

ระบบลดความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายโพรพิลีนไกลคอล



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

ระบบลดความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายโพรพิลีนไกลคอล



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Air Dehumidification System Using Propylene Glycol Solution



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ACADEMIC

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง ระบบลดความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายโพรพิลีนไกลคอล


โดย นายนครินทร์ เรืองวิริยะนันต์  
นางสาวลักษณพร พูลนาผล

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์

ปริญญาานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์)

  
.....กรรมการ  
(รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

  
.....กรรมการ  
(อ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร	ระบบลดความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายโพรพิลีนไกลคอล
นักศึกษา	นายนครินทร์ เรืองวิริยะนันต์
	นางสาวลักขณพร พูลนาผล
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาระบบลดความชื้นในอากาศ ซึ่งภูมิอากาศในประเทศไทยเป็นแบบร้อนชื้น มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส และปริมาณความชื้นในอากาศร้อยละ 70 ซึ่งส่งผลให้มีการใช้พลังงานในเครื่องปรับอากาศสูง รวมทั้งคุณภาพและระยะเวลาของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรลดลง ดังนั้นการลดความชื้นของอากาศก่อนเข้ากระบวนการส่งผลให้ประสิทธิภาพของกระบวนการดังกล่าวเพิ่มขึ้น โดยระบบลดความชื้นที่สนใจคือ ระบบลดความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายโพรพิลีนไกลคอล เนื่องจากระบบมีความดันตกคร่อมต่ำ และสารละลายโพรพิลีนไกลคอลมีความดันไอต่ำ รวมทั้งไม่มีฤทธิ์กัดกร่อน ไม่มีการตกผลึก และมีราคาถูก โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพการลดความชื้น โดยการคำนวณที่ความกว้างหอ 0.3159 เมตร และความสูงแพคเบด 0.50 เมตร มีตัวแปรต้นที่สนใจดังนี้ ขนาดและชนิดของแพคกิ้ง อัตราการไหลของอากาศ อัตราการไหล ความเข้มข้น และอุณหภูมิของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล นอกจากนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการคายความชื้น โดยการคำนวณที่ความกว้างหอ 0.3159 เมตร และความสูงแพคเบด 0.085 เมตร พบว่าสภาวะที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดความชื้นสูงที่สุดคือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลร้อยละ 85 ถึง 90 โดยน้ำหนัก มีอัตราส่วนอัตราการไหลของอากาศและสารละลายโพรพิลีนไกลคอลสูง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสสำหรับหอลดความชื้น และที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสสำหรับหอคายความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report title	Air dehumidification system using propylene glycol solution
By	Nakarin Rueangwiriyanan Laksanaporn Poolnapol
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2014
Advisor	Ajan Siripan Murathathunyaluk

### Abstract

This project studied air dehumidification system, due to the humid climate in Thailand with the temperature of approximately 30 degree Celsius and relative humidity (RH) of 70%. This leads to an increase in energy consumption of air conditioning system, as well as a decrease in quality and duration of agricultural preservation. Therefore, air dehumidification before transferring into the process will increase the efficiency of the process and the system of interest is air dehumidification system using propylene glycol solution. Propylene glycol solution has low vapor pressure, with no corrosive properties, no crystallization, and cheap. We studied the efficiency of air dehumidification process from the calculation of column diameter of 0.3159 meters and packing height of 0.50 meters. Our variables of interest was size and type of column, air flow rate, flow rate, concentration, and temperature of propylene glycol solution. The experiment showed that at column diameter of 0.3159 meters and packing height of 0.085 meters, the condition that would lead to the highest efficiency of air dehumidification system was for the propylene glycol solution concentration to be in the range of 85 to 90% by weight, high ratio of air and propylene glycol solution flow rate at the temperature of 30 degree Celsius for absorption column, and of 55 degree Celsius for stripping column.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณ อาจารย์ ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่มอบความรู้ ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และชี้แนะข้อบกพร่อง พร้อมทั้งช่วยแก้ปัญหาในด้านต่างๆ จนสามารถดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ และให้การสนับสนุนอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ขอขอบคุณ อำนวย สุนทรชัชเวช ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษา และคำแนะนำการใช้อุปกรณ์การทำโครงการในครั้งนี้

ขอขอบคุณการให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ และการสนับสนุนทางการเงินจากภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และทุนวิจัยจากกระทรวงวิทยาศาสตร์ ในการทำโครงการครั้งนี้ และขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ที่คอยดูแลเรื่องอุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง ช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือ ตลอดจนวิธีการเก็บรักษาเครื่องมือจากทางสาขาวิศวกรรมเคมี

ขอขอบคุณ บริษัท ดาวเคมีคัล สำหรับข้อมูลที่ใช้อ้างอิงในโครงการนี้  
สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดาและมารดา ผู้ซึ่งให้การสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ ตลอดการดำเนินงานจนสำเร็จการศึกษา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงได้จากปริญญาบัตรฉบับนี้ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นครินทร์ เรืองวิริยะนันต์  
ลักษณะพร พูลนาผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการสัญลักษณ์.....	X
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ .....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.1 ความชื้นในอากาศ.....	3
2.2 แผนภูมิไซโครเมตริก .....	4
2.3 เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นชนิดของเหลว.....	6
2.4 สารดูดความชื้นชนิดของเหลว.....	7
2.5 หอแบบเบดบรรจุ.....	9
2.5.1 แพคกิ้ง.....	9
2.5.2 แผนรองรับแพคกิ้ง.....	11
2.5.3 แผ่นกระจายของเหลว .....	13
2.5.4 แผ่นกระจายของเหลว .....	15
2.5.5 แผ่นโฮลด์ดาวน์.....	17
2.6 การออกแบบการคำนวณ .....	18
2.6.1 การคำนวณดุลมวลสารและเส้นดำเนินการ .....	18
2.6.2 การคำนวณเส้นสมดุล .....	19
2.6.3 การคำนวณค่าความดันตกคร่อม .....	20
2.6.4 การคำนวณความสูงของหอดูดซึม .....	22
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ IV และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน .....	26
3.1 การเตรียมสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	26
3.2 การวัดค่าความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล.....	26
3.3 การออกแบบระบบลดความชื้นในอากาศ โดยใช้สารละลายโพรพิลีนไกลคอล .....	28
บทที่ 4 ผลการทดลอง .....	29
4.1 การเตรียมสารละลายโพรพิลีนไกลคอล .....	29
4.2 การวัดค่าความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล.....	30
4.3 การออกแบบระบบลดความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายโพรพิลีนไกลคอล.....	31
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	36
เอกสารอ้างอิง.....	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา เว้นแต่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก.....	41
ภาคผนวก ก. คุณสมบัติทางกายภาพของโพรพิลีนไกลคอล .....	41
ภาคผนวก ข. คุณสมบัติของแพคกิ้ง.....	42
ภาคผนวก ค. ลักษณะและวิธีใช้งานตารางการคำนวณ .....	43
ค.1 หน้าต่างแสดงผลการคำนวณ.....	43
ค.2 ตารางส่วนป้อนข้อมูล.....	43
ค.3 ตารางคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดความชื้น .....	44
ค.4 ตารางคำนวณความสูงของหลอดความชื้น.....	45
ค.5 การทำการสุ่มความสูงของหลอดความชื้น .....	45
ภาคผนวก ง. ลักษณะและวิธีใช้งานตารางการคำนวณ.....	46
ง.1 การคำนวณเส้นสมดุล .....	46
ง.2 การคำนวณเส้นปฏิบัติการ .....	47
ง.3 การคำนวณความกว้างของหลอดความชื้น .....	50
ง.4 การคำนวณของของเหลวขาเข้า.....	52
ภาคผนวก จ. ลักษณะและวิธีใช้งานตารางการคำนวณ .....	56
จ.1 การคำนวณเส้นสมดุล .....	56
จ.2 การคำนวณเส้นปฏิบัติการ.....	57
จ.3 การคำนวณความกว้างของหลอดความชื้น.....	60
จ.4 การคำนวณความสูงของหลอดความชื้น.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ VI และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแพคกิ้งแรนดอมกับแพคกิ้งสตรีกเจอร์ .....	10
ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลสำหรับวัดค่าความดันไอ .....	29
ตารางที่ 4.2 ความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นต่างๆ .....	30
ตารางที่ 4.3 ผลของชนิดและขนาดของแพคกิ้งที่มีต่อประสิทธิภาพการลดความชื้น .....	32
ตารางที่ 4.4 ผลของอัตราการไหลของอากาศและสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่มีต่อประสิทธิภาพการลดความชื้น .....	33
ตารางที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่มีต่อประสิทธิภาพการลดความชื้น .....	34
ตารางที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่มีต่อประสิทธิภาพการลดความชื้น .....	34
ตารางที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลในหอคายความชื้นที่มีต่อประสิทธิภาพการคายความชื้น .....	35
ตาราง ก.1 คุณสมบัติทางกายภาพของโพรพิลีนไกลคอล .....	41
ตาราง ก.2 ความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่อุณหภูมิต่างๆ .....	41
ตาราง ข. แสดงคุณสมบัติของแพคกิ้ง .....	42
ตาราง ง.1 ผลการคำนวณเศษส่วนเชิงโมลที่สมดุลในวัฏภาคของแข็งและของเหลว ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส .....	46
ตาราง ง.2 แสดงผลการคำนวณหาพื้นที่ได้กราฟ .....	55
ตาราง จ.1 ผลการคำนวณเศษส่วนเชิงโมลที่สมดุลในวัฏภาคของแข็งและของเหลว ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส .....	56
ตาราง จ.2 แสดงผลการคำนวณหาพื้นที่ได้กราฟ .....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา [VPI](#) ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง .....	4
รูปที่ 2.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก .....	5
รูปที่ 2.3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง .....	5
รูปที่ 2.4 อุณหภูมิค่าความชื้นสัมพัทธ์ .....	5
รูปที่ 2.5 ค่าเอนธาลปี .....	6
รูปที่ 2.6 ค่าปริมาตรจำเพาะ .....	6
รูปที่ 2.7 ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้น .....	7
รูปที่ 2.8 ความดันไอของ (ก)โพรพิลีนไกลคอล (ข)ไตรเอทิลีนไกลคอล .....	8
รูปที่ 2.9 ความหนืดของ (ก)โพรพิลีนไกลคอล (ข)ไตรเอทิลีนไกลคอล .....	8
รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบภายในหอแบบเบดบรรจุ .....	9
รูปที่ 2.11 แพคกิงแบบแรนดอม .....	10
รูปที่ 2.12 แพคกิงแบบสตรักเจอร์ .....	11
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างแผ่นรองรับแพคกิงรูปแบบต่างๆ .....	12
รูปที่ 2.14 แพคกิงเรียงเป็นระเบียบเพื่อรองรับแพคกิงที่บรรจุอย่างไม่เป็นระเบียบ .....	12
รูปที่ 2.15 ลักษณะของแผ่นรองรับที่ยอมให้แก๊สผ่านได้สะดวก .....	13
รูปที่ 2.16 การออกแบบแผ่นรองรับ (ก)สำหรับหอเล็ก (ข)สำหรับหอใหญ่ .....	13
รูปที่ 2.17 แบบออริทิซ และแบบเวียร์ .....	14
รูปที่ 2.18 แผ่นกระจายของเหลวแบบโทรจ .....	15
รูปที่ 2.19 แผ่นกระจายของเหลวแบบท่อเจาะรู .....	15
รูปที่ 2.20 แผ่นกระจายของเหลว .....	16
รูปที่ 2.21 แผ่นกระจายของเหลวแบบวอลล์เปเปอร์ .....	17
รูปที่ 2.22 แผ่นโสลด์ ดาวน์ .....	17
รูปที่ 2.23 ระบบหอดูดซึม .....	18
รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ของความดันตกคร่อมภายในหอดูดซึมแบบแพคกิงเบด .....	21
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์วัดความดันไอ .....	27
รูป ค. 1 หน้าต่างแสดงผลการคำนวณ .....	43
รูป ค. 2 หน้าต่างตารางส่วนป้อนข้อมูล .....	44
รูป ค. 3 หน้าต่างคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของหอลดความชื้น .....	44
รูป ค. 4 หน้าต่างคำนวณความสูงของหอลดความชื้น .....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข VIII และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูป ค. 5 การทำการสู้หาความสูงของหลอดความชื้น .....	45
รูป ง.1 แสดงเส้นสมมูลระหว่างโพธิ์สีนไกลคอลลกับน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	47
รูป ง. 2 แสดงเส้นปฏิบัติการ.....	49
รูป ง. 3 การหาค่า Capacity parameter ณ จุดที่เกิดการท่วมภายในหอ.....	50
รูป ง. 4 การหาค่าความดันตกคร่อมที่ใช้ในการปฏิบัติการ .....	52
รูป จ.1 แสดงเส้นสมมูลระหว่างโพธิ์สีนไกลคอลลกับน้ำที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส .....	57
รูป จ. 2 แสดงเส้นปฏิบัติการ .....	59
รูป จ. 3 การหาค่า Capacity parameter ณ จุดที่เกิดการท่วมภายในหอ .....	60
รูป จ. 4 การหาค่าความดันตกคร่อมที่ใช้ในการปฏิบัติการ.....	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **IX** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการสัญลักษณ์

	หน่วย
a ค่าเฉพาะของแพคกิ้ง.....	$m^2/m^3$
$C_h$ ค่าเฉพาะของแพคกิ้ง.....	ไม่มี
$C_L$ ค่าเฉพาะของแพคกิ้ง.....	ไม่มี
$C_V$ ค่าเฉพาะของแพคกิ้ง.....	ไม่มี
$C_S$ ค่าเฉพาะของแพคกิ้ง.....	ไม่มี
$D_L$ อัตราการแพร่ของของเหลว.....	$m^2/s$
$D_V$ อัตราการแพร่ของแก๊ส.....	$m^2/s$
$d_h$ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของแพคกิ้ง.....	$m$
$F_p$ ค่าเฉพาะของแพคกิ้ง.....	$ft^{-1}$
$g_w$ กรัมของน้ำ.....	$g$
H ความชื้นในอากาศ.....	ไม่มี
$h_L$ ลิกควิดไฮลด์ อีพ.....	ไม่มี
$kg_{da}$ กิโลกรัมของอากาศแห้ง.....	$kg$
$L_1$ อัตราการไหลของของเหลวขาออก.....	$kg/hr$
$L_2$ อัตราการไหลของของเหลวขาเข้า.....	$kg/hr$
$MW_{air}$ มวลโมเลกุลของอากาศ.....	$g/mol$
$MW_{H_2O}$ มวลโมเลกุลของน้ำ.....	$g/mol$
$m_{da}$ น้ำหนักของอากาศแห้ง.....	$kg$
$m_{H_2O}$ น้ำหนักของน้ำในอากาศ.....	$g$
$N_{FrL}$ ฟรูดนัมเบอร์ของของเหลว.....	ไม่มี
$N_{ReL}$ เรย์โนลด์นัมเบอร์ของของเหลว.....	ไม่มี
$N_{Rev}$ เรย์โนลด์นัมเบอร์ของแก๊ส.....	ไม่มี
$N_{ScV}$ สมิทน์นัมเบอร์ของแก๊ส.....	ไม่มี
$N_{WeL}$ วีเบอร์นัมเบอร์ของของเหลว.....	ไม่มี
$u_L$ ความเร็วของของเหลว.....	$m/s$
$u_V$ ความเร็วของแก๊ส.....	$m/s$
$V_1$ อัตราการไหลของแก๊สขาเข้า.....	$kg/hr$
$V_2$ อัตราการไหลของแก๊สขาออก.....	$kg/hr$
$x_e$ สัดส่วนเชิงโมลของน้ำในสารละลายที่สมดุล.....	ไม่มี
$x_1$ สัดส่วนเชิงโมลของน้ำในสารละลายขาออก.....	ไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการสัญลักษณ์(ต่อ)

	หน่วย
$x_2$ สัดส่วนเชิงโมลของน้ำในสารละลายขาเข้า.....	ไม่มี
$X_e$ เศษส่วนเชิงโมลในวัฏภาคของเหลวที่สมดุล.....	ไม่มี
$X_1$ เศษส่วนเชิงโมลในวัฏภาคของเหลวขาออก.....	ไม่มี
$X_2$ เศษส่วนเชิงโมลในวัฏภาคของเหลวขาเข้า.....	ไม่มี
$y_e$ สัดส่วนโดยโมลของน้ำในอากาศที่สมดุล.....	ไม่มี
$y_1$ สัดส่วนโดยโมลของน้ำในอากาศขาเข้า.....	ไม่มี
$y_2$ สัดส่วนโดยโมลของน้ำในอากาศขาออก.....	ไม่มี
$Y_e$ เศษส่วนเชิงโมลในวัฏภาคแก๊สที่สมดุล.....	ไม่มี
$Y_1$ เศษส่วนเชิงโมลในวัฏภาคแก๊สขาเข้า.....	ไม่มี
$Y_2$ เศษส่วนเชิงโมลในวัฏภาคแก๊สขาออก.....	ไม่มี
$Z$ ความสูงของหอ.....	m
$\frac{a_{ph}}{a}$ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่รอยต่อเฟสกับพื้นที่ผิวแพคกิ้ง.....	ไม่มี
$\rho_L$ ความหนาแน่นของของเหลว.....	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_V$ ความหนาแน่นของแก๊ส.....	kg/m <sup>3</sup>
$\mu_L$ ความหนืดของของเหลว.....	kg/m · s
$\mu_V$ ความหนืดของแก๊ส.....	kg/m · s
$\sigma_L$ แรงตึงผิวของของเหลว.....	kg/s <sup>2</sup>
$\epsilon$ ช่องว่างในเบด.....	ไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XI ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความชื้นในอากาศเป็นปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ซึ่งมีสัดส่วนที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่[1] เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในพื้นที่เขตร้อนชื้น มีอุณหภูมิและความชื้นในอากาศสูง โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 30 ถึง 35 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ถึง 80 ซึ่งอิทธิพลของความชื้นในอากาศที่สูงส่งผลต่อภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ที่ต้องสูญเสียพลังงานในการควบแน่นไอน้ำในอากาศเมื่อมีการลดอุณหภูมิให้ต่ำลง นอกจากนี้ปริมาณความชื้นที่สูงยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ส่งผลให้คุณภาพและระยะเวลาในการเก็บรักษาลดลง[2] ทางคณะผู้ศึกษาจึงสนใจศึกษากระบวนการลดความชื้นในอากาศ เพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

ระบบลดความชื้นของอากาศที่สนใจศึกษาเป็นระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นสามารถแบ่งได้ 3 ระบบ ได้แก่ ระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็ง (Solid Desiccant Dehumidification System) ระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดของเหลว (Liquid Desiccant Dehumidification System) และระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็งและของเหลว (Hybrid Desiccant Dehumidification System) ซึ่งเป็นการรวมระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็งและชนิดของเหลวเข้าด้วยกัน เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นสูง แต่มีต้นทุนในการติดตั้งสูงเนื่องจากมีโครงสร้างที่ซับซ้อน จึงเหมาะแก่การนำไปใช้งานเฉพาะด้านเท่านั้น สำหรับระบบที่ใช้สารดูดความชื้นชนิดของแข็งเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อนและสะดวกต่อการใช้งาน แต่ระบบจะมีความดันตกคร่อมสูง และใช้ความร้อนสูงในการคืนสภาพส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน สารดูดความชื้นชนิดของแข็งที่นิยมใช้ได้แก่ ซิลิกาเจล (Silica gel) ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) และอลูมินากัมมันต์ (Activated Alumina) ระบบที่ใช้สารดูดความชื้นชนิดของเหลวเป็นอีกระบบที่น่าสนใจ เนื่องจากระบบมีความดันตกคร่อมต่ำ ใช้พลังงานในการคืนสภาพต่ำ เป็นระบบแบบต่อเนื่อง แต่ระบบมีโครงสร้างซับซ้อน และสารดูดความชื้นชนิดของเหลวบางชนิดอาจเกิดการกัดกร่อนและเกิดการตกผลึก ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ โดยสารดูดความชื้นชนิดของเหลวที่นิยมใช้ ได้แก่ สารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) และสารละลายจำพวกไกลคอล เช่น เอทิลีนไกลคอล (EG) ไดเอทิลีนไกลคอล (DEG) ไตรเอทิลีนไกลคอล (TEG) และโพรพิลีนไกลคอล (PG) เป็นต้น[3] จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสารละลายลิเทียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นสูงสุด แต่มีราคาสูง มีฤทธิ์กัดกร่อน และอาจเกิดการตกผลึกที่ความเข้มข้นสูงและอุณหภูมิต่ำ[4] สำหรับสารละลายจำพวกไกลคอลมีประสิทธิภาพในการดูดความชื้น อีกทั้งไม่มีฤทธิ์กัดกร่อน โดยไตรเอทิลีนไกลคอลเป็นสารดูดความชื้นชนิดของเหลวที่พบในงานวิจัยมากที่สุด เนื่องจากมีความดันไอและความหนืดต่ำ[4] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาประสิทธิภาพของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดความชื้นโดยใช้สารละลายโพรพิลีนไกลคอล เนื่องจากโพรพิลีนไกลคอลมีคุณสมบัติทางเคมีที่ใกล้เคียงกับไตรเอทิลีนไกลคอลแต่มีราคาต่ำกว่า

ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการทำการออกแบบหอลดความชื้น(Absorption Tower) และหอคายความชื้น(Stripping Tower) ของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลแบบเบดบรรจุ ที่มีทิศทางการไหลแบบสวนทางกัน โดยตัวแปรต้นที่ใช้ในการคำนวณแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ตัวแปรด้านกายภาพ เช่น ขนาดของแท่งคกิงและชนิด และตัวแปรด้านสภาวะการทำงาน ซึ่งมีอยู่ 5 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการไหลและความชื้นของอากาศ อัตราการไหล อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารดูดความชื้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล สำหรับการลดความชื้นในอากาศ
2. เพื่อออกแบบระบบลดความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายโพรพิลีนไกลคอลเป็นสารดูดความชื้น

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาเพื่อวัดค่าคุณสมบัติความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล ที่ความเข้มข้นร้อยละ 85 ถึง 97 โดยน้ำหนัก ในช่วงอุณหภูมิ 30 ถึง 60 องศาเซลเซียส
2. ออกแบบระบบลดความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal) เพื่อคำนวณหาค่าขนาดของหอลดความชื้นหอคายความชื้น และอัตราการลดความชื้น โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล (Microsoft Excel)

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้เข้าใจหลักการทำงานของระบบลดความชื้นในอากาศ โดยใช้สารดูดความชื้นชนิดของเหลว
2. ทำให้เข้าใจสมบัติของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล และการออกแบบหอลดความชื้นแบบดูดซึมและหอคายความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยประกอบด้วยความชื้นในอากาศ แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart) เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นชนิดของเหลว สารดูดความชื้นชนิดของเหลว การคำนวณออกแบบหอดูดซึม (absorption) และหอคายความชื้นของสารดูดความชื้นชนิดของเหลว (stripping) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 2.1 ความชื้นในอากาศ[1,5]

ความชื้นในอากาศ คือ ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ซึ่งมีสัดส่วนที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ น้ำจะระเหยได้มากในบริเวณที่ความชื้นในอากาศต่ำ และขณะที่น้ำเกิดการระเหยจะทำให้อุณหภูมิลดลง เนื่องจากน้ำที่ระเหยจะดูดความร้อนจากอากาศบริเวณรอบๆ เพื่อใช้ในการระเหย โดยค่าที่ใช้ในการบอกปริมาณไอน้ำในอากาศแบ่งออกเป็น

1) ค่าความชื้นในอากาศ (Moisture Content) หมายถึง ปริมาณเปรียบเทียบระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศกับมวลของอากาศแห้งที่อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน

$$\text{ความชื้นในอากาศ (MC)} = \frac{\text{มวลของไอน้ำในอากาศ}}{\text{มวลของอากาศแห้ง}} \quad (2-1)$$

2) ค่าความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศกับปริมาตรของอากาศนั้น ณ อุณหภูมิเดียวกัน มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\text{g/m}^3$ )

$$\text{ความชื้นสัมบูรณ์ (AH)} = \frac{\text{มวลของไอน้ำในอากาศ}}{\text{ปริมาตรของอากาศ ณ อุณหภูมิเดียวกัน}} \quad (2-2)$$

3) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หมายถึง ปริมาณเปรียบเทียบระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้นกับมวลของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน (นิยมบอกค่าความชื้นสัมพัทธ์เป็นร้อยละ)

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์ (\%RH)} = \frac{\text{มวลของไอน้ำในอากาศที่มีอยู่จริง}}{\text{มวลของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน}} \times 100\% \quad (2-3)$$

หรือ

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์ (\%RH)} = \frac{\text{ความดันไอน้ำที่แท้จริง}}{\text{ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน}} \times 100\% \quad (2-4)$$

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ได้แก่

1) ไฮโกรมิเตอร์แบบเส้นผม ใช้หลักการยืดและหดตัวของเส้นผม ถ้าค่าความชื้นสัมพัทธ์สูง เส้นผมจะยืดตัวออก เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเส้นผมจะหดตัวสั้นลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

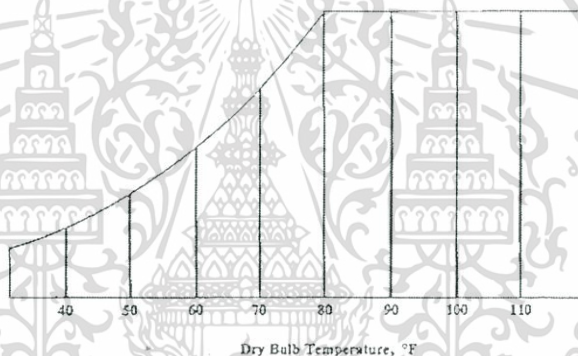
2) ไฮโกรมิเตอร์แบบกระเปาะเปียก-กระเปาะแห้งหรือไซโครมิเตอร์ (psychrometer) ประกอบด้วยเทอร์โมมิเตอร์ 2 อัน กระเปาะเทอร์โมมิเตอร์อันหนึ่งหุ้มด้วยผ้าชื้นเรียกว่ากระเปาะเปียก ค่าของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียกจะสามารถนำมาคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้

3) ไฮโกรมิเตอร์แบบดิจิตอล ใช้งานได้ง่ายและสามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วงกว้าง แต่มีราคาสูงกว่าและต้องการการดูแลรักษามากกว่าไฮโกรมิเตอร์แบบกระเปาะเปียก-กระเปาะแห้ง

## 2.2 แผนภูมิไซโครเมตริก[6,7]

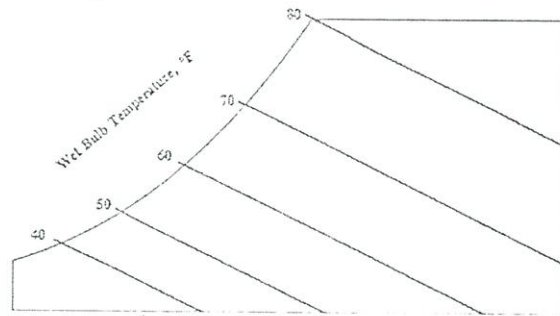
เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงคุณสมบัติของอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงของอากาศที่สภาวะหนึ่งไปอีกสภาวะหนึ่ง โดยมีตัวแปรต่างๆ ดังนี้

1) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) คือ อุณหภูมิของอากาศที่วัดได้ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ทั่วไปทั้งแบบกระเปาะแบบหน้าปัดหรือเครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบต่างๆ



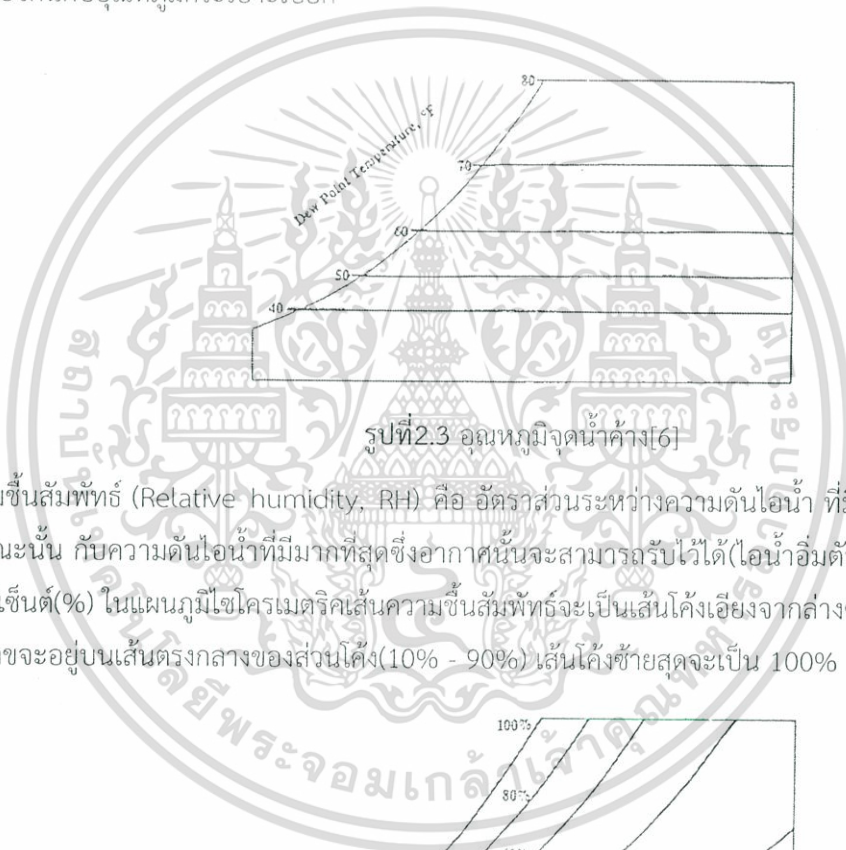
รูปที่ 2.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง[6]

2) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) คือ อุณหภูมิของอากาศที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่มีผิวเปียกน้ำหุ้มอยู่ที่กระเปาะวัด โดยอุณหภูมิที่วัดได้จะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง



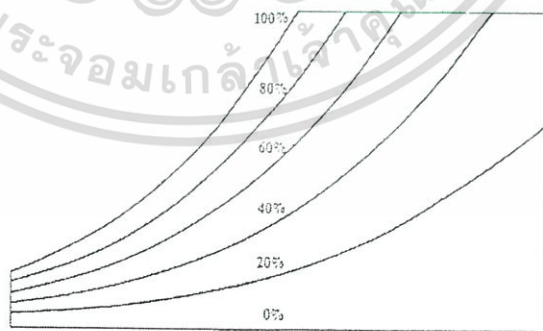
รูปที่ 2.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก[6]

3) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature) คือ อุณหภูมิที่ไอน้ำเริ่มกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ บนพื้นผิวที่อากาศสัมผัส ในแผนภูมิไซโครเมตริก อ่านได้จากเส้นตรงในแนวนอน ตัวเลขที่แสดงใช้ตัวเลขเดียวกันกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก



รูปที่ 2.3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง[6]

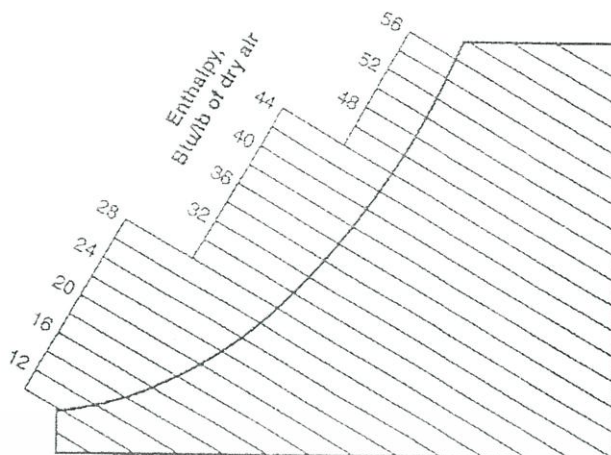
4) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, RH) คือ อัตราส่วนระหว่างความดันไอน้ำ ที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้น กับความดันไอน้ำที่มีมากที่สุดซึ่งอากาศนั้นจะสามารถรับไว้ได้(ไอน้ำอิ่มตัว) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์(%) ในแผนภูมิไซโครเมตริกเส้นความชื้นสัมพัทธ์จะเป็นเส้นโค้งเอียงจากล่างซ้ายขึ้นบนขวา ตัวเลขจะอยู่บนเส้นตรงกลางของส่วนโค้ง(10% - 90%) เส้นโค้งซ้ายสุดจะเป็น 100% RH



รูปที่ 2.4 ค่าความชื้นสัมพัทธ์[6]

5) เอนทัลปี (Enthalpy) คือ ค่าปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในอากาศขณะนั้น มีหน่วยเป็นบีทียูต่อปอนด์อากาศแห้ง (Btu/lb dry air) ในแผนภูมิจะใช้เส้นเดียวกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกแต่ตัวเลขอ่านได้จากด้านซ้ายสุดและบนสุดของแผนภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ค่าเอนทาลปี[7]

6) ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) คือปริมาตรของอากาศขณะนั้นต่อมวลของอากาศแห้ง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อปอนด์อากาศแห้ง (ft<sup>3</sup>/lb dry air) จากแผนภูมิอ่านได้จากเส้นตรงแนวเอียง(เส้นที่เอียงน้อยกว่าเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก) โดยตัวเลขจะอยู่ประมาณตรงกลางของเส้น

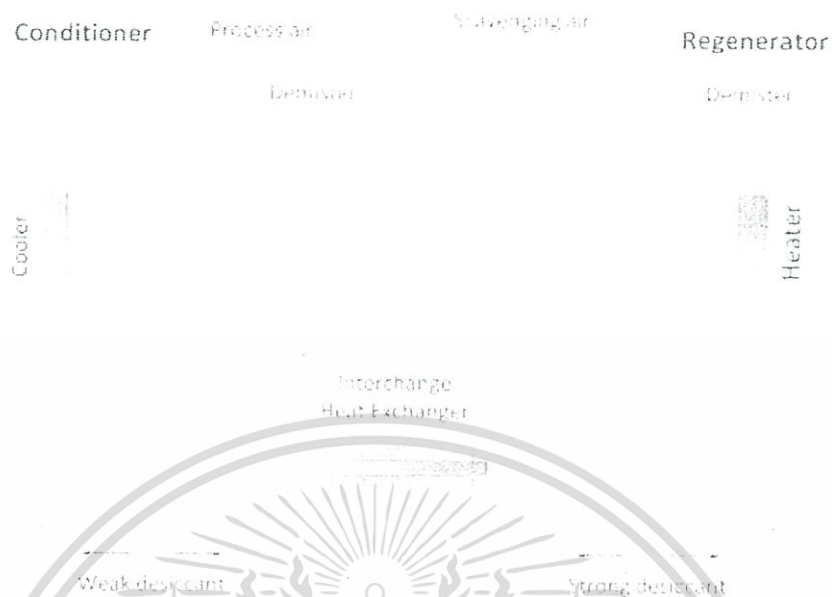


รูปที่ 2.6 ค่าปริมาตรจำเพาะ[7]

### 2.3 เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นชนิดของเหลว[8,9]

เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นชนิดของเหลว อาศัยการทำงานของสารดูดความชื้นในการดึงความชื้นออกจากอากาศ โดยสามารถควบคุมความชื้นของอากาศได้ในระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 40 ในช่วงอุณหภูมิประมาณ  $22 \pm 1$  องศาเซลเซียส โดยระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นชนิดของเหลวจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนดูดความชื้น (Collection Section) และส่วนคายความชื้น (Regeneration Section) ดังแสดงในรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้น[9]

1). ส่วนดูดความชื้น (Collection Section) ทำหน้าที่ดูดความชื้นออกจากอากาศที่ต้องการใช้งาน โดยจะดูดอากาศที่ต้องการลดความชื้นผ่านเข้ามายังส่วนดูดความชื้นที่มีสารดูดความชื้นไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อทำให้สารดูดความชื้นมีอุณหภูมิต่ำลงและพ่นกระจายเป็นละอองฝอยอยู่ในส่วนดูดความชื้นเมื่ออากาศที่ต้องการลดความชื้นสัมผัสกับสารดูดความชื้น ตัวสารดูดความชื้นจะดูดความชื้นในอากาศไว้พร้อมกับถ่ายเทความเย็นจากสารละลายให้แก่อากาศ จึงทำให้อากาศที่ผ่านส่วนดูดความชื้นมีคุณสมบัติแห้งและเย็น สารดูดความชื้นที่ดูดความชื้นไว้ก็จะไหลลงมายังถาดรองรับ และไหลวนจากด้านดูดความชื้นไปยังส่วนคายความชื้น (Regeneration Section)

2). ส่วนคายความชื้น (Regeneration Section) จะป้อนสารดูดความชื้นไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อทำให้สารดูดความชื้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น หลังจากนั้นจะพ่นเป็นละอองฝอยลงในส่วนคายความชื้น และเครื่องจะดูดอากาศจากภายนอกมาผ่านเครื่องทำความร้อน (Heater) ของส่วนป้อนความร้อน เพื่อทำให้อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น เมื่ออากาศจากภายนอกสัมผัสกับสารดูดความชื้น ในส่วนคายความชื้นอากาศจากภายนอกจะพาความชื้นที่อยู่ในสารดูดความชื้นออกไปด้วย สารดูดความชื้นที่คายความชื้นแล้วจะไหลวนกลับไปยังส่วนดูดความชื้นเพื่อทำการดูดความชื้นต่อไป

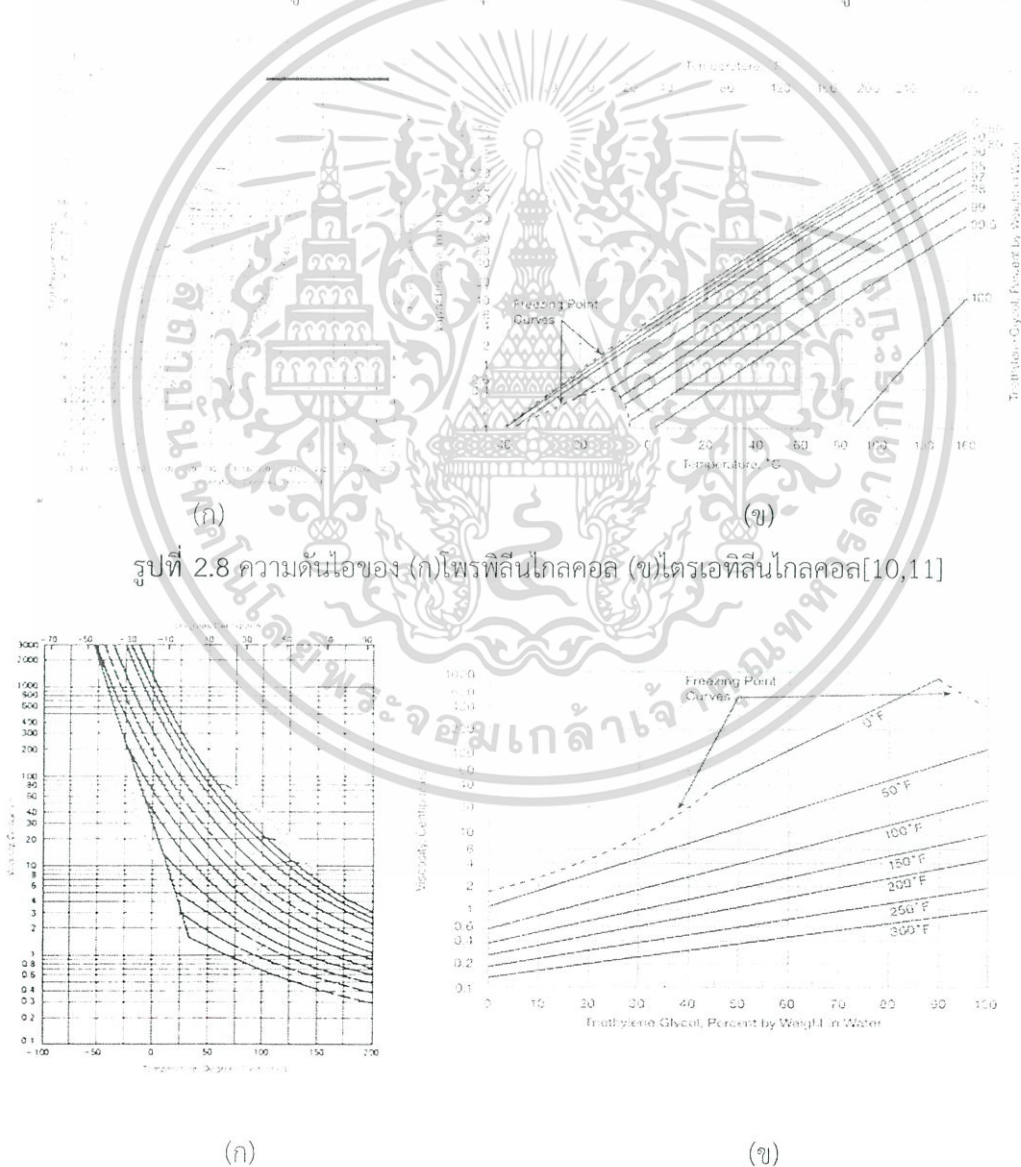
## 2.4 สารดูดความชื้นชนิดของเหลว[10,11]

สารดูดความชื้นชนิดของเหลว คือ ของเหลวที่สามารถดูดความชื้นได้ โดยผ่านการเปลี่ยนแปลงทางเคมีทำให้สามารถดึงและเก็บไอน้ำไว้ได้ ส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นสารละลายของลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) แคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) และสารละลายจำพวกไกลคอล ซึ่งได้แก่ เอทิลีนไกลคอล

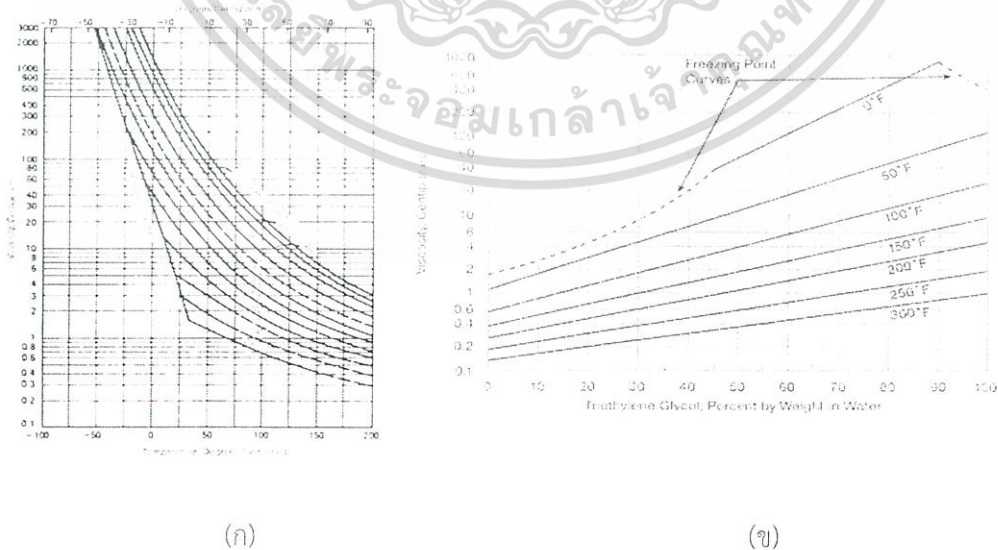
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(EG) ไดเอทิลีนไกลคอล (DEG) ไตรเอทิลีนไกลคอล (TEG) และโพรพิลีนไกลคอล (PG) โดยการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นชนิดของเหลว อาศัยกระบวนการดูดซึม ไอน้ำที่อยู่ในอากาศจะละลายเข้าไปในสารดูดความชื้นชนิดของเหลวทำให้อากาศมีความชื้นลดลง โดยมีแรงขับเคลื่อน (driving force) เป็นผลต่างของความดันไอ (vapor pressure) ของน้ำในอากาศกับความดันไอของสารละลายดูดความชื้นชนิดของเหลว ความดันไอน้ำของสารละลายดูดความชื้นชนิดของเหลวเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิและความเข้มข้น ถ้าสารละลายมีความเข้มข้นสูง และมีอุณหภูมิต่ำจะส่งผลให้ความดันไอน้ำของสารละลายต่ำ สารละลายจะสามารถดูดซึมความชื้นในอากาศได้มากขึ้น

สารดูดความชื้นเหลวที่ดีควรมีความดันไอต่ำ ความหนืดต่ำและมีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนที่ดีเพื่อให้ประสิทธิภาพในการดูดความชื้นที่สูงขึ้น ในที่นี้คณะผู้ศึกษาได้เลือกใช้สารละลายโพรพิลีนไกลคอล เป็นสารดูดความชื้น ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพดังแสดงใน รูปที่ 2.8 และ 2.9



รูปที่ 2.8 ความดันไอของ (ก)โพรพิลีนไกลคอล (ข)ไตรเอทิลีนไกลคอล[10,11]



รูปที่ 2.9 ความหนืดของ (ก)โพรพิลีนไกลคอล (ข)ไตรเอทิลีนไกลคอล [10,11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 หอแบบเบดบรรจุ (Packed Tower)

หอแบบเบดบรรจุ (Packed tower) มีลักษณะเป็นทรงกระบอกวางในแนวตั้งภายในบรรจุด้วยแพคกิ้ง โดยของเหลวจะไหลลงมาจากด้านบนหอผ่านแพคกิ้ง ทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางๆ ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแก๊สและของเหลว นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งช่วยเพิ่มการถ่ายเทมวล ส่วนแก๊สจะไหลจากด้านล่างขึ้นไปด้านบนหอ โดยส่วนประกอบภายในหอแบบเบดบรรจุแสดงดังรูปที่ 2.10 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบภายในหอแบบเบดบรรจุ [12]

### 2.5.1 แพคกิ้ง (Packing)

แพคกิ้ง คือ วัสดุที่บรรจุภายในหอ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวกับแก๊ส อาจเป็นพลาสติก โลหะ หรือวัสดุอื่นๆ โดยมีการออกแบบเป็นรูปแบบต่างๆ ลักษณะของแพคกิ้งที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

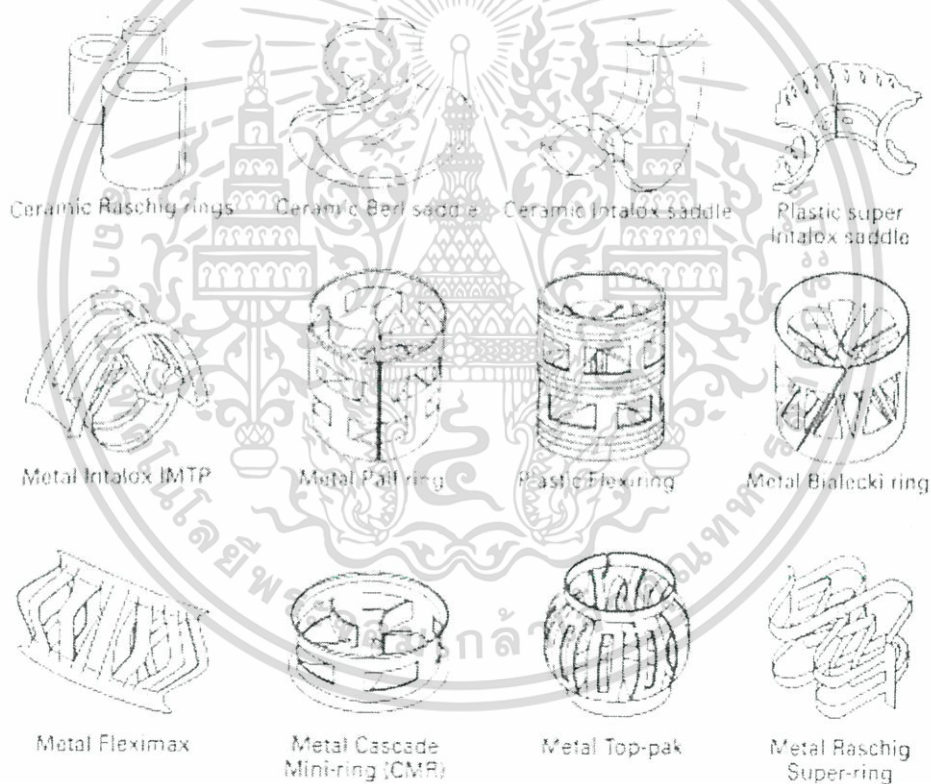
- มีพื้นที่เปียกของของเหลวต่อปริมาตรของหอมาก เพื่อให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับเฟสที่สัมผัสกันมาก
- มีปริมาตรของช่องว่างมาก เพื่อแก๊สและของเหลวไหลผ่านได้สะดวกป้องกันการเกิดความดันตกคร่อมที่สูง
- มีความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากในหอแบบเบดบรรจุมีขนาดใหญ่ น้ำหนักของแพคกิ้งจะมากซึ่งมีผลเกี่ยวกับความแข็งแรงของหอที่ต้องใช้
- ราคาไม่แพง
- ไม่ทำปฏิกิริยากับของไหลและสามารถทนต่ออุณหภูมิที่ใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของแพคกิ้ง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แพคกิ้งแบบแรนดอม ( Random packing) แพคกิ้งแบบสตรักเจอร์ (Structured packing) ตัวอย่างของแพคกิ้งทั้งสองแบบดูดังรูปที่ 2.11 และ 2.12

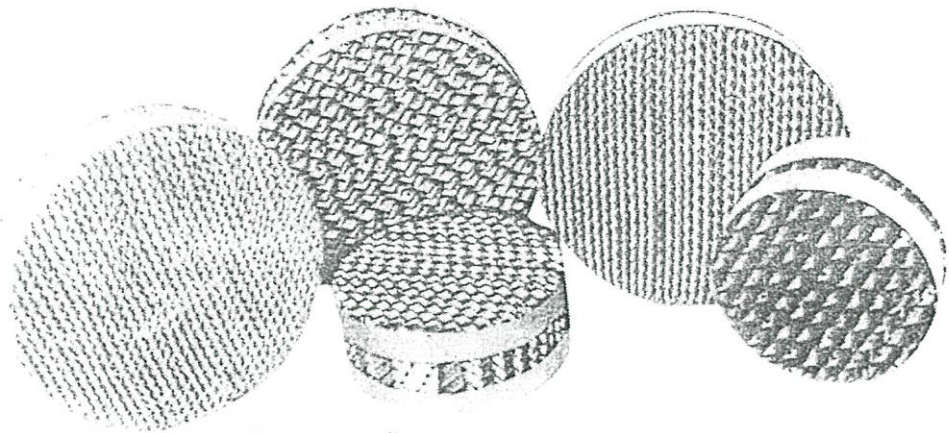
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแพคกิ้งแบบแรนดอมกับแพคกิ้งสตรักเจอร์ [13]

	ประเภทของแพคกิ้ง	
	แบบแรนดอม	แบบสตรักเจอร์
ต้นทุนการผลิต	ต่ำ	สูง
ความดันตกคร่อม	ต่ำ	ต่ำมาก
ประสิทธิภาพ	ปานกลาง	สูง



รูปที่ 2.11 แพคกิ้งแบบแรนดอม ( Random packing) [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



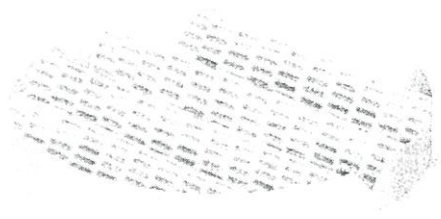
รูปที่ 2.12 แพคกิ้งแบบสตรักเจอร์ ( Structure packing) [15]

สำหรับแพคกิ้งทำจากวัสดุหลายชนิด ซึ่งได้แก่ โลหะ พลาสติก เซรามิก แก้วและยาง แพคกิ้งที่เป็นเซรามิก ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีและราคาถูกแต่จะมีน้ำหนักมาก ส่วนพลาสติกบางชนิด ไม่เหมาะสมสำหรับการทำแพคกิ้ง

ขนาดของแพคกิ้งที่ใช้ มีผลต่อความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางของหอ ความดันตกคร่อม และราคาของแพคกิ้ง โดยทั่วไปเมื่อขนาดแพคกิ้งเพิ่มขึ้น ราคาต่อหน่วยปริมาตรของแพคกิ้งและความดันตกคร่อมต่อหน่วยความสูงของแพคกิ้งจะลดลง ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลก็ลดลงด้วย เมื่อประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลลดลงจึงจำเป็นต้องใช้หอสูง ดังนั้นราคาทั้งหมดของหอแบบเบดบรรจุจะไม่ลดลงโดยการเพิ่มขนาดของแพคกิ้ง สำหรับหอที่มีการแพคแบบแรนดอม ขนาดของแพคกิ้งไม่ควรเกิน 1/8 เท่าของขนาดของหอแบบเบดบรรจุ ถ้ามีขนาดที่ใหญ่กว่านี้จะทำให้การกระจายของเหลวและประสิทธิภาพการถ่ายเทมวล จะลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะแพคกิ้งที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตร จะมีราคาต่อหน่วยปริมาตรของแพคกิ้งลดลงไม่มาก แต่ประสิทธิภาพจะลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นจึงไม่มีข้อดีในการใช้แพคกิ้งที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตร

### 2.5.2 แผ่นรองรับแพคกิ้ง (Packing support)

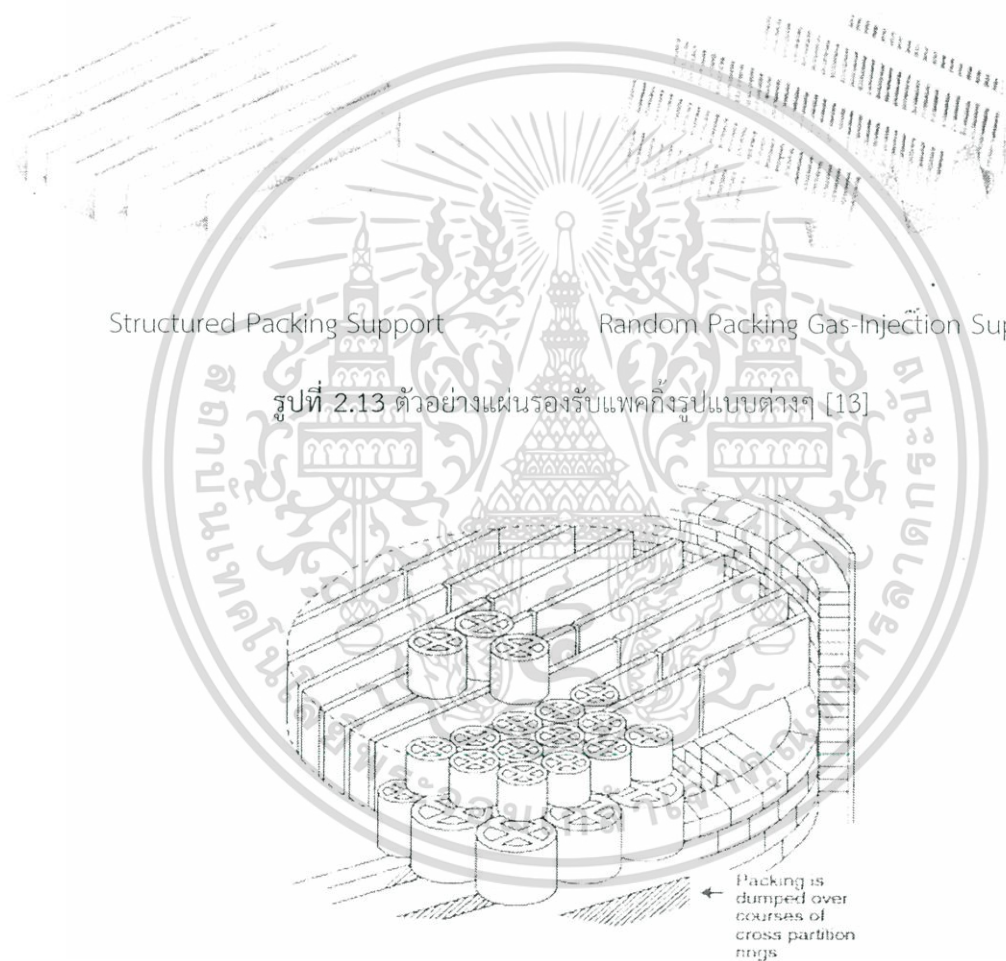
แผ่นรองรับแพคกิ้ง มีไว้เพื่อรับน้ำหนักของแพคกิ้งที่เปียก โดยยอมให้แก๊สและของเหลวไหลผ่านสะดวก โดยแผ่นรองรับแพคกิ้งที่ออกแบบไม่ดี จะทำให้ค่าความดันลดลงสูง และเกิดการท่วมของของเหลวได้ ซึ่งกริด (grid) หรือแผ่นรูพรุน ธรรมดาสามารถใช้เป็นตัวรองรับได้ แต่จำเป็นต้องยอมให้ของเหลวและแก๊สไหลผ่านช่องทางเดียว ดังรูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างแผ่นรองรับแพคกิ้งรูปแบบต่างๆ ในบางกรณีมีการใช้กริดที่มีช่องว่างกว้าง เพื่อให้การไหลผ่านของของเหลวเป็นไปด้วยดี แล้ววางแพคกิ้งขนาดใหญ่สองถึงสามชั้นเพื่อเป็นตัวรองรับแพคกิ้งขนาดเล็กที่ใส่ในหออย่างไม่เป็นระเบียบ ดังรูปที่ 2.14



Random Packing Gas Injection Support



Random Packing Gas-Injection Support



Structured Packing Support

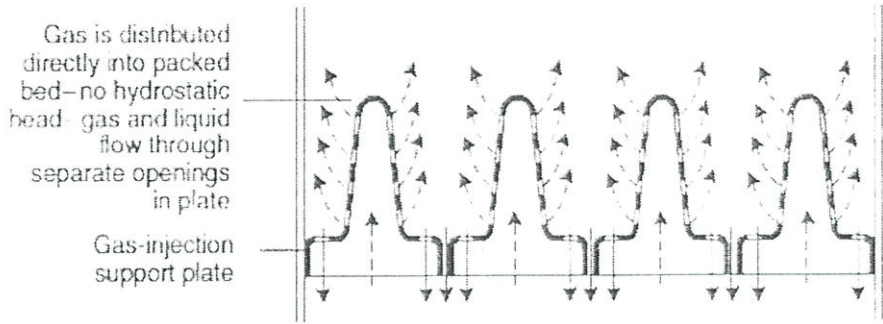
Random Packing Gas-Injection Support

รูปที่ 2.13 ตัวอย่างแผ่นรองรับแพคกิ้งรูปแบบต่างๆ [13]

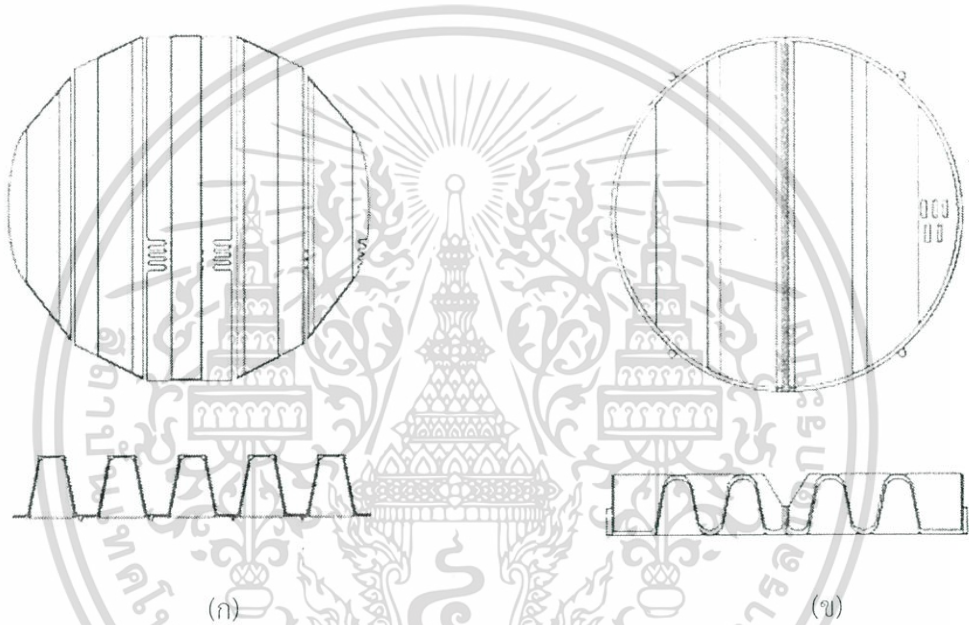
รูปที่ 2.14 แพคกิ้งเรียงเป็นระเบียบเพื่อรองรับแพคกิ้งที่บรรจุอย่างไม่เป็นระเบียบ [14]

การออกแบบแผ่นรองรับแพคกิ้งที่ดี ควรแยกช่องการไหลของแก๊สออกจากของเหลว โดยให้ช่องทางไหลของแก๊สอยู่ข้างบนเหนือช่องการไหลของของเหลว ดังรูปที่ 2.15 และ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ลักษณะของแผ่นรองรับที่ยอมให้แก๊สผ่านได้สะดวก [14]

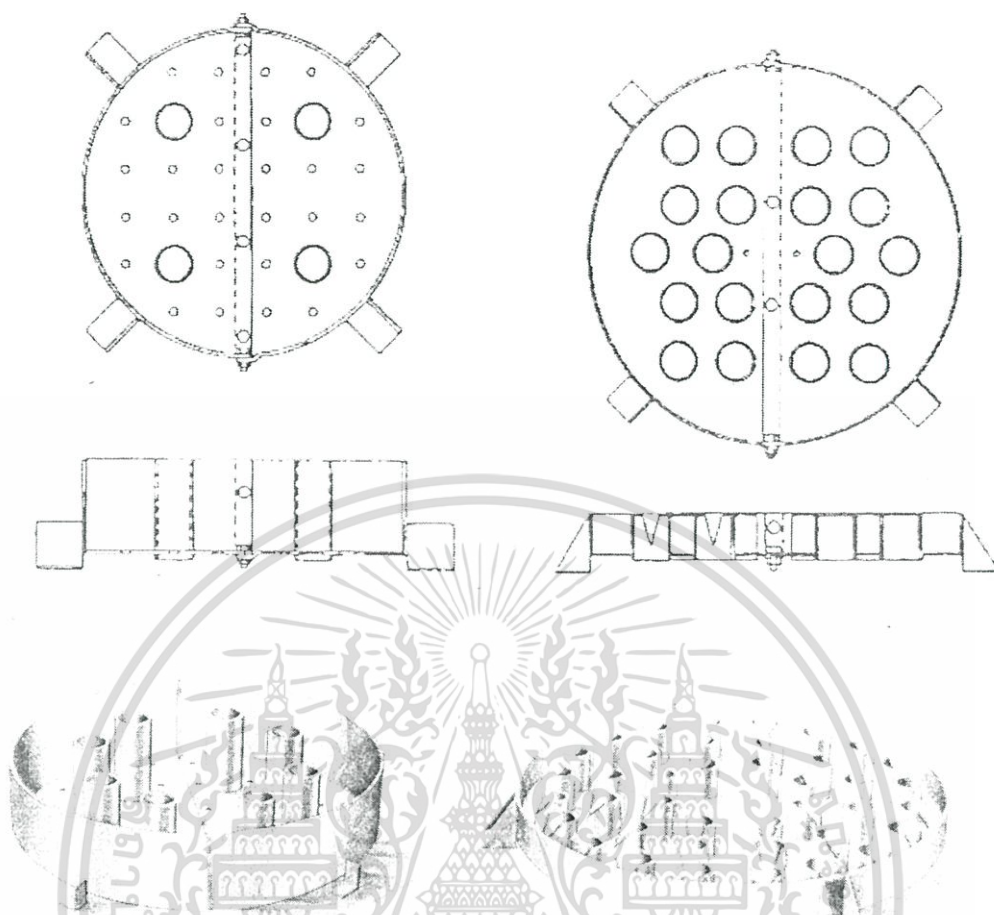


รูปที่ 2.16 การออกแบบแผ่นรองรับ (ก) สำหรับห่อเล็ก (ข)สำหรับห่อใหญ่ [14]

2.5.3 แผ่นกระจายของเหลว (Liquid distributors)

การที่ห่อแบบเบดบรรจุจะมีประสิทธิภาพสูง การกระจายของของเหลวบนแพคกิ้งต้องทั่วถึงและสม่ำเสมอ ดังนั้นจะพบว่าแผ่นกระจายของของเหลวมีหลายแบบ เช่น ถ้าห่อแบบเบดบรรจุมีขนาดเล็กจะมีเพียงรูเปิดตรงกลางยอดห่อหรือหัวฉีดฝอยเพียงเดียวก็เพียงพอสำหรับการกระจายของเหลวที่ดี แต่สำหรับห่อแบบเบดบรรจุที่มีขนาดใหญ่การออกแบบตัวกระจายของเหลวจะยุ่งยากมาก เพราะต้องสามารถกระจายของเหลวได้ดีที่ทุกอัตราไหลของของเหลว แผ่นกระจายของเหลวที่นิยมใช้มากที่สุดมี 2 แบบ คือ แบบออริฟิซ และแบบเวียร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.17

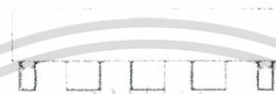
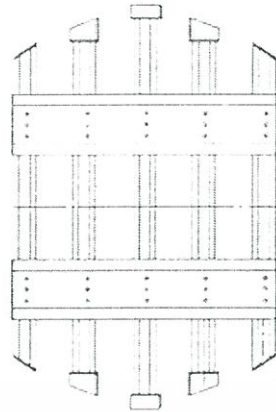
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แบบออริฟิซ และแบบเวียร์ [13]

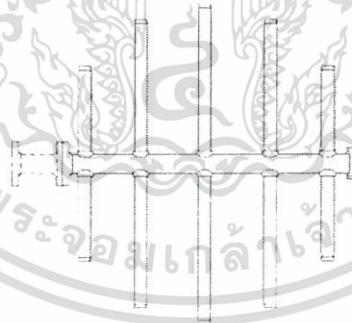
แผ่นกระจายของเหลวแบบออริฟิซ ของเหลวจะไหลผ่านรูต่างๆ ที่อยู่บนแผ่นกระจายของเหลว และแก๊สจะไหลขึ้นตามท่อสั้นที่ติดอยู่บนแผ่นกระจายของเหลว โดยที่ท่อสั้นจะมีพื้นที่เพียงพอ เพื่อให้แก๊สไหลขึ้นอย่างสะดวก โดยเกิดความดันลดน้อยที่สุด ส่วนรูที่ของเหลวไหลลงควรมีขนาดเพียงพอ เพื่อให้มีระดับของเหลวอยู่บนแผ่นกระจายของเหลวเมื่อของเหลวมีอัตราการไหลต่ำสุด และในทางตรงกันข้ามรูจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะป้องกันการล้นของของเหลวบนแผ่นกระจายของเหลวเมื่อของเหลวมีอัตราการไหลสูงสุด ส่วนแผ่นกระจายของเหลวแบบเวียร์ของเหลวจะไหลลงที่รอยบากของเวียร์ ส่วนแก๊สไหลขึ้นตามท่อของเวียร์ แผ่นกระจายของเหลวแบบเวียร์นี้สามารถใช้ได้ในช่วงของอัตราการไหลของของเหลวกว้างกว่าแบบออริฟิซ

สำหรับหอแบบเบดบรรจุที่มีขนาดใหญ่ แผ่นกระจายแบบโทรจ (trough) ดังรูปที่ 2.18 สามารถกระจายของเหลวได้ดี และแก๊สสามารถไหลขึ้นได้สูง



รูปที่ 2.18 แผ่นกระจายของเหลวแบบโทรจ [14]

การไหลผ่านแผ่นกระจายของเหลวต้องอาศัยแรงโน้มถ่วงในการไหล ดังนั้นอาจเกิดการกระจายที่ไม่ดีได้ จึงมีแบบแผ่นกระจายของเหลวอีกแบบหนึ่ง คือ แผ่นกระจายของเหลวแบบท่อเจาะรู ดังรูป 2.20 โดยของเหลวบ่อนเข้าสู่ท่อโดยใช้เครื่องสูบ ดังนั้น อัตราการไหลของของเหลวจะคงที่ และท่อกระจายหรือแผ่นออริฟิซควรเลือกขนาดที่เหมาะสม เพื่อให้การของของเหลวเกิดขึ้นในทุกรูบนท่อกระจายหรือบนแผ่นออริฟิซ



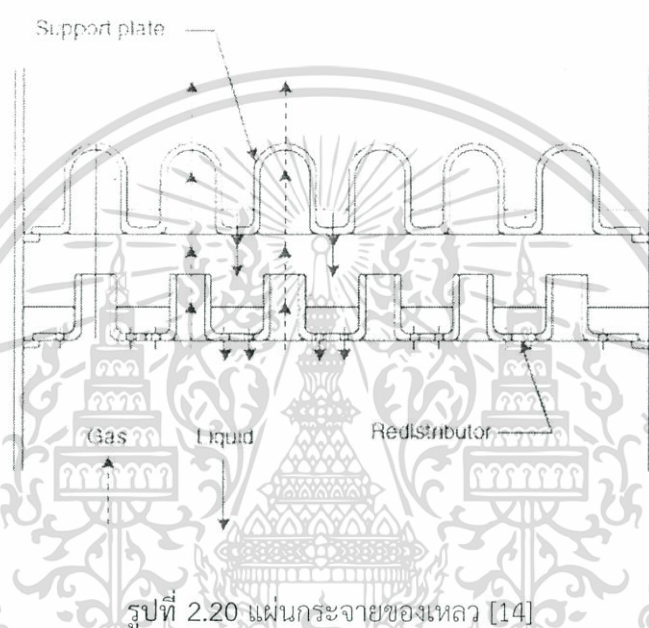
รูปที่ 2.19 แผ่นกระจายของเหลวแบบท่อเจาะรู [14]

#### 2.5.4 แผ่นกระจายของเหลว (Liquid redistributors)

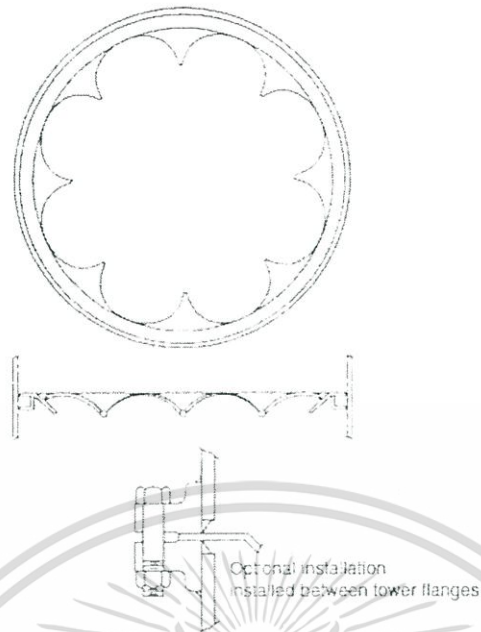
เมื่อของเหลวไหลลงบนแพคกิ้งที่อยู่ในหอแบบเบดบรรจุ ของเหลวจะไหลผ่านแพคกิ้งลงสู่ก้นหอ โดยจะไหลในแนวตั้ง ขณะเดียวกันจะไหลบานออกทางด้านข้างเข้าหาผนังหอ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนังหอกับแพคกิ้งจะมีช่องว่างสำหรับการไหลของของไหลสูงกว่าบริเวณที่เป็นแพคกิ้งอย่างเดียว ของเหลวที่ไหลโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงมักเลือกทางไหลที่สะดวกกว่า ดังนั้นของเหลวส่วนใหญ่เมื่อไหลผ่านแพคกิ้งไปเป็นระยะทางหนึ่งก็จะไหลไปตามผนังหอแทนที่จะไหลผ่านแพคกิ้งที่อยู่ตรงกลาง ทำให้แพคกิ้งอยู่ตรงกลางไม่สัมผัสกับของเหลว ประสิทธิภาพของหอจึงลดลง ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวข้างต้น จึงจำเป็นต้องมีแผ่นกระจายของเหลว เพื่อรวบรวมของเหลวส่วนใหญ่ที่ผนังหอกลับมากระจายใหม่ให้ทั่วแพคกิ้ง และยังทำหน้าที่เป็นตัวรองรับแพคกิ้งที่อยู่ข้างบนด้วย สำหรับตัวอย่างของแผ่นกระจายของเหลวแสดงในรูปที่ 2.20



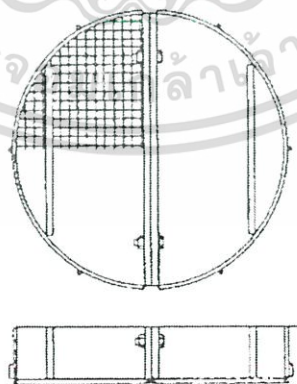
แผ่นกระจายของเหลวแบบอื่นๆ ได้แก่ แบบวอลล์เปเปอร์ ซึ่งประกอบด้วยวงแหวน ที่รวบรวมของเหลวจากผนังหอแล้วเปลี่ยนทิศทางสู่ศูนย์กลางของหอ ส่วนมากมักใช้กับหอที่มีขนาดเล็ก เช่น หอที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.6 เมตร การออกแบบแผ่นกระจายของเหลว จะต้องระวัง การท่วมเฉพาะที่ของของเหลวและต้องให้การไหลของแก๊สเป็นไปอย่างสะดวกดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แผ่นกระจายของเหลวแบบวอลล์เปเปอร์ [14]

#### 2.5.4 แผ่นโฮลด์ดาวน์ (Hold down plate)

เมื่อแก๊สมีอัตราการไหลสูง แพคกิ้งบนยอดหออาจเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดส์ขึ้นได้ ภายใต้ภาวะเช่นนี้แพคกิ้งที่เป็นเซรามิกอาจจะแตก และชิ้นส่วนเล็กๆ อาจจะหล่นลงมาอุดแพคกิ้งที่อยู่ข้างล่าง ถ้าแพคกิ้งเป็นโลหะหรือพลาสติกก็อาจจะสอยออกจากหอได้ดังนั้น ต้องวางแผ่นโฮลด์ดาวน์ บนแพคกิ้งเพื่อป้องกันการเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดส์ ดังรูปที่ 2.23 ช่องเปิดของแผ่นโฮลด์ดาวน์ จะมีขนาดเล็กกว่าแพคกิ้ง แต่ต้องไม่กีดขวางทางไหลของแก๊สและของเหลว



รูปที่ 2.22 แผ่นโฮลด์ ดาวน์ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การออกแบบการคำนวณ[16-19]

จากรูปที่ 2.23 แสดงหลักการทั่วไปของหอดูดซึม ซึ่งตัวแปรที่สำคัญได้แก่ ความสูงของหอดูดซึม ( $z$ ) พื้นที่หน้าตัดของหอดูดซึม ( $A$ ) อัตราการไหลเชิงโมลของแก๊ส ( $V$ ) สัดส่วนเชิงโมลของสารละลายในวัฏภาคแก๊ส (mole fraction in vapor,  $y$ ) อัตราการไหลเชิงโมลของของเหลว ( $L$ ) และ สัดส่วนเชิงโมลของสารละลายในวัฏภาคของเหลว(mole fraction in liquid,  $x$ ) โดยหมายเลข 1 แสดงตำแหน่งของหอดูดซึมที่ด้านล่าง และหมายเลข 2 แสดงตำแหน่งของหอดูดซึมที่ด้านบน ซึ่งสารละลายจะถูกป้อนที่ด้านบนของหอดูดซึม ( $L_2$ ) และออกทางด้านล่างของหอดูดซึม ( $L_1$ ) ส่วนทางอากาศที่สภาวะปกติ (Ambient air) จะถูกป้อนที่ด้านล่างของหอดูดซึม ( $V_1$ ) และผ่านออกจากระบบที่ด้านบนของหอดูดซึม ( $V_2$ )



รูปที่ 2.23 ระบบหอดูดซึม [16]

### 2.6.1 การคำนวณดุลมวลสารและเส้นดำเนินการ (Material Balances and Operating Line)

เศษส่วนเชิงโมลในวัฏภาคแก๊ส นิยามด้วยโมลของสารละลายในวัฏภาคแก๊สต่อโมลของแก๊ส (Mole Ratio,  $Y$ ) มีความสัมพันธ์กับสัดส่วนเชิงโมลของสารละลายในวัฏภาคแก๊ส (Mole Fraction in Vapor,  $y$ ) ดังสมการ

$$Y = \frac{y}{1-y} \quad (2-5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ เศษส่วนเชิงโมลในวัฏภาคของเหลว (Mole Ratio, X) สามารถคำนวณได้จาก

$$X = \frac{x}{1-x} \quad (2-6)$$

สมการดุลมวลรวม (Overall Material Balance) สามารถคำนวณได้จาก

มวลขาเข้า = มวลขาออก

$$L_2 + V_1 = L_1 + V_2 \quad (2-7)$$

สมการดุลมวลสารขององค์ประกอบ (Component Balance) สามารถคำนวณได้จาก

$$L_2 x_2 + V_1 y_1 = L_1 x_1 + V_2 y_2 \quad (2-8)$$

ในกรณีปริมาณของสารที่ถ่ายเทมีค่าน้อยมาก (Dilute System) เมื่อเทียบกับอัตรา  
การไหลของแก๊สและของเหลว สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L = L_1(1-x_1) = L_2(1-x_2) \quad (2-9)$$

$$V = V_1(1-y_1) = V_2(1-y_2) \quad (2-10)$$

แทนสมการที่ (2-9) และ (2-10) ในสมการที่ (2-8) จะได้

$$L \frac{x_2}{(1-x_2)} + V \frac{y_1}{(1-y_1)} = L \frac{x_1}{(1-x_1)} + V \frac{y_2}{(1-y_2)} \quad (2-11)$$

แทนสมการที่ (2-5) และ (2-6) ในสมการที่ (2-11) จะได้

$$V(Y_1 - Y_2) = L(X_1 - X_2) \quad (2-12)$$

หรือ

$$\frac{L}{V} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} \quad (2-13)$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า X และ Y จะได้สมการเส้นตรงซึ่งมีความชัน  
เท่ากับ  $L/V$ . เส้นตรงนี้เรียกว่า เส้นดำเนินการ

## 2.6.2 การคำนวณเส้นสมดุล (Equilibrium Line)

1) สัดส่วนเชิงโมลของน้ำในอากาศ ( $y_e$ ) ค่าความดันไอของสารละลายโพธิ์สทินไกลคอลล  
ลขึ้นอยู่กับความเข้มข้น และอุณหภูมิ ซึ่งสามารถคำนวณสัดส่วนโดยโมลของน้ำในอากาศ ( $y_e$ ) ได้จาก  
สมการที่ (2-14) หรือ (2-15)

$$y_e = \frac{P_w}{P_T} \quad (2-14)$$

เมื่อ  $P_w$  คือ ความดันไอน้ำของสารละลายโพธิ์สทินไกลคอลล

$P_T$  คือ ความดันรวมซึ่งเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y_e = \frac{\frac{m_{H_2O}}{MW_{H_2O}}}{\frac{m_{H_2O}}{MW_{H_2O}} + \frac{m_{da}}{MW_{air}}} \quad (2-15)$$

เมื่อ  $m_{H_2O}$  คือ น้ำหนักของน้ำในอากาศ

$MW_{H_2O}$  คือ มวลโมเลกุลของน้ำ

$m_{da}$  คือ น้ำหนักของอากาศแห้ง

$MW_{air}$  คือ มวลโมเลกุลของอากาศ

2) สัดส่วนเชิงโมลของน้ำในสารละลายโพธิ์สโกลคอล ( $X_e$ ) ที่ความเข้มข้นต่างๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-16)

$$X_e = \frac{\frac{m_w}{MW_w}}{\frac{m_w}{MW_w} + \frac{m_{PG}}{MW_{PG}}} \quad (2-16)$$

เมื่อ  $m_w, m_{PG}$  คือ มวลของน้ำและสารละลายโพธิ์สโกลคอล ณ ความเข้มข้นต่างๆ

$MW_w, MW_{PG}$  คือ มวลโมเลกุลของน้ำและสารละลายโพธิ์สโกลคอล โดยเส้นสมมูล สามารถหาได้จากการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $X_e$  และ  $Y_e$  ที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่อ  $x_e$  และ  $y_e$  คำนวณจากสมการที่ (2-5) และ (2-6) โดยใช้ค่า  $x_e$  และ  $y_e$  จากสมการ (2-14) และ (2-16)

### 2.6.3 การคำนวณค่าความดันตกคร่อม และขนาดของหอดูดซึม[16]

1) การคำนวณความดันตกคร่อม ณ จุดที่เกิดการท่วม ( $\Delta P_{flooding}$ )

การหาค่าความดันตกคร่อม ( $\text{inH}_2\text{O}/\text{ft}$ ) ณ จุดที่เกิดการท่วมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-17)

$$\Delta P_{flooding} = 0.115F_p^{0.7} \quad (2-17)$$

เมื่อ  $F_p$  คือ ค่าเฉพาะของแพคกิ้ง ขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของวัสดุ ( $\text{ft}^{-1}$ )

2) การคำนวณค่า flow parameter

การหาค่า flow parameter สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-18)

$$\text{flow parameter} = \left(\frac{L}{V}\right)\left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0.5} \quad (2-18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\rho_G$ ,  $\rho_L$  คือ ความหนาแน่นของอากาศและสารละลายโพธิ์ลิ้นเกลคอล  
( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

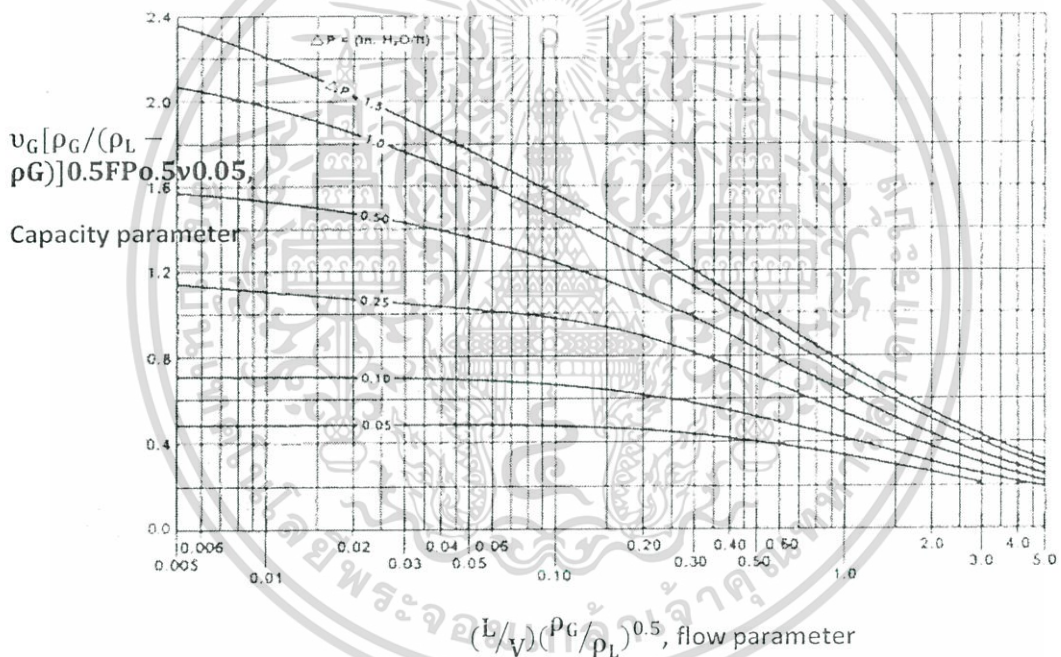
3) การคำนวณค่าความเร็วของแก๊สที่เกิดการท่วมภายในหอ

ทำการลากเส้นระหว่างค่า flow parameter และ  $\Delta P$  flooding ในรูปที่ 2.11 เพื่อหาค่า capacity parameter ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-19)

$$\text{capacity parameter}_{\text{flood}} = v_G \left[ \frac{\rho_G}{(\rho_L - \rho_G)} \right]^{0.5} F_p^{0.5} v^{0.05} \quad (2-19)$$

เมื่อ  $v_G$  คือ ความเร็วของแก๊ส ( $\text{ft}/\text{s}$ )

$v$  คือ อัตราส่วนของความหนืดกับความหนาแน่นของสารละลายโพธิ์ลิ้นเกลคอล ( $\text{cSt}$ )



รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ของความดันตกคร่อมภายในหอดูดซึมแบบแพคกิ้งเบด [16]

4) การคำนวณค่าอัตราการไหลต่อพื้นที่ ( $G_G, \frac{\text{lb}_m}{\text{sft}^2}$ ) ที่ทำให้เกิดการท่วมของหอ

$$G_{G,\text{flooding}} = v_{G,\text{flooding}} \rho_G \quad (2-20)$$

5) การคำนวณค่าอัตราการไหลต่อพื้นที่ ที่ใช้ในการปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_{G,operated} = 0.5G_{G,flooding} \quad (2-21)$$

6) การคำนวณค่าความดันตกคร่อมที่ใช้ในการปฏิบัติการ

ทำการลากเส้นตัดระหว่างค่า flow parameter และ capacity parameter ที่ 50% ของค่าที่ทำให้เกิดการท่วมภายในหอ เพื่อหาค่าความดันตกคร่อมที่ใช้ในการปฏิบัติการ

7) การคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหอดูดซึม(D,ft)

$$V = G_{G,operated} \times \frac{\pi D^2}{4} \quad (2-22)$$

#### 2.6.4 การคำนวณความสูงของหอดูดซึม[17-19]

ความสูงของหอดูดซึมแบบเบดบรรจุคำนวณได้จากการหาจำนวนหน่วยของการถ่ายโอนมวลตามทฤษฎี แล้วคูณด้วยความสูงของการถ่ายโอนมวล ดังสมการที่ (2-23)

$$Z = NTU \times HTU \quad (2-23)$$

เมื่อ HTU คือ ความสูงของการถ่ายโอนมวล

NTU คือ จำนวนหน่วยของการถ่ายโอนมวลตามทฤษฎี

Z คือ ความสูงของเบดบรรจุ

แต่การคำนวณการถ่ายโอนมวลที่บริเวณผิวสัมผัสของแก๊สและของเหลวทำได้ยาก จึงคำนวณจากการถ่ายโอนมวลรวม สามารถคำนวณความสูงของหอดูดซึมได้จากสมการที่ (2-24)

$$Z = N_{OG} \times H_{OG} = N_{OL} \times H_{OL} \quad (2-24)$$

เมื่อ  $N_{OG}$  คือ จำนวนหน่วยของการถ่ายโอนมวลรวมของแก๊ส

$N_{OL}$  คือ จำนวนหน่วยของการถ่ายโอนมวลรวมของของเหลว

$H_{OG}$  คือ ความสูงของการถ่ายโอนมวลรวมของแก๊ส

$H_{OL}$  คือ ความสูงของการถ่ายโอนมวลรวมของของเหลว

การคำนวณความสูงของแพคกิ้งเพื่อให้เกิดการแยกตามมาตรฐาน (a standard separation) จากสมการ (2-23) ใช้ในการคำนวณการถ่ายโอนมวลรวมในวัฏภาคแก๊สหรือของเหลว สำหรับการใช้งานเกี่ยวกับการลดความชื้นในอากาศใช้ค่า  $H_{OG}$  เนื่องจากความต้านทานการถ่ายโอนมวลถูกจำกัดในวัฏภาคแก๊ส โดยความสัมพันธ์สำหรับคำนวณค่าความสูงของการถ่ายโอนมวล แสดงอยู่ในรูปของ  $H_G$  และ  $H_L$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-25)

$$H_{OG} = H_G + \frac{1}{A} H_L \quad (2-25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $\frac{1}{A}$  คือ สตรีปปิงแฟกเตอร์ (stripping factor, S) ใช้ในกรณีเป็นกระบวนการดูดซึมความชื้นสำหรับกระบวนการคายความชื้นจะใช้แฟกเตอร์การดูดซึม (absorption factor, A) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-26)

$$S = \frac{1}{A} = m_{yx} \frac{V}{L} \quad (2-26)$$

โดย  $m_{yx}$  คือ ความชื้นของเส้นสมดุล (Equilibrium line) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-27)

$$m_{yx} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} \quad (2-27)$$

เมื่อ  $Y_1$  และ  $Y_2$  คือ เศษส่วนเชิงโมลในวัฏภาคแก๊ส ที่สมดุลกับ เศษส่วนเชิงโมลในวัฏภาคของเหลวขาเข้าและขาออก ( $x_1, x_2$ )

โดยปัจจัยที่มีผลต่อค่าความสูงของการถ่ายโอนมวลของแก๊ส ประกอบด้วยชนิดของแพคกิ้ง และอัตราการไหลของแก๊สและของเหลวดังแสดงในสมการที่ (2-28) และ (2-29)

$$H_G = \frac{1}{C_V} (\epsilon - h_L)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{d_H}{a^3} \right)^{\frac{1}{2}} (N_{Rev})^{\frac{3}{4}} (N_{Scv})^{-\frac{1}{3}} \left( \frac{u_V a}{D_{vapH}} \right) \quad (2-28)$$

$$H_L = \frac{1}{C_L} \left( \frac{1}{12} \right)^{\frac{1}{6}} \left( \frac{d_H h_L}{D_L u_L} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{u_L}{a} \left( \frac{a}{a_{ph}} \right) \quad (2-29)$$

โดยที่  $C_V$  และ  $C_L$  เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุแพคกิ้งที่ใช้ ส่วนค่าตัวแปรอื่นๆ สามารถคำนวณได้ดังนี้

1) เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ของแก๊ส ( $N_{Rev}$ ) เป็นจำนวนที่ไม่มีมิติ เป็นการแสดงอัตราส่วนของแรงเฉื่อยต่อแรงของความหนืด ซึ่งเป็นตัวเลขสำคัญในการกำหนดเงื่อนไขการไหล สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-30) ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ของแก๊ส คือ ความเร็วของแก๊ส ( $u_V$ ) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-31)

$$N_{Rev} = \frac{u_V \rho_V}{\mu_V} \quad (2-30)$$

$$u_V = \frac{\dot{V}}{\rho_V A_c} \quad (2-31)$$

2) สมิตท์นัมเบอร์ของแก๊ส ( $N_{Scv}$ ) เป็นจำนวนที่ไม่มีมิติ เป็นการแสดงอัตราส่วนระหว่างสภาพการแพร่โมเมนตัม กับสัมประสิทธิ์การแพร่มวล สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-32)

$$N_{Scv} = \frac{\mu_V}{\rho_V D_V} \quad (2-32)$$

3) ลิกวิดโฮลด์ อัฟ (liquid holdup,  $h_L$ ) ที่จุดไหล สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-33)

$$h_L = \left( 12 \frac{N_{FrL}}{N_{ReL}} \right)^{1/3} \quad (2-33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ฟรูดนัมเบอร์ของของเหลว ( $N_{FrL}$ ) เป็นจำนวนที่ไม่มีมิติ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของแรงเนื่องจากความเฉื่อยกับแรงโน้มถ่วงของโลก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-34) ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อค่าฟรูดนัมเบอร์ของของเหลว คือ ความเร็วของของเหลว ( $u_L$ ) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-35)

$$N_{FrL} = \frac{u_L a}{g} \quad (2-34)$$

$$u_L = \frac{\dot{L}}{\rho_L A_C} \quad (2-35)$$

5) เรย์โนลด์นัมเบอร์ของของเหลว ( $N_{ReL}$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-36)

$$N_{ReL} = \frac{u_L \rho_L}{\mu_L} \quad (2-36)$$

6) ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิกของแท่งสี่เหลี่ยม (  $d_h$  ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-37)

$$d_h = 4 \frac{A}{P} \quad (2-37)$$

7) อัตราส่วนระหว่างพื้นที่รอยต่อเฟสกับพื้นที่ผิวแพคกิ้ง ( $\frac{a_{ph}}{a}$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-38)

$$\frac{a_{ph}}{a} = 3\varepsilon^{0.5} (N_{ReL})^{-0.2} (N_{WeL})^{0.75} (N_{FrL})^{-0.45} \quad (2-38)$$

8) วีเบอร์นัมเบอร์ของของเหลว ( $N_{WeL}$ ) คือ รากที่สองของสัดส่วนของแรงเนื่องจากความเฉื่อยกับแรงตึงผิว สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-39)

$$N_{WeL} = \frac{u_L^2 \rho_L}{\sigma_L a} \quad (2-39)$$

จำนวนหน่วยของการถ่ายโอนมวลรวมของแก๊สสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-40)

$$N_{OG} = \int_{Y_{out}}^{Y_{in}} \frac{dY}{Y - Y^*} \quad (2-40)$$

พื้นที่ได้กราฟสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-41)

$$\int_{X_0}^{X_N} f(X) dX = \frac{3}{8} h (f_0 + 4f_1 + 4f_2 + 4f_3 + 2f_4 + \dots + 4f_{N-1} + f_N) \quad (2-41)$$

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของ Esam Elsarrag ได้ทำการทดลองลดความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายไตรเอทิลีนไกลคอล ในแท่งเบดคอลัมน์ที่มีทิศทางการไหลสวนทางกัน โดยมีตัวแปรในการทดลองดังนี้ อัตราการไหลของไตรเอทิลีนไกลคอลและอากาศ ความเข้มข้นของไตรเอทิลีนไกลคอล ความชื้นในอากาศขาเข้า และความสูงของหอ พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของไตรเอทิลีนไกลคอล จาก 1.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น 2.2 กิโลกรัมต่อตารางเมตรวินาที อัตราการกำจัดความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 10.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ จาก 1 เป็น 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตรวินาที อัตราการกำจัดความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้นจาก 6 เป็น 11 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการไหลของไตรเอทิลีนไกลคอลต่ออากาศ จาก 1.9 เป็น 2.4 เท่า อัตราการกำจัดความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้นจาก 4.5 เป็น 5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อเพิ่มความชื้นในอากาศขาเข้าจาก 15 เป็น 25 กรัมน้ำต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง อัตราการกำจัดความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้นจาก 7 เป็น 12.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเมื่อเพิ่มความสูงของหอลดความชื้น จาก 0.4 เป็น 0.5 เมตร อัตราการกำจัดความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 11.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

และจากงานวิจัยของ Zurigat และคณะ ได้ทำการทดลองลดความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายไตรเอทิลีนไกลคอล ในแพคเกจคอล์มน์ที่มีทิศทางการไหลสวนทางกัน โดยทำการศึกษาจากชนิดของแพคเกจชนิดไม้และอะลูมิเนียม ทำการทดลองที่ความหนาแน่นเท่ากันที่ 77 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร จากการทดลองใช้หอที่มีความสูง 0.6 เมตร และความสูงของแพคเกจที่บรรจุ 0.48 เมตร ซึ่งจะทำให้การทดลองภายใต้ตัวแปรต่างๆ ดังนี้ อัตราการไหลของอากาศและไตรเอทิลีนไกลคอล อุณหภูมิของอากาศและไตรเอทิลีนขาเข้า ความชื้นของอากาศขาเข้า ความเข้มข้นของไตรเอทิลีนขาเข้า จากการทดลองพบว่าชนิดของแพคเกจที่แตกต่างกันส่งผลให้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศขาเข้าจะเพิ่มอัตราการกำจัดความชื้นของแพคเกจอะลูมิเนียมเท่านั้น และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นและอัตราการไหลของไตรเอทิลีนไกลคอลและอัตราการไหลของอากาศแล้วอัตราการกำจัดความชื้นเพิ่มขึ้นทั้งสองชนิดของแพคเกจ

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึง วิธีการเตรียมสารละลายและวิธีการทดลองสำหรับวัดค่าความดันไอของ สารละลายโพรพิลีนไกลคอล และการออกแบบระบบลดความชื้นในอากาศโดยใช้สารละลายโพรพิลีน ไกลคอล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 3.1 การเตรียมสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นต่างๆ

สารเคมีที่ใช้ คือ

- 1) โพรพิลีนไกลคอล, CARLO#454054
- 2) น้ำกลั่น

อุปกรณ์

- 1) ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
- 2) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

การเตรียมสารละลายโพรพิลีนไกลคอล ที่ความเข้มข้นต่างๆ สามารถทำได้ดังนี้

- 1) ทำการชั่งน้ำหนักของขวดวัดปริมาตร แล้วจดบันทึก
- 2) ทำการเติมโพรพิลีนไกลคอลลงในขวดวัดปริมาตรตามที่ได้คำนวณความเข้มข้นที่ต้องการ ในภาคผนวก ข ชั่งน้ำหนักของโพรพิลีนไกลคอลและขวดวัดปริมาตร แล้วจดบันทึก
- 3) ทำการเติมน้ำกลั่นจนปริมาตรของสารละลายในขวดวัดปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร แล้ว ทำการชั่งน้ำหนักรวมของสารละลาย และขวดวัดปริมาตร แล้วจดบันทึก
- 4) คำนวณความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล จากสมการ

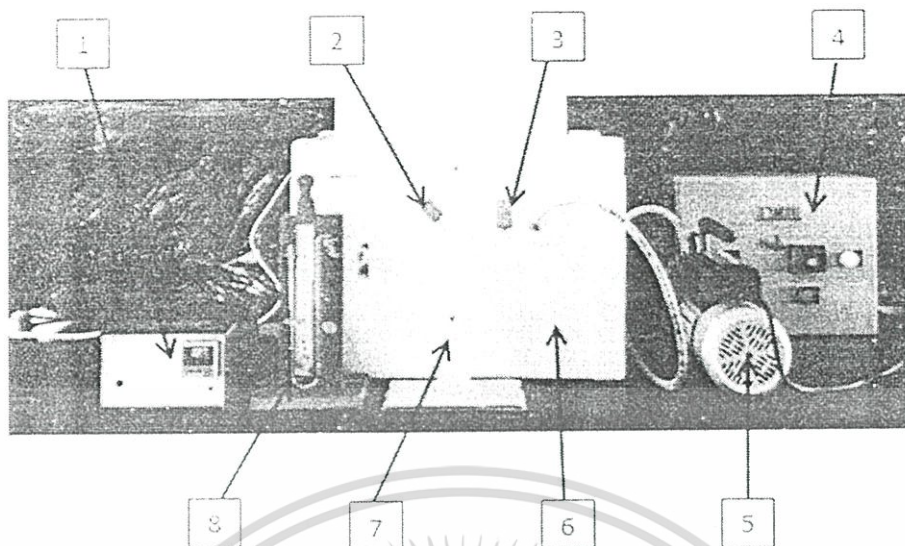
$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{น้ำหนักของโพรพิลีนไกลคอล} - \text{น้ำหนักของขวดวัดปริมาตร}}{\text{น้ำหนักรวมของสารละลาย} - \text{น้ำหนักของขวดวัดปริมาตร}}$$

#### 3.2 การวัดค่าความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล

สารเคมีที่ใช้ คือ สารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 85 ถึง 97 โดยน้ำหนัก

อุปกรณ์วัดความดันไอ แสดงดังรูปที่ 3.1

ส่วนประกอบของอุปกรณ์วัดความดันไอแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์วัดความดันไอ

- 1) เทอร์โมคัปเปิลพร้อมจอแสดงผลแบบดิจิทัล
- 2) วาล์วป้อนสารละลาย
- 3) วาล์วสุญญากาศ
- 4) ชุดควบคุมอุณหภูมิ
- 5) บีมสุญญากาศ
- 6) กล่องควบคุมอุณหภูมิ
- 7) ชุดบรรจุสารละลาย
- 8) ไมโครมิเตอร์แบบปรอทที่มีปลายปิดด้านหนึ่ง

#### การวัดความดันไอ

การทำงานของอุปกรณ์วัดความดันไอ ต้องทำให้ชุดบรรจุสารละลายเพื่อวัดความดันไอเป็นสุญญากาศ โดยใช้ปั๊มสุญญากาศดูดอากาศออกจากระบบ เมื่อทำการป้อนสารละลายเข้าสู่ชุดบรรจุสารละลาย ค่าความดันที่วัดได้คือ ความดันไอของสารละลาย โดยมีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลภายในชุดบรรจุสารละลายเพื่อวัดอุณหภูมิขณะทำการทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1) ทำการต่ออุปกรณ์วัดความดันไอ ดังรูปที่ 3.1 ลงภายในกล่องควบคุมอุณหภูมิ ที่ติดตั้งชุดควบคุมอุณหภูมิ เพื่อปรับอุณหภูมิ พร้อมทั้งปิดวาล์วสุญญากาศ และวาล์วป้อนสารละลาย
- 2) บรรจุสารละลายความเข้มข้นที่ต้องการวัดลงในส่วนป้อนสารละลาย
- 3) เปิดปั๊มสุญญากาศ และเปิดวาล์วสุญญากาศ เป็นเวลา 3 นาทีเพื่อให้ระบบเป็นสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ปิดวาล์วสุญญากาศ และปิดปั๊มสุญญากาศ ซึ่งในขณะนี้อยู่ในขบวนการตรวจสอบสารละลายจะอยู่ในสถานะสุญญากาศ โดยสามารถตรวจสอบได้จากระดับของปรอทในमानอมิเตอร์ ทั้งสองด้านต้องเท่ากันและไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อตั้งทิ้งไว้
- 5) ค่อยๆ เปิดวาล์วป้อนสารละลาย เพื่อให้สารละลายไหลลงมาในขบวนการตรวจสอบสารละลาย
- 6) ปิดวาล์วป้อนสารละลายโดยเหลือสารละลายไว้ภายในส่วนป้อนสารละลาย เพื่อป้องกันอากาศภายนอกเข้ามาในระบบ
- 7) เปิดชุดควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิตามที่ต้องการโดยค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิตั้งเดิมจนถึง 60 °C
- 8) อ่านความดันไอของสารละลายแต่ละความเข้มข้นที่อุณหภูมิต่างๆ จากผลต่างความสูงของปรอทในमानอมิเตอร์แบบปรอทที่มีปลายปิดด้านหนึ่ง แล้วจดบันทึก

### 3.3 การออกแบบระบบลดความชื้นในอากาศ โดยใช้สารละลายโพธิ์สลิโนไกลคอล

การออกแบบหอดลดความชื้นและหอคายความชื้นโดยใช้สารละลายโพธิ์สลิโนไกลคอลแบบเบดบรรจุ ที่มีทิศทางการไหลแบบสวนทางกัน ที่อุณหภูมิคงที่ โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล มีลักษณะของตารางคำนวณและวิธีการใช้งานตารางการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ค. และวิธีการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ง. โดยตัวแปรต้นที่ทำการศึกษาคือ ขนาดและชนิดของแพคเกจ อัตราการไหลของอากาศ อัตราการไหล อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารละลายโพธิ์สลิโนไกลคอล โดยมีตัวแปรตามที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ความดันตกคร่อมภายในหอ อัตราการกำจัดความชื้นของอากาศ

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การเตรียมสารละลายโพรพิลีนไกลคอล

จากวิธีการเตรียมสารละลายโพรพิลีนไกลคอลในหัวข้อที่ 3.1 ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่

4.1

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลสำหรับวัดค่าความดันไอ

ตัวอย่างที่	น้ำหนักของโพรพิลีนไกลคอล (กรัม)	น้ำหนักของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล (กรัม)	ความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
1	50.0311	51.3205	97.00
2	45.5990	47.9591	94.60
3	34.3392	37.1305	92.02
4	46.9792	51.4300	90.89
5	39.7185	45.3392	87.16
6	44.0489	51.2133	85.58

#### 4.2 การวัดค่าความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล

จากวิธีการวัดค่าความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลในหัวข้อที่ 3.2 ทำการทดลองวัดความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่อุณหภูมิ ระหว่าง 30 ถึง 55 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นตั้งแต่ ร้อยละ 85 ถึง 97 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงจากบริษัท ดาวเคมีคัล แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (ร้อยละโดย น้ำหนัก)	ความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นต่างๆ (มิลลิเมตรปรอท)														
	35 องศาเซลเซียส			40 องศาเซลเซียส			45 องศาเซลเซียส			50 องศาเซลเซียส			55 องศาเซลเซียส		
	การ ทดลอง	ข้อมูล อ้างอิง	ความคลาด เคลื่อน (ร้อยละ)	การ ทดลอง	ข้อมูล อ้างอิง	ความคลาด เคลื่อน (ร้อยละ)	การ ทดลอง	ข้อมูล อ้างอิง	ความคลาด เคลื่อน (ร้อยละ)	การ ทดลอง	ข้อมูล อ้างอิง	ความคลาด เคลื่อน (ร้อยละ)	การ ทดลอง	ข้อมูล อ้างอิง	ความคลาด เคลื่อน (ร้อยละ)
97.00	1.5	3.8	60.6	2.8	5.3	48.2	4.0	7.0	42.9	6.0	9.3	35.6	7.0	12.2	42.8
94.60	7.5	7.2	4.2	9.5	9.4	1.1	10.8	12.6	14.7	13.8	16.5	16.7	17.3	21.2	18.6
92.02	11.0	N/A	N/A	14.5	N/A	N/A	19.3	N/A	N/A	25.8	N/A	N/A	33.0	N/A	N/A
90.89	12.8	13.1	2.7	15.5	17.1	9.6	20.5	22.9	10.5	26.8	30.0	10.8	35.0	38.4	8.8
87.16	14.3	N/A	N/A	18.5	N/A	N/A	26.0	N/A	N/A	31.3	N/A	N/A	44.5	N/A	N/A
85.56	17.0	17.1	0.8	21.8	22.9	5.0	27.8	30.0	7.5	36.0	39.0	7.7	46.8	50.0	6.5

\*หมายเหตุ N/A คือ ไม่มีข้อมูลอ้างอิงจากบริษัท ดาวเคมีคัล

การทดลองเพื่อวัดความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลดังตารางที่ 4.2 พบว่าไม่สามารถวัดค่าความดันไอที่อุณหภูมิ 30 และ 60 องศาเซลเซียสได้ เนื่องจากอุณหภูมิห้องในขณะที่ทำการทดลองอยู่ที่ 33 องศาเซลเซียส และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขณะทำการทดลองจนถึง 60 องศาเซลเซียส พรอทในมานอมิเตอร์หลุดออกมาจึงไม่สามารถวัดค่าความดันไอที่อุณหภูมินี้ได้ นอกจากนี้ เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองเทียบกับข้อมูลอ้างอิงจากบริษัท ดาวเคมีคัล พบว่ามีความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ร้อยละ 0.1 ถึง 40 เนื่องจากการอ่านค่าจากกราฟความดันไอที่ใช้อ้างอิงเป็นกราฟในรูปแบบของแกนล็อก การอ่านค่าความดันไอจึงคลาดเคลื่อน ดังนั้นหากต้องการทดลองวัดค่าความดันไอในช่วงของอุณหภูมิที่กว้างขึ้นควรปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันไอให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้ความดันไอจากข้อมูลของบริษัท ดาวเคมีคัล เป็นข้อมูลอ้างอิงที่ใช้ในการคำนวณ เนื่องจากมีข้อมูลครอบคลุมช่วงที่ทำการออกแบบหอลดความชื้น และหอคายความชื้น

#### 4.3 การออกแบบระบบลดความชื้นในอากาศ โดยใช้สารละลายโพรพิลีนไกลคอล

ระบบลดความชื้นในอากาศด้วยหอลดความชื้นแบบเบดบรรจุ กำหนดให้ใช้ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.3159 เมตร) ที่ความสูงของเบดบรรจุ 0.5 เมตร กำหนดให้อากาศขาเข้ามีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ซึ่งมีค่าความชื้นในอากาศ 21 กรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง โดยมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการลดความชื้น ในอากาศ ได้แก่ ขนาดและชนิดของแพคกิ้ง อัตราการไหลขาเข้าของอากาศ อัตราการไหล ความเข้มข้น และอุณหภูมิขาเข้าของสารละลายโพรพิลีนไกล และสำหรับหอคายความชื้นแบบเบดบรรจุ กำหนดให้ใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ที่ความสูงของเบดบรรจุ 0.35 เมตร โดยมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการคายความชื้นในอากาศ คือ ปริมาณขาของอากาศขาเข้า ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.3 ถึง 4.8

ตารางที่ 4.3 ผลของชนิดและขนาดของแพคกิ้งที่มีต่อประสิทธิภาพการลดความชื้น

กรณีศึกษาที่	อากาศ		สารละลายโพรพิลีนไกลคอล		ชนิดของแพคกิ้ง	ความดันตกคร่อม (Pa/m)	อัตราการกำจัดความชื้น (kg/hr)	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีอยู่ (ม)
	อัตราการไหลขาออก (kg/hr)	ความชื้นในอากาศขาออก (g./kg.a)	อัตราการไหลขาออก (kg/hr)	ความเข้มข้น (%wt)				
1	294.21	8.56	305.78	89.46	Pall rings plastic 25 mm	122.58	3.73	0.30
2	294.30	8.74	305.70	89.47	Pall rings plastic 35 mm	81.72	3.68	0.28
3	294.31	8.76	306.69	89.47	Pall rings metal 25 mm	122.58	3.67	0.30
4	294.25	8.64	305.75	89.46	Hiflow metal 25 mm	81.72	3.71	0.28

จากตารางที่ 4.3 ผลของชนิดและขนาดของแพคกิ้งที่มีต่อประสิทธิภาพของหอลลดความชื้น ที่ใช้อัตราการไหลของอากาศและสารละลายโพรพิลีนไกลคอลขาเข้า 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก สรุปได้ดังนี้

การเพิ่มขนาดของแพคกิ้งจะทำให้ความดันตกคร่อมและอัตราการกำจัดความชื้นลดลง โดยดูจากผลของกรณีที่ 1 และ 2 เมื่อใช้แพคกิ้งชนิดพลาสติก pall ring ขนาด 25 และ 35 มิลลิเมตร พบว่าอัตราการกำจัดความชื้นลดลงจาก 3.78 เป็น 3.68 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสของแพคกิ้งลดลงจาก 225 เป็น 151.1 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร และความดันตกคร่อมภายในหอนี้ลดลงจาก 122.58 เป็น 81.72 พาสคาลต่อเมตร เนื่องจากมีช่องว่างในการไหลผ่านของอากาศและสารดูดความชื้นเพิ่มขึ้น

แพคกิ้งชนิดพลาสติกที่มีอัตราการกำจัดความชื้นสูงกว่าแพคกิ้งชนิดโลหะ โดยดูจากผลการทดลองกรณีที่ 1 และ 3 พบว่าแพคกิ้งที่เป็นพลาสติกมีอัตราการกำจัดความชื้น 3.73 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าแพคกิ้งที่เป็นโลหะมีอัตราการกำจัดความชื้น 3.67 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากความสามารถในการกระจายตัวของของเหลวที่บริเวณผิวของพลาสติกสูงกว่าเหล็ก รวมถึงพลาสติกมีน้ำหนักเบากว่าโลหะทำให้ช่วยลดน้ำหนักของหอลลดความชื้นได้ แต่พลาสติกไม่สามารถใช้ได้กับสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อน

การเลือกแพคกิ้งที่มีประสิทธิภาพสูง จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการลดความชื้นในอากาศ โดยดูจากผลการทดลองกรณีที่ 3 และ 4 พบว่าแพคกิ้งชนิด pall ring เทียบกับแพคกิ้งชนิด hiflow มีความดันตกคร่อมภายในหอลลดลงจาก 122.58 เป็น 81.72 พาสคาลต่อเมตร และมีอัตราการกำจัดความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 3.67 เป็น 3.71 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากประสิทธิภาพของแพคกิ้งชนิด hiflow สูงกว่าชนิด pall ring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตารางที่ 4.4 ผลของอัตราการไหลของอากาศและสารละลายโพธิ์สปีนไกลที่มีต่อประสิทธิภาพการลดความชื้น

กรณีศึกษาที่	อากาศ			สารละลายโพธิ์สปีนไกลคอลล			ความดันตกคร่อม (Pa/m)	อัตราการกำจัดความชื้น (kg/hr)	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยที่สุด (m)
	อัตราการไหลขาเข้า (kg/hr)	อัตราการไหลขาออก (kg/hr)	ความชื้นในอากาศขาออก (g./kg <sub>dry</sub> )	อัตราการไหลขาเข้า (kg/hr)	อัตราการไหลขาออก (kg/hr)	ความเข้มข้นขาออก (%wt)			
1	300	294.21	8.56	300	305.78	89.46	122.58	3.73	0.30
5	150	147.09	8.48	300	302.91	89.73	36.77	1.88	0.23
6	600	588.56	8.70	300	311.44	88.94	653.75	7.38	0.41
7	300	294.32	8.78	150	155.68	88.95	106.23	3.67	0.29
8	300	294.17	8.46	600	605.83	89.73	130.75	3.76	0.32

จากตารางที่ 4.4 ผลของอัตราการไหลของอากาศและสารละลายโพธิ์สปีนไกลคอลลที่มีต่อประสิทธิภาพการลดความชื้น เมื่อใช้สารละลายโพธิ์สปีนไกลคอลลความเข้มข้นร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก และใช้แพคเกจชนิด พลาสติก pall ring ขนาด 25 มิลลิเมตร สรุปได้ดังนี้

อัตราการไหลของอากาศและสารละลายโพธิ์สปีนไกลคอลลที่สูงขึ้น ทำให้ความดันตกคร่อมภายในหอและอัตราการกำจัดความชื้นในอากาศสูงขึ้น โดยการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ จะมีผลต่อความดันตกคร่อมและอัตราการกำจัดความชื้นที่สูงขึ้นมากกว่าการเพิ่มอัตราการไหลของสารละลายโพธิ์สปีนไกลคอลล โดยดูจากผลของกรณีที่ 1,6 และ 8 เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศและสารละลายโพธิ์สปีนไกลคอลลจาก 300 เป็น 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความดันตกคร่อมภายในหอเพิ่มขึ้นจาก 122.58 เป็น 653.75 และ 130.75 พาสคาลต่อเมตร ตามลำดับ และอัตราการกำจัดความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 3.73 เป็น 7.38 และ 3.76 ตามลำดับ

เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศและสารละลายโพธิ์สปีนไกลคอลลส่งผลให้ความเร็วภายในหอสูงขึ้น ความดันตกคร่อมภายในหอจึงสูงขึ้น นอกจากนี้อัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้น ยังส่งผลให้ปริมาณของไอน้ำในอากาศที่เข้ามาในหอลดความชื้นเพิ่มขึ้น เป็นผลให้อัตราการกำจัดความชื้นเพิ่มขึ้น และอัตราการไหลของสารละลายโพธิ์สปีนไกลคอลลที่เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ความเข้มข้นภายในหอเพิ่มขึ้นโดยดูจากความเข้มข้นขาออกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งความเข้มข้นในหอที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความดันไอของสารละลายโพธิ์สปีนไกลคอลลลดลง ผลต่างความดันไอน้ำในอากาศกับสารละลายโพธิ์สปีนไกลคอลลจึงเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการกำจัดความชื้นเพิ่มขึ้น

ถึงแม้ว่าการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศและสารละลายโพธิ์สปีนไกลคอลล จะทำให้อัตราการกำจัดความชื้นสูงขึ้น แต่อัตราการไหลที่สูงเกินไป จะทำให้เกิดการท่วมภายในหอ ดังนั้นหากต้องการกำจัดความชื้นในปริมาณมาก จะจำเป็นต้องเพิ่มขนาดของหอดูดความชื้น ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยที่สุดที่ไม่ทำให้เกิดการท่วมภายในหอ

ตารางที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่มีต่อประสิทธิภาพการลดความชื้น

กรณีศึกษาที่	อากาศ		สารละลายโพรพิลีนไกลคอล			ความดันตกคร่อม (Pa/m)	อัตราการกำจัดความชื้น (kg/hr)	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยที่สุด (m)
	อัตราการไหลขาออก (kg/hr)	ความชื้นในอากาศ (g./kg <sub>da</sub> )	ความเข้มข้นขาเข้า (%wt)	อัตราการไหลขาออก (kg/hr)	ความเข้มข้น (%wt)			
1	294.21	8.56	90	305.73	89.46	122.58	3.73	0.30
9	292.46	4.79	95	307.54	94.35	122.58	4.86	0.30

จากตารางที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่มีต่อประสิทธิภาพการลดความชื้น ที่ใช้อัตราการไหลของอากาศและสารละลายโพรพิลีนไกลคอลขาเข้า 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และใช้แพคกิ้งชนิด พลาสติก pall ring ขนาด 25 มิลลิเมตร พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นขาเข้าของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลจะทำให้อัตราการกำจัดความชื้นสูงขึ้น โดยดูผลจากกรณีที่ 1 และ 9 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลจากร้อยละ 90 เป็น 95 โดยน้ำหนัก อัตราการกำจัดความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 3.73 เป็น 4.86 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายทำให้ความดันไอของสารละลายลดลง ดังนั้นผลต่างความดันไอน้ำในอากาศกับสารละลายจึงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการกำจัดความชื้นสูงขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไม่มีผลต่อความดันตกคร่อมภายในหอ

ตารางที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่มีต่อประสิทธิภาพการลดความชื้น

กรณีศึกษาที่	อากาศ		สารละลายโพรพิลีนไกลคอล			ความดันตกคร่อม (Pa/m)	อัตราการกำจัดความชื้น (kg/hr)	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยที่สุด (m)
	อัตราการไหลขาออก (kg/hr)	ความชื้นในอากาศขาออก (g./kg <sub>da</sub> )	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อัตราการไหลขาออก (kg/hr)	ความเข้มข้นขาออก (%wt)			
1	294.21	8.56	30	305.78	89.46	122.58	3.73	0.30
10	297.05	14.66	40	302.95	89.72	122.58	1.90	0.30

จากตารางที่ 4.6 ผลของอุณหภูมิของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่มีต่อประสิทธิภาพการลดความชื้น ที่ใช้อัตราการไหลของอากาศและสารละลายโพรพิลีนไกลคอลขาเข้า 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลร้อยละ 90 โดยน้ำหนักและใช้แพคกิ้งชนิดพลาสติก pall ring ขนาด 25 มิลลิเมตร พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิขาเข้าของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล จะทำให้อัตราการกำจัดความชื้นลดลง โดยดูจากกรณีที่ 1 และ 10 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล จาก 30 เป็น 40 องศาเซลเซียส อัตราการกำจัดความชื้นมีค่าลดลงจาก 3.73 เป็น 1.90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายทำให้ความดันไอของสารละลายเพิ่มขึ้น ดังนั้นผลต่างของความดันไอน้ำในอากาศกับสารละลายจึงลดลง ส่งผลให้อัตราการกำจัดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลไม่มีผลต่อความดันตกคร่อมภายในหอ

ตารางที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลในหอคายความชื้นที่มีต่อประสิทธิภาพการคายความชื้น

กรณีศึกษาที่	สารละลายโพรพิลีนไกลคอล		อัตราการไหลของอากาศขาเข้า (kg/hr)	ความดันตกคร่อมภายในหอ (Pa/m)	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยที่สุด (m)
	ความเข้มข้นขาเข้า (kg/hr)	อุณหภูมิ (°C)			
11	89.46	55	300	106.23	0.2932
12	89.46	60	100	16.34	0.1845
13	94.35	55	N/A	N/A	N/A
14	94.35	60	415	204.30	0.3382

\*หมายเหตุ N/A คือ ไม่สามารถทำการคายความชื้นออกจากสารละลายโพรพิลีนไกลคอล

จากตารางที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลในหอคายความชื้นที่มีต่อประสิทธิภาพการคายความชื้น ที่ใช้อัตราการไหลของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลขาออกที่ได้จากหอลดความชื้นในกรณีที่ 1 เป็นขาเข้าของหอลดความชื้นที่ 305.78 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความเข้มข้นร้อยละ 89.46 โดยน้ำหนัก เพื่อให้ได้สารละลายโพรพิลีนไกลคอลขาออกของหอคายความชื้นมีความเข้มข้นร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก โดยใช้แพคเกจชนิดพลาสติก pall ring ขนาด 25 มิลลิเมตร และหอคายความชื้นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3159 เมตร ความสูงแพคเกจที่ 0.085 เมตร พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิขาเข้าของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล จะทำให้ใช้อัตราการไหลของอากาศลดลง โดยดูจากกรณีที่ 11 และ 12 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลจาก 55 เป็น 60 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศที่ใช้อีกาลดลงจาก 300 เป็น 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลทำให้ความดันไอของสารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งภายในหอลดความชื้นความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลสูงกว่าความดันไอน้ำในอากาศ ดังนั้นผลต่างของความดันไอน้ำในอากาศกับสารละลายจึงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการคายความชื้นเพิ่ม

การเพิ่มความเข้มข้นขาเข้าของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลในหอคายความชื้น จะทำให้ใช้อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น โดยดูจากกรณีที่ 12 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 14 ซึ่งใช้ความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลในกรณีที่ 9 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลจากร้อยละ 89.46 เป็น 94.35 โดยน้ำหนัก อัตราการไหลของอากาศที่ใช้อีกาลดลงจาก 100 เป็น 415 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลทำให้ความดันไอของสารละลายลดลงซึ่งภายในหอลดความชื้นความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลสูงกว่าน้ำในอากาศ ดังนั้นผลต่างของความดันไอน้ำในอากาศกับสารละลายจึงลดลง ส่งผลให้อัตราการคายความชื้นลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

### สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการคำนวณผลของ ขนาด และชนิดของแพคเกจ อัตราการไหลของอากาศ อัตราการไหล ความเข้มข้น และอุณหภูมิของสารละลายโพพิลีนไกลคอล ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการลด และคาย ความชื้นในอากาศ

พบว่าปัจจัยที่ทำให้การลดความชื้นในอากาศมีประสิทธิภาพสูง คือ การเลือกใช้แพคเกจชนิด พลาสติกที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากแพคเกจชนิดพลาสติกมีความสามารถในการกระจายตัวของเหลว ที่บริเวณผิวของแพคเกจชนิดพลาสติกสูงกว่าแพคเกจชนิดเหล็ก และแพคเกจที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ ผิวสัมผัสระหว่างสารละลายโพพิลีนไกลคอลกับอากาศ สูงกว่าแพคเกจที่มีขนาดใหญ่ ทำให้มี ความสามารถในการกำจัดความชื้นสูง

สำหรับอัตราส่วนอัตราการไหลไหลของอากาศ และสารละลายโพพิลีนไกลคอลที่เพิ่มขึ้น ส่งผล ให้อัตราการกำจัดความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศส่งผลให้ปริมาณของน้ำ เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการกำจัดความชื้นสูงขึ้น แต่การเพิ่มอัตราการไหลของอากาศทำให้ความดันตก คร่อมภายในหอเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วภายในหอเพิ่มขึ้น อาจทำให้เกิดการท่วมภายในหอได้

นอกจากนี้ ความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายโพพิลีนไกลคอล ส่งผลต่อประสิทธิภาพ การลดความชื้นด้วย โดยการเลือกสารละลายโพพิลีนไกลคอลที่มีความเข้มข้นสูง และอุณหภูมิต่ำ มี ประสิทธิภาพการลดความชื้นสูง เนื่องความดันไอของสารละลายโพพิลีนไกลคอลต่ำ ซึ่ง ความสามารถในการถ่ายเทมวลระหว่างน้ำในอากาศเข้ามายังสารละลายโพพิลีนไกลคอลขึ้นอยู่กับ ผลต่างของความดันไอระหว่างน้ำในอากาศกับสารละลายโพพิลีนไกลคอล ดังนั้นทำให้ประสิทธิภาพ การกำจัดความชื้นเพิ่มขึ้น

ปัจจัยที่ทำให้การคายความชื้นมีประสิทธิภาพสูง คือการคายความชื้นของสารละลายโพพิลีน ไกลคอลที่มีความเข้มข้นต่ำ และอุณหภูมิสูง เนื่องจากมีความดันไอของสารละลายโพพิลีนสูง ผลต่าง ความดันไอของน้ำในอากาศกับสารละลายโพพิลีนไกลคอลเพิ่มขึ้น ดังนั้นทำให้ประสิทธิภาพการคาย ความชื้นเพิ่มขึ้น

การลดความชื้นที่ความเข้มข้นสูงขึ้น จากความเข้มข้นร้อยละ 90 เป็น 95 โดยน้ำหนัก จะเพิ่ม อัตราการกำจัดความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 3.73 เป็น 4.86 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่การใช้สารละลายโพพิ ลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นสูง จะทำให้การคายความชื้นต้องใช้อัตราการไหล และอุณหภูมิของอากาศ สูงขึ้น ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการคายความชื้นจึงสูงขึ้น ดังนั้นการใช้สารละลายโพพิลีนไกลคอลที่ ความเข้มข้นที่เหมาะสม จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดความชื้นสูง และในการทดลองนี้เป็นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณแบบอนุกรมคิงที่ แต่ในความเป็นจริงการควบคุมอนุกรมภายในหอให้คงที่เป็นเรื่องยาก  
ดังนั้นจึงควรศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ไพรวัลย์ วงศ์ดี. “ความชื้นในอากาศ.” [Online]. Available : <http://www.gotoknow.org/posts/438663>. 2557.
- [2] Munters Corporation. “seed storage”. [Online]. Available : <http://webdh.munters.com/webdh/BrochureUploads/Application%20Guide-%20Seed%20Storage.pdf>. 2557.
- [3] Misha, S. ,Mat, S. ,Ruslan, M.H. , & Sopian, K. 2012. “Review of solid/liquid desiccant in the drying applications and its regeneration methods.” Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16 : 4686-4704.
- [4] Jain, S. & Bansal, P.K. 2007. “Performance analysis of liquid desiccant dehumidification systems.” International Journal of Refrigeration. 30 : 861-872.
- [5] TheGlobeProgram. “การตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Relative Humidity: RH).” [online]. Available : [http://globethailand.ipst.ac.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=74%3A-relative-humidity-rh&catid=37%3A-atmosphere&Itemid=57](http://globethailand.ipst.ac.th/index.php?option=com_content&view=article&id=74%3A-relative-humidity-rh&catid=37%3A-atmosphere&Itemid=57). 2557.
- [6] วีรศักดิ์ เฉลิมพิพัฒน์. “ไซโครเมตริก.” [Online]. Available : [http://www.reocities.com/auto\\_aircond/airproperties3.html](http://www.reocities.com/auto_aircond/airproperties3.html). 2557.
- [7] Jim Johnson. “Demystifying The Psychrometric Chart Part Two.” [Online]. Available : <http://techtrainassoc.com/demystifying-the-psychrometric-chart-part-two>. 2557.
- [8] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. “เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว.” [Online]. Available : <http://www.eeiku.com/technics/Deep/D02.pdf>. 2557.
- [9] Andy Lowenstein. 2008. “Review of Liquid Desiccant Technology for HVAC Applications.” HVAC&R Research. 2008(14) : 818-826.
- [10] The Dow Chemical Company. “A Guide to Glycols.” [Online]. Available : [http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh\\_091b/0901b8038091b508.pdf?filepath=propyleneglycol/pdfs/noreg/117-01682.pdf&fromPage=GetDoc](http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_091b/0901b8038091b508.pdf?filepath=propyleneglycol/pdfs/noreg/117-01682.pdf&fromPage=GetDoc). 2557.
- [11] The Dow Chemical Company. “Triethylene glycol.” [Online]. Available : [https://www.ou.edu/content/dam/CoE/CBME/Undergraduate\\_Lab/CHE4262/sec002/UC-2165A%20Triethylene%20Glycol.pdf](https://www.ou.edu/content/dam/CoE/CBME/Undergraduate_Lab/CHE4262/sec002/UC-2165A%20Triethylene%20Glycol.pdf) . 2557.
- [12] “Gas-Liquid Contactors: Packed columns.” [Online]. Available:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- <http://www.hyper-tvt.ethz.ch/contactors-packing.php>.
- [13] Koch-Galitsch Company. "Support Plates." [Online]. Available: [http://www.kochgalsch.com/Document%20Library/Plastic\\_Packing\\_Support\\_Plates.pdf](http://www.kochgalsch.com/Document%20Library/Plastic_Packing_Support_Plates.pdf)
- [14] Welty, J.R. , Wicks, C.E. , Wilson, R.E. , & Rorrer, G.L. 2007. Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer. 5th ed. New York : John Wiley & Sons.
- [15] Ningbo TianYi Chemical Industrial(T.C.I) Co.,Ltd. "Structure packing." [Online]. Available: <http://www.rubbersealing.com/TCI/goods-340--structured+column+packing-Metal+Corrugated+structure+packing.html>
- [16] Geankoplis, C.J. 2003. Transport Processes and Separation Process Principles (includes Unit Operations). 4<sup>th</sup> ed. New York : Prentice Hall.
- [17] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. "การออกแบบอุปกรณ์ควบคุมแก๊ส." [Online]. Available : <http://www2.diw.go.th/km/pdf%5Cknow%5Cgas.pdf>. 2557.
- [18] Henley, E.J. ,Seader, J.D. ,& Roper, D.K. 2011. Separation Process Principles. 3<sup>rd</sup> ed. New York : John Wiley & Sons.
- [19] อัครพงศ์ กระแสร์, อำนาจ สุนทรชัชเวช. 2555. "ระบบลดความชื้นอากาศโดยใช้สารละลายไตรเอทิลีนไกลคอล" ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [20] อำนาจ สุนทรชัชเวช. "ความดันไอของสารละลายโพแทสเซียมอะซิเตตและโพแทสเซียมคาร์บอเนต" วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

คุณสมบัติของโพรพิลีนไกลคอล

ตาราง ก.1 คุณสมบัติทางกายภาพของโพรพิลีนไกลคอล

คุณสมบัติ	โพรพิลีนไกลคอล
ชื่อสารเคมี	1,2-propanediol
สูตรโมเลกุล	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
น้ำหนักโมเลกุล	76.09
จุดเดือด ที่ความดัน 1 บรรยากาศ	187.4 °C
ความดันไอ ที่อุณหภูมิ 25 °C	0.13 mmHg
อัตราการระเหย	0.0157
ความหนาแน่น ที่อุณหภูมิ 25 °C	1.032 g/cm <sup>3</sup>
จุดเยือกแข็ง	supercools
จุดไหลเท	น้อยกว่า -57 °C
ความหนืด ที่อุณหภูมิ 25 °C	48.6 mPas
แรงตึงผิว ที่อุณหภูมิ 25 °C	36 dynes/cm
ค่าความร้อนจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 25 °C	0.60 Btu/lb/°F
จุดวาบไฟ	104 °C
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ที่อุณหภูมิ 25 °C	0.1191 Btu/hr · ft · °F
ค่าความร้อนของการเกิดปฏิกิริยา	-101 Kcal/g-mol
ค่าความร้อนในการกลายเป็นไอ ที่อุณหภูมิ 25 °C	379 Btu/lb
สัมประสิทธิ์การนำไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 25 °C	0.16 × 10 <sup>-6</sup> mhos/cm

จากรูปที่ 2.8 จะได้ค่าความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล ดังตาราง ก.2

ตาราง ก.2 ความดันไอของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่อุณหภูมิต่างๆ

ความเข้มข้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความดันไอที่อุณหภูมิต่างๆ (มิลลิเมตรปรอท)						
	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
97	2.85	3.81	5.31	7.00	9.32	12.24	16.50
95	5.42	7.20	9.40	12.60	16.50	21.20	27.24
90	10.00	13.10	17.14	22.89	30	38.39	50.00
85	13.10	17.14	22.90	30.00	39.00	50.00	64.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

คุณสมบัติของแพคกิ้ง

ตาราง ข. แสดงคุณสมบัติของแพคกิ้ง

Packing	Characteristics from Billet										
	Material	Size	Fp (ft <sup>2</sup> /ft <sup>3</sup> )	a	ε	C <sub>h</sub>	C <sub>p</sub>	C <sub>L</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	C <sub>fl</sub>
Pall rings	Plastic	25 mm	55	225	0.887	0.528	0.865	0.905	0.446	2.696	2.064
Pall rings	Plastic	35 mm	40	151.1	0.906	0.718	0.927	0.856	0.38	2.654	1.742
Pall rings	Plastic	50 mm	26	111.1	0.919	0.593	0.698	1.239	0.368	2.816	1.757
Pall rings	Metal	25 mm	56	223.5	0.954	0.719	0.957	1.44	0.336	2.627	2.083
Pall rings	Metal	35 mm	40	139.4	0.965	0.644	0.967	1.012	0.341	2.629	1.679
Pall rings	Metal	50 mm	27	112.6	0.951	0.784	0.763	1.192	0.41	2.725	1.58
Pall rings	Ceramic	50 mm	43	155.2	0.754	1.066	0.233	1.278	0.333	3.793	3.024
Nor-Pak rings	Plastic	35 mm	21	141.8	0.944	0.587	0.371	0.756	0.425	3.179	2.242
Nor-Pak rings	Plastic	50 mm	14	86.8	0.947	0.651	0.35	1.08	0.322	2.959	1.786
Hiflow rings	Metal	25 mm	42	202.9	0.962	0.799	0.689	1.641	0.402	2.918	2.177
Hiflow rings	Metal	50 mm	16	92.3	0.977	0.876	0.421	1.168	0.408	2.702	1.626

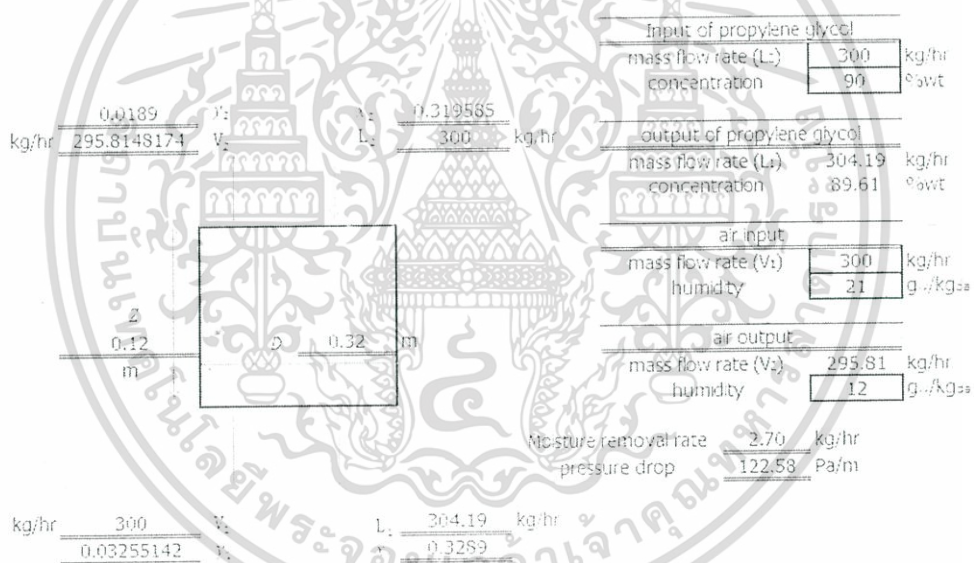
## ภาคผนวก ค.

### ลักษณะและวิธีการใช้งานตารางการคำนวณ

ตารางการคำนวณสำหรับหอลดความชื้นแบบเบตบรจ ที่มีทิศทางการไหลแบบสวนทางกัน มีส่วนประกอบและวิธีการใช้งานดังนี้

#### ค.1 หน้าต่างแสดงผลการคำนวณ

หน้าต่างนี้แสดงผลที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งได้แก่ ความดันตกคร่อมภายในหอ อัตราการกำจัดความชื้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงของหอลดความชื้น โดยค่าที่จำเป็นต้องป้อนข้อมูลลงในช่องสี่เหลี่ยม ในรูป ค.1 ซึ่งประกอบด้วย อัตราการไหล และความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลขาเข้า อัตราการไหล และความชื้นในอากาศทั้งขาเข้าและขาออก



รูป ค. 1 หน้าต่างแสดงผลการคำนวณ

#### ค.2 ตารางส่วนป้อนข้อมูล

หน้าต่างนี้แสดงคุณสมบัติของแพคกิ้ง อากาศ และสารละลายโพรพิลีนไกลคอล ซึ่งต้องป้อนค่าลงในช่องสี่เหลี่ยมในรูป ค.2 โดยคุณสมบัติของแพคกิ้งสามารถดูได้จากภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

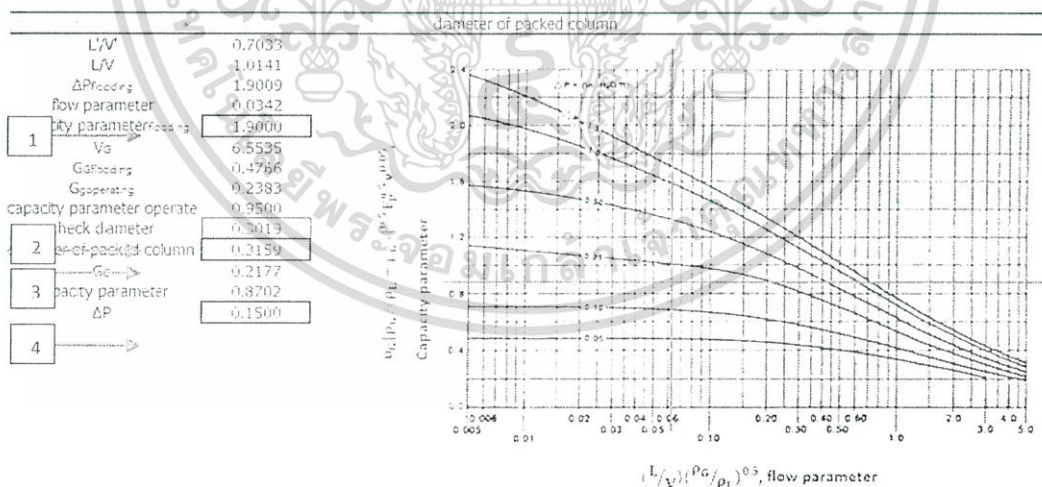
calculation							
properties of packing		properties of gas		properties of liquid		properties of water	
packing 25 mm		name	air	name	PG	name	water
Fp	55	density $\rho_g$ / kg m <sup>-3</sup>	1.1650	density $\rho_L$ / kg m <sup>-3</sup>	1027	MW	18
$\sigma$ / N m <sup>-1</sup>	225	$D_p$ / m	2.539E-05	$C_p$ / J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	6.957E+10		
$\epsilon$	0.837	$\mu_{air}$ / Pa s	1.68E-05	$\mu_{PG}$ / Pa s	0.02		
C <sub>1</sub>	0.528	$\nu$	0.912252	$\nu$	0.00010349		
C <sub>2</sub>	0.865	MW	28.84	$\nu_{PG}$ / m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	0.04346		
C <sub>3</sub>	0.915			MW	76.09		
C <sub>4</sub>	0.446						
C <sub>5</sub>	2.696						

รูป ค. 2 หน้าต่างตารางส่วนป้อนข้อมูล

ค.3 ตารางคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของหอลดความชื้น

หน้าต่างนี้จะแสดงผลการคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางซึ่งได้มาจากการคำนวณดังภาคผนวก ง. ซึ่งต้องป้อนค่าลงในช่องสี่เท่าในรูป ค.3 โดยมีขั้นตอนในการป้อนข้อมูลดังนี้

- 1) ในช่องที่ 1 ได้จากการอ่านกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความดันตกคร่อมที่จุดท่วมของหอ และ flow parameter เพื่อหาค่า capacity parameter
- 2) ในช่องที่ 3 ป้อนค่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยค่าที่ป้อนต้องมีค่ามากกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทำให้เกิดการท่วมในหอ ซึ่งแสดงในช่องที่ 2
- 3) ในช่องที่ 4 ได้จากการอ่านกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง flow parameter และ capacity parameter ที่ปฏิบัติการ เพื่อหาค่าความดันตกคร่อมภายในหอ

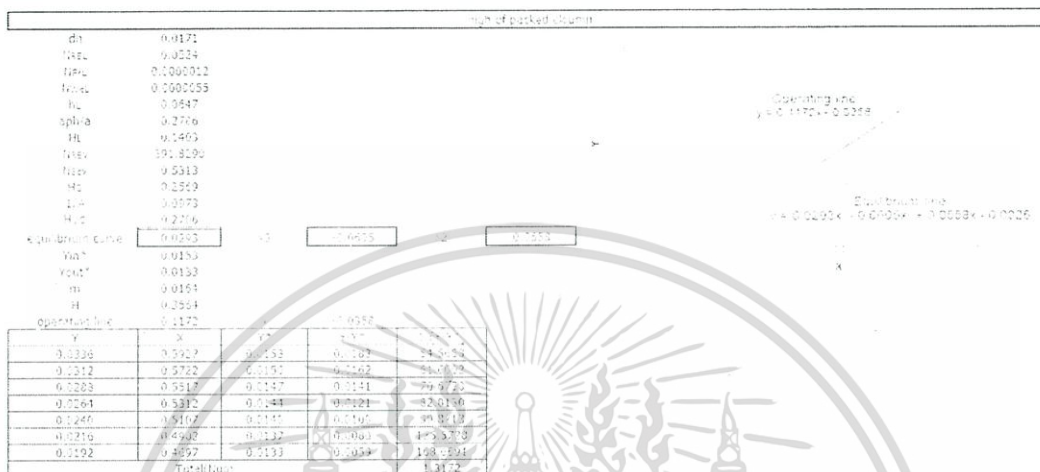


รูป ค. 3 หน้าต่างคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของหอลดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.4 ตารางคำนวณความสูงของหลอดความชื้น

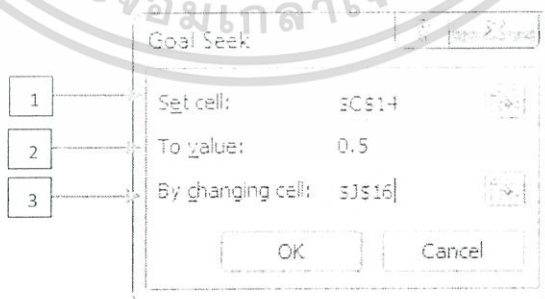
หน้าต่านี้จะแสดงผลการคำนวณความสูงซึ่งได้มาจากการคำนวณดังภาคผนวก ง.4 ซึ่งต้องป้อนค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเส้นสมดุคที่ได้จากการคำนวณภาคผนวก ง.1ลงในช่องสีเทาในรูป ค.4 โดยต้องตรวจสอบเส้นปฏิบัติการและเส้นสมดุคให้เส้นทั้งสองไม่ตัดกัน



รูป ค. 4 หน้าต่าคำนวณความสูงของหลอดความชื้น

ค.5 การทำการสุ่มหาความสูงของหลอดความชื้น

ขั้นตอนการสุ่มหาความสูงของหลอดความชื้น โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล มีขั้นตอนดังนี้ คลิกเลือก ข้อมูล(Date) → การวิเคราะห์แบบ what-if (What-If Analysis) จะแสดงหน้าต่าดังรูป ค.5 โดยช่องที่ 1 คือตำแหน่งของ excel ค่าความสูงของหอ ช่องที่ 2 คือขนาดความสูงของหลอดความชื้นที่ต้องการ และช่องที่ 3 คือตำแหน่งของexcel ค่าความชื้นในอากาศออก



รูป ค.5 หน้าต่าการวิเคราะห์แบบ what-if

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

วิธีการคำนวณหอลดความชื้น

ง.1 การคำนวณเส้นสมดุล

จากการทดลองวัดความดันไอที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าที่สารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก มีความดันไอ 10 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งคำนวณสัดส่วนเชิงโมลของน้ำต่อสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่สมดุล ( $y_e$ ) จากสมการที่ (2-14)

$$y_e = \frac{P_w}{P_T} = \frac{10 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg}} = 0.0132$$

และเศษส่วนเชิงโมลในวัฏภาคไอที่สมดุล ( $Y_e$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-5)

$$Y_e = \frac{y_e}{1 - y_e} = \frac{0.0132}{1 - 0.0132} = 0.0133$$

สำหรับการคำนวณสัดส่วนเชิงโมลของน้ำในสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่สมดุล ( $x_e$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-15)

$$x_e = \frac{\frac{m_w}{MW_w}}{\frac{m_w}{MW_w} + \frac{m_{PG}}{MW_{PG}}} = \frac{\frac{10}{18}}{\frac{10}{18} + \frac{90}{76.09}} = 0.3196$$

และเศษส่วนเชิงโมลในวัฏภาคของเหลวที่สมดุล ( $X_e$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-6)

$$X_e = \frac{x_e}{1 - x_e} = \frac{0.3196}{1 - 0.3196} = 0.4697$$

ตาราง ง.1 ผลการคำนวณเศษส่วนเชิงโมลที่สมดุลในวัฏภาคของแข็งและของเหลว ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความดันไอ (mmHg)	$x_e$	$y_e$	$X_e$	$Y_e$
97	2.855	0.1156	0.0038	0.1307	0.0038
95	5.422	0.1820	0.0071	0.2225	0.0072
90	10.000	0.3196	0.0132	0.4697	0.0133
85	13.100	0.4273	0.0172	0.7460	0.0175

ดังนั้นสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ที่จุดสมดุลโดยการพลอตจุดระหว่าง  $X_e$  และ  $Y_e$  ที่ความเข้มข้นต่างๆ ณ อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งแสดงดังรูป ง.1

## Equilibrium Line



รูป ง.1 แสดงเส้นสมดุลระหว่างโพรพิลีนไกลคอลกับน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

## ง.2 การคำนวณเส้นปฏิบัติการ

### ง.2.1 สภาวะของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลขาเข้า

กำหนดให้สารละลายโพรพิลีนไกลคอลมีอัตราการไหล ( $L_2$ ) 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีความเข้มข้นร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ดังนั้นสัดส่วนเชิงโมลของน้ำต่อโพรพิลีนไกลคอลขาเข้า ( $x_2$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-16)

$$x_2 = \frac{\frac{m_w}{MW_w}}{\frac{m_w}{MW_w} + \frac{m_{PG}}{MW_{PG}}} = \frac{\frac{10}{18}}{\frac{10}{18} + \frac{90}{76.09}} = 0.3196$$

และเศษส่วนเชิงโมลของน้ำต่อสารละลายโพรพิลีนไกลคอล ( $X_2$ ) คำนวณได้จากสมการที่

(2-6)

$$X_2 = \frac{x_1}{1 - x_1} = \frac{0.3196}{1 - 0.3196} = 0.4697$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ง.2.2 สภาวะของอากาศขาเข้า

กำหนดให้อากาศขาเข้ามีอัตราการไหล ( $V_1$ ) 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 21 กรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ดังนั้นสัดส่วนเชิงโมลของน้ำในอากาศขาเข้า ( $y_1$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-15)

$$y_1 = \frac{\frac{m_{H_2O}}{MW_{H_2O}}}{\frac{m_{H_2O}}{MW_{H_2O}} + \frac{m_{da}}{MW_{air}}} = \frac{\frac{21}{18}}{\frac{21}{18} + \frac{1000}{29}} = 0.0327$$

และเศษส่วนเชิงโมลของน้ำในอากาศขาเข้า ( $Y_1$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-5)

$$Y_1 = \frac{y_1}{1 - y_1} = \frac{0.0327}{1 - 0.0327} = 0.0338$$

### ง.2.3 สภาวะของอากาศขาออก

กำหนดให้อากาศขาออกมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 8.56 กรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ดังนั้นสัดส่วนเชิงโมลของน้ำในอากาศขาออก ( $y_2$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-15)

$$y_2 = \frac{\frac{m_{H_2O}}{MW_{H_2O}}}{\frac{m_{H_2O}}{MW_{H_2O}} + \frac{m_{da}}{MW_{air}}} = \frac{\frac{8.56}{18}}{\frac{8.56}{18} + \frac{1000}{29}} = 0.0136$$

และเศษส่วนเชิงโมลของน้ำในอากาศขาออก ( $Y_2$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-5)

$$Y_2 = \frac{y_2}{1 - y_2} = \frac{0.0136}{1 - 0.0136} = 0.0138$$

โดยอัตราการไหลของอากาศขาออก ( $V_2$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-10)

$$V = V_1(1 - y_1) = V_2(1 - y_2)$$

$$300 \times (1 - 0.0327) = V_2 \times (1 - 0.0136)$$

$$V_2 = 294.21 \text{ kg/hr}$$

### ง.2.4 สภาวะของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลขาออก

อัตราการไหลของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลขาออก ( $L_1$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-7)

$$L_2 + V_1 = L_1 + V_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_1 = 300 + 300 - 294.21 = 305.79 \text{ kg/hr}$$

และสัดส่วนเชิงโมลของน้ำต่อโพรพิลีนไกลคอลขาออก ( $x_1$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-8)

$$L_2x_2 + V_1y_1 = L_1x_1 + V_2y_2$$

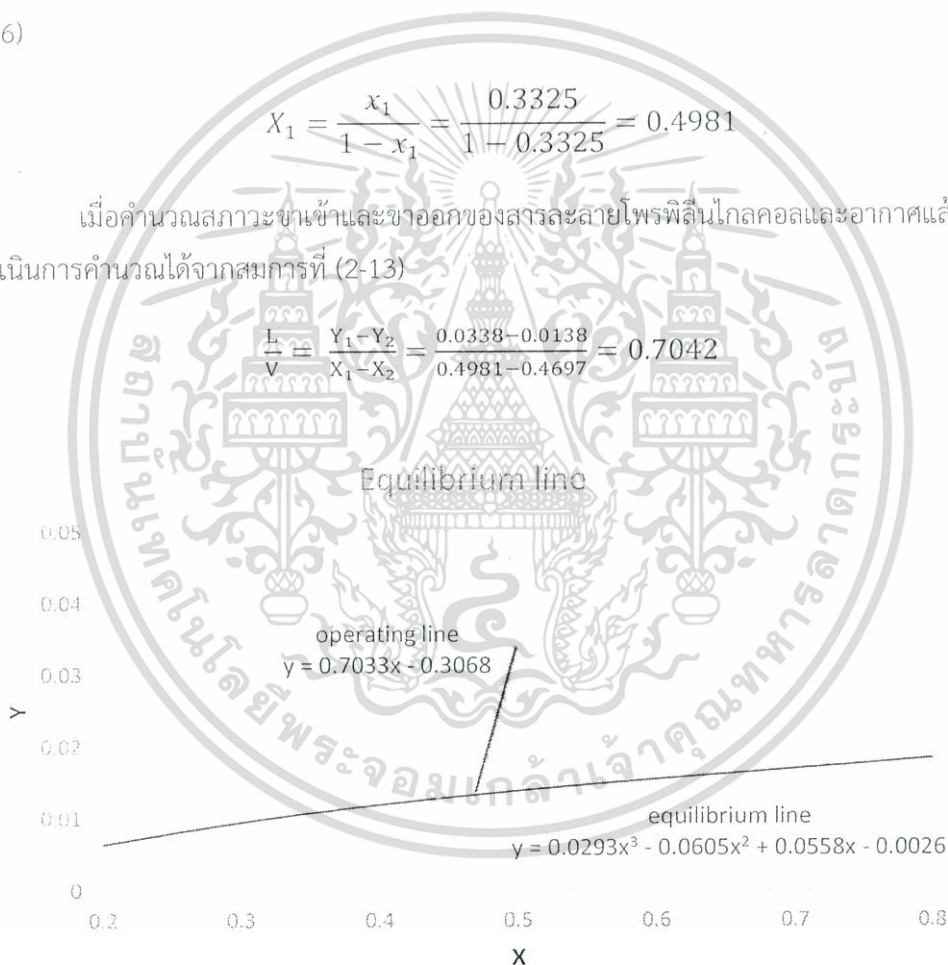
$$x_1 = \frac{(300 \times 0.3196) + (300 \times 0.0327) - (294.21 \times 0.0136)}{305.78} = 0.3325$$

และเศษส่วนเชิงโมลของน้ำต่อสารละลายโพรพิลีนไกลคอล ( $X_1$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-6)

$$X_1 = \frac{x_1}{1 - x_1} = \frac{0.3325}{1 - 0.3325} = 0.4981$$

เมื่อดำเนินการคำนวณสถานะขาเข้าและขาออกของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลและอากาศแล้ว เส้นดำเนินการคำนวณได้จากสมการที่ (2-13)

$$\frac{L}{V} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} = \frac{0.0338 - 0.0138}{0.4981 - 0.4697} = 0.7042$$



รูป ง. 2 แสดงเส้นปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ง.3 การคำนวณความกว้างของหอลดความชื้น

#### ง.3.1 การคำนวณความดันตกคร่อม ณ จุดที่เกิดการท่วม

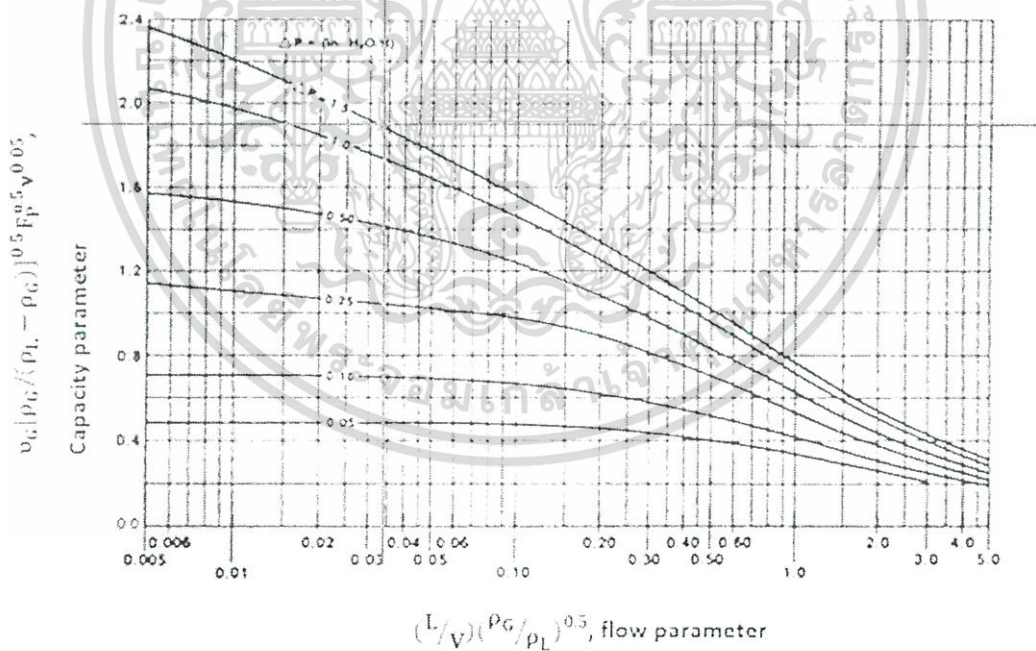
กำหนดให้ชนิดของแพคกิ้งที่ใช้คือ พลาสติก pall ring ที่มีขนาด 25 มิลลิเมตร โดยมีค่าแพคกิ้งแฟคเตอร์ เท่ากับ  $55 \text{ ft}^{-1}$  ซึ่งความดันตกคร่อม ณ จุดที่เกิดการท่วม คำนวณได้จากสมการที่ (2-16)

$$\Delta P_{\text{flooding}} = 0.115 F_p^{0.7} = 0.115 \times 55 (\text{ft}^{-1})^{0.7} = 1.9009 \text{ inH}_2\text{O/ft}$$

#### ง.3.2 การคำนวณค่า flow parameter

ค่า flow parameter คำนวณได้จากสมการที่ (2-17) เมื่อทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง flow parameter และ ความดันตกคร่อม ณ จุดที่เกิดการท่วม จะได้ค่า capacity parameter ณ จุดที่เกิดการท่วม ดังรูป ง.3 ซึ่งมีค่า 1.90

$$\begin{aligned} \text{flow parameter} &= \left(\frac{L}{V}\right) \left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0.5} = \frac{300 \text{ kg/hr}}{294.21 \text{ kg/hr}} \times \left(\frac{1.1650 \text{ kg/m}^3}{1027 \text{ kg/m}^3}\right)^{0.5} \\ &= 0.0343 \end{aligned}$$



รูป ง. 3 การหาค่า Capacity parameter ณ จุดที่เกิดการท่วมภายในหอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.3.3 การคำนวณค่าความเร็วที่เกิดการท่วมภายในหอ คำนวณได้จากสมการที่ (2-18)

$$\text{capacity parameter}_{\text{flooding}} = v_{G,\text{flooding}} \left[ \frac{\rho_G}{(\rho_L - \rho_G)} \right]^{0.5} F_p^{0.5} v^{0.05}$$

$$1.9 = v_{G,\text{flooding}} \left[ \frac{1.1650 \text{ kg/m}^3}{(1027 - 1.165) \text{ kg/m}^3} \right]^{0.5} \times (55 \text{ ft}^{-1})^{0.5} \times (19.4742 \text{ cSt})^{0.05}$$

$$v_{G,\text{flooding}} = 6.5535 \text{ ft/s}$$

ง.3.4 การคำนวณค่าอัตราการไหลต่อพื้นที่ ที่ทำให้เกิดการท่วมของหอ คำนวณได้จากสมการที่ (2-19)

$$G_{G,\text{flooding}} = v_{G,\text{flooding}} \rho_G$$

$$= 6.5535 \text{ ft/s} \times 1.1650 \text{ kg/m}^3 \times \frac{2.20462 \text{ lb}_m}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{(3.28084)^3 \text{ ft}^3}$$

$$= 0.4766 \text{ lb}_m/\text{s} \cdot \text{ft}^2$$

ง.3.5 การคำนวณค่าอัตราการไหลต่อพื้นที่ ที่ใช้ในการปฏิบัติการ คำนวณได้จากสมการที่ (2-20)

$$G_{G,\text{operated}} = 0.5 G_{G,\text{flooding}} = 0.5 \times 0.5917 \text{ lb}_m/\text{s} \cdot \text{ft}^2 = 0.2383 \text{ lb}_m/\text{s} \cdot \text{ft}^2$$

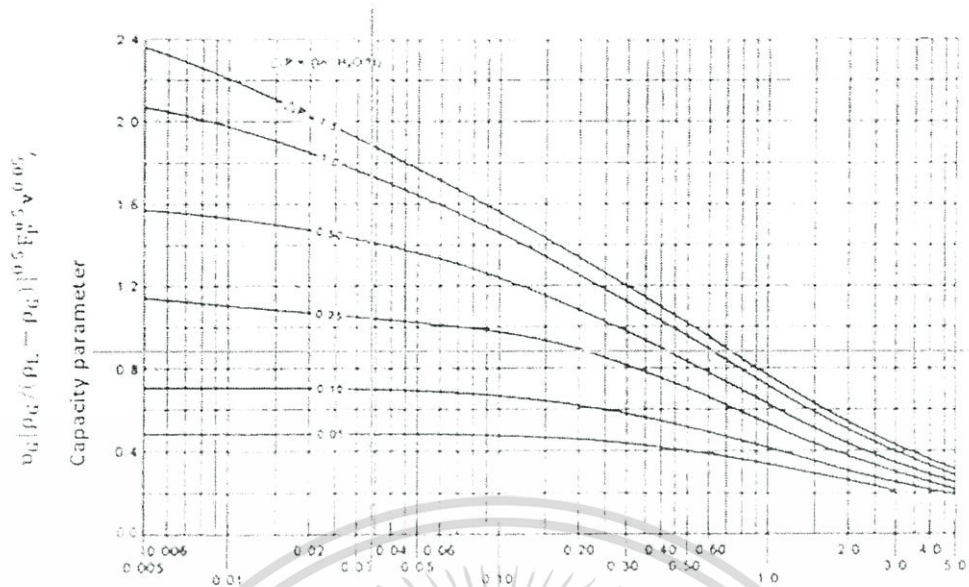
ง.3.6 การคำนวณ capacity parameter ที่ใช้ในการปฏิบัติการ คำนวณได้จากสมการที่ (2-18)

เมื่อทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง flow parameter และ capacity parameter ที่ใช้ในการปฏิบัติการ

$$\text{capacity parameter}_{\text{operate}} = v_{G,\text{operate}} \left[ \frac{\rho_G}{(\rho_L - \rho_G)} \right]^{0.5} F_p^{0.5} v^{0.05}$$

$$\text{capacity parameter}_{\text{operate}} = \left( 0.5 \times 6.5535 \text{ ft/s} \right) \times \left( \frac{1.1650 \text{ kg/m}^3}{(1027 - 1.1650) \text{ kg/m}^3} \right)^{0.5} \times (55 \text{ ft}^{-1})^{0.5} \times (4.4130 \text{ cSt})^{0.05} = 0.8702$$

จะได้ความดันตกคร่อมที่ใช้ในการปฏิบัติการ ดังรูป ง.4 ซึ่งมีค่า 0.15 inH<sub>2</sub>O/ft



รูป ง. 4 การหาค่าความดันตกคร่อมที่ใช้ในการปฏิบัติการ

ง.3.6 การคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดความชื้น คำนวณได้จากสมการที่ (2-22)

$$V = G_{G,operated} \times \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \left( \frac{4V}{\pi G_{G,operated}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = \left( \frac{300 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 2.2043 \frac{\text{lb}_m}{1 \text{kg}} \times 4}{\pi \times 3600 \frac{\text{s}}{1 \text{hr}} \times 0.2383 \frac{\text{lb}_m}{\text{s}} \cdot \text{ft}^2} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.9907 \text{ ft} = 0.3019 \text{ m}$$

ง.4 การคำนวณความสูงของหลอดความชื้น

ง.4.1 การคำนวณความเร็วของแก๊สขาออก ( $u_2$ )

จากการคำนวณจะได้อัตราการไหลของแก๊สขาออก 294.21 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่เนื่องจากขนาดท่อที่มีสามารถใช้ได้ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว (0.3159 เมตร) โดยความเร็วของแก๊สขาออกคำนวณได้จากสมการที่ (2-31)

$$u_v = \frac{\dot{V}_2}{\rho_v A_c} = \frac{(294.21 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}) \times (\frac{1}{3600} \frac{\text{hr}}{\text{s}})}{(1.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \times (\frac{\pi \times 0.3159^2}{4} \text{m}^2)} = 0.9122 \text{ m/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ง.4.2 การคำนวณความเร็วของของเหลวขาเข้า ( $u_2$ )

กำหนดให้อัตราการไหลของของเหลวขาเข้า 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยความเร็วของของเหลวขาเข้าคำนวณได้จากสมการที่ (2-35)

$$u_L = \frac{\dot{L}_2}{\rho_L A_c} = \frac{(300 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}) \times (\frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}})}{(1027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \times (\frac{\pi \times 0.3159^2}{4} \text{ m}^2)} = 0.0010 \text{ m/s}$$

#### ง.4.3 $N_{\text{Re}_V}$ คำนวณได้จากสมการที่ (2-30)

$$N_{\text{Re}_V} = \frac{u_V \rho_V}{a \mu_V} = \frac{(0.9122) \times (1.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{(225 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}) \times (1.6 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}})} = 294.49$$

#### ง.4.4 $N_{\text{Sc}_V}$ คำนวณได้จากสมการที่ (2-29)

$$N_{\text{Sc}_V} = \frac{\mu_V}{\rho_V D_V} = \frac{(1.6 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}})}{(1.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \times (2.59 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})} = 0.5313$$

#### ง.4.5 $N_{\text{Fr}_L}$ คำนวณได้จากสมการที่ (2-31)

$$N_{\text{Fr}_L} = \frac{u_L^2 a}{g} = \frac{(0.0010 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \times (225 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3})}{(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} = 2.5 \times 10^{-5}$$

#### ง.4.6 $N_{\text{Re}_L}$ คำนวณได้จากสมการที่ (2-32)

$$N_{\text{Re}_L} = \frac{u_L \rho_L}{a \mu_L} = \frac{(0.0010 \frac{\text{m}}{\text{s}}) \times (1,027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{(225 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}) \times (0.02 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}})} = 0.2362$$

#### ง.4.7 $d_h$ คำนวณได้จากสมการที่ (2-33)

$$d_h = 4 \frac{\varepsilon}{a} = 4 \cdot \frac{(0.887)}{(225 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3})} = 0.0158 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.4.8  $h_L$  ที่จุดไหลลด คำนวณได้จากสมการที่ (2-30)

$$h_L = \left(12 \frac{N_{FrL}}{N_{ReL}}\right)^{1/3} = \left(12 \cdot \frac{2.5 \times 10^{-5}}{0.2362}\right)^{1/3} = 0.1077$$

ง.4.9  $N_{WeL}$  คำนวณได้จากสมการที่ (2-35)

$$N_{WeL} = \frac{u_L^2 \rho_L}{\sigma_L a} = \frac{\left(0.0010 \frac{m}{s}\right)^2 \cdot \left(1027 \frac{kg}{m^3}\right)}{\left(0.036 \frac{kg}{s^2}\right) \cdot \left(225 \frac{m^2}{m^3}\right)} = 0.0001$$

ง.4.10  $\frac{a_{ph}}{a}$  คำนวณได้จากสมการที่ (2-34)

$$\begin{aligned} \frac{a_{ph}}{a} &= 3\varepsilon^{0.5} (N_{ReL})^{-0.2} (N_{WeL})^{0.75} (N_{FrL})^{-0.45} \\ &= 3(0.887)^{0.5} (0.2362)^{-0.2} (0.0001)^{0.75} (2.5 \times 10^{-5})^{-0.45} = 0.4888 \end{aligned}$$

ง.4.11  $H_L$  คำนวณได้จากสมการที่ (2-27)

$$\begin{aligned} H_L &= \frac{1}{C_L} \left(\frac{1}{12}\right)^{1/6} \left(\frac{d_h h_L}{D_L u_L}\right)^{1/2} \frac{u_L}{a} \left(\frac{a}{a_{ph}}\right) \\ &= \frac{1}{0.905} \left(\frac{1}{12}\right)^{1/6} \left(\frac{(0.0158m) \cdot (0.1077)}{\left(6.9573 \times 10^{-10} \frac{m^2}{s}\right) \cdot \left(0.0010 \frac{m}{s}\right)}\right)^{1/2} \left(\frac{0.0010 \frac{m}{s}}{\left(225 \frac{m^2}{m^3}\right)}\right) \left(\frac{1}{0.4888}\right) \\ &= 0.3337 \end{aligned}$$

ง.4.12  $H_G$  คำนวณได้จากสมการที่ (2-26)

$$\begin{aligned} H_G &= \frac{1}{C_V} (\varepsilon - h_L)^{1/2} \left(\frac{d_h}{a^3}\right)^{1/2} (N_{Rev})^{-3/4} (N_{Scv})^{-1/3} \left(\frac{u_v a}{D_V a_{ph}}\right) \\ &= \frac{1}{0.446} (0.887) \\ &\quad - 0.1077)^{1/2} \left(\frac{(0.0158m)}{\left(225 \frac{m^2}{m^3}\right)^3}\right)^{1/2} (294.4882)^{-3/4} (0.5313)^{-1/3} \left(\frac{(0.9122 \frac{m}{s})}{\left(2.59 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}\right) (0.4888)}\right) = 0.0921 \end{aligned}$$

ง.4.13 ความเข้มข้นสมดุล คำนวณได้จากสมการที่ (2-27)

$$m_{yx} = \frac{Y_1^* - Y_2^*}{X_1 - X_2} = \frac{0.0133 - 0.0138}{0.4697 - 0.4980} = 0.0178$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.4.14 สตรีปปีงแฟกเตอร์ คำนวณได้จากสมการที่ (2-26)

$$S = \frac{1}{A} = m_{yx} \frac{V}{L} = (0.0178) \cdot \frac{294.21}{300} = 0.0174$$

ง.4.15 ความสูงของการถ่ายโอนมวลรวมของแก๊ส คำนวณได้จากสมการที่ (2-25)

$$H_{OG} = H_G + \frac{1}{A} H_L = (0.0921) + 0.0174 \cdot (0.1077) = 0.0980$$

ง.4.16 ส่วนจำนวนหน่วยของการถ่ายโอนมวลรวมของแก๊สสามารถคำนวณได้จากสมการ (2-40)

$$N_{OG} = \int_{Y_{out}}^{Y_{in}} \frac{dY}{Y - Y^*}$$

ซึ่งคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟโดยใช้สมการที่ (2-41)

$$\int_{X_0}^{X_N} f(X) dX = \frac{3}{8} h (f_0 + 4f_1 + 4f_2 + 4f_3 + 2f_4 + \dots + 4f_{N-1} + f_N)$$

ตาราง ง.2 แสดงผลการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ

Y	X	Y*	Y-Y*	1/(Y-Y*)
0.0336	0.4980	0.0138	0.0198	50.3950
0.0303	0.4933	0.0137	0.0166	60.2280
0.0270	0.4886	0.0136	0.0134	74.8240
0.0237	0.4839	0.0136	0.0101	98.7501
0.0204	0.4791	0.0135	0.0069	145.1534
0.0170	0.4744	0.0134	0.0037	273.7645
0.0137	0.4697	0.0133	0.0004	2397.3753
Total(NoG)				5.1143

ง.4.17 ความสูงของหอลดความชื้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-24)

$$Z = N_{OG} \times H_{OG} = 5.1143 \times 0.0980 = 0.50 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ.

# วิธีการคำนวณหอคายความชื้น

### จ.1 การคำนวณเส้นสมดุล

จากการทดลองวัดความดันไอที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าที่สารละลาย โพรพิลีนไกลคอลที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก มีความดันไอ 38.39 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งคำนวณสัดส่วนเชิงโมลของน้ำต่อสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่สมดุล ( $y_e$ ) จากสมการที่ (2-14)

$$y_e = \frac{P_w}{P_T} = \frac{38.39 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg}} = 0.0505$$

และเศษส่วนเชิงโมลในวัฏภาคไอที่สมดุล ( $Y_e$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-5)

$$Y_e = \frac{y_e}{1 - y_e} = \frac{0.0505}{1 - 0.0505} = 0.0532$$

สำหรับการคำนวณสัดส่วนเชิงโมลของน้ำในสารละลายโพรพิลีนไกลคอลที่สมดุล ( $x_e$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-15)

$$x_e = \frac{\frac{m_w}{MW_w}}{\frac{m_w}{MW_w} + \frac{m_{PG}}{MW_{PG}}} = \frac{\frac{10}{18}}{\frac{10}{18} + \frac{90}{76.09}} = 0.3196$$

และเศษส่วนเชิงโมลในวัฏภาคของเหลวที่สมดุล ( $X_e$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-6)

$$X_e = \frac{x_e}{1 - x_e} = \frac{0.3196}{1 - 0.3196} = 0.4697$$

ตาราง จ.1 ผลการคำนวณเศษส่วนเชิงโมลที่สมดุลในวัฏภาคของแข็งและของเหลว ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

ความเข้มข้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความดันไอ (mmHg)	$x_e$	$y_e$	$X_e$	$Y_e$
97	12.240	0.1156	0.0161	0.1307	0.0164
95	21.200	0.1820	0.0279	0.2225	0.0287
90	38.389	0.3196	0.0505	0.4697	0.0532
85	50.000	0.4273	0.0658	0.7460	0.0704

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ที่จุดสมดุลโดยการพลอตจุดระหว่าง  $X_e$  และ  $Y_e$  ที่ความเข้มข้นต่างๆ ณ อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งแสดงดังรูป จ.1



รูป จ.1 แสดงเส้นสมดุลระหว่างไพรพิลีนไกลคอลกับน้ำที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

## จ.2 การคำนวณเส้นปฏิบัติการ

### จ.2.1 สภาวะของสารละลายไพรพิลีนไกลคอลขาเข้า

กำหนดให้สารละลายไพรพิลีนไกลคอลมีอัตราการไหล ( $L_2$ ) 305.78 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นอัตราการไหลขาออกของสารละลายไพรพิลีนไกลคอลในกรณีที่ 1 โดยมีความเข้มข้นร้อยละ 89.46 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ดังนั้นสัดส่วนเชิงโมลของน้ำต่อไพรพิลีนไกลคอลขาเข้า ( $x_2$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-16)

$$x_2 = \frac{\frac{m_w}{MW_w}}{\frac{m_w}{MW_w} + \frac{m_{PG}}{MW_{PG}}} = \frac{\frac{10.56}{18}}{\frac{10.56}{18} + \frac{89.46}{76.09}} = 0.3325$$

และเศษส่วนเชิงโมลของน้ำต่อสารละลายไพรพิลีนไกลคอล ( $X_2$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-6)

$$X_2 = \frac{x_1}{1 - x_1} = \frac{0.3325}{1 - 0.3325} = 0.4980$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### จ.2.2 สภาวะของอากาศขาเข้า

กำหนดให้อากาศขาเข้ามีอัตราการไหล ( $V_1$ ) 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 21 กรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ดังนั้นสัดส่วนเชิงโมลของน้ำในอากาศขาเข้า ( $y_1$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-15)

$$y_1 = \frac{\frac{m_{H_2O}}{MW_{H_2O}}}{\frac{m_{H_2O}}{MW_{H_2O}} + \frac{m_{da}}{MW_{air}}} = \frac{\frac{21}{18}}{\frac{21}{18} + \frac{1000}{29}} = 0.0327$$

และเศษส่วนเชิงโมลของน้ำในอากาศขาเข้า ( $Y_1$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-5)

$$Y_1 = \frac{y_1}{1 - y_1} = \frac{0.0327}{1 - 0.0327} = 0.0338$$

### จ.2.3 สภาวะของอากาศขาออก

กำหนดให้อากาศขาออกมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 33.44 กรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง และอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ดังนั้นสัดส่วนเชิงโมลของน้ำในอากาศขาออก ( $Y_2$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-15)

$$y_2 = \frac{\frac{m_{H_2O}}{MW_{H_2O}}}{\frac{m_{H_2O}}{MW_{H_2O}} + \frac{m_{da}}{MW_{air}}} = \frac{\frac{33.44}{18}}{\frac{33.44}{18} + \frac{1000}{29}} = 0.0511$$

และเศษส่วนเชิงโมลของน้ำในอากาศขาออก ( $Y_2$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-5)

$$Y_2 = \frac{y_2}{1 - y_2} = \frac{0.0511}{1 - 0.0511} = 0.0538$$

โดยอัตราการไหลของอากาศขาออก ( $V_2$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-10)

$$\begin{aligned} V' &= V_1(1 - y_1) = V_2(1 - y_2) = 300 \times (1 - 0.0327) \\ &= V_2 \times (1 - 0.0511) \\ V_2 &= 305.79 \text{ kg/hr} \end{aligned}$$

### จ.2.4 สภาวะของสารละลายโพธิ์สลิโนไกลคอลขาออก

อัตราการไหลของสารละลายโพธิ์สลิโนไกลคอลขาออก ( $L_1$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-7)

$$L_2 + V_1 = L_1 + V_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_1 = 300 + 305.78 - 305.79 = 299.99 \text{ kg/hr}$$

และสัดส่วนเชิงโมลของน้ำต่อโพรพิลีนไกลคอลขาออก ( $X_1$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-8)

$$L_2x_2 + V_1y_1 = L_1x_1 + V_2y_2$$

$$x_1 = \frac{(305.78 \times 0.3325) + (300 \times 0.0327) - (305.79 \times 0.0509)}{299.99}$$

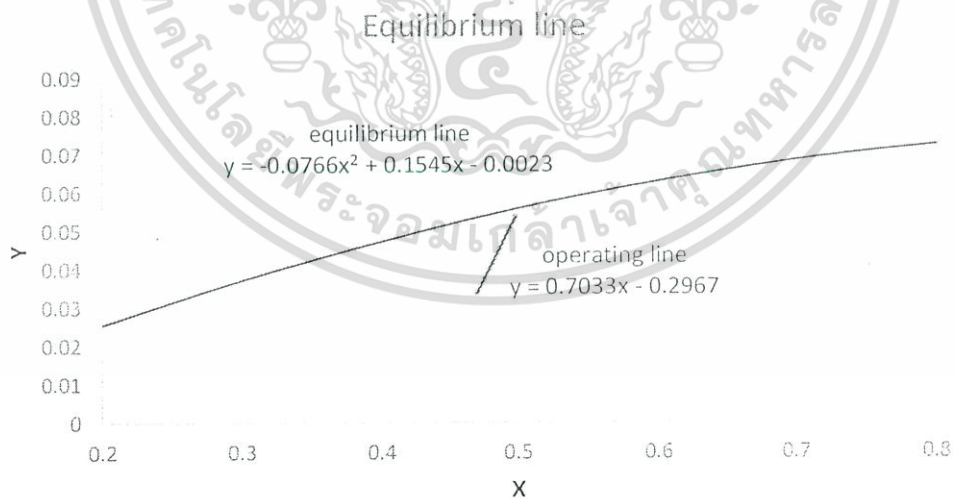
$$= 0.3196$$

และเศษส่วนเชิงโมลของน้ำต่อสารละลายโพรพิลีนไกลคอล ( $X_1$ ) คำนวณได้จากสมการที่ (2-6)

$$X_1 = \frac{x_1}{1 - x_1} = \frac{0.3325}{1 - 0.3325} = 0.4697$$

เมื่อคำนวณสถานะขาเข้าและขาออกของสารละลายโพรพิลีนไกลคอลและอากาศแล้ว เส้นดำเนินการคำนวณได้จากสมการที่ (2-13)

$$\frac{L'}{V'} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} = \frac{0.0338 - 0.0535}{0.4697 - 0.4980} = 0.7033$$



รูป จ. 2 แสดงเส้นปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### จ.3 การคำนวณความกว้างของหอลดความชื้น

#### จ.3.1 การคำนวณความดันตกคร่อม ณ จุดที่เกิดการท่วม

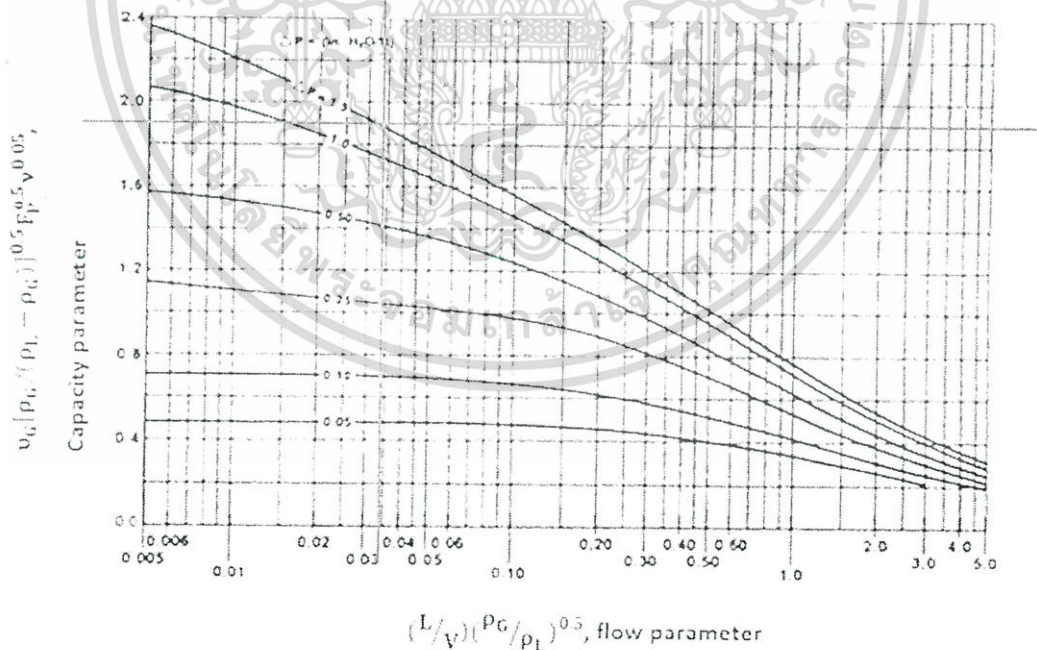
กำหนดให้ชนิดของแพคกิ้งที่ใช้คือ พลาสติก pall ring ที่มีขนาด 25 มิลลิเมตร โดยมีค่าแพคกิ้งแฟคเตอร์ เท่ากับ  $55 \text{ ft}^{-1}$  ซึ่งความดันตกคร่อม ณ จุดที่เกิดการท่วม คำนวณได้จากสมการที่ (2-16)

$$\Delta P_{\text{flooding}} = 0.115 F_p^{0.7} = 0.115 \times 55 (\text{ft}^{-1})^{0.7} = 1.9009 \text{ inH}_2\text{O}/\text{ft}$$

#### จ.3.2 การคำนวณค่า flow parameter

ค่า flow parameter คำนวณได้จากสมการที่ (2-17) เมื่อทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง flow parameter และ ความดันตกคร่อม ณ จุดที่เกิดการท่วม จะได้ค่า capacity parameter ณ จุดที่เกิดการท่วม ดังรูป จ.3 ซึ่งมีค่า 1.90

$$\begin{aligned} \text{flow parameter} &= \left(\frac{L}{V}\right) \left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0.5} = \frac{300 \text{ kg/hr}}{300 \text{ kg/hr}} \times \left(\frac{1.1650 \text{ kg/m}^3}{1006.9 \text{ kg/m}^3}\right)^{0.5} \\ &= 0.0340 \end{aligned}$$



รูป จ. 3 การหาค่า Capacity parameter ณ จุดที่เกิดการท่วมภายในหอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.3.3 การคำนวณค่าความเร็วที่เกิดการท่วมภายในหอ คำนวณได้จากสมการที่ (2-18)

$$\text{capacity parameter}_{\text{flooding}} = v_{G,\text{flooding}} \left[ \frac{\rho_G}{(\rho_L - \rho_G)} \right]^{0.5} F_p^{0.5} v^{0.05}$$

$$1.9 = v_{G,\text{flooding}} \left[ \frac{1.1650 \text{ kg/m}^3}{(1006.9 - 1.1650) \text{ kg/m}^3} \right]^{0.5} \times (55 \text{ ft}^{-1})^{0.5}$$

$$\times (19.4742 \text{ cSt})^{0.05}$$

$$v_{G,\text{flooding}} = 6.9479 \text{ ft/s}$$

จ.3.4 การคำนวณค่าอัตราการไหลต่อพื้นที่ ที่ทำให้เกิดการท่วมของหอ คำนวณได้จากสมการที่ (2-19)

$$G_{G,\text{flooding}} = v_{G,\text{flooding}} \rho_G$$

$$= 6.9479 \text{ ft/s} \times 1.1650 \text{ kg/m}^3 \times \frac{2.20462 \text{ lb}_m}{1 \text{ kg}}$$

$$\times \frac{1 \text{ m}^3}{(3.28084)^3 \text{ ft}^3} = 0.5053 \text{ lb}_m/\text{s} \cdot \text{ft}^2$$

จ.3.5 การคำนวณค่าอัตราการไหลต่อพื้นที่ ที่ใช้ในการปฏิบัติการ คำนวณได้จากสมการที่ (2-20)

$$G_{G,\text{operated}} = 0.5 G_{G,\text{flooding}} = 0.5 \times 0.5053 \text{ lb}_m/\text{s} \cdot \text{ft}^2$$

$$= 0.2527 \text{ lb}_m/\text{s} \cdot \text{ft}^2$$

จ.3.6 การคำนวณ capacity parameter ที่ใช้ในการปฏิบัติการ คำนวณได้จากสมการที่ (2-18) เมื่อทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง flow parameter และ capacity parameter ที่ใช้ในการปฏิบัติการ

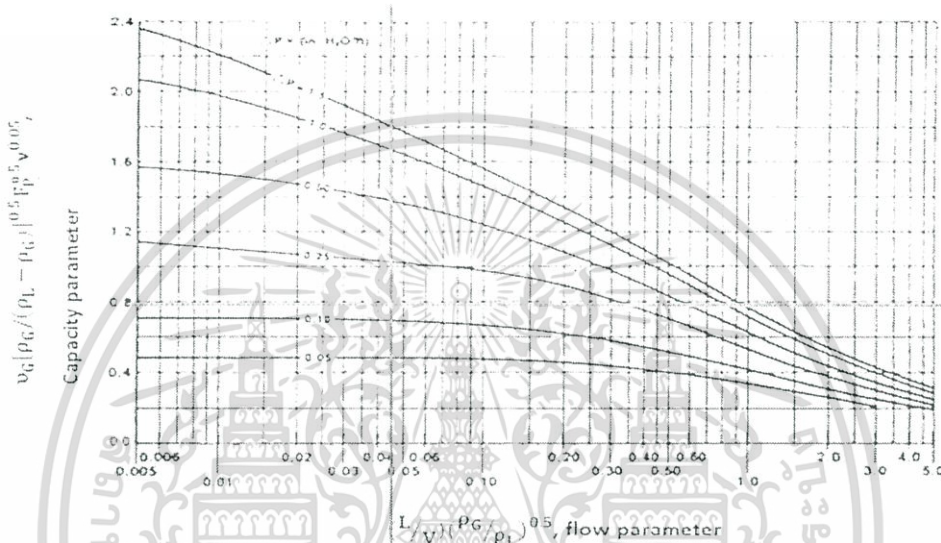
$$\text{capacity parameter}_{\text{operate}} = v_{G,\text{operate}} \left[ \frac{\rho_G}{(\rho_L - \rho_G)} \right]^{0.5} F_p^{0.5} v^{0.05}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

capacity parameter<sub>operate</sub>

$$= (0.5 \times 6.0479 \text{ ft/s}) \times \left( \frac{1.1650 \text{ kg/m}^3}{(1006.9 - 1.1650) \text{ kg/m}^3} \right)^{0.5} \times (55 \text{ ft}^{-1})^{0.5} \times (4.4130 \text{ cSt})^{0.05} = 0.9500$$

จะได้ความดันตกคร่อมที่ใช้ในการปฏิบัติการ ดังรูป จ.4 ซึ่งมีค่า 0.23 inH<sub>2</sub>O/ft



รูป จ. 4 การหาค่าความดันตกคร่อมที่ใช้ในการปฏิบัติการ

จ.3.6 การคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อลดความชื้น คำนวณได้จากสมการที่ (2-22)

$$V = G_{G,operated} \times \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \left( \frac{4V}{\pi G_{G,operated}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D = \left( \frac{4 \times 300 \text{ kg/hr} \times 2.2043 \text{ lb}_m / 1 \text{ kg}}{\pi \times 3600 \text{ s/1 hr} \times 0.2527 \text{ lb}_m / \text{s} \cdot \text{ft}^2} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.9620 \text{ ft} = 0.2932 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### จ.4 การคำนวณความสูงของหลอดความชื้น

##### จ.4.1 การคำนวณความเร็วของแก๊สขาออก ( $u_2$ )

จากการคำนวณจะได้อัตราการไหลของแก๊สขาออก 305.79 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่เนื่องจากขนาดท่อที่สามารถใช้ได้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว (0.3159 เมตร) โดยความเร็วของแก๊สขาออกคำนวณได้จากสมการที่ (2-31)

$$u_v = \frac{\dot{V}_2}{\rho_v A_c} = \frac{(305.79 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}) \times (\frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}})}{(1.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \times (\frac{\pi \times 0.3159^2}{4} \text{ m}^2)} = 0.9129 \text{ m/s}$$

##### จ.4.2 การคำนวณความเร็วของของเหลวขาเข้า ( $u_2$ )

กำหนดให้อัตราการไหลของของเหลวขาเข้า 305.78 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยความเร็วของของเหลวขาเข้าคำนวณได้จากสมการที่ (2-35)

$$u_L = \frac{\dot{L}_2}{\rho_L A_c} = \frac{(305.78 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}) \times (\frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}})}{(1006.9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \times (\frac{\pi \times 0.3159^2}{4} \text{ m}^2)} = 0.0011 \text{ m/s}$$

##### จ.4.3 $N_{\text{Rev}}$ คำนวณได้จากสมการที่ (2-30)

$$N_{\text{Rev}} = \frac{u_v \rho_v}{\mu \rho_v} = \frac{(0.9129) \times (1.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{(225 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}) \times (1.6 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}})} = 294.67$$

##### จ.4.4 $N_{\text{Scv}}$ คำนวณได้จากสมการที่ (2-29)

$$N_{\text{Scv}} = \frac{\mu v}{\rho_v D v} = \frac{(1.6 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}})}{(1.165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \times (2.59 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})} = 0.5313$$

##### จ.4.5 $N_{\text{FrL}}$ คำนวณได้จากสมการที่ (2-31)

$$N_{\text{FrL}} = \frac{u_L^2 a}{g} = \frac{(0.0011 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \times (225 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3})}{(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} = 2.7 \times 10^{-5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.4.6  $N_{ReL}$  คำนวณได้จากสมการที่ (2-32)

$$N_{ReL} = \frac{u_L \rho_L}{a \mu_L} = \frac{(0.0011 \frac{m}{s}) \times (1,006.9 \frac{kg}{m^3})}{(225 \frac{m^2}{m^3}) \times (\frac{0.005 kg}{m \cdot s})} = 0.9635$$

จ.4.7  $d_h$  คำนวณได้จากสมการที่ (2-33)

$$d_h = 4 \frac{\varepsilon}{a} = 4 \cdot \frac{(0.887)}{(225 \frac{m^2}{m^3})} = 0.0158 m$$

จ.4.8  $h_L$  ที่จุดไหลลด คำนวณได้จากสมการที่ (2-30)

$$h_L = (12 \frac{N_{FrL}}{N_{ReL}})^{1/3} = (12 \cdot \frac{2.7 \times 10^{-5}}{0.9635})^{1/3} = 0.0692$$

จ.4.9  $N_{WeL}$  คำนวณได้จากสมการที่ (2-35)

$$N_{WeL} = \frac{u_L^2 \rho_L}{\sigma_L a} = \frac{(0.0011 \frac{m}{s})^2 \cdot (1,006.9 \frac{kg}{m^3})}{(0.04647 \frac{kg}{s^2}) \cdot (225 \frac{m^2}{m^3})} = 0.0001$$

จ.4.10  $\frac{a_{ph}}{a}$  คำนวณได้จากสมการที่ (2-34)

$$\begin{aligned} \frac{a_{ph}}{a} &= 3\varepsilon^{0.5} (N_{ReL})^{-0.2} (N_{WeL})^{0.75} (N_{FrL})^{-0.45} \\ &= 3(0.887)^{0.5} (0.9635)^{-0.2} (0.0001)^{0.75} (2.7 \times 10^{-5})^{-0.45} = 0.3540 \end{aligned}$$

จ.4.11  $H_L$  คำนวณได้จากสมการที่ (2-27)

$$\begin{aligned} H_L &= \frac{1}{C_L} \left( \frac{1}{12} \right)^{1/6} \left( \frac{d_h h_L}{D_L u_L} \right)^{1/2} \frac{u_L}{a} \left( \frac{a}{a_{ph}} \right) \\ &= \frac{1}{0.905} \left( \frac{1}{12} \right)^{1/6} \left( \frac{(0.0158m) \cdot (0.0692)}{(1.5066 \times 10^{-9} \frac{m^2}{s}) \cdot (0.0011 \frac{m}{s})} \right)^{1/2} \frac{(0.0011 \frac{m}{s})}{(225 \frac{m^2}{m^3})} \left( \frac{1}{0.3540} \right) \\ &= 0.2560 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.4.12  $H_G$  คำนวณได้จากสมการที่ (2-26)

$$\begin{aligned} H_G &= \frac{1}{C_V} (\varepsilon - h_L)^{1/2} \left( \frac{d_h}{a^3} \right)^{1/2} (N_{REV})^{-3/4} (N_{Scv})^{-1/3} \left( \frac{u_{va}}{D_{va_{ph}}} \right) \\ &= \frac{1}{0.446} (0.887 \\ &\quad - 0.0692)^{1/2} \left( \frac{(0.0158\text{m})}{\left( 225 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3} \right)^3} \right)^{1/2} (294.6748)^{-3/4} (0.5313)^{-1/3} \left( \frac{(0.9129 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{\left( 2.59 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) (0.3540)} \right) \\ &= 0.1303 \end{aligned}$$

จ.4.13 ความชันเส้นสมดุล คำนวณได้จากสมการที่ (2-27)

$$m_{yx} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1^* - X_2^*} = \frac{0.0336 - 0.0536}{0.2680 - 0.4725} = 0.0888$$

จ.4.14 การคำนวณความสูงของหอคายความชื้นแตกต่างจากการคำนวณความสูงของหอดูดความชื้นที่ใช้แฟคเตอร์ในการคำนวณโดยในการคำนวณความสูงของหอคายความชื้นใช้แฟคเตอร์ดูดซับ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2-26)

$$A = \frac{1}{S} = \frac{L}{V} m_{yx} = \frac{300}{300} \times 0.0888 = 0.0975$$

จ.4.15 ความสูงของการถ่ายโอนมวลรวมของแก๊ส คำนวณได้จากสมการที่ (2-25)

$$H_{OL} = H_L + AH_G = (0.2560) + 0.0975 \cdot (0.1303) = 0.2687$$

จ.4.16 จำนวนหน่วยของการถ่ายโอนมวลรวมของแก๊สสามารถคำนวณได้จากสมการ (2-40)

$$N_{OL} = \int \frac{dX}{(X^* - X)}$$

ซึ่งคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟโดยใช้สมการที่ (2-41)

$$\int_{X_0}^{X_N} f(X) dX = \frac{3}{8} h (f_0 + 4f_1 + 4f_2 + 4f_3 + 2f_4 + \dots + 4f_{N-1} + f_N)$$

ตาราง จ.2 แสดงผลการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Y	X	X*	X-X*	1/(X-X*)
0.0336	0.4697	0.2680	-0.2017	-4.9581
0.0370	0.4744	0.2986	-0.1758	-5.6877
0.0403	0.4791	0.3296	-0.1495	-6.6871
0.0436	0.4839	0.3621	-0.1218	-8.2124
0.0469	0.4886	0.3963	-0.0923	-10.8351
0.0503	0.4933	0.4337	-0.0596	-16.7735
0.0536	0.4980	0.4725	-0.0255	-39.1497
Total(NoL)				0.3179

จ.4.17 ความสูงของหอลดความชื้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-24)

$$Z = N_{OL} \times H_{OL} = 0.3179 \times 0.2687 = 0.0850 \text{ m}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้