ภาคผนวก ง)

# คู่มือปฏิบัติการ

## เรื่อง การถ่ายโอนมวลใน Wetted-wall column

โดย นายสมคิด จีนาพงษ์

ตำแหน่งครู 5

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

ที่ปรึกษาโครงการ นายสุธรรม สุขมณี

# คำนำ

คู่มือการใช้ชุดทดลอง การถ่ายโอนมวลใน Wetted-wall column นี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือในการใช้เครื่องมือแก่คณาจารย์ บุคลากร นักศึกษา และผู้ที่ต้องการใช้เครื่องมือดังกล่าว โดยผู้ที่ประสงค์จะขอใช้เครื่องมือให้ติดต่อที่สำนักงานภาควิชาวิศวกรรมเคมี ผู้มีหน้าที่ควบคุมดูแลจะอธิบายและแนะนำทดลองสาธิตการใช้งาน ผู้จัดทำจึงหวังว่าคู่มือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ในการเรียนรู้ด้วยตนเองต่อไป

นายสมคิด จีนาพงษ์

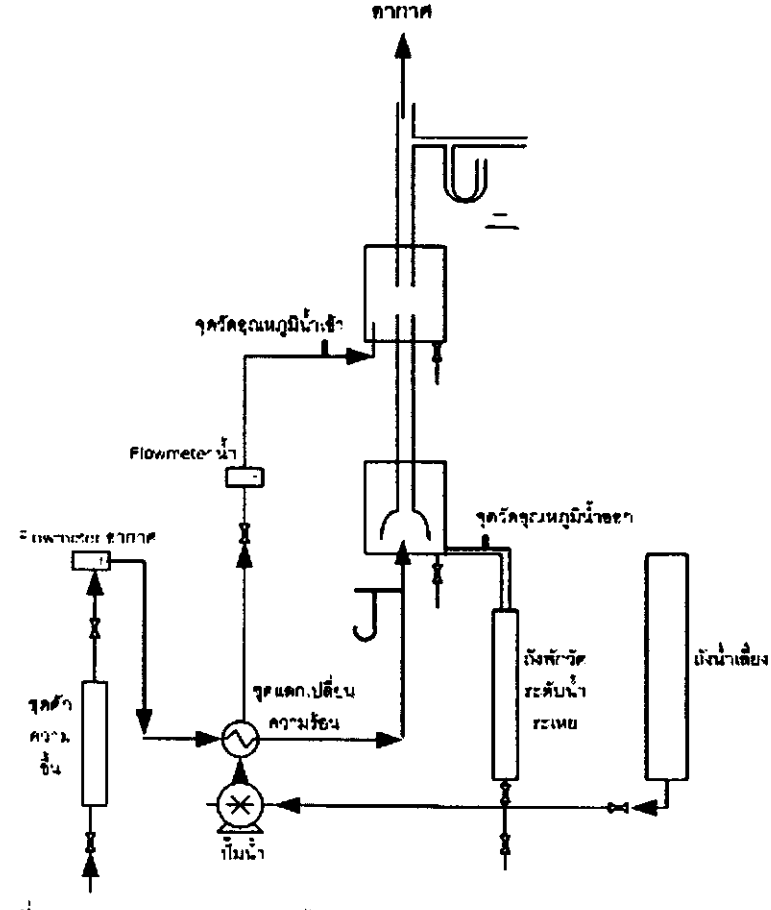
ผู้จัดทำ

# สารบัญ


| | | หน้า |
|---|---|---|
| 1. | บทนำ | ง-1 |
| 2. | ส่วนประกอบของชุด Wetted-wall column | ง-4 |
| 3. | หลักการทำงาน | ง-9 |
| 4. | ข้อควรระวังและวิธีการบำรุงรักษา | ง-10 |
| 5. | เอกสารอ้างอิง | ง-11 |

## 1. บทนำ

Wetted-wall column (รูปที่ 1-1) เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษากระบวนการถ่ายโอนมวลระหว่างวัฏภาคของเหลวและวัฏภาคแก๊ส มีลักษณะเป็นคอลัมน์ซึ่งวางอยู่ในแนวดิ่ง ของเหลวไหลจากตอนบนลงมายังตอนล่างของคอลัมน์ตามผนังด้านใน ส่วนแก๊สอาจจะไหลในแนวเดียวกับของเหลว หรือไหลสวนทางขึ้นไปจากตอนล่างขึ้นไปยังตอนบนของคอลัมน์ก็ได้ ทิศทางการถ่ายเทมวลของสาร มีทั้งจากของเหลวไปยังแก๊ส และจากแก๊สไปยังของเหลว โดยที่ของเหลวไหลตามผนังด้านในของคอลัมน์ ด้วยอัตราการไหลไม่สูงนัก ทำให้ความหนาของฟิล์มของเหลวมีค่าน้อยมาก จึงสามารถประมาณได้ว่า พื้นที่ผิวในการถ่ายโอนมวล คือพื้นที่ผิวด้านในของคอลัมน์นี้




รูปที่ 1-1 แผนภาพแสดงการไหลของวัฏภาคของเหลวและแก๊ส
ใน Wetted-wall column

กรณีการถ่ายโอนมวลจากของเหลว (A) ไปยังแก๊ส (B) แบบสวนทางกัน โดยของเหลวเปลี่ยนวัฏภาคเป็นไอที่ผิวสัมผัส ของเหลว-แก๊ส จากนั้นจึงแพร่ผ่าน Boundary layer เข้าไปยังวัฏภาคแก๊ส อัตราการถ่ายโอนมวลของของเหลวต่อพื้นที่ ($N_A$) ขึ้นต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคแก๊ส (Gas-phase mass transfer coefficient, $K_G$) และค่าเฉลี่ยตลอดความยาวคอลัมน์ ($\Delta P_{Am}$) ของผลต่างระหว่างความดันไอของของเหลวที่ผิวสัมผัส ($P_A$) กับความดันส่วนของของเหลวในวัฏภาคแก๊ส ($\overline{P}_A$) ดังนี้

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

เมื่อ $N_A$ = อัตราการถ่ายโอนมวลของของเหลวต่อพื้นที่ (mol/cm$^2$·s)

$K_G$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลในวัฏภาคแก๊ส(mol/cm$^2$·s·atm)

$\Delta P_{Am}$ = ค่าเฉลี่ย Logarithm ของผลต่างระหว่างความดันไอของของเหลวที่ผิวสัมผัส กับความดันส่วนของของเหลวในวัฏภาคแก๊สทางตอนล่าง และตอนบนของคอลัมน์ (atm)

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

เมื่อ $\Delta P_{A1}$ = $P_{A1} - \overline{P}_{A1}$ (atm)

$\Delta P_{A2}$ = $P_{A2} - \overline{P}_{A2}$ (atm)

$P_{A1}$ = ความดันไอที่ผิวของของเหลวทางตอนล่างของคอลัมน์ (atm)

$\overline{P}_{A1}$ = ความดันส่วนของของเหลวในวัฏภาคแก๊สทางตอนล่างของคอลัมน์ (atm)

$P_{A2}$ = ความดันไอที่ผิวของของเหลวทางตอนบนของคอลัมน์ (atm)

$\overline{P}_{A2}$ = ความดันส่วนของของเหลวในวัฏภาคแก๊สทางตอนบนของคอลัมน์ (atm)

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

$$Sh = \frac{K_G RTd}{D} = 0.023\,\mathrm{Re}^{0.83}\,Sc^{0.33}$$

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

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

เมื่อ $V$ = ความเร็วเฉลี่ยของแก๊สในคอลัมน์ (cm/s)

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

$\mu$ = ความหนืดสมบูรณ์ของแก๊ส (g/cm·s)

$D$ = สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในอากาศ (cm$^2$/s)

$d$ = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอลัมน์ (cm)

$T$ = อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในคอลัมน์ (K)

$R$ = ค่าคงที่แก๊ส = 82.06 cm$^3$·atm / (mol·K)

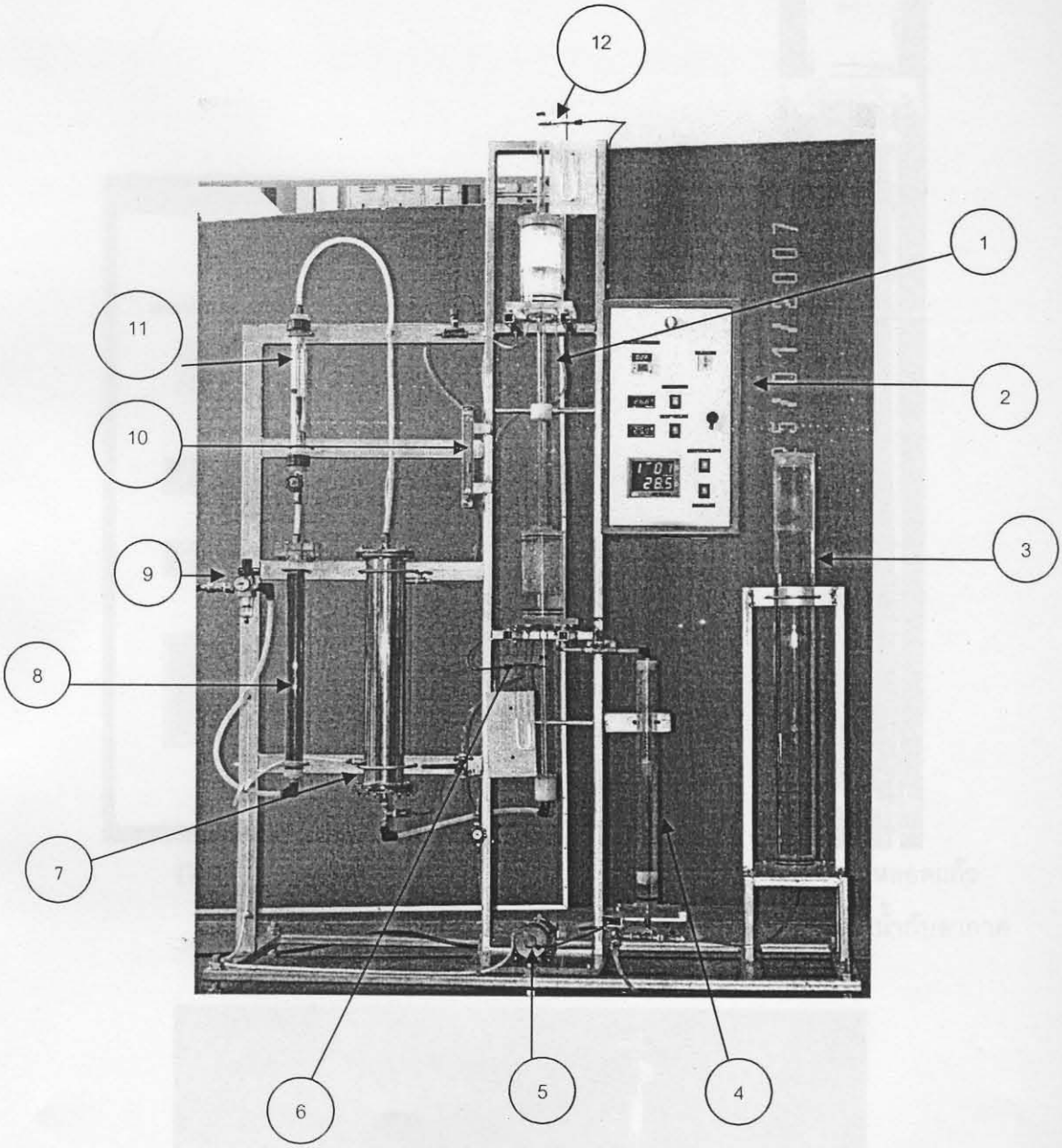
$Sh$ = ตัวเลขของ Sherwood, -

$Re$ = ตัวเลขของ Reynolds, -

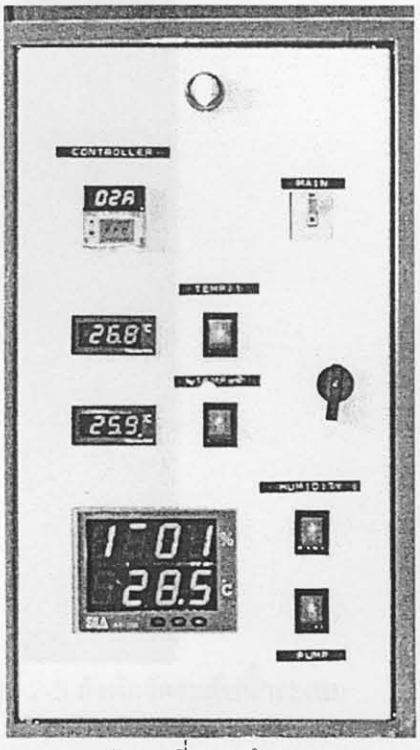
$Sc$ = ตัวเลขของ Schmidt, -

=

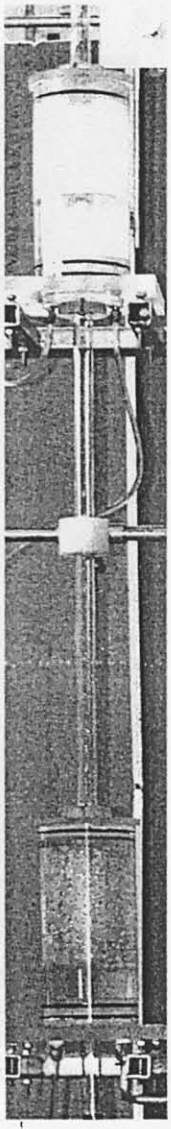
2. ส่วนประกอบของชุด Wetted-wall column



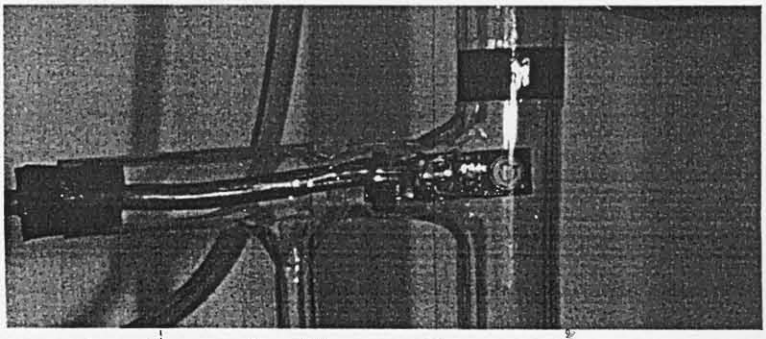

รูปภาพที่ 2-1 แผนภาพชุดอุปกรณ์ Wetted-wall column



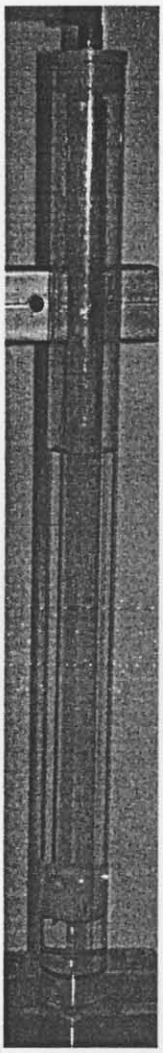

รูปภาพที่ 2-2 ตู้ Control



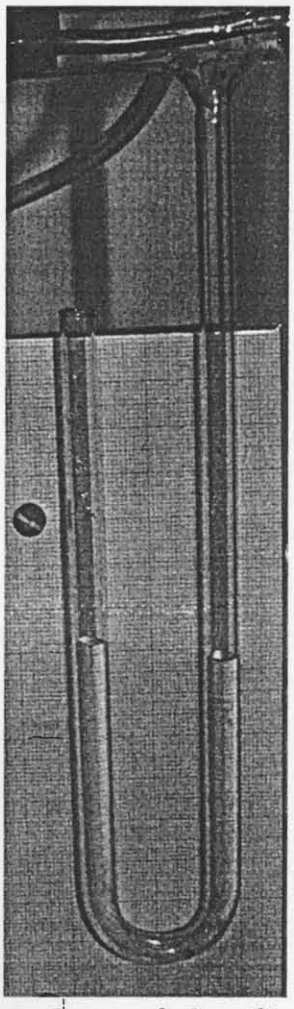
รูปภาพที่ 2-3 ชุดหลอดแก้ว
ถ่ายโอนมวลระหว่างน้ำกับอากาศ



รูปภาพที่ 2-4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ



รูปภาพที่ 2-5 ถังพักวัดระดับน้ำระเหย



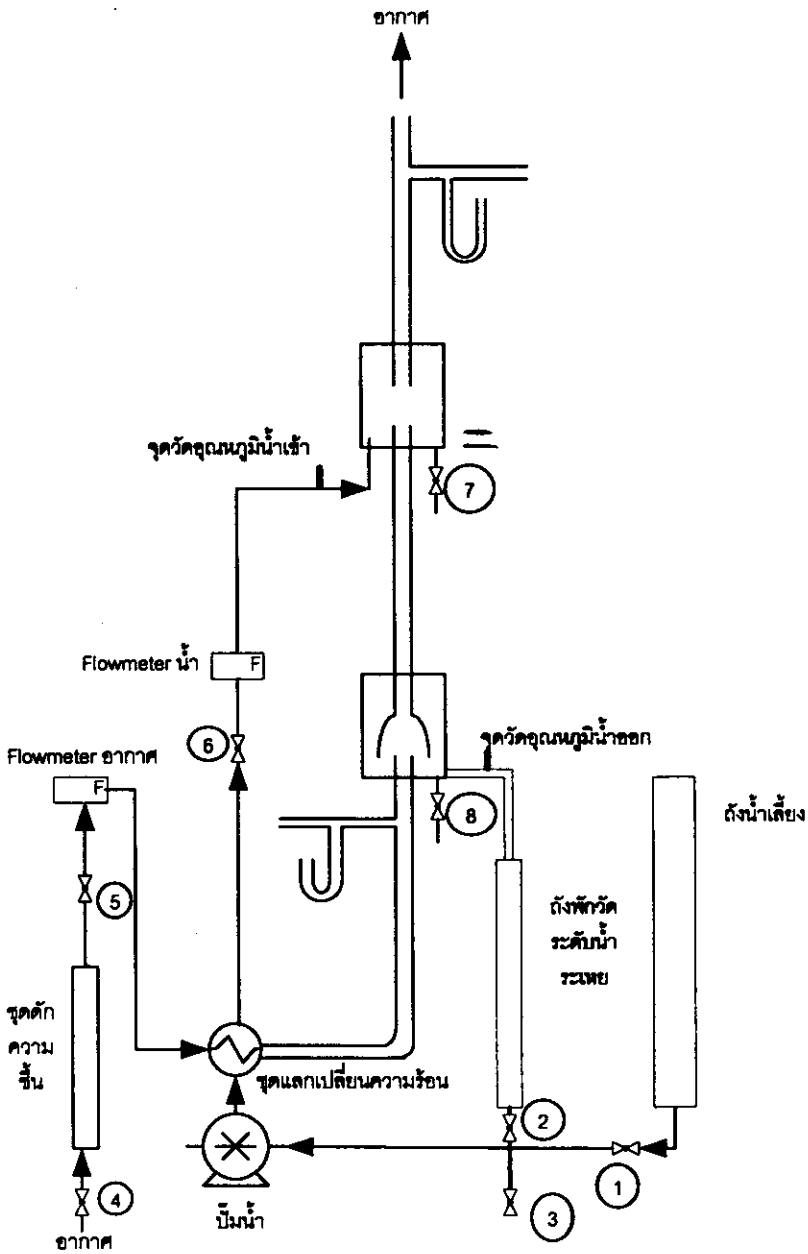
รูปภาพที่ 2-6 มาโนมิเตอร์วัดความดัน

ส่วนประกอบของเครื่อง Wetted-wall column

1. หลอดแก้วถ่ายโอนมวลระหว่างน้ำกับอากาศ
2. ชุดควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า
3. ถังน้ำเลี้ยง
4. ถังพักวัดระดับน้ำระเหย
5. ปั๊มน้ำ
6. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศทางเข้า
7. ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน
8. ชุดดักความชื้น
9. ชุดปรับแรงดันของอากาศ

10. เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ
11. เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ
12. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศทางออก

2.1 แผนภาพของชุดอุปกรณ์ Wett-wall colum




รูปแผนภาพ (Diagram) ของชุดอุปกรณ์

รายละเอียดของชุดทดลอง

ก) คอลัมน์

เป็นหลอดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.7 ซม. ยาว 63 ซม.ติดตั้งตัวป้อนอากาศเข้าและระบายน้ำออกทางตอนล่าง (Bottom header) และติดตั้งตัวป้อนน้ำเข้าและระบายอากาศออกทางตอนบน (Top header) ตัวป้อนทั้ง 2 ตัว ทำด้วยพลาสติกพีวีซีชนิดใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 15 ซม.

ข) ปั๊มน้ำ

ใช้ปั๊มน้ำชนิด 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 ซม$^3$

ง) ถังน้ำเลี้ยง

สร้างด้วยท่อพลาสติกพีวีซีชนิดใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 100 ซม.

จ) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำ-อากาศ

สร้างด้วยท่อสองชั้นทำด้วยเหล็กปลอดสนิม304ท่อชั้นในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลาง 7.5 ซม. ท่อชั้นนอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 55 ซม. โดยในท่อชั้นในติดตั้งขดลวดให้ความร้อนขนาด 800 วัตต์

ฉ) คอลัมน์ดูดความชื้นของอากาศที่ป้อนเข้า

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

ฌ) เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางเข้าและทางออกคอลัมน์

เป็นชุดวัดแบบดิจิตอล ยี่ห้อ SILA รุ่น AP-140 ผลิตโดยบริษัท SILA สามารถวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ได้ตั้งแต่ 0-100% โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ±1%

ญ) อุปกรณ์วัดความดันของอากาศที่ทางเข้าและทางออกของคอลัมน์

ใช้ Manometer รูปตัว U ปลายเปิด บรรจุน้ำไว้ภายใน พร้อมสเกลวัดระดับน้ำเป็น มม.

ฎ) เครื่องวัดอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าและทางออกของคอลัมน์

Thermocouple แบบดิจิตอลรุ่น Thermo-9000 ผลิตโดยบริษัท Plus วัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0 – 100 °C มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ±1 °C

2.3 หลักการทำงาน

1. เปิด main power
2. เปิด Valve น้ำหมายเลข 1
3. เปิด Valve น้ำหมายเลข 6
4. เปิดปั๊มน้ำให้น้ำไหลผ่านชุดแลกเปลี่ยนความร้อน
5. ปรับ Valve น้ำหมายเลข 6 ควบคุมอัตราการไหลของน้ำตามกำหนดที่ใช้ในการทดลอง ตามลำดับ น้ำจะไหลลงตามผิวผนังด้านในจากคอลัมน์ตอนบนลงผ่านชุดหลอดแก้วถ่ายเทการระเหยระหว่างน้ำกับอากาศลงไปยังตอนล่างของคอลัมน์ตามผิวผนังด้านในลงไปสู่ถังพักวัดระดับน้ำระเหยจนถึงระดับที่เพียงพอต่อการทดลอง
6. ปิด Valve น้ำหมายเลข 1
7. เปิด Valve น้ำหมายเลข 2
8. เปิด Valve อากาศหมายเลข 4 ปรับค่าแรงดันของอากาศ ตามที่ต้องการให้อากาศไหลผ่านชุดดักความชื้น
9. เปิด Valve อากาศหมายเลข 5 ปรับอัตราการไหลของอากาศตามกำหนดที่ใช้ในการทดลอง ตามลำดับ อากาศจะไหลผ่านชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเข้าสู่คอลัมน์ทางตอนล่างและไหลสวนทางกับทิศทางของน้ำจากคอลัมน์ด้านบนผ่านชุดหลอดแก้วถ่ายเทการระเหยระหว่างน้ำกับอากาศออกสู่ระบบภายนอกโดยผ่านทางคอลัมน์ตอนบน

เมื่อตรวจสอบได้ว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว(steady state) แล้วประมาณ 15-20 นาที บันทึกอุณหภูมิ ความดัน รวมทั้งจับเวลาและบันทึกหาระดับน้ำที่ลดลงในถังพักและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิของน้ำ ที่ทางเข้าและทางออกของคอลัมน์

2.2 **ข้อควรระวังในการใช้เครื่องมือ**

1. ตรวจเช็คระดับน้ำในถังน้ำเลี้ยงให้มีปริมาณเพียงพอต่อการทดลอง
2. ตรวจเช็คตำแหน่ง Valve ทุกตัวให้ถูกต้อง
3. เปิด Switch Main Power ให้สังเกตไฟโชว์ที่ตู้ Control

2.3 วิธีการบำรุงรักษาเครื่อง

1. ตรวจเช็คชุดดักความชื้น (ก่อนการทดลองทุกครั้ง) ควรมีสีน้ำเงินเข้มถ้าเปลี่ยนเป็นสีขาวแสดงว่ามีความชื้นสูงต้องนำไปอบก่อนทำการทดลอง
2. ชุดปรับแรงดันของอากาศต้องถ่ายน้ำออกจากตัวดักน้ำ
3. ก่อนเปิดเครื่องปั๊มน้ำควรเติมน้ำในถังน้ำเลี้ยงให้พอต่อการทดลอง
4. มาโนมิเตอร์วัดความดันควรตรวจสอบระดับน้ำให้เรียบร้อย

## 7. เอกสารอ้างอิง

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