หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การออกแบบและการคำนวณเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

4.1 เหตุผลที่เลือกใช้ $NH_3 - H_2O$ เป็นตัวทำความเย็นและตัวดูดกลืน

เนื่องจากปัญหาทางด้านพลังงานดังที่กล่าวมาแล้ว และเนื่องจากประเทศไทยเราอยู่ในเขตร้อนได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์มาก ดังนั้นจึงควรจะมีการศึกษาหาทางเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้เป็นประโยชน์อย่างจริงจัง

การเอาพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาทำน้ำร้อนนั้น ได้มีการทำการทดลองมามากพอสมควรแล้ว ส่วนการนำเอาพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาทำความเย็นนั้น ในประเทศไทยเรา ได้มีการศึกษาและทำการทดลองกันน้อยมาก และที่ทำการทดลองกันก็เป็นแบบวงจรสลับ ซึ่งไม่สามารถจะทำความเย็นในเวลาที่รับแสงอาทิตย์ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาและทำการทดสองเครื่องทำความเย็นระบบดูดกลืนโดยพลังงานแสงอาทิตย์แบบวงจรต่อเนื่อง

จากการค้นคว้าพบว่าสารละลายที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวทำความเย็นและตัวดูดกลืนมีอยู่หลายคู่ด้วยกัน เช่น $NH_3 - NaSCN$, $H_2O - LiBr$, $NH_3 - H_2O$ และอื่น ๆ ซึ่งแต่ละคู่ก็มีข้อดีและข้อเสียต่างกัน เช่น $NH_3 - NaSCN$ จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่า $NH_3 - H_2O$ เพราะว่า NaSCN จะไม่ระเหยไปกับแอมโมเนียในช่วง generation และไม่ต้องกำนึงถึง rectifying column แต่ก็มีปัญหาเกี่ยวกับการตกผลึกของ NaSCN และข้อมูลเกี่ยวกับ NH_3-NaSCN มีน้อย

$H_2O - LiBr$ มีความเหมาะสมสำหรับเอาไปใช้ในการทำเครื่องปรับอากาศ แต่จะเอาไปใช้ในการทำตู้เย็นไม่ได้ เพราะไม่สามารถที่จะทำให้อุณหภูมิลดลงไปต่ำมาก ๆ ได้ เนื่องจากการทำงานของสารละลายคู่นี้ใช้น้ำ เป็นตัวทำความเย็น LiBr มีราคาแพงมาก การทำงานของระบบ $LiBr - H_2O$ จำเป็นต้องใช้ความกดดันต่ำมาก ซึ่งเป็นเหตุหนึ่งที่ทำให้อัตราการดูดกลืนต่ำ และทำให้ต้องใช้เครื่องขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับระบบอื่น

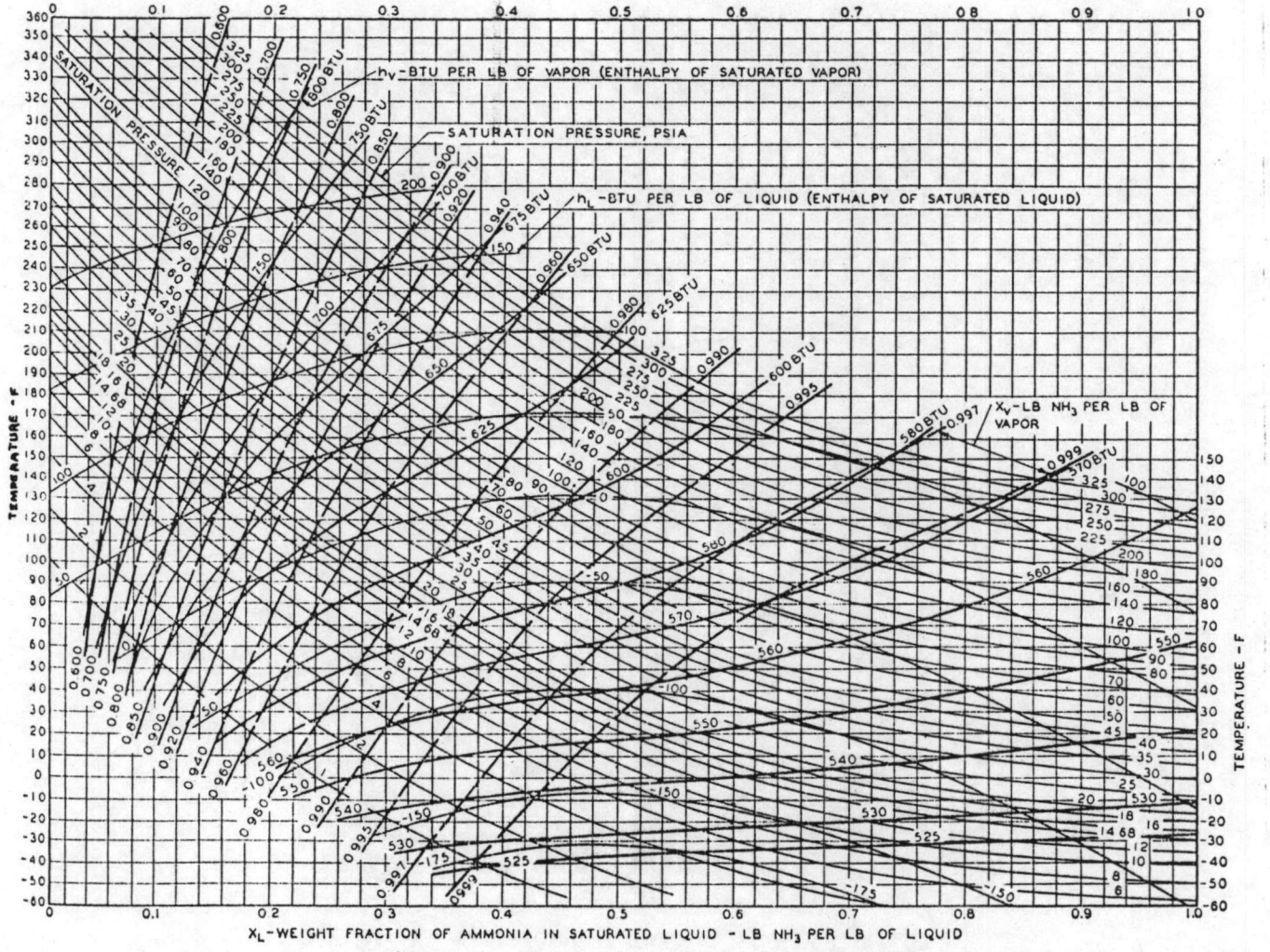
ส่วน $NH_3 - H_2O$ นั้นก็สามารถที่จะนำมาใช้ในเครื่องทำความเย็นระบบดูดกลืนนี้ได้ และ NH_3 ก็หาซื้อได้ง่าย ราคาถูก นอกจากนี้ยังสามารถจะหาข้อมูลของสารละลาย $NH_3 - H_2O$ ได้ง่าย ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการคำนวณในการสร้างเครื่องมือที่ต้องใช้ในการทดลอง ถึงแม้การทำงานของระบบต้องใช้ความดันสูง แต่ทำให้อัตราการดูดกลืนเร็วขึ้นดังนั้นในการทดลองนี้จึงตัดสินใจใช้แอมโมเนียและน้ำเป็นสารทำความเย็น และสารดูดกลืน

4.2 การกำหนดสภาวะที่จุดต่าง ๆ ของเครื่องมือ

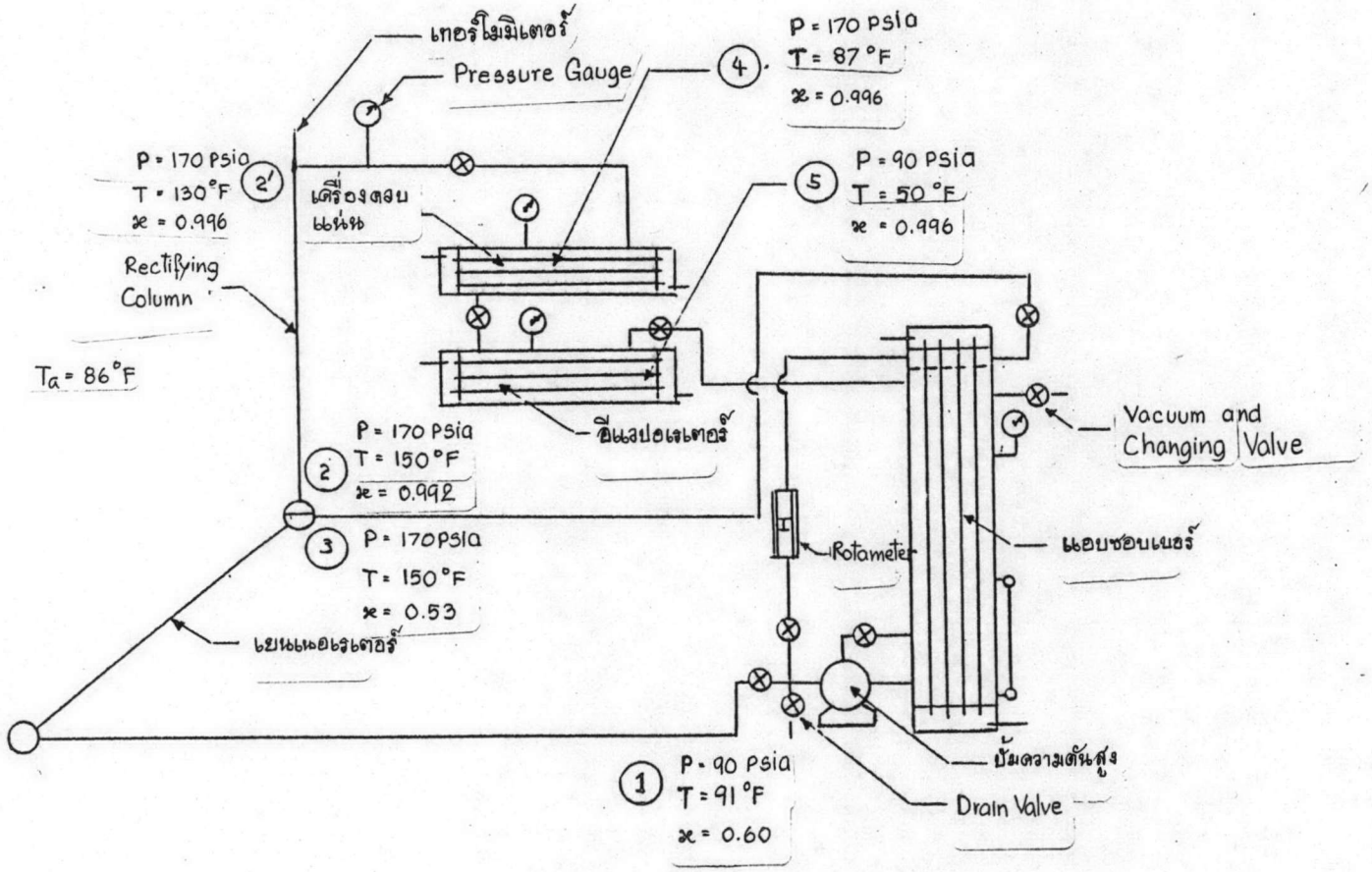
การทดลองนี้ต้องการให้อีแวปอเรเตอร์ มีอุณหภูมิประมาณ 50° ฟ. เพื่อนำไปใช้กับเครื่องปรับอากาศ และจากรูปที่ 4 - 1 จะพบว่าความดันอิ่มตัวของแอมโมเนียที่อุณหภูมิ 50° ฟ. เท่ากับ 90 ปอนด์ต่อตารางนิ้วซึ่งจุดนี้ก็คือจุดที่ ⑤ ตามรูปที่ 4 - 2 และกำหนดให้อุณหภูมิของแอบซอบเบอร์ สูงกว่าอุณหภูมิของห้องเล็กน้อยเท่ากับ 91° ฟ. จากรูปที่ 4 - 1 พบว่าอุณหภูมิ 91° ฟ. และความดัน 90 ปอนด์ต่อตารางนิ้วภายในแอบซอบเบอร์ จะมีสารละลายของแอมโมเนีย ซึ่งมีความเข้มข้น 60 % โดยน้ำหนัก ดูตามรูปที่ 4 - 2 จุดนี้คือจุดที่ ① ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของ refrigeration cycle และกำหนดให้เครื่องควบแน่นมีอุณหภูมิเท่ากับ 87° ฟ. จากรูปที่ 4 - 1 พบว่าแอมโมเนียบริสุทธิ์ที่อุณหภูมินี้มีความดันเท่ากับ 170 ปอนด์ต่อตารางนิ้วทำให้ได้จุดที่ ④ ตามรูป 4 - 2 จุดที่ ③ ตามรูป 4 - 2 จะถูกกำหนดโดยอุณหภูมิสูงสุดที่สารละลายในเยนเนอเรเตอร์จะได้รับจากแสงอาทิตย์ และจากการทดลองของ Exell และ Kornsakoo [3] พบว่าจะให้อุณหภูมิได้ถึง 190° ฟ. แต่การทดลองนี้จะใช้อุณหภูมิในเยนเนอเรเตอร์ที่ต่ำกว่าซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 150° ฟ. และจุดที่ ③ นี้จะมีความดัน 170 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากรูปที่ 4 - 1 จะพบว่าที่จุดนี้มีความเข้มข้นของแอมโมเนีย เท่ากับ 53 % โดยน้ำหนักและจุดอื่น ๆ ก็จะถูกกำหนดโดยจุดต่าง ๆ เหล่านี้

4.3 การออกแบบและการคำนวณ rectifying column

เครื่องทำความเย็นระบบดูดกลืนแบบวงจรต่อเนื่องมีส่วนประกอบสำคัญ 4 อย่าง ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ยังควรจะต้องมี rectifying column ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดปริมาณของไอน้ำที่ปนมากับไอของแอมโมเนีย เพื่อที่จะได้แอมโมเนียเหลวที่



รูปที่ 4 – 1 คุณสมบัติที่จุดสมดุลย์ของสารละลายแอมโมเนียในน้ำ (2)



รูปที่ 4 – 2 ผังของเครื่องทำความเย็นระบบดูดกลืนแบบวงจรต่อเนื่อง
ซึ่งแสดงสภาวะที่จุดต่างๆของเครื่องมือ

บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นในเครื่องควบแน่นและในการทดลองนี้จะสร้างเครื่องมือแบบง่าย ๆ จึงใช้ท่อเหล็กธรรมดาเป็น rectifying column

จากการคำนวณพบว่าจะต้องใช้ท่อเหล็กขนาด 1 นิ้ว (schedule No. 40) ยาว 30 นิ้ว เป็นตัว rectifying column ซึ่งวิธีการคำนวณจะปรากฏอยู่ในภาคผนวก ก.

สมการที่ใช้คำนวณหา heat transfer coefficient กับการหาความร้อนตามธรรมชาติจาก vertical plate [5] เป็นดังนี้

$$h = 0.28 \left(\frac{\Delta T_{lm}}{L}\right)^{\frac{1}{4}} \qquad \text{.....(4.3.1)}$$

$$X = \frac{L^3 \rho^2 g \beta \Delta T_{lm}}{\mu^2} \left(\frac{C_p \mu}{k}\right) \qquad \text{.....(4.3.2)}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_H - \Delta T_L}{\ln\left(\frac{\Delta T_H}{\Delta T_L}\right)} \qquad \text{.....(4.3.3)}$$

4.4 การออกแบบและการคำนวณเครื่องควบแน่น

เครื่องควบแน่นที่จะสร้างขึ้นมานี้จะเป็นแบบ shell and tube โดยให้น้ำหล่อเย็นไหลอยู่ใน tube และแอมโมเนียกลั่นตัวใน shell เครื่องควบแน่นจะประกอบด้วยเครื่องวัดความดันแอมโมเนียไว้อ่านความดันภายใน shell และมี thermo - weld สำหรับใส่เทอร์โมมิเตอร์ เพื่อวัดอุณหภูมิภายใน shell และมีหลอดแก้วทนความดันสูงสำหรับดูระดับแอมโมเนียในเครื่องควบแน่น

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่า heat transfer coefficient สำหรับกรณีที่เป็น larminar film condensation บน hoizontal tube [6] เป็นดังนี้

$$h_0 = 0.725 \left[\frac{\rho_f^2 g \lambda k_f^3}{n^{2/3} d_o \mu_f (T_v - T_w)}\right]^{\frac{1}{4}} \qquad \text{....(4.4.1)}$$

และ $$T_f = T_v - \frac{3}{4}(T_v - T_w) \qquad \text{.....(4.4.2)}$$

โดยทั่ว ๆ ไปอัตราการถ่ายเทความร้อนคำนวณได้จาก

$$Q = \dot{m}_{H_2O} C_p \Delta T \qquad \text{.....(4.4.3)}$$

สมการที่ใช้คำนวณหา heat transfer coefficient (h_i) สำหรับกรณีที่เป็น larminar flow in tube [7]

$$Nu = 1.86\ Pe^{1/3}\left(\frac{d_i}{l}\right)^{1/3}\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad \text{.....(4.4.4)}$$

และ

$$\Delta T = \frac{(T_{in} - T_w) + (T_{out} - T_w)}{2} \quad \text{.....(4.4.5)}$$

คุณสมบัติของของไหลใช้ที่ mean bulk temperature นอกจาก μ_w
สมการ (4.4.4) จะใช้ได้เมื่อ $Re.Pr.\frac{di}{l} > 10$, $\Delta T < 100$ ฟ, $d_i < 1$ นิ้ว

$$Re = \frac{\rho v d_i}{\mu} = \frac{4\dot{m}}{d_i \mu_2} 0,1 \quad \text{.....(4.4.6)}$$

$$T_w = T^* + \Delta T_i \quad \text{.....(4.4.7)}$$

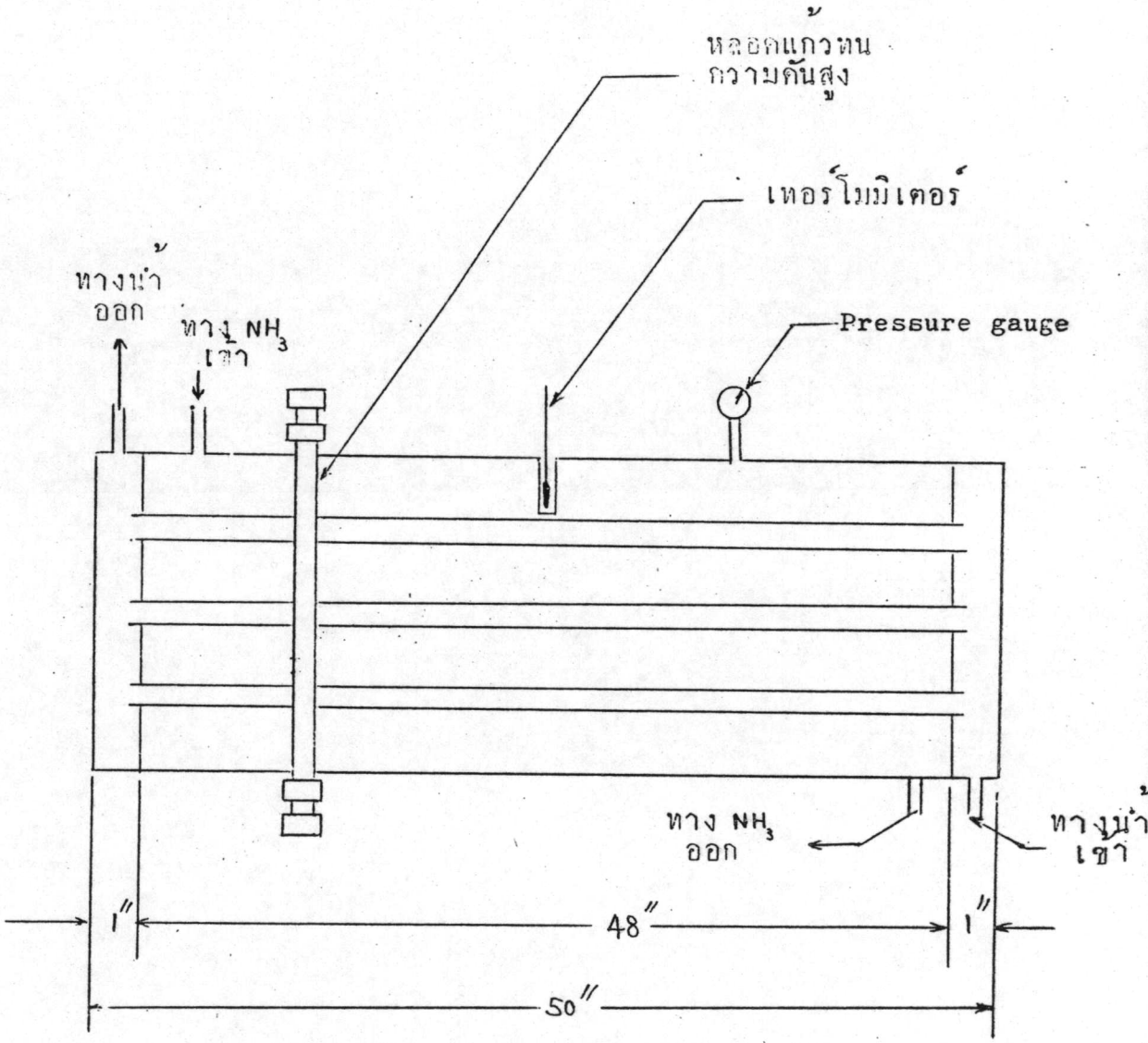
และ

$$\Delta T_i = \frac{1/h_i}{1/h_i + d_i/d_o h_o}\ (T_v - T^*) \quad \text{.....(4.4.8)}$$

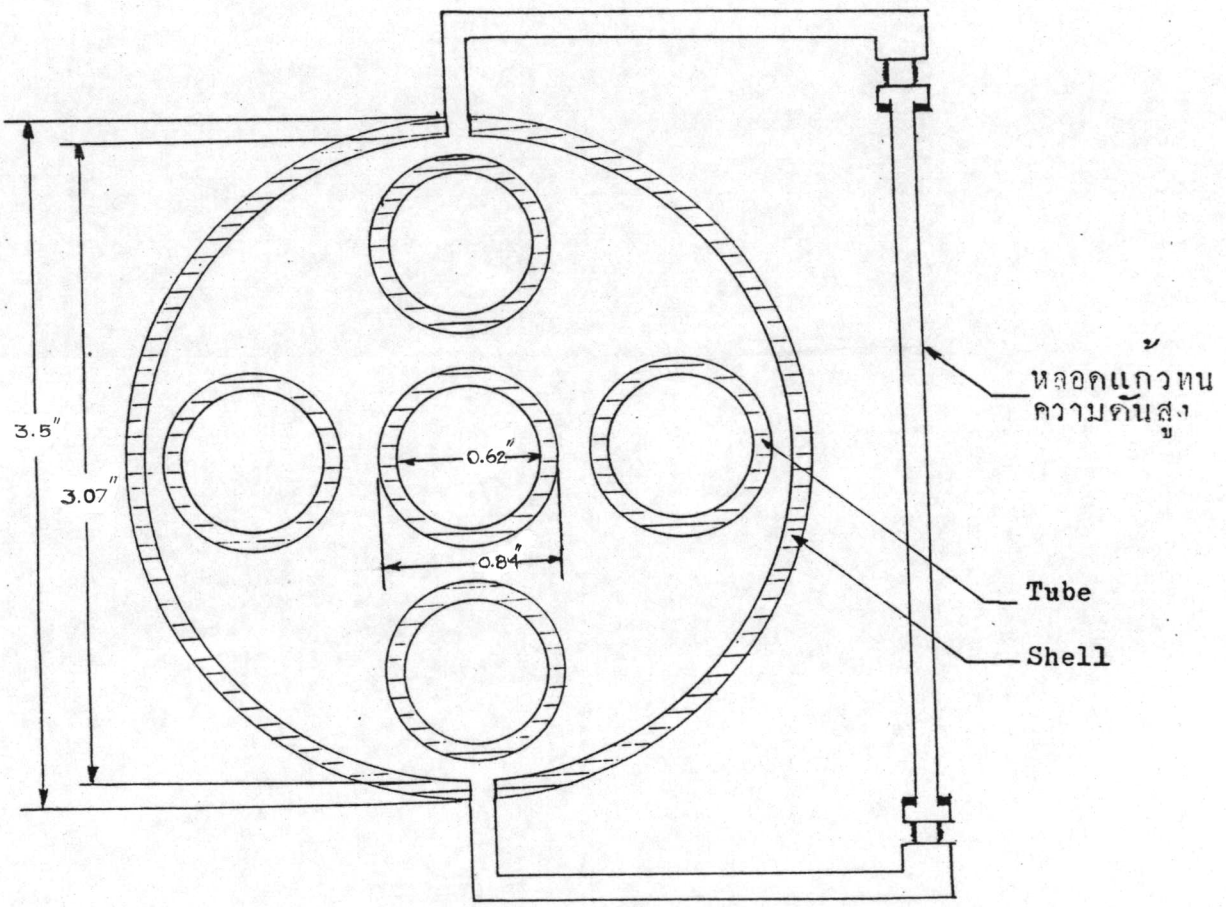
และ

$$U_o = \frac{1}{1/h_o + d_o/d_i h_i} \quad \text{.....(4.4.9)}$$

จากการคำนวณโดยใช้ปริมาณการกลั่นตัวของแอมโมเนียเท่ากับ 2 ปอนด์ต่อชั่วโมง เป็นจุดเริ่มต้นในการคำนวนและใช้เครื่องควบแน่นแบบ shell & tube โดยให้น้ำไหลใน tube และแอมโมเนียกลั่นตัวใน shell ได้ผลในการคำนวณดังนี้ คือ ใช้ท่อขนาด ½ นิ้ว (schedule No. 40) ยาว 4 ฟุตจำนวน 5 ท่อ เป็น tube ให้น้ำไหลผ่าน บรรจุอยู่ใน shell ซึ่งทำด้วยท่อเหล็กขนาด 3 นิ้ว (schedule No. 40) ยาว 50 นิ้ว และต้องใช้อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 422.4 ปอนด์ต่อชั่วโมง และน้ำหล่อเย็นที่เข้าและออกจากเครื่องควบแน่น จะมีอุณหภูมิเท่ากับ 80° ฟ และ 82.5° ฟ ตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดในการคำนวณเครื่องควบแน่นนี้ มีอยู่ในภาคผนวก ข. และสามารถจะดูรูปร่าง, ขนาด และการจัดเรียงของ tube ภายใน shell ของเครื่องควบแน่น ได้ตามรูปที่ 4 - 3 และรูปที่ 4 - 4



รูปที่ 4 – 3 รูปด้านข้างแสดงขนาดของเครื่องควบแน่น
และอีแวปอเรเตอร์



รูปที่ 4 – 4 แสดงให้เห็นการจัดตัวของ tube ภายใน
เครื่องควบแน่น และอีแวปอเรเตอร์

4.5 การออกแบบและการคำนวณอีแวปอเรเตอร์

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการสร้างเครื่องมือแบบง่าย ๆ จึงเลือกเอา อีแวปอเรเตอร์แบบ shell และ tube โดยให้แอมโมเนียอยู่ใน shell และน้ำไหลผ่าน tube ซึ่งจะดูรูปร่างและการจัด tube ภายใน shell และขนาดของอีแวปอเรเตอร์ ได้จากรูปที่ 4-3 และรูปที่ 4-4

ในการออกแบบอีแวปอเรเตอร์ ต้องการให้สามารถระเหยแอมโมเนียได้ 2 ปอนด์ต่อชั่วโมง

โดยทั่ว ๆ ไปอัตราการถ่ายเทความเย็นคำนวณได้จาก

$$Q = m^{o}_{H_2O} C_p \Delta T$$

และ $$Q = UA\Delta T_{lm}$$

เนื่องจากไม่สามารถจะหาข้อมูลของ shell and tube ได้จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลของ double - pipe cooler ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกัน และเพื่อความปลอดภัยจะใช้ safety factor เท่ากับ 100 % สำหรับการออกแบบอีแวปอเรเตอร์นี้ จาก ASHRAE Guide and Data Book [2] พบว่าค่า over all heat transfer co-efficient ของอีแวปอเรเตอร์ แบบ double - pipe cooler จะอยู่ระหว่าง 50 ถึง 150 บี.ที.ยู/ตร.ฟุต.ชม.°ฟ..

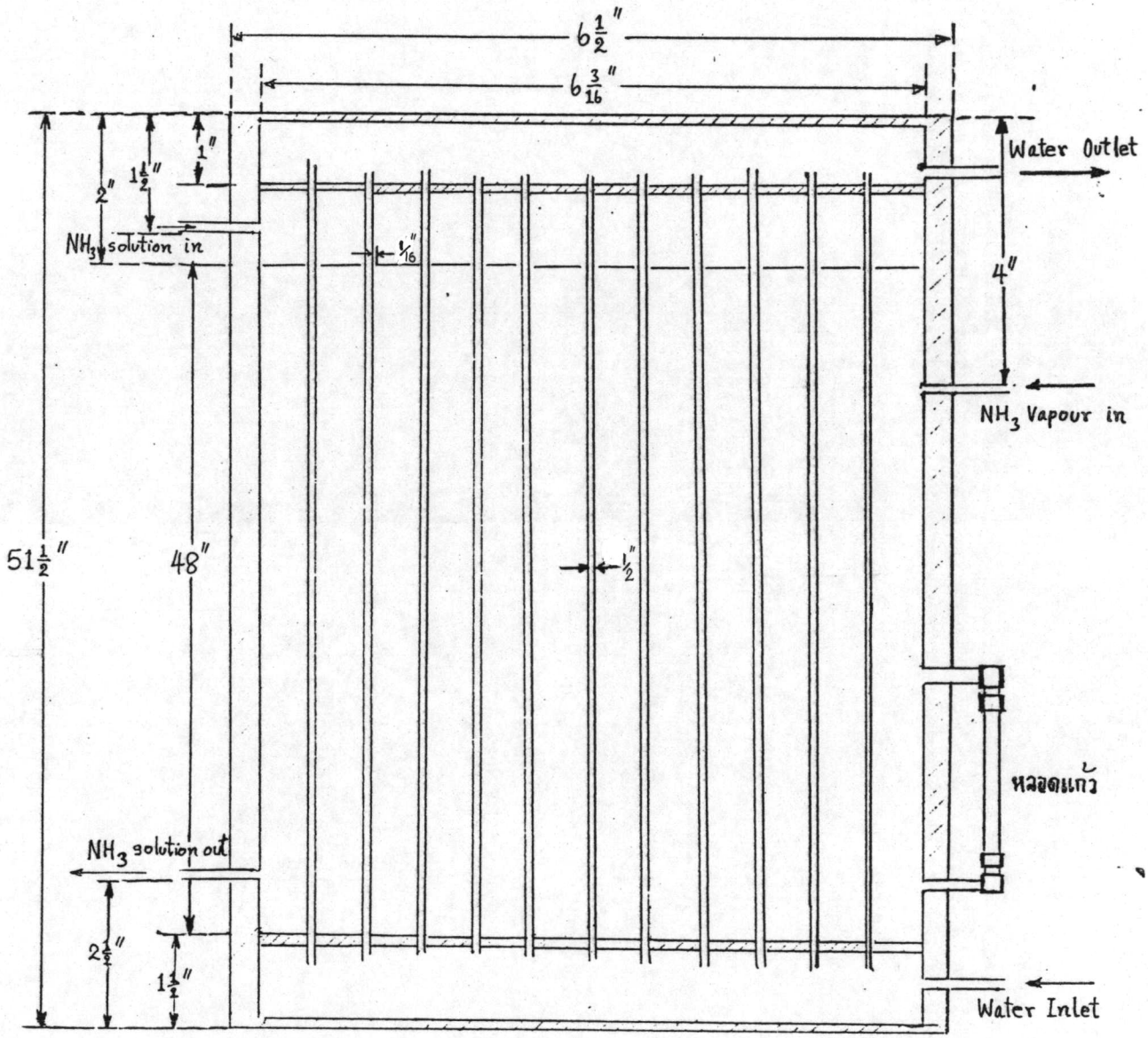
จากการคำนวณโดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 33.82 ปอนด์ต่อชั่วโมง และอุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกจากอีแวปอเรเตอร์เท่ากับ 82.4 °ฟ และ 53.6 °ฟ ตามลำดับ พบว่า อีแวปอเรเตอร์ แบบ shell and tube มี tube จำนวน 5 ท่อ ยาวท่อละ 4 ฟุต โดยใช้ tube ขนาด ½ นิ้ว (schedule No. 40) บรรจุอยู่ใน shell ซึ่งทำด้วยท่อเหล็กขนาด 3 นิ้ว (schedule No. 40) ยาว 50 นิ้ว ซึ่งมีการเรียงของ tube ภายใน shell และรายละเอียดอื่น ๆ ตามรูปที่ 4 -3 และรูปที่ 4 - 4 ซึ่งรายละเอียดในการคำนวณขนาดของอีแวปอเรเตอร์อยู่ในภาคผนวก ค.

4.6 การออกแบบแอบซอบเบอร์

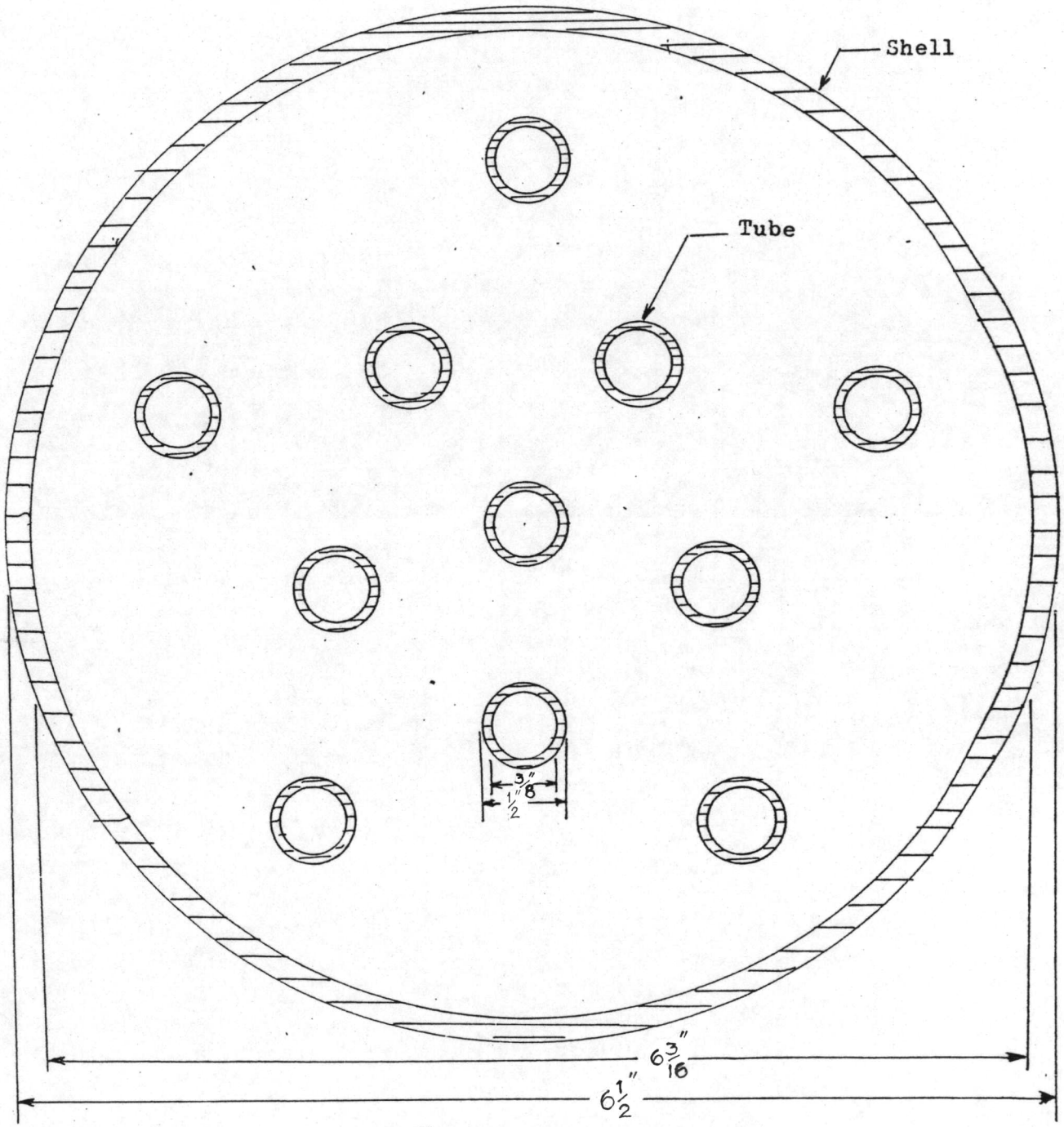
เนื่องจากข้อมูลเพื่อใช้ในการออกแบบแอบซอบเบอร์ขนาดเล็กมีอยู่น้อย และเพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการออกแบบและสร้างเครื่องมือสำหรับที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ แอบซอบเบอร์ขนาดที่คิดว่ามีความเหมาะสมจึงถูกสร้างขึ้นมาเพื่อดูว่ามีอัตราการดูดกลืนแอมโมเนียพอเหมาะหรือไม่ ถ้าผลปรากฏว่าอัตราการดูดกลืนแอมโมเนียน้อยเกินไป ก็จะใช้เป็นแนวทางเพื่อสร้างแอบซอบ-เบอร์ขนาดที่เหมาะสมต่อไป หากพบว่าเหมาะสมก็จะใช้อัตราการดูดกลืนแอมโมเนียที่ได้เพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องมือส่วนอื่น ๆ ต่อไป

แอบซอบเบอร์ที่สร้างขึ้นเป็นแบบ shell and tube โดยให้ไอของแอมโมเนียเข้าไปอยู่ใน shell และถูกดูดกลืนโดยสารละลายของแอมโมเนียกับน้ำ ซึ่งจะไหลลงมาตามผิวของ tube และ shell น้ำหล่อเย็นไหลอยู่ใน tube

แอบซอบเบอร์ที่สร้างขึ้นประกอบด้วยท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6½ นิ้ว ยาว 51½ นิ้ว เป็น shell และมีท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก½ นิ้ว ยาว 50 นิ้ว จำนวน 11 ท่อ อยู่ภายใน shell ซึ่งรูปที่ 4 - 5 และรูปที่ 4 - 6 จะแสดงให้เห็นรูปด้านข้าง, รูปด้านบนและขนาดของแอบซอบเบอร์



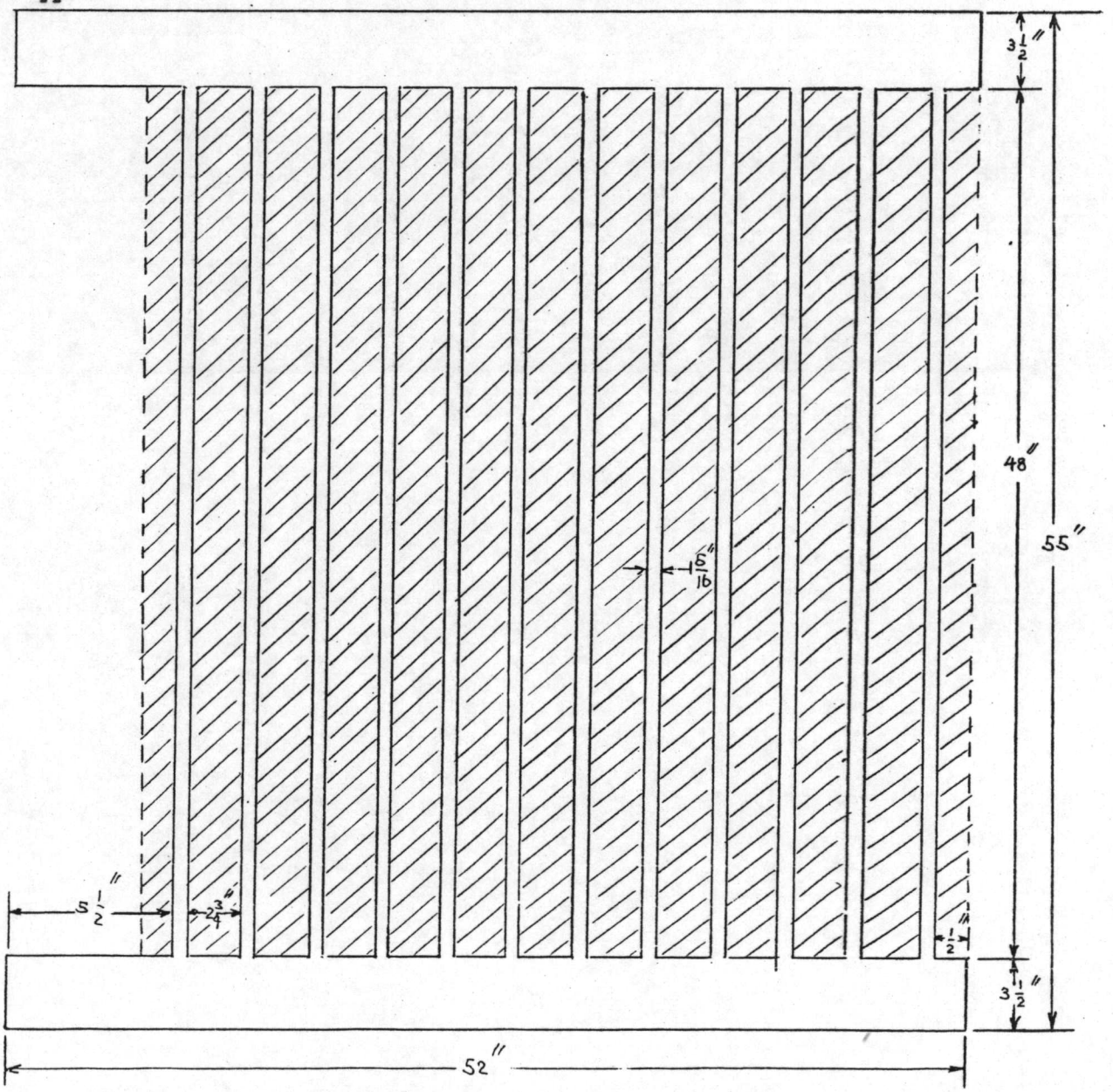
รูป 4 - 5 แสดงให้เห็นด้านข้างของแอบซอบเบอร์



รูปที่ 4 – 6 แสดงให้เห็นการจัดตัวของท่อ ในแอบซอบเบอร์

4.7 การออกแบบเยนเนอเรเตอร์

ตัวรับแสงแบบแผ่นราบ ประกอบด้วยท่อเหล็ก ขนาด 1 นิ้ว(schedule No.40) จำนวน 12 ท่อ เป็น riser และมีท่อเหล็กขนาด 3 นิ้ว (schedule No. 40) เชื่อมต่อหัวและท้ายของ riser และเชื่อมระหว่าง riser ด้วยแผ่นเหล็ก หนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งจะดูรูปร่างและขนาดของ ตัวรับแสงแบบแผ่นราบ ได้ตามรูปที่ 4 - 7



- รูปที่ 4 - 7 แสดงขนาดและรูปร่างของเยนเนอเรเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง