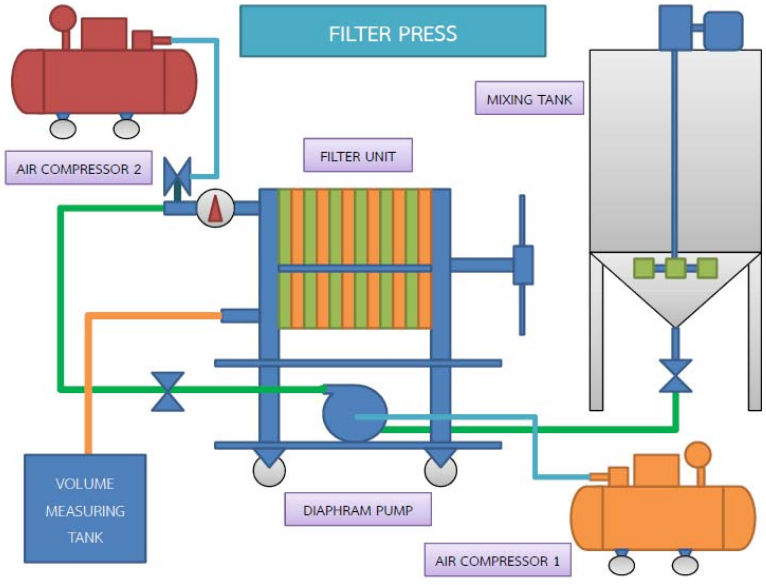
การวิเคราะห์หาความเหมาะสมของการทดลองสำหรับการศึกษา

ชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ

นายสนธิ วาราชนนท์

วิศวกรปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล



การวิเคราะห์หาความเหมาะสมของการทดลองสำหรับการศึกษาชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ

โดย

นายสนธิ วาราชนนท์

ตำแหน่ง วิศวกร

สังกัด ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล

กิตติกรรมประกาศ

งานวิเคราะห์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปริตตา ประยูรยงค์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองของนักศึกษาที่ได้ทำการทดลองกับชุดทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ เมื่อตอนที่อาจารย์ยังปฏิบัติงานสอนเป็นอาจารย์ประจำที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ให้กับผู้วิเคราะห์เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากการปฏิบัติการทดลองของนักศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ได้ช่วยสนับสนุนและอนุญาตให้ผู้วิเคราะห์ได้ศึกษาและเก็บข้อมูลการทดลองเพิ่มเติมแล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลจนสามารถหาแนวทางการแก้ปัญหาได้

ขอกราบขอบพระคุณงานทรัพยากรบุคคล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้การช่วยเหลือชี้แนะแนวทางการทำงานวิเคราะห์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการขอตำแหน่งงานที่สูงขึ้นของบุคลากรภายในส่วนงานได้อย่างดีเยี่ยม

คุณค่าหรือประโยชน์อันเกิดจากงานวิเคราะห์ฉบับนี้ ผู้วิเคราะห์ขอน้อมบูชาแด่พระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาและอบรมสั่งสอน แนะนำ ให้การสนับสนุนและกำลังใจอย่างดียิ่งเสมอมา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานที่ได้รับมอบหมายและรับผิดชอบของภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล สืบต่อไป

นายสนธิ วาราชนนท์
วิศวกรปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

คำนำ

งานวิเคราะห์ เรื่อง การวิเคราะห์หาความเหมาะสมของการทดลองสำหรับการศึกษาชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบที่ได้จัดทำนี้มีความมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติการทดลองกับชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ เพื่อหาแนวทางแก้ไขปรับปรุงชุดทดลองและกระบวนการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการพัฒนาการเรียนการสอนของภาควิชาวิศวกรรมเคมีอย่างต่อเนื่องและทันต่อการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีปัจจุบัน เนื่องจากชุดทดลองเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับการเรียนการสอนทางวิศวกรรมศาสตร์ที่ทำให้นักศึกษามีประสบการณ์และพัฒนาทักษะพร้อมองค์ความรู้พื้นฐานที่ดี โดยเมื่อนักศึกษาสำเร็จการศึกษาก็จะเป็นบัณฑิตด้านวิศวกรรมศาสตร์ที่มีความรู้ ความเข้าใจ ทักษะการคิดวิเคราะห์สถานการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิบัติการและวางแผนดำเนินการจัดการของระบบที่หลากหลายซับซ้อนได้

ผู้วิเคราะห์หวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิเคราะห์ฉบับนี้จะเป็นแนวทางสำหรับการจัดการความบกพร่องของการใช้งานชุดทดลองทางวิศวกรรมเคมีสำหรับการเรียนการสอน และคงเป็นประโยชน์กับผู้ที่ปฏิบัติงานดูแลชุดฝึกปฏิบัติการทดลองของห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ทั้งปัจจุบันและอนาคตข้างต่อไป

นายสนธิ วาราชนนท์
วิศวกรปฏิบัติการ
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญภาพ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิเคราะห์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์	2
1.3 ขอบเขตของการวิเคราะห์	2
1.4 ประโยชน์ของการวิเคราะห์ต่อการพัฒนางาน	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี งานวิเคราะห์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การกรอง (Filtration)	4
2.2 กลไกการกรอง (Filtration mechanism)	4
2.3 ตัวกลางกรอง (Filtering medium)	5
2.4 เครื่องกรอง (Filter machine)	6
2.5 การคำนวณเกี่ยวกับการกรอง	8
2.6 วัสดุสิ่งทอสำหรับการกรอง	16
2.7 ปั๊มไดอะแฟรม (Diaphram pump)	18
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีการวิเคราะห์	25
3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	25
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	25
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล	25
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	33
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์	38
4.1 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของวัสดุสำหรับการทดลอง	38
4.2 ผลการวิเคราะห์ผ้ากรองสำหรับเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ	39
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะจำเพาะของอุปกรณ์ส่วนดูดจ่ายของผสม (เครื่องอัดอากาศ และปั๊มไดอะแฟรม)	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ	49
5.1 สรุปผลวิเคราะห์	49
5.2 ข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก	52

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้าที่
2.1 กลไกการกรองของของผสมระหว่างของเหลวและของแข็งผ่านตัวกลางกรอง	5
2.2 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความดันที่เกิดขึ้นระหว่างการกรอง	9
2.3 ส่วนประกอบของปั๊มไดอะแฟรม	19
2.4 หลักการทำงานของปั๊มไดอะแฟรม	20
2.5 กราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรม	21
2.6 กราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรมที่แสดงค่าอัตราการป้อนของอากาศสำหรับขับเคลื่อนปั๊มในหน่วย SCFM และหน่วย m^3/min	22
3.1 การประกอบเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบสำหรับการศึกษาทดลอง	26
3.2 เครื่องชั่งและการชั่งเพื่อเตรียมวัสดุตัวอย่างสำหรับการทดลองศึกษาการกรอง	27
3.3 การกวนผสมวัสดุตัวอย่างกับน้ำภายในถังสำหรับผสมสำหรับการทดลองศึกษาการกรอง	27
3.4 ชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ	31
3.5 แผนผังแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์สำหรับเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ	31
3.6 ปั๊มไดอะแฟรมสำหรับเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ	32
3.7 ปั๊มไดอะแฟรมสำหรับเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ ยี่ห้อ WILDEN PUMP รุ่นของปั๊ม M2	32
3.8 ขนาดภายนอกสำหรับปั๊มไดอะแฟรมที่เทียบเคียงกับปั๊มไดอะแฟรมเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ จากบริษัท WILDEN (ผู้ผลิตเดียวกันกับปั๊มของชุดทดลอง)	33
3.9 กราฟสมรรถนะ (Performance Curve) สำหรับปั๊มไดอะแฟรมที่เทียบเคียงกับปั๊มไดอะแฟรมเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ จากบริษัทผลิตเดียวกัน	33

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
3.10 แผ่นอัด กรอบ และผ้ากรองสำหรับเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ	34
3.11 เครื่องอัดอากาศสำหรับเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ	34
4.1 ลักษณะผ้ากรองของเครื่องกรองแรงกันชนิดแผ่นอัดและกรอบ	40
4.2 การหาค่าความดันความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มและอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มจากผลการทดลองจากการกรองผงทัลคัม	41
4.3 การหาค่าความดันความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มและอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มจากผลการทดลองจากการกรองผงพีวีซี	42
4.4 การหาค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มและอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มจากจากค่าคุณสมบัติจำเพาะของชุดทดลองและคุณสมบัติจำเพาะของปั๊มไดอะแฟรม	43
4.5 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ของความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรมและความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรม (สมการความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบเชิงเส้น)	44
4.6 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ของความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรมและความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรม (สมการความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบโพลิโนเมียลอันดับ 2)	44
4.7 กราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรมสำหรับการอธิบายอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรมที่สัมพันธ์กับอัตราการไหลของฟิลเตรท	47

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ชนิดตัวกรองหรือไส้กรองที่ผลิตจากวัสดุสิ่งทอและสมบัติการกักเก็บอนุภาค 16

2.2 เส้นใยและคุณสมบัติของเส้นใยที่จะนำไปทำเป็นตัวกรองหรือไส้กรอง 17

2.3 ผลต่อจำนวนเกลียวในเส้นด้ายต่ออัตราการไหล 18

2.4 ผลของโครงสร้างลายผ้าที่มีต่อคุณสมบัติของตัวกรองสารที่ผลิตจากผ้า 18

2.5 ค่าพารามิเตอร์ของ LMT Dimensional Analysis 24

3.1 ข้อมูลการทดลองการกรองจากชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ โดยวัสดุสำหรับการทดลอง คือ ผงทัลคัม 28

3.2 ข้อมูลการทดลองการกรองจากชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ โดยวัสดุสำหรับการทดลอง คือ ผงพีวีซี 29

3.3 ข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุสำหรับการทดลอง 29

3.4 ข้อมูลคุณสมบัติจำเพาะของชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ 30

4.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุทางกายภาพและคุณสมบัติการอัดตัวได้สำหรับการกรองที่ได้จากการทดลอง 38

4.2 อัตราการไหลของฟิลเตรทที่ช่วงเวลาต่างๆ ของการกรองผงทัลคัม 40

4.3 อัตราการไหลของฟิลเตรทที่ช่วงเวลาต่างๆ ของการกรองผงพีวีซี 41

4.4 การเปรียบเทียบค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรมจากความสัมพันธ์เชิงเส้นและความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล 45

4.5 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรมแบบเชิงเส้นและแบบโพลิโนเมียล 46

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุผลความจำเป็นของการวิเคราะห์

การจัดการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมศาสตร์ของประเทศไทยนับว่ามีมาตรฐานทางการศึกษาระดับโลก เนื่องจากในปัจจุบันได้เกิดความร่วมมือด้านงานวิจัยและวิชาการระหว่างมหาวิทยาลัยของประเทศไทยและมหาวิทยาลัยชั้นนำต่างประเทศอย่างมากมาย มีการส่งนักศึกษาและบุคคลากรไปศึกษาดูงานต่างประเทศเพื่อนำองค์ความรู้มาพัฒนาการเรียนการสอนและการวิจัยให้มีความก้าวหน้าเพื่อประโยชน์ของประเทศ

ถ้ามาพิจารณาองค์ประกอบสำคัญของการศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตร์ที่ต้องพัฒนาให้ทันกับกระแสของการเปลี่ยนแปลงของโลกเพื่อความร่วมมือตามที่กล่าวมาแล้ว ยังจะต้องเน้นที่บุคคลที่เกี่ยวข้องกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพของการเรียนการสอน คือ อาจารย์ นักศึกษา เจ้าหน้าที่สนับสนุนและสื่อการเรียนการสอนที่สนับสนุนการเรียนเพื่อเพิ่มพูนความเข้าใจและประสบการณ์พื้นฐานของนักศึกษา ทั้งหมดนี้จะเป็นกลไกที่ทำให้การศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตร์ของไทยประสบความสำเร็จ

เมื่อบุคคลากรสำหรับการเรียนการสอน คือ อาจารย์ และเจ้าหน้าที่สนับสนุนมีความพร้อมแล้วส่วนสำคัญที่เป็นสื่อการถ่ายทอดองค์ความรู้ คือ สื่อการเรียนการสอน ในที่นี้ผู้วิเคราะห์จะกล่าวเน้นถึงชุดทดลองสำหรับการเรียนการสอนเพราะเป็นสิ่งที่ช่วยเสริมสร้างความเข้าใจในหลักการทางทฤษฎีที่ทางอาจารย์ได้สอนกับนักศึกษาเป็นอย่างดี

สำหรับการเรียนการสอนด้านวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี เป็นสาขาวิชาที่มีการเรียนการสอนเกี่ยวกับองค์ความรู้ทางด้านเคมี องค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมพื้นฐาน และกระบวนการผลิตทางด้านอุตสาหกรรมเคมีและอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ด้านสิ่งแวดล้อมล้อม ด้านความปลอดภัย เป็นต้น ในระหว่างการศึกษานักศึกษาจะได้เรียนรู้จากทฤษฎีสู่การปฏิบัติจริงผ่านชุดฝึกปฏิบัติการทดลอง โดยจะแบ่งออกได้เป็นกลุ่มของชุดฝึกปฏิบัติการทดลองดังนี้ คือ กลุ่มกลศาสตร์ของไหล กลุ่มการถ่ายโอนมวลและความร้อน กลุ่มการกลั่นการแยก กลุ่มเทคโนโลยีอนุภาค และกลุ่มควบคุมอัตโนมัติ ส่วนที่ผู้วิเคราะห์จะขอกล่าวเน้นคือชุดฝึกปฏิบัติการทดลองกลุ่มเทคโนโลยีอนุภาค เพราะเป็นส่วนพื้นฐานที่สำคัญของวิศวกรรมเคมี เนื่องจากวิศวกรเคมีจะต้องทำงานเกี่ยวข้องกับการผสม การกรอง และการแยกเพื่อให้ได้สารหรืออนุภาคที่ต้องการสำหรับกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในขั้นตอนต่อไป

ในที่นี้ผู้วิเคราะห์จะกล่าวถึงชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ ซึ่งชุดทดลองนี้เป็นส่วนหนึ่งของชุดทดลองของกลุ่มเทคโนโลยีอนุภาค สำหรับชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบจะมีการศึกษาเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การศึกษาหาขีดจำกัดของอุปกรณ์สำหรับการศึกษาชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ และการศึกษาเปรียบเทียบวัสดุสำหรับการศึกษาการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบเพื่อหาวัสดุที่เหมาะสมที่สุด

จากการที่นักศึกษาได้ศึกษาชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบที่ผ่านมา พบว่าเมื่อมีการปรับเพิ่มหรือลดความดันสำหรับการกรอง ชุดดูดจ่ายของผสมตัวอย่างจะเริ่มมีปัญหาของความเสถียรของการทำงาน เช่น ปั๊มไดอะแฟรมที่ทำหน้าที่ดูดจ่ายของผสมตัวอย่างทำงานไม่คงที่ เนื่องจากแรงดันอากาศจากเครื่องอัดอากาศส่งมามีปริมาณไม่เพียงพอที่จะขับกลไกอย่างต่อเนื่องของปั๊มไดอะแฟรมได้ นอกจากนี้วัสดุที่เป็นของแข็งที่มาผสมกับน้ำสำหรับจำลองเป็นของผสมสำหรับการกรอง เช่น ดินขาวเป็นวัสดุที่มีราคาสูงและหายากหากเทียบกับผงโพลิเมอร์สำหรับอุตสาหกรรมพลาสติก เช่น พีวีซี ที่มีราคาถูกและสามารถหาได้ง่ายกว่า ด้วยเหตุดังกล่าวจึงทำให้เกิดแนวคิดของการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงแนวทางการใช้ชุดทดลองให้มีความเหมาะสมทั้งด้านอุปกรณ์และวัสดุสำหรับการศึกษาทดลองเพื่อให้สอดคล้องกับหลักการทางทฤษฎีและเพิ่มประสิทธิภาพด้านการเรียนการสอนให้ดียิ่งขึ้น ผู้วิเคราะห์จึงได้นำปัญหานี้มาวิเคราะห์ตามเพื่อหาความเหมาะสมของการทดลองสำหรับชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ ซึ่งจะได้ทำให้เกิดการพัฒนาการศึกษาทดลองกับชุดฝึกปฏิบัติการทดลองนี้ให้ดีขึ้นและมีความพร้อมสนับสนุนการเรียนการสอนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์

1.2.1 เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการคำนวณเกี่ยวกับการกรองทางอุตสาหกรรม และศึกษาการกรองจากชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ

1.2.2 เพื่อการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง และหาช่วงการทำงานที่เหมาะสมของอุปกรณ์ของชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ

1.2.3 เพื่อกำหนดแนวทางการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมของชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ

1.3 ขอบเขตของการวิเคราะห์

1.3.1 ศึกษาขั้นตอนการฝึกปฏิบัติการกับชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

1.3.2 วิเคราะห์หาข้อจำกัดของอุปกรณ์สำหรับการศึกษาชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ โดยพิจารณาส่วนชุดดูดจ่ายของผสมที่ประกอบด้วยเครื่องอัดอากาศและชุดกรองสาร (ปั๊มไดอะแฟรมและชุดผ้ากรอง) ซึ่งจะวิเคราะห์จากข้อมูลความดันใช้งานสำหรับการทดลองจริงมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับกราฟและคุณลักษณะจำเพาะของอุปกรณ์เพื่อหาข้อจำกัดของการใช้งานแล้วนำมากำหนดกรอบของการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม

1.3.3 วิเคราะห์หาความเหมาะสมทางวัสดุสำหรับการจำลองของผสมสำหรับการกรองโดยเปรียบเทียบระหว่างผงทัลคัมกับผงพีวีซีด้วยการพิจารณาค่าคุณสมบัติของวัสดุด้านการอัดตัวได้สำหรับการกรอง และพิจารณาค่าคุณสมบัติอื่นๆ ทางวัสดุที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาวัสดุสำหรับการศึกษาชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบทดแทนดินขาวอย่างเหมาะสม

1.3.4 นำเสนอแนวทางปรับปรุงการทดลองและพัฒนาชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบให้มีประสิทธิภาพสำหรับการเรียนการสอนที่ดียิ่งขึ้น

1.4 ประโยชน์ของการวิเคราะห์ต่อการพัฒนางาน

1.4.1 เสริมสร้างความรู้ความเข้าใจการแก้ปัญหาของงานทางด้านวิศวกรรมให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

1.4.2 สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปปรับปรุงพัฒนาการศึกษาชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ

1.4.3 สามารถสร้างรูปแบบและแนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นมาตรฐานสำหรับชุดฝึกปฏิบัติการทดลองทางวิศวกรรมเคมีอื่นได้อย่างดี

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 การกรอง (Filtration) คือ การใช้แรงในการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของไหลโดยใช้ตัวกลาง เช่น ผ้ากรองดักอนุภาคไว้ปล่อยให้ของไหลผ่านไปได้

1.5.2 สเลอรี่ (Slurry) คือ ของผสมที่เกิดจากการนำของแข็งมาผสมกับของเหลวให้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน

1.5.3 เค้ก (Cake) คือ ก้อนของแข็งหรืออนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของผ้ากรอง ไม่สามารถผ่านรูผ้ากรองได้และมาก่อตัวที่ผิวตัวกลางกรองเป็นชิ้นหนาเรื่อยๆ

1.5.4 ตัวกลางกรอง (Filtering Medium) คือ วัสดุที่มีรูพรุนทำหน้าที่กักของแข็งในขณะที่ปล่อยให้ของเหลวไหลผ่านได้

1.5.5 ฟิวเตรท (Filtrate) คือ ของเหลวที่ไหลผ่านตามช่องว่างเล็กๆ ระหว่างอนุภาคของของแข็งจนไปที่ตัวกลางกรอง และไหลผ่านรูพรุนของตัวกลางกรองออกไป

1.5.6 เครื่องกรองแบบกด (Filter Press) คือ อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ผลต่างความดันคร่อมตัวกลางกรองที่มีค่าสูงในการกรอง มักใช้ในการกรองของเหลวหนืดหรืออนุภาคของแข็งขนาดเล็ก

1.5.7 ปั๊มไดอะแฟรม (Diaphragm Pump) คือ เครื่องจักรกลของไหลที่มีลักษณะภายในเป็นกลไลแกนชักคล้ายลูกสูบ โดยด้านปลายของแกนจะมีแผ่นยางหรือพลาสติกที่ยืดหยุ่นได้ เมื่อมีการเคลื่อนที่ของแกนชักเป็นจังหวะก็จะทำให้แผ่นยางหรือพลาสติกดังกล่าวเคลื่อนที่เป็นจังหวะ ซึ่งเมื่อแผ่นยางหรือพลาสติกเคลื่อนที่เป็นจังหวะก็จะเกิดแรงดูดทำให้สามารถลำเลียงของไหลได้

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี งานวิเคราะห์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การกรอง (Filtration)

การกรองเป็นกระบวนการแยกอนุภาคของแข็งที่ผสมหรือปนอยู่ในของไหลให้ออกจากของไหลด้วยวิธีการทางกายภาพหรือทางกล โดยนำส่วนผสมมากรองผ่านตัวกลางกรอง (Filtering medium) ที่มีรูพรุน ตัวกลางกรองจะดักอนุภาคไว้ส่วนของไหลจะไหลผ่านตัวกลางกรองออกไปได้ ทั้งนี้ของไหลอาจเป็นของเหลวหรือแก๊สก็ได้

อนุภาคที่ผสมหรือปนอยู่ในของไหลทั้งในกลุ่มที่มีขนาดเล็กมากในช่วงไมโครเมตรและขนาดใหญ่ ของแข็งบางชนิดมีความแข็งมากและบางชนิดก็อาจมีลักษณะนิ่ม นอกจากนั้นยังมีความหลากหลายในส่วนของรูปร่าง เช่น ทรงกลม และทรงเรขาคณิตอื่นๆ หรืออาจมีรูปร่างไม่แน่นอน ของแข็งบางชนิดอยู่เป็นอิสระไม่ติดกันและบางชนิดก็อยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน

ส่วนผสมที่นำมากรองอาจมีปริมาณของของแข็งผสมอยู่น้อยมากหรือสูงมากก็ได้ หากส่วนผสมที่นำมากรองมีความเข้มข้นต่ำอาจต้องนำไปผ่านกระบวนการบางอย่างเพื่อให้การกรองเกิดขึ้นได้อย่างเร็วมากยิ่งขึ้น เช่น นำไปผ่านการให้ความร้อน นำไปตกผลึก หรือเติมสารช่วยกรอง เช่น เซลลูโลส (Cellulose) หรือไดอะโตมาเชียสเอิร์ธ (Diatomaceous Earth) เป็นต้น ในตอนท้ายของการกรองแยกของแข็งกับของเหลว ช่องว่างเล็กๆ ระหว่างอนุภาคในของแข็งที่กรองได้อาจมีสารละลายของตัวถูกละลายอยู่ หากต้องการกำจัดตัวถูกละลายออกมาทได้โดยการปล่อยน้ำสะอาดหรือสารละลายที่เหมาะสมเข้าไปล้างตัวถูกละลายออกมา

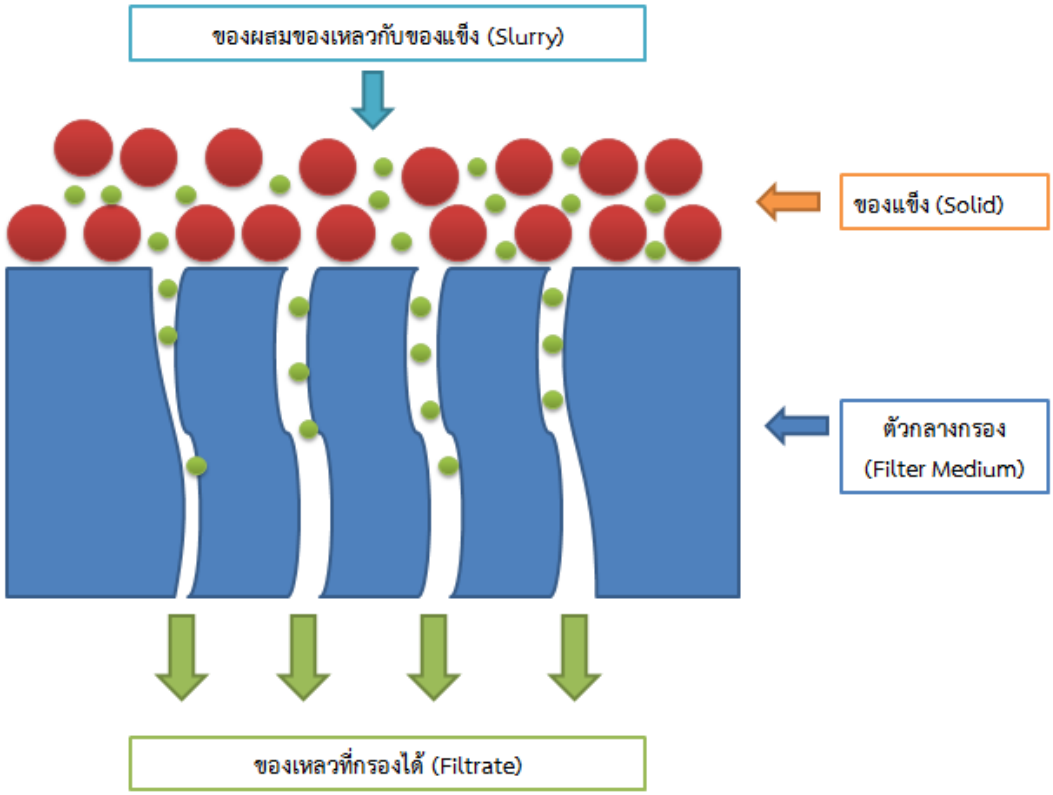
ผลต่างความดันทำให้ของเหลวสามารถไหลไปตามช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งและผ่านรูพรุนของตัวกลางกรองจนไหลออกไปจากเครื่องกรองได้ ของแข็งและตัวกลางกรองจะต้านทานการไหลสามารถหาความต้านทานของของแข็ง และตัวกลางกรองได้จากหลักการคำนวณทางวิศวกรรมกระบวนการ โดยสมการการกรองแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก คือ สมการการกรองเมื่อผลต่างความดันในการกรองคงที่ และสมการการกรองที่อัตราการไหลของของเหลวคงที่ ซึ่งสมการจะอยู่ในรูปของตัวแปรที่วัดได้ นอกจากนี้หากทราบสมการการกรองของเครื่องกรองขนาดเล็กระดับห้องปฏิบัติการก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการทำนายสถานะของเครื่องกรองขนาดใหญ่ได้

2.2 กลไกการกรอง (Filtration mechanism)

เมื่อนำส่วนผสมของแข็งกับของเหลว (Slurry) นำมากรองผ่านตัวกลางกรอง (Filtering medium) ในตอนเริ่มต้นของการกรองของเหลวจะไหลผ่านรูพรุนของตัวกลางกรองไปได้ อนุภาคของของแข็งที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของตัวกลางกรองจะสามารถผ่านเข้าไปในรูพรุนของตัวกลางกรองและอาจติดอยู่ในรูพรุนของตัวกลางกรองได้ ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของตัวกลางกรองจะเริ่มก่อตัวที่ผิวของตัวกลางกรองเป็นชั้นหนาขึ้นเรื่อยๆ เรียกว่าก้อนของแข็ง (Cake) ดังนั้นตัวกลางกรองจะทำหน้าที่กรองเฉพาะในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการกรองเท่านั้น เพราะหลังจากผ่านจุดเริ่มต้นของ

การกรองไปแล้วก้อนของแข็งที่ก่อตัวนี้จะทำหน้าที่กรองแทนตัวกลางกรอง ส่วนของเหลวจะไหลไปตามช่องว่างเล็กๆ ระหว่างอนุภาคของแข็งจนไปที่ตัวกลางกรองและไหลผ่านรูพรุนของตัวกลางกรองออกไปได้เป็นของเหลวที่กรองได้ (Filtrate) เมื่อก้อนของแข็งที่ผิวของตัวกลางกรองมีความหนาตามที่ต้องการก็จะถูกนำออกไปจากตัวกลางกรอง

การกรองต้องการแรงขับดันสูงเพื่อให้ของเหลวไหลผ่านตัวกลางกรองได้ ดังนั้นจึงต้องมีความแตกต่างของความดันระหว่างทั้งสองด้านของตัวกลางกรอง ความแตกต่างของความดันอาจเกิดจากความดันของด้านที่จะเข้าตัวกลางกรองมีค่ามากกว่าความดันบรรยากาศ ส่วนด้านที่ออกจากเครื่องกรองเป็นความดันบรรยากาศปกติหรือความดันของด้านที่จะเข้าตัวกลางกรองเท่ากับความดันบรรยากาศในขณะที่ความดันของด้านออกจากตัวกลางกรองเป็นสุญญากาศ



รูปที่ 2.1 กลไกการกรองของของผสมระหว่างของเหลวและของแข็งผ่านตัวกลางกรอง

2.3 ตัวกลางกรอง (Filtering medium)

ตัวกลางกรอง คือ วัสดุที่มีรูพรุนทำหน้าที่กักอนุภาคของแข็งในขณะที่ปล่อยให้ของเหลวผ่านไปได้ ตัวกลางกรองที่นิยมใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าใบ ผ้าลินิน ผ้าลินินผสมฝ้าย ผ้าป่านผสมฝ้าย ผ้ากระสอบปอกระเจา เป็นต้น การทอผ้าเหล่านี้มีรูปแบบการทออยู่หลายแบบและเนื้อผ้าก็จะมีน้ำหนักแตกต่างกัน สำหรับการกรองของเหลวที่มีฤทธิ์กัดกร่อนควรใช้ตัวกลางกรองที่

ทนทานการกัดกร่อน เช่น ตัวกลางกรองที่ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ผ้าแก้ว หรือกระดาษ นอกจากนั้นยังอาจใช้ตัวกลางกรองที่ทำด้วยเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ไนลอน พอลิโพรไพลิน และพอลิเอสเทอร์ ซึ่งทนต่อสารเคมีได้ดีมากและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน การกรองของแข็งและของเหลวออกจากกันให้ได้ตามที่ต้องการ จำเป็นต้องเลือกใช้ตัวกลางกรองที่เหมาะสม ทั้งนี้ลักษณะที่ดีของตัวกลางกรองสำหรับเครื่องกรองทุกชนิดต้องเป็นดังนี้

2.3.1 มีสภาพดี ไม่อุดตัน ไม่หดตัว

2.3.2 สามารถทำการกรองให้ได้อนุภาคของแข็ง และของเหลวใสตามที่ต้องการ

2.3.3 ทนทานต่อสารเคมี เนื่องจากอาจมีกรดหรือด่างที่มีอยู่ในส่วนผสมของเหลวกับของแข็งที่นำมากรอง

2.3.4 มีโครงสร้างที่แข็งแรงทนทานต่อสภาวะการกรองต่างๆ ได้ เช่น การกรองที่ความดันสูง การกรองที่อุณหภูมิสูง

2.3.5 มีส่วนช่วยให้ได้ของแข็งที่สะอาดและการกรองเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

2.3.6 ราคาไม่ควรแพงเกินไป

2.4 เครื่องกรอง (Filter machine)

เครื่องกรองแบ่งออกเป็นเครื่องกรองด้วยความดันและเครื่องกรองสุญญากาศ เครื่องกรองเหล่านี้อาจเป็นแบบกะ (Batch) หรือแบบต่อเนื่อง (Continuous) ก็ได้ โดยหากเป็นแบบกะส่วนของเหลวจะถูกแยกออกไปจากเครื่องกรองอย่างต่อเนื่อง แต่ต้องมีการหยุดการกรองเพื่อนำเอาก้อนของแข็งที่สะสมในเครื่องกรองอกกเป็นรอบๆ ไป ในทางตรงกันข้ามสำหรับกรณีของเครื่องกรองแบบต่อเนื่อง ส่วนของแข็งและของเหลวจะออกจากเครื่องกรองอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาที่ทำการกรอง สำหรับงานวิเคราะห์นี้จะกล่าวเฉพาะเครื่องกรองด้วยความดันแบบกะเท่านั้นเนื่องจากเป็นเครื่องกรองแบบที่ทางภาควิชาวิศวกรรมเคมีใช้ในการเรียนการสอน

เครื่องกรองด้วยความดันแบบกะจะใช้ผลต่างความดันคร่อมตัวกลางกรองที่มีค่าสูงในการกรอง โดยมักใช้เครื่องกรองแบบนี้สำหรับการกรองของเหลวหนืดหรืออนุภาคของแข็งขนาดเล็ก เครื่องในกลุ่มนี้ได้แก่ เครื่องกรองแบบกด (Filter press) และเครื่องกรองแบบเปลือกและใบ (Shell and leaf filter)

เครื่องกรองแบบกดเป็นเครื่องกรองชนิดแรกที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการกรอง ปัจจุบันมีการออกแบบให้มีรูปลักษณ์แตกต่างกันมากมาย แม้ว่าจะมีหลายรูปลักษณ์แต่สามารถจัดกลุ่มได้ออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ เครื่องกรองแบบช่อง (Chamber filter) และเครื่องกรองแบบแผ่นและกรอบ (Plate and frame filter) ความดันในเครื่องกรองแบบกดทั่วไปอยู่ระหว่าง 3-10 บรรยากาศ หรือประมาณ 2.96-9.87 bar

เครื่องกรองแบบช่องมีการใช้แผ่น (Plate) ที่อาจมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือวงกลม ส่วนมากแล้วแผ่นจะทำด้วยพอลิโพรไพลีน ผิวของแผ่นมีลักษณะเป็นช่องเพราะตรงขอบของแผ่นจะยกสูงขึ้นกว่าตรงกลาง เมื่อนำมาเรียงต่อกันจะทำให้มีช่องว่างไว้สะสมของแข็งที่กรองได้ แผ่นจะเรียงกันอยู่ในแนวตั้งหรือแนวนอนก็ได้ แต่ละแผ่นจะมีตัวกลางกรองหุ้มอยู่ มีรูขนาดใหญ่อยู่ตรงกลางแผ่น

โดยแผ่นและตัวกลางกรองทั้งหมดจะถูกยึดให้แน่นเพื่อไม่ให้มีการรั่วขณะกรอง รูตรงกลางแผ่นจะต่อกันกลายเป็นท่อ เมื่อปั๊มของเครื่องกรองแบบช่องทำงานก็จะดูดส่วนผสมของเหลวกับของแข็งให้ไหลเข้าในท่อที่เกิดจากรูตรงกลางแผ่น ความดันจะกดให้ส่วนผสมของเหลวกับของแข็งไหลเข้าไปในช่องว่างระหว่างตัวกลางกรอง ของเหลวจะถูกกดอัดให้ไหลผ่านตัวกลางกรองและไหลเข้าไปในแผ่นได้ จากนั้นไหลไปตามช่องทางภายในแผ่นจนออกไปจากแผ่น ส่วนของแข็งจะถูกกักไว้ในช่องระหว่างตัวกลางกรอง วิธีนี้เป็นการกรองที่เรียกว่า “การกรองแบบกะ” และเมื่อของแข็งเต็มแน่นก็จะหยุดการดูดส่วนผสมเข้าไปในเครื่องกรอง แล้วปรับแผ่นให้ห่างออกจากกันเพื่อนำของแข็งออกจากตัวกลางกรอง ตัวกลางกรองที่นิยมใช้ คือ ผ้ากรองและกระดาษกรองชนิดหนา

เครื่องกรองแบบแผ่นและกรอบมีลักษณะภายนอกทั่วไปคล้ายกับเครื่องกรองแบบช่อง แต่จะใช้แผ่นและกรอบ (Frame) หลายๆอันในการกรอง สำหรับแผ่นจะมีรูเล็กๆ กระจายเต็มพื้นที่ ส่วนกรอบจะเป็นโครงและมีพื้นที่ส่วนตรงกลางว่าง เมื่อต้องการทำการกรองจะต้องนำตัวกลางกรองมาหุ้มแผ่นก่อน โดยตัวกรองอาจเป็นผ้ากรอง ผ้าใยสังเคราะห์ กระดาษกรอง หรือลวดถัก จากนั้นนำแผ่นและกรอบมาแขวนบนราวแขวนโดยเรียงสลับกันระหว่างแผ่นและกรอบ แล้วขันเกลียวหรือใช้เครื่องดันระบบไฮดรอลิกให้แผ่นและกรอบติดกันอย่างแน่นหนาเพื่อป้องกันการรั่วในระหว่างการกรอง ที่แผ่นและกรอบจะมีรูตรงกันเมื่อนำมาเรียงต่อกันจะเกิดเป็นท่อ โดยท่อจะเป็นท่อให้ส่วนผสมของเหลวกับของแข็งเข้าท่อหนึ่ง และเป็นท่อให้ของเหลวที่กรองได้ไหลออกอีกทางหนึ่ง ส่วนของแข็งจะถูกกรองไว้ในตัวกลางกรอง ในการกรองจะใช้แรงดันจากปั๊มดูดส่วนผสมของเหลวกับของแข็งให้ไหลเข้าไปในเครื่องกรองตามท่อแล้วเข้าสู่ภายในกรอบ อนุภาคของแข็งจะติดและสะสมเกิดเป็นชั้นของแข็งหนาขึ้นเรื่อยๆ อยู่ที่บริเวณผิวตัวกลางกรองที่หุ้มแผ่นอยู่ ส่วนของเหลวที่สามารถไหลผ่านตัวกลางกรองได้ก็จะไหลออกมาสู่กรอบแล้วไหลตามท่อทางออก

สำหรับการกรองในเครื่องกรองแบบกดจะสิ้นสุดลงเมื่อไม่มีของเหลวไหลออกมาจากเครื่องกรองหรือความดันในการกรองจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยจะสังเกตได้ว่าไม่สามารถที่จะกดอัดให้ส่วนผสมของเหลวและของแข็งไหลเข้าเครื่องกรองได้อีก จากนั้นหากต้องการล้างของแข็งให้สะอาดก็ปล่อยให้น้ำล้างเข้าเครื่องกรองเพื่อละลายสารบางอย่างออกจากของแข็งที่กรองได้ ต่อจากนั้นจะเปิดเครื่องกรองแบบกดออกมาเพื่อนำของแข็งที่กรองได้ออกจากเครื่องกรอง

ข้อดีของเครื่องกรองแบบกด คือ 1. ใช้กรองที่ความดันสูงได้ 2. กรองได้ของแข็งที่แห้ง 3. เป็นเครื่องกรองที่ทนทาน 4. เป็นเครื่องกรองที่ยืดหยุ่นเพราะวัสดุที่ทำเครื่องกรองและตัวกลางกรองมีให้เลือกหลายชนิด ส่วนข้อเสียของเครื่องกรองแบบกด คือ 1. มีค่าใช้จ่ายด้านแรงงานสูง หากใช้คนในการประกอบแผ่นเข้าเครื่องกรอง แต่ถ้าใช้เครื่องกรองรุ่นที่ประกอบเครื่องแบบอัตโนมัติก็จะลดค่าใช้จ่ายได้ 2. มีโอกาสที่เกิดการรั่วได้ถ้าประกอบเครื่องไม่แน่น 3.ก้อนของแข็งและของเหลวที่กรองได้มีการสัมผัสอากาศ

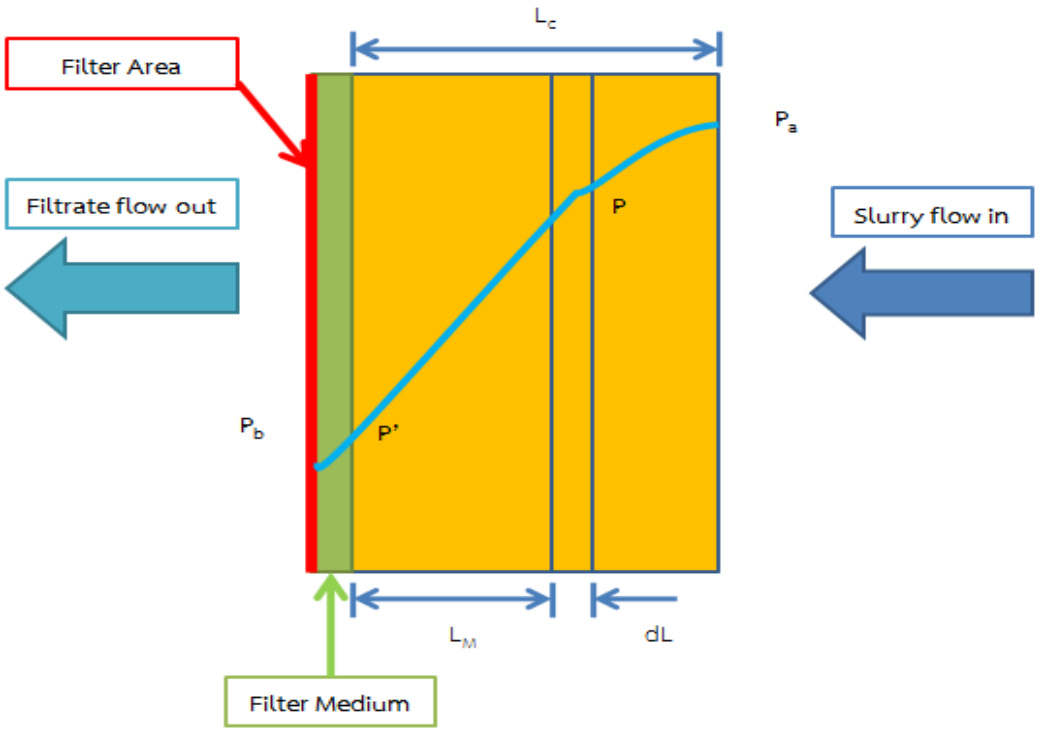
2.5 การคำนวณเกี่ยวกับการกรอง

กระบวนการกรองเกิดขึ้นได้เพราะมีผลต่างของความดันหรือความดันลด (Pressure drop) เป็นแรงขับให้ของเหลวไหลผ่านตัวกลางกรองออกไปได้ เมื่อของเหลวไหลผ่านตัวกลางกรองในระหว่างกระบวนการกรอง รูพรุนของตัวกลางกรองอาจเกิดการอุดตันด้วยอนุภาคของแข็งขนาดเล็กทำให้รูพรุนของตัวกลางกรองแคบลง นอกจากนี้ยังมีการก่อตัวของก้อนของแข็งบนตัวกลางกรองหนาขึ้นเรื่อยๆ ปรากฏการณ์ต่างๆ เหล่านี้ล้วนทำให้ความต้านทานการไหลของเหลวมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ความต้านทานเหล่านี้มีความสำคัญกับกระบวนการกรอง การคำนวณจะเริ่มจากค่าความต้านทานที่ได้จากสมการที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหล เพราะการกรองเป็นกระบวนการที่ของไหลผ่านอนุภาคของแข็ง นอกจากนั้นยังมีการคำนวณค่าอื่นที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการการกรองอีก เช่น พื้นที่ในการกรอง เวลาในการกรองและอัตราการกรองของแข็ง เป็นต้น ในการกรองนี้มีค่าเชิงปริมาณที่สำคัญสองค่า คือ อัตราการไหลผ่านเครื่องกรองและความดันลดคร่อมเครื่องกรอง ซึ่งนำมาใช้ในการกำหนดสภาวะการกรองได้สองสภาวะ โดยสภาวะแรกคือการกรองที่ความดันคงที่ ซึ่งเป็นการกรองโดยควบคุมให้ความดันลดคร่อมเครื่องกรองคงที่ตลอดช่วงการกรอง ในกรณีนี้อัตราการไหลของของเหลวที่กรองได้ในช่วงแรกของกระบวนการกรองจะสูงกว่าในช่วงหลังของการกรอง สำหรับการกรองสภาวะที่สอง คือ การกรองที่อัตราการกรองคงที่ ซึ่งเป็นการกรองโดยควบคุมให้อัตราการไหลของของเหลวที่กรองได้คงที่ตลอดการกรอง การกรองสภาวะนี้พบได้น้อยกว่าสภาวะแรก (การกรองที่ความดันคงที่)

สำหรับสมการของการกรองที่จะกล่าวในงานวิเคราะห์นี้จะกล่าวเฉพาะสมการของการกรองที่ความดันคงที่ เนื่องจากสอดคล้องกับการเรียนการสอนของชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ (Plate and frame filter press)

2.5.1 ความดันลดทั้งหมดคร่อมเครื่องกรอง

ในการกรองนั้นมีความต้านทานต่อต้านการไหลของของเหลวอยู่ในสองลักษณะ ได้แก่ ความต้านทานของก้อนของแข็ง และความต้านทานของตัวกลางกรอง โดยความต้านทานของตัวกลางกรองมีความสำคัญเฉพาะในช่วงแรกของการกรองเท่านั้น สำหรับความต้านทานของก้อนของแข็งในช่วงเริ่มต้นของการกรองจะมีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากยังไม่มีก้อนของแข็งเกิดขึ้น จากนั้นความต้านทานของก้อนของแข็งจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาของการกรองมากขึ้น หลังจากที่กรองของแข็งทั้งหมดแล้วหากมีการล้างของแข็งจะทำให้ความต้านทานของก้อนของแข็งและความต้านทานของตัวกลางกรองคงที่ตลอดช่วงการล้าง และความต้านทานของตัวกลางกรองอาจมีค่าน้อยจนสามารถละทิ้งได้



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความดันที่เกิดขึ้นระหว่างการกรอง

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าของเหลวต้องไหลผ่านตัวต้านทานสองชนิด ได้แก่ ก้อนของแข็งและตัวกลางกรอง ความดันลดทั้งหมดคร่อมเครื่องกรองที่เวลาใดๆ เป็นผลรวมของความดันลดคร่อมตัวกลางกรอง และความดันลดคร่อมก้อนของแข็ง ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

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

เมื่อ P_a คือ ความดันด้านทางเข้าเครื่องกรอง (N/m^2)

P_b คือ ความดันด้านทางออกเครื่องกรอง (N/m^2)

P' คือ ความดันที่ขอบเขตระหว่างก้องของแข็งและตัวกลางกรอง (N/m^2)

ΔP คือ ความดันลดทั้งหมดคร่อมเครื่องกรอง (N/m^2)

ΔP_c คือ ความดันลดคร่อมก้อนของแข็ง (N/m^2)

ΔP_m คือ ความดันลดคร่อมตัวกลางกรอง (N/m^2)

ในระหว่างการกรอง ก้อนของแข็งที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วยอนุภาคของของแข็งที่มีของเหลวไหลผ่าน หากพิจารณาเฉพาะชั้นบางๆ ในก้อนของแข็ง โดยชั้นนั้นมีความหนา dL และประกอบไปด้วยอนุภาคของของแข็งที่มีของเหลวไหลผ่าน โดยความเร็วของของเหลวมีค่าต่ำมากจนอาจถือได้ว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) ผ่านอนุภาคของของแข็งที่อยู่นิ่งกับที่ จึงสามารถนำสมการการไหลที่มีใช้อยู่โดยทั่วไปในกลศาสตร์ของไหล เช่น สมการของ Kozeny-Carman มาประยุกต์ในการคำนวณได้ ซึ่งจากรูปที่ 2.2 กำหนดให้

t คือ เวลาในการกรอง (s)

L_c คือ ความหนาของก้อนของแข็ง เมื่อวัดจากตัวกลางกรองที่เวลา t (m)

dL คือ ความหนาของชั้นบางๆ ของก้อนของแข็ง (m)

L_M คือ ระยะห่างตัวกลางกรองกับชั้นบางๆ ของก้อนของแข็งที่มีความหนา dL (m)

P คือ ความดันของของเหลวที่จุด dL (N/m^2)

A คือ พื้นที่ในการกรองที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล (m^2)

สมการของ Kozeny-Carman เป็นสมการที่สามารถใช้ในการคำนวณค่าความดันลดของการไหลผ่านเบด (Bed) ซึ่งหมายถึง บริเวณที่มีอนุภาคของแข็งและของไหลอยู่รวมกัน สำหรับการกรอง คือ ก้อนของแข็งและตัวกลางกรองคือเบด สำหรับแนวคิดการคำนวณของสมการนี้จะหาแรงลาก (Drag force) ทั้งหมดที่กระทำบนช่องทางการไหลที่วกวนในเบด เนื่องจากช่องการไหลในเบดมีขนาดและรูปร่างไม่แน่นอนจึงต้องคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (Equivalent diameter, D_{eq}) ของช่องทางการไหลแต่ละช่อง จากนั้นสมมติว่าช่องทางการไหลมีลักษณะเป็นทรงกระบอกเหมือนกันทั้งหมดและมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ D_{eq} ส่วนพื้นที่ผิวของช่องทางการไหลทั้งหมดมีค่าเท่ากับพื้นที่ผิวทั้งหมดของเบด และช่องทางการไหลนี้มีของเหลวไหลอยู่ ดังนั้นปริมาตรของช่องทางทั้งหมดเท่ากับปริมาตรของของเหลวในเบด ซึ่งค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (D_{eq}) หาได้จากความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$D_{eq} = \frac{2}{3} \emptyset_s D_p \frac{\varepsilon}{(1-\varepsilon)}$$

เมื่อ D_{eq} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (m)

$\emptyset_s$ คือ ค่าความเป็นทรงกลม

D_p คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคของแข็ง (m)

ε คือ ความพรุนของเบด (ปริมาตรของช่องการไหลในเบดต่อปริมาตรของเบด)

ค่าความดันลดเป็นค่าที่ขึ้นกับความเร็วเฉลี่ยของของไหลในช่องทางการไหล $(\overline{V})$ ซึ่งความเร็วเฉลี่ยในช่องทางการไหลมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วในเบดเปล่า $(\overline{V}_0)$ นั่นคือความเร็วของของไหลที่ไหลในเบดเมื่อไม่มีอนุภาค โดยค่า $\overline{V}$ แปรผกผันกับค่า ε ดังนี้คือ

$$\overline{V} = \frac{\overline{V}_0}{\varepsilon}$$

จากหลักการการเคลื่อนที่ของของไหลสำหรับการไหลแบบราบเรียบภายในท่อตรงจะได้ว่า ความดันลดคร่อมท่อจะแปรผันตามความเร็วเฉลี่ยในท่อยกกำลังหนึ่งและแปรผกผันกับขนาดของท่อยกกำลังสอง ตามสมการของ Hagen-Poiseuille ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{32\overline{V}\mu}{D^2}$$

เมื่อ ΔP คือ ความดันลดคร่อมท่อตรง = ความดันขาเข้า – ความดันขาออก (N/m^2)

L คือ ความยาวของท่อตรง (m)

$\overline{V}$ คือ ความเร็วเฉลี่ยของของไหลในท่อ (m/s)

μ คือ ความหนืดของของไหลในท่อ (kg/m.s)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)

จากนั้นนำค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าแทนลงในสมการของ Hagen-Poiseuille เรียกว่าสมการของ Kozeny-Carman แสดงได้ดังนี้

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150\overline{V_0}\mu(1-\varepsilon)^2}{\emptyset_s{}^2 D_p{}^2 \varepsilon^3}$$

2.5.2 ความดันลดคร่อมก้อนของแข็ง

จากสมการของ Kozeny-Carman เมื่อพิจารณาชั้นบางๆ ของก้อนของแข็งที่มีความหนา dL และของเหลวไหลผ่านมีความเร็วต่ำเพียงพอที่จะเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) โดยเปลี่ยน $\Delta P/L$ เป็น dP/dL และกำหนดให้ u คือความเร็วของของเหลวในเบดเปล่า ซึ่งเป็นความเร็วเชิงเส้นของของเหลวที่กรองได้ มีทิศตั้งฉากกับพื้นที่การกรอง มีหน่วยเป็น m/s เขียนแทนด้วยความสัมพันธ์ตามสมการดังนี้

$$u = \frac{dV/dt}{A}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรสะสมของของเหลวที่กรองได้ที่เวลาการกรอง t (m^3)

หาความสัมพันธ์ของความหนาของก้อนของแข็ง (dL) และมวลของของแข็ง (dm) ที่อยู่ในก้อนของแข็งความหนา dL จะได้ว่ามวลของก้อนของแข็งในก้อนของแข็งเท่ากับความหนาแน่นของของแข็งคูณปริมาตรของแข็งในก้อนของแข็ง สามารถเขียนสมการแทนได้ว่า

$$dm = \rho_p(1-\varepsilon)AdL$$

เมื่อ dm คือ มวลของของแข็งที่อยู่ในก้อนของแข็งที่มีความหนา dL (kg)

ρ_p คือ ความหนาแน่นของของแข็ง (kg/m^3)

A คือ พื้นที่ในการกรอง (m^2)

จากนั้นแทนค่าความเป็นทรงกลมลงในสมการของ Kozeny-Carman พร้อมจัดรูปสมการเพื่อหาค่า ΔP_c ซึ่งเป็นค่าความดันลดคร่อมก้อนของแข็งจะได้ดังนี้

$$P_a - P' = \Delta P_c = \frac{k_1 \mu u \left(\frac{S_p}{V_p}\right)^2 (1-\varepsilon)}{\rho_p A \varepsilon^3} . m_c$$

เมื่อ $\emptyset_p = \frac{6/D_p}{S_p/V_p}$ โดย S_p คือ พื้นที่ผิวของอนุภาค (m^2) และ V_p คือ ปริมาตรของอนุภาค (m^3) ส่วน m_c คือ มวลอนุภาคของของแข็งทั้งหมดในก้อนของแข็งที่เวลาในการกรอง t (kg)

หากกำหนดให้ α คือ ความต้านทานจำเพาะของก้อนของแข็ง (Specific cake resistance) มีหน่วยเป็น m/kg และมีค่าดังสมการ

$$\alpha = \frac{k_1 \left(\frac{S_p}{V_p}\right)^2 (1-\varepsilon)}{\rho_p \varepsilon^3}$$

จากนั้นจัดรูปสมการใหม่จะได้ว่า

$$\alpha = \frac{\Delta P_c A}{\mu u m_c} \quad \text{และ} \quad \Delta P_c = \frac{\alpha \mu u m_c}{A}$$

2.5.3 ความดันลดคร่อมตัวกลางกรอง

ตัวกลางกรองและก้อนของแข็งต่างก็มีรูพรุนหรือช่องทางที่ของเหลวจะผ่านไปได้ แต่รูปร่างของช่องทางการไหลอาจแตกต่างกัน ตัวกลางกรองจึงเป็นเบดที่มีของเหลวไหลผ่านเหมือนกับก้อนของแข็งและสมารถทำให้เกิดความต้านทานต่อการไหลด้วย ดังนั้นจึงสามารถนำสมการของการไหลในเบดที่กล่าวมาแล้วมาใช้กับตัวกลางกรองได้ในลักษณะเดียวกันกับก้อนของแข็ง ซึ่งสามารถหาค่า ΔP_m และความต้านทานของตัวกลางกรอง (R_m) มีหน่วย m^{-1} จะได้ดังสมการ

$$P_b - P' = \Delta P_m = \frac{k_1 \mu u \left(\frac{S_p}{V_p}\right)^2 (1-\varepsilon)}{\rho_p A \varepsilon^3} . m_m$$

และหากกำหนดให้ $\frac{\Delta P_m}{\mu u} = \frac{k_1 \left(\frac{S_p}{V_p}\right)^2 (1-\varepsilon)}{\rho_p A \varepsilon^3} . m_m = R_m$

จะได้ว่า $\Delta P_m = \mu u R_m$

2.5.4 สมการพื้นฐานสำหรับการคำนวณเกี่ยวกับการกรอง

สมการพื้นฐานสำหรับการคำนวณเกี่ยวกับการกรอง โดยเป็นสมการที่อยู่ในรูปของตัวแปรที่วัดได้ง่ายในระหว่างการกรอง คือ t และ V ได้ดังนี้

เราทราบว่า $\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_m$ ดังนั้นเราสามารถแทนค่า ΔP_c และ ΔP_m ซึ่งจะได้ว่า

$$\Delta P = \frac{\alpha \mu u m_c}{A} + \mu u R_m$$

$$\Delta P = \mu u \left(\frac{\alpha m_c}{A} + R_m\right)$$

และเราทราบว่า $m_c = cV$ เมื่อ c คือ มวลของอนุภาคทั้งหมดในก้อนของแข็งต่อปริมาตรของของเหลวที่กรองได้ (kg/m^3) และ $u = \frac{dV/dt}{A}$ จะเขียนสมการใหม่ได้ว่า

$$\Delta P = \mu \frac{dV/dt}{A}\left(\frac{\alpha m_c}{A} + R_m\right)$$

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu}{A\Delta P}\left(\frac{\alpha m_c}{A} + R_m\right)$$

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu\alpha cV}{A^2\Delta P} + \frac{\mu R_m}{A\Delta P}$$

สำหรับการกรองที่ความดันคงที่ เราสามารถเขียนสมการในรูปสมการเส้นตรงได้โดยทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{dt}{dV}$ และ V จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ K และจุดตัดแกน Y เท่ากับ B ทำให้สามารถหาค่า α และ R_m ได้ ซึ่งค่าความชันของกราฟเส้นตรง (K) และค่าคงที่ (B) แสดงได้ดังนี้

$$K = \frac{\mu\alpha c}{A^2\Delta P} \text{ และ } B = \frac{\mu R_m}{A\Delta P}$$

หรืออาจจะทำการอินทิเกรตสมการ $\frac{dt}{dV} = \frac{\mu\alpha cV}{A^2\Delta P} + \frac{\mu R_m}{A\Delta P}$ จาก t=0 ถึง t=t และจาก V=0 ถึง V=V จะได้ว่า

จากสมการ $\frac{dt}{dV} = \frac{\mu\alpha cV}{A^2\Delta P} + \frac{\mu R_m}{A\Delta P}$ เขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{dt}{dV} = KV + B$$

$$dt = KVdV + BdV$$

$$\int_0^t dt = K\int_0^V VdV + B\int_0^V dV$$

$$t = \frac{K}{2}V^2 + BV$$

$$\frac{t}{V} = \frac{K}{2}V + B$$

เมื่อสร้างกราฟระหว่าง $\frac{t}{V}$ และ V จะได้กราฟเส้นตรง ที่มีความชันเท่ากับ $\frac{K}{2}$ และมีจุดตัดแกน Y เท่ากับ B ทำให้สามารถหาค่า α และ R_m ได้เช่นกัน

2.5.5 สมการความต้านทานของก้อนของแข็งที่ได้จากการทดลอง

การคำนวณเกี่ยวกับการกรองที่ความดันคงที่ในแต่ละครั้งจะต้องกำหนด ΔP ที่ระดับหนึ่งๆ จากนั้นจึงสามารถคำนวณค่า α ได้ค่าหนึ่ง ถ้าทำการกรองที่ความดันคงที่หลายครั้งโดยที่การกรองแต่ละครั้งมีค่า ΔP ไม่เท่ากัน ก็จะได้ค่า α แปรผันตาม ΔP ไปด้วย ถ้าค่าของ ΔP เพิ่มขึ้น ค่าของ α จะเพิ่มขึ้นด้วย แสดงว่าก้อนของแข็งถูกอัดได้ สำหรับก้อนของแข็งที่อัดตัวได้สูงมาก ค่า α ของก้อนของแข็งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่ม ΔP สมการที่เหมาะสมกับความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่าง ΔP กับ α ที่ได้จากการทดลอง คือ สมการในรูปฟังก์ชันกำลัง (Power function) ดังนี้

$$\alpha = \alpha_0(\Delta P)^s$$

เมื่อ α_0 และ s เป็นค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง โดย s คือ สัมประสิทธิ์การอัดตัวของก้อนของแข็ง (Compressibility coefficient of cake) ซึ่งสามารถใช้อธิบายได้ว่าเป็นก้อนของแข็งแบบใด หาก $s=0$ แสดงว่าเป็นก้อนแข็งที่อัดไม่ได้ และหาก s มีค่าบวก แสดงว่าเป็นก้อนของแข็งที่อัดได้ โดยทั่วไปแล้ว s มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.8 เมื่อเขียนกราฟระหว่าง α บนแกน Y และ ΔP บนแกน X ในกระดาษกราฟ log-log จะได้สมการเส้นตรงสำหรับหา α_0 และ s ได้ เนื่องจากหากจัดรูปสมการด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ คือ นำ log เข้าทั้งสองด้านของสมการจะได้ว่า

$$\log(\alpha) = \log(\alpha_0(\Delta P)^s)$$

$$\log(\alpha) = \log(\alpha_0) + s.\log(\Delta P)$$

จากนั้นก็สามารถพล็อตกราฟระหว่าง $\log(\Delta P)$ และ $\log(\alpha)$ บนกราฟธรรมดาก็จะสามารถหาค่า α_0 และ s ได้เช่นกัน

2.6 วัสดุสิ่งทอสำหรับการกรอง

การประยุกต์ใช้วัสดุสิ่งทอใช้เป็นตัวกรอง เช่น ของเหลว ก๊าซ ฝุ่นละออง เป็นต้น ตัวกรองจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับแยกสารส่วนที่ต้องการและไม่ต้องการให้ออกจากกัน ตัวอย่างเช่น การกรองกากกาแฟ การกรองอากาศภายในรถยนต์เพื่อให้ได้อากาศที่ดี หรือการใช้หน้ากากที่มีตัวกรองสำหรับป้องกันกลิ่นของสารเคมีหรือก๊าซพิษ เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วตัวกรองต่างๆ เหล่านี้มักจะผลิตมาจากผ้าไม่ทอ (Nonwoven) และผ้าที่ทอ (Woven) ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันออกไป

ชนิดของตัวกรองหรือไส้กรองที่ทำมาจากวัสดุสิ่งทอและถูกนำมาใช้สำหรับกรองสารต่างๆ ตลอดจนสมบัติการกักเก็บอนุภาคแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชนิดตัวกรองหรือไส้กรองที่ผลิตจากวัสดุสิ่งทอและคุณสมบัติการกักเก็บอนุภาค

ชนิดตัวกรอง/ไส้กรอง	ขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุดที่ถูกกักเก็บ (μm)
ผ้าทอ (Woven fabric)	5
ผ้าที่เป็นตาข่ายเชื่อมโยง (Link fabric)	200
ผ้าไม่ทอ (Nonwoven fabric) ชนิด Filter sheet	0.5
ผ้าไม่ทอ (Nonwoven fabric) ชนิด Felts และ Media felts	10
ผ้าไม่ทอ (Nonwoven fabric) ชนิด Paper media – Cellulose - Glass	5
ผ้าไม่ทอ (Nonwoven fabric) ชนิด Bonded media	2
เส้นใยมีลักษณะเรียงตัวกันอย่างดี (Loose fiber)	<1
เส้นใยที่นำไปทำเป็นผง (Loose powder)	<0.1

(ที่มา : https://www.thaitextile.org/th/)

ในการผลิตตัวกรองหรือไส้กรองที่ทำมาจากวัสดุสิ่งทอนั้นจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติพื้นฐานของเส้นใยแต่ละชนิด เพื่อการนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เส้นใยและคุณสมบัติของเส้นใยที่จะนำไปทำเป็นตัวกรองหรือไส้กรอง

เส้นใย	ความหนาแน่น (g/cm^3)	อุณหภูมิสูงสุดที่รับได้ขณะกรอง (^oC)	ความทนทานของเส้นใย			
			กรด	ด่าง	ออกซิไดซ์	ไฮโดรไลซิส
Polypropylene	0.91	95	ดีมาก	ดีมาก	ต่ำ	ดี
Polyethylene	0.95	85	ดีมาก	ดีมาก	ต่ำ	ดี
Polyester (PBT)	1.28	100	ดี	ต่ำ	พอใช้	ต่ำ
Polyester (PET)	1.38	100	ดี	ต่ำ	พอใช้	ต่ำ
Polyamide 6,6	1.14	110	ต่ำ	ดี	ต่ำ	พอใช้
Polyamide 11	1.04	100	ต่ำ	ดี	ต่ำ	พอใช้
Polyamide 12	1.02	100	ต่ำ	ดี	ต่ำ	พอใช้
Polyvinylidene chloride (PVDC)	1.70	85	ดีมาก	ดี	ดีมาก	ดี
Polyvinylidene fluoride (PVDF)	1.78	100	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ดีมาก
Polytetrafluoroethyllene (PTFE)	2.10	150+	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก
Polyphenylene sulfide (PPS)	1.37	150+	ดีมาก	ดีมาก	พอใช้	ดีมาก
Polyvinyl chloride (PVC)	1.37	80	ดีมาก	ดีมาก	พอใช้	ดีมาก
Polyether ether ketone (PEEK)	1.30	150+	ดี	ดี	พอใช้	ดีมาก

(ที่มา : https://www.thaitextile.org/th/)

ลักษณะโครงสร้างผ้าทอต่อสมบัติของตัวกรองในการใช้เป็นตัวกรองสารนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบไปด้วยจำนวนของเกลียวของเส้นด้าย ถ้าใช้เส้นด้ายที่มีจำนวนเกลียวมากจะส่งผลให้อัตราการไหลลดลง ดังรายละเอียดตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ผลต่อจำนวนเกลียวในเส้นด้ายต่ออัตราการไหล

จำนวนเกลียวต่อนิ้ว	การไหลผ่านของสารในเส้นด้าย (%)
1.5-3.0	95-98
15	70
35	2

(ที่มา : https://www.thaitextile.org/th/)

โครงสร้างของลายผ้าจะส่งผลต่อคุณสมบัติของตัวกรองที่ผลิตมาจากผ้า โดยมีอยู่ 3 แบบ คือ 1. ลายขัด (Plain) 2. ลายทะแยง (Twill) 3. ลายต่วน (Satin) ซึ่งรายละเอียดได้แสดงไว้ที่ตารางที่ 2.4 ดังนี้

ตารางที่ 2.4 ผลของโครงสร้างลายผ้าที่มีต่อคุณสมบัติของตัวกรองสารที่ผลิตจากผ้า

สมบัติของตัวกรอง	ลายขัด (Plain)	ลายทะแยง (Twill)	ลายต่วน (Satin)
ความคงรูป (Rigidity)	ดีที่สุด	พอใช้	ต่ำ
การบีบอัด (Bulk)	ต่ำ	ดีที่สุด	ดีที่สุด
การไหลเวียนภายใน (Initial flow rate)	ต่ำ	ดี	ดีที่สุด
ประสิทธิภาพการกักเก็บ (Retention efficiency)	ดีที่สุด	พอใช้	ต่ำ
การลำเลียงตะกอน (Cake release)	ดี	ต่ำ	ดีที่สุด

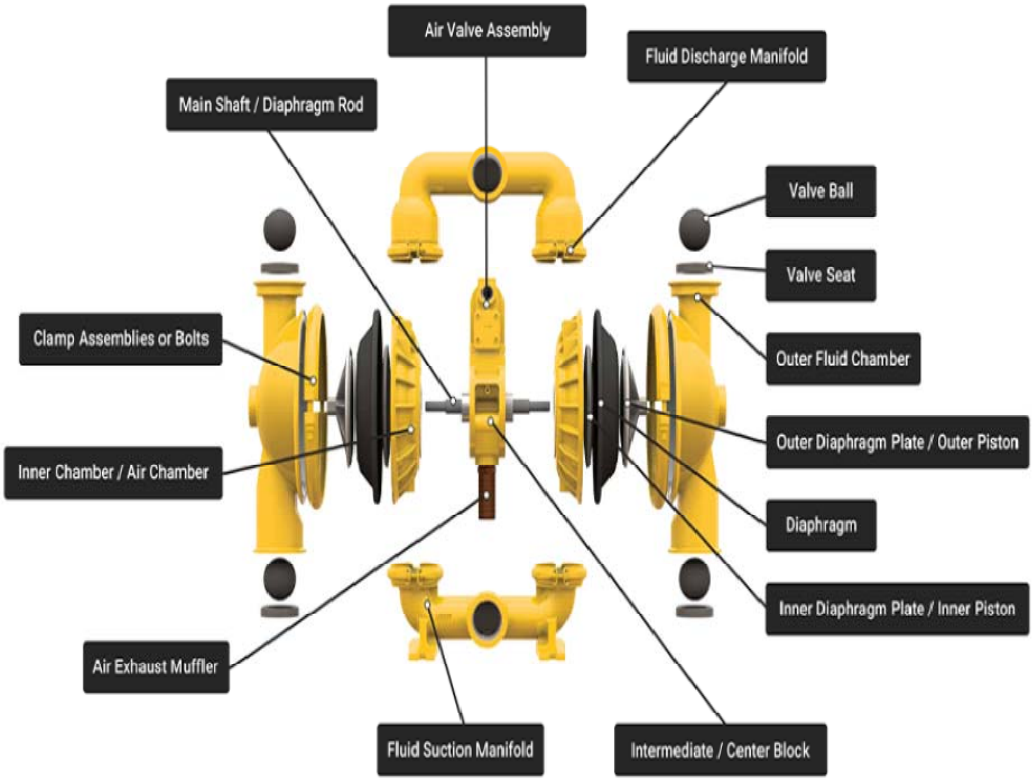
(ที่มา : https://www.thaitextile.org/th/)

จากข้อมูลทั้งหมดจะสังเกตได้ว่าวัสดุสิ่งทอที่อยู่ในรูปแบบผ้าทอ ซึ่งมีโครงสร้างที่แตกต่างกันหรืออยู่ในรูปแบบผ้าไม่ทอ (Nonwoven) และผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์นั้นจะสมารถนำมาใช้เป็นตัวกรองได้และสามารถให้ประสิทธิภาพดีในการกรอง ทั้งนี้ในการเลือกใช้งานจะต้องเลือกชนิดของเส้นใยให้เหมาะสมกับอนุภาคที่จะกรอง

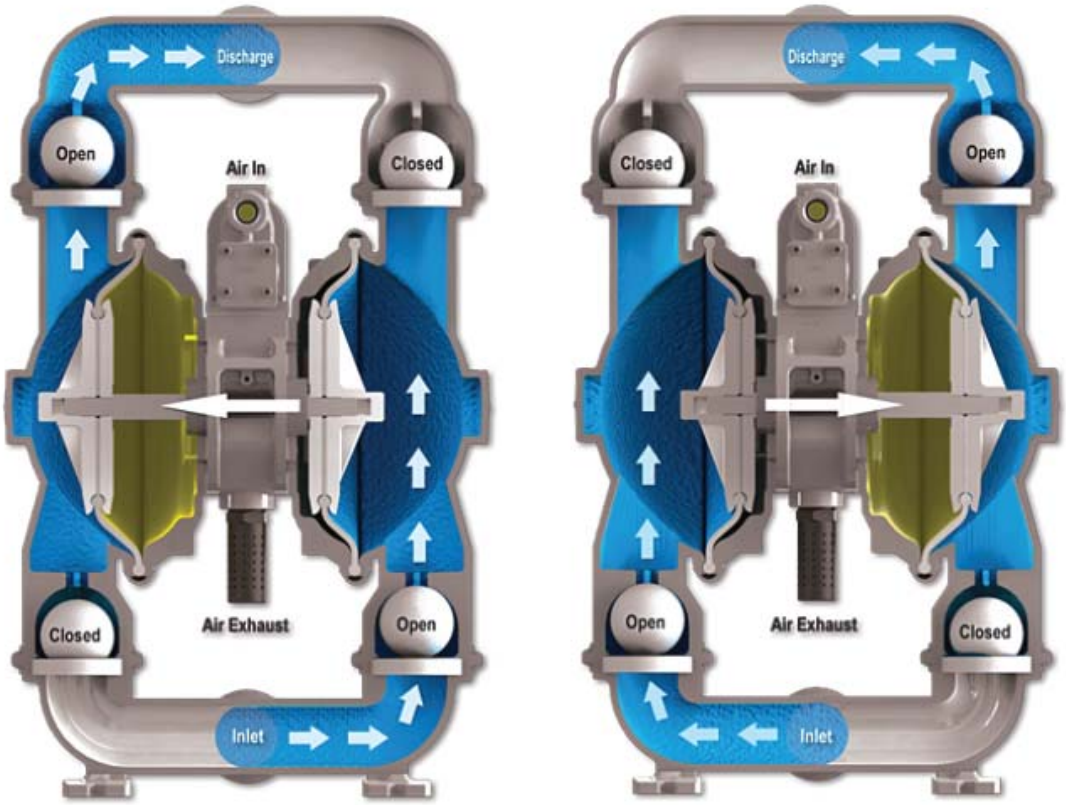
2.7 ปั๊มไดอะแฟรม (Diaphragm pump)

ปั๊มไดอะแฟรม (Diaphragm pump) หรือ AODD Pump (Air Operated double diaphragm pump) มีการทำงานเหมือนการทำงานแบบปั๊มลูกสูบ (Piston pump) เพียงแต่ลูกสูบไม่มีการสัมผัสกับของเหลวโดยตรง แต่มีการติดตั้งแผ่นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นคั้นระหว่างลูกสูบกับของเหลว ซึ่งเราเรียกว่า “แผ่นไดอะแฟรม” โดยใช้ลูกสูบทำหน้าที่ส่งแรงไปที่แผ่นไดอะแฟรมเพื่อสร้างแรงอัดอากาศ และมีลักษณะการทำงานแบบดูด-อัดเป็นช่วง (Stroke pattern) ดังนั้นจึง

สามารถป้องกันการรั่วไหลของสารที่ทำการปั๊มและป้องกันไม่ให้สารที่ใช้หล่อลื่นระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบเข้าไปปนเปื้อนสารที่ทำการปั๊มด้วย ปั๊มพวกนี้บางชนิดสามารถทำงานกับของเหลวที่สามารถกัดกร่อนโลหะได้ เพราะตัวลูกสูบและกระบอกสูบที่ทำจากโลหะไม่มีการสัมผัสกับของเหลวโดยตรง ในกรณีของของเหลวที่ทำการปั๊มมีของแข็งแขวนลอยอยู่จะไม่มีโอกาสที่ของแข็งที่แขวนลอยจะเข้าไปแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างลูกสูบและกระบอกสูบ จึงสามารถนำปั๊มไดอะแฟรมนี้ไปใช้งานกับของเหลวได้หลายชนิด เช่น น้ำมันหล่อลื่น น้ำมันไฮดรอลิก น้ำมันเชื้อเพลิง สารเคมีจำพวกกรดและด่าง และของเหลวที่มีตะกอนของแข็งแขวนลอยอยู่ เป็นต้น สำหรับแผ่นไดอะแฟรมที่นำมาใช้เป็นชิ้นส่วนของปั๊มไดอะแฟรมมีหลายชนิดได้แก่ BUNA-N Neoprene Santoprene FKM EDPM Hytrel PTFE ซึ่งผู้ใช้ต้องเลือกรุ่นของปั๊มให้เหมาะสมในการใช้งานแต่ละประเภท



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของปั๊มไดอะแฟรม (ที่มา : https://www.versamatic.com)



รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของปั๊มไดอะแฟรม (ที่มา : https://www.versamatic.com)

2.7.1 จุดเด่นของปั๊มไดอะแฟรม

เนื่องจากปั๊มไดอะแฟรมขับเคลื่อนด้วยลมจึงใช้งานในพื้นที่อันตราย เมื่อแรงดันสมดุลจะหยุดทำงานอัตโนมัติจึงไม่ต้องตั้งวาล์วระบายความดัน ปั๊มไดอะแฟรมเป็นระบบที่สามารถดูดของเหลวได้ด้วยตัวเอง (Self priming) นอกจากนี้ยังให้ค่าเฮดที่สูงมากและรองรับของแข็งหรือส่งแขวนลอยได้

2.7.2 ประเภทของปั๊มไดอะแฟรม

ในงานด้านอุตสาหกรรมจะแบ่งประเภทของปั๊มไดอะแฟรมตามการใช้งานสำหรับการขนถ่ายของเหลวออกเป็น 2 ประเภท คือ Metallic AODD Pump และ Non-metallic AODD Pump

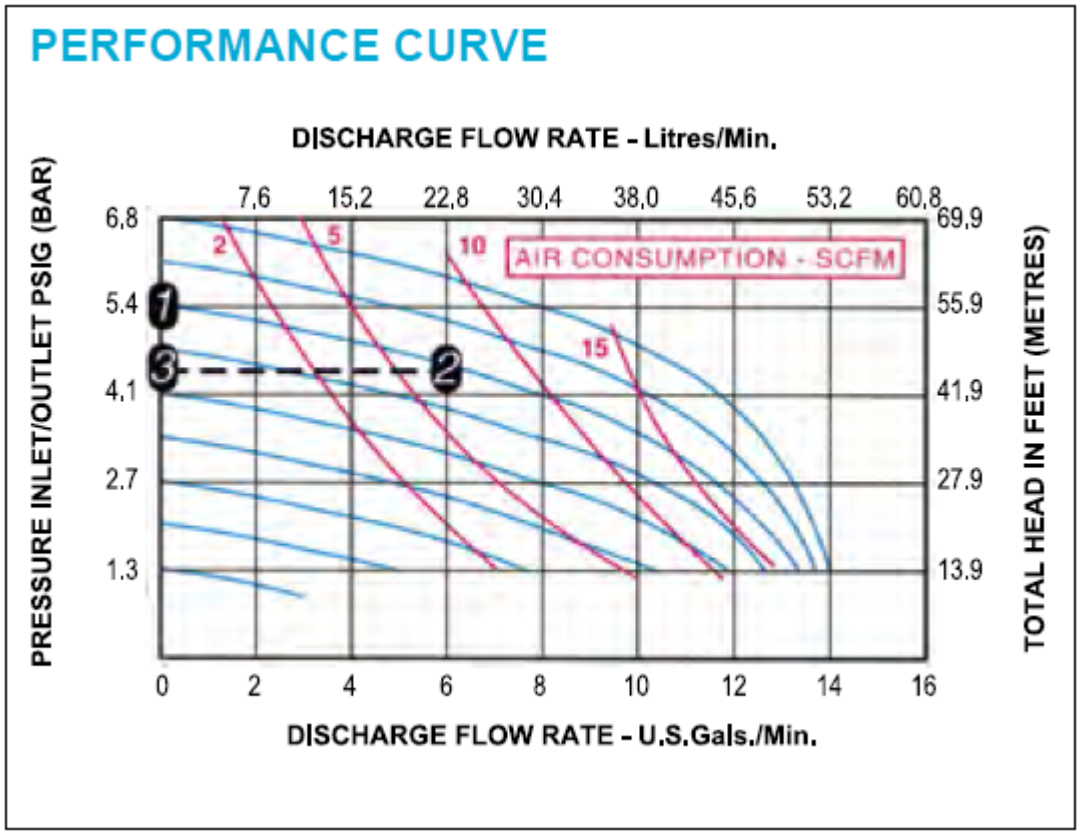
Metallic AODD Pump จะเป็นปั๊มที่มีตัวถัง (Body) เป็นโลหะ มีจุดเด่นของความทนทานแข็งแรงสูง สามารถทนอุณหภูมิได้สูง นิยมใช้ในงานดูดน้ำมัน กาว สารละลาย อาหาร เครื่องดื่ม ยา และวัสดุประเภทผงหรือแป้ง ในส่วนของ Non-metallic AODD Pump จะเป็นปั๊มที่มีตัวถัง (Body) ผลิตจากพลาสติกวิศวกรรมจำพวกเทอร์โมพลาสติก มีจุดเด่นของความต้านทานการกัดกร่อนของสารเคมีประเภทกรด และมีน้ำหนักเบา

นอกจากนี้การจะเลือกใช้งานปั๊มไดอะแฟรมให้เหมาะสมกับงาน โดยจะต้องดูว่าใช้งานกับของเหลวประเภทใดเพื่อจะได้ใช้วัสดุที่เหมาะสมแล้วค่อยเลือกระบบการทำงานของปั๊ม ซึ่งมีอยู่ 4

แบบตามต้นกำลังของการขับเคลื่อนปั๊ม คือ 1. ขับเคลื่อนด้วยลม 2. ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 3. ขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิก และ 4. ขับเคลื่อนด้วยระบบแม่เหล็กไฟฟ้า

2.7.3 การเลือกและการติดตั้งปั๊มไดอะแฟรมจากการอ่านกราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรม (Diaphragm pump's performance curve)

สำหรับการเลือกปั๊มไดอะแฟรมไปใช้งานตามประเภทของของเหลวที่ต้องการลำเลียงขนถ่ายตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับส่วนนี้จะได้อธิบายถึงหลักการของการใช้งานปั๊มไดอะแฟรมที่มีต้นกำลังขับเคลื่อนด้วยลมจากการอ่านกราฟสมรรถนะของปั๊ม เพื่อนำไปเลือกแหล่งจ่ายแรงดันอากาศและค่าการทำงานของปั๊มไดอะแฟรมได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.5 กราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรม (ที่มา : https://www.aquapluspumps.com.au)

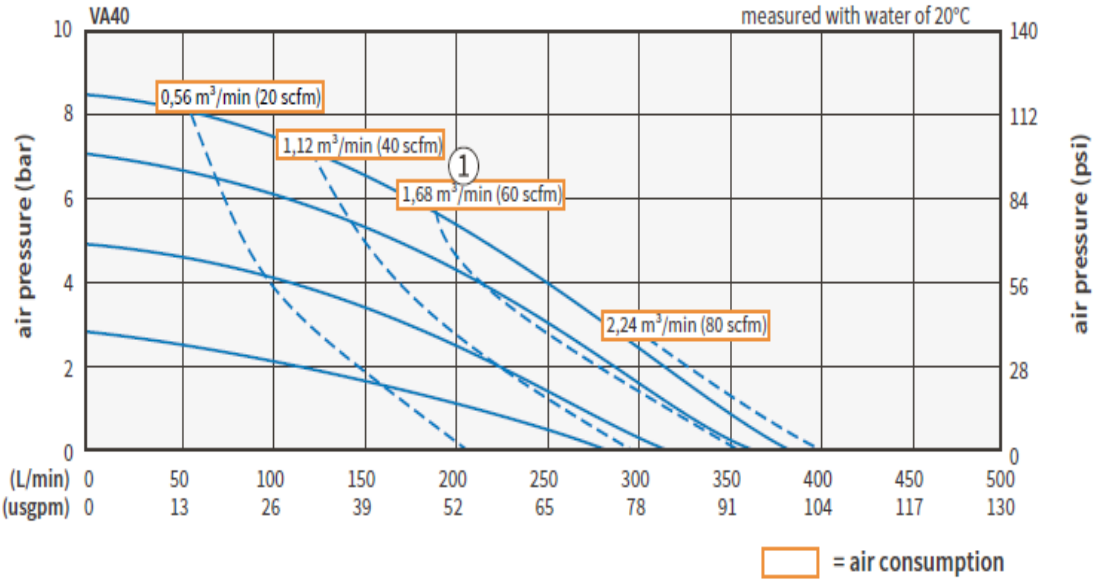
จากรูปที่ 2.5 เมื่อต้องการทราบเกี่ยวกับความดันของของเหลวด้านออกจากปั๊ม ความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม และอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กล่าวมาสามารถหาได้ดังนี้

ถ้าทราบความดันอากาศที่ป้อนเข้าปั๊มไดอะแฟรมและอัตราการไหลของของเหลวด้านออกจากปั๊ม สมมติว่าความดันอากาศที่ป้อนเข้าปั๊มมีค่าเท่ากับ 5.4 bar (จุดที่ 1) และอัตราการไหลของของเหลวด้านออกจากปั๊มเท่ากับ 22.8 L/m ให้ทำการดูเส้นกราฟสีฟ้ามาที่จุดตัดแกน Y ที่อัตราการ

ไหลของของเหลวด้านออกจากปั๊มเท่ากับ 22.8 L/m (จุดที่ 2) จากนั้นลากเส้นขนานแกน X ตัดกับแกน Y ด้านความดันอากาศเข้าทางได้ซ้ายมือก็จะได้ความดันของของเหลวด้านออกจากปั๊ม (จุดที่ 3)

สำหรับการหาความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มสามารถหาโดยการย้อนกลับในส่วนของการหาความดันของของเหลวด้านออกจากปั๊ม คือ เมื่อทราบอัตราการไหลของของเหลวและความดันของของเหลวด้านออกจากปั๊ม ให้ลากเส้นขนานแกน X จากค่าความดันของของเหลวด้านออกจากตัวปั๊มที่แกน Y ให้มาตัดกับแกนแนวตั้งของอัตราการไหลของของเหลวที่ทราบ จากนั้นให้ลากขนานไปตามแนวเส้นสีฟ้าตัดกับแกน Y ก็จะได้ความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม

ส่วนของการหาอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มให้ทำการลากเส้นตามวิธีการหาความดันของของเหลวด้านออกจากปั๊มหรือความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม หากทราบค่าพารามิเตอร์ใดพารามิเตอร์หนึ่งรวมทั้งค่าอัตราการไหลของของเหลวที่ออกจากปั๊ม จากนั้นให้ดูว่าจุดตัดใกล้อยู่ตรงเส้นกราฟสีแดงที่มีค่าเท่าใด ก็จะได้ค่าอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม โดยมีหน่วยเป็น SCFM (Standard Cubic Feet per Minute) และสมารถเปลี่ยนเป็นหน่วย m^3/h หรือบางกราฟจะเขียน Nm^3/h ด้วยการคูณด้วย 1.7 ตัวอย่างกราฟที่เขียนค่าแบบนี้ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรมที่แสดงค่าอัตราการป้อนของอากาศสำหรับขับเคลื่อนปั๊มในหน่วย SCFM และหน่วย m^3/min (ที่มา : https://www.globalpumps.com.au)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(ทองใบ อุดหนุน, 2548) ได้ทำการศึกษาแนวทางการนำกลับคืนโพลีอีเทอร์โพลีออลชนิดนุ่มที่คงค้างในเครื่องกรองแบบใบใช้ฟิลเตอร์เพรสแบบแผ่นและกรอบ โดยพิจารณาฟิวเตอร์เค้กของผลิตภัณฑ์เกรด RAYPOL 3003 และRAYPOL 3008 จากส่วนที่อยู่ใต้แผ่นกรองและส่วนที่ติดแผ่นกรองของเครื่องกรองแบบใบ โดยใช้เครื่องกรองด้วยมืออัดรีดที่ความดันคงที่ 6, 10, 15 และ20 bar

แล้ววัดปริมาณฟิลเตรทที่ได้เทียบกับเวลา เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานจะเพาะของฟิลเตอร์เค้ก (α) และค่าความต้านทานจำเพาะของแผ่นกรอง (R_m) ที่แต่ละความดัน พร้อมพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่า α และ R_m พบว่าความเข้มข้น ขนาดของอนุภาค และความดันลด มีผลทั้งค่าความต้านทานจะเพาะของฟิลเตอร์เค้ก (α) และค่าความต้านทานจำเพาะของแผ่นกรอง (R_m) โดยฟิลเตอร์เค้กที่ติดแผ่นกรองจะมีความเข้มข้นมากและมีขนาดอนุภาคที่เล็ก ค่า α จึงสูงกว่ากรณีของฟิลเตอร์เค้กที่อยู่ใต้แผ่นกรอง เมื่อเกิดทำการกรองอนุภาคขนาดเล็กสามารถแทรกและสะสมตัวอยู่ภายในแผ่นกรองทำให้ค่า R_m ของตัวกรองสูงขึ้น ในทำนองเดียวกันฟิลเตอร์เค้กของผลิตภัณฑ์เกรด RAYPOL 3003 จะส่งผลให้ค่า α และ R_m สูงกว่า RAYPOL 3008 ด้วยเหตุผลเดียวกัน

(D. Bourcier et al., 2016 : 176-187) ได้ทำการศึกษาการกรองได้และการอัดตัวได้ของเค้กด้วยการพิจารณารูปร่างของอนุภาค (Particle shape) และการกระจายตัวของอนุภาค (Particle size distribution) โดยพิจารณาความแตกต่างของรูปร่างและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตและยูเรเนียมออกซาเลตที่พบในอุตสาหกรรมทั่วไป คือ ทรงกลม ลูกบาศก์ เข็ม และเกล็ด นำมาตกตะกอน ขนาดและการกระจายองค์ประกอบด้านรูปทรงของสารตัวอย่างได้ทำการตรวจสอบด้วยระบบการวิเคราะห์รูปภาพบน SEM (Scanning Electronics Microscope) สำหรับคุณสมบัติการกรองได้ของเค้กได้ทดสอบด้วยการกรองแบบย่อส่วน พบว่าผลกระทบของการกระจายตัวของขนาดอนุภาคและรูปร่างมีผลต่อการอัดตัวได้แต่ไม่ได้ให้ผลไปทางเดียวกัน คือ การกระจายตัวของอนุภาคมีผลกระทบอย่างมากต่อความต้านทานของเค้กและการอัดตัวได้ ส่วนรูปร่างมีผลหากมีรูปร่างไม่ใช่ทรงกลม กล่าวคือขนาดของอนุภาคที่เล็กจะได้ค่าความต้านทานของเค้กมากกว่า ส่วนรูปร่างทรงกลมจะมีความต้านต่ำกว่าเกล็ด (เมื่ออนุภาคมีขนาดเท่ากัน) สำหรับการอัดตัวได้นั้นรูปร่างทรงกลม ลูกบาศก์ และเกล็ดจะมีค่าเท่าๆ กัน

(Onwe John Ituma et al., 2018 : 2,222-2,232) ใช้สมการทำนายค่าความต้านทานจำเพาะ (Specific resistance) ในการกรองแบบบีบอัดของกากตะกอนด้วยการใช้วิธี Buckingham-π ของ LMT Dimensional Analysis จากความสัมพันธ์เชิงมิติในการสร้างสมการทำนายผลแสดงให้เห็นว่าความต้านทานจำเพาะ (Specific resistance) ของการกรองเค้กสำหรับการกรองแบบบีบอัดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่กรองของท่อความดันและแรงที่ใช้ในการบีบอัด และการอัดตัวได้ของกากตะกอนจะเป็นสัดส่วนผกผันกับผลได้ของเค้กที่กรอง (Filter cake yield) ค่าความหนืดของของเหลวที่ผ่านการกรอง และปริมาณเริ่มต้นของของแข็งของตะกอน แสดงได้ดังสมการ

$$R_{LMT} = 0.1456 \frac{P^{0.871} S^{0.035} A^{1.844}}{Y^{0.8073} \mu^{0.911} C^{0.1178}}$$

ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของ LMT Dimensional Analysis

Physical Variable	Symbols	Dimension
1. Filter cake yield	Y	$ML^{-2}T^{-1}$
2. Volume	V	L^{3}
3. Filtrate Area	A	L^{2}
4. Time for filtration	θ	T
5. Mass of cake dry solids per unit	C	ML^{-3}
6. Net filtration pressure	P	$ML^{-1}T^{-2}$
7. Viscosity of filtration	μ	$ML^{-1}T^{-1}$
8. Average specific resistance of cake	R	LM^{-1}
9. Compressibility coefficient	S	$M^{-1}LT^{2}$

บทที่ 3
วิธีการวิเคราะห์

งานวิเคราะห์ เรื่อง การวิเคราะห์หาความเหมาะสมของการทดลองสำหรับการศึกษาชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ มีจุดประสงค์ที่สำคัญคือเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทดลองและหาช่วงการทำงานที่เหมาะสมของอุปกรณ์ของชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ เพื่อหาแนวทางปรับปรุงการทดลองและพัฒนาทดลองนี้ให้มีความพร้อมสำหรับการสนับสนุนการเรียนการสอนของภาควิชาวิศวกรรมเคมี

3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์จะแบ่งได้เป็นส่วนส่วนหลัก คือ 1. ข้อมูลผลการทดลองของนักศึกษาที่เรียนรายวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งได้ทำการทดลองกับชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบที่ได้บันทึกส่งรายงานให้อาจารย์ผู้ควบคุมการปฏิบัติการ 2. ข้อมูลที่ผู้วิเคราะห์ได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ โดยพิจารณาส่วนของคุณลักษณะจำเพาะของอุปกรณ์ส่วนชุดดูดจ่ายของผสมที่ประกอบด้วยเครื่องอัดอากาศและชุดกรองสาร (ปั๊มไดอะแฟรมและชุดผ้ากรอง) รวมทั้งคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุสำหรับการทดลอง คือ ผงทัลคัม และผงพีวีซี

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.2.1 ชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ
3.2.2 คู่มือปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี
3.2.3 วัสดุสำหรับการทดลอง คือ ผงทัลคัม และผงพีวีซี
3.2.4 ตำราด้านการกรองเชิงอุตสาหกรรมและเอกสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
3.2.5 โปรแกรมสำหรับการคำนวณแบบตาราง (Microsoft Office Excel)

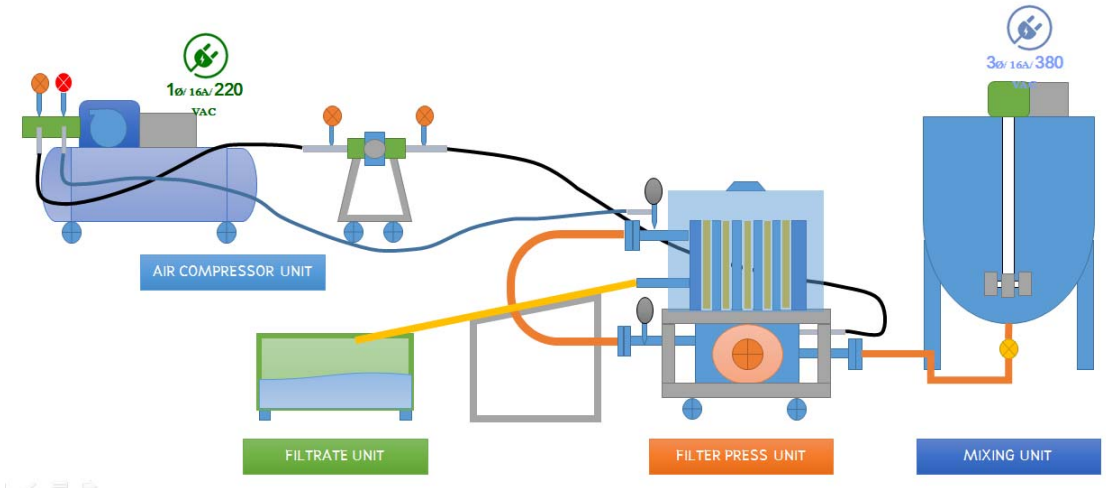
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิเคราะห์ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ

3.3.1 ข้อมูลผลการทดลองของนักศึกษาที่เรียนรายวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเคมีที่ได้ทดลองกับชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบที่ได้บันทึกเพื่อจัดทำรายงานปฏิบัติการทดลองให้อาจารย์ผู้สอนและควบคุมการปฏิบัติการ สำหรับข้อมูลส่วนนี้ผู้วิเคราะห์ได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์ผู้สอนและควบคุมปฏิบัติการมอบให้เพื่อนำมาศึกษาเพื่อหาแนวทางของการออกแบบการ

ทดลองที่เหมาะสม โดยข้อมูลนี้เป็นผลการทดลองของวัสดุสองชนิด คือ ผงทัลคัม และผงพีวีซี โดยมีขั้นตอนสำหรับการเตรียมของผสมตัวอย่างและการทดลองสำหรับศึกษาการกรองดังนี้

- ชั่งวัสดุตัวอย่าง (ผงทัลคัม หรือผงพีวีซี) จำนวน 1.8 กิโลกรัม และเตรียมน้ำใส่ถังสำหรับผสมที่ปริมาตร 260 ลิตร
- วัสดุตัวอย่างผสมกับน้ำลงในถังสำหรับผสมพร้อมเปิดมอเตอร์ใบกวนทำการผสมให้เป็นของผสมเนื้อเดียวกัน
- เรียง Plate และ Frame ลงในเครื่องกรองให้ถูกต้องและขันเกลียวอัดแผ่นกรองให้แน่นเพื่อป้องกันการรั่วไหลขณะทำการกรอง
- ป้อนของผสม (ผงทัลคัมและน้ำ หรือผงพีวีซี) ผ่านเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ โดยใช้ปั๊มไดอะแฟรมส่งผ่านของผสมเข้าชุดกรอง จากนั้นทำการปรับความดันสำหรับการกรองในช่วง 1.0 – 5.0 kg/cm^2 (อ่านได้จากค่าเฉลี่ยของการขึ้นสุดลงสุดของเข็มในเกจวัดความดันขณะที่ทำการป้อนของผสม) และบันทึกเวลาที่สารละลายใสผ่านออกจากเครื่องกรองทุกๆ 5 ลิตร จนครบ 60 ลิตร
- หยุดป้อนของผสม (ผงทัลคัมและน้ำ หรือผงพีวีซีและน้ำ) เข้าเครื่องกรองและไล่ความชื้นในเค้กที่กรองได้ด้วยการต่อท่ออากาศจากเครื่องอัดอากาศผ่านเข้าชุดผ้ากรอง
- รอจนน้ำที่ถูกอากาศพาออกมาตามท่อระบายสารละลายใสหรือฟิลเตรทออกจนหมด
- ถอดผ้ากรองออกจากเครื่องกรอง ขูดเอาเค้กออกจากผ้ากรองให้หมดและทำความสะอาด
- นำเค้กไปอบแห้งและบันทึกน้ำหนักของเค้กหลังอบแห้ง
- ทำการทดลองซ้ำอีก 2 รอบที่ค่าความดันแตกต่างกัน โดยจะต้องไม่ซ้ำกับความดันที่ทำการทดลองครั้งแรก
- นำค่าที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ตามหลักการทางทฤษฎี และวิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 3.1 การประกอบเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบสำหรับการศึกษาทดลอง

รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งและการชั่งเพื่อเตรียมวัสดุตัวอย่างสำหรับการทดลองศึกษาการกรอง

รูปที่ 3.3 การกวนผสมวัสดุตัวอย่างกับน้ำภายในถังสำหรับผสมสำหรับการทดลองศึกษาการกรอง

3.3.2 ข้อมูลที่ผู้วิเคราะห์ได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ โดยพิจารณาส่วนของคุณลักษณะจำเพาะของอุปกรณ์ส่วนชุดดูดจ่ายของผสมที่ประกอบด้วยเครื่องอัดอากาศและชุดกรองสาร (ปั๊มไดอะแฟรมและชุดผ้ากรอง) รวมทั้งคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุสำหรับการทดลอง คือ ผงทัลคัม และผงพีวีซี

สำหรับข้อมูลของชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ ได้ทำการสืบค้นข้อมูลจากเอกสารการเสนอราคาสำหรับชุดฝึกปฏิบัติการทดลองจากบริษัทไดน่าเทค (ประเทศไทย) จำกัด ส่วนข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุสำหรับการทดลอง คือ ผงทัลคัม และผงพีวีซี ได้สืบค้นจากใบเสนอราคาสำหรับวัสดุทดลองส่วนของผงทัลคัมจากบริษัท สงวนชัยเคมี อิมปอร์ต จัด และส่วนของผงพีวีซีจากบริษัท บี.เอส.ซี. เทคนิค จำกัด

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลการทดลองการกรองจากชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ โดยวัสดุสำหรับการทดลอง คือ ผงทัลคัม

ปริมาตร Filtrate (L)	P = 1.5 kg/cm^2		P = 1.8 kg/cm^2		P = 2.1 kg/cm^2	
	time (min)	time (sec)	time (min)	time (sec)	time (min)	time (sec)
5	1.47	88.20	1.34	80.40	1.13	67.80
10	3.46	207.60	3.13	187.80	2.12	127.20
15	6.20	372.00	5.17	310.20	3.23	193.80
20	8.55	513.00	7.36	441.60	4.16	249.60
25	11.35	681.00	9.46	567.60	5.23	313.80
30	14.45	867.00	12.10	726.00	6.23	373.80
35	17.40	1044.00	14.00	840.00	7.33	439.80
40	21.00	1260.00	16.05	963.00	8.44	506.40
45	23.20	1392.00	18.10	1086.00	10.08	604.80
50	26.00	1560.00	20.12	1207.20	11.20	672.00
55	29.50	1770.00	22.32	1339.20	12.42	745.20
60	32.10	1926.00	24.23	1453.80	13.52	811.20

สำหรับค่าปริมาณของก้อนของแข็งที่กรองได้ (Filter cake) ของผงทัลคัมที่ความดันต่างๆ มีดังนี้ 1. ที่ความดัน 1.5 kg/cm^2 มีค่าเท่ากับ 402.93 g 2. ที่ความดัน 1.8 kg/cm^2 มีค่าเท่ากับ 399.71 g และ 3. ที่ความดัน 2.1 kg/cm^2 มีค่าเท่ากับ 355.20 g สำหรับรายละเอียดการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ได้ดังแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลการทดลองการกรองจากชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ โดยวัสดุสำหรับการทดลอง คือ ผงพีวีซี

ปริมาตร Filtrate (L)	P = 1.5 kg/cm^2		P = 1.8 kg/cm^2		P = 2.1 kg/cm^2	
	time (min)	time (sec)	time (min)	time (sec)	time (min)	time (sec)
5	6.42	385.20	4.17	250.20	3.22	193.20
10	11.91	714.60	9.04	542.40	6.57	394.20
15	17.29	1037.40	12.44	746.40	9.75	585.00
20	23.52	1411.20	17.33	1039.80	12.85	771.00
25	29.56	1773.60	22.34	1340.40	16.50	990.00
30	35.63	2137.80	27.27	1636.20	19.43	1165.80
35	41.17	2470.20	32.51	1950.60	22.98	1378.80
40	47.62	2857.20	38.10	2286.00	26.67	1600.20
45	54.11	3246.60	43.08	2584.80	30.41	1824.60
50	60.65	3639.00	48.52	2911.20	33.64	2018.40
55	67.24	4034.40	54.16	3249.60	37.67	2260.20
60	73.80	4428.00	60.30	3618.00	40.90	2454.00

สำหรับค่าปริมาณของก้อนของแข็งที่กรองได้ (Filter cake) ของผงพีวีซีที่ความดันต่างๆ มีดังนี้ 1. ที่ความดัน 1.5 kg/cm^2 มีค่าเท่ากับ 420.00 g 2. ที่ความดัน 1.8 kg/cm^2 มีค่าเท่ากับ 380.00 g และ 3. ที่ความดัน 2.1 kg/cm^2 มีค่าเท่ากับ 320.00 g สำหรับรายละเอียดการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ได้ดังแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุสำหรับการทดลอง

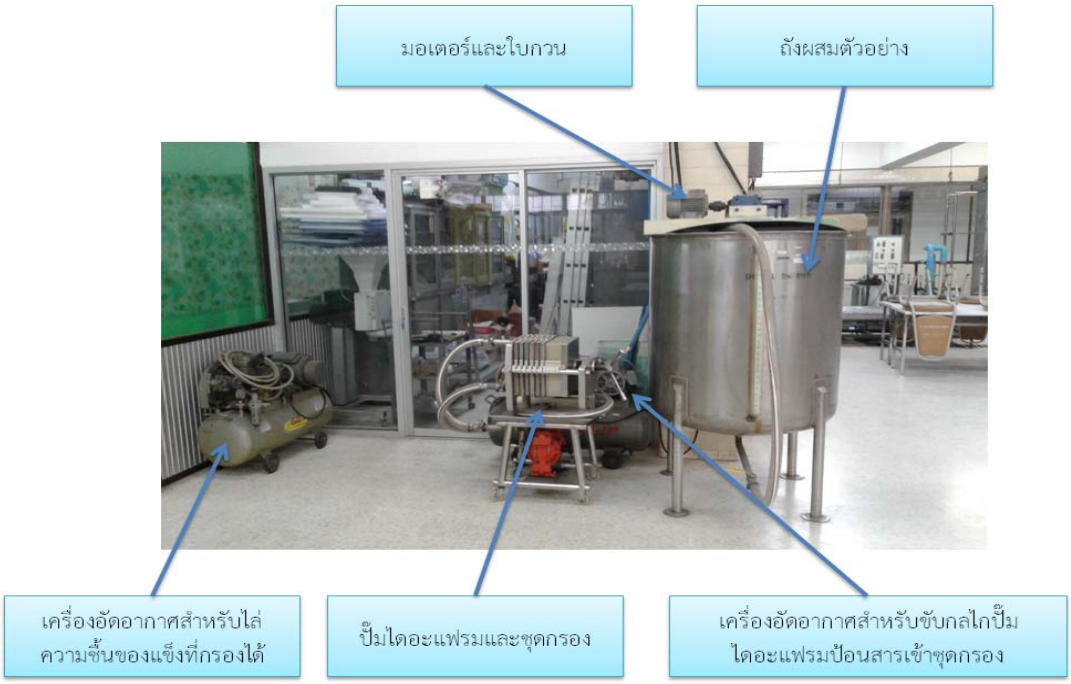
วัสดุสำหรับการทดลอง	ชื่อทางการค้า	Bulk Density (g/cm^3)	Particle Size (mm)
ผงทัลคัม	Talcum Power No.35	1.0	0.044
ผงพีวีซี	Siamvic 266GA Polyvinyl Chloride	0.5	0.063

สำหรับคุณสมบัติของทางกายภาพวัสดุ คือ ค่าความหนาแน่นเชิงก้อนมวล (Bulk density) จากตารางที่ 3.3 สามารถหาค่าด้วยวิธีตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของสหรัฐอเมริกา ASTM E 873

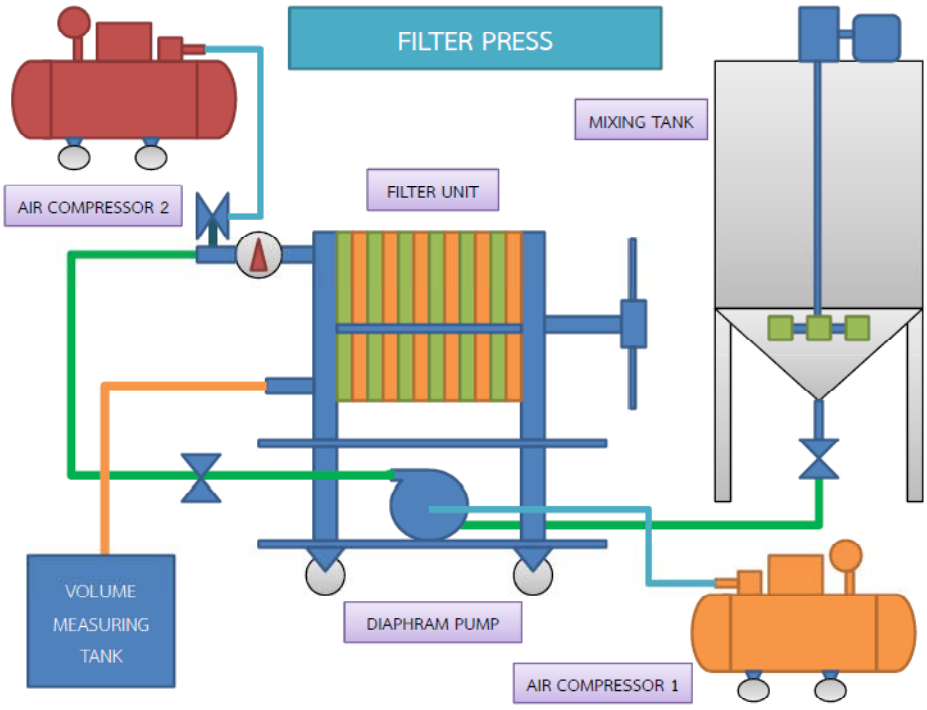
แล้วคำนวณจากสมการ คือ ความหนาแน่นก้อนมวล = (น้ำหนักของกล่องและวัสดุ - น้ำหนักกล่องเปล่า)/ปริมาตรกล่อง (หน่วย: กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) และขนาดของอนุภาคของวัสดุที่นำมาศึกษาจากผู้ผลิตและจำหน่าย

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลคุณสมบัติจำเพาะของชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ

ส่วนประกอบของเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ	**รายละเอียดของส่วนประกอบเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ**
1. แผ่นอัดและกรอบ	- ขนาดกว้าง 300 มม. ยาว 300 มม. - เป็นพลาสติกโพลิพรอบปีลีน ชนิดโคพอลิเมอร์ - เรียงเป็นห้องเก็บกากจำนวน 5 ห้อง - ปริมาตรสามารถเก็บกาก 4.5 ลิตร - พื้นที่กรอง 0.575 m^2 - สามารถกรองของเหลวด้วยความดันสูงสุด 6 kg/cm^2 - ระบบอัดแผ่นเข้าหากันด้วยระบบมือหมุน - อุณหภูมิใช้งาน -10 ถึง 95 องศาเซลเซียส
2. โครงเครื่อง	- ทำจากเหล็กปลอดสนิม 304 พร้อมถาดรองหยดน้ำซึมจากเหล็กปลอดสนิม 304 - ขาตั้งโครงเครื่องทำจากเหล็กปลอดสนิม 304 พร้อมติดตั้งล้อ - ท่อของเหลวเข้าและของเหลวออกเป็นเหล็กปลอดสนิม 304 พร้อมอุปกรณ์ต่อท่อเป็นแคลมป์ล็อกแบบคล้องทำจากเหล็กปลอดสนิม 304
3. ผ้ากรอง	- ทำจากผ้าฝ้ายและพลาสติกพีพี
4. แทงค์สำหรับกวนของผสม	- ทำจากเหล็กปลอดสนิม 304 ขนาดความจุมากกว่า 200 ลิตร พร้อมติดตั้งมอเตอร์และใบกวน
5. ปั๊มสำหรับป้อนของเหลว	- ปั๊มไดอะแฟรมมีโครงสร้างเครื่องเป็นอะลูมิเนียม - ทำงานด้วยลม - แผ่นไดอะแฟรมเป็นโพลิยูริเทน (Thermoplastic elastomer : TPE) - ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางทางเข้า 1 นิ้ว และทางออก ¾ นิ้ว
6. เครื่องอัดอากาศ	- ชนิดลูกสูบเดี่ยว ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.75 kW - แรงอัดอากาศสูงสุด 8 kg/cm^2 - ความเร็วสำหรับการอัดอากาศ 120 L/min - ความจุของถังอัดอากาศ 64 ลิตร - มีชุดดักน้ำแบบกระเปราะแก้ว และตัวปรับความดันอากาศ



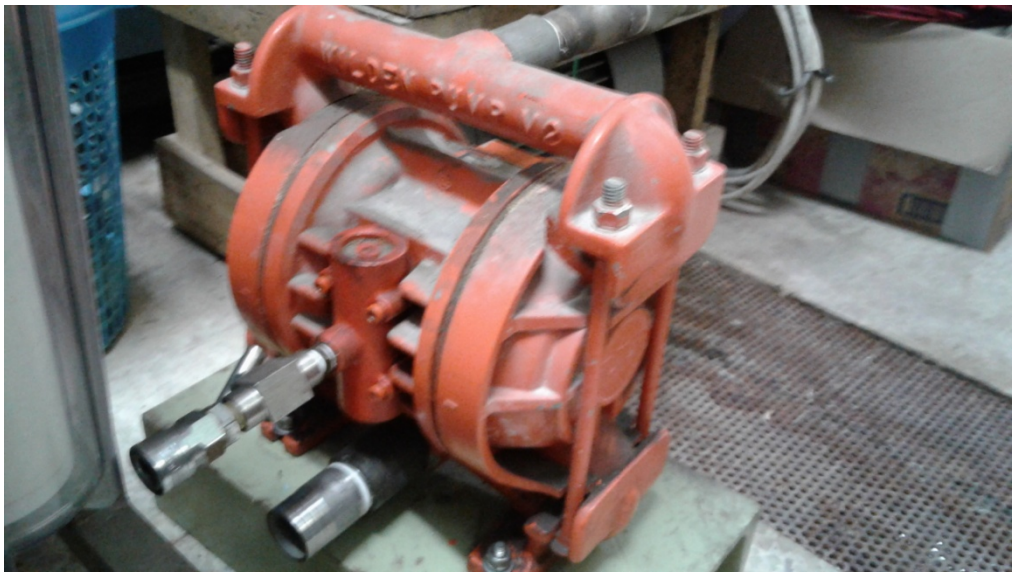
รูปที่ 3.4 ชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ



รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์สำหรับเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ

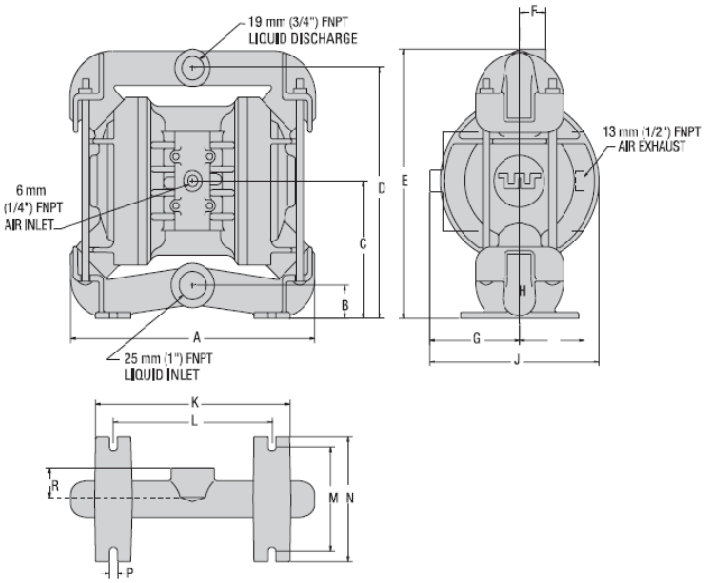
รูปที่ 3.6 ปั๊มไดอะแฟรมสำหรับเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ

จากรูปที่ 3.3 ปั๊มไดอะแฟรมสำหรับเครื่องกรองแบบอัดชิดแผ่นอัดและกรอบเป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ดูดจ่ายของเหลวหรือของผสมสำหรับการศึกษาทดลอง ผู้วิเคราะห์จึงทำการค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับปั๊มไดอะแฟรมเครื่องนี้เพิ่มเติม แต่เนื่องจากเครื่องกรองแบบอัดชิดแผ่นอัดและกรอบเป็นชุดฝึกปฏิบัติการทดลองที่มีการจัดหาช่วงปี พ.ศ. 2537-2538 อายุการใช้งานปัจจุบันประมาณ 26 ปี รายละเอียดคุณลักษณะจำเพาะจึงหาได้ค่อนข้างยาก ผู้วิเคราะห์จึงได้เทียบเคียงรุ่นของปั๊มไดอะแฟรมเครื่องนี้จากแคตตาล็อกของบริษัทผู้ผลิตตามยี่ห้อที่ปรากฏบนตัวเรือนปั๊มได้ดังนี้



รูปที่ 3.7 ปั๊มไดอะแฟรมสำหรับเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ ยี่ห้อ WILDEN PUMP รุ่นของปั๊ม M2

DIMENSIONAL DRAWING
T2 METAL



DIMENSIONS

ITEM	METRIC (mm)	STANDARD (inch)
A	267	10.5
B	36	1.4
C	137	5.4
D	254	10.0
E	279	11.0
F	28	1.1
G	97	3.8
H	76	3.0
J	185	7.3
K	211	8.3
L	173	6.8
M	107	4.2
N	127	5.0
P	8	0.3
R	33	1.3

BSPT Threads available

รูปที่ 3.8 ขนาดภายนอกสำหรับปั๊มไดอะแฟรมที่เทียบเคียงกับปั๊มไดอะแฟรมเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ จากบริษัท WILDEN (ผู้ผลิตเดียวกันกับปั๊มของชุดทดลองที่ศึกษาวิเคราะห์)

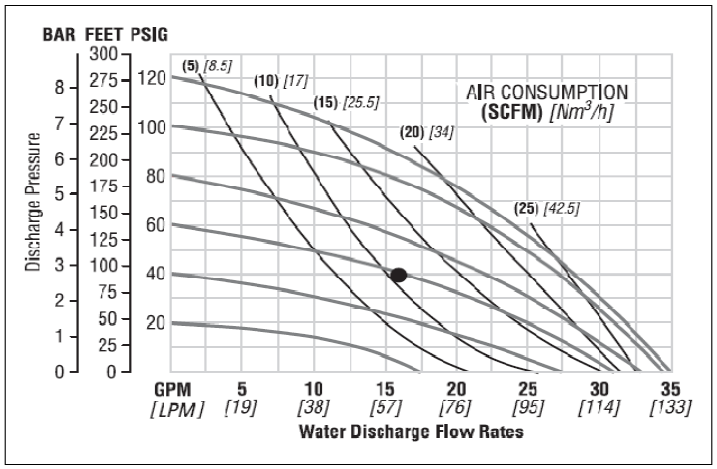
PERFORMANCE CURVES
T2 METAL TPE-FITTED

Height.....279 mm (11.0")
Width.....267 mm (10.5")
Depth .....185 mm (7.3")
Est. Ship Weight .....Aluminum 12 kg (26 lbs)
Stainless Steel 16 kg (36 lbs)
Air Inlet.....6 mm (1/4")
Inlet.....25 mm (1")
Outlet .....19 mm (3/4")
Suction Lift..... 1.52 m Dry (5')
9.45 m Wet (31')
Displacement per
Stroke ..... 0.41 l (0.105 gal.)[1]
Max. Flow Rate.....132 lpm (35 gpm)
Max. Size Solids .....3.2 mm (1/8")

[1]Displacement per stroke was calculated at 4.8 bar (70 psig) air inlet pressure against a 2 bar (30 psig) head pressure.

Example: To pump 60.6 lpm (16.0 gpm) against a discharge pressure head of 2.7 bar (40 psig) requires 4 bar (60 psig) and 17 Nm³/h (10 scfm) air consumption. (See dot on chart.)

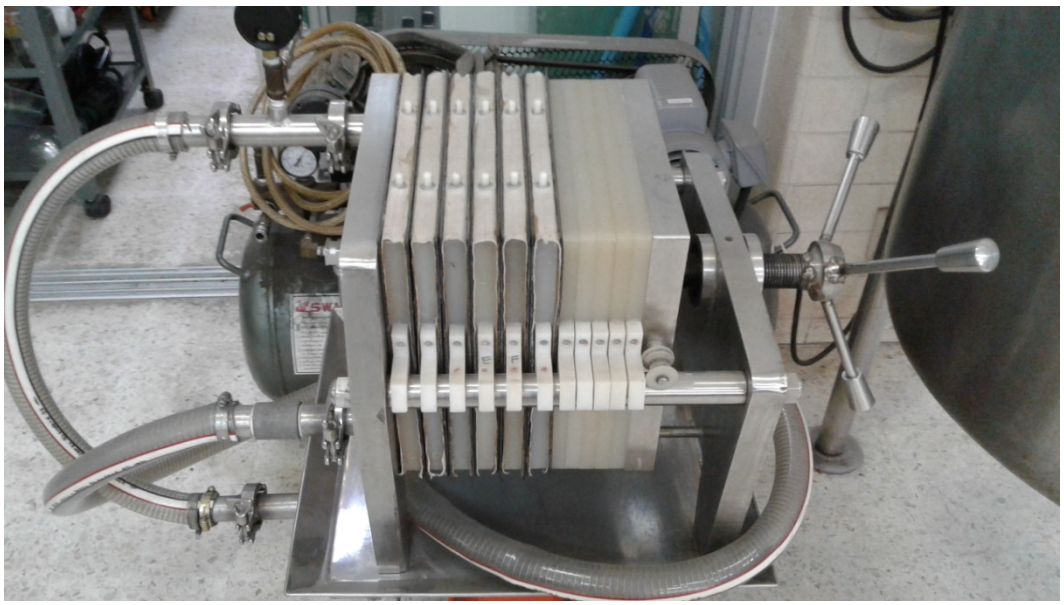
Caution: Do not exceed 8.6 bar (125 psig) air supply pressure.



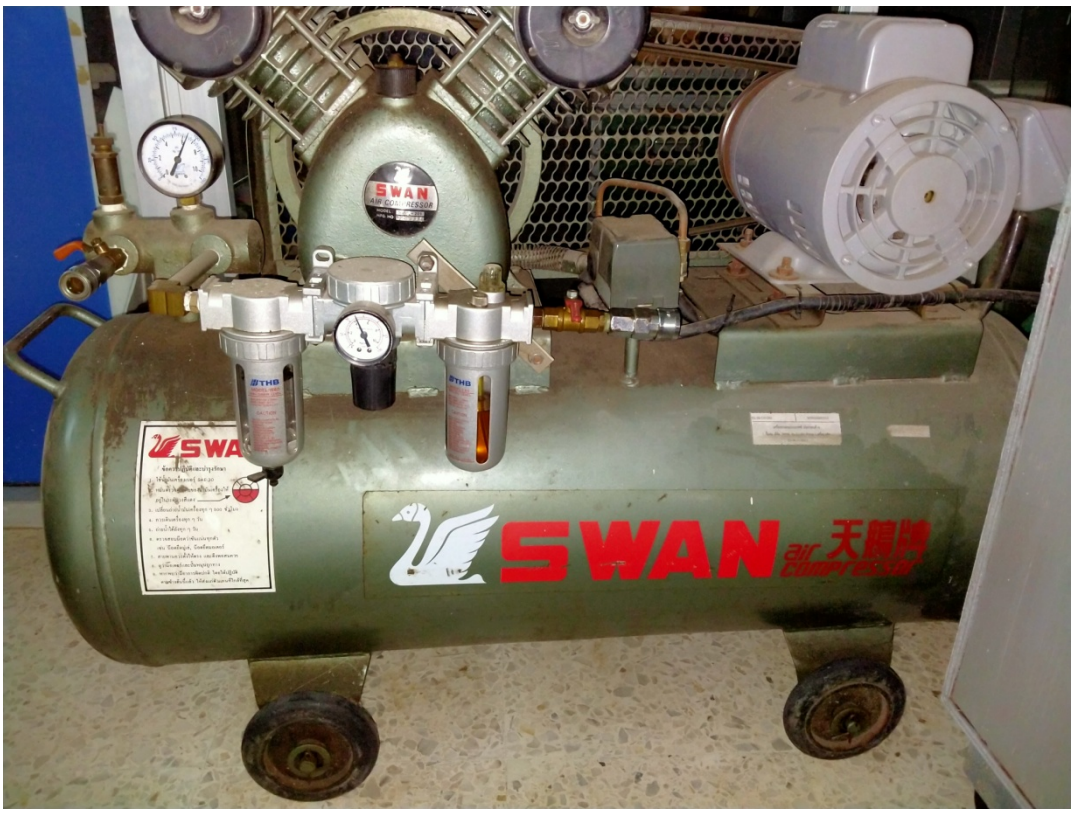
Flow rates indicated on chart were determined by pumping water.

For optimum life and performance, pumps should be specified so that daily operation parameters will fall in the center of the pump performance curve.

รูปที่ 3.9 กราฟสมรรถนะ (Performance Curve) สำหรับปั๊มไดอะแฟรมที่เทียบเคียงกับปั๊มไดอะแฟรมเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ จากบริษัท WILDEN (ผู้ผลิตเดียวกันกับปั๊มของชุดทดลองที่ศึกษาวิเคราะห์)



รูปที่ 3.10 แผ่นอัด กรอบ และผ้ากรองสำหรับเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ



รูปที่ 3.11 เครื่องอัดอากาศสำหรับเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อดำเนินการเก็บข้อมูลในส่วนที่เพิ่มเติมและรายละเอียดเกี่ยวกับชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบครบถ้วนแล้ว ผู้วิเคราะห์ได้นำข้อมูลทั้งหมดมาจัดเรียงและวิเคราะห์ตามหลักการทางทฤษฎีเกี่ยวกับการกรองและหลักการเลือกอุปกรณ์สำหรับใช้งานในระบบกรอง เช่น ผ้ากรอง อุปกรณ์ลำเลียงขนถ่ายของเหลวสำหรับการกรอง รวมทั้งข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุสำหรับการทดลอง เพื่อหาแนวทางปรับปรุงการทดลองและพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบให้มีความสมบูรณ์และความพร้อมสำหรับการสนับสนุนการเรียนการสอน ดังต่อไปนี้

3.4.1 นำชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองของนักศึกษาที่ปฏิบัติการทดลองกับชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบมาสร้างกราฟระหว่าง $\frac{t}{V}$ และ V จะได้กราฟเส้นตรง ที่มีความชันเท่ากับ $\frac{K}{2}$ และมีจุดตัดแกน Y เท่ากับ B ทำให้สามารถหาค่า α และ R_m โดยสมการความสัมพันธ์จะเป็นดังสมการ

$$\frac{t}{V} = \frac{K}{2}V + B$$

โดยที่ $K = \frac{\mu\alpha c}{A^2\Delta P}$ และ $B = \frac{\mu R_m}{A\Delta P}$

เมื่อ c คือ มวลของอนุภาคทั้งหมดในก้อนของแข็งต่อปริมาตรของของเหลวที่กรองได้ (kg/m^3)

α คือ ความต้านทานจำเพาะของก้อนของแข็ง (m/kg)

A คือ พื้นที่ที่ใช้ในการกรอง (m^2)

ΔP คือ ความดันลดคร่อมเครื่องกรอง = ความดันขาเข้า – ความดันขาออก (N/m^2)

V คือ ปริมาตรของของเหลวที่กรองได้ในเวลา t วินาที (m^3)

R_m คือ ความต้านทานของตัวกลางกรอง (m^{-1})

μ คือ ความหนืดของของเหลวที่กรองได้ ($kg/m \cdot s$)

สำหรับการวิเคราะห์นี้จะใช้ค่าคุณสมบัติของน้ำที่ 20 °C ตลอดการคำนวณหาค่าต่างๆ จะได้ว่าค่าของ μ เท่ากับ 1.005×10^{-3} หน่วย $kg/m \cdot s$

หลังจากหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วให้นำค่าของ ΔP กับ α ที่ได้จากการทดลองไปสร้างกราฟความสัมพันธ์รูปฟังก์ชันกำลัง (Power function) ดังนี้

$$\alpha = \alpha_0(\Delta P)^s$$

เมื่อ α_0 และ s เป็นค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง โดย s คือ สัมประสิทธิ์การอัดตัวของก้อนของแข็ง (Compressibility coefficient of cake) ซึ่งสามารถใช้อธิบายลักษณะก้อนของแข็งหรือเค้ก (Filter cake) โดยให้ใช้จัดรูปสมการด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ คือ นำ log เข้าทั้งสองด้านของสมการเพื่อให้ได้สมการเส้นตรงสำหรับหา α_0 และ s ได้ดังนี้ คือ

$$\log(\alpha) = \log(\alpha_0(\Delta P)^s)$$

$$\log(\alpha) = \log(\alpha_0) + s \cdot \log(\Delta P)$$

จากนั้นก็สามารถพล็อตกราฟระหว่าง $\log(\Delta P)$ และ $\log(\alpha)$ บนกราฟธรรมดาก็จะสามารถหาค่า α_0 และ s จากนั้นให้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลตามรูปแบบนี้ทั้งผลการทดลองที่ได้จากการกรองผงทัลคัมและผงพีวีซี

3.4.2 นำค่าของ s คือ สัมประสิทธิ์การอัดตัวของก้อนของแข็ง (Compressibility coefficient of cake) จากข้อ 3.4.1 มาพิจารณาร่วมกับค่าคุณสมบัติทางกายภาพของผงทัลคัมและผงพีวีซี ตามข้อมูลในตารางที่ 3.3 เพื่อสรุปความเหมาะสมของวัสดุสำหรับการทดลอง

3.4.3 หลังจากวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการในข้อ 3.4.1 และข้อ 3.4.2 ลำดับถัดไปผู้วิเคราะห์จะนำค่าความดันของของเหลวด้านออกจากปั๊มมาหาค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม และอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม เพื่อวิเคราะห์หาขีดจำกัดของอุปกรณ์สำหรับการศึกษาชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ คือ ปั๊มไดอะแฟรม และเครื่องอัดอากาศ โดยการหาค่าจากกราฟสมรรถนะ (Performance curve) ของปั๊มไดอะแฟรม จากนั้นจะได้ค่าพารามิเตอร์สำหรับคำนวณเพื่อหาค่าพารามิเตอร์อื่นที่เกี่ยวข้องสำหรับการบ่งชี้ขีดจำกัดการทำงานของปั๊มไดอะแฟรมและเครื่องอัดอากาศได้ดังนี้

- เริ่มจากตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 คือ ผลการทดลองจากการกรองผงทัลคัมและผงพีวีซีตามลำดับ ผู้วิเคราะห์จะคำนวณหาอัตราการไหลของสารละลายใสหรือฟิลเตรท (Filtrate) โดยอนุมานว่ามีค่าเท่ากับของเหลวด้านที่ออกจากปั๊มไดอะแฟรมก่อนผ่านระบบกรองของชุดฝึกปฏิบัติการทดลอง จากนั้นพิจารณาค่าอัตราการไหลสูงสุดจากอัตราการไหลทั้งหมดตั้งแต่เริ่มการกรองจนสิ้นสุดการกรองเพื่อนำไปเป็นตัวแทนสำหรับการหาค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม และอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม ด้วยการหาค่าจากกราฟสมรรถนะ (Performance curve) ของปั๊มไดอะแฟรม จากนั้นนำข้อมูลทำการสร้างกราฟแนวโน้มเพื่อการทำนายค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม และอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม

- นำค่าของพารามิเตอร์ทั้งสองนี้ไปตรวจสอบกับคุณลักษณะจำเพาะของเครื่องอัดอากาศเพื่อหาจุดเหมาะสมการใช้งานสำหรับการเรียนการสอนชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ

3.4.4 นำชุดข้อมูลที่ผู้วิเคราะห์ได้จากการวิเคราะห์และประมวลผลด้วยการคำนวณและใช้โปรแกรม Microsoft Excel สำหรับการสร้างกราฟความสัมพันธ์จากข้อ 3.4.1 ถึงข้อ 3.4.3 มา

จัดเรียงสำหรับการสรุปผลของแต่ละส่วนที่ทำการศึกษา แล้วสรุปพร้อมแสดงไว้ในบทที่ 4 และบทที่ 5 ตามลำดับ

3.4.5 นำข้อมูลผลของการวิเคราะห์นำเสนอในรูปแบบตาราง กราฟ สมการ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยจะแสดงรายละเอียดของการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความเหมาะสมของการทดลองสำหรับการศึกษาชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ ซึ่งจะอธิบายไว้ในบทที่ 4 และบทที่ 5

3.4.6 เขียนรายงานและนำเสนอแนวทางการปรับปรุงพัฒนาการเรียนการสอนปฏิบัติการของชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ ด้วยการเลือกวัสดุและขอบเขตการทำงานของอุปกรณ์ของชุดทดลองที่เหมาะสมกับการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนการสอนให้ดียิ่งขึ้นไป

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์

จากการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองของนักศึกษาและข้อมูลที่ผู้วิเคราะห์ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ โดยพิจารณาส่วนของคุณลักษณะจำเพาะของอุปกรณ์ส่วนชุดดูดจ่ายของผสมที่ประกอบด้วยเครื่องอัดอากาศและชุดกรองสาร (ปั๊มไดอะแฟรมและชุดผ้ากรอง) รวมทั้งคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุสำหรับการทดลอง คือ ผงทัลคัม และผงพีวีซี ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ผู้วิเคราะห์ได้ผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของตารางเปรียบเทียบ กราฟเส้น และการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของวัสดุสำหรับการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุทางกายภาพและคุณสมบัติการอัดตัวได้สำหรับการกรองที่ได้จากการทดลอง

วัสดุสำหรับการทดลอง	ชื่อทางการค้า	Bulk Density (g/cm^3)	Particle Size (mm)	Compressibility coefficient of cake : S (S =0.2-0.8)	Specific cake resistance : α_0 (m/kg)
ผงทัลคัม	Talcum Power No.35	1.0	0.044	-0.994	4.36516×10^{16}
ผงพีวีซี	Siamvic 266GA Polyvinyl Chloride	0.5	0.063	5.854	7.76247×10^{-20}

จากตารางคุณสมบัติของวัสดุสำหรับการทดลองกับชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ พบว่าขนาดอนุภาคที่เล็กจะทำให้ค่าความต้านทานจำเพาะของก้อนของแข็งที่กรองได้หรือฟิลเตอร์เค้กมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ (ทองใบ อุดหนุน, 2548) ที่กล่าวว่าความเข้มข้น ขนาดของอนุภาค และความดันลด มีผลทั้งค่าความต้านทานจำเพาะของฟิลเตอร์เค้ก (α) และค่าความต้านทานจำเพาะของแผ่นกรอง (R_m) โดยฟิลเตอร์เค้กที่ติดแผ่นกรองจะมีความเข้มข้นมากและมีขนาดอนุภาคที่เล็ก ค่า α จึงสูงกว่ากรณีของฟิลเตอร์เค้กที่อยู่ใต้แผ่นกรอง เมื่อเกิดทำการกรองอนุภาคขนาดเล็กสามารถแทรกและสะสมตัวอยู่ภายในแผ่นกรองทำให้ค่า R_m

ของตัวกรองสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ (D. Bourcier, 2016 : 176-187) ที่ได้สรุปว่า ผลกระทบของการกระจายตัวของขนาดอนุภาคและรูปร่างมีผลต่อการอัดตัวได้แต่ไม่ได้ให้ผลไปทางเดียวกัน คือ การกระจายตัวของอนุภาคมีผลกระทบอย่างมากต่อความต้านทานของเค้กและการอัดตัวได้ ส่วนรูปร่างมีผลหากมีรูปร่างไม่ใช่ทรงกลม กล่าวคือขนาดของอนุภาคที่เล็กจะได้ค่าความต้านทานของเค้กมากกว่า ส่วนรูปร่างทรงกลมจะมีความต้านต่ำกว่าเกล็ด (เมื่ออนุภาคมีขนาดเท่ากัน) สำหรับการอัดตัวได้นั้นรูปร่างทรงกลม ลูกบาศก์ และเกล็ดจะมีค่าเท่าๆ กัน ดังนั้นหากพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวของก้อนของแข็ง (Compressibility coefficient of cake : S) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวของก้อนของแข็งของอนุภาคผงทัลคัมมีค่าเท่ากับ -0.994 และผงพีวีซีมีค่าเท่ากับ 5.854 สำหรับค่าพารามิเตอร์อื่น คือ ขนาดอนุภาคผงทัลคัมมีค่าเท่ากับ 0.044 mm และขนาดอนุภาคของผงพีวีซีมีค่าเท่ากับ 0.063 mm ซึ่งเห็นได้ว่าผงทัลคัมมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าผงพีวีซี ส่วนค่าความต้านทานจำเพาะของฟิลเตอร์เค้กที่ได้จากผงทัลคัมมีค่าเท่ากับ 4.36516×10^{16} m/kg และผงพีวีซีมีค่าเท่ากับ 7.76247×10^{-20} m/kg ซึ่งผงทัลคัมมีค่าความต้านทานจำเพาะของฟิลเตอร์เค้กมากกว่าผงพีวีซี และค่าความหนาแน่นก้อนมวลของผงทัลคัมมีค่าเท่า 1.0 g/cm^3 ส่วนค่าความหนาแน่นก้อนมวลของผงพีวีซีมีค่ามีค่าเท่า 0.5 g/cm^3 จากค่าความหนาแน่นก้อนมวลแสดงให้เห็นว่าผงทัลคัมมีความหนาแน่นเท่ากับน้ำและมีค่ามากกว่าผงพีวีซี แสดงให้เห็นว่าผงพีวีซีจะลอยตัวเหนือผิวน้ำ จากผลการวิเคราะห์ที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวของก้อนของแข็งของผงทัลคัมและผงพีวีซีจะมีค่าไม่อยู่ในช่วง คือ 0.2-0.8 จึงไม่สามารถพิจารณาค่าพารามิเตอร์ได้ ผู้วิเคราะห์จึงได้พิจารณาค่าความหนาแน่นเชิงก้อนมวล (Bulk Density) จะเห็นว่าผงทัลคัมมีค่าเดียวกับความหนาแน่นของน้ำ ส่วนผงพีวีซีมีค่าความหนาแน่นเชิงก้อนมวลน้อยกว่าความหนาแน่นของน้ำ ดังนั้นเมื่อนำมากวนผสมเพื่อใช้สำหรับการศึกษาการกรองก็จะได้ว่าผงทัลคัมสามารถรวมกับน้ำเป็นคอลลอยด์แทรกอนุภาคของน้ำดีกว่าผงพีวีซีที่ต้องใช้เวลาการกวนมากกว่า เนื่องด้วยผงพีวีซีจะลอยตัวเพราะความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ

4.2 ผลการวิเคราะห์ผ้ากรองสำหรับเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ

สำหรับผ้ากรองของเครื่องกรองแรงดันแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบเป็นผ้ากรองที่ผลิตจาก Polypropylene หรือ PP ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบมาพร้อมกับเครื่องกรองแรงดันชิดแผ่นอัดและกรอบ หากพิจารณาที่ตัววัสดุที่สามารถอุณหภูมิสูงสุดที่รับได้ขณะกรอง 95 องศาเซลเซียส ถือว่าเหมาะสมเนื่องจากโดยปกติจะใช้ในการศึกษาการกรองของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้หากพิจารณาที่เนื้อของผ้ากรองพบว่าผ้ากรองแบบผ้าทอจะสามารถกรองอนุภาคขนาดเล็กที่สุดที่จะถูกกักเก็บได้เท่ากับ 5 ไมครอน (μm) และเมื่อพิจารณาวัสดุสำหรับการทดลองทั้งผงทัลคัมและผงพีวีซี จะเห็นว่ามีขนาดใหญ่กว่าขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุดที่ผ้ากรองจะกรองเก็บได้ (ขนาดอนุภาคของผงทัลคัมและผงพีวีซีแสดงไว้ในตารางที่ 4.1) ดังนั้นผ้ากรองของเครื่องกรองแรงดันแบบชนิดแผ่นอัดและกรอบมีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษาการกรอง

รูปที่ 4.1 ลักษณะผ้ากรองของเครื่องกรองแรงดันชนิดแผ่นอัดและกรอบ

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะจำเพาะของอุปกรณ์ส่วนชุดดูดจ่ายของผสม (เครื่องอัดอากาศและปั๊มไดอะแฟรม)

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าอัตราการไหลของฟิลเตรทที่ช่วงเวลาต่างๆของการกรองผงทัลคัม

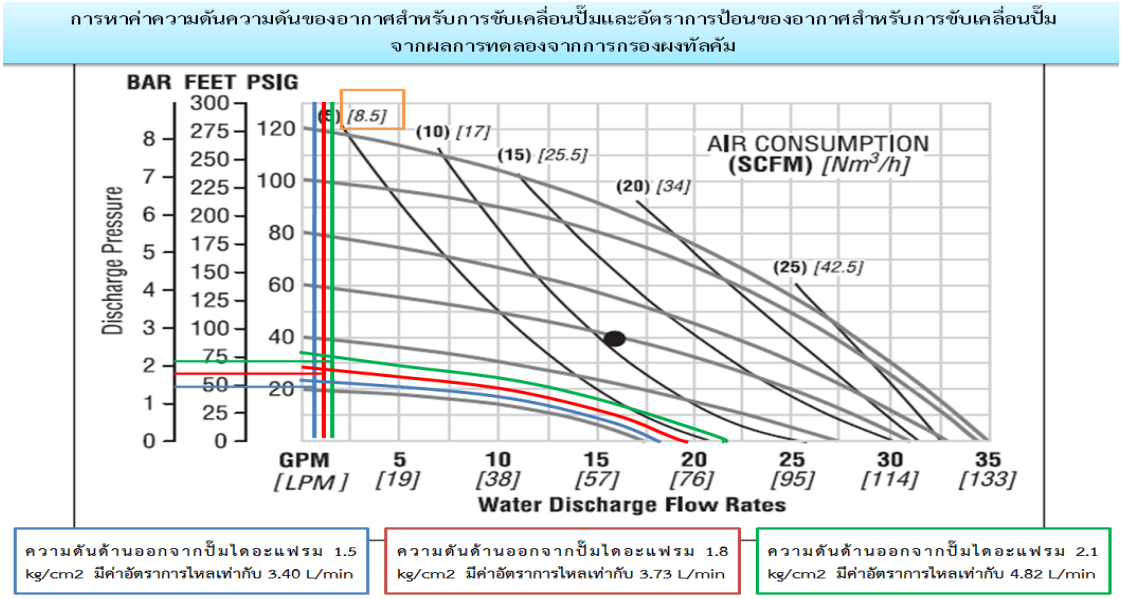
ปริมาตร Filtrate (L)	P = 1.5 kg/cm^2			P = 1.8 kg/cm^2			P = 2.1 kg/cm^2		
	time (min)	time (sec)	Flow Rate (L/min)	time (min)	time (sec)	Flow Rate (L/min)	time (min)	time (sec)	Flow Rate (L/min)
5	1.47	88.20	3.40	1.34	80.40	3.73	1.13	67.80	4.42
10	3.46	207.60	2.89	3.13	187.80	3.19	2.12	127.20	4.72
15	6.20	372.00	2.42	5.17	310.20	2.90	3.23	193.80	4.64
20	8.55	513.00	2.34	7.36	441.60	2.72	4.16	249.60	4.81
25	11.35	681.00	2.20	9.46	567.60	2.64	5.23	313.80	4.78
30	14.45	867.00	2.08	12.10	726.00	2.48	6.23	373.80	4.82
35	17.40	1044.00	2.01	14.00	840.00	2.50	7.33	439.80	4.77
40	21.00	1260.00	1.90	16.05	963.00	2.49	8.44	506.40	4.74
45	23.20	1392.00	1.94	18.10	1086.00	2.49	10.08	604.80	4.46
50	26.00	1560.00	1.92	20.12	1207.20	2.49	11.20	672.00	4.46
55	29.50	1770.00	1.86	22.32	1339.20	2.46	12.42	745.20	4.43
60	32.10	1926.00	1.87	24.23	1453.80	2.48	13.52	811.20	4.44

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาค่าอัตราการไหลของฟิลเตรทสูงสุดที่ความดันการกรองต่างๆ จะได้ค่าดังนี้ 1. ที่ความดัน 1.5 kg/cm^2 มีค่าเท่ากับ 3.40 L/min 2. ที่ความดัน 1.8 kg/cm^2 มีค่าเท่ากับ 3.73 L/min และ 3. ที่ความดัน 2.1 kg/cm^2 มีค่าเท่ากับ 4.82 L/min จากนั้นนำไปหาค่าค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม และอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม

ตารางที่ 4.3 ค่าอัตราการไหลของฟิลเตรทที่ช่วงเวลาต่างๆของการกรองผงพีวีซี

ปริมาตร Filtrate (L)	P = 1.5 kg/cm^2			P = 1.8 kg/cm^2			P = 2.1 kg/cm^2		
	time (min)	time (sec)	Flow Rate (L/min)	time (min)	time (sec)	Flow Rate (L/min)	time (min)	time (sec)	Flow Rate (L/min)
5	6.42	385.20	0.78	4.17	250.20	1.20	3.22	193.20	1.55
10	11.91	714.60	0.84	9.04	542.40	1.11	6.57	394.20	1.52
15	17.29	1037.40	0.87	12.44	746.40	1.21	9.75	585.00	1.54
20	23.52	1411.20	0.85	17.33	1039.80	1.15	12.85	771.00	1.56
25	29.56	1773.60	0.85	22.34	1340.40	1.12	16.50	990.00	1.52
30	35.63	2137.80	0.84	27.27	1636.20	1.10	19.43	1165.80	1.54
35	41.17	2470.20	0.85	32.51	1950.60	1.08	22.98	1378.80	1.52
40	47.62	2857.20	0.84	38.10	2286.00	1.05	26.67	1600.20	1.50
45	54.11	3246.60	0.83	43.08	2584.80	1.04	30.41	1824.60	1.48
50	60.65	3639.00	0.82	48.52	2911.20	1.03	33.64	2018.40	1.49
55	67.24	4034.40	0.82	54.16	3249.60	1.02	37.67	2260.20	1.46
60	73.80	4428.00	0.81	60.30	3618.00	1.00	40.90	2454.00	1.47

จากตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่าอัตราการไหลของฟิลเตรทสูงสุดที่ความดันการกรองต่างๆ จะได้ค่าดังนี้ 1. ที่ความดัน 1.5 kg/cm^2 มีค่าเท่ากับ 0.87 L/min 2. ที่ความดัน 1.8 kg/cm^2 มีค่าเท่ากับ 1.21 L/min และ 3. ที่ความดัน 2.1 kg/cm^2 มีค่าเท่ากับ 1.56 L/min จากนั้นนำไปหาค่าค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม และอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มในทำนองเดียวกันกับที่พิจารณาผลการทดลองที่ได้จากผงทัลคัม

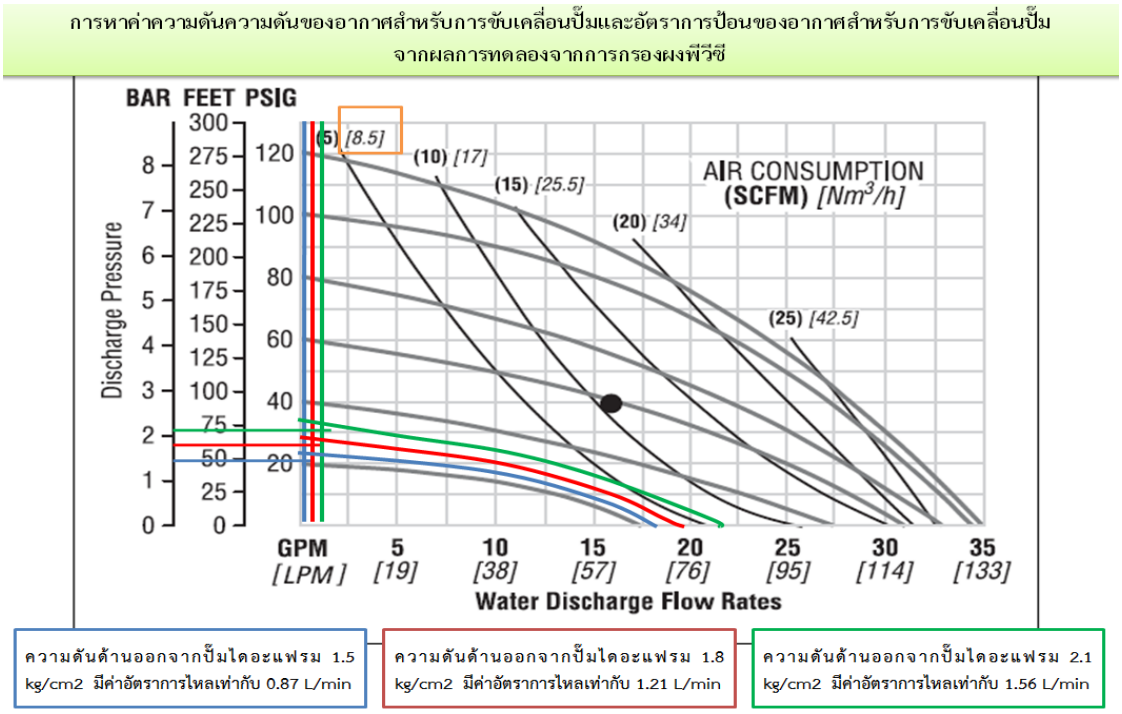


รูปที่ 4.2 การหาค่าความดันความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มและอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มจากผลการทดลองจากการกรองผงทัลคัม

หลังจากหาค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มและอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มจากผลการทดลองจากการกรองผงทัลคัม โดยหาจากกราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรมตามหลักการอ่านค่าที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 สามารถสรุปค่าที่อ่านได้ดังนี้

- ค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม เท่ากับ 1.75 bar (1.785 kg/cm^2) เมื่อค่าของความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรม 1.5 kg/cm^2 มีค่าอัตราการไหลเท่ากับ 3.40 L/min
- ค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม เท่ากับ 2.00 bar (2.040 kg/cm^2) เมื่อค่าของความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรม 1.8 kg/cm^2 มีค่าอัตราการไหลเท่ากับ 3.73 L/min
- ค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม เท่ากับ 2.50 bar (2.550 kg/cm^2) เมื่อค่าของความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรม 2.1 kg/cm^2 มีค่าอัตราการไหลเท่ากับ 4.82 L/min

ลำดับต่อไปจะดำเนินการหาอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มจากกราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรม พบว่าค่าที่ได้เท่ากับ 8.5 m^3/h



รูปที่ 4.3 การหาค่าความดันความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มและอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มจากผลการทดลองจากการกรองผงพีวีซี

หลังจากหาค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มและอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มจากผลการทดลองจากการกรองผงพีวีซี โดยหาจากกราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรมตามหลักการอ่านค่าที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 สามารถสรุปค่าที่อ่านได้ดังนี้

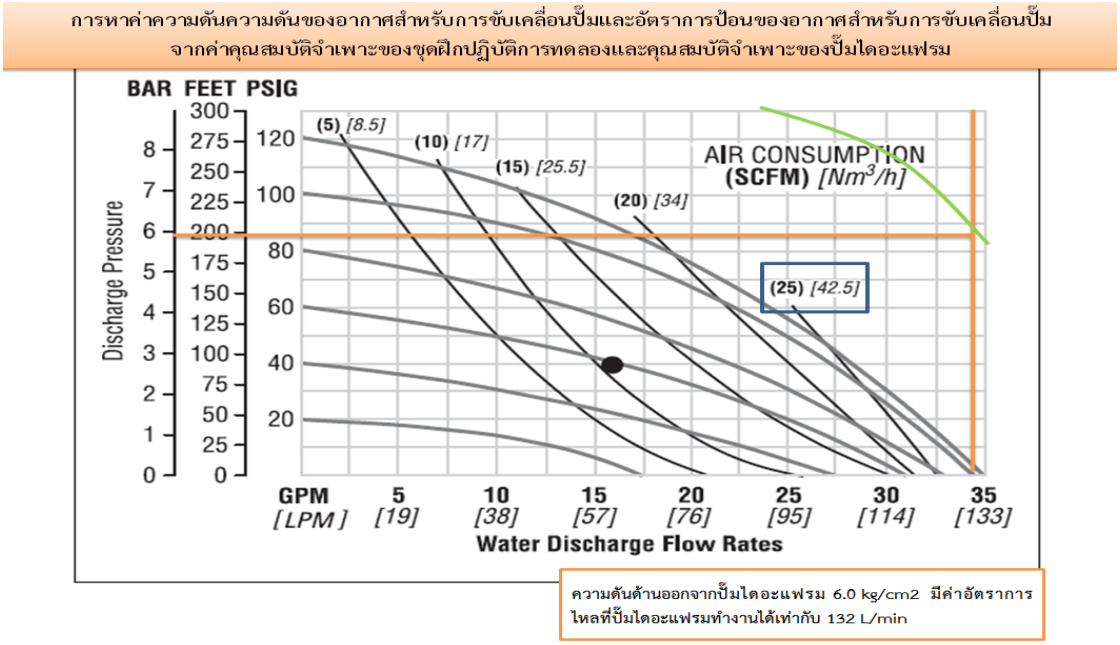
- ค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม เท่ากับ 1.75 bar (1.785 kg/cm^2) เมื่อค่าของความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรม 1.5 kg/cm^2 มีค่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.87 L/min

- ค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม เท่ากับ 2.00 bar (2.040 kg/cm^2) เมื่อค่าของความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรม 1.8 kg/cm^2 มีค่าอัตราการไหลเท่ากับ 1.21 L/min

- ค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม เท่ากับ 2.50 bar (2.550 kg/cm^2) เมื่อค่าของความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรม 2.1 kg/cm^2 มีค่าอัตราการไหลเท่ากับ 1.56 L/min

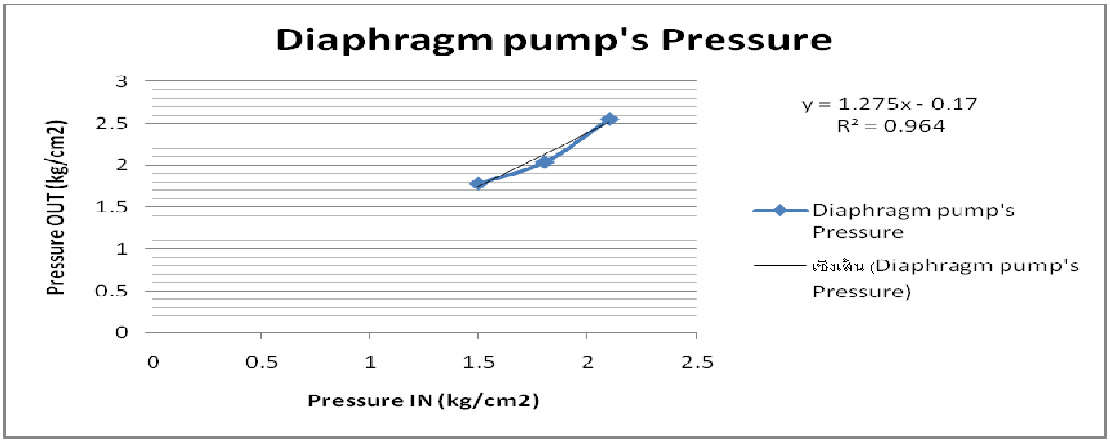
ลำดับต่อไปจะดำเนินการหาอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มจากกราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรม พบว่าค่าที่ได้เท่ากับ 8.5 m^3/h

จากผลการอ่านค่าจากกราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรมจากค่าพารามิเตอร์ที่ทราบค่า คือ ความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรม และอัตราการไหลของฟิลเตรทสูงสุดของการกรองสำหรับแต่ละค่าความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรม พบว่ามีค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มและอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มของการทดลองการกรองผงทัลคัมและผงพีวีซีมีค่าเท่ากัน จากนั้นผู้วิเคราะห์จะมาพิจารณาค่าจากคุณลักษณะจำเพาะของเครื่องในส่วนความสามารถของการกรองที่สามารถทำได้สูงสุด คือ 6.0 kg/cm^2 (5.88 bar) และอัตราการไหลของของเหลวที่ผ่านปั๊มไดอะแฟรมสูงสุด 132 L/min มาหาค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มและอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊ม แสดงดังรูปที่ 4.4

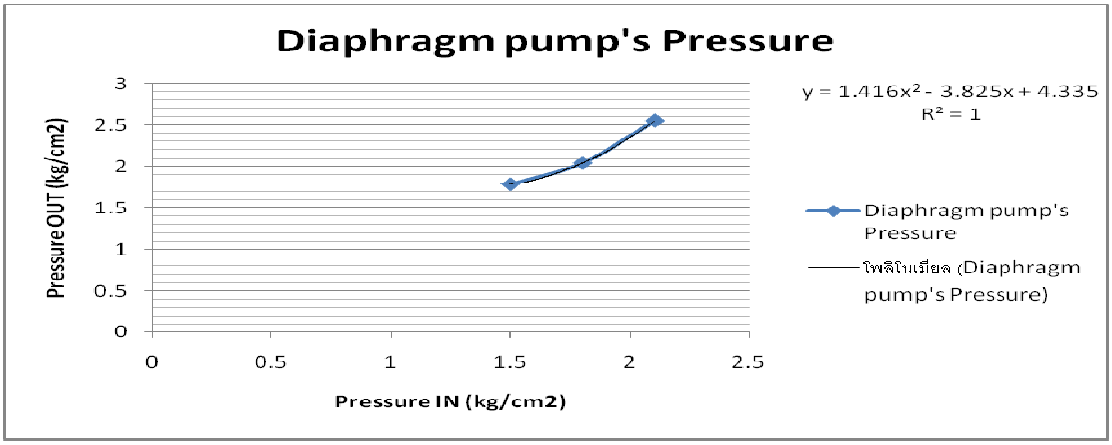


รูปที่ 4.4 การหาค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มและอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มจากจากค่าคุณสมบัติจำเพาะของชุดทดลองและคุณสมบัติจำเพาะของปั๊มไดอะแฟรม

จากการพิจารณากราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรมพบว่าค่าความดันของอากาศสำหรับขับเคลื่อนปั๊มมีค่ามากกว่า 8 bar ซึ่งความดันนั้นเกินกว่าที่เครื่องอัดอากาศของชุดฝึกปฏิบัติการการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบจะสามารถทำได้ เนื่องจากปกติจะทำการอัดได้ไม่เกิน 8 bar ดังนั้นที่สภาวะการกรองที่ความดันสูงสุดที่เครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบสามารถรับได้จึงไม่สามารถเกิดขึ้นได้จริง ลำดับต่อไปผู้วิเคราะห์จะทำการสร้างกราฟเพื่อทำนายค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มและอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มสูงสุดที่เครื่องอัดอากาศสามารถทำงานได้จริง โดยอาศัยค่าที่อ่านได้จากกราฟตามรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.5 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ของความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรมและความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรม (สมการความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบเชิงเส้น)



รูปที่ 4.6 กราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ของความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรมและความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรม (สมการความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบโพลิโนเมียล)

จากกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ของความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรมและความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรม ผู้วิเคราะห์ได้กำหนดให้โปรแกรมสำหรับการคำนวณแบบตาราง (Microsoft Office Excel) แสดงสมการความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลด้วย เมื่อผู้วิเคราะห์ได้สมการความสัมพันธ์ 2 แบบ คือ สมการความสมัพันธ์แบบเชิงเส้นและแบบโพลิโนเมียล จากนั้นผู้วิเคราะห์ได้สร้างตารางเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการความสัมพันธ์และพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรมที่ได้จากทั้งสองสมการความสัมพันธ์นี้เพื่อเลือกใช้เป็นสมการสำหรับกำหนดค่าความดันอากาศสำหรับขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรม

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรมจากความสัมพันธ์เชิงเส้นและความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล

Pressure OUT (kg/cm^2)	Pressure IN - linear (kg/cm^2)	Pressure IN - polynomial order2 (kg/cm^2)	Pressure OUT (kg/cm^2)	Pressure IN - linear (kg/cm^2)	Pressure IN - polynomial order2 (kg/cm^2)
	$P_{in} = 1.275P_{out} - 0.17$	$P_{in} = 1.416P^2_{out} - 3.825P_{out} + 4.335$		$P_{in} = 1.275P_{out} - 0.17$	$P_{in} = 1.416P^2_{out} - 3.825P_{out} + 4.335$
0.50	0.47	2.78	3.50	4.29	8.29
1.00	1.11	1.93	3.60	4.42	8.92
1.10	1.23	1.84	3.70	4.55	9.57
1.20	1.36	1.78	3.80	4.68	10.25
1.30	1.49	1.76	3.90	4.80	10.95
1.40	1.62	1.76	4.00	4.93	11.69
1.50	1.74	1.78	4.10	5.06	12.46
1.60	1.87	1.84	4.20	5.19	13.25
1.70	2.00	1.92	4.30	5.31	14.07
1.80	2.13	2.04	4.40	5.44	14.92
1.90	2.25	2.18	4.50	5.57	15.80
2.00	2.38	2.35	4.60	5.70	16.70
2.10	2.51	2.55	4.70	5.82	17.64
2.20	2.64	2.77	4.80	5.95	18.60
2.30	2.76	3.03	4.90	6.08	19.59
2.40	2.89	3.31	5.00	6.21	20.61
2.50	3.02	3.62	5.10	6.33	21.66
2.60	3.15	3.96	5.20	6.46	22.73
2.70	3.27	4.33	5.30	6.59	23.84
2.80	3.40	4.73	5.40	6.72	24.97
2.90	3.53	5.15	5.50	6.84	26.13
3.00	3.66	5.60	5.60	6.97	27.32
3.10	3.78	6.09	5.70	7.10	28.54
3.20	3.91	6.59	5.80	7.23	29.78
3.30	4.04	7.13	5.90	7.35	31.06
3.40	4.17	7.70	6.00	7.48	32.36

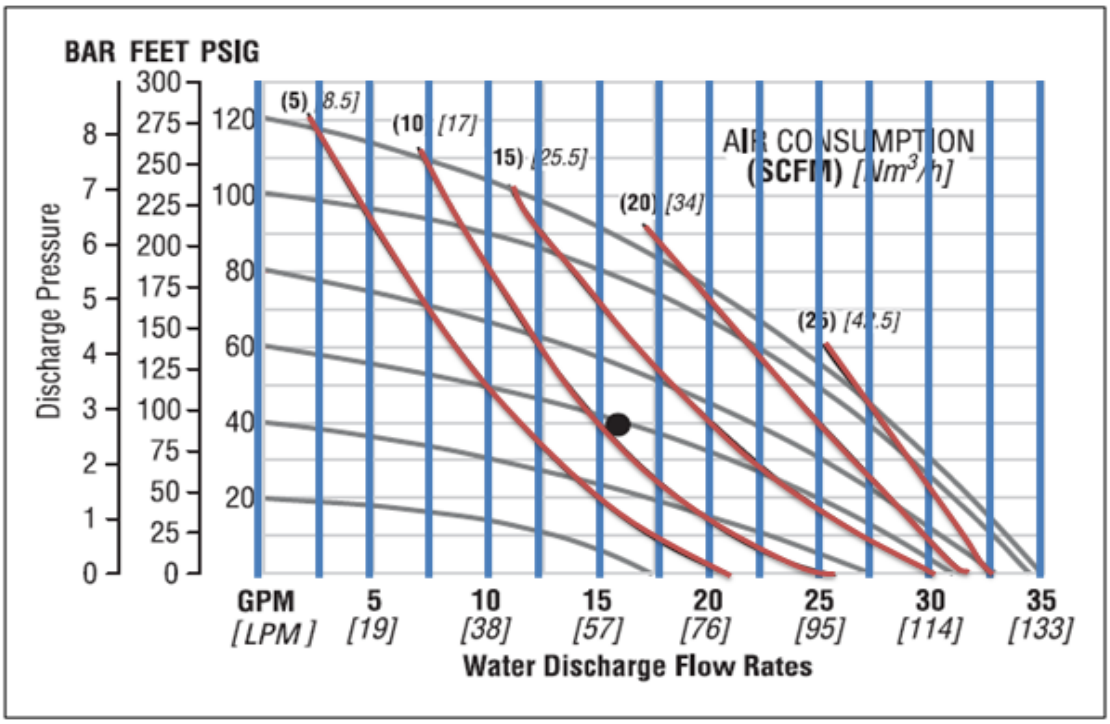
ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรมแบบเชิงเส้นและแบบโพลิโนเมียล

Diaphragm pump pressure outlet (kg/cm^2)	Air pressure inlet : value from Diapram pump curve (kg/cm^2)	Air pressure inlet (kg/cm^2) $P_{in} = 1.275P_{out} - 0.17$	error (%)	Air pressure inlet (kg/cm^2) $P_{in} = 1.416P^2_{out} - 3.825P_{out} + 4.335$	error (%)
1.50	1.79	1.74	2.44	1.78	0.08
1.80	2.04	2.13	4.00	2.04	0.11
2.10	2.55	2.51	1.69	2.55	0.12

จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของความดันอากาศสำหรับขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรมและความดันของของผสมด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรมที่เหมาะสมคือ ความสัมพันธ์ทางคณิศาสตร์แบบโพลิโนเมียล คือ $P_{air\ in} = 1.416P^2_{out} - 3.825P_{out} + 4.335$ กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ1 เมื่อเทียบกับค่าความดันอากาศสำหรับขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรมที่อ่านได้จากกราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรม ซึ่งผู้วิเคราะห์นำค่าความดันของของผสมด้านออกของปั๊มไดอะแฟรมที่ได้จากการทดลองจริง คือ 1.5, 1.8 และ 2.10 kg/cm^2 มาพิจารณาเพื่อเปรียบเทียบ

หากพิจารณาค่าความดันอากาศสำหรับขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรมด้วยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์แบบโพลิโนเมียลที่อ่านได้จากตารางที่ 4.4 พบว่าถ้าต้องการป้อนความดันอากาศเพื่อขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรมด้วยความดันสูงสุดทั่วไปที่เครื่องอัดอากาศสามารถทำได้เท่ากับ 8 kg/cm^2 จะสามารถทำได้จริงที่ 7.70 kg/cm^2 เท่านั้น และค่าความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรมของเท่ากับ 3.40 kg/cm^2 ดังนั้นช่วงการทำงานที่เหมาะสมของชุดดูดจ่ายของผสมของชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ คือ ความดันอากาศสำหรับขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรมอยู่ในช่วง 0.47-7.70 kg/cm^2 และจะได้ค่าความดันด้านออกของปั๊มไดอะแฟรมอยู่ในช่วง 0.50-3.40 kg/cm^2 ซึ่งช่วงทำงานดังกล่าวนี้จะเป็นช่วงการทำงานของชุดดูดจ่ายของผสมที่ไม่เกินข้อกำหนดของคุณลักษณะจำเพาะของชุดแผ่นกรองที่สามารถทนความดันสูงสุด 6.0 kg/cm^2

หลังจากผู้วิเคราะห์ได้หาความสัมพันธ์ของความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรมและความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรมเรียบร้อยแล้ว ลำดับต่อไปจะได้พิจารณาถึงค่าอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรม ซึ่งค่านี้เมื่อพิจารณาจากราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรมแล้วพบว่าจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของฟิลเตรทที่ได้ ผู้วิเคราะห์จึงขออธิบายพร้อมกับกราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรมดังนี้



รูปที่ 4.7 กราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรมสำหรับการอธิบายอัตราการป้อนของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรมที่สัมพันธ์กับอัตราการไหลของฟิลเตรท

จากรูปที่ 4.7 ผู้วิเคราะห์สามรถอธิบายได้ว่าค่าอัตราการป้อนอากาศเข้าสู่ปั๊มไดอะแฟรมจะขึ้นกับอัตราการไหลของฟิลเตรท (อนุมานว่ามีค่าเท่ากับของเหลวหรือของผสมที่เข้าชุดกรอง) กล่าวคือ เมื่อทราบความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรมก็นำมาลากเส้นบนกราฟเพื่อหาจุดตัดกันของอัตราการไหลของฟิลเตรท (เส้นแนวตั้งสีน้ำเงิน) จากนั้นก็จะดูว่าจุดตัดนั้นใกล้เคียงกับเส้นโค้งสีเทาเส้นใด เมื่อลากไปตามแนวเส้นสีเทาเส้นนั้นก็จะทราบว่าจุดที่ตัดกับแกน Y คือความดันอากาศที่ป้อนเข้าปั๊มไดอะแฟรม จากนั้นจะพิจารณาต่อว่าจุดตัดที่กล่าวมานี้อยู่ใกล้เส้นโค้งสีแดงใดมากที่สุด ก็จะได้ค่าอัตราการป้อนอากาศสำหรับขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรม ดังนั้นในการหาค่าอัตราการป้อนอากาศสำหรับขับเคลื่อนปั๊มจะใช้ข้อมูลของอัตราการไหลของฟิลเตรทและความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรมก็เพียงพอสำหรับการหาอัตราการป้อนอากาศสำหรับขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรม ส่วนความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรมก็สามารถหาได้จากกราฟสมรรถนะและสมการความสัมพันธ์ได้

สำหรับเครื่องอัดอากาศของชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบมีขนาดความจุถังอัดอากาศเพียง 64 ลิตร หากพิจารณาค่าอัตราการป้อนอากาศสำหรับขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรมสำหรับงานวิเคราะห์นี้พบว่ามีค่าเท่ากับ 8.5 m^3/h คิดเป็น 141.67 L/min ซึ่งความสามารถในการอัดอากาศเพิ่มเข้าถังจนเต็ม คือ 120 L/min และถ้าคิดว่าหากจะอัดอากาศให้เต็มถังหากอากาศในถังหมดจะใช้เวลาเท่ากับ 64/120 = 0.53 min (0.53 นาที) ซึ่งก็ไม่

เพียงพอจะทำให้ระบบการป้อนอากาศมีเสถียรภาพได้ ถึงแม้ว่าจะติดตั้ง Pressure Regulator ช่วยปรับค่าความดันให้คงที่ก็ตาม เนื่องจากปริมาณอากาศในถังเก็บอากาศลดลง ค่าความดันก็จะลดลงตามเพราะความหนาแน่นของโมเลกุลอากาศน้อยลงตามด้วย ดังนั้นเครื่องอัดอากาศจะต้องทำงานตลอดช่วงการใช้ชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ ผู้วิเคราะห์จึงขอเสนอแนวทาง 2 แนวทาง คือ 1. เพิ่มถังเก็บอากาศปริมาตรบรรจุมากกว่า 150 ลิตร ขึ้นไปพร้อมติดตั้งวาล์วกันกลับ (Check Valve) และระบบกรองอากาศเพื่อสำรองอากาศไว้ใช้งานตลอดการทดลองและลดการทำงานของเครื่องอัดอากาศที่ต่อเนื่องเป็นเวลานาน 2. เปลี่ยนเครื่องอัดอากาศให้มีปริมาตรของถังเก็บอากาศและกำลังการทำงานของปั๊มอัดอากาศที่มีอัตราการอัดที่มากขึ้น

บทที่ 5
สรุปผลวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์หาความเหมาะสมของการทดลองสำหรับการศึกษาชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ ผู้วิเคราะห์สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

5.1.1 จากการวิเคราะห์หาความเหมาะสมทางวัสดุสำหรับการจำลองของผสมสำหรับการกรอง โดยเปรียบเทียบระหว่างผงทัลคัมกับผงพีวีซี พบว่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวของก้อนของแข็ง (Compressibility coefficient of cake : S) ของทั้งผงทัลคัมและผงพีวีซีจะมีค่าไม่อยู่ในช่วง คือ 0.2-0.8 จึงไม่สามารถใช้ค่าพารามิเตอร์นี้สรุปได้ และหากพิจารณาค่าความหนาแน่นเชิงก้อนมวล (Bulk Density) จะเห็นว่าผงทัลคัมมีค่าเดียวกับความหนาแน่นของน้ำ ส่วนผงพีวีซีมีค่าความหนาแน่นเชิงก้อนมวลน้อยกว่าความหนาแน่นของน้ำ ดังนั้นเมื่อนำมากวนผสมเพื่อใช้สำหรับการศึกษาการกรองก็จะได้ว่าผงทัลคัมสามารถรวมกับน้ำเป็นคอลลอยด์แทรกอนุภาคของน้ำดีกว่าผงพีวีซีที่ต้องใช้เวลาการกวนมากกว่า เนื่องด้วยผงพีวีซีจะลอยตัวเพราะความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ

5.1.2 เมื่อวิเคราะห์หาข้อจำกัดของอุปกรณ์สำหรับการศึกษาชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ โดยพิจารณาส่วนชุดดูดจ่ายของผสมที่ประกอบด้วยเครื่องอัดอากาศและชุดกรองสาร (ปั๊มไดอะแฟรมและชุดผ้ากรอง) สามารถสรุปได้ว่า 1. ผ้ากรองของเครื่องกรองแรงดันแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบเป็นผ้ากรองที่ผลิตจาก Polypropylene หรือ PP มีเนื้อผ้ากรองแบบผ้าทอจะสามารถกรองอนุภาคขนาดเล็กที่สุดที่จะถูกกักเก็บได้เท่ากับ 5 ไมครอน (μm) สามารถกรองเก็บได้ขนาดอนุภาคของผงทัลคัมที่มีค่าเท่ากับ 0.044 mm และขนาดอนุภาคของผงพีวีซีที่มีค่าเท่ากับ 0.063 mm ได้อย่างเหมาะสม 2. เมื่อพิจารณาค่าจากคุณลักษณะจำเพาะของเครื่องกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบในส่วนของความสามารถของการกรองที่สามารถทำได้สูงสุด คือ 6.0 kg/cm^2 (5.88 bar) และอัตราการไหลของของเหลวที่ผ่านปั๊มไดอะแฟรมสูงสุด 132 L/min พบว่าค่าความดันของอากาศสำหรับขับเคลื่อนปั๊มมีค่ามากกว่า 8 bar ซึ่งเกินกว่าที่เครื่องอัดอากาศปกติสามารถทำได้ 3. ความสัมพันธ์ของความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรมและความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรม สามารถเขียนแทนด้วยสมการความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล คือ

$$P_{air\ in} = 1.416P^2_{out} - 3.825P_{out} + 4.335$$

เมื่อ $P_{air\ in}$ คือ ความดันของอากาศสำหรับการขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรม (kg/cm^2)

P_{out} คือ ความดันของของเหลวด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรม (kg/cm^2)

4. การหาค่าอัตราการป้อนอากาศสำหรับขับเคลื่อนปั๊มจะใช้ข้อมูลของอัตราการไหลของฟิลเตรทและความดันด้านออกจากปั๊มไดอะแฟรมก็เพียงพอสำหรับการหาอัตราการป้อนอากาศสำหรับขับเคลื่อนปั๊มไดอะแฟรม และ 5. แนวทางสำหรับปรับปรุงเครื่องอัดอากาศได้เสนอไว้ 3 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 เป็นการเพิ่มถังเก็บอากาศปริมาตรบรรจุมากกว่า 150 ลิตร ขึ้นไปพร้อมติดตั้งวาล์วกันกลับ (Check Valve) และระบบกรองอากาศเพื่อสำรองอากาศไว้ใช้งานตลอดการทดลองและลดการทำงานของเครื่องอัดอากาศที่ต่อเนื่องเป็นเวลานาน ส่วนแนวทางที่ 2 เป็นการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศให้มีปริมาตรของถังเก็บอากาศและกำลังการทำงานของปั๊มอัดอากาศที่มีอัตราการอัดที่มากขึ้น และแนวทางที่ 3 คือ การหลีกเลี่ยงการใช้งานที่เกินกว่าที่อุปกรณ์ ได้แก่ เครื่องอัดอากาศและปั๊มไดอะแฟรมจะสามารถรองรับการทำงานในสภาวะการทดลองนั้นๆ ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับแนวทางปรับปรุงและพัฒนาการศึกษาชุดฝึกปฏิบัติการทดลองการชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล สามารถสรุปได้ดังนี้

5.2.1 ก่อนการศึกษาทดลองกับชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบทุกครั้ง ให้ทำการวางแผนกำหนดค่าความดันสำหรับการกรองที่ต้องการศึกษาด้วยการพิจารณาจากกราฟสมรรถนะของปั๊มไดอะแฟรมสำหรับชุดทดลอง เพื่อให้การทดลองอยู่ในกรอบความสามารถของการทำงานได้ของทุกอุปกรณ์

5.2.2 ทำความสะอาดอุปกรณ์ของชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบทุกครั้งให้สะอาดเพื่อป้องกันการอุดตันของของผสมระหว่างทำการศึกษา และลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นแก่อุปกรณ์การทดลอง

5.2.3 ซ่อมบำรุงอุปกรณ์ของชุดทดลองการกรองแบบอัดชนิดแผ่นอัดและกรอบ เช่น ตรวจสอบระดับน้ำมันหล่อลื่นลูกสูบของส่วนอัดอากาศของเครื่องอัดอากาศให้อยู่ในระดับที่ปกติ พร้อมกับถ่ายน้ำคอนเดนเสทที่ด้านล่างของถังเก็บเพื่อป้องกันการเกิดสนิมด้านในถังเก็บเพื่อให้พร้อมใช้งานและปลอดภัยอย่างสม่ำเสมอ

บรรณานุกรม

คู่มือวิชา วศคม 303 ปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี 1 ปีการศึกษา 2561. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

ไดอะแฟรมปั๊ม DIAPHAM PUMP ตอนที่ 1 วัสดุปั๊ม. เข้าถึงเมื่อ 20 มกราคม 2564. เข้าถึงได้จาก https://www.imecorp.co.th

ทองใบ อุดหนุน. (2554). “การนำกลับคืนของโพลีอีเทอร์โพลีออลชนิดนุ่มที่ตกค้างในเครื่องกรองแบบใบ.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภัทวรา ปฐมรังษิยังกุล. (2560). **การกรองในวิศวกรรมกระบวนการแปรรูปอาหาร**. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ศูนย์บริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วัสดุสิ่งทอสำหรับการกรองสาร (Textile Materials for Filtration). เข้าถึงเมื่อ 18 เมษายน 2564. เข้าถึงได้จาก https://www.thaitextile.org/th/

AD Series Air Diaphragm Pumps. เข้าถึงเมื่อ 9 เมษายน 2564. เข้าถึงได้จาก https://www.aquapluspumps.com.au

ASTM International. (2010). E 873-82: Standard Test Method for Bulk Density of Densified Particulate Biomass Fuels. Annual book of ASTM Standards, 11.06: 112-113.

D. Bourcier, and others. (2016). “Influence of particle size and shape properties on cake resistance and compressibility during pressure filtration.” **Chemical Engineering Science**, 144: 176-187.

HOW TO CALCULATE THE FLOW RATE OD AN AODD PUMP. เข้าถึงเมื่อ 22 มีนาคม 2564. เข้าถึงได้จาก https://www.versamatic.com

Onwe John Ituma, and Ademiluyi Joel. (2018). “Expressing Filter Press Specific Resistance as a function of Cake Yield using LMT Dimensional Analytical Approach.” **Engineering Research Volume 9**, 6: 2222-2232.

T2 Original Series Metal Pump. เข้าถึงเมื่อ 20 มกราคม 2564. เข้าถึงได้จาก https://www.wildenchemicalguide.com

THE ULTIMATE AIR OPERATED DOUBLE DIAPHAM PUMP CHEAT SHEET. เข้าถึงเมื่อ 9 เมษายน 2564. เข้าถึงได้จาก https://www.globalpumps.com.au

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก : ข้อมูลผลการทดลองการกรองผงทัลคัม

ภาคผนวก ข : ข้อมูลผลการทดลองการกรองผงพีวีซี

ภาคผนวก ค : ผลการคำนวณเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของการกรองของผงทัลคัม

ภาคผนวก ง : ผลการคำนวณเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของการกรองของผงพีวีซี

ภาคผนวก จ : ผลการวิเคราะห์การอัดตัวของก้อนของแข็งจากการกรองผงทัลคัม

ภาคผนวก ฉ : ผลการวิเคราะห์การอัดตัวของก้อนของแข็งจากการกรองผงพีวีซี

ภาคผนวก ก : ข้อมูลผลการทดลองการกรองผงทัลคัม

P = 1.5 kg/cm^2	เค้ก = 402.93 g
P = 1.8 kg/cm^2	เค้ก = 399.71 g
P = 2.1 kg/cm^2	เค้ก = 355.20 g

อัตราส่วนของผสม	
ผงทัลคัม (kg)	1.8
น้ำ (L)	260

ปริมาตร Filtrate (L)	P = 1.5 kg/cm^2		P = 1.8 kg/cm^2		P = 2.1 kg/cm^2	
	time (min)	time (sec)	time (min)	time (sec)	time (min)	time (sec)
5	1.47	88.20	1.34	80.40	1.13	67.80
10	3.46	207.60	3.13	187.80	2.12	127.20
15	6.20	372.00	5.17	310.20	3.23	193.80
20	8.55	513.00	7.36	441.60	4.16	249.60
25	11.35	681.00	9.46	567.60	5.23	313.80
30	14.45	867.00	12.10	726.00	6.23	373.80
35	17.40	1044.00	14.00	840.00	7.33	439.80
40	21.00	1260.00	16.05	963.00	8.44	506.40
45	23.20	1392.00	18.10	1086.00	10.08	604.80
50	26.00	1560.00	20.12	1207.20	11.20	672.00
55	29.50	1770.00	22.32	1339.20	12.42	745.20
60	32.10	1926.00	24.23	1453.80	13.52	811.20

ภาคผนวก ข : ข้อมูลผลการทดลองการกรองผงพีวีซี

P = 1.6 kg/cm^2	เค้ก = 420.00 g
P = 2.0 kg/cm^2	เค้ก = 380.00 g
P = 2.3 kg/cm^2	เค้ก = 320.00 g

อัตราส่วนของผสม	
PVC (kg)	1.8
น้ำ (L)	260

ปริมาตร Filtrate (L)	P = 1.5 kg/cm^2		P = 1.8 kg/cm^2		P = 2.1 kg/cm^2	
	time (min)	time (sec)	time (min)	time (sec)	time (min)	time (sec)
5	6.42	385.20	4.17	250.20	3.22	193.20
10	11.91	714.60	9.04	542.40	6.57	394.20
15	17.29	1037.40	12.44	746.40	9.75	585.00
20	23.52	1411.20	17.33	1039.80	12.85	771.00
25	29.56	1773.60	22.34	1340.40	16.50	990.00
30	35.63	2137.80	27.27	1636.20	19.43	1165.80
35	41.17	2470.20	32.51	1950.60	22.98	1378.80
40	47.62	2857.20	38.10	2286.00	26.67	1600.20
45	54.11	3246.60	43.08	2584.80	30.41	1824.60
50	60.65	3639.00	48.52	2911.20	33.64	2018.40
55	67.24	4034.40	54.16	3249.60	37.67	2260.20
60	73.80	4428.00	60.30	3618.00	40.90	2454.00

ภาคผนวก ค : ผลการคำนวณเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของการกรองของผงทัลคัม

$$\frac{t}{V} = \frac{K}{2}V + B$$

P = 1.5 kg/cm^2 เค้ก = 402.93 g

P = 1.8 kg/cm^2 เค้ก = 399.71 g

P = 2.1 kg/cm^2 เค้ก = 355.20 g

$K = \frac{\mu \alpha c}{A^2 \Delta P}$ และ $B = \frac{\mu R_m}{A \Delta P}$

ความดันลด ΔP		K/2	K	B	Filter cake		V		C	A	μ	α	R_m
kg/cm^2	N/m^2				g	kg	Liter	m^3	kg/m^2	m^2	kg/m.s	m/kg	m^{-1}
1.5	147000	24250	48500	19846	402.9	0.403	60	0.06	6.72	0.575	0.001	3.49E+11	1.67E+12
1.8	176400	12464	24928	18405	399.7	0.4	60	0.06	6.66	0.575	0.001	2.17E+11	1.86E+12
2.1	205800	11113	22226	12628	355.20	0.355	60	0.06	5.92	0.575	0.001	2.54E+11	1.49E+12

ภาคผนวก ง : ผลการคำนวณเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของการกรองของผงพีวีซี

$$\frac{t}{V} = \frac{K}{2}V + B$$

P = 1.5 kg/cm^2 ค้าง = 420.00 g

P = 1.8 kg/cm^2 ค้าง = 380.00 g

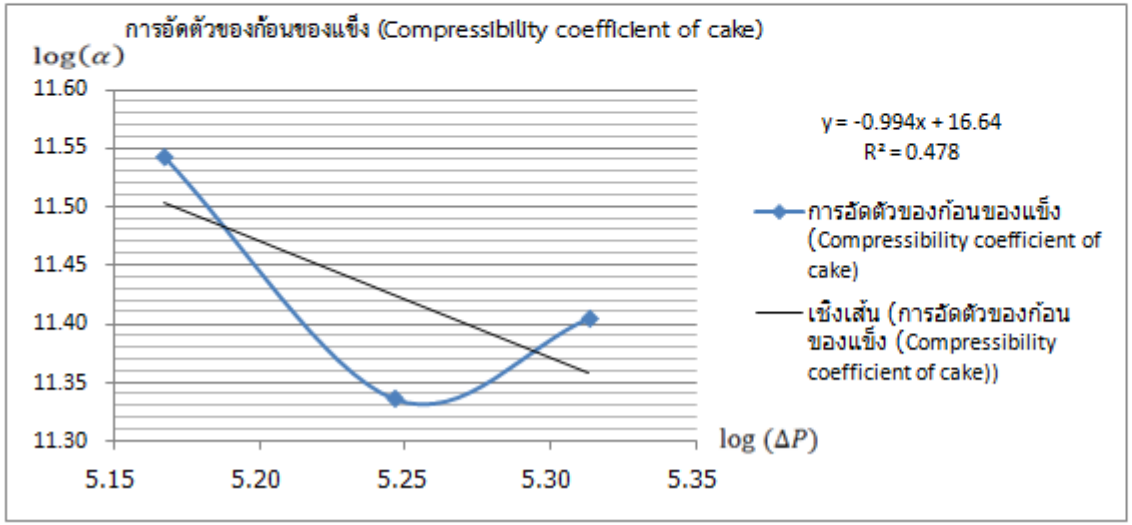
P = 2.1 kg/cm^2 ค้าง = 320.00 g

$$K = \frac{\mu \alpha c}{A^2 \Delta P} \quad \text{และ} \quad B = \frac{\mu R_m}{A \Delta P}$$

ความดันลด ΔP		K/2	K	B	Filter cake		V		C	A	μ	α	R_m
kg/cm^2	N/m^2				g	kg	Liter	m^3	kg/m^2	m^2	kg/m.s	m/kg	m^{-1}
1.5	147000	10799	21598	71692	420.00	0.42	60	0.06	7.00	0.575	0.001	1E+11	6E+12
1.8	176400	17814	35628	49387	380.00	0.38	60	0.06	6.33	0.575	0.001	3E+11	5E+12
2.1	205800	42825	85650	38306	320.00	0.32	60	0.06	5.33	0.575	0.001	1E+12	5E+12

ภาคผนวก จ : ผลการวิเคราะห์การอัดตัวของก้อนของแข็งจากการกรองผงทัลคัม

ความดันลด ΔP		$\log(\Delta P)$	α	$\log(\alpha)$
kg/cm^2	N/m^2		m/kg	
1.5	147000	5.17	3.49261E+11	11.54
1.8	176400	5.25	2.17151E+11	11.34
2.1	205800	5.31	2.54188E+11	11.41



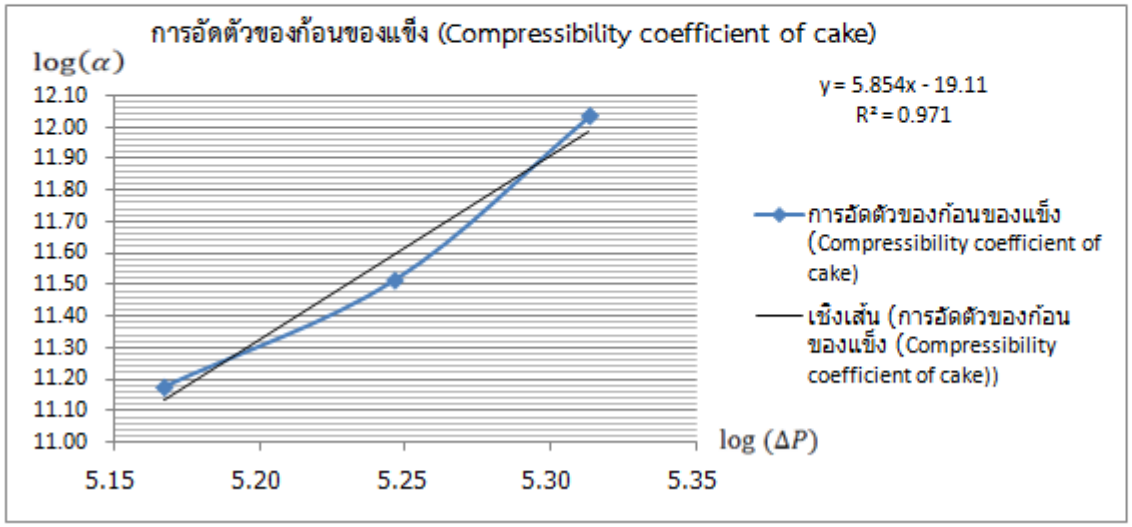
$$\alpha = \alpha_0 (\Delta P)^s$$

$$\log(\alpha) = \log(\alpha_0) + s.\log(\Delta P)$$

α_0	4.36516E+16	m/kg
s	-0.994	

ภาคผนวก ฉ : ผลการวิเคราะห์การอัดตัวของก้อนของแข็งจากการกรองผงพีวีซี

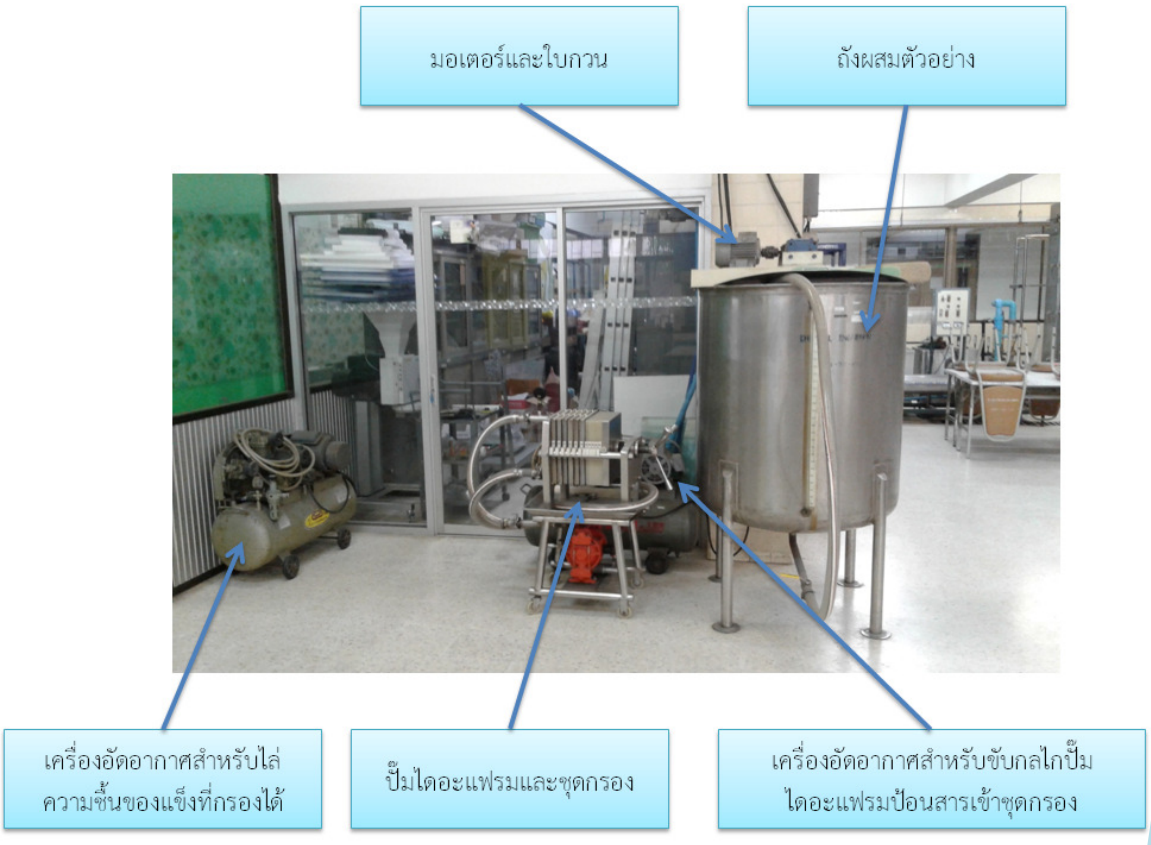
ความดันลด ΔP		$\log(\Delta P)$	α	$\log(\alpha)$
kg/cm^2	N/m^2		m/kg	
1.5	147000	5.17	1.49212E+11	11.17
1.8	176400	5.25	3.26458E+11	11.51
2.1	205800	5.31	1.08729E+12	12.04



$$\alpha = \alpha_0 (\Delta P)^s$$

$$\log(\alpha) = \log(\alpha_0) + s.\log(\Delta P)$$

α_0	7.76247E-20	m/kg
s	5.854	


มอเตอร์และใบกวน
ถังผสมตัวอย่าง
เครื่องอัดอากาศสำหรับไล่ความชื้นของแข็งที่กรองได้
ปั๊มไดอะแฟรมและชุดกรอง
เครื่องอัดอากาศสำหรับขับกลไกปั๊มไดอะแฟรมป้อนสารเข้าชุดกรอง