSA, ช่วงการวัดสี 5 - 70 Pt-Co Scale
4. Nessler Disc NSB, ช่วงการวัดสี 70 - 250 Pt-Co Scale
5. Desk Lamp

- สำหรับการวิเคราะห์ค่าสี Gardner Scale

1. Gardner Cell, 10 mm Path Length
2. Color Comparator ; Lovibond 2000
3. Gardner Disc 4/30 AS ช่วงการวัดสี 1 - 9 Gardner Scale
4. Gardner Disc 4/30 BS ช่วงการวัดสี 10 – 18 Gardner Scale
5. Comparator Stand

- วิธีวิเคราะห์

- การวิเคราะห์ค่าสี Pt-Co Scale

1. เปิดสวิตช์ Power On ของ desk lamp
2. เทตัวอย่างใส่ nessler tube จนถึงขีดระดับ 50 มล. ใส่ในช่องขวาของเครื่อง Color Comparator ส่วนช่องซ้ายใส่ nessler tube ที่มีน้ำ demin. เพื่อใช้เป็น blank ในการเปรียบเทียบ

3. ปรับระดับความสูงของ lamp ให้ความเข้มของแสงสามารถสะท้อน ให้ความสว่างที่ชัดเจนได้ ที่ด้านบนของเครื่อง Comparator จากนั้นใส่แผ่นเทียบสี NSA หรือ NSB ขึ้นอยู่กับช่วงของสีที่ต้องการวัด
 4. ปรับหมุนแผ่นเทียบสี ให้ระดับสีของตัวอย่างและ blank อยู่ในช่วงสีที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด บันทึกผลจากค่าที่อ่านได้จากแผ่นเทียบสี
- การวิเคราะห์ค่าสี Gardner Scale
 1. เทตัวอย่างใส่ Gardner Cell เซ็ด Cell ให้สะอาดแล้ววาง Cell ด้านใตลงในช่องขาของเครื่อง Comparator ช่องซ้ายปล่อยให้ว่างไว้
 2. ใส่ Gardner Disc ลงใน Comparator การเลือกใช้ Gardner Disc จะเป็นแบบ 4/30 AS หรือ 4/30 BS ขึ้นกับช่วงของสีที่ต้องการวัด
 3. กดปุ่ม Light Bottom ที่ติดอยู่กับ Comparator Stand ค้างไว้ พร้อมกับหมุน Gardner Disc เปรียบเทียบสีของ Sample กับสีจาก Gardner Disc ให้มีช่วงสีที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด
 4. เมื่อได้สีที่ใกล้เคียงกัน แล้วอ่านค่าสีจาก Gardner Disc และกดปุ่ม Light Bottom
 - การคำนวณ
 - N/A

3.3.9 วิธีวิเคราะห์ Active Oxygen

- สารเคมี
 1. Degassed Methanol, AR Grade, Assay 99.9%
 2. 25%(V/V) Sulfuric Acid Solution
 3. Ferrous Thiocyanate Reagent
 4. แก๊สไนโตรเจน
 5. Ammonium Thiocyanate
 6. Potassium Iodide (KI)
 7. Starch
 8. 0.1 N Std. Sodium Thiosulfate (Na_2SO_3)
 9. Hydrogen Peroxide

- อุปกรณ์
 1. Volumetric Flask 25 ขนาด 100 มล.
 2. LAMBDA EZ201 UV/VIS Spectrophotometer
 3. Transfer Pipette 20 ml
 4. Measuring Pipette 10 ml, 5 ml, 2 ml
 5. นาฬิกาจับเวลาแบบตัวเลข
 6. ขวดรูปخمพู่ ขนาด 250 มล.
 7. Curette Tube
 8. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- วิธีวิเคราะห์
 - การเตรียมสารเคมีสำหรับทำกราฟมาตรฐาน (standard curve)
 1. การเตรียม 3% H_2O_2
 - ปิเปต 50% H_2O_2 มา 6 มล. ลงใน volumetric flask 100 มล. แล้วปรับปริมาตรจนถึงขีดระดับ 100 มล. ด้วย degassed demin. water
 2. การเตรียม 40% Potassium Iodide (KI)
 - ชั่ง KI 40 กรัม ลงใน volumetric flask 100 มล. ปรับปริมาตรจนถึงขีดระดับ 100 มล. ด้วย degassed demin. water ถ้าสารละลายมีสีเหลืองให้เตรียมใหม่
 3. การเตรียม Starch Solution
 - ชั่ง Starch 1 กรัม ละลายในน้ำต้มสุก 100 มล.
 4. การเตรียม Stock Solution H_2O_2 2100 ppm
 - ปิเปต 3% H_2O_2 7 มล. ลงใน volumetric flask 100 มล. แล้วปรับปริมาตรจนถึง ขีดระดับ 100 มล. ด้วย degassed demin. water แล้วนำไป standardization
 5. การ standardization stock solution H_2O_2 2100 ppm
 - Degassed glacial acetic acid ~100 มล. เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที และ degassed demin. water ~2 ลิตร อย่างน้อย 15 นาที และนำ 40% KI มาเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน ก่อนใช้งาน

- ชั่ง stock solution H_2O_2 ประมาณ 10 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มล. กลั้วด้วย degassed demin. water 2-3 มล.
- บีเปิด degassed glacial acetic acid 25 มล., 40% KI 5 มล. แกว่ง ให้สารละลายเข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 15 นาที
- ตวง degassed demin. water 100 มล. ใส่ magnetic bar ปั่นจนให้ละลายเข้ากัน นำไปไตเตรทด้วย 0.1 N Std. $Na_2S_2O_3$ จนได้จุดยุติแรกสีเหลืองอ่อน
- เติม starch solution ~1-2 มล. จะได้สารสีน้ำเงินเข้มแล้วไตเตรทต่อจนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเข้มเป็นใสไม่มีสี
- ทำตัวอย่าง 2 flask และ Blank 1 flask และนำค่าที่ไตเตรทได้ไปคำนวณหาค่า ppm Active Oxygen จากสมการ

$$\text{ppm Active Oxygen} = \frac{(V_{S(ml)} - V_{B(ml)}) \times N \times 8000}{Wt. (g)}$$

6. การเตรียมสารละลายมาตรฐาน (standard solution)

- ชั่ง 3% H_2O_2 0.2000 \pm 0.0100 กรัม ลงใน volumetric flask ขนาด 100 มล. จดน้ำหนักที่ได้เพื่อนำไปคำนวณหาค่า Active Oxygen ของ standard solution

$$\text{Active Oxygen (ppm)} = \frac{A \times W}{100}$$

A = ความเข้มข้นของ 3% H_2O_2 (ppm Active Oxygen)

W = น้ำหนักของ 3% H_2O_2 (กรัม)

● การเตรียม Standard Curve

1. การเปิดสวิตช์ ON เครื่อง LAMBDA EZ 201 Spectrophotometer ก่อนใช้งานอย่างน้อย 15 นาที กดเลือกข้อ 6. Test Menu Enter เพื่อเลือก Load Test กด Enter เลือก Enter Value [1-20] โดยกดเลือก No.1 ในการทำ standard curve ให้เลือก New ใน curve data แล้วกด Forward เพื่อเตรียมวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร
2. ชั่งน้ำหนักของสารละลายมาตรฐานจำนวน 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 และ 0.6 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งตามลำดับลงใน volumetric flask ขนาด 25 มล. ที่ผ่านการไล่ด้วยแก๊สไนโตรเจนแล้วอย่างน้อย 1 นาที

3. คำนวณหาค่า ppm Active Oxygen ของสารละลายมาตรฐานในแต่ละความเข้มข้น
 4. ปิเปต ferrous thiocyanate 20 มล. แล้วปรับปริมาตรให้ได้ซีดระดับที่ 25 มล. ด้วย degassed methanol เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที ทำ Blank โดยไม่ต้องตั้งสารละลายมาตรฐาน.
 5. กดเลือก Stored ใน curve data เพื่อบันทึกค่า coefficient ของกราฟมาตรฐาน แล้วกด Save Params
 6. นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาพล็อตกราฟ (standard curve) โดยให้แกน X เป็นค่า ppm Active Oxygen ของสารละลายจากแต่ละ flask แกน Y เป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายจากแต่ละ flask แล้วหาค่าคงที่จากกราฟ โดยอาศัยสมการ $Y = mX + C$ ค่าคงที่ m ที่ได้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาค่า Active Oxygen ในตัวอย่าง
- การวิเคราะห์ Active Oxygen จากตัวอย่าง
 1. เปิดเครื่อง LIMBDA EZ201 UV/VIS Spectrophotometer ก่อนใช้งาน 15 นาที เลือกข้อ 6 Test Menu กด Enter เลือก Load Test กด Enter ให้ป้อน Enter Value [1-20] โดยให้กดเลือก No. 1 แล้วกด Enter เครื่องจะอยู่ในสภาวะพร้อมใช้งาน
 2. ชั่งตัวอย่าง 1.0000 ± 0.0010 กรัม ลงใน volumetric flask ขนาด 25 มล. ที่ผ่านการเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนแล้วกำหนดให้เป็น "S" ส่วน "B" ไม่ต้องชั่ง ตัวอย่าง
 3. ปิเปต ferrous thiocyanate 20 ml ลงใน "S" และ "B" ปรับให้ได้ซีดระดับที่ 25 มล. ด้วย degassed methanol เขย่าให้สารละลายเข้ากันเก็บในที่มืดเป็นเวลา 5 นาที
 4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร โดยเทสารละลาย "B" ลงในหลอด cuvette ประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของหลอด จากนั้นนำใส่ลงในช่อง reference cuvette และเทสารละลาย "S" ลงใน หลอด cuvette แล้วใส่ลงในช่อง sample cuvette
 5. ปิดฝาแล้วกด Start เครื่องจะทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องจะคำนวณค่า Active Oxygen ให้ และ Print โดยอัตโนมัติ
 - การคำนวณ
 - N/A

3.3.10 วิธีวิเคราะห์ความหนืด (viscosity) โดยใช้ Cone Plate Viscometer

- สารเคมี
 1. Acetone
- อุปกรณ์
 1. Cone / Plate Viscometer Model DVII
 2. Cone / Plate Viscometer Model DVII+
 3. Constant Water Bath Model TC-200
 4. Constant Water Bath Model EX-200 No. 10-WB-03
 5. Constant Water Bath Model EX-200 No. 10-WB-04
 6. Constant Water Bath Model DT.CB-8-30 E
 7. Flow through Cooler Model FTC-350 A
 8. Bath Thermometer 100°C, Accuracy +/- 0.5°C
 9. Syringe ขนาด 2 มล.
 10. ประแจ ขนาด 3/8"
 11. นาฬิกาจับเวลา ชนิด analog หรือ digital
- วิธีวิเคราะห์
 - การวิเคราะห์ค่าความหนืดโดยใช้เครื่อง Cone/Plate Viscometer Model DVII
 1. เปิดสวิตช์ ON เครื่อง Water Bath Model EX-200 No. 10-WB-04 ปรับอุณหภูมิ Water Bath ให้ได้อุณหภูมิคงที่ตามต้องการวิเคราะห์ โดยอ่านค่าอุณหภูมิจาก Bath Thermometer
 2. ตรวจสอบตำแหน่งของลูกน้ำของเครื่อง Cone/ Plate Viscometer Model DVII ให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางโดยปรับหมุนที่ตำแหน่ง Leveling Foot
 3. เปิดสวิตช์ ON เครื่อง Cone/Plate Viscometer ปรับ speed ไปที่ 10 rpm โดยปรับหมุนที่ปุ่ม Speed Selector Knob จากนั้นเปิด Motor On กดปุ่ม Auto Zero ที่หน้าจอ Display Digital จะกระพริบ 10 ครั้ง และปรากฏตัวเลข "00.0" ที่หน้าจอ Display จากนั้นปิด Motor Off เครื่องจะเข้าสู่ระบบ Stand by Mode กดปุ่ม Spdl เลือกปุ่มข้อมูล Spdl ที่ต้องการใช้งานให้เหมาะสม กับค่าความหนืดของตัวอย่าง โดยดูเทียบจากตาราง 3.1 และเลือกอ่านค่าหน่วยที่ต้องการวัดเป็น CPS

4. หมุน cone เข้ากับตำแหน่ง Lower Shaft ของเครื่อง Cone / Plate Viscometer โดยใช้มือจับประแจล็อกที่ shaft ให้นิ่งแล้วใช้มืออีกข้างหนึ่งหมุน cone เข้ากับ lower shaft โดยหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา
5. ตรวจสอบว่า cone กับ plate ของถ้วยตัวอย่างอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมโดยประกบถ้วยตัวอย่างเข้ากับเครื่อง ระวังอย่าให้ผิวหน้า plate ของถ้วยตัวอย่างกระทบกับผิวหน้าของ cone แล้วล็อกให้ถ้วยตัวอย่าง ประกบกับเครื่องให้สนิท (ในกรณีที่มีการวิเคราะห์ค่าความหนืดที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการใช้งานทุกครั้ง จะต้องทำการ calibrate cone กับ plate ก่อนทำการวิเคราะห์ทุกครั้ง) ปรับ speed ไปที่ 10 rpm จากนั้นเปิด มอเตอร์ ON หน้าจอ display จะปรากฏ "00.0-00.2" ในหน่วย % แสดงว่า เครื่องพร้อมใช้งานและถ้าไม่อยู่ในช่วง % ที่กำหนดให้ calibrate เครื่องใหม่ทันที
6. ใช้ syringe ดูดตัวอย่างที่ต้องการวัดค่าความหนืด โดยระวังอย่าให้มีฟองอากาศใน ปริมาตรที่แน่นอน 0.50 มล. ฉีดตัวอย่างลงในถ้วยตัวอย่าง จากนั้นประกบเข้ากับ เครื่องแล้วล็อกให้สนิท
7. เปิดมอเตอร์ ON เครื่อง Cone / Plate Viscometer ปรับ Speed ให้เหมาะสมกับ ความหนืดของ Sample โดยเลือก speed ที่ให้ % การอ่านสูงสุดในการวัดค่า Viscosity โดยดูเทียบจากตารางที่ 3.1
8. จับเวลาตั้งแต่เริ่มเปิดมอเตอร์จนครบ 10 นาที แล้วบันทึกค่า ความหนืดที่อ่านได้ใน หน่วย CPS และปิดมอเตอร์ OFF ทันที จากนั้นให้ถอด cone มาเช็ดทำความสะอาด สะอาดด้วย acetone ก่อนนำไปเก็บหรือเพื่อรอใช้งานต่อไป
9. หลังจากเลิกใช้งานแล้ว ให้ปิด Power Off เครื่อง Cone/Plate Viscometer และปิด Switch Off เครื่อง Water Bath นำถ้วยตัวอย่างประกบเข้ากับเครื่องตามเดิม แล้ว นำ Cone ที่เช็ดทำความสะอาดแล้วเก็บในที่ๆจัดเตรียมไว้

ตารางที่ 3.1 แสดง cone spindle number และค่าความหนืดที่ speed ต่างกัน

Speed (rpm)	Cone # CP-52 0.5 มล. Sample
100	983
50	1,966
20	4,915
10	9,830
5	19,660
2.5	39,320
1.0	98,300
0.5	196,600

- การคำนวณ
- N/A

3.3.11 วิธีทดสอบโฟมจากผลิตภัณฑ์ชนิด Flexible Polyether Polyol

- สารเคมี
 1. น้ำ demin.
 2. Silicone L 582
 3. Dabco 33LV
 4. Stannous Octoate (T9)
 5. Raynate 9002 (TDI 80)
- อุปกรณ์
 1. Stirrer JANKE & KUNKEL KIKA – WERK MODEL RW 20
 2. แก้วพลาสติกขนาด 200 มล. และ 2500 มล.
 3. ถังพลาสติก (PP) ขนาด 10 x 15 นิ้ว, 20 x 30 นิ้ว
 4. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ความถูกต้อง ± 0.10 กรัม
 5. Thermometer 50 °C ความถูกต้อง $\pm 10^{\circ}\text{C}$

6. นาฬิกาจับเวลา ชนิด analog หรือ digital
 7. ถ้วยกระดาษ (Paper Cup)
 8. เตารอบที่อุณหภูมิ 70°C
 9. เครื่องตัดโฟม
- วิธีวิเคราะห์
 1. ชั่งตัวอย่าง polyol ที่ปรับอุณหภูมิแล้ว ปริมาณตามสูตรที่กำหนด ลงในแก้วพลาสติก ขนาด 2500 มล. แล้ว tare ให้น้ำหนักเป็นศูนย์
 2. เติมน้ำ demin., Silicone L582 และ Dabco33LV ตามปริมาณที่กำหนด ลงในแก้วพลาสติกที่ชั่ง polyol แล้วนำไปกวนด้วย stirrer โดยใช้ low speed เป็นเวลาประมาณ 3 นาที
 3. เติม Stanous Octoate (T9) โดยใช้ syringe แล้วนำไปกวนด้วย stirrer โดยใช้ low speed เป็นเวลาประมาณ 1 นาที
 4. เติม Raynate 9002 (TDI 80) ที่ปรับอุณหภูมิแล้ว ลงในแก้วพลาสติกขนาด 2500 มล. ที่มี polyol อยู่ จากนั้นนำไปกวนด้วย stirrer โดยใช้ high speed และเริ่มจับเวลาตั้งแต่เริ่มปั่นเป็นเวลา 7 วินาที
 5. เทส่วนผสมทั้งหมดลงในถังพลาสติกขนาด 20 x 30 นิ้ว วัดค่า cream time และ rise time
 6. วางโฟมทิ้งไว้ประมาณ 3-5 ชั่วโมง แล้วนำมาตัดหาค่า free rise density โดย
 - นำโฟมทั้งหมดในถังพลาสติกมาตัดส่วนที่เป็นรอบนอกออกให้เหลือตรงกลาง เป็นก้อนสี่เหลี่ยมพอประมาณ แล้วนำไปชั่ง บันทึกน้ำหนักที่ได้
 - นำก้อนโฟมที่ตัดแล้วนั้น มาหาปริมาตรโดยการวัดความกว้างเฉลี่ย x ความยาวเฉลี่ย x ความสูงเฉลี่ย บันทึกค่าที่ได้
 - การคำนวณ

$$\text{ความหนาแน่นของโฟม (FRD)} = \frac{\text{น้ำหนักของโฟม}}{\text{ปริมาตรของโฟม}} \times 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{ปริมาตรของโฟม} = \text{ความกว้างเฉลี่ย} \times \text{ความยาวเฉลี่ย} \times \text{ความสูงเฉลี่ย}$$

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้เป็นผลการทดลองของฟิลเตอร์เค้กที่เกิดจากการผลิต flexible polyether polyol เกรด RAYPOL 3003 และเกรด RAYPOL 3008 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักของบริษัท ความแตกต่างระหว่าง RAYPOL 3003 และ RAYPOL 3008 ที่ชัดเจน คือ RAYPOL 3008 จะมี OH Number ต่ำกว่า RAYPOL 3003 ทำให้ RAYPOL 3008 มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า RAYPOL 3003 ส่วนค่าควบคุมอื่นๆเช่น water content , acid number , pH , K^+ & Na^+ และ color จะกำหนดเหมือนกัน ถ้าเรานำผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดนี้ไปทดสอบขึ้นรูปโฟมโดยใช้อัตราส่วนตามสัดส่วนสมดุลเคมีเดียวกันระหว่าง polyol กับ toluene diisocyanate (TDI) โฟมของ RAYPOL 3008 จะมีความนุ่มมากกว่า ในทางกลับกันถ้าเราใส่ toluene diisocyanate มากเกินไปในผลิตภัณฑ์ RAYPOL 3008 โฟมที่ได้จะแข็งขึ้นกว่าเดิมและแข็งมากกว่าโฟมที่ได้จากผลิตภัณฑ์ RAYPOL 3003

การนำไปใช้งานของผลิตภัณฑ์ทั้งสองประเภทนี้ขึ้นกับความต้องการของลูกค้าว่าต้องการเนื้อโฟมลักษณะใด และลูกค้าในตลาดทั้งสองผลิตภัณฑ์ก็เป็นกลุ่มลูกค้าเดียวกัน

4.1 ส่วนของของเหลวคั่งค้างที่มี polyol เป็นองค์ประกอบหลัก

4.1.1 การหาปริมาณของ polyol และ filter cake ที่ถูกดันกลับไปยัง neutralization vessel ด้วยก๊าซไนโตรเจน

ในส่วนของของเหลวคั่งค้างที่มี polyol เป็นองค์ประกอบหลัก จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง RAYPOL 3003 และ RAYPOL 3008 เกรดละ 3 ตัวอย่างจากกระบวนการผลิต flexible polyether polyol ใน neutralization vessel แล้วนำตัวอย่างมาอบแห้งที่อุณหภูมิ $\sim 180-190^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 90-120 นาที ได้ปริมาณเค้กแห้ง และ polyol ดังแสดงในตารางที่ 4.1

สถาบันวิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 แสดงร้อยละเค้กแห้งและ polyol ในส่วนของของเหลวคงค้างที่มี polyol เป็นองค์ประกอบหลัก

ชนิดตัวอย่าง	Batch no.	ร้อยละเค้กแห้ง โดยน้ำหนัก	ร้อยละ polyol โดยน้ำหนัก
RAYPOL 3003	2PE5051	0.082	99.92
	2PE5095	0.076	99.92
	2PE5102	0.099	99.90
	เฉลี่ย	0.09	99.91
RAYPOL 3008	2PE5015	0.122	99.88
	2PE5024	0.078	99.92
	2PE5028	0.100	99.90
	เฉลี่ย	0.10	99.90

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าปริมาณเค้กแห้งที่คงค้างใน neutralization vessel ต่อแบทช์ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดมีค่าเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 0.10 โดยน้ำหนัก ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณของผสมรวมทั้งหมดต่อแบทช์ ในกระบวนการผลิตจริงซึ่งกระบวนการผลิตเป็นแบบแบทช์ ปริมาณของผสมส่วนนี้จะถูกดันกลับไปยัง neutralization vessel ในช่วงสุดท้ายหลังสิ้นสุดการกรองด้วยเครื่องกรองแบบใบทุกแบทช์อย่างต่อเนื่องและมีปริมาณค่อนข้างสม่ำเสมอเพื่อผสมกับ crude polyol ในแบทช์ถัดไป ดังนั้นการนำของเหลวส่วนนี้มากรองแยกเค้กออกจึงไม่เกิดประโยชน์แต่อย่างใด จึงจะไม่ทำการพิจารณาออกแบบเครื่องกรองสำหรับของเหลวส่วนนี้

4.2 ส่วนของ filter cake ที่ตกค้างบริเวณด้านล่างของเครื่องกรองแบบใบ

4.2.1 การหาปริมาณของ polyol และ filter cake ที่ตกค้างบริเวณด้านล่างของเครื่องกรองแบบใบ

ในการทดลองจะเก็บตัวอย่างฟิลเตอร์เค้กของ RAYPOL 3003 และ RAYPOL 3008 ที่อยู่ใต้แผ่นกรองไปอบแห้งที่อุณหภูมิ $\sim 180-190^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 90-120 นาที ผลการทดลองแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงร้อยละเค้กแห้งและ polyol ในส่วนตกค้างบริเวณด้านล่างของเครื่องกรองแบบใบ

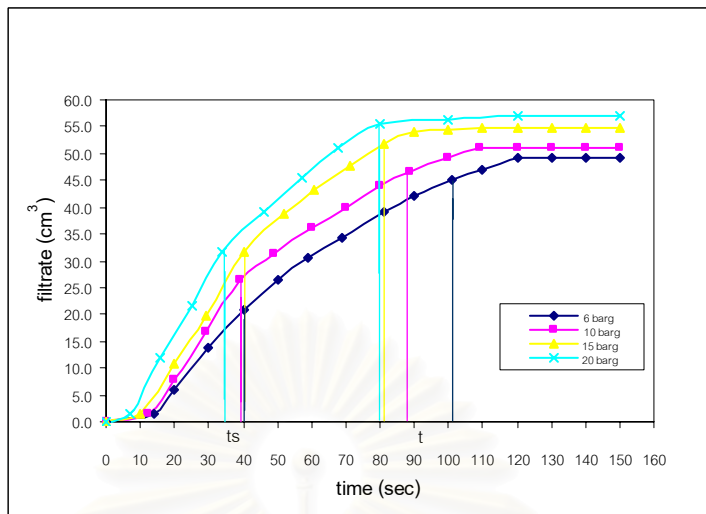
ชนิดตัวอย่าง	Batch no.	ร้อยละเค้กแห้ง โดยน้ำหนัก	ร้อยละpolyol โดยน้ำหนัก
RAYPOL 3003	2PE5102	42.91	57.09
RAYPOL 3008	2PE5028	27.27	72.73

พิจารณาจากตารางที่ 4.2 จะพบว่าปริมาณ polyol ทั้งสองชนิดที่ตกค้างในส่วนนี้มีค่าน้ำหนักสูงเกินกว่าร้อยละ 50 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานจริง จะพบว่าข้อมูลที่ได้มีความสอดคล้องกัน เพราะทันทีที่เราเลื่อนฝาปิดของเครื่องกรองแบบใบออกเพื่อทำความสะอาดแผ่นกรอง จะมี polyol และเค้กเหลวเปียกส่วนหนึ่งไหลออกมาทันที เป็นผลให้ polyol จำนวนมากต้องสูญเสียไปกับกากฟิลเตอร์เค้กที่จะนำไปกำจัด ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณของเสียมีมากขึ้นและบริษัทต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากฟิลเตอร์เค้กเหล่านี้สูงขึ้นตามไปด้วยโดยไม่จำเป็น

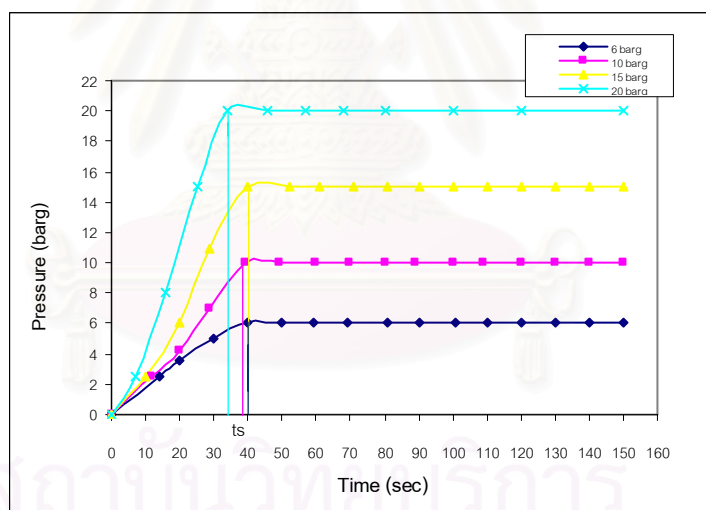
4.2.2 การทดลองกรองฟิลเตอร์เค้กเปียกที่ตกค้างบริเวณด้านล่างเครื่องกรองแบบใบด้วย Hand Filter

ในการออกแบบการกรองด้วยเครื่องกรองแบบแผ่นและกรอบจะอาศัยข้อมูลที่ได้จากเครื่องกรองแบบ Hand Filter โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องและวัดปริมาณฟิลเตรทที่ได้เทียบกับเวลาที่ความดันคงที่แตกต่างกัน 4 ค่าคือ ความดันคงที่ 6.0, 10.0, 15.0 และ 20.0 bar_g ตามลำดับ slurry ที่ใช้ทดลองแต่ละครั้งปริมาณจะใกล้เคียงกัน นำข้อมูลที่ได้มาพล็อตกราฟระหว่างปริมาณฟิลเตรทที่กรองได้กับเวลาและความดันกับเวลาที่แต่ละสถานะ โพรไฟล์ที่ได้แสดงในรูปที่ 4.1-4.4

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับฟิเตรทที่ได้จาก
เค้กเปียกได้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันต่างกัน

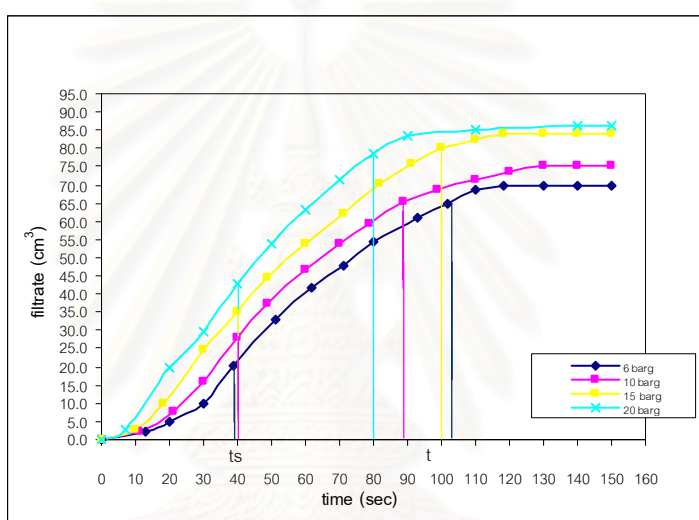


รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันแตกต่างกัน
สำหรับเค้กเปียกได้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003

พิจารณาโพรไฟล์ของฟิเตรทสำหรับตัวอย่าง slurry RAYPOL 3003 ในรูปที่ 4.1 จะพบว่า ปริมาณฟิเตรทจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ความชันของกราฟช่วงก่อนความดันคงที่ที่ 20.0 bar_g จะชันสูงสุด และที่ 6.0 bar_g จะมีความชันน้อยสุด แสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้กรองฟิเตรทเค้ก สำหรับเครื่องกรองที่ใช้งานที่ความดันสูงกว่าจะใช้เวลาในการกรองน้อยกว่าเครื่องกรองที่ใช้งานที่

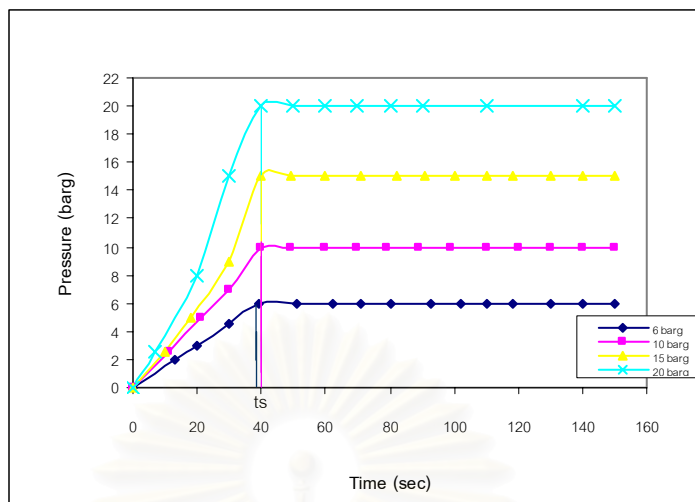
ความดันต่ำกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณและความเข้มข้นของ slurry เดียวกัน นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่าการกรองที่ความดันสูงกว่าจะได้ปริมาณฟิลเตรทที่มากกว่า หรือในทางกลับกันฟิลเตอร์เค้กที่ได้จะแห้งกว่าที่ความดันการกรองสูง

สำหรับโพรไฟล์ความดันของ slurry RAYPOL 3003 ในรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ทดลองในการอัดความดันที่ต้องใช้ระยะเวลาช่วงหนึ่งก่อนเข้าสู่ความดันที่กำหนด ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลจากการทดลองไปใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกรอง จำเป็นต้องเลือกข้อมูลในช่วงความดันคงที่เท่านั้น



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับฟิลเตรทที่ได้จากเค้กเปียกได้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

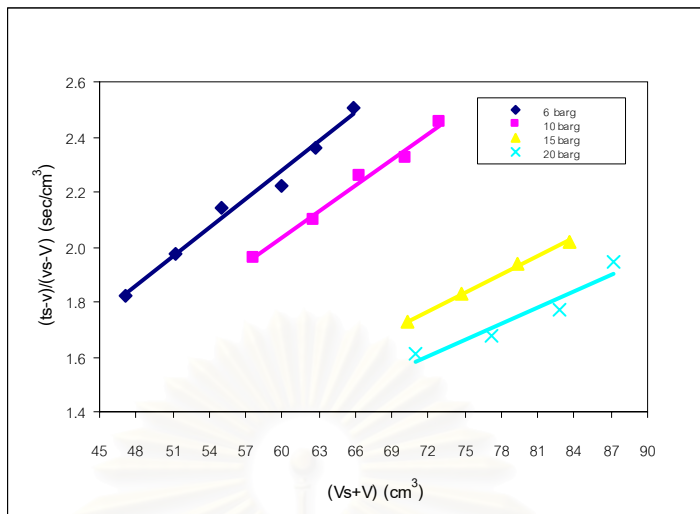


รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันแตกต่างกัน
ที่สำหรับเค้กเปียกได้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008

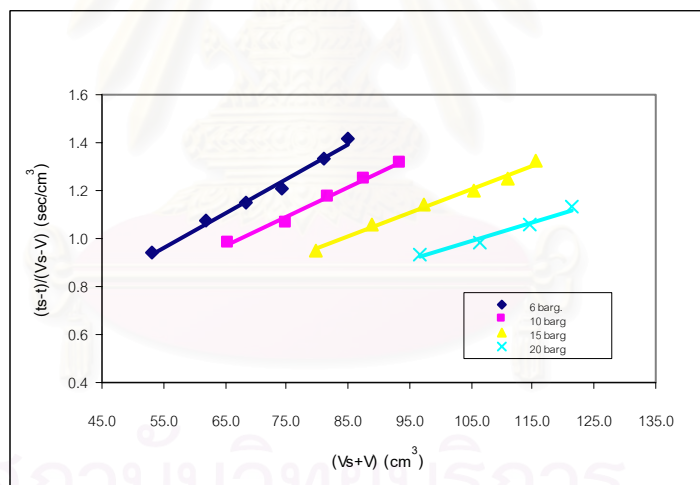
รูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 เป็นกรณีตัวอย่าง slurry ของ RAYPOL 3008 ที่นำมาทดลอง ซึ่งไฟโพล์ของฟิลเตอร์และความดันที่วัดได้ในช่วงก่อนความดันคงที่เทียบกับเวลาจะมีลักษณะคล้ายกันกับตัวอย่าง slurry ของ RAYPOL 3003 เมื่อพิจารณาปริมาณฟิลเตอร์ที่ได้จะเพิ่มขึ้นตามความดันที่สูงขึ้น แสดงว่าฟิลเตอร์เค้กเมื่อถูกบีบอัดมากขึ้น ปริมาณฟิลเตอร์จะออกจากฟิลเตอร์เค้กมากขึ้นและกากเค้กที่ได้จะมีความเปียกลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงความชันของกราฟความดันคงที่นั้น ปริมาณฟิลเตอร์ที่ได้จากฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3008 จะมากกว่า RAYPOL 3003 ที่สภาวะเดียวกัน

4.2.3 การออกแบบการนำกลับคืน polyol ที่ตกค้างบริเวณด้านล่างเครื่องกรองแบบใบด้วยเครื่องกรองแบบแผ่นและกรอบ

การออกแบบเครื่องกรองแบบแผ่นและกรอบจะอาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดลองอัดเค้กด้วย Hand Filter มาพิจารณา ฟิลเตอร์ที่กรองได้ที่ความดันคงที่เทียบกับเวลาที่ความดัน 6.0 , 10.0 15.0 และ 20.0 bar_g จะถูกนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(t_s - t)/(V_s - V)$ กับ $(V_s + V)$ สำหรับผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดเพื่อใช้คำนวณหาค่า α , R_m , เวลาในการกรองและปริมาณฟิลเตอร์ที่กรองได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่การกรอง การเลือกจุดที่นำมาใช้งานจากข้อมูลของฟิลเตอร์ที่กรองได้เทียบกับเวลาจะพิจารณาในช่วงความดันคงที่ที่มีความเป็นเส้นตรงสูงสุดเพื่อให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ซึ่งลักษณะของกราฟจากข้อมูลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5- 4.6



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(ts-v)/(vs-v)$ กับ $(Vs+V)$ จากเค้กเปียกใต้
แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันคงที่ 6, 10, 15 และ 20 bar_g



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(ts-t)/(Vs-V)$ กับ $(Vs+V)$ จากเค้กเปียกใต้
แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันคงที่ 6, 10, 15 และ 20 bar_g

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความต้านทานจำเพาะของเค้ก ความต้านทานต่อการไหลผ่านตัวกรอง พื้นที่ที่ใช้กรอง เวลาในการกรองและปริมาณฟิลเตรทที่กรองได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของฟิลเตอร์เค้กได้แก่แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันต่างๆ

ความดันคกที่ (bar _g)	ความต้านทานจำเพาะของเค้ก (α) (m/kg)	ความต้านทานต่อการไหลผ่านตัวกรอง (R_m) (m ⁻¹)	พื้นที่การกรองที่ใช้ทดลอง (m ²)	เวลาที่ใช้กรองปริมาตรฟิลเตรท (hr/lit)	ปริมาณฟิลเตรทที่กรองได้ หน่วยพื้นที่ x ชั่วโมง (kg/m ² hr)
6	1.159 x 10 ⁹	7.712 x 10 ⁸	0.00332	9.67	98.23
10	1.753 x 10 ⁹	9.766 x 10 ⁸	0.00332	8.76	103.30
15	1.876 x 10 ⁹	1.457 x 10 ⁹	0.00332	6.26	122.15
20	2.222 x 10 ⁹	2.132 x 10 ⁹	0.00332	5.57	129.42

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความต้านทานจำเพาะของเค้ก ความต้านทานต่อการไหลผ่านตัวกรอง พื้นที่ที่ใช้กรอง เวลาในการกรองและปริมาณฟิลเตรทที่กรองได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของฟิลเตอร์เค้กได้แก่แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันต่างๆ

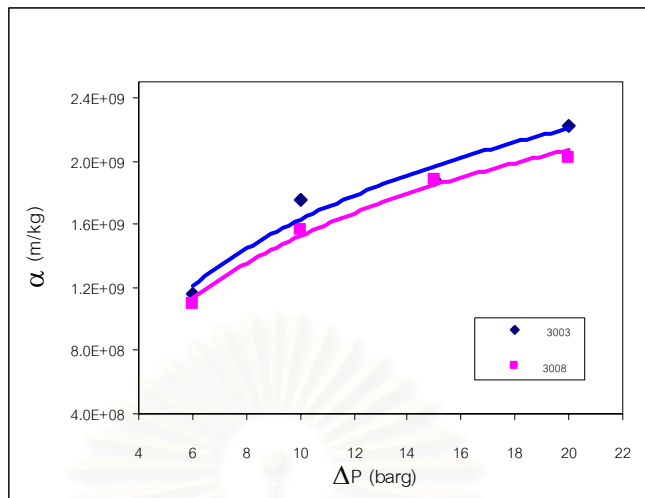
ความดันคกที่ (bar _g)	ความต้านทานจำเพาะของเค้ก (α) (m/kg)	ความต้านทานต่อการไหลผ่านตัวกรอง (R_m) (m ⁻¹)	พื้นที่การกรองที่ใช้ทดลอง (m ²)	เวลาที่ใช้กรองปริมาตรฟิลเตรท (hr/lit)	ปริมาณฟิลเตรทที่กรองได้ หน่วยพื้นที่ x ชั่วโมง (kg/m ² hr)
6	1.099 x 10 ⁹	7.710 x 10 ⁸	0.00332	4.02	152.31
10	1.563 x 10 ⁹	1.314 x 10 ⁹	0.00332	3.44	164.68
15	1.883 x 10 ⁹	1.899 x 10 ⁹	0.00332	2.77	183.56
20	2.024 x 10 ⁹	2.352 x 10 ⁹	0.00332	2.24	204.34

จากตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 พบว่าค่า α ของฟิลเตอร์เค้กทั้งสองชนิดแปรผันตามความดันลด (ΔP) ที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากความดันที่สูงขึ้น อนุภาคจะเบียดตัวเข้าชิดกันและกันมากขึ้น ช่องว่างระหว่างอนุภาคจะลดลง ทำให้ฟิลเตอร์เค้กมีความต้านทานต่อการไหลเพิ่มขึ้น ความต้านทานของฟิลเตอร์เค้ก (α) จึงขึ้นกับความดันลด อย่างไรก็ตาม ช่องว่างระหว่างอนุภาคจะลดลงตามความดันถึงค่าหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากการจัดเรียงตัวของชั้นเค้กแน่นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นเราจึง

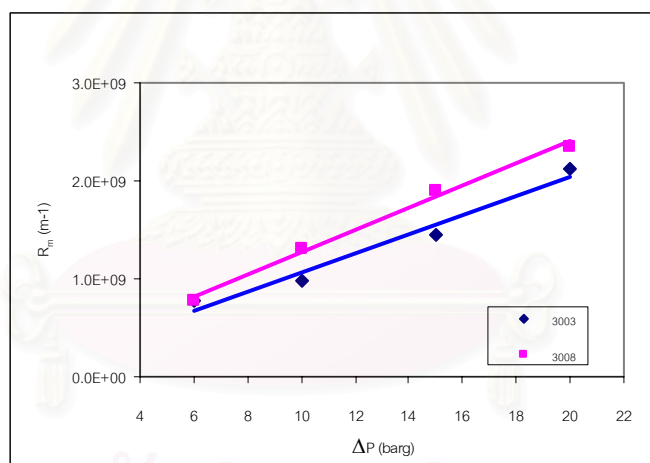
สังเกตเห็นว่าเมื่อเราทดลองอัดฟิลเตอร์เค้กที่ความดันสูงขึ้นไปอีก ค่า α มีแนวโน้มคงที่ไม่เพิ่มขึ้นอีกต่อไปดังแสดงในรูปที่ 4.7

เมื่อเปรียบเทียบค่า α ของฟิลเตอร์เค้กได้แผ่นกรองระหว่าง RAYPOL 3003 กับ RAYPOL 3008 ดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าที่ความดันลดเดียวกันในช่วงที่เลือกใช้งาน ค่า α ของฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3008 จะต่ำกว่าเกรด RAYPOL 3003 เสมอ แนวโน้มผลต่างของค่า α จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น แต่ไม่มากนัก และมีลักษณะโค้งเป็นรูปแบบเดียวกันเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่งตลอดช่วงของ ΔP ที่เปลี่ยนแปลงไป แสดงว่าฟิลเตอร์เค้กได้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 จะกรองได้ง่ายกว่า นั่นคือจะให้ของเหลวไหลผ่านชั้นเค้กไปได้ง่ายกว่าเมื่อเปรียบเทียบที่เวลา ความเข้มข้นของ slurry อุณหภูมิและความหนาของตัวกรองเดียวกัน

ทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาค่า R_m จากตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ซึ่งใช้ตัวกรองชนิดเดียวกัน พบว่า R_m ของตัวกรองฟิลเตอร์เค้กทั้งสองชนิดแปรผันตามความดันลด (ΔP) ที่เปลี่ยนแปลงไป อธิบายได้ว่า ในระยะแรกของการกรอง อนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กส่วนหนึ่ง จะแทรกและเข้าไปฝังตัวอยู่ในรูพรุนของตัวกรองที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของอนุภาค เมื่อเวลาผ่านไป จะเกิดการสะสมตัวของอนุภาคในรูเพิ่มขึ้น เป็นผลให้รูบนตัวกรองมีขนาดลดลงเรื่อยๆ ความดันในการกรองยิ่งสูงมากเท่าไร การอุดตันก็จะยิ่งเกิดเร็วตามไปด้วยเท่านั้น ทำให้ของเหลวไหลผ่านตัวกรองไปอย่างลำบากมากขึ้น ผลที่ตามมาคือความต้านทานการไหลผ่านตัวกรอง (R_m) จะสูงขึ้นจนกลายเป็นแรงต้านต่อการไหล ซึ่งแรงต้านดังกล่าวนี้จะมากขึ้นเรื่อยๆ ราวกับที่เราใช้ความดันในการกรองมากขึ้น ดังนั้นในรูปที่ 4.8 เราจึงสังเกตเห็นว่าค่า R_m มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นตรงกับความดัน



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานจำเพาะของเค็ก (α) กับความดันของเค็กได้แผ่นกรอง



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อการไหลผ่านตัวกรอง (R_m) กับความดันของเค็กได้แผ่นกรอง

สำหรับการเปรียบเทียบค่า R_m ของตัวกรองฟิลเตอร์เค็กได้แผ่นกรองระหว่าง RAYPOL 3003 กับ RAYPOL 3008 จากรูปที่ 4.8 พบว่าค่า R_m ของตัวกรองฟิลเตอร์เค็กได้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 จะสูงกว่าเกรด RAYPOL 3003 ตลอดช่วงความดันที่ทำการทดลอง แต่ผลต่างของค่าดังกล่าวมีค่าน้อย จึงถือว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกับกรณีของค่า α (α ของฟิลเตอร์เค็กเกรด

RAYPOL 3003 มากกว่า α ของฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3008 ประมาณ 1.05 – 1.10 เท่า และ R_m ของตัวกรองฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3008 มากกว่า R_m ของตัวกรองฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3003 ประมาณ 1.10 – 1.35 เท่า) แสดงว่า นอกเหนือไปจากขนาดอนุภาคแล้วอาจมีปัจจัยอื่นหลายอย่างที่ส่งผลต่อค่า α และ R_m อาทิเช่น ความสามารถในการบีบอัดตัวของอนุภาค เป็นต้น ดังนั้น ในรูปที่ 4.8 จึงพบว่า R_m ของตัวกรองเกรด RAYPOL 3008 มีค่าสูงกว่า R_m ของตัวกรองเกรด RAYPOL 3003



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.4 การทดสอบคุณสมบัติของ polyol ที่นำกลับคืนมาได้จากฟิลเตอร์เค้กใต้แผ่นกรอง

การทดสอบคุณสมบัติของ polyol ที่นำกลับคืนมาได้ส่วนนี้จะนำตัวอย่าง polyol ที่ได้จากการอัดด้วย Hand Filter ความดันคงที่ 10.0 bar_g มาทดลองสัมผัสกับอากาศที่เวลาต่างกัน จากนั้นนำ polyol ไปตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและทดสอบการขึ้นรูปโฟมกรณีตัวอย่างมีคุณสมบัติทางเคมีไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบ polyol เกรด RAYPOL 3003 ที่ได้จากการอัดเค้กเปียกใต้แผ่นกรอง ผ่าน Hand Filter ความดันสูงสุด 10 bar_g

รายการวิเคราะห์	หน่วย	ผลการวิเคราะห์ batch no.			
		2PE5030	2PE5031	2PE5032	2PE5047
contact time	day	3	2	1	0.5
water	%	0.328	0.275	0.125	0.090
color,Pt-Co scale	-	20-30	15	5-10	5
pH	-	6.8	6.8	6.7	6.8
IA	mgKOH/g	0.007	0.006	0.006	0.005
K ⁺ + Na ⁺	ppm	10.53	10.51	0.69	0.2
unsaturation	g/ml	0.037	0.036	0.034	0.035
IOH	mgKOH/g	55.67	55.4	56.31	56.31
active oxygen	ppm	0.32	0.15	0.12	0.11
appearance	-	clear liquid	clear liquid	clear liquid	clear liquid
viscosity	cps	509	524	519	512
AT	sec	7	7	7	7
CT	sec	12	13	13	15
RT	sec	118	103	96	98
FRD	kg/m ³	21.61	19.72	20.96	21.85
Foam characteristic		โฟมแตก	โฟมไม่แตกแต่ เนื้อโฟมไม่เรียบ บางช่วงโฟม ใหญ่และหยาบ	เซลล์เยียด สม่ำเสมอ, conform	conform

จากตารางที่ 4.5 จะพบว่า เมื่อให้ตัวอย่าง RAYPOL 3003 สัมผัสกับอากาศ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง จะมีรายการวิเคราะห์บางรายการได้รับผลกระทบจากการสัมผัสกับอากาศ ทำให้ผลการวิเคราะห์ที่มีค่าเบี่ยงเบนไปจากเกณฑ์ที่กำหนด ตัวอย่างเช่นค่า water content, color และ K^+Na^+ ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเกณฑ์ที่กำหนดค่อนข้างเด่นชัด สาเหตุเนื่องจากฟิลเตรทเหล่านี้มีคุณสมบัติที่ชอบน้ำและว่องไวต่ออากาศหรือออกซิเจนสูง เมื่อทิ้งไว้นาน ปริมาณความชื้น สีของผลิตภัณฑ์และ active oxygen จะค่อยๆเพิ่มขึ้น ส่วน K^+Na^+ ที่สูงขึ้นใน batch no. 2PE5030 และ 2PE5031 อาจมีสาเหตุมาจากการปนเปื้อนของภาชนะหรืออากาศรอบๆตัวอย่างมีไอสารเคมีปะปนอยู่ เพราะปกติค่านี้ไม่ควรเพิ่มขึ้นเนื่องจาก polyol อยู่ในช่วงที่อิมตัวแล้ว ถ้าเราเอาตัวอย่างเหล่านี้ไปทดสอบขึ้นรูปโฟมจะพบว่าเวลาในการสัมผัสกับอากาศที่ต่างกันจะได้เนื้อโฟมที่มีลักษณะแตกต่างกัน ซึ่งจากผลการทดลองในตารางที่ 4.6 จะพบว่าฟิลเตรทที่สัมผัสกับอากาศเกิน 1 วัน โฟมที่ได้จะไม่ผ่านการทดสอบ ฟิลเตรทที่ทิ้งให้สัมผัสอากาศยิ่งนาน โฟมที่ได้จะยิ่งมีแตกมาก ทั้งนี้เนื่องจากค่า water content ที่สูงทำให้เกิดแก๊สในขณะขึ้นรูปโฟมมากกว่าปกติ ทำให้อัตราการฟุ้งตัวของโฟมไม่สัมพันธ์กับแก๊ส CO_2 ที่เกิดขึ้น ขณะเดียวกันค่า color, active oxygen และ K^+Na^+ ที่สูงขึ้นก็มีส่วนสนับสนุนให้โฟมแตกได้เช่นกัน เพราะค่าเหล่านี้เมื่อเบี่ยงเบนไปจากปกติจะทำให้ค่า reactivity ในการเกิดโฟมเร็วขึ้น

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบ polyol เกรด RAYPOL 3008 ที่ได้จากการอัดเค้กเปียก
ใต้แผ่นกรองผ่าน Hand Filter ความดันสูงสุด 10 bar_g

รายการวิเคราะห์	หน่วย	ผลการวิเคราะห์ batch no.			
		2PE5011	2PE5015	2PE5017	2PE5018
contact time	day	3	2	1	0.5
water	%	0.564	0.355	0.257	0.182
color,Pt-Co scale	-	15	10	5	5
pH	-	6.9	7	7.1	7
IA	mgKOH/g	0.006	0.006	0.005	0.006
K ⁺ + Na ⁺	ppm	0.2	0.71	0.2	0.2
unsaturation	g/ml	0.049	0.047	0.046	0.042
IOH	mgKOH/g	46.63	47.73	48.26	48.35
active oxygen	ppm	0.15	0.13	0.12	0.11
appearance	-	clear liquid	clear liquid	clear liquid	clear liquid
viscosity	cps	445	450	455	453
AT	sec	7	7	7	7
CT	sec	17	17	18	19
RT	sec	115	103	-	-
FRD	kg/m ³	21.3	20.43	-	-
foam characteristic		โฟมแตก	โฟมแตก	โฟมแตก	โฟมแตก

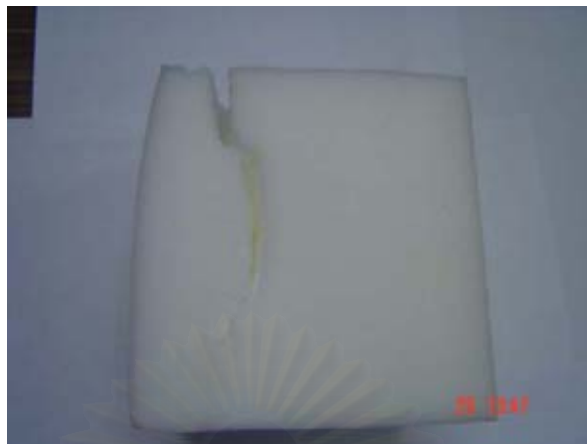
จากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าแนวโน้มค่า water content ของฟิลเตรท RAYPOL 3008 จะสูงกว่าเกณฑ์กำหนดเมื่อทิ้งตัวอย่างให้สัมผัสกับอากาศที่เวลาต่างกันและสูงกว่า RAYPOL 3003 ที่เวลาเดียวกัน ค่า color และ active oxygen เปลี่ยนแปลงช้ากว่า RAYPOL 3003 ส่วนรายการวิเคราะห์อื่นๆยังอยู่ในเกณฑ์กำหนด ผลการทดสอบโฟมพบว่า ตัวอย่างทั้งหมดที่ทิ้งไว้ให้สัมผัสกับอากาศที่เวลาต่างกัน โฟมที่ได้จะแตกทั้งหมด โดยฟิลเตรทที่ทิ้งไว้ที่เวลานานกว่า โฟมจะแตกเสียหายมากกว่า เช่นเดียวกับกรณีของ RAYPOL 3003 สาเหตุที่โฟมแตกที่ทุกระยะเวลาที่ทำการทดลอง อธิบายได้ว่า

สูตรที่ใช้ทดสอบอาจไม่เหมาะสมเพราะผลิตภัณฑ์ชนิดนี้เพิ่งพัฒนาขึ้นมาใหม่เมื่อปลายปี 2547 เพื่อส่งให้กับลูกค้าบางราย ไม่เคยทดสอบไฟมมาก่อนและไม่มีสูตรมาตรฐานสำหรับการทดสอบ ข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 4.6 จะอ้างอิงสูตรการทดสอบไฟมของผลิตภัณฑ์ RAYPOL 3003 ซึ่งอาจไม่ถูกต้อง เพราะจะสังเกตเห็นว่าผลิตภัณฑ์ชนิดดังกล่าวที่บริษัทฯ ส่งให้แก่ลูกค้ายังไม่เคยได้รับคำร้องเรียนใดๆ จากลูกค้าเลย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)



(ข)

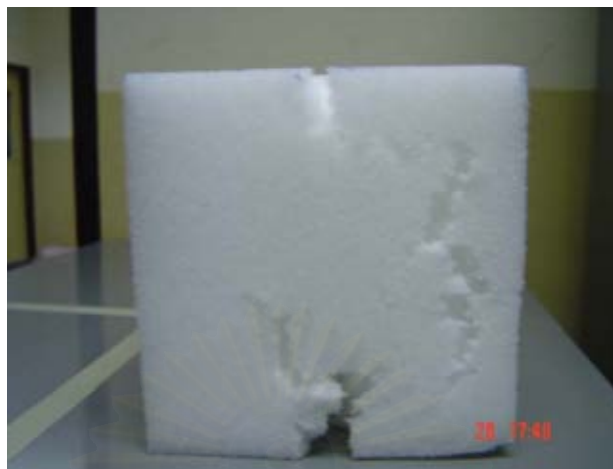


(ค)

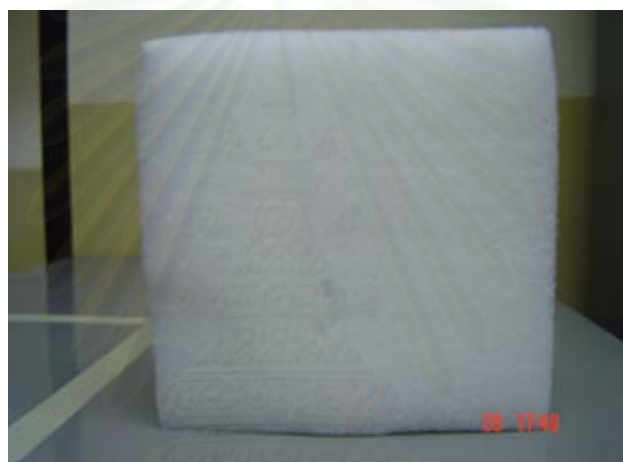


รูปที่ 4.9 ลักษณะโฟมเกรด RAYPOL 3003 ที่ผลิตจาก polyol ที่ได้จากการอัดเค้ก
ใต้แผ่นกรองที่ความดัน 10 bar_g โดยปล่อยให้สัมผัสอากาศเป็นระยะเวลา
(ก) 3 วัน (ข) 2 วัน (ค) 1 วัน ตามลำดับ

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.10 ลักษณะโฟมเกรด RAYPOL 3008 ที่ผลิตจาก polyol ที่ได้จากการอัดเค้ก
ใต้แผ่นกรองที่ความดัน 10 bar_g โดยปล่อยให้สัมผัสอากาศเป็นระยะเวลา
(ก) 3 วัน (ข) 1/2 วัน ตามลำดับ

รูปที่ 4.9 เป็นผลการทดสอบ polyol ที่ได้จากการอัดฟิลเตอร์เค้กใต้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ที่ความดัน 10 bar_g ผ่าน Hand Filter แล้วตั้งฟิลเตอร์ทิ้งไว้ที่เวลาต่างกัน จากนั้นนำ polyol ไปตรวจสอบลักษณะโฟม จะพบว่าฟิลเตอร์ที่ตั้งทิ้งไว้ให้สัมผัสกับอากาศ 3 วันก่อนนำมาทดสอบจะเห็นรอยแตกชัดเจนและลึกมาก ขณะที่ทิ้งให้สัมผัสกับอากาศ 2 วันโฟมจะไม่แตกแต่มีลักษณะขรุขระเป็นหลุมตื้นบางช่วง และถ้าทิ้งให้สัมผัสกับอากาศ 1 วัน ลักษณะเนื้อโฟมจะสม่ำเสมอตรงตามเกณฑ์ที่ต้องการเช่นเดียวกับฟิลเตอร์ที่ตั้งให้สัมผัสกับอากาศแค่ครึ่งวัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการปล่อยให้ฟิลเตอร์สัมผัสกับความชื้นในอากาศเป็นเวลานานจะทำให้ฟิลเตอร์มีความชื้นสูงจนเกินค่าที่ยอมรับได้ เมื่อ

นำไปทดสอบโฟมจะทำให้ความร้อนของปฏิกิริยาจากการทดสอบโฟมมีค่ามาก เนื่องจากมีแก๊ส CO₂ เกิดขึ้นมากทำให้อัตราการระเหยแก๊สหรือความร้อนออกไม่สัมพันธ์กับการฟุ้งตัวของโฟม เมื่อตัดชิ้นโฟมออกมาตรวจสอบจึงพบว่าโฟมแตก

รูปที่ 4.10 เป็นกรณีของ polyol เกรด RAYPOL 3008 ซึ่งผลการทดสอบโฟมที่ได้จะแตกทั้งหมด โดยเฉพาะฟิลเตอร์ที่สัมผัสกับอากาศ 3 วัน โฟมจะแตกเป็นบริเวณกว้างและเห็นรอยลึกชัดเจน ขณะที่ฟิลเตอร์ที่ไม่สัมผัสอากาศครึ่งวัน เนื้อโฟมที่ได้จะดีกว่าแบบอื่น ๆ แต่ก็ยังมีรอยแตกให้เห็นเล็กน้อย

จากลักษณะของโฟมที่ได้ในผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิด แสดงว่าเวลาในการสัมผัสกับอากาศของ polyol มีอิทธิพลต่อลักษณะของโฟมที่ได้เป็นอย่างมาก ซึ่งผู้ออกแบบฟิลเตอร์เพอร์สจะต้องพิจารณาและกำหนดเวลาในการสัมผัสกับอากาศของ polyol ให้เหมาะสม เพื่อไม่ให้โครงสร้างของโฟมเสียหายเมื่อนำ polyol ไปประยุกต์ใช้งาน

4.3 ส่วนของ filter cake ที่ติดกับแผ่นกรองของเครื่องกรองแบบใบ

4.3.1 การหาปริมาณของ polyol และ filter cake ที่ติดกับแผ่นกรองของเครื่องกรองแบบใบ

ในการทดลองจะเก็บตัวอย่างฟิลเตอร์เค้กของ RAYPOL 3003 และ RAYPOL 3008 ที่ติดอยู่กับแผ่นกรองจำนวนหนึ่งไปอบแห้งที่อุณหภูมิ ~180 - 190°C เป็นเวลา 90 - 120 นาที ผลการทดลองแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงร้อยละเค้กแห้งและ polyol ในส่วนที่ติดกับแผ่นกรองของเครื่องกรองแบบใบ

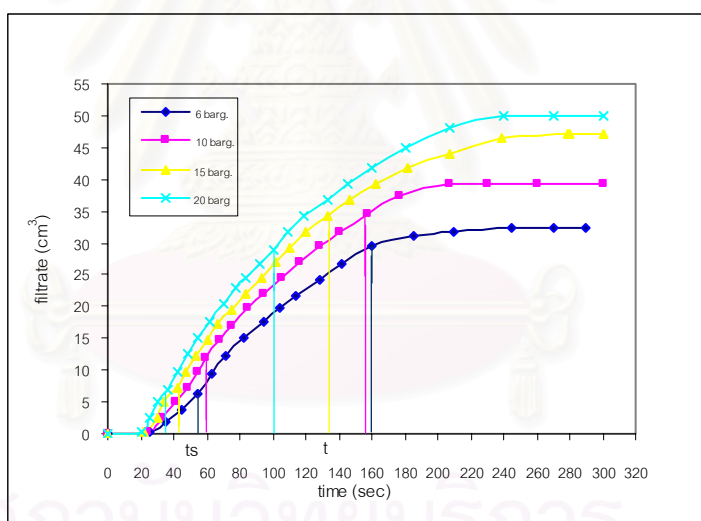
ชนิดตัวอย่าง	Batch no.	ร้อยละเค้กแห้ง โดยน้ำหนัก	ร้อยละ polyol โดยน้ำหนัก
RAYPOL 3003	2PE5102	48.97	51.03
RAYPOL 3008	2PE5028	38.28	61.72

พิจารณาจากตารางที่ 4.7 จะพบว่าปริมาณ polyol ทั้งสองชนิดจากส่วนที่ติดแผ่นกรองมีปริมาณสูงเกินกว่าร้อยละ 50 เช่นกัน แต่น้อยกว่า polyol ที่ได้จากเค้กได้แผ่นกรอง เมื่อเปรียบเทียบกับ การปฏิบัติงานจริงพบว่าข้อมูลที่ได้มีความสอดคล้องและถูกต้อง เพราะทันทีที่เราเลื่อนฝาปิดเครื่อง

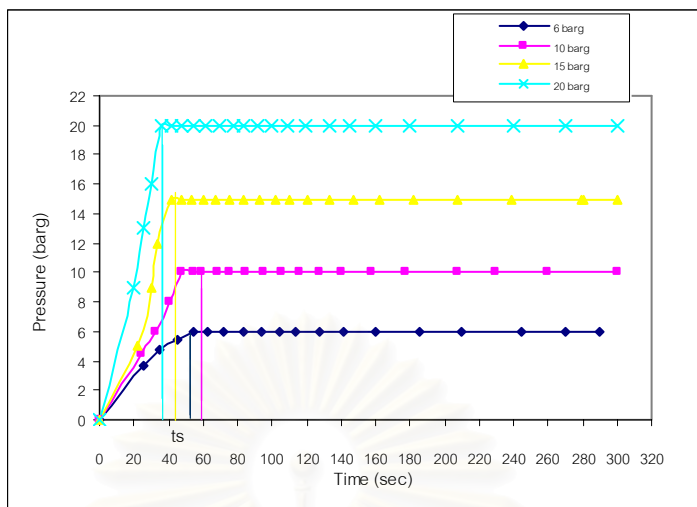
กรองแบบใบออกเพื่อทำความสะอาดแผ่นกรองแล้วตรวจสอบความเป็ยของเค้กด้วยตาหรือโดยการสัมผัสด้วยมือ จะสรุปทันทีว่าฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองจะมีความเป็ยน้อยกว่าฟิลเตอร์เค้กใต้แผ่นกรอง อธิบายได้ว่า ในกระบวนการผลิตจริง หลังสิ้นสุดการกรอง ฟิลเตอร์เค้กส่วนที่ติดแผ่นกรองจะถูกผลักดันด้วยแก๊สไนโตรเจนที่ใช้ได้ polyol ที่คงค้างอยู่ในเครื่องกรองกลับ neutralization vessel เป็นจำนวนหลายๆครั้งติดต่อกัน เป็นผลให้ฟิลเตอร์เค้กส่วนนี้มี polyol ปนอยู่น้อยลงเป็นส่วนกลับกับความถี่ในการใช้แก๊สไนโตรเจนผลักดัน ส่วนฟิลเตอร์เค้กที่อยู่ใต้แผ่นกรองไม่สามารถใช้แก๊สไนโตรเจนผลักดันกลับ neutralization vessel ได้เพราะฟิลเตอร์เค้กจะกองรวมกันอยู่บริเวณด้านท้องหรือด้านล่างสุดของเครื่องกรองที่ไม่มีช่องหรือรูสำหรับดันให้ polyol หรือของเหลวไหลออกไป

4.3.2 การทดลองกรองฟิลเตอร์เค้กที่ติดแผ่นกรองของเครื่องกรองแบบใบด้วย Hand Filter

วิธีการและขั้นตอนการออกแบบการกรองด้วยเครื่องกรองแบบแผ่นและกรอบจะปฏิบัติเหมือนกับหัวข้อ 4.2.2 ทุกประการ โพรไฟล์ที่ได้แสดงในรูปที่ 4.11-4.14



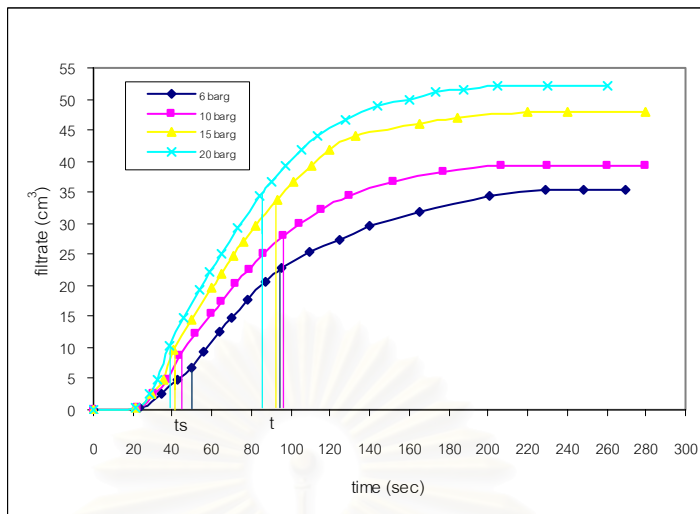
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับฟิลเตรทที่ได้จากเค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันต่างๆ



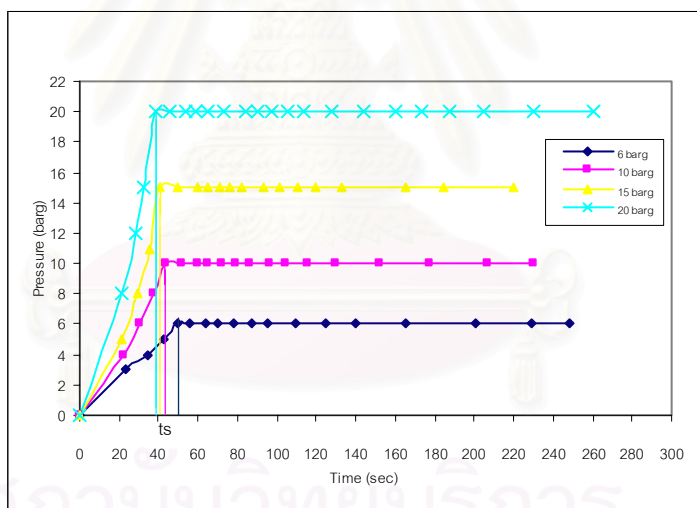
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความดันที่ต่างกัน
สำหรับเค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003

พิจารณาโพรไฟล์ของฟิลเตรทสำหรับตัวอย่าง slurry ติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ในรูปที่ 4.11 จะพบว่าปริมาณฟิลเตรทจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ความชันของกราฟช่วงก่อนความดันคงที่ที่ 20 barg จะชันสูงสุด และที่ 6 barg จะมีความชันน้อยสุดเช่นเดียวกับกรณีของฟิลเตอร์เค้กได้แผ่นกรอง แสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้กรองฟิลเตอร์เค้กสำหรับเครื่องกรองที่ใช้งานที่ความดันสูงกว่าจะใช้เวลาในการกรองน้อยกว่าเครื่องกรองที่ใช้งานที่ความดันต่ำกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณและความเข้มข้นของ slurry เดียวกัน

ทำนองเดียวกัน สำหรับโพรไฟล์ความดันของ slurry ติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ในรูปที่ 4.12 จะพบว่าในช่วงเวลาเดียวกันก่อนความดันคงที่ ความชันของกราฟจะเพิ่มสูงขึ้นตามความดันที่เพิ่มขึ้น นั่นคือกราฟที่ความดันคงที่ 20 barg จะมีความชันสูงสุดและกราฟที่ความดันคงที่ 6 barg จะมีความชันน้อยสุดเช่นเดียวกับโพรไฟล์ของฟิลเตรท



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับฟิลเตรทที่ได้ จากเค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันต่างๆ



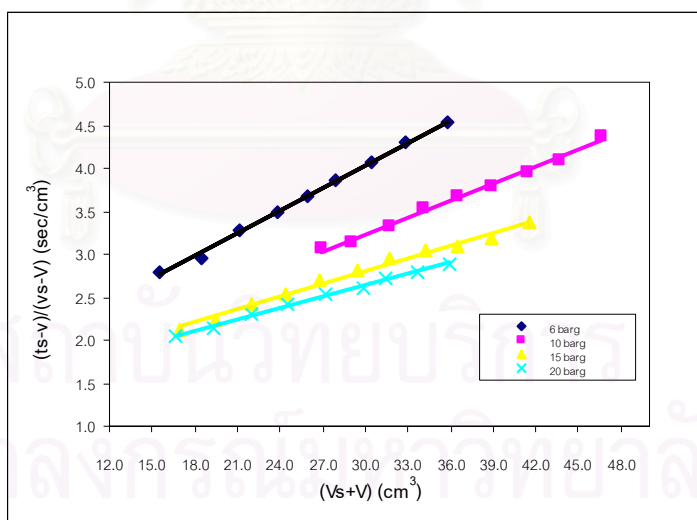
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับความดันตก ต่างกัน สำหรับเค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008

รูปที่ 4.13 และ รูปที่ 4.14 เป็นกรณีตัวอย่าง slurry ติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 ที่นำมาทดลอง ซึ่งโพรไฟล์ของฟิลเตรทและความดันที่วัดได้ในช่วงก่อนความดันคงที่เทียบกับเวลาจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันกับตัวอย่าง slurry ติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003

จากรูปที่ 4.11 และ รูปที่ 4.13 จะเห็นว่าปริมาณฟิลเตรทที่ได้จะเพิ่มขึ้นตามความดันที่สูงขึ้น แสดงว่าฟิลเตอร์เค้กเมื่อถูกบีบอัดมากขึ้น ปริมาณฟิลเตรทจะออกจากฟิลเตอร์เค้กมากขึ้นและกากเค้กที่ได้จะมีความเปียกลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า ในช่วงความดันคงที่ปริมาณฟิลเตรทที่ได้จากฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3008 จะมากกว่า RAYPOL 3003 ที่สภาวะเดียวกัน

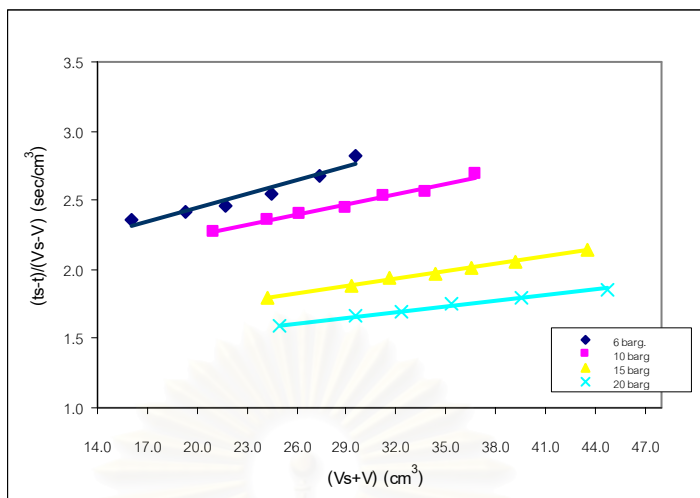
4.3.3 การออกแบบการนำกลับคืน polyol ที่ติดกับแผ่นกรองของเครื่องกรองแบบใบด้วยเครื่องกรองแบบแผ่นและกรอบ

การออกแบบเครื่องกรองแบบแผ่นและกรอบจะอาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดลองอัดฟิลเตอร์เค้กด้วย Hand Filter มาพิจารณา ฟิลเตรทที่กรองได้ที่ความดันคงที่เทียบกับเวลาที่ความดัน 6.0, 10.0, 15.0 และ 20.0 bar_g จะถูกนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(ts-t)/(Vs-V)$ กับ $(Vs+V)$ สำหรับผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดเพื่อใช้คำนวณหาค่า α , R_m , เวลาในการกรองและปริมาณฟิลเตรทที่กรองได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่การกรอง การเลือกจุดที่นำมาใช้งานจากข้อมูลของฟิลเตรทที่กรองได้เทียบกับเวลาจะพิจารณาในช่วงความดันคงที่ที่มีความเป็นเส้นตรงสูงสุดเพื่อให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเช่นเดียวกับกรณีของฟิลเตอร์เค้กได้แผ่นกรองลักษณะของกราฟที่พล็อตจากข้อมูลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.15 - 4.16



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(ts-t)/(Vs-V)$ กับ $(Vs+V)$ จากเค้กติด

แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันคงที่ 6, 10, 15 และ 20 bar_g



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(ts-t)/(Vs-V)$ กับ $(Vs+V)$ จากเค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันคงที่ 6, 10, 15 และ 20 bar_g

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความต้านทานจำเพาะของเค้ก ความต้านทานต่อการไหลผ่านตัวกรอง พื้นที่ที่ใช้กรอง เวลาในการกรองและปริมาณฟิลเตรทที่กรองได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันต่างๆ

ความดันคงที่ (bar _g)	ความต้านทานจำเพาะของเค้ก (α) (m/kg)	ความต้านทานต่อการไหลผ่านตัวกรอง (R_m) (m ⁻¹)	พื้นที่การกรองที่ใช้ทดลอง (m ²)	เวลาที่ใช้กรอง ปริมาตรฟิลเตรท (hr/lit)	ปริมาณฟิลเตรทที่กรองได้ หน่วยพื้นที่ x ชั่วโมง (kg/m ² hr)
6	2.308×10^9	5.378×10^9	0.00332	24.8	59.77
10	2.872×10^9	8.103×10^9	0.00332	18.6	69.05
15	3.246×10^9	1.279×10^{10}	0.00332	14.1	78.86
20	3.908×10^9	1.675×10^{10}	0.00332	12.8	82.85

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความต้านทานจำเพาะของเค้ก ความต้านทานต่อการไหลผ่านตัวกรอง พื้นที่ที่ใช้กรองเวลาในการกรองและปริมาณฟิลเตรทที่กรองได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันต่างๆ

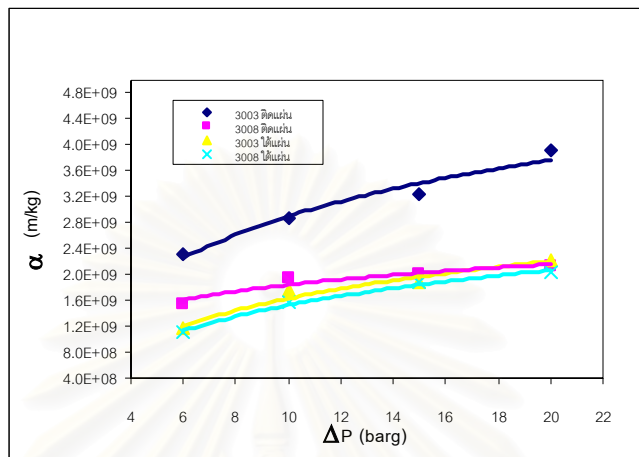
ความดันคงที่ (bar _g)	ความต้านทานจำเพาะของเค้ก (α) (m/kg)	ความต้านทานต่อการไหลผ่านตัวกรอง (R_m) (m ⁻¹)	พื้นที่การกรองที่ใช้ทดสอบ (m ²)	เวลาที่ใช้กรอง ปริมาตรฟิลเตรท (hr/lit)	ปริมาณฟิลเตรทที่กรองได้ หน่วยพื้นที่ x ชั่วโมง (kg/m ² hr)
6.0	1.552 x 10 ⁹	7.853 x 10 ⁹	0.00332	9.77	93.04
10.0	1.951 x 10 ⁹	1.282 x 10 ¹⁰	0.00332	7.48	106.02
15.0	2.009 x 10 ⁹	1.530 x 10 ¹⁰	0.00332	5.19	128.42
20.0	2.122 x 10 ⁹	1.852 x 10 ¹⁰	0.00332	4.15	144.06

จากตารางที่ 4.8 และ ตารางที่ 4.9 พบว่าค่า α และค่า R_m ของฟิลเตอร์เค้กทั้งสองชนิดแปรผันตามความดันลด (ΔP) ที่เปลี่ยนแปลงไป เหตุผลสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับฟิลเตอร์เค้กจากได้แผ่นกรอง

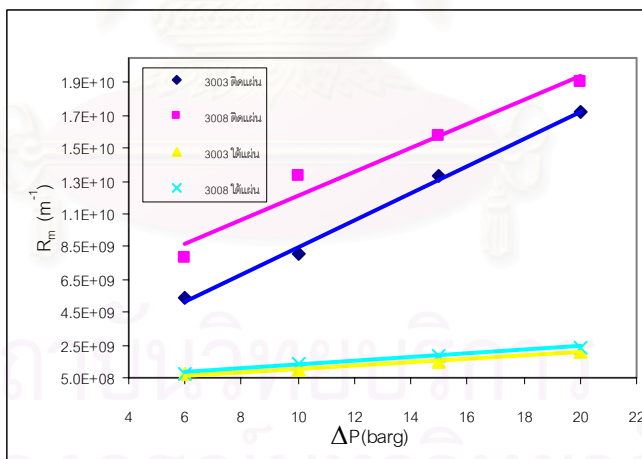
ความแตกต่างระหว่างกราฟแสดงค่า α ของฟิลเตอร์เค้กได้แผ่นกรองกับฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองของผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดตามรูปที่ 4.17 คือ ผลต่างระหว่างเส้นกราฟของ RAYPOL 3003 กับ RAYPOL 3008 ที่ได้จากฟิลเตอร์เค้กทั้งสองชนิดกล่าวคือ ถ้าเป็นเค้กได้แผ่นกรอง ผลต่างของค่า α จะแคบกว่าเค้กติดแผ่นกรองมาก ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของความเข้มข้นของ slurry และขนาดของเม็ดเค้ก โดย slurry ที่มีความเข้มข้นสูงกว่าและมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าจะให้ผลต่างของค่า α มากกว่า

ส่วนความแตกต่างระหว่างกราฟแสดงค่า R_m ของตัวกรองฟิลเตอร์เค้กได้แผ่นกรองกับฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองของผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดตามรูปที่ 4.18 จะพบว่า มีค่าแตกต่างกันไม่มาก โดย R_m ของตัวกรองอนุภาคขนาดเล็กจากตำแหน่งติดแผ่นกรองจะมีค่าสูงกว่า R_m ของตัวกรองอนุภาคขนาดใหญ่ได้แผ่นกรองเสมอ และเมื่อเปรียบเทียบค่า R_m ของตัวกรองฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองระหว่าง RAYPOL 3003 กับ RAYPOL 3008 พบว่า ค่า R_m ของตัวกรองฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3008 มีค่าสูงกว่า R_m ของตัวกรองฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3003 เช่นเดียวกับกรณีของ R_m ได้แผ่นกรอง แต่ผลต่างของค่า R_m มีน้อย จึงถือว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (R_m ของตัวกรอง

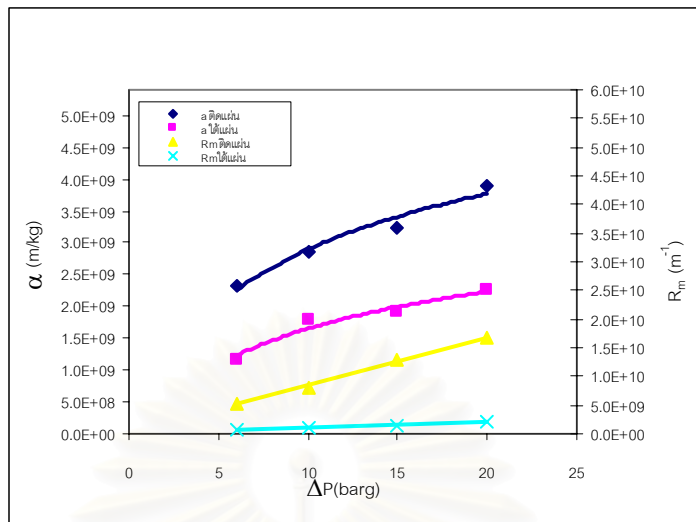
ฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 มีค่ามากกว่าเกรด RAYPOL 3003 ประมาณ 1.10 – 1.58 เท่า)



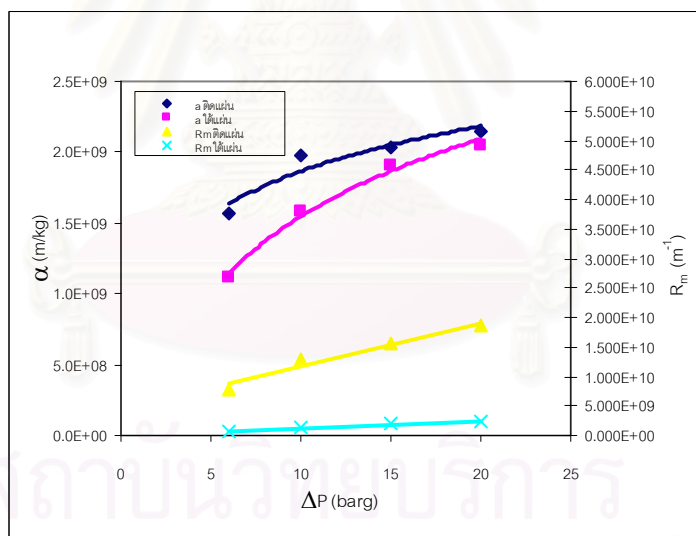
รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานจำเพาะของเค้ก(α) กับ ความดันของเค้กติดแผ่นกรองและเค้กใต้แผ่นกรองเกรด 3003 และ 3008



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อการไหลผ่านตัวกรอง (R_m) กับ ความดันของเค้กติดแผ่นกรองและเค้กใต้แผ่นกรองเกรด 3003 และ 3008



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า α และ R_m กับความดันลดของฟิลเตรท RAYPOL 3003 ที่ได้จากฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองและใต้แผ่นกรอง



รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า α และ R_m กับความดันลดของฟิลเตรท RAYPOL 3008 ที่ได้จากฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองและใต้แผ่นกรอง

สำหรับการเปรียบเทียบค่า α ของฟิลเตอร์เค้กเฉพาะเกรด RAYPOL 3003 จากใต้แผ่นกรองและติดแผ่นกรอง ดังแสดงในรูปที่ 4.19 จะพบว่า ที่สภาวะความดันลด ความหนาของตัวกรองและเวลาเดียวกัน ค่า α ของฟิลเตอร์เค้กใต้แผ่นกรองจะต่ำกว่าฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองเสมอตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลองและเส้นกราฟทั้งสองมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่งเมื่อความดันมากขึ้น สาเหตุที่ค่า α ไม่เท่ากันและค่อนข้างแตกต่างกันมากเนื่องจากความเข้มข้นของ slurry และขนาดของอนุภาคที่ต่างกัน โดยฟิลเตอร์เค้กใต้แผ่นกรองซึ่งมีความเข้มข้นของ slurry น้อยกว่าและมีขนาดอนุภาคโตกว่า จะมีรูพรุนมากกว่า ฟิลเตอร์จึงไหลได้ดี ทำให้ α มีค่าต่ำกว่า ขณะเดียวกัน ฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรอง มีความเข้มข้นของ slurry สูงกว่าและอนุภาคมีขนาดเล็กกว่า รูพรุนจะมีน้อย α จึงมีค่าสูง

ทำนองเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบค่า R_m ของตัวกรองฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3003 จากรูปที่ 4.19 จะพบว่า ที่สภาวะเดียวกันเส้นกราฟทั้งสองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อความดันมากขึ้น สาเหตุที่ค่า R_m ต่างกันเกิดจากอัตราการไหลของฟิลเตอร์ผ่านตัวกรองและอนุภาคขนาดเล็กที่แทรกเข้าไปฝังตัวอยู่ตามช่องว่างหรือรูพรุนของตัวกรองต่างกันทำให้เกิดแรงต้านทานต่อการไหลและการอุดตันต่อตัวกรองต่างกัน โดยฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรอง เม็ดของอนุภาคจะมีขนาดเล็กกว่าและมีความเข้มข้นของ slurry มากกว่า ทำให้เกิดแรงต้านทานการไหลและการอุดตันที่เร็วกว่า เป็นผลให้ R_m ที่ได้มีค่ามากกว่า

รูปที่ 4.20 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า α ของฟิลเตอร์เค้กและค่า R_m ของตัวกรองจากฟิลเตอร์เค้กใต้แผ่นกรองและติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008 ซึ่งพบว่าแนวโน้มของค่า α และค่า R_m คล้ายกันกับกรณีฟิลเตอร์เค้กใต้แผ่นกรองและติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 และสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกับข้างต้น และถ้าสังเกตเพิ่มเติมจะพบว่าผลต่างของค่า α ในฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3003 จะกว้างมากกว่าผลต่างของค่า α ในฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3008 มาก ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของความเข้มข้น และขนาดอนุภาคในแต่ละส่วนของตัวอย่างฟิลเตอร์เค้กแตกต่างกัน เป็นผลให้ α ที่ได้มีค่าแตกต่างกัน

เพื่อยืนยันการเปลี่ยนแปลงของค่า R_m เมื่อเปลี่ยนชนิดของฟิลเตอร์เค้ก ได้ทำการทดสอบแผ่นกรองหลังจากใช้กรองฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3003 เสร็จและปาดเค้กออกหมดแล้วที่ความดันต่างๆ โดยให้น้ำเปล่าไหลผ่านแผ่นกรองที่ความดันบรรยากาศ พบว่า เวลาที่ใช้ในการกรองผ่านแผ่นกรองมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังแสดงในตารางที่ 4.10 แสดงว่า ขนาดของอนุภาคและความดัน

ลดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า R_m กล่าวคือ อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะทำให้ค่า R_m ของตัวกรองสูงกว่า อนุภาคขนาดใหญ่ที่สภาวะการทำงานเดียวกัน ซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่าแผ่นกรองที่ใช้กรองอนุภาคขนาดเล็กจะใช้เวลาในการกรองน้ำเปล่านานกว่าแผ่นกรองที่ใช้กรองอนุภาคขนาดใหญ่ ส่วนเหตุผลด้านความดันจะพบว่า เมื่อใช้ความดันในการกรองฟิลเตอร์เค้กสูงขึ้นเวลาในการกรองน้ำเปล่าผ่านแผ่นกรองจะมากตาม แสดงว่า อนุภาคขนาดเล็กสามารถแทรกเข้าไปฝังตัวตามช่องว่างในรูพรุนของตัวกรองได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ที่สภาวะเดียวกัน และเมื่อความดันในการกรองสูงขึ้นความสามารถในการฝังตัวของอนุภาคขนาดเล็กตามช่องว่างของรูพรุนจะมากตามดังนั้นเราจึงพบว่าค่า R_m ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคและความดัน

ตารางที่ 4.10 แสดงเวลาที่ใช้ในการกรองน้ำผ่านแผ่นกรองที่ใช้กรองฟิลเตอร์เค้ก เกรด RAYPOL 3003 เสร็จแล้วที่ความดันต่างๆ

ความดันของแผ่นกรองที่ปาดเค้กออก (bar_g)	ปริมาณน้ำที่ใช้ (g)	เวลาที่ใช้กรอง (sec)		
		แผ่นกรองเปล่า	แผ่นกรองจากฟิลเตอร์เค้กได้แผ่นกรอง	แผ่นกรองจากฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรอง
0	215	5	-	-
6	215	-	20	29
10	215	-	25	34
15	215	-	28	36
20	215	-	32	38

4.3.4 การทดสอบคุณสมบัติของ polyol ที่นำกลับคืนมาได้จากฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรอง

การทดสอบคุณสมบัติของ polyol ที่นำกลับคืนมาได้ส่วนนี้จะนำตัวอย่าง polyol ทั้งสองเกรดที่ได้จากการอัดด้วย Hand Filter ความดันคงที่ 10.0 bar_g มาทดลองสัมผัสกับอากาศที่เวลาแตกต่างกันพร้อมกับทำการทดสอบลักษณะของโฟมเช่นเดียวกับกรณีฟิลเตอร์เค้กได้แผ่นกรอง ผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.10 - 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบ polyol เกรด RAYPOL 3003 ที่ได้จากการอัดเค้กติดแผ่นกรองผ่าน Hand Filter ความดันสูงสุด 10 bar_g

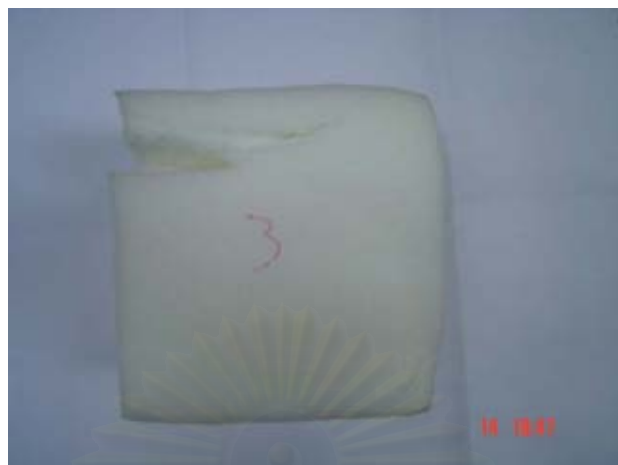
รายการวิเคราะห์	หน่วย	ผลการวิเคราะห์ batch no.			
		2PE5030	2PE5031	2PE5032	2PE5047
contact time	day	3	2	1	0.5
water	%	0.361	0.292	0.123	0.097
color,Pt-Co scale	-	20-30	15	5-10	5
pH	-	6.8	6.8	6.7	6.8
IA	mgKOH/g	0.006	0.006	0.005	0.005
K ⁺ + Na ⁺	ppm	9.55	7.82	0.57	0.2
unsaturation	g/ml	0.036	0.035	0.034	0.034
IOH	mgKOH/g	55.66	55.42	56.36	56.37
active oxygen	ppm	0.98	0.20	0.13	0.10
appearance	-	clear liquid	clear liquid	clear liquid	clear liquid
viscosity	cps	512	520	517	515
AT	sec	7	7	7	7
CT	sec	12	13	13	14
RT	sec	117	102	96	98
FRD	kg/m ³	21.64	19.76	20.98	21.83
Foam		โฟมแตก	โฟมไม่แตก	conform	conform
characteristic			แต่เนื้อโฟม ไม่สม่ำเสมอ ไม่เป็นเนื้อ เดียวกัน		

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบ polyol เกรด RAYPOL 3008 ที่ได้จากการอัดเค้กติดแผ่นกรอง ผ่าน Hand Filter ความดันสูงสุด 10 bar_g

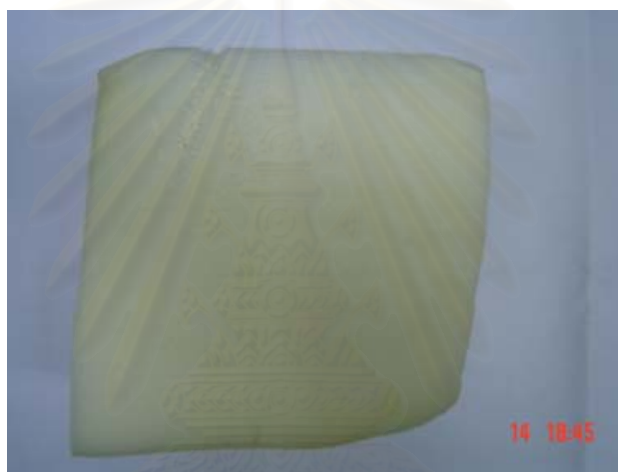
รายการวิเคราะห์	หน่วย	ผลการวิเคราะห์ batch no.			
		2PE5011	2PE5015	2PE5017	2PE5018
contact time	day	3	2	1	0.5
water	%	0.502	0.359	0.248	0.173
color,Pt-Co scale	-	10	5	5	5
pH	-	6.9	7	7.1	7
IA	mgKOH/g	0.006	0.006	0.005	0.005
K ⁺ + Na ⁺	ppm	0.2	0.75	0.2	0.2
unsaturation	g/ml	0.049	0.047	0.046	0.044
IOH	mgKOH/g	46.61	47.75	48.22	48.32
active oxygen	ppm	0.14	0.12	0.11	0.10
appearance	-	clear liquid	clear liquid	clear liquid	clear liquid
AT	sec	7	7	7	7
CT	sec	17	17	18	19
RT	sec	113	104	-	-
FRD	kg/m ³	21.4	20.46	-	-
Foam characteristic		โฟมแตก	โฟมแตก	โฟมแตก	โฟมแตก

จากผลการทดสอบโฟมของ polyol ที่ได้จากการใช้เครื่องกรองชนิด Hand Filter อัดผ่านฟิลเตอร์เค้กทั้งสองเกรดในตารางที่ 4.11 และ 4.12 ที่ความดันสูงสุดไม่เกิน 10 bar_g จะเห็นว่าผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มเป็นไปในทำนองเดียวกับผลการทดสอบ polyol ที่ได้จากเค้กได้แผ่นกรอง

(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.21 ลักษณะโฟมเกรด RAYPOL 3003 ที่ผลิตจาก polyol ที่ได้จากการอัดเค้กตีผ่านกรองที่ความดัน 10 bar_g โดยปล่อยให้สัมผัสอากาศเป็นระยะเวลา (ก) 3 วัน (ข) 2 วัน (ค) 1 วัน ตามลำดับ

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.22 ลักษณะโฟมเกรด RAYPOL 3008 ที่ผลิตจาก polyol ที่ได้จากการอัดเค้กติดแผ่นกรองที่ความดัน 10 bar_g โดยปล่อยให้สัมผัสอากาศเป็นระยะเวลา (ก) 3 วัน (ข) 1/2 วัน ตามลำดับ

รูปที่ 4.21 และรูปที่ 4.22 เป็นผลการทดสอบ polyol ที่ได้จากการอัดฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 และ RAYPOL 3008 ตามลำดับที่ความดัน 10 bar_g โดยการขึ้นรูปโฟมจริง ซึ่งจะเห็นว่าลักษณะของโฟมที่ได้จากการให้ polyol สัมผัสกับอากาศที่เวลาต่างกันเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับกรณีการทดสอบโฟมของ polyol ที่ได้จากฟิลเตอร์เค้กได้แผ่นกรอง

4.4 การหาขนาดโดยเฉลี่ยของฟิลเตอร์เค้ก

4.4.1 การหาขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยอาศัยข้อมูลจากเครื่องมือ Particle Size Analyzer

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างฟิลเตอร์เค้กของ RAYPOL 3003 และ RAYPOL 3008 ที่เก็บจากใต้แผ่นกรองและที่ติดแผ่นกรองจำนวนแห่งละ 7 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างทำการสุ่มวัดซ้ำ 3 ครั้ง ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.13 และ 4.14

จากผลการทดลองวัดการกระจายขนาดของอนุภาคโดยใช้เครื่องมือ Particle Size Analyzer พบว่า สำหรับฟิลเตอร์เค้กชนิดเดียวกัน ค่า mean diameter ของเค้กติดแผ่นกรอง จะมีขนาดเล็กกว่าเค้กใต้แผ่นกรอง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิลเตอร์เค้กต่างชนิดกันจะพบว่าแนวโน้มของฟิลเตอร์เค้กจาก RAYPOL 3008 มี mean diameter ที่โตกว่า RAYPOL 3003 สำหรับตัวอย่างที่เก็บจากแหล่งเดียวกัน ซึ่งจะเห็นว่าข้อมูลที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการกรองของฟิลเตอร์เค้กทั้งสองเกรด ดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าเฉลี่ยขนาดของเม็ดเค้กเกรด RAYPOL 3003 ที่ตกค้างใต้แผ่นกรองและที่ติดอยู่กับแผ่นกรองของเครื่องกรองแบบใบ

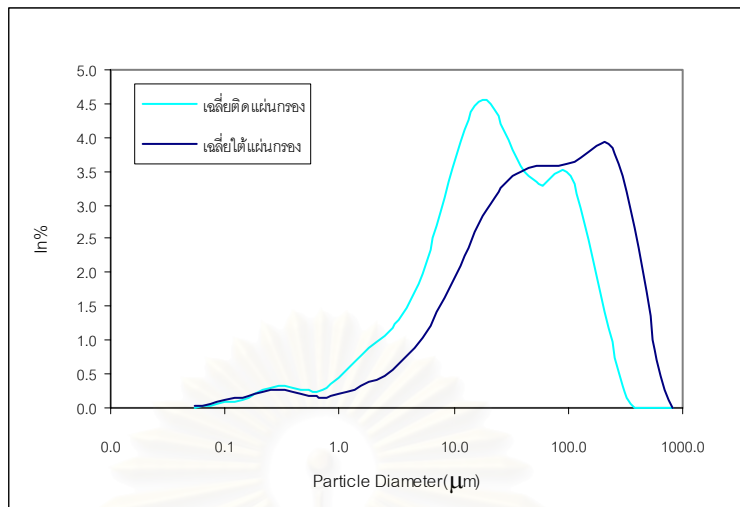
ชนิดฟิลเตอร์เค้ก	Batch no.	Mean Diameter ของเค้ก (μ)	
		ติดแผ่นกรอง	ใต้แผ่นกรอง
RAYPOL 3003	2PE4028	45.52	113.13
	2PE4044	53.08	101.21
	2PE4045	61.28	62.80
	2PE4047	79.04	113.68
	2PE4050	72.41	86.09
	2PE4051	74.49	107.45
	2PE4052	76.08	109.77
เฉลี่ย		65.99	99.16

สาเหตุที่ขนาดอนุภาคแตกต่างกันอธิบายได้ว่า ในช่วงการกรองหลังจากทำการพรีโคทแผ่นกรองด้วยตัวช่วยกรองเสร็จแล้ว ของผสมที่มีทั้ง polyol และฟิลเตอร์เค้กขนาดต่างๆที่อยู่ใน neutralization vessel จะถูกบีบเข้ามาในเครื่องกรองเพื่อทำการกรองต่อจากขั้นตอนการพรีโคท โดย

ป้อนเข้าไปในตำแหน่งกึ่งกลางทั้ง 2 ด้านของเครื่องกรองแบบใบแนวนอน (Horizontal Leaf Filter) และหันปากทางออกเข้าหากัน ทำให้บริเวณนี้เกิดการไหลวนอย่างรุนแรง เนื่องจากการไหลปะทะกันทั้ง 2 ด้านของ suspension อนุภาคขนาดเล็กจะสามารถเกาะยึดติดกับแผ่นกรองได้ดีกว่าเนื่องจากแรงต้านการไหลและแรงลอยตัวมีค่าต่ำ ขณะที่อนุภาคขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักมากบางส่วนจะเอาชนะแรงลอยตัวแล้วค่อยๆ ตกตะกอนลงมาสู่ด้านล่างของเครื่องกรองตลอดระยะเวลาที่ทำการกรองกำลังดำเนินไป การกระจัดกระจายกันของอนุภาคระหว่างที่ suspension ถูกป้อนเข้ามาในเครื่องกรองตลอดเวลาจะทำให้อนุภาคขนาดใหญ่ส่วนหนึ่งตกตะกอนผ่านอนุภาคขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ทั่วไป และพาอนุภาคขนาดเล็กตกตะกอนลงมาด้วยความเร็วเดียวกัน เมื่อเปิดฝากรองหลังสิ้นสุดการกรองออกจึงพบว่ามีทั้งอนุภาคขนาดเล็กและอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งอยู่ใต้แผ่นกรอง โดยปริมาณของอนุภาคขนาดใหญ่จะมีมากกว่า ขณะที่อนุภาคที่ติดกับแผ่นกรองจะมีขนาดเล็กเป็นจำนวนมากกว่า ซึ่งเหตุผลที่กล่าวข้างต้นสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ที่ใช้เครื่องมือ Particle Size Analyzer และเครื่องมือ SEM

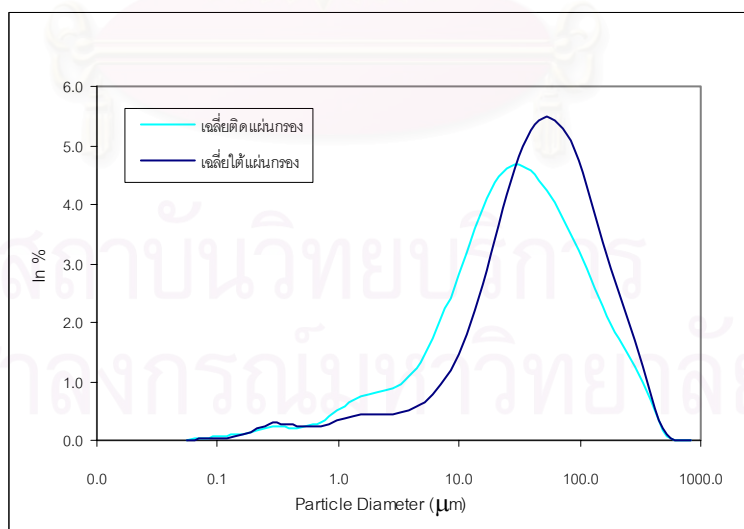
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ยขนาดของเม็ดเค้กเกรด RAYPOL 3008 ที่ตกค้างใต้แผ่นกรองและที่ติดอยู่กับแผ่นกรองของเครื่องกรองแบบใบ

ชนิดฟิลเตอร์เค้ก	Batch no.	Mean Diameter ของเค้ก (μ)	
		ติดแผ่นกรอง	ใต้แผ่นกรอง
RAYPOL 3008	2PE4003	57.06	73.83
	2PE4007	74.26	84.30
	2PE4012	64.04	84.61
	2PE4013	82.16	104.17
	2PE4024	126.52	170.66
	2PE4026	144.17	151.23
	2PE4027	171.08	180.59
เฉลี่ย		102.76	121.34



รูปที่ 4.23 Size distribution ของเหล็กติดแผ่นกรองและเหล็กใต้แผ่นกรอง
เกรด 3003 batch no. 2PE4028

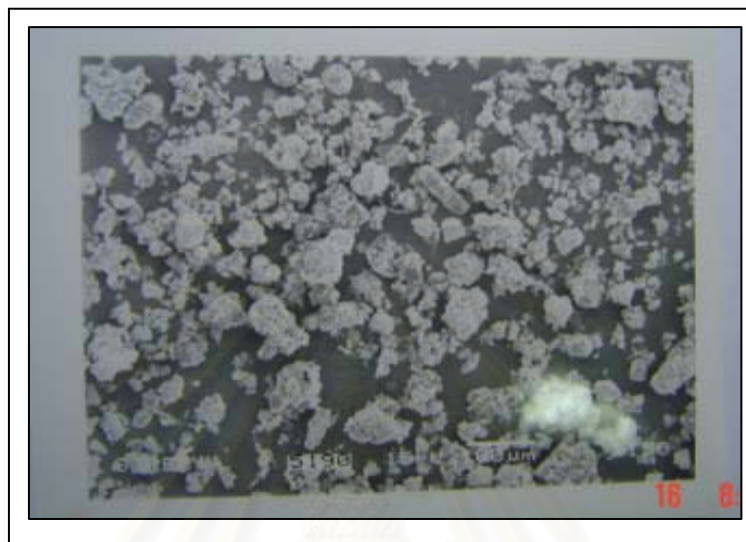
จากรูปที่ 4.23 พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคของเหล็กใต้แผ่นกรองและติดแผ่นกรองมีลักษณะเป็น irregular shape โดยแนวโน้มการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่โตกว่าจากเหล็กใต้แผ่นกรองจะมีความถี่มากกว่าเหล็กติดแผ่นกรอง ทำนองเดียวกันจากรูปที่ 4.24 จะพบว่าแนวโน้มการกระจายตัวของอนุภาคที่โตกว่าจะเหล็กใต้แผ่นกรองจะมีความถี่มากกว่าเหล็กติดแผ่นกรองเช่นกัน



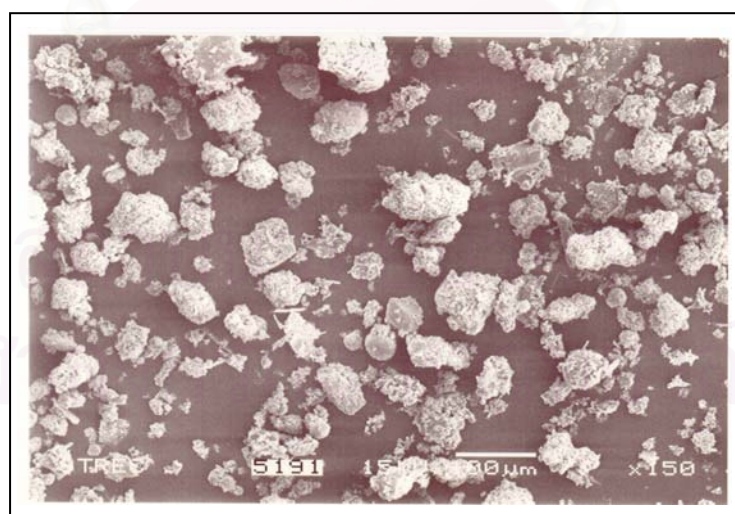
รูปที่ 4.24 Size distribution ของเหล็กติดแผ่นกรองและเหล็กใต้แผ่นกรอง
เกรด 3008 batch no. 2PE4003

4.4.2 ผลการวัดขนาดและพิจารณาโครงสร้างของอนุภาคโดยใช้เครื่องมือ Scanning Electron Microscope (SEM)

เมื่อนำผลึกแห้งของฟิลเตอร์เค้กทั้งสองชนิดไปวัดขนาดและดูลักษณะโครงสร้างผลึกโดยใช้เครื่องมือ SEM ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.25-4.28



รูปที่ 4.25 แสดงขนาดและผลึกเค็ทส่วนที่ติดแผ่นกรองสำหรับ
ผลิตภัณฑ์ RAYPOL 3003 batch no. 2PE4051

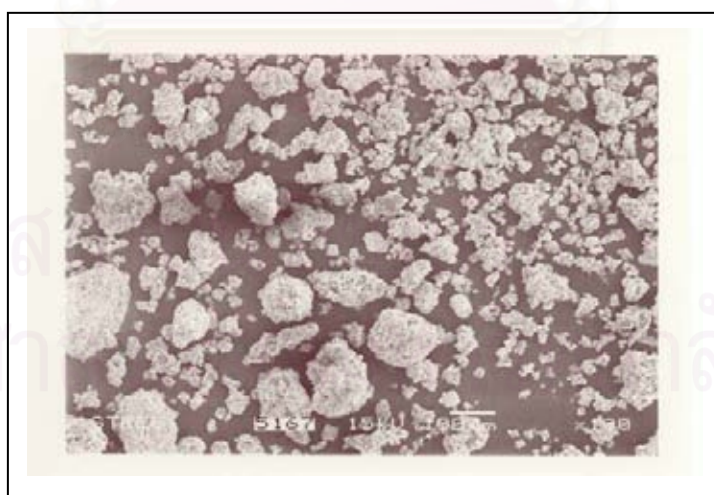


รูปที่ 4.26 แสดงขนาดและผลึกเค็ทส่วนที่อยู่ใต้แผ่นกรองสำหรับ
ผลิตภัณฑ์ RAYPOL 3003 batch no. 2PE4051

จากรูปที่ 4.25 และ 4.26 เมื่อใช้กำลังขยายของภาพจากเครื่องมือ SEM จะพบว่าเค้กติดแผ่นกรองจะมีขนาดของเม็ดเล็กๆ มากกว่าเค้กใต้แผ่นกรอง ผลึกขนาดใหญ่ที่ได้จากเค้กใต้แผ่นกรองจะมีจำนวนมากกว่าเค้กติดแผ่นกรอง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการใช้เครื่องมือ Particle Size Distribution จากรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.27 แสดงขนาดและผลึกเค้กส่วนที่ติดแผ่นกรองสำหรับ
ผลิตภัณฑ์ RAYPOL 3008 batch no. 2PE4003



รูปที่ 4.28 แสดงขนาดและผลึกเค้กส่วนที่อยู่ใต้แผ่นกรองสำหรับ
ผลิตภัณฑ์ RAYPOL 3008 batch no. 2PE4003

จากรูปที่ 4.27 และ 4.28 จะพบว่าอนุภาคของเค้กตีแผ่นกรองที่มีขนาดใหญ่จะมีมากกว่าเค้กตีแผ่นกรอง ส่วนอนุภาคเม็ดเล็กจะพบในเค้กตีแผ่นกรองมากกว่า โดยเฉพาะบริเวณส่วนบนของรูปที่ 4.27 แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับการใช้เครื่องมือ Particle Size Distribution จากรูปที่ 4.24

4.5 การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการตามหลักการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การศึกษาค่าความเป็นไปได้โครงการ " การนำกลับคืนของโพลีเอเทอร์โพลีเอทิลีนชนิดนุ่มที่คงค้างในเครื่องกรองแบบใบ" โดยอาศัยฟิลเตอร์เพรสแบบแผ่นและกรอบจะใช้ข้อมูลอ้างอิงเฉพาะส่วนของฟิลเตอร์เค้กที่ได้จากการผลิต flexible polyether polyol เท่านั้น จะไม่เอาข้อมูลของฟิลเตอร์เค้กที่ได้จาก rigid polyether polyol มาคิดรวมด้วย

● ข้อมูลเบื้องต้น

- ใช้ข้อมูลที่ความดัน 10 barg ของฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3003 เป็นฐานคำนวณ
- ปริมาณ polyol ที่ปนอยู่ในฟิลเตอร์เค้ก มีประมาณ 52.339% w/w (ภาคผนวก ค)
- ใช้ข้อมูลของปี 2547 ตามตารางที่ 1.2 เป็นฐานคำนวณ
- ค่าใช้จ่ายในการกำจัดฟิลเตอร์เค้กเท่ากับ 3.80 บาทต่อกิโลกรัม
- ปริมาณ polyol ที่สามารถนำกลับคืนเท่ากับ 22.03% w/w ซึ่งวัดได้จริงจากการทดลอง (ภาคผนวก ค)
- ราคา polyol ปัจจุบันคิดประมาณ 60 บาทต่อกิโลกรัม
- อายุโครงการกำหนด 5 ปี

● การคำนวณผลตอบแทนการลงทุน

เนื่องจากโครงการนี้ได้เริ่มดำเนินการศึกษารายละเอียดและนำเสนอต่อผู้บริหารเพื่อขออนุมัติงบประมาณสนับสนุนมาตั้งแต่ต้นปี พ.ศ. 2547 ซึ่งผู้บริหารของบริษัทได้เห็นชอบและอนุมัติงบประมาณดังกล่าวให้มาดำเนินการในปี พ.ศ. 2548 ดังนั้นในการคำนวณเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการจะใช้ข้อมูลของฟิลเตอร์เค้กปี พ.ศ. 2547 เป็นฐานในการคำนวณ รายละเอียดหรือข้อมูลที่เกี่ยวข้องสามารถแจกแจงได้ดังนี้

1) รายรับ

จากตารางที่ 1.2 ปี 2547 รายได้ที่ควรจะได้รับ = 2,685,937 บาท(1)

2) รายจ่าย

2.1 การใช้ไฟฟ้า ประกอบด้วย

- ไบโกลวน slurry ก่อนป้อนฟิลเตอร์เค้กเข้าฟิลเตอร์เพรสขนาด 3 กิโลวัตต์ 1 ชุด

$$\begin{aligned} \text{คิดค่าใช้จ่ายตลอดปี} &= \frac{3 \text{ กิโลวัตต์} \times 2 \text{ ชม.} \times 330 \text{ วัน} \times 3.0 \text{ บาท}}{\text{วัน} \quad \text{ปี} \quad \text{กิโลวัตต์-ชม.}} \\ &= \frac{5,940.0 \text{ บาท}}{\text{ปี}} \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

- มอเตอร์สำหรับปั๊ม screw ขนาด 5.5 กิโลวัตต์ สำหรับป้อนเข้าฟิลเตอร์เพรส 1 ชุด

$$\begin{aligned} \text{คิดค่าใช้จ่ายตลอดปี} &= \frac{5.5 \text{ กิโลวัตต์} \times 1 \text{ ชม.} \times 330 \text{ วัน} \times 3.0 \text{ บาท}}{\text{วัน} \quad \text{ปี} \quad \text{กิโลวัตต์-ชม.}} \\ &= \frac{5,445.0 \text{ บาท}}{\text{ปี}} \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

- มอเตอร์สำหรับปั๊มเกียร์ (gear pump) ขนาด 4 kW 1 ชุด

$$\begin{aligned} \text{คิดค่าใช้จ่ายตลอดปี} &= \frac{4 \text{ กิโลวัตต์} \times 0.5 \text{ ชม.} \times 330 \text{ วัน} \times 3.0 \text{ บาท}}{\text{วัน} \quad \text{ปี} \quad \text{กิโลวัตต์-ชม.}} \\ &= \frac{1,980.0 \text{ บาท}}{\text{ปี}} \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

2.2 การใช้น้ำ demin. ล้างผ้ากรอง

$$\begin{aligned} \text{คิดค่าใช้จ่ายตลอดปี} &= \frac{48 \text{ ครั้ง} \times 3 \text{ ลบม.} \times 17 \text{ บาท}}{\text{ปี} \quad \text{ครั้ง} \quad \text{ลบม.}} \\ &= \frac{2,448.0 \text{ บาท}}{\text{ปี}} \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

2.3 การควบคุมเครื่องจักร

จะใช้พนักงานชุดเดิมที่มีอยู่ปัจจุบัน เพราะฉะนั้นจะไม่มีค่าใช้จ่ายส่วนนี้

2.4 ค่าเสื่อมราคา (depreciation)

คิดค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร ปีละ 10 % ตามมาตรฐานทั่วไป

2.5 ค่าใช้จ่ายในการดูแล ป้องกันและรักษาเครื่องจักร (preventive and maintenance)

3 ปีแรกไม่เสียค่าใช้จ่าย (free maintenance) เพราะเป็นเครื่องจักรใหม่และยังอยู่ในระยะประกันจากผู้ขาย หลังจากนั้นจะเสียค่าใช้จ่ายส่วนนี้ปีละ 5 % ของมูลค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ ณ ช่วงเวลานั้น

3) งบประมาณการลงทุน

สามารถแจกแจงรายละเอียดงบประมาณสำหรับการลงทุนติดตั้งเครื่องจักรได้ดังตารางที่

4.15



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 แสดงรายละเอียดของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักที่ต้องใช้งบประมาณดำเนินการสำหรับโครงการติดตั้งฟิลเตอร์เพรสชนิดแผ่นและกรอบ

รายการ ที่	รายละเอียด	หน่วย	จำนวน	ค่าวัสดุ ราคา / หน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)	ค่าแรง ราคา / หน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
1	ค่าเตรียมงานเบื้องต้น	lot	1	-	-	5,000	5,000	5,000
2	ฟิลเตอร์เพรส ขนาด 800 มม.x800 มม. ความลึกของช่องว่าง (chamber dept) 25 มม. เฟลทสแตนเลส ชนิด double hydraulic acting, พื้นที่การกรอง~ 24 m ² ปริมาตรการกรอง ~0.303 m ³	set	1	1,500,000	1,500,000	-	-	1,500,000
3	ถังกวน slurry มี jacket coil ภายนอก ขนาด ~ 3.5 m ³ วัสดุสแตนเลส	set	1	250,000	250,000	-	-	250,000
4	ถังเก็บฟิลเตรทที่ได้จากฟิลเตอร์เพรส ขนาด ~ 2.6 m ³ วัสดุสแตนเลส	set	1	200,000	200,000	-	-	200,000
5	ใบกวน slurry พร้อมมอเตอร์ชนิดกันระเบิด (Eexd II B T4)	set	1	300,000	300,000	-	-	300,000
6	ปั๊ม screw ขนาด 9.0 m ³ /h วัสดุสแตนเลส พร้อมมอเตอร์ชนิดกัน ระเบิด (Eexd II B T4)	set	1	500,000	500,000	-	-	500,000
7	ปั๊มเกียร์ ขนาด 5.0 m ³ /h วัสดุสแตนเลส พร้อมมอเตอร์ชนิดกันระเบิด (Eexd II B T4)	set	1	260,000	260,000	-	-	260,000
8	งานเดินสายไฟและติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า	lot	1	100,000	100,000	50,000	50,000	150,000
9	งานติดตั้งระบบท่อ(piping), fitting, วาล์ว	lot	1	100,000	100,000	200,000	200,000	300,000
10	งานติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องจักรทั้งหมด	lot	1	100,000	100,000	200,000	200,000	300,000
รวม						3,310,000	455,000	3,765,000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) การประเมินค่าโครงการลงทุน

● สมมติฐาน

- อัตราดอกเบี้ยปัจจุบัน = 8 %
- คิดอัตราผลตอบแทนหลังจากโครงการดำเนินการเสร็จ
- ระยะเวลาของโครงการ 5 ปี
- ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ปีละ 10 %
- งบลงทุนของโครงการ = 3,765,000 บาท
- สิ้นปีที่ 5 เครื่องจักรเหลือมูลค่า = 2,223,195 บาท

ตารางที่ 4.16 แสดงงบกระแสเงินสดเพื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน หน่วย : พันบาท

ปีที่	0	1	2	3	4	5
กระแสเงินสดรับ	0.00	2,685.94	2,685.94	2,685.94	2,685.94	4,909.13
กระแสเงินสดจ่าย	3,765.00	392.31	354.66	320.78	413.79	373.99
กระแสเงินสดสุทธิ	- 3,765.00	2,293.62	2,331.27	2,365.16	2,272.14	4,535.14

ตารางที่ 4.17 แสดงการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

ปีที่	กระแสเงินสดสุทธิ (พันบาท)	แฟคเตอร์ส่วนลด 8%	มูลค่าปัจจุบัน (พันบาท)
1	2,293.62	0.926	2,123.73
2	2,331.27	0.857	1,998.69
3	2,365.16	0.794	1,877.54
4	2,272.14	0.735	1,670.09
5	4,535.14	0.681	3,086.54
รวม			10,756.59

จากตารางที่ 4.17 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) = ผลรวมของมูลค่าปัจจุบันปีที่ 1-5 – เงินลงทุน
 = 10,756.59 - 3765.00 พันบาท
 = 6,991,589.6 บาท

ตารางที่ 4.18 แสดงการคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน

ปีที่	กระแสเงินสดสุทธิ (พันบาท)	แฟคเตอร์ส่วนลด 58%	มูลค่าปัจจุบัน (พันบาท)	แฟคเตอร์ส่วนลด 59%	มูลค่าปัจจุบัน (พันบาท)
0	- 3,765.00		- 3,765.00		- 3,765.00
1	2,293.62	0.633	1,451.66	0.629	1,442.53
2	2,331.27	0.401	933.85	0.396	922.14
3	2,365.16	0.254	599.64	0.249	588.39
4	2,272.14	0.160	364.59	0.156	355.51
5	4,535.14	0.102	460.58	0.098	446.28
	รวม		45.33		- 10.15

$$\begin{aligned} \text{จากตารางที่ 4.18 อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)} &= \left(58 + \frac{45.33}{(45.33+10.15)} \right) \% \\ &= 58.82 \% \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.19 แสดงการคำนวณระยะเวลาคืนทุน

ปีที่	มูลค่าปัจจุบัน (พันบาท)	มูลค่าปัจจุบันสะสม (พันบาท)
0	- 3,765.00	- 3,765.00
1	2,123.73	- 1,641.27
2	1,998.69	357.42
3	1,877.54	2,234.96
4	1,670.09	3,905.05
5	3,086.54	6,991.59

$$\begin{aligned} \text{จากตารางที่ 4.19 ระยะเวลาคืนทุน (payback period)} &= \left(1 + \frac{1641.27}{(1641.27+357.42)} \right) \text{ ปี} \\ &= 1.82 \text{ ปี} \\ &= 22 \text{ เดือน} \end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์โครงการการลงทุนตามหลักการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า สำหรับระยะเวลาดำเนินงานโครงการหรืออายุโครงการ 5 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ที่คำนวณได้มีค่าเป็นบวก อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มีค่าสูงกว่าดอกเบี้ยเงินฝากของธนาคารมาก (~59 %) รวมทั้งระยะเวลาคืนทุน (payback period) ก็ไม่นานเกินไปประมาณ 2 ปีเท่านั้น เพราะฉะนั้น โครงการนี้จึงจัดอยู่ในลำดับต้นๆที่มีความเหมาะสมที่จะลงทุน โดยเฉพาะโครงการลงทุนระยะสั้นถึงระยะกลาง มีความเหมาะสมมาก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองศึกษาข้อมูลด้านต่างๆ เกี่ยวกับการออกแบบการนำกลับคืนโพลีเอเทอร์โพลีออกซินิดนุ่มที่คงค้างในเครื่องกรองแบบใบ โดยใช้เครื่องกรองแบบแผ่นและกรอบแยก polyol ออกจากฟิลเตอร์เค้ก สามารถสรุปผลการทดลองในแต่ละส่วนที่ทำการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

5.1 ส่วนของของเหลวคงค้างที่มี polyol เป็นองค์ประกอบหลัก

เนื่องจากปริมาณเค้กแห้งในของเหลวส่วนนี้มีน้อยมากไม่ถึงร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักและในกระบวนการผลิตจริงของเหลวคงค้างส่วนนี้จะถูกดันด้วยแก๊สไปโตรเจนกลับไปยัง neutralization vessel จนหมดหลังสิ้นสุดการกรอง ดังนั้นจึงไม่พิจารณาออกแบบเครื่องกรองสำหรับของเหลวส่วนนี้

5.2 ส่วนของฟิลเตอร์เค้กที่ตกค้างบริเวณด้านล่างของเครื่องกรองแบบใบ

ฟิลเตอร์เค้กส่วนนี้มีองค์ประกอบของ polyol ผสมอยู่มาก กล่าวคือ ถ้าเป็นฟิลเตอร์เค้กชนิด RAYPOL 3003 จะมี polyol ผสมอยู่ประมาณร้อยละ 57 โดยน้ำหนัก ขณะที่ฟิลเตอร์เค้กชนิด RAYPOL 3008 จะมี polyol ผสมอยู่ประมาณร้อยละ 73 โดยน้ำหนัก ดังนั้นฟิลเตอร์เค้กส่วนนี้จึงจำเป็นต้องออกแบบระบบการนำกลับคืน polyol ที่ตกค้างด้วยเครื่องกรองแบบแผ่นและกรอบโดยเลือกประเภทการกรองเป็นแบบกรองด้วยความดันคงที่

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิลเตอร์เค้กของ RAYPOL 3003 กับ RAYPOL 3008 พบว่าที่สภาวะเดียวกัน อัตราการไหลของฟิลเตอร์ต่อพื้นที่หน้าตัดของฟิลเตอร์เค้กชนิด RAYPOL 3008 จะให้อัตราการไหลมากกว่าเสมอ แสดงว่าค่าความต้านทานจำเพาะของเค้ก (α) ของฟิลเตอร์เค้กชนิด RAYPOL 3003 มีค่าสูงกว่าความต้านทานจำเพาะของฟิลเตอร์เค้กชนิด RAYPOL 3008 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองวัดการกระจายขนาดของอนุภาคโดยใช้เครื่องมือ Particle Size Analyzer ที่พบว่า ฟิลเตอร์เค้กชนิด RAYPOL 3003 จะมี mean diameter ที่เล็กกว่า RAYPOL 3008 ส่วนค่า R_m ของตัวกรองพบว่า ตัวกรองฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3008 จะมีค่า R_m สูงกว่าตัวกรองฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3003 แต่ผลต่างของ R_m มีค่าน้อย (R_m ของตัวกรองฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3008 มากกว่า R_m ของตัวกรองฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3003 ประมาณ 1.1 – 1.3 เท่า) จึงถือว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ เพราะนอกเหนือจากขนาดของอนุภาคแล้วอาจมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อค่า α และ R_m ได้ เช่น ความสามารถในการบีบอัดตัวของอนุภาค เป็นต้น

อีกประการหนึ่งที่ต้องพิจารณาหรือคำนึงถึงเป็นพิเศษคือเรื่องเวลาที่ฟิลเตรทสัมผัสกับอากาศ เพราะจากการทดลองในตารางที่ 4.6-4.7 และตารางที่ 4.11-4.12 จะพบว่า เวลาในการสัมผัสกับอากาศมีอิทธิพลอย่างมากต่อค่า water content, color, active oxygen และ $K^+ + Na^+$ ค่า water content ที่สูงเกินเกณฑ์มาก โฟมจะแตกมาก ส่วนค่า color, active oxygen และ $K^+ + Na^+$ ที่สูงขึ้น เมื่อทิ้งให้สัมผัสกับอากาศนานเกิน 1 วันจะมีส่วนสนับสนุนทำให้โฟมเสียหายได้เช่นกัน เนื่องจากค่าต่างๆ เหล่านี้ จะทำให้ reactivity ในการเกิดโฟมเร็วกว่าปกติ

5.3 ส่วนของฟิลเตอร์เค้กที่ติดกับแผ่นกรองของเครื่องกรองแบบใบ

ฟิลเตอร์เค้กส่วนนี้มีองค์ประกอบของ polyol ผสมอยู่สูงเช่นกัน กล่าวคือ ถ้าเป็นกรณีฟิลเตอร์เค้กชนิด RAYPOL 3003 จะมี polyol ผสมอยู่ประมาณร้อยละ 51 โดยน้ำหนัก และถ้าเป็นฟิลเตอร์เค้กชนิด RAYPOL 3008 จะมี polyol ผสมอยู่ประมาณร้อยละ 62 โดยน้ำหนัก ดังนั้นสำหรับฟิลเตอร์เค้กส่วนนี้จึงมีความจำเป็นที่ต้องออกแบบฟิลเตอร์เพรสชนิดแผ่นและกรอบเพื่อนำกลับคืน polyol ที่ตกค้างเช่นกัน โดยควบคุมแบบความดันคงที่ ซึ่งขั้นตอนและผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกับฟิลเตอร์เค้กได้แผ่นกรองทุกประการ

5.4 การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ตามหลักการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากการประเมินค่าโครงการลงทุนพบว่าเมื่อกำหนดอายุโครงการ 5 ปี ผลตอบแทนที่ได้จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เป็นเงิน 6,991,590 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เป็น 58.82% และระยะเวลาคืนทุน (payback period) 22 เดือน เพราะฉะนั้นโครงการนี้จึงเหมาะสมที่จะลงทุน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติ อินทรานนท์ และคณะ. การจัดการทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรม
อุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิตย์. วิศวกรรมอาหาร : หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร :
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544

สาวิตรี จันทรานุรักษ์. กระบวนการแยกเชิงกลในอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : คณะอุตสาหกรรม
เกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546

Kagaku Sochi Binran. คู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี. กรุงเทพมหานคร : สมาคม
ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2536 : 315 - 329

ภาษาอังกฤษ

Fathi – Najafi M. & Theliander H. Determination of local filtration properties at constant
pressure. Journal of Separation Technology 5 (1995) : 165 – 178.

Ladislav Svarovsky. Solid – Liquid Separation. 3rd edition. Great Britain, 1990 : 311 – 401

Mc Cabe W.L., Smith J.C., Harriott, P. Unit Operation of Chemical Engineering. 6th edition.
Singapore, 2001 : 986 – 1035

Mota M., Teixeira. J.A., Bowen W.R., Yelshin A. Interference of coarse and fine particles of
different shape in mixed porous beds and filter cakes. Journal of Minerals
Engineering 16 (2003) : 135 - 144

Tien C. Perspectives : Cake filtration research – a personal view. Journal of Powder
Technology 127 (2002) : 1 - 8



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง

ภาคผนวก ก 1 ตารางแสดงปริมาณฟิลเตรทที่ได้เทียบกับเวลาในส่วนฟิลเตอร์เค้กที่ตกค้าง ใต้แผ่นกรอง

- เกรด RAYPOL 3003

ความดันสูงสุด 6 bar _g			ความดันสูงสุด 10 bar _g			ความดันสูงสุด 15 bar _g			ความดันสูงสุด 20 bar _g		
เวลา	ความดัน	ฟิลเตรท	เวลา	ความดัน	ฟิลเตรท	เวลา	ความดัน	ฟิลเตรท	เวลา	ความดัน	ฟิลเตรท
(sec)	(bar _g)	(cm ³)	(sec)	(bar _g)	(cm ³)	(sec)	(bar _g)	(cm ³)	(sec)	(bar _g)	(cm ³)
0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
14	2.5	1.47	12	2.5	1.47	10	2.5	1.47	7	3	1.47
20	3.5	5.88	20	4.2	7.84	20	6	10.78	16	8	11.76
30	5	13.73	29	7	16.67	29	11	19.61	25	15	21.57
40	6	20.78	39	10	26.27	40	15	31.67	34	20	31.76
50	6	26.27	49	10	31.37	52	15	38.63	46	20	39.22
59	6	30.39	60	10	36.27	61	15	43.14	57	20	45.49
69	6	34.31	70	10	40.00	71	15	47.65	68	20	50.98
81	6	39.22	80	10	43.92	81	15	51.96	80	20	55.39
90	6	41.96	89	10	46.67	90	15	53.92	100	20	56.37
101	6	45.10	100	10	49.02	100	15	54.41	120	20	56.86
110	6	47.06	109	10	50.98	110	15	54.90	150	20	56.86
120	6	49.02	120	10	50.98	120	15	54.90			
130	6	49.02	130	10	50.98	130	15	54.90			
140	6	49.02	140	10	50.98	140	15	54.90			
150	6	49.02	150	10	50.98	150	15	54.90			

● เกรด RAYPOL 3008

ความดันสูงสุด 6 bar _g			ความดันสูงสุด 10 bar _g			ความดันสูงสุด 15 bar _g			ความดันสูงสุด 20 bar _g		
เวลา	ความดัน	ฟีดเทรท	เวลา	ความดัน	ฟีดเทรท	เวลา	ความดัน	ฟีดเทรท	เวลา	ความดัน	ฟีดเทรท
(sec)	(bar _g)	(cm ³)	(sec)	(bar _g)	(cm ³)	(sec)	(bar _g)	(cm ³)	(sec)	(bar _g)	(cm ³)
0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
13	2	1.96	11	2.5	2.45	10	2.5	2.94	7	2.5	2.94
20	3	4.90	21	5	7.84	18	5	9.80	20	8.0	19.61
30	4.5	9.80	30	7	15.69	30	9	24.51	30	15.0	29.41
39	6	20.20	40	10	28.14	40	15	35.10	40	20.0	43.04
51	6	32.94	49	10	37.25	49	15	44.61	50	20.0	53.73
62	6	41.67	60	10	46.86	60	15	53.92	60	20.0	63.33
71	6	48.04	70	10	53.73	71	15	62.25	70	20.0	71.37
80	6	54.12	79	10	59.41	82	15	70.20	80	20.0	78.43
93	6	60.78	89	10	65.29	91	15	75.98	90	20.0	83.33
102	6	64.71	99	10	68.63	100	15	80.39	110	20.0	85.29
110	6	68.63	110	10	71.57	110	15	82.35	140	20.0	86.27
118	6	69.61	120	10	73.53	118	15	83.82	150	20.0	86.27
130	6	69.61	130	10	75.00	130	15	83.82			
140	6	69.61	140	10	75.00	140	15	83.82			
150	6	69.61	150	10	75.00	150	15	83.82			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก 2 ตารางแสดงปริมาณฟิลเตรทที่ได้เทียบกับเวลาในส่วนฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรอง

● เกรด RAYPOL 3003

ความดันสูงสุด 6 bar _g			ความดันสูงสุด 10 bar _g			ความดันสูงสุด 15 bar _g			ความดันสูงสุด 20 bar _g		
เวลา	ความดัน	ฟิลเตรท	เวลา	ความดัน	ฟิลเตรท	เวลา	ความดัน	ฟิลเตรท	เวลา	ความดัน	ฟิลเตรท
(sec)	(bar _g)	(cm ³)	(sec)	(bar _g)	(cm ³)	(sec)	(bar _g)	(cm ³)	(sec)	(bar _g)	(cm ³)
0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
25	3.7	0.20	24	4.5	0.20	22	5	0.20	20	9	0.20
35	4.7	1.96	33	6	2.45	30	9	2.45	26	13	2.45
45	5.4	3.92	41	8	4.90	34	12	4.90	30	16	4.90
54	6	6.18	48	10	7.35	42	15	7.25	36	20	6.86
63	6	9.41	55	10	9.80	47	15	9.61	42	20	9.80
72	6	12.25	59	10	11.96	53	15	12.16	48	20	12.50
83	6	15.00	68	10	14.90	60	15	14.71	55	20	15.10
94	6	17.65	75	10	17.06	67	15	17.16	62	20	17.65
104	6	19.80	85	10	19.80	75	15	19.51	70	20	20.29
114	6	21.76	95	10	22.16	84	15	22.16	78	20	22.94
128	6	24.31	105	10	24.51	93	15	24.51	84	20	24.51
142	6	26.67	116	10	26.96	102	15	26.96	92	20	26.86
160	6	29.61	128	10	29.41	110	15	29.22	100	20	29.02
185	6	31.18	140	10	31.76	120	15	31.67	109	20	31.86
210	6	31.86	158	10	34.61	133	15	34.31	119	20	34.31
245	6	32.35	177	10	37.25	147	15	36.76	133	20	36.76
270	6	32.35	207	10	39.22	162	15	39.22	145	20	39.22
290	6	32.35	230	10	39.22	182	15	41.67	160	20	41.67
			260	10	39.22	207	15	44.12	180	20	45.10
			300	10	39.22	239	15	46.57	207	20	48.04
						279	15	47.06	240	20	50.00
						280	15	47.06	270	20	50.00
						300	15	47.06	300	20	50.00

● เกรด RAYPOL 3008

ความดันสูงสุด 6 bar _g			ความดันสูงสุด 10 bar _g			ความดันสูงสุด 15 bar _g			ความดันสูงสุด 20 bar _g		
เวลา	ความดัน	ฟีดเทรท	เวลา	ความดัน	ฟีดเทรท	เวลา	ความดัน	ฟีดเทรท	เวลา	ความดัน	ฟีดเทรท
(sec)	(bar _g)	(cm ³)	(sec)	(bar _g)	(cm ³)	(sec)	(bar _g)	(cm ³)	(sec)	(bar _g)	(cm ³)
0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00
23	3	0.20	22	4	0.20	21	5	0.20	21	8	0.20
34	4	2.45	30	6	2.45	29	8	2.45	28	12	2.45
43	5	4.90	38	8	4.90	35	11	4.90	32	15	4.90
50	6	6.76	44	10	8.73	41	15	9.61	39	20	10.29
56	6	9.31	52	10	12.25	50	15	14.61	46	20	14.71
64	6	12.55	60	10	15.49	60	15	19.71	54	20	19.31
70	6	14.90	65	10	17.45	65	15	21.96	59	20	22.06
78	6	17.75	72	10	20.20	71	15	24.80	65	20	25.10
87	6	20.59	79	10	22.55	76	15	26.96	73	20	29.22
95	6	22.75	86	10	25.10	82	15	29.61	84	20	34.51
109	6	25.29	96	10	28.04	93	15	33.92	90	20	36.76
125	6	27.45	104	10	29.90	101	15	36.76	97	20	39.22
140	6	29.61	116	10	32.16	110	15	39.22	105	20	41.67
165	6	31.86	130	10	34.31	120	15	41.67	114	20	44.12
201	6	34.31	152	10	36.76	133	15	44.12	128	20	46.57
229	6	35.29	177	10	38.24	165	15	46.08	144	20	49.02
248	6	35.29	207	10	39.22	184	15	47.06	160	20	50.00
270	6	35.29	230	10	39.22	220	15	48.04	173	20	50.98
			260	10	39.22	240	15	48.04	187	20	51.47
			280	10	39.22	280	15	48.04	205	20	51.96
									230	20	51.96
									260	20	51.96

ภาคผนวก ก 3 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (ts-t)/(Vs-V) กับ (Vs+V) ของผลิตภัณฑ์ RAYPOL 3003 และ RAYPOL 3008 ที่ได้จากฟิลเตอร์เค้กใต้แผ่นกรอง

- เกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันสูงสุด 6 bar_g

กำหนด

ts =

40

Vs =

20.78

time (sec)	pressure (bar _g)	volume (cm ³)	(ts-t)/(Vs-V) (sec/cm ³)	(Vs+V) (cm ³)
0	0	0.00	1.92	20.78
14	2.5	1.47	1.35	22.25
20	3.5	5.88	1.34	26.67
30	5	13.73	1.42	34.51
40	6	20.78	#DIV/0!	41.57
50	6	26.27	1.82	47.06
59	6	30.39	1.98	51.18
69	6	34.31	2.14	55.10
81	6	39.22	2.22	60.00
90	6	41.96	2.36	62.75
101	6	45.10	2.51	65.88
110	6	47.06	2.66	67.84
120	6	49.02	2.83	69.80
130	6	49.02	3.19	69.80
140	6	49.02	3.54	69.80
150	6	49.02	3.90	69.80

- เกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันสูงสุด 10 bar_g

กำหนด

ts = 39 Vs = 26.27

time (sec)	pressure (bar _g)	volume (cm ³)	(ts-t)/(Vs-V) (sec/cm ³)	(Vs+V) (cm ³)
0	0	0.00	1.48	26.27
12	2.5	1.47	1.09	27.75
20	4.2	7.84	1.03	34.12
29	7	16.67	1.04	42.94
39	10	26.27	#DIV/0!	52.55
49	10	31.37	1.96	57.65
60	10	36.27	2.10	62.55
70	10	40.00	2.26	66.27
80	10	43.92	2.32	70.20
89	10	46.67	2.45	72.94
100	10	49.02	2.68	75.29
109	10	50.98	2.83	77.25
120	10	50.98	3.28	77.25
130	10	50.98	3.68	77.25
140	10	50.98	4.09	77.25
150	10	50.98	4.49	77.25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- เกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันสูงสุด 15 bar_g

กำหนด

ts = 40

Vs = 31.67

time (sec)	pressure (bar _g)	volume (cm ³)	(ts-t)/(Vs-V) (sec/cm ³)	(Vs+V) (cm ³)
0	0	0.00	1.26	31.67
10	2.5	1.47	0.99	33.14
20	6	10.78	0.96	42.45
29	11	19.61	0.91	51.27
40	15	31.67	#DIV/0!	63.33
52	15	38.63	1.72	70.29
61	15	43.14	1.83	74.80
71	15	47.65	1.94	79.31
81	15	51.96	2.02	83.63
90	15	53.92	2.25	85.59
100	15	54.41	2.64	86.08
110	15	54.90	3.01	86.57
120	15	54.90	3.44	86.57
130	15	54.90	3.87	86.57
140	15	54.90	4.30	86.57
150	15	54.90	4.73	86.57

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- เกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันสูงสุด 20 bar_g

กำหนด

ts = 34

Vs = 31.76

time (sec)	pressure (bar _g)	volume (cm ³)	(ts-t)/(Vs-V) (sec/cm ³)	(Vs+V) (cm ³)
0	0	0.00	1.07	31.76
7	3	1.47	0.89	33.24
16	8	11.76	0.90	43.53
25	15	21.57	0.88	53.33
34	20	31.76	#DIV/0!	63.53
46	20	39.22	1.61	70.98
57	20	45.49	1.68	77.25
68	20	50.98	1.77	82.75
80	20	55.39	1.95	87.16
100	20	56.37	2.68	88.14
120	20	56.86	3.43	88.63
150	20	56.86	4.62	88.63

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

● เกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันสูงสุด 6 bar_g

กำหนด

ts = 39 Vs = 20.20

time (sec)	pressure (bar _g)	volume (cm ³)	(ts-t)/(Vs-V) (sec/cm ³)	(Vs+V) (cm ³)
0	0	0.00	1.93	20.20
13	2	1.96	1.43	22.16
20	3	4.90	1.24	25.10
30	4.5	9.80	0.87	30.00
39	6	20.20	#DIV/0!	40.39
51	6	32.94	0.94	53.14
62	6	41.67	1.07	61.86
71	6	48.04	1.15	68.24
80	6	54.12	1.21	74.31
93	6	60.78	1.33	80.98
102	6	64.71	1.42	84.90
110	6	68.63	1.47	88.82
118	6	69.61	1.60	89.80
130	6	69.61	1.84	89.80
140	6	69.61	2.04	89.80
150	6	69.61	2.25	89.80

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

● เกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันสูงสุด 10 bar_g

กำหนด

ts = 40 Vs = 28.14

time (sec)	pressure (bar _g)	volume (cm ³)	(ts-t)/(Vs-V) (sec/cm ³)	(Vs+V) (cm ³)
0	0	0.00	1.42	28.14
11	2.5	2.45	1.13	30.59
21	5	7.84	0.94	35.98
30	7	15.69	0.80	43.82
40	10	28.14	#DIV/0!	56.27
49	10	37.25	0.99	65.39
60	10	46.86	1.07	75.00
70	10	53.73	1.17	81.86
79	10	59.41	1.25	87.55
89	10	65.29	1.32	93.43
99	10	68.63	1.46	96.76
110	10	71.57	1.61	99.71
120	10	73.53	1.76	101.67
130	10	75.00	1.92	103.14
140	10	75.00	2.13	103.14
150	10	75.00	2.35	103.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- เกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันสูงสุด 15 bar_g

กำหนด

ts = 40 Vs = 35.10

time (sec)	pressure (bar _g)	volume (cm ³)	(ts-t)/(Vs-V) (sec/cm ³)	(Vs+V) (cm ³)
0	0	0.00	1.14	38.92
10	2.5	2.94	0.93	41.86
18	5	9.80	0.87	48.73
30	9	24.51	0.94	63.43
40	15	35.10	#DIV/0!	74.02
49	15	44.61	0.95	83.53
60	15	53.92	1.06	92.84
71	15	62.25	1.14	101.18
82	15	70.20	1.20	109.12
91	15	75.98	1.25	114.90
100	15	80.39	1.32	119.31
110	15	82.35	1.48	121.27
118	15	83.82	1.60	122.75
130	15	83.82	1.85	122.75
140	15	83.82	2.05	122.75
150	15	83.82	2.26	122.75

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- เกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันสูงสุด 20 bar_g

กำหนด

ts = 40

Vs = 43.04

time (sec)	pressure (bar _g)	filtrate (cm ³)	(ts-t)/(Vs-V) (sec/cm ³)	(Vs+V) (cm ³)
0	0	0.00	0.93	43.04
7	2.5	2.94	0.82	45.98
20	8.0	19.61	0.85	62.65
30	15.0	29.41	0.73	72.45
40	20.0	43.04	#DIV/0!	86.08
50	20.0	53.73	0.94	96.76
60	20.0	63.33	0.99	106.37
70	20.0	71.37	1.06	114.41
80	20.0	78.43	1.13	121.47
90	20.0	83.33	1.24	126.37
110	20.0	85.29	1.66	128.33
140	20.0	86.27	2.31	129.31
150	20.0	86.27	2.54	129.31

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก 4 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(t_s-t)/(V_s-V)$ กับ (V_s+V) ของผลิตภัณฑ์ RAYPOL 3003 และ RAYPOL 3008 ที่ได้จากฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรอง

- เกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันสูงสุด 6 bar_g

กำหนด

ts = 54

Vs = 6.18

time (sec)	pressure (bar _g)	filtrate (cm ³)	$(t_s-t)/(V_s-V)$ (sec/cm ³)	(V_s+V) (cm ³)
0	0	0.00	8.74	6.18
25	3.7	0.20	4.85	6.37
35	4.7	1.96	4.51	8.14
45	5.4	3.92	3.99	10.10
54	6	6.18	#DIV/0!	12.35
63	6	9.41	2.78	15.59
72	6	12.25	2.96	18.43
83	6	15.00	3.29	21.18
94	6	17.65	3.49	23.82
104	6	19.80	3.67	25.98
114	6	21.76	3.85	27.94
128	6	24.31	4.08	30.49
142	6	26.67	4.29	32.84
160	6	29.61	4.52	35.78
185	6	31.18	5.24	37.35
210	6	31.86	6.07	38.04
245	6	32.35	7.30	38.53
270	6	32.35	8.25	38.53
290	6	32.35	9.02	38.53

● เกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันสูงสุด 10 bar_g

กำหนด

ts = 59 Vs = 11.96

time (sec)	pressure (bar _g)	filtrate (cm ³)	(ts-t)/(Vs-V) (sec/cm ³)	(Vs+V) (cm ³)
0	0	0.00	4.93	11.96
24	4.5	0.20	2.98	12.16
33	6	2.45	2.73	14.41
41	8	4.90	2.55	16.86
48	10	7.35	2.39	19.31
55	10	9.80	1.85	21.76
59	10	11.96	#DIV/0!	23.92
68	10	14.90	3.06	26.86
75	10	17.06	3.14	29.02
85	10	19.80	3.32	31.76
95	10	22.16	3.53	34.12
105	10	24.51	3.67	36.47
116	10	26.96	3.80	38.92
128	10	29.41	3.95	41.37
140	10	31.76	4.09	43.73
158	10	34.61	4.37	46.57
177	10	37.25	4.67	49.22
207	10	39.22	5.43	51.18
230	10	39.22	6.27	51.18
260	10	39.22	7.37	51.18
300	10	39.22	8.84	51.18

● เกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันสูงสุด 15 bar_g

กำหนด

ts = 42 Vs = 7.25

time (sec)	pressure (bar _g)	filtrate (cm ³)	(ts-t)/(Vs-V) (sec/cm ³)	(Vs+V) (cm ³)
0	0	0.00	5.79	7.25
22	5	0.20	2.83	7.45
30	9	2.45	2.50	9.71
34	12	4.90	3.40	12.16
42	15	7.25	#DIV/0!	14.51
47	15	9.61	2.13	16.86
53	15	12.16	2.24	19.41
60	15	14.71	2.42	21.96
67	15	17.16	2.52	24.41
75	15	19.51	2.69	26.76
84	15	22.16	2.82	29.41
93	15	24.51	2.96	31.76
102	15	26.96	3.04	34.22
110	15	29.22	3.10	36.47
120	15	31.67	3.20	38.92
133	15	34.31	3.36	41.57
147	15	36.76	3.56	44.02
162	15	39.22	3.75	46.47
182	15	41.67	4.07	48.92
207	15	44.12	4.48	51.37
239	15	46.57	5.01	53.82
279	15	47.06	5.95	54.31
280	15	47.06	5.98	54.31
300	15	47.06	6.48	54.31

● เกรด RAYPOL 3003 ที่ความดันสูงสุด 20 bar_g

กำหนด

ts = 36 Vs = 6.86

time (sec)	pressure (bar _g)	volume (cm ³)	(ts-t)/(Vs-V) (sec/cm ³)	(Vs+V) (cm ³)
0	0	0.00	5.25	6.86
20	9	0.20	2.40	7.06
26	13	2.45	2.27	9.31
30	16	4.90	3.06	11.76
36	20	6.86	#DIV/0!	13.73
42	20	9.80	2.04	16.67
48	20	12.50	2.13	19.36
55	20	15.10	2.31	21.96
62	20	17.65	2.41	24.51
70	20	20.29	2.53	27.16
78	20	22.94	2.61	29.80
84	20	24.51	2.72	31.37
92	20	26.86	2.80	33.73
100	20	29.02	2.89	35.88
109	20	31.86	2.92	38.73
119	20	34.31	3.02	41.18
133	20	36.76	3.24	43.63
145	20	39.22	3.37	46.08
160	20	41.67	3.56	48.53
180	20	45.10	3.77	51.96
207	20	48.04	4.15	54.90
240	20	50.00	4.73	56.86
270	20	50.00	5.42	56.86
300	20	50.00	6.12	56.86

● เกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันสูงสุด 6 bar_g

กำหนด

ts = 50

Vs = 6.76

time (sec)	pressure (bar _g)	volume (cm ³)	(ts-t)/(Vs-V) (sec/cm ³)	(Vs+V) (cm ³)
0	0	0.00	7.39	6.76
23	3	0.20	4.11	6.96
34	4	2.45	3.71	9.22
43	5	4.90	3.76	11.67
50	6	6.76	#DIV/0!	13.53
56	6	9.31	2.35	16.08
64	6	12.55	2.42	19.31
70	6	14.90	2.46	21.67
78	6	17.75	2.55	24.51
87	6	20.59	2.68	27.35
95	6	22.75	2.82	29.51
109	6	25.29	3.18	32.06
125	6	27.45	3.63	34.22
140	6	29.61	3.94	36.37
165	6	31.86	4.58	38.63
201	6	34.31	5.48	41.08
229	6	35.29	6.27	42.06
248	6	35.29	6.94	42.06
270	6	35.29	7.71	42.06

● เกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันสูงสุด 10 bar_g

กำหนด

ts = 44 Vs = 8.73

time (sec)	pressure (bar _g)	volume (cm ³)	(ts-t)/(Vs-V) (sec/cm ³)	(Vs+V) (cm ³)
0	0	0.00	5.04	8.73
22	4	0.20	2.58	8.92
30	6	2.45	2.23	11.18
38	8	4.90	1.57	13.63
44	10	8.73	#DIV/0!	17.45
52	10	12.25	2.27	20.98
60	10	15.49	2.37	24.22
65	10	17.45	2.41	26.18
72	10	20.20	2.44	28.92
79	10	22.55	2.53	31.27
86	10	25.10	2.57	33.82
96	10	28.04	2.69	36.76
104	10	29.90	2.83	38.63
116	10	32.16	3.07	40.88
130	10	34.31	3.36	43.04
152	10	36.76	3.85	45.49
177	10	38.24	4.51	46.96
207	10	39.22	5.35	47.94
230	10	39.22	6.10	47.94
260	10	39.22	7.08	47.94
280	10	39.22	7.74	47.94

● เกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันสูงสุด 15 bar_g

กำหนด

ts = 41 Vs = 9.61

time (sec)	pressure (bar _g)	volume (cm ³)	(ts-t)/(Vs-V) (sec/cm ³)	(Vs+V) (cm ³)
0	0	0.00	4.27	9.61
21	5	0.20	2.13	9.80
29	8	2.45	1.68	12.06
35	11	4.90	1.28	14.51
41	15	9.61	#DIV/0!	19.22
50	15	14.61	1.80	24.22
60	15	19.71	1.88	29.31
65	15	21.96	1.94	31.57
71	15	24.80	1.97	34.41
76	15	26.96	2.02	36.57
82	15	29.61	2.05	39.22
93	15	33.92	2.14	43.53
101	15	36.76	2.21	46.37
110	15	39.22	2.33	48.82
120	15	41.67	2.46	51.27
133	15	44.12	2.67	53.73
165	15	46.08	3.40	55.69
184	15	47.06	3.82	56.67
220	15	48.04	4.66	57.65
240	15	48.04	5.18	57.65
280	15	48.04	6.22	57.65

● เกรด RAYPOL 3008 ที่ความดันสูงสุด 20 bar_g

กำหนด

ts = 39 Vs = 10.29

time (sec)	pressure (bar _g)	volume (cm ³)	(ts-t)/(Vs-V) (sec/cm ³)	(Vs+V) (cm ³)
0	0	0.00	3.79	10.29
21	8	0.20	1.78	10.49
28	12	2.45	1.40	12.75
32	15	4.90	1.30	15.20
39	20	10.29	#DIV/0!	20.59
46	20	14.71	1.59	25.00
54	20	19.31	1.66	29.61
59	20	22.06	1.70	32.35
65	20	25.10	1.76	35.39
73	20	29.22	1.80	39.51
84	20	34.51	1.86	44.80
90	20	36.76	1.93	47.06
97	20	39.22	2.01	49.51
105	20	41.67	2.10	51.96
114	20	44.12	2.22	54.41
128	20	46.57	2.45	56.86
144	20	49.02	2.71	59.31
160	20	50.00	3.05	60.29
173	20	50.98	3.29	61.27
187	20	51.47	3.59	61.76
205	20	51.96	3.98	62.25
230	20	51.96	4.58	62.25
260	20	51.96	5.30	62.25

ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณหาค่าความต้านทานของเค้ก (α) ความต้านทานของตัวกรอง (R_m) และ ปริมาณต่อพื้นที่ต่อเวลาของฟิลเตรทที่กรองได้

- ใช้ฟิลเตรทของเค้กได้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003 ความดันสูงสุด 6 bar_g เป็นตัวอย่างการคำนวณสำหรับการกรองที่ความดันคงที่ (constant pressure filtration) และเค้กเป็นแบบอัดตัวไม่ได้ (incompressible cake)

สมการที่ใช้คือ

$$\frac{(t - t_s)}{(V - V_s)} = \frac{\alpha \mu C (V + V_s)}{2 A^2 \Delta P} + \frac{\mu R_m}{A \Delta P} \dots\dots\dots (2.16)$$

โดย

t, t _s	=	คาบเวลา (ที่ความดันคงที่)	(sec)
V, V _s	=	ปริมาณ filtrate	(m ³)
α	=	ความต้านทานจำเพาะของเค้ก	(m/kg)
μ	=	dynamic viscosity of liquid	(Pa sec) หรือ (kg/m/s)
C	=	mass per unit volume of filtrate	(kg/m ³) วัดจากการทดลอง
	=	น้ำหนัก cake แห้ง/ปริมาตร filtrate	
A	=	พื้นที่การกรอง (surface area)	(m ²) วัดจากการทดลอง
ΔP	=	driving pressure	(Pa) วัดจากการทดลอง
R _m	=	ความต้านทานต่อการไหลผ่านตัวกรอง	(m ⁻¹)

หา C จาก slurry หรือ suspension ที่ใช้ทดลอง

น้ำหนักเค้กแห้ง+ Polyol	=	25.59 g	จากการทดลอง
น้ำหนักเค้กแห้ง	=	10.98 g	วัดจากการอบแห้ง (A)
น้ำหนัก Polyol	=	14.61 g	(B)
(A)/(B) C suspension	=	766.57 Kg/m ³	(ความหนาแน่นของ polyol = 1.02 g/cm ³)
Viscosity	=	0.515 Pa.sec	

หาพื้นที่ในการกรอง

ผ้ากรองเป็นชนิด polyethylene เส้นผ่าศูนย์กลาง 6.5 cm. ขนาด 25 μ

สูตร

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{22 \cdot 6.5^2}{7 \cdot 4 \cdot 100^2}$$

$$A = 0.00332 \text{ m}^2$$

Hand Filter ที่ทดลองมีพื้นที่ในการกรองเพียงด้านเดียว ดังนั้น

$$A = 0.00332 \text{ m}^2$$

จากรูปที่ 4.5 จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(t_s - t)/(V_s - V)$ กับ $(V_s + V)$ สำหรับผลิตภัณฑ์ RAYPOL 3003 ที่ความดันสูงสุด 6 bar_g คือ

$$y = 0.0346x + 0.1994$$

$$\text{ความชัน (slope)} = 0.0346$$

$$= \alpha \mu C / 2 A^2 \Delta p$$

$$\text{จุดตัดแกน y} = 0.1994$$

$$= \mu R_m / A \Delta p$$

$$\alpha = 0.0346 \cdot 2 A^2 \Delta P / \mu C$$

$$= \frac{0.0346 \text{ sec/cm}^6 \cdot 2 \cdot (0.00332)^2 \text{ m}^4 \cdot 6 \text{ bar}_g \cdot 10^5 \text{ N/m}^2/\text{bar}_g \cdot 10^{12} \text{ cm}^6/\text{m}^6}{(515 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}^2 \cdot \text{sec} \cdot 766.57 \text{ kg/m}^3)}$$

$$= 1.159 \times 10^9 \text{ m/kg}$$

$$R_m = 0.1994 \cdot A \Delta P / \mu$$

$$= \frac{0.1994 \text{ sec/cm}^3 \cdot 0.00332 \text{ m}^2 \cdot 6 \text{ bar}_g \cdot 10^5 \text{ N/m}^2/\text{bar}_g \cdot 10^6 \text{ cm}^3/\text{m}^3}{(515 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}^2 \cdot \text{sec})}$$

$$= 7.712 \times 10^8 \text{ m}^{-1}$$

หาเวลาในการกรองฟิลเตอร์เค้ก 1 m^3 เมื่อกำหนดพื้นที่การกรองเท่ากับ 0.00332 m^2 จากสมการ (2.16) ถ้ากำหนด $t_s = 0 \text{ sec}$ และ $V_s = 0 \text{ cm}^3$ จะได้

$$\frac{t}{V} = \frac{\alpha \mu C (V)}{2 A^2 \Delta P} + \frac{\mu R_m}{A \Delta P}$$

เมื่อ $V = 1 \text{ lit}$ จะได้

$$\begin{aligned} t &= \frac{\alpha \mu C V^2}{2 A^2 \Delta P} + \frac{\mu R_m V}{A \Delta P} \\ &= \frac{1.159 \times 10^8 \text{ m/kg} \cdot 515 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2 \cdot \text{sec} \cdot 766.57 \text{ kg/m}^3 \cdot (1/1000)^2 \text{ m}^6}{2 \cdot (0.00332)^2 \text{ m}^4 \cdot 6 \text{ bar}_g \cdot 10^5 \text{ N/m}^2/\text{bar}_g} + \frac{515 \text{ E-3 N/m}^2 \cdot \text{sec} \cdot 7.712 \times 10^8 \text{ m}^{-1} \cdot (1/1000) \text{ m}^3}{0.00332 \text{ m}^2 \cdot 6 \text{ bar}_g \cdot 10^5 \text{ N/m}^2/\text{bar}_g} \\ &= 3.460 \times 10^4 + 199.4 \text{ sec} = 577.99 \text{ min} \\ &= 9.67 \text{ hr} \end{aligned}$$

ถ้าเปลี่ยน t เป็น $1 \text{ hr.} = 3600 \text{ sec}$. หาปริมาณฟิลเตอร์ที่กรองได้ใน 1 m^2

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad \frac{t}{V} &= \frac{\alpha \mu C (V)}{2 A^2 \Delta P} + \frac{\mu R_m}{2 A^2 \Delta P} \\ t &= \frac{\alpha \mu C (V/A)^2}{2 \Delta P} + \frac{\mu R_m (V/A)}{\Delta P} \\ 3600 &= \frac{1.159 \times 10^9 \cdot 515 \times 10^{-3} \cdot 766.57 \cdot (V/A)^2}{2 \cdot 6 \cdot 10^5} + \frac{515 \times 10^{-3} \cdot 7.712 \times 10^8 \cdot (V/A)}{6 \cdot 10^5} \\ 3600 &= 381,293 (V/A)^2 + 661.94 (V/A) \\ (V/A) &= 0.0963 \text{ m}^3/\text{m}^2 \\ &= 0.0963 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot 1020 \text{ kg/m}^3 \\ &= 98.23 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

ซึ่งเป็นปริมาตรของ polyol หรือฟิลเตอร์ที่กรองได้ผ่านพื้นที่ตัวกรอง 1 m^2 ในเวลา 1 hr

ภาคผนวก ค การออกแบบเครื่องกรอง

1.) การหาปริมาตรของเค้กและจำนวนแผ่นกรองที่ต้องใช้

การคำนวณหาปริมาตรรวมของฟิลเตอร์เค้กที่เกิดขึ้นต่อแบทช์ที่ผลิตและการหาจำนวนแผ่นกรองที่ต้องใช้เพื่อรีดเอา polyol ออกจะอาศัยข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองและจากการตรวจวัดจริงในโรงงานผลิตเป็นพื้นฐาน

ข้อมูลที่มี

- ใช้ข้อมูลอ้างอิงของการผลิต RAYPOL 3003
 1. ความดันคงที่ที่เลือกใช้งาน = 10 barg
 2. ปริมาณฟิลเตอร์เค้กต่อแบทช์ = 700 kg
 - เป็นเค้กใต้แผ่นกรอง = 150 kg
 - เป็นเค้กติดแผ่นกรอง = 550 kg
 3. ความหนาแน่นของ polyol = 1020 kg/m³
 4. ความหนาแน่นของของแข็ง (dry solid) = 2160 kg/m³
 5. สัดส่วนของแข็งแห้ง (dry solid content) = 42.91 %w/w (จากตารางที่ 4.2) เริ่มต้นในเค้กใต้แผ่นกรอง
 6. สัดส่วนของแข็งแห้ง (dry solid content) = 48.97 %w/w (จากตารางที่ 4.7) เริ่มต้นในเค้กติดแผ่นกรอง
 7. สัดส่วนของแข็งแห้ง (dry solid content) = 74.84 %w/w หลังกรองในเค้กใต้แผ่นกรอง(จากการนำฟิลเตอร์เค้กหลังอัดด้วยความดัน 10 bar_g ไปอบแห้ง)
 8. สัดส่วนของแข็งแห้ง (dry solid content) = 68.30 %w/w หลังกรองในเค้กติดแผ่นกรอง (จากการนำฟิลเตอร์เค้กหลังอัดด้วยความดัน 10 bar_g ไปอบแห้ง)

1.1) การคำนวณ

เนื่องจากค่า α และ R_m ของเค้กได้แผ่นกรองและติดแผ่นกรองมีความแตกต่างกันมาก ($\alpha \sim 2$ เท่า และ $R_m \sim 7 - 8$ เท่า) ดังนั้นในการคำนวณเพื่อออกแบบระบบกรองจะคิดเป็น 2 กรณีคือ กรณีแรกสมมุติว่าเป็นฟิลเตอร์เค้กได้แผ่นกรองทั้งหมด และกรณีที่สองสมมุติว่าเป็นฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองทั้งหมด

1.1.1) กรณีที่ 1 : สมมุติเป็นฟิลเตอร์เค้กได้แผ่นกรองทั้งหมด

● ก่อนกรอง

- ปริมาณของของแข็งแห้งเริ่มต้นในเค้กได้แผ่นกรองทั้งหมด $= \frac{700 \times 42.91}{100} \text{ kg}$
 $= 300.37 \text{ kg}$
- คิดเป็นปริมาณ polyol เริ่มต้นสุทธิ $= (700 - 300.37) \text{ kg}$
 $= 399.63 \text{ kg}$

● หลังกรอง

- ปริมาณของของแข็งแห้งสุทธิเท่าเดิม $= 300.37 \text{ kg}$
- ปริมาณ polyol หลังกรองสุทธิ $= \frac{(100 - 74.84) \times 300.37}{74.84} \text{ kg}$
 $= 100.98 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นปริมาตรรวมของฟิลเตอร์เค้ก} &= \frac{300.37}{2160} + \frac{100.98}{1020} \text{ m}^3 \\ &= 0.238 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

จากมาตรฐานฟิลเตอร์เพรสที่มีขายทั่วไป จะเลือกแผ่นกรองขนาด 800 มม. x 800 มม. ความลึกของ chamber ขนาด 25 มม. เป็นแผ่นกรองแบบสเตนเลส (stainless steel) หรือ Aluminum Silumin (Al Si 10 Mg)

$$\begin{aligned}
 - \text{พื้นที่การกรองต่อ chamber โดยประมาณ} &= (0.8 \times 0.8) \times 2 \text{ m}^2 \\
 &= 1.28 \text{ m}^2 \\
 - \text{ปริมาตรของเค้กต่อ chamber โดยประมาณ} &= \frac{(0.8 \times 0.8) \times 25 \text{ m}^3}{1000}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น จำนวน chamber ที่ต้องใช้} &= \frac{0.238}{0.016} \text{ chamber} \\
 &= 14.875 \text{ chamber} \\
 &\approx 15 \text{ chamber}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{คิดเป็นพื้นที่ในการกรองทั้งหมด} &= (0.8 \times 0.8) \text{ m}^2 \times \left(\frac{15 \text{ chamber} \times 2 \text{ side}}{\text{side chamber}} \right) \\
 &= 19.2 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

1.1.2) กรณีที่ 2 : สมมติเป็นฟิลเตอร์เค้กติดแผ่นกรองทั้งหมด

● ก่อนกรอง

$$\begin{aligned}
 - \text{ปริมาณของของแข็งแห้งเริ่มต้นในเค้กติดแผ่นกรองทั้งหมด} &= \frac{700 \times 48.97}{100} \text{ kg} \\
 &= 342.79 \text{ kg} \\
 - \text{คิดเป็นปริมาณ polyol เริ่มต้นสุทธิ} &= (700 - 342.97) \text{ kg} \\
 &= 357.21 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

● หลังกรอง

$$\begin{aligned}
 - \text{ปริมาณของของแข็งแห้งสุทธิเท่าเดิม} &= 342.79 \text{ kg} \\
 - \text{ปริมาณ polyol หลังกรองสุทธิ} &= \frac{(100 - 68.30) \times 342.79}{68.30} \text{ kg} \\
 &= 159.10 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

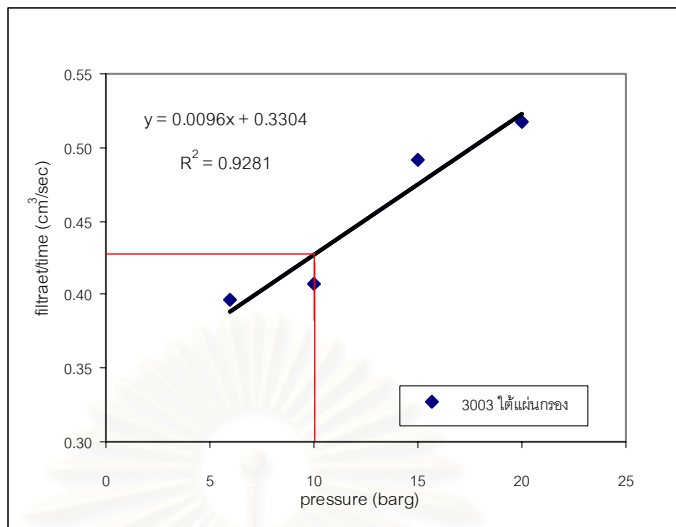
$$\begin{aligned}
 \text{คิดเป็นปริมาตรรวมของฟิลเตอร์เค้ก} &= \frac{342.79}{2160} + \frac{159.10}{1020} \text{ m}^3 \\
 &= 0.315 \text{ m}^3 \\
 \therefore \text{จำนวน chamber ที่ต้องใช้} &= \frac{0.315}{0.016} \text{ chamber} \\
 &= 19.67 \text{ chamber} \\
 &\simeq 20 \text{ chamber}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{คิดเป็นพื้นที่ในการกรองทั้งหมด} &= \frac{(0.8 \times 0.8) \text{ m}^2}{\text{side}} \times \left(\frac{20 \text{ chamber} \times 2 \text{ side}}{\text{chamber}} \right) \\
 &= 25.6 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

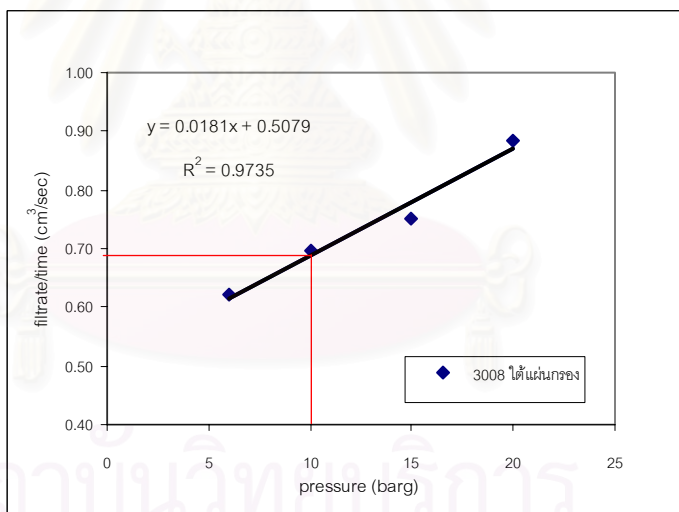
1.2) การหาอัตราการไหลของฟิลเตอร์สูงสุดของสภาวะการกรอง

จากกราฟในรูปที่ 4.1, 4.3, 4.11 และ 4.13 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับฟิลเตอร์ที่ได้ ณ ความดันต่างๆ จากฟิลเตอร์เค้กเกรด RAYPOL 3003 และเกรด RAYPOL 3008 ที่เก็บจากได้แผ่นกรองและติดแผ่นกรองของเครื่องกรองแบบใบ หาความชันของกราฟในช่วงเวลา t_s ถึง t และ V_s ถึง V ของแต่ละสภาวะความดัน จากนั้น นำค่าความชันที่ได้มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับความดันลดเพื่อหาอัตราการไหลของฟิลเตอร์ที่สูงที่สุดของแต่ละสภาวะความดัน ซึ่งกราฟที่ได้แสดงในรูปภาคผนวก ค1 – ภาคผนวก ค4

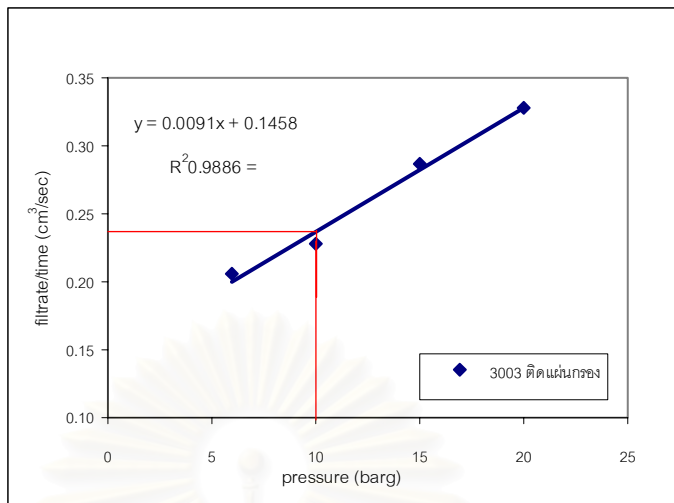
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



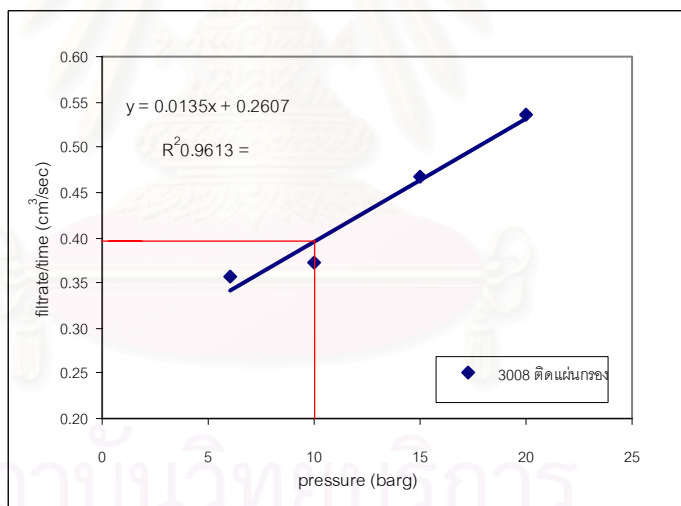
รูปภาคผนวก ค1 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกกับอัตราการไหลสูงสุดของฟิลเตรทได้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3003



รูปภาคผนวก ค2 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกกับอัตราการไหลสูงสุดของฟิลเตรทได้แผ่นกรองเกรด RAYPOL 3008



รูปภาคผนวก ค3 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกกับอัตราการไหล
สูงสุดของฟิลเตรทติดแผ่นกรอง เกรด RAYPOL 3003



รูปภาคผนวก ค4 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกกับอัตราการไหล
สูงสุดของฟิลเตรทติดแผ่นกรอง เกรด RAYPOL 3008

เนื่องจากตัวอย่างฟิลเตอร์เค้กเป็น suspension ที่มีความหนืด มีฤทธิ์ทำให้วัสดุสึกกร่อน (abrasive) และมีสัดส่วนของของแข็งในปริมาณที่ค่อนข้างสูง อีกทั้งมีความต้องการใช้งานปั๊มด้านจ่ายออกด้วยความดันคงที่ประมาณ 10 bar_g เท่านั้น (ไม่เกิน 15 bar_g) เพราะถ้าความดันสูงเกินไป

วัสดุที่นำมาทำแผ่นกรองจะหายากและมีราคาแพง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติดังกล่าวแล้วจะพบว่าปั๊มชนิด screw และแผ่นกรองที่เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) หรือ Aluminum Silumin (Al Si 10 Mg) มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน

- **กรณีของเค้กใต้แผ่นกรอง**

จากรูปภาคผนวก ค1 ที่ความดัน 10 bar_g จะได้ว่า

$$\text{พื้นที่การกรองขนาด } 0.00332 \text{ m}^2 \text{ อัตราการไหลของฟิลเตรทสูงสุด} = \frac{0.4264 \text{ cm}^3}{\text{sec}}$$

$$\begin{aligned} \text{ถ้าพื้นที่การกรองมีขนาด } 19.2 \text{ m}^2 \text{ อัตราการไหลของฟิลเตรทสูงสุด} &= \frac{0.4264 \times 19.2 \text{ cm}^3}{0.00332 \text{ sec}} \\ &= \frac{2465.93 \text{ cm}^3}{\text{sec}} \times \frac{3600 \text{ sec}}{1 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \\ &= \frac{8.88 \text{ m}^3}{\text{hr}} \end{aligned}$$

- **กรณีของเค้กติดแผ่นกรอง**

จากรูปภาคผนวก ค3 มีความดัน 10 bar_g จะได้ว่า

$$\text{พื้นที่การกรอง } 0.00332 \text{ m}^2 \text{ อัตราการไหลของฟิลเตรทสูงสุด} = \frac{0.2368 \text{ cm}^3}{\text{sec}}$$

$$\begin{aligned} \text{ถ้าพื้นที่การกรอง } 25.6 \text{ m}^2 \text{ อัตราการไหลของฟิลเตรทสูงสุด} &= \frac{0.2368 \times 25.6 \text{ cm}^3}{0.00332 \text{ sec}} \\ &= \frac{1825.93 \text{ cm}^3}{\text{sec}} \times \frac{3600 \text{ sec}}{1 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \\ &= \frac{6.57 \text{ cm}^3}{\text{hr}} \end{aligned}$$

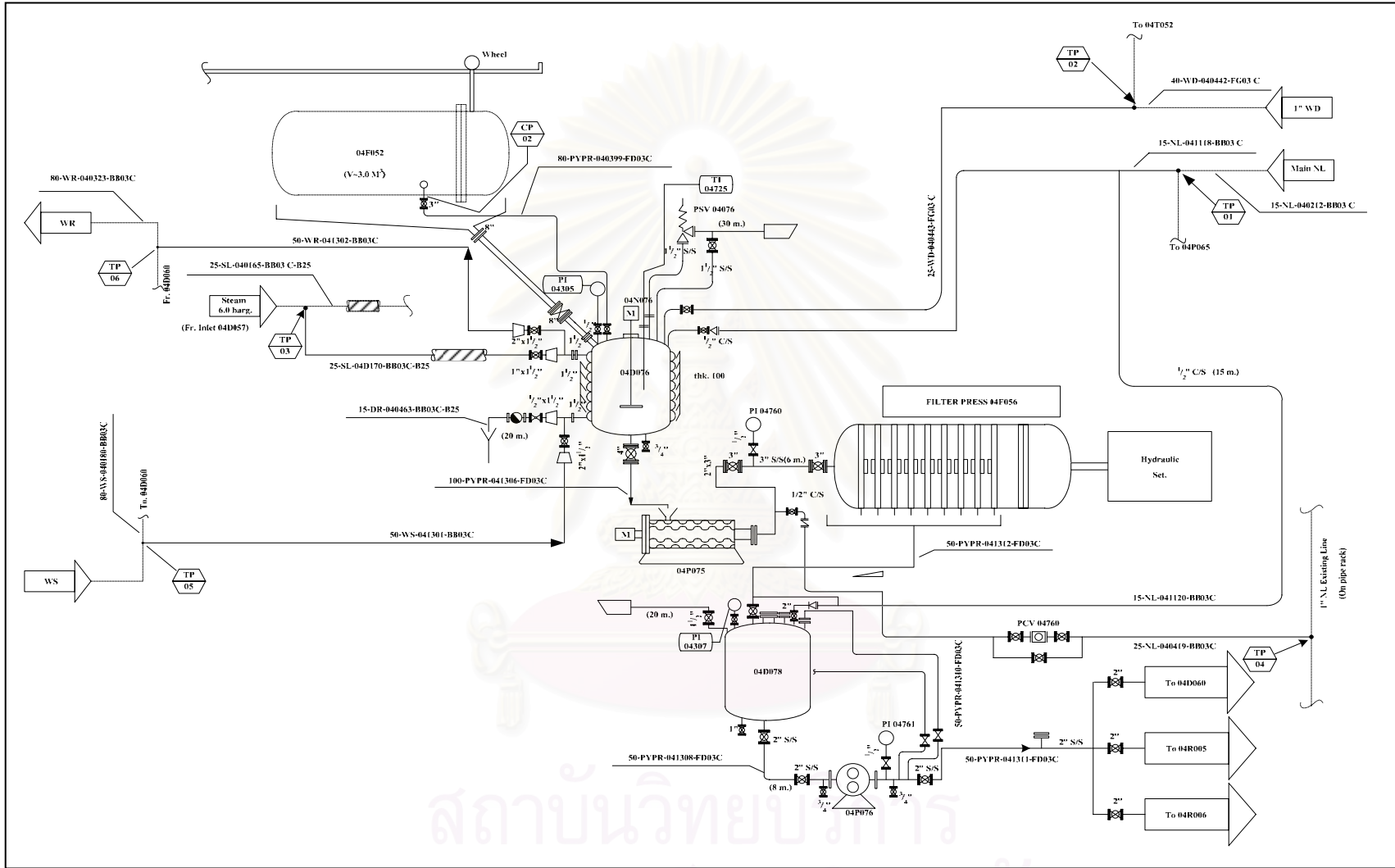
∴ ขนาดอัตราการไหลของฟิลเตรทอยู่ในช่วง $\frac{6.57 - 8.88 \text{ m}^3}{\text{hr}}$

เมื่อทราบช่วงอัตราการไหลของฟิลเตรทก็สามารถกำหนดขนาดของปั๊มได้ทันที โดยพิจารณา
 ค่าด้านสูงเป็นหลัก ซึ่งในที่นี้จะเลือกขนาดปั๊มที่โตกว่าที่คำนวณได้เล็กน้อย และใกล้เคียงกับรุ่นที่มี
 จำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด นั่นคือ เลือกปั๊มใช้งานขนาด $\sim 9.0 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$

1.3) สรุปสภาวะการทำงานของปั๊มทั่วไป

- | | |
|----------------------------|---|
| - อุณหภูมิพื้นที่ทำงาน | อุณหภูมิห้อง (15-40 °C) |
| - pumping medium | Solids : $\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MgO} : 2.5\text{SiO}_2$
Liquid : Flexible Polyether Polyol |
| - ความจุของปั๊ม (capacity) | 9.0 m ³ /h |
| - อุณหภูมิของตัวกลาง | 80 - 100 °C |
| - ความหนืดของตัวกลาง | 400 - 30000 CPS |
| - ความดันด้านออก | 10 bar _g |

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปภาคผนวก ค5: แสดง P&I DIAGRAM สำหรับโครงการติดตั้งระบบการนำกลับคืนโพลีเอทอริโพลีออกซินิดนุ่่มที่คงค้างในเครื่องกรองแบบใบ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายทองใบ อุดหนุน เกิดวันที่ 20 ตุลาคม พ.ศ. 2510 ที่อำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2533 เริ่มทำงานที่บริษัท ทีพีไอ โพลีเอทิล จำกัด ตั้งแต่จบการศึกษาจนกระทั่งปัจจุบัน ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (ภาคนอกราชการ) ที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย