

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โครงการต่อเนื่องการผลิตคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลส
ระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

ตอนที่ 1 : การออกแบบเครื่องลดความชื้นคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลส

ภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

ตอนที่ 2 : ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลต

ต่อสมดุลไอรระหว่างน้ำและเอทานอล



นายชินพล

คชพล

นางสาวนิภาพันท์

พูนเสถียรทรัพย์

นายพรชัย

แช่ลิ้ม

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมึก

เลขทะเบียน 36754

วัน, เดือน, ปี 2543

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารลับ ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีการนำเอกสารฉบับนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต จะถือว่าผิดกฎหมาย

ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of the Pilot Scale Production of Carboxymethyl Cellulose
Part 1 : Design of a Continuous Vacuum Dryer to Decrease the Humidity of
Carboxymethyl Cellulose
Part 2 : The Effects of Sodium Chloride Salt and Sodium Glycollate
Salt on Vapor-Liquid Equilibrium of Water-Ethanol System



A Report Submitted Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง

โครงการต่อเนื่องการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

ตอนที่ 1 การออกแบบเครื่องลดความชื้นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

ตอนที่ 2 ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลตต่อ

สมดุลไอร่หว่างน้ำและเอทานอล

โดย

นายชินพล คชพล

นางสาวนิภาพันท์ พูนเสถียรทรัพย์

นายพรชัย แซ่ลี้ม

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ


อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครวัฒน์¹


ผศ.ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ²

1. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

 ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

 กรรมการ
(อ.บุญชัย ไซตวิริยวาณิชย์)

 กรรมการ
(อ.นภกร รัมพิพิธ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

80-100 % โดยน้ำหนัก ให้เหลือเปอร์เซ็นต์ความชื้นประมาณ 25% โดยน้ำหนัก การออกแบบทำ 2 กรณี คือ กรณีความชื้นขาเข้า 100% และความชื้นขาออก 25% และกรณีที่ความชื้นขาเข้า 80% และความชื้นขาออก 25% กรณีแรก พื้นที่ของเครื่องลดความชื้น 3.26 ตร.ม. สายพานลำเลียงมีขนาดความกว้าง 0.50 ม. ความยาว 7.00 ม. ค่าแรงดึงสายพานที่ใช้งานจริง 1.48 นิวตัน/มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งสายพานไม่ต่ำกว่า 50 มม. กำลังมอเตอร์ของระบบสายพานไม่ต่ำกว่า 1.78×10^{-4} กิโลวัตต์ อัตราในการบีบของบีบสูญญากาศ 105.62 ลบ.ม/ชม. และกำลังมอเตอร์ของบีบสูญญากาศ 4.3 กิโลวัตต์ กรณีที่สอง พื้นที่ของเครื่องลดความชื้น 2.89 ตร.ม. สายพานลำเลียงมีขนาดความกว้าง 0.50 ม. ความยาว 6.00 ม. ค่าแรงดึงสายพานที่ใช้งานจริง 1.31 นิวตัน/มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งสายพานไม่ต่ำกว่า 50 มม. กำลังมอเตอร์ของระบบสายพานไม่ต่ำกว่า 1.57×10^{-4} กิโลวัตต์ อัตราในการบีบของบีบสูญญากาศ 92.09 ลบ.ม/ชม. และกำลังมอเตอร์ของบีบสูญญากาศ 3.3 กิโลวัตต์

ในการสังเคราะห์ซีเอ็มซีใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย การศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลต ซึ่งเป็นสารพลอยได้จากการสังเคราะห์ซีเอ็มซีต่อสมดุลไอระหว่างน้ำและเอทานอล เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกลั่นเอทานอลจากระบวนการผลิตเพื่อนำเอทานอลกลับมาใช้ใหม่ พบว่า เมื่อเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงไปในระบบน้ำและเอทานอล จะสามารถกลั่นแยกเอทานอลได้ดีขึ้น และผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์โดยที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ให้ผลการกลั่นที่ดีที่สุดคือที่ความเข้มข้น 1, 0.5 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ สำหรับการเติมเกลือโซเดียมไกลคอลเลตลงไปในระบบน้ำและเอทานอลจะทำให้การกลั่นแยกเอทานอลลดลง

Report Title A Study of the Pilot Scale Production of Carboxymethyl Cellulose
Part 1 : Design of a Continuous Vacuum Dryer to Decrease the Humidity of Carboxymethyl Cellulose
Part 2 : The Effects of Sodium Chloride Salt and Sodium Glycollate Salt on Vapor-Liquid Equilibrium of Water-Ethanol System

By Mr. Chinapol Kochapol
Miss Nipapun Poonsateansup
Mr. Pornchai Sae - Lim

Advisor Asst.Prof.Dr. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum

Co-Advisor Asst.Prof.Dr. Theerawat Mongkolausawarat ¹
Asst.Prof.Dr. Gobboon Lothongkum ²

1. Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
2. Department of Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering,
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This work presents the pilot scale production of carboxymethyl cellulose (CMC). Part 1 is design of a continuous vacuum dryer to decrease the humidity of CMC. Part 2 studies effects of sodium chloride salt and sodium glycollate salt on vapor-liquid equilibrium of the water-ethanol system.

Drying system contains 3 unit operations, i.e., a decanter, a continuous vacuum dryer to decrease CMC humidity and a fluidized bed dryer. The data to design the above continuous vacuum dryer based on absolute pressure of 460 mm.Hg. in order to decrease humidity from 80-100 wt% to 25 wt%. Two systems were designed. For the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

first one the inlet and outlet humidities of CMC were 100 wt% and 25 wt%, respectively. In this case the continuous vacuum dryer area was 3.26 m^2 , the width and length of the conveyor belt were 0.50 m and 7.00 m, respectively, the effective tension of the conveyor belt was 1.48 N/mm., the minimum diameter pulley of the conveyor belt was 50 mm., the motor capacity of the conveyor system was at least $1.78 \times 10^{-4} \text{ kW}$, the volumetric flow rate of the vacuum pump was $105.62 \text{ m}^3/\text{h}$, and the motor capacity of the vacuum pump was 4.3 kW. In the second system where the inlet and outlet humidities of CMC were 80 wt% and 25 wt%, respectively, the continuous vacuum dryer area was 2.89 m^2 , the width and length of the conveyor belt were 0.50 m and 6.00 m, respectively, the effective tension of the conveyor belt was 1.31 N/mm., the minimum diameter pulley of the conveyor belt was 50 mm., the motor capacity of the conveyor system was at least $1.57 \times 10^{-4} \text{ kW}$, the volumetric flow rate of the vacuum pump was $92.09 \text{ m}^3/\text{h}$, and the motor capacity of the vacuum pump was 3.3 kW.

For CMC production, a lot of ethanol was consumed as the solvent. The vapor-liquid equilibrium data of water-ethanol system with byproduct salts, sodium chloride and sodium glycolate, were required for ethanol recovery by distillation. It was shown that the addition of sodium chloride salt, concentrations of 1 wt%, 0.5 wt% and 0.1 wt% in water-ethanol system, increased the distillation efficiency, respectively, while the addition of sodium glycolate decreased the distillation efficiency

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคคลหลายฝ่าย
คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งชาติ (สวทช.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการนี้

บริษัท ไทยเซลลูโลสโปรดักส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิต
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และนำชมโรงงาน

คุณวาริส แซ่เหลียว บริษัท คอนเนกเตอร์ เทคโนโลยี จำกัด ที่ให้ข้อมูลและคำปรึกษา
เกี่ยวกับการออกแบบระบบสายพาน

ดร.อรรวรรณ ชัยลภากุล ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่
ให้ความอนุเคราะห์และช่วยเหลือในการส่งเชื้อโซเดียมไกลคอลเลตเพื่อการวิเคราะห์

ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาในการทำโครงการนี้

ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ข้อมูลในการทำงานวิจัยและแนะนำความรู้เกี่ยวกับ
การใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ

คุณสิริเกตุ ตั้งสกุลและคุณวัลลภ เกรียงไกรกฤษฎา นักศึกษาทดลองเรียน ภาควิชา
วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่ช่วยงานวิจัยนี้

เจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวก
ในระหว่างการทำโครงการนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์
ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครวัฒน์ และผศ.ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษา
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่วม ที่ให้คำแนะนำในการทำโครงการนี้มาโดยตลอด และตรวจแก้ไขโครงการ ทำให้โครงการ
ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ถ้ามีสิ่งผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขออภัยและขออภัยมา ณ
ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นายชินพล คชพล

นางสาวนิภาพันธ์ พูนเสถียรทรัพย์

นายพรชัย แซ่ลิ่ม

17 พฤษภาคม 2543



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ญ
สารบัญตาราง	ฐ
สารบัญรูป	ฑ
สัญลักษณ์	บ
ตอนที่ 1 การออกแบบเครื่องลดความชื้นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสภายใต้ระบบสุญญากาศ	
แบบต่อเนื่อง	1
บทที่ 1 บทนำ	2
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	2
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	5
1.3 ขอบเขตของโครงการ	6
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	6
1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานของโครงการ	7
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	8
2.1 ปฏิกริยาการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	8
2.2 โครงสร้างของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	9
2.3 คุณสมบัติหลักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	10
2.4 สมบัติทางกายภาพของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสแห้ง	10
2.5 คุณสมบัติการละลายของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	11
2.6 ประโยชน์ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	11
บทที่ 3 ทฤษฎีและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการอบแห้ง	14
3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการอบแห้ง (Fundamentals of drying)	14
3.2 กลไกการอบแห้ง	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.3	ประเภทเครื่องอบแห้ง	19
3.4	วิธีการเลือกเครื่องอบแห้ง	29
บทที่ 4	ปั๊มสุญญากาศ	38
4.1	ชนิดของปั๊มสุญญากาศ	38
4.2	การเลือกปั๊มสุญญากาศ	46
บทที่ 5	ข้อมูลเบื้องต้นของการอบแห้งคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และระบบการอบแห้งภายใต้ระบบสุญญากาศ	54
5.1	ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับซีเอ็มซีและตัวทำละลายเอทานอล	54
5.2	กระบวนการผลิตซีเอ็มซี	55
บทที่ 6	การทดลองอบแห้งซีเอ็มซีเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการออกแบบ เครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง	57
6.1	การสังเคราะห์ซีเอ็มซีจากเซลลูโลสชนิดผง	57
6.2	การเก็บข้อมูลการอบแห้งซีเอ็มซีด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ	59
6.3	ผลการทดลอง	61
บทที่ 7	การคำนวณและออกแบบเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบ สุญญากาศแบบต่อเนื่อง	63
7.1	ขั้นตอนการออกแบบ	63
7.2	การคำนวณและการออกแบบ	65
7.3	การคำนวณปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)	77
7.4	รายละเอียดการออกแบบ	80
ตอนที่ 2	ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลตต่อสมดุลไอ ระหว่งน้ำและเอทานอล	83
บทที่ 8	ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย	84
8.1	บทนำ	84
8.2	ผลของเกลือต่อค่าศักย์เชิงเคมีขององค์ประกอบในสารละลาย	84
8.3	ผลของเกลือต่อสมดุลไอ – ของเหลว	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 9 ขั้นตอนการดำเนินงานและผลการทดลอง	89
9.1 การทดลอง	89
9.2 ผลการทดลอง	92
บทที่ 10 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	99
10.1 สรุปผลการทดลอง	99
10.2 ข้อคิดเห็น	100
10.3 ข้อเสนอแนะ	101
เอกสารอ้างอิง	102
ภาคผนวก	106
ภาคผนวก ก ข้อมูลสำหรับการคำนวณคุณสมบัติสายพานของเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซี ภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง	107
ภาคผนวก ข ข้อมูลสายพาน (จากบริษัท คอนเวเยอร์ เทคโนโลยี จำกัด)	110
ภาคผนวก ค ข้อมูลบีมสุญญากาศ (จากบริษัท สินทร์ เทคดิง แอนด์ เอ็นจิเนียริง (1994) จำกัด)	114
ภาคผนวก ง ผลการทดลองการอบแห้งซีเอ็มซีและ กราฟความสัมพันธ์จากข้อมูลการอบแห้งซีเอ็มซี	116
ภาคผนวก จ รายละเอียดเครื่องมือการทดลองที่ใช้ในการทำให้เกิดสมดุล	123
ภาคผนวก ฉ รายละเอียด Refractometer	126
ภาคผนวก ช ข้อมูลที่สมดุลของระบบน้ำ - เอทานอลที่ความดัน 1 บรรยากาศ	134
ภาคผนวก ซ ข้อมูลสำหรับกราฟมาตรฐานและผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำ และเอทานอลที่มีความเข้มข้นเกลือต่าง ๆ กันละลายอยู่	136
ภาคผนวก ฌ ผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและโซเดียมไอออน ของเกลือโซเดียมไกลคอลเลต	176

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 การเลือกประเภทเครื่องอบแห้ง	34
ตารางที่ 4.1 การประเมินความเชื่อถือได้ของปั๊มและระบบสุญญากาศ	47
ตารางที่ 4.2 ลำดับของปั๊มและระบบสุญญากาศเมื่อเรียงตามเกณฑ์ราคา และค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง	52
ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองและผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้ง ของการอบแห้งซีเอ็มซีที่ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50°C	62
ตารางที่ ก.1 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของสายพาน (μ)	108
ตารางที่ ก.2 ค่าคงที่สายพาน (C)	108
ตารางที่ ก.3 แฟกเตอร์การเคลื่อนที่ของสายพาน (m)	109
ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติของสายพานมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ	111
ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองและผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้ง ของการอบแห้งซีเอ็มซีที่ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50°C	117
ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองและผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้ง ของการอบแห้งซีเอ็มซีที่ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60°C	118
ตารางที่ ง.3 ผลการทดลองและผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้ง ของการอบแห้งซีเอ็มซีที่ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70°C	119
ตารางที่ ง.4 ผลการทดลองและผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้ง ของการอบแห้งซีเอ็มซีที่ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60°C	120
ตารางที่ ง.5 ผลการทดลองและผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้ง ของการอบแห้งซีเอ็มซีที่ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70°C	121
ตารางที่ ข.1 ข้อมูลที่สมดุลของระบบน้ำ – เอทานอลที่ความดัน 1 บรรยากาศ	135
ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอล ของระบบน้ำและเอทานอล	137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญัตินี้ (ต่อ)

ตารางที่ ข.2	ผลการทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอล ของระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 กรัม	138
ตารางที่ ข.3	ผลการทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอล ของระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.5 กรัม	139
ตารางที่ ข.4	ผลการทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอล ของระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 1.0 กรัม	140
ตารางที่ ข.5	ผลการทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอล ของระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 0.1 กรัม	141
ตารางที่ ข.6	ผลการทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอล ของระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 0.5 กรัม	142
ตารางที่ ข.7	ผลการทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอล ของระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 1 กรัม	143
ตารางที่ ข.8	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 10% โดยน้ำหนัก	144
ตารางที่ ข.9	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	145
ตารางที่ ข.10	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	145

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ ข.11	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	146
ตารางที่ ข.12	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	146
ตารางที่ ข.13	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	147
ตารางที่ ข.14	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	147
ตารางที่ ข.15	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	148
ตารางที่ ข.16	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	148
ตารางที่ ข.17	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 90% โดยน้ำหนัก	149
ตารางที่ ข.18	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 10% โดยน้ำหนัก	150
ตารางที่ ข.19	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	151
ตารางที่ ข.20	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	151
ตารางที่ ข.21	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	152
ตารางที่ ข.22	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	152
ตารางที่ ข.23	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	153

สารบัญญัตินี้ (ต่อ)

ตารางที่ ข.24	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	153
ตารางที่ ข.25	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	154
ตารางที่ ข.26	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	154
ตารางที่ ข.27	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 10% โดยน้ำหนัก	155
ตารางที่ ข.28	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	156
ตารางที่ ข.29	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	156
ตารางที่ ข.30	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	157
ตารางที่ ข.31	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	157
ตารางที่ ข.32	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	158
ตารางที่ ข.33	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	158
ตารางที่ ข.34	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	159
ตารางที่ ข.35	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	159
ตารางที่ ข.36	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลต ละลายอยู่ 0.1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 10% โดยน้ำหนัก	160

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ ข.50	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลต ละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	168
ตารางที่ ข.51	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลต ละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	169
ตารางที่ ข.52	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลต ละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	169
ตารางที่ ข.53	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลต ละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	170
ตารางที่ ข.54	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลต ละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	170
ตารางที่ ข.55	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลต ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 10% โดยน้ำหนัก	171
ตารางที่ ข.56	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลต ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	172
ตารางที่ ข.57	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลต ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	172
ตารางที่ ข.58	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลต ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	173
ตารางที่ ข.59	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลต ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	173
ตารางที่ ข.60	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลต ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1	174
ตารางที่ ข.61	ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลต ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2	174

สารบัญตาราง (ต่อ)

- ตารางที่ ๗.62 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือ โซเดียมไกลคอลเลต
ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1.....175
- ตารางที่ ๗.63 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลต
ละลายอยู่ 1 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2.....175



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี อบแห้ง ณ ความดัน 460 และ 560 มม.ปรอท ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม. ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°ซ	3
รูปที่ 1.2	ระบบการอบแห้งซีเอ็มซีแบบต่อเนื่อง	4
รูปที่ 2.1	โครงสร้างของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	9
รูปที่ 3.1	แสดงการเปลี่ยนแปลงของมวลและอุณหภูมิกับเวลาในการอบแห้ง	17
รูปที่ 3.2	เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง	18
รูปที่ 3.3	เครื่องอบแห้งแบบถาด	20
รูปที่ 3.4	เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์	21
รูปที่ 3.5	เครื่องอบแห้งแบบหมุนแบบทรงกระบอกแนวตั้ง	22
รูปที่ 3.6	เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่	23
รูปที่ 3.7	เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดพ่นฝอย	24
รูปที่ 3.8	เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไธเบด	25
รูปที่ 3.9	เครื่องอบแห้งแบบ Single-compartment vacuum tray dryer (SVT)	26
รูปที่ 3.10	เครื่องอบแห้งแบบ Multi-compartment vacuum tray dryer (MCVT)	27
รูปที่ 3.11	เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดป้อนวัสดุเข้าโดยตรง	28
รูปที่ 3.12	เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดมีเครื่องกระจายวัสดุ	28
รูปที่ 3.13	เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดมีเครื่อง Disintegrator	29
รูปที่ 4.1	รายละเอียดของ Steam jet ejector	40
รูปที่ 4.2	การใช้สัญลักษณ์ของ Stream jet ejector ตามมาตรฐานของ สถาบันอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	40
รูปที่ 4.3	ปั๊มสุญญากาศแบบ Liquid ring	42
รูปที่ 4.4	ปั๊มแบบ Liquid ring แบบ 2 ช่อง	42
รูปที่ 4.5	การทำงานของปั๊มโรตารีแบบลูกสูบ	44
รูปที่ 4.6	ปั๊มโรตารีแบบเวน	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

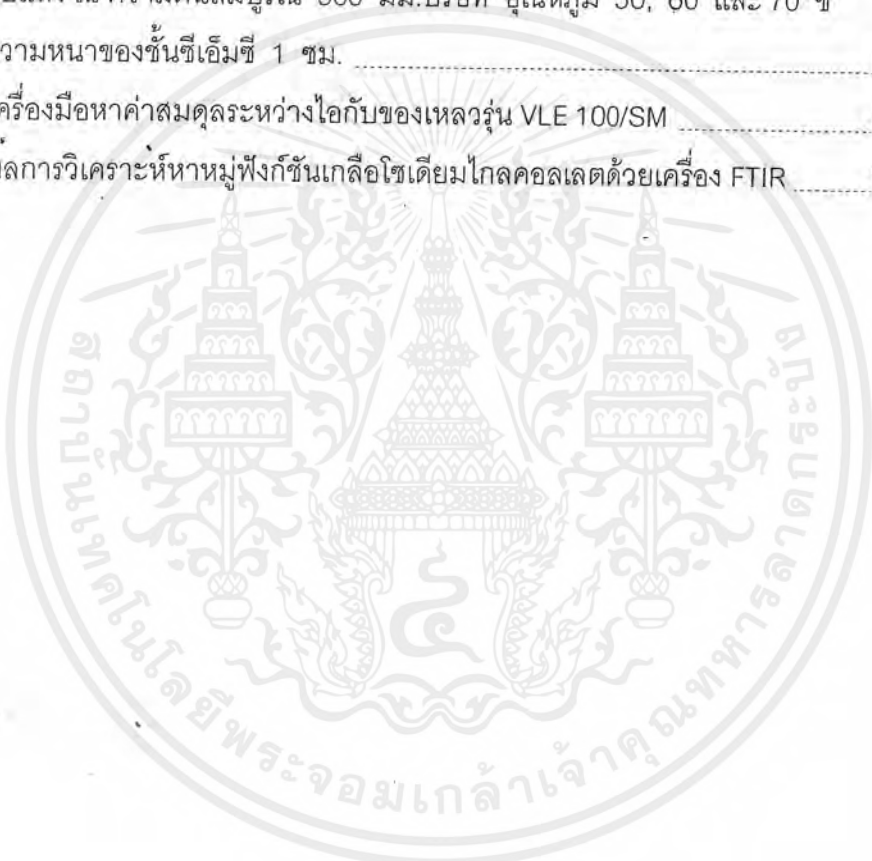
สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.7	ปั๊มโรตารีแบบเวน 2 ช่อง	45
รูปที่ 5.1	กระบวนการผลิตซีเอ็มซี	55
รูปที่ 5.2	การอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศจากการทดลอง	56
รูปที่ 7.1	เครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องโดยใช้สายพานลำเลียงภายใต้ระบบ สุญญากาศ	65
รูปที่ 7.2	ค่าแรงเสียดทานที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณและออกแบบสายพาน	69
รูปที่ 7.3	เครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง	80
รูปที่ 7.4	(ก) ภาพด้านหน้า (ข) ภาพด้านบน (ค) ภาพด้านข้าง ของเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง	81
รูปที่ 7.5	ระบบสายพานเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ แบบต่อเนื่อง	81
รูปที่ 7.6	ลูกกลิ้งระบบสายพานเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ แบบต่อเนื่อง	82
รูปที่ 8.1	ผลของเกลือแคลเซียมคลอไรด์ต่อระบบของ 2-โพรพานอล-น้ำ	86
รูปที่ 8.2	ผลของเกลือแคลเซียมคลอไรด์ต่อระบบของเมทานอล-เอทิลอะซิเตต	87
รูปที่ 8.3	ผลของเกลือกับ Selective solvation	87
รูปที่ 9.1	ค่าการละลายของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (กรัม) ในสารละลายระหว่าง น้ำและเอทานอล 100 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง	94
รูปที่ 9.2	กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่าง ๆ ละลายอยู่	95
รูปที่ 9.3	กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตความเข้มข้นต่าง ๆ ละลายอยู่	96
รูปที่ 9.4	ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อสมมูลไอระหว่างน้ำและเอทานอล	97
รูปที่ 9.5	ผลของเกลือโซเดียมไกลคอลเลตต่อสมมูลไอระหว่างน้ำและเอทานอล	98
รูปที่ ค.1	Suction capacity และกำลังที่ต้องการ (Power consumption) ของปั๊มสุญญากาศ	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ ง.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 ^o ซ ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.	122
รูปที่ ง.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 ^o ซ ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.	122
รูปที่ จ.1	เครื่องมือหาค่าสมดุลระหว่างไอกับของเหลวรุ่น VLE 100/SM	124
รูปที่ ฉ.1	ผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันเกลือโซเดียมไกลคอลเลตด้วยเครื่อง FTIR	177



สัญลักษณ์

A	: พื้นที่การอบแห้ง (ตร.ม.)
A_n	: พื้นที่ของเครื่องลดความชื้น (ตร.ม.)
B	: ความกว้างของสายพาน (มม. หรือ ม.)
C	: ค่าคงที่สายพาน (-)
E	: น้ำหนักของเอทานอล (กรัม)
g	: แรงโน้มถ่วงของโลก (ม./วินาที ²)
G_b	: น้ำหนักสายพานต่อความยาวสายพาน (กก./ม.)
G_m	: น้ำหนักของซีเอ็มซีต่อความยาวสายพาน (กก./ม.)
H	: เอนทาลปี (กิโลแคลอรี/กก.)
L	: ความยาวสายพาน (ม.)
m	: แพกเตอร์การเคลื่อนที่ของสายพาน
N_n	: กำลังมอเตอร์ที่ใช้งานตามทฤษฎี (กิโลวัตต์)
N_m	: กำลังมอเตอร์ที่ใช้งาน (กิโลวัตต์)
p	: ค่าแรงดึงสายพานที่ใช้งานจริง (นิวตัน/มม.)
p_i	: ความดันไอขององค์ประกอบ i ในสารละลายบริสุทธิ์
P	: ความดันสัมบูรณ์ (ทอร์) เมื่อเวลาผ่านไป t_p วินาที
P_0	: ความดันสัมบูรณ์เริ่มต้น (ทอร์)
P_b	: ค่าแรงดึงสายพานประสิทธิผล (นิวตัน)
P_{RO}	: แรงเสียดทานในส่วนของกลิ้งบนสายพาน (นิวตัน)
P_{RU}	: ค่าแรงเสียดทานขณะที่สายพานเคลื่อนที่กลับ (นิวตัน)
P_{sl}	: แรงยกของสายพานในกรณีที่สายพานไม่ได้อยู่ในแนวระดับ (นิวตัน)
P_{Nstop}	: ค่าแรงเสียดทานในขณะที่มีการไหลของซีเอ็มซีเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (นิวตัน)
P_v	: ความดันไอ (มม.ปรอท)
P_{vs}	: ความดันไออิ่มตัว (มม.ปรอท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ (ต่อ)


Q	: กำลังการผลิตของซีเอ็มซีที่ต้องการ (ตัน/วัน)
Q_1	: อัตราการไหลเชิงปริมาตรของซีเอ็มซีตามทฤษฎีที่ความเร็วสายพาน 1 ม./วินาที (ลบ.ม./ชม.)
Q_2	: อัตราการไหลเชิงปริมาตรของซีเอ็มซีที่ต้องการ (ลบ.ม./ชม.)
R	: ค่าคงที่ของก๊าซ
R_d	: อัตราการอบแห้ง (กก./ตร.ม. ชม.)
S	: อัตราเร็วในการป้อน (ลิตร/วินาที)
t	: เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (นาที)
t_b	: ความหนาของชั้นซีเอ็มซีบนสายพาน (ม.)
t_p	: เวลาที่ใช้จากความดันสัมบูรณ์ P_0 ไปเป็นความดันสัมบูรณ์ P (วินาที)
T	: อุณหภูมิของศาลมบูรณ์
T_b	: ค่าแรงดึงสายพานสูงสุด (นิวตัน)
T_a	: อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)
T_{da}	: อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ($^{\circ}\text{C}$)
T_w	: อุณหภูมิกระเปาะเปียก ($^{\circ}\text{C}$)
v	: ปริมาตรจำเพาะ (ลบ.ม./กก.)
$v_{1,b}$: ความเร็วของสายพาน 1 ม./วินาที
v_b	: ความเร็วของสายพาน (ม./วินาที)
V	: ปริมาตรของห้องสุญญากาศ (ลิตร)
W	: ปริมาณความชื้น (กก.)
W_e	: ความชื้นสมดุล (กก.)
W_s	: มวลของวัสดุแห้ง (กก.)
W_1	: น้ำหนักของน้ำ (กรัม)
x	: เศษส่วนโดยโมลของสารในสถานะของเหลว (-)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ (ต่อ)

X	: อัตราส่วนความชื้น (กก./กก.ผลิตภัณฑ์แห้ง)
y	: เศษส่วนโดยโมลของสารในสถานะไอ
y_i	: เศษส่วนโมลขององค์ประกอบ i ในวัฏภาคไอ
y_{is}	: เศษส่วนโมลขององค์ประกอบ i ที่มีแก๊สละลายอยู่ในวัฏภาคไอ
μ	: สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของสายพาน
μ_r	: คักย์เชิงเคมีขององค์ประกอบในสารละลาย
μ_{rs}	: คักย์เชิงเคมีขององค์ประกอบในสารละลายที่มีแก๊สละลายอยู่
π	: ความดันรวม (บรรยากาศ)
ρ	: ความหนาแน่นของซีเอ็มซี (ตัน/ลบ.ม.)
η	: ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (%)
α	: Arc of contact ($^{\circ}$)





ตอนที่ 1

การออกแบบเครื่องลดความชื้นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
ภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose) หรือ ซีเอ็มซี (CMC) เป็นสารอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่สังเคราะห์จากปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชัน ระหว่างเซลลูโลสในสารละลายไฮดรอกไซด์กับกรดคลอโรอะซีติกโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเฟสทรานเฟอร์ นิยมใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมกาว และอุตสาหกรรมการขุดเจาะน้ำมัน เป็นต้น

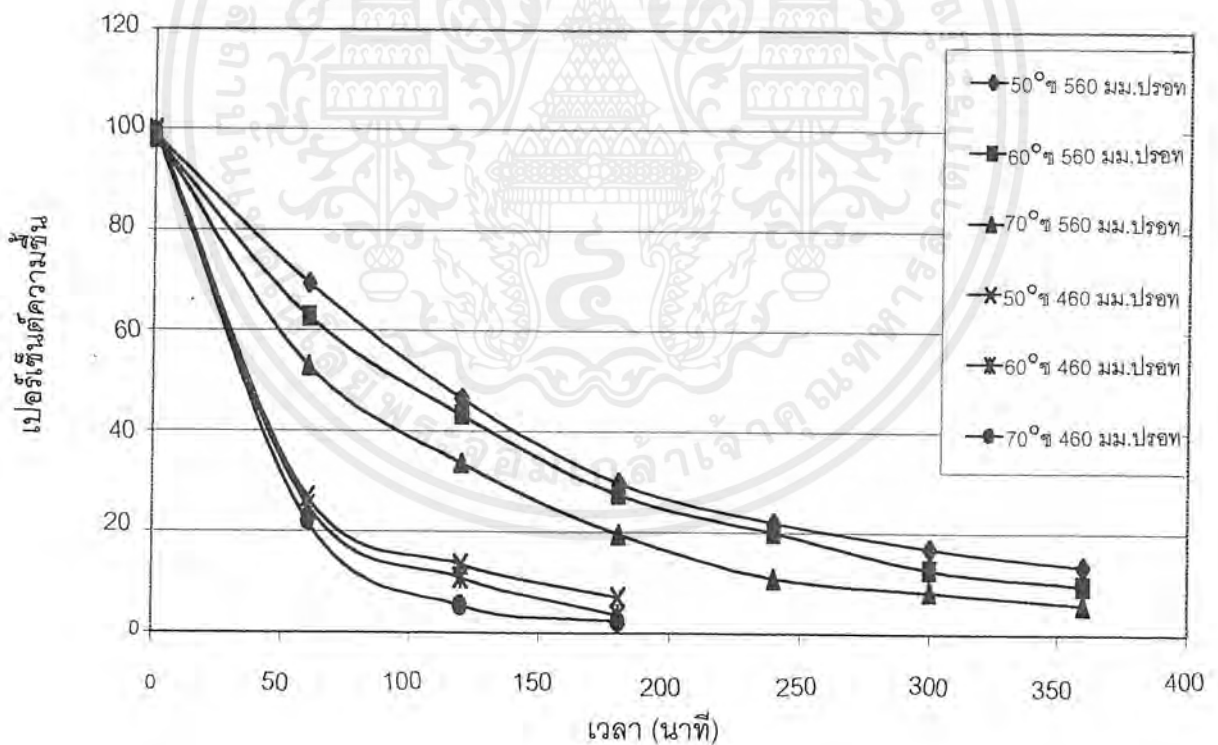
ในกระบวนการผลิตซีเอ็มซีจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ๆ ได้แก่ การสังเคราะห์ซีเอ็มซี และการอบแห้งซีเอ็มซี สำหรับการสังเคราะห์ซีเอ็มซีจะใช้เซลลูโลส น้ำ ตัวทำละลายพวกแอลกอฮอล์ เช่น เอทานอลหรือไอโซโพรพานอล และกรดคลอโรอะซีติกเป็นวัตถุดิบสำคัญ ส่วนการอบแห้งซีเอ็มซีจะเป็นการไล่น้ำและแอลกอฮอล์ออกจากซีเอ็มซีให้เหลือปริมาณความชื้นไม่เกิน 8% โดยน้ำหนัก (คำว่า "ความชื้น" ในที่นี้จะหมายถึง ปริมาณน้ำและแอลกอฮอล์ต่อน้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง) ก่อนบรรจุเพื่อส่งจำหน่าย ในปัจจุบันการผลิตซีเอ็มซีในเชิงอุตสาหกรรมยังไม่เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศ เนื่องจากโรงงานที่สามารถผลิตซีเอ็มซีในประเทศมีเพียงแห่งเดียว คือ บริษัทไทยเซลลูโลส โปรดักส์ จำกัด การศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตซีเอ็มซีจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ดังรายละเอียด โครงการที่ผ่านมา [1], [2], [3] และ

- การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศสำหรับกระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก โดยกานต์ เกตุเอี่ยม จีรภัทร พนมกิจ และธรรมนุญ อุดมมัน, ปี พ.ศ. 2540 [4]

- ผลของความดัน อุณหภูมิ และความหนาของชั้นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการอบแห้งแบบสุญญากาศ โดยน้ำฝน นริศราวุธ ศรีญญา เจริญวงศ์ และสกุณา พงษากุล, ปี พ.ศ.2541 [5]

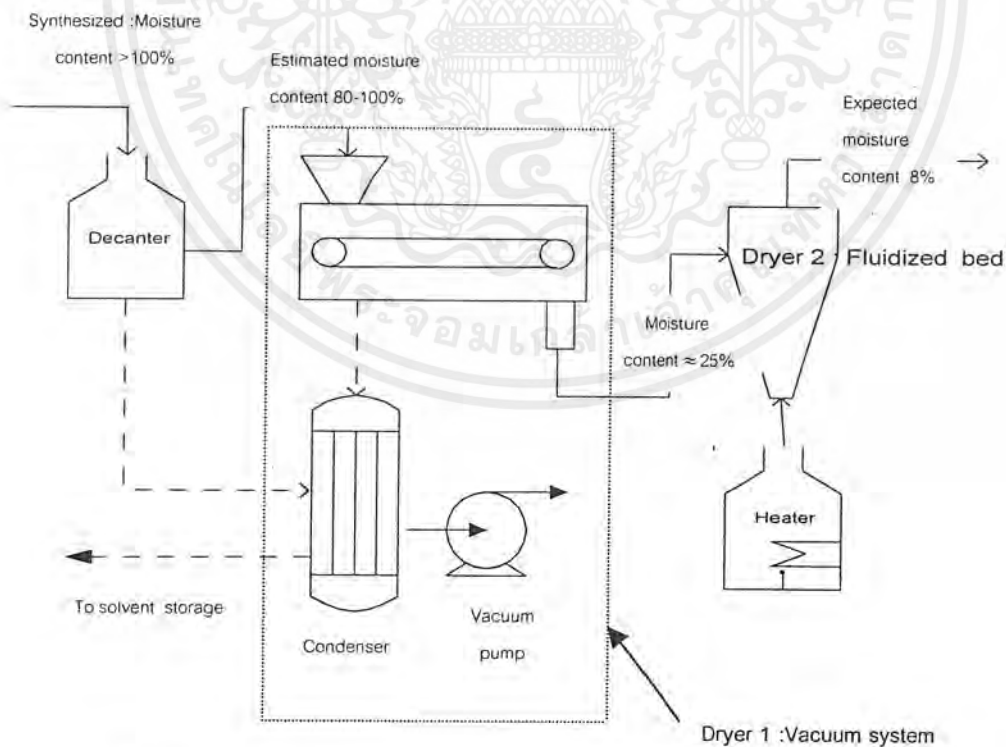
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโครงการนี้เป็นโครงการต่อเนื่องจากโครงการปี 2540 และ 2541 โดยที่โครงการปี 2540 คือ การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศสำหรับกระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ซึ่งได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศขึ้น และโครงการปี 2541 ได้ศึกษาผลของความดัน อุณหภูมิ และความหนาของชั้นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการอบแห้งแบบสุญญากาศ โดยการอบแห้งซีเอ็มซีด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศที่ได้สร้างขึ้น เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศดังกล่าวมีการทำงานเป็นแบกะ (Batch drying) จึงเกิดความคิดที่จะออกแบบระบบการอบแห้งซีเอ็มซีแบบต่อเนื่อง (Continuous drying) ขึ้น และในเบื้องต้นได้ทำการเก็บข้อมูลการอบแห้งซีเอ็มซีอบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 และ 560 มม.ปรอท ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70^oซ และความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม. เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองที่ได้จากโครงการพิเศษปี 2541 รูปที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 และ 560 มม.ปรอท ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70^oซ ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.



รูปที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีอบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 และ 560 มม.ปรอท ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม. ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70^oซ

จากรูปจะเห็นว่า ความดันมีผลต่อการอบแห้งมากกว่าอุณหภูมิ โดยที่การอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ต่ำจะทำให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยลง ดังนั้น จึงเลือกสภาวะที่ใช้สำหรับการออกแบบที่ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท พิจารณาที่เส้นกราฟความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท จะเห็นว่าช่วงแรกของกราฟ เเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นประมาณ 25% ซึ่งเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีขึ้นจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 100% จนเหลือความชื้นประมาณ 25% จะใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีขึ้นจากความชื้น 25% จนเหลือความชื้นประมาณ 8% จะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นว่า ในการอบแห้งซีเอ็มซีจากความชื้นเริ่มต้น 100% จนเหลือความชื้น 8% (ซีเอ็มซีที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นประมาณ 8%) จะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 3 ชั่วโมง ซึ่งถ้าออกแบบเครื่องอบแห้งภายใต้ระบบสูญญากาศแบบต่อเนื่อง สำหรับอบแห้งซีเอ็มซีจากความชื้นเริ่มต้น 100% จนเหลือความชื้น 8% จะทำให้ขนาดของเครื่องอบแห้งมีขนาดใหญ่มาก เนื่องจากต้องการพื้นที่การอบแห้งมาก การสร้างเครื่องอบแห้งดังกล่าวก็ทำได้ยาก ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการออกแบบระบบการอบแห้งซีเอ็มซีแบบต่อเนื่องขึ้น รูปที่ 1.2 แสดงระบบการอบแห้งซีเอ็มซีแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 1.2 ระบบการอบแห้งซีเอ็มซีแบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการอบแห้งซีเอ็มซีแบบต่อเนื่อง ประกอบด้วยหน่วยปฏิบัติการ 3 หน่วย คือ

1. ดีแคนเตอร์ (Decanter) สำหรับแยกตัวทำละลายที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีเอ็มซีออก ในการออกแบบซีเอ็มซีที่ออกจากดีแคนเตอร์จะต้องมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นประมาณ 80-100%
2. เครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง สำหรับลดความชื้นของซีเอ็มซีจากเปอร์เซ็นต์ความชื้นประมาณ 80-100% ให้เหลือเปอร์เซ็นต์ความชื้นประมาณ 25%
3. เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด สำหรับอบแห้งซีเอ็มซีจากเปอร์เซ็นต์ความชื้น 25% จนเหลือเปอร์เซ็นต์ความชื้น 8%

โครงการนี้ ตอนที่ 1 ได้ออกแบบเครื่องลดความชื้นภายใต้ระบบสุญญากาศส่วนดีแคนเตอร์ และเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด ไม่ได้ทำการออกแบบ

ในการสังเคราะห์ซีเอ็มซีทั่วไปจะใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายในปริมาณมาก ดังนั้นการนำเอทานอลในการสังเคราะห์ซีเอ็มซีกลับมาใช้ใหม่โดยการกลั่น จำเป็นจะต้องศึกษาผลของผลิตภัณฑ์พลอยได้ของการสังเคราะห์ซีเอ็มซี คือ กลีโกลิโอดีเอ็มแอลและกลีโอดีเอ็มแอล - คอลเลตที่มีต่อสมดุลไอรระหว่างน้ำและเอทานอล ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษตอนที่ 2 เพราะข้อมูลสมดุลไอรระหว่างน้ำและเอทานอลที่มีกลีโอดีเอ็มแอลและกลีโอดีเอ็มแอล - คอลเลตละลายอยู่ เป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการกลั่นเอทานอลจากกระบวนการผลิตซีเอ็มซี เพื่อนำเอทานอลกลับมาใช้ใหม่

งานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาผลของกลีโอดีเอ็มแอล-ของเหลว [6, 7] ผลของกลีโอดีเอ็มแอลต่อเทอร์โมไดนามิกส์ของสมดุลระหว่างระบบน้ำและสารละลายอินทรีย์ [8] ผลของกลีโอดีเอ็มแอลต่อสมดุลไอร-ของเหลวโดยทดสอบจากการเปลี่ยนแปลงทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบเอทานอลกับน้ำซึ่งอิมิตด้วยกลีโอดีเอ็มแอล [9] ศึกษาสมดุลไอร-ของเหลวของระบบเอทานอลกับน้ำที่มีกลีโอดีเอ็มแอลละลายอยู่ [10] และการคำนวณการออกแบบหอกลั่นเพื่อนำเอทานอลจากกระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกลับมาใช้ใหม่ [11]

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาทฤษฎีของการอบแห้งและผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบแห้งซีเอ็มซี ภายใต้ระบบสุญญากาศ

1.2.2 นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ ไปใช้ในการออกแบบเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

1.2.3 ศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลตต่อสมดุไลระหว่างน้ำและเอทานอล

1.3 ขอบเขตของโครงการงาน

1.3.1 ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับซีเอ็มซีและกระบวนการผลิตซีเอ็มซี

1.3.2 ศึกษาลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

1.3.3 ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีสุญญากาศ

1.3.4 ศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ

1.3.5 ออกแบบเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

1.3.6 ศึกษาสมดุไลระหว่างน้ำและเอทานอล

1.3.7 ทดลองเก็บข้อมูลของสมดุไลระหว่างน้ำและเอทานอลซึ่งถูกเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ และเกลือโซเดียมไกลคอลเลตที่ความเข้มข้นเกลือต่าง ๆ กัน

1.3.8 วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลตต่อสมดุไลระหว่างน้ำและเอทานอล

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการงาน

1.4.1 มีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการผลิตซีเอ็มซีและสามารถสังเคราะห์ซีเอ็มซี

1.4.2 มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะและหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ

1.4.3 เรียนรู้การพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งแบบสุญญากาศ

1.4.4 รู้ผลของตัวแปรต่าง ๆ ต่อการอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ

1.4.5 สามารถออกแบบเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่องได้

1.4.6 มีความรู้เกี่ยวกับสมดุไลระหว่างน้ำและเอทานอล

1.4.7 มีความรู้เกี่ยวกับผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลตต่อสมดุไลระหว่างน้ำและเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.8 สร้างสมดุลงไธระหว่งน้ำและเอทานอลใหม่ที่มีผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลตที่เกี่ยวข้องได้

1.4.9 มีความสามารถในการวางแผนการดำเนินงานวิจัย

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานของโครงการ

1.5.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ศึกษาลักษณะและหลักการท่งงานของเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ

1.5.3 ศึกษาเรื่องเทคโนโลยีสุญญากาศ

1.5.4 ศึกษาสมบัติของซีเอ็มซีและกระบวนการผลิตซีเอ็มซี

1.5.5 สังเคราะห์ซีเอ็มซีเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลการอบแห้ง

1.5.6 ศึกษาผลของความดันและอุณหภูมิ ที่มีต่อการอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบ

สุญญากาศ

1.5.7 คำนวณความชื้น อัตราการอบแห้ง และสร้างเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง

1.5.8 ออกแบบเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

1.5.9 ศึกษาสมดุลงไธระหว่งน้ำและเอทานอล

1.5.10 ศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลตต่อสมดุลงไธระหว่งน้ำและเอทานอล

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

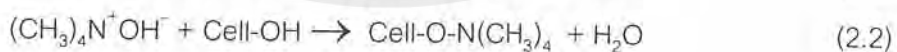
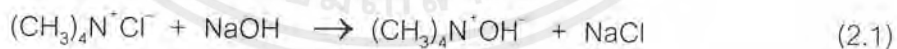
2.1 ปฏิริยาการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสามารถสังเคราะห์ได้ตามขั้นตอนปฏิริยา ดังนี้ [12]

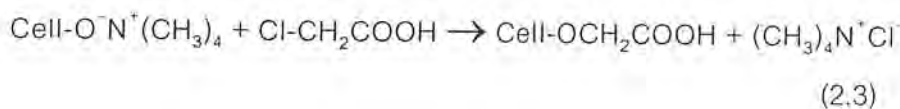
2.1.1 ปฏิริยาระหว่างเซลลูโลส (Cellulose, Cell-OH) ในวัฎภาคตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งในที่นี้คือเอทานอล กับสารละลายไฮดรอกไซด์ในวัฎภาคน้ำ โดยมีตัวเร่งปฏิริยา คือ เตตราเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (Tetramethyl ammonium chloride, $((\text{CH}_3)_4\text{N}^+\text{Cl}^-)$) เป็นสารนำพา (Carrier) ระหว่างสองวัฎภาค แสดงได้ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2

2.1.2 ปฏิริยาการเกิดอีเทอร์ระหว่างเซลลูโลสกับสารละลายไฮดรอกไซด์ และ สารละลายกรดคลอโรอะซิติก (Chloroacetic acid, ClCH_2COOH) ในเอทานอล หลังจากนั้น ทำให้เป็นกลางด้วยกรดอะซิติกเข้มข้นเพื่อหยุดปฏิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose, Cell- OCH_2COOH) โดยมีไฮดรอกไซด์และไฮดรอกไซด์กลีคอลเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากปฏิริยา จากนั้นจึงนำคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ได้ไป ทำให้บริสุทธิ์โดยใช้เมทานอล เอทานอล หรืออะซิโตนเป็นตัวสกัดเพื่อแยกเกลือไฮดรอกไซด์ออกแสดงได้ดังสมการที่ 2.3

ก. ปฏิริยาเฟสทรานเฟอร์ (Phase transfer reactions)

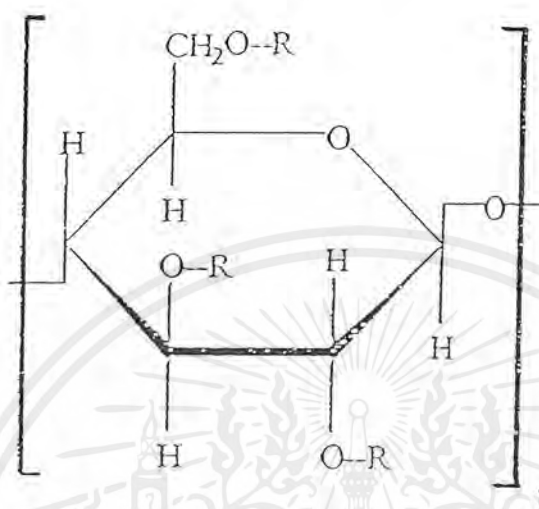


ข. ปฏิริยาการเกิดอีเทอร์ (Etherification)



2.2 โครงสร้างของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

โครงสร้างของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส [13]

n : ความยาวโมเลกุลของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

R : H หรือ $\text{CH}_2\text{COO}^-\text{Na}^+$

ค่าความสามารถในการแทนที่ (Degree of substitution) หรือค่าดีเอส (DS) ของกลุ่มไฮดรอกซีคาร์บอกซีเมทิล ($\text{CH}_2\text{COO}^-\text{Na}^+$) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.3-3.0 ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนไฮดรอกซีคาร์บอกซีเมทิลที่เข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) ต่อหนึ่งหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (Anhydroglucose unit) โดยทั่วไปซีเอ็มซีจะมีค่าดีเอสอยู่ระหว่าง 0.6-0.9 ซึ่งค่าดีเอสนี้จะบอกถึงความสามารถในการละลายของซีเอ็มซีในน้ำหรือในสารละลายเบส เช่น ถ้าซีเอ็มซีที่มีค่าดีเอสต่ำกว่า 0.3 จะไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายได้ดีในด่าง ส่วนซีเอ็มซีที่มีค่าดีเอสสูงกว่า 0.45 จะสามารถละลายในน้ำได้ เป็นต้น นอกจากนี้ค่าดีเอสยังบอกถึงเสถียรภาพ (Stability) ของซีเอ็มซีต่อสภาพอากาศ ความชื้น แสงแดด ความร้อน เอนไซม์ และมลภาวะต่าง ๆ ซีเอ็มซีที่มีค่าดีเอสสูง ๆ จะยังมีเสถียรภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คุณสมบัติหลักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีคุณสมบัติหลัก ดังนี้ [14]

- 2.3.1 เป็นสารละลายที่เพิ่มความหนืดและช่วยในการยึดเกาะ
- 2.3.2 ละลายได้ทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน และสามารถละลายในสารละลายผลระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำ เช่น เอทานอล หรืออะซีโตน ได้สารละลายที่มีความหนืด แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ และน้ำมัน
- 2.3.3 ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีอันตราย ไม่เป็นพิษ และไม่ระคายเคืองผิวหนัง
- 2.3.4 มีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 6.5-8.0
- 2.3.5 ไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติแม้จะเก็บไว้เป็นเวลานาน
- 2.3.6 ทำหน้าที่เป็นสารทำให้เสถียร (Stabilizer) สารช่วยในการแขวนลอย(Suspending aid) สารเพิ่มความหนืด (Thickener) สารช่วยในการกระจายอนุภาค (Dispersing aid) และสารยึด (Binder) ได้ดี
- 2.3.7 มีความคงทนต่อสารเคมีและเชื้อจุลินทรีย์สูงกว่าสารธรรมชาติ
- 2.3.8 มีความสามารถในการดูดและเก็บน้ำได้ดี
- 2.3.9 ความหนืดลดลงเมื่อถูกแรงเฉือนและการกวนสารละลาย
- 2.3.10 เป็นสารเพิ่มเนื้อสำหรับอาหารและเครื่องดื่มแคลอรีต่ำ

2.4 สมบัติทางกายภาพของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสแห้ง

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสแห้งมีสมบัติทางกายภาพ ดังนี้ [14]

2.4.1 ความบริสุทธิ์ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (% โดยน้ำหนัก)	72 – 99.5%
2.4.2 ความชื้น (% โดยน้ำหนัก)	7 – 8%
2.4.3 อุณหภูมิที่ทำให้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Browning temperature, °ซ)	180 - 225
2.4.4 อุณหภูมิที่ทำให้เป็นถ่าน (Charring temperature, °ซ)	210 – 250
2.4.5 ความหนาแน่น (Bulk density, กรัม/มิลลิลิตร)	0.65 – 0.75
2.4.6 บีโอดี (Biological Oxygen Demand, กรัม/มิลลิลิตร)	10,000 - 18,000

2.5 คุณสมบัติการละลายของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

การประยุกต์ใช้ซีเอ็มซีส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปการละลายน้ำ ดังนั้นขั้นตอนการละลายจึงถือว่าสำคัญที่สุด เนื่องจากซีเอ็มซีมีแนวโน้มจะจับตัวเป็นก้อนที่เรียกว่า Lump ในบางครั้งอาจละลายซีเอ็มซีโดยใช้ตัวทำละลายอื่น ๆ เช่น เอทานอล แล้วเติมน้ำภายหลังเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด Lump สำหรับส่วนผสมอื่น ๆ ที่ต้องการผสมกับซีเอ็มซีให้ผสมกันขณะแห้งก่อน แล้วจึงละลายน้ำ ในการผสมแบบแห้งควรใช้ซีเอ็มซีน้อยกว่า 20% โดยน้ำหนัก และการพ่นไอน้ำลงในภาชนะขณะละลายจะช่วยให้ซีเอ็มซีละลายได้ดีขึ้น [15]

2.6 ประโยชน์ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นสารที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น [15]

2.6.1 อุตสาหกรรมอาหาร

- ใช้เป็นสารป้องกันการตกผลึกในไอศกรีม น้ำตาลปั่น (Icing) และน้ำเชื่อม
- ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในน้ำสลัด เครื่องดื่ม และอาหารสัตว์
- ใช้เป็นสารช่วยในการแขวนลอยในผลิตภัณฑ์นม และน้ำผลไม้
- ใช้เป็นสารทำให้เป็นวุ้นในเยลลี่ และขนมพุดดิ้ง
- ใช้เป็นสารทำให้ขึ้นฟูในไอศกรีม (Whipping cream)

2.6.2 อุตสาหกรรมยา

- ใช้เคลือบเม็ดยาเพื่อให้คงตัว และใช้เป็นสารควบคุมการออกฤทธิ์ของยา เนื่องจากซีเอ็มซีไม่ละลายในสภาวะที่เป็นกรด เช่น ในกระเพาะอาหาร แต่ละลายในสภาวะที่เป็นด่าง เช่น ในลำไส้
- ใช้เป็นสารป้องกันการแยกตัวของยาที่มีส่วนผสมของสารแขวนลอยหรืออิมัลชัน

2.6.3 อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

- ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารช่วยในการแขวนลอย และสารก่อกฟิล์มในผลิตภัณฑ์จำพวกครีม โลชั่น แชมพู เจล และยาสีฟัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 อุตสาหกรรมผงซักฟอก

- ใช้ผลมในผงซักฟอกเพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกที่หลุดออกจากผ้าติดบนเนื้อผ้า

อีก

2.6.5 อุตสาหกรรมสีและวานิช

- ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารช่วยในการแขวนลอยของผงสี และสารก่อฟิล์ม

ในวานิช

2.6.6 อุตสาหกรรมพอลิเมอร์

- ใช้เป็นสารป้องกันการแยกตัว และสารช่วยในการแขวนลอยในปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของไวนิลคลอไรด์

2.6.7 อุตสาหกรรมสิ่งทอ

- ใช้เป็นสารที่ช่วยทำให้ด้ายดิบมีความแข็งแรง ทน เรียบ และมีน้ำหนัก
- ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในสีพิมพ์ผ้า

2.6.8 อุตสาหกรรมกาว

- ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในกาวสูตรน้ำ

2.6.9 อุตสาหกรรมกระดาษ

- ใช้เป็นสารเคลือบกระดาษเพื่อให้เกิดการพิมพ์หมึกดีขึ้น และไม่ดูดซึมน้ำมัน

2.6.10 อุตสาหกรรมน้ำมัน

- ใช้เป็นสารผสมทำน้ำโคลน (Mud) สำหรับหล่อเส้นเครื่องขุดเจาะน้ำมัน เนื่องจากซีเอ็มซีอุ้มน้ำได้ในปริมาณสูงจึงช่วยให้การแขวนลอยของน้ำโคลนมีความคงตัว

2.6.11 อุตสาหกรรมเซรามิก

- ใช้เป็นสารช่วยทำให้ขึ้น และสารช่วยในการแขวนลอยในส่วนผสมของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.12 อุตสาหกรรมยาฆ่าแมลง

- ใช้เป็นสารช่วยในการแขวนลอยในยาฆ่าแมลงจำพวกสูตรน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีและความรู้เบื้องต้นของการอบแห้ง

3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการอบแห้ง (Fundamentals of drying)

การอบแห้ง คือ กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อไล่ความชื้นโดยการระเหย ความร้อนที่วัสดุชิ้นได้รับนี้จะนำไปเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ในกระบวนการอบแห้งจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของอากาศชื้น ดังนั้นจึงควรที่จะมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติของอากาศชื้น ดังนี้ [16]

3.1.1 ความดันไอ (Vapor pressure, P_v)

ความดันไอ คือ ความดันของสารบริสุทธิ์ ณ จุดสมดุลที่อุณหภูมิใด ๆ ถ้าอากาศที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำจะเรียกความดันไอนี้ว่า ความดันไออิ่มตัว (Saturated vapor pressure, P_{vs}) ค่าความดันไออิ่มตัวนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูง ความดันไออิ่มตัวก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วย [17]

3.1.2 ความชื้นสมดุล (Equilibrium humidity, W_0)

ความชื้นสมดุล คือ ปริมาณความชื้นในวัสดุชิ้นที่มีปริมาณเท่ากับความชื้นของบรรยากาศภายนอก ทำให้ไม่มีการแพร่เข้าและออกของความชื้นเข้าไปในวัสดุชิ้น เมื่อทิ้งไว้ในบรรยากาศภายนอก

3.1.3 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ คือ ความชื้นที่มีอยู่ในอากาศโดยคิดจากสัดส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริง ณ อุณหภูมินั้นต่อสัดส่วนของปริมาณไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเดียวกัน ค่าความชื้นสัมพัทธ์มักจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ และมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100%

3.1.4 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume, v)

ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น คือ ปริมาตรของอากาศชื้นต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของอากาศแห้ง

3.1.5 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb temperature, T_d)

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นภายในห้องที่ทำการวัดในขณะนั้น โดยนำเทอร์โมมิเตอร์ไปแขวนอย่างอิสระที่ได้ที่หนึ่ง

3.1.6 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb temperature, T_w)

อุณหภูมิกระเปาะเปียก คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่ทำการวัดในขณะที่กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ถูกหุ้มด้วยผ้าก๊อตหรือผ้าลินินเปียก และมีลมพัดผ่านกระเปาะเปียกนี้ด้วยความเร็วอย่างน้อย 4.6 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิที่ได้จากการวัดโดยวิธีนี้เรียกว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียกเชิงไซโครเมตริก

อุณหภูมิกระเปาะเปียกสามารถวัดได้อีกวิธีหนึ่ง โดยการพ่นละอองน้ำภายในสถานที่ที่จะวัด โดยน้ำจะระเหยเข้าไปในชั้นบรรยากาศจนอากาศอิ่มตัว อุณหภูมิที่ได้จากการวัดโดยวิธีนี้เรียกว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียกเชิงเทอร์โมไดนามิกส์

อุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ได้จากการวัดโดยวิธีทั้งสองนี้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ในทางปฏิบัตินิยมใช้ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกเชิงไซโครเมตริกในการคำนวณ เนื่องจากทำการวัดได้ง่ายกว่าการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกเชิงเทอร์โมไดนามิกส์

3.1.7 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew-point temperature, T_{dp})

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง คือ อุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มควบแน่นเมื่ออากาศนั้นถูกทำให้เย็นลงที่อัตราส่วนความชื้นและความดันบรรยากาศคงที่

3.1.8 เอนทาลปี (Enthalpy, H)

เอนทาลปีของอากาศชื้น คือ ค่าปริมาณความร้อนของอากาศชื้นที่สูงกว่าอุณหภูมิอ้างอิงที่กำหนดขึ้นต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง ในทางปฏิบัตินิยมใช้อุณหภูมิอ้างอิงของน้ำคือ 32°F และของอากาศแห้ง 0°F (ในระบบอังกฤษ) และอุณหภูมิอ้างอิงของน้ำและอากาศ

แห้งเท่ากับ 0๐ซ (ในระบบเมตริกและระบบสากล) ในการคำนวณความแตกต่างของเอนทาลปีของอากาศชื้นนิยมใช้คุณสมบัติอ้างอิงของระบบอังกฤษหรือระบบสากล แต่ก็สามารถกำหนดคุณสมบัติอ้างอิงใด ๆ ก็ได้เพื่อความสะดวกในการคำนวณ

3.1.9 อัตราส่วนความชื้น

อัตราส่วนความชื้นของอากาศ คือ มวลของไอน้ำที่อยู่ในอากาศแห้งต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง

โดยทั่วไปจะนิยามปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุอบแห้ง ดังนี้

X = อัตราส่วนความชื้น (Moisture content) แสดงมวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานในการคำนวณหาความชื้น

W = ปริมาณความชื้น (Moisture) แสดงมวลของวัสดุเปียกซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

W_s = มวลของวัสดุแห้ง

ดังนั้นจึงนิยมใช้มวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานในการคำนวณหาความชื้น

X มีความสัมพันธ์กับ W ดังนี้

$$X = \frac{W - W_s}{W_s} \quad (3.1)$$

3.1.10 อัตราการอบแห้ง (Rate of drying, R_d)

อัตราการอบแห้งจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate of drying) และช่วงอัตราการอบแห้งที่ลดลง (Decreasing rate of drying) โดยที่อัตราการอบแห้งทั้งสองช่วงนี้สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$R_d = \frac{-W_s}{A} \times \frac{dX}{dt} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

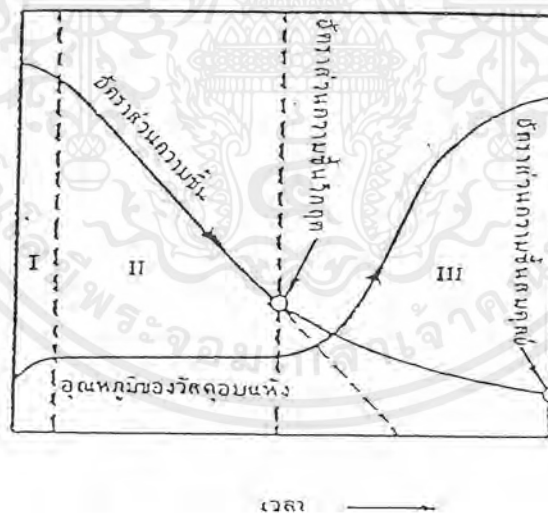
3.2 กลไกการอบแห้ง

เงื่อนไขการอบแห้ง แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ [16]

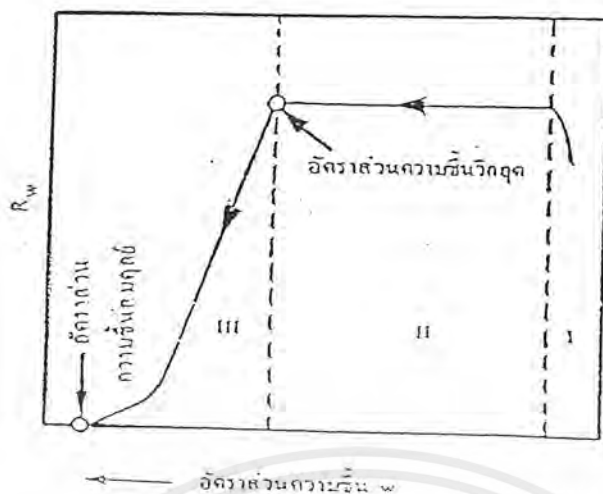
3.2.1 เงื่อนไขภายนอกวัสดุ เช่น วิธีถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุ วิธีกำจัดความชื้นที่ระเหยออกมาจากวัสดุ ความชื้นอิ่มตัวของอากาศร้อน ความดันและอุณหภูมิของการอบแห้ง เป็นต้น

3.2.2 เงื่อนไขภายในวัสดุ เช่น ความพรุนของของแข็ง การนำความร้อนของวัสดุขึ้น อุณหภูมิของวัสดุขึ้น และอัตราส่วนความชื้นสมดุล เป็นต้น

ในการอบแห้งวัสดุเปียกชื้นจะกระทำภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งที่คงที่ เช่น ความชื้น ความเร็วลม อุณหภูมิ ความดัน ฯลฯ ถ้าทำการทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงมวลและอุณหภูมิของวัสดุอบแห้งกับเวลาจะได้เส้นกราฟมีลักษณะดังรูปที่ 3.1 หรือวัดอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนความชื้นจะได้เส้นกราฟที่เรียกว่า "เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง" แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมวลและอุณหภูมิกับเวลาในการอบแห้ง [16]



รูปที่ 3.2 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง [16]

จากรูปที่ 3.1 และ 3.2 พบว่า การอบแห้งแบ่งเป็น 3 ช่วงใหญ่ ๆ ดังนี้

- ก. ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ
- ข. ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่
- ค. ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง

ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- ก. ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ

ที่ผิวของวัสดุซึ่งความชื้นจะอยู่ในรูปของเหลว เมื่อนำวัสดุซึ่งน้ำอบภายใต้สภาวะการอบแห้งคงที่ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของกระแสลมร้อน ช่วงเวลาที่วัสดุใช้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกคือ ช่วงที่ I ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2

- ข. ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่

เนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทจากอากาศมายังวัสดุซึ่ง ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลชื้นพร้อมกัน ในช่วงนี้ความร้อนทั้งหมดที่วัสดุได้รับจะถูกใช้ในการระเหยน้ำหรือของเหลวออกจากวัสดุซึ่ง ความร้อนที่วัสดุได้รับในช่วงนี้ คือ ความร้อนแฝงในการระเหย

นั่นเอง อัตราการอบแห้งในช่วงนี้จึงไม่ขึ้นกับเงื่อนไขภายในวัสดุ แต่ขึ้นกับเงื่อนไขภายนอกวัสดุที่ใช้ในการอบแห้ง ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่ คือ ช่วงที่ II แสดงดังรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2

ค. ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง

ในขั้นตอนนี้เมื่อความชื้นที่อยู่ในรูปของเหลวในวัสดุจะระเหยหมดเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนของของเหลวจากส่วนในของวัสดุ เกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของของเหลวหรือน้ำจากผิวของวัสดุจะทำให้อัตราการอบแห้งในวัสดุลดลง และเรียกอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนจากช่วงของการอบแห้งที่ความเร็วคงที่เป็นช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลงว่า "อัตราส่วนความชื้นวิกฤต" หลังจากนั้นวัสดุจะแห้งและอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้นจนสมดุลกับอากาศขาเข้า เรียกอัตราส่วนความชื้นที่จุดสมดุลนี้ว่า "อัตราส่วนความชื้นสมดุล" ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง คือ ช่วงที่ III แสดงดังรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2

3.3 ประเภทเครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งที่ใช้กันในระดับอุตสาหกรรม แบ่งตามการทำงานออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ [16]

- ก. เครื่องอบแห้งที่ทำงานแบบต่อเนื่อง (Continuous dryer)
- ข. เครื่องอบแห้งที่ทำงานแบบกะ (Batch dryer)

เมื่อแบ่งตามลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้ง สามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

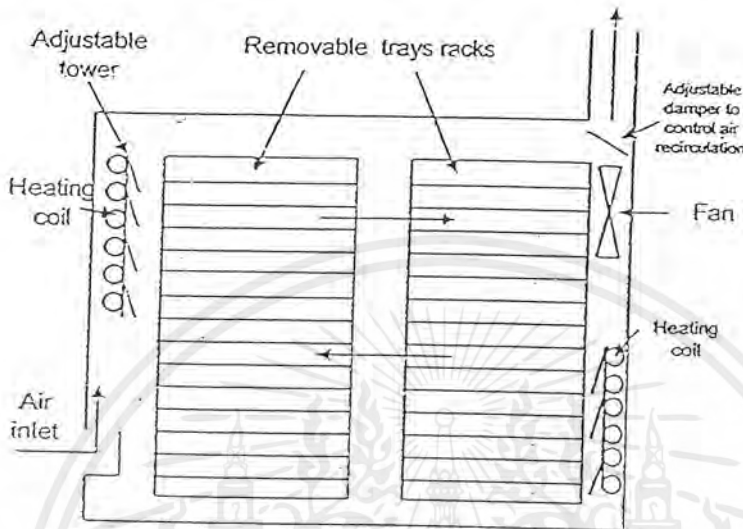
3.3.1 เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer)

เครื่องอบแห้งแบบนี้เหมาะสำหรับวัสดุชิ้นที่ไม่สามารถอบแห้งแบบกองรวมกันในปริมาณมาก ๆ ได้ วัสดุชิ้นที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งประเภทนี้ เช่น ยาผง ขนมหวานต่าง ๆ เครื่องหนัง ยาสมุนไพร และเซรามิก เป็นต้น

หลักการการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบนี้ คือ ทำให้อากาศร้อนด้วยขดลวดความร้อนแล้วให้ไหลผ่านวัสดุชิ้นในเครื่องอบแห้ง อากาศร้อนจะไประเหยของเหลวออกจากวัสดุชิ้น การไหลของอากาศร้อนจะขนานกับถาดบรรจุวัสดุชิ้น หรือตั้งฉากกับตัวถาดก็ได้แล้วแต่การออกแบบ รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องอบแห้งแบบถาด ข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบถาด คือ การกระจายของลมร้อนไม่ทั่วถึงทำให้วัสดุชิ้นที่จุดต่าง ๆ แห้งไม่เท่ากัน โดยวัสดุชิ้นที่อยู่บริเวณทาง

เข้าของอากาศร้อนจะแห้งมากกว่าวัสดุชั้นที่อยู่บริเวณทางออกของอากาศร้อน
อบแห้งแบบภาคแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

ซึ่งรูปเครื่อง

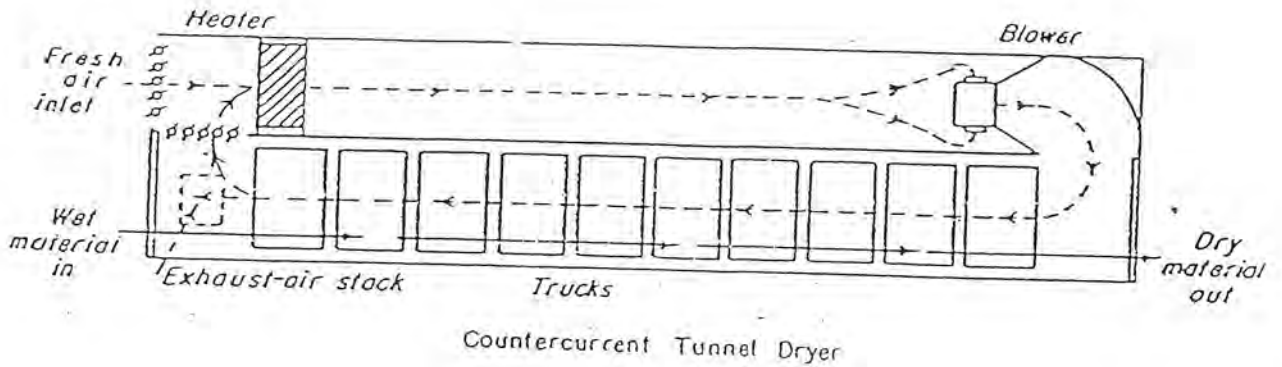


รูปที่ 3.3 เครื่องอบแห้งแบบภาค [16]

3.3.2 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (Tunnel dryer)

หลักการทํางานของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ คือ การลําเลียงวัสดุชั้นโดยสายพานผ่านเข้าสู่อุโมงค์ที่มีอากาศร้อนไหลสวนทางกับการเคลื่อนที่ของสายพาน หรือจะให้อากาศร้อนไหลขนานในทิศทางเดียวกับวัสดุก็ได้ ขึ้นอยู่กับความต้องการอัตราการอบแห้งที่เร็ว และทนต่ออุณหภูมิสูง ๆ ของวัสดุชั้นได้มากเพียงใด เครื่องอบแห้งแบบนี้มักใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัด อุตสาหกรรมเส้นไหม อุตสาหกรรมรองเท้า และอุตสาหกรรมเครื่องหนัง

ผู้ควบคุมเครื่องมือหรือผู้ออกแบบเครื่องอบแห้งประเภทนี้ จะต้องคำนวณหรือพิจารณาตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องให้รอบคอบ เพราะถ้าพิจารณาไม่ดีจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานตามที่ต้องการ ตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ เวลาที่สายพานเคลื่อนที่ในอุโมงค์ ปริมาณของวัสดุชั้นที่อยู่บนสายพาน ปริมาณความชื้นในวัสดุ ความชื้นของอากาศในวันที่ทำการอบแห้ง และความเร็วของอากาศร้อน เป็นต้น ซึ่งจะต้องมีความสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม จึงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตรงตามมาตรฐาน รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์

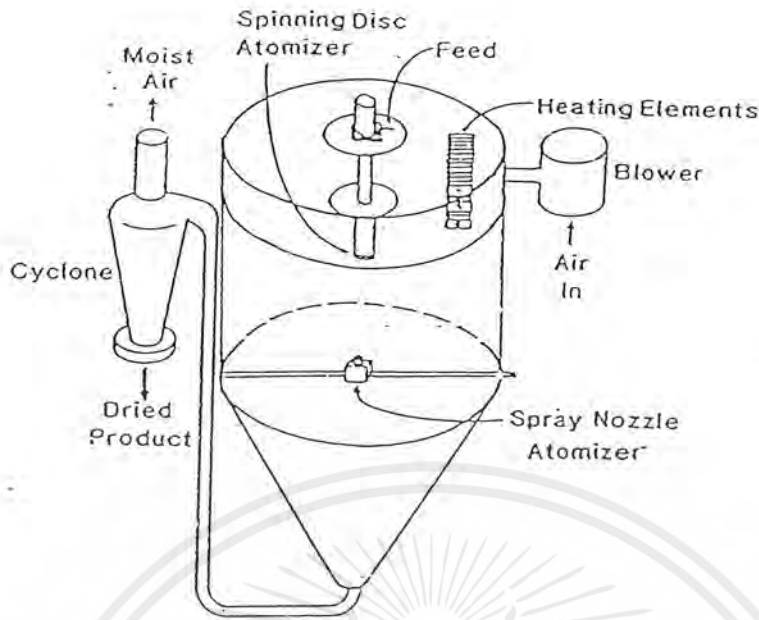


รูปที่ 3.4 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ [18]

3.3.3 เครื่องอบแห้งแบบหมุน (Rotary dryer)

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบหมุน คือ การหมุนตัวของทรงกระบอก ซึ่งจะทำให้วัสดุชิ้นที่อยู่ภายในมีการพลิกตัวเองอย่างสม่ำเสมอ และทุกส่วนของวัสดุชิ้นได้สัมผัสกับอากาศร้อนอย่างทั่วถึง ทรงกระบอกนี้อาจจะวางแนวตั้งหรือนอนก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบ และสามารถหมุนได้ด้วยแรงขับของมอเตอร์ สำหรับทรงกระบอกแนวตั้ง วัสดุชิ้นถูกป้อนเข้าสู่ทรงกระบอกทางด้านบน แล้วค่อย ๆ กลิ้งลงมาตามการหมุนของทรงกระบอก วัสดุที่แห้งแล้วจะออกทางด้านล่าง อากาศร้อนจะออกทางด้านบน สำหรับทรงกระบอกแนวนอนจะวางในลักษณะข้างหนึ่งสูงข้างหนึ่งต่ำ วัสดุชิ้นจะถูกป้อนเข้าสู่ทรงกระบอกด้านสูงก่อนแล้วค่อย ๆ กลิ้งลงตามการหมุนของทรงกระบอก วัสดุที่แห้งแล้วจะออกทางด้านต่ำ อากาศร้อนจะออกทางด้านสูง นอกจากนี้ภายในเครื่องอบแห้งสามารถติดตั้งครีบริบหรือก้างปลาไว้ภายใน เพื่อช่วยให้วัสดุเคลื่อนที่ขึ้นลงและกลับตัวได้ดี

เครื่องอบแห้งแบบนี้สามารถใช้ได้กับวัสดุชิ้นที่มีความชื้นสูงถึง 70% โดยน้ำหนัก และลดปริมาณความชื้นลงเหลือต่ำกว่า 10% โดยน้ำหนัก เครื่องอบแห้งแบบนี้มักใช้ในอุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ อุตสาหกรรมถลุงแร่ อุตสาหกรรมเคมี รูปที่ 3.5 แสดงเครื่องอบแห้งแบบหมุนแบบทรงกระบอกแนวตั้ง



รูปที่ 3.5 เครื่องอบแห้งแบบหมุนแบบทรงกระบอกแนวตั้ง [19]

3.3.4 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryer)

เครื่องอบแห้งแบบนี้เหมาะสำหรับวัสดุที่เป็นแผ่นหรือถูกทำให้เป็นแผ่นพร้อมกับการทำให้แห้ง คือ การใช้ลูกกลิ้งขนาดใหญ่ซึ่งตรงแกนด้านหนึ่งมีไอน้ำเป็นแหล่งให้ความร้อนเข้าสู่ภายในลูกกลิ้งและไอน้ำจะไหลออกอีกทางด้านหนึ่ง ความร้อนจะผ่านผนังลูกกลิ้งไปถ่ายเทให้กับฟิล์มของของเหลวที่ติดกับผนังลูกกลิ้งด้านนอกที่หมุนช้า ๆ ซึ่งเมื่อครบรอบวัสดุชิ้นจะเป็นแผ่นของของแข็งพอดี ทางด้านล่างของลูกกลิ้งจะมีแผ่นโลหะลักษณะคล้ายใบมีดวางติดกับลูกกลิ้ง เพื่อให้ชุดของแข็งที่เป็นแผ่นที่ติดอยู่บนผนังลูกกลิ้งให้ลอกออก

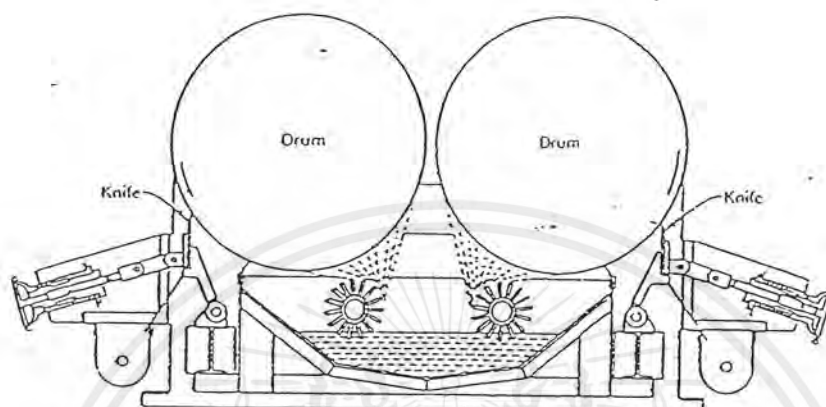
เครื่องอบแห้งนี้ใช้งานได้ทั้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยวและแบบลูกกลิ้งคู่ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของวัสดุที่จะใช้ดังนี้

ก. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว มักใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาล อุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมยา

ข. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ใช้ได้ดีกับอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ และอุตสาหกรรมยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้งานของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเพื่อให้การใช้งานเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ต้องคำนึงถึงความเร็วลูกกลิ้ง ปริมาณความร้อนจากไอน้ำ ชนิดของผนังลูกกลิ้ง และความหนาของชั้นฟิล์ม รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่



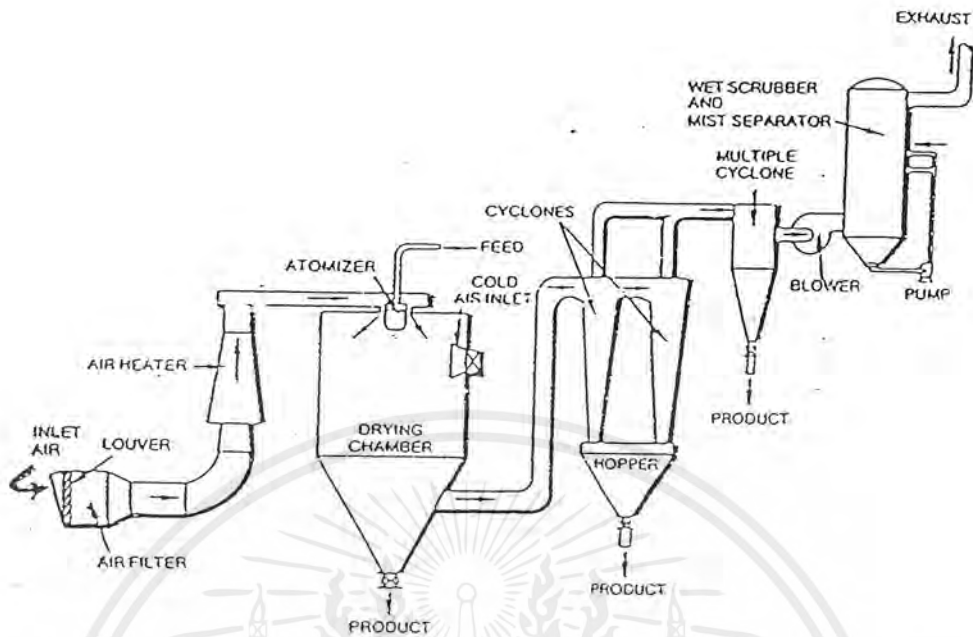
Twin-drum dryer with splash feed. Splashing the feed onto the drum aids in making it adhere to the drums and produces a dense coating. (Courtesy of Blaw-Knox Food & Chemical Equipment, Inc., Butlovak Division, One of the WCI Industries.)

รูปที่ 3.6 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ [20]

3.3.5 เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดพ่นฝอย (Spray dryer)

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดพ่นฝอย คือ การป้อนวัสดุขึ้นเข้าไปในเครื่องพ่นหัวฉีดซึ่งหมุนด้วยความเร็วสูงประมาณ 10,000 รอบต่อนาที จะทำให้ของเหลวเป็นฝอยได้ในเวลาไม่นาน จุดประสงค์ของการทำงานผ่านหัวฉีด คือ ต้องการให้วัสดุขึ้นกลายเป็นละอองเล็ก ๆ ลอยอยู่ในเครื่องอบแห้งที่มีอากาศร้อนไหลสวนทางขึ้นมา ความร้อนของอากาศจะทำให้ของเหลวระเหยอย่างรวดเร็ว เมื่อละอองของวัสดุขึ้นลอยมาถึงส่วนล่างของเครื่องอบแห้ง วัสดุขึ้นจะกลายเป็นผงเล็ก ๆ และถูกดูดออกจากเครื่องด้วยพัดลมดูดอากาศ

เครื่องอบแห้งแบบนี้มีต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการทำงานสูง ผลผลิตทันทีที่ใช้เครื่องอบแห้งแบบนี้จึงมีราคาแพง ส่วนมากมักใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น กาแฟผงสำเร็จรูป ไข่ผง และนมผง รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดพ่นฝอย



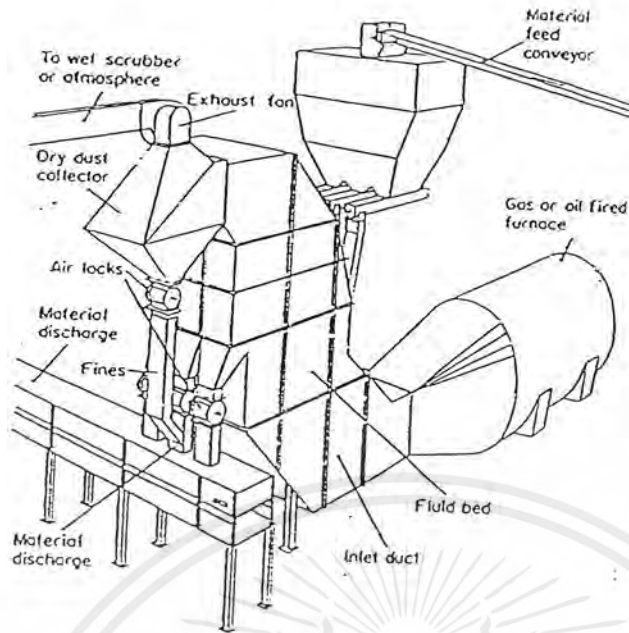
รูปที่ 3.7 เครื่องอบแห้งแบบหัวฉีดพ่นฝอย [20]

3.3.6 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidized bed dryer)

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบนี้ซึ่งมีลักษณะเป็นหอหรือถังซึ่งภายในบรรจุด้วยอนุภาคของวัสดุขึ้น คือ จะเป่าอากาศร้อนเข้าที่ก้นถังซึ่งมีแผ่นรองรับที่เจาะเป็นรูพรุน ให้ผ่านวัสดุขึ้นจากด้านล่าง ถ้าความเร็วถึงระดับหนึ่งวัสดุขึ้นจะเคลื่อนไหว การเคลื่อนไหวของวัสดุขึ้นมีลักษณะเหมือนกำลังแขวนลอย เรียกว่า "Fluidized" ซึ่งเป็นสภาพกึ่งกลางระหว่างสภาพเบดนิ่ง (Fixed bed) และสภาพถูกพัดพาด้วยอากาศ (Pneumatic conveyor) กล่าวคือ เม็ดของแข็งถูกทำให้กระจัดกระจายในลักษณะแขวนลอย และมีคุณสมบัติของการไหลคล้ายของเหลว เมื่อมองจากภายนอกจะเห็นว่า ที่ผิวของฟลูอิดไคซ์เบดนั้นจะมีลักษณะคล้ายของเหลวที่กำลังเดือด เนื่องจากการเคลื่อนไหวของเม็ดของแข็งมีลักษณะคล้ายของเหลว

อุตสาหกรรมที่นิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบนี้ส่วนมากลักษณะของผลิตภัณฑ์จะเป็นเม็ดหรือผงละเอียด เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และอุตสาหกรรมน้ำตาลทราย อุตสาหกรรมเมล็ดพืช และอุตสาหกรรมพลาสติก เป็นต้น รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไค์เบด [21]

3.3.7 เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum dryer)

เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการอบแห้งภายใต้สภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศโดยการให้ความร้อนในการอบแห้งทางอ้อม เครื่องอบแห้งแบบนี้เหมาะสำหรับการอบแห้งวัสดุเปียกชื้น (Liquid slurry หรือ Paste) ตัวอย่างเครื่องอบแห้งแบบนี้เช่น เครื่องอบแห้งแบบ Vacuum shelf dryer และ Agitator pan dryer หรือ Agitated vacuum dryer

Vacuum shelf dryer เป็นเครื่องอบแห้งแบบให้ความร้อนโดยอ้อม ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็น Vacuum tight chamber, Heated chamber, Supporting shelf และเครื่องควบแน่น (Condenser) เครื่องอบแห้งแบบนี้ใช้ในการอบแห้งวัสดุที่ใช้ในทางเภสัชกรรม วัสดุที่ถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย และวัสดุที่ต้องการนำตัวทำละลายที่มีราคาแพงกลับมาใช้ใหม่

เครื่องอบแห้งแบบ Agitator pan dryer หรือ Agitated vacuum dryer เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ใช้ในการอบแห้งวัสดุประเภทของเหลวและสเลอรี

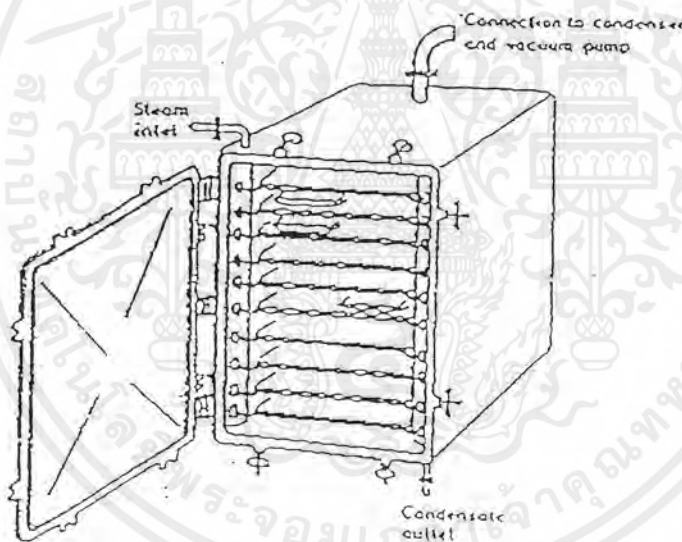
เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศยังแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. Single-Compartment Vacuum Tray Dryer (SVT)

เครื่องอบแห้งแบบ SVT เป็นเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศที่ง่ายที่สุด แสดงดังรูปที่ 3.9 ส่วนใหญ่มักออกแบบให้มีจำนวนชั้น 14-20 ชั้น แต่ละชั้นจะมีภาคใส่วัสดุชั้น 2-8 ภาค ขึ้นอยู่กับขนาดของชั้น วัสดุที่ใช้ทำเครื่องอบแห้งมักทำจาก Mild steel หรืออาจทำจากสแตนเลส และ Treated mild steel เปลือกหุ้มและประตูมักทำจาก Cast iron และ Mild steel

โดยทั่วไปจะอบแห้งที่ความดัน 0.067-0.027 บาร์ และให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำหรือน้ำร้อน อุณหภูมิที่ใช้ขึ้นอยู่กับความไวต่อความร้อนของวัสดุที่อบแห้ง การอบแห้งโดยใช้ไอน้ำเหมาะสำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 60°C ส่วนการอบแห้งโดยใช้น้ำร้อนจะเหมาะสำหรับการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 40-70°C ความจุของเครื่องอบแห้งแบบนี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 10-35 กิโลกรัมของวัสดุชั้นต่อตารางเมตร



รูปที่ 3.9 เครื่องอบแห้งแบบ Single-compartment vacuum tray dryer (SVT) [22]

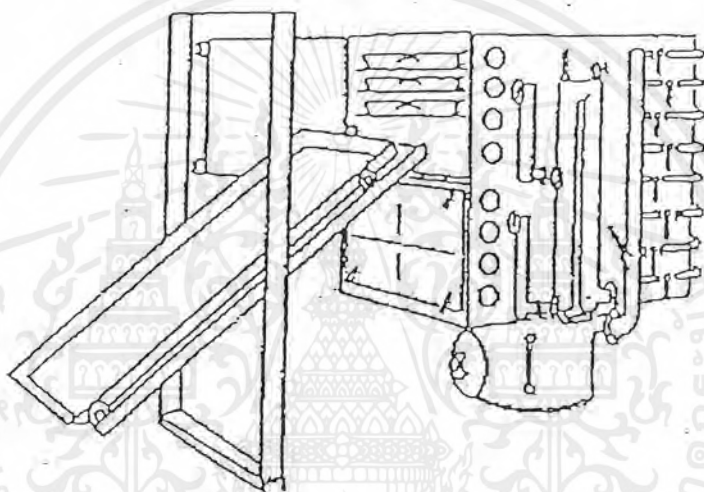
ข. Multi-Compartment Vacuum Tray Dryer (MCVT)

เครื่องอบแห้งแบบ MCVT เป็นเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศที่ออกแบบให้มีหลายห้องในเครื่องเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.10 เครื่องอบแห้งแบบนี้จะมีโครงสร้างที่ ซับซ้อนมากกว่าแบบ SVT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอบแห้งจะทำให้ความดันสูญญากาศและอุณหภูมิไม่สูงมากนัก โดยให้ความร้อนจากไอน้ำซึ่งมีอุณหภูมิสูงประมาณ 35-95 °ซ ผ่านเข้าชั้นที่บรรจุวัสดุขึ้น นอกจากนี้ อาจออกแบบให้ไอน้ำผ่านในเปลือกหุ้มได้ โดยใช้ปั๊มสูญญากาศดูดไอน้ำและน้ำที่ควบแน่นออกจากเครื่องอบแห้ง ความจุของเครื่องอบแห้งนี้จะมีค่าประมาณ 25 กิโลกรัมวัสดุขึ้นต่อตารางเมตร

ข้อควรระวังของการใช้เครื่องอบแห้งแบบนี้ คือ เมื่ออบแห้งเสร็จแล้วถ้าภายในเครื่องอบแห้งไม่เป็นสูญญากาศ ไอน้ำหรือไอน้ำที่ควบแน่นจะทำให้วัสดุที่อบแล้วมีความชื้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นก่อนหยุดทำสูญญากาศ ควรดึงไอน้ำและไอน้ำที่ควบแน่นออกให้หมดเสียก่อน



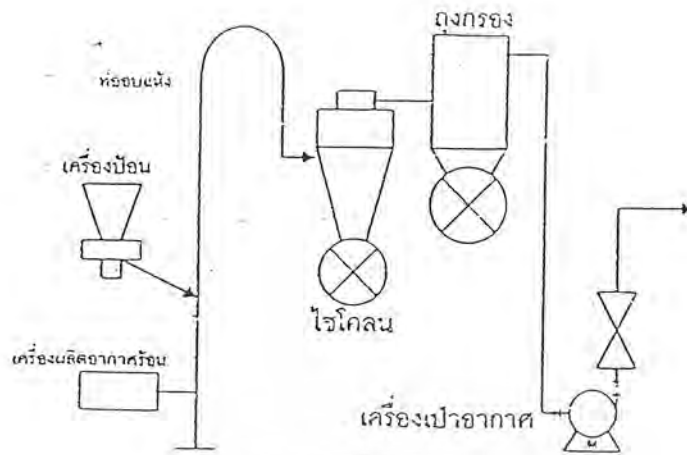
รูปที่ 3.10 เครื่องอบแห้งแบบ Multi-compartment vacuum tray dryer (MCVT) [22]

3.3.8 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (Pneumatic conveying dryer)

เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบ่งชนิดตามวิธีป้อนวัสดุขึ้นเข้าเครื่องอบแห้งได้ ดังนี้

ก. ชนิดป้อนวัสดุเข้าโดยตรง (Direct feed type)

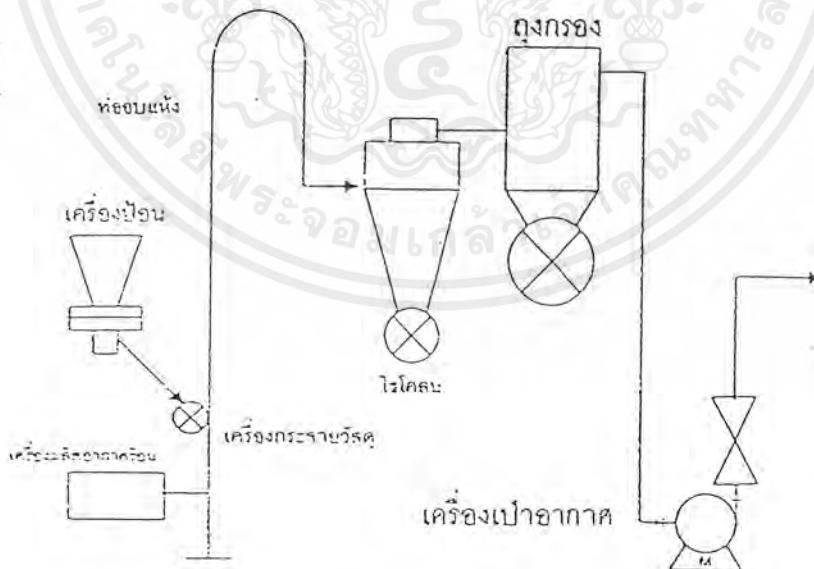
เครื่องอบแห้งชนิดนี้ไม่ใช้เครื่องกระจายวัสดุ (Disperser) ในการป้อนวัสดุเปียกเข้าเครื่องอบแห้ง วัสดุจะถูกป้อนโดยตรงผ่านชู้ท (Chute) เข้าไปในท่อเร่งความเร็ว (Acceleration tube) อากาศร้อนไหลผ่านด้วยความเร็ว 20-40 เมตรต่อวินาที การกระจายวัสดุจะเกิดจากแรงปะทะกับอากาศร้อน เครื่องอบแห้งชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับวัสดุที่ผึ่งที่ง่ายต่อการกระจายตัว รูปที่ 3.11 แสดงเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดป้อนวัสดุเข้าโดยตรง



รูปที่ 3.11 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดป้อนวัสดุเข้าโดยตรง [16]

ข. ชนิดมีเครื่องกระจายวัสดุ (Disperser-attached type)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้ จะป้อนวัสดุจะถูกป้อนผ่านเครื่องกระจายวัสดุเข้าไปในกระแสมร้อน เครื่องกระจายวัสดุทำหน้าที่กระจายวัสดุผงที่รวมตัวเป็นก้อนเนื่องจากความชื้นและวัสดุที่ไม่สามารถกระจายได้โดยปะทะกับกระแสมร้อนเพียงอย่างเดียว รูปที่ 3.12 แสดงเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดมีเครื่องกระจายวัสดุ

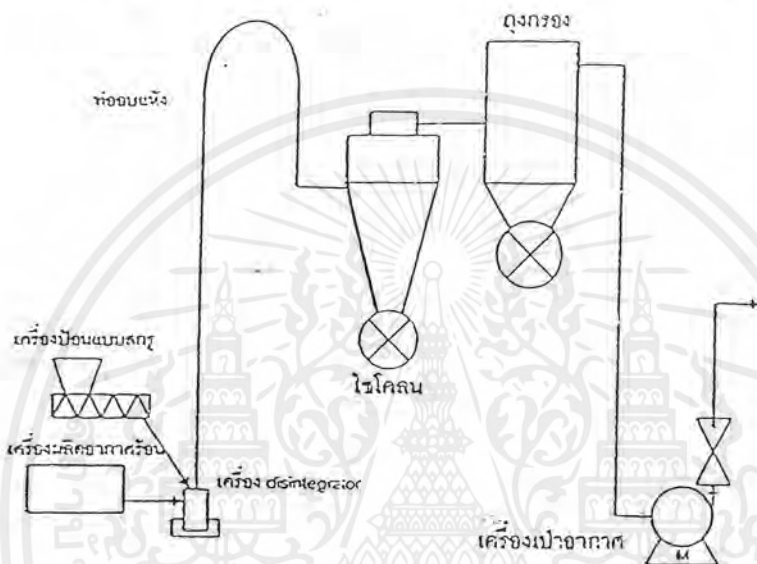


รูปที่ 3.12 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดมีเครื่องกระจายวัสดุ [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. ชนิดมีเครื่อง Disintegrator (Disintegrator-attached type)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้จะใช้เครื่อง Disintegrator ในการทำให้วัสดุก้อนที่ค่อนข้างนิ่มแตกกระจาย และเป็นการรบกวนวัสดุให้เข้ากับอากาศร้อนได้เป็นอย่างดี สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงมาก และสามารถลดความชื้นได้ประมาณ 50-80% โดยน้ำหนักของความชื้นทั้งหมด รูปที่ 3.13 แสดงเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดมีเครื่อง Disintegrator



รูปที่ 3.13 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมชนิดมีเครื่อง Disintegrator [16]

3.4 วิธีการเลือกเครื่องอบแห้ง

3.4.1 การพิจารณาก่อนทำการเลือกเครื่องอบแห้ง

ก. คุณภาพของวัสดุก่อนการอบแห้ง ตัวอย่างสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง คือ [23]

1. คุณสมบัติการอบแห้งของวัสดุเปียกชื้น

เพื่อตั้งเงื่อนไขของการอบแห้งสำหรับวัสดุเปียก จำเป็นต้องรู้จักคุณสมบัติการอบแห้งของวัสดุนั้น โดยเฉพาะเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการประเมินเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้ง และอัตราส่วนความชื้นวิกฤติของน้ำ เส้นลักษณะเฉพาะของ

การอบแห้ง ยังขึ้นอยู่กับลักษณะการสัมผัสระหว่างวัสดุกับลมร้อน (ลักษณะการสัมผัสขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องอบแห้ง) และขนาดรูปทรงของเครื่องอบแห้ง

ยกตัวอย่างกรณีของวัสดุที่เป็นอนุภาค ถ้าอนุภาคเหล่านั้นอยู่อย่างกระจัดกระจายในระหว่างการอบแห้ง เช่น ในเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม หรือแบบหมุน นอกจากจะทำให้พื้นที่ของการอบแห้งเพิ่มขึ้นแล้ว โดยทั่วไปยังทำให้อัตราส่วนความชื้นวิกฤตมีค่าน้อยลงด้วย จึงทำให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลง ในทางตรงกันข้าม ถ้าวัสดุเหล่านี้ถูกวางกองรวมกันเพื่ออบแห้งโดยการเป่าลมร้อนขนานกับผิวด้านบน อัตราส่วนความชื้นวิกฤตจะมีค่าสูงขึ้นและความเร็วของการอบแห้งจะลดลงอย่างมาก ถ้าไม่สามารถทำการทดลองในเครื่องอบแห้งจริงเพื่อหาค่าอัตราส่วนความชื้นวิกฤตและเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งได้ ควรทำการทดลองเพื่อหาข้อมูลเหล่านี้ โดยกำหนดให้สภาพการสัมผัสระหว่างวัสดุกับลมร้อนใกล้เคียงกับสภาวะการปฏิบัติงานจริง

2. คุณสมบัติการเกาะติดของวัสดุอบแห้ง

ในส่วนของการขนถ่ายวัสดุในเครื่องอบแห้งควรพิจารณาถึงคุณสมบัติการเกาะติดของวัสดุอบแห้งด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่อง ซึ่งมักจะเกิดปัญหา เนื่องจากการเกาะติดและการรวมตัวเป็นก้อนของวัสดุบนผนังของเครื่องอบแห้ง

3. การขับน้ำออกจากวัสดุก่อนนำมาอบแห้ง

โดยทั่วไปแล้วค่าใช้จ่ายของการขับน้ำออกจากวัสดุโดยเครื่องมือเชิงกล จะต่ำกว่าค่าใช้จ่ายสำหรับการเดินเครื่องอบแห้ง ในกรณีที่มีกระบวนการขับน้ำออกจากวัสดุก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง ควรหาวิธีขับน้ำออกให้มากที่สุด ถึงแม้จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงขึ้นก็ตาม

ข. คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

1. การเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความร้อน

การพิจารณาความไวต่อความร้อนของวัสดุ สามารถกำหนดอุณหภูมิสูงสุดของวัสดุที่ยอมรับได้ในระหว่างการอบแห้ง อุณหภูมินี้เป็นเงื่อนไขการออกแบบในการกำหนดอุณหภูมิของลมร้อน (อุณหภูมิของแหล่งจ่ายความร้อน) โดยทั่วไปแล้วขีดจำกัดของการเสื่อม

คุณภาพของวัสดุ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัสดุในระหว่างการอบแห้ง และเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง บางกรณีการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงแต่ช่วงเวลาด้าน จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีกว่าอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำแต่ใช้เวลานาน สรุปได้ว่าเงื่อนไขของการอบแห้งที่ได้จากการทดลอง ควรถือเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาการเลือกเครื่องอบแห้ง

2. รูปทรง คุณภาพ และคุณค่าทางการค้าของผลิตภัณฑ์

ในกรณีของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง คุณภาพและคุณค่าทางการค้ามักจะขึ้นอยู่กับรูปทรงและคุณสมบัติเชิงเทคโนโลยีอนุภาค (Powder technology) ของผลิตภัณฑ์อบแห้ง เช่น ในกรณีของการอบแห้งน้ำมัน ผงซักฟอก และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยวิธีการพ่นฝอย โดยทั่วไปคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนไปตามเงื่อนไขที่ใช้ในการพ่นฝอยและอบแห้ง

3. การเกิดการปนเปื้อน (Contamination)

การเกิดการปนเปื้อนเป็นปัญหาสำคัญสำหรับบริโภคภัณฑ์และเวชภัณฑ์ ปัญหาของการเกิดการปนเปื้อนระหว่างการทำการอบแห้ง ตลอดจนการทำสเตอริไลเซชัน (Sterilization) และการฆ่าเชื้อโรคของตัวเครื่องอบแห้งเป็นเรื่องที่ควรมีการศึกษาไว้ล่วงหน้า ในกรณีของบริโภคภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อนอาจมีกลิ่นเหม็นไหม้ เนื่องจากวัสดุที่เกาะติดกับผนังหรือตกค้างอยู่ในเครื่องอบแห้งเป็นเวลานาน ซึ่งอาจทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลง

เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการอบแห้งกับกระบวนการกลั่น การระเหย หรือการดูดซึมก๊าซ ซึ่งเกี่ยวข้องกับก๊าซหรือของเหลวแล้วจะเห็นว่าลักษณะเด่นของกระบวนการอบแห้งนั้นคือ เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับของแข็งเป็นส่วนใหญ่

3.4.2 พื้นฐานการเลือกเครื่องอบแห้ง

ก. การพิจารณารูปทรงของวัสดุอบแห้ง

วัสดุอบแห้งที่ได้รับความสนใจ มีตั้งแต่เครื่องสุกัณฑ์เซรามิก ฉนวนไฟฟ้าแรงดันสูง แบบหล่อไม้ขนาดใหญ่ตลอดจนวัสดุรูปแผ่น วัสดุที่เป็นเส้น วัสดุเป็นเม็ด วัสดุเป็นสเลอริหรือของเหลว จึงต้องมีเครื่องอบแห้งหลาย ๆ ประเภทสำหรับการอบแห้งวัสดุแต่ละชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตัวอย่างการเลือกประเภทเครื่องอบแห้ง ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัสดุที่จะนำมาอบแห้ง ซึ่งสามารถแบ่งได้ ดังนี้

- ก. สารละลายและสเลอรี
- ข. วัสดุที่แช่แข็ง เช่น ยา อาหารผง เป็นต้น
- ค. วัสดุคล้ายแป้งเปียก
- ง. วัสดุที่เป็นผงและเม็ด
- จ. วัสดุที่เป็นก้อน
- ฉ. วัสดุที่เป็นสะเก็ด
- ช. วัสดุที่เป็นเส้นใยสั้น
- ซ. วัสดุที่มีขนาดคงที่
- ฅ. วัสดุที่เป็นแผ่นยาว
- ญ. สีและของเหลวที่ใช้ทา

วัสดุตั้งแต่ลำดับที่ ก-ง จะมีสภาพเป็นเม็ดหรือผงหลังจากการอบแห้ง ส่วนลำดับที่ จ ขึ้นไป จะไม่เปลี่ยนรูปร่างเมื่อแห้ง

ตารางที่ 3.1 ซึ่งเป็นการเลือกเครื่องอบแห้ง ได้จำแนกเครื่องอบแห้งตามความเหมาะสมกับรูปแบบของวัสดุเปียก ปกติแล้วควรเลือกประเภทเครื่องที่เหมาะสมจากรายชื่อที่ปรากฏในคอลัมน์ A ส่วนรายชื่อในคอลัมน์ B จะเลือกใช้ในกรณีพิเศษเท่านั้น

ข. การพิจารณาคคุณสมบัติอบแห้งของวัสดุ

คุณสมบัติอบแห้งของวัสดุแต่ละประเภท โดยทั่วไปจะแตกต่างกันแม้รูปทรงจะเหมือนกัน คุณสมบัติอบแห้งของวัสดุจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำที่มีอยู่ในเนื้อวัสดุนั้น เช่น คุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilicity) หรือไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) ของวัสดุ รวมทั้งโครงสร้างรูพรุนซึ่งมีความสำคัญในการกำหนดคุณสมบัติการอบแห้ง และถึงแม้จะเป็นวัสดุประเภทเดียวกันอาจจะมีคุณสมบัติอบแห้งต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ถ้ารูปทรงไม่เหมือนกัน

ค. การพิจารณาทางวิศวกรรมเครื่องกลของวัสดุอบแห้ง

เนื่องจากรูปทรงของวัสดุมีหลายชนิด จึงจำเป็นต้องพิจารณาทางด้านวิศวกรรมเครื่องกลซึ่งเกี่ยวข้องกับการป้อน การขนส่ง และการถ่ายวัสดุแต่ละชนิดควบคู่กันไป ประสิทธิภาพ

ของกระบวนการอบแห้งขึ้นอยู่กับการทำงานของหน่วยปฏิบัติการที่เกี่ยวข้อง และระดับเทคโนโลยีของหน่วยปฏิบัติการเหล่านี้ หรืออาจกล่าวได้ว่า กระบวนการอบแห้งเป็น "เทคโนโลยีรวม" (Overall technology) ยกตัวอย่างเช่น เครื่องอบแห้งแบบหิวฉัดพ่นฝอย การทำงานเกี่ยวข้องซึ่งกันและกันระหว่างกระบวนการอบแห้ง และกระบวนการทางวิศวกรรมเคมีหรือวิศวกรรมแขนงอื่น เช่น การเคลื่อนย้ายสเลอรี เทคโนโลยีการพ่นฝอย การแพร่กระจายของลมร้อนในการอบแห้ง เตาเผาไหม้ที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตลมร้อนที่อุณหภูมิสูง เทคโนโลยีของการป้องกันเสียงรบกวนและอื่น ๆ ล้วนเกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องอบแห้งประเภทนี้ทั้งสิ้น เป็นต้น

ง. การพิจารณาสภาพทำเลที่ตั้งของเครื่องอบแห้ง

ในการเลือกทำเลที่ตั้งของเครื่องอบแห้ง ควรพิจารณาถึงเงื่อนไขทางเศรษฐกิจ และเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อมประกอบกันไป โดยที่เงื่อนไขทางเศรษฐกิจส่วนใหญ่มักเกี่ยวข้องกับแหล่งพลังงานความร้อน และก่ารนำความร้อนทิ้ง (Exhaust heat) กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ส่วนเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อมมักจะเกี่ยวข้องกับปัญหาทางสภาพแวดล้อมที่เกิดจากก๊าซพิษ กลิ่นเหม็น ฝุ่นละอองที่ออกมาพร้อมกับลมร้อนที่ทิ้ง และเสียงรบกวนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ซึ่งจะต้องมีการพิจารณาเงื่อนไขทั้งสองนี้อย่างถี่ถ้วนก่อนเลือกประเภทเครื่องอบแห้ง

จ. การพิจารณามาตรการประหยัดพลังงาน

การอบแห้งต้องใช้พลังงานความร้อน เพื่อระเหยความชื้นออกจากวัสดุอบแห้ง ดังนั้นการศึกษาวิธีเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้งและวิธีการใช้ความร้อนที่สูญเสียให้เป็นประโยชน์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน จึงเป็นสิ่งสำคัญมาก

ตารางที่ 3.1 การเลือกประเภทเครื่องอบแห้ง

สภาวะของวัสดุเปียก	ตัวอย่างของวัสดุ	แบบของการปฏิบัติการ	ประเภทของเครื่องอบแห้งที่เหมาะสม	
			A (กรณีทั่วไป)	B (กรณีเฉพาะ)
ก. สารละลายและสเลอรี	สารละลายเกลือ สารสกัดจากพืช ผงซักฟอก สารละลายของเรซิน น้ำมัน	แบบต่อเนื่องปริมาณมาก	a. แบบพ่นฝอย (Spray)	
		แบบต่อเนื่องปริมาณน้อย	b. แบบดรัม (Drum)	
ข. วัสดุที่แช่แข็ง	ยา อาหาร (ก้อน ผง)	แบบไม่ต่อเนื่องปริมาณน้อย	a. แบบ Freeze dry	
		แบบกึ่งต่อเนื่องปริมาณมาก		
ค. วัสดุคล้ายแป้งเปียก	สีย้อม ซิลิกาเจล ดินเหนียว ออกไซด์แดง สีมง ไข่เหนียวขาว ผงถ่าน แค็กรอง ตะกอนเคลือบผิวคาร์บอน	แบบต่อเนื่องปริมาณมาก	a. แบบพาหะลม (Pneumatic conveying) b. แบบแบนด์ไหลผ่าน (Through-flow band) หรืออุโมงค์ (Tunnel)	c. แบบอุโมงค์ไหลขนาน d. แบบพ่นฝอย
		แบบต่อเนื่องปริมาณน้อย	e. แบบทรงกระบอกนำความร้อน และแบบรางกวนนำความร้อน	
			f. แบบดรัม (สูญญากาศ)	
			g. แบบทรงกระบอกนำความร้อน และแบบรางกวนนำความร้อน (รวมสูญญากาศ)	i. แบบกล่องไหลขนาน (Parallel-flow box type)
			h. แบบกล่องไหลผ่าน (Through-flow chamber type)	j. แบบกล่องสูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การเลือกประเภทเครื่องอบแห้ง (ต่อ)

สภาวะของวัสดุเปียก	ตัวอย่างของวัสดุ	แบบของการปฏิบัติการ	ประเภทของเครื่องอบแห้งที่เหมาะสม	
ง. วัสดุที่เป็นผงและเม็ด	ยิปซัม Ilmenite ข้าว ข้าวโพด ยางสังเคราะห์ของพีวีซี และอื่นๆ ถ่านกัมมันต์ ทราาย ไม้	แบบต่อเนื่องปริมาณมาก	A (กรณีทั่วไป) a. แบบพาหะลม (Pneumatic conveying) b. แบบรางกวนใช้อากาศร้อน (Air-heated agitated through) c. แบบหมุน (Rotary) d. แบบหมุนและมีได้นำ e. แบบฟลูอิด์เบด f. แบบไหลผ่านชนิดหมุน (Through-flow rotary) และแบบไหลผ่านชนิดตั้ง (Through-flow vertical type) j. แบบทรงกระบอกนำความร้อนและแบบรางกวนนำความร้อน k. แบบฟลูอิด์เบด	B (กรณีเฉพาะ) g. แบบแบนด์ไหลผ่าน h. แบบจานหลายชั้น (Multi-disk) i. แบบกึ่งหัน (เทอร์ริบ)
		แบบต่อเนื่องปริมาณน้อย		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การเลือกเครื่องอบแห้ง (ต่อ)

สภาวะของวัสดุเปียก	ตัวอย่างของวัสดุ	แบบของการปฏิบัติการ	ประเภทของเครื่องอบแห้งที่เหมาะสม
			A (กรณีทั่วไป) B (กรณีเฉพาะ)
จ. วัสดุที่เป็นก้อน	ถ่านบดย่อย ใต้ว แร่ ตะกอน เด็กกรองบางประเภท	แบบไม่ต่อเนื่องปริมาณน้อย	l. แบบฟลูอิดไคท์เบด m. แบบทรงกระบอกนำความร้อนและ และแบบรางกวนนำความร้อน (รวมสูญญากาศ) a. แบบหมุน b. แบบไหลผ่านชนิดหมุน และแบบไหลผ่าน ชนิดตั้ง c. แบบหมุนและมีท่อไอน้ำ
ข. วัสดุที่เป็นสะเก็ด	ใบยาสูบ ถั่วเหลืองอัดแบน ชิ้นมันฝรั่งทอด	แบบไม่ต่อเนื่องปริมาณน้อย	f. แบบกลิ้งไหลขนาน g. แบบกลิ้งไหลผ่าน d. แบบอุโมงค์ไหลขนาน
ค. วัสดุเส้นใยสั้น	เส้นใยสั้น เส้นแบ่ง เซลล์โกลสชนิดเอธิเทรตและไนเตรต	แบบไม่ต่อเนื่องปริมาณน้อย	a. แบบแบบตีไหลผ่าน b. แบบหมุนและมีท่อไอน้ำ c. แบบไหลผ่านผ่านชนิดแบบ
		แบบต่อเนื่องปริมาณมาก	a. แบบกลิ้งไหลผ่าน a. แบบแบบตีไหลผ่าน b. แบบกลิ้งไหลผ่าน
		แบบต่อเนื่องปริมาณน้อย	b. แบบกลิ้งไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การเลือกเครื่องอบแห้ง (ต่อ)

สภาวะของวัสดุเปียก	ตัวอย่างของวัสดุ	แบบของการปฏิบัติการ	ประเภทของเครื่องอบแห้งที่เหมาะสม	
			A (กรณีทั่วไป)	B (กรณีเฉพาะ)
ข. วัสดุที่มีขนาดคงที่	ใบยาสูบ เครื่องใช้เซรามิก เส้นไหม กระดาษหนังสือ เครื่องสูดกลิ่นที่เซรามิก หมักฟอก ไม้อัด เสาไม้ กระดาษชนิดหนาและบาง	แบบต่อเนื่องปริมาณมาก แบบต่อเนื่องปริมาณมากหรือน้อย แบบไม่ต่อเนื่องปริมาณน้อย	a. แบบอุโมงค์ไหลขนาน c. แบบกล่องไหลขนาน	b. แบบอุโมงค์ไหลผ่าน d. แบบ Dielectric e. แบบกล่องไหลผ่าน
ค. วัสดุที่เป็นแผ่นยาว	ผ้าทอ กระดาษ กระดาษพิมพ์	แบบต่อเนื่องปริมาณมาก	a. แบบฉีดพ่น (Nozzle jet) b. แบบไหลขนาน c. แบบทรงกระบอกหลายสูบ (Multi cylinder)	
ง. สีและของเหลวที่ใช้ทา		แบบต่อเนื่องปริมาณน้อย แบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง	d. แบบทรงกระบอกลูกเดียวหรือหลายลูก a. แบบรังสีอินฟราเรด b. แบบฉีดพ่น (Nozzle jet)	e. แบบรังสีอินฟราเรด c. แบบไหลขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ปั๊มสุญญากาศ

4.1 ชนิดของปั๊มสุญญากาศ

ปั๊มสุญญากาศแบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ ๆ ได้ ดังนี้ [26]

4.1.1 Steam jet ejector

เป็นปั๊มสุญญากาศที่มีใช้มานานแล้วและยังเป็นที่นิยมอยู่ในปัจจุบัน Steam jet ejector สามารถออกแบบให้ดูดปริมาณไอน้ำได้ในปริมาณที่มากอาจถึง 1 ล้านลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

ข้อดี

1. สามารถดูดไอที่เปียกหรือแห้ง หรือไอที่มีสภาวะก่ดกร่อนสูงได้
2. สามารถทำความสะอาดตามที่ต้องการได้โดยออกแบบให้ต่ออนุกรมกัน
3. เลือกขนาดใหญ่หรือเล็กได้ตามปริมาณไอที่ออกมาจากระบบ
4. ประสิทธิภาพดี ความเชื่อถือได้สูง
5. ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่ จึงมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ
6. ไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งเหมาะที่จะใช้ในบริเวณที่ไม่ต้องการให้เกิดประกายไฟ
7. ไม่มีเสียง
8. ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งไม่มากนัก
9. ใช้งานง่าย

ข้อเสีย

1. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง เนื่องจากใช้ไอน้ำปริมาณมากในการทำ
2. ต้องใช้คอนเดนเซอร์เพื่อควบแน่นไอน้ำจาก Steam jet ejector

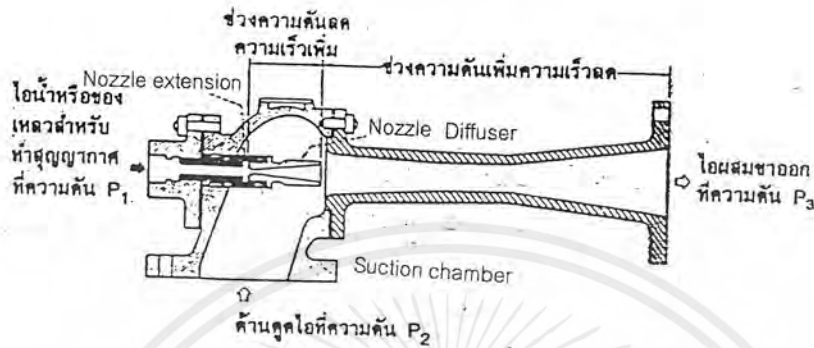
สุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

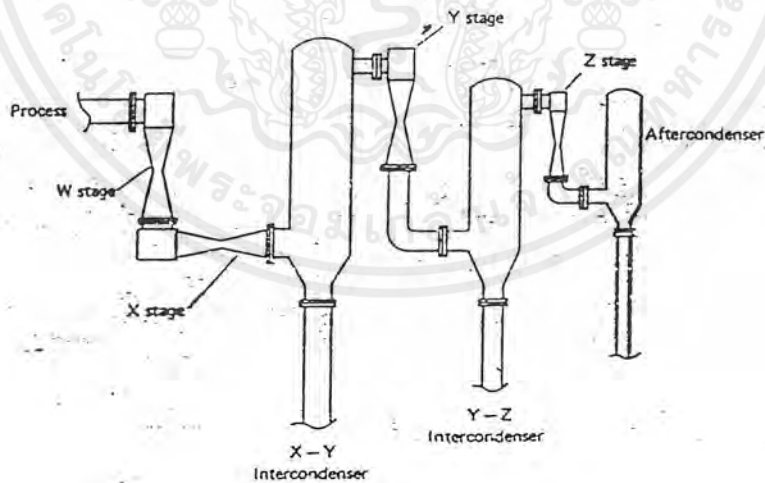
ปั๊มสุญญากาศชนิดนี้มีส่วนประกอบ 3 ส่วนดังรูปที่ 4.1 ได้แก่ ส่วน Nozzle สำหรับฉีดไอน้ำหรือของเหลวเข้ามาในส่วนของ Suction chamber ซึ่งเป็นช่วงที่ดูดไอน้ำจากกระบวนการผลิต และ ส่วน Diffuser ซึ่งเป็นคอคอดเวงจู่ ทำหน้าที่เปลี่ยนความเร็วไอน้ำหรือของเหลวซึ่งจะทำให้เกิดสุญญากาศขึ้นมาได้ Steam jet ejector เป็นปั๊มสุญญากาศที่ใช้การถ่ายโอนโมเมนตัม โดยการทำให้ไอน้ำความดันสูงวิ่งผ่านหัวฉีดซึ่งมีลักษณะเป็นคอคอด จนมีความเร็วประมาณ 3,000 ถึง 4,000 ฟุตต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วเหนือเสียง ไอน้ำความเร็วสูงนี้จะพาก๊าซหรือไอน้ำจากระบบออกมาจากด้านดูด จากนั้นไอน้ำและก๊าซที่ผสมกันนี้ จะถูกอัดซึ่งเป็นการปรากฏการณ์ที่เปลี่ยนจากความเร็วให้เป็นความดันในช่วงของ Diffuser

โดยปกติแล้ว Steam jet ejector เพียงตัวเดียวจะมีข้อจำกัดใช้งานที่ความดันในช่วง 75 มิลลิเมตรปรอทจนถึงความดันบรรยากาศ ถ้าต้องการความดันที่ต่ำกว่านี้ ต้องต่ออนุกรมกับปั๊มสุญญากาศชนิดอื่นหรือใช้ Steam jet ejector หลายตัวต่ออนุกรมกัน ซึ่งสามารถทำได้ถึง 0,003 มิลลิเมตรปรอทเมื่อใช้ Steam jet ejector ต่ออนุกรมกัน 6 ตัว ในรูปที่ 4.2 แสดงรายละเอียดของ Steam jet ejector [26] โดยให้สัญลักษณ์ตามมาตรฐานสากลของสถาบันอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchange Institute) และ Ejector ตัวที่อยู่ใกล้กระบวนการผลิตมากที่สุดเป็นตัวที่หนึ่ง เรียกว่า W stage จะเห็นได้ว่า W stage จะปล่อยไอน้ำเข้าผสมโดยตรงกับ Ejector ตัวที่สองหรือ X stage จากนั้นจะถูกส่งไปควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ X-Y ejector Y stage จะทำสุญญากาศโดยการดูดไอน้ำจากคอนเดนเซอร์ X-Y แล้วไปควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ Y-Z ส่วน Ejector ตัวสุดท้าย เรียกว่า Z stage ซึ่งจะดูดไอน้ำจากคอนเดนเซอร์ Y-Z แล้วไปควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ตัวสุดท้ายเรียกว่า Aftercondenser

ระบบปั๊มสุญญากาศในรูปที่ 4.2 นี้เป็นระบบ 4-stage คอนเดนเซอร์แต่ละตัวทำหน้าที่ควบแน่นก๊าซและไอน้ำจาก Ejector ก่อนหน้านี้ เพื่อลดภาระขั้นหนึ่งก่อนที่ Ejector ตัวถัดไปจะทำให้เป็นสุญญากาศ จากรูปจะเห็นว่า Ejector ใน W stage ปล่อยไอน้ำเข้าโดยตรงสู่ Ejector ใน X stage เนื่องจาก Ejector X และ Y stage นี้มีความดันต่ำมากประมาณ 3-6 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งต่ำจนเราไม่สามารถใช้น้ำเป็นตัวควบแน่น ที่ความดันดังกล่าว น้ำที่อุณหภูมิปกติจะระเหยเป็นไอหมด [26]



รูปที่ 4.1 รายละเอียดของ Steam jet ejector [26]



รูปที่ 4.2 การใช้สัญลักษณ์ของ Steam jet ejector ตามมาตรฐานของ สถาบันอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 บี้มแบบ Liquid ring

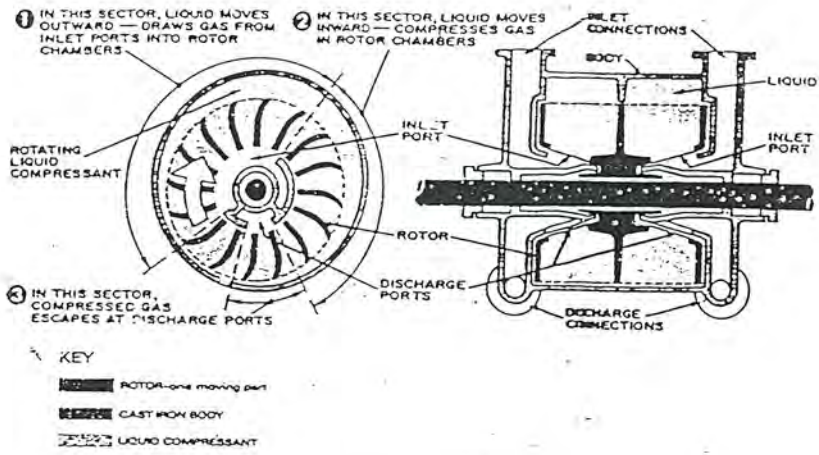
บี้มชนิดนี้เป็นบี้มที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด ในโรงงานอุตสาหกรรมเคมี เนื่องจากสามารถรับของแข็งและของเหลวเข้าบี้มได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับบี้มสุญญากาศชนิดอื่น ความดันด้านดูดของบี้มแบบ Liquid ring จะทำได้ต่ำเพียงไรขึ้นอยู่กับของเหลวที่ใช้ทำสุญญากาศ ภายในตัวบี้ม สำหรับบี้มที่ใช้น้ำและเป็นชนิดใบพัด 2 ช่วง จะทำให้เป็นสุญญากาศได้ในช่วง 30 ถึง 50 มิลลิเมตรปรอท และสามารถออกแบบให้ดูดปริมาณไอน้ำได้ถึง 18,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อ นาที

ลักษณะของบี้มสุญญากาศชนิดนี้ แสดงดังรูปที่ 4.3 [26] บี้มแบบ Liquid ring ใช้หลักการทำงานแบบดูดและอัดของเหลว ตัวใบพัดยึดติดกับเพลลาที่ติดตั้งในตำแหน่งเยื้องศูนย์กลางกับเสื้อบี้มซึ่งเป็นรูปทรงกระบอก บี้มแบบนี้ต้องมีของเหลวบรรจุอยู่ก่อนใช้งานเสมอ เมื่อใบพัดหมุน ใบพัดจะเหวี่ยงของเหลวไปปะทะกับผนังเสื้อบี้มเป็นรูปวงแหวน (จึงเรียกบี้มชนิดนี้ว่า Liquid ring) และเนื่องจากใบพัดและเสื้อบี้มอยู่ในตำแหน่งเยื้องศูนย์กลางทำให้ปริมาตรระหว่างใบพัดไม่เท่ากัน ทำให้ของเหลวที่อยู่ระหว่างใบพัดเคลื่อนที่เข้าออกเสมือนลูกสูบซึ่งจะดูดและอัดได้ ใบพัดและเสื้อบี้มจะไม่สัมผัสกันซึ่งเป็นข้อดีของบี้มชนิดนี้ที่จะรับของแข็งเล็ก ๆ เข้าบี้มได้

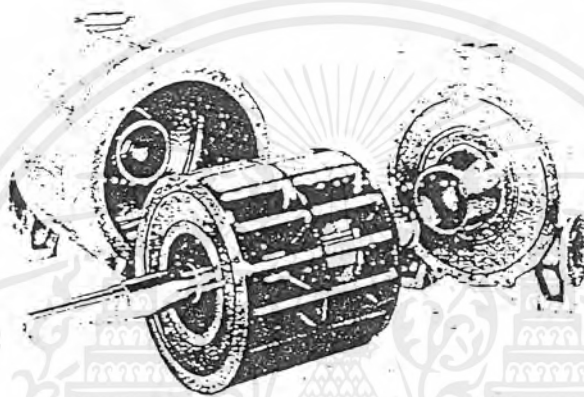
โดยทั่วไปแล้วบี้มแบบ Liquid ring ได้รับการออกแบบมา 2 ลักษณะ คือ แบบ ช่วงเดียวมีใบพัด 1 ชุดและแบบ 2 ช่วงมีใบพัด 2 ชุด ซึ่งสามารถทำความดันให้ต่ำลงมาได้อีก บี้มแบบ 2 ช่วงดังแสดงในรูปที่ 4.4 [26] เสมือนว่ามีบี้ม 2 ตัวต่ออนุกรมกัน เนื่องจากมีการอัดกันของก๊าซทำให้ปริมาตรน้อยลง ใบพัดช่วงที่สองจึงมีขนาดเล็กกว่าช่วงแรก

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าความดันด้านดูดของบี้มแบบ Liquid ring จะทำได้ต่ำเพียงไร ขึ้นกับความดันไอของของเหลวในบี้ม ถ้าความดันด้านดูดถูกลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งความดันนี้ เท่ากับความดันของของเหลว ประสิทธิภาพของบี้มจะตกลงทันทีจนถึงศูนย์ เมื่อถึงจุดนี้ จะเกิด ฟองก๊าซขึ้นในของเหลว และเมื่อถูกส่งผ่านไปยังด้านอัดจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า คาวิเตชัน (Cavitation) ทำให้บี้มเสียหาย โดยเฉพาะส่วนของใบพัด จะเกิดรูพรุนเล็ก ๆ ขึ้น ผู้ใช้งานต้อง เข้าใจและระวังไม่ให้เกิดขึ้น

การใช้ของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือใช้ของเหลวที่มีความดันไอต่ำ จะทำให้บี้มทำงาน ที่ความดันด้านดูดที่ต่ำลงได้

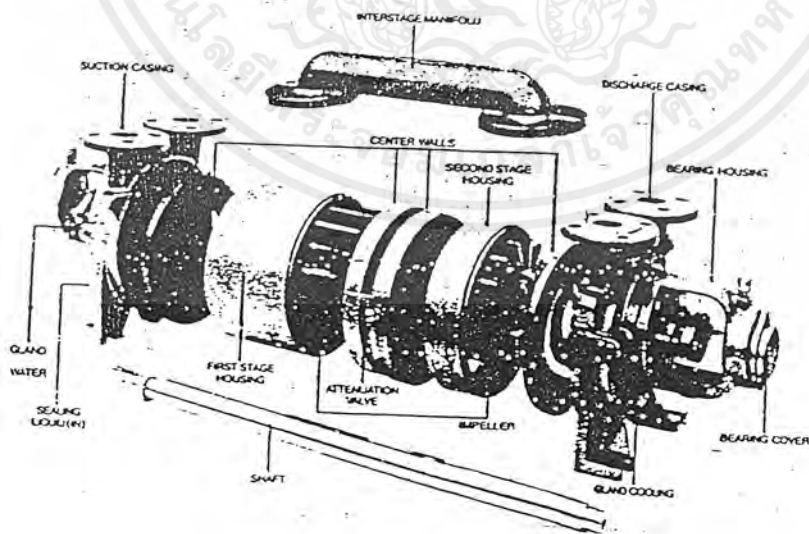


(ก) ภาคตัดขวางของปั๊ม



(ข) ส่วนประกอบของปั๊ม

รูปที่ 4.3 ปั๊มสูญญากาศแบบ Liquid ring [26]



รูปที่ 4.4 ปั๊มแบบ Liquid ring แบบ 2 ช่วง [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

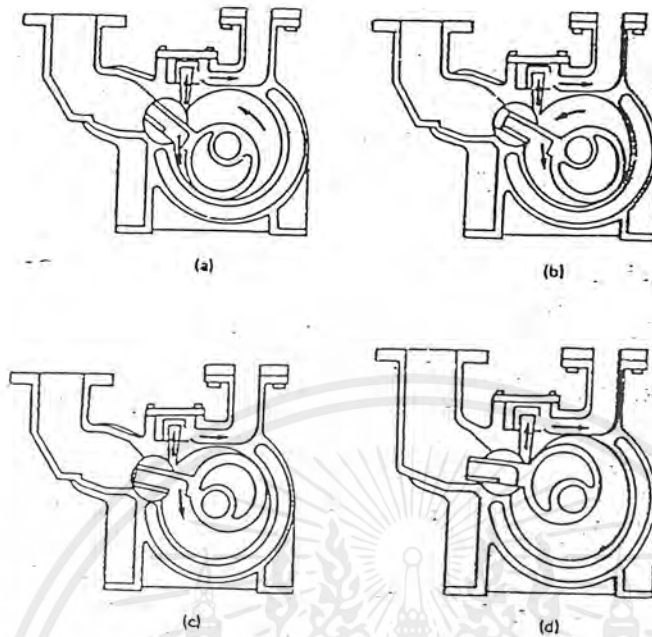
4.1.3 บี้มโรตารี

บี้มโรตารีมี 2 ชนิด คือ โรตารีแบบลูกสูบ และโรตารีแบบใบกวาดหรือเวน (Vane) ซึ่งนิยมใช้อย่างแพร่หลายในกระบวนการผลิตขนาดเล็กและใช้ต่ออนุกรมหลังบี้มสูญญากาศชนิดโรตารีโบลเวอร์ สำหรับกระบวนการผลิตที่ต่อเนื่องขนาดใหญ่

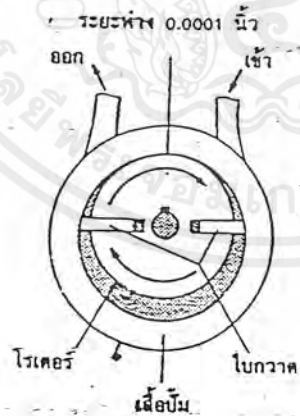
บี้มโรตารีแบบลูกสูบและโรตารีแบบเวน เป็นบี้มที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าบี้มแบบ Liquid ring นอกจากนี้จะทำความดันสูญญากาศที่ดีกว่า แต่ก็มีข้อจำกัดที่ว่าสภาวะในการใช้งานต้องสะอาด ในสภาวะการใช้งานที่หนักและสกปรกค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาจะสูงมากและต้องหมั่นเปลี่ยนถ่ายน้ำมันอยู่เสมอ ๆ

บี้มโรตารีแบบลูกสูบลักษณะ ดังรูปที่ 4.5 [26] ชิ้นส่วนเคลื่อนที่ที่สำคัญ คือ ลูกเบี้ยวซึ่งสวมอยู่บนเพลาลมุน หลักการทำงานของบี้มโรตารีแบบลูกสูบ คือ ตัวลูกเบี้ยวจะไปดันให้ลูกสูบลูกว้างขึ้นอัดอากาศผ่านวาล์วเปิด-ปิด เหมือนลูกสูบบรดยนต์ บี้มโรตารีแบบลูกสูบจะมีขนาดเล็ก และใช้กันไม่มากนักในปัจจุบัน

บี้มโรตารีแบบเวนมีลักษณะดังในรูปที่ 4.6 [26] ประกอบด้วยกระบอกสำหรับสวมใบกวาดแบบเวน เรียกว่า โรเตอร์ ซึ่งติดตั้งให้เยื้องศูนย์กลางกับเสื้อบี้ม ใบกวาดที่สามารถอยู่ในร่องของโรเตอร์ จะถูกแรงเหวี่ยงให้เลื่อนออกไปติดผนังเสื้อบี้ม เพื่อกวาดอากาศให้เกิดการอัด ในบี้มขนาดเล็กอาจมีสปริงเล็ก ๆ อยู่ภายในร่อง เพื่อให้มั่นใจว่าใบเวนสัมผัสผนังตลอดเวลา

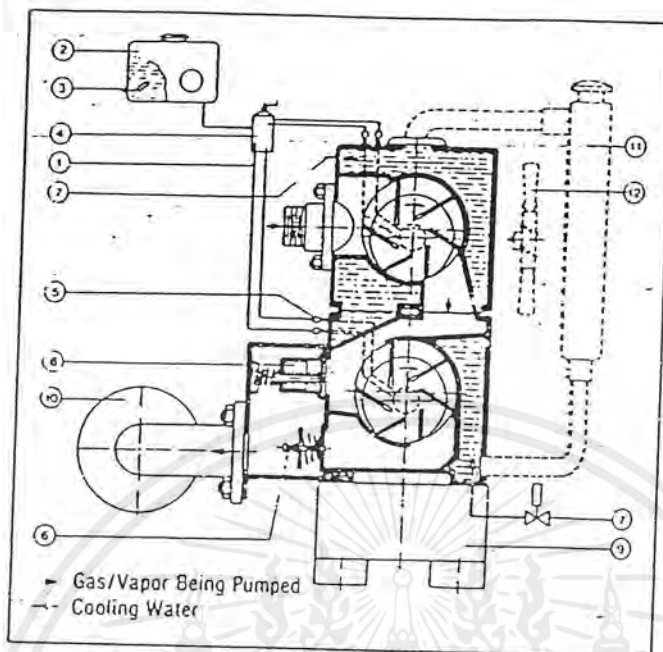


รูปที่ 4.5 การทำงานของปั๊มโรตารีแบบลูกสูบ [26]



รูปที่ 4.6 ปั๊มโรตารีแบบเวน [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- | | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| 1. Fresh Oil Feed Line | 7. Water Inlet and Drain |
| 2. Oil Reservoir | 8. Bypass Valve-optional |
| 3. Low Oil Level Switch | 9. Pump Base |
| 4. Oil Metering Pump | 10. Exhaust Muffler |
| 5. Oil Reverse-Flow Check Valve | 11. Radiator-014 version only |
| 6. Exhaust Check Valve | 12. Fan-014 version only |

รูปที่ 4.7 บีบโรตารีแบบเวน 2 ช่วง [26]

รูปที่ 4.7 เป็นบีบแบบมัลติเวน 2 ช่วงต่ออนุกรมกัน [26] บีบที่ใช้ในระบบวนการผลิตอาจมีตั้งแต่ 4 ถึง 8 ใบ บีบที่ต่อแบบอนุกรมนี้จะให้ความดันที่ต่ำกว่า โรเตอร์จะมีเพลลาแยกจากกันแต่ใช้มอเตอร์ร่วมกัน

บีบโรตารีแบบเวนจะใช้น้ำมันสำหรับกันรั่วที่ช่องว่างต่าง ๆ และน้ำมันนี้ใช้สำหรับหล่อลื่นชิ้นส่วนต่าง ๆ ด้วย น้ำมันจะถูกผสมกับอากาศที่ถูกอัดตัวออกมาจากบีบ ซึ่งสามารถแยกแล้วนำกลับมาใช้ได้อีก บีบในรูปที่ 4.7 ผู้ผลิตได้ออกแบบให้ใช้น้ำมันเพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง โดยใช้น้ำมันในปริมาณที่น้อยมาก ทำให้ประสิทธิภาพของบีบไม่ลดลงเมื่อใช้งานไปเป็นเวลานานขึ้น นอกจากนี้ยังมีข้อดีอีกประการหนึ่ง คือ ในสภาวะที่การกักความร้อนสูง น้ำมันจะชะล้างสิ่งสกปรกออกจากระบบ ทำให้ยืดอายุการใช้งานของบีบได้นานขึ้น

บีบโรตารีแบบลูกสูบและแบบเวนจะให้ความดันสูญญากาศที่ต่ำกว่าบีบแบบ Liquid ring แต่ราคาก็จะแพงกว่าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเลือกปั๊มสุญญากาศ

การเลือกว่าจะใช้ปั๊มสุญญากาศชนิดไหนกับระบบและมีขนาดเท่าไร ค่อนข้างจะยุ่งยากและใช้เวลานาน ในที่นี้จะกล่าวถึงหลักการง่าย ๆ ในทางปฏิบัติจริงต้องใช้ประสบการณ์ของผู้ใช้งานและข้อมูลจากผู้ผลิตมาพิจารณาด้วย ซึ่งองค์ประกอบและขั้นตอนในการพิจารณาเลือกปั๊มสุญญากาศ มีดังนี้ [26]

1. ความดันด้านดูดและปริมาณในการดูด
2. ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษา
3. ราคาและค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง
4. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน
5. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

4.2.1 ความดันด้านดูดและปริมาณในการดูด

สิ่งที่สำคัญที่สุดในการเลือกขนาดของปั๊มสุญญากาศ คือ ความดันด้านดูดซึ่งต้องได้ตามระดับที่ต้องการและสามารถรักษาระดับความดันสุญญากาศนั้นไว้ได้ ทั้งนี้ต้องเผื่อไว้สำหรับการรั่วไหลในระบบด้วย ปริมาณในการดูดของปั๊มสุญญากาศ จะสามารถใช้ประมาณขนาดของปั๊มสุญญากาศได้

4.2.2 ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษา

ในระหว่างการใช้งานปั๊มสุญญากาศ ต้องรักษาระดับสุญญากาศที่ต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในบางอุตสาหกรรมถ้าสุญญากาศมีปัญหา อาจหมายถึง การสูญเสียผลผลิตอย่างมหาศาล ดังนั้นถ้าสามารถเลือกปั๊มสุญญากาศได้อย่างถูกต้อง จะสามารถลดต้นทุนการผลิตและการลดการสูญเสียได้ ซึ่งรวมไปถึงการบำรุงรักษาที่ง่ายและค่าใช้จ่ายต่ำ

ในการพิจารณาถึงความเชื่อถือได้และการตอบสนองของปั๊มสุญญากาศ เมื่อระบบสุญญากาศในกระบวนการผลิตมีปัญหา จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้เกี่ยวข้องด้วย อย่างไรก็ตาม ตารางที่ 4.1 เป็นข้อเสนอแนะการใช้ปั๊มสุญญากาศ เครื่องหมายดอกจัน (*) หมายความว่า แนะนำให้ใช้ปั๊มสุญญากาศชนิดนั้นซึ่งเหมาะสมที่สุดเป็นมาตรฐานเปรียบเทียบ [26]

ตารางที่ 4.1 การประเมินความเชื่อถือได้ของปั๊มและระบบสุญญากาศ [26]

สิ่งที่พิจารณา	Steam jet ejector	ปั๊มแบบ Liquid ring	ปั๊มโรตารีแบบ ลูกสูบและเวน	Steam jet ejector ต่อกับ ปั๊มแบบ Liquid ring	ปั๊มทางกลต่ออนุกรมกัน
การยอมให้มีของแข็งเข้าระบบ	*	*	แนะนำให้ติดตั้งตัวดักหรือดักฝุ่นที่ด้านดูด	*	แนะนำให้ติดตั้งอุปกรณ์กรอง
การยอมให้มีของเหลวเข้าระบบ	*	*	ต้องติดตั้งชุดแยกของเหลวที่ด้านดูด	*	ถ้าใช้ปั๊มโรตารีแบบลูกสูบและเวนต้องติดตั้งชุดแยกของเหลว
การตอบสนองต่อการไม่สม่ำเสมอของสุญญากาศเมื่อมีการรั่วไหลของอากาศเข้าระบบ	ออกแบบเพื่อไว้โดยใช้ค่าแฟกเตอร์เท่ากับ 2.0	ปั๊มตอบสนองต่อการไม่สม่ำเสมอของสุญญากาศได้ดี	*	การตอบสนองขึ้นกับสัดส่วนการอัดของปั๊มตัวแรกและตัวที่สอง	การตอบสนองขึ้นกับสัดส่วนการอัดของปั๊มตัวแรกและตัวที่สอง
ความสามารถในการปั๊มของเหลวที่เกิดจากการควบแน่น	คอนเดนเซอร์ทำหน้าที่เหมือนปั๊มไอตัวหนึ่ง	*	การควบแน่นของไอในปั๊มจะลดความสามารถของปั๊มลง	*	ประสิทธิภาพพวมขึ้นกับปั๊มที่ต่ออนุกรมกัน การควบแน่นในปั๊มโรตารีโบลเวอร์ไม่ใช่ปัจจัยสำคัญ
การตอบสนองต่อการล้นเหลวของคอนเดนเซอร์	ถ้าเป็น Ejector หลายตัวความดันด้านดูดจะเปลี่ยนไปตามไหลด ถ้าเป็น Ejector ตัวเดียวจะล้นเหลวทันที	*	ถ้าคอนเดนเซอร์ล้นเหลวต้องหมั่นเปลี่ยนถ่ายน้ำมันกันรั่ว	*	การตอบสนองจะพิจารณาจากปั๊มที่มาต่ออนุกรมกัน
การตอบสนองเมื่อมีความดันด้านออกสูงมาก	แนะนำให้ติดตั้งคอนเดนเซอร์ระหว่าง Ejector และระบบเพื่อป้องกันไอน้ำย้อนกลับ	*	*	แนะนำให้ติดตั้งคอนเดนเซอร์ระหว่าง Ejector และระบบเพื่อป้องกันไอน้ำย้อนกลับ	ปั๊มโรตารีโบลเวอร์อาจบริหารจัดการติดตั้งสวิทช์ตรวจจับความร้อนเพื่อตัดการทำงานของปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การประเมินความเชื่อถือได้ของปั๊มและระบบสุญญากาศ (ต่อ)

สิ่งที่พิจารณา	Steam jet ejector	ปั๊มแบบ Liquid ring	ปั๊มโรตารีแบบ ลูกสูบและเวน	Steam jet ejector ต่อกับ ปั๊มแบบ Liquid ring	ปั๊มทางกลต่ออนุกรมกัน
การทำงานในสภาวะที่มีการก่ดกร่อนสูง	*	ปั๊มสามารถออกแบบให้ใช้งานได้โดยใช้วัสดุที่ทนการกัดกร่อนได้สูง	ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันการควบแน่นในปั๊มหรือใช้งานที่อุณหภูมิสูงในสภาพไอจะไม่มี การกัดกร่อน	ปั๊มสามารถออกแบบให้ใช้งานได้โดยใช้วัสดุที่ทนการกัดกร่อนได้สูง	การควบแน่นในปั๊มโรตารีโบลเวอร์ไม่ใช่ปัจจัยสำคัญ ความเชื่อถือได้พิจารณาจากประสิทธิภาพของปั๊มที่ต่ออนุกรมกัน
ความต้องการความเชี่ยวชาญในการบำรุงรักษา	*	การบำรุงรักษาภายนอกจากการซ่อมใหญ่ต้องใช้เวลาผู้เชี่ยวชาญ	ควรมีการอบรมพนักงานให้มีความเชี่ยวชาญ	การบำรุงรักษาภายนอกจากการซ่อมใหญ่ต้องใช้เวลาผู้เชี่ยวชาญ	การบำรุงรักษาปั๊มโรตารีโบลเวอร์ง่าย แต่การซ่อมเพียงและตั้งจังหวะปั๊มต้องใช้ความเชี่ยวชาญสูง

รายละเอียดของสิ่งที่พิจารณาในตารางที่ 4.1 สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

– การยอมให้มีของแข็งเข้าระบบ

ปั๊มแบบ Steam jet ejector จะสามารถทนต่อการขัดสีของของแข็งได้ดีกว่าปั๊มสุญญากาศทางกลอื่นๆ โดยทั่วไปของแข็งที่เข้ามามักเป็นสารพวกพอลิเมอร์ซึ่งจะไปอุดตันคอนเดนเซอร์ ทำให้การทำสุญญากาศไม่ลุ่มล่ามและทำให้ระบบสุญญากาศล้มเหลวไปในที่สุดซึ่งมีวิธีแก้ไข คือ ใช้คอนเดนเซอร์ชนิดของเหลวสัมผัสโดยตรง

ในบางครั้งปั๊มแบบ Liquid ring จะมีความน่าเชื่อถือได้มากกว่า Steam jet ejector ในการใช้งานบางประเภท และจะได้ผลดีขึ้นเมื่อใช้ของเหลวจำพวกเอทิลีนไกลคอลแทนน้ำ ถ้าช่องว่างระหว่างเสื้อปั๊มและใบพัดค่อนข้างหลวม ของแข็งจะเกิดการจับตัวกันแน่นบริเวณนั้น และจะยิ่งไปขัดสีตัวเสื้อปั๊มและใบพัดให้สึกกร่อน ทำให้ประสิทธิภาพปั๊มลดลง การออกแบบปั๊มให้ของเหลวไหลผ่านครั้งเดียวจะบรรเทาปัญหานี้ลงได้ แต่การสะสมของของแข็งจะยังคงเกิดขึ้น เพียงแต่ใช้เวลานานขึ้นเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

– การยอมให้มีของเหลวเข้าระบบ
ของเหลวที่ปนมากับก๊าซหรือไอ เมื่อเข้าไปในปั๊มจะทำให้ปั๊มเสียหายได้ ดังนั้นปั๊มทางกลบางชนิด จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ดักของเหลวก่อนเข้าปั๊ม สำหรับปั๊มแบบ Steam jet ejector ของเหลวเหล่านี้จะไปลดประสิทธิภาพของ Ejector แต่จะไม่ทำให้ Ejector เสียหาย สำหรับปั๊มแบบ Liquid ring ถ้าของเหลวมีปริมาณไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรของการไหลทั้งหมด จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มลดลง แต่ถ้ามีของเหลวปริมาณมากเข้ามาในปั๊ม จะทำให้ใบพัดหรือเพลลาเสียหายได้ ในกรณีที่ใช้ปั๊มทางกลตัวไม่ใหญ่มากนักอาจทำให้มอเตอร์ทำงานหนักเกินไปได้ (Overload)

– การตอบสนองต่อการไม่สม่ำเสมอของสูญญากาศเมื่อมีการรั่วไหลของอากาศเข้าระบบ การรั่วรอบ ๆ ซีลกันรั่วของเพลลา อาจทำให้ระบบสูญญากาศล้มเหลวได้ ปั๊มโรตารีแบบลูกสูบและโรตารีแบบเวน จะมีการทำงานในช่วงสูญญากาศที่ความดันระหว่าง 760-1 มม.ปรอทค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังนั้นผลกระทบต่อการรั่วไหลของสูญญากาศจึงค่อนข้างน้อย สำหรับปั๊มแบบ Steam jet ejector และระบบปั๊มทางกลที่ต่ออนุกรมกัน ควรมีการเผื่อขนาดไว้สำหรับการรั่วไหลของอากาศด้วย

– ความสามารถในการปั๊มของเหลวที่เกิดจากการควบแน่น
ในความเป็นจริงแล้วการควบแน่นของก๊าซภายในปั๊มจะทำให้ประสิทธิภาพของปั๊มแบบ Liquid ring ดีขึ้น ในกรณีที่มีสภาพการกัดกร่อนสูง มักจะออกแบบให้น้ำหรือของเหลวไหลผ่านครั้งเดียว ซึ่งจะช่วยรักษาอายุปั๊มให้นานขึ้น

– การตอบสนองต่อการล้มเหลวของคอนเดนเซอร์
การล้มเหลวของคอนเดนเซอร์ จะมีผลให้คอนเดนเซอร์ปล่อยปริมาณไอน้ำจำนวนมากเข้าสู่ปั๊มสูญญากาศ ปั๊มแบบ Liquid ring สามารถควบแน่นไอน้ำได้บางส่วน มีผลให้เกิดการสูญเสียสูญญากาศ และอุณหภูมิภายในปั๊มจะร้อนขึ้น

ปั๊มสูญญากาศทุกชนิดจะได้รับผลกระทบ เมื่อเกิดการล้มเหลวของคอนเดนเซอร์ขึ้น ดังนั้นการออกแบบคอนเดนเซอร์ที่ดีและการทำความสะอาดอยู่เสมอจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก

- การตอบสนองเมื่อมีความดันด้านออกสูงมาก

เมื่อความดันด้านออกที่สูงเกินไป เช่น มากกว่า 3 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะทำให้ปั๊มสูญญากาศต้องใช้พลังงานมากขึ้น และกำลังผลิตสูญญากาศลดลง ถ้าความดันอยู่ระหว่าง 10-15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วจะทำให้ชิ้นส่วนทางกลของปั๊มเสียหายได้

สำหรับปั๊มแบบ Steam jet ejector ถ้ามีความดันด้านออกสูงเกินไปจะทำให้การทำงานของปั๊มไม่คงที่ และอาจทำให้เกิดการไหลย้อนกลับของไอน้ำเข้าสู่ระบบได้

ปั๊มแบบ Liquid ring และปั๊มโรตารีแบบลูกสูบ สามารถทำงานที่สภาวะนี้ได้ดีที่สุดสำหรับปั๊มโรตารีแบบลูกสูบ ความดันด้านออกที่สูงจะมีผลกระทบต่อปั๊มน้อยมาก แต่ก็จะมีแนวโน้มที่จะทำให้ชิ้นส่วนของปั๊มเสียหายได้ และอาจทำให้น้ำมันสำหรับกันรั่วและหล่อลื่นภายในตัวปั๊มไหลย้อนเข้าสู่ระบบสูญญากาศได้ ดังนั้นจึงควรมีถังรับของเหลวที่ท่อด้านดูดเพื่อรองรับน้ำมันหรือของเหลวย้อนกลับ

- การทำงานในสภาวะที่วัสดุมีการกัดกร่อนสูง

ปั๊มแบบ Steam jet ejector สามารถเลือกวัสดุมาสร้างได้ตามความเหมาะสม ซึ่งรวมไปถึงจำพวกเซรามิก กราไฟต์ หรือโลหะอัลลอยด์ต่าง ๆ ปั๊มแบบ Liquid ring ทำจากสแตนเลสหรือบรอนซ์ จะสามารถทนการกัดกร่อนได้ดีพอสมควร

- ความต้องการความเชี่ยวชาญในการบำรุงรักษา

ปั๊มแบบ Steam jet ejector เป็นปั๊มที่บำรุงรักษาง่ายที่สุด การบำรุงรักษาเพียงแต่เปลี่ยนชิ้นส่วนที่สึกหรอ เปลี่ยนปะเก็น และทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ความเชี่ยวชาญมากนัก สำหรับปั๊มแบบ Liquid ring และปั๊มแบบ Steam jet ejector ต่อกับปั๊มแบบ Liquid ring การบำรุงรักษาไม่จำเป็นต้องใช้ความเชี่ยวชาญมากนัก แต่การซ่อมใหญ่และการถอดประกอบต้องใช้ความเชี่ยวชาญ เนื่องจากการปรับตั้งระยะระหว่างผนังเสื้อปั๊มทางกลอื่น ๆ ต้องใช้ช่างที่มีความเชี่ยวชาญ

ปั๊มแบบ Steam jet ejector และปั๊มแบบ Liquid ring เหมาะที่สุดสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเคมีโดยทั่วไป ปั๊มแบบ Steam jet ejector จะทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าปั๊มแบบอื่น ๆ และการบำรุงรักษาทำได้ง่ายกว่า นิยมใช้คู่กับคอนเดนเซอร์ชนิดของเหลวสัมผัสโดยตรง

ปั๊มแบบ Liquid ring ในระบบที่ใช้ น้ำ จะมีความดันด้านดูดจำกัดในช่วง 40-60 มิลลิเมตรปรอท แต่มีข้อได้เปรียบที่สามารถรับภาระไอที่มากผิดปกติ ได้ดีกว่า ปั๊มแบบ Steam jet ejector ซึ่งจะใช้ได้ดีเมื่อใช้ร่วมกับถังสุญญากาศ 2 ถังหรือมากกว่า เมื่อเปิดระบายถึงหนึ่งตู้ความดันบรรยากาศปั๊มจะรับโหลดมากขึ้น และทำให้ระบบสุญญากาศล้มเหลวได้ การใช้ปั๊มแบบ Liquid ring จะสามารถทำสุญญากาศขึ้นมาใหม่ได้ดีกว่า Steam jet ejector ที่มีขนาดเท่ากัน

4.2.3 ราคาและค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

การเปรียบเทียบราคาปั๊มสุญญากาศและระบบปั๊ม สามารถดูได้จากตารางที่ 4.2 [26] ปั๊มแบบ Steam jet ejector และปั๊มโรตารีแบบโบลเวอร์จะมีราคาต่ำสุด แต่การเปรียบเทียบนี้เป็น การประมาณเท่านั้น ประสิทธิภาพและคุณภาพของผู้ผลิตแต่ละราย อาจทำให้ราคาแตกต่างกันด้วย

4.2.4 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

โดยทั่วไปแล้ว Steam jet ejector จะนิยมใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากการใช้งานและบำรุงรักษา ง่ายและราคาไม่แพงมากนัก นอกจากนี้ยังมีความเชื่อถือได้สูง แต่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานจะสูงมาก และสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปั๊มชนิดอื่นซึ่งใช้มอเตอร์ไฟฟ้า

4.2.5 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การออกแบบระบบการทำงานโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด ซึ่งจำเป็นต้องมีต้นทุนในการรักษาสภาพแวดล้อมด้วย

ปั๊มแบบ Liquid ring หรือปั๊มโรตารีแบบเวน จะสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมจากน้ำมันหรือของเหลวที่ออกมาจากตัวปั๊มได้ง่าย ของเหลวที่ใช้กับปั๊มสุญญากาศ ได้แก่ เอทิลีนไกลคอล ทอลูอิน อะซิโตน ไซลีน และแอลกอฮอล์ ซึ่งมีราคาสูง เมื่อปล่อยออกมาจากปั๊มจะมีระบบเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และยังช่วยรักษาสภาพแวดล้อมอีกด้วย

ตารางที่ 4.2 ลำดับของปั๊มและระบบสุญญากาศเมื่อเรียงตามเกณฑ์ราคาและค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง [26]

ใช้วัสดุมาตรฐาน	โลหะสแตนเลส	ลำดับราคา	ความดันด้านดูด (torr)	
One-stage jet, DCC	One-stage jet, DCC	ถูกสุด ↓ แพงสุด	150-600	
One-stage jet, SC	One-stage jet, SC			
One-stage rotary blower	Liquid ring pump			
One-stage liquid ring pump				
Two-stage jet, DCC				
Two-stage rotary blower				
Two-stage liquid ring pump	Two-stage jet, DCC			20-150
Two-stage jet, SC	Two-stage jet, SC			
Rotary-vane pump	Two-stage liquid ring pump			
Rotary-piston pump				
Two-, three-, and four-stage jets	Two- three-, and four-stage jets			
Rotary-vane pump				
Rotary-piston pump				
Steam jet-liquid ring pump system	Steam jet-liquid ring pump system			0.10-20
Rotary-vane, rotary-blower systems				
Rotary-piston, rotary-blower systems				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อไอน้ำจากกระบวนการผลิตถูกปล่อยออกจากบิ๊มสุญญากาศสู่อากาศ ทำให้เกิด ปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม จำเป็นต้องติดตั้งตัวกรองหรืออุปกรณ์ดักจับไอ (Scrubber) และมีเครื่อง วัตปริมาณเพื่อควบคุมไอที่ออกไป บิ๊มสุญญากาศที่ใช้ น้ำมันซีลกันรั่ว จะปล่อยละอองน้ำมัน ออกสู่อากาศ ผู้ผลิตบิ๊มได้แก้ไขโดยติดตั้งเครื่องมือดักจับละอองน้ำมัน บิ๊มบางชนิด สามารถลดปริมาณละอองน้ำมันปนเปื้อนไอเสียที่จะออกสู่อากาศลงเหลือน้อยกว่า 100 ส่วน ในล้านส่วน

ในกรณีที่ใช้คอนเดนเซอร์ จำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำเสียด้วย โดยเฉพาะคอนเดนเซอร์ ชนิดของเหลวสัมผัสโดยตรง ได้แก่ น้ำหรือของเหลวสัมผัสโดยตรงกับไอน้ำจากระบบ ถ้าใช้ คอนเดนเซอร์ชนิดผิวสัมผัสจะช่วยลดการปนเปื้อนของน้ำหล่อเย็นได้ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ เหลือเป็นการควบแน่นของไอน้ำซึ่งต้องส่งไปยังโรงงานบำบัดน้ำเสีย

เมื่อพิจารณาในเรื่องของเสียง บิ๊มสุญญากาศถือว่าไม่มีเสียงดังมากนัก อย่างไรก็ตาม การลดระดับเสียงลดลงสามารถทำได้ไม่ยาก บิ๊มโรตารีโบลเวอร์มีเสียงดังถึง 85-110 dBA แต่ถ้าประกอบตัวเก็บเสียงและจัดวางโบลเวอร์ไว้ในห้องเก็บเสียง จะลดความดังลงได้มาก

บทที่ 5

ข้อมูลเบื้องต้นของการอบแห้งคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และระบบการอบแห้งภายใต้ระบบสุญญากาศ

ในการเลือกเครื่องอบแห้งเพื่อใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีนั้น จะต้องพิจารณาคุณสมบัติของซีเอ็มซีที่จะเข้าและออกจากกระบวนการอบแห้ง และสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งตัวแปรที่สำคัญคือ อุณหภูมิ และความดัน ซีเอ็มซีที่ได้จากกระบวนการผลิตจะมีปริมาณความชื้นสูง ความชื้นที่อยู่ในซีเอ็มซีนอกจากไอน้ำแล้วยังมีเอทานอลซึ่งมีความไวต่อการลุกติดไฟมาก สิ่งที่ต้องระวังคือ อาจเกิดการระเบิดในระหว่างการอบแห้งได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งสูงเกินไป และไอของเอทานอลมีความไวต่อการลุกติดไฟมาก หรือมีปริมาณไอของเอทานอลในช่วงการระเบิด อีกทั้งซีเอ็มซีซึ่งเป็นสารอนุพันธ์ของเซลลูโลสมีลักษณะเป็นผง จึงอาจเกิดการระเบิดของอนุภาค (Dust explosion) ได้ ในทางอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้การอบแห้งภายใต้ระบบสุญญากาศร่วมกับการใช้ระบบฟลูอิดไซในการอบแห้งซีเอ็มซี เพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นตามต้องการ

5.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับซีเอ็มซีและตัวทำละลายเอทานอล

ซีเอ็มซีและเอทานอลซึ่งใช้เป็นตัวทำละลาย มีสมบัติที่สำคัญบางประการ ดังนี้ [4]

5.1.1 สมบัติของซีเอ็มซีแห้ง

ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.4

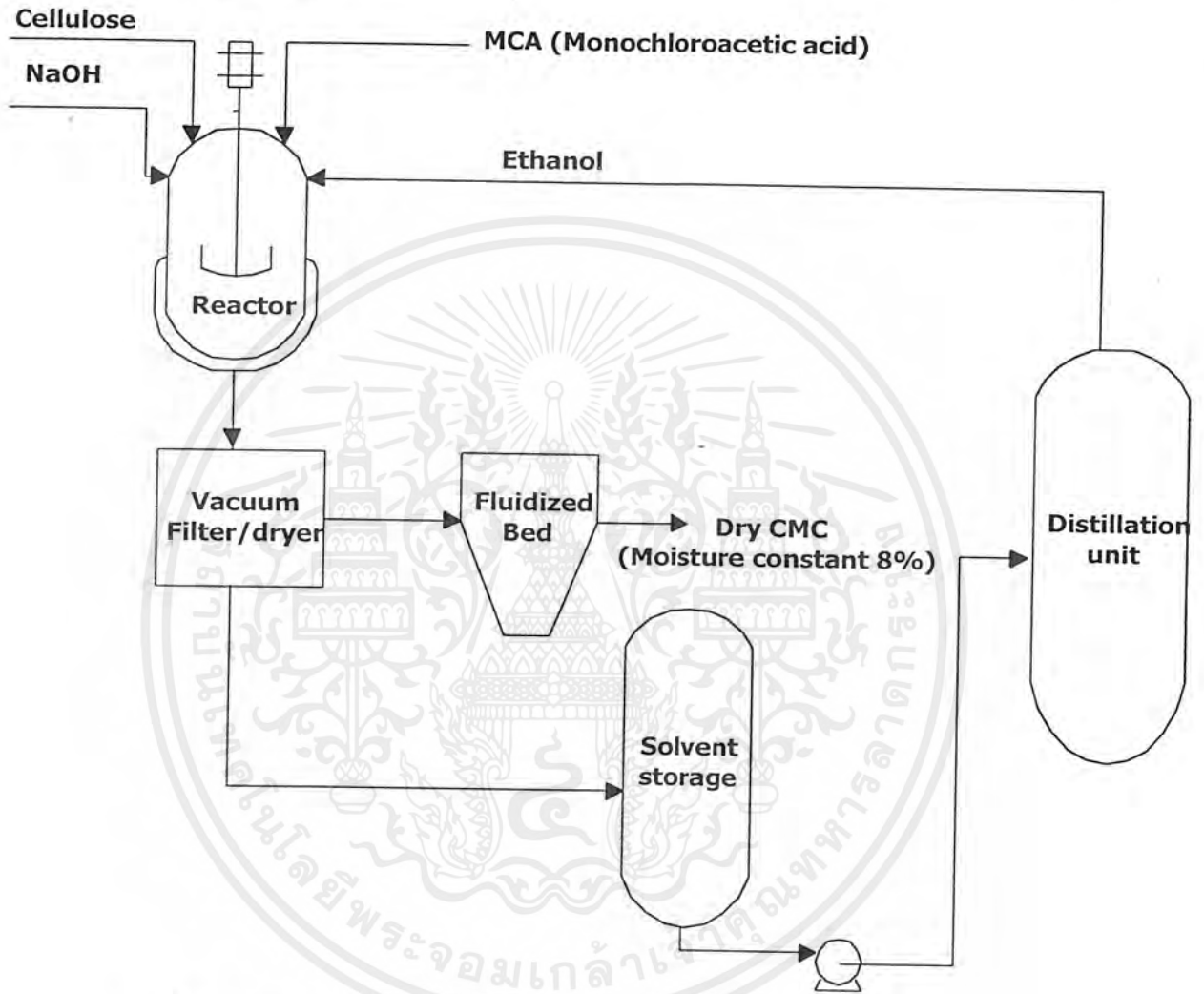
5.1.2 สมบัติของตัวทำละลายเอทานอลที่เกี่ยวกับการลุกติดไฟและการระเบิด

- | | |
|---|------------|
| - ช่วงการระเบิด (Explosion limit, เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในอากาศ) | 4.3 - 19.0 |
| - จุดวาบไฟ (Flash point, °ซ) | 14 |
| - จุดเดือด(Boiling point, °ซ) | 78.32 |
| - อุณหภูมิลุกติดไฟ (Autoignition temperature, °ซ) | 423.0 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

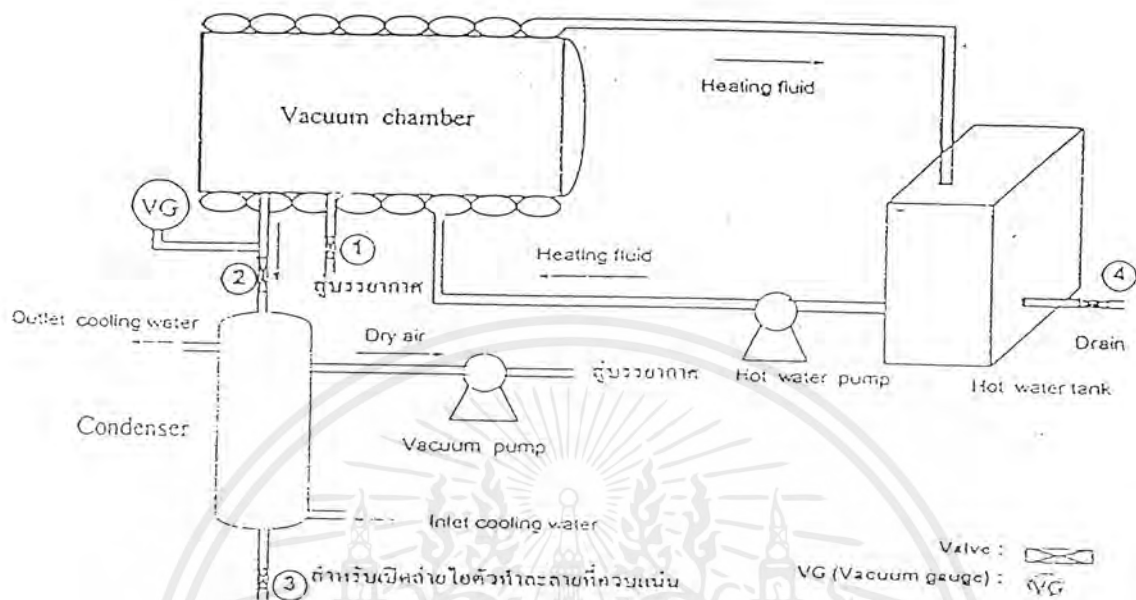
5.2 กระบวนการผลิตซีเอ็มซี

กระบวนการผลิตซีเอ็มซี และการอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ แสดงได้ดังรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ



รูปที่ 5.1 กระบวนการผลิตซีเอ็มซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 การอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศจากการทดลอง [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลองอบแห้งซีเอ็มซีเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการออกแบบเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

การทดลอง

ในโครงการตอนที่ 1 นี้ได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ

ก. การสังเคราะห์ซีเอ็มซีจากเซลลูโลสชนิดผง (Powdered cellulose) ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ขนาดความจุ 24.7 ลิตร

ข. การเก็บข้อมูลการอบแห้งซีเอ็มซีด้วยเครื่องอบแห้งภายใต้ระบบสุญญากาศ เพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

6.1 การสังเคราะห์ซีเอ็มซีจากเซลลูโลสชนิดผง

การสังเคราะห์ซีเอ็มซีจากเซลลูโลสชนิดผง มีอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ และขั้นตอนการสังเคราะห์ ดังนี้ [5]

6.1.1 อุปกรณ์ในการสังเคราะห์ซีเอ็มซี

- ก. เครื่องปฏิกรณ์เคมีขนาดความจุ 24.7 ลิตร
- ข. มอเตอร์กระแสสลับขนาด 1.5 กิโลวัตต์
- ค. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ชนิด K
- ง. ชุดกรองสารแบบสุญญากาศและกระดาษกรอง
- จ. เทอร์โมมิเตอร์ที่วัดอุณหภูมิได้ในช่วง $0 - 100^{\circ}\text{C}$
- ฉ. เครื่องทำน้ำร้อน
- ช. เครื่องทำน้ำเย็น
- ซ. ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 80°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ณ. เครื่องควบคุมมอเตอร์และแสดงค่าอุณหภูมิแบบ PID (PID Controller)
- ญ. นาฬิกาจับเวลา
- ฎ. กระดาษลิตมัส

6.1.2 สารเคมี

- ก. เซลลูโลสชนิดผง (Powdered cellulose)
- ข. กรดอะซิติก (CH_3COOH)
- ค. กรดคลอโรอะซิติก (ClCH_2COOH)
- ง. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- จ. เตตราเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ($(\text{CH}_3)_4\text{N}^+\text{Cl}^-$)
- ฉ. เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)
- ช. น้ำกลั่น

6.1.3 ขั้นตอนการเตรียมซีเอ็มซี

- ก. ใส่เซลลูโลส 1,286 กรัม เตตราเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ 10.32 กรัม และเอทานอล 12.8 ลิตร ลงในเครื่องปฏิกรณ์เคมีขนาด 24.7 ลิตร
- ข. กวนของผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนเชิงกลโดยใช้ใบพัดแบบ Anchor จากนั้น ค่อย ๆ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 36% โดยน้ำหนัก (เตรียมโดยการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 777.6 กรัม ในน้ำกลั่น 1.38 ลิตร) ลงในเครื่องปฏิกรณ์เคมีให้หมดภายใน 15 นาที
- ค. กวนที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที จากนั้นเริ่มให้ความร้อน รอจนอุณหภูมิของของผสมขึ้นถึงอุณหภูมิในช่วง $70\text{--}80^\circ\text{C}$ กวนต่ออีก 20 นาที
- ง. ใส่สารละลายกรดคลอโรอะซิติก (เตรียมโดยการละลายกรดคลอโรอะซิติก 881.76 กรัม ในเอทานอล 2 ลิตร) กวนต่ออีก 60 นาที หลังจากนั้นเปิดเครื่องทำความเย็นเพื่อหยุดปฏิกิริยา โดยทำให้อุณหภูมิกายในเครื่องปฏิกรณ์เคมีต่ำกว่า 10°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๑. ปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยกรดอะซีติกเข้มข้น โดยใช้กระดาษลิตมัสเป็นตัวบ่งชี้ (Indicator) แล้วจึงกรองซีเอ็มซีที่ผลิตได้ด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ เพื่อแยกเอทานอลออก จะได้ซีเอ็มซีที่มีความชื้นประมาณ 100-120% โดยน้ำหนัก

6.2 การเก็บข้อมูลการอบแห้งซีเอ็มซีด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

6.2.1 ตัวแปรที่ศึกษา

ก. ความดันสัมบูรณ์ (มม.ปรอท)	460 และ 560
ข. อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	50, 60 และ 70

โดยกำหนดความหนาของชั้นซีเอ็มซีเป็น 1 ซม. และไม่มีการกดอัดชั้นซีเอ็มซี

6.2.2 ขั้นตอนการอบแห้งซีเอ็มซี

ก. การเดินเครื่องอบแห้ง

การเดินเครื่องอบแห้ง มีขั้นตอนดังนี้ [4]

1. จ่ายกระแสไฟฟ้าให้ระบบไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ ซึ่งประกอบด้วยปั้มน้ำร้อน ปั้มสุญญากาศ เครื่องทำน้ำร้อน และเครื่องทำความเย็น
2. ต่อเครื่องทำน้ำเย็นเข้ากับเครื่องควบแน่นไอ
3. เติมน้ำสะอาดลงในเครื่องทำน้ำร้อน จากนั้นเปิดสวิตช์ให้ความร้อนแก่น้ำที่เติมลงไป เมื่อน้ำร้อนมีอุณหภูมิประมาณ 80°C จึงเปิดปั้มน้ำร้อนเพื่อให้ความร้อนแก่ห้องสุญญากาศ การเปิดสวิตช์เครื่องทำน้ำร้อนจะทำให้ตัวควบคุมอุณหภูมิทำงานโดยอัตโนมัติ
4. วัดอุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศจากชุดควบคุมอุณหภูมิและเทอร์โมมิเตอร์ เมื่ออุณหภูมิภายในห้องสุญญากาศถึงอุณหภูมิที่ต้องการจึงเริ่มทำการอบแห้งซีเอ็มซี

ข. การอบแห้งซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ

1. ชั่งน้ำหนักถาด จากนั้นบรรจุซีเอ็มซีขึ้นที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมซีเอ็มซีลงในถาด โดยปริมาณซีเอ็มซีที่บรรจุลงในถาดประมาณ 240 กรัม ความสูงของถาดที่ใช้เท่ากับ 1 ซม.

2. ชั่งน้ำหนักซีเอ็มซีขึ้นและถาด แล้วจึงนำถาดที่บรรจุซีเอ็มซีขึ้นไปวางที่ชั้นบนของเครื่องอบแห้งในทุกการทดลอง และวางเทอร์โมมิเตอร์บนซีเอ็มซีขึ้นเพื่อวัดอุณหภูมิที่แท้จริงของห้องสุญญากาศขณะอบแห้ง เพื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมอุณหภูมิ

3. ปิดฝาของเครื่องอบแห้ง และปิดวาล์วที่ 1 ซึ่งมีหน้าที่รักษาความดันพร้อมทั้งปิดวาล์วที่ 3 ซึ่งเป็นวาล์วที่ใช้สำหรับถ่ายไอตัวทำละลายจากเครื่องควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 5.2

4. เปิดสวิทช์ให้ปั๊มสุญญากาศทำงานและเริ่มจับเวลา จนกระทั่งความดันสุญญากาศถึงค่าที่ต้องการแล้วจึงปรับวาล์วที่ 1 เพื่อรักษาความดันสุญญากาศให้คงที่

5. เมื่อครบ 30 นาที ปิดปั๊มสุญญากาศ ปิดวาล์วที่ 1 และเปิดฝาเครื่องอบแห้ง นำถาดที่บรรจุซีเอ็มซีมาชั่งน้ำหนักพร้อมจตุรัสที่ก้นน้ำหนักที่ได้ และอ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ว่ามีค่าเท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการทำการทดลองหรือไม่

6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 5 จนกว่าน้ำหนักซีเอ็มซีที่ชั่งได้ มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

7. นำถาดที่บรรจุซีเอ็มซีที่ได้จากข้อ 6 ไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำถาดที่บรรจุซีเอ็มซีมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาน้ำหนักแห้งของซีเอ็มซี

6.2.3 การทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 2 การทดลอง เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและความดันที่มีต่อการอบแห้ง

ก. การทดลองที่ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C

ข. การทดลองที่ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C

6.2.4 สร้างกราฟความสัมพันธ์จากข้อมูลการอบแห้งซีเอ็มซี

ก. นำข้อมูลการอบแห้งซีเอ็มซีมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้ง

ข. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

1. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี

2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี

6.3 ผลการทดลอง

ผลการทดลองและผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้ง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น ที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ แสดงในภาคผนวก ง ในที่นี้จะแสดงเฉพาะผลการทดลองของสภาวะที่ใช้ในการออกแบบ คือ การอบแห้งซีเอ็มซีที่ความดันสัมบูรณ์ 460 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 50^oซ โดยที่ข้อมูลการอบแห้งที่สภาวะนี้ ดังต่อไปนี้

- น้ำหนักถาด	475.77 กรัม
- น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด	595.82 กรัม
- น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง	120.05 กรัม
- ตำแหน่งถาดที่วาง	ชั้นบน
- ความหนาของชั้นซีเอ็มซี	1 ซม.
- พื้นที่การอบแห้ง	750.00 ตร.ซม.

ผลการทดลองและผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้งของการอบแห้งซีเอ็มซีที่ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50^oซ แสดงดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองและผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้งของการอบแห้งซีเอ็มซีที่ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50^oซ

เวลา (นาที)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม.ชม.)
0	715.75	239.98	99.90	0.00
30	652.17	176.40	46.94	28.26
60	628.14	152.37	26.92	10.68
90	618.61	142.84	18.98	4.24
120	612.16	136.39	13.61	2.87
150	608.92	133.15	10.91	1.44
180	604.35	128.58	7.11	2.03

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซีอบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 และ 560 มม.ปรอท ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม. อุณหภูมิ 50, 60 และ 70^oซ แสดงดังรูปที่ 1.1 ในหัวข้อ 1.1

บทที่ 7

การคำนวณและออกแบบเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซี ภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

ซีเอ็มซีที่ได้จากกระบวนการผลิตจะมีปริมาณความชื้นสูงประมาณ 100-120% ความชื้นที่อยู่ในซีเอ็มซี คือ น้ำและเอทานอลซึ่งสามารถถูกตัดไฟได้ ระบบการอบแห้งซีเอ็มซีแบบต่อเนื่องเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการอบแห้งซีเอ็มซี จากหัวข้อ 1.1 ระบบการอบแห้งซีเอ็มซีแบบต่อเนื่องจะใช้ดีแคนเตอร์แยกตัวทำละลายออก เพื่อให้ได้ซีเอ็มซีที่มีความชื้นประมาณ 80-100% และจะใช้เครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่องเพื่อไล่ความชื้นจนเหลือความชื้นประมาณ 25% แล้วจึงใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไบทอบแห้งซีเอ็มซีจนเหลือความชื้นประมาณ 8% ในบทนี้จะออกแบบเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่องซึ่งเป็นขอบเขตของโครงการพิเศษ ตอนที่ 1

7.1 ขั้นตอนการออกแบบ

7.1.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับซีเอ็มซีและตัวทำละลายเอทานอล

ก. สมบัติของซีเอ็มซีแห้ง

ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.4

ข. สมบัติของตัวทำละลายเอทานอลที่เกี่ยวกับการถูกตัดไฟและการระเหิด

ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 5.1.2

7.1.2 ศึกษากระบวนการผลิตและการอบแห้งซีเอ็มซี

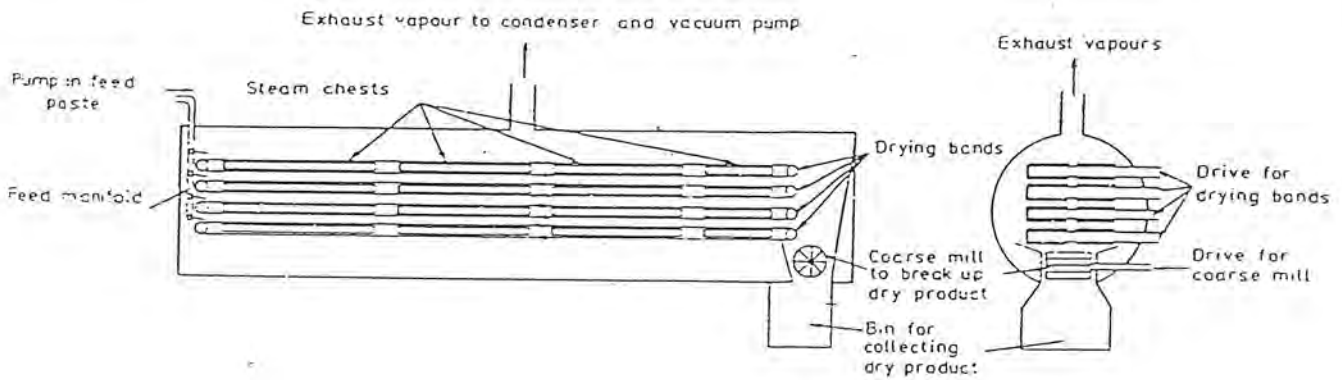
ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 1.1

7.1.3 ศึกษาการทำงานและโครงสร้างของเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

จากรูปที่ 1.2 ที่แสดงระบบการอบแห้งซีเอ็มซีแบบต่อเนื่องนั้น การออกแบบเครื่องลดความชื้นภายใต้ระบบสุญญากาศ จะพิจารณาโครงสร้างของระบบสายพานที่เคลื่อนที่บนแถบรองสายพาน (Band) ในห้องทรงกระบอก (Cylindrical chamber) ภายใต้ระบบสุญญากาศ ดังรูปที่ 7.1 [22] สายพานจะเคลื่อนที่ในแบบขนานหรือแบบอนุกรมก็ได้ สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบ คือ ควรออกแบบเพื่อให้ได้ขนาดห้องสุญญากาศที่เหมาะสม กล่าวคือ ควรมีขนาดเล็กที่สุดที่จะทำได้ เนื่องจากห้องสุญญากาศมีต้นทุนในการสร้างสูง

หลักการการทำงานของเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง คือ สารป้อนจะเข้าสู่ห้องสุญญากาศโดยการบีบผ่านเข้ามายัง Feed manifold ซึ่งทำหน้าที่กระจายสารป้อนไปบนสายพาน ที่ส่วนบนของแถบรองสายพานจะประกอบด้วยท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำหรือน้ำร้อนโดยการนำความร้อนผ่านแถบรองสายพาน ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำจากโลหะที่สามารถใช้งานในสภาวะสุญญากาศและในสภาวะที่อาจจะเกิดการกัดกร่อนได้ ทั้งแถบรองสายพานและท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องทำจากวัสดุที่มีสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดี ซึ่งโลหะจะเป็นวัสดุที่เหมาะสมที่สุด ที่ส่วนท้ายของสายพานจะมีตัวบด (Grinding mill) ซึ่งจะบดผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นผลิตภัณฑ์จะตกลงสู่ถังเก็บซึ่งอยู่ในสภาวะสุญญากาศเช่นกัน

ไอของตัวทำละลายเอทานอลที่ระเหยในห้องสุญญากาศทรงกระบอก และสารละลายที่ควบแน่นจะถูกดึงออกจากห้องสุญญากาศโดยปั๊มแบบสุญญากาศ (Vacuum pump) และผ่านเข้าสู่เครื่องควบแน่น เพื่อให้เกิดการควบแน่นขึ้น จากนั้นนำไปเก็บไว้ในส่วนที่เก็บตัวทำละลายที่ใช้แล้ว และนำเข้ากระบวนการกลั่นต่อไป เพื่อนำตัวทำละลายกลับมาใช้สังเคราะห์ซีเอ็มซีใหม่



รูปที่ 7.1 เครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องโดยใช้สายพานลำเลียงภายใต้ระบบสุญญากาศ [22]

เครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง จะมีราคาที่สูง และมีการถ่ายเทความร้อนที่ไม่ดีนัก ซึ่งเป็นผลจากการที่ทำงานภายใต้ระบบสุญญากาศ ข้อเสียอีกประการหนึ่ง คือ ทำความสะอาดได้ยาก แต่การใช้งานระบบนี้จะเหมาะกับสารที่ไวต่อความร้อนที่ไม่สามารถอบแห้งโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาความร้อน และสารที่เกิดการออกซิไดส์ได้ง่าย สารจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องลดความชื้นภายใต้ระบบสุญญากาศในลักษณะของ Paste โดยใช้ปั๊มแบบสุญญากาศดูดสารป้อนเข้าสู่ห้องสุญญากาศ และกระจายสารป้อนไปบนสายพานด้วย Feed manifold จากนั้นสายพานจะเคลื่อนที่บนแถบรองสายพานและมีการแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้ความชื้นในสารป้อนเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ไอที่ระเหยจะเกิดการควบแน่นและถูกดึงออกจากห้องสุญญากาศ ในที่สุดผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องลดความชื้น ภายใต้ระบบสุญญากาศ จะมีความชื้น 25% ที่ส่วนท้ายของสายพานจะมีตัวบดและถังรองรับซึ่งอยู่ในสภาวะสุญญากาศสำหรับเก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้

7.2 การคำนวณและการออกแบบ

จากผลการทดลองซึ่งได้แสดงดังกราฟรูปที่ 1.1 ได้สรุปในหัวข้อ 1.1 แล้วว่า การอบแห้งซีเอ็มซีควรใช้ระบบการอบแห้งแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะประกอบด้วยหน่วยปฏิบัติการ 3 หน่วยคือ ดีแคนเตอร์ เครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง และเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด เครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีจะต้องออกแบบให้สามารถลดความชื้นของซีเอ็มซีจากเปอร์เซ็นต์ความชื้นประมาณ 80-100% เหลือ 25% จากการทดลองพบว่าความดันมีผลต่อการอบแห้งซีเอ็มซีมากกว่าอุณหภูมิ โดยการอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ต่ำกว่าจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่า ในส่วนของอุณหภูมิจะพบว่าไม่ค่อยมีผลกระทบต่ออัตราการลดลงของความชื้นในช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้นระหว่าง 25-100% ที่ใช้ในการออกแบบมากนัก ดังนั้นสภาวะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมที่ใช้ในการออกแบบเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ คือ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท และอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง เพราะสะดวกในการสร้างและไม่จำเป็นต้องมีส่วนให้ความร้อนทำให้ประหยัดพลังงาน

ในการออกแบบเครื่องลดความชื้น เนื่องจากยังไม่ทราบเปอร์เซ็นต์ความชื้นขาเข้าของซีเอ็มซีที่จะเข้าสู่เครื่องลดความชื้นที่แน่นอน ดังนั้นจะพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของซีเอ็มซีขาเข้าสำหรับเครื่องลดความชื้นที่จะออกแบบใน 2 กรณีด้วยกัน คือ

- ก. เปอร์เซ็นต์ความชื้นของซีเอ็มซีขาเข้า 100%
- ข. เปอร์เซ็นต์ความชื้นของซีเอ็มซีขาเข้า 80%

สำหรับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของซีเอ็มซีขาออก จากกราฟในรูปที่ 1.1 ช่วงที่เหมาะสม คือ 25% ในการออกแบบนี้จะใช้น้ำหนักของซีเอ็มซีขึ้นเป็นพื้นฐานในการคำนวณ (Wet basis) และคิดว่กำลังการผลิตที่ต้องการคือ 200 กก./วัน

7.2.1 การคำนวณและการออกแบบเครื่องลดความชื้น กรณีความชื้นขาเข้า 100% และความชื้นขาออก 25%

ก. การหาพื้นที่ของเครื่องลดความชื้น

จากการทดลองและกราฟในรูปที่ 1.1 ที่อุณหภูมิ 50°C ความดัน 460 มม.ปรอท การลดความชื้นของซีเอ็มซีปริมาณ 240 กรัม จากเปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้น 100% เหลือเปอร์เซ็นต์ความชื้น 25% ที่ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม. และพื้นที่ของเครื่องลดความชื้น 750 ตร.ซม. จะใช้เวลาในการลดความชื้นประมาณ 1 ชั่วโมง แต่เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการออกแบบคืออุณหภูมิห้อง ดังนั้นเวลาที่ใช้ควรมากกว่า 1 ชั่วโมง ใช้วิธีการเทียบจากกราฟจะได้เวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 75 นาที พื้นที่ในการลดความชื้นสำหรับกำลังการผลิต 200 กก./วัน หาได้ดังนี้

$$A_n = \frac{(750 \times 10^{-4} \text{ ตร.ม.}) \times (1.25 \text{ ซม.}) \times (200 \times 10^3 \text{ กรัม})}{(240 \text{ กรัม}) \times (24 \text{ ซม.})} = 3.26 \text{ ตร.ม.}$$

ในเครื่องลดความชื้นจะมีสายพานลำเลียงซีเอ็มซี เลือกลายพานขนาดมาตรฐานโดยอาศัยข้อมูลจากบริษัท คอนเวเยอร์ เทคโนโลยี จำกัด จะได้หน้ากว้างของสายพาน

เป็น 50 ซม. ดังนั้นความยาวของสายพานจะมีค่า 6.52 เมตร เพื่อความสะดวกในการคำนวณ และการออกแบบ จึงกำหนดให้ความยาวของสายพานเป็น 7 เมตร

ข. การคำนวณเพื่อเลือกสายพานและมอเตอร์ขับเคลื่อนสายพาน [27]

ข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการคำนวณออกแบบสายพานมีดังนี้

- กำลังการผลิต : 8.33 กก./ชม. (200 กก./วัน)
- ความหนาแน่นของซีเอ็มซี : 0.65 ตัน/ลบ.ม. (0.65 กรัม/มล.)
- ขนาดความกว้างของสายพาน 500 มม. ความยาว 7,000 มม.

ในการคำนวณต้องหาค่าของตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. อัตราการไหลเชิงปริมาตรของซีเอ็มซีตามทฤษฎีที่ความเร็วสายพาน 1 ม./วินาที (ข้อมูลจากบริษัท คอนเวเยอร์ เทคโนโลยี จำกัด กำหนดความเร็วสายพาน 1 ม./วินาที เป็นพื้นฐานสำหรับการคำนวณ)

ความหนาแน่นของซีเอ็มซีเท่ากับ 1 ซม. และหน้ากว้างของสายพานเท่ากับ 500 มม. ความเร็วของสายพานเท่ากับ 1 ม./วินาที ดังนั้นจะได้อัตราการไหลเชิงปริมาตรของซีเอ็มซีตามทฤษฎีที่ความเร็วสายพาน 1 ม./วินาที ดังนี้

$$\begin{aligned} Q_1 &= B \times t_b \times v_{1,b} & (7.1) \\ &= (0.5 \text{ ม.}) \times (0.01 \text{ ม.}) \times (1 \text{ ม./วินาที}) \times (3,600 \text{ วินาที/ชม.}) \\ &= 18 \text{ ลบ.ม./ชม.} \end{aligned}$$

โดยที่ Q_1 คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของซีเอ็มซีตามทฤษฎีที่ความเร็วสายพาน 1 ม./วินาที (ลบ.ม./ชม.)

B คือ ความกว้างของสายพาน (ม.)

t_b คือ ความหนาของชั้นซีเอ็มซีบนสายพาน (ม.)

$v_{1,b}$ คือ ความเร็วของสายพาน 1 ม./วินาที

2. อัตราการไหลเชิงปริมาตรของซีเอ็มซีที่ต้องการ

กำลังการผลิตที่ต้องการในการออกแบบคือ 200 กก./วัน และความหนาแน่นของซีเอ็มซีเท่ากับ 0.65 ตัน/ลบ.ม. ดังนั้นสามารถหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของซีเอ็มซีที่ต้องการได้ดังนี้

$$Q_2 = \frac{Q}{\rho} \quad (7.2)$$

$$= \frac{(0.2 \text{ ตัน/วัน})}{(0.65 \text{ ตัน/ลบ.ม.})(24 \text{ ชม./วัน})} = 1.28 \times 10^{-2} \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

โดยที่ Q_2 คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของซีเอ็มซีที่ต้องการ (ลบ.ม./ชม.)
 Q คือ กำลังการผลิตของซีเอ็มซีที่ต้องการ (ตัน/วัน)
 ρ คือ ความหนาแน่นของซีเอ็มซี (ตัน/ลบ.ม.)

3. ความเร็วของสายพานที่ต้องการ

จากข้อที่ 1 และข้อที่ 2 สามารถหาความเร็วของสายพานได้ดังนี้

$$v_b = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (7.3)$$

$$= \frac{(1.28 \times 10^{-2} \text{ ลบ.ม./ชม.})}{(18 \text{ ลบ.ม./ชม.})/(1 \text{ ม./วินาที})} = 7.11 \times 10^{-4} \text{ ม./วินาที}$$

โดยที่ v_b คือ ความเร็วของสายพาน (ม./วินาที)

4. น้ำหนักของซีเอ็มซีต่อความยาวสายพาน

$$G_m = \frac{Q}{v_b} \quad (7.4)$$

$$= \frac{(200 \text{ กก./วัน})(1 \text{ วัน})}{(7.11 \times 10^{-4} \text{ ม./วินาที})(86,400 \text{ วินาที})} = 3.26 \text{ กก./ม.}$$

โดยที่ G_m คือ น้ำหนักของซีเอ็มซีต่อความยาวสายพาน (กก./ม.)

5. ค่าแรงเสียดทานในส่วนของการลำเลียงบนสายพาน

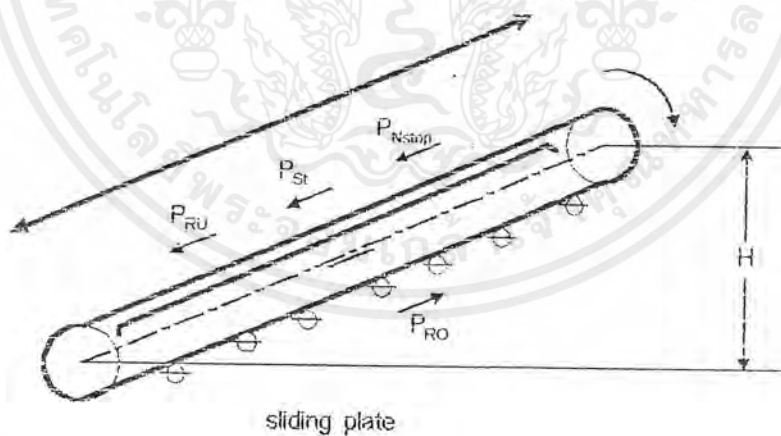
ในการคำนวณค่าแรงเสียดทานจะต้องพิจารณาเลือกสายพานรุ่นใดรุ่นหนึ่งก่อน เพื่อนำค่าน้ำหนักสายพานต่อความยาวสายพานมาหาค่าแรงเสียดทานในส่วนของการลำเลียงบนสายพานและแรงดึงของสายพาน เมื่อทำการคำนวณเสร็จแล้วจะพิจารณาว่าสายพานรุ่นที่เลือกนั้นสามารถทนแรงดึงตามที่คำนวณได้หรือไม่ ถ้าไม่สามารถทนแรงดึงตามที่คำนวณก็ให้เลือกรุ่นใหม่และคำนวณในลักษณะเดิมต่อไป

จากภาคผนวก ข พิจารณาเลือกสายพานรุ่น EM 8/2 0+05 PVC green จะได้น้ำหนักสายพาน 2.4 กก./ตร.ม. ดังนั้นถ้าใช้สายพานหน้ากว้าง 0.5 เมตร จะได้น้ำหนักสายพานต่อความยาวสายพานดังนี้

$$G_b = (2.4 \text{ กก./ตร.ม.}) \times (0.5 \text{ เมตร}) = 1.2 \text{ กก./เมตร}$$

โดยที่ G_b คือ น้ำหนักสายพานต่อความยาวสายพาน (กก./เมตร)

สำหรับค่าแรงเสียดทานที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณและออกแบบสายพานแสดงดังรูปที่ 7.2 [27]



รูปที่ 7.2 ค่าแรงเสียดทานที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณและออกแบบสายพาน [27]

เมื่อทราบน้ำหนักสายพานต่อความยาวของสายพานสามารถหาแรงเสียดทานในส่วนของการลำเลียงบนสายพานได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 P_{RO} &= g \times \mu \times L \times (G_m + G_b) & (7.5) \\
 &= (9.8 \text{ ม./วินาที}^2) \times 0.39 \times (7 \text{ ม.}) \times (3.26 \text{ กก./ม.} + 1.2 \text{ กก./ม.}) \\
 &= 119.32 \text{ นิวตัน}
 \end{aligned}$$

โดยที่ P_{RO} คือ แรงเสียดทานในส่วนของการลำเลียงบนสายพาน (นิวตัน)
 g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (ม./วินาที²)
 μ คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของสายพาน
 L คือ ความยาวสายพาน (เมตร)

หมายเหตุ ค่า μ สามารถหาได้จากภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1 กรณีที่ใช้ในการออกแบบคือ วัสดุรองรับสายพานเป็นแผ่นเหล็ก อุณหภูมิห้อง และสายพานด้านล่างที่สัมผัสกับลูกกลิ้งไม่ได้เคลื่อนขยับ ใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยจะได้ค่า $\mu = 0.39$

6. แรงเสียดทานขณะที่สายพานเคลื่อนที่กลับ

ค่าแรงเสียดทานขณะที่สายพานเคลื่อนที่กลับ (P_{RU}) สามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 P_{RU} &= g \times \mu \times L \times G_b & (7.6) \\
 &= (9.8 \text{ เมตร/วินาที}^2) \times 0.39 \times (7 \text{ ม.}) \times (1.2 \text{ กก./เมตร}) \\
 &= 32.10 \text{ นิวตัน}
 \end{aligned}$$

7. ค่าแรงดึงสายพานประสิทธิผล (Effective tension), P_b

ค่าแรงดึงสายพานประสิทธิผล คือ ค่าผลรวมของแรงเสียดทานทั้งหมดที่มีต่อการเคลื่อนที่ของสายพานซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 P_b &= C \times (P_{RO} + P_{RU}) \pm P_{st} + P_{Nstop} & (7.7) \\
 &= 1.32 \times (119.32 \text{ นิวตัน} + 32.10 \text{ นิวตัน}) \pm 0 + 0 \\
 &= 199.87 \text{ นิวตัน}
 \end{aligned}$$

โดยที่ P_b คือ ค่าแรงดึงสายพานประสิทธิผล (นิวตัน)
 C คือ ค่าคงที่สายพาน
 P_{st} คือ แรงยกของสายพานในกรณีที่สายพานไม่ได้อยู่ในแนวระดับ (นิวตัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_{Nstop} คือ ค่าแรงเสียดทานในขณะที่การไหลของซีเอ็มซีเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (นิวตัน)

หมายเหตุ ก) ค่า C สามารถหาได้จากภาคผนวก ก ตารางที่ ก.2 โดยความยาวของสายพานคือ 7 ม. และ ค่าแรงดันที่กดลงบนสายพานมีค่าน้อยกว่า 0.1 กก.นิวตัน/ตร.ม. ใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยจะได้ $C = 1.32$

ข) ค่าแรงยกบนสายพานกรณีที่สายพานไม่ได้อยู่ในแนวระดับ ในการคำนวณ $P_{st} = 0$ เนื่องจากสายพานที่ออกแบบอยู่ในแนวระดับ

ค) ค่าแรงเสียดทานในขณะที่การไหลของซีเอ็มซีเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ในการคำนวณ $P_{Nstop} = 0$ เนื่องจากกำหนดให้ซีเอ็มซีไหลลงสู่สายพานอย่างต่อเนื่อง

8. กำลังมอเตอร์ที่ใช้งานตามทฤษฎี (Theoretical necessary motor capacity), N_n

$$\begin{aligned} N_n &= P_b \times v_b & (7.8) \\ &= \frac{(199.87 \text{ นิวตัน}) \times (7.11 \times 10^4 \text{ ม./วินาที})}{1,000} \\ &= 1.42 \times 10^4 \text{ กิโลวัตต์} \end{aligned}$$

9. กำลังมอเตอร์ที่ใช้งาน (Motor capacity), N_m

เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่โดยทั่วไปนั้น จะมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่างช่วง 80-90% ในการออกแบบในที่นี้จะคิดประสิทธิภาพของมอเตอร์ 80% ดังนั้นกำลังมอเตอร์ที่ใช้งาน คือ

$$\begin{aligned} N_m &= \frac{N_n}{\eta} & (7.9) \\ &= \frac{1.42 \times 10^4 \text{ กิโลวัตต์}}{0.80} = 1.78 \times 10^4 \text{ กิโลวัตต์} \end{aligned}$$

โดยที่ η คือ ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (%)

10. ค่าแรงดึงสายพานสูงสุด (Maximum belt tension), T_b

$$\begin{aligned} T_b &= P_b \times m \\ &= (199.87 \text{ นิวตัน}) \times 3.71 = 741.52 \text{ นิวตัน} \end{aligned} \quad (7.10)$$

โดยที่ m คือ แฟกเตอร์การเคลื่อนที่ของสายพานซึ่งสามารถหาได้จากภาคผนวก ก ตารางที่ ก.3 โดยสายพานที่ใช้ด้านล่างไม่ได้เคลือบยาง วัสดุที่ขนถ่ายบนสายพานเป็นวัสดุชิ้น และสมมติให้มุมสัมผัสระหว่างสายพานกับลูกกลิ้ง (Arc of contact, α) เป็น 180 องศา ได้ $m = 3.71$

11. ค่าแรงดึงสายพานที่ใช้งานจริง (Working tension), p

$$\begin{aligned} p &= (T_b / B) \\ &= \frac{741.52 \text{ นิวตัน}}{500 \text{ มม.}} = 1.48 \text{ นิวตัน/มม.} \end{aligned} \quad (7.11)$$

7.2.2 การคำนวณและการออกแบบเครื่องลดความเร็ว กรณีความชันขาเข้า 80% และความชันขาออก 25%

ก. การหาพื้นที่ของเครื่องลดความเร็ว

จะต้องทราบน้ำหนักของซีเมนต์เปียกที่จะใช้เป็นพื้นฐานในการคำนวณ โดยทราบว่าความชันขาเข้าที่ใช้ในการคำนวณคือ 80% และจากการทดลองในหัวข้อ 6.3 จะทราบค่าน้ำหนักของซีเมนต์แห้งซึ่งเท่ากับ 120.05 กรัม ดังนั้นจะสามารถหาน้ำหนักของซีเมนต์เปียกได้จากสมการ 3.1 ดังนี้

$$X = \frac{W - W_s}{W_s}$$

$$\begin{aligned} W &= (X \times W_s) + W_s \\ &= (0.8 \times 120.05 \text{ กรัม}) + 120.05 \text{ กรัม} = 216.09 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 1.1 เวลาที่ใช้ในการลดความชื้นจากเปอร์เซ็นต์ความชื้นขาเข้า 80% ให้เหลือเปอร์เซ็นต์ความชื้นขาออก 25% จะใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ดังนั้นจะสามารถหาพื้นที่ในการลดความชื้นได้ดังนี้

$$A_h = \frac{(750 \times 10^{-4} \text{ ตร.ม.}) \times (1.00 \text{ ซม.}) \times (200 \times 10^3 \text{ กรัม})}{(216 \text{ กรัม}) \times (24 \text{ ซม.})} = 2.89 \text{ ตร.ม.}$$

ในการออกแบบเครื่องลดความชื้นจะมีลักษณะเป็นสายพานลำเลียงถ้ากำหนด หน้ากว้างของสายพานเป็น 50 ซม. จะได้ความยาวของสายพาน 5.78 ม. เพื่อให้สะดวกในการคำนวณและการสร้างจะให้ความยาวของสายพานเป็น 6 ม.

ข. การคำนวณเพื่อเลือกสายพานและมอเตอร์ขับเคลื่อนสายพาน [19]

ข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการคำนวณออกแบบสายพานมีดังนี้

- กำลังการผลิต : 8.33 กก./ชม. (200 กก./วัน)
- ความหนาแน่นของซีเอ็มซี : 0.65 ตัน/ลบ.ม. (0.65 กรัม/มล.)
- ขนาดความกว้างของสายพาน 500 มม. ความยาว 6,000 มม.

ในการคำนวณเราต้องหาค่าของตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

เราทราบไหลเชิงปริมาตรของซีเอ็มซีตามทฤษฎีที่ความเร็วสายพาน 1

ม./วินาที

ความหนาของชั้นซีเอ็มซีเท่ากับ 1 ซม. หน้ากว้างของสายพานเท่ากับ 500 มม. ความเร็วของสายพานเท่ากับ 1 ม./วินาที ดังนั้นจะได้อัตราการไหลเชิงปริมาตรของซีเอ็มซีตามทฤษฎีที่ความเร็วสายพาน 1 เมตรต่อวินาที ดังนี้

$$\begin{aligned} Q_v &= B \times t_b \times v_{1,b} = (0.5 \text{ ม.}) \times (0.01 \text{ ม.}) \times (1 \text{ ม./วินาที}) \times (3,600 \text{ วินาที/ชม.}) \\ &= 18 \text{ ลบ.ม./ชม.} \end{aligned}$$

2. อัตราการไหลเชิงปริมาตรของซีเมนต์ที่ต้องการ

กำลังการผลิตที่ต้องการในการออกแบบคือ 200 กก./วัน และความหนาแน่นของซีเมนต์เท่ากับ 0.65 ตัน/ลบ.ม. ดังนั้นสามารถหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรของซีเมนต์ที่ต้องการได้ดังนี้

$$Q_2 = \frac{Q}{\rho} = \frac{(0.2 \text{ ตัน/วัน})}{(0.65 \text{ ตัน/ลบ.ม.})(24 \text{ ชม./วัน})}$$

$$= 1.28 \times 10^{-2} \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

3. ความเร็วของสายพานที่ต้องการ

จากข้อที่ 1 และข้อที่ 2 สามารถหาความเร็วของสายพานได้ดังนี้

$$v_b = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{(1.28 \times 10^{-2} \text{ ลบ.ม./ชม.})}{(18 \text{ ลบ.ม./ชม.})(1 \text{ ม./วินาที})}$$

$$= 7.11 \times 10^{-4} \text{ ม./วินาที}$$

4. น้ำหนักของซีเมนต์ต่อความยาวสายพาน

$$G_m = \frac{Q}{v_b} = \frac{(200 \text{ กก./วัน})(1 \text{ วัน})}{(7.11 \times 10^{-4} \text{ ม./วินาที})(86,400 \text{ วินาที})} = 3.26 \text{ กก./เมตร}$$

5. ค่าแรงเสียดทานในส่วนของการลำเลียงบนสายพาน

เลือกสายพานรุ่น EM 8/2 0+05 PVC green จะได้น้ำหนักของสายพาน 2.4 กก./ตร.ม. ดังนั้นถ้าใช้สายพานหน้ากว้าง 0.5 เมตร จะได้น้ำหนักของสายพานต่อความยาวดังนี้

$$G_b = (2.4 \text{ กก./ตร.ม.}) \times 0.5 \text{ เมตร} = 1.2 \text{ กก./เมตร}$$

เมื่อทราบน้ำหนักสายพานต่อความยาวของสายพานสามารถหาแรงเสียดทานในส่วนของการลำเลียงบนสายพานได้ดังต่อไปนี้

$$P_{RO} = g \times \mu \times L \times (G_m + G_b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= (9.8 \text{ ม./วินาที}^2) \times 0.39 \times (6 \text{ ม.}) \times (3.26 \text{ กก./ม.} + 1.2 \text{ กก./ม.}) \\
 &= 102.28 \text{ นิวตัน}
 \end{aligned}$$

6. แรงเสียดทานขณะที่สายพานเคลื่อนที่กลับ

ค่าแรงเสียดทานขณะที่สายพานเคลื่อนที่กลับสามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 P_{RU} &= g \times \mu \times L \times G_b \\
 &= (9.8 \text{ เมตร/วินาที}^2) \times 0.39 \times (6 \text{ ม.}) \times (1.2 \text{ กก./เมตร}) \\
 &= 27.52 \text{ นิวตัน}
 \end{aligned}$$

7. ค่าแรงดึงสายพานประสิทธิผล (Effective tension)

ค่าแรงดึงสายพานประสิทธิผล คือ ค่าผลรวมของแรงเสียดทานทั้งหมดที่มีต่อการเคลื่อนที่ของสายพานซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 P_b &= C \times (P_{RO} + P_{RU}) \pm P_{sl} + P_{Nstop} \\
 &= 1.36 \times (102.28 \text{ นิวตัน} + 27.52 \text{ นิวตัน}) \pm 0 + 0 \\
 &= 176.53 \text{ นิวตัน}
 \end{aligned}$$

8. กำลังมอเตอร์ที่ใช้งานตามทฤษฎี (Theoretical necessary motor capacity)

$$\begin{aligned}
 N_n &= P_b \times v_b = \frac{(176.53 \text{ นิวตัน}) \times (7.11 \times 10^{-4} \text{ ม./วินาที})}{1,000} \\
 &= 1.26 \times 10^{-4} \text{ กิโลวัตต์}
 \end{aligned}$$

9. กำลังมอเตอร์ที่ใช้งาน (Motor capacity)

เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่โดยทั่วไปนั้น จะมีประสิทธิภาพอยู่ระหว่างช่วง 80-90% ในการออกแบบในที่นี้จะใช้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ 80% ในการคำนวณซึ่งจะสามารถหาค่ากำลังมอเตอร์ที่ใช้งานได้ ดังนี้

$$N_m = \frac{N_n}{\eta} = \frac{(1.26 \times 10^{-4} \text{ กิโลวัตต์})}{0.80}$$

$$= 1.57 \times 10^{-4} \text{ กิโลวัตต์}$$

10. ค่าแรงดึงสายพานสูงสุด (Maximum belt tension)

$$T_b = P_b \times m = (176.53 \text{ นิวตัน}) \times 3.71$$

$$= 654.92 \text{ นิวตัน}$$

11. ค่าแรงดึงสายพานที่ใช้งานจริง

$$p = \frac{T_b}{B} = \frac{654.92 \text{ นิวตัน}}{500 \text{ มม.}} = 1.31 \text{ นิวตัน/มม.}$$

สรุป

- เลือกมอเตอร์
1. ใช้ค่ากำลังของมอเตอร์ที่ใช้งานจริงและความเร็วของสายพานที่คำนวณได้ในการเลือกมอเตอร์
 2. ใช้ค่าแรงดึงสายพานที่ใช้งานจริงในการเลือกชนิดของสายพาน
 3. จากสายพานที่เลือกจะใช้จะสามารนำไปเลือกขนาดของลูกกลิ้งสายพาน (Drum) ที่เล็กที่สุด

ตัวอย่างการเลือกอุปกรณ์ต่าง ๆ

- กรณีที่ความกว้างสายพานเป็น 0.5 ม. และยาว 7 ม.

1. ควรเลือกมอเตอร์ที่มีกำลังมากกว่า 1.78×10^{-4} กิโลวัตต์ เพื่อป้องกันการใช้งานมอเตอร์เกินกำลัง โดยทั่วไปแล้ว ค่ากำลังที่ใช้งานของมอเตอร์ควรจะมีค่าประมาณ 85% ของกำลังมอเตอร์สูงสุด

2. ในการคำนวณได้เลือกสายพานรุ่น EM 8/2 0+05 PVC green มีค่าแรงดึงสายพานที่ใช้งานจริงเท่ากับ 8 นิวตัน/มม. (ภาคผนวก ข) ซึ่งมากกว่าค่าแรงดึงสายพานที่ใช้งานจริงที่ได้จากการคำนวณซึ่งมีค่า 1.48 นิวตัน/มม. ดังนั้นแสดงว่าสามารถใช้งานสายพานรุ่นนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่อเลือกรุ่นของสายพานได้จะสามารถเลือกขนาดลูกกลิ้งสายพานที่เล็กที่สุด ได้ สายพานรุ่น EM 8/2 0+05 PVC green (จากภาคผนวก ข) จะใช้ลูกกลิ้งขนาดที่เล็กที่สุดที่มี เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง 50 มม. ดังนั้นในการเลือกขนาดของลูกกลิ้งสายพานที่ใช้ควรมี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 มม. ขึ้นไป สาเหตุ ที่ต้องมีการพิจารณาขนาดของลูกกลิ้งสายพาน เนื่องจากลูกกลิ้งสายพานจะเป็นส่วนที่รองรับ สายพาน ถ้าใช้ขนาดของลูกกลิ้งสายพานเล็กเกินไป ลูกกลิ้งสายพานจะไม่สามารถรองรับ น้ำหนักของสายพานได้ จะทำให้อายุการใช้งานของทั้งลูกกลิ้งสายพานและสายพานสั้นลง แต่ถ้าใช้ ขนาดของลูกกลิ้งสายพานใหญ่เกินไปก็จะเป็นการสิ้นเปลือง

- กรณีที่ความกว้างสายพานเป็น 0.5 ม. และยาว 6 ม.

1. ควรเลือกมอเตอร์ที่มีกำลังมากกว่า 1.57×10^{-4} กิโลวัตต์ เพื่อป้องกันการใ้ งานมอเตอร์เกินกำลัง โดยทั่วไปแล้วค่ากำลังที่ใช้งานของมอเตอร์ควรมีค่าประมาณ 85% ของ กำลังมอเตอร์สูงสุด

2. ในการคำนวณได้เลือกสายพานรุ่น EM 8/2 0+05 PVC green มีค่าแรงดึง สายพานที่ใช้งานจริงเท่ากับ 8 นิวตัน/มม. ซึ่งมากกว่าค่าแรงดึงสายพานที่ใช้งานจริงที่ได้จากการ คำนวณซึ่งมีค่า 1.31 นิวตัน/มม. ดังนั้นแสดงว่าสามารถใช้งานสายพานรุ่นนี้ได้

3. เมื่อเลือกรุ่นของสายพานได้จะสามารถเลือกขนาดลูกกลิ้งสายพานที่เล็กที่สุด ได้ สายพานรุ่น EM 8/2 0+05 PVC green (จากภาคผนวก ข) จะใช้ลูกกลิ้งสายพานขนาดที่เล็ก ที่สุดที่เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง 50 มม. ดังนั้นในการเลือกขนาดของลูกกลิ้งสายพานที่ใช้ ควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 มม. ขึ้นไปเช่น กัน

7.3 การคำนวณปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณปั๊มสุญญากาศ คือ [28]

$$S = 2.3 V / t_p \times \log (P_0/P)$$

โดยที่

S = อัตราเร็วในการปั๊ม (ลิตร/วินาที)

V = ปริมาตรของห้องสุญญากาศ (ลิตร)

t_p = เวลาที่ใช้จากความดันสัมบูรณ์ P_0 ไปเป็นความดันสัมบูรณ์ P ในหน่วยวินาที

P_0 = ความดันสัมบูรณ์เริ่มต้น (ทอร์)

P = ความดันสัมบูรณ์ (ทอร์) เมื่อเวลาผ่านไป t_p วินาที

กรณีที่ 1 ความชื้นขาเข้า 100% ความชื้นขาออก 25% (สายพานกว้าง 0.50 ม. และยาว 7 ม.)

- คำนวณหาปริมาตรของห้องสุญญากาศ จากการคำนวณขนาดสายพานสามารถนำมาประมาณขนาดของห้องให้มีความกว้าง 0.60 ม. ความยาว 7.80 ม. และความสูง 0.75 ม.

$$\therefore V = 0.60 \times 7.80 \times 0.75 = 3.51 \text{ ลบ.ม.} = 3,510 \text{ ลิตร}$$

- กำหนดเวลาที่ใช้จากความดันสัมบูรณ์เริ่มต้น 760 ทอร์ ไปเป็นความดันสัมบูรณ์ 460 ทอร์ เป็นเวลา 60 วินาที

$$\begin{aligned} \therefore S &= (2.3 \times 3,510) / 60 \times \log (760/460) \\ &= 29.34 \text{ ลิตร/วินาที} \\ &= 105.62 \text{ ลบ.ม./ชั่วโมง} \end{aligned}$$

กรณีที่ 2 ความชื้นขาเข้า 80% ความชื้นขาออก 25% (สายพานกว้าง 0.50 ม. และยาว 6 ม.)

- คำนวณหาปริมาตรของห้องสุญญากาศ จากการคำนวณขนาดสายพานสามารถนำมาประมาณขนาดของห้องให้มีความกว้าง 0.60 ม. ความยาว 6.80 ม. และความสูง 0.75 ม.

$$\therefore V = 0.60 \times 6.80 \times 0.75 = 3.06 \text{ ลบ.ม.} = 3,060 \text{ ลิตร}$$

กำหนดเวลาที่ใช้จากความดันสัมบูรณ์เริ่มต้น 760 ทอร์ ไปเป็นความดันสัมบูรณ์ 460 ทอร์ เป็นเวลา 60 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \therefore S &= (2.3 \times 3,060) / 60 \times \log (760/460) \\ &= 25.58 \text{ ลิตร/วินาที} \\ &= 92.09 \text{ ลบ.ม./ชั่วโมง} \end{aligned}$$

เมื่อได้อัตราเร็วในการปั๊มจะสามารถนำไปเลือกขนาดของปั๊มที่ใช้ได้ จากข้อมูลของปั๊ม
สูญญากาศ ดังภาคผนวก ค

ตัวอย่างการเลือกปั๊มสูญญากาศ [29]

– กรณีที่ 1 ความชื้นขาเข้า 100% ความชื้นขาออก 25% (ความกว้างสายพานเป็น 0.50 ม. และยาว 7 ม.)

อัตราเร็วในการปั๊มเท่ากับ 105.62 ลบ.ม./ชั่วโมง จากรูปที่ ค.1 ความเร็วรอบของปั๊ม
ที่ใช้มี 2 ค่า คือ 1,450 รอบ/นาที และ 1,750 รอบ/นาที ถ้าเลือกความเร็วรอบของปั๊มที่ใช้เป็น
1,450 รอบ/นาที ที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบ/นาที อัตราเร็วในการปั๊ม 105.62 ลบ.ม./ชม.
ความดันสัมบูรณ์เริ่มต้นประมาณ 760 มม.ปรอท จะได้ปั๊มรุ่น V155 และได้กำลังที่ใช้ประมาณ
4.3 กิโลวัตต์ แต่ถ้าเลือกความเร็วรอบของปั๊มที่ใช้เป็น 1,750 รอบ/นาที ที่ความเร็วรอบ 1,750
รอบ/นาที อัตราเร็วในการปั๊ม 105.62 ลบ.ม./ชม. ความดันสัมบูรณ์เริ่มต้นประมาณ 760 มม.
ปรอท จะได้ปั๊มรุ่น V130 และได้กำลังที่ใช้ประมาณ 5.0 กิโลวัตต์ ดังนั้นควรเลือกปั๊มรุ่น
V155 ที่ความเร็วรอบของปั๊ม 1,450 รอบ/นาที เนื่องจากใช้กำลังมอเตอร์ที่ต่ำกว่า

– กรณีที่ 2 ความชื้นขาเข้า 80% ความชื้นขาออก 25% (ความกว้างสายพานเป็น 0.50
ม. และยาว 6 ม.)

อัตราเร็วในการปั๊มเป็น 92.09 ลบ.ม./ชั่วโมง จากรูปที่ ค.1 ความเร็วรอบของปั๊มที่
ใช้มี 2 ค่า คือ 1,450 รอบ/นาที และ 1,750 รอบ/นาที ถ้าเลือกความเร็วรอบของปั๊มที่ใช้เป็น
1,450 รอบ/นาที ที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบ/นาที อัตราเร็วในการปั๊ม 92.09 ลบ.ม./ชม.
ความดันสัมบูรณ์เริ่มต้นประมาณ 760 มม.ปรอท จะได้ปั๊มรุ่น V130 และได้กำลังที่ใช้ประมาณ
3.3 กิโลวัตต์ แต่ถ้าเลือกความเร็วรอบของปั๊มที่ใช้เป็น 1,750 รอบ/นาที ที่ความเร็วรอบ 1,750
รอบ/นาที อัตราเร็วในการปั๊ม 92.09 ลบ.ม./ชม. ความดันสัมบูรณ์เริ่มต้นประมาณ 760 มม.
ปรอท จะได้ปั๊มรุ่น V130 และได้กำลังที่ใช้ประมาณ 5.0 กิโลวัตต์ ดังนั้นควรเลือกปั๊มรุ่น
V130 ที่ความเร็วรอบของปั๊ม 1,450 รอบ/นาที เนื่องจากใช้กำลังมอเตอร์ที่ต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 รายละเอียดการออกแบบ

รายละเอียดการออกแบบในโครงการตอนที่ 1 นี้ ได้แสดงในรูปที่ 7.3 ถึง 7.6 ทั้งนี้ตัวเลขที่ใช้ในการเขียนแบบมีหน่วยเป็น มม. โดยแบ่งออกเป็นส่วน ๆ เพื่อให้เห็นภาพชัด

รูปที่ 7.3 เครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

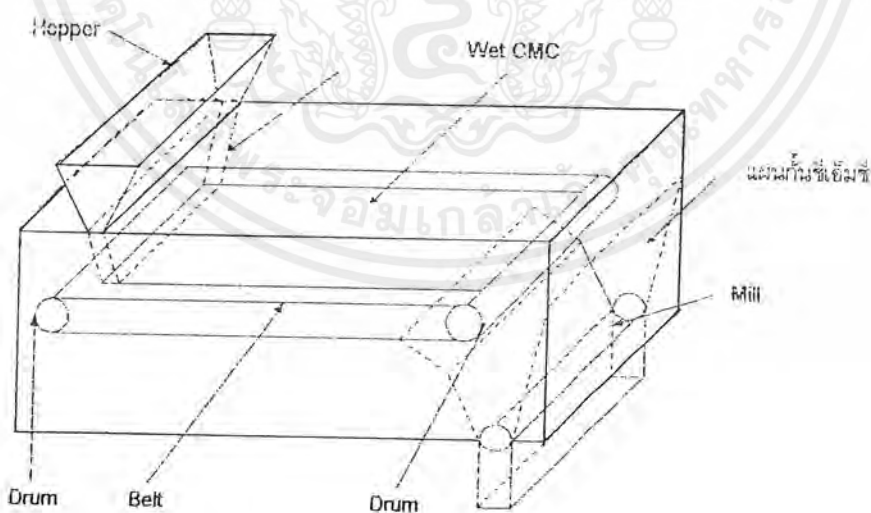
รูปที่ 7.4ก ภาพด้านหน้าของเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

รูปที่ 7.4ข ภาพด้านบนของเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

รูปที่ 7.4ค ภาพด้านข้างของเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

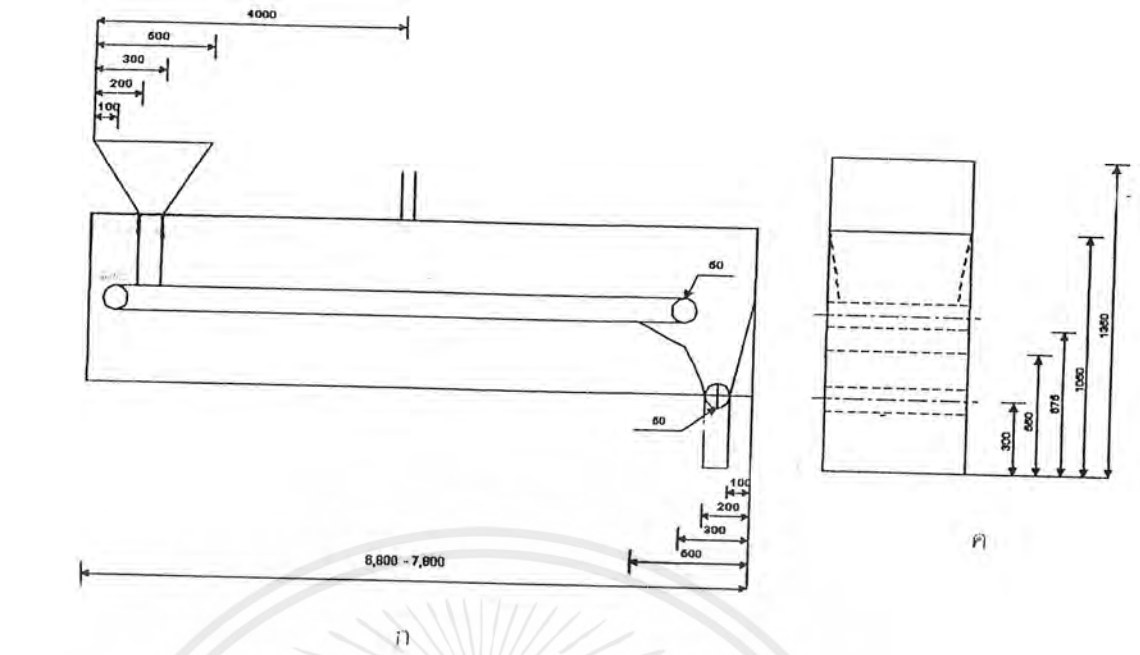
รูปที่ 7.5 ระบบสายพานเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

รูปที่ 7.6 ลูกกลิ้งระบบสายพานเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 7.3 เครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

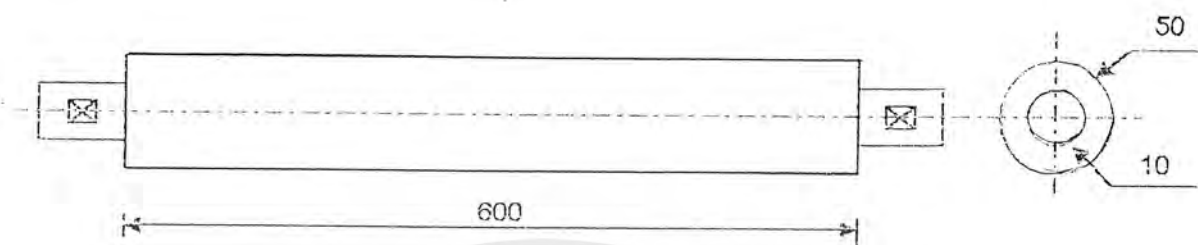
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 (ก) ภาพด้านหน้า (ข) ภาพด้านบน (ค) ภาพด้านข้าง ของเครื่องลดความถี่ซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

รูปที่ 7.5 ระบบสายพานเครื่องลดความถี่ซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.6 ลูกกลิ้งระบบสายพานเครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศ
แบบต่อเนื่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2

ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลต

ต่อสมดุลไอระหว่างน้ำและเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

8.1 บทนำ

ในอุตสาหกรรมการกลั่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการกลั่นแบบสกัด (Extractive distillation) และการกลั่นแบบแอซิโอโทรป (Azeotropic distillation) จะมีการเติมสารชนิดที่สามลงไปในระบบ เพื่อให้ค่าการระเหยสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงไปหรือทำให้เกิดแอซิโอโทรปใหม่ ส่งผลให้สามารถแยกสารที่ต้องการได้เพิ่มมากขึ้นทั้งในเชิงปริมาณและความบริสุทธิ์ของสาร อย่างไรก็ตามที่ผ่านมามีโดยส่วนใหญ่ สารชนิดที่สามที่เติมลงไปในระบบการกลั่นมักจะเป็นของเหลว [6] และแทบจะไม่มีใครสนใจในการศึกษาผลของสารชนิดที่สามที่เป็นของแข็งต่อระบบการกลั่น ต่อมาจึงได้มีการศึกษาผลของสารชนิดที่สามที่เป็นของแข็ง [6] ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเกลืออนินทรีย์ พบว่าข้อดีของการเติมเกลือลงในระบบการกลั่นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเติมของเหลวลงในระบบการกลั่นคือ เกลือจะไม่ระเหยไปเป็นผลิตภัณฑ์ยอดหอ และการแยกเกลือออกจากผลิตภัณฑ์ก้นหอสามารถทำได้ง่าย

โดยใช้เทคนิคการระเหย (Evaporation) จึงมีความสนใจในการเติมเกลือลงในระบบการกลั่นของระบบสององค์ประกอบ และศึกษาผลของเกลือต่อสมมูลไอของระบบสององค์ประกอบ [6]

8.2 ผลของเกลือต่อค่าสัมประสิทธิ์เชิงเคมีขององค์ประกอบในสารละลาย [7]

พิจารณาระบบ 2 องค์ประกอบ ซึ่งมีทั้ง 2 องค์ประกอบอยู่ในทั้ง 2 วัฏภาค คือ วัฏภาคของเหลวและวัฏภาคไอ ซึ่งกำหนดให้ใช้สัญลักษณ์ไม่มีตัวห้อย และระบบที่ใส่สารที่ไม่ระเหย เช่น เกลือลงไปด้วย กำหนดให้ใช้สัญลักษณ์ตัวห้อย S [7]

สมมติว่าโมเลกุลของสารในวัฏภาคไอน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับในของเหลว ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบไอจะไม่ทำให้อัตราส่วนขององค์ประกอบที่ระเหยได้ 2 ชนิดในของเหลวเปลี่ยนแปลง และระบบเกิดสมมูลทั้ง 2 ระบบ

สมการความสัมพันธ์ระหว่างผลของเกลือต่อค่าศักย์เชิงเคมี ขององค์ประกอบในสารละลายแสดงดังนี้

$$\text{ผลของเกลือ} = (\mu_{2s} - \mu_2) - (\mu_{1s} - \mu_1) \quad (8.1)$$

โดยที่ μ คือ ศักย์เชิงเคมีขององค์ประกอบในสารละลาย

μ_s คือ ศักย์เชิงเคมีขององค์ประกอบในสารละลายที่มีเกลือละลายอยู่

สมมติให้ในวัฏภาคไอเป็นก๊าซอุดมคติ

$$\mu_i = p_i + RT \log y_i \pi \quad (8.2)$$

โดยที่ p_i คือ ความดันไอขององค์ประกอบ i ในสารละลายบริสุทธิ์

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ

T คือ อุณหภูมิองศาสมบูรณ์

y_i คือ เศษส่วนโมลขององค์ประกอบ i ในวัฏภาคไอ

π คือ ความดันรวม หน่วยเป็นบรรยากาศ

สมมติให้ความดันคงที่และการเติมเกลือไม่มีผลต่อกับจุดเดือดของระบบ แทนค่าสมการที่ (8.2) ลงในสมการที่ (8.1) จะได้

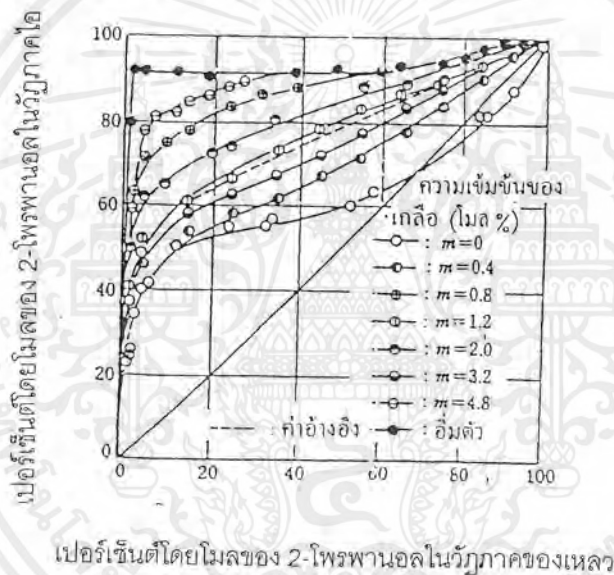
$$\text{ผลของเกลือ} = RT \log \frac{y_{2s} y_1}{y_2 y_{1s}} \quad (8.3)$$

โดยที่ y_{is} คือ เศษส่วนโมลขององค์ประกอบ i ที่มีเกลือละลายอยู่ในวัฏภาคไอ

จากสมการที่ (8.3) สามารถอธิบายได้ว่า ถ้าเกลือมีผลต่อองค์ประกอบที่ระเหยได้ง่ายกว่า ซึ่งในที่นี้ คือ องค์ประกอบที่ 2 จะทำให้ผลของเกลือเป็นบวกต่อสมดุลไอของระบบดังกล่าว กล่าวคือ ถ้าเติมเกลือลงไปในระบบดังกล่าวจะทำให้กลั่นแยกได้องค์ประกอบดีขึ้น โดยที่เกลือจะมีผลทำให้ค่า y_{2s} มากขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าเกลือมีผลต่อองค์ประกอบที่ระเหยยากกว่า ซึ่งในที่นี้ คือ องค์ประกอบที่ 1 จะทำให้ผลของเกลือเป็นลบต่อสมดุลไอของระบบดังกล่าว กล่าวคือ ถ้าเติมเกลือลงไปในระบบดังกล่าวจะทำให้กลั่นแยกได้องค์ประกอบลดลง โดยที่เกลือจะมีผลทำให้ค่า y_{1s} มากขึ้น

8.3 ผลของเกลือต่อสมดุลไอ-ของเหลว

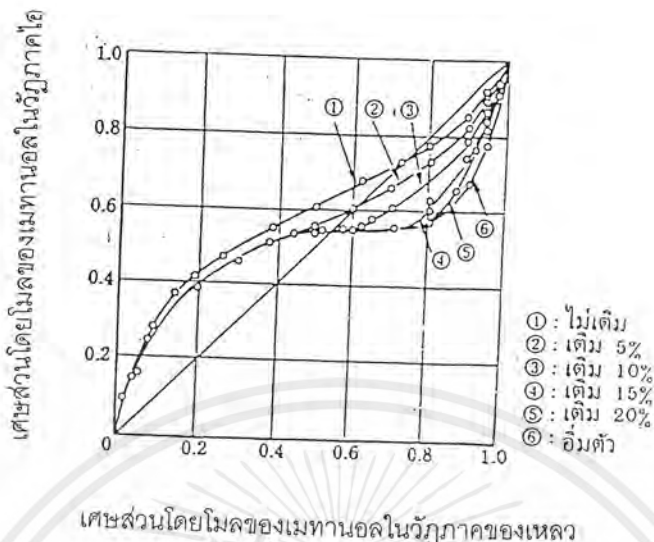
หากเติมสารจำพวกเกลือลงในสารละลายซึ่งมีองค์ประกอบที่ระเหยได้ จะทำให้ค่าการระเหยสัมพันธ์เปลี่ยนไป ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า ผลของเกลือต่อสมดุลไอ-ของเหลว ในบรรดาองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ระเหยได้ซึ่งมีอยู่ในสารละลาย องค์ประกอบใดที่มี Affinity กับเกลือมาก นั่นคือ เกลือสามารถละลายได้มากในองค์ประกอบใดก็จะทำให้ความดันไอขององค์ประกอบนั้นลดลงมาก เมื่อความดันไอลดลงจะทำให้ค่าการระเหยลดลงด้วย ซึ่งเป็นเหตุทำให้ค่าการระเหยสัมพันธ์เปลี่ยนไป ค่าการระเหยจะลดลงเล็กน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของเกลือในองค์ประกอบนั้น รูปที่ 8.1 แสดงผลการทดลองกรณีที่เติมเกลือแคลเซียมคลอไรด์ลงในระบบของ 2-โพรพานอล-น้ำ [33]



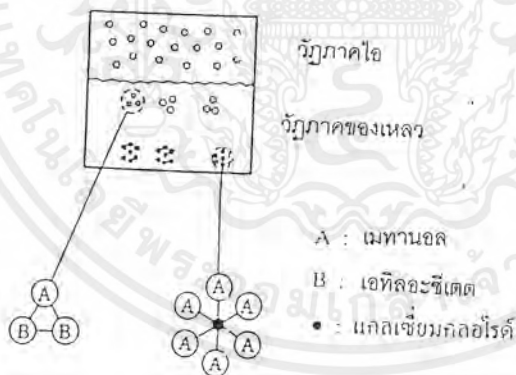
รูปที่ 8.1 ผลของเกลือแคลเซียมคลอไรด์ต่อระบบของ 2-โพรพานอล-น้ำ [33]

จากรูปที่ 8.1 จุดเดือดร่วมของระบบของ 2-โพรพานอล-น้ำ ลดลงโดยผลของเกลือแคลเซียมคลอไรด์ โดยเฉพาะในกรณีที่เกลือแคลเซียมคลอไรด์อิมิตัว และจะเห็นได้ว่าอิทธิพลของเกลือเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามความเข้มข้นของเกลือ

รูปที่ 8.2 เป็นตัวอย่างในกรณีที่เติมเกลือแคลเซียมคลอไรด์ลงในระบบของเมทานอล-เอทิลอะซีเตต ซึ่งเกลือแคลเซียมคลอไรด์สามารถละลายได้ดีในเมทานอล แต่แทบจะไม่ละลายในเอทิลอะซีเตต ดังนั้นการเติมแคลเซียมคลอไรด์จึงทำให้ความดันไอของเมทานอลต่ำลง และค่าการระเหยสัมพันธ์ของระบบลดลง [33]



รูปที่ 8.2 ผลของเกลือแคลเซียมคลอไรด์ต่อระบบของเมทานอล-เอทิลอะซิเตต [33]



รูปที่ 8.3 ผลของเกลือกับ Selective solvation [33]

ตามตัวอย่างดังรูปที่ 8.3 เกลือแคลเซียมคลอไรด์จะจับกลุ่มอออนร่วมกับเมทานอล ระบบมีการคัดเลือก (Selective solvation) และเกิดการรวมตัวเป็น Solvation หรือกลุ่มอออน $CaCl_2 \cdot CH_3OH$ และเป็นสารประกอบ $CH_3OH \cdot (CH_3COOC_2H_5)_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายได้ว่าเนื่องจากเกลือแคลเซียมคลอไรด์สามารถละลายในเมทานอล โมเลกุลของเมทานอลจึงเข้าไปล้อมรอบโมเลกุลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ทำให้ความเข้มข้นของเมทานอลลดลงเท่ากับจำนวนโมเลกุลที่เกิดเป็น Solvation เมื่อเกลือแคลเซียมคลอไรด์มี Affinity กับเมทานอลซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ระเหยได้ง่ายกว่าเอทิลอะซิเตต ทำให้ค่าการระเหยสัมพัทธ์ลดลง เกลือแคลเซียมคลอไรด์จึงให้ผลในทางลบต่อสมดุลไอของระบบเมทานอลและเอทิลอะซิเตต

เนื่องจากความเข้มข้นของตัวทำละลายจะลดลงเท่ากับจำนวนโมเลกุลที่เข้าไปเกิดเป็น Solvation ดังนั้นเศษส่วนโมลจริงที่เกี่ยวข้องกับสมดุลไอ-ของเหลวจึงเปลี่ยนแปลงไป มีผลทำให้ค่าการระเหยสัมพัทธ์ของระบบเปลี่ยนแปลงไป ส่วนการเปลี่ยนแปลงไปในทางใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับว่าเกลือเข้าไปรวมเกิดเป็น Solvation กับสารใดในระบบ ถ้าเกลือมี Affinity กับองค์ประกอบที่ระเหยง่ายกว่าอีกองค์ประกอบหนึ่งในสารละลาย 2 องค์ประกอบ จะทำให้ค่าการระเหยสัมพัทธ์ลดลง เกลือก็จะให้ผลในทางลบกับระบบนั้น ในทางตรงกันข้ามถ้าเกลือมี Affinity กับองค์ประกอบที่ระเหยยากกว่าอีกองค์ประกอบหนึ่งในสารละลาย 2 องค์ประกอบ ก็จะทำให้ค่าการระเหยสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น เกลือก็จะให้ผลในทางบวกกับระบบนั้น ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะทำนายผลของเกลือในสมดุลไอ-ของเหลว จากค่าการละลายแบบมีการคัดเลือกระหว่างตัวทำละลายบริสุทธิ์กับเกลือ

บทที่ 9

ขั้นตอนการดำเนินงานและผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นส่วนของการทดลองเพื่อทำการเก็บข้อมูลของสมดุลไอระหว่งน้ำและเอทานอลโดยมีเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ เพื่อศึกษาผลของเกลือทั้ง 2 ชนิดต่อสมดุลไอระหว่งน้ำและเอทานอล

ในการทดลองได้ทำการเก็บข้อมูลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลตที่ความเข้มข้นของเกลือเท่ากับ 0.1, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ความดันคงที่ 1 บรรยากาศ โดยมีอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ และขั้นตอนในการทดลองดังแสดงในส่วนของ การทดลอง ดังนี้

9.1 การทดลอง

9.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่อง Vapor-Liquid-Equilibrium VLE 100/SM ของบริษัท VTU ประเทศเยอรมนี รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก จ
2. เครื่อง Refractometer รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ฉ
3. เข็มฉีดยาขนาด 5 มล.
4. บีกเกอร์ขนาด 250 และ 1,000 มล.
5. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
6. ขวดรูปชมพู่
7. หลอดหยด
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. ขวดเก็บสารตัวอย่าง
10. ชุดกรองสารแบบสุญญากาศและกระดาษกรอง
11. ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 80°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ขวดทดลองขนาดเล็ก

9.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำ Deionization
2. เอทานอลเกรดวิเคราะห์ 99,7-100%
3. กลีโกลิซึมคอลลอยด์
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์
5. กรดไกลคอลลิก

9.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นที่ 1 การทำกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

1. เตรียมสารละลายเอทานอลกับน้ำที่มีเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอล ตั้งแต่ 0 - 100 เปอร์เซ็นต์ โดยคำนวณหาน้ำหนักของเอทานอลจาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเอทานอล} = (E \times 100) / (E + W) \quad (9.1)$$

โดยที่ E คือ น้ำหนักของเอทานอล (กรัม)

W , คือ น้ำหนักของน้ำ (กรัม)

2. ชั่งน้ำใส่ขวดทดลองขนาดเล็ก W , กรัม
3. ชั่งเอทานอลใส่ขวดทดลองขนาดเล็ก E กรัม
4. ทำซ้ำข้อ 1, 2 และ 3 โดยเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลจาก 0 - 100 เปอร์เซ็นต์
5. นำสารละลายที่เตรียมทั้งหมดมาอ่านค่าจากสเกล (Scale reading) จาก Refractometer และเปลี่ยนค่าจาก Scale reading เป็นค่า Refractive Index, RI และวิเคราะห์สารละลายแต่ละความเข้มข้นอย่างน้อย 3 ครั้ง จากนั้นนำมาเขียนกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอล
6. หาข้อมูลการละลายของกลีโกลิซึมคอลลอยด์ในน้ำ และทดสอบการละลายของกลีโกลิซึมคอลลอยด์ในเอทานอล เพื่อหาระดับความเข้มข้นของกลีโกลิซึมคอลลอยด์ที่สามารถละลายได้ทั้งในน้ำและเอทานอล จากนั้นกำหนดความเข้มข้นของกลีโกลิซึมคอลลอยด์ในการทดลองที่ความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และกำหนดความเข้มข้นของกลีโกลิซึมไกลคอลเลตในการทดลองที่ความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเช่นกัน

7. ทำในทำนองเดียวกันกับสารละลายระหว่างน้ำและเอทานอล แต่เปลี่ยนสารเป็น สารละลายระหว่างน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลตความเข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักละลายอยู่ ซึ่งจะได้กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลที่มีเกลือความเข้มข้นต่าง ๆ ละลายอยู่

ขั้นที่ 2 หาข้อมูลสมมูลไอ-ของเหลวระหว่างน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่

1. เตรียมสารละลายระหว่างน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอล 10, 20, 40, 60, 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
2. ทำการกลั่นด้วยเครื่อง VLE ประมาณ 1 ชั่วโมงเพื่อทำให้เกิดสมดุลระหว่างไอ-ของเหลวของระบบน้ำกับเอทานอล
3. บรรจุน้ำ 0.3000 กรัม ในขวดเก็บตัวอย่าง จากนั้นเก็บตัวอย่างของเหลวมา 0.3000 กรัมเช่นกันใส่ลงในขวดเก็บตัวอย่างข้างต้น บันทึกน้ำหนักรวมของสารผสม ในส่วนของตัวอย่างที่เป็นไอก็ทำในลักษณะเดียวกัน แต่บรรจุไว้คนละขวดกับของเหลว
4. เขย่าสารผสมให้เข้ากัน แล้วนำสารที่ผสมกันดีแล้วหยดลงบน Refractometer
5. อ่านค่า Scale reading จาก Refractometer แล้วทำการเปลี่ยนค่า Scale reading ที่อ่านได้เป็นค่า Refractive Index
6. นำค่า RI ที่ได้มาอ่านค่าเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลจากกราฟมาตรฐาน
7. เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลที่ได้จากข้อ 6 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลในกรณีที่สารละลายเจือจาง ดังนั้นจะต้องทำการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่แท้จริงของเอทานอลก่อน โดย

$$\% \text{โดยน้ำหนักที่แท้จริงของเอทานอล} = \frac{[\text{wt\% EtOH} \times (\text{น้ำหนักน้ำ} + \text{น้ำหนักสารตัวอย่าง})]}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง}} \quad (9.2)$$

8. คำนวณหาค่าเศษส่วนของโมล (Mole fraction) ของเอทานอลในส่วนของของเหลว (x) และไอ (y) จาก

$$\text{Mole fraction} = (\text{wt\% EtOH}/46) / [(\text{wt\% EtOH}/46) + (\text{wt\% H}_2\text{O}/18)] \quad (9.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. นำค่า x และ y ที่คำนวณได้จากข้อ 8 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างของเหลวและไอของระบบน้ำกับเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่
10. ทำการเก็บตัวอย่างของเหลวและไออีกอย่างน้อย 2 ครั้ง
11. กลับซ้ำที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์เท่าเดิมอีกอย่างน้อย 2 ครั้ง และทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 3-10
12. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ

ขั้นที่ 3 หาข้อมูลสมมูลไอ-ของเหลวระหว่างน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่

1. ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40.0000 กรัม และละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำให้หมดโดยใช้ปริมาณน้ำให้น้อยที่สุด จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
2. ชั่งกรดไกลคอลลิก 76.0500 กรัม ละลายกรดไกลคอลลิกในเอทานอลให้หมด จะได้สารละลายกรดไกลคอลลิกในเอทานอล
3. นำสารละลายในข้อ 1 และ 2 ผสมเข้าด้วยกัน จะได้เกลือโซเดียมไกลคอลเลตซึ่งมีสีขาวตกตะกอนลงมา
4. นำไปกรองและล้างด้วยเอทานอลโดยชุดกรองสารแบบสุญญากาศ จากนั้นนำเกลือที่ผ่านการกรองไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสประมาณ 1 วัน จะได้เกลือโซเดียมไกลคอลเลตสำหรับการใช้ในการทดลอง
5. ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 1-12 ตามขั้นตอนการหาข้อมูลสมมูลไอระหว่างน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ แต่เปลี่ยนจากเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นเกลือโซเดียมไกลคอลเลตแทน

9.2 ผลการทดลอง

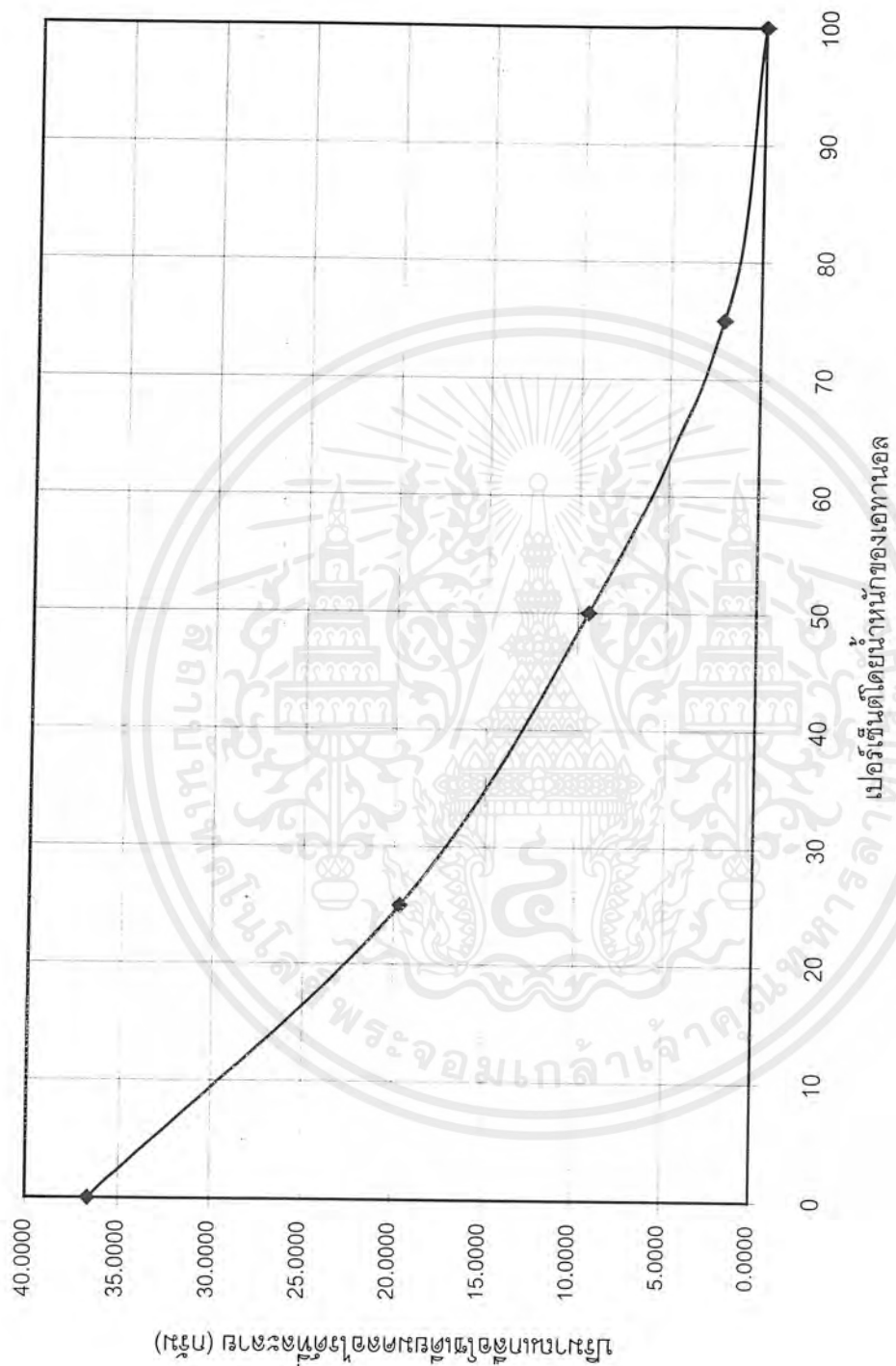
เนื่องจากมีผลการทดลองค่อนข้างมาก และเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย ดังนั้นจึงนำเสนอในรูปแบบของกราฟ สำหรับผลการทดลองและการคำนวณทั้งหมดจะแสดงอยู่ในภาคผนวก ข

รูปที่ 9.1 แสดงค่าการละลายของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายผสมระหว่างน้ำและเอทานอล 100 กรัม ข้อมูลการละลายดังกล่าวจะใช้เป็นข้อมูลสำหรับกำหนดระดับความ

เข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในการทดลองจะเป็น 0.1, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในส่วนของเกลือโซเดียมไกลคอลเลตไม่ได้ทำการหาข้อมูลการละลายไว้ แต่เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลต จึงได้กำหนดความเข้มข้นของเกลือโซเดียมไกลคอลเลตเป็น 0.1, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเช่นกัน

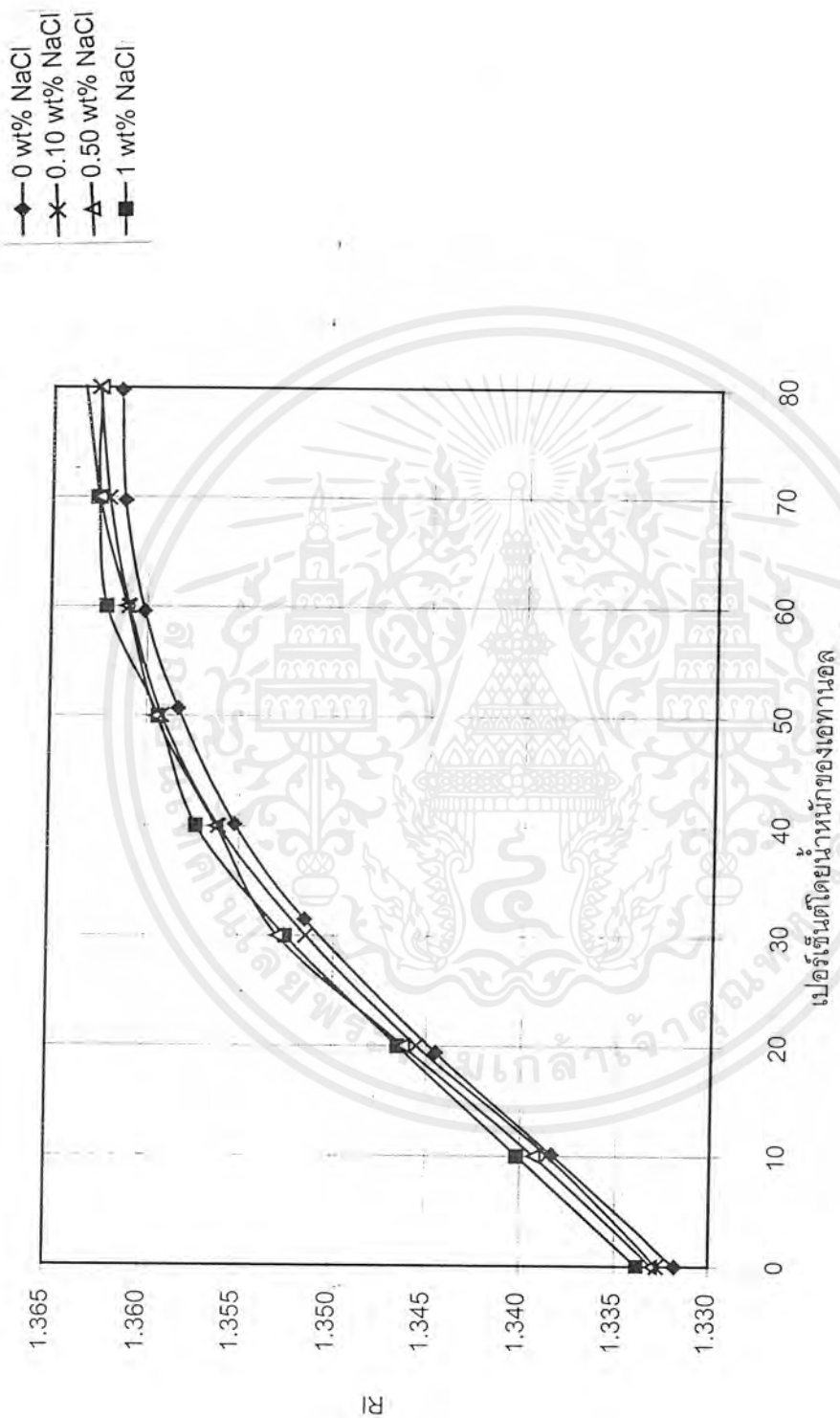
กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่าง ๆ กันละลายอยู่ และกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตความเข้มข้นต่าง ๆ กันละลายอยู่ แสดงดังรูปที่ 9.2 และ 9.3 ตามลำดับ

สำหรับผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อสมมูลไอรระหว่างน้ำและเอทานอล และผลของเกลือโซเดียมไกลคอลเลตต่อสมมูลไอรระหว่างน้ำและเอทานอล แสดงดังรูปที่ 9.4 และ 9.5 ตามลำดับ



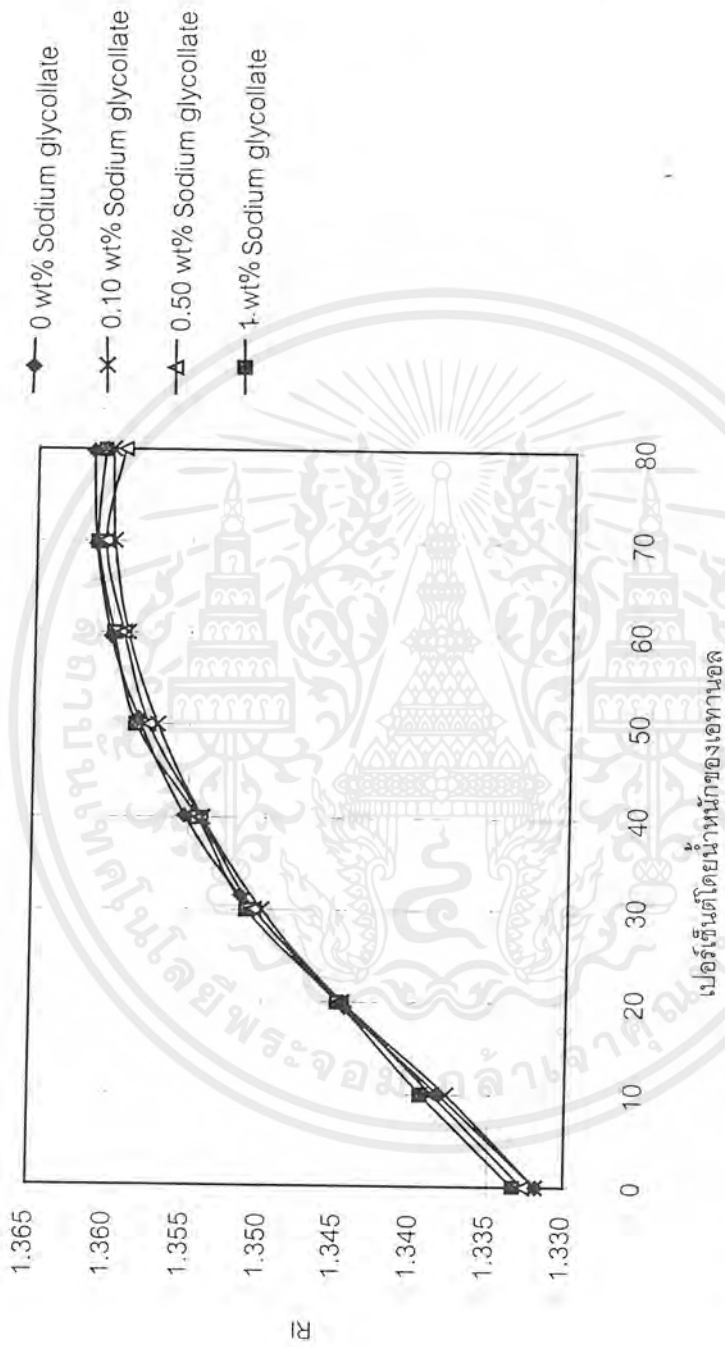
รูปที่ 9.1 ค่าการละลายของแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ในสารละลายระหว่างน้ำและเอทานอล 100 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.2 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลที่มีเกลือ โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่าง ๆ ละลายอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



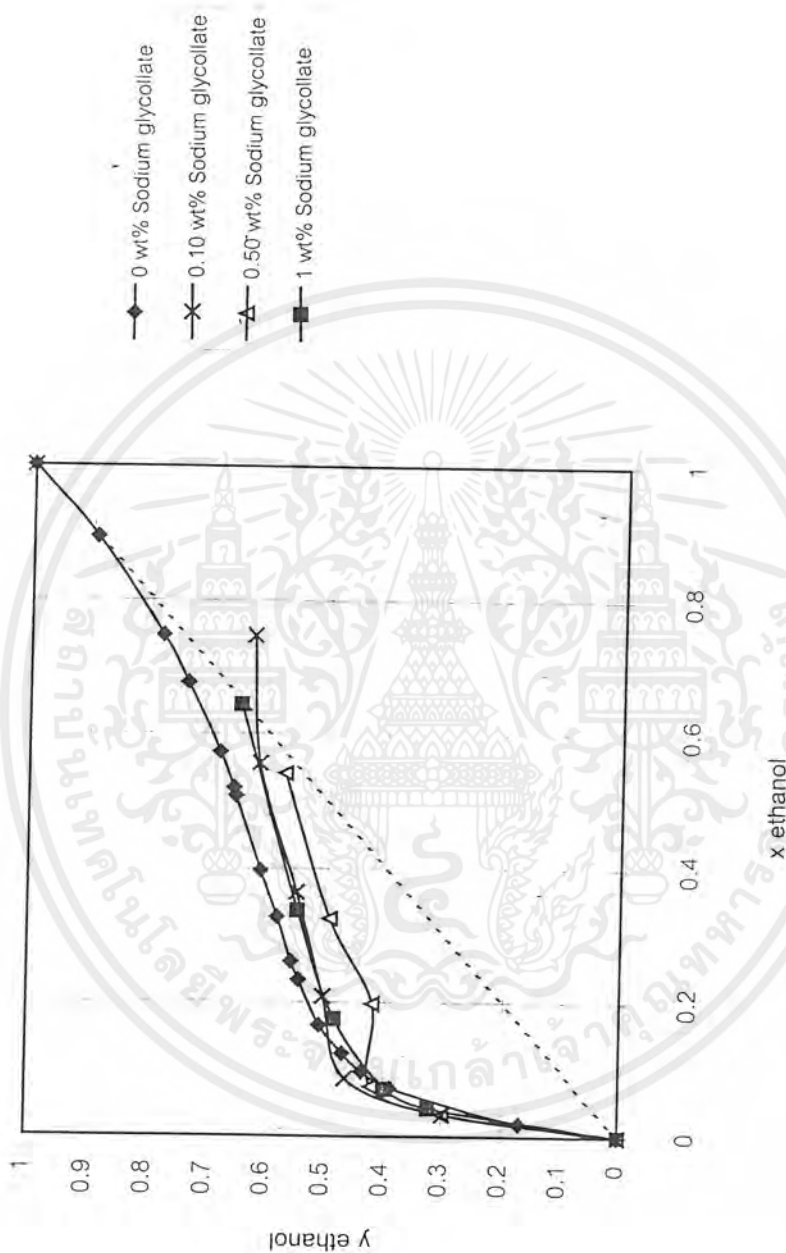
รูปที่ 9.3 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตความเข้มข้นต่าง ๆ ละลายอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.4 ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อสมมูลไอระหว่างน้ำและเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.5 ผลของเกลือโซเดียมไกลคอลเลตต่อสมดุลไอระเหยระหว่างน้ำและเอทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

10.1 สรุปผลการทดลอง

จากการเก็บข้อมูลของสมดุไล-ของเหลวระหว่างน้ำและเอทานอลที่มีเกลือละลายอยู่ โดยทำการเก็บข้อมูลที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 0.1, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมไกลคอลเลต 0.1, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลตต่อสมดุไลระหว่างน้ำและเอทานอล สรุปได้ว่าทั้งเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลตมีผลต่อสมดุไลระหว่างน้ำและเอทานอล ดังนี้

10.1.1 ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อสมดุไลระหว่างน้ำและเอทานอล

เกลือโซเดียมคลอไรด์ให้ผลในทางบวกต่อสมดุไลระหว่างน้ำและเอทานอล คือเมื่อเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงในระบบน้ำและเอทานอล จะสามารถกลั่นได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นมากขึ้น และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ก็ยิ่งทำให้สามารถกลั่นได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นมากยิ่งขึ้นตามลำดับ กล่าวคือผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ จากรูปที่ 9.4 จะเห็นว่าที่ระบบน้ำและเอทานอลที่อิ่มตัวด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์จะให้ผลการกลั่นที่ดีที่สุด [7] รองลงมาคือระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1, 0.5 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ เหตุผลอธิบายได้ดังนี้ เกลือโซเดียมคลอไรด์สามารถละลายในน้ำได้มากแต่แทบจะไม่ละลายในเอทานอล ดังนั้นโมเลกุลของน้ำในสารละลายจะไปล้อมรอบอยู่กับโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออน เกิดเป็น Solvation ทำให้ความเข้มข้นของน้ำในสารละลายระหว่างน้ำและเอทานอลลดลง ความดันไอของน้ำลดลง และค่าการระเหยสัมพัทธ์สูงขึ้น จึงทำให้สามารถกลั่นแยกเอทานอลได้ดีขึ้น แต่ในการทดลองนี้ไม่สามารถกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ได้ถึงความเข้มข้นที่จุดเอซิโอโทรป เนื่องจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ไม่สามารถละลายได้ที่ความเข้มข้นเอทานอลสูง ๆ

10.1.2 ผลของเกลือโซเดียมไกลคอลเลตต่อสมดุลไอรระหว่างน้ำและเอทานอล

ผลของเกลือโซเดียมไกลคอลเลตจะซับซ้อนกว่าผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ เนื่องจากเมื่อละลายเกลือโซเดียมไกลคอลเลตในน้ำจะเกิดเป็นโซเดียมไอออนและหมู่ไฮโดรคาร์บอน ในที่นี้คือหมู่ไกลคอลลิก ซึ่งโซเดียมไอออนจะละลายในน้ำได้ดีกว่าละลายในเอทานอล ส่วนหมู่ไกลคอลลิกจะละลายในเอทานอลได้ดีกว่าละลายในน้ำ จึงทำให้เกลือโซเดียมไกลคอลเลตมีผลต่อทั้งสององค์ประกอบ อธิบายได้ว่าโมเลกุลของเอทานอลจะไปล้อมรอบกับหมู่ไกลคอลลิก ทำให้ความดันไอของเอทานอลลดลง ค่าการระเหยสัมพัทธ์ต่ำลง จึงให้ผลในทางลบ ส่วนโมเลกุลของน้ำก็จะไปล้อมรอบกับโซเดียมไอออน มีผลทำให้ความดันไอของน้ำลดลง ค่าการระเหยสัมพัทธ์สูงขึ้น จึงให้ผลในทางบวก จากรูปที่ 9.5 ระบบน้ำและเอทานอลที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมไกลคอลเลต 0.1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักละลายอยู่จะให้ผลในทางลบ โดยที่เกลือโซเดียมไกลคอลเลตความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะให้ผลในทางลบมากกว่าเกลือโซเดียมไกลคอลเลตความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงว่าผลของหมู่ไกลคอลลิกที่ละลายในเอทานอลมีผลต่อสมดุลไอรระหว่างน้ำและเอทานอล มากกว่าผลของโซเดียมไอออนที่ละลายในน้ำ ส่วนเกลือโซเดียมไกลคอลเลตความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักให้ผลในทางลบน้อยที่สุด แสดงว่าทั้งโซเดียมไอออนที่ละลายในน้ำ (ให้ผลทางบวก) และหมู่ไกลคอลลิกที่ละลายในเอทานอล (ให้ผลทางลบ) ต่างก็มีผลต่อสมดุลไอรระหว่างน้ำและเอทานอล ทำให้เกิดการหักล้างกันระหว่างผลทางบวกและผลทางลบ จึงทำให้ที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมไกลคอลเลต 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักให้ผลในทางลบน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับผลของเกลือโซเดียมไกลคอลเลตที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ได้ทำการทดลองกลั่นระบบน้ำและเอทานอลโดยมีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมไกลคอลเลต 1.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปรากฏว่าได้ผลการทดลองไปในทางเดียวกันกับระบบน้ำและเอทานอลที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมไกลคอลเลต 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

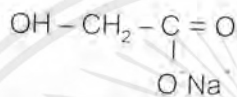
10.2 ข้อคิดเห็น

1) ในการทำการทดลองไม่สามารถวัดความเข้มข้นของเกลือในวัฏภาคของเหลวหลังการกลั่นได้ เนื่องจากมีความยุ่งยากและซับซ้อน จึงทำให้ผู้ทำการทดลองไม่สามารถหาปริมาณความเข้มข้นที่แน่นอนของเกลือในวัฏภาคของเหลวได้ แต่เนื่องจากเครื่องกลั่นเป็นแบบ Total reflux และเกลือไม่สามารถระเหยเข้าไปในวัฏภาคไอ ดังนั้นจึงได้ตั้งสมมติฐานว่า ความเข้มข้นของเกลือในสารละลายน้ำและเอทานอลในวัฏภาคของเหลวก่อนการกลั่นและหลังการกลั่น มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นเท่ากัน ซึ่งได้ตรวจสอบสมมติฐานโดยวัดค่า RI ของวัฏภาคของเหลวของสารละลาย น้ำและเอทานอลที่มีเกลือละลายอยู่ทั้งก่อนการกลั่นและหลังการกลั่น พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน จึงคิดว่าสมมติฐานที่ใช้ในการทดลองมีความถูกต้อง

2) ผู้ทำการทดลองเตรียมเกลือโซเดียมไกลคอลเลตเอง จึงได้ส่งตัวอย่างของเกลือโซเดียมไกลคอลเลตไปวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อวิเคราะห์หาโซเดียมไอออน และหมู่ฟังก์ชันของเกลือโซเดียมไกลคอลเลต ผลการวิเคราะห์ แสดงดังภาคผนวก ฅ ซึ่งสูตรโครงสร้างของเกลือโซเดียมไกลคอลเลตเป็นดังนี้



จากสูตรโครงสร้างจะเห็นว่าเกลือโซเดียมไกลคอลเลตประกอบด้วยโซเดียมไอออน หมู่คาร์บอนิล หมู่ไฮดรอกซี และหมู่อัลคิล ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า มีโซเดียมไอออนและหมู่ฟังก์ชันดังกล่าว ดังนั้นเกลือที่เตรียมได้น่าจะเป็นเกลือโซเดียมไกลคอลเลต

10.3 ข้อเสนอแนะ

1) ควรทำการศึกษาระบบของน้ำและเอทานอลที่มีทั้งเกลือโซเดียมคลอไรด์และเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อศึกษาว่าเกลือตัวใดที่มีผลต่อสมดุลไอรระหว่างน้ำและเอทานอลมากกว่ากัน และได้ผลของเกลือไปในทางใด เนื่องจากเกลือทั้งสองชนิดไม่ได้ให้ผลไปในทางเดียวกัน

2) ควรใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่มีความละเอียดในการวิเคราะห์ เพื่อขจัดความผิดพลาดจากผู้ทำการทดลอง (Human error)

3) จากแผนภาพ x-y (x-y diagram) ที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปประยุกต์สำหรับการออกแบบหอกลั่นเพื่อนำเอทานอลจากระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (ซีเอ็มซี) กลับมาใช้ใหม่ได้

เอกสารอ้างอิง

1. ธวัชชัย ศิรินันท์, ธวัชชัย อธิธิพูนธนกร และนางลักษณ์ ชินชูมากร. *ศึกษาเพื่อการออกแบบโรงงานต้นแบบในการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส*. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2535.
2. ยุพิน อังศุนิตย์ และสมชัย ปัทมมงคลชัย. *ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการผลิตโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเฟสทรานสเฟอร์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2536.
3. ภัทราวุธ มนต์วิเศษ และวันชนะ ยินสุตร. *ศึกษาตัวแปรสำคัญในการขยายขนาดตั้งปฏิกรณ์เคมีในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส*. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537.
4. กานต์ เกตุเอี่ยม, ธิรภัทร พนมกิจ และธรรมนุญ อุดมมื่น. *การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศสำหรับกระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก*. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.
5. น้ำฝน นริศราวุธ, ศรีญญา เจริญวงศ์ และสกุณา พงษ์กุล. *ผลของความดัน อุณหภูมิ และความหนาของชั้นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อการอบแห้งแบบสุญญากาศ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.
6. Johnson, A. I. and Furter, W. F. *Salt Effect in Vapor Liquid Equilibrium Part I. The Canadian Journal of Technology* Vol.34, 1957.
7. Johnson, A. I. and Furter, W. F. *Salt Effect in Vapor Liquid Equilibrium Part II. The Canadian Journal of Chemical Engineering* June, 1960.
8. Zeres, H. and Prausnitz, J. M. *Thermodynamics of Phase Equilibria in Aqueous - Organic Systems with Salt. AIChE J.* Vol.40, April, 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Jaques, D. and Furter, W. F. *Salt Effects in Vapor - Liquid Equilibrium : Testing the Thermodynamics Consistency of Ethanol - Water Saturated with Inorganic Salts.* *AIChE J.* March, 1972.
10. เกศรินทร์ เขียรกานนท์, ปริญญา พนาพิศาล, รุ่งฟ้า จันทรพาณิชระวี และสิริพร ธีรปกรณ์. *สมดุลไอ-ของเหลวของระบบเอทานอลกับน้ำที่มีเกลือละลายอยู่.* *วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.*
11. กุลยา ศรีงามม่อง และอัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ. *การคำนวณออกแบบหอกลั่นเพื่อนำเอทานอลจากกระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกลับมาใช้ใหม่.* *วิศวกรรมสารลาดกระบัง ตุลาคม, 2542.*
12. เตชา วลีเกียรติกุล, ประพันธ์ ศรีคุณ และพัฒน์พงศ์ สิทธิสาร. *ศึกษาผลของกำลังบิดต่อปริมาตรที่มีต่อการขยายขนาดของถังปฏิกรณ์เคมีในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส.* *วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538.*
13. จิยาพร จยาวรรณ, ไตรรงค์ ยันสาคร และเสาวณีย์ คงมาก. *การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบหมุนสำหรับกระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส.* *วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539.*
14. มนตรี รัตนวิจิตร. *ปรากฏการณ์ซีเอ็มซี (Sodium Carboxy Methyl Cellulose).* *TTIS TEXTILE DIGEST, พฤษภาคม 2537.*
15. เกศรินทร์ เขียรกานนท์ และวีณา พิลหาเวสส. *รายงานการฝึกงานที่บริษัทไทยเซลลูโลสโปรดักส์ จำกัด.* *ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537.*
16. วิวัฒน์ ตันทะพาณิชกุล. *คู่มืออุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี.* *ศูนย์หนังสือกรุงเทพ ๙ ลมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2533.*
17. Himmelblau, D. M. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering.* 6th ed., Prentice - Hall International, 1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


18. Perry, R. H. and Green, D. W. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 6th ed., New York: McGraw – Hill Book Company, 1995.
19. Toledo, R. T. Fundamentals of Food Process Engineering. 2nd ed., New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
20. Foust, A. S. Principles of Unit Operations. 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, 1980.
21. Schweitzer, P. A. Editor in chief, Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers. 2nd ed., McGraw – Hill, 1988.
22. Nonhebel, G. and Moss, A. A. H. Drying of Solids in the Chemical Industry. 1st ed., London: Butterworth & Co., 1971.
23. เรียวไซ โทเอ. อุปกรณ์อบแห้งอุตสาหกรรม. แปลโดย วิวัฒน์ ตันตะพาณิชกุล, ศูนย์หนังสือกรุงเทพ ฯ, 2529.
24. Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology. Vol.9, 4th ed., New York: John Wiley & Sons, 1994.
25. Mujumdar, A. S. Handbook of Industrial Drying Vol 1, 2. 2nd ed., Marcel Dekker, 1995.
26. ระบบสัญญาภาคในโรงงานอุตสาหกรรมเคมี. วารสารเทคนิค. ฉบับที่ 112, พฤษภาคม, 2537.
27. ข้อมูลเกี่ยวกับสายพานจากบริษัทคอนเวย์อร์ เทคโนโลยี จำกัด.
28. Karassik, I. J. Krutzsch, W. C. Fraser W. H. and Messina, J. P. Pump Handbook. 2nd ed., McGraw – Hill, 1989.
29. ข้อมูลเกี่ยวกับปั๊มสัญญาภาคจากบริษัทสินทร เทรดติ้ง แอนด์ เอ็นจิเนียริง (จำกัด).
30. ปราโมทย์ ไชยเวช. ปิโตรเลียมเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร, ศูนย์ออฟเซท, 2537.
31. กัญญา บุญเกียรติ. การคำนวณขั้นต้นในวิชาวิศวกรรมเคมี. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
32. Edward Hala, Jiri Pick, Vojtech Fried and Otakar Vilim. Vapor Liquid Equilibrium, 2nd ed., Translate by George Standart, Pergamon Press, 1967.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33. โชติ โอเฮะ. วิศวกรรมการกลั่นจากห้องทดลองถึงโรงงาน. แปลโดย วีรพจน์ ลือประสิทธิ์สกุล. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2536.
34. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ. เทอร์โมไดนามิกส์วิศวกรรมเคมี. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
35. Smith, J. M. and Van Ness, H. C. Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics. 4th ed., Singapore : McGraw - Hill, 1987.
36. Cook, R. A. and Furter, W. F. Extractive Distillation Employing a Dissolved Salt as Separating Agent. The Canadian Journal of Chemical Engineering April, 1968.
37. Geankoplis, C. J. Transport Processes and Unit Operations. 3rd ed., Prentice Hall International Editions, Singapore, 1993.
38. Howard, P. H. and Meylan, W. M. Handbook of Physical Properties of Organic Chemicals, Lewis Publisher, 1997.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
ข้อมูลสำหรับการคำนวณคุณสมบัติสายพานของ
เครื่องลดความชื้นซีเอ็มซีภายใต้ระบบสุญญากาศแบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของสายพาน (μ)

Bottom side of belt	Support-surface temperature					
	Bright steel plate				Plastics + 18 °C	Hard wood +18 °C
	-20 °C	0 °C	+18 °C	+40 °C		
EP non-rubberized	0.30	0.30	0.30	0.25	0.28	0.28
B60 non rubberized	0.75	0.70	0.45	0.35	0.40	0.35
B60 rubberized			0.70		0.60	0.60
Rubber cover			0.90			

ตารางที่ ก.2 ค่าคงที่สายพาน (C)

Mean specific pressure belt and material (kN/m ²)	Center distance L (m)					
	2.5	5	10	25	50	>100
≤0.1	1.8	1.4	1.2	1.09	1.05	1.0
<3.0	1.04	1.02	1.01	1.0	1.0	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แฟกเตอร์การเคลื่อนที่ของสายพาน (m)

Bottom side of belt	Driving pulley arrangement		μ	Arc of contact, α (°)					
	Driving pulley			150	180	210	220	230	240
Rubberized	Lagged	Dry	0.30	1.84	1.64	1.50	1.46	1.43	1.40
		Humid	0.25	2.09	1.83	1.67	1.62	1.58	1.54
	Bare	Dry	0.22	2.08	2.00	1.81	1.75	1.71	1.66
		Humid	0.20	2.46	2.14	1.93	1.87	1.81	1.76
Non-rubberized EP or cotton	Lagged	Dry	0.25	2.09	1.83	1.67	1.62	1.58	1.54
		Humid	0.22	2.08	2.00	1.81	1.75	1.71	1.66
	Bare	Dry	0.15	3.08	2.66	2.36	2.30	2.22	2.13
		Humid	0.10	4.34	3.71	3.26	3.14	3.02	2.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

ข้อมูลสายพาน (จากบริษัท คอนเวเยอร์ เทคโนโลยี จำกัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติของสายพานมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ

Standard type	Min. pulley-diameter 20 °C (1) (mm)	Belt N/mm	Thermal application range ° C	Friction factors (against steel) (4)		Application (2)		Laterally rigid (5) (3)	Antistatic (2)	Belt thickness approx. (mm.)	Belt weight approx. (kg/m ²)
				Running	Carrying	run over slider bed	Accum. Or driver				
O-coated											
EM 8/2 00+00 AS	30	8	-10/+80	0.15	0.15	+	+	+	+	1.4	1.7
EM 14/2 0+0 AS	30	14	-10/+80	0.15	0.15	+	+	+	+	1.7	2.0
PU-coated											
EM 4/1 00+02 PU white AS	KE	4	-30/+90	0.15	0.40	+	+	+	+	0.7	0.7
EM 4/1 00+02 PU green	KE	4	-30/+90	0.15	0.40	+	+	+	-	0.7	0.7
EM 8/2 00+02 PU white AS	20	8	-30/+90	0.15	0.40	+	+	+	+	1.5	1.7
EM 8/2 00+02 PU white	20	8	-30/+90	0.15	0.40	+	+	+	-	1.5	1.7
EM 8/2 00+02 PU green AS	20	8	-30/+90	0.15	0.40	+	+	+	+	1.5	1.7
PVC coated											
EM 4/1 00+05 PVCF white	KE	4	-10/+80	+0.15	0.70	+	-	+	-	1.0	1.0
EM 8/2 00+05 PVCF white	50	8	-10/+80	0.15	0.70	+	-	+	-	1.9	2.4
EF 12/2 00+10 PVCF white	80	12	-10/+80	0.15	0.70	+	-	-	-	2.6	3.1
EF 12/2 P1+07 PVCF white	100	12	-10/+80	0.40	0.70	0	-	-	-	3.1	3.8
EF 12/2 05+07 PVCF white	60	12	-10/+80	0.70	0.70	0	-	-	-	2.8	3.5
EF 12/2 10+20 PVCF white	150	12	-10/+80	0.70	0.70	0	-	-	+	4.5	6.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

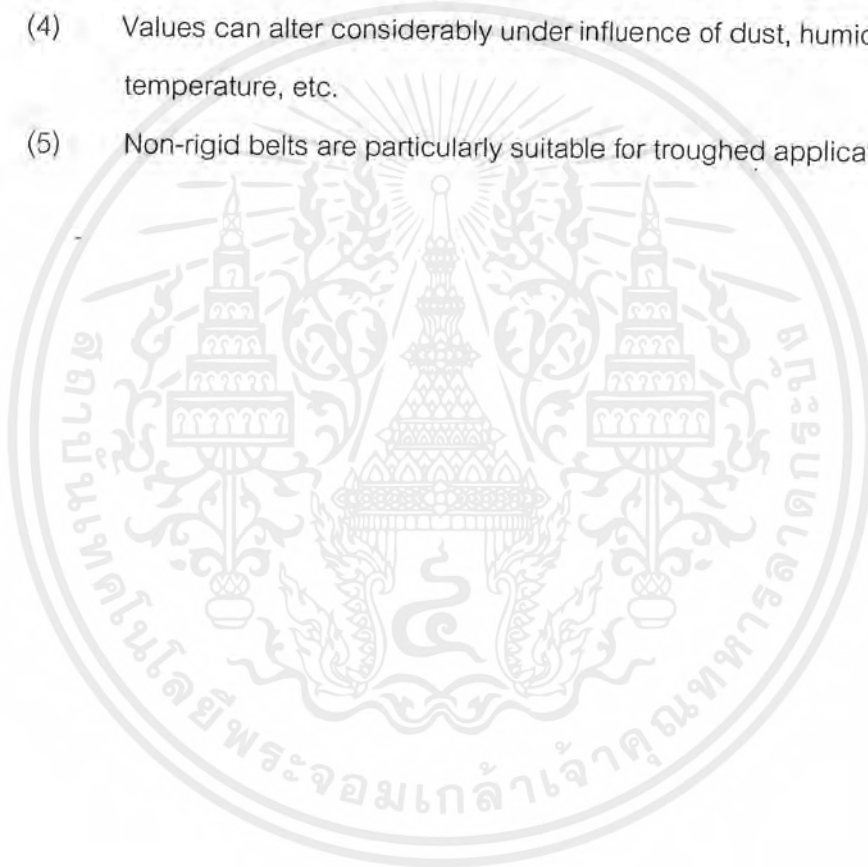
ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติของสายพานมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ (ต่อ)

Standard type	Min, pulley-diameter 20 °C (1) (mm)	Belt N/mm	Thermal application range ° C	Friction factors (against steel) (4)		Application (2)		Laterally rigid (5) (3)	Antistatic (2)	Belt thickness approx. (mm.)	Belt weight approx. (kg/m ²)
				Running	Carrying	run over slider bed	Or driverter				
EF 18/3 10+20	200	15	-10/+80	0.70	0.70	0	-	+	5.6	8.0	
EF 20/2 10+20	300	20	-10/+80	0.70	0.70	0	-	+	5.7	8.0	
EF 30/3 10+10	400	30	-10/+80	0.70	0.70	0	-	+	7.3	9.0	
EM 8/2 0+05	50	8	-10/+80	0.15	0.70	+	+	+	1.9	2.4	
EM 10/2 0+07	60	10	-10/+80	0.15	0.70	+	+	+	2.6	2.8	
EM 14/2 0+05	50	14	-10/+80	0.15	0.70	+	+	+	2.2	2.4	
EM 14/2 0+20	11	14	-10/+80	0.15	0.70	+	+	+	3.1	3.7	
EM 21/3 0+20	140	21	-10/+80	0.15	0.70	+	+	+	4.6	5.0	
EF 12/2 P1+07	60	12	-10/+80	0.40	0.70	0	-	+	3.1	3.5	
PVCH- coated											
ESF 6/2 0+03	40	6	-10/+80	0.20	0.30	+	-	+	2.0	2.2	
EM 8/2 0+02	50	8	-10/+80	0.15	0.30	+	+	+	2.0	2.4	
EM 7/1 0+05	KE	7	-10/+80	0.15	0.30	+	+	+	1.0	1.0	
EM 14/2 0+05	60	14	-10/+80	0.15	0.30	+	+	+	2.1	2.3	
EM 21/3 0+05	120	21	-10/+80	0.15	0.30	+	+	+	3.4	4.0	
NPF belts											
NPF25	40	9	-10/+120	0.25	0.25	+	-	+	2.5	1.5	
NPF40	70	9	-10/+120	0.25	0.25	+	-	+	4.0	2.2	
NPF60	120	10	-10/+120	0.25	0.25	+	-	+	6.0	5.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

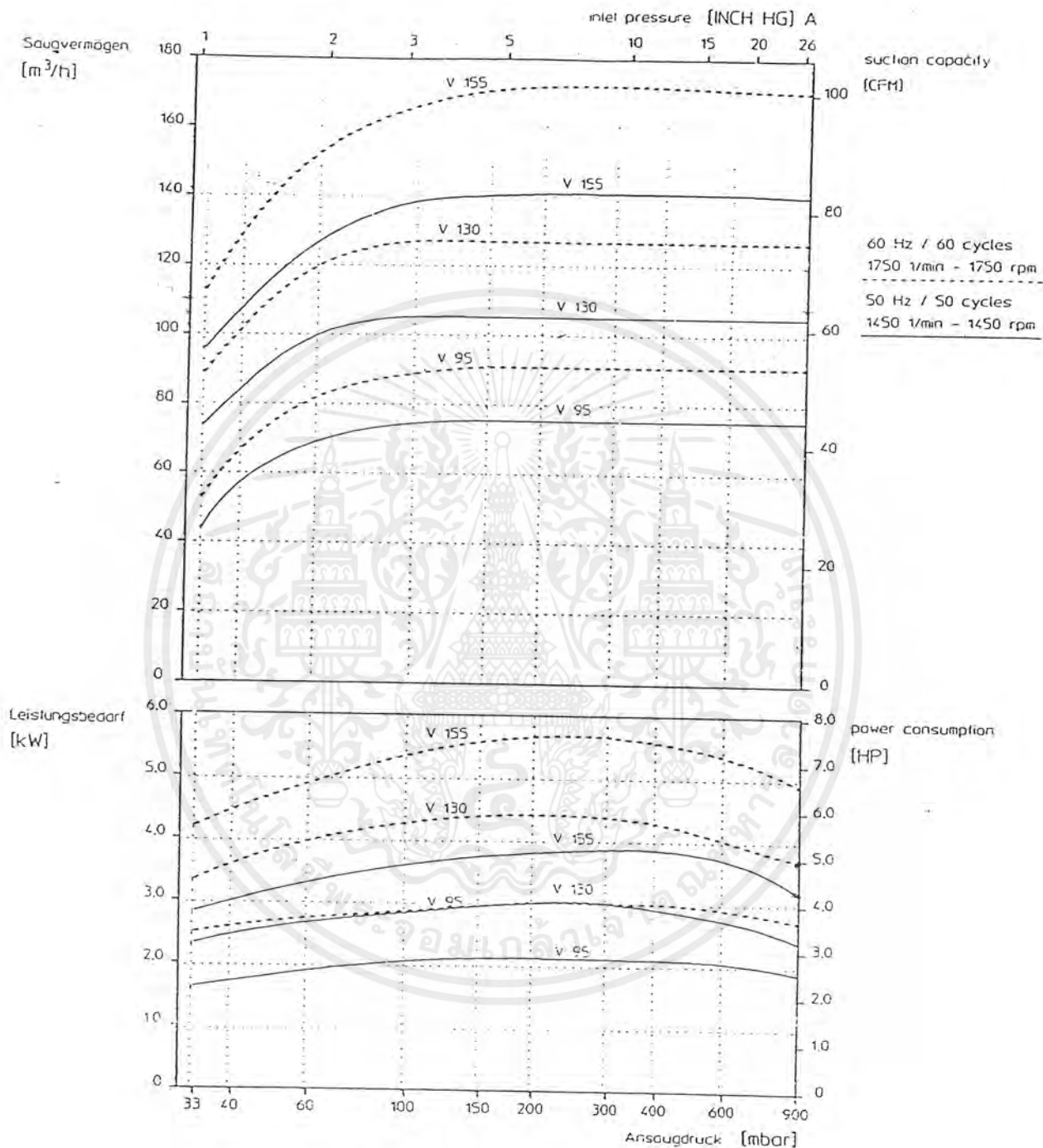
Legend for sale program

- KE Knife-edge. Recommended radius $\approx 3-5$ mm.
- (1) Min. pulley diameters are standard values and depend on alternating bending load.
- (2) + yes - no 0 limited
- (3) Approximate values. They depend on specific operating conditions.
- (4) Values can alter considerably under influence of dust, humidity, temperature, etc.
- (5) Non-rigid belts are particularly suitable for troughed applications.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 Suction capacity และกำลังงานที่ต้องการ (Power consumption) ของปั๊ม
 สุญญากาศ [29]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.1 การอบแห้งซีเมนต์ที่ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท

ก. อุณหภูมิ 50°C

น้ำหนักภาค	475.77 กรัม
น้ำหนักซีเมนต์แห้ง+น้ำหนักภาค	596.82 กรัม
น้ำหนักซีเมนต์แห้ง	120.65 กรัม
ตำแหน่งภาคว่าง	ชั้นบน
ความหนาของชั้นซีเมนต์	1 ซม.
พื้นที่การอบแห้ง	750.00 ตร.ซม.

ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองและผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้งของการอบแห้งซีเมนต์ที่ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50°C

เวลา (นาท.)	น้ำหนักซีเมนต์ชื้น+น้ำหนักภาค (กรัม)	น้ำหนักซีเมนต์ชื้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	715.76	239.99	98.91	0.00
60	680.21	204.44	69.45	7.90
120	652.58	176.81	46.55	6.14
180	632.26	156.49	29.71	4.52
240	622.95	147.18	21.99	2.07
300	616.87	141.10	16.95	1.35
360	612.59	136.82	13.40	0.95

ข. อุณหภูมิ 60°ซ

น้ำหนักถาด	478.57 กรัม
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด	596.82 กรัม
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง	121.05 กรัม
ตำแหน่งถาดที่วาง	ชั้นบน
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี	1 ซม.
พื้นที่การอบแห้ง	750.00 ตร.ซม.

ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองและผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้งของการอบแห้งซีเอ็มซีที่ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60°ซ

เวลา (นาทื)	น้ำหนักซีเอ็มซีชื้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีชื้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	718.62	240.05	98.31	0.00
60	675.69	197.12	62.84	9.54
120	651.87	173.30	43.16	5.30
180	632.89	154.32	27.48	4.22
240	623.74	145.17	19.93	2.03
300	615.07	136.50	12.76	1.93
360	611.22	132.65	9.58	0.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. อุณหภูมิ 70^oซ

น้ำหนักถาด	473.57 กรัม
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง+น้ำหนักถาด	594.50 กรัม
น้ำหนักซีเอ็มซีแห้ง	120.93 กรัม
ตำแหน่งถาดที่วาง	ชั้นบน
ความหนาของชั้นซีเอ็มซี	1 ซม.
พื้นที่การอบแห้ง	750.00 ตร.ซม.

ตารางที่ ง.3 ผลการทดลองและผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้งของการอบแห้งซีเอ็มซีที่ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70^oซ

เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเอ็มซีขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	713.59	240.02	98.48	0.00
60	658.65	185.08	53.05	12.21
120	635.25	161.68	33.70	5.20
180	618.147	144.57	19.55	3.80
240	607.78	134.21	10.98	2.30
300	604.56	130.99	8.32	0.71
360	601.52	127.95	5.81	0.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.2 การอบแห้งซีเมนต์ที่มีความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท

ก. อุณหภูมิ 60°C

น้ำหนักถาด	478.50 กรัม
น้ำหนักซีเมนต์แห้ง+น้ำหนักถาด	598.68 กรัม
น้ำหนักซีเมนต์แห้ง	120.18 กรัม
ตำแหน่งถาดที่วาง	ชั้นบน
ความหนาของชั้นซีเมนต์	1 ซม.
พื้นที่การอบแห้ง	750.00 ตร.ซม.

ตารางที่ ง.4 ผลการทดลองและผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้งของการอบแห้งซีเมนต์ที่มีความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 60°C

เวลา (นาท.)	น้ำหนักซีเมนต์ขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเมนต์ขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	718.30	239.80	99.53	0.00
30	648.93	170.43	41.81	30.83
60	628.98	150.48	25.21	8.87
90	617.93	139.43	16.01	4.91
120	611.89	133.39	10.99	2.69
150	607.18	128.68	7.07	2.09
180	602.98	124.48	3.58	1.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. อุณหภูมิ 70^oซ

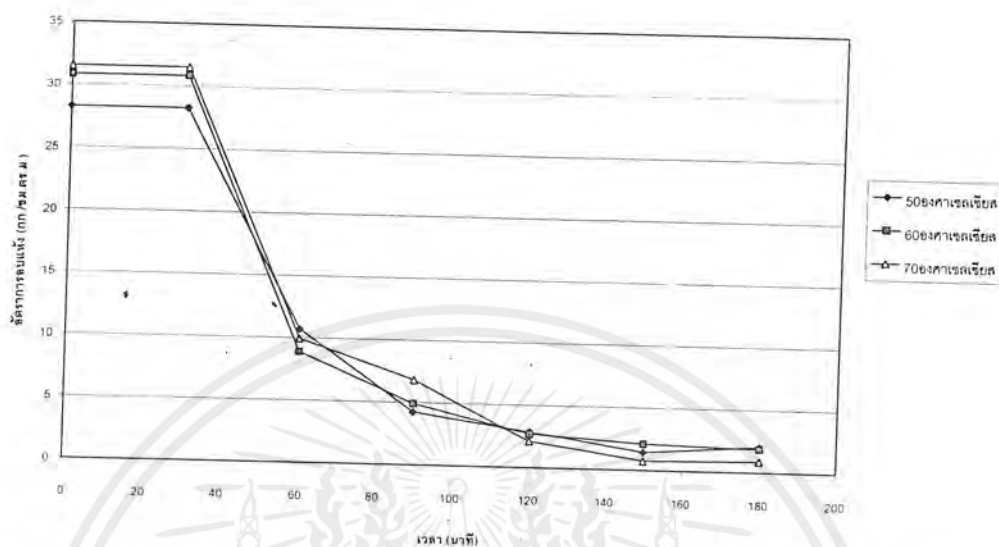
น้ำหนักถาด	473.50 กรัม
น้ำหนักซีเมนต์แห้ง+น้ำหนักถาด	593.75 กรัม
น้ำหนักซีเมนต์แห้ง	120.25 กรัม
ตำแหน่งถาดที่วาง	ชั้นบน
ความหนาของชั้นซีเมนต์	1 ซม.
พื้นที่การอบแห้ง	750.00 ตร.ซม.

ตารางที่ ๓.5 ผลการทดลองและผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นและอัตราการอบแห้งของการอบแห้งซีเมนต์ที่มีความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 70^oซ

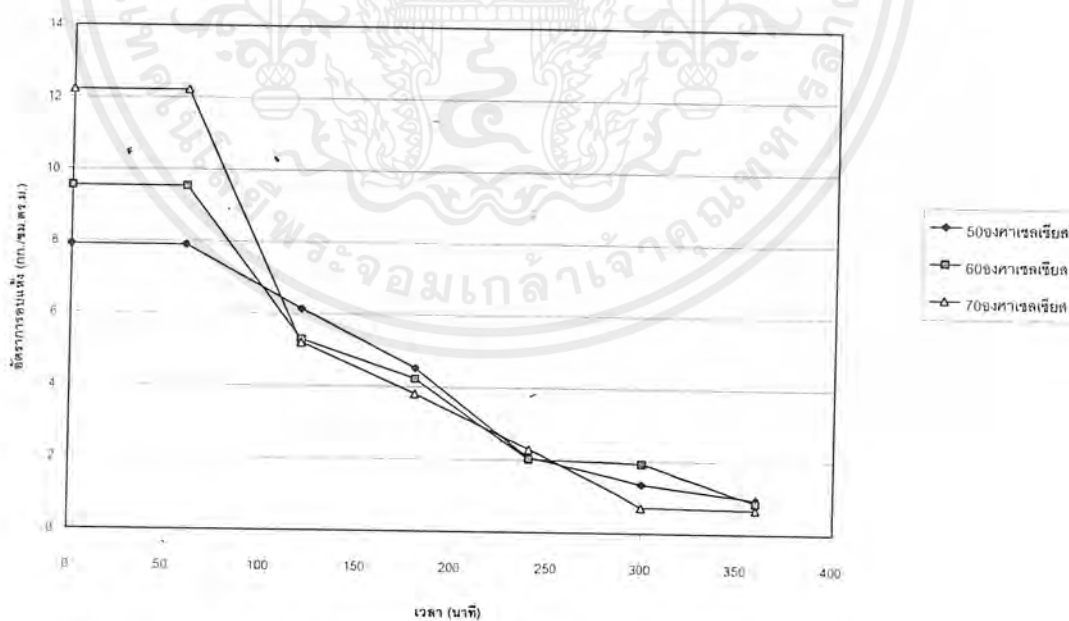
เวลา (นาท)	น้ำหนักซีเมนต์ขึ้น+น้ำหนักถาด (กรัม)	น้ำหนักซีเมนต์ขึ้น (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	อัตราการอบแห้ง (กก.เอทานอล/ตร.ม. ซม.)
0	713.50	240.00	99.58	0.00
30	642.58	169.08	40.61	31.52
60	620.23	146.73	22.02	9.94
90	604.96	131.46	9.32	6.79
120	600.23	126.73	5.39	2.10
150	598.59	125.09	4.02	0.73
180	596.62	123.12	2.39	0.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.3 กราฟความสัมพันธ์จากข้อมูลการอบแห้งซีเอ็มซี



รูปที่ ง.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 460 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.



รูปที่ ง.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งซีเอ็มซี อบแห้ง ณ ความดันสัมบูรณ์ 560 มม.ปรอท อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C ความหนาของชั้นซีเอ็มซี 1 ซม.

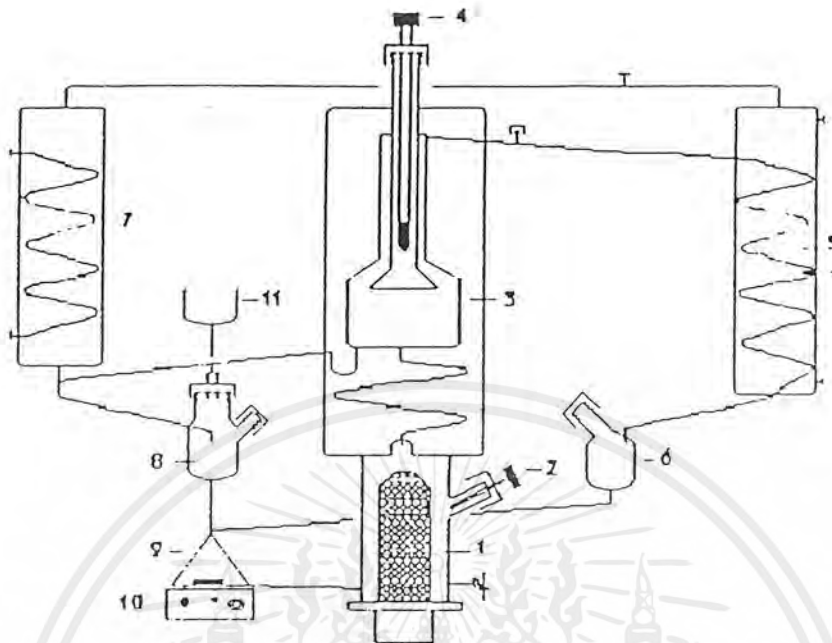
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ

รายละเอียดเครื่องมือการทดลองที่ใช้ในการทำให้เกิดสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.1 เครื่องมือหาค่าสมดุลระหว่างไอกับของเหลว รุ่น VLE 100/SM.

ข้อมูลทางเทคนิค

อุณหภูมิ	:	สูงสุด 200 ^o ซ
ความดัน	:	บรรยากาศ
ความจุ	:	ประมาณ 100 มิลลิลิตร
วัสดุที่ใช้	:	แก้วบอโรซิลิเกต
กระแสไฟฟ้า	:	230 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์
ขนาดโดยประมาณ	:	ความสูง 0.6 เมตร
		ความยาว 0.5 เมตร
		ความกว้าง 0.4 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ออกแบบในการปฏิบัติงานที่ความดันบรรยากาศ

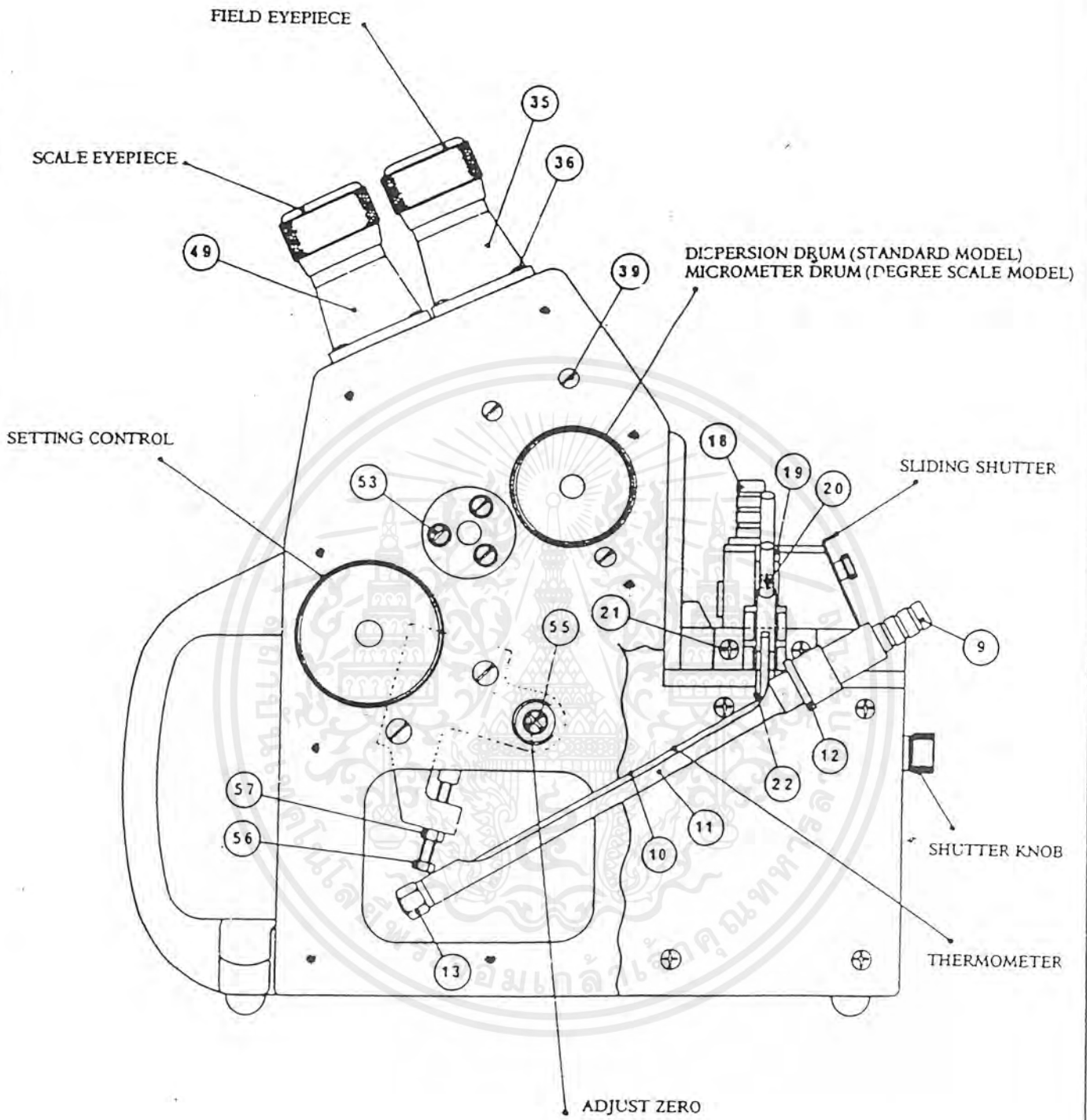
เครื่องระเหย (1) บรรจุด้วยสารละลายโดยผ่านกรวย (11) โดยมีอุปกรณ์ในการควบแน่น (5) และ (7) ที่ใช้น้ำในการแลกเปลี่ยนความร้อน

สารละลายจะผสมเป็นเนื้อเดียวกันตลอดในกระเปาะ (9) โดยเครื่องกวน (10) ซึ่งสารละลายจะร้อนขึ้นและมีบางส่วนระเหย ไอจะแยกในกระเปาะ (3) ซึ่งไอจะสัมผัสเทอร์โมมิเตอร์ (4) และควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ (5) ไอที่ควบแน่นจะตกลงในขวด (6) และกลับไปทีกระเปาะ (9) และเครื่องระเหย (1) อัตราการระเหยจะถูกปรับโดยใช้อัตราการควบแน่นโดยประมาณ 1-2 หยด/วินาที ของเหลวที่แยกในกระเปาะ (3) จะถูกส่งกลับลงในขวด (8) ไปทีกระเปาะ (9) และเครื่องระเหย (1) ประมาณ 15 นาที ระบบจะเข้าสู่สมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ ค่าสมดุลระหว่างไอกับของเหลวจะวัดได้ดังนี้

- 1) อ่านอุณหภูมิของไอ
- 2) เก็บตัวอย่างของไอที่ควบแน่นใน (6) โดยเข็มฉีดยาและหาค่าความเข้มข้นของไอโดย Refractometer
- 3) เก็บตัวอย่างของเหลวที่ (8) โดยเข็มฉีดยา หาค่าความเข้มข้นของไอโดย Refractometer
- 4) ค่าที่ได้จะเป็นค่า 1 จุดในเส้นสมดุลระหว่างไอกับของเหลว



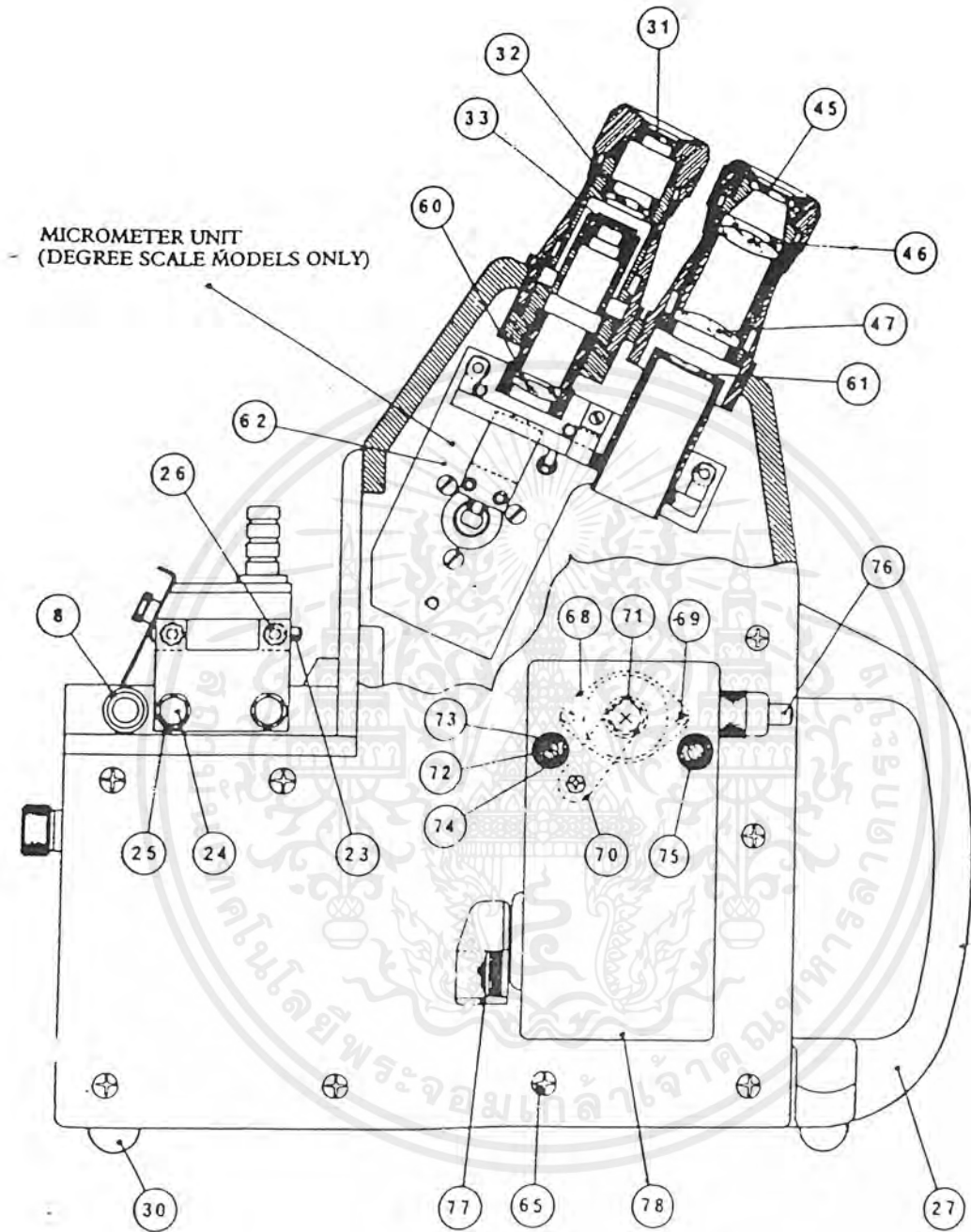
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



B + S
ABBE 60 REFRACTOMETER

Bellingham & Stanley Ltd
Tunbridge Wells England

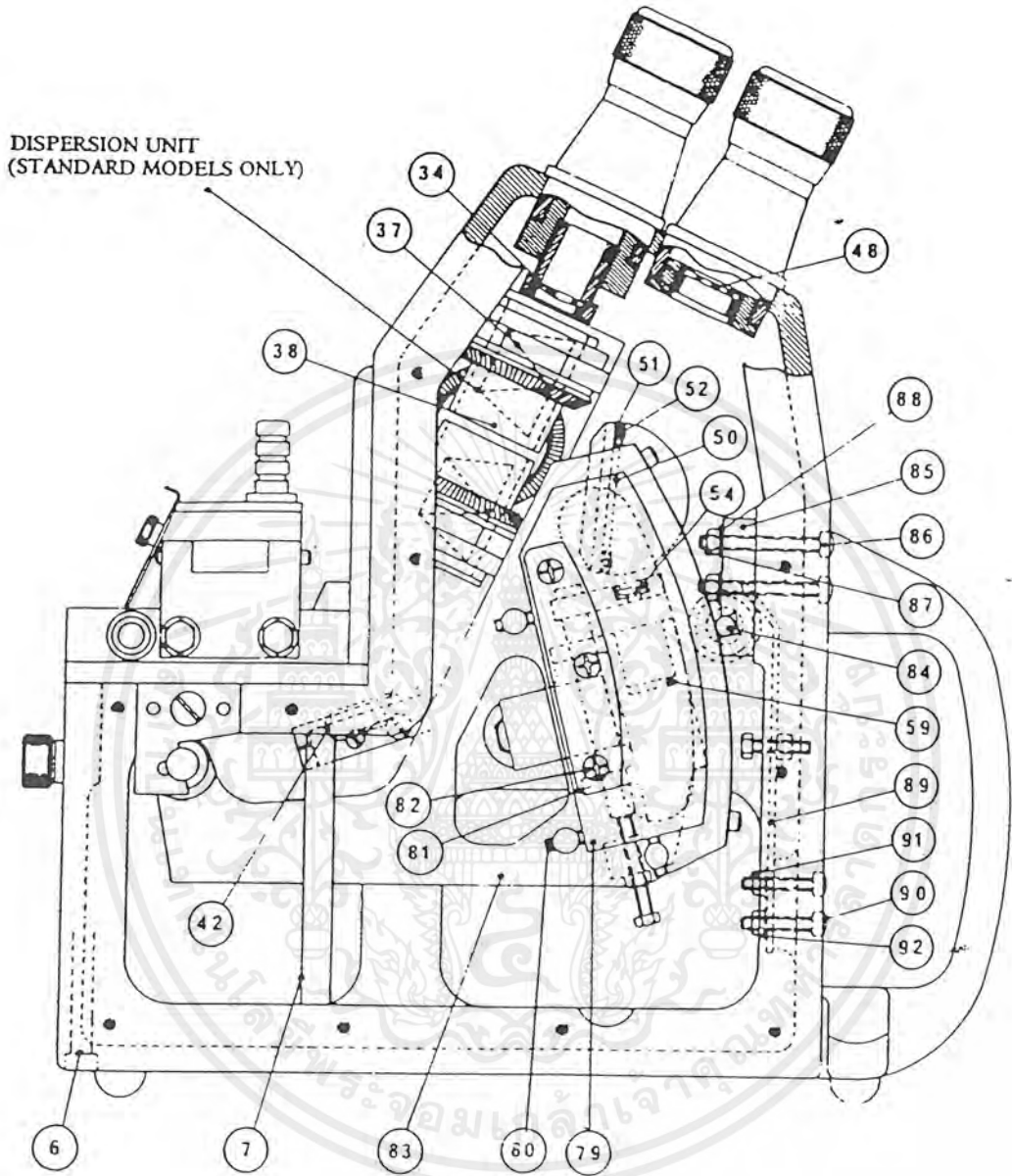
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



B + S
ABBE 60 REFRACTOMETER

Bellingham & Stanley Ltd
Tunbridge Wells England

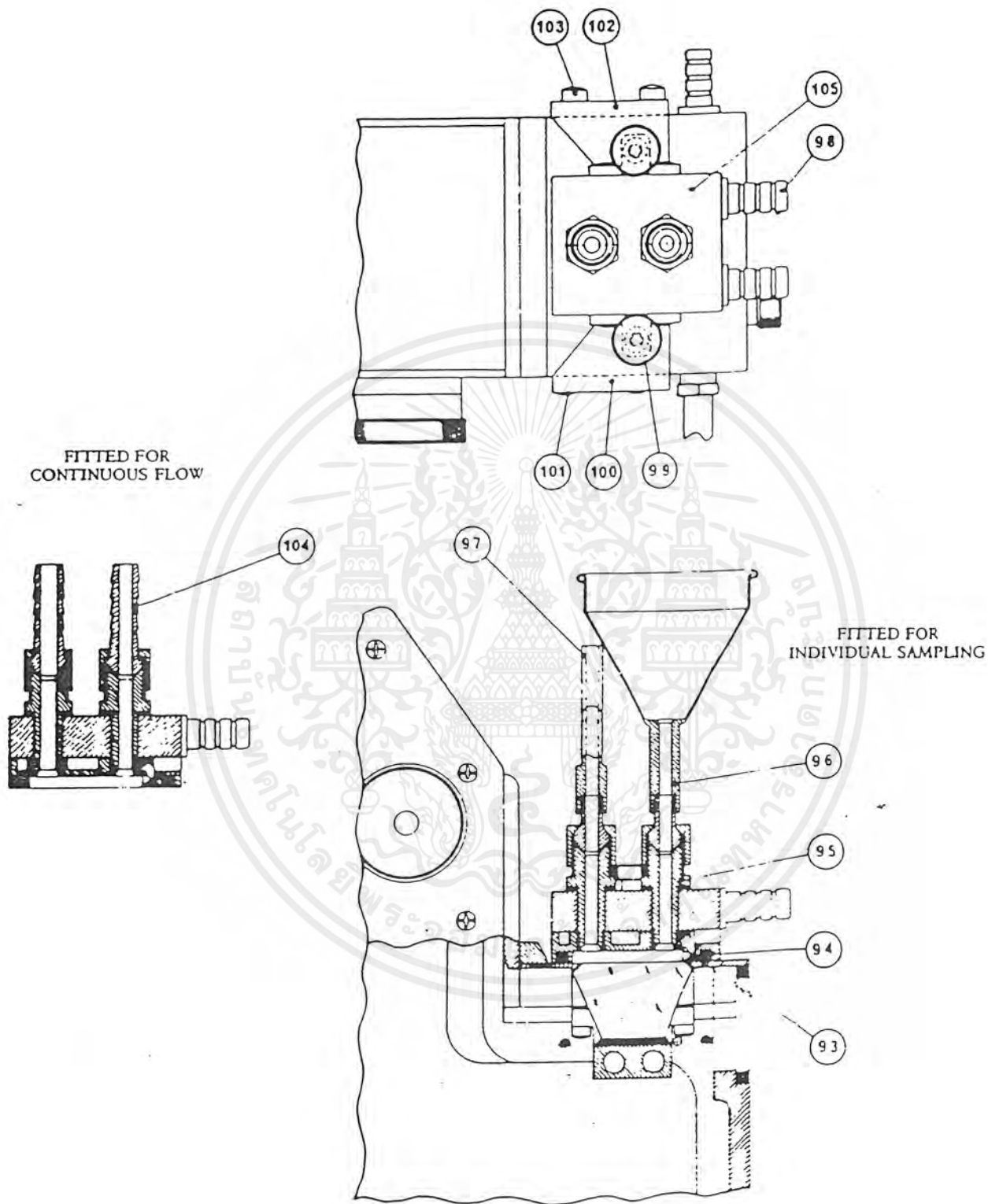
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าดัดแปลงไปใช้ประโยชน์อื่นใดในกรณี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและตียงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



B + S
ABBE 60 REFRACTOMETER

Bellingham & Stanley Ltd
Tunbridge Wells England

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งถ้าไม่มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกร นำไปใช้



PARTS LIST FOR ABBE 60 REFRACTOMETER

KEY NO	ORDERING CODE	DESCRIPTION	QTY PER INST.
1	10 - 001	Measuring Prism. Model 60/70	
1	10 - 002	Model 60/74	
1	10 - 003	Model 60,95 & 60/SO	1 (As Reqd)
1	10 - 004	Model 60/ED & 60/LR	
1	10 - 005	Model 60/HR	
-	10 - 009	Prism Cementing Charge	1
2	10 - 162	Lower Prism Box. (Chromium Plated)	1 (As Reqd)
2	10 - 151	(Stainless Steel)	
3	10 - 230	Prism Bridge	1
4	10 - 232	Prism Bridge Gasket	2
5	60 - 126	Prism Bridge Sec. Screw	4
6	10 - 165	Prism Box Securing Screw - Front (Seal)	2
7	10 - 166	- Rear (Seal)	2
8	10 - 180	Water Nipple	1
9	10 - 182	Thermometer Pocket Water Nipple	1
10	10 - 47	Thermometer. 0 - 75 C	
10	10 - 48	Thermometer. 10 - 30 C	1 (As Reqd)
10	10 - 262	Thermometer. 10 - 110 C	
10	72 - 118	Thermometer. 0 - 50 C	
11	10 - 175	Thermometer Case Complete	1
12	10 - 176	Thermometer Clamp Ring	1
13	10 - 177	Thermometer End Cap	1
14	10 - 010	Illuminating Prism. EXC. Model 60/HR	1 (As Reqd)
14	10 - 011	Model 60/HR	
-	10 - 012	Illuminating Prism Cementing Charge	1
15	10 - 163	Hinged Prism Box. (Chromium Plated)	1 (As Reqd)
15	10 - 152	(Stainless Steel)	
16	10 - 160	Shutter	1
17	10 - 161	Shutter Securing Screw	2
18	10 - 181	Upper Water Nipple	2
19	10 - 157	Prism Box Latch	1
20	60 - 280	Latch Securing Screw	1
-	10 - 120	Prism Box Fastener Unit Complete	1
21	60 - 173	Fastener Securing Screw	2
22	10 - 150	Fastener Spring	1
23	10 - 155	Hinge Taper Pin	1
-	10 - 124	Prism Box Hinge Unit Complete	1
24	60 - 050	Female Hinge Securing Screw	2
25	60 - 465	Washer	2
26	60 - 159	Male Hinge Securing Screw	2
-	10 - 44	Glass Test Plate	1
-	10 - 46	Silica Test Plate	1
-	10 - 43	Contact Liquid	1
-	10 - 42	Volatile Liquid Cell	1
-	10 - 58	Differential Liquid Cell	1
-	10 - 290	Plastic Container for Test Plates	1
27	10 - 201	Handle	1
28	60 - 031	Handle Securing Screw. (Upper)	1
29	60 - 041	Handle Securing Screw. (Lower)	2
30	10 - 188	Foot	4
31	10 - 060	Borderline Eye Lens	1
32	10 - 161	Borderline Field Lens	1
33	10 - 078	Cross Line Disc	1
-	10 - 062	Set of Lenses for Borderline Telescope	1
34	10 - 061	Borderline O.G. Lens. Exc. Models ED/LR/HR	1
35	10 - 110	Borderline Telescope Unit Complete	1
36	60 - 280	Telescope Securing Screws	8
-	10 - 49	Polarising/Filter Eyepiece	1
-	10 - 090	Glass Disc	2
-	10 - 092	Washer	2
-	10 - 091	Polaroid Disc	1
-	10 - 095	Gelatine Filter Disc. (Red, Yellow, Green, Blue or Violet)	1 (As Reqd)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ควรกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นแต่ที่เห็นแจ้งโดยชัดแจ้งโดยมีชื่อของเจ้าพนักงานควบคุมการวัดและ衡ที่ปรากฏบนตัวเครื่อง

PARTS LIST FOR ABBE 60 REFRACTOMETER. (Continued)

KEY NO	ORDERING CODE	DESCRIPTION	QTY PER INST.
37	10 - 020	Compensating Prism Models 70/74/95/SO	2
38	10 - 115	Compensating Unit Models 70/74/95/SO	1
39	60 - 128	Compensator/Micrometer Securing Screw.	3
40	10 - 030	Borderline Mirror	1
41	10 - 236	Borderline Mirror Clip. Double	1
42	10 - 237	Single	1
43	60 - 252	Borderline Mirror Clip Securing Screw	2
44	60 - 505	Washer	2
-	10 - 118	Cross Line Mount with Graticule	1
45	10 - 079	Reader Eye Disc	1
46	10 - 064	Reader Eye Lens	1
47	10 - 065	Reader Field Lens	1
-	10 - 070	Set of Lenses for Reader Telescope	1
48	10 - 076	Index Line Disc. Exc Models/ED/LR/HR.	1
49	10 - 111	Reader Telescope Unit Complete	1
50	10 - 032	Reader Mirror. Large	1
51	10 - 242	Reader Mirror Clip.	3
52	60 - 332	Securing Screw.	3
53	60 - 128	Reader Mirror Mount Securing Screw.	3
54	10 - 066	Reader O.G. Lens.	1
55	60 - 120	Zero Adjustment Screw	1
56	60 - 150	Focus Adjustment Screw.	1
57	60 - 480	Lock Nut.	1
58	10 - 186	Zero Adjustment Cover.	1
59	10 - 031	Reader Mirror. Small	1
-	10 - 132	Index Line Mount with Graticule Exc./ED/LR/HR	1
60	10 - 063	Borderline O.G. Lens. Models/ED/LR/HR only.	1
61	10 - 077	Fiducial Line Disc. Models/ED/LR/HR only	1
62	10 - 140	Micrometer Unit	1
-	10 - 141	Fiducial Line Mount with Graticule/ED/LR/HR only	1
63	13 - 395	Desiccator	1
64	72 - 217	Desiccator Refill	1
65	60 - 173	Side Panel Securing Screw	24
66	10 - 075	Front Window	1
67	10 - 170	Front Window O Seal	1
-	10 - 291	Plastic Dust Cover for Instrument	1
-	10 - 56	Polished Wooden Case for Instrument	1
68	10 - 080	Opal Diffuser	1
69	60 - 332	Opal Diffuser Securing Screw	2
70	10 - 190	M.E.S. Lampholder	1
71	59 - 60	Lamp 4v. 0.3A M.E.S.	1
72	60 - 193	Scale Illuminator Securing Screw	2
73	60 - 480	Nut	2
74	60 - 485	Washer	2
75	10 - 210	Knob	2
76	10 - 191	On - Off Switch. (Mains Unit)	1 (As Reqd)
76	10 - 192	Push Button. (Battery Unit)	1
77	10 - 129	Mains Plug 3 Pin 3A	1
-	10 - 130	Mains Plug & Lead	1
-	10 - 131	Mains Plus & Lead U.S.A. 110v	1 (As Reqd)
-	10 - 193	Mains Socket 3 Pin 3A	1
78	10 - 50	Scale Illum. Unit. Mains. 190/250v. 50HZ	1
78	10 - 51	115/125v. 60HZ	1 (As Reqd)
78	10 - 52	Battery	1
-	10 - 53	Set of 4 Batteries	4
-	10 - 54	Dual Illum. Mains. 190/250v. 50HZ	1 (As Reqd)
-	10 - 55	115/125v. 60HZ	1
-	10 - 194	3 Way Toggle Switch	1
-	10 - 195	25 ohm Pot & Knob	1
-	10 - 196	Lampholder. (Q.I.)	1
-	10 - 197	Fibre Optic	1
-	59 - 64	Lamp 6v. 10w. (Q.I.)	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARTS LIST FOR ABBE 60 REFRACTOMETER (Continued)

KEY NO	ORDERING CODE	DESCRIPTION	QTY PER INST.
79	10 - 040	Divided Arc. Unmounted. Model 60/70	
79	10 - 041	Model 60/74	
79	10 - 042	Model 60/95	1 (As Req'd)
79	10 - 044	Model 60/ED/LR/HR	
-	10 - 050	Setting Arc on Frame	1
80	60 - 187	Arc Adjusting Screw	3
81	10 - 214	Arc Clamping Plate	1
83	10 - 051	Arc on Frame Assembly. Model 60/70	
83	10 - 052	Model 60/74	
83	10 - 053	Model 60/95	1 (As Req'd)
83	10 - 054	Model 60/SO	
83	10 - 055	Model 60/ED/LR/HR	
84	10 - 224	Friction Drive Shaft with Bearing	1
85	10 - 225	Friction Drive Block	1
86	60 - 137	Friction Drive Block Securing Screw	2
87	60 - 480	Nut	2
88	60 - 485	Washer	2
89	10 - 227	Friction Drive Pressure Spring	1
90	60 - 139	Friction Drive Spring Securing Screw	2
91	60 - 480	Nut	2
92	60 - 485	Washer	2
-	10 - 292	Spare Operating Instructions	1
-	10 - 295	Spare 60/ED Na Tables	1
93	10 - 015	Flow Cell Rhomb	1
-	10 - 285	Fitting Replacement Rhomb	1
94	10 - 270	Flow Cell O Seal	1
95	10 - 279	Sample Connector (Chromium Plated)	2 (As Req'd)
95	10 - 280	(Stainless Steel)	
96	10 - 271	Funnel & Stem (Chromium Plated)	1 (As Req'd)
96	10 - 272	(Stainless Steel)	
97	10 - 274	Ani Syphon Tube. (Chromium Plated)	1 (As Req'd)
97	10 - 275	(Stainless Steel)	
98	10 - 180	Water Nipple	2
99	10 - 281	Clamp Screw	2
100	10 - 283	Securing Bracket - Right	1
101	60 - 172	Sec. Screw	2
102	10 - 282	Securing Bracket - Left	1
103	60 - 045	Sec. Screw	2
104	10 - 277	Cont. Flow Sample Connector. (Chromium Plated)	2 (As Req'd)
104	10 - 278	(Stainless Steel)	
105	10 - 40	Flow Cell Complete. (Chromium Plated)	1 (As Req'd)
105	10 - 41	(Stainless Steel)	
-	10 - 251	Conversion from 60/70/74/95/SO to 60/ED	1
-	10 - 252	60/LR	1
-	10 - 253	60/HR	1
-	10 - 259	Less Allowance for Parts recovered in good condition	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช

ข้อมูลที่สมดุลของระบบน้ำ – เอทานอลที่ความดัน 1 บรรยากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ.1 ข้อมูลที่สมดุลของระบบน้ำ-เอทานอลที่ความดัน 1 บรรยากาศ

เปอร์เซ็นต์โดยโมลของเอทานอล ในวัฏภาคของเหลว	เปอร์เซ็นต์โดยโมลของเอทานอล ในวัฏภาคไอ
0.0000	0.0000
0.0190	0.1700
0.0721	0.3891
0.0966	0.4375
0.1238	0.4704
0.1661	0.5089
0.2337	0.5445
0.2608	0.5580
0.3273	0.5826
0.3965	0.6122
0.5079	0.6564
0.5198	0.6599
0.5732	0.6841
0.6763	0.7385
0.7472	0.7815
0.8943	0.8943

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ.1 ข้อมูลสำหรับกราฟมาตรฐาน

ตารางที่ ซ.1 ผลการทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลของระบบน้ำและเอทานอล

น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	wt% Ethanol	Scale reading				RI
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
4.0000	0.0000	4.0000	0.0000	3.21	3.22	3.22	3.22	1.3318
3.6202	0.4085	4.0287	10.1397	3.88	3.87	3.88	3.88	1.3384
3.2389	0.7788	4.0177	19.3842	4.49	4.50	4.50	4.50	1.3445
2.8040	1.2894	4.0934	31.4995	5.21	5.21	5.20	5.21	1.3515
2.4399	1.6375	4.0774	40.1604	5.59	5.58	5.58	5.58	1.3552
1.9976	2.0510	4.0486	50.6595	5.90	5.89	5.89	5.89	1.3583
1.5903	2.3422	3.9325	59.5601	6.08	6.08	6.08	6.08	1.3602
1.2077	2.7736	3.9813	69.6657	6.19	6.19	6.18	6.19	1.3612
0.8033	3.1653	3.9686	79.7586	6.20	6.21	6.21	6.21	1.3615
0.4071	3.5158	3.9229	89.6225	6.20	6.21	6.21	6.20	1.3594
0.0000	4.0000	4.0000	100.0000	5.90	5.91	5.90	5.90	1.3584

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๗.2 ผลการทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลของระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 กรัม

ปริมาณเกลือ 0.5074 กรัม

ปริมาณน้ำ 49.5024 กรัม

น้ำเกลือ (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	wt% Ethanol	Scale reading				RI
					ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
1.0050	9.0000	0.0000	10.0050	0.0000	3.31	3.31	3.3	3.31	1.3327
1.0042	8.0015	1.0053	10.0110	10.0420	3.89	3.90	3.91	3.90	1.3386
0.1035	79.9017	20.0084	100.0136	20.0057	4.60	4.60	4.60	4.60	1.3455
1.0003	6.0019	3.0014	10.0036	30.0032	5.20	5.20	5.19	5.20	1.3515
0.1011	59.8943	39.9977	99.9931	40.0005	5.67	5.67	5.67	5.67	1.3561
1.0043	3.9966	5.0034	10.0043	50.0125	5.98	5.98	5.98	5.98	1.3592
0.1041	39.9420	60.0120	100.0581	59.9772	6.15	6.16	6.15	6.15	1.3609
1.0021	2.0131	7.0000	10.0152	69.8938	6.26	6.27	6.27	6.27	1.3620
0.1015	19.9075	80.0006	100.0096	79.9929	6.33	6.34	6.33	6.33	1.3626

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ.3 ผลการทดลองสำหรับเส้นกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลของระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.5 กรัม

ปริมาณเกลือ 2.5122 กรัม

ปริมาณน้ำ 47.5199กรัม

น้ำเกลือ (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	wt% Ethanol	Scale reading				RI
					ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
1.0030	9.0034	0.0000	10.0064	0.00	3.34	3.35	3.34	3.34	1.3330
1.0008	8.0000	1.0009	10.0017	10.01	3.97	3.97	3.96	3.97	1.3393
0.5003	79.5035	20.0005	100.0043	20.00	4.67	4.67	4.67	4.67	1.3462
1.0005	6.0052	3.0010	10.0067	29.99	5.37	5.37	5.38	5.35	1.3529
0.5072	59.5238	40.0076	100.0386	39.99	5.68	5.68	5.68	5.68	1.3562
1.0015	4.0107	5.0043	10.0165	49.96	6.01	6.01	6.01	6.01	1.3595
0.5060	39.5205	60.0060	100.0325	59.99	6.16	6.17	6.17	6.17	1.3610
1.0020	2.0022	7.0057	10.0099	69.99	6.31	6.32	6.32	6.32	1.3625
0.5020	19.5079	80.0063	100.0162	79.99	6.32	6.32	6.33	6.32	1.3625

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ผลการทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลของระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 1 กรัม

ปริมาณเกลือ 5.0021 กรัม
ปริมาณน้ำ 45.0034 กรัม

น้ำหนักเกลือ (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	wt% Ethanol	Scale reading				RI
					ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
1.0030	9.0034	0.0000	10.0064	0.0000	3.42	3.42	3.42	3.42	1.3338
1.0008	8.0000	1.0009	10.0017	10.0073	4.06	4.05	4.06	4.06	1.3402
1.0002	79.0147	19.9901	100.0050	19.9891	4.69	4.70	4.70	4.70	1.3465
1.0005	6.0052	3.0010	10.0067	29.9899	5.30	5.31	5.31	5.31	1.3525
1.0051	59.0062	40.0777	100.0890	40.0421	5.79	5.80	5.79	5.79	1.3573
1.0015	4.0107	5.0043	10.0165	49.9606	6.00	5.99	6.00	6.00	1.3594
1.0010	39.0020	59.9966	99.9996	59.9968	6.27	6.28	6.28	6.28	1.3621
1.0020	2.0022	7.0057	10.0099	69.9877	6.33	6.34	6.33	6.33	1.3626
1.0010	19.0028	80.4720	100.4758	80.0909	6.41	6.40	6.40	6.40	1.3633

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลของระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 0.1 กรัม

ปริมาณเกลือ 0.5016 กรัม
ปริมาณน้ำ 45.5007 กรัม

น้ำเกลือ (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	wt% Ethanol	Scale reading				RI
					ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
1.0014	9.0047	0.0000	10.0061	0.0000	3.22	3.22	3.22	3.22	1.3318
1.0020	8.0035	1.0018	10.0073	10.0107	3.82	3.82	3.82	3.82	1.3378
0.1015	79.9072	20.0003	100.0090	19.9985	4.5	4.51	4.51	4.51	1.3447
1.0006	6.0003	3.0004	10.0013	30.0001	5.07	5.06	5.07	5.07	1.3501
0.1021	59.9093	40.0049	100.0163	39.9984	5.46	5.46	5.47	5.46	1.3541
1.0004	4.0017	5.0023	10.0044	50.0010	5.77	5.77	5.76	5.77	1.3571
0.1024	39.9040	60.0205	100.0269	60.0044	5.97	5.97	5.97	5.97	1.3591
1.0012	2.0002	7.0009	10.0023	69.9929	6.06	6.07	6.07	6.07	1.3600
0.1012	19.9037	80.0047	100.0096	79.9970	6.10	6.09	6.09	6.09	1.3602

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ.6 ผลการทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลของระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 0.5 กรัม

ปริมาณแก๊ส 2.5003 กรัม

ปริมาณน้ำ 47.5022 กรัม

น้ำแก๊ส (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	wt% Ethanol	Scale reading				RI
					ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
0.5017	9.5045	0.0000	10.0062	0.0000	3.30	3.30	3.30	3.30	1.3326
0.5018	8.5016	1.0013	10.0047	10.0083	3.91	3.91	3.91	3.91	1.3387
0.5003	79.5031	20.0059	100.0093	20.0040	4.51	4.52	4.52	4.52	1.3447
0.5014	6.5034	3.0039	10.0087	30.0129	5.12	5.12	5.11	5.12	1.3506
0.5001	59.5057	40.0005	100.0063	39.9980	5.48	5.47	5.47	5.47	1.3542
0.5007	4.5035	5.0029	10.0071	49.9935	5.83	5.82	5.82	5.82	1.3576
0.5002	39.5023	60.0033	100.0058	59.9998	5.99	6.00	6.00	6.00	1.3593
0.4999	2.5019	7.0009	10.0027	69.9901	6.12	6.12	6.13	6.12	1.3606
0.5005	19.5045	80.0080	100.0130	79.9976	6.11	6.11	6.10	6.11	1.3594

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๕.7 ผลการทดลองสำหรับกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RI และ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเอทานอลของระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 1 กรัม

ปริมาณเกลือ 5.0002 กรัม
ปริมาณน้ำ 45.0019 กรัม

น้ำเกลือ (กรัม)	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	wt% Ethanol	Scale reading				RI
					ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
1.0261	9.2341	0.0000	10.2602	0.0000	3.37	3.37	3.36	3.37	1.3333
1.0038	8.0042	1.0026	10.0106	10.0154	3.99	3.99	3.99	3.99	1.3395
1.0010	79.0004	20.0000	100.0014	19.9997	4.55	4.54	4.55	4.55	1.3450
1.0001	6.0014	3.0008	10.0023	30.0011	5.17	5.16	5.17	5.17	1.3511
1.0015	59.0005	40.0004	100.0024	39.9994	5.50	5.50	5.50	5.50	1.3544
1.0007	4.0033	5.0037	10.0077	49.9985	5.91	5.91	5.91	5.91	1.3585
1.0010	39.0094	60.0111	100.0215	59.9982	6.05	6.06	6.07	6.06	1.3600
1.0010	2.0150	7.0023	10.0183	69.8951	6.18	6.17	6.17	6.17	1.3611
1.0008	19.0310	80.0017	100.0335	79.9749	6.13	6.14	6.14	6.14	1.3607

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.2 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีความเข้มข้นเกลือต่าง ๆ กันละลายอยู่

น้ำหนักเกลือ	0.1020 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	10.0026 กรัม
น้ำหนักน้ำ	89.9043 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	91.2 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.8 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 10% โดยน้ำหนัก

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI.	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	3.75	1.3371	7.80	7.80	0.0320
ครั้งที่ 2	-	-	-	3.76	1.3372	7.80	7.80	0.0320
ครั้งที่ 3	-	-	-	3.75	1.3371	7.80	7.80	0.0320
เฉลี่ย	-	-	-	3.75	1.3371	7.80	7.80	0.0320
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3003	0.3014	0.6017	4.98	1.3493	26.90	53.70	0.3122
ครั้งที่ 2	0.3078	0.3004	0.6082	4.93	1.3488	26.40	53.45	0.3100
ครั้งที่ 3	0.2994	0.3041	0.6035	4.99	1.3494	27.00	53.58	0.3112
เฉลี่ย	0.3025	0.3020	0.6045	4.97	1.3492	26.77	53.58	0.3111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ 0.1035 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 20.0084 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 79.9017 กรัม
 อุณหภูมิที่ผสมคล 86.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ๙.9 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20 % โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วิญภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	4.51	1.3446	18.50	18.50	0.0816
ครั้งที่ 2	-	-	-	4.52	1.3447	18.70	18.70	0.0826
ครั้งที่ 3	-	-	-	4.51	1.3446	18.50	18.50	0.0816
เฉลี่ย	-	-	-	4.51	1.3447	18.57	18.57	0.0819
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3009	0.3015	0.6024	5.39	1.3533	35.00	69.93	0.4764
ครั้งที่ 2	0.3013	0.3022	0.6035	5.39	1.3533	35.00	69.90	0.4760
ครั้งที่ 3	0.3009	0.3008	0.6017	5.41	1.3535	35.50	71.01	0.4894
เฉลี่ย	0.3010	0.3015	0.6025	5.40	1.3534	35.17	70.28	0.4806

น้ำหนักเกลือ 0.1015 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 20 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 79.9015 กรัม
 อุณหภูมิที่ผสมคล 86.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ๙.10 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วิญภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	4.50	1.3445	18.50	18.50	0.0816
ครั้งที่ 2	-	-	-	4.49	1.3444	18.40	18.40	0.0811
ครั้งที่ 3	-	-	-	4.49	1.3444	18.40	18.40	0.0811
เฉลี่ย	-	-	-	4.49	1.3445	18.43	18.43	0.0812
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.2939	0.3084	0.6023	5.40	1.3534	34.80	67.96	0.4536
ครั้งที่ 2	0.3013	0.3053	0.6066	5.40	1.3534	34.80	69.14	0.4672
ครั้งที่ 3	0.3050	0.3013	0.6063	5.39	1.3533	34.60	69.62	0.4728
เฉลี่ย	0.3001	0.3050	0.6051	5.40	1.3534	34.73	68.91	0.4645

น้ำหนักเกลือ 0.1011 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 39.9977 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 59.8943 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 83.0 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.11 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

ภูมิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	5.50	1.3544	35.50	35.50	0.1772
ครั้งที่ 2	-	-	-	5.53	1.3547	36.00	36.00	0.1804
ครั้งที่ 3	-	-	-	5.52	1.3546	36.00	36.00	0.1804
เฉลี่ย	-	-	-	5.52	1.3546	35.83	35.83	0.1793
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3002	0.3006	0.6008	5.51	1.3545	38.00	75.95	0.5527
ครั้งที่ 2	0.3288	0.3002	0.6029	5.50	1.3544	38.00	76.32	0.5577
ครั้งที่ 3	0.2989	0.3005	0.5994	5.52	1.3546	38.20	76.20	0.5561
เฉลี่ย	0.3093	0.3004	0.6010	5.51	1.3545	38.07	76.15	0.5555

น้ำหนักเกลือ 0.1012 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 40.0001 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 59.904 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 82.6 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.12 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

ภูมิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	5.52	1.3546	36.00	36.00	0.1804
ครั้งที่ 2	-	-	-	5.53	1.3547	36.00	36.00	0.1804
ครั้งที่ 3	-	-	-	5.53	1.3547	36.00	36.00	0.1804
เฉลี่ย	-	-	-	5.53	1.3547	36.00	36.00	0.1804
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.2994	0.3011	0.6005	5.52	1.3546	38.10	75.98	0.5532
ครั้งที่ 2	0.3008	0.3011	0.6019	5.53	1.3547	38.20	76.36	0.5583
ครั้งที่ 3	0.3081	0.3009	0.609	5.52	1.3546	38.10	77.11	0.5687
เฉลี่ย	0.3028	0.3010	0.6038	5.52	1.3547	38.13	76.49	0.5601

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ 0.1040 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 60.0120 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 39.9420 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 80.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.13 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	6.21	1.3614	63.00	63.00	0.3999
ครั้งที่ 2	-	-	-	6.14	1.3607	56.50	56.50	0.3370
ครั้งที่ 3	-	-	-	6.14	1.3607	56.50	56.50	0.3370
เฉลี่ย	-	-	-	6.16	1.3610	58.67	58.67	0.3579
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3082	0.3036	0.6118	5.58	1.3552	41.00	82.62	0.6504
ครั้งที่ 2	0.3015	0.3000	0.6015	5.59	1.3553	41.10	82.41	0.6470
ครั้งที่ 3	0.3025	0.3005	0.6030	5.59	1.3553	41.20	82.67	0.6512
เฉลี่ย	0.3041	0.3014	0.6054	5.59	1.3553	41.10	82.57	0.6495

น้ำหนักเกลือ 0.1038 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 59.9999 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 39.9057 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 80.8 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.14 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3060	0.3004	0.6064	5.20	1.3515	30.00	60.56	0.3753
ครั้งที่ 2	0.3001	0.3012	0.6013	5.21	1.3516	30.50	60.89	0.3786
ครั้งที่ 3	0.3011	0.3009	0.6020	5.21	1.3516	30.50	61.02	0.3799
เฉลี่ย	0.3024	0.3008	0.6032	5.21	1.3515	30.33	60.82	0.3779
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3017	0.3003	0.6020	5.59	1.3553	41.30	82.79	0.6531
ครั้งที่ 2	0.3007	0.3006	0.6013	5.59	1.3553	41.30	82.61	0.6503
ครั้งที่ 3	0.3004	0.3008	0.6012	5.60	1.3554	41.40	82.74	0.6524
เฉลี่ย	0.3009	0.3006	0.6015	5.59	1.3553	41.33	82.72	0.6519

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ 0.1015 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 80.0006 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 19.9075 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 78.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.15 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

ภูมิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3012	0.2994	0.6006	5.60	1.3554	38.00	76.23	0.5565
ครั้งที่ 2	0.2954	0.3034	0.5988	5.58	1.3552	37.50	74.01	0.5270
ครั้งที่ 3	0.3016	0.2990	0.6006	5.60	1.3554	38.00	76.33	0.5579
เฉลี่ย	0.2994	0.3006	0.6000	5.59	1.3553	37.83	75.52	0.5471
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3034	0.3011	0.6045	5.66	1.3560	43.20	86.73	0.7189
ครั้งที่ 2	0.2975	0.3010	0.5985	5.67	1.3559	43.40	86.30	0.7113
ครั้งที่ 3	0.3039	0.3002	0.6041	5.67	1.3559	43.40	87.33	0.7296
เฉลี่ย	0.3016	0.3008	0.6024	5.67	1.3559	43.33	86.79	0.7199

น้ำหนักเกลือ 0.1022 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 80.0008 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 19.9009 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 78.6 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.16 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

ภูมิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3004	0.3004	0.6008	5.59	1.3553	37.50	75.00	0.5400
ครั้งที่ 2	0.2997	0.3001	0.5998	5.58	1.3552	37.50	74.95	0.5393
ครั้งที่ 3	0.3004	0.3008	0.6012	5.58	1.3552	37.50	74.95	0.5393
เฉลี่ย	0.3002	0.3004	0.6006	5.58	1.3552	37.50	74.97	0.5396
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3013	0.3012	0.6025	5.65	1.3559	43.00	86.01	0.7065
ครั้งที่ 2	0.3006	0.3008	0.6014	5.64	1.3558	43.00	85.97	0.7057
ครั้งที่ 3	0.3002	0.3004	0.6006	5.64	1.3558	43.00	85.97	0.7057
เฉลี่ย	0.3007	0.3008	0.6015	5.64	1.3558	43.00	85.99	0.7060

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	0.1018 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	90.0130 กรัม
น้ำหนักน้ำ	9.8999 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	78.4 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.17 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.1 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 90% โดยน้ำหนัก

ภูมิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.2982	0.3028	0.6010	5.59	1.3553	37.90	75.22	0.5430
ครั้งที่ 2	0.3102	0.3050	0.6152	5.60	1.3554	38.00	76.65	0.5622
ครั้งที่ 3	0.3062	0.3000	0.6062	5.60	1.3554	38.00	76.79	0.5641
เฉลี่ย	0.3049	0.3026	0.6075	5.60	1.3554	37.97	76.22	0.5565
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3082	0.3036	0.6118	5.65	1.3559	43.00	86.65	0.7175
ครั้งที่ 2	0.3105	0.3000	0.6105	5.65	1.3559	43.00	87.51	0.7326
ครั้งที่ 3	0.3025	0.3005	0.6030	5.65	1.3559	43.00	86.29	0.7112
เฉลี่ย	0.3071	0.3014	0.6084	5.65	1.3559	43.00	86.81	0.7204

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	0.506 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	10.0060 กรัม
น้ำหนักน้ำ	89.5205 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	90.3 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.18 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 10% โดยน้ำหนัก

ภูมิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	3.82	1.3379	7.30	7.30	0.0299
ครั้งที่ 2	-	-	-	3.80	1.3376	7.20	7.20	0.0295
ครั้งที่ 3	-	-	-	3.80	1.3376	7.20	7.20	0.0295
เฉลี่ย	-	-	-	3.81	1.3377	7.23	7.23	0.0296
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3037	0.3033	0.6070	4.99	1.3494	27.00	54.04	0.3151
ครั้งที่ 2	0.3031	0.3001	0.6032	4.98	1.3493	26.90	54.07	0.3154
ครั้งที่ 3	0.3060	0.3004	0.6064	4.96	1.3491	26.60	53.70	0.3121
เฉลี่ย	0.3043	0.3013	0.6055	4.98	1.3493	26.83	53.93	0.3142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	0.5003 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	20.0005 กรัม
น้ำหนักน้ำ	79.5035 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	86 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.19 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.5 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	4.58	1.3453	18.50	18.50	0.0816
ครั้งที่ 2	-	-	-	4.57	1.3452	18.25	18.25	0.0803
ครั้งที่ 3	-	-	-	4.58	1.3453	18.50	18.50	0.0816
เฉลี่ย	-	-	-	4.58	1.3453	18.42	18.42	0.0812
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3024	0.3001	0.6025	6.18	1.3610	35.30	70.87	0.4877
ครั้งที่ 2	0.3108	0.3001	0.6109	6.22	1.3615	34.00	69.21	0.4680
ครั้งที่ 3	0.3032	0.3018	0.6050	6.21	1.3614	34.00	68.16	0.4558
เฉลี่ย	0.3055	0.3007	0.6061	6.20	1.3613	34.43	69.41	0.4705

น้ำหนักเกลือ	0.5 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	20.0021 กรัม
น้ำหนักน้ำ	79.5028 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	86.8 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.20 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.5 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	4.43	1.3438	16.50	16.50	0.0718
ครั้งที่ 2	-	-	-	4.42	1.3437	16.50	16.50	0.0718
ครั้งที่ 3	-	-	-	4.42	1.3437	16.50	16.50	0.0718
เฉลี่ย	-	-	-	4.42	1.3438	16.50	16.50	0.0718
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3056	0.3011	0.6067	5.31	1.3525	33.00	66.49	0.4371
ครั้งที่ 2	0.3034	0.3014	0.6048	5.32	1.3526	33.20	66.62	0.4385
ครั้งที่ 3	0.3048	0.3000	0.6048	5.31	1.3525	33.00	66.53	0.4375
เฉลี่ย	0.3046	0.3008	0.6054	5.31	1.3526	33.07	66.55	0.4377

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ 0.5072 กรัม

น้ำหนักเอทานอล 40.0076 กรัม

น้ำหนักน้ำ 59.5238 กรัม

อุณหภูมิที่สมดุล 82.2 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.21 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.5 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	5.58	1.3552	35.80	35.80	0.1791
ครั้งที่ 2	-	-	-	5.60	1.3554	37.00	37.00	0.1869
ครั้งที่ 3	-	-	-	5.60	1.3554	37.00	37.00	0.1869
เฉลี่ย	-	-	-	5.59	1.3553	36.60	36.60	0.1843
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.2973	0.3020	0.5993	5.50	1.3544	38.00	75.41	0.5454
ครั้งที่ 2	0.3013	0.3009	0.6022	5.50	1.3544	38.25	76.55	0.5609
ครั้งที่ 3	0.2969	0.3064	0.6033	5.52	1.3546	38.00	74.82	0.5376
เฉลี่ย	0.2985	0.3031	0.6016	5.51	1.3545	38.08	75.59	0.5480

น้ำหนักเกลือ 0.5011 กรัม

น้ำหนักเอทานอล 40.009 กรัม

น้ำหนักน้ำ 59.5114 กรัม

อุณหภูมิที่สมดุล 82.7 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.22 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.5 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.2993	0.3003	0.5996	4.53	1.3448	17.50	34.94	0.1737
ครั้งที่ 2	0.3005	0.3000	0.6005	4.50	1.3445	17.20	34.43	0.1704
ครั้งที่ 3	0.3030	0.3017	0.6047	4.52	1.3447	17.50	35.08	0.1745
เฉลี่ย	0.3009	0.3007	0.6016	4.52	1.3447	17.40	34.82	0.1729
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.2987	0.3044	0.6031	5.52	1.3546	38.20	75.68	0.5491
ครั้งที่ 2	0.2999	0.3018	0.6017	5.52	1.3546	38.20	76.16	0.5556
ครั้งที่ 3	0.3010	0.3009	0.6019	5.51	1.3545	38.20	76.41	0.5590
เฉลี่ย	0.2999	0.3024	0.6022	5.52	1.3546	38.20	76.09	0.5546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	0.5060 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	60.0060 กรัม
น้ำหนักน้ำ	39.5205 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	80.3 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.23 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.5 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3040	0.3038	0.6078	5.18	1.3513	27.00	54.02	0.3149
ครั้งที่ 2	0.3033	0.3018	0.6051	5.17	1.3512	26.90	53.93	0.3142
ครั้งที่ 3	0.3017	0.3010	0.6027	5.17	1.3512	26.90	53.86	0.3136
เฉลี่ย	0.3030	0.3022	0.6052	5.17	1.3512	26.93	53.94	0.3142
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3011	0.3010	0.6021	5.61	1.3555	41.00	82.01	0.6408
ครั้งที่ 2	0.3013	0.3009	0.6022	5.60	1.3554	40.50	81.05	0.6260
ครั้งที่ 3	0.2993	0.3003	0.5996	5.60	1.3554	40.50	80.87	0.6232
เฉลี่ย	0.3006	0.3007	0.6013	5.60	1.3554	40.67	81.31	0.6300

น้ำหนักเกลือ	0.5005 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	59.99 กรัม
น้ำหนักน้ำ	39.5119 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	80.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.24 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.5 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3020	0.2999	0.6019	5.12	1.3507	26.00	52.18	0.2992
ครั้งที่ 2	0.3030	0.3007	0.6037	5.18	1.3513	27.00	54.21	0.3166
ครั้งที่ 3	0.3001	0.3008	0.6009	5.17	1.3512	27.90	55.74	0.3301
เฉลี่ย	0.3017	0.3005	0.6022	5.16	1.3510	26.97	54.04	0.3153
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3035	0.3013	0.6048	5.61	1.3555	41.00	82.30	0.6453
ครั้งที่ 2	0.2998	0.3009	0.6007	5.62	1.3556	41.00	81.85	0.6383
ครั้งที่ 3	0.3081	0.3001	0.6082	5.61	1.3555	41.00	83.09	0.6579
เฉลี่ย	0.3038	0.3008	0.6046	5.61	1.3555	41.00	82.41	0.6472

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ 0.5020 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 80.0063 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 19.5079 กรัม
 อุณหภูมิที่ผสมคล 78.8 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ช.25 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.5 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วิญภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3088	0.3008	0.6096	5.62	1.3556	38.50	78.02	0.5815
ครั้งที่ 2	0.3086	0.3000	0.6086	5.60	1.3554	37.00	75.06	0.5408
ครั้งที่ 3	0.2972	0.3030	0.6002	5.61	1.3555	37.50	74.28	0.5306
เฉลี่ย	0.3049	0.3013	0.6061	5.61	1.3555	37.67	75.79	0.5509
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.2990	0.3025	0.6015	5.69	1.3563	42.50	84.51	0.6810
ครั้งที่ 2	0.2988	0.3031	0.6019	5.70	1.3564	43.50	86.38	0.7128
ครั้งที่ 3	0.3021	0.2997	0.6018	5.70	1.3564	43.50	87.35	0.7298
เฉลี่ย	0.3000	0.3018	0.6017	5.70	1.3564	43.17	86.08	0.7079

น้ำหนักเกลือ 0.501 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 80.0011 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 19.5071 กรัม
 อุณหภูมิที่ผสมคล 79 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ช.26 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 0.5 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วิญภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3021	0.3002	0.6023	5.62	1.3556	38.50	77.24	0.5705
ครั้งที่ 2	0.3001	0.3001	0.6002	5.63	1.3557	39.00	78.00	0.5811
ครั้งที่ 3	0.3013	0.3000	0.6013	5.64	1.3558	40.00	80.17	0.6128
เฉลี่ย	0.3012	0.3001	0.6013	5.63	1.3557	39.17	78.47	0.5881
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3006	0.3034	0.6040	5.72	1.3566	44.00	87.59	0.7342
ครั้งที่ 2	0.3005	0.3027	0.6032	5.72	1.3566	44.00	87.68	0.7358
ครั้งที่ 3	0.3032	0.3011	0.6043	5.73	1.3567	44.00	88.31	0.7472
เฉลี่ย	0.3014	0.3024	0.6038	5.72	1.3566	44.00	87.86	0.7391

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับโครงการวิจัยในพีดีเอกศกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำประโยชน์อื่นนอกเหนือจากการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	1.0011 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	10.0021 กรัม
น้ำหนักน้ำ	89.0022 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	91.0 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ๕.27 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 1 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 10% โดยน้ำหนัก

ภูมิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	3.90	1.3386	7.10	7.10	0.0290
ครั้งที่ 2	-	-	-	3.90	1.3386	7.10	7.10	0.0290
ครั้งที่ 3	-	-	-	3.91	1.3387	7.20	7.20	0.0295
เฉลี่ย				3.90	1.3386	7.13	7.13	0.0292
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3015	0.2992	0.6010	4.98	1.3493	26.90	54.03	0.3151
ครั้งที่ 2	0.3003	0.3017	0.6026	4.98	1.3493	26.90	53.73	0.3124
ครั้งที่ 3	0.3010	0.2995	0.6011	4.98	1.3493	26.90	53.99	0.3147
เฉลี่ย	0.3009	0.3001	0.6016	4.98	1.3493	26.90	53.92	0.3140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ 1.0002 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 19.9901 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 79.0147 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 86.4 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.28 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 1 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วิภภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	4.52	1.3447	17.50	17.50	0.0766
ครั้งที่ 2	-	-	-	4.50	1.3445	17.00	17.00	0.0742
ครั้งที่ 3	-	-	-	4.52	1.3447	17.50	17.50	0.0766
ครั้งที่ 4	-	-	-	4.52	1.3447	17.50	17.50	0.0766
เจลีย์				4.52	1.3447	17.38	17.38	0.0760
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3015	0.3002	0.6017	5.40	1.3534	35.00	70.15	0.4791
ครั้งที่ 2	0.3003	0.3003	0.6006	5.40	1.3534	35.00	70.00	0.4773
ครั้งที่ 3	0.3010	0.3006	0.6016	5.39	1.3533	34.80	69.65	0.4731
เจลีย์	0.3009	0.3004	0.6013	5.40	1.0151	34.93	69.93	0.4765

น้ำหนักเกลือ 1.0025 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 20.0702 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 79.0093 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 86.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.29 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 1 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วิภภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	4.71	1.3466	20.50	20.50	0.0917
ครั้งที่ 2	-	-	-	4.69	1.3464	20.00	20.00	0.0891
ครั้งที่ 3	-	-	-	4.69	1.3464	20.00	20.00	0.0891
เจลีย์	-	-	-	4.70	1.3465	20.17	20.17	0.0900
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3010	0.3003	0.6013	5.41	1.3532	35.50	71.08	0.4903
ครั้งที่ 2	0.3007	0.3005	0.6012	5.40	1.3534	35.00	70.02	0.4775
ครั้งที่ 3	0.3020	0.3002	0.6022	5.39	1.3533	34.80	69.81	0.4750
เจลีย์	0.3012	0.3003	0.6016	5.40	1.3533	35.10	70.30	0.4809

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่งานวิจัยหรืองานโครงการของภาควิชาวิศวกรรมเคมี วิทยาลัยเทคโนโลยีพระยาภิรมย์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุดรธานี ไม่สามารถนำออกเผยแพร่ได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	1.0051 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	40.0777 กรัม
น้ำหนักน้ำ	59.0062 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	82 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.30 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 1 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	5.67	1.3561	36.50	36.50	0.1836
ครั้งที่ 2	-	-	-	5.68	1.3562	36.50	36.50	0.1836
ครั้งที่ 3	-	-	-	5.68	1.3562	36.50	36.50	0.1836
เฉลี่ย	-	-	-	5.68	1.3562	36.50	36.50	0.1836
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.5129	0.5055	1.0184	5.58	1.3552	40.00	80.59	0.6189
ครั้งที่ 2	0.4960	0.5047	1.0007	5.58	1.3552	40.00	79.31	0.6000
ครั้งที่ 3	0.5010	0.5078	1.0088	5.59	1.3553	40.00	79.46	0.6023
เฉลี่ย	0.5033	0.5060	1.0093	5.58	1.3552	40.00	79.79	0.6071

น้ำหนักเกลือ	1.0030 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	40.0112 กรัม
น้ำหนักน้ำ	59.0215 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	82.0 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.31 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 1 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	5.68	1.3562	36.50	36.50	0.1836
ครั้งที่ 2	-	-	-	5.70	1.3564	37.00	37.00	0.1869
ครั้งที่ 3	-	-	-	5.70	1.3564	37.00	37.00	0.1869
เฉลี่ย				5.69	1.3563	36.83	36.83	0.1858
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3088	0.3056	0.6144	5.60	1.3554	40.50	81.42	0.6317
ครั้งที่ 2	0.3040	0.3010	0.6050	5.59	1.3553	40.00	80.40	0.6161
ครั้งที่ 3	0.2940	0.3064	0.6004	5.60	1.3554	40.50	79.36	0.6007
เฉลี่ย	0.3023	0.3043	0.6066	5.60	1.3554	40.33	80.39	0.6162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ 1.0010 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 59.9966 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 39.0020 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 80.0 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ช.32 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 1 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3012	0.3003	0.6015	5.30	1.3524	29.50	59.09	0.3611
ครั้งที่ 2	0.3007	0.3014	0.6021	5.29	1.3523	29.50	58.93	0.3596
ครั้งที่ 3	0.3015	0.3010	0.6025	5.30	1.3524	29.50	59.05	0.3607
เฉลี่ย	0.3011	0.3009	0.6020	5.30	1.3524	29.50	59.02	0.3605
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.5123	0.5061	1.0184	5.61	1.3555	41.00	82.50	0.6485
ครั้งที่ 2	0.4990	0.5150	1.0140	5.67	1.3561	42.00	82.70	0.6516
ครั้งที่ 3	0.4989	0.5122	1.0111	5.68	1.3562	42.50	83.90	0.6709
เฉลี่ย	0.5034	0.5111	1.0145	5.65	1.3559	41.83	83.03	0.6570

น้ำหนักเกลือ 1.0014 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 60.0050 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 39.0015 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 80.1 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ช.33 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 1 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.2998	0.3032	0.6030	5.29	1.3524	29.50	58.67	0.3571
ครั้งที่ 2	0.3013	0.3018	0.6031	5.27	1.3522	29.00	57.95	0.3504
ครั้งที่ 3	0.2995	0.3005	0.6000	5.28	1.3523	29.00	57.90	0.3499
เฉลี่ย	0.3002	0.3018	0.6020	5.28	1.3523	29.17	58.17	0.3525
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.2973	0.3032	0.6005	5.68	1.3562	42.50	84.17	0.6754
ครั้งที่ 2	0.2993	0.3010	0.6003	5.67	1.3561	42.00	83.76	0.6687
ครั้งที่ 3	0.3013	0.3000	0.6013	5.67	1.3561	42.00	84.18	0.6756
เฉลี่ย	0.2993	0.3014	0.6007	5.67	1.3561	42.17	84.04	0.6732

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ 1.0010 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 80.4720 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 19.0028 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 79.0 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.34 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 1 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.4968	0.5199	1.0167	5.70	1.3564	37.25	72.84	0.5121
ครั้งที่ 2	0.5019	0.5200	1.0219	5.71	1.3565	37.50	73.69	0.5230
ครั้งที่ 3	0.5085	0.5205	1.0290	5.71	1.3565	37.50	74.14	0.5287
เฉลี่ย	0.5024	0.5201	1.0225	5.71	1.3565	37.42	73.56	0.5212
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.5059	0.5028	1.0087	5.71	1.3565	43.75	87.77	0.7374
ครั้งที่ 2	0.4903	0.5037	0.9940	5.75	1.3569	45.00	88.80	0.7563
ครั้งที่ 3	0.5090	0.5058	1.0148	5.73	1.3567	44.50	89.28	0.7652
เฉลี่ย	0.5017	0.5041	1.0058	5.73	1.3567	44.42	88.62	0.7530

น้ำหนักเกลือ 1.0061 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 80.0512 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 19.0160 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 78.7 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.35 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 1 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3038	0.3020	0.6058	5.65	1.3559	36.50	73.22	0.5168
ครั้งที่ 2	0.3030	0.3006	0.6036	5.66	1.3560	36.75	73.79	0.5242
ครั้งที่ 3	0.3067	0.3030	0.6097	5.64	1.3558	36.25	72.94	0.5134
เฉลี่ย	0.3045	0.3019	0.6064	5.65	1.3559	36.50	73.32	0.5181
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3001	0.3014	0.6015	5.70	1.3564	43.50	86.81	0.7204
ครั้งที่ 2	0.3031	0.3001	0.6032	5.70	1.3564	43.50	87.43	0.7314
ครั้งที่ 3	0.3027	0.3010	0.6037	5.69	1.3563	42.50	85.24	0.6932
เฉลี่ย	0.3020	0.3008	0.6028	5.70	1.3564	43.17	86.50	0.7150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	0.1049 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	10.0078 กรัม
น้ำหนักน้ำ	89.9089 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	91.3 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.36 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 0.1 กรัม ความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น 10 % โดยน้ำหนัก

วิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	3.72	1.3368	7.80	7.80	0.03
ครั้งที่ 2	-	-	-	3.73	1.3369	7.90	7.90	0.03
ครั้งที่ 3	-	-	-	3.72	1.3368	7.80	7.80	0.03
เจลลี่	-	-	-	3.72	1.3368	7.83	7.83	0.03
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.2999	0.3020	0.6019	4.91	1.3486	26.00	51.82	0.30
ครั้งที่ 2	0.3067	0.3019	0.6086	4.90	1.3485	26.00	52.41	0.30
ครั้งที่ 3	0.2998	0.2995	0.5993	4.91	1.3486	26.00	52.03	0.30
เจลลี่	0.3021	0.3011	0.6033	4.91	1.3486	26.00	52.09	0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ 0.1015 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 20.0003 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 79.9072 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 86.8 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.37 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 0.1 กรัม
 ความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	4.40	1.3435	19.00	19.00	0.08
ครั้งที่ 2	-	-	-	4.39	1.3434	18.90	18.90	0.08
ครั้งที่ 3	-	-	-	4.41	1.3436	19.10	19.10	0.08
เฉลี่ย	-	-	-	4.40	1.3435	19.00	19.00	0.08
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3054	0.3005	0.6059	5.31	1.3525	33.70	67.95	0.45
ครั้งที่ 2	0.2994	0.3007	0.6001	5.30	1.3524	33.50	66.86	0.44
ครั้งที่ 3	0.3003	0.3006	0.6009	5.29	1.3523	33.30	66.57	0.44
เฉลี่ย	0.3017	0.3006	0.6023	5.30	1.3524	33.50	67.12	0.44

น้ำหนักเกลือ 0.1041 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 20.0044 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 79.9004 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 86.9 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.38 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 0.1 กรัม
 ความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	4.50	1.3445	20.00	20.00	0.0891
ครั้งที่ 2	-	-	-	4.50	1.3445	20.00	20.00	0.0891
ครั้งที่ 3	-	-	-	4.49	1.3444	19.90	19.90	0.0886
เฉลี่ย	-	-	-	4.50	1.3445	19.97	19.97	0.0889
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3003	0.3007	0.6010	5.40	1.3534	35.30	70.55	0.4839
ครั้งที่ 2	0.3006	0.2992	0.5998	5.39	1.3533	35.20	70.56	0.4840
ครั้งที่ 3	0.3060	0.2994	0.6054	5.39	1.3533	35.20	71.18	0.4914
เฉลี่ย	0.3023	0.2998	0.6021	5.39	1.3534	35.23	70.76	0.4864

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	0.1021 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	40.0049 กรัม
น้ำหนักน้ำ	59.9093 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	83.1 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.39 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 0.1 กรัม
ความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น 40 % โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

ภูมิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.2991	0.3020	0.6011	4.50	1.3445	20.00	39.81	0.2056
ครั้งที่ 2	0.2998	0.3014	0.6012	4.49	1.3444	19.90	39.69	0.2048
ครั้งที่ 3	0.2982	0.3019	0.6001	4.49	1.3444	19.90	39.56	0.2039
เฉลี่ย	0.2990	0.3018	0.6008	4.49	1.3445	19.93	39.69	0.2048
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3019	0.3000	0.6019	5.43	1.3537	36.80	73.83	0.5247
ครั้งที่ 2	0.3013	0.3006	0.6019	5.44	1.3538	37.00	74.09	0.5280
ครั้งที่ 3	0.2995	0.3006	0.6001	5.44	1.3538	37.00	73.86	0.5251
เฉลี่ย	0.3009	0.3004	0.6013	5.44	1.3538	36.93	73.93	0.5260

น้ำหนักเกลือ	0.1015 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	40.0014 กรัม
น้ำหนักน้ำ	59.9056 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	82.6 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.40 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 0.1 กรัม
ความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

ภูมิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3105	0.3020	0.6125	4.49	1.3444	20.00	40.56	0.21
ครั้งที่ 2	0.3159	0.3035	0.6194	4.50	1.3445	20.10	41.02	0.21
ครั้งที่ 3	0.3205	0.2998	0.6203	4.48	1.3443	19.90	41.17	0.21
เฉลี่ย	0.3156	0.3018	0.6174	4.49	1.3444	20.00	40.92	0.21
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3005	0.3000	0.6005	5.40	1.3534	35.30	70.66	0.49
ครั้งที่ 2	0.2997	0.3020	0.6017	5.39	1.3533	35.20	70.13	0.48
ครั้งที่ 3	0.3006	0.3007	0.6013	5.39	1.3533	35.20	70.39	0.48
เฉลี่ย	0.3003	0.3009	0.6012	5.39	1.3534	35.23	70.39	0.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัทฯ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	0.1040 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	60.0205 กรัม
น้ำหนักน้ำ	39.9040 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	80.7 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.41 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 0.1 กรัม ความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.2988	0.3023	0.6011	5.08	1.3503	32.00	63.63	0.4064
ครั้งที่ 2	0.3004	0.3011	0.6015	5.08	1.3503	32.00	63.93	0.4095
ครั้งที่ 3	0.3021	0.3003	0.6024	5.08	1.3503	32.00	64.19	0.4123
เฉลี่ย	0.3004	0.3012	0.6017	5.08	1.3503	32.00	63.92	0.4094
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.2994	0.3000	0.6001	5.48	1.3542	37.80	75.44	0.5458
ครั้งที่ 2	0.3012	0.3023	0.6012	5.48	1.3542	37.80	75.75	0.5500
ครั้งที่ 3	0.3000	0.3010	0.6023	5.48	1.3542	37.80	75.31	0.5442
เฉลี่ย	0.3002	0.3007	0.6012	5.48	1.3542	37.80	75.50	0.5467

น้ำหนักเกลือ	0.1005 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	60.0002 กรัม
น้ำหนักน้ำ	39.9154 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	80.8 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.42 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 0.1 กรัม ความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3021	0.3004	0.6025	4.92	1.3487	27.20	54.55	0.32
ครั้งที่ 2	0.3007	0.3001	0.6008	4.92	1.3487	27.20	54.45	0.32
ครั้งที่ 3	0.3008	0.3008	0.6016	4.92	1.3487	27.20	54.40	0.32
เฉลี่ย	0.3012	0.3004	0.6016	4.92	1.3487	27.20	54.47	0.32
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3099	0.3019	0.6118	5.50	1.3544	37.80	76.60	0.56
ครั้งที่ 2	0.3059	0.3007	0.6066	5.49	1.3543	37.70	76.05	0.55
ครั้งที่ 3	0.3015	0.3019	0.6034	5.49	1.3543	37.70	75.35	0.54
เฉลี่ย	0.3058	0.3015	0.6073	5.49	1.3544	37.73	76.00	0.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	0.1015 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	80.0006 กรัม
น้ำหนักน้ำ	9.9075 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	78.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.43 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 0.1 กรัม
ความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

ภูมิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3052	0.3009	0.6061	5.43	1.3537	39.70	79.97	0.61
ครั้งที่ 2	0.2994	0.3002	0.5996	5.44	1.3538	39.90	79.69	0.61
ครั้งที่ 3	0.3016	0.3004	0.6020	5.43	1.3537	39.70	79.56	0.60
เฉลี่ย	0.3021	0.3005	0.6026	5.43	1.3538	39.77	79.74	0.61
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3009	0.3011	0.6020	5.67	1.3561	42.80	85.57	0.70
ครั้งที่ 2	0.2993	0.3022	0.6015	5.66	1.3560	42.50	84.59	0.68
ครั้งที่ 3	0.2985	0.3017	0.6002	5.66	1.3560	42.50	84.55	0.68
เฉลี่ย	0.2996	0.3017	0.6012	5.66	1.3560	42.60	84.90	0.69

น้ำหนักเกลือ	0.1012 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	80.0008 กรัม
น้ำหนักน้ำ	19.9032 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	79.0 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.44 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 0.1 กรัม
ความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

ภูมิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3010	0.3009	0.6019	5.32	1.3526	36.00	72.01	0.50
ครั้งที่ 2	0.3026	0.3008	0.6034	5.34	1.3528	36.20	72.62	0.51
ครั้งที่ 3	0.3030	0.3002	0.6032	5.34	1.3528	36.20	72.74	0.51
เฉลี่ย	0.3022	0.3006	0.6028	5.33	1.3528	36.13	72.46	0.51
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3005	0.3011	0.6016	5.55	1.3549	38.00	75.92	0.55
ครั้งที่ 2	0.3007	0.3004	0.6011	5.53	1.3547	37.50	75.04	0.54
ครั้งที่ 3	0.3014	0.3014	0.6028	5.53	1.3547	37.50	75.00	0.54
เฉลี่ย	0.3009	0.3010	0.6018	5.54	1.3548	37.67	75.32	0.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	0.1000 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	90.0029 กรัม
น้ำหนักน้ำ	9.9004 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	78.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.45 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลคอลเลตละลายอยู่ 0.1 กรัม
ความเข้มข้นของเอทานอลเริ่มต้น 90% โดยน้ำหนัก

ภูมิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยมวล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3023	0.3003	0.6026	5.60	1.3554	44.00	88.29	0.75
ครั้งที่ 2	0.3024	0.3005	0.6029	5.60	1.3554	44.00	88.28	0.75
ครั้งที่ 3	0.2998	0.3002	0.6000	5.61	1.3555	44.20	88.34	0.75
เฉลี่ย	0.3015	0.3003	0.6018	5.60	1.3555	44.07	88.30	0.75
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3082	0.2992	0.6074	5.60	1.3554	40.00	81.20	0.63
ครั้งที่ 2	0.3027	0.3005	0.6032	5.62	1.3556	40.40	81.10	0.63
ครั้งที่ 3	0.3001	0.2995	0.5996	5.64	1.3558	40.60	81.28	0.63
เฉลี่ย	0.3037	0.2997	0.6034	5.62	1.3556	40.33	81.19	0.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	0.4998 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	10.0061 กรัม
น้ำหนักน้ำ	89.5059 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	89.7 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ๔.46 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 0.5 กรัม ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 10% โดยน้ำหนัก

ภูมิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	3.81	1.3377	8.00	8.00	0.0329
ครั้งที่ 2	-	-	-	3.80	1.3376	8.00	8.00	0.0329
ครั้งที่ 3	-	-	-	3.80	1.3376	8.00	8.00	0.0329
เจลลี่	-	-	-	3.80	1.3376	8.00	8.00	0.0329
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3008	0.3023	0.6031	4.91	1.3486	26.00	51.87	0.2966
ครั้งที่ 2	0.3058	0.3046	0.6104	4.92	1.3487	26.10	52.30	0.3003
ครั้งที่ 3	0.3003	0.2999	0.6002	4.93	1.3488	26.20	52.43	0.3014
เจลลี่	0.3023	0.3023	0.6046	4.92	1.3487	26.10	52.20	0.2994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	0.5003 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	20.0059 กรัม
น้ำหนักน้ำ	79.5031 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	86.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.47 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 0.5 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3015	0.3016	0.6031	3.85	1.3381	9.00	18.00	0.0791
ครั้งที่ 2	0.3013	0.3022	0.6035	3.86	1.3382	8.90	17.77	0.0780
ครั้งที่ 3	0.2991	0.3017	0.6008	3.85	1.3381	9.00	17.92	0.0787
เฉลี่ย	0.3006	0.3018	0.6025	3.85	1.3381	8.97	17.90	0.0786
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.2975	0.3026	0.6001	5.30	1.3524	33.50	66.44	0.4365
ครั้งที่ 2	0.3011	0.3016	0.6027	5.29	1.3524	33.40	66.74	0.4399
ครั้งที่ 3	0.2998	0.3004	0.6002	5.29	1.3524	33.40	66.73	0.4397
เฉลี่ย	0.2995	0.3015	0.6010	5.29	1.3524	33.43	66.64	0.4387

น้ำหนักเกลือ	0.5010 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	20.0003 กรัม
น้ำหนักน้ำ	79.5044 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	86.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.48 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 0.5 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3010	0.3018	0.6028	3.81	1.3377	8.20	16.38	0.0712
ครั้งที่ 2	0.3000	0.3018	0.6018	3.80	1.3376	8.10	16.15	0.0701
ครั้งที่ 3	0.3025	0.3023	0.6048	3.80	1.3376	8.10	16.21	0.0704
เฉลี่ย	0.3012	0.3020	0.6031	3.80	1.3376	8.13	16.25	0.0705
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3011	0.3006	0.6017	5.21	1.3516	31.80	63.65	0.4066
ครั้งที่ 2	0.3002	0.3011	0.6013	5.20	1.3515	31.70	63.31	0.4030
ครั้งที่ 3	0.3011	0.3009	0.6020	5.21	1.3516	31.80	63.62	0.4063
เฉลี่ย	0.3008	0.3009	0.6017	5.21	1.3515	31.77	63.53	0.4053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ 0.5001 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 40.0005 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 59.5057 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 82.4 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.49 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 0.5 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3028	0.3007	0.6035	4.44	1.3439	18.70	37.53	0.1903
ครั้งที่ 2	0.3012	0.3017	0.6029	4.44	1.3439	18.70	37.37	0.1893
ครั้งที่ 3	0.3029	0.3007	0.6036	4.44	1.3439	18.70	37.54	0.1904
เฉลี่ย	0.3023	0.3010	0.6033	4.44	1.3439	18.70	37.48	0.1900
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3021	0.3014	0.6035	5.35	1.3529	34.30	68.68	0.4618
ครั้งที่ 2	0.3001	0.3003	0.6004	5.35	1.3529	34.30	68.58	0.4606
ครั้งที่ 3	0.3019	0.3010	0.6029	5.34	1.3529	34.20	68.50	0.4598
เฉลี่ย	0.3014	0.3009	0.6023	5.35	1.3529	34.27	68.59	0.4607

น้ำหนักเกลือ 0.5015 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 40.0078 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 59.5002 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 82.0 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.50 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 0.5 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3011	0.3006	0.6017	4.51	1.3455	20.00	40.03	0.2071
ครั้งที่ 2	0.3002	0.3011	0.6013	4.50	1.3445	19.90	39.74	0.2051
ครั้งที่ 3	0.3011	0.3009	0.6020	4.50	1.3445	19.90	39.81	0.2056
เฉลี่ย	0.3008	0.3009	0.6017	4.50	1.3448	19.93	39.86	0.2060
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3032	0.3000	0.6032	5.40	1.3534	35.50	71.38	0.4939
ครั้งที่ 2	0.3034	0.3002	0.6036	5.41	1.3535	35.70	71.78	0.4988
ครั้งที่ 3	0.3015	0.3000	0.6015	5.40	1.3534	35.50	71.18	0.4914
เฉลี่ย	0.3027	0.3001	0.6028	5.40	1.3535	35.57	71.45	0.4947

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ 0.5040 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 60.0205 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 39.5040 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 80.7 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.51 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 0.5 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วิภภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.2996	0.3017	0.6013	4.98	1.3493	27.70	55.21	0.3254
ครั้งที่ 2	0.3028	0.3006	0.6034	4.97	1.3492	27.50	55.20	0.3253
ครั้งที่ 3	0.3018	0.3004	0.6022	4.97	1.3492	27.50	55.13	0.3247
เฉลี่ย	0.3014	0.3009	0.6023	4.97	1.3492	27.57	55.18	0.3251
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3033	0.3002	0.6035	5.39	1.3533	35.60	71.57	0.4962
ครั้งที่ 2	0.2999	0.3005	0.6004	5.39	1.3533	35.60	71.13	0.4908
ครั้งที่ 3	0.3024	0.3005	0.6029	5.39	1.3533	35.60	71.43	0.4945
เฉลี่ย	0.3019	0.3004	0.6023	5.39	1.3533	35.60	71.37	0.4938

น้ำหนักเกลือ 0.5024 กรัม
 น้ำหนักเอทานอล 60.0205 กรัม
 น้ำหนักน้ำ 39.5040 กรัม
 อุณหภูมิที่สมดุล 80.7 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.52 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 0.5 กรัม
 ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วิภภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3001	0.3021	0.6022	4.96	1.3491	27.30	54.42	0.3184
ครั้งที่ 2	0.3027	0.3011	0.6038	4.96	1.3491	27.30	54.75	0.3213
ครั้งที่ 3	0.3017	0.3003	0.602	4.97	1.3492	27.50	55.13	0.3247
เฉลี่ย	0.3015	0.3012	0.6027	4.96	1.3491	27.37	54.76	0.3215
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3013	0.3001	0.6014	5.37	1.3531	35.20	70.54	0.4837
ครั้งที่ 2	0.3017	0.3019	0.6036	5.38	1.3532	35.40	70.78	0.4866
ครั้งที่ 3	0.2984	0.3017	0.6001	5.38	1.3532	35.40	70.41	0.4822
เฉลี่ย	0.3005	0.3012	0.6017	5.38	1.3532	35.33	70.58	0.4842

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	0.5021 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	80.0017 กรัม
น้ำหนักน้ำ	19.5023 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	78.6 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.53 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 0.5 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3005	0.3015	0.6020	5.41	1.3535	37.50	74.88	0.5384
ครั้งที่ 2	0.3000	0.3009	0.6009	5.42	1.3536	37.70	75.29	0.5438
ครั้งที่ 3	0.3009	0.3018	0.6027	5.42	1.3536	37.70	75.29	0.5438
เฉลี่ย	0.3005	0.3014	0.6019	5.42	1.3536	37.63	75.15	0.5420
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3035	0.3021	0.6056	5.52	1.3546	38.70	77.58	0.5752
ครั้งที่ 2	0.2997	0.3020	0.6017	5.52	1.3546	38.70	77.11	0.5686
ครั้งที่ 3	0.3012	0.3014	0.6026	5.52	1.3546	38.70	77.37	0.5723
เฉลี่ย	0.3015	0.3018	0.6033	5.52	1.3546	38.70	77.35	0.5720

น้ำหนักเกลือ	0.5003 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	80.0011 กรัม
น้ำหนักน้ำ	19.5049 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	78.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.54 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 0.5 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 80% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	%wt จากกราฟ	% wt จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3036	0.3011	0.6047	5.40	1.3534	37.20	74.71	0.5362
ครั้งที่ 2	0.3026	0.3029	0.6055	5.40	1.3534	37.20	74.36	0.5316
ครั้งที่ 3	0.2999	0.3007	0.6006	5.41	1.3535	37.50	74.90	0.5387
เฉลี่ย	0.3020	0.3016	0.6036	5.40	1.3535	37.30	74.66	0.5355
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3029	0.3002	0.6031	5.51	1.3545	38.50	77.35	0.5719
ครั้งที่ 2	0.3007	0.3012	0.6019	5.51	1.3545	38.50	76.94	0.5662
ครั้งที่ 3	0.3012	0.3001	0.6013	5.52	1.3546	38.70	77.54	0.5747
เฉลี่ย	0.3016	0.3005	0.6021	5.51	1.3546	38.57	77.27	0.5709

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	1.0009 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	10.0092 กรัม
น้ำหนักน้ำ	89.0077 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	90.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.55 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 1 กรัม
ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 10% โดยน้ำหนัก

วิภาคว	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	3.97	1.3393	10.30	10.30	0.0430
ครั้งที่ 2	-	-	-	3.96	1.3392	10.20	10.20	0.0426
ครั้งที่ 3	-	-	-	3.95	1.3391	10.10	10.10	0.0421
เฉลี่ย	-	-	-	3.96	1.3392	10.20	10.20	0.0426
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3047	0.3033	0.6080	5.00	1.3495	27.50	55.13	0.3247
ครั้งที่ 2	0.3017	0.3001	0.6018	4.99	1.3494	27.40	54.95	0.3231
ครั้งที่ 3	0.3009	0.3018	0.6027	5.00	1.3495	27.50	54.92	0.3228
เฉลี่ย	0.3024	0.3017	0.6042	5.00	1.3495	27.47	55.00	0.3235

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	1.0010 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	20.0000 กรัม
น้ำหนักน้ำ	79.5004 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	86.6 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.56 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 1 กรัม

ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

ภูมิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3004	0.3009	0.6013	3.8	1.3376	7.00	13.99	0.0598
ครั้งที่ 2	0.3018	0.3005	0.6023	3.8	1.3375	7.00	14.03	0.0600
ครั้งที่ 3	0.2999	0.3002	0.6001	3.8	1.3375	7.00	13.99	0.0599
เฉลี่ย	0.3007	0.3005	0.6012	3.8	1.3375	7.00	14.00	0.0599
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3011	0.3010	0.6021	5.2	1.3510	30.00	60.01	0.3700
ครั้งที่ 2	0.2997	0.3015	0.6012	5.2	1.3510	30.00	59.82	0.3681
ครั้งที่ 3	0.3008	0.3013	0.6021	5.2	1.3510	30.00	59.95	0.3694
เฉลี่ย	0.3005	0.3013	0.6018	5.2	1.3510	30.00	59.93	0.3692

น้ำหนักเกลือ	1.0010 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	20.0061 กรัม
น้ำหนักน้ำ	79.5010 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	86.1 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.57 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 1 กรัม

ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 20% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

ภูมิภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	-	-	-	4.50	1.3445	18.50	18.50	0.0816
ครั้งที่ 2	-	-	-	4.50	1.3445	18.50	18.50	0.0816
ครั้งที่ 3	-	-	-	4.51	1.3446	18.60	18.60	0.0821
เฉลี่ย	-	-	-	4.50	1.3446	18.53	18.53	0.0817
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3070	0.3022	0.6092	5.26	1.3521	32.60	65.72	0.4286
ครั้งที่ 2	0.2999	0.3044	0.6043	5.27	1.3522	32.80	65.12	0.4221
ครั้งที่ 3	0.3105	0.3012	0.6117	5.23	1.3518	32.10	65.19	0.4229
เฉลี่ย	0.3058	0.3026	0.6084	5.25	1.3520	32.50	65.34	0.4245

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ	1.0015 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	40.0004 กรัม
น้ำหนักน้ำ	59.0005 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	82.4 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.58 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 1 กรัม

ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วิภภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3010	0.3014	0.6024	4.40	1.3435	17.20	34.38	0.1701
ครั้งที่ 2	0.2990	0.3014	0.6004	4.40	1.3435	17.20	34.26	0.1694
ครั้งที่ 3	0.2997	0.3013	0.6010	4.40	1.3435	17.20	34.31	0.1697
เฉลี่ย	0.2999	0.3014	0.6013	4.40	1.3435	17.20	34.32	0.1697
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3035	0.3002	0.6037	5.40	1.3534	35.90	72.19	0.5040
ครั้งที่ 2	0.3003	0.3006	0.6009	5.38	1.3532	35.50	70.96	0.4889
ครั้งที่ 3	0.3014	0.3005	0.6019	5.39	1.3533	35.70	71.51	0.4955
เฉลี่ย	0.3017	0.3004	0.6022	5.39	1.3533	35.70	71.56	0.4961

น้ำหนักเกลือ	1.0028 กรัม
น้ำหนักเอทานอล	40.0088 กรัม
น้ำหนักน้ำ	59.0827 กรัม
อุณหภูมิที่สมดุล	82.2 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ซ.59 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 1 กรัม

ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 40% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วิภภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3022	0.3009	0.6031	4.44	1.3439	18.00	36.08	0.1809
ครั้งที่ 2	0.3057	0.2995	0.6052	4.43	1.3438	17.90	36.17	0.1815
ครั้งที่ 3	0.3036	0.3001	0.6037	4.44	1.3439	18.00	36.21	0.1818
เฉลี่ย	0.3038	0.3002	0.6040	4.44	1.3439	17.97	36.15	0.1814
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3009	0.3004	0.6013	5.38	1.3532	34.80	69.66	0.4732
ครั้งที่ 2	0.3047	0.3003	0.6050	5.37	1.3531	34.60	69.71	0.4738
ครั้งที่ 3	0.3019	0.3002	0.6021	5.38	1.3532	34.80	69.80	0.4749
เฉลี่ย	0.3025	0.3003	0.6028	5.38	1.3532	34.73	69.72	0.4740

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักเกลือ 1.001 กรัม

น้ำหนักเอทานอล 60.0111 กรัม

น้ำหนักน้ำ 39.0094 กรัม

อุณหภูมิที่สมดุล 80.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.60 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 1 กรัม

ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 1

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3015	0.3010	0.6025	5.10	1.3505	28.10	56.25	0.3347
ครั้งที่ 2	0.3000	0.3016	0.6016	5.10	1.3505	28.10	56.05	0.3329
ครั้งที่ 3	0.3024	0.3003	0.6027	5.10	1.3505	28.10	56.40	0.3360
เฉลี่ย	0.3013	0.3010	0.6023	5.10	1.3505	28.10	56.23	0.3345
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3018	0.3004	0.6022	5.52	1.3545	38.70	77.58	0.5752
ครั้งที่ 2	0.3035	0.3002	0.6037	5.52	1.3545	38.70	77.83	0.5787
ครั้งที่ 3	0.3010	0.3006	0.6016	5.51	1.3544	38.60	77.25	0.5706
เฉลี่ย	0.3021	0.3004	0.6025	5.52	1.3545	38.67	77.55	0.5748

น้ำหนักเกลือ 1.0006 กรัม

น้ำหนักเอทานอล 60.0038 กรัม

น้ำหนักน้ำ 39.0083 กรัม

อุณหภูมิที่สมดุล 80.5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ ข.61 ผลการทดลองการกลั่นระบบน้ำและเอทานอลที่มีเกลือโซเดียมไกลโคเลตละลายอยู่ 1 กรัม

ความเข้มข้นเอทานอลเริ่มต้น 60% โดยน้ำหนัก ครั้งที่ 2

วัฏภาค	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักเอทานอล (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)	ค่าที่อ่านได้	RI	wt% จากกราฟ	wt% จริง	อัตราส่วนโดยโมล
ของเหลว								
ครั้งที่ 1	0.3103	0.3009	0.6112	5.02	1.3497	28.20	57.28	0.3441
ครั้งที่ 2	0.3041	0.3016	0.6057	5.03	1.3498	28.30	56.83	0.3400
ครั้งที่ 3	0.2989	0.3053	0.6042	5.05	1.3500	28.50	56.40	0.3361
เฉลี่ย	0.3044	0.3026	0.6070	5.03	1.3498	28.33	56.84	0.3401
ไอ								
ครั้งที่ 1	0.3062	0.3013	0.6075	5.45	1.3539	36.50	73.59	0.5217
ครั้งที่ 2	0.3067	0.3004	0.6071	5.45	1.3539	36.50	73.77	0.5239
ครั้งที่ 3	0.3056	0.3009	0.6065	5.45	1.3539	36.50	73.57	0.5214
เฉลี่ย	0.3062	0.3009	0.6070	5.45	1.3539	36.50	73.64	0.5223

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ฅ

ผลการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและไซเตียมอออนของเกลือไซเตียมไกลคอลเลต

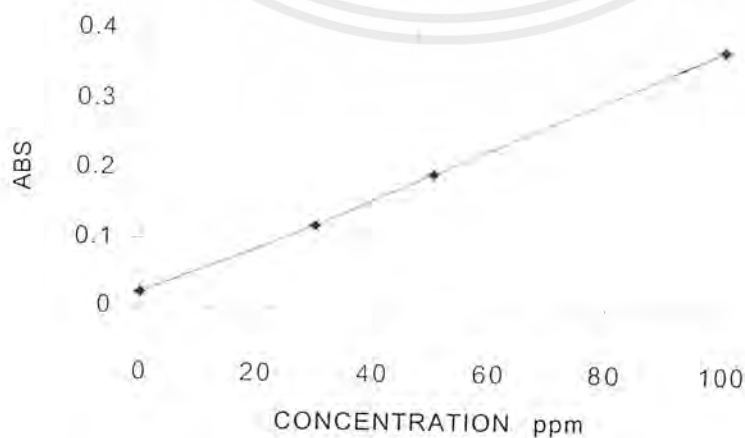
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฅ.2 การวิเคราะห์หาโซเดียมเกลือโซเดียมไกลคอลเลตด้วยเครื่อง AAS

PROGRAM1 Na

INSTRUMENT MODE	ABSORBANCE
CALIBRATION MODE	CONCENTRATION
SLIT WIDTH (nm)	0.5
SLIT HEIGHT	NORMAL
WAVELENGTH (nm)	330.2
FLAME	AIR-ACETYLENE
SAMPLE INTRODUCTION	MANUAL
DELAY TIME	6
TIME COMSTANT	0.05
MEASUREMENT TIME (sec)	2.0
REPLICANTS	3
BACKGROUND CORRELATION	OFF
AIR FLOW (L/min)	13.5
ACETYLENE FLOW (L/min)	2.00

SAMPLE	COCC	% RSD	MEAN	READINGS	
	ppm		ABS		
BLANK	0.0		0.022	0.022	0.021 0.022
STANDARD1	30.0	0.8	0.119	0.119	0.120 0.119
STANDARD2	50.0	0.7	0.194	0.194	0.193 0.196
STANDARD3	100.0	0.0	0.374	0.374	0.374 0.374
SAMPLE1	16.4	2.1	0.033	0.032	0.033 0.034



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้