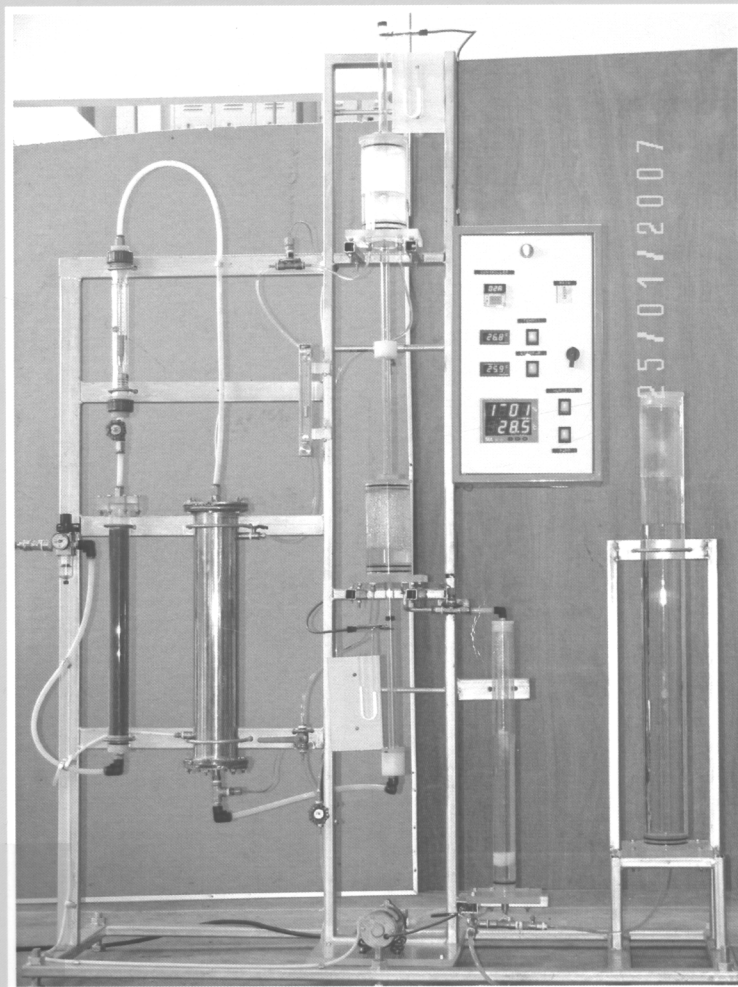




สิ่งประดิษฐ์

การสร้างและทดสอบชุดปฏิบัติการ Wetted-wall Column



สมอ
TP156.M3
ส42
2556

คณะผู้ดำเนินโครงการ

นายสมคิด จินาพงษ์ หัวหน้าโครงการ
ดร.สุธรรม สุขมณี ที่ปรึกษาโครงการ

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่

คำนำ

ชุดทดลองนี้เป็นการจัดสร้างสิ่งประดิษฐ์ ซึ่งใช้สนับสนุนการเรียนการสอนของภาควิชา
วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งทำให้กับคณาจารย์ นักศึกษา และผู้ที่สนใจต้องการใช้
เครื่องมือดังกล่าวสามารถเข้าใจเนื้อหาในทฤษฎีและนำผลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์และ
สอบทาน กับสมการที่ใช้ในการทดลองได้ง่ายขึ้น เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการเรียนรู้และศึกษา
สามารถนำความรู้ไปใช้ในงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไป

นายสมคิด จีนาพงษ์

ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎี	
2.1 ทฤษฎี	2
2.2 การออกแบบ	4
บทที่ 3 ขั้นตอน วิธีดำเนินการจัดทำผลงาน	
3.1 รายละเอียดของชุดอุปกรณ์	6
3.2 ประมาณค่าใช้จ่ายรายการวัสดุและอุปกรณ์	8
3.3 รูปภาพชุดอุปกรณ์	9
3.4 หลักการทำงาน	13
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลองและการสรุปผล	
4.1 ผลการทดลอง	17
4.2 สรุปผลการทดลอง	27
บทที่ 5 สรุปผลประโยชน์ที่ได้รับและข้อเสนอแนะ	
5.1 ประโยชน์ที่ได้รับ	29
5.2 รูปภาพแสดงการศึกษาดทดลองใช้ชุดเครื่องมือ	31
5.3 ข้อเสนอแนะ	33
กิตติกรรมประกาศ	34
บรรณานุกรม	35
ภาคผนวก	36
ก. ข้อมูลจากการทดลอง	37
ข. ตัวอย่างการคำนวณ	49
ค. สัญลักษณ์ที่ใช้ในการทำงาน	52
ง. คู่มือการทดลองLab	53
จ. ตารางเวลาปฏิบัติการ 230-443	63
ประวัติผู้เขียน	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

โครงการนี้เป็นการจัดสร้างสิ่งประดิษฐ์ ซึ่งใช้ในการสนับสนุนการเรียนการสอนหัวข้อปฏิบัติการในรายวิชา 230-443 ปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี 2 โดยจะนำมาใช้ทดแทนชุดปฏิบัติการเดิม ซึ่งได้จัดสร้างและใช้งานมาเป็นเวลา 20 ปี แล้ว โดยลดขนาดลง เพิ่มอุปกรณ์วัดและควบคุมการทดลองให้มีขอบเขตกว้างขึ้น ทำให้นักศึกษาสามารถเข้าใจเนื้อหาในทฤษฎีและนำผลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์และสอบทานกับสมการที่ใช้ทำนายผลต่างๆ ได้ดียิ่งขึ้น และสามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์

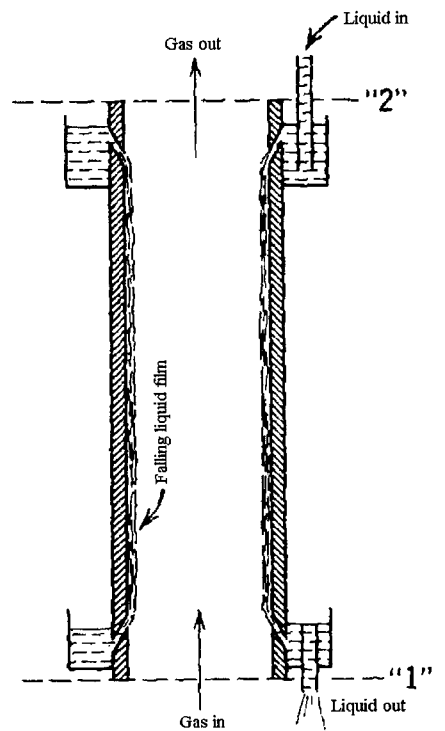
- 1). เพื่อให้มีความเข้าใจกลไกของกระบวนการถ่ายโอนมวลใน wetted-wall column
- 2). เพื่อหา Gas-phase mass transfer coefficient จากอัตราการระเหยของน้ำไปสู่อากาศใน wetted-wall column

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎี

2.1 ทฤษฎี

Wetted-wall column (รูปที่ 1-1) เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษากระบวนการถ่ายโอนมวลระหว่างวัฏภาคของเหลวและวัฏภาคแก๊ส มีลักษณะเป็นคอลัมน์ซึ่งวางอยู่ในแนวตั้ง ของเหลวไหลจากตอนบนลงมายังตอนล่างของคอลัมน์ตามผนังด้านใน ส่วนแก๊สอาจจะไหลในแนวเดียวกับของเหลว หรือไหลสวนทางขึ้นไปจากตอนล่างขึ้นไปยังตอนบนของคอลัมน์ก็ได้ ทิศทางการถ่ายโอนมวลของสาร มีทั้งจากของเหลวไปยังแก๊ส และจากแก๊สไปยังของเหลว โดยที่ของเหลวไหลตามผนังด้านในของคอลัมน์ ด้วยอัตราการไหลไม่สูงนัก ทำให้ความหนาของฟิล์มของเหลวมีค่าน้อยมาก จึงสามารถประมาณได้ว่า พื้นที่ผิวในการถ่ายโอนมวลคือ พื้นที่ผิวด้านในของคอลัมน์นี้



กรณีการถ่ายโอนมวลจากของเหลว (A) ไปยังแก๊ส (B) แบบสวนทางกัน โดยของเหลวเปลี่ยนวัฏภาคเป็นไอที่ผิวสัมผัสของเหลว-แก๊ส จากนั้นจึงแพร่ผ่าน Boundary layer เข้าไปยังวัฏภาคแก๊ส อัตราการถ่ายโอนมวลของของเหลวต่อพื้นที่ (N_A) ขึ้นต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคแก๊ส (Gas-phase mass transfer coefficient, K_G) และค่าเฉลี่ยตลอดความยาวคอลัมน์ (ΔP_{Am}) ของผลต่างระหว่างความดันไอของของเหลวที่ผิวสัมผัส (P_A) กับความดันส่วนของของเหลวในวัฏภาคแก๊ส (\bar{P}_A) ดังนี้

$$N_A = K_G \Delta P_{Am} \quad \text{หรือ} \quad K_G = \frac{N_A}{\Delta P_{Am}}$$

- เมื่อ
- N_A = อัตราการถ่ายโอนมวลของของเหลวต่อพื้นที่ ($\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)
 - K_G = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคแก๊ส ($\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{atm}$)
 - ΔP_{Am} = ค่าเฉลี่ย Logarithm ของผลต่างระหว่างความดันไอของของเหลวที่

ผิวสัมผัส กับความดันส่วนของของเหลวในวัฏภาคแก๊สทางตอนล่าง และตอนบนของคอลัมน์ (atm)

$$\Delta P_{.Am} = \frac{(\Delta P_{.A2} - \Delta P_{.A1})}{\ln\left(\frac{\Delta P_{.A2}}{\Delta P_{.A1}}\right)}$$

เมื่อ

$$\Delta P_{.A1} = P_{.A1} - \bar{P}_{.A1} \text{ (atm)}$$

$$\Delta P_{.A2} = P_{.A2} - \bar{P}_{.A2} \text{ (atm)}$$

$$P_{.A1} = \text{ความดันไอที่ผิวของของเหลวทางตอนล่างของคอลัมน์ (atm)}$$

$$\bar{P}_{.A1} = \text{ความดันส่วนของของเหลวในวัฏภาคแก๊สทางตอนล่างของคอลัมน์ (atm)}$$

$$P_{.A2} = \text{ความดันไอที่ผิวของของเหลวทางตอนบนของคอลัมน์ (atm)}$$

$$\bar{P}_{.A2} = \text{ความดันส่วนของของเหลวในวัฏภาคแก๊สทางตอนบนของคอลัมน์ (atm)}$$

ผลการศึกษาของ Gilliland and Sherwood (1934) พบว่าการถ่ายโอนมวลระหว่างของไหลซึ่งไหลสวนทางกัน ในคอลัมน์ลักษณะนี้ ตัวเลขของเชอร์วูด (Sherwood's number, Sh) มีขึ้นอยู่กับ ตัวแปรไร้มิติ 2 ตัว คือตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynold number, Re) ของแก๊สเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางคอลัมน์ และตัวเลขของชมิตต์ (Schmidt's number, Sc) ของแก๊ส ดังนี้

$$Sh = \frac{K_G R T d}{D} = 0.023 Re^{0.83} Sc^{0.33}$$

$$Re = \frac{dV\rho}{\mu}$$

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D}$$

เมื่อ

$$V = \text{ความเร็วเฉลี่ยของแก๊สในคอลัมน์ (cm/s)}$$

$$\rho = \text{ความหนาแน่นของแก๊ส (g/cm}^3\text{)}$$

$$\mu = \text{ความหนืดสมบูรณ์ของแก๊ส (g/cm}\cdot\text{s)}$$

$$D = \text{สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในอากาศ (cm}^2\text{/s)}$$

$$d = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอลัมน์ (cm)}$$

$$T = \text{อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในคอลัมน์ (K)}$$

$$R = \text{ค่าคงที่แก๊ส} = 82.06 \text{ cm}^3 \cdot \text{atm} / (\text{mol} \cdot \text{K})$$

$$Sh = \text{ตัวเลขของ Sherwood, -}$$

Re = ตัวเลขของ Reynolds, -

Sc = ตัวเลขของ Schmidt, -

2.2 การออกแบบ Wetted-wall Column

2.2.1 เงื่อนไขในการออกแบบ

Wetted-wall column ที่ออกแบบและจัดสร้างขึ้นใหม่นี้ ควรมีขนาดเล็กลง สามารถติดตั้งได้ในพื้นที่ชั้นล่างของห้องปฏิบัติการเฉพาะหน่วย และสามารถทำการทดลองได้ในช่วงที่ลักษณะการไหลของอากาศเป็นแบบTurbulent ขณะที่ชุดปฏิบัติการเดิมตัวคอลัมน์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2.63 ซม. ยาว 123 ซม. โดยมีความสูงรวมประมาณ 4 เมตร และทำการทดลองได้ที่ตัวเลข Reynolds ของอากาศไม่เกิน 4000 เท่านั้น (ที่อัตราการไหลของอากาศสูงสุด 60 ลิตร/นาที)

2.2.2 รายละเอียดในการออกแบบ

จากการสำรวจขนาดหลอดแก้วที่จะนำมาจัดทำเป็นคอลัมน์ พบว่าหลอดแก้วขนาดเล็กที่สุดที่จัดหาได้และมีความเป็นไปได้ในการติดตั้งอุปกรณ์วัดความดัน อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.7 ซม. และใช้ความยาวของส่วนที่ใช้ในการถ่ายโอนมวล 63 ซม. ซึ่งเมื่อรวมกับระยะที่ต้องสำรวจไว้สำหรับระบบการป้อนอากาศเข้าทางตอนล่าง และระบบป้อนน้ำเข้าทางตอนบนแล้ว ชุดอุปกรณ์จะมีความสูงรวมประมาณ 2.50 เมตร โดยสัดส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน มีค่า $= 63/1.7 = 37$ ซึ่งใกล้เคียงสัดส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชุดอุปกรณ์เดิม ซึ่งมีค่า $= 113/2.63 = 43$

การประมาณอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ เพื่อจัดหาเครื่องวัดอัตราการไหลที่เหมาะสม ให้ฐานตัวเลข Reynolds ของอากาศ = 10000 ในการประเมิน โดยใช้ความหนาแน่นของอากาศ 1.15×10^{-3} กรัม/ซม³ และความหนืดของอากาศ 1.8×10^{-4} กรัม/(ซม-วินาที) เพื่อกำหนดความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ยของอากาศในคอลัมน์ (V) และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ต้องการ (Q) ดังนี้

$$V = \frac{Re \times \mu}{\rho d} = \frac{10000 \times 1.8 \times 10^{-4}}{1.15 \times 10^{-3} \times 1.7} = 920.5 \text{ cm/s}$$

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 V = \frac{\pi}{4} 1.7^2 \times 920.5 = 2089 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 125 \text{ l/min}$$

ดังนั้น ในการติดตั้ง Wetted-wall column ชุดใหม่นี้ จะต้องจัดหาเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ ที่สามารถวัดอัตราการไหลสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 125 ลิตร/นาที

อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ที่จำเป็น ประกอบด้วย บีมน้ำ ถังพักวัดระดับน้ำที่ลดลงจากการระเหย ถังน้ำเลี้ยงระบบเมื่อเริ่มเดินเครื่อง อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำ-อากาศ และคอลัมน์ดูดความชื้นของอากาศที่ป้อนเข้า รวมทั้งเครื่องมือวัดตัวแปรต่างๆ ของน้ำและอากาศ ที่ทางเข้าและทางออกของคอลัมน์ (อัตราการไหล อุณหภูมิ ความดัน และความชื้นสัมพัทธ์)

บทที่ 3

ขั้นตอน วิธีดำเนินการจัดทำผลงาน

3.1 รายละเอียดของชุดอุปกรณ์ที่ออกแบบและติดตั้ง

ก) คอลัมน์

เป็นหลอดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.7 ซม. ยาว 63 ซม. ติดตั้งตัวป้อนอากาศเข้าและระบายน้ำออกทางตอนล่าง (Bottom header) ติดตั้งตัวป้อนน้ำเข้าและระบายอากาศออกทางตอนบน (Top header) ตัวป้อนทั้ง 2 ตัว ทำด้วยพลาสติกพีวีซีชนิดใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 15 ซม.

ข) ป้อนน้ำ

ใช้ป้อนน้ำชนิด Metering ยี่ห้อ OSMOFLO รุ่น OF-8000 ผลิตโดยบริษัท OSMOFLO USA. อัตราการไหลสูงสุด 1.8 l/min

ค) ถังพักวัดระดับน้ำที่ลดลงจากการระเหย

สร้างด้วยท่อพลาสติกพีวีซีชนิดใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 60 ซม. ติดตั้งแถบวัดระดับน้ำไว้ด้านนอก โดยระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลง 1 มม. คิดเป็นปริมาตรน้ำ 1.33 ซม³

ง) ถังน้ำเลี้ยง

สร้างด้วยท่อพลาสติกพีวีซีชนิดใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 100 ซม.

จ) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำ-อากาศ

สร้างด้วยท่อสองชั้นทำด้วยเหล็กปลอดสนิม 304 ท่อชั้นในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลาง 7.5 ซม. ท่อชั้นนอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 55 ซม. โดยในท่อชั้นในติดตั้งขดลวดให้ความร้อนขนาด 800 วัตต์

ฉ) คอลัมน์วัดความชื้นของอากาศที่ป้อนเข้า

สร้างด้วยท่อพลาสติกพีวีซีชนิดใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 50 ซม. ภายในบรรจุสารดูดความชื้น เพื่อให้อากาศที่ป้อนเข้า มีความชื้นสัมพัทธ์ในระดับไม่เกิน 10%

ช) เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ

Rotameter ยี่ห้อ sika รุ่น VS101 ผลิตโดยบริษัท sika สามารถวัดอัตราการไหลของอากาศได้สูงสุด 150 ลิตร/ชั่วโมง

ซ) เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ

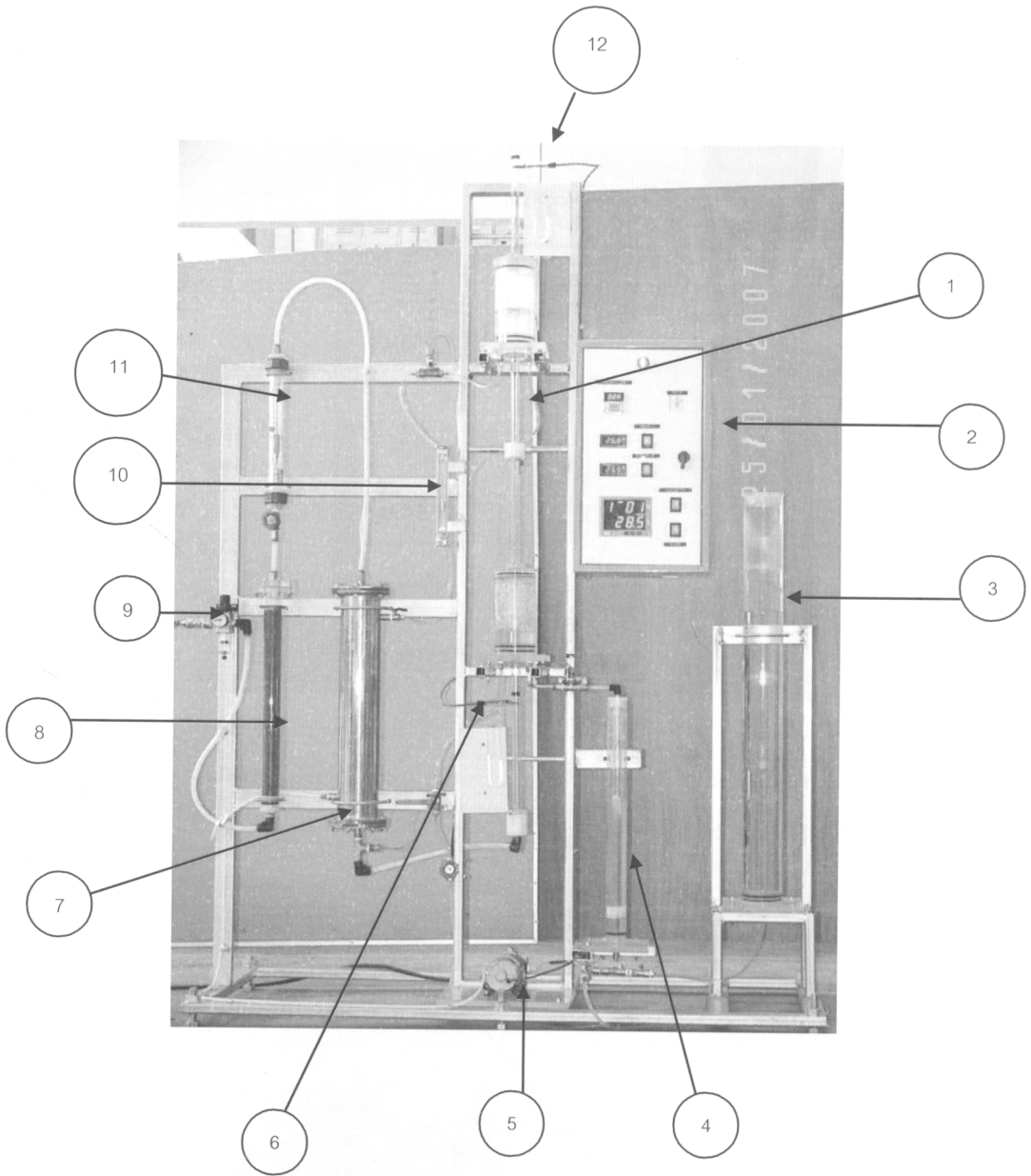
Rotameter ยี่ห้อ TOKYO KEISO รุ่น NP-L27 ผลิตโดยบริษัท TOKYO KEISO สามารถวัดอัตราการไหลของน้ำได้สูงสุด 2.5 ลิตร/นาที

- ณ) เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางเข้า และทางออกคอลัมน์ เป็นชุดวัดแบบดิจิตอล ยี่ห้อ SILA รุ่น AP-140 ผลิตโดยบริษัท SILA สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ได้ตั้งแต่ 0-100% โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 1\%$
- ญ) อุปกรณ์วัดความดันของอากาศที่ทางเข้าและทางออกของคอลัมน์ ใช้ Manometer รูปตัว U ปลายเปิดบรรจุน้ำไว้ภายใน พร้อมสเกลวัดระดับน้ำเป็น มม.
- ฎ) เครื่องวัดอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าและทางออกของคอลัมน์ Thermocouple แบบดิจิตอลรุ่น Thermo-9000 ผลิตโดยบริษัท UNION วัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0 - 100 °C มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 1^{\circ}\text{C}$

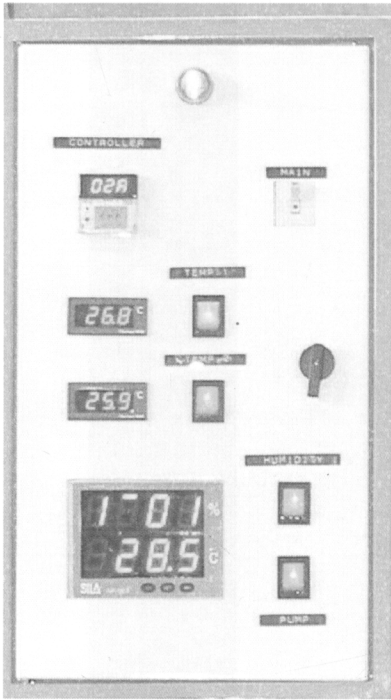
3.2 ประมาณค่าใช้จ่ายรายการวัสดุอุปกรณ์

อุปกรณ์	ราคาต่อ หน่วย	จำนวน	จำนวน เงิน
1. หลอดแก้ว Ø 20 มม.ยาว 1 เมตร	250	3 เส้น	750
2. หลอดแก้ว Ø 16 มม.ยาว 1 เมตร	160	2 เส้น	320
3. หลอดแก้ว Ø 10 มม.ยาว 1 เมตร	120	1 เส้น	120
4. เมตเทอริงบีม 2 L/m	7,600	1 ตัว	7,600
5. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น	6,000	1 ชุด	6,000
6. เครื่องวัดอุณหภูมิ	4,000	1 ชุด	4,000
7. ฮีตเตอร์ 800 W	1,500	1 ตัว	1,500
8. ชุดควบคุมอุณหภูมิอากาศแท้	4,500	1 ชุด	4,500
9. ชุดวัดระดับน้ำแบบหลอดแก้ว	5,000	1 ชุด	5,000
10. ท่อพลาสติกใส Ø 5 ซม. ยาว 1 เมตร	1,250	2 เส้น	2,500
11. แผ่นพลาสติกใส ขนาด 4' x 6' หนา 15 mm.	8,000	1 แผ่น	8,000
12. Flowmeters (น้ำ) 2 L/M	15,000	1 ชุด	15,000
13. Flowmeters (อากาศ) 200 L/M	20,000	1 ชุด	20,000
14. เหล็กแป๊บ 2' x 2"ชุดโครงสร้างเครื่องมือ ยาว 6 เมตร	600	3 เส้น	1,800
15. เหล็กแป๊บ 2"x1" ยาว 6 เมตร	300	4 เส้น	1,200
16. ถังน้ำ และถังพัก (StL)	3,500	2 ใบ	3,500
17. อุปกรณ์อื่นๆ	3,000	-	3,000
18. ค่าตอบแทน	15,000	-	15,000
จำนวนเงินรวมทั้งสิ้น 99,790 บาท (เก้าหมื่นเก้าพันเจ็ดร้อยเก้าสิบบาทถ้วน)			

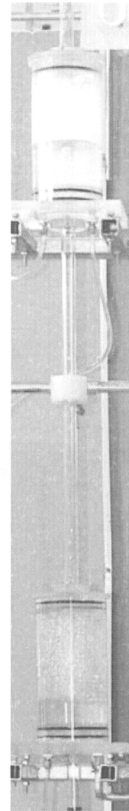
3.3 รูปภาพแสดงชุดอุปกรณ์ Wetted-wall column แสดงดังรูปที่ 3-3 ถึงรูปที่ 3-7



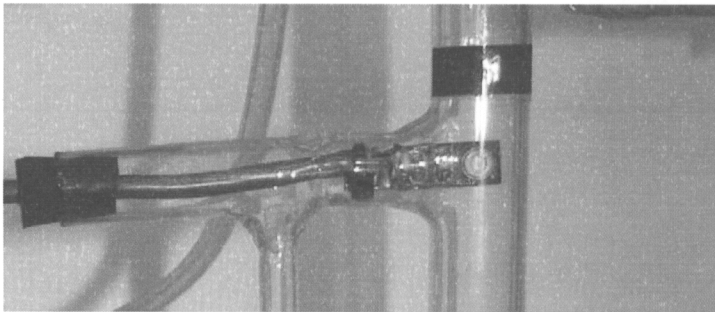
รูปที่ 3-3 ชุดอุปกรณ์ Wetted-wall column



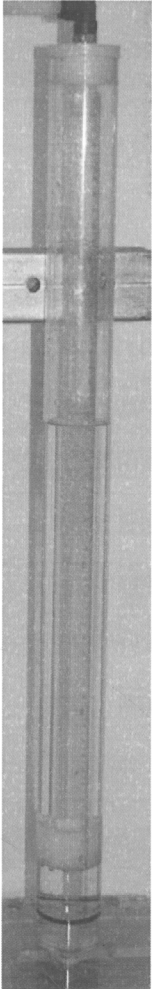
รูปที่ 3-4 ตู้ Control



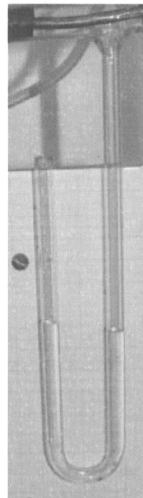
รูปที่ 3-5 ชุดหลอดแก้ว
ถ่ายไออนมวลระหว่างน้ำกับอากาศ



รูปที่ 3-6 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ



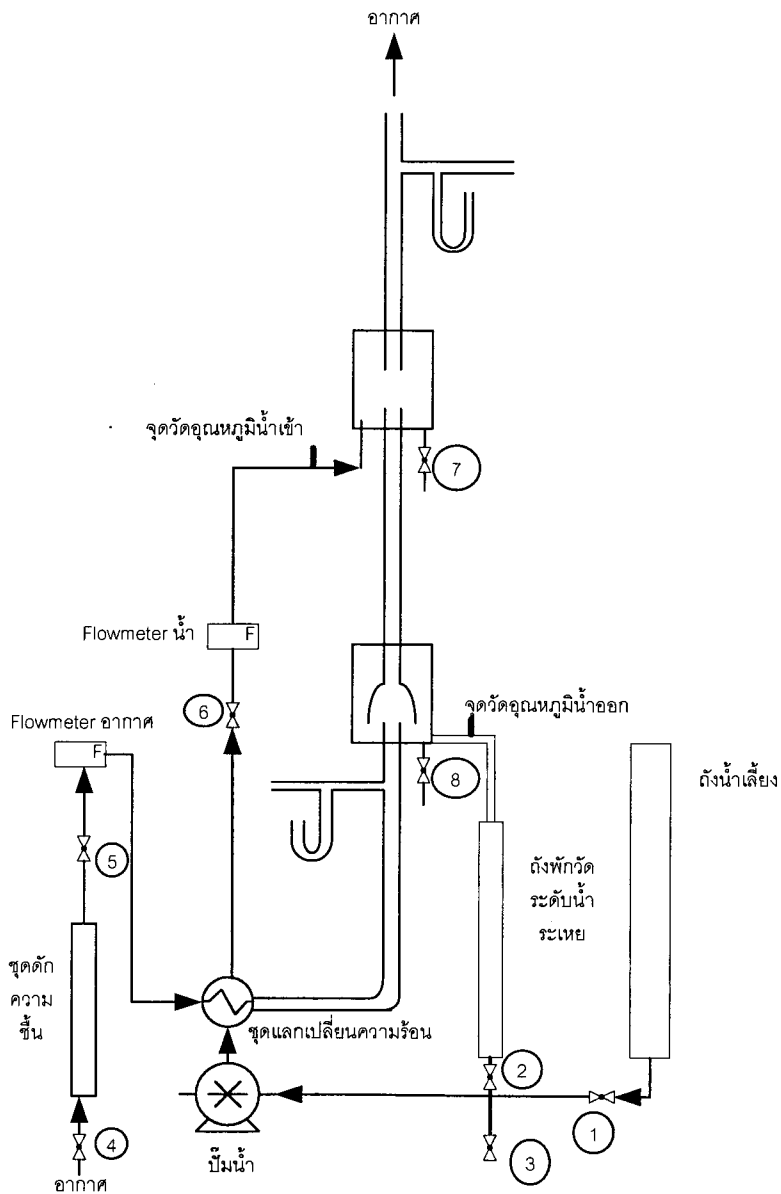
รูปที่ 3-7 ถังพักวัดระดับน้ำระเหย



รูปที่ 3-8 มาโนมิเตอร์วัดความดัน

3.3.1 ส่วนประกอบของเครื่อง Wetted-wall column

1. หลอดแก้วถ่ายโอนมวลระหว่างน้ำกับอากาศ
2. ชุดควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า
3. ถังน้ำเลี้ยง
4. ถังพักวัดระดับน้ำระเหย
5. ปั๊มน้ำ
6. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศทางเข้า
7. ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน
8. ชุดวัดความชื้น
9. ชุดปรับแรงดันของอากาศ
10. เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ
11. เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ
12. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศทางออก



รูปที่ 3- 9 แผนภาพ (Diagram) ของอุปกรณ์

3.4 หลักการทำงาน

ระบบ Wetted-wall column (รูปที่ 2-1) เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษากระบวนการถ่ายโอนมวลระหว่างภูมิภาคของเหลวและภูมิภาคแก๊ส มีลักษณะเป็นคอลัมน์ซึ่งวางอยู่ในแนวตั้ง
ขั้นตอนการทำงาน

1. เปิด main power

2. เปิด Valve น้ำหมายเลข 1
3. เปิด Valve น้ำหมายเลข 6
4. เปิดปั๊มน้ำให้น้ำไหลผ่านชุดแลกเปลี่ยนความร้อน
5. ปรับ Valve น้ำหมายเลข 6 ควบคุมอัตราการไหลของน้ำตามกำหนดที่ใช้ในการทดลอง (0.4 และ 1 ลิตร/นาที่) ตามลำดับ น้ำจะไหลลงตามผิวผนังด้านในจากคอลัมน์ตอนบนลงผ่านชุดหลอดแก้วถ่ายเทการระเหยระหว่างน้ำกับอากาศลงไปยังตอนล่างของคอลัมน์ตามผิวผนังด้านในลงไปสู่ถังพักวัดระดับน้ำระเหยจนถึงระดับที่เพียงพอต่อการทดลอง
6. ปิด Valve น้ำหมายเลข 1
7. เปิด Valve น้ำหมายเลข 2
8. เปิด Valve อากาศหมายเลข 4 ด้วยความระมัดระวังปรับค่าแรงดันของอากาศ 30 ปอนด์/ตร.นิ้ว ให้อากาศไหลผ่านชุดดักความชื้น
9. เปิด Valve อากาศหมายเลข 5 ปรับอัตราการไหลของอากาศตามกำหนดที่ใช้ในการทดลอง (20,30,40,50,60 ลิตร/นาที่) ตามลำดับ อากาศจะไหลผ่านชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเข้าสู่คอลัมน์ทางตอนล่างและไหลสวนทางกับทิศทางของน้ำจากคอลัมน์ด้านบนผ่านชุดหลอดแก้วถ่ายเทการระเหยระหว่างน้ำกับอากาศออกสู่ระบบภายนอกโดยผ่านทางคอลัมน์ตอนบน

เมื่อตรวจสอบได้ว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว(steady state)แล้วประมาณ 15 นาทีให้บันทึกอุณหภูมิ ความดัน ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิของน้ำ ที่ทางเข้าและทางออกของคอลัมน์ และจับเวลาบันทึกหาระดับน้ำที่ลดลงในถังพัก

3.4.1 ข้อควรระวังในการใช้เครื่องมือ

1. ตรวจสอบระดับน้ำในถังน้ำเลี้ยงให้มีปริมาณเพียงพอต่อการทดลอง
2. ตรวจสอบเช็คตำแหน่ง Valve ทุกตัวให้ถูกต้อง
3. เปิด Switch Main Power ให้สังเกตไฟโชว์ที่ตู้ Control

3.4.2 วิธีการบำรุงรักษาเครื่อง

1. ตรวจสอบชุดดักความชื้น (ก่อนการทดลองทุกครั้ง) ควรมีสีน้ำเงินเข้มถ้าเปลี่ยนเป็นสี

- ชาวแสดงว่ามีความชื้นสูงต้องนำไปอบก่อนทำการทดลอง
2. ชุดปรับแรงดันของอากาศต้องถ่ายน้ำออกจากตัวดักน้ำ
 3. ก่อนเปิดเครื่องปั้มน้ำควรเติมน้ำในถังน้ำเลี้ยงให้พอต่อการทดลอง
 4. มาโนมิเตอร์วัดความดันควรตรวจสอบระดับน้ำให้เรียบร้อย

3.5 การทดลอง

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

1. ชุดอุปกรณ์ Wetted-wall column ที่ได้ออกแบบและจัดสร้างขึ้น
2. อากาศ (Compressor)
3. น้ำ
4. นาฬิกาจับเวลา

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

1. อัตราการไหลของอากาศ 20, 30, 40, 50 และ 60 ลิตร/นาที
2. อัตราการไหลของน้ำ 0.4 และ 1.0 ลิตร/นาที
3. อุณหภูมิของอากาศ
 - อุณหภูมิห้อง (ไม่ใช้ระบบอุ่นร้อน)
 - อุณหภูมิ 50 °C (ใช้ระบบอุ่นร้อน)
4. ความดันของอากาศ 30 lb/in²

3.5.1 วิธีการทดลอง

1. ปั้มน้ำจากถังน้ำเลี้ยง ปรับอัตราการไหลตามกำหนดที่ใช้ในการทดลอง (0.4 และ 1.0 ลิตร/นาที)ตามลำดับให้น้ำไหลจากคอลัมน์ทาง ตอนบนผ่านหลอดแก้วถ่ายเทการระเหยระหว่างน้ำกับอากาศตามผิวผนังด้านใน ลงสู่คอลัมน์ทางตอนล่างเข้าสู่ถังพักวัดระดับของน้ำระเหยในถัง
2. ผ่านอากาศเข้าตามเงื่อนไขการทดลองที่อุณหภูมิห้อง และ อุณหภูมิ 50 °C (ใช้ระบบอุ่นอากาศ) ที่อัตราการไหล 20, 30, 40, 50 และ 60 ลิตร/นาที ตามที่กำหนดเข้าสู่คอลัมน์ทางตอนล่างในทิศทางสวนขึ้นกับการไหลของน้ำจากคอลัมน์ทางตอนบน บันทึกอัตราการไหลของอากาศ และความดันของอากาศที่ทางเข้าและทางออกของคอลัมน์
3. หลังจากเดินระบบปรับอัตราการไหลของน้ำและอากาศได้ตามที่กำหนดแล้ว เมื่อตรวจสอบได้ว่าระบบเข้าสู่ภาวะคงตัว (steady state) แล้วประมาณ 15 นาที เริ่มจับเวลาตามที่กำหนดคือ 5,10และ15 นาที

- บันทึกอุณหภูมิอากาศและค่าความชื้นของอากาศที่ทางเข้าและทางออก
- บันทึกอุณหภูมิของน้ำ ที่ทางเข้าและทางออกของคอลัมน์
- บันทึกค่าความดันที่ทางเข้าและทางออก
- วัดปริมาตรของน้ำที่ลดลงในถังพัก เพื่อใช้คำนวณอัตราการระเหยของน้ำในคอลัมน์

4. บันทึกข้อมูลตามข้อ 3. หลังจากบันทึกข้อมูลชุดแรกเรียบร้อยแล้วตามเวลาที่กำหนด(5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ)
5. ทำการทดลองตามข้อ 1 ถึงข้อ 3 ให้ครบถ้วนตามสภาวะการทดลองที่ได้ระบุไว้ใน ข้อ 1 และข้อ 2

3.6 ข้อมูลจากการทดลอง

ข้อมูลจากการทดลองตามเงื่อนไขและขั้นตอนที่ระบุไว้ในข้อ 1 และ 2 ได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก ก

บทที่ 4 การวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลและคำนวณหาค่าตัวแปรต่างๆ จะสามารถแสดงผลได้ดังตารางต่อไปนี้

1) เมื่อใช้อัตราการไหลของน้ำ 1 ลิตร/นาที โดยไม่ใช้ Heater อุณหภูมิอากาศเข้า

Re	k_{gc} , cm/s		Sh		Data analysis			
	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	$\ln(\text{Re})$	$\ln(\text{Sh})$	Sh2	k_{gc2}
4177.54	4.68	2.98	30.29	19.31	8.34	3.41	25.33	3.91
4177.54	4.77	2.98	30.92	19.31	8.34	3.43	25.33	3.91
4177.54	4.52	2.98	29.29	19.31	8.34	3.38	25.33	3.91
4179.63	4.61	2.98	29.88	19.31	8.34	3.40	25.34	3.91
3811.92	3.07	2.76	19.91	17.89	8.25	2.99	22.96	3.54
3811.28	2.94	2.76	19.05	17.89	8.25	2.95	22.96	3.54
3810.65	2.87	2.76	18.60	17.89	8.25	2.92	22.95	3.54
3811.28	2.97	2.76	19.20	17.89	8.25	2.95	22.96	3.54
3313.35	3.07	2.46	19.88	15.93	8.11	2.99	19.76	3.05
3312.25	2.98	2.46	19.27	15.92	8.11	2.96	19.75	3.05
3292.44	3.03	2.44	19.60	15.84	8.10	2.98	19.62	3.03
3292.99	3.04	2.44	19.65	15.85	8.10	2.98	19.63	3.03
2664.88	2.48	2.05	16.01	13.29	7.89	2.77	15.64	2.41
2663.55	2.35	2.05	15.14	13.29	7.89	2.72	15.63	2.41
2664.00	2.36	2.05	15.22	13.29	7.89	2.72	15.64	2.41
2665.33	2.28	2.05	14.75	13.30	7.89	2.69	15.65	2.41
1908.35	1.78	1.55	11.51	10.08	7.55	2.44	10.94	1.69
1905.18	1.74	1.55	11.22	10.06	7.55	2.42	10.92	1.68
1904.54	1.77	1.55	11.38	10.06	7.55	2.43	10.91	1.68
1904.54	1.74	1.55	11.18	10.06	7.55	2.41	10.91	1.68
$Sh = aRe^b Sc^{0.333}$					a	0.00401		
					b	1.07208		
					intercept	-5.70652		

2) เมื่อใช้อัตราการไหลของน้ำ 0.4 ลิตร/นาที โดยไม่ใช้ Heater คู่หน้าอากาศเข้า

Re	k_{gc} , cm/s		Sh		Data analysis			
	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ln(Re)	ln(Sh)	Sh2	k_{gc2}
4131.19	3.88	2.95	24.87	19.13	8.33	3.21	25.96	4.00
4130.51	3.99	2.95	25.58	19.13	8.33	3.24	25.96	4.00
4131.88	3.90	2.95	24.99	19.13	8.33	3.22	25.97	4.01
4131.88	5.04	2.95	32.31	19.13	8.33	3.48	25.97	4.01
3770.26	3.72	2.73	23.84	17.73	8.23	3.17	23.11	3.56
3770.88	3.66	2.74	23.48	17.73	8.24	3.16	23.12	3.57
3769.63	3.67	2.73	23.53	17.73	8.23	3.16	23.11	3.56
3769.63	3.67	2.73	23.53	17.73	8.23	3.16	23.11	3.56
3277.69	2.65	2.43	16.98	15.79	8.09	2.83	19.34	2.98
3277.14	2.62	2.43	16.82	15.78	8.09	2.82	19.33	2.98
3276.06	2.58	2.43	16.53	15.78	8.09	2.81	19.33	2.98
3276.06	2.58	2.43	16.53	15.78	8.09	2.81	19.33	2.98
2652.95	2.71	2.04	17.36	13.24	7.88	2.85	14.77	2.28
2652.95	2.61	2.04	16.74	13.24	7.88	2.82	14.77	2.28
2652.51	2.56	2.04	16.39	13.24	7.88	2.80	14.77	2.28
2652.07	2.56	2.04	16.39	13.24	7.88	2.80	14.77	2.28
1898.99	1.53	1.55	9.79	10.03	7.55	2.28	9.65	1.49
1898.68	1.46	1.55	9.36	10.03	7.55	2.24	9.65	1.49
1898.68	1.45	1.55	9.26	10.03	7.55	2.23	9.65	1.49
1898.68	1.42	1.55	9.09	10.03	7.55	2.21	9.65	1.49

$$Sh = aRe^b Sc^{0.333}$$

a	0.00078
b	1.27305
intercept	-7.34312

3) เมื่อใช้อัตราการไหลของน้ำ 1 ลิตร/นาที โดยใช้ Heater อุณหภูมิอากาศเข้า

Re	k_{gc} , cm/s		Sh		Data analysis			
	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ln(Re)	ln(Sh)	Sh2	k_{gc2}
4081.57	6.54	2.92	41.46	18.94	8.31	3.72	29.00	4.47
4022.95	6.92	2.89	43.20	18.71	8.30	3.77	28.28	4.36
3988.21	5.58	2.87	34.60	18.58	8.29	3.54	27.86	4.30
3969.46	5.12	2.85	31.51	18.50	8.29	3.45	27.63	4.26
3621.48	3.22	2.64	19.82	17.15	8.19	2.99	23.55	3.63
3623.83	2.91	2.65	17.91	17.16	8.20	2.89	23.58	3.64
3623.24	3.08	2.65	18.96	17.16	8.20	2.94	23.57	3.64
3623.24	3.18	2.65	19.56	17.16	8.20	2.97	23.57	3.64
3454.94	2.58	2.54	17.48	16.49	8.15	2.86	21.70	3.35
3158.60	2.60	2.36	16.06	15.31	8.06	2.78	18.56	2.86
3157.06	2.57	2.36	15.86	15.30	8.06	2.76	18.55	2.86
3157.06	2.56	2.36	15.80	15.30	8.06	2.76	18.55	2.86
2558.68	2.34	1.98	14.49	12.85	7.85	2.67	12.87	1.98
2563.68	2.14	1.99	13.25	12.87	7.85	2.58	12.91	1.99
2563.26	2.12	1.99	13.14	12.87	7.85	2.58	12.91	1.99
2563.26	2.24	1.99	13.90	12.87	7.85	2.63	12.91	1.99
1837.07	1.36	1.51	8.45	9.76	7.52	2.13	7.23	1.12
1850.65	1.28	1.51	7.96	9.82	7.52	2.07	7.32	1.13
1851.56	1.15	1.52	7.16	9.83	7.52	1.97	7.33	1.13
1850.65	1.12	1.51	6.96	9.82	7.52	1.94	7.32	1.13

$$Sh = aRe^b Sc^{0.333}$$

a	0.00002
b	1.73994
intercept	-11.09893

4) เมื่อใช้อัตราการไหลของน้ำ 0.4 ลิตร/นาที โดยใช้ Heater อุณหภูมิอากาศเข้า

Re	k_{gc} , cm/s		Sh		Data analysis			
	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ln(Re)	ln(Sh)	Sh2	k_{gc2}
4076.86	4.56	2.92	28.82	18.92	8.31	3.36	27.57	4.25
3981.73	4.89	2.86	30.23	18.55	8.29	3.41	26.73	4.12
3982.37	4.16	2.86	25.74	18.55	8.29	3.25	26.73	4.12
3975.26	4.19	2.86	25.85	18.53	8.29	3.25	26.67	4.11
3629.72	3.48	2.65	21.49	17.18	8.20	3.07	23.66	3.65
3625.59	3.64	2.65	22.43	17.16	8.20	3.11	23.63	3.64
3625.00	3.61	2.65	22.25	17.16	8.20	3.10	23.62	3.64
3625.00	3.49	2.65	21.47	17.16	8.20	3.07	23.62	3.64
3152.96	3.16	2.36	19.50	15.29	8.06	2.97	19.66	3.03
3157.06	3.01	2.36	18.60	15.30	8.06	2.92	19.69	3.04
3157.06	3.09	2.36	19.11	15.30	8.06	2.95	19.69	3.04
3157.57	3.11	2.36	19.25	15.30	8.06	2.96	19.70	3.04
2557.84	3.12	1.98	19.28	12.85	7.85	2.96	14.93	2.30
2552.45	3.01	1.98	18.55	12.83	7.84	2.92	14.89	2.30
2553.28	2.64	1.98	16.30	12.83	7.85	2.79	14.89	2.30
2554.52	2.45	1.98	15.10	12.84	7.85	2.71	14.90	2.30
1826.34	1.60	1.50	9.83	9.72	7.51	2.29	9.58	1.48
1826.64	1.40	1.50	8.59	9.72	7.51	2.15	9.59	1.48
1813.02	1.42	1.49	8.71	9.66	7.50	2.16	9.49	1.46
1811.55	1.42	1.49	8.72	9.65	7.50	2.17	9.48	1.46

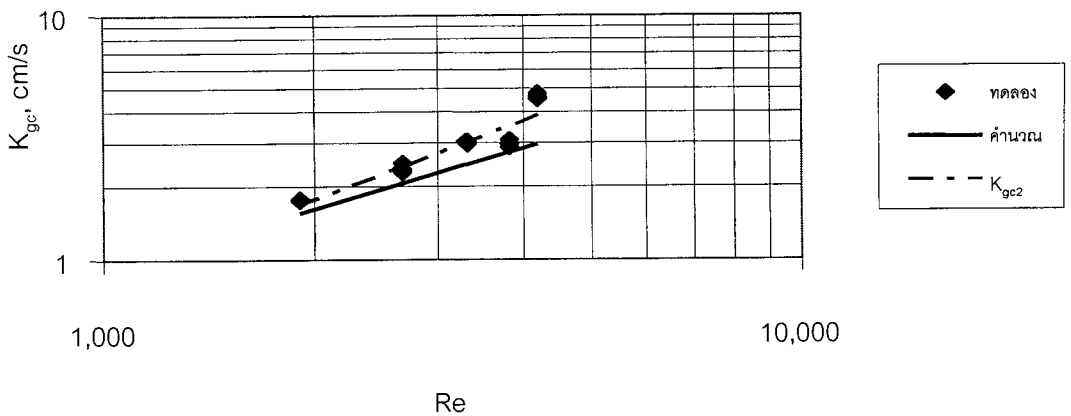
$$Sh = aRe^b Sc^{0.333}$$

a	0.00059
b	1.31581
intercept	-7.62174

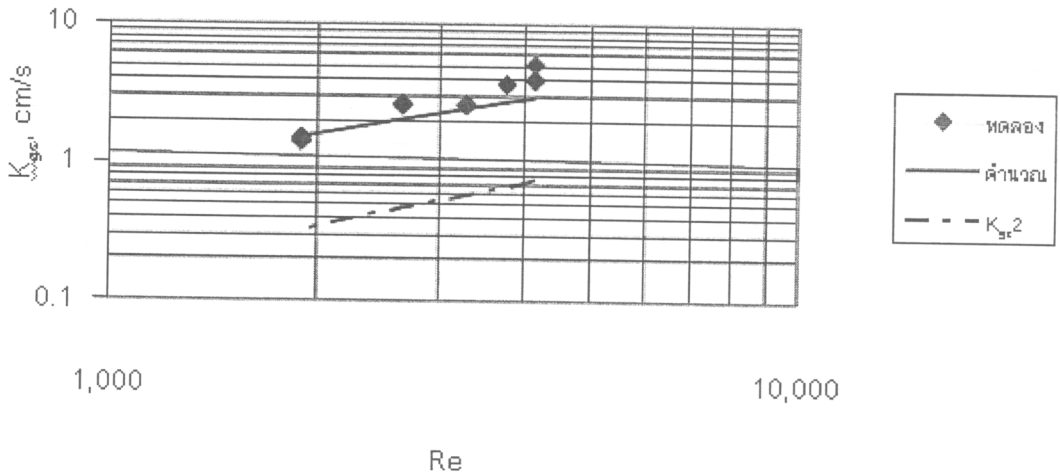
เมื่อพิจารณาข้อมูลที่แสดงในตาราง จะพบว่าข้อมูลวิเคราะห์ที่ได้ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรก คือการนำข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองไปแทนค่าในสูตรต่างๆ ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข. รวมทั้งนำเอาข้อมูลวิเคราะห์จากข้างต้นไปแทนค่าในสหสัมพันธ์ดังแสดงในภาคผนวก ข. ส่วนที่สอง คือการนำข้อมูลที่วิเคราะห์จากส่วนแรกมาทำการพล็อตกราฟ $\log - \log$ แล้วนำค่าที่ได้จากกราฟมาแทนค่าในสหสัมพันธ์ด้านล่างของตาราง

4.1.2 อิทธิพลจากอัตราการไหลของอากาศต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคแก๊ส

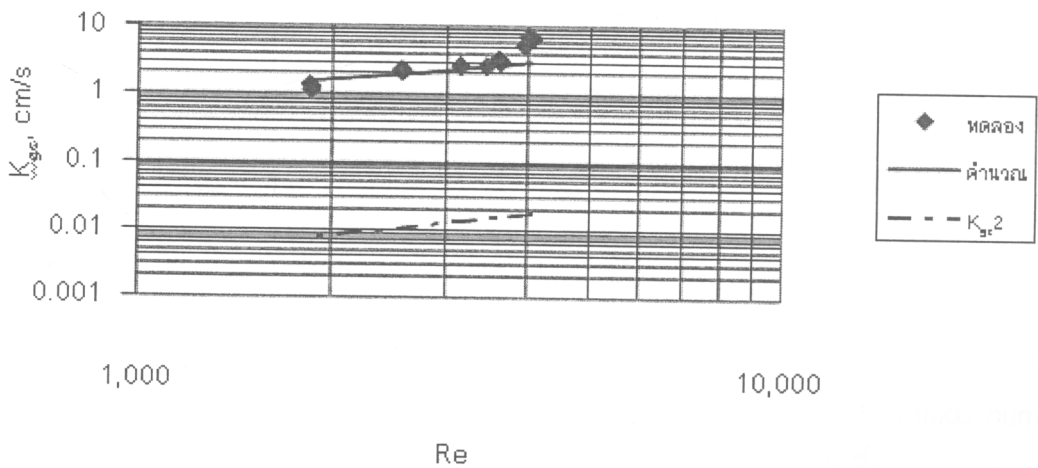
จากข้อมูลผลการทดลองที่ได้ทำการวิเคราะห์ดังตารางข้างต้น พบว่าค่าอัตราการไหลของอากาศมีผลต่อค่า Sherwood's number (Sh) และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคแก๊ส (K_{gc}) เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ค่า Sherwood's number และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคแก๊ส เพิ่มขึ้นด้วย และแนวโน้มดังกล่าวจะสอดคล้องกับผลที่ได้จากการคำนวณจากสหสัมพันธ์ แสดงได้ดังกราฟรูปที่ 4-1 ถึง 4-4



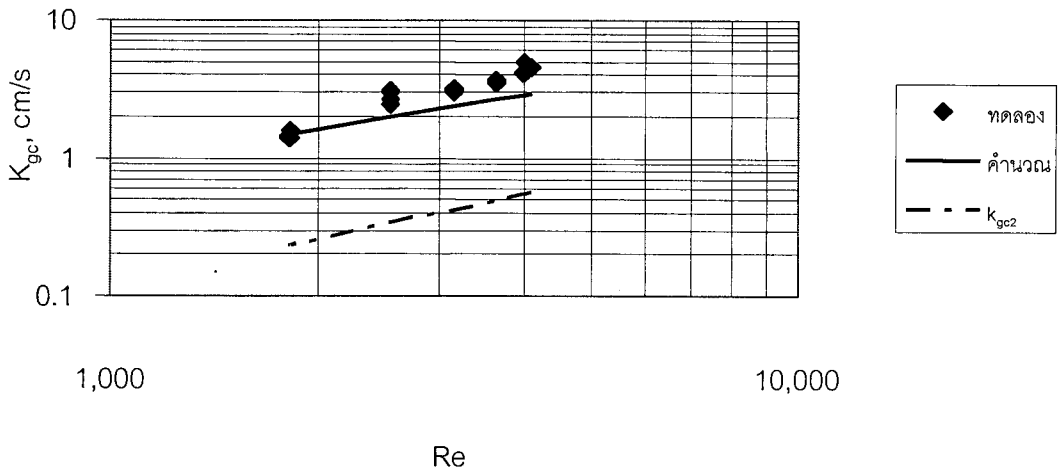
รูปที่ 4-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Gas phase mass transfer coefficient กับ Reynold number
(เมื่ออัตราการไหลของน้ำ 1 ลิตร/นาที โดยไม่ใช้ Heater อุณหภูมิอากาศเข้า)



รูปที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Gas phase mass transfer coefficient กับ Reynolds number (เมื่ออัตราการไหลของน้ำ 0.4 ลิตร/นาที โดยไม่ใช้ Heater อุณหภูมิอากาศเข้า)



รูปที่ 4-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Gas phase mass transfer coefficient กับ Reynolds number (เมื่ออัตราการไหลของน้ำ 1 ลิตร/นาที โดยใช้ Heater อุณหภูมิอากาศเข้า)

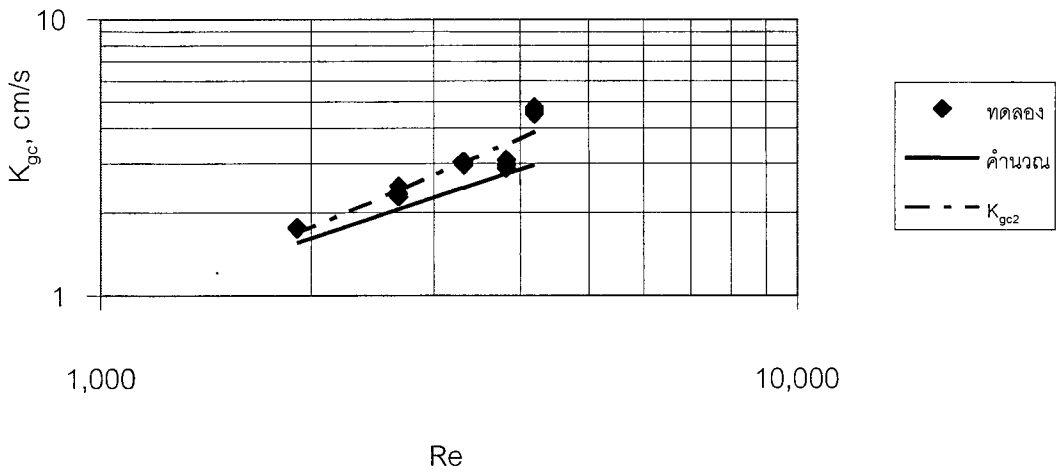


รูปที่ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Gas phase mass transfer coefficient กับ Reynolds number
(เมื่ออัตราการไหลของน้ำ 0.4 ลิตร/นาที โดยใช้ Heater อุณหภูมิอากาศเข้า)

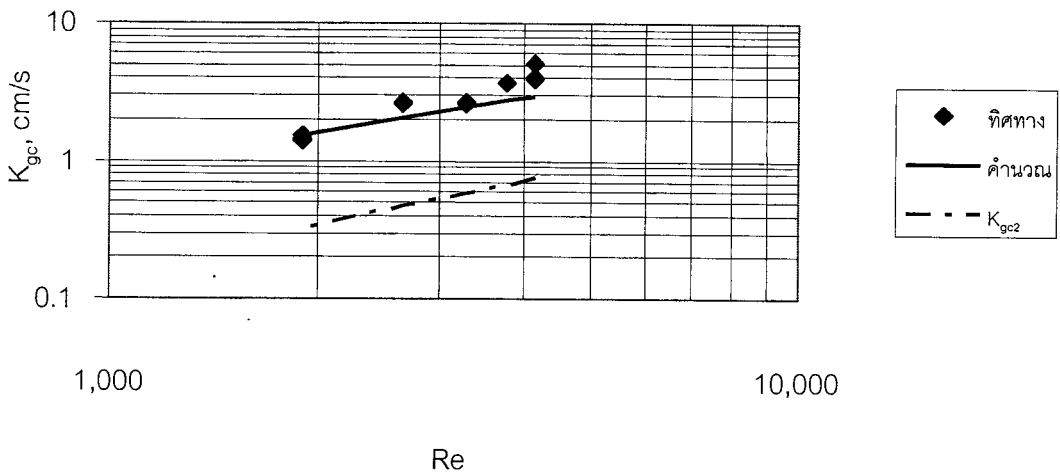
จากกราฟที่ได้จากข้อมูลผลการทดลองทั้ง 4 การทดลอง โดยในแต่ละการทดลอง จะปรับค่าอัตราการไหลของอากาศไม่เท่ากัน เมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ค่า Reynolds number ของอากาศจะเพิ่มขึ้น และเมื่อค่า Reynolds number ของอากาศเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคก๊าซ (K_{gc}) จะเพิ่มขึ้น

4.1.3 อิทธิพลจากอัตราการไหลของน้ำต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคแก๊ส

จากข้อมูลผลการทดลองที่ได้ทำการวิเคราะห์ห้ดังตารางข้างต้น พบว่าค่าอัตราการไหลของน้ำมีผลต่อค่า Sherwood's number (Sh) และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคก๊าซ (K_{gc}) เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น ค่า Sherwoods number และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคก๊าซ (K_{gc}) เพิ่มขึ้นด้วย และแนวโน้มดังกล่าวจะสอดคล้องกับผลที่ได้จากการคำนวณจากสหสัมพันธ์ แสดงได้ดังกราฟ



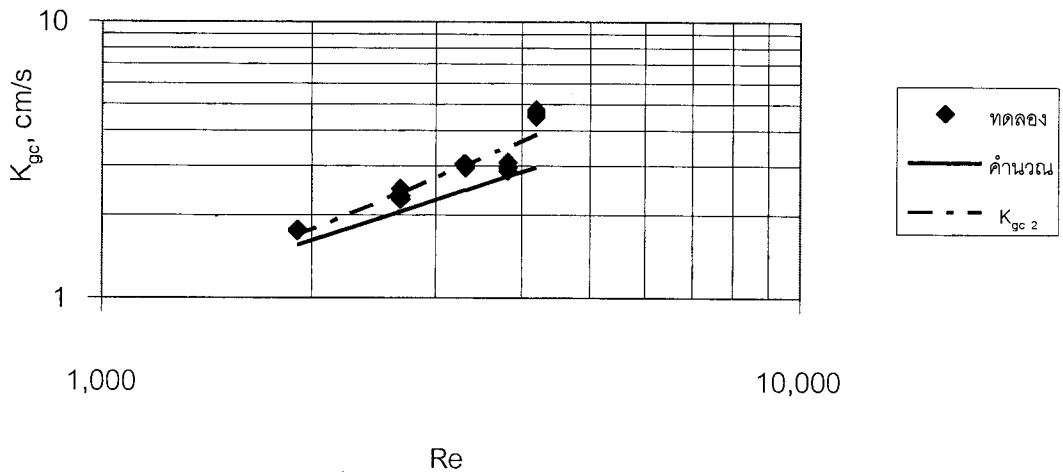
รูปที่ 4-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Gas phase mass transfer coefficient
กับ Reynolds number
(เมื่ออัตราการไหลของน้ำ 1 ลิตร/นาที โดยไม่ใช้ Heater คู่ร้อนอากาศเข้า)



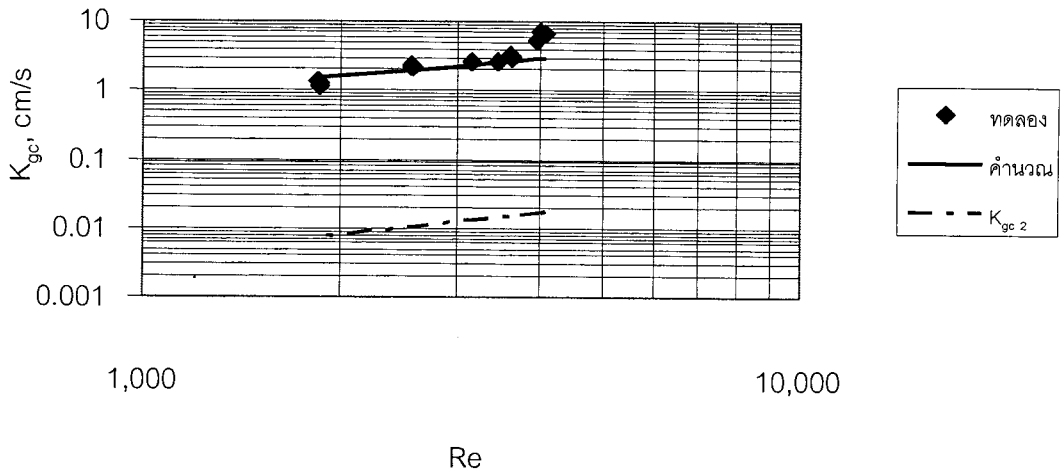
รูปที่ 4-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Gas phase mass transfer coefficient กับ Reynolds number
(เมื่ออัตราการไหลของน้ำ 0.4 ลิตร/นาที โดยไม่ใช้ Heater อุณหภูมิอากาศเข้า)

เมื่อเปรียบเทียบกราฟทั้ง 2 รูปที่ได้แสดงข้างต้นจะพบว่า เส้นกราฟข้อมูลจากรูปแรก (ใช้อัตราการไหลของน้ำ 1 L/h) จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคก๊าซ (K_{gc}) สูงกว่าเส้นกราฟข้อมูลจากรูปที่สอง

4.1.4 อิทธิพลจากอุณหภูมิของอากาศต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคแก๊ส จากข้อมูลผลการทดลองที่ได้ทำการวิเคราะห์หัตถ์ตารางข้างต้น พบว่าอุณหภูมิของอากาศมีผลต่อค่า Sherwood's number (Sh) และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคก๊าซ (K_{gc}) เมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น ค่า Sherwoods number และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคก๊าซ (K_{gc}) เพิ่มขึ้นด้วย และแนวโน้มดังกล่าวจะสอดคล้องกับผลที่ได้จากการคำนวณจากสหสัมพันธ์แสดงได้ดังกราฟ



รูปที่ 4-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Gas phase mass transfer coefficient
กับ Reynolds number
(เมื่ออัตราการไหลของน้ำ 1 ลิตร/นาที โดยไม่ใช้ Heater อุณหภูมิอากาศเข้า)



รูปที่ 4-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Gas phase mass transfer coefficient กับ Reynolds number (เมื่ออัตราการไหลของน้ำ 1 ลิตร/นาที โดยใช้ Heater อุ่นร้อนอากาศเข้า)

เมื่อเปรียบเทียบกราฟทั้ง 2 รูปที่ได้แสดงข้างต้นจะพบว่า เส้นกราฟข้อมูลจากรูปที่สอง (ใช้ heater อุ่นอากาศให้ร้อนก่อนป้อนเข้า) จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคก๊าซ (K_{gc}) สูงกว่าเส้นกราฟข้อมูลจากรูปแรก

4.2 สรุปผลการทดลอง

1) จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นจะพบว่า ค่าอัตราการไหลของอากาศ และน้ำ รวมทั้งอุณหภูมิของอากาศ มีผลต่อค่า Sherwood's number (Sh) และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในก๊าซ (K_{gc}) เมื่อทำการเพิ่มค่าของตัวแปรทั้งสามขึ้น พบว่าค่า Sherwood's number และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในก๊าซ (K_{gc}) เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้เมื่อนำค่าที่คำนวณได้จากข้อมูลผลการทดลองจริงเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากสหสัมพันธ์ พบว่าค่าที่ได้ไม่เท่ากันแต่มีแนวโน้มเดียวกันที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดมาจากประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดหรือความคลาดเคลื่อน

ของชุดอุปกรณ์บางจุด แต่สามารถนำชุดอุปกรณ์ดังกล่าวไปใช้การประกอบการเรียนการสอน รายวิชา 230 – 443 chemical engineering lab II ได้

นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อทำการทดลองเพิ่มอัตราการไหลของน้ำก็ทำให้ค่าทั้งสอง เพิ่มขึ้นเช่นกัน

2) เมื่อทำการทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศที่ป้อนเข้าระบบโดยเพิ่มให้ มีค่ามากขึ้น พบว่าจะส่งผลทำให้ค่า Sherwood number และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในก๊าซ (K_{gc}) มีค่ามากขึ้น

3) จากกราฟแสดงความระหว่าง Sherwood number และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในก๊าซ (K_{gc}) และค่า Reynold's number (Re) ที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ พบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน คือเมื่อ Re เพิ่ม ค่า Sh และ K_{gc} เพิ่มขึ้นด้วย แต่กราฟที่ได้จากการทดลองจะมีค่าเบี่ยงเบนไปจากกราฟที่ได้จากสหสัมพันธ์ ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดมาจากความคลื่อนอันเกิดจากการทดลอง นั่นคือ อุณหภูมิของอากาศมีค่าไม่คงที่

บทที่ 5

สรุปผลประโยชน์ที่ได้รับและข้อเสนอแนะ

5.1 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) ประโยชน์ที่หน่วยงานได้รับ

ชุดปฏิบัติการ Wetted-wall column เป็นการสร้างทดแทนเครื่องมือทดลองชุดเก่าที่ไม่ได้เป็นครุภัณฑ์ แต่ใช้ในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการ 230-443 ซึ่งเครื่องมือชุดดังกล่าวได้ชำรุดและเสื่อมสภาพทำให้ได้ข้อมูลจากการทดลองไม่ถูกต้องเป็นการจัดทำสิ่งประดิษฐ์ซึ่งใช้สนับสนุนการเรียนการสอนหัวข้อปฏิบัติการในรายวิชา 230-443 ปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี 2 โดยจะนำมาใช้ทดแทนชุดปฏิบัติการเดิม โดยลดขนาดลง เพิ่มอุปกรณ์วัดและควบคุมภาวะการทดลองให้มีขอบเขตกว้างขวางขึ้น ทำให้นักศึกษาสามารถเข้าใจเนื้อหาในทฤษฎีและนำผลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์และสอบทานกับสมการที่ใช้ทำนายผลต่างๆ ได้ดี

การทดลองนี้ได้ใช้กรรมวิธีวัดและวิเคราะห์อย่างง่ายจากเอกสารพื้นฐาน เพื่อให้นักศึกษาได้ค้นคว้าเอกสารมาเปรียบเทียบได้ง่าย การสร้างชุด Wetted-wall column นี้เป็นโครงการวิจัยประเภทครุภัณฑ์และสื่อการสอนของคณะวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อทดแทนหรือสร้างชิ้นใหม่ของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ชุด Wetted-wall Column นี้ ใช้งบจัดสร้างในจำนวน 74,997 บาท (เจ็ดหมื่นสี่พันเก้าร้อยเก้าสิบบาทถ้วน) ปัญหาสำคัญในการจัดสร้างคือ การอ่านค่าการระเหยของน้ำในถังพักไม่มีอุปกรณ์หรือเครื่องมือสำเร็จรูปที่สามารถอ่านค่าได้โดยตรง เนื่องจากท่อมีขนาดเล็กต้องใช้สายตาของแต่ละบุคคลอ่านทำให้การอ่านสเกลมีผลคลาดเคลื่อนบ้างเล็กน้อย

2) ประโยชน์สำหรับนักศึกษาและการนำไปใช้งานของการศึกษาเรื่อง Wetted-wall Column

1) เป็นอุปกรณ์ปฏิบัติการพื้นฐาน ที่ช่วยให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจกลไกการถ่ายโอนมวลได้ดีขึ้น สามารถรองรับการถ่ายโอนมวลระหว่างเฟส (Phase) ทั้งส่วนของการถ่ายโอนจากเฟสของเหลวมายังเฟสแก๊ส หรือการถ่ายโอนมวลจากเฟสแก๊สมายังเฟสของเหลว เข้าใจถึงความต้านทานในการถ่ายโอนมวล (Mass transfer resistance) ทั้งในเฟสแก๊ส เฟสของเหลว และระหว่างเฟส (Interphase) รวมทั้งสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล (Mass transfer coefficient) ภายในคอลัมน์ได้ อุปกรณ์ที่จัดสร้างขึ้นสามารถรองรับการทำปฏิบัติการของนักศึกษา

ได้เช่นเดียวกับอุปกรณ์สำเร็จรูปที่นำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูงกว่าไม่น้อยกว่า 5 เท่า

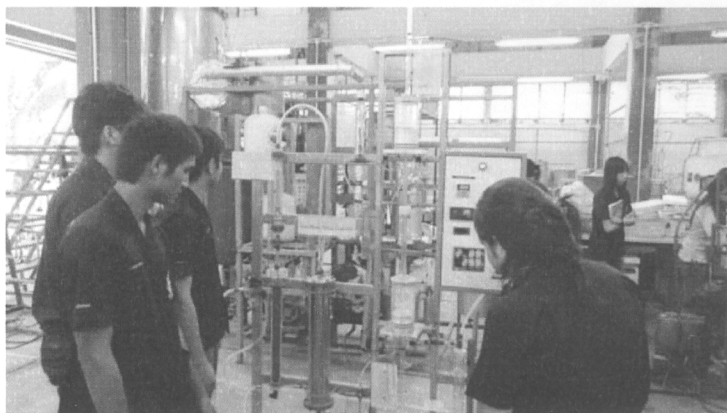
- 2) นักศึกษาสามารถนำความรู้ความเข้าใจจากการใช้อุปกรณ์นี้ในห้องปฏิบัติการ ไปออกแบบเครื่องมือในการดูดซับสาร (Absorbtion) ซึ่งมีอัตราการดูดซับไม่สูงมากได้ เนื่องจากอุปกรณ์นี้มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ รวมทั้งสามารถนำไปใช้พื้นฐานหรือข้อมูลตั้งต้นในการออกแบบอุปกรณ์ชนิดอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพในการถ่ายโอนมวลสูงกว่า เช่น Spray column หรือ Packed column ได้

5.2 รูปภาพแสดงการศึกษาดลองใช้ชุดทดลองWetted-wall column

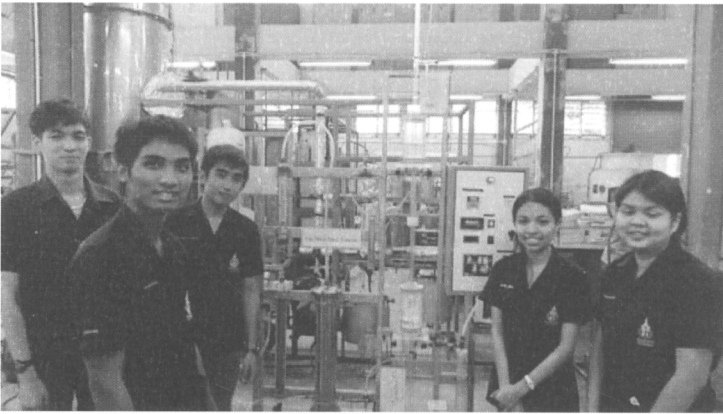
ของนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ แสดงดังรูปที่ 5-2 ถึงรูปที่ 5-5



รูปที่ 5-2 ชุดอุปกรณ์ Wetted-wall column



รูปที่ 5-3 นักศึกษาดลองปฏิบัติการใช้ชุดทดลอง Wetted-wall column



รูปที่ 5-4 นักศึกษาทดลองปฏิบัติการใช้ชุดทดลอง Wetted-wall column



รูปที่ 5-5 นักศึกษาทดลองปฏิบัติการใช้ชุดทดลอง Wetted-wall column

5.3 ข้อเสนอนแนะ

1. จากการทดลองอัตราการไหลของอากาศไม่สามารถปรับให้สูงกว่า 60 ลิตร/นาที เพราะน้ำที่ไหลลงจากคอลัมน์ตอนบนไม่สามารถไหลลงสู่คอลัมน์ด้านล่างได้ทั้งหมด แต่จะถูกอากาศที่มีอัตราการไหลสูงพาขึ้นไปพร้อมกับอากาศออกสู่ปลายคอลัมน์ทางด้านบน
2. จากการทดลองเมื่อใช้อากาศที่มีอุณหภูมิแลกเปลี่ยนสูงมากกว่า 50°C ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับน้ำไม่สามารถแลกเปลี่ยนกันได้ดีตามที่ต้องการ ซึ่งทำให้ไม่สามารถเพิ่มการทดลองของอากาศที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นได้ ซึ่งทางผู้ทดลองคิดว่าจะต้องทำการปรับปรุงชุดแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการสร้างและทดสอบชุดปฏิบัติการ Wetted-wall Column นี้ได้รับ
ทุนอุดหนุน จากเงินรายได้ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ประเภทสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการเรียนการสอน
ในรายวิชา 230-443 (Chemical Engineering Lab II) ประจำปี 2549

ขอขอบคุณดร.สุธรรม สุขมณี อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้คำปรึกษาและสนับสนุนโครงการวิจัยนี้

บรรณานุกรม

1. Coulson, J.M., and Richardson, J.F., "Chemical Engineering", Vol 2, 3rd edition, Pergamon Press, 1999
2. Gilliland, E.R., and Sherwood, T.K., "Ind.Eng.Chem.", Vol. 26, 1934
3. Perry, R.H., and Chilton, C.H. "Chemical Engineers Handbook", 7th edition, McGraw-Hill Book Co., 1997
4. Sherwood, T.K., Pigford, R.L. and Wilke, C.R., "Mass Transfer", McGraw-Hill Book Co., 1975

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก) ข้อมูลการทดลอง

การทดลองที่	น้ำ						อากาศ							
	เวลา	อัตราการไหล	อุณหภูมิเข้า	อุณหภูมิออก	ระดับลดลง	เวลา	อัตราการไหล	ความดันเข้า	Rh เข้า	อุณหภูมิเข้า	ความดันออก	Rh ออก	อุณหภูมิออก	
	min	L/min	°C	°C	mm	min	L/h	mmH ₂ O	%	°C	mmH ₂ O	%	°C	
1	0	1	25.9	25.2			60	13	1	26.4	1	78	26.6	
	5		25.2	25.5					1	26.5		76	26.5	
	10		25.7	24.9					1	26.5		75	26.5	
	15		25.5	24.5	8	10			1	26.4		75	26.3	
2	0	1	25.1	24.2			50	11	1	26.7	1	75	26.4	
	5		25.4	24.7					1	26.7		75	26.5	
	10		25.7	24.7					1	26.7		75	26.6	
	15		25.4	24.5	5	10			1	26.7		75	26.5	
3	0	1	25.3	24.7			40	9	1	26.7	1	76	26.6	
	5		25.6	24.8					1	26.8		76	26.7	
	10		25.6	24.6					1	26.9		76	26.8	
	15		25.5	24.6	5	10			1	26.9		76	26.7	
4	0	1	26.0	26.6			30	7	1	26.8	1	80	27.3	
	5		26.5	25.9					1	27.0		79	27.4	
	10		26.5	25.5					1	27.0		79	27.3	
	15		26.4	26.4	4	10			1	26.8		79	27.2	
5	0	1	26.5	25.6			20	5	1	26.8	1	80	27.2	
	5		26.9	26.3					1	27.3		80	27.7	
	10		26.9	26.2					1	27.4		80	27.8	
	15		27.0	26.3	3	10			1	27.4		80	27.8	

การทดลองที่	น้ำ						อากาศ						
	เวลา	อัตราการไหล	อุณหภูมิเข้า	อุณหภูมิออก	ระดับลดลง	เวลา	อัตราการไหล	ความดันเข้า	Rh เข้า	อุณหภูมิเข้า	ความดันออก	Rh ออก	อุณหภูมิออก
	min	L/min	°C	°C	mm	min	L/h	mmH2O	%	°C	mmH2O	%	°C
6	0	0.4	27.9	26.7			60	13	2	28.0	1	74	28.3
	5		27.7	26.0					2	28.1		73	28.3
	10		27.6	26.5					2	28.1		73	28.1
	15		25.6	25.6	8	10			2	28.1		73	28.1
7	0	0.4	27.1	25.5			50	11	2	28.2	1	73	28.1
	5		27.1	25.9					2	28.1		73	28.1
	10		27.3	25.5					2	28.2		73	28.2
	15		27.3	25.5	7	10			2	28.2		73	28.2
8	0	0.4	27.2	26.0			40	9	2	28.2	1	74	28.2
	5		27.4	25.9					2	28.2		74	28.3
	10		27.5	26.3					2	28.3		74	28.4
	15		27.5	26.3	5	10			2	28.3		74	28.4
9	0	0.4	27.4	26.2			30	7	3	28.3	1	75	28.5
	5		27.7	26.3					3	28.3		75	28.5
	10		27.8	26.8					3	28.3		75	28.6
	15		27.8	26.8	5	10			3	28.4		75	28.6
10	0	0.4	27.7	26.7			20	3	3	28.3	1	74	28.6
	5		28.0	27.3					3	28.3		74	28.7
	10		28.1	27.3					3	28.3		74	28.7
	15		28.3	27.3	3	10			3	28.3		74	28.7

การทดลองที่	น้ำ						อากาศ							
	เวลา	อัตราการไหล	อุณหภูมิเข้า	อุณหภูมิออก	ระดับลดลง	เวลา	อัตราการไหล	ความดันเข้า	Rh เข้า	อุณหภูมิเข้า	ความดันออก	Rh ออก	อุณหภูมิออก	
	min	L/min	°C	°C	mm	min	L/h	mmH2O	%	°C	mmH2O	%	°C	
11	0	1	25.8	24.8			60	13	1	32.5	1	76	27.7	
	5		27.1	25.9					1	35.5		75	30.1	
	10		28.7	27.1					1	36.6		74	30.9	
	15		28.9	28.3	10	10			1	39.7		74	30.7	
12	0	1	30.7	29.0			50	11	1	39.0	1	76	31.6	
	5		31.4	30.3					1	38.6		77	31.6	
	10		31.0	30.1					1	38.6		77	31.7	
	15		30.8	30.1	7	10			1	38.5		77	31.8	
13	0	1	31.0	30.5			40	9	1	7.1	1	80	31.6	
	5		31.2	31.5					1	37.0		80	31.7	
	10		31.6	31.1					1	37.1		80	31.9	
	15		31.5	31.5	6	10			1	37.1		80	31.9	
14	0	1	31.3	30.5			30	7	1	36.8	1	82	31.8	
	5		32.0	31.5					1	35.7		84	31.7	
	10		32.2	31.1					1	35.8		84	31.7	
	15		31.7	31.5	5	10			1	35.7		84	31.8	
15	0	1	31.9	31.4			20	5	1	35.2	1	86	31.7	
	5		32.4	31.9					1	34.3		88	31.5	
	10		33.0	32.9					1	34.0		88	31.5	
	15		33.5	32.9	3	10			1	34.0		88	31.8	

การทดลองที่	น้ำ						อากาศ							
	เวลา	อัตราการไหล	อุณหภูมิเข้า	อุณหภูมิออก	ระดับลดลง	เวลา	อัตราการไหล	ความดันเข้า	Rh เข้า	อุณหภูมิเข้า	ความดันออก	Rh ออก	อุณหภูมิออก	
	min	L/min	°C	°C	mm	min	L/h	mmH2O	%	°C	mmH2O	%	°C	
16	0	0.4	29.0	26.2			60	13	1	33.7	1	80	27.2	
	5		30.5	28.6					1	37.3		79	31.2	
	10		31.6	29.5					1	37.1		78	31.3	
	15		32.1	30.1	10	10			1	37.2		78	32.3	
17	0	0.4	33.3	31.5			50	11	1	36.4	1	81	32.8	
	5		33.2	31.8					1	36.6		81	33.3	
	10		33.3	31.7					1	36.7		81	33.3	
	15		33.6	31.8	9	10			1	36.7		81	33.3	
18	0	0.4	33.4	31.8			40	9	1	36.5	1	81	33.3	
	5		34.1	32.6					1	35.7		84	33.3	
	10		33.9	32.7					1	35.6		84	33.4	
	15		33.9	32.5	8	10			1	35.5		84	33.4	
19	0	0.4	34.0	32.9			30	7	2	35.4	1	85	33.4	
	5		34.5	33.9					2	36.1		85	34.0	
	10		35.2	34.1					2	36.5		85	33.4	
	15		35.9	34.5	8	10			2	36.2		85	33.4	
20	0	0.4	36.4	34.6			20	5	2	36.0	1	86	34.5	
	5		37.3	36.8					2	36.0		88	34.4	
	10		37.9	37.2					2	36.0		88	35.6	
	15		38.1	37.7	5	10			2	36.0		88	36.1	

การทดลองที่	เวลา, min	น้ำ								อากาศ									
		อุณหภูมิเฉลี่ย, °C	ρ , g/cm ³	μ , cP	อัตราการไหล, cm ³ /s	Re _L	การระเหย, mol/s	ความดันไอ1, mmHg	ความดันไอ2, mmHg	อัตราการไหล, L/s	ความดัน1, mmHg	ความดันส่วน1, mmHg	ความดัน2, mmHg	ความดันส่วน2, mmHg	การระเหย, mol/s	DPlm, mmHg	r , g/L	m , g/cm-s	D_{AB} , cm ² /s
1	0	25.55	0.999	0.900	16.67	22.0	0.00098	23.89	24.91	0.83260	760.96	0.2565	760.07	20.25	0.0009	11.687	1.179	0.00018	0.2624
1	5	25.35	0.999	0.904	16.67	21.9	0.00098	24.32	23.89	0.83260	760.96	0.2581	760.07	19.62	0.0009	11.451	1.179	0.00018	0.2624
1	10	25.30	0.999	0.905	16.67	21.9	0.00098	23.47	24.61	0.83260	760.96	0.2581	760.07	19.36	0.0009	12.086	1.179	0.00018	0.2624
1	15	25.00	0.999	0.911	16.67	21.7	0.00098	22.91	24.32	0.83260	760.96	0.2565	760.07	19.13	0.0008	11.855	1.180	0.00018	0.2622
2	0	24.65	0.999	0.918	16.67	21.6	0.00062	22.5	23.75	0.75993	760.81	0.2611	760.07	19.24	0.0008	11.114	1.179	0.00018	0.2625
2	5	25.05	0.999	0.910	16.67	21.7	0.00062	23.19	24.18	0.75993	760.81	0.2611	760.07	19.36	0.0008	11.613	1.179	0.00018	0.2626
2	10	25.20	0.999	0.907	16.67	21.8	0.00062	23.19	24.61	0.75993	760.81	0.2611	760.07	19.47	0.0008	11.896	1.178	0.00018	0.2626
2	15	24.95	0.999	0.912	16.67	21.7	0.00062	22.91	24.18	0.75993	760.81	0.2611	760.07	19.36	0.0008	11.525	1.179	0.00018	0.2626
3	0	25.00	0.999	0.911	16.67	21.7	0.00062	23.19	24.03	0.66082	760.66	0.2611	760.07	19.73	0.0007	11.130	1.178	0.00018	0.2626
3	5	25.20	0.999	0.907	16.67	21.8	0.00062	23.33	24.47	0.66082	760.66	0.2627	760.07	19.84	0.0007	11.478	1.178	0.00018	0.2628
3	10	25.10	0.999	0.909	16.67	21.8	0.00062	23.05	24.47	0.66082	760.66	0.2642	760.07	19.97	0.0007	11.278	1.177	0.00018	0.263
3	15	25.05	0.999	0.910	16.67	21.7	0.00062	23.05	24.32	0.66082	760.66	0.2642	760.07	19.84	0.0007	11.251	1.178	0.00018	0.2629
4	0	26.30	0.998	0.885	16.67	22.3	0.00049	25.96	25.05	0.53528	760.51	0.2627	760.07	21.64	0.0006	11.035	1.177	0.00018	0.2633
4	5	26.20	0.998	0.887	16.67	22.3	0.00049	24.91	25.81	0.53528	760.51	0.2658	760.07	21.50	0.0006	11.666	1.176	0.00018	0.2635
4	10	26.00	0.998	0.891	16.67	22.2	0.00049	24.32	25.81	0.53528	760.51	0.2658	760.07	21.37	0.0006	11.609	1.176	0.00018	0.2634
4	15	26.40	0.998	0.883	16.67	22.4	0.00049	25.65	25.65	0.53528	760.51	0.2627	760.07	21.24	0.0006	11.981	1.177	0.00018	0.2632
5	0	26.05	0.998	0.890	16.67	22.2	0.00037	24.47	25.81	0.38329	760.37	0.2627	760.07	21.51	0.0004	11.518	1.177	0.00018	0.2632
5	5	26.60	0.998	0.880	16.67	22.5	0.00037	25.5	26.42	0.38329	760.37	0.2705	760.07	22.15	0.0004	11.797	1.175	0.00018	0.264
5	10	26.55	0.998	0.881	16.67	22.4	0.00037	25.35	26.42	0.38329	760.37	0.2721	760.07	22.28	0.0005	11.624	1.174	0.00018	0.2642
5	15	26.65	0.998	0.879	16.67	22.5	0.00037	25.5	26.58	0.38329	760.37	0.2721	760.07	22.28	0.0005	11.828	1.174	0.00018	0.2642

การทดลองที่	เวลา, min	น้ำ								อากาศ									
		อุณหภูมิเฉลี่ย, °C	ρ , g/cm ³	μ , cP	อัตราการไหล, cm ³ /s	Re _L	การกระเทย, mol/s	ความดันไอ1, mmHg	ความดันไอ2, mmHg	อัตราการไหล, L/s	ความดัน1, mmHg	ความดันส่วน1, mmHg	ความดัน2, mmHg	ความดันส่วน2, mmHg	การกระเทย, mol/s	DPlm, mmHg	r , g/L	m , g/cm-s	D _{AB} , cm ² /s
6	0	27.30	0.998	0.866	6.67	9.1	0.00098	26.11	28.02	0.83260	760.96	0.5636	760.07	21.22	0.0009	14.161	1.173	0.00018	0.265
6	5	26.85	0.998	0.875	6.67	9.0	0.00098	25.05	27.69	0.83260	760.96	0.567	760.07	20.94	0.0009	13.766	1.172	0.00018	0.2651
6	10	27.05	0.998	0.871	6.67	9.1	0.00098	25.81	27.53	0.83260	760.96	0.567	760.07	20.70	0.0009	14.089	1.173	0.00018	0.265
6	15	25.60	0.999	0.899	6.67	8.8	0.00098	24.47	24.47	0.83260	760.96	0.567	760.07	20.70	0.0009	10.905	1.173	0.00018	0.265
7	0	26.30	0.998	0.885	6.67	8.9	0.00086	24.32	26.73	0.75993	760.81	0.5702	760.07	20.70	0.0008	12.930	1.172	0.00018	0.265
7	5	26.50	0.998	0.882	6.67	9.0	0.00086	24.91	26.73	0.75993	760.81	0.567	760.07	20.70	0.0008	13.127	1.173	0.00018	0.265
7	10	26.40	0.998	0.883	6.67	9.0	0.00086	24.32	27.05	0.75993	760.81	0.5702	760.07	20.81	0.0008	13.098	1.172	0.00018	0.2651
7	15	26.40	0.998	0.883	6.67	9.0	0.00086	24.32	27.05	0.75993	760.81	0.5702	760.07	20.81	0.0008	13.098	1.172	0.00018	0.2651
8	0	26.60	0.998	0.880	6.67	9.0	0.00061	25.05	26.89	0.66082	760.66	0.5702	760.07	21.10	0.0007	12.966	1.172	0.00018	0.2651
8	5	26.65	0.998	0.879	6.67	9.0	0.00061	24.91	27.21	0.66082	760.66	0.5702	760.07	21.22	0.0007	13.085	1.172	0.00018	0.2652
8	10	26.90	0.998	0.874	6.67	9.0	0.00061	25.5	27.37	0.66082	760.66	0.5736	760.07	21.35	0.0007	13.307	1.172	0.00018	0.2654
8	15	26.90	0.998	0.874	6.67	9.0	0.00061	25.5	27.37	0.66082	760.66	0.5736	760.07	21.35	0.0007	13.307	1.172	0.00018	0.2654
9	0	26.80	0.998	0.876	6.67	9.0	0.00061	25.35	27.21	0.53528	760.51	0.8604	760.07	21.76	0.0006	12.673	1.171	0.00018	0.2654
9	5	27.00	0.998	0.872	6.67	9.1	0.00061	25.5	27.69	0.53528	760.51	0.8604	760.07	21.76	0.0006	13.138	1.171	0.00018	0.2654
9	10	27.30	0.998	0.866	6.67	9.1	0.00061	26.27	27.85	0.53528	760.51	0.8604	760.07	21.89	0.0006	13.417	1.171	0.00018	0.2655
9	15	27.30	0.998	0.866	6.67	9.1	0.00061	26.27	27.85	0.53528	760.51	0.8655	760.07	21.89	0.0006	13.416	1.171	0.00018	0.2656
10	0	27.20	0.998	0.868	6.67	9.1	0.00037	26.11	27.69	0.38329	760.22	0.8604	760.07	21.59	0.0004	13.478	1.171	0.00018	0.2655
10	5	27.65	0.998	0.860	6.67	9.2	0.00037	27.05	28.18	0.38329	760.22	0.8604	760.07	21.72	0.0004	14.096	1.171	0.00018	0.2656
10	10	27.70	0.998	0.859	6.67	9.2	0.00037	27.05	28.35	0.38329	760.22	0.8604	760.07	21.72	0.0004	14.239	1.171	0.00018	0.2656
10	15	27.80	0.998	0.857	6.67	9.2	0.00037	27.05	28.68	0.38329	760.22	0.8604	760.07	21.72	0.0004	14.512	1.171	0.00018	0.2656

การทดลองที่	เวลา, min	น้ำ								อากาศ									
		อุณหภูมิเฉลี่ย, °C	ρ , g/cm ³	μ , cP	อัตราการไหล, cm ³ /s	Re _L	การระเหย, mol/s	ความดันไอ 1, mmHg	ความดันไอ 2, mmHg	อัตราการไหล, L/s	ความดัน 1, mmHg	ความดันส่วน 1, mmHg	ความดัน 2, mmHg	ความดันส่วน 2, mmHg	การระเหย, mol/s	DP _{lm} , mmHg	ρ , g/L	μ , g/cm-s	D _{AB} , cm ² /s
11	0	25.30	0.999	0.905	16.67	21.9	0.00123	23.33	24.76	0.83260	760.96	0.3649	760.07	21.04	0.0009	10.568	1.165	0.00018	0.2682
11	5	26.50	0.998	0.882	16.67	22.4	0.00123	24.91	26.73	0.83260	760.96	0.4314	760.07	23.87	0.0010	10.066	1.155	0.00018	0.2725
11	10	27.90	0.997	0.855	16.67	23.1	0.00123	26.73	29.35	0.83260	760.96	0.4583	760.07	24.66	0.0010	12.528	1.151	0.00018	0.274
11	15	28.60	0.997	0.842	16.67	23.5	0.00123	28.68	29.7	0.83260	760.96	0.5421	760.07	24.38	0.0010	13.703	1.146	0.00018	0.2763
12	0	29.85	0.997	0.820	16.67	24.1	0.00086	29.87	32.94	0.75993	760.81	0.5221	760.07	26.35	0.0010	15.237	1.145	0.00018	0.2765
12	5	30.85	0.996	0.803	16.67	24.6	0.00086	32.19	34.28	0.75993	760.81	0.5109	760.07	26.70	0.0010	16.854	1.146	0.00018	0.2762
12	10	30.55	0.996	0.809	16.67	24.4	0.00086	31.83	33.51	0.75993	760.81	0.5109	760.07	26.85	0.0010	15.929	1.146	0.00018	0.2762
12	15	30.45	0.996	0.810	16.67	24.4	0.00086	31.83	33.13	0.75993	760.81	0.5082	760.07	27.00	0.0010	15.441	1.146	0.00018	0.2762
13	0	30.75	0.996	0.805	16.67	24.5	0.00074	32.56	33.51	0.66082	760.66	0.0751	760.07	27.74	0.0010	15.463	1.208	0.00017	0.251
13	5	31.35	0.996	0.795	16.67	24.8	0.00074	34.48	33.89	0.66082	760.66	0.4684	760.07	27.90	0.0009	16.140	1.149	0.00018	0.275
13	10	31.35	0.996	0.795	16.67	24.8	0.00074	33.7	34.67	0.66082	760.66	0.471	760.07	28.22	0.0009	16.339	1.148	0.00018	0.2752
13	15	31.50	0.996	0.793	16.67	24.9	0.00074	34.48	34.48	0.66082	760.66	0.471	760.07	28.22	0.0009	16.400	1.148	0.00018	0.2752
14	0	30.90	0.996	0.803	16.67	24.6	0.00061	32.56	34.09	0.53528	760.51	0.4633	760.07	28.76	0.0008	14.911	1.149	0.00018	0.2749
14	5	31.75	0.996	0.789	16.67	25.0	0.00061	34.48	35.47	0.53528	760.51	0.4362	760.07	29.29	0.0008	16.329	1.151	0.00018	0.2739
14	10	31.65	0.996	0.790	16.67	25.0	0.00061	33.7	35.87	0.53528	760.51	0.4386	760.07	29.29	0.0008	16.466	1.151	0.00018	0.274
14	15	31.60	0.996	0.791	16.67	24.9	0.00061	34.48	34.87	0.53528	760.51	0.4362	760.07	29.46	0.0008	15.568	1.151	0.00018	0.274
15	0	31.65	0.996	0.790	16.67	25.0	0.00037	34.28	35.27	0.38329	760.37	0.4243	760.07	29.99	0.0006	15.380	1.152	0.00018	0.2735
15	5	32.15	0.995	0.782	16.67	25.2	0.00037	35.27	36.28	0.38329	760.37	0.4036	760.07	30.34	0.0006	16.342	1.154	0.00018	0.2726
15	10	32.95	0.995	0.770	16.67	25.6	0.00037	37.32	37.53	0.38329	760.37	0.3969	760.07	30.34	0.0006	18.170	1.155	0.00018	0.2724
15	15	33.20	0.995	0.766	16.67	25.7	0.00037	37.32	38.6	0.38329	760.37	0.3969	760.07	30.86	0.0006	18.677	1.154	0.00018	0.2726

การทดลองที่	เวลา, min	น้ำ								อากาศ									
		อุณหภูมิเฉลี่ย, °C	ρ , g/cm ³	μ , cP	อัตราการไหล, cm ³ /s	Re_L	การระเหย, mol/s	ความดันไอ1, mmHg	ความดันไอ2, mmHg	อัตราการไหล, L/s	ความดัน1, mmHg	ความดันส่วน1, mmHg	ความดัน2, mmHg	ความดันส่วน2, mmHg	การระเหย, mol/s	DPlm, mmHg	ρ , g/L	μ , g/cm-s	D_{AB} , cm ² /s
16	0	27.60	0.998	0.861	6.67	9.2	0.00123	25.35	29.87	0.83260	760.96	0.3903	760.07	21.51	0.0009	15.175	1.164	0.00018	0.2687
16	5	29.55	0.997	0.826	6.67	9.6	0.00123	29.18	32.56	0.83260	760.96	0.4762	760.07	26.77	0.0011	14.310	1.149	0.00018	0.2748
16	10	30.55	0.996	0.809	6.67	9.8	0.00123	30.75	34.67	0.83260	760.96	0.471	760.07	26.59	0.0011	16.804	1.150	0.00018	0.2747
16	15	31.10	0.996	0.799	6.67	9.9	0.00123	31.83	35.67	0.83260	760.96	0.4736	760.07	28.14	0.0012	16.700	1.147	0.00018	0.2756
17	0	32.40	0.995	0.778	6.67	10.1	0.00110	34.48	38.17	0.75993	760.81	0.4533	760.07	30.06	0.0012	18.073	1.148	0.00018	0.2754
17	5	32.50	0.995	0.777	6.67	10.2	0.00110	35.07	37.95	0.75993	760.81	0.4583	760.07	30.92	0.0012	17.306	1.147	0.00018	0.2759
17	10	32.50	0.995	0.777	6.67	10.2	0.00110	34.87	38.17	0.75993	760.81	0.4608	760.07	30.92	0.0012	17.442	1.146	0.00018	0.276
17	15	32.70	0.995	0.773	6.67	10.2	0.00110	35.07	38.81	0.75993	760.81	0.4608	760.07	30.92	0.0012	18.074	1.146	0.00018	0.276
18	0	32.60	0.995	0.775	6.67	10.2	0.00098	35.07	38.38	0.66082	760.66	0.4558	760.07	30.92	0.0010	17.695	1.147	0.00018	0.2758
18	5	33.35	0.995	0.763	6.67	10.3	0.00098	36.69	39.91	0.66082	760.66	0.4362	760.07	32.06	0.0011	18.562	1.148	0.00018	0.2752
18	10	33.30	0.995	0.764	6.67	10.3	0.00098	36.9	39.47	0.66082	760.66	0.4338	760.07	32.24	0.0011	18.068	1.148	0.00018	0.2752
18	15	33.20	0.995	0.766	6.67	10.3	0.00098	36.49	39.47	0.66082	760.66	0.4314	760.07	32.24	0.0011	17.941	1.148	0.00018	0.2751
19	0	33.45	0.995	0.762	6.67	10.3	0.00098	37.32	39.69	0.53528	760.51	0.858	760.07	32.62	0.0009	17.915	1.148	0.00018	0.275
19	5	34.20	0.994	0.750	6.67	10.5	0.00098	39.47	40.81	0.53528	760.51	0.8918	760.07	33.74	0.0009	18.572	1.146	0.00018	0.2761
19	10	34.65	0.994	0.744	6.67	10.6	0.00098	39.91	42.43	0.53528	760.51	0.9116	760.07	32.62	0.0009	21.147	1.146	0.00018	0.2759
19	15	35.20	0.994	0.736	6.67	10.7	0.00098	40.81	44.1	0.53528	760.51	0.8966	760.07	32.62	0.0009	22.815	1.147	0.00018	0.2757
20	0	35.50	0.994	0.731	6.67	10.8	0.00061	41.04	45.33	0.38329	760.37	0.8868	760.07	35.10	0.0007	21.886	1.145	0.00018	0.2764
20	5	37.05	0.993	0.709	6.67	11.1	0.00061	46.33	47.62	0.38329	760.37	0.8868	760.07	35.72	0.0007	25.034	1.145	0.00018	0.2763
20	10	37.55	0.993	0.703	6.67	11.2	0.00061	47.36	49.19	0.38329	760.37	0.8868	760.07	38.17	0.0007	24.631	1.143	0.00018	0.2773
20	15	37.90	0.993	0.698	6.67	11.3	0.00061	48.66	49.73	0.38329	760.37	0.8868	760.07	39.24	0.0008	24.593	1.142	0.00018	0.2777

การทดลองที่	เวลา,min	Re _G	Sc	Calculated Sh		Calculated K _G ,cm/s		จากคูลน้ำในกระแสน้ำ				จากคูลน้ำในกระแสนอากาศ			
				Correlation#1	Correlation#2	Correlation#1	Correlation#2	N _A ,mol/cm ² -s	K _G ,mol/cm ² -s-mmHg	K _G ,cm/s	Sh	N _A ,mol/cm ² -s	K _G ,mol/cm ² -s-mmHg	K _G ,cm/s	Sh
1	0	4178	0.569	19.294	15.798	2.978	2.438	2.92	2.50	4.68	30.29	2.65	2.27	4.24	27.47
1	5	4178	0.569	19.294	15.784	2.978	2.436	2.92	2.55	4.77	30.92	2.57	2.24	4.19	27.13
1	10	4178	0.569	19.294	15.779	2.978	2.436	2.92	2.42	4.52	29.29	2.53	2.10	3.92	25.36
1	15	4180	0.569	19.304	15.782	2.977	2.434	2.92	2.47	4.61	29.88	2.50	2.11	3.94	25.56
2	0	3812	0.569	17.881	14.648	2.761	2.262	1.83	1.65	3.07	19.91	2.29	2.06	3.86	24.99
2	5	3811	0.569	17.877	14.647	2.762	2.262	1.83	1.57	2.94	19.05	2.31	1.99	3.72	24.06
2	10	3811	0.569	17.876	14.648	2.761	2.263	1.83	1.54	2.87	18.06	2.32	1.95	3.65	23.63
2	15	3811	0.569	17.877	14.647	2.762	2.262	1.83	1.59	2.97	19.20	2.31	2.00	3.74	24.24
3	0	3313	0.569	15.918	13.084	2.459	2.021	1.83	1.64	3.07	19.88	2.05	1.84	3.44	22.25
3	5	3312	0.569	15.911	13.080	2.460	2.022	1.83	11.59	2.98	19.27	2.06	1.79	3.35	21.69
3	10	3292	0.572	15.860	13.049	2.454	2.019	1.83	1.62	3.03	19.60	2.07	1.84	3.43	22.19
3	15	3293	0.572	15.863	13.050	2.453	2.018	1.83	1.62	3.04	19.65	2.06	1.83	3.42	22.11
4	0	2665	0.571	13.305	11.018	2.061	1.707	1.46	1.32	2.48	16.01	1.82	1.65	3.09	19.93
4	5	2664	0.571	13.298	11.010	2.061	1.707	1.46	1.25	2.35	15.14	1.81	1.55	2.90	18.70
4	10	2664	0.571	13.301	11.011	2.061	1.706	1.46	1.26	2.36	15.22	1.79	1.55	2.90	18.69
4	15	2665	0.571	13.308	11.015	2.060	1.705	1.46	1.22	2.28	14.75	1.79	1.49	2.79	18.02
5	0	1908	0.572	10.085	8.407	1.561	1.302	1.10	9.52	1.78	11.51	1.29	1.12	2.10	13.59
5	5	1905	0.571	10.067	8.398	1.563	1.304	1.10	9.29	1.74	11.22	1.33	1.13	2.12	13.62
5	10	1905	0.571	10.063	8.395	1.564	1.305	1.10	9.43	1.77	11.38	1.34	1.15	2.16	13.89
5	15	1905	0.571	10.063	8.395	1.564	1.305	1.10	9.27	1.74	11.18	1.34	1.13	2.12	13.65

การทดลองที่	เวลา,min	Re _G	Sc	Calculated Sh		Calculated K _G ,cm/s		จากจุดน้ำในกระแสน้ำ				จากจุดน้ำในกระแสอากาศ			
				Correlation#1	Correlation#2	Correlation#1	Correlation#2	N _A ,mol/cm ² -s	K _G ,mol/cm ² -s-mmHg	K _G ,cm/s	Sh	N _A ,mol/cm ² -s	K _G ,mol/cm ² -s-mmHg	K _G ,cm/s	Sh
6	0	4131	0.570	19.125	15.685	2.981	2.445	2.92	2.06	3.88	24.87	2.73	1.92	3.62	23.20
6	5	4131	0.569	19.121	15.676	2.982	2.444	2.92	2.12	3.99	25.58	2.69	1.95	3.67	23.52
6	10	4132	0.570	19.126	15.675	2.981	2.443	2.92	2.07	3.90	24.99	2.65	1.88	3.54	22.71
6	15	4132	0.570	19.126	15.675	2.981	2.443	2.92	2.68	5.04	32.31	2.65	2.43	4.57	29.34
7	0	3770	0.570	17.728	14.556	2.763	2.269	2.56	1.98	3.72	23.84	2.42	1.87	3.52	22.57
7	5	3771	0.570	17.729	14.557	2.764	2.269	2.56	1.95	3.66	23.48	2.42	1.85	3.47	22.24
7	10	3770	0.570	17.724	14.555	2.764	2.070	2.56	1.95	3.67	23.53	2.44	1.86	3.49	22.40
7	15	3770	0.570	17.724	14.555	2.764	2.270	2.56	1.95	3.67	23.53	2.44	1.86	3.49	22.40
8	0	3278	0.570	15.782	13.002	2.461	2.028	1.83	1.41	2.65	16.98	2.15	1.66	3.11	19.96
8	5	3277	0.569	15.779	13.001	2.462	2.028	1.83	1.40	2.62	16.82	2.16	1.65	3.10	19.89
8	10	3276	0.569	15.773	12.998	2.462	2.029	1.83	1.37	2.58	16.53	2.17	1.63	3.07	19.66
8	15	3276	0.569	15.773	12.998	2.462	2.029	1.83	1.37	2.58	16.53	2.17	1.63	3.07	19.66
9	0	2653	0.569	13.240	10.963	2.067	1.712	1.83	1.44	2.71	17.36	1.77	1.40	2.63	16.82
9	5	2653	0.569	13.240	10.963	2.067	1.712	1.83	1.39	2.61	16.74	1.77	1.35	2.53	16.22
9	10	2653	0.569	13.237	10.963	2.067	1.712	1.83	1.36	2.56	16.39	1.78	1.33	2.50	15.98
9	15	2652	0.569	13.235	10.960	2.068	1.712	1.83	1.36	2.56	16.39	1.78	1.33	2.49	15.97
10	0	1899	0.569	10.032	8.360	1.567	1.306	1.10	8.13	1.53	9.79	1.26	9.32	1.75	11.23
10	5	1899	0.569	10.029	8.360	1.567	1.306	1.10	7.77	1.46	9.36	1.26	8.97	1.69	10.80
10	10	1899	0.569	10.029	8.360	1.567	1.306	1.10	7.69	1.45	9.26	1.26	8.88	1.67	10.69
10	15	1899	0.569	10.029	8.360	1.567	1.306	1.10	7.55	1.42	9.09	1.26	8.71	1.64	10.49

การทดลองที่	เวลา,min	Re _G	Sc	Calculated Sh		Calculated K _G ,cm/s		จากจุดน้ำในกระแสน้ำ				จากจุดน้ำในกระแสน้ำอากาศ			
				Correlation#1	Correlation#2	Correlation#1	Correlation#2	N _A ,mol/cm ² -s	K _G ,mol/cm ² -s-mmHg	K _G ,cm/s	Sh	N _A ,mol/cm ² -s	K _G ,mol/cm ² -s-mmHg	K _G ,cm/s	Sh
11	0	4082	0.570	18.934	15.529	2.987	2.450	3.66	3.46	6.54	41.46	2.69	2.54	4.81	30.49
11	5	4023	0.569	18.699	15.398	2.997	2.468	3.65	3.63	6.92	43.20	3.02	3.00	5.72	35.68
11	10	3988	0.571	18.585	15.328	2.995	2.470	3.65	2.91	5.58	34.60	3.10	2.48	4.74	29.42
11	15	3969	0.569	18.490	15.239	3.005	2.477	3.65	2.66	5.12	31.51	3.03	2.21	4.25	26.13
12	0	3621	0.568	17.133	14.184	2.787	2.307	2.55	1.68	3.22	19.82	3.00	1.97	3.79	23.28
12	5	3624	0.569	17.144	14.201	2.785	2.307	2.55	1.51	2.91	17.91	3.05	1.81	3.47	21.38
12	10	3623	0.569	17.143	14.203	2.785	2.308	2.55	1.60	3.08	18.96	3.06	1.92	3.70	22.75
12	15	3623	0.569	17.143	14.206	2.785	2.308	2.55	1.65	3.18	19.56	3.08	2.00	3.84	23.62
13	0	3455	0.571	16.498	13.704	2.436	2.023	2.19	1.41	2.58	17.48	3.11	2.01	3.67	24.85
13	5	3159	0.570	15.307	12.737	2.476	2.060	2.19	1.35	2.60	16.06	2.79	1.73	3.31	20.47
13	10	3157	0.570	15.299	12.736	2.477	2.062	2.19	1.34	2.57	15.86	2.82	1.73	3.31	20.45
13	15	3157	0.570	15.299	12.736	2.477	2.062	2.19	1.33	2.56	15.80	2.82	1.72	3.30	20.37
14	0	2559	0.570	12.853	10.753	2.078	1.739	1.82	1.22	2.34	14.49	2.33	1.56	3.00	18.53
14	5	2564	0.571	12.881	10.786	2.075	1.738	1.82	1.12	2.14	13.25	2.38	1.46	2.79	17.35
14	10	2563	0.571	12.878	10.784	2.076	1.738	1.82	1.11	2.12	13.14	2.38	1.45	2.77	17.19
14	15	2563	0.571	12.878	10.786	2.076	1.738	1.82	1.17	2.24	13.90	2.40	1.54	2.95	18.30
15	0	1837	0.571	9.771	8.245	1.572	1.326	1.09	7.11	1.36	8.45	1.75	1.14	2.18	13.54
15	5	1851	0.269	9.817	8.283	1.574	1.328	1.09	6.69	1.28	7.96	1.78	1.09	2.08	12.96
15	10	1852	0.569	9.822	8.288	1.574	1.328	1.09	6.01	1.15	7.16	1.78	9.81	1.87	11.67
15	15	1851	0.569	9.817	8.289	1.574	1.329	1.09	5.85	1.12	6.96	1.81	9.71	1.85	11.55

การทดลองที่	เวลา, min	Re _G	Sc	Calculated Sh		Calculated K _G , cm/s		จากดูน้ำในกระแสน้ำ				จากดูน้ำในกระแสนอากาศ			
				Correlation#1	Correlation#2	Correlation#1	Correlation#2	N _A , mol/cm ² -s	K _G , mol/cm ² -s-mmHg	K _G , cm/s	Sh	N _A , mol/cm ² -s	K _G , mol/cm ² -s-mmHg	K _G , cm/s	Sh
16	0	4077	0.569	18.912	15.520	2.989	2.453	3.65	2.41	4.56	28.82	2.73	1.80	3.41	21.59
16	5	3982	0.570	18.552	15.343	2.999	2.480	3.65	2.55	4.89	30.23	3.37	2.35	4.51	27.89
16	10	3982	0.570	18.556	15.342	2.998	2.479	3.65	2.17	4.16	25.74	3.34	1.99	3.81	23.61
16	15	3975	0.570	18.519	15.343	3.002	2.487	3.65	2.18	4.19	25.85	3.54	2.12	4.07	25.12
17	0	3630	0.569	17.175	14.293	2.782	2.315	3.28	1.81	3.48	21.49	3.47	1.92	3.68	22.73
17	5	3626	0.569	17.155	14.292	2.784	2.320	3.28	1.89	3.64	22.43	3.57	2.06	3.96	24.39
17	10	3625	0.569	17.151	14.289	2.785	2.320	3.28	1.88	3.61	22.25	3.56	2.04	3.93	24.18
17	15	3625	0.569	17.151	14.289	2.785	2.320	3.28	1.81	3.49	21.47	3.56	1.97	3.79	23.34
18	0	3153	0.569	15.287	12.765	2.479	2.071	2.91	1.65	3.16	19.50	3.10	1.75	3.37	20.75
18	5	3157	0.570	15.299	12.803	2.477	2.073	2.91	1.57	3.01	18.60	3.23	1.74	3.34	20.61
18	10	3157	0.570	15.299	12.807	2.477	2.073	2.91	1.61	3.09	19.11	3.25	1.80	3.45	21.30
18	15	3158	0.570	15.302	12.809	2.476	2.073	2.91	1.62	3.11	19.25	3.25	1.81	3.47	21.46
19	0	2558	0.570	12.894	10.807	2.079	1.748	2.91	1.63	3.12	19.28	2.63	1.47	2.81	17.39
19	5	2552	0.569	12.819	10.796	2.082	1.753	2.91	1.57	3.01	18.55	2.71	1.46	2.81	17.27
19	10	2553	0.569	12.824	10.785	2.081	1.750	2.91	1.38	2.64	16.30	2.61	1.24	2.38	14.63
19	15	2555	0.569	12.830	10.790	2.081	1.750	2.91	1.28	2.45	15.10	2.62	1.15	2.20	13.59
20	0	1826	0.569	9.708	8.247	1.578	1.341	1.82	8.31	1.60	9.83	2.02	9.24	1.78	10.93
20	5	1827	0.569	9.710	8.256	1.578	1.342	1.82	7.26	1.40	8.59	2.06	8.22	1.58	9.73
20	10	1813	0.571	9.662	8.248	1.576	1.345	1.82	7.38	1.42	8.71	2.20	9.95	1.72	10.57
20	15	1812	0.571	9.654	8.252	1.577	1.348	1.82	7.39	1.42	8.72	2.27	9.22	1.78	10.88

ภาคผนวก ข)
ตัวอย่างการคำนวณ

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

ใช้ข้อมูลของการทดลองที่ 1 ที่เวลา 15 นาที อัตราการไหลของน้ำ 1 L/min อุณหภูมิของน้ำ เข้า 25.5 °C ออก 24.5 °C ระดับน้ำในถังพักลดลง 8 mm ในเวลา 10 min. อากาศไหลเข้าคอลัมน์อ่านอัตราการไหลจาก Rotameter ได้ 60 L/h ความดันอากาศที่อ่านได้จาก Manometer ทางเข้า 13 mmH₂O ทางออก 1 mmH₂O อุณหภูมิของอากาศ เข้า 26.4 °C ออก 26.3 °C ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ทางเข้า 1% ทางออก 75%

กระแสน้ำ

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ } (T_w) = \frac{24.5 + 25.5}{2} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{ความหนาแน่นที่อุณหภูมิเฉลี่ย } (\rho_L) = 1.1465 - 0.000495 \times (273.15 + 25) = 0.999 \text{ g/cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการระเหยของน้ำ} &= \frac{8 \times 1.33}{10 \times 60} = 0.0177 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 0.0177 \times 0.999 = 0.0177 \frac{\text{g}}{\text{s}} \\ &= \frac{0.0177}{18} = 0.00098 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการระเหยของน้ำต่อพื้นที่ผิว } (N_A) \\ &= \frac{0.00098}{S} = \frac{0.00098}{336.4646} = 2.92 \times 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{cm}^2 - \text{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความดันไอของน้ำที่ตอนล่างคอลัมน์ } (P_{V1}) &= \text{ความดันไอของน้ำที่ออกจากคอลัมน์} \\ &= 10 \left(\frac{21.94583 - \frac{2876.225}{273.15 + 24.5} - 4.415497 \times \log(273.15 + 24.5)}{1} \right) = 22.91 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความดันไอของน้ำที่ตอนบนคอลัมน์ } (P_{V2}) &= \text{ความดันไอของน้ำที่เข้าคอลัมน์} \\ &= 10 \left(\frac{21.94583 - \frac{2876.225}{273.15 + 25.5} - 4.415497 \times \log(273.15 + 25.5)}{1} \right) = 24.32 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

กระแสอากาศ

$$\text{อัตราการไหลของอากาศ } (Q) = \frac{60}{60} = 1.0 \text{ L/s}$$

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ} = \frac{26.4 + 26.3}{2} = 26.35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{ความดันอากาศทางเข้า} = 760 + 13 \times \frac{760}{10332.72} = 761.0 \text{ mmHg}$$

$$\text{ความดันอากาศทางออก} = 760 + 1 \times \frac{760}{10332.72} = 760.1 \text{ mmHg}$$

$$\text{ความดันเฉลี่ยของอากาศ} = \frac{761.0 + 760.1}{2} = 760.55 \text{ mmHg}$$

$$\text{ความหนาแน่นอากาศที่อุณหภูมิและความดันเฉลี่ย } (\rho_G) = \frac{28.97 \times 760.55}{62360(273.15 + 26.35)} = 1.180 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{ความหนืดอากาศอุณหภูมิเฉลี่ย } (\mu_G) &= 10^{-6} (27.8428 + 0.533403 \times (273.15 + 26.35) - 0.0001258 \times (273.15 + 26.35)^2) \\ &= 0.000176 \text{ g/cm-s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ย } (D_{AB}) &= 10^{-4} (-0.217 + 0.0016 \times (273.15 + 26.35)) = 0.2622 \text{ cm}^2/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความดันส่วนของน้ำในอากาศที่ตอนล่างคอลัมน์ } (P_1) &= \frac{1}{100} \times 10 \left(21.94583 - \frac{2876.225}{273.15 + 26.4} - 4.415497 \times \log(273.15 + 26.4) \right) = 0.2565 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความดันส่วนของน้ำในอากาศที่ตอนบนคอลัมน์ } (P_2) &= 75 \times 10 \left(21.94583 - \frac{2876.225}{273.15 + 26.3} - 4.415497 \times \log(273.15 + 26.3) \right) = 26.4 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลต่างความดันไอและความดันส่วนของน้ำในอากาศที่ตอนล่างคอลัมน์ } (\Delta P_1) &= 22.91 - 0.2565 = 22.65 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลต่างความดันไอและความดันส่วนของน้ำในอากาศที่ตอนบนคอลัมน์ } (\Delta P_2) &= 24.32 - 26.4 = 2.08 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ผลต่างความดันไอและความดันส่วนของน้ำในอากาศเฉลี่ยในคอลัมน์ } (\Delta P_{lm}) &= \frac{\Delta P_1 - \Delta P_2}{\ln \left(\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} \right)} = \frac{22.65 - 2.08}{\ln \left(\frac{22.65}{2.08} \right)} = 7.253 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคก๊าซ (k_G)

$$k_G = \frac{N_A}{\Delta P_{lm}} = \frac{2.92 \times 10^{-6}}{7.253} = 4.03 \times 10^{-7} \text{ mol/cm}^2\text{-s-mmHg}$$

$$k_{Gc} = k_G RT = 4.03 \times 10^{-7} \times 62360 \times (273.15 + 26.35) = 7.53 \text{ cm/s}$$

$$\text{Reynolds' number ของอากาศ } (Re) = \frac{12732 Q \rho_G}{\mu_G D} = \frac{12732 \times 1.0 \times 1.18 \times 10^{-3}}{0.000176 \times 17} = 5021$$

$$\text{Schmidt's number ของอากาศ } (Sc) = \frac{\mu_G}{\rho_G D_{AB}} = \frac{0.000176}{1.18 \times 10^{-3} \times 0.2622} = 0.569$$

$$\text{Sherwood's number ของการถ่ายโอนมวล } (Sh) = \frac{k_{Gc} D}{D_{AB}} = \frac{7.53 \times 1.7}{0.2622} = 48.8$$

การสอบทานข้อมูลจากสมการของ Sherwood และ Gilliland

$$Sh = 0.023 Re^{0.83} Sc^{0.33} = 0.023 \times 5021^{0.83} \times 0.569^{0.33} = 22.5$$

ภาคผนวก ค.

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการทำงาน

D	สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในอากาศ (cm^2/s)
d	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอลัมน์ (cm)
$K_{\text{gc}2}$	ข้อมูลสหสัมพันธ์จากผลการทดลองนำมาคำนวณค่าตัวแปร
K_g	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคแก๊ส ($\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{atm}$)
N_A	อัตราการถ่ายโอนมวลของของเหลวต่อพื้นที่ ($\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)
$\Delta P_{\text{.lm}}$	ค่าเฉลี่ย Logarithm ของผลต่างระหว่างความดันไอของของเหลวที่ผิวสัมผัส กับความดันส่วนของของเหลวในวัฏภาคแก๊สทางตอนล่าง และตอนบนของคอลัมน์ (atm)
$P_{\text{.1}}$	ความดันไอที่ผิวของของเหลวทางตอนล่างของคอลัมน์ (atm)
$\bar{P}_{\text{.1}}$	ความดันส่วนของของเหลวในวัฏภาคแก๊สทางตอนล่างของคอลัมน์ (atm)
$P_{\text{.12}}$	ความดันไอที่ผิวของของเหลวทางตอนบนของคอลัมน์ (atm)
$\bar{P}_{\text{.12}}$	ความดันส่วนของของเหลวในวัฏภาคแก๊สทางตอนบนของคอลัมน์ (atm)
R	ค่าคงที่แก๊ส = $82.06 \text{ cm}^3 \cdot \text{atm} / (\text{mol} \cdot \text{K})$
Re	Reynolds number
Sc	ตัวเลขของ Schmidt
Sh	Sherwood number
T	อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในคอลัมน์ (K)
V	ความเร็วเฉลี่ยของแก๊สในคอลัมน์ (cm/s)
ρ	ความหนาแน่นของแก๊ส (g/cm^3)
μ	ความหนืดสมมูลของแก๊ส ($\text{g}/\text{cm} \cdot \text{s}$)

ภาคผนวก ง.

คู่มือการทดลอง

Gas-Phase Mass Transfer Coefficient in a Wetted-Wall Column

คู่มือการทดลอง

Gas-Phase Mass Transfer Coefficient in a Wetted-Wall Column

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้มีความเข้าใจกลไกของกระบวนการถ่ายโอนมวลใน wetted-wall column
2. เพื่อหา Gas-phase mass transfer coefficient จากอัตราการระเหยของน้ำไปสู่อากาศใน wetted-wall column

ทฤษฎี

Wetted-wall column เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษากระบวนการถ่ายโอนมวล ระหว่างวัฏภาคของเหลวและวัฏภาคก๊าซ มีลักษณะเป็นคอลัมน์ซึ่งวางอยู่ในแนวตั้ง ของเหลวไหลจากตอนบนลงมายังตอนล่างของคอลัมน์ ตามผนังด้านใน ส่วนก๊าซอาจจะไหลในแนวเดียวกับของเหลว หรือไหลสวนทางขึ้นไปจากตอนล่างขึ้นไปยังตอนบนของคอลัมน์ก็ได้ ทิศทางการถ่ายเทมวลของสาร มีทั้งจากของเหลวไปยังก๊าซ และจากก๊าซไปยังของเหลว โดยที่ของเหลวไหลตามผนังด้านในของคอลัมน์ ด้วยอัตราการไหลไม่สูงนัก ทำให้ความหนาของฟิล์มของเหลวมีค่าน้อยมาก จึงสามารถประมาณได้ว่า พื้นที่ผิวในการถ่ายโอนมวล คือพื้นที่ผิวด้านในของคอลัมน์นี้

กรณีการถ่ายโอนมวลจากของเหลว (A) ไปยังก๊าซ (B) แบบสวนทางกัน โดยของเหลวเปลี่ยนวัฏภาคเป็นไอที่ผิวสัมผัส ของเหลว-ก๊าซ จากนั้นจึงแพร่ผ่าน Boundary layer เข้าไปยังวัฏภาคก๊าซ อัตราการถ่ายโอนมวลของของเหลวต่อพื้นที่ (N_A) ขึ้นต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคก๊าซ (Gas-phase mass transfer coefficient, K_G) และค่าเฉลี่ยตลอดความยาวคอลัมน์ (ΔP_{Am}) ของผลต่างระหว่างความดันไอของของเหลวที่ผิวสัมผัส (P_A) กับความดันส่วนของของเหลวในวัฏภาคก๊าซ (\bar{P}_A) ดังนี้

$$N_A = \frac{\dot{n}_A}{S} = K_G \Delta P_{Am} \quad \text{mol/cm}^2\text{-s (kmol/m}^3\text{-s)}$$

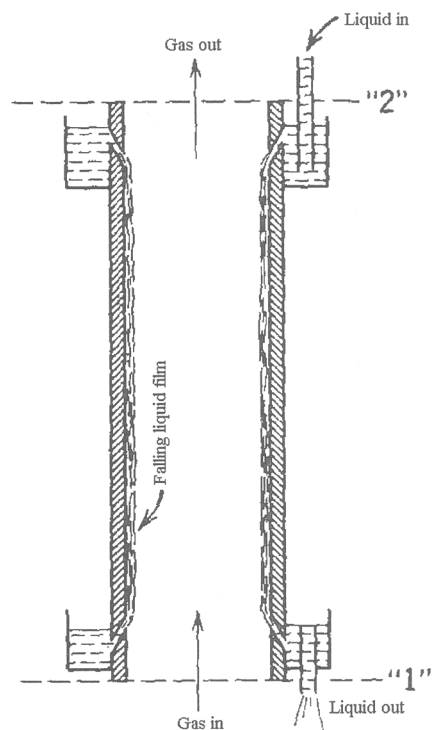
หรือ
$$K_G = \frac{N_A}{\Delta P_{Am}} \quad \text{mol/atm-cm}^2\text{-s (kmol/kPa-m}^3\text{-s)}$$

เมื่อ $N_A =$ อัตราการถ่ายโอนมวลของของเหลวต่อพื้นที่, mol/cm²-s (kmol/m³-s)

$\dot{n}_A =$ อัตราการถ่ายโอนมวลของของเหลว, mol/s (kmol/s)

$S =$ พื้นที่ผิวในการถ่ายโอนมวล = πdL , cm² (m²)

$d =$ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในคอลัมน์ = 1.70 cm (0.017 m)



$$L = \text{ความยาวคอลัมน์} = 63 \text{ cm (0.63 m)}$$

$$K_G = \text{สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคก๊าซ, mol/cm}^2\text{-s-atm} \\ (\text{kmol/m}^2\text{-s-kPa})$$

ค่าเฉลี่ย ΔP_{Am} ที่ใช้ เป็นค่าเฉลี่ย Logarithm ของผลต่างระหว่างความดันไอของของเหลวที่ผิวสัมผัส กับความดันส่วนของของเหลวในวัฏภาคก๊าซทางตอนล่าง และตอนบนของคอลัมน์

$$\Delta P_{Am} = \frac{(\Delta P_{A2} - \Delta P_{A1})}{\ln\left(\frac{\Delta P_{A2}}{\Delta P_{A1}}\right)} \quad \text{atm. (kPa)}$$

เมื่อ $\Delta P_{A1} = P_{A1} - \bar{P}_{A1} \quad \text{atm. (kPa)}$

$$\Delta P_{A2} = P_{A2} - \bar{P}_{A2} \quad \text{atm. (kPa)}$$

$$P_{A1} = \text{ความดันไอที่ผิวของของเหลวทางตอนล่างของคอลัมน์, atm (kPa)}$$

$$\bar{P}_{A1} = \text{ความดันส่วนของไอของเหลวในก๊าซทางตอนล่างของคอลัมน์, atm (kPa)}$$

$$P_{A2} = \text{ความดันไอที่ผิวของของเหลวทางตอนบนของคอลัมน์, atm (kPa)}$$

$$\bar{P}_{A2} = \text{ความดันส่วนของไอของเหลวในก๊าซทางตอนบนของคอลัมน์, atm (kPa)}$$

ความดันไอที่ผิวสัมผัสของเหลว-ก๊าซ (Liquid-Gas interface) หาได้จากอุณหภูมิของน้ำ (T_w) ที่จุดนั้นๆ และตารางสมบัติของน้ำ หรือสมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ-ความดันไอ

ความดันส่วนของไอของเหลวในวัฏภาคก๊าซ หาได้จากความชื้นสัมพัทธ์ (R_h , %) และความดันไอของของเหลว (P_A) ที่มีอุณหภูมิเท่ากับก๊าซ (T) โดย

$$\bar{P}_A = \frac{R_h}{100} P_A \quad \text{atm. (kPa)}$$

อัตราการถ่ายโอนมวลของของเหลว หาได้จาก

- 1) ผลต่างอัตราการไหลของของเหลวที่ทางเข้า และทางออกของคอลัมน์ กรณีที่ของเหลวไหลวนอยู่ในระบบแบบวงจรรปิด (Closed-circuit) จะมีค่าเดียวกันกับปริมาณของเหลวในถังพักที่ลดลงต่อเวลา

$$\dot{n}_A = \left(\frac{\Delta z}{\Delta t}\right) \left(\frac{A \rho_L}{M}\right), \text{ mol/s (kmol/s)}$$

เมื่อ $\Delta z = \text{ระดับของเหลวที่ลดลง, cm (m)}$

$$\Delta t = \text{ช่วงเวลา, s (s)}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดของถังพัก} = \frac{\pi}{4} d^2, \text{ cm}^2 (\text{m}^2)$$

$$\rho_L = \text{ความหนาแน่นของของเหลว, g/cm}^3 (\text{kg/m}^3)$$

$$M = \text{มวลโมเลกุลของของเหลว, mol/g (kmol/kg)}$$

หรือ 2) ผลต่างอัตราการไหลเชิงโมลของไอของเหลวในกระแสก๊าซ ที่ทางเข้าและทางออกของคอลัมน์ หาได้จากอัตราการไหลเชิงปริมาตรของก๊าซ (Q) อุณหภูมิของก๊าซ (T) และความดันส่วนของไอของเหลวในวัฏภาคก๊าซที่ทางออกและทางเข้าคอลัมน์ ดังนี้

$$\dot{n}_A = \left(\frac{Q}{RT} \right) (\bar{P}_{A2} - \bar{P}_{A1}) \quad \text{mol/s (kmol/s)}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของก๊าซ, cm^3/s (m^3/s)
 R = ค่าคงที่ของก๊าซ = $82.06 \text{ cm}^3\text{-atm/mol-K}$ ($8.3144 \text{ m}^3\text{-kPa/kmol-K}$)
 T = อุณหภูมิของระบบ, K

ผลการศึกษาของ Gilliland และ Sherwood¹ พบว่าการถ่ายโอนมวลระหว่างของไหล ซึ่งไหลสวนทางกัน ในคอลัมน์ลักษณะนี้ ตัวเลขของเชอร์วูด (Sherwood's number, Sh) มีค่าขึ้นอยู่กับ ตัวแปรไร้มิติ 2 ตัว คือตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds' number, Re) ของก๊าซเทียบกับผนังคอลัมน์ และตัวเลขของชมิทท์ (Schmidt's number, Sc) ของก๊าซ ดังนี้

$$\text{Sh} = 0.023 \text{Re}^{0.83} \text{Sc}^{0.44}$$

โดย $\text{Sh} = \frac{K_G d R T}{D} = \frac{K_{GC} d}{D} \quad \text{Re} = \frac{d V \rho}{\mu} \quad \text{Sc} = \frac{\mu}{\rho D}$

เมื่อ K_{GC} = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคก๊าซ, cm/s (m/s)
 d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอลัมน์, cm (m)
 D = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายไอของของเหลวในก๊าซ, cm^2/s (m^2/s)
 V = ความเร็วเฉลี่ยของก๊าซในคอลัมน์, cm/s (m/s)
 ρ = ความหนาแน่นของก๊าซ, g/cm^3 (kg/m^3)
 μ = ความหนืดสมบูรณ์ของก๊าซ, g/cm-s (kg/m-s)

อุปกรณ์ ประกอบด้วย (ดูแผนภาพประกอบ)

1. ท่อแก้วตั้งในแนวตั้ง (C-1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.7 cm. ความยาว 63 cm. ส่วนบนและส่วนล่างของท่อแก้วนี้มีท่อแก้วขนาดเดียวกันยาว 60 cm. ช่วยทำหน้าที่เป็น calming sections
2. บั๊มน้ำ (P-1) และถังพักน้ำซึ่งมีสเกลบอกปริมาตร (T-1) โดยถังพักที่ใช้ในการทดลองนี้ ติดตั้งอุปกรณ์แสดงระดับ (LI-1) มีปริมาตร 17.54 cm^3 ต่อระดับ 1 cm (หรือ 1.754 cm^3 ต่อระดับ 1 mm)
3. แผ่น distributor สำหรับกระจายน้ำให้ตกลงมาโดยรอบผิวแก้วด้านใน
4. Heater และ Exchanger (E-1) ควบคุมอุณหภูมิน้ำและอากาศ ซึ่งจะเข้าสู่ท่อแก้วให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันมากที่สุด

5. อากาศอัดจาก compressor ผ่านวาล์วปรับความดัน (PRV-2)
6. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ (TI-1 และ TI-2) และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิของน้ำ (TI-3 และ TI-4)
7. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ (FI-2) และอากาศ (F-1)
8. Manometer สำหรับบอกความดันอากาศในท่อแก้วที่ทางออกและทางเข้าของคอลัมน์ (PI-1 และ PI-2)

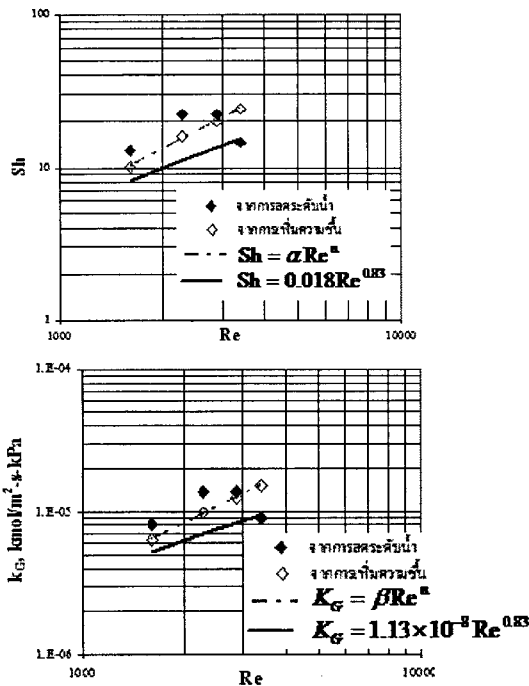
วิธีการทดลอง

1. ตรวจสอบระบบท่อน้ำ โดยเปิดวาล์วที่ใช้ระบายน้ำออกจากระบบ (HV-5 HV-6 และ HV-7) เปิดวาล์วที่ใช้จ่ายน้ำเลี้ยงระบบในช่วงเริ่มต้น (HV-4) และจะปิดวาล์วตัวนี้เมื่อน้ำไหลในวนอยู่ในระบบครบวงจรแล้ว โดยระดับน้ำในถังพัก (T-1) อยู่ที่ประมาณร้อยละ 60
2. บังน้ำจากถังน้ำ ปรับอัตราการไหลโดยใช้วาล์ว HV-2 ให้อยู่ในช่วงระหว่าง 0.4 ถึง 1 ลิตร/นาที่ โดยพิจารณาจากการไหลของน้ำตามผนังด้านในของคอลัมน์ (C-1) ให้ทั่วถึงและมีคลื่นน้อยที่สุด และควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้มีค่าคงที่ตลอดการทดลอง
3. เชื่อมท่ออากาศของชุดการทดลองกับวาล์วปรับความดัน (PRV-1) ปลายท่ออากาศอัดในห้องปฏิบัติการ ปรับความดันโดยดึงหัวปรับตอบนขึ้นเพื่อปลดล็อก หมุนตามเข็มนาฬิกา หากต้องการเพิ่มความดันที่ทางออก (Down-stream) หรือหมุนทวนเข็มนาฬิกาเมื่อต้องการลดความดัน ตั้งค่าไว้ที่ประมาณ 2 kg/cm^2 หรือ 30 psig
4. ผ่านอากาศด้วยอัตราการไหลต่างๆ ค่าหนึ่งเข้าสู่คอลัมน์ โดยการปรับความดันที่วาล์ว PRV-2 หรือปรับวาล์ว HV-1 ในทิศทางสวนขึ้นกับการไหลของน้ำ บันทึกอัตราการไหลของอากาศจากโรตاميเตอร์ (FI-1) และความดันของอากาศในคอลัมน์ (PI-1 และ PI-2) โดยพยายามไม่ให้อัตราการไหลของอากาศไม่เกิน 60 ลิตร/นาที่
5. ควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้มีค่าคงที่ เมื่อตรวจสอบได้ว่าระบบเข้าสู่ภาวะคงตัว (steady state) แล้ว (ประมาณ 15 - 20 นาที่) บันทึกอุณหภูมิ (TI-1 และ TI-2) ความดัน (PI-1 และ PI-2) รวมทั้งจับเวลาและบันทึกหาระดับน้ำที่ลดลงในถังพัก (LI-1) และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิของน้ำ ที่ทางเข้าและทางออกของคอลัมน์ (TI-3 และ TI-4) โดยให้บันทึกข้อมูลซ้ำ 2 ครั้ง
6. ปรับอัตราการไหลของอากาศให้สูงขึ้น แล้วทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 4 ด้วยอัตราการไหลของอากาศค่าอื่นๆ อีกอย่างน้อย 3 ค่า

เมื่อนักศึกษาทำการทดลองครบถ้วนแล้ว ขอให้นำตารางข้อมูลที่แนบ มอบให้ผู้ควบคุมการทดลอง ลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน เพื่อนำมาใช้ประกอบเป็นรายงาน

ผลการทดลอง

1. จากข้อมูลที่ได้ คำนวณหา N_A และ K_G ที่อัตราการไหลของอากาศต่างๆ (ทั้งจากอัตราการลดระดับของน้ำในถังพัก และอัตราการไหลเชิงโมลของไอน้ำที่เพิ่มขึ้นในอากาศ)
2. ลงจุดความสัมพันธ์ระหว่าง Sh กับ Re ทั้ง Sh ซึ่งได้จากการทดลอง (2 ค่าที่ Re เดียวกัน) และ Sh ซึ่งคำนวณได้จากสมการของ Gilliland และ Sherwood บนกราฟ log-log เดียวกัน อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสองค่านี้ พร้อมเปรียบเทียบและอธิบายผลการทดลองกับสมการของ Gilliland และ Sherwood



3. ลงจุดความสัมพันธ์ระหว่าง K_G กับ Re ทั้ง K_G ซึ่งได้จากการทดลอง (2 ค่าที่ Re เดียวกัน) และ K_G ซึ่งคำนวณได้จากสมการของ Gilliland และ Sherwood บนกราฟ log-log เดียวกัน อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสองค่านี้ พร้อมเปรียบเทียบและอธิบายผลการทดลองกับสมการของ Gilliland และ Sherwood

เอกสารอ้างอิง

1. Coulson, J.M., and Richardson, J.F., "Chemical Engineering", Vol 2, Pergamon Press, 1968, pp.454-458.
2. Sherwood, T.K., Pigford, R.L. and Wilke, C.R., "Mass Transfer", McGraw-Hill Book Co., 1975, pp.211-214.
3. Perry, R.H., and Green, D.W. "Chemical Engineers Handbook", 7th edition, McGraw-Hill Book Co., 1999, pp.14-56 to 14-58.

4. Treybal, R. E., "Mass-Transfer Operations", McGraw-Hill Book Co., 1955, pp. 50-51, 132, 192.

ข้อแนะนำ

1. ทฤษฎีเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อการทดลองนี้ ต้องมีการเรียบเรียงใหม่พร้อมการอ้างอิง (ระบุไว้ในรายการเอกสารอ้างอิงด้วย) ไม่ควรถ่ายเอกสารจากต้นฉบับ หรือ พิมพ์โดยตรงจากหน้า WEB
2. ข้อมูลจากการทดลอง ต้องเป็นข้อมูลที่บันทึกได้จากการทดลองจริงๆ ไม่ใช่ข้อมูลที่ได้ผ่านการคำนวณมาแล้ว เช่น ระดับน้ำในถังพัก และเวลา ไม่ใช่ค่าอัตราการระเหยของน้ำ หากมีการบันทึกข้อมูลไว้มากกว่า 1 ชุด ต้องแสดงให้เห็นทั้งหมด
3. การนำเสนอผลการทดลองตามข้อ 1 ควรบรรยายสั้นๆ ด้วยว่าดำเนินการอย่างไร ในการหาค่าของ N_A และ K_G ที่อัตราการไหลของอากาศต่างๆ ทั้งจากอัตราการลดระดับของน้ำในถังพัก และอัตราการไหลเชิงโมลของไอน้ำที่เพิ่มขึ้นในอากาศ โดยอาจจะอ้างถึงวิธีการคำนวณในตัวอย่างการคำนวณตอนท้ายรายงาน
4. ในการนำเสนอผลการทดลองตามข้อ 2 (ความสัมพันธ์ระหว่าง Sh กับ Re) และ ข้อ 3 (ความสัมพันธ์ระหว่าง K_G กับ Re) ควรวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ในรูปแบบเดียวกันกับสมการของ Gilliland และ Sherwood เพื่อช่วยในการอธิบายและสรุปผล
5. ควรมีข้อสรุปย่อสำหรับการนำเสนอ ข้อมูลผลการทดลองแต่ละส่วน และนำข้อสรุปไปนำเสนอในภาพรวม เป็นข้อสรุปจากการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง และบทคัดย่อ
6. การสรุป และวิเคราะห์ผลการทดลอง ควรมีที่มาจากเหตุผลทางวิชาการ แหล่งอ้างอิง
7. ตัวอย่างการคำนวณ ให้ระบุข้อมูลอ้างอิงว่ามาจากการทดลองใด ข้อมูลที่วัดได้มีอะไรบ้าง ข้อมูลเพิ่มเติมมาจากแหล่งใด แล้วใช้ข้อมูลอ้างอิงนั้น แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าต่างๆ ไปตามลำดับ เช่น ค่า P_A , \bar{P}_A , $\square P_{Lm}$, \dot{n}_A และ N_A จากการลดระดับน้ำในถังพัก, \dot{n}_A และ N_A จากอัตราความชื้นที่เพิ่มขึ้นในกระแสอากาศ, K_G ที่ได้จากการลดระดับน้ำในถังพัก, K_G ที่ได้จากการอัตราความชื้นที่เพิ่มขึ้นในกระแสอากาศ, ค่าตัวแปรไร้มิติ Re และ Sc และ Sh (ทั้งที่คำนวณจากสมการ และที่ได้จากการทดลอง ทั้งที่มาจากดุลของน้ำในกระแสน้ำ และมาจากดุลของความชื้นในกระแสอากาศ)
8. รายการและลำดับรายการเอกสารอ้างอิง ต้องเป็นไปตามรูปแบบมาตรฐาน (โดยทั่วไปนิยมเรียงลำดับจากชื่อผู้แต่งภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และส่วนที่สืบค้นจาก WEB Site)

ภาคผนวก จ.

ตารางเวลาปฏิบัติการ 230-443 ปฏิบัติการวิศวกรรม (Chemical Engineering Laboratory II) ภาคการศึกษา 1/2555

การทดลอง	ผู้ควบคุม	ผู้ช่วย	กลุ่มที่									
			18 มิย.55	25 มิย.55	2 กค.55	9 กค.55	16 กค.55	23 กค.55	20 สค.55	27 สค.55	3 กย.55	10 กย.55
1. Gas Absorption	อ.ไพบูลย์	สมคิด, จรรยา	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2. Tray Dryer	อ.ณัฐวรรณ	ช้อน	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3. Single Effect Evaporation	อ.พรศิริ	ธนากร	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8
4. Gas Phase Mass Transfer	อ.สุธรรม	สมคิด	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7
5. บีโอดี, ปริมาณสารแขวนลอย	อ.สินินาฏ	จรรยา	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6
6. Thin - Film Evaporation	อ.สุวิชาติ	สมคิด	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5
7. Oil-Extraction from Soybean	อ.สุกฤทธิรา	สมคิด	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
8. Fractional Distillation	อ.ชาคริต	ธนากร	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3
9. การทำน้ำอ่อน Ion Exchange	อ.ผกามาศ	จุฑารัตน์	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2
10. Process Control	อ.กุลชนาฐ	ธนากร	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1

- หมายเหตุ :
1. นักศึกษามีทั้งหมด 10 กลุ่มๆ ละ 5 หรือ 6 คน
 2. วันที่ปฏิบัติการคือวันจันทร์เวลา 13.00 - 16.00 น.
 3. สถานที่ปฏิบัติการคือห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี
 4. วันสอบกลางภาค 28 กรกฎาคม - 5 สิงหาคม 2555, วันสอบไล่ 1 - 12 ตุลาคม 2555
 5. กลุ่มที่ 1 - 6 มีนักศึกษากลุ่มละ 6 คน, กลุ่มที่ 7 - 10 มีนักศึกษากลุ่มละ 5 คน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล

นายสมคิด จีนาพงษ์

วุฒิการศึกษา

วุฒิ

ชื่อสถาบัน

ปีที่สำเร็จ

การศึกษา

ปวส.(ช่างกลโรงงาน)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

2528

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ตำแหน่ง

ช่างเทคนิค ระดับชำนาญงาน

สถานที่ทำงาน

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์