บทที่4

การออกแบบเครื่องมือในการทดลองและวิธีการทดลอง

งานวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบให้หน่วยทำความเย็นมีขนาด 1/2 ตันความเย็น โดยมุ่งเน้นที่ต้องการใช้พลังงานความร้อนอุณหภูมิต่ำกับตัวกำเนิดเพื่อที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำร้อนที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์หรือความร้อนที่ปล่อยทิ้งไปตามโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆได้ และให้ระบบสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องใช้ปั๊มเพื่อขับดันสารละลายจากด้านความดันต่ำสู่ด้านความดันสูง แต่อาศัยแรงดันจากระดับที่แตกต่างกันแทน ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำงานและลดค่าบำรุงรักษาของระบบลงได้ ดังนั้นการไหลเวียนของสารภายในระบบเกิดจากการเดือดภายในตัวกำเนิดทำให้เกิดแรงขับดันสารให้หมุนเวียนภายในระบบได้

เครื่องมือต่างๆในระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนเป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสิ้น ดังนั้นก่อนการออกแบบจะต้องรู้ปริมาณความร้อนที่เกี่ยวข้องในชิ้นส่วนต่างๆแล้วจึงนำมาเลือกแบบและคำนวณขนาดของเครื่องมือให้เหมาะสม รวมทั้งพิจารณาวัสดุที่ใช้ในการสร้างด้วย จาก(19),(21)และ(22)ได้ตกลงใช้ท่อทองแดงเป็นท่อนำสารทั้งหมดภายในระบบเพื่อป้องกันปัญหาการกัดกร่อนและเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนรวมทั้งราคาถูกด้วย ส่วนตัวถังใช้เหล็กไร้สนิม(stainless steel) ชนิดเกรด 316L เพื่อทนต่อการกัดกร่อนของสารละลายลิเธียมโบร์ไมด์ และมีความแข็งแรงทนต่อความกดดันภายนอกในขณะที่ระบบทำงานภายใต้ความดันสูญญากาศ

4.1 การออกแบบและสร้างตัวกำเนิด

เนื่องจากตัวกำเนิดเป็นแหล่งผลิตสารทำความเย็นโดยทำให้แยกออกมาจากสารดูดกลืนซึ่งต้องใช้พลังงานความร้อน ดังนั้นในการสร้างได้ใช้ตัวทำความร้อน(heater) ให้ความร้อนกับน้ำ ซึ่งใช้เป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนให้แก่สารละลายในขดท่อภายในตัวกำเนิด โดยติดตั้งตัวควบคุมอุณหภูมิ(thermostat) ควบคุมให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ

จากการคำนวณ ความร้อนที่จะต้องให้กับตัวกำเนิดเท่ากับ 7512.53 บีทียูต่อชั่วโมง ซึ่งหาความร้อนต่อพื้นที่ของตัวกำเนิดได้ 27,460.19 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางฟุต ดังนั้นสามารถ

หาพื้นที่ของตัวกำเนิดได้โดยใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้วแบบ 18 BWG ยาวทั้งหมด 3.9 ฟุตขดเป็นวงกลมรัศมี 5 นิ้วภายในตัวถังสูง 6 นิ้วรัศมี 7 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 11

4.2 การออกแบบความสูงของท่อนำสารจากตัวกำเนิด

เนื่องจากงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบให้ระบบสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องใช้ปั๊มแต่อาศัยการเดือดอย่างรุนแรงที่เกิดขึ้นที่ตัวกำเนิดทำให้สารละลายไหลเวียนภายในระบบ ดังนั้นต้องมีการออกแบบความสูงของท่อนำสารจากตัวกำเนิดให้สมดุลย์ โดยที่ถ้าความสูงของท่อมากไปจะทำให้สารไม่สามารถเดือดขึ้นไปถึงตัวแยกได้ และถ้าความสูงของท่อน้อยเกินไปก็จะทำให้ระดับของสารที่จะดันไหลกลับเข้าสู่ตัวกำเนิดใหม่สูงไม่เพียงพอทำให้ไม่เกิดการไหลเวียนขึ้นภายในระบบ

จากการคำนวณโดยอาศัยความดันที่เกิดขึ้นที่ตัวกำเนิดและความดันที่ตัวแยกรวมทั้งหักค่าแรงเสียดทานและคิดค่าความปลอดภัย (safty factor) ได้ความสูงของท่อเท่ากับ 32 นิ้ว โดยใช้ท่อทองแดงขนาด 1 นิ้วแบบ 20 BWG ต่อระหว่างตัวกำเนิดกับตัวแยกดังแสดงในรูปที่ 10

4.3 การออกแบบและสร้างตัวแลกเปลี่ยนความร้อน

ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนมีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้กับระบบ เนื่องจากระบบมีสภาพการไหลแบบช้าๆ (laminar flow) จึงออกแบบตัวแลกเปลี่ยนความร้อนแบบขดท่อ(coil) กับท่อหุ้ม (shell) ซึ่งสามารถหาพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนได้เท่ากับ 0.744 ตารางฟุต โดยใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์ 1/4 นิ้วแบบ 26 BWG 3ท่อวางขดขนานกันในแนวเส้นรอบวง ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นกว่าการใช้ท่อตรง

4.4 การออกแบบและสร้างตัวแยก

จากการเดือดอย่างรุนแรงที่เกิดขึ้นในตัวกำเนิด จึงจำเป็นต้องมีตัวแยกเพื่อแยกสารทำความเย็นที่เป็นไอออกจากสารดูดกลืนที่เป็นของเหลว โดยแยกไอของสารทำความเย็นให้เข้าสู่ตัวควบแน่นและแยกสารดูดกลืนให้ไหลเข้าสู่ตัวดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 12

4.5 การออกแบบและสร้างตัวควบแน่น

ตัวควบแน่นต้องอาศัยน้ำหล่อเย็นมาระบายความร้อนเพื่อให้ไอของสารทำความเย็นเป็นของเหลว ซึ่งได้ออกแบบให้ใช้น้ำหล่อเย็นที่ออกจากตัวดูดกลืนมาใช้ทำให้ลดปริมาณน้ำหล่อเย็นลงได้และสะดวกในการทำงานภายในระบบด้วย

เนื่องจากไอของสารทำความเย็นอยู่ในสภาพความดันต่ำ (low pressure) และอยู่

ในสภาวะอัตราการกลั่นตัวต่ำ (Re_v<35,000) จึงต้องออกแบบให้ไอของสารสามารถไหลได้สะดวกโดยออกมาจากตัวแยกได้ทุกทิศทางและมากลั่นตัวที่ขดท่อน้ำหล่อเย็นซึ่งขดซ้อนเรียงกันในแนวตั้ง

จากการคำนวณความร้อนที่ต้องการระบายออกที่ตัวควบแน่นเท่ากับ 6,304.54 บีทียูต่อชั่วโมง จึงใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว แบบ 18BWG โดยความยาวของท่อเท่ากับ 10.24 ฟุต ขดเป็นวงกลมวางซ้อนเรียงกันในแนวตั้ง และได้ออกแบบให้พื้นของตัวควบแน่นลาดเอียงเพื่อรวบรวมสารทำความเย็นที่ควบแน่นเป็นของเหลวแล้วไหลเข้าสู่ตัวระเหยต่อไป ทั้งยังได้ทำท่อซ้อนต่อจากตัวแยกเพื่อไม่ให้ความร้อนจากตัวแยกถ่ายเทมาสู่สารทำความเย็นที่ควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 12

4.6 <u>การออกแบบและสร้างตัวดูดกลืน</u>

ภายในตัวดูดกลืนมีความร้อนเกิดขึ้นจากการกลั่นตัวของไอของสารทำความเย็นและความร้อนจากการดูดกลืนของสารดูดกลืน ดังนั้นจึงต้องออกแบบให้มีการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นออกได้อย่างเพียงพอและสามารถกระจายสารดูดกลืนให้มีพื้นที่ผิวมากๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดกลืนไอของสารทำความเย็นให้สูงขึ้น

จากการคำนวณได้พื้นที่ที่ต้องการใช้ในการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.645 ตารางฟุต โดยใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/4 นิ้ว แบบ 26 BWG 4 ท่อวางขดขนานในแนวเส้นรอบวง ดังแสดงในรูปที่ 13

4.7 <u>การออกแบบและสร้างตัวระเหย</u>

ตัวระเหยนี้เป็นแหล่งทำความเย็นของระบบ ซึ่งได้ออกแบบให้สารทำความเย็นจากตัวควบแน่นฉีดกระจายเหนือขดท่อทำความเย็น เพื่อให้เป็นฟิล์มบางๆรอบขดท่อ ทำให้สารทำความเย็นสามารถระเหยได้ง่ายขึ้น และเพื่อป้องกันการสูญเสียสารทำความเย็นได้ใช้ขดท่อ"พีวีซี"ผ่าซีก มารองรับสารทำความเย็นที่ยังไม่ระเหย ให้แช่อยู่กับขดท่อก่อนเพื่อที่จะได้ระเหยต่อไป

จากการคำนวณได้พื้นที่สำหรับการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.255 ตารางฟุต จึงได้ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/4 นิ้ว แบบ 26BWG 2 ท่อวางขดขนานกันในแนวเส้นรอบวง

ได้ออกแบบให้ตัวระเหยและตัวดูดกลืนอยู่ภายในตัวถังอันเดียวกันทั้งนี้เพื่อให้ไอของสารทำความเย็นซึ่งอยู่ภายใต้ความดันต่ำได้สัมผัสกับตัวดูดกลืนได้ง่ายและสะดวกขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

ในการดูดกลืนไอและง่ายในการสร้างรวมทั้งประหยัดเนื้อที่ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 13

4.8 วิธีการทดลอง

จุดมุ่งหมายสำคัญในการทดลองนี้เพื่อทดสอบและประเมินผลในการทำงานของเครื่องมือที่สร้างขึ้น และศึกษาคุณสมบัติในการเดือดของสารละลายลิเธียมโบรไมด์ภายใต้ความดันต่ำโดยที่สามารถทำให้ระบบทำงานได้โดยไม่ต้องใช้ปั๊มในการหมุนเวียนสารละลาย

ได้มีการวัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆภายในระบบรวมทั้งหมด 10 จุด ดังแสดงในรูปที่ 10 โดยใช้เทอร์โมคอปเปิล(thermocouple) ชนิด K ซึ่งอาศัยหลักการตาม (28) ต่อเข้ากับสวิตช์ควบคุม (selector switch) ก่อนต่อเข้าเครื่องอ่านค่าอุณหภูมิ และวัดความดันภายในระบบโดยใช้มาโนมิเตอร์(manometer) แบบปรอทซึ่งวัดค่า 2 จุดคือ ด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำ ติดตั้งวาล์วทางเดียว(check valve) ทั้งหมด 3 จุดเพื่อเป็นทางเติมสารละลายและใช้ดูดอากาศออกจากระบบโดยต่อเข้ากับปั๊มสูญญากาศ(high vacuum pump) ติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลของของเหลว(liquid flow meter) 2 จุด เพื่อวัดอัตราการไหลของสารละลายเจือจางก่อนเข้าตัวกำเนิดและวัดอัตราการไหลของสารละลายเข้มข้นก่อนเข้าตัวดูดกลืน รวมทั้งติดตั้งวาล์วควบคุมการไหลของสารทำความเย็นจากด้านความดันสูงสู่ด้านความดันต่ำก่อนเข้าตัวระเหย และวาล์วควบคุมการไหลของสารละลายเจือจางต่อจากเครื่องวัดอัตราการไหลก่อนเข้าตัวกำเนิด ส่วนการวัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น(cooling water) และน้ำที่ถูกทำให้เย็น(chilling water) ใช้การวัดโดยกระบอกตวงวัดปริมาตรต่อหน่วยเวลา

4.8.1 การตรวจสอบและหารอยรั่วซึมของเครื่องมือ

ก่อนทำการทดลอง เมื่อสร้างเครื่องมือเสร็จสมบูรณ์แล้ว ได้มีการทดสอบหารอยรั่วของเครื่องมือทุกส่วน ซึ่งทำโดยอัดก๊าซไนโตรเจนความดันประมาณ 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร เข้าทางวาล์วทางเดียว แล้วใช้เครื่องมือตรวจวัดหารอยรั่ว(leak detector) แบบอิเลคโทรนิคตรวจหาบริเวณที่รั่ว ซึ่งเมื่อพบรูรั่วเครื่องนี้จะส่งสัญญาณเป็นเสียงดังออกมา นอกจากนี้เพื่อความแน่นอนได้ใช้ฟองสบู่ทาเพื่อหารอยรั่วที่แท้จริงอีกครั้งหนึ่ง จากการตรวจสอบพบรูรั่วทั้งหมด 7-8 แห่งและได้ทำการเชื่อมประสานรูที่รั่วใหม่ ซึ่งการทำงานเป็นไปได้อย่างยากลำบากเพราะมีขีดจำกัดด้านเนื้อที่และช่วงรอยต่อระหว่างท่อทองแดงกับตัวถังซึ่งเป็นเหล็กไร้สนิมทำการเชื่อมได้ลำบากต้องอาศัยความชำนาญอย่างมาก จากการสังเกตุพบว่า รูรั่วส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นที่ข้อต่อและช่วงรอยต่อระหว่างท่อทองแดงกับตัวถัง หลังจาก

นั้นได้ทำการทดสอบอีกครั้งหนึ่งจนแน่ใจว่าไม่มีรูรั่วอื่นใดอีก

ได้ทำการตรวจสอบอีกครั้งโดยใช้ปั๊มสูญญากาศดูดอากาศออกจากระบบให้หมดเท่าที่จะทำได้ พบว่าความดันในระบบลดลงได้ต่ำสุดเพียง 16 มิลลิเมตรปรอท ถึงแม้ว่าจะใช้ปั๊มสูญญากาศถึงสองเครื่องมาดูดก็ตาม ซึ่งเมื่อได้กลับไปทดสอบหารอยรั่วใหม่แต่ก็ไม่สามารถหาพบได้ และได้ทดลองดูดอากาศออกจากระบบให้หมดเท่าที่จะทำได้ แล้วปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 8 วันปรากฏว่าความดันภายในระบบทั้งด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำเพิ่มขึ้น 14.5 เซ็นติเมตรปรอท ซึ่งคิดเฉลี่ยได้ว่า ความดันของระบบจะเพิ่มขึ้นประมาณ 0.755 มิลลิเมตรปรอทต่อชั่วโมง ดังนั้นจากสภาพการแบบนี้จึงเป็นไปได้ว่ามีรอยซึมของอากาศที่ไม่สามารถตรวจพบได้

4.8.2 ขั้นตอนการทดลอง

ภายหลังการตรวจสอบหารอยรั่วซึมของเครื่องมือแล้ว จึงได้ทำการทดลองตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เติมสารละลายลิเธียมโบรไมด์เข้มข้น 55 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทางช่องวาล์วทางเดียวที่ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้สารละลายทั้งหมด 14 กิโลกรัม

2) เติมน้ำเพื่อเป็นตัวถ่ายเทความร้อนให้เต็มในตัวกำเนิด และต้องตรวจเช็คระดับน้ำให้ท่วมสายควบคุมอุณหภูมิ มิฉะนั้นจะทำให้ตัวควบคุมอุณหภูมิไม่สามารถทำงานได้และเป็นเหตุให้ตัวทำความร้อนซึ่งใช้ไฟฟ้าร้อนจัดและเสียได้

3) ต่อสายดูดอากาศที่วาล์วทางเดียวกับปั๊มสูญญากาศ และทำการดูดอากาศออกจากระบบ

4) เปิดน้ำหล่อเย็นและน้ำที่ต้องการทำให้เย็นเข้าภายในระบบ

5) เปิดสวิทช์ให้ตัวทำความร้อนทำงาน โดยเมื่อตัวทำความร้อนทำงานไฟ(pilot lamp) จะสว่าง ซึ่งตัวทำความร้อนนี้จะต่อพ่วงกับตัวควบคุมอุณหภูมิเพื่อตั้งอุณหภูมิของน้ำตามต้องการ

6) เมื่อได้อุณหภูมิที่ตัวกำเนิดตามต้องการ เปิดวาล์วควบคุมการไหลให้สารละลายเจือจางเข้าสู่ตัวกำเนิด จะสังเกตุได้ว่าสารละลายเดือดอย่างรุนแรงโดยมีเสียงกระทบกับตัวแยก

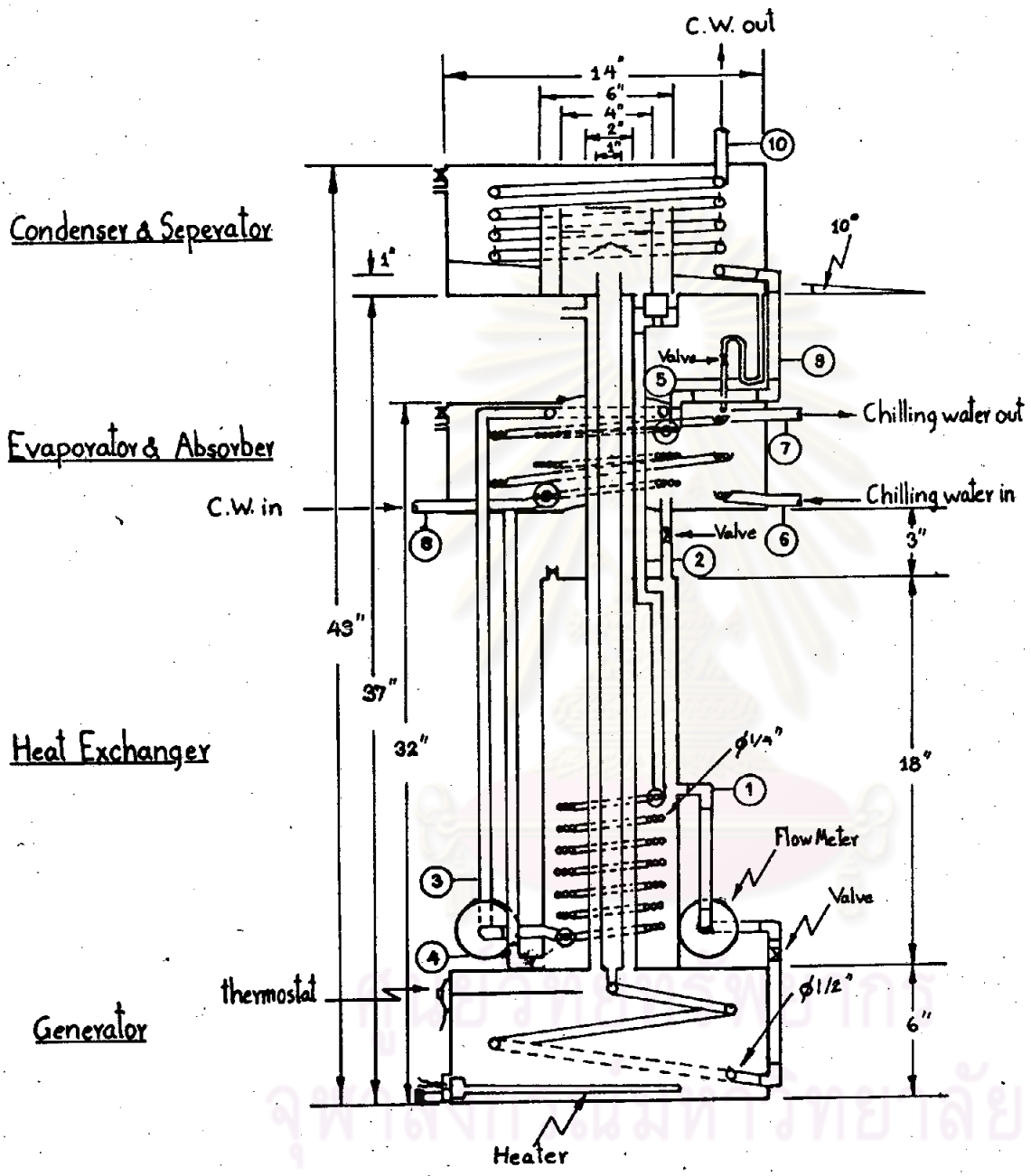
7) เปิดวาล์วควบคุมการไหลสารทำความเย็นซึ่งเป็นแบบ Expansion Valve ให้สารทำความเย็นที่แยกได้เข้าสู่ตัวระเหย พบว่าหลังจากผ่านวาล์วควบคุมไปแล้ว สารทำความเย็นจะเริ่มระเหยทันที โดยสังเกตุได้จากเริ่มมีความเย็นที่จุดนี้และมีไอน้ำมาเกาะเห็นได้อย่างชัดเจน

8) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ จึงเริ่มวัดค่าต่างๆ โดยค่าความดันทั้งด้านความดันสูงและด้าน

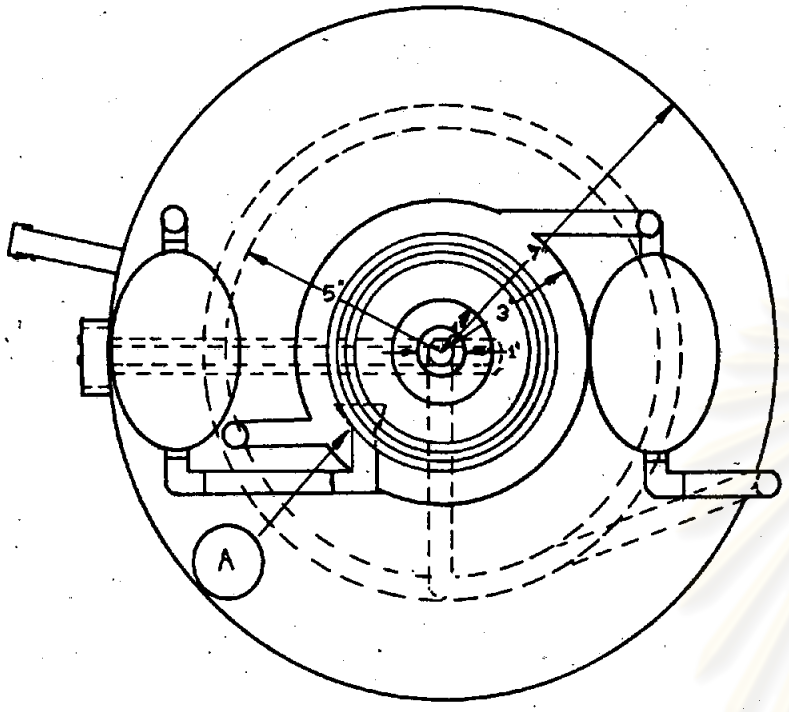
ความดันต่ำอ่านค่าได้จากมาโนมิเตอร์แบบปรอท อุณหภูมิตามจุดต่างๆของระบบวัดค่าได้จากเครื่องอ่านค่าอุณหภูมิ ซึ่งสามารถเลือกวัดจุดต่างๆได้ตามต้องการ โดยหมุนสวิทช์ควบคุมไปตามจุดที่ต้องการวัด ส่วนอัตราการไหลของสารละลายทั้งสารละลายเข้มข้นและสารละลายเจือจาง วัดค่าได้จากการไหลผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลทั้งหมดต่อหน่วยเวลา เช่นเดียวกับการวัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นและน้ำที่ถูกทำให้เย็น ซึ่งวัดโดยใช้กระบอกตวงวัดปริมาตรต่อหน่วยเวลา

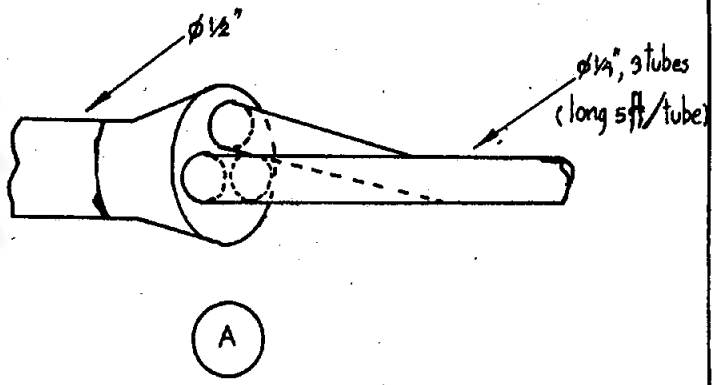
ได้ทำการทดลองแบบต่อเนื่องโดยให้เครื่องมือทุกส่วนทำงานพร้อมกันตลอดเวลา และทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตัวกำเนิดที่ค่าต่างๆ เพื่อศึกษาคุณสมบัติในการเดือดของสารละลายลิเธียมโบรไมด์

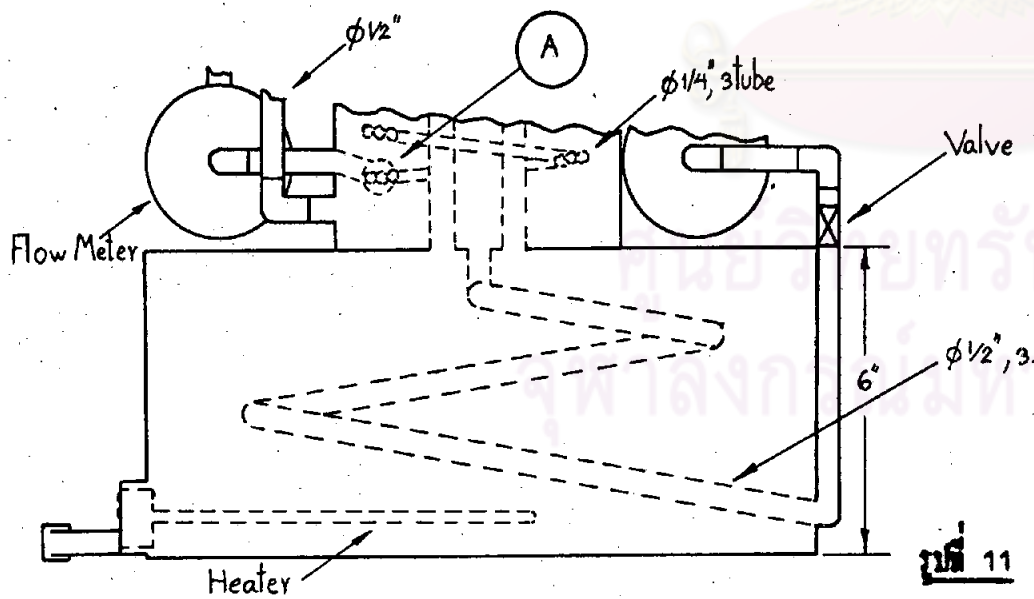
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


C.W. out
14"
6"
4"
2"
1"
10
Condenser & Sepevator
1"
10°
Valve
8
5
Chilling water out
Evaporator & Absorber
7
C.W. in
Chilling water in
9
Valve
6
3"
2
49"
37"
Heat Exchanger
32"
φ1/4"
18"
1
Flow Meter
3
Valve
4
thermostat
φ1 1/2"
Generator
6"
Heater

รูปที่ 10

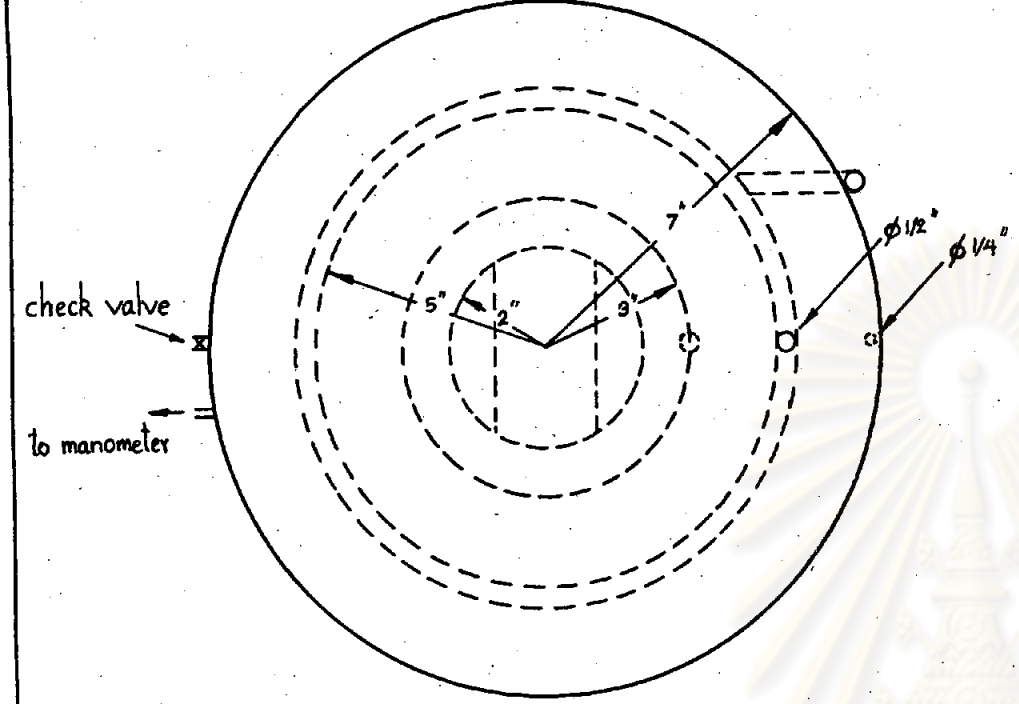


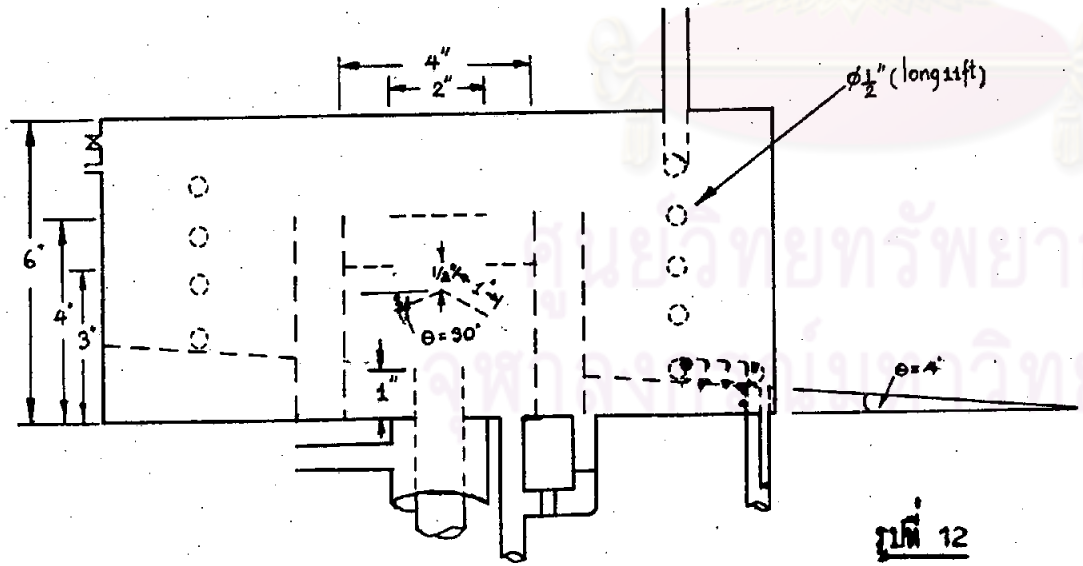




รูปที่ 11

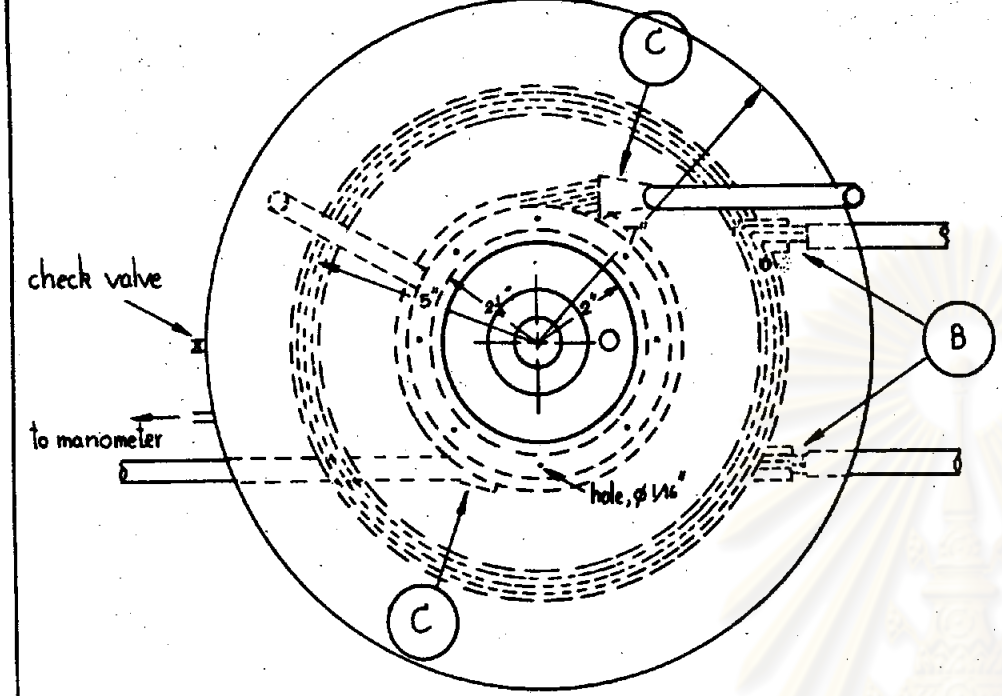
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

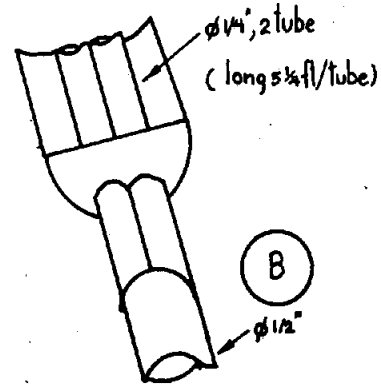


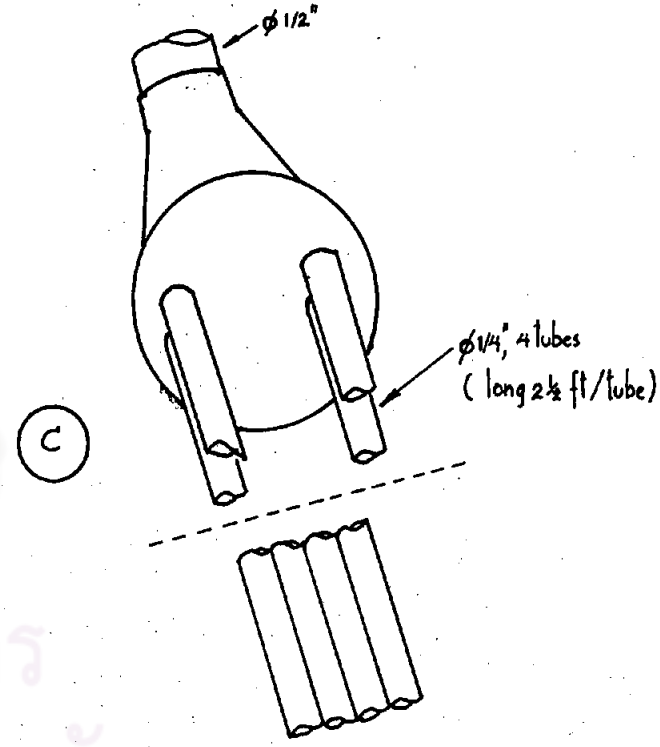


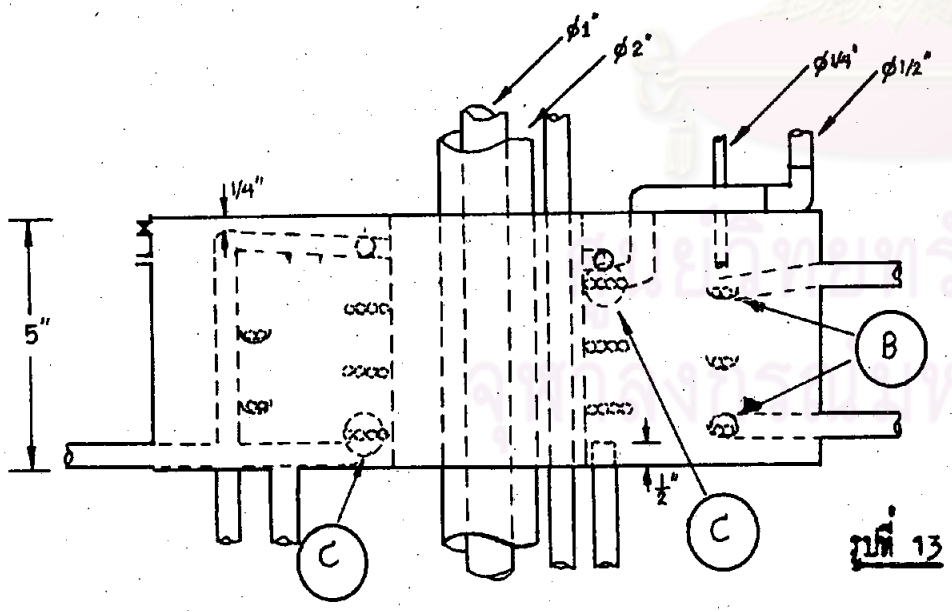
รูปที่ 12

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย









รูปที่ 13

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย