หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการทดลอง เพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสม (ดูหัวข้อ 3.2.1)

ความเข้มข้นของสารละลาย (% น้ำหนัก)	30	40	50
อุณหภูมิ °ฟของเครื่องผลิต	104-122	140-158	176-194
" " เครื่องควบแน่น	86-90	86-90	86-90
" " เครื่องระเหย	59	46	41
" " เครื่องดูดกลืน	86-90	86-90	86-90

หมายเหตุ อุณหภูมิของเครื่องควบแน่นและเครื่องดูดกลืนมีค่าคงที่ทุกความเข้มข้น เพราะอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นซึ่งเป็นน้ำที่อุณหภูมิห้อง (83° - 86° ฟ) มีค่าคงที่

จากผลการทดลองจะเห็นว่าถ้าความเข้มข้นของสารละลายน้อย จุดเดือดในเครื่องผลิตจะต่ำกว่า แต่อุณหภูมิที่ได้จากการทำความเย็นในเครื่องระเหยจะสูงกว่าค่าที่ได้เมื่อใช้สารละลายที่เข้มข้นกว่า แต่ถ้าใช้สารละลายที่เข้มข้นมาก แม้จะให้ผลดีก็ต้องคำนึงถึงโอกาสที่จะมีการตกผลึกในเครื่องดูดกลืนด้วย และเมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในแง่ที่ว่า แผ่นรับแสงแบบราบโดยทั่วไปสามารถผลิตน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 158° - 167° ฟ ได้ จึงเลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลาย 40% เป็นค่าที่เหมาะสม

4.2 ผลการทดลองการหาอัตราการถ่ายเทมวลสารของการดูดกลืน (ดูหัวข้อ 3.2.2)

จากข้อมูลการทดลอง เมื่อคำนวณหาอัตราการดูดกลืนจะพบว่าในช่วงเวลาแรก ๆ อัตราการดูดกลืนจะสูง และค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งสรุปสาเหตุไว้ 2 ประการ

1) พื้นที่ในการถ่ายความร้อนในเครื่องระเหยซึ่งเป็นหลอดทดสอบ มีค่าลดลงเนื่องจากการระเหยของน้ำ ทำให้การถ่ายเทมวลสารลดลง
2) ปริมาณไอน้ำที่ถูกดูดกลืนไปสะสมอยู่บริเวณผิวหน้าของสารละลายลิเทียมคลอไรด์ ทำให้ความเข้มข้นที่ผิวหน้าลดลง การดูดกลืนจึงลดลง

สาเหตุแรกเกิดจากการระเหย ส่วนสาเหตุหลังเกิดจากการดูดกลืน ซึ่งทั้ง 2 ขบวนการจะเกิดขึ้นพร้อมกัน ดังนั้นอัตราการถ่ายเทมวลสารจากเครื่องระเหยไปยังเครื่องดูดกลืน จะถูกควบคุมด้วยขบวนการที่เกิดขึ้นได้ช้าที่สุด จากข้อมูลการทดลองที่ 2.2.1-2.2.4 จะเห็นว่าความดันของระบบเพิ่มขึ้น แสดงว่าอัตราการระเหยมีค่ามากกว่าอัตราการดูดกลืน ณ ภาวะที่ทำการทดลองนั้น จนถึงสภาวะที่ความดันในระบบคงที่ และอุณหภูมิในเครื่องระเหยมิได้ลดต่ำลงไปอีก สภาวะเช่นนี้แสดงว่าอัตราการระเหยเท่ากับอัตราการดูดกลืน ดังนั้นค่าอัตราการระเหยที่วัดได้จึงเป็นค่าของอัตราการดูดกลืน ซึ่งสรุปได้ดังนี้

อัตราการดูดกลืนเฉลี่ย = 0.082 ปอนด์/ตร.ฟุต ชม.

ค่านี้วัดที่ความดันประมาณ 19 - 23 ทอร์ และอุณหภูมิของเครื่องดูดกลืนมีค่า 83° - 86° ฟ พื้นที่ดูดกลืน 0.1076 ตร.ฟุต

ถ้าเปลี่ยนสภาวะของระบบใหม่ โดยกวนสารละลายลิเทียมคลอไรด์ในเครื่องดูดกลืนตลอดเวลา จะพบว่าความดันของระบบเกือบคงที่ และมีแนวโน้มว่าจะลดลง ดังข้อมูลการทดลองที่ 2.2.5 และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิในเครื่องระเหย จะพบว่ามีค่าลดลงเรื่อย ๆ แสดงว่าในสภาวะนี้อัตราการดูดกลืนมีค่ามากกว่าอัตราการระเหย ซึ่งเป็นการยืนยันผลสรุปสาเหตุ

ประการที่ 2 ที่กล่าวไว้ในตอนต้น และอัตราการดูดกลืนก็จะมีค่ามากกว่าอัตราการดูดกลืน เมื่อไม่มีการกวนใน เครื่องดูดกลืน

4.3 ผลการศึกษาการทำงานของ เครื่อง เย็นแบบกึ่งต่อ เนื่อง (ดูส่วนที่ 3.2.3)

การทำความ เย็นจะ เริ่ม เกิดที่วาวลดความดัน ซึ่ง เป็นจุดแรกที่มีความดันต่ำ สำหรับอุณหภูมิและความดันของส่วนต่าง ๆ วัดได้ดังนี้

	อุณหภูมิ °ฟ	ความดัน ทอร์
เครื่องผลิต	140-158	35-50
เครื่องควบแน่น	86-92	
เครื่องระ เหย	50-57	10
เครื่องดูดกลืน	86-92	

หมาย เหตุ ใน เครื่องดูดกลืนมีการกวนตลอด เวลา

4.4 ผลการทดสอบการปฏิบัติงานของ เครื่อง เย็นแบบต่อ เนื่อง (ดูส่วนที่ 3.3.4)

ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 1

สรุปและวิจารณ์ผล

4.4.1) ในช่วงอุณหภูมิของ เครื่องระ เหย เดียวกัน (68° - 71.6° ฟ และ 59° - 62.6° ฟ) ค่าสัมประสิทธิ์ของการทำงานของ เครื่องมือ เมื่อทดลอง แบบไม่ต่อ เนื่องมีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการทำงานที่ได้จากการทดลองแบบต่อ เนื่อง ทั้งนี้ เป็น เพราะระยะ เวลาที่ใช้ในการระ เหยตัวทำความ เย็น (น้ำ) นานกว่าระยะ เวลาที่ใช้ในการผลิตตัวทำความ เย็นจำนวน เดียวกัน ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวที่คิดในรูปของอัตราการถ่าย เทความร้อนจึงมีค่าน้อยกว่า แสดงว่าโดยภาวะปรกติแล้ว เครื่องดูดกลืนจะ เป็นตัวควบคุมประสิทธิภาพของ เครื่องมือ กล่าวอีกนัยหนึ่งการทดลองแบบต่อ เนื่องไม่ เข้าสู่ภาวะคงที่ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของการทำงานที่วัดได้จึงขาดความถูกต้อง

ตารางที่ 1

1) การทดสอบ เครื่องมือแบบต่อ เนื่อง

เครื่องผลิต	+อ.น้ำร้อนในตัวถัง	158.0	158.0	158.0	167.0	158.0	158.0
	อ.สารละลาย - ออก	138.2	136.4	136.4	143.6	136.4	136.4
	อ.ไอน้ำ - ออก	125.6	134.6	131.0	136.4	129.2	129.2
	อ.สารละลาย - เข้า	125.6	129.2	129.2	134.6	125.6	125.6
	กำลังไฟฟ้า	700.0	690.0	650.0	765.0	450.0	400.0
อ.ตัวทำความ เย็นใน เครื่องควบแน่น		89.6	87.8	86.0	89.6	83.3	85.1
ความดันด้านความดันสูง		41.0	31.0	37.3	37.3	29.0	27.3
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	อ.สารละลาย - ออก	109.4	113.0	114.8	118.4	109.4	109.4
	อ.สารละลาย เข้า	102.2	104.0	104.0	107.6	95.0	96.8
อ.สารละลายใน เครื่องดูดกลืน		95.0	95.0	95.0	98.6	93.2	93.2
เครื่องระเหย	อ.ตัวทำความ เย็น (น้ำ)	68.0	71.6	68.0	69.8	59.0	59.0
	อ.น้ำ (LOAD) - เข้า	82.4	86.0	86.0	85.1	83.3	85.1
	อ.น้ำ (LOAD) - ออก	71.6	77.0	78.8	77.00	59.0	63.5
	อัตราการไหลของน้ำ (LOAD)	60.0	72.7	70.1	87.3	13.7	12.8
ความดันด้านความดันต่ำ		14.2	7.6	7.6	7.6	< 7.6	< 7.6
สัมประสิทธิของการทำงาน		0.27	0.27	0.22	0.27	0.22	0.20
ความสามารถในการทำความ เย็น		0.054	0.055	0.042	0.059	0.028	0.023

+ อ.(อุณหภูมิ °ฟ) ความดัน(ทอร์) อัตราการไหล (ปอนด์/ชม.) กำลังไฟฟ้า (วัตต์) ความสามารถในการทำความ เย็น (ตันความ เย็น)

อัตราการไหลของสารละลาย ประมาณ 170 ปอนด์/ชม.

อัตราการไหลของตัวทำความ เย็น (น้ำ)ประมาณ 1 ปอนด์/ชม.

<u>หมาย เหตุ</u> ตัวทำความ เย็น (น้ำ) เริ่มควบแน่นที่อุณหภูมิ 131° ฟ ความดัน 28-35 ทอร์ แต่ถ้าให้ไอตัวทำความ เย็นไหลสู่ เครื่องดูดกลืนตลอด เวลา ความดันจะค่อย ๆ ลดลงจนคงที่

ตารางที่ 1 (ต่อ)

2) การทดสอบเครื่องมือแบบไม่ต่อเนื่อง

เครื่องผลิต	อ.น้ำร้อนในตัวถัง	158.0	158.0	158.0	158.0	158.0
	อ.สารละลาย - ออก	134.6	138.2	138.2	138.2	136.4
	อ.ไอน้ำ - ออก	131.0	129.2	138.2	131.0	129.2
	อ.สารละลาย - เข้า	127.4	125.6	127.4	127.4	125.6
	กำลังไฟฟ้า	750.0	600.0	600.0	600.0	600.0
อ.ตัวทำความเย็นในเครื่องควบแน่น		84.2	84.2	84.2	82.4	84.2
ความดันด้านความดันสูง		26.0	26.0	26.0	23.5	26.0
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	อ.สารละลาย - ออก	109.4	107.6	109.4	109.4	109.4
	อ.สารละลาย - เข้า	98.6	91.4	98.6	96.8	95.0
อ.สารละลายในเครื่องดูดกลืน		91.4	89.6	87.8	89.6	91.4
เครื่องระเหย	อ.ตัวทำความเย็น (น้ำ)	71.6	60.8	62.6	60.8	60.8
	อ.น้ำ (LOAD) - เข้า	84.2	80.6	82.4	82.4	85.1
	อ.เฉลี่ยของน้ำ (LOAD) - ออก	77.5	60.4	59.5	61.7	62.2
	ปริมาณน้ำ (LOAD) (ปอนด์)	124.7	35.3	30.9	35.3	26.5
ความดันด้านความดันต่ำ		7.6	< 7.6	< 7.6	< 7.6	< 7.6
สัมประสิทธิของการทำงาน		0.32	0.34	0.35	0.37	0.30
ความสามารถในการทำความเย็น		-	-	-	-	-

i 17316654

ตารางที่ 1 (ต่อ)

3) การทดสอบแบบต่อเนื่อง เมื่อลดอุณหภูมิของเครื่องดูดกลืน

เครื่องผลิต	+ อ.น้ำร้อนในตัวถัง	158.0	158.0	158.0
	อ.สารละลาย - ออก	140.0	140.0	145.4
	อ.ไอน้ำ - ออก	132.8	132.8	134.6
	อ.สารละลาย - เข้า	125.6	123.8	129.2
	กำลังไฟฟ้า	550.0	620.0	800.0
อ.ตัวทำความเย็นในเครื่องควบแน่น		86.0	86.0	84.2
ความดันด้านความดันสูง		29.1	29.1	27.3
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	อ.สารละลาย - ออก	104.0	104.0	107.6
	อ.สารละลาย - เข้า	89.6	91.4	91.4
อ.สารละลายในเครื่องดูดกลืน		80.6	80.6	78.8
เครื่องระเหย	อ.ตัวทำความเย็น (น้ำ)	60.8	60.8	57.2
	อ.น้ำ (LOAD) - เข้า	86.0	86.9	84.2
	อ.น้ำ (LOAD) - ออก	68.0	69.8	65.3
	อัตราการไหลของน้ำ (LOAD)	24.0	44.0	103.2
ความดันด้านความดันต่ำ		7.3	7.3	7.3
สัมประสิทธิของการทำงาน		ก 0.23	ข 0.35	ค 0.71
ความสามารถในการทำความเย็น		0.036	0.062	0.16

หมายเหตุ ก. ระดับตัวทำความเย็น อยู่สูงกว่าขดท่อทองแดงมาก

ข. ระดับตัวทำความเย็น อยู่สูงกว่าขดท่อทองแดงเล็กน้อย

ค. ระดับตัวทำความเย็น อยู่พอดีกับขดท่อทองแดง อัตราการระเหยจะมีค่ามากกว่าอัตราการผลิตระบบไม่อยู่ในสภาวะคงที่

4.4.2) อัตราการทำความเย็นในเครื่องระเหย จะขึ้นอยู่กับการระเหยของตัวทำความเย็น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิของตัวทำความเย็น กับอุณหภูมิของน้ำที่ต้องการทำให้เย็น ถ้าแตกต่างกันมากพอจะทำให้ตัวทำความเย็นเดือด อัตราการทำความเย็นจะสูงขึ้น เนื่องจากสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในลักษณะนี้จะมีค่าสูงมาก และในช่วงนี้จะสังเกตเห็นการเดือดเป็นฟองของตัวทำความเย็น ซึ่งกระเด็นไปทั่วเครื่องระเหย และอุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกมาจากเครื่องระเหย จะลดลงจากเดิม เมื่ออัตราไหลของน้ำมีค่าเดียวกัน

4.4.3) ระดับของตัวทำความเย็นในเครื่องระเหย ควรจัดให้ท่วมขดท่อทองแดงพอดี เพราะจะทำให้ตัวทำความเย็นเดือดที่ผิว และดึงความร้อนออกจากบริเวณขดท่อได้มาก ค่าสัมประสิทธิ์ของการทำงาน และความสามารถในการทำความเย็น ของเครื่องมือจะสูงมาก ถ้าระดับของตัวทำความเย็นสูงกว่าขดท่อแล้วการดึงความร้อนจะมีประสิทธิภาพต่ำ เพราะสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง เนื่องจากไม่มีการเดือดของตัวทำความเย็น อันมีสาเหตุมาจากความดันของตัวทำความเย็นบริเวณขดท่อสูงกว่าปรกติ เนื่องจากความกดดันของตัวทำความเย็นที่อยู่เหนือขดท่อนั่นเอง การเดือดจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิมากขึ้นกว่าเดิมเท่านั้น ดังผลการทดลอง 4.4 ในหัวข้อที่ 3

4.4.4) การระบายความร้อนจากเครื่องดูดกลืนไม่เพียงพอ สังเกตุได้จากอุณหภูมิของสารละลายที่ไหลออกจากเครื่องระบายความร้อน เข้าสู่เครื่องดูดกลืน มีค่าค่อนข้างสูง (95° ฟ) ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องมือต่ำ และถ้าลดอุณหภูมิของสารละลายให้ต่ำลง (80.6° ฟ) พบว่าอุณหภูมิในเครื่องระเหยจะลดลงอีก ความสามารถในการทำความเย็น และค่าสัมประสิทธิ์ของการทำงานจะสูงขึ้น เนื่องจากตัวทำความเย็นสามารถเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ เพราะเมื่อลดอุณหภูมิของเครื่องดูดกลืนลง ความดันของสารละลาย ณ จุดสมดุลย์จะลดลง เป็นการลดจุดเดือดของตัวทำความเย็น (ดังนั้นความแตกต่างเพียงเล็กน้อยของอุณหภูมิระหว่างตัวทำความเย็นกับน้ำที่ต้องการทำให้เย็น ก็ย่อมทำให้ตัวทำความเย็นเดือดได้)

4.4.5) อัตราการไหลของสารละลายมีค่ามากกว่าที่ออกแบบไว้ เพราะมิฉะนั้นสารละลายจะไม่ไหลเป็นแผ่นบาง ๆ ในผนังด้านในของท่อบางท่อในเครื่องผลิต อันจะทำให้ท่อ

นั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าท่ออื่น ๆ ข้างเคียง การขยายตัวที่ต่างกันทำให้เกิดรอยร้าวในเครื่องมือได้ จึงต้องเพิ่มอัตราการไหลให้มากพอที่จะเป็นแผ่นบาง ๆ ในทุกท่อได้

4.4.6) ความเข้มข้นของสารละลายในเครื่องดูดกลืน และเครื่องผลิตถือว่ามีค่าใกล้เคียงกันคือ 40 % เนื่องจากอัตราการไหลหมุนเวียนของสารละลายสูงมาก เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของตัวทำความเย็นซึ่งมีค่าน้อย

4.4.7) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบถังและท่อ มีค่ามากกว่าค่าที่ประมาณไว้ในการออกแบบ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอัตราการไหลของสารละลายที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งการที่มีฟองของไอน้ำจากเครื่องผลิต ติดเข้าไปในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วย ซึ่งจะไปควบแน่นและคายความร้อนให้กับสารละลายที่เย็นกว่าที่ไหลสวนทางกัน ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวสูงขึ้น และถ้าพิจารณาความแตกต่างอุณหภูมิของสารละลายที่เย็นกว่า เมื่อไหลเข้าและไหลออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน กับความแตกต่างอุณหภูมิของสารละลายที่ร้อนกว่าในลักษณะเดียวกัน จะเห็นว่าความแตกต่างของอุณหภูมิ เมื่อไหลเข้าและไหลออกของสารละลายที่ร้อนกว่า มีค่าน้อยกว่าซึ่งไม่ควรจะเป็นไปได้ แสดงว่าสารละลายที่เย็นกว่าจะต้องได้รับความร้อนจำนวนหนึ่ง นอกเหนือจากความร้อนสัมผัสจากสารละลายที่ร้อนกว่า ซึ่งคาดว่าเป็นความร้อนจากการควบแน่นของฟองไอน้ำที่ติดไปนั้นเอง และในขณะทดลองก็ปรากฏว่าสามารถสังเกตเห็นฟองดังกล่าวไหลไปด้วย

4.4.8) การเปิดวาวเพียงเล็กน้อยตลอดเวลา จะทำให้หยดของตัวทำความเย็นในเครื่องควบแน่นไหลโดยสม่ำเสมอตลอดเวลา และความดันทางด้านความดันสูงจะลดลงจากเดิมเล็กน้อย

4.4.9) อุณหภูมิและความดันทางด้านความดันสูง มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องเย็นอย่างง่ายดังที่กล่าวในบทที่ 3 อาจจะมีสาเหตุเนื่องจากการทดลองด้วยเครื่องเย็นอย่างง่าย ระดับของสารละลายที่บรรจุในกระเปาะใหญ่มีผลต่ออุณหภูมิ และความดันขณะเดือด