สำนักหอสมุดกลาง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การออกแบบและสร้างเครื่องทำระเหยแบบสุญญากาศขนาดทดลอง

DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE EXPERIMENTAL VACUUM EVAPORATOR

โดย

นายวิชัย แดงชจิตเพชร์

นายเชิดชัย ล้อธรรมคุณ

นายสุเวช กลมกลาง

วัน เดือน ปี 18 ม.ค. 2539
เลขทะเบียน 034783
เลขเรียกหนังสือ T 371083 ว6

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

034783

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2537

สาขาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง

การออกแบบและสร้างเครื่องทำระเหยแบบสุญญากาศขนาดทดลอง

ผู้จัดทำ

นายวิชัย แดงชจิตเพชร์

นายเชิดชัย ล้อธรรมคุณ

นายสุเวช กลมกลาง

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์วิภา เจียระไนวชิระ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ทรงวุฒิ แสงจันทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างเครื่องทำระเหยแบบสุญญากาศขนาดทดลอง

นายวิชัย แดงชจิตเพชร์

นายเชิดชัย ล้อธรรมคุณ

นายสุเวช กลมกลาง

อาจารย์วิภา เจียระไนวชิระ อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ทรงวุฒิ แสงจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องทำระเหยแบบสุญญากาศขนาดทดลองโดยอาศัยหลักการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ ที่ความดันสุญญากาศ ทำให้จุดเดือดของผลิตภัณฑ์ลดต่ำลง ปั๊มสุญญากาศเป็นอุปกรณ์ที่ดูดเอาอากาศและไอน้ำที่ระเหยจากผลิตภัณฑ์

เครื่องระเหยแบบสุญญากาศขนาดทดลองนี้ประกอบด้วยถังระเหยสุญญากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว สูง13 นิ้ว ทำด้วยโลหะสแตนเลสหนา 3 มิลลิเมตร สร้างขึ้นสำหรับการทำการระเหยผลิตภัณฑ์ได้ปริมาตรสูงสุด 5 ลิตรและต่ำสุด 2 ลิตรต่อครั้ง และ ปั๊มสุญญากาศขนาดมอเตอร์ 0.5 แรงม้าที่ดัดแปลงจากคอมเพรสเซอร์แอร์ติดรถยนต์ สามารถทำสุญญากาศได้สูงสุด 20 นิ้วปรอท

ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ทดลองคือน้ำมะนาวคั้นสด ซึ่งมีความเข้มข้นของของแข็งต่อของเหลวเริ่มต้นเท่ากับ 7 องศาบริกซ์ ทำให้ระเหยภายใต้ความดันต่ำในหน่วยที่ต่ำกว่า 20 นิ้วปรอท อุณหภูมิที่ใช้ทดลองอยู่ในช่วง 70-85 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้ความเข้มข้นของของแข็งต่อของเหลวสุดท้ายในผลิตภัณฑ์เท่ากับ 50 องศาบริกซ์ ซึ่งที่ความเข้มข้นสุดท้ายนี้จะสามารถทำให้การเก็บผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวเข้มข้นได้นานขึ้น ซึ่งการทำผลิตภัณฑ์ให้เข้มข้นนี้เป็นการถนอมอาหารวิธีหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE EXPERIMENTAL VACUUM EVAPORATOR

Wichai Dangkajitpetch

Cherdchai Lorthammakun

Suwesh Klomklang

Vipa Jayranaiwachira,Advisor

Songvoot Sangchan, Advisor

ABSTRACT

The thesis has studied about how to design and construct the experimental vacuum evaporator. The principle is based on heating product under vacuum condition resulting to decrease the boiling point of product. The vacuum pump is used for suction out of the air and saturated vapor.

The vacuum evaporator consists of a vacuum evaporated vessel, the dimension is 10 inches in diameter, 13 inches high, and the thickness is 3 millimeteres. It makes of stainless steel for evaporate product 5 litres maximum, 2 litres minimum. The vacuum pump reformed the car air compressor that makes the vacuum highth 20 inches Hg maximum.

Fresh lemonade is experimented. The lemonade has a concentrate value of 7 degree brix, evaporated under vacuum in scale below 20 inches Hg, and the experimental temperature are between 70-85 degree celcius, until the concentrate juice became 50 degree brix. The concentrated lemonade could kept longer. Consequently, the increasing concentrated method is one of the food preservation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
สารบัญ		(ก)
สารบัญรูปภาพ		(ข)
สารบัญตาราง		(ค)
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการระเหย	3
2.1	ปัจจัยที่มีผลต่อจุดเดือดของของเหลว	3
2.2	คุณสมบัติของของเหลวที่มีต่อการระเหย	5
2.3	คุณสมบัติของของเหลวที่มีผลเมื่อจุดเดือดสูงขึ้น	6
2.4	การถ่ายเทความร้อนระหว่างการระเหย	10
2.5	ชนิดของเครื่องระเหย	13
2.6	ทฤษฎีของระบบสุญญากาศ	20
2.7	หลักการทำงานและชนิดของปั๊มกลสุญญากาศ	23
บทที่ 3	วิธีการคำนวณและการสร้างเครื่อง	29
3.1	การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการระเหยของเครื่องทำระเหยสุญญากาศ	29
3.2	ขนาดของเครื่องและขนาดความหนาของผนังเครื่อง	31
3.3	การคำนวณหาขนาดเครื่องทำความร้อน	34
3.4	การคำนวณหาการสูญเสียความร้อนผ่านฉนวน	36
3.5	การเลือกขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับปั๊มสุญญากาศ	38
3.6	การออกแบบ	39
บทที่ 4	การทดลองและการทดสอบเครื่อง	44
บทที่ 5	สรุปการสร้างเครื่องและการทดลอง	51
ภาคผนวก		53
กิตติกรรมประกาศ		61
เอกสารอ้างอิง		62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ		หน้า
รูปที่	2.1 เส้นดูริงค์ที่แสดงอิทธิพลของความเข้มข้นของปริมาณตัวถูกละลายต่อจุดเดือดที่สูงขึ้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์	9
	2.2 กราฟการเดือดที่แสดงบริเวณต่างๆของการต้มใกล้กับผิวที่ร้อน	12
	2.3 เครื่องระเหยแบบหม้อชนิดเป็นกะ	13
	2.4 เครื่องระเหยชนิดหมุนเวียนแบบธรรมชาติ	14
	2.5 เครื่องระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ขึ้น	15
	2.6 เครื่องระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง	16
	2.7 เครื่องระเหยชนิดฟิล์มเคลื่อนที่ขึ้นและลง	17
	2.8 เครื่องระเหยชนิดบังคับหมุนเวียน	18
	2.9 เครื่องระเหยชนิดฟิล์มที่มีการกวน	19
	2.10 การทำงานของปั๊มกลโรตารีแบบแวน	25
	2.11 ปั๊มกลโรตารีแบบแวน	27
	2.12 ปั๊มกลโรตารีแบบแวนเลื่อน	27
	2.13 ปั๊มกลโรตารีแบบลูกสูบ	28
	3.1 ลักษณะความดันที่กระทำต่อภาชนะ	32
	3.2 แสดงถังระเหยแบบสุญญากาศที่สร้างขึ้นและปั๊มสุญญากาศ	41
	3.3 แสดงรายละเอียดของเครื่องทำระเหยสุญญากาศ	42
	3.4 วงจรภายในกล่องควบคุม	43
ภาคผนวก		
	ข.1 แสดงขดลวดทำความร้อน	58
	ข.2 แสดงส่วนประกอบภายในของถังระเหย	58
	ข.3 แสดงมาตรวัดความดันสุญญากาศ	59
	ข.4 แสดงกล่องควบคุม	59
	ข.5 แสดงปั๊มสุญญากาศ	60
	ข.6 แสดงเครื่องทำระเหยแบบสุญญากาศขนาดทดลอง	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	อุปกรณ์วัดความดันและช่วงใช้งาน	21
3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความดันที่ทำให้น้ำเดือดและการแปลงหน่วยความดัน	30
4.1	อุณหภูมิควบคุมที่ 70 องศาเซลเซียส	45
4.2	อุณหภูมิควบคุมที่ 75 องศาเซลเซียส	46
4.3	อุณหภูมิควบคุมที่ 80 องศาเซลเซียส	47
4.4	อุณหภูมิควบคุมที่ 85 องศาเซลเซียส	48
4.5	ตารางบันทึกผลการทดลองค่าความเข้มข้นที่อุณหภูมิ 70,75, 80,85 องศาเซลเซียส กับเวลา	49
ภาคผนวก		
ก.1	ผลการทดลอง(จากเรื่องการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมะนาว)	56
ก.2	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ไม่ทำให้สูญเสียวิตามินซีในน้ำมะนาว	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ทางคณะผู้จัดทำได้สนใจศึกษาและประดิษฐ์ต้นแบบเครื่องมือระเหยสุญญากาศที่มีราคาประหยัดและไม่สิ้นเปลืองอุปกรณ์ เพื่อนำมาใช้ในขบวนการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์อาหารเหลวที่ไม่ทนต่อสภาวะการระเหยที่อุณหภูมิสูง ทำให้ไม่สูญเสียคุณค่าทางอาหารเช่น น้ำผลไม้ ได้แก่ น้ำสับปะรด,น้ำส้มคั้น,น้ำมะเขือเทศ,น้ำมะนาว ตลอดจนน้ำอ้อย ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้เลือกผลิตภัณฑ์อาหารเหลวที่จะนำมาทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นในที่นี้ ได้แก่ น้ำมะนาว

แนวคิดที่เป็นไปได้ ที่ประเทศไทยอาจจะเป็นผู้ผลิตผลิตภัณฑ์สินค้าประเภทน้ำมะนาวเข้มข้นออกสู่ตลาดจำหน่ายในต่างประเทศ หรือจำหน่ายในประเทศในช่วงฤดูที่มะนาวมีราคาแพง คือ ในช่วงเดือนตุลาคม-พฤษภาคม เมื่อใดที่เราต้องการจะทานก็เพียงตักมาแล้วผสมกับน้ำให้เจือจางแล้วนำใส่ในอาหารเหมือนกับมะนาวสดๆโดยไม่ต้องเสียเวลาคั้นน้ำมะนาวจากผลมะนาวสด

ในผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวสดจะมีกรดแอสคอบิค (วิตามินซี)และสารอาหารอื่น ๆ ซึ่งสลายตัวได้ในความร้อนและแสงสว่าง รวมทั้งมีน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสที่จะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้เมื่อถูกความร้อนโดยตรง ดังนั้นในการระเหยจึงต้องคำนึงถึงในเรื่องขบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนที่จะนำมาใช้ในการระเหยด้วย

ประโยชน์ในการระเหยมีมาก เช่น ทำให้การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ น้ำมะนาวเข้มข้นได้นานขึ้นและลดปริมาตรในส่วนที่เป็นน้ำออกไป ช่วยลดต้นทุนในการขนส่งและเก็บรักษา ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม ในการผลิตน้ำตาลทรายจะต้มน้ำอ้อย ที่อุณภูมิต่ำเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ทั้งยังเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงอีกด้วย

การนำเอาผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้เข้มข้นนี้ ไปใช้ผลิตแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบอื่นต่อไป เช่น ผลิตภัณฑ์แยม, เยลลี่,หรือน้ำผลไม้พร้อมดื่มจากน้ำผลไม้เข้มข้น ฯลฯ และอาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น่าไปสู่การพัฒนารูปแบบของเครื่องมือระเหยสุญญากาศในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการประดิษฐ์เครื่องระเหยสุญญากาศ

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องระเหยผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศเพื่อใช้ในการทดลอง

2. เพื่อศึกษาการทำระเหยผลิตภัณฑ์ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส

3. เพื่อศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการระเหยผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวเข้มข้น

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการระเหย

การระเหยเป็นหน่วยปฏิบัติการ (unit operation) ที่สำคัญและนิยมใช้ในการ กำจัดน้ำจากอาหารเหลวเจือจาง เพื่อให้ได้อาหารเหลวที่เข้มข้น จุดประสงค์ของกระบวนการคือช่วยป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังเป็นกระบวนการทำให้ของเหลวเข้มข้นก่อนเข้าสู่กระบวนการแปรรูปอื่นต่อไปด้วย เช่นการตกผลึก ตัวอย่างของกระบวนการระเหย ได้แก่ การผลิตมะเขือเทศเข้มข้น (tomato paste)

การระเหยแตกต่างจากการทำแห้ง (dehydration) เนื่องจากผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากกระบวนการระเหย จะอยู่ในสภาพของเหลวนอกจากนี้ยังแตกต่างจากการกลั่น (distillation) เพราะว่าไอที่ได้จากเครื่องระเหยจะไม่ถูกแยกออกเป็นส่วนๆ (fraction) เหมือนการกลั่น

อาหารเข้มข้นได้โดยการระเหยน้ำอิสระ (free water) ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งกระทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงจุดเดือด (bubble point) แล้วคงไว้ ณ อุณหภูมิดังกล่าวในช่วงเวลา หนึ่งเพื่อให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการ แต่ในกรณีที่อาหารไม่ทนต่อความร้อน (heat sensitivity) การระเหยควรกระทำภายใต้ความดันสุญญากาศ การใช้สภาวะสุญญากาศค่อนข้างสูง (ความดันต่ำ) จะทำให้ผลิตภัณฑ์ระเหยที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงลดความเสียหายเนื่องจากความร้อนได้

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อจุดเดือดของของเหลว (factors influencing liquid boiling)

แรงขับเคลื่อน (driving force) ของการถ่ายเทความร้อนในตัวแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องระเหยคือ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างไอน้ำ และของเหลวที่ถูกทำให้ร้อน ซึ่งอุณหภูมิของของเหลวนี้ จะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.ความดันภายนอก (external pressure)

ของเหลวจะเดือดต่อเมื่อความดันไอของของเหลวเท่ากับความดันภายนอกที่กระทำต่อของเหลวในกรณีที่ตัวทำละลายเป็นน้ำ ข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอและอุณหภูมิดังแสดงในภาคผนวกตารางที่ A.1

2.1.2.ปริมาณตัวถูกละลายและจุดเดือดสูงขึ้น (dissolved solute-boiling point rise : BPR)

จุดเดือดของสารละลายจะสูงกว่า จุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์ที่ความดันเดียวกันยิ่งสารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จุดเดือดก็จะสูงขึ้น ขณะที่กระบวนการการระเหยเกิดขึ้น ความเข้มข้นของของเหลวจะเพิ่มขึ้น จุดเดือดก็จะสูงขึ้น ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิไอน้ำและของเหลวลดลงและอัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงอย่างมากด้วย อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ลดลงนี้ จะต้องนำไปพิจารณาเมื่อออกแบบเครื่องระเหย

2.1.3.ไฮโดรสเตติก-เฮด (hydrostatic head)

ที่ระดับใดๆ ที่ต่ำกว่าผิวอิสระ (free surface) ความดันของของเหลว ณ ระดับนั้นจะเท่ากับผลรวมของความดันบนผิวนั้นและความดันที่เทียบเท่ากับไฮโดรสเตติกเฮด (ระยะแนวดิ่งจากผิวอิสระจนถึงระดับที่พิจารณา) ดังนั้น อุณหภูมิจุดเดือดของของเหลวในเครื่องระเหยจะเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น และมีผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างไอน้ำและของเหลวเดือดลดลง ซึ่งอาจนำไปสู่การให้ความร้อนแก่ของเหลวมากเกินไป (overheating) จนของเหลวร้อนยิ่งยวด (super-heated) ได้การให้ความร้อนมากเกินไปจะทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลิตภัณฑ์ (heatdamage) ผลของไฮโดรสเตติก-เฮดจะเด่นชัดมากขึ้นในเครื่องระเหยสุญญากาศ และเป็นปัญหาของเครื่องระเหยแบบท่อยาว (long-tube evaporators) โดยทั่วไปอุณหภูมิจุดเดือดเฉลี่ยของของเหลวที่ใช้คำนวณในการออกแบบจะใช้ที่ความดันที่ระดับของเหลวครึ่งทาง (half way up) ของเครื่องระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.คุณสมบัติของของเหลวที่มีผลต่อการระเหย (The influence of feed liquor properties on evaporation)

การเลือกชนิดของเครื่องระเหยจะขึ้นกับคุณสมบัติของของเหลว ซึ่งได้แก่

2.2.1.ความหนืด (viscosity)

เมื่ออาหารมีความหนืดเพิ่มขึ้น อัตราการหมุนเวียนจะลดลง และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะลดลงด้วย โดยทั่วไป ความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการระเหย ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจะลดลงเมื่อการระเหยดำเนินต่อไป

2.2.2.ตะกรัน (fouling-scaling)

ตะกรันเป็นปัญหาสำคัญของการระเหยน้ำออกจากอาหาร โดยเฉพาะพวกโปรตีนและน้ำตาล (polysaccharides) ที่มีอยู่ในอาหารสามารถเกาะติดค้างอยู่ที่ผิว ซึ่งยากต่อการกำจัดออกไปและมีผลทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง (ค่า U ลดลง) อย่างไรก็ตามปัญหาเรื่องตะกรันจะเกิดขึ้นน้อยลง เมื่อกระแสของอาหารไหลด้วยความเร็วสูง

2.2.3.การเกิดฟอง (foaming)

การเกิดฟองระหว่างการต้มมักจะพบในของเหลวหลายชนิด โดยเฉพาะในกรณีที่การต้มเกิดขึ้นภายใต้ ความดันที่ลดลงและไฮโดรสเตติก-เฮด การเกิดฟองเชื่อว่าเกี่ยวข้องกับแรงระหว่างผิว (interfacial force) ที่เกิดขึ้นระหว่างไอของของเหลวร้อนยิ่งยวดและของแข็งที่แขวนลอยอยู่ โดยที่ของแข็งจะเป็นนิวคลีไอของการเกิดฟองการใช้สารป้องกันการเกิดฟอง(antifoam) อาจช่วยป้องกันการเกิดฟองแต่จำเป็นต้องพิจารณาว่าเป็นสารเจือปนที่ยอมรับให้ใช้ได้หรือไม่

2.2.4.การกัดกร่อน (corrosion)

อาหารบางอย่างเช่นน้ำผลไม้ มักจะมีองค์ประกอบที่สามารถกัดกร่อนผิวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นอันตรายต่อเครื่องมือและยังก่อให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะในอาหารได้ ดังนั้นเครื่องระเหยมักใช้เหล็กปลอดสนิมเป็นโครงสร้างและทำให้เข้มข้นขึ้นโดยเครื่องระเหยแบบบังคับการหมุนเวียน (force circulation) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (U) ที่สูงกว่า และใช้พื้นที่ผิวลดลงด้วย

2.2.5.ความไวต่ออุณหภูมิ (temperature sensitivity)

เพื่อลดการเสื่อมเสียอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อนระหว่างการระเหย อุณหภูมิจุดเดือดของอาหารควรจะมีค่าต่ำและใช้เวลาอยู่ในเครื่อง (residence time) ในช่วงให้ความร้อนสั้น อุณหภูมิจุดเดือดจะลดต่ำลงได้โดยการลดความดันของเครื่องระเหย ความแตกต่างของอุณหภูมิอาหารและไอน้ำที่ต้องการสามารถกระทำได้เมื่อใช้อุณหภูมิไอน้ำต่ำลง

ปัจจุบัน เป็นที่ยอมรับกันแล้วว่าการใช้อุณหภูมิที่กำหนดไว้ว่าเป็นค่าปลอดภัยสูงสุดในการทำงานสามารถใช้ได้ ถ้าเวลาที่อยู่ภายในเครื่องซึ่งมีอุณหภูมิสูงนี้สั้นมาก ดังนั้นเครื่องระเหย ที่เรียกว่า "thin-film evaporators" จึงนิยมใช้ในการทำให้อาหารที่ทนความร้อนสูงไม่ได้เข้มข้นมากขึ้น ดังจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

2.2.6.การสูญเสียกลิ่น (aroma loss)

องค์ประกอบของกลิ่นรส (aroma and flavor) ในอาหารเหลวหลายชนิดเช่น น้ำผลไม้ นั้นสามารถระเหยเป็นไอ (volatile) ได้มากกว่าน้ำเมื่อของเหลวนั้นถูกทำให้เข้มข้นขึ้น องค์ประกอบเหล่านี้จะถูกกำจัดออกไปพร้อมกับไอน้ำที่ได้จากการระเหยทำให้คุณภาพของอาหารเข้มข้นนั้นเสื่อมเสียลงองค์ประกอบของสารระเหยง่ายนี้สามารถเก็บกัก (recover) จากไอที่ไว้เป็นหัวเชื้อ (essence) โดยการกลั่นลำดับส่วนแล้วผสมกลับเข้าไปในอาหารเหลวเข้มข้นภายหลัง

2.3.คุณสมบัติของของเหลวที่มีผลเมื่อจุดเดือดสูงขึ้น (boiling point elevation)

จุดเดือดของอาหารเหลวที่สูงขึ้น หมายความว่าเป็นจุดเดือดที่เพิ่มขึ้นสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของน้ำบริสุทธิ์ที่ความดันหนึ่ง เนื่องจากปริมาณของแข็งที่มีอยู่ในอาหารเหลว

วิธีประเมินจุดเดือดของอาหารเหลวที่สูงขึ้นหาได้จากการคำนวณโดยใช้กฎของดูริงค์ (Dubring's rule) ดังนี้

2.3.1. วิธีการคำนวณ (calculation method)

สมการที่แสดงปริมาณการเพิ่มขึ้นของจุดเดือด ได้จากการพิจารณาสมดุลของสถานะและศักยภาพทางเคมี (chemical potential) ของ 2 สถานะ ที่อยู่ในสมดุล วิธีการนี้ก็เช่นเดียวกับการหาจุดเยือดแข็งที่ลดต่ำลงในรูปของโมแลลิตี้(molality) ในกรณีของจุดเดือดที่สูงขึ้นจะได้จาก

$$\lambda_v / R_g [1/T_{Ao} - 1/T_A] = -\ln X_A \quad \text{----------(2.1)}$$

เมื่อ λ_v = ความร้อนแฝงของการระเหยต่อหน่วยโมล

T_{Ao} = จุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์

X_A = สัดส่วนโมลของน้ำในสารละลาย

T_A = จุดเดือดของสารละลาย

R_g = ค่าคงที่ของก๊าซ = 8.314 J/Mole.K

เมื่อสารละลายเจือจาง จุดเดือดจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทำให้ผลคูณของ T_{Ao} กับ T_A ใกล้เคียงกับ T_{Ao}^2 เมื่อผลต่างของ(T_A-T_{Ao}) น้อยมาก โดยกำหนดให้ $T_B=T_A-T_{Ao}$ และการกระจายเทอมของล็อกในรูปของอนุกรมกำลัง โดยใช้เพียงเทอมแรกจะได้

$$T_B = [(R_g)(T_{Ao}^2)(X_B)(X)] / \lambda_v \quad \text{----------(2.2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ X_B = สัดส่วนโมลของตัวถูกละลายที่ก่อให้จุดเดือดสูงขึ้น

และเมื่อดัดแปลงสมการโดยใช้โมลาลิตี้จะได้สมการต่อไปนี้

$$T_B^2 = [(R_M)(T_{AO})(W_A)(m)]/[(L_V)(1,000)] \quad \text{------(2.3)}$$

เมื่อ W_A = น้ำหนักโมเลกุลของตัวทำละลาย A (น้ำ)

L_V = ความร้อนแฝงของการระเหยต่อหน่วยมวลน้ำ

สมการที่(3)จะใช้ได้เมื่อสารละลายเจือจาง หรือค่า X_B น้อยมาก อย่างไรก็ตาม เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นสูงมากเนื่องจากการระเหย การหาจุดเดือดที่สูงขึ้นในสมการ (3) อาจคลาดเคลื่อนไปมาก ในสภาวะเช่นนี้ควรจะใช้สมการ(1)จึงจะเหมาะสมกว่า

การใช้สมการที่กล่าวมาแล้วนี้ จำเป็นต้องทราบข้อมูลขององค์ประกอบเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ทำให้จุดเดือดเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมักจะไม่ค่อยสมบูรณ์หรือพร้อมที่จะนำไปใช้โดยทั่วไป การคำนวณมักจะประมาณจากองค์ประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในความเข้มข้นสูงกว่า รวมทั้งค่าน้ำหนักโมเลกุลและสัดส่วนโมลขององค์ประกอบเหล่านี้

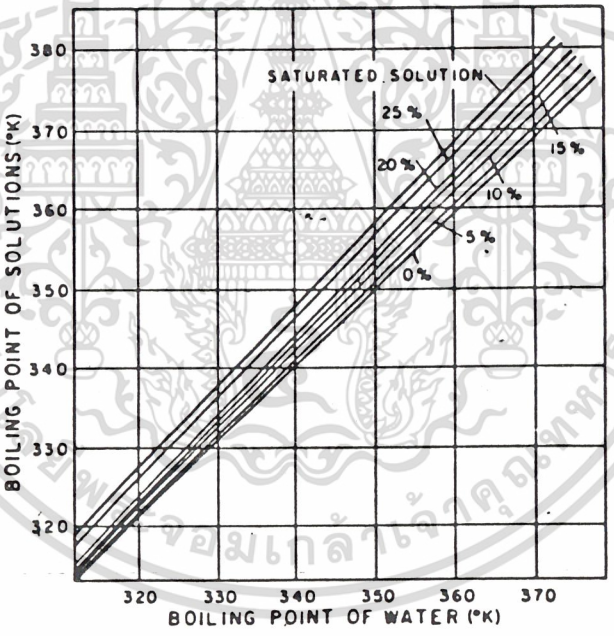
2.3.2.การใช้กฎของดูริงค์ (Duhring's rule)

วิธีที่สองมักนิยมใช้กันมากในการประมาณจุดเดือดที่สูงขึ้น ซึ่งกฎนี้กล่าวว่า อุณหภูมิของของเหลวหนึ่ง ณ ความดันไอที่กำหนดให้ค่าหนึ่ง จะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับอุณหภูมิของของเหลวอ้างอิงที่ความดันไอเดียวกัน " นั่นคือจุดเดือดของสารละลายและจุดเดือดของน้ำมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงที่ความดันเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ดังกล่าวมิได้ครอบคลุมช่วงของอุณหภูมิกว้างนัก ภาพที่ 2 แสดงระบบของเกลือโซดียมคลอไรด์-น้ำ จะเห็นว่าเมื่อสารละลายเข้มข้นขึ้น จุดเดือดที่สูงขึ้นจะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม การใช้แผนภาพนี้ก็จำเป็นต้องทราบข้อมูลเฉพาะขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย

การเพิ่มขึ้นของจุดเดือดเนื่องจากความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจำเป็นต้องพิจารณาเนื่องจากมีผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิไอน้ำและผลิตภัณฑ์ลดลง



รูปที่ 2.1 เส้นดูริงค์ที่แสดงอิทธิพลของความเข้มข้นของปริมาณตัวถูกละลายต่อจุดเดือดที่สูงขึ้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์

ที่มา : วิศวกรรมการแปรรูปอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้งาน

034783

2.4.การถ่ายเทความร้อนระหว่างการระเหย (heat transfer during evaporation)

การระเหยน้ำทำให้อาหารเข้มข้นขึ้น นั้นจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อมี ปริมาณความร้อนจำนวนหนึ่งส่งผ่านไปยังผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่เพียงพอ สมการทั่วไปของการถ่ายเทความร้อนจากตัวให้ความร้อนไปยังผลิตภัณฑ์ คือ

$$q = U A (T_s - T_p)$$

เมื่อ q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (W, kJ/s)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด ($W/m^2.K$)

A = พื้นที่ผิวที่มีการถ่ายเทความร้อน (m^2)

T_s = อุณหภูมิของไอน้ำ (องศา C)

T_p = อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (องศา C)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสามารถกำหนดให้อยู่ในรูปสมการต่อไปนี้

$$1/UA_{lm} = 1/h_s A_s + x/kA_{lm} + 1/h_p A_p \text{ ----------(2.4)}$$

เมื่อ x = ความหนาของวัสดุที่ใช้เป็นผิวของการถ่ายเทความร้อน (m)

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุนั้นๆ ($W/m.K$)

A_{lm} = พื้นที่เฉลี่ยของด้านไอน้ำและผลิตภัณฑ์ของผิวแลกเปลี่ยนความร้อน (m^2)

h_s, h_p = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านไอน้ำและผลิตภัณฑ์ตามลำดับ ($W/m^2.K$)

A_s, A_p = พื้นที่ผิวของการส่งผ่านความร้อนด้านไอน้ำและผลิตภัณฑ์ตามลำดับ (m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า A_{lm} นี้เป็นค่าเฉลี่ยล็อก (logarithmic mean) ของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ดังสมการที่(4) แสดงให้เห็นว่ามี 3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการหาความต้านทานการถ่ายเทความร้อนระหว่างการระเหย ทั้ง 3 เทอมล้วนแสดงความต้านทานต่อการถ่ายเทความร้อน ซึ่งประกอบด้วยความต้านทานด้านผิวของตัวให้ความร้อนของฟิล์มที่ความร้อนถ่ายเทผ่านความต้าน อันเนื่องมาจากการนำความร้อนของวัสดุที่สร้าง เป็นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนและจากฟิล์มที่ถ่ายเทความร้อนที่ผิวของผลิตภัณฑ์ของผิวแลกเปลี่ยนความร้อน

2.4.1.ตัวให้ความร้อน (Heating medium)

ในเครื่องระเหยส่วนใหญ่ ตัวให้ความร้อนมักจะเป็นไอน้ำหรือไอที่สามารถกลั่นตัวได้ ซึ่งความต้านทานที่เกิดขึ้นจากการใช้ตัวให้ความร้อนชนิดนี้ มักเกิดจากฟิลม์ของหยดน้ำ (condensation film) บนผิวถ่ายเทความร้อนด้านตัวให้ความร้อน สมการที่ใช้ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสำหรับฟิลม์ดังกล่าวนี้หาได้จากสมการต่างๆ ซึ่งมิได้แสดงไว้ ณ.ที่นี้

2.4.2.ผิวที่ให้ความร้อน (Heating surface)

ส่วนที่สองของความต้านทานทั้งหมดต่อการถ่ายเทความร้อนของสมการที่ (4) ได้แก่ ความต้านทานที่เกิดจากวัสดุที่เป็นผิวให้ความร้อน ผิวที่ให้ความร้อนมักสร้างจากโลหะปลอดสนิมที่ทราบคุณสมบัติและความหนา ดังนั้นเราจึงคำนวณหาความต้านทานได้เมื่อทราบความหนา (x) และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k)

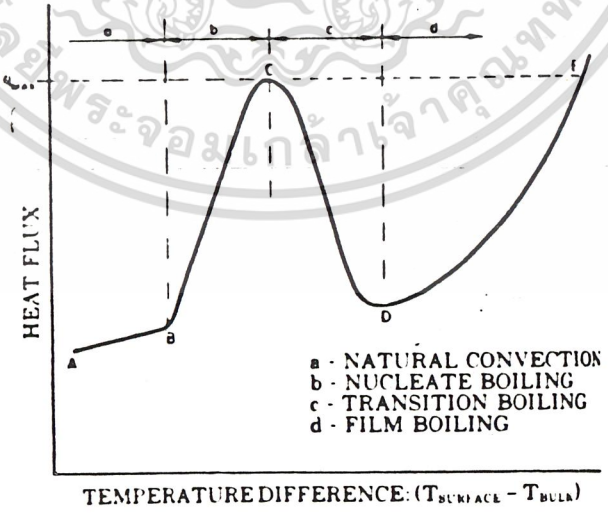
2.4.3.ผลิตภัณฑ์ (Product)

ความต้านทานต่อการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในส่วนของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากไม่มีความรู้เกี่ยวกับสภาวะที่อยู่ใกล้กับผิวระหว่างการถ่ายเทความร้อนไอยังของเหลวที่กำลังเดือด

การถ่ายเทความร้อนจากผิวที่ร้อนไปยังของเหลวที่กำลังเดือดนั้น จะเป็นลักษณะการพาความร้อน แต่ปริมาณความร้อน (heat flux)จะแตกต่างกันขึ้นกับความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวและของเหลว เช่นในภาพที่ 3 เมื่อความแตกต่างอุณหภูมิน้อยมาก (น้อยกว่า 5 องศา C) การถ่ายเทความร้อนในบริเวณนี้จะเรียกว่า พูล บอยลิ่ง (pool boiling) โดยความร้อนจะส่งผ่านของเหลวไปยังบริเวณผิวหน้าหรือ (interface) ของของเหลว-ไอที่มีการระเหยเกิดขึ้นด้วยวิธีพาความร้อน เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวและของเหลวเพิ่มขึ้น การกลายเป็นไอจะเกิดขึ้นใกล้กับผิว ทำให้เกิดฟอง ซึ่งควบแน่นภายในของเหลวก่อนที่ถึงผิวหน้าของของเหลว-ไอ ฟองของไอน้ำที่เกิดขึ้นมักจะอยู่บนผิวบริเวณนี้จะเรียกว่า นิวคลีเอชั่น บอยลิ่ง การต้มลักษณะนี้ดำเนินต่อไปจนกระทั่งความแตกต่างของอุณหภูมิใกล้กับ 55 ° C ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิสูงขึ้น ฟองไอที่เกิดขึ้นที่ผิวความร้อนจะส่งไปยังผิวหน้าของของเหลว-ไอ ดังในรูปที่ 2.2 ค่าฮีทฟลักซ์จากผิวความร้อนไปยังของเหลวจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดที่ใกล้กับความแตกต่างของอุณหภูมิเป็น 55 ° C นั่นคือ การเกิดฟองไอใกล้ผิวในช่วง นิวคลีเอชั่น บอยลิ่ง จะเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากผิวความร้อนไปยังของเหลวเดือด



รูปที่ 2.2 กราฟการเดือดที่แสดงบริเวณต่างๆ ของการต้มใกล้กับผิวที่ร้อน

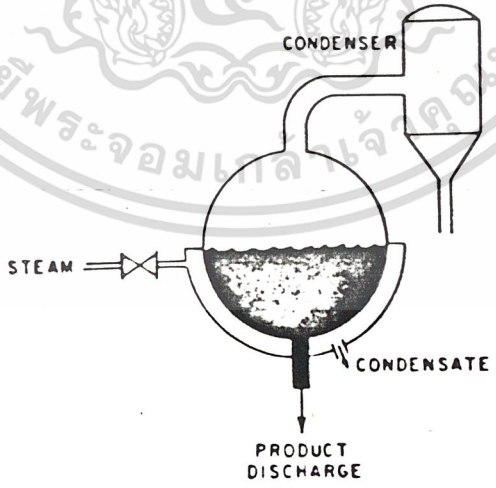
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความแตกต่างอุณหภูมิสูง มากกว่า 55 °C ฟิลม์ของฟองไอจะเกิดขึ้นและสะสมอยู่บนผิวการถ่ายเทความร้อน ทำให้ฮีทฟลักซ์มีค่าลดลง แม้ว่าฟิลม์จะไม่เสถียรที่ความแตกต่างของอุณหภูมิที่สูงกว่าเพียงเล็กน้อย แต่ฟิลม์นี้ก็จะเสถียรที่ความแตกต่างของอุณหภูมิเป็น 55 °C ทำให้ค่าฮีทฟลักซ์ลดลงและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก็จะลดลงด้วย เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิสูงกว่า 55 °C ฟิลม์ของไอจะเสถียรมากจนเกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสี มีผลทำให้ฮีทฟลักซ์สูงขึ้นและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก็สูงขึ้นด้วย

2.5.ชนิดของเครื่องระเหย (type of evaporator)

2.5.1.เครื่องระเหยแบบหม้อชนิดเป็นครั้ง(batch-type pan evaporator)

เครื่องระเหยที่เป็นแบบเก่าที่สุดและง่ายที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เครื่องระเหยแบบหม้อชนิดเป็นกะ

ที่มา : วิศวกรรมแปรรูปอาหาร

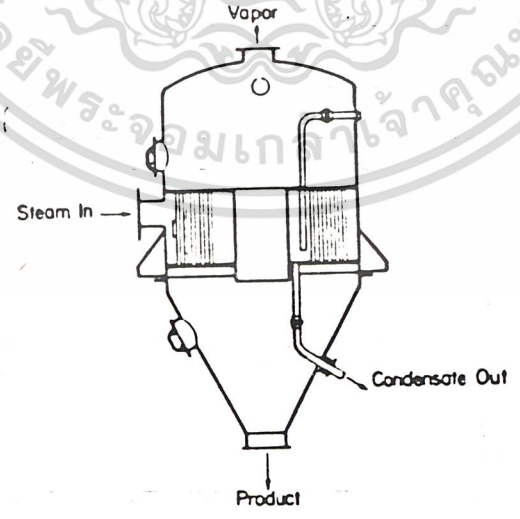
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์จะร้อนภายในหม้อทรงกลม "steam-jacketed" หม้อต้มนี้อาจจะทำงานในสภาพความดันบรรยากาศหรือสุญญากาศ สภาวะสุญญากาศนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์เดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดที่ความดันบรรยากาศ ทำให้ลดความเสื่อมเสียอันเนื่องมาจากความร้อนที่ให้แก่ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ทนความร้อน

เนื่องจากผิวของการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยปริมาตร ในหม้อระเหยนี้มีค่าน้อย ดังนั้นเวลา (residence time) ที่ผลิตภัณฑ์จะต้องอยู่ในหม้อต้มเพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการจึงใช้เวลานาน อาจใช้เวลาอยู่ถึงหลายชั่วโมง

2.5.2.เครื่องระเหยแบบการหมุนเวียนตามธรรมชาติ (natural circulation evaporator)

เครื่องระเหยแบบนี้จะมีท่อสั้นในแนวดิ่งความยาว 1-2 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 50-100 มิลลิเมตร จัดเรียงกันอยู่ภายในสตีมเชสท์ (steam chest) ทั้งท่อและสตีมเชสท์ รวมเรียกว่า คาลานเดรีย (calandria)



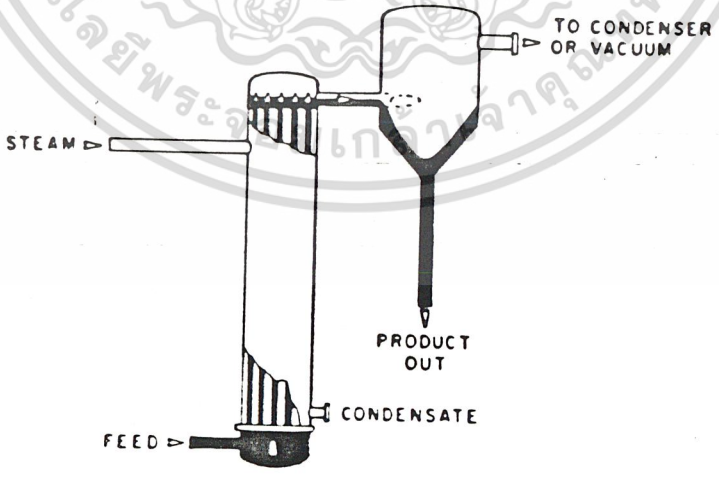
รูปที่ 2.4 เครื่องระเหยชนิดหมุนเวียนแบบธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความร้อน จะขึ้นสูงผ่านคาลานเดรีย ด้วยการหมุนเวียนแบบธรรมชาติ ขณะที่ไอน้ำจะควบแน่นภายนอกท่อ การระเหยจะเกิดขึ้นภายในท่อและผลิตภัณฑ์จะเข้มข้นขึ้น ของเหลวเข้มข้นจะตกกลับไปสู่ส่วนล่างของภาชนะโดยผ่านส่วนวงแหวนตรงกลาง (central annular) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยที่อาหารเหลวอาจถูกอุ่นโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่อยู่ภายนอก

3.เครื่องทำระเหยแบบฟิล์มไหลขึ้น (rising film evaporator)

เครื่องทำระเหยแบบนี้จะใช้กับอาหารที่มีความหนืดต่ำ เพื่อให้เดือดภายในท่อแนวดิ่งยาว 10-15 เมตร ท่อจะถูกทำให้ร้อนจากภายนอกด้วยไอน้ำ ของเหลวจะขึ้นสูงภายในท่อ โดยไอที่เกิดขึ้นใกล้ด้านล่างของท่อให้ความร้อน การเคลื่อนที่ขึ้นของไอสู่ด้านบนทำให้ฟิล์มของเหลวเคลื่อนสู่ด้านบนอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างผลิตภัณฑ์และสารให้ความร้อนอย่างน้อยประมาณ 14 C จึงจะพอเพียงต่อการเกิดฟิล์มดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 2.5

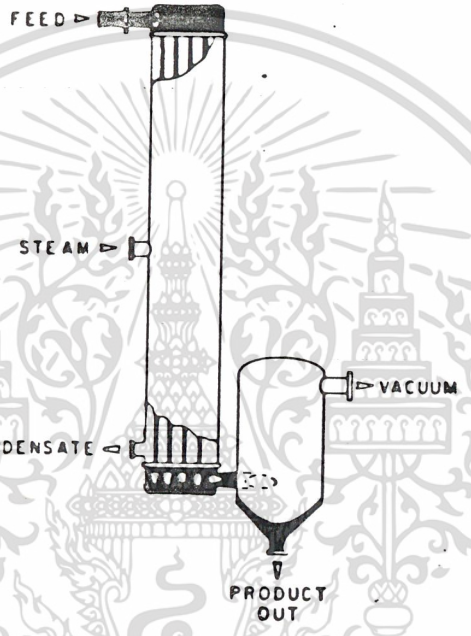


รูปที่ 2.5 เครื่องระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4. เครื่องระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง (falling film evaporator)

ตรงกันข้ามกับเครื่องระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ขึ้น เครื่องทำระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลงจะมีฟิล์มบางๆ เคลื่อนที่ลงภายใต้แรงดึงดูดของโลกในท่อแนวดิ่งดังรูปที่ 2.6



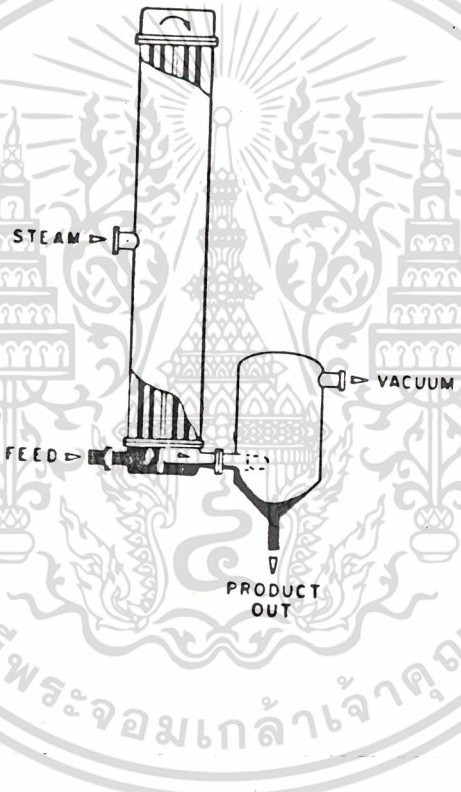
รูปที่ 2.6 เครื่องระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ลง

อย่างไรก็ตาม การออกแบบเครื่องระเหยนี้ค่อนข้างจะซับซ้อน เนื่องจากการกระจายตัว (distribution) ของของเหลวในลักษณะที่เป็นฟิล์มเคลื่อนที่ลงอย่างสม่ำเสมอในท่อนั้น เกิดค่อนข้างจะยากกว่า ระบบการไหลขึ้น ของเครื่องระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ขึ้น ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวกระจาย (distributors) หรือหัวพ่น (spray nozzles) ช่วย เครื่องระเหยแบบนี้สามารถใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูง และใช้กับอาหารที่ไม่สามารถทนกับความร้อนสูงได้ (highly heat sensivitive) เช่น น้ำผลไม้ สำหรับเวลา (residence time) จะใช้เพียง 20-30 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5.เครื่องระเหยแบบฟิล์มเคลื่อนที่ขึ้นและลง(rising/falling film evaporator)

ในเครื่องระเหยแบบนี้ ผลิตภัณฑ์จะถูกทำให้เข้มข้นโดยการหมุนเวียนผ่านส่วนที่เป็นฟิล์มไหลขึ้น ตามด้วยส่วนที่เป็นฟิล์มตกลงมาในเครื่องระเหย ดังรูปที่ 2.7



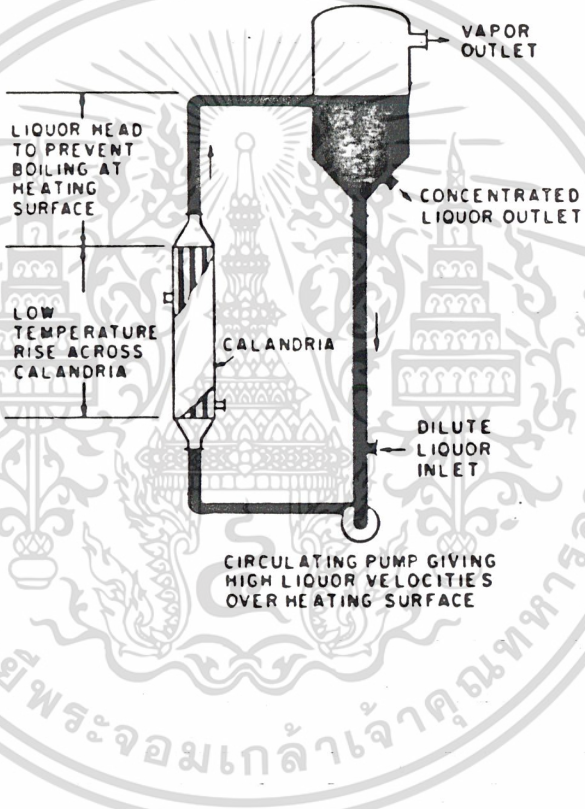
รูปที่ 2.7 เครื่องระเหยชนิดฟิล์มเคลื่อนที่ขึ้นและลง

2.5.6.เครื่องระเหยชนิดบังคับให้หมุนเวียน (force circulation evaporator)

เครื่องระเหยนี้จะประกอบด้วย เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่มีการสัมผัส (noncontact)ซึ่งผลิตภัณฑ์จะหมุนเวียนอยู่ภายในด้วยอัตราเร็วสูง นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง ดังรูปที่ 2.8 ความดันไฮโดรสเตติคเฮด ที่อยู่ส่วนบนของท่อป้องกันมิให้ของเหลวเดือด ซึ่งจะจำกัดการระเหยให้ความร้อนเกิดในท่อเท่านั้น ส่วนภายในเครื่องแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันสมบูรณ์จะต่ำกว่าความดันในท่อ (tube bundle) เล็กน้อย ดังนั้นของเหลวที่เข้าเครื่องแยกจะเปลี่ยนเป็นไอทันที ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวให้ความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะเป็น 3-5 C



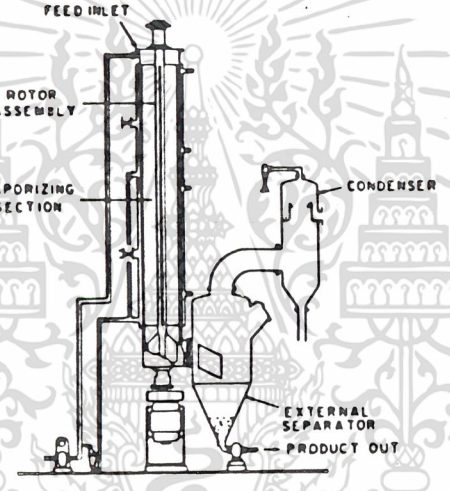
รูปที่ 2.8 เครื่องระเหยแบบบังคับการหมุนเวียน

2.5.7. เครื่องระเหยชนิดฟิล์มบางๆที่มีการกวน (agigated thin film evapoator)

เครื่องระเหยชนิดนี้ เหมาะสำหรับอาหารเหลวที่มีความหนืดสูง โดยที่อาหารเหลวที่เข้าสู่เครื่องจะถูกเกลี่ยให้อยู่ด้านในของผิวให้ความร้อนทรงกระบอก โดยการใช้มีดปาด (wiper blades) เนื่องจากมีการกวนในอัตราสูง ทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่ามาก รูปร่างของเครื่องที่เป็นทรงกระบอกจะทำให้พื้นที่ผิวถ่ายเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนต่อหน่วยปริมาตรของผลิตภัณฑ์ต่ำ ไอน้ำความดันสูงจะใช้เป็นตัวให้ความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เครื่องระเหยชนิดฟิล์มที่มีการกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ทฤษฎีของระบบสุญญากาศ

2.6.1.หน่วยวัดความดัน

ความดันในระบบสุญญากาศมีช่วงกว้างมากตั้งแต่ความดันบรรยากาศ (760 torr หรือ 1,000 mbar)ไปจนถึง 10^{-12} torr ช่วงความดันอาจแบ่งได้เป็น

- ความดันสุญญากาศหยาบ(rough vacuum) 760-1 torr
- ความดันสุญญากาศปานกลาง(medium vacuum) 1-10^{-3} torr
- ความดันสุญญากาศต่ำ (high vacuum) 10^{-3}-10^{-8} torr
- ความดันสุญญากาศมาก (ultrahigh vacuum,UHV) <10^{-8} torr

ไม่มีอุปกรณ์หรือเกจวัดความดันเพียงชนิดเดียวตัวเดียววัดความดันได้ตลอดช่วง จึงต้องใช้อุปกรณ์ซึ่งอาศัยหลักการทำงานทางฟิสิกส์มากแบบด้วยกัน

หน่วยวัดความดัน นิยมใช้หน่วย torr(mmHg)ในระบบ S.I. จะใช้หน่วย pascal(Pa) ซึ่ง 1 Pa มีค่าเท่ากับ $1*10^{5}$ $N.m^{-2}$ หรือใช้ millibar(mbar) และ 1 bar = 10^{6} $dyne.cm^{-2}$

2.6.2.อุปกรณ์วัดความดัน

อุปกรณ์วัดความดันอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การขยายตัวหดตัวของก๊าซเมื่อความกดดันเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนค่าการนำความร้อนของโลหะภายใต้สิ่งแวดล้อมที่เป็นก๊าซชนิดต่างๆ กันที่ความดันต่างกัน จะขอสรุปแบบของอุปกรณ์ช่วงความดันที่วัดได้และหลักการโดยย่อในตารางที่ 2.1 เฉพาะแบบที่ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 อุปกรณ์วัดความดันและช่วงใช้งาน

ชนิดหรือแบบ	ช่วงความดันที่วัดได้	หลักการ
มาโนมิเตอร์ปรอท	760-1 torr	การเปลี่ยนแปลงระดับปรอทเนื่องจากความดัน
เกจบัวตอง	760-10 torr	การเปลี่ยนแปลงของภาชนะปิดภายใต้ความดัน
เกจแอนีรอยด์	760-21 torr	การเปลี่ยนแปลงขนาดของภาชนะปิดภายใต้ความดัน
หลอดดิสชาร์จ	5-0.01 torr	การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะดิสชาร์จไฟฟ้า เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง
เกจแม็คลาวด์	$10-10^{-6}$ torr	การเปลี่ยนแปลงระดับปรอท
เกจพิรานี	$760-10^{-3}$ torr	ความต้านทานขดลวดเปลี่ยนแปลงตามการนำความร้อน
เกจเทอร์โมคับเปิล	$760-10^{-3}$ torr	การนำความร้อนของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อ

ชนิดหรือแบบ	ช่วงความดันที่วัดได้	หลักการ
เกจเพ็นนิง	10^{-2}-10^{-6} torr	การไอออนไนเซชันของก๊าซภายใต้สนามแม่เหล็กและไฟฟ้า
เกจไอออนไนเซชันขั้วคาโทดร้อน	10^{-3}-10^{-11} torr	การไอออนไนเซชันของก๊าซ
เกจแอลฟาตรอน	760-10^{-3} torr	การไอออนเซชันของก๊าซเมื่อรับรังสี
เกจบาราตรอน	760-10^{-4} torr	การเปลี่ยนแปลงค่าคาพาซิแตน

อุปกรณ์วัดความดันประเภทไฟฟ้าจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนหัววัดซึ่งเป็นตัวเปลี่ยนค่าทางกายภาพ และส่วนวงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงานและแปรค่าสัญญาณเป็นความดันที่อ่านได้ หน่วยควบคุมแบบทันสมัยจะมีระบบป้องกันวงจรในกรณีที่สัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้สูงเกินไปหรือสามารถใช้หน่วยควบคุมในการควบคุมความดันของระบบสุญญากาศได้ดังเช่น ในงานผลิต ถ้าความดันในภาชนะสุญญากาศสูงหรือต่ำเกินระดับที่ตั้งไว้ หน่วยควบคุมสามารถสั่งให้ปั๊มสุญญากาศหยุดหรือเริ่มทำงานได้

ในการเลือกใช้อุปกรณ์วัดความดัน ควรพิจารณาองค์ประกอบหรือข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์วัดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1)ช่วงความดันที่วัดได้ ควรจะครอบคลุมความดันสุญญากาศที่ต้องการวัด หัววัดบางหัวจะทำงานที่ความดันต่ำมาก เช่น หัววัดเกจไอออนไนเซชชั่น ถ้าใช้วัดความดันสูงกว่า 10^{-3} torr หัววัดจะชำรุด ระบบสุญญากาศจึงมักใช้หัววัด 2 แบบ คือวัดความดันในช่วง 760-10^{-3} torr ช่วงหนึ่งและต่ำกว่า 10^{-3} torr อีกช่วงหนึ่ง

2)ความละเอียดของสเกลวัด อุปกรณ์วัดความดันหลายแบบจะวัดความดันที่อ่านในสเกล log และอ่านสเกลเชิงเส้นตรงได้ในบางช่วง อุปกรณ์บางแบบจึงใช้อ่านความดันได้อย่างหยาบๆ

3)ความไวต่อก๊าซปั๊ม อุปกรณ์วัดความดันหลายแบบอาศัยหลักการนำความร้อนของก๊าซหรือการแตกตัวของก๊าซ ดังนั้นเมื่อใช้กับก๊าซต่างชนิดกันจะให้ความไวต่างกัน จึงต้องทราบค่าแก้หรือค่าเปรียบเทียบของก๊าซต่างๆ อุปกรณ์ประเภทนี้มักจะใช้ไนโตรเจนหรืออากาศแห้งเป็นมาตรฐาน

4)ข้อมูลจำเพาะเกี่ยวกับอุปกรณ์ ควรทราบว่าหัววัดความดันสามารถแสดงค่าตอบสนองต่อการเปลี่ยนความดันได้เร็วช้าเพียงใด ผลของอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ ความแม่นยำ ตลอดจนรายละเอียดเกี่ยวกับขนาดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ อะไหล่ การติดตั้ง ข้อควรระวังต่างๆ

2.7 หลักการทำงานและชนิดของปั๊มกลสุญญากาศ (Mechanical vacuum pump) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.7.1 ปั๊มกลโรตารี (Mechanical rotary pump)

ปั๊มกลเป็นปั๊มที่ใช้ในการสร้างสุญญากาศขั้นต้น สามารถสร้างสุญญากาศไม่ต่ำกว่า 10^{-3} torr

หลักการอย่างง่ายๆ คือ ก๊าซหรืออากาศในภาชนะจะถูกขับออกโดยการเคลื่อนไหวของลูกสูบ ทำให้ก๊าซในห้องสูบมีความดันเพิ่มมากขึ้นจนมากกว่าความดันบรรยากาศภายนอก ก๊าซจะถูกขับออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปั๊มกลโรตารีแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

1) ปั๊มกลโรตารีแบบแวน(Rotary vane pump)

ปั๊มประกอบด้วยภาชนะทำด้วยโลหะเป็นรูปทรงกระบอกกลวง เรียกว่า สเตเตอร์ ภายในทรงกระบอกกลวงมีแท่งโลหะรูปทรงกระบอกหมุนได้โดยมอเตอร์ไฟฟ้าเรียกว่าโรเตอร์ แกนของโรเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่ทำให้มันแตะผิวของสเตเตอร์พอดีมีช่องห่างเพียง 0.001 นิ้ว บริเวณที่แตะผิวด้านบนนี้เรียกว่า top seal rotor จะถูกเจาะเป็นร่องเพื่อติดแวน (van c) 2 อัน แวน 2 อันนี้จะถูกดันด้วยสปริงให้แตะกับผิวสเตเตอร์ตลอดเวลา

การทำงานของปั๊มจะเข้าใจได้โดยง่าย (รูปที่ 2.10)การทำงานอาจแบ่งเป็นจังหวะ a,b,c คือ

a)โรเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา ทำให้ก๊าซถูกดูดออกจากภาชนะสุญญากาศเข้าตัวปั๊มทางช่อง D

b)เมื่อโรเตอร์หมุนไปเกือบ 180 องศา ก๊าซที่ถูกอัดแล้วส่งออกทางลิ้น E ปกติลิ้นนี้จะปิดและมีน้ำมันอยู่โดยรอบ ก๊าซที่ถูกขับออกจากปั๊มจะต้องมีความดันเหนือความดันบรรยากาศปกติเล็กน้อย

c)ก๊าซถูกอัดส่งออกมาจนเกือบหมด ก๊าซจากภาชนะสุญญากาศจะถูกแวนดูดเข้าไปยังช่องว่างในสเตเตอร์อีกครั้งหนึ่ง

โรเตอร์จะหมุนเร็วหลายร้อยหลายพันรอบต่อนาที จึงขับก๊าซออกจากภาชนะสุญญากาศได้เร็ว

น้ำมันปั๊มบางส่วนสามารถเล็ดลอดผ่านเข้าไปในสเตเตอร์ได้เล็กน้อย เพื่อใช้เป็นตัวหล่อลื่นระหว่างแวนกับผิวสเตเตอร์ อัตราส่วนระหว่างความดันก๊าซที่ถูกขับออกกับก๊าซถูกดูดเข้า เรียกว่า อัตราส่วนการดูด ดังนั้นในการสร้างความดันราว 10^{-2} torr ปั๊มจะต้องมีอัตราส่วนการอัดถึง 10^{5} เท่า

ประสิทธิภาพของปั๊มขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1)ผิวของสเตเตอร์และโรเตอร์จะต้องสะอาด มันเรียบและที่ซีลด้านบนจะต้องไม่สึกกร่อนง่าย

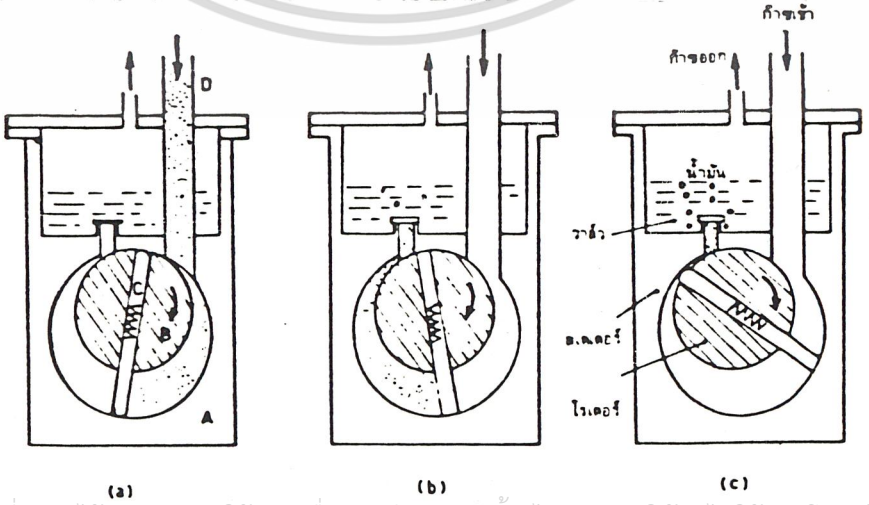
2)การซีลระหว่างสเตเตอร์ อาศัยน้ำมันเป็นตัวซีลหล่อลื่นและระบายความร้อนไปในตัว

3)ก๊าซที่อัดเพื่อขับออกจากปั๊มอาจมีไอน้ำปะปนอยู่ ไอน้ำหรือไอของของเหลวนี้อาจละลายในน้ำมันที่ความดันสูง จึงไม่ถูกขับออกโดยง่าย แต่จะถูกนำกลับเข้าไปในห้องสเตเตอร์ได้อีก ทำให้ประสิทธิภาพการปั๊มลดลง

4)การรั่วของก๊าซที่ถูกอัดที่ซีลตอนบนและซีลระหว่างแวนกับสเตเตอร์

ปั๊มกลโรตารีส่วนใหญ่ใช้สายพานเป็นตัวส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังโรเตอร์ ความเร็วรอบมีค่าระหว่าง 350-750 รอบต่อนาที แต่ปั๊มแบบใหม่ใช้ต่อแกนมอเตอร์เข้ากับโรเตอร์โดยตรง เมื่อใช้มอเตอร์ 4 ขั้วจะให้ความเร็วรอบถึง 1,450 รอบต่อนาที เมื่อใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรต์ ที่ความเร็วรอบสูงจะมีเสียงดังอันเกิดจากการน็อคไฮโดรลิคและเสียงที่ช่องขับก๊าซออก แต่ถ้าน้ำมันน้อยเกินไปจะทำให้การซีลบกพร่องและไม่เพียงพอสำหรับการหล่อลื่น

และรูปที่ 2.11 แสดงภาคตัดขวางของห้องปั๊มกลโรตารีแบบแวนโดยไม่แสดงมอเตอร์และสายพาน



รูปที่ 2.10 การทำงานของปั๊มกลโรตารีแบบแวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ปั๊มกลโรตารี่แบบแวนเลื่อน (Sliding vane rotary pump)

ปั๊มกลโรตารี่แบบนี้จะมีแวนอันเดียวต่อกับโรเตอร์ ดังรูปที่ 2.12 แวนจะเลื่อนเข้าออกในช่องที่เจาะไว้ในโรเตอร์ เมื่อโรเตอร์หมุนแวนที่เลื่อนได้นี้จะเป็นตัวกั้นเขตระหว่างบริเวณที่มีความดันสูงและต่ำ

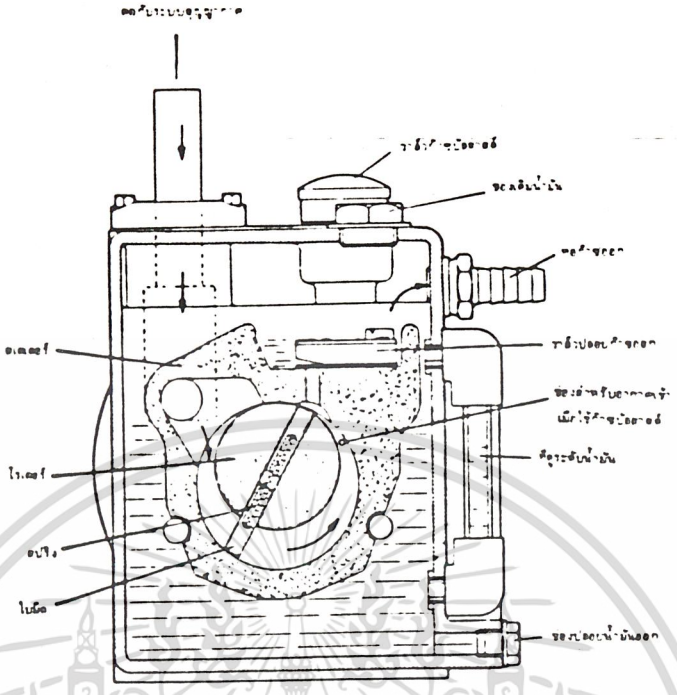
3)ปั๊มกลโรตารี่แบบลูกสูบ (Rotary piston pump)

ปั๊มกลโรตารีแบบแวนมักจะมีขนาดเล็ก ความเร็วปั๊มสูงสุดของปั๊มเคยสร้างกันมีค่า 900 ลิตรต่อวินาที ถ้าต้องการความเร็วปั๊มสูงขึ้นจะใช้ปั๊มกลลูกสูบ รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะภายในของปั๊ม

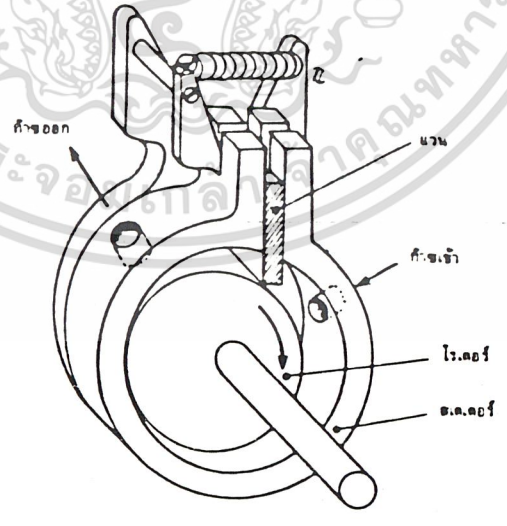
ปั๊มกลโรตารี่แบบลูกสูบนี้ประกอบด้วยสเตเตอร์ A ซึ่งมีช่องให้ก๊าซเข้าและช่องขับก๊าซออก แกนเสียบโรตารี่จะยึดอยู่เหนือแกน B และจะต่อกับวาล์วลูกสูบเลื่อนได้ C ลูกสูบหรือแกนเสียบประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนกังกลมภายใน D ต่อกับแกน และกล่องทรงกระบอก E กล่อง E จะมีขนาดพอเหมาะเข้ากับ D เมื่อโรเตอร์หมุนไปเรื่อยๆ สเตเตอร์จะเกิดการเคลื่อนไหวกลับไปกลับมา ทำให้วาล์ว C เลื่อนเปิดให้ก๊าซไหลเข้ามาอยู่ในช่องสเตเตอร์ เมื่อแกนเสียบเลื่อนวาล์วให้ปิด ปั๊มจะถูกตัดขาดจากภาชนะสุญญากาศ และก๊าซภายในสเตเตอร์จะถูกอัดให้ออกทางวาล์ว F

ประสิทธิภาพในการทำงานของปั๊มจะดี ถ้าผิวภายในเรียบสะอาดและใช้น้ำมันเป็นตัวซีล และใช้ก๊าซบัลลาสต์ช่วยในการขับน้ำและไอของของเหลวที่ละลายอยู่ในน้ำมันออกจากปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

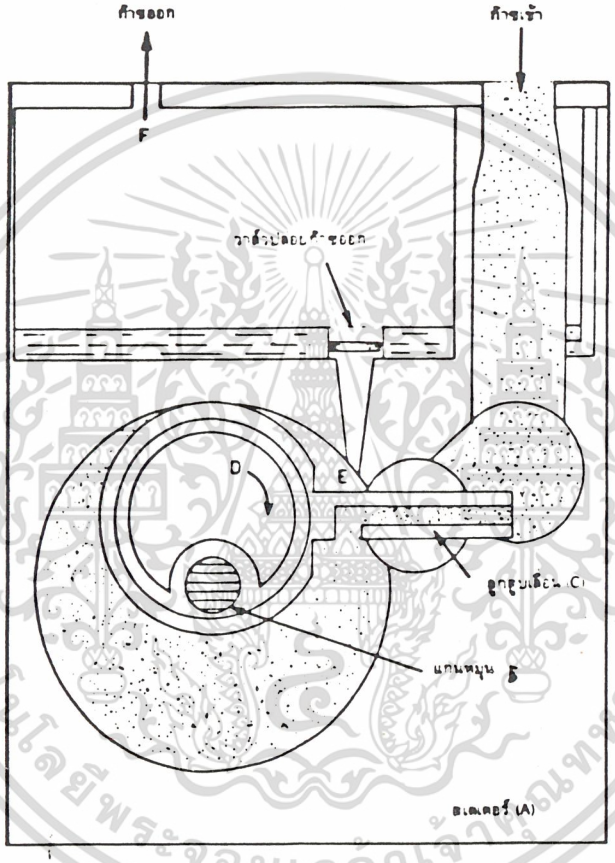


รูปที่ 2.11 ปั๊มกลโรตารี่แบบแวน



รูปที่ 2.12 ปั๊มกลโรตารีแบบเวนเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ปั๊มกลโรตารี่แบบลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการคำนวณและการสร้างเครื่อง

3.1. การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการระเหยของเครื่องทำระเหยสุญญากาศ

ค่าประสิทธิภาพของ Vacuum Pump ซึ่งดัดแปลงจาก คอมเพรสเซอร์แอร์ติดรถยนต์ นี้สามารถทำเป็นสุญญากาศได้สูงถึง 20.0 นิ้วปรอท ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังตาราง 3.1 เนื่องจากของเหลวที่จะนำมาระเหยประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนประกอบหลักดังนั้นจึงใช้ตารางไอน้ำอิ่มตัวมาพิจารณา

จากตาราง 3.1 สรุปได้ว่าที่ความดันเกจ(H_{gage}) = 20.0 นิ้วปรอท น้ำจะเริ่มเดือดเป็นไอได้ที่อุณหภูมิเท่าใดสามารถหาได้โดยการ interpolate ระหว่างช่วงอุณหภูมิ 70 ถึง 75 องศาเซลเซียส

ค่าอุณหภูมิ = 5*(20.0-20.83)/(18.64-20.83) + 70

= 71.89 C

ดังนั้นในการจัดชุดการทดลอง จะเริ่มทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และที่ค่าสุญญากาศสูง 20 นิ้วปรอท มีค่าของความดันสุญญากาศสัมพัทธ์เท่ากับ 67.72 kPa ซึ่งจะใช้ค่านี้ในการคำนวณหา ค่าความหนาของถังแยก และใช้ในการหากำลังในการขับปั๊มสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความดันที่ทำให้น้ำเดือดและการแปลงหน่วยความดัน

อุณหภูมิ(C) T	ค่าความดันสัมบูรณ์(kPa) P_{abs}	ค่าสุญญากาศสัมพัทธ์	
		P_{vac}(kPa)	H_{gage} (inches Hg)
0.01	0.6113	100.7387	29.92
5	0.8721	100.4779	29.84
10	1.2276	100.1224	29.73
15	1.7051	99.6449	29.59
20	2.339	99.011	29.40
25	3.169	98.181	29.16
30	4.246	97.104	28.84
35	5.628	95.722	28.43
40	7.384	93.966	27.91
45	9.593	91.757	27.25
50	12.349	89.001	26.43
55	15.758	85.592	25.42
60	19.940	81.410	24.18
65	25.03	76.32	22.66
70	31.19	70.16	20.83
75	38.58	62.77	18.64
80	47.39	53.96	16.02
85	57.83	43.52	12.93
90	70.14	31.21	9.27
95	84.55	16.80	4.99
100	101.35	0.00	0.00

อ้างอิงจาก ตาราง A.1.1 Saturated Steam : Temperature Table ในหนังสือ เทอร์โมไดนามิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. ขนาดของเครื่องและความหนาของผนังเครื่อง

กำหนดให้สามารถระเหยน้ำมะนาวได้ครั้งละ 5,000 CC. หรือ 5 ลิตร

การหาปริมาตรของถัง

กำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(D)ของถัง 10 นิ้ว และความสูง(h)ของถัง เป็น 12 นิ้ว และบริเวณคอคอด มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว สูง 2 นิ้ว

จากปริมาตรภายในถังทรงกระบอก = $\pi D^2 h/4$

จะได้ปริมาตรของถัง = $\pi*(10*0.0254\ m)^2*(12*0.0254\ m)/4$

$+ \pi*(7*0.0254)^2*(2*0.0254)/4$

$= 0.01544 + 0.00126\ m^3$

$= 16.70$ ลิตร

เนื่องจากวัตถุที่ทำการระเหย ได้แก่ น้ำมะนาว ซึ่งมีค่า pH ประมาณ 3-5 (มีค่าความเป็นกรดสูง) ดังนั้นวัสดุโลหะที่ใช้ทำเป็นผนังภาชนะจะต้องเลือกเป็นชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม (Standless stell) อนุกรม 300,มาตรฐาน AISI 304 ซึ่งเป็นชนิดที่ใช้งานในอุตสาหกรรมด้านอาหาร, เครื่องใช้ในครัว,โรงงานนม เป็นต้นเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดนี้มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ,หาได้ง่ายและราคาพอสมควร จากหนังสือคู่มือวิศวกรรมเครื่องกลนั้น พบว่าเหล็กกล้าไร้สนิมมาตรฐาน AISI 304 นั้น

มีค่า Stress value of material = 75 ksi * 6.895 N/mm^2

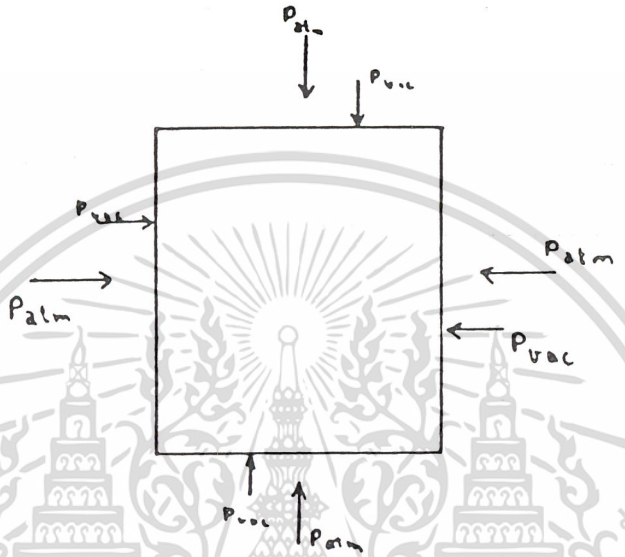
$= 517.125\ N/mm^2$

และพิจารณาความหนาผนังของถังภาชนะความดันทรงกระบอก(t)จาก(ภาชนะทรงกระบอกผนังบาง,คู่มือวิศวกรรมเครื่องกล)

$$t = \frac{PR}{SE + 0.4P} \qquad \text{--------- (3.1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า P คือ ค่าความดันที่ออกแบบ หรือ ค่าความดันอนุญาตสูงสุดขณะทำงาน ในที่นี้หากเทียบโดยความดันที่บรรยากาศแล้ว พบว่า ความดันมีทิศทางเข้าสู่ภาชนะโดยรอบ ดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะความดันที่กระทำต่อภาชนะ

คิดโดยวิธีพิจารณากลับทาง เนื่องจากเป็นถังเป็นภาชนะความดัน ดังนั้น จะได้ค่า P เป็นค่าที่พิจารณาได้ในสูตร คือ

$$P = P_{atm} + P_{vac}$$

$$= 101.35+67.72$$

$$= 169.07 \text{ kPa}$$

$$= 0.16907 \text{ N/mm}^2$$

ค่า E คือ ค่าประสิทธิภาพของรอยต่อเชื่อม จากตารางคู่มือวิศวกรเครื่องกล เมื่อเราพิจารณาแบบการต่อเชื่อมเต็มหน้าด้านเดียวโดยไม่มีการเชื่อมโดยจุด (Single full fillet lap joint without plug welds) มีค่า E = 0.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า R คือ รัศมีด้านนอกของถังภาชนะ ซึ่งกำหนดไว้แล้ว คือ

$$R = 5 \text{ นิ้ว} * 0.0254$$

$$= 127 \text{ mm}$$

ค่า S คือ Stress value of material ของเหล็กกล้าไร้สนิมมาตรฐาน AISI 304 นั่นคือ $S = 517.125 \ N/mm^2$

จากสมการที่ (3.1);

จะได้ว่า
$$t = \frac{(0.16907)*(127)}{(517.125)(0.45)+(0.4)(0.16907)}$$

$$= 0.0922 \text{ mm}$$

กำหนดเลือกค่าความปลอดภัย (safety factor) = 10

พบว่า ค่าความหนาที่พิจารณาที่จะใช้ = $0.0922*10 = 0.9220$ mm

ดังนั้น ควรเลือกใช้ความหนาของผนังภาชนะความดันเป็น 2.0 mm ซึ่งพบว่าโครงสร้างไม่แข็งแรงพอจึงใช้ขนาด 3.0 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.การคำนวณหาขนาดเครื่องทำความร้อน (Heater)

กำลังของ heater โดยใช้สมการ $Q = m_f C_p \Delta T$ ---------- (3.2)

ค่า m_f คือ มวลของน้ำมะนาวที่ใช้ในการระเหย; $m_f = \rho * V$

กำหนดให้ใช้น้ำมะนาวปริมาตร(V) = 5,000 ml

ข้อมูลจาก Lewis,1990 ;ในน้ำมะนาวมีความหนาแน่นเฉลี่ย (ρ) มีค่าเท่ากับ 1.035 g/ml,

ดังนั้น

m_f = 5,000 * 1.035

= 5175 g

= 5.175 kg

ค่า C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมะนาว

ซึ่งเราสามารถ คำนวณ ค่า C_p ได้จากสูตรของ Dickerson,1989; จากหนังสือ Food Process Engineering, 1981

C_p = 1.675 + 0.025 (water content,%)

ข้อมูลจาก สมศักดิ์,2531 ในน้ำมะนาวประกอบด้วยน้ำ 89.3 % ,

= 1.675 + 0.025 (89.3 %)

= 3.9015 kJ/kg C

ค่า ΔT คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของน้ำมะนาวก่อนเข้ากับอุณหภูมิที่ใช้ระเหย

เมื่อ T_1 คือ อุณหภูมิของน้ำมะนาวก่อนเข้าเครื่อง = 26 C

T_2 คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยน้ำมะนาว = 100 C

ดังนั้น

$\Delta T = T_2 - T_1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 100 - 26

= 74 ° c

จากสมการที่ (3.2);

จะได้ว่า

Q = (5.175)*(3.9015)*(74) kJ

= 1494.07 kJ

กำหนดให้น้ำมะนาวที่ทำการระเหยอยู่ภายในเครื่องใช้เวลา t = 80 min

ดังนั้น $\frac{Q}{t} = \frac{1494.07}{80 * 60}$ kJ/s

= 0.311 kW

กำหนดให้ค่าความร้อนสูญเสียมีค่า 50% ดังนั้นค่าฮีทเตอร์ที่ควรจะพิจารณาคือ 0.311/0.5 = 0.622 kW เพื่อทำให้อัตราการให้ความร้อนสูงขึ้นจึงเลือก heater ชนิดขดลวดแบบขด จำนวน 1 ขดขนาด 1.5 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4. การคำนวณหาการสูญเสียความร้อนผ่านฉนวน

เลือกฉนวนแอสเบสทอสที่มีความหนา 0.5 cm

คำนวณหาความร้อนที่สูญเสียผ่านฉนวนแอสเบสทอส

การสูญเสียความร้อนรวมกำหนดโดย

$$q = (\Delta T/\Sigma R_t)$$

ให้การสูญเสียความร้อนผ่านฉนวน = x %ความร้อนก่อนติดฉนวน

จะได้

$$(q_{\text{มีฉนวน}}/q_{\text{ไม่มีฉนวน}}) = (x\%/100) = (R_{t\text{ไม่มีฉนวน}}/R_{t\text{มีฉนวน}})$$

ความต้านทานขณะไม่มีฉนวน

$$R_{stainless} = (\Delta y/k)$$

Δy = ความหนาของผนังสแตนเลส = 3 mm

$k_{stainless}$ มีค่า 15.46 W/m C

$$R_{stainless} = 0.003/15.46$$

$$= 1.94*10^{-4} \quad m^2C/W$$

ดังนั้น $(R_{\text{ไม่มีฉนวน}}/R_{\text{มีฉนวน}}) = (x\%/100)$

$$R_{\text{มีฉนวน}} = (R_{\text{ไม่มีฉนวน}}*100/x\%)$$

$$= (1.94*10^{-4} * 100/x\%)$$

$$= (1.94*10^{-2}/x\%)$$

$$R_{\text{มีฉนวน}} = R_{stainless} + R_{\text{ฉนวน}}$$

$$(1.94*10^{-2}/x\%) = (1.94*10^{-4}) + R_{\text{ฉนวน}}$$

$$R_{\text{ฉนวน}} = (1.94*10^{-2}/x\%) - 1.94*10^{-4}$$

โดยที่ $R_{\text{ฉนวน}} = \Delta y/k$

Δy = ความหนาของฉนวน = 0.5 cm

$k_{\text{ฉนวน}}$ = 0.046 W/m^2K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{\text{ฉนวน}} = 0.005/0.046 = 0.1086 \ \text{m}^2\text{C/W}$$

จะได้ $0.1086 = (1.94*10^{-2}/x\%)-1.94*10^{-4}$

$$x\% = 1.94*10^{-2}/(0.1086 + 1.94*10^{-4})$$

$$= 0.178\ \%$$

จากการคำนวณเมื่อใช้ฉนวนแอสเบสทอสที่มีความหนา 0.5 cm เป็นฉนวนหุ้มถังเพราะว่ามีความร้อนสูญเสียผ่านฉนวนน้อยเพียงแค่ 0.178 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.การเลือกขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับปั๊มสุญญากาศ

จากสูตรการหาค่ากำลังขับมอเตอร์

จาก

$$\text{Power} = \frac{Q * P}{\mu_M * \mu_P} \quad \text{----------(3.3)}$$

Q=ปริมาณการส่งจ่ายอากาศของปั๊ม(m^3/s)

P=ค่าความดันสุญญากาศที่ใช้งาน(kN/m^2)

μ_M=ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า มีค่าโดยกำหนด 70%

μ_P=ประสิทธิภาพของปั๊ม มีค่า 60% สำหรับปั๊มเก่า

จากการทดลอง; หาค่า Q ได้โดยวัดอัตราเร็วของลมที่ทางออกของ Vacuum Pump ได้ค่า

= 4.5 m/s โดยใช้ท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 นิ้ว

จะได้ Q = พื้นที่หน้าตัด(m^2)*ความเร็วลม(m/s)

$= \pi * (1*0.0254)^2/4 * 4.5$

$= 2.28*10^{-3}\ m^3/s$

จากที่ผ่านมา; P = 67.72 $kPa(kN/m^2)$

$$\text{Power} = \frac{2.28*10^{-3} * 67.72}{0.70*0.60} \text{ kWatt}$$

= 0.3676 kWatt

= 0.3676/0.746 Hp

= 0.4927 Hp

ดังนั้นจึงใช้มอเตอร์ขนาด 0.5 Hp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การออกแบบ

เกณฑ์ในการออกแบบ

1.ถังภาชนะที่ใช้ทำการระเหยผลิตภัณฑ์ต้องทนแรงดันสุญญากาศได้

2.ถังภาชนะที่ใช้ทำการระเหยผลิตภัณฑ์ต้องทนทานต่อการกัดกร่อนของผลิตภัณฑ์ได้

3.ผลิตผลที่ระเหยได้จะมีลักษณะข้นดังนั้นทางด้านออกจึงมีขนาดใหญ่

4.ปริมาตรของการระเหยผลิตภัณฑ์จะทำระเหยได้ตั้งแต่ 2-5 ลิตร

5.ใช้วัสดุที่หาง่าย และราคาประหยัด

ส่วนประกอบ

ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ถังระเหยสุญญากาศ ทำด้วยโลหะสแตนเลสหนา 3 มิลลิเมตร(ดังรูปที่ 3.2และ 3.3)ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว, สูง 13 นิ้วมีฉนวนแอสเบสทอส (Asbestos) หนา 0.5 เซนติเมตร หุ้มห่อรอบถังและมีเหล็กแผ่นสแตนเลสหนา 0.5 มิลลิเมตรหุ้มทับไว้อีกชั้นหนึ่ง มีวาวล์ชนิดบอลล์วาวล์จำนวน 4 ตัว เป็นวาวล์ที่สามารถทนแรงดันสุญญากาศและอุณหภูมิสูงได้ขนาด 2 หุนจำนวน 2 ตัว ขนาด 4 หุนจำนวน 1 ตัว ขนาด 6 หุนจำนวน 1 ตัว มีเกจวัดความดันสุญญากาศที่สามารถอ่านค่าได้ระหว่าง 0 ถึง 30 นิ้วปรอท

ส่วนที่ 2 คือปั๊มสุญญากาศ ดัดแปลงจาก คอมเพรสเซอร์แอร์ติดรถยนต์ชนิดลูกสูบ ประกอบกับมอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า ซึ่งสามารถทำแรงดันสุญญากาศได้สูงสุด 20 นิ้วปรอท ทำหน้าที่ดูดเอาอากาศและไอน้ำอิ่มตัวที่ระเหยออกจากถังระเหยสุญญากาศ

ส่วนที่ 3 ระบบให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ ใช้ฮีทเตอร์ (heater)ชนิดขดลวดความร้อนขนาด 1500 วัตต์ต่อเข้ากับกระแสไฟเอซี 220 โวลท์ทางด้านล่างรองด้วยฉนวนแอสเบสทอสหนา 0.5 เซนติเมตรและมีฉนวนใยแก้วหนา 2.5 เซนติเมตรปิดอยู่ด้านล่างเข้าชุดหุ้มห่อด้วยเหล็กสแตนเลสหนา 0.5 มิลลิเมตร เชื่อมติดกับบริเวณก้นถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 4 ชุดอุปกรณ์ควบคุม(Control Box)ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิและตั้งเวลาปิดเครื่องอัตโนมัติซึ่งประกอบไปด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิให้คงที่โดยอัตโนมัติ (Thermostat), ชุดตั้งเวลาให้หยุดการทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ (Timer), สวิทช์และหลอดไฟแสดงการทำงานของปั๊มสุญญากาศและฮีทเตอร์ ภายในตู้อุปกรณ์ควบคุมนี้มีแมกเนติกคอนแทกเตอร์สำหรับควบคุมวงจรให้เป็นไปตามกำหนดและยังมีชุดเบรกเกอร์ขนาด 15 แอมป์สำหรับตัดกระแสไฟฟ้าที่จะเข้ามาเกินโดยการต่อวงจรจะต่อจากทั้งฮีทเตอร์และปั๊มสุญญากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.4

ขั้นตอนการทำงาน

1.เสียบปลั๊กชุดอุปกรณ์เครื่องทำระเหยแบบสุญญากาศโดยใช้ไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 15 แอมป์ ไฟเอซี 220 โวลท์

2.ปิดวาวล์ทางออกของผลิตผล

3.ใส่ผลิตภัณฑ์ที่จะทำการระเหยลงในถังระเหยปิดด้วยซีลยางกันอากาศเข้าปิดฝาพร้อมกับขันน็อตทั้ง 6 ตัวให้แน่น

4.ตั้งอุณหภูมิที่จะทำการระเหยที่ เทอร์โมสแตต

5.ตั้งเวลาที่จะหยุดการทำงานที่ ไทม์เมอร์

6.สับสวิทช์ของเบรกเกอร์ที่ ON แล้วกดปุ่ม สตาร์ท สังเกตไฟที่ปรากฏคือไฟที่ปั๊มสุญญากาศทำงาน และไฟที่ฮีทเตอร์ทำงาน

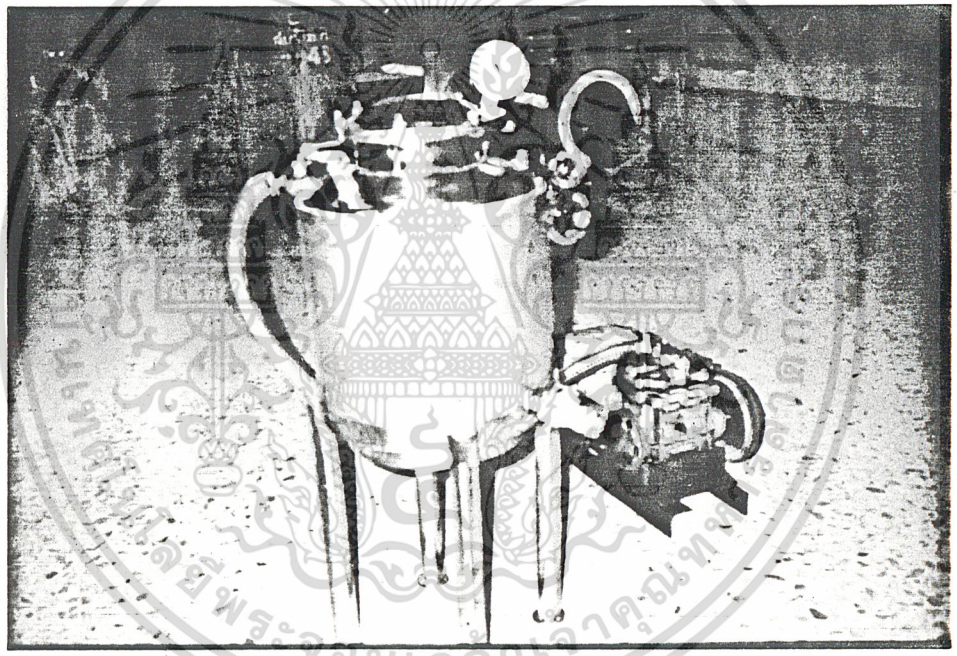
7.เปิดวาวล์ที่ปั๊มสุญญากาศ

8.ปิดวาวล์ที่ปล่อยอากาศเข้า(Release Valve)

9.เปิดวาวล์ที่ใช้อ่านค่าความดันสุญญากาศ สังเกตค่าสุญญากาศว่าเพิ่มขึ้นหรือไม่

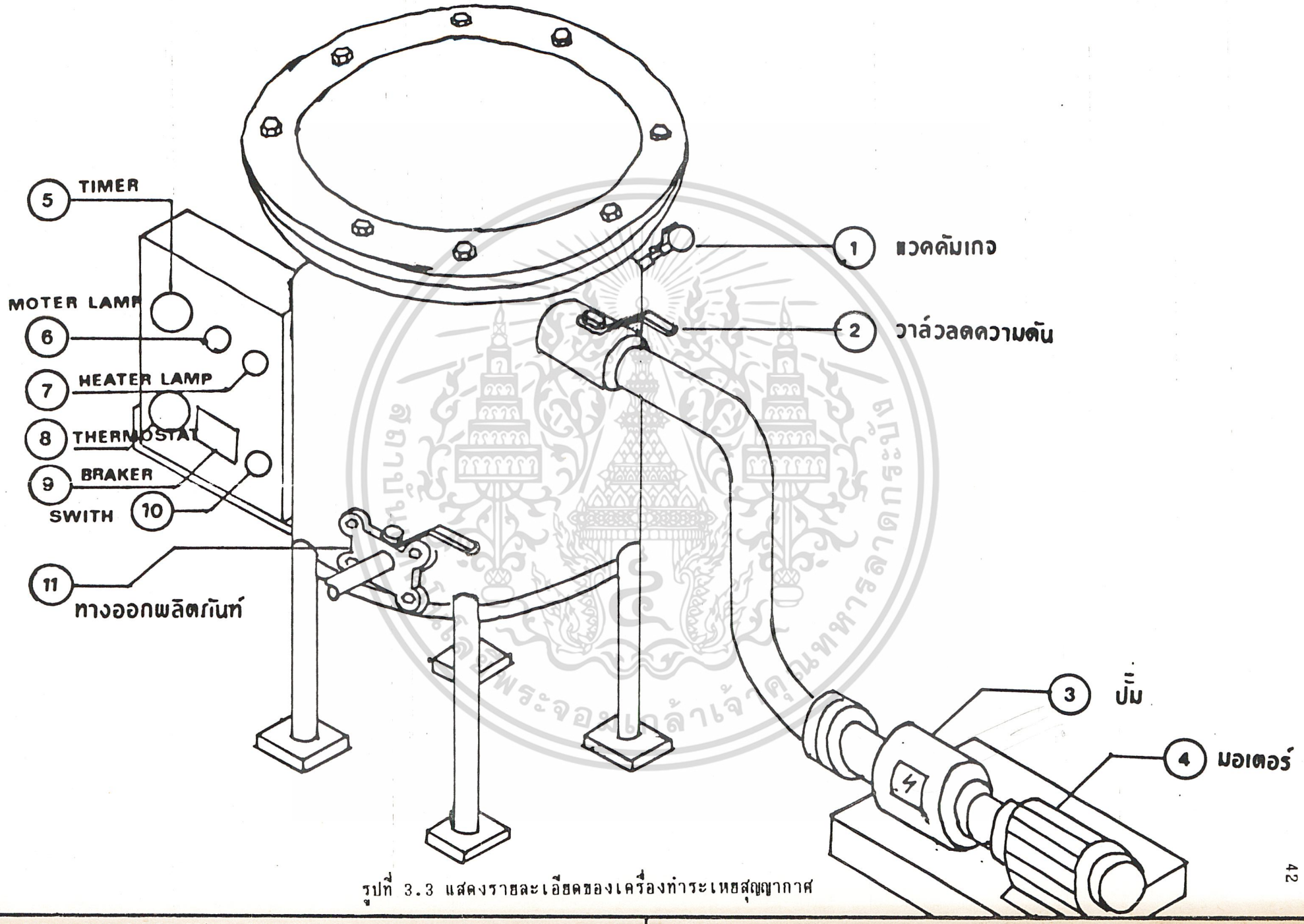
10.หยุดการทำงานโดยสับสวิทช์ของเบรกเกอร์ที่ OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

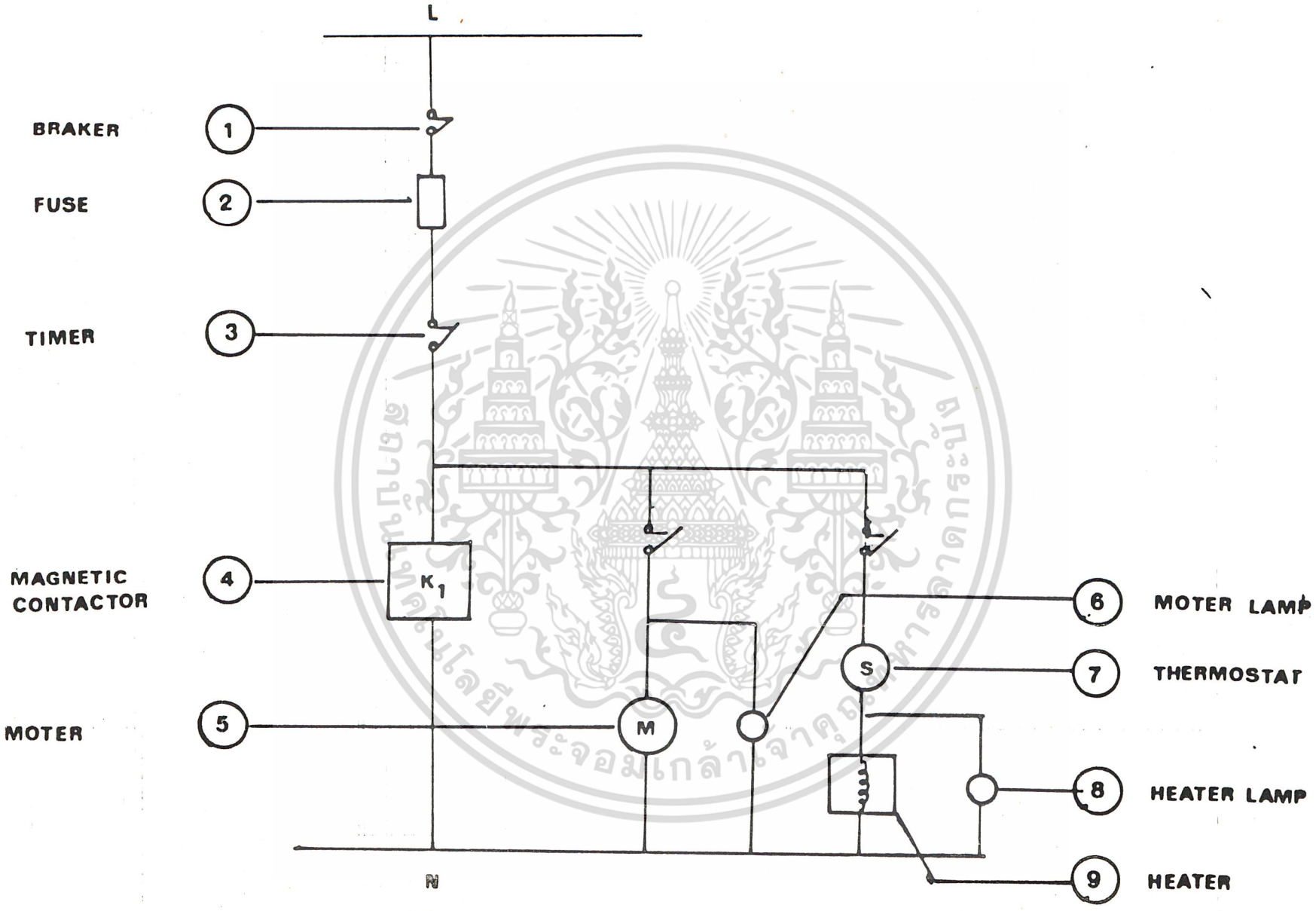


รูปที่ 3.2 แสดงถังระเหยแบบสุญญากาศที่สร้างขึ้นและปั๊มสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของเครื่องทำระเหยสุญญากาศ



รูปที่ 3.4 วงจรภายในกล่องควบคุม

บทที่ 4

การทดลองและการทดสอบเครื่อง

4.1.การหาค่าความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลาที่อุณหภูมิ 70,75,80, และ 85 องศาเซลเซียส

วิธีทดลอง

ก)กำหนดปัจจัยควบคุมการทดลองโดยทดลองปรับค่าของเทอร์โมสแตทให้เท่ากับอุณหภูมิ 70,75,80 และ 85 องศาเซลเซียสตามลำดับ

ข)ใช้สารทดลองคือน้ำส้มหรือน้ำมะนาวเข้มข้นที่วางจำหน่ายตามท้องตลาดปรับค่าความเข้มข้นให้ได้ 7 องศาบริกซ์(เท่ากับน้ำมะนาวคั้นสด) ปริมาตร 2 ลิตรใส่ไว้ในถังระเหยสุญญากาศที่ปรับค่าอุณหภูมิเริ่มต้นตั้งแต่ 70 องศาเซลเซียส ปิดฝาและขันน็อตแน่น

ค)จับเวลาทุกๆ 5 นาทีบันทึกค่าความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ในหน่วยองศาบริกซ์โดยใช้ รีแฟรคโตมิเตอร์ บันทึกอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ และบันทึกค่าของความดันสุญญากาศที่ได้ภายในถังระเหยสุญญากาศ ดังในตาราง 4.1,4.2,4.3, และ 4.4 ตามลำดับ

ง)ทำการทดลองจนครบ 100 นาที หรือได้ค่าความเข้มข้นสุดท้ายที่มากกว่า 50 องศาบริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.1 อุณหภูมิควบคุมที่ 70 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ค่าสุญญากาศ (นิ้วปรอท)	ค่าความเข้มข้น (องศาบริกซ์)	อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (องศาเซลเซียส)
0	0	7	34
5	20	7	52
10	20	7	60
15	20	7	69
20	20	7	68
25	20	7.5	69
30	20	7.5	68
35	20	7.5	69
40	20	7.5	68
45	19.5	8	70
50	19	8	68
55	19	8	69
60	19	8	69
65	18	8	69
70	18	8.5	69
75	18	8.5	70
80	18	9	68
85	18	9	69
90	18	9	68
95	18	9.5	70
100	18	9.5	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.2 อุณหภูมิควบคุมที่ 75 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ค่าสุญญากาศ (นิ้วปรอท)	ค่าความเข้มข้น (องศาบริกซ์)	อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (องศาเซลเซียส)
0	0	7	34
5	20	8	56
10	20	9.5	68
15	20	10	69
20	19	11	74
25	19	11	75
30	19	12	75
35	19	12	75
40	19	13	75
45	18	14	75
50	18	14	75
55	17	15	74
60	18	16	-
65	18	17	-
70	17	19	-
75	18	21.5	-
80	18	25	-
85	18.5	31.5	-
90	18	44	-
95	18	54	-

หมายเหตุ เครื่องหมาย "-" หมายถึงไม่สามารถอ่านค่าได้เนื่องจากเหลือผลิตผลอยู่น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.3 อุณหภูมิควบคุมที่ 80 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ค่าสุญญากาศ (นิ้วปรอท)	ค่าความเข้มข้น (องศาบริกซ์)	อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (องศาเซลเซียส)
0	0	7	34
5	20	7	56
10	18	7.5	73
15	18	8	80
20	17	8	80
25	17	8	80
30	17	9	81
35	17	9	82
40	16	10	80
45	16	10	80
50	16	11	79
55	16	13	78
60	16	15	-
65	16	18	-
70	16	22	-
75	15	26	-
80	15	35	-
85	15	48	-
90	15	58	-

หมายเหตุ เครื่องหมาย "-" หมายถึงไม่สามารถอ่านค่าได้เนื่องจากเหลือผลิตผลอยู่น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.4 อุณหภูมิควบคุมที่ 85 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	ค่าสุญญากาศ (นิ้วปรอท)	ค่าความเข้มข้น (องศาบริกซ์)	อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (องศาเซลเซียส)
0	0	7	34
5	17	7	55
10	16	7.5	70
15	16	8	84
20	16	8.5	84
25	15	9.5	83
30	14	10	86
35	12	11	85
40	12	12	85
45	13	14.5	85
50	12	16	86
55	13	17	84
60	13.5	19	-
65	13	21	-
70	13	25	-
75	13	29	-
80	13	34	-
85	13	43	-
90	13	53	-

หมายเหตุ เครื่องหมาย "-" หมายถึงไม่สามารถอ่านค่าได้เนื่องจากเหลือผลิตผลอยู่น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลการทดลองค่าความเข้มข้นที่อุณหภูมิ 70,75,80,85 องศาเซลเซียส กับเวลา

เวลา(นาที)	ค่าความเข้มข้น(องศาบริกซ์)ที่อุณหภูมิ			
	70 C	75 C	80 C	85 C
0	7	7	7	7
5	7	8	7	7
10	7	9.5	7.5	7.5
15	7	10	8	8
20	7	11	8	8.5
25	7.5	11	8	9.5
30	7.5	12	9	10
35	7.5	12	9	11
40	7.5	13	10	12
45	8	14	10	14.5
50	8	14	11	16
55	8	15	13	17
60	8	16	15	19
65	8	17	18	21
70	8.5	19	22	25
75	8.5	21.5	26	29
80	9	25	35	34
85	9	31.5	48	43
90	9	44	58	53
95	9.5	54	-	-
100	9.5	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

จากการทดลองอุณหภูมิที่น้ำสามารถเดือดกลายเป็นไอได้ดังแสดงในตารางที่ 3.1 สามารถทำการทดลองและได้ข้อสรุปที่เป็นจริงดังที่ได้แสดงผลการทดลองในตารางที่ 4.1,4.2,4.3 และ 4.4 คือพิจารณาได้จากค่าความดันสุญญากาศที่เปลี่ยนแปลงไปกับอุณหภูมิ ซึ่งสังเกตได้ว่าค่าความดันสุญญากาศจะลดลงตามสัดส่วนของอุณหภูมิที่ตั้งที่เทอร์โมสแตทที่เพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 4.5 อ้างจากตารางที่ 3.1 อุณหภูมิที่จะทำการระเหยได้ดีคือ อุณหภูมิมากกว่า 71.9 องศาเซลเซียส(การทดลองใช้อุณหภูมิ 75 ถึง 85 องศาเซลเซียส) จนกระทั่งได้ค่าความเข้มข้นมากกว่าหรือเท่ากับ 50 องศาบริกซ์ และ สำหรับที่อุณหภูมิ 75 ถึง 85 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าจากการใช้อุณหภูมิสูงในการระเหย ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น เนื่องจากเวลาที่ทำการระเหยจนได้ผลิตผลน้ำมะนาวเข้มข้นนั้นใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วงระหว่าง 90 และ 95 นาที และการที่ค่าความเข้มข้นที่บันทึกได้ที่เวลาใดๆไม่เท่ากัน นั้นอาจเป็นเพราะที่ทางออกของผลิตผล มีผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเก่าตกค้างอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปการสร้างเครื่องและการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองสำหรับปั๊มสุญญากาศที่ 20 นิ้วปรอทพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะแก่การระเหยคืออุณหภูมิที่มากกว่า 71.9 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถทำการระเหยผลิตภัณฑ์ที่ปริมาตร 2 ลิตรได้ภายใน 90 นาที

2. จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิตามแบบของเครื่องนี้คือ 75 ถึง 85 องศาเซลเซียสในเวลา 90 นาทีจนกระทั่งได้ค่าความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 50 องศาบริกซ์ ไม่เหมาะสมสำหรับการระเหยของน้ำมะนาวคั้นสดเพราะผลิตผลที่ได้มีสีน้ำตาลดำ และเมื่อทำการละลายน้ำกลับจนได้ความเข้มข้นเท่ากับ 7 องศาบริกซ์พบว่าสีของผลิตภัณฑ์ เป็นสีน้ำตาลแดงใสรสเปรี้ยว แสดงว่าที่สภาวะของอุณหภูมิและเวลาดังกล่าวเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning Reaction)

วิจารณ์การทดลอง

1. ควรใช้เลือกใช้ปั๊มสุญญากาศที่สามารถทำแรงดันสุญญากาศได้มากกว่า 28.84 นิ้วปรอท(อ้างจาก ตาราง 3.1 และจากการทดลองในภาคผนวก ก.)

2. เกิดข้อผิดพลาดจากปั๊มสุญญากาศคือจากการทำงานไปนานๆค่าสุญญากาศที่อ่านได้จะยิ่งลดลง และการตั้งค่าอุณหภูมิของเทอร์โมสแตท

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการประดิษฐ์เครื่องระเหยสุญญากาศสรุปได้ ดังนี้

1. อุณหภูมิ ที่สูงที่สุดที่ผลิตภัณฑ์อาหารเหลวสามารถระเหยได้โดยไม่สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการภายในเวลาที่น้อยที่สุด

2. ความหนืดของอาหารเหลว ซึ่งจะเพิ่มขึ้นเมื่อการระเหยมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ไหม้ติดผนังของภาชนะระเหยได้แก้ไขได้โดยการติดใบกวนหรือออกแบบให้ถังหมุนภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การป้องกันการกัดกร่อนของอาหารเหลว ถังที่ใช้ควรเป็นแสตนเลส

4.ความหนาของภาชนะความดันที่สามารถทนต่อความดันต่ำสุดที่ปั๊มสุญญากาศสามารถทำได้ โดยไม่เสียรูปทรง

ข้อเสนอแนะ

1.การศึกษาในขั้นต่อไปควรติดตั้ง ระบบคอนเดนเซอร์ สำหรับแยกเอาน้ำที่ได้จากการระเหยของผลิตภัณฑ์ออกเพื่อไม่ให้น้ำเข้าไปในปั๊มสุญญากาศ จะทำให้ปั๊มสุญญากาศเสียหายได้และเพื่อจะได้ Condensate Liquid สำหรับการนำไปใช้งานต่อไป

2.การนำระบบเครื่องทำระเหยสุญญากาศขนาดทดลองนี้ ไปใช้ในงานอุตสาหกรรมอาหารจะต้องติดตั้งใบกวนด้วยเพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์ไหม้และติดถังภาชนะสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมะนาว

ในการทดสอบ คุณสมบัติของน้ำมะนาว โดยใช้ เครื่องทำระเหย โรตาเวเปอร์ (ROTAVAPOR)ซึ่งใช้น้ำมะนาวคั้นสดและน้ำมะนาวที่ได้ผ่านเครื่องทำระเหย โรตาเวเปอร์ จนกระทั่งค่าความเข้มข้นเป็น 50 องศาบริกซ์ จากนั้นผสมด้วยน้ำจนกระทั่งได้ค่าความเข้มข้นเท่ากับน้ำมะนาวคั้นสดคือ 7 องศาบริกซ์ นำสารตัวอย่างทั้งสองมาทำการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี แล้วพบว่าที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และผ่าน เครื่องทำระเหย โรตาเวเปอร์ เป็นเวลา 30 นาที พบว่าสารที่ได้ มีความข้นหนืดสูง สีเหลืองปนเขียว เมื่อผสมกับน้ำแล้วปริมาณวิตามินซีลดลงร้อยละ 0.825

การหาปริมาณวิตามินซี (pearson, 1970)

1.สารเคมีที่ใช้

1.1 Metaphosphoric acid solution เตรียม 20 เปอร์เซ็นต์ ของ metaphosphoric acidในน้ำกลั่น

1.2 Stock ascorbic acid solution ชั่ง ascorbic acid 0.0400 กรัมใน volumetric flaskขนาด 100 มิลลิลิตร เติม metaphosphoric acid จนปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

1.3 Standard ascorbic acid solution ปิเปตสารละลายจากข้อ1.2 มา 10 มิลลิลิตร ใส่ใน volumetric ftlask ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

1.4 Indophenol dye solution ชั่ง 2,6-dichlorophenol indophenol 0.02 กรัม เติมน้ำกลั่น ให้ปริมาตรครบ 1 ลิตร กรองสารละลายนี้ด้วยกระดาษกรอง whatmanเบอร์ 4 นำมาเก็บในที่เย็น

2. การเทียบมาตรฐานปิเปต Standard ascorbic solution มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในฟลาสก์ขนาด 100 มิลลิลิตร นำไปไตรเตรทกับ indophenol dye

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

solution จนถึง end point ซึ่งจะให้สี faint pink เป็นเวลา 15 วินาที บันทึกปริมาตรที่ใช้แล้วคำนวณค่าหา dye factor ตามสูตรดังนี้

$$\text{dye factor} = \frac{0.4}{\text{มิลลิลิตรของ dye ที่ใช้}}$$

3.การหาปริมาณวิตามินซีจากตัวอย่าง

3.1 ใช้ตัวอย่างน้ำมะนาว 1 มิลลิลิตรใส่ในฟลาสก์ ขนาด 100 มิลลิลิตร เติม metaphosphoric acid solution 10 มิลลิลิตรและ acetone 1 มิลลิลิตรลงไปแล้วนำไปไตรเตรทกับ indophenol dye solution จนถึง end point เหมือนข้อ 2 บันทึกปริมาตรที่ใช้นำค่าที่ได้ไปคำนวนหาวิตามินซีตามสูตรดังนี้

ปริมาณ วิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรน้ำมะนาว)

$$= \frac{\text{มิลลิลิตรของ dye ที่ใช้} * \text{dye factor} * 100}{\text{มิลลิลิตรของตัวอย่างน้ำมะนาว}}$$

3.2 ทำการเจือจางน้ำมะนาวเข้มข้นด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งได้ความเข้มข้น 7 % โดยใช้ Pearson's Square เพราะในน้ำมะนาวคั้นสดมีความเข้มข้น 7 % เช่นน้ำมะนาวเข้มข้น 50% ต้องเติมน้ำกลั่นอีกเท่าใด?ในการเตรียมสารปริมาตร 50 มิลลิลิตร

50 7

\ /

7

/ \ ใช้น้ำกลั่น 43 ml.

0 43 น้ำมะนาวเข้มข้น 7 ml.

ซึ่งสามารถใช้สัดส่วนนี้ในการเตรียมสารเท่าใดก็ได้โดยการเทียบบัญญัติไตรยางค์

3.3 ทำการวิเคราะห์น้ำมะนาวที่ได้จากข้อ 3.2 ด้วย ข้อ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

การระเหยโดยเครื่องทำระเหยโรตาเวเปอร์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้น้ำมะนาวเข้มข้น 43 องศาบริกซ์

การวิเคราะห์ค่า dye factor

ใช้ dye solution 9.9 ml ดังนั้นค่า dye factor = $\frac{0.4}{9.9}$

= 0.0404

ตาราง ก.1 ผลการทดลอง

สารตัวอย่าง	dye solution ที่ใช้ (ml)	ปริมาณวิตามินซี (mg ต่อ 100 ml)
น้ำมะนาวคั้นสด	6.6	26.64
น้ำมะนาวเข้มข้น 43% ผสมกับน้ำ	6.5	26.42

สรุปผลการทดลอง

1. น้ำมะนาวคั้นสดมีปริมาณวิตามินซี $\frac{6.6 * 0.0404 * 100}{1}$

= 26.64 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

2. น้ำมะนาวเข้มข้น 43% ที่ได้จากเครื่องโรตาเวเปอร์ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จะมีปริมาณวิตามินซีลดลง (26.64-26.42)*100/26.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 0.825 %

3. เมื่อพิจารณาถึงค่าความร้อนที่ไม่ทำลายปริมาณวิตามินซีในน้ำมะนาวจากการทดลอง สรุปได้ดังตาราง ก.2(จาก จารุณี,2528)

ตาราง ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ไม่ทำให้สูญเสียวิตามินซีในน้ำมะนาว

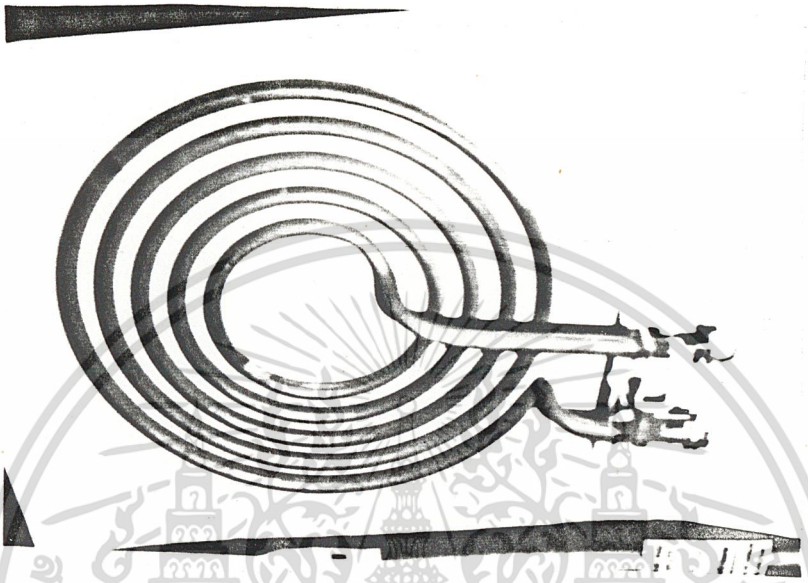
อุณหภูมิ (C)	เวลานานที่สุดที่ไม่สูญเสียวิตามินซี (นาที)
90	0.5
80	1.0
70	5
60	20
50	30
40	40
30	80

4. จากข้อสรุปดังตาราง ก.2 จะเลือกค่าอุณหภูมิสำหรับการสร้างเครื่องทำระเหยแบบสุญญากาศคือ 30 องศาเซลเซียส เพราะที่อุณหภูมินี้มีเวลาการไม่สูญเสียวิตามินซีนานที่สุดแต่ควรคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการเลือกระบบปั๊มสุญญากาศด้วย

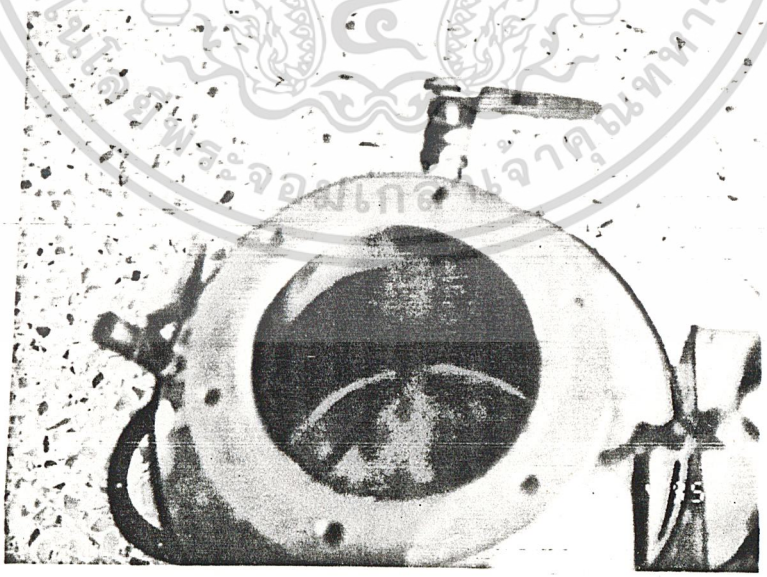
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

รูปภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องทำระเหยสุญญากาศขนาดทดลอง



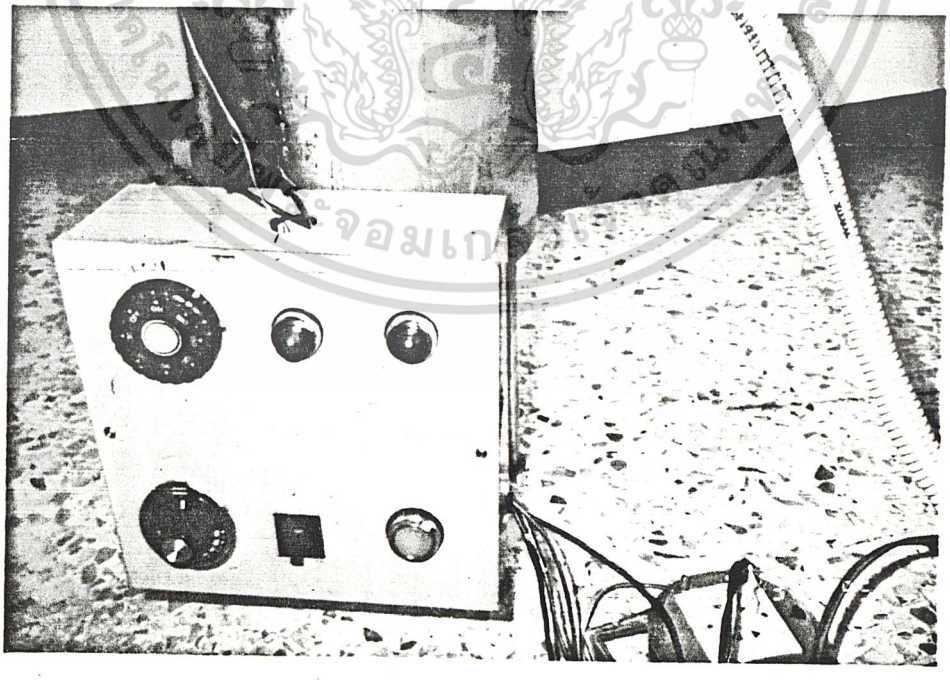
รูปที่ ข.1 แสดงขดลวดทำความร้อน



รูปที่ ข.2 แสดงส่วนประกอบภายในของถังระเหย

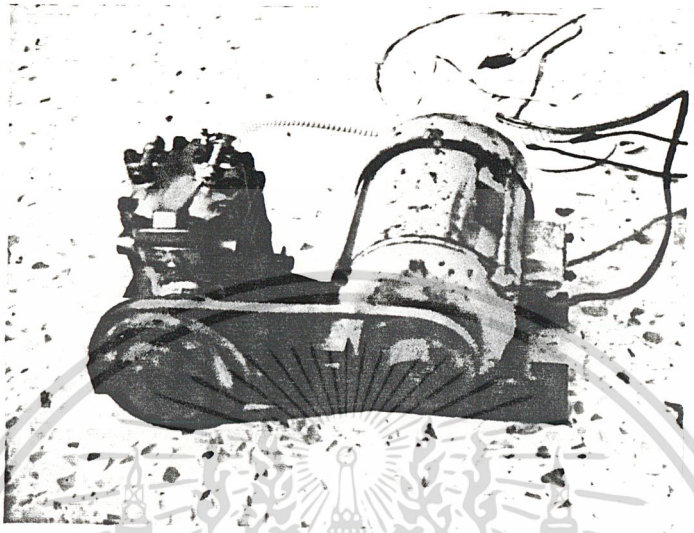
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.3 แสดงมาตรวัดความดันสุญญากาศ



รูปที่ ข.4 แสดงกล่องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 แสดงปั๊มสุญญากาศ

ข.6 แสดงเครื่องทำระเหยแบบสุญญากาศขนาดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอขอบคุณ อาจารย์ทรงวุฒิ แสงจันทร์ อาจารย์วิภา เจียระไนวชิระ อาจารย์ที่ปรึกษา ขอขอบคุณ อาจารย์พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ , อาจารย์สาทิป รัตนภาสกร อาจารย์ผู้ดูแลนักศึกษา ขอขอบคุณกำลังใจจากเพื่อนๆทุกคน ทำให้การศึกษาดังกล่าวสำเร็จเรียบร้อยด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. เกษม ปราบริปูต่ลุง, การทำงานเป็นหน่วยในกระบวนการผลิตอาหาร , มหาวิทยาลัยขอนแก่น

2. จารุณี พาแก้ว ,2528,การเน่าเสียของน้ำมะนาวโดยจุลินทรีย์และการถนอมน้ำมะนาว,วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต(จุลชีววิทยา)

3. ชัยวิทย์ ศิลาวัชนาไนย, 2526,ฟิสิกส์และเทคโนโลยีของระบบสุญญากาศ,สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น)

4. พงษ์เจต พรหมวงศ์, 2534, การถ่ายเทความร้อน,องค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น

5. รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต,2535,วิศวกรรมการแปรรูปอาหาร : การถนอมอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล.,สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

6. สมศักดิ์ วรรณศิริ,2531,มะนาว,กลุ่มเกษตรสัญจร

7. Cole,G.M. 1955. Concentrates for lemonade. Food Technol. 9: 38-45.

8. G.J.Van Wylen,R.E.Sonntag,1985, Fundamentals of classical Thermodynamics, Third Edition,John Wiley & Sons,Inc

9. Heldman,D.R. and R.P.Singh,1981, Food Process Engineering, AVI Publishing co.,Westport,Connecticut

10. H.A. STOESS, JR., 1970, Pneumatic Conveying,John Wiley & Sons,Inc. 58-59.

11. M.A.Joslyn,J.L.Heid,1964, Food Processing Operations, Volume 3,AVI Publishing co.,Westport,Connecticut

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้