

การเพิ่มอุณหภูมิของความร้อน คุณภาพต่ำโดยใช้
ตัวแปลงความร้อน ที่อีจี-น้ำ

TEMPERATURE BOOSTING OF LOW GRADE HEAT WITH
A TEG-WATER HEAT TRANSFORMER

ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ สุรัตน์ พร้อมพุดธางกูร

คณะพลังงานและวัสดุ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

T. KIATSIRIROAT AND S. PROMPUTTHANGKOON

School of Energy & Material

King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Bangkok 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาแนวทางในการนำความร้อนทิ้งกลับมาเพิ่มคุณภาพและนำกลับมาใช้ประโยชน์โดยผ่านตัวแปลงความร้อน รูปแบบที่ศึกษาในการจ่ายและรับพลังงานความร้อนมี 3 รูปแบบ ได้แก่

- รูปแบบที่ 1 กระแสของของไหล จะจ่ายพลังงานที่เจเนเรเตอร์ อีแวปอเรเตอร์ตามลำดับ และมารับความร้อนที่ถังดูดกลืน
- รูปแบบที่ 2 กระแสของของไหลกระแสหนึ่งมาจ่ายพลังงานที่อีแวปอเรเตอร์ และจ่ายที่เจเนเรเตอร์ และมีกระแสของไหลอีกกระแสหนึ่งมาเพิ่มอุณหภูมิที่ถังดูดกลืน
- รูปแบบที่ 3 กระแสของของไหล 2 กระแส จะมาจ่ายพลังงานที่เจเนเรเตอร์ และที่อีแวปอเรเตอร์ตามลำดับ และมีกระแสของไหลอีกกระแสหนึ่งมาเพิ่มอุณหภูมิที่ถังดูดกลืน

จากการศึกษาพบว่า การใช้งานในรูปแบบที่ 2 และ 3 อุณหภูมิของกระแสความร้อนทั้งสามสามารถทำให้เพิ่มขึ้นได้โดยค่าอัตราส่วนความร้อนของทั้ง 2 รูปแบบ ไม่แตกต่างกันมากนัก ในขณะที่การใช้งานตามรูปแบบที่ 1 อุณหภูมิของความร้อนทั้ง ไม่สามารถเพิ่มคุณภาพขึ้นได้

ในงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาผลของอุณหภูมิเจเนเรเตอร์ และอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ ที่มีต่อการเพิ่มอุณหภูมิ และค่าอัตราส่วนความร้อนของการทำงาน พบว่าเมื่อค่าอุณหภูมิของเจเนเรเตอร์เพิ่มขึ้น จะทำให้อุณหภูมิของถึงดุดกลืนเพิ่มขึ้น สามารถทำให้ของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำ มีคุณภาพสูงขึ้นได้ แต่ทั้งนี้ค่าอัตราส่วนความร้อนที่ได้จะมีค่าต่ำ และเมื่ออุณหภูมิคอนเดนเซอร์มีค่าสูงขึ้น สมรรถนะของตัวแปลงความร้อนจะลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าอัตราส่วนความร้อนของตัวแปลงความร้อนจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเจเนเรเตอร์สูงกว่าอุณหภูมิอีแวปอเรเตอร์

ABSTRACT

In this paper, 3 techniques in recovering and upgrading low grade heat with a heat transformer have been presented as follows:

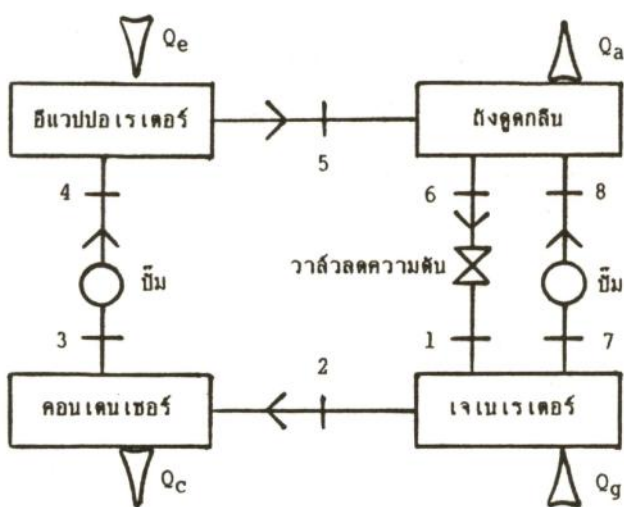
- A stream of low grade heat supplies energy at the generator and the evaporator and absorbs heat at the absorber, respectively.
- A stream of low grade heat supplies energy at the generator and the evaporator, respectively and another stream absorbs heat at the absorber.
- Two streams of low grade heat, one supplies heat at the generator, and the other one generates heat at the evaporator. The third stream absorbs heat at the absorber.

From the study, only the last two methods can be used to recover and upgrade the low grade heat with the same order of heat ratio.

The temperature boosting and the heat ratio obtained from the heat transformer depend on the generator and the condenser temperatures. As the generator temperature increases, higher temperature boost and lower heat ratio are obtained. When the condenser temperature increases the performance of the system decreases. It can be found that the heat ratio is higher when the temperature of the generator is over that of the evaporator.

บทนำ

ตัวแปลงความร้อน (heat transformer) มีอุปกรณ์หลัก ประกอบด้วย เจเนเรเตอร์ คอนเดนเซอร์ อีแวปอเรเตอร์ และตัวดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 1 สารทำงานเป็นสารคู่ผสมแบบดูดกลืน โดยสารตัวหนึ่งเป็นสารดูดกลืน และสารอีกตัวหนึ่งเป็นสารถูกดูดกลืน เมื่อมีพลังงานความร้อน จ่ายพลังงานที่เจเนเรเตอร์ ซึ่งทำงานที่ความดันต่ำ สารถูกดูดกลืนจะแยกตัวออกมา และควบแน่นเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์ จากนั้นจะถูกอัดตัวไปรับพลังงานความร้อนที่อีแวปอเรเตอร์ ซึ่งทำงานที่ความดันสูง จนกลายเป็นไอหมด ไอของสารที่ถูกดูดกลืนจะไปรวมตัวกับสารละลายเข้มข้นของสารดูดกลืน ซึ่งถูกอัดตัวมาจากเจเนเรเตอร์ เมื่อมีการรวมตัวในถังดูดกลืน ไอของสารที่ถูกดูดกลืนจะกลายเป็นของเหลวคายความร้อนออกมา และในขณะเดียวกัน จะเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีลักษณะเป็นแบบการคายความร้อน ทำให้ปริมาณความร้อนที่ได้จากการผสมในถังดูดกลืน เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงจากนั้นสารละลายเจือจางของสารดูดกลืนที่ได้จากการผสม จะไหลกลับสู่เจเนเรเตอร์ โดยผ่านวาล์วลดความดันมารับความร้อนใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 1 ตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน

จากการศึกษาที่ผ่านมา [1,2] อุณหภูมิสูงสุดของระบบอยู่ที่ถังดูดกลืน ตามด้วยอุณหภูมิของเจเนเรเตอร์ อีแวปอเรเตอร์ และอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ ถ้านำกระแสความร้อนทั้ง มาป้อนให้พลังงานความร้อนที่เจเนเรเตอร์ และอีแวปอเรเตอร์ กระแสความร้อนทั้งสามารถรับพลังงานความร้อนและเพิ่มคุณภาพได้ที่ถังดูดกลืน จะเห็นว่าข้อดีของตัวแปลงความร้อน นอกจากจะสามารถดึงพลังงานความร้อนทั้งกลับคืนมาใช้ประโยชน์แล้ว ยังสามารถเพิ่มคุณภาพของความร้อนทั้งให้สูงขึ้นได้อีกด้วย

สมรรถนะของตัวแปลงความร้อน สามารถกำหนดด้วยค่าอัตราส่วนความร้อน (heat ratio) [1] ซึ่งเป็นอัตราส่วนของความร้อนที่เกิดขึ้นที่ถังดูดกลืนต่อความร้อนที่ให้ที่อีแวปอเรเตอร์ และเจเนเรเตอร์ นอกจากนี้ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่สอง (the second law efficiency) [3] ซึ่งเป็นอัตราส่วนของเอ็กซีเซอร์จี (exergy) ที่ได้ที่ถังดูดกลืน ต่อผลรวมของเอ็กซีเซอร์จีที่อีแวปอเรเตอร์และที่เจเนเรเตอร์ ก็เป็นดัชนีที่ใช้บอกสมรรถนะการทำงานของตัวแปลงความร้อนด้วยระบบที่ดีจะมีค่าอัตราส่วนความร้อน และประสิทธิภาพกฎข้อที่สองสูง

เมื่ออุณหภูมิทำงานที่ต้องการไม่เกิน 150°C สารคู่ทำงานมักจะใช้ลิเทียมโบรไมด์-น้ำ [4,5] ลิเทียมคลอไรด์-น้ำ และลิเทียมคลอไรด์-ลิเทียมโบรไมด์-น้ำ [6] และสารไตรเอทิลีนไกลคอล-น้ำ [7] สารคู่ผสมตัวหลังนี้ไม่มีปัญหาเรื่องการกัดกร่อนและการตกผลึกของสารในช่วงอุณหภูมิต่ำ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาวิธีการเพิ่มอุณหภูมิของความร้อนคุณภาพต่ำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยใช้ตัวแปลงความร้อนที่ใช้ไตรเอทิลีนไกลคอล-น้ำเป็นสารคู่ทำงาน

วิธีวิเคราะห์

สมดุลมวลและพลังงานในตัวแปลงความร้อน

ในการวิเคราะห์ สมดุลมวลและพลังงานในอุปกรณ์ต่าง ๆ ของตัวแปลงความร้อนในรูปที่ 1 จะมีสมมุติฐานดังนี้

1. สภาวะของสารทำงานในอุปกรณ์ดังกล่าว อยู่ในสภาวะคงตัว (steady-state conditions)
2. ความดันในคอนเดนเซอร์ และความดันในอีแวปอเรเตอร์ เท่ากับความดันในเจเนเรเตอร์ และถึงจุดกลั่นตามลำดับ
3. สารละลายที่ออกจากถึงจุดกลั่น และเจเนเรเตอร์อยู่ในสภาพอิ่มตัว
4. สารทำงานที่ออกจากเจเนเรเตอร์ และอีแวปอเรเตอร์อยู่ในสภาพอิ่มตัว
5. ไม่คิดค่ากำลังงานที่ไปขับปั๊ม
6. ไม่มีความร้อนสูญเสียสู่สิ่งแวดล้อม ที่ถึงจุดกลั่น, เจเนเรเตอร์ และอีแวปอเรเตอร์

จากสมมุติฐานดังกล่าว สมดุลมวลและพลังงานในแต่ละอุปกรณ์สามารถวิเคราะห์ได้ ดังนี้

$$\text{เจเนเรเตอร์} : m_1 = m_2 + m_7 \quad (1)$$

$$m_1 x_1 = m_7 x_7 \quad (2)$$

$$Q_g = m_2 h_2 + m_7 h_7 - m_1 h_1 \quad (3)$$

$$Q_g = w_g c_p (T_{Gi} - T_{Go}) \quad (4)$$

$$\text{คอนเดนเซอร์} : m_2 = m_3 \quad (5)$$

$$Q_c = m_2 (h_2 - h_3) \quad (6)$$

$$\text{ถึงจุดกลั่น} : m_6 = m_5 + m_8 \quad (7)$$

$$m_6 x_6 = m_8 x_8 \quad (8)$$

$$Q_a = m_5 h_5 + m_8 h_8 - m_6 h_6 \quad (9)$$

$$Q_a = w_a c_p (T_{Ao} - T_{Ai}) \quad (10)$$

$$\text{อีแวปอเรเตอร์} : m_4 = m_5 \quad (11)$$

$$Q_c = m_4 (h_5 - h_4) \quad (12)$$

$$Q_c = w_e c_p (T_{Ei} - T_{Eo}) \quad (13)$$

$$\text{ปั๊ม} : h_3 = h_4, h_7 = h_8 \quad (14)$$

$$x_7 = x_8 = x_r \quad (15)$$

$$m_7 = m_8, m_3 = m_4 \quad (16)$$

$$\text{วาล์วขยายตัว} : m_6 = m_1 \quad (17)$$

$$x_6 = x_1 = x_p \quad (18)$$

Q คืออัตราความร้อนที่อุปกรณ์ต่าง ๆ , m คืออัตราการไหลโดยมวลของสารทำงานในวงจรของตัวแปลงความร้อน, x คือ ค่าความเข้มข้นของสาร ที่อีจี้ต่อสารละลายทั้งหมด ; x_r คือ ค่าความเข้มข้นสูง และ x_p คือ ความเข้มข้นเจือจาง, h คือ เอนทัลปีจำเพาะของสารทำงานในวงจรตัวแปลงความร้อน, w คืออัตราการไหลโดยมวลของของไหลที่มาแลกเปลี่ยนความร้อนในอุปกรณ์ต่าง ๆ , c_p คือความจุความร้อนจำเพาะของของไหลดังกล่าว , T_G , T_A และ T_E คืออุณหภูมิของไหลที่มาแลกเปลี่ยนความร้อน

ค่าอัตราส่วนความร้อน, HR , เป็นค่าอัตราส่วนความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ที่ถึงจุดกลั่น ต่อความร้อนที่จ่ายให้แก่ตัวแปลงความร้อนที่เจเนเรเตอร์และอีแวปอเรเตอร์ สามารถคำนวณจาก

$$HR = \frac{W_A C_p (T_{Ao} - T_{Ai})}{[W_G C_p (T_{Gi} - T_{Go}) + W_E C_p (T_{Ei} - T_{Eo})]} \quad (19)$$

ในการเพิ่มคุณภาพของพลังงานความร้อนรูปแบบในการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากตัวแปลงความร้อน จะต้องเป็นรูปแบบที่สามารถให้ค่าอัตราความร้อนมีค่าสูง

แนวทางในการเพิ่มคุณภาพพลังงานความร้อน

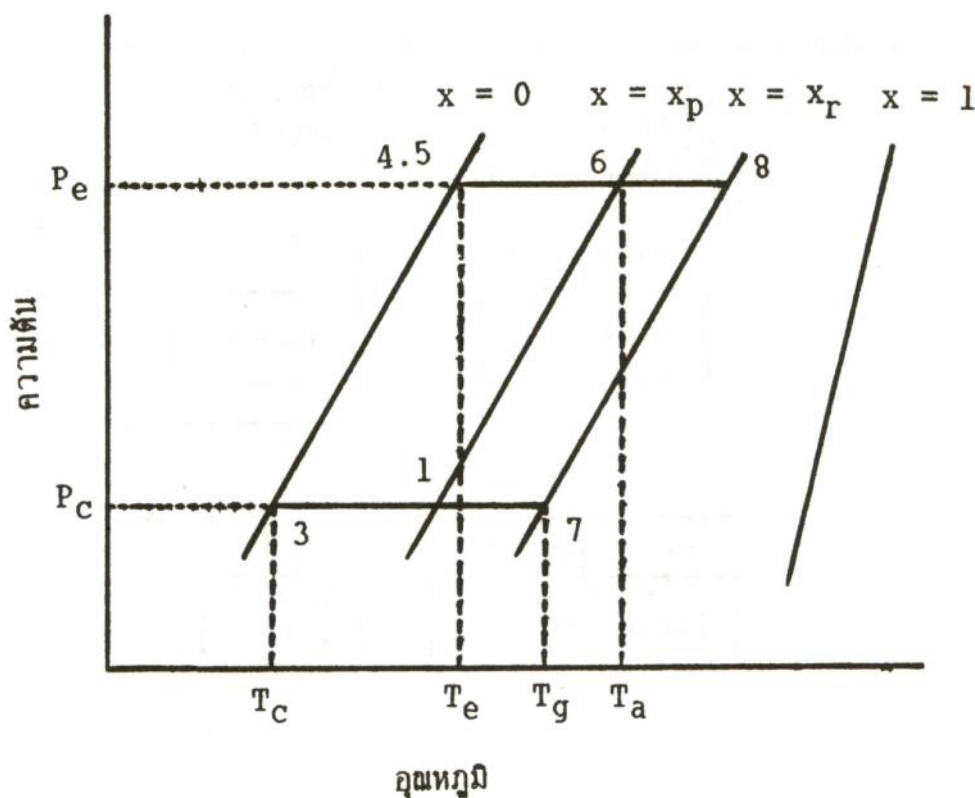
เมื่อมีการให้พลังงานความร้อนที่เจนเนอเรเตอร์ และที่แวนพอเรเตอร์ ของตัวแปลงความร้อน ระบบสามารถให้พลังงานความร้อนที่อุณหภูมิสูงได้ที่ถึงจุดดกกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นไดอะแกรมความดัน-อุณหภูมิ-ความเข้มข้น (P-T-x diagram) และสารคู่ทำงานในตัวแปลงความร้อนตามรูปที่ 1 จากรูปจะเห็นว่า อุณหภูมิ

ของสารคู่ทำงานที่เจนเนอเรเตอร์และอีแวนพอเรเตอร์มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่ถึงจุดดกกลืน นั่นคือถ้ามีกระแสของไหลอุณหภูมิต่ำที่สามารถจ่ายพลังงานความร้อนให้แก่เจนเนอเรเตอร์ และอีแวนพอเรเตอร์ ของตัวแปลงความร้อนได้จะสามารถนำเพิ่มอุณหภูมิให้แก่กระแสของไหลดังกล่าวได้ที่ถึงจุดดกกลืน

สำหรับในการศึกษานี้ เจื่อนไขในการเลือกแนวทางในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่กระแสของไหลอุณหภูมิต่ำให้มีคุณภาพสูงขึ้น จะพิจารณาจาก

ก. อุณหภูมิของของไหล จะต้องมีความสูงขึ้น เมื่อมารับความร้อนที่ถึงจุดดกกลืน

ข. ค่าอัตราส่วนความร้อน จะต้องมีความสูง



รูปที่ 2 แผนภูมิ ความดัน อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารคู่ทำงานในตัวแปลงความร้อน

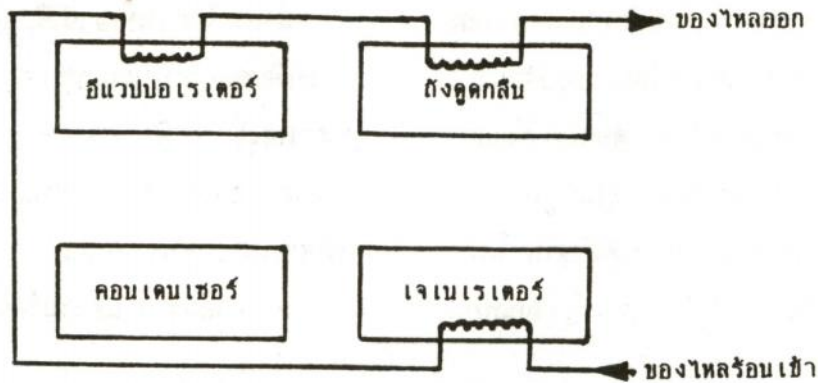
รูปแบบในการทำงาน ได้ศึกษา 3 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3 ได้แก่

1. มีกระแสเดียว จ่ายพลังงานที่เจเนอเรเตอร์ อีแวปอเรเตอร์และมารับความร้อนที่ถังดักกลืนตามลำดับ

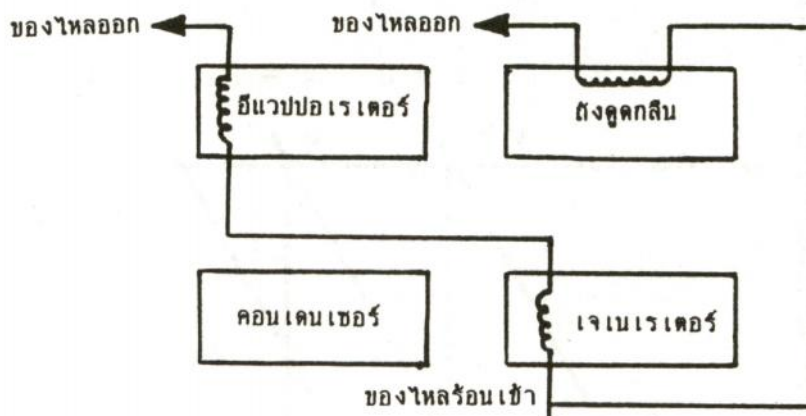
2. มีกระแสของของไหลกระแสหนึ่งมาจ่ายพลังงานที่เจเนอเรเตอร์ และที่อีแวปอเรเตอร์และมีกระแส

ความร้อนอีกกระแสหนึ่ง ที่อุณหภูมิเดียวกันมาเพิ่มคุณภาพที่ถังดักกลืน

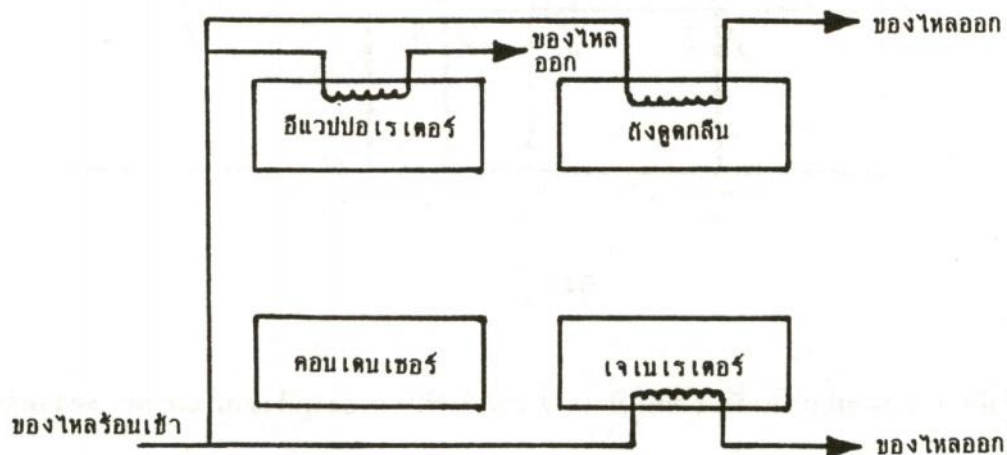
3. มีกระแสของของไหล 2 กระแส กระแสหนึ่งจ่ายพลังงานที่อีแวปอเรเตอร์อีกกระแสหนึ่งจ่ายพลังงานที่เจเนอเรเตอร์และมีกระแสของไหลอีกกระแสหนึ่งที่อุณหภูมิเดียวกัน ถูกนำมาเพิ่มคุณภาพที่ถังดักกลืน



ก. รูปแบบที่ 1



ข. รูปแบบที่ 2



ค. รูปแบบที่ 3

รูปที่ 3 รูปแบบในการจ่ายและรับพลังงานความร้อนที่ตัวแปลงความร้อน

ผลการวิเคราะห์

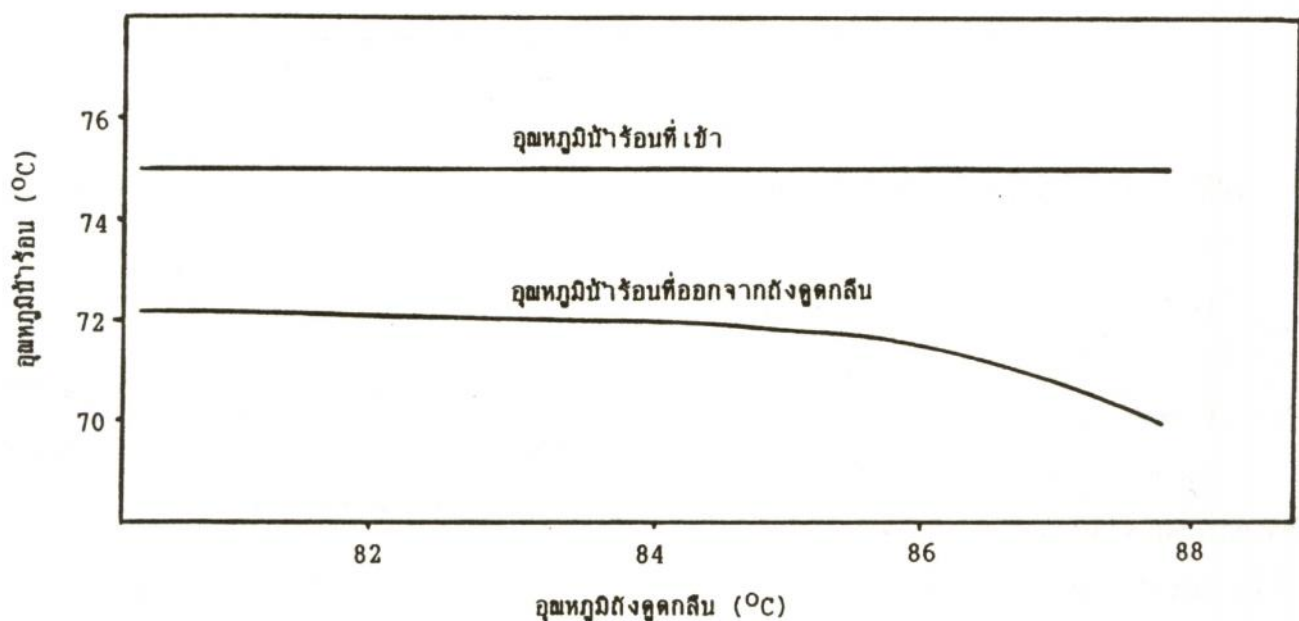
การทำงานรูปแบบที่ 1

ในรูปแบบที่ 1 อุณหภูมิทำงานของตัวแปลงความร้อน มีดังนี้

$$T_c = 40\text{ }^{\circ}\text{C} : T_g = T_c = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$$

น้ำที่อุณหภูมิ $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถ่ายเทความร้อนให้แก่

ตัวแปลงความร้อนที่เจเนเรเตอร์ และอีแวปอเรเตอร์ โดยอุณหภูมิที่ออกจากอีแวปอเรเตอร์มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอีแวปอเรเตอร์ $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ก่อนมารับความร้อนที่ถังดักกลืน รูปที่ 4 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากถังดักกลืน จะเห็นได้ว่า รูปแบบดังกล่าวไม่สามารถเพิ่มคุณภาพพลังงานความร้อนได้ เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำที่ไต่ลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอัตราความร้อนที่น้ำจ่ายในเจเนเรเตอร์ และอีแวปอเรเตอร์ มีค่ามากกว่าอัตราความร้อนที่ได้รับในถังดักกลืน รูปแบบดังกล่าวจึงไม่ช่วยในการเพิ่มคุณภาพพลังงานความร้อนแก่ของไหล

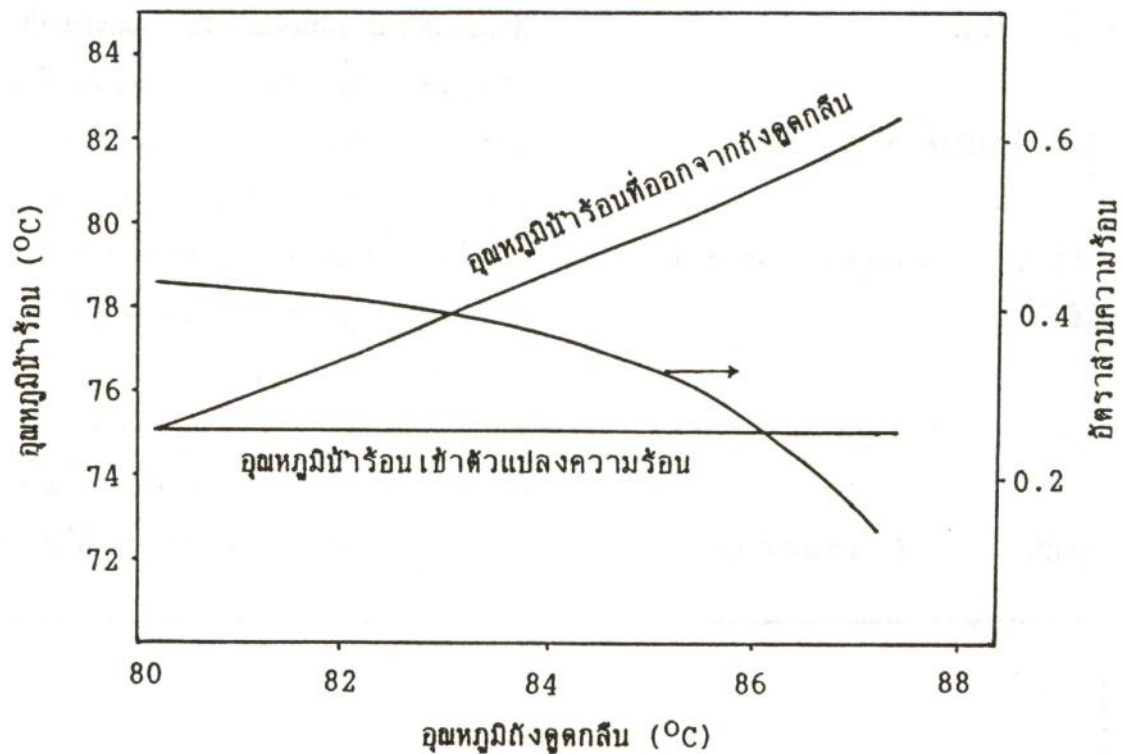


รูปที่ 4 อุณหภูมิน้ำร้อนที่จ่ายพลังงานแก่ตัวแปลงความร้อน และอุณหภูมิน้ำร้อนหลังจากรับความร้อนที่ถังดักกลืนในการทำงานตามรูปแบบที่ 1

การทำงานรูปแบบที่ 2

ในรูปแบบที่ 2 น้ำร้อนส่วนหนึ่งจะไปจ่ายความร้อนที่เจเนเรเตอร์ และอีแวปอเรเตอร์ และมีอีกกระแสหนึ่งไปรับความร้อนที่ถังดักกลืน เพื่อไปเพิ่มพลังงานความร้อน ในการวิเคราะห์ จะสมมุติอุณหภูมิการทำงานของตัวแปลงความร้อนดังนี้

มีน้ำร้อนที่ $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ กระแสหนึ่งจ่ายความร้อนที่เจเนเรเตอร์ และอีแวปอเรเตอร์ โดยมีอุณหภูมิที่ออกจากอีแวปอเรเตอร์สูงกว่าอุณหภูมิอีแวปอเรเตอร์อยู่ $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ และมีน้ำร้อนที่ $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ อีกกระแสหนึ่งไปรับความร้อนที่ถังดักกลืน โดยสมมุติให้อุณหภูมิของกระแสของไหลดังกล่าวที่ออกจากถังดักกลืนมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิทำงานของถังดักกลืนอยู่ $5\text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 5 อุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากถังดูดกลืน และค่าอัตราส่วนความร้อนในการทำงานตามรูปแบบที่ 2

ในรูปที่ 5 แสดงอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากถังดูดกลืน หลังจากที่ได้รับความร้อนแล้วจะเห็นได้ว่าคุณภาพของพลังงานความร้อนสามารถเพิ่มขึ้นได้ แต่ในขณะเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิถังกลั่นมีค่าสูงขึ้น อัตราความร้อนที่ได้หรือค่าอัตราส่วนความร้อนจะมีค่าน้อยลง นั่นคือเมื่อคุณภาพของพลังงานความร้อนที่ได้มากขึ้น ปริมาณความร้อนที่ได้จะมีค่าน้อยลง

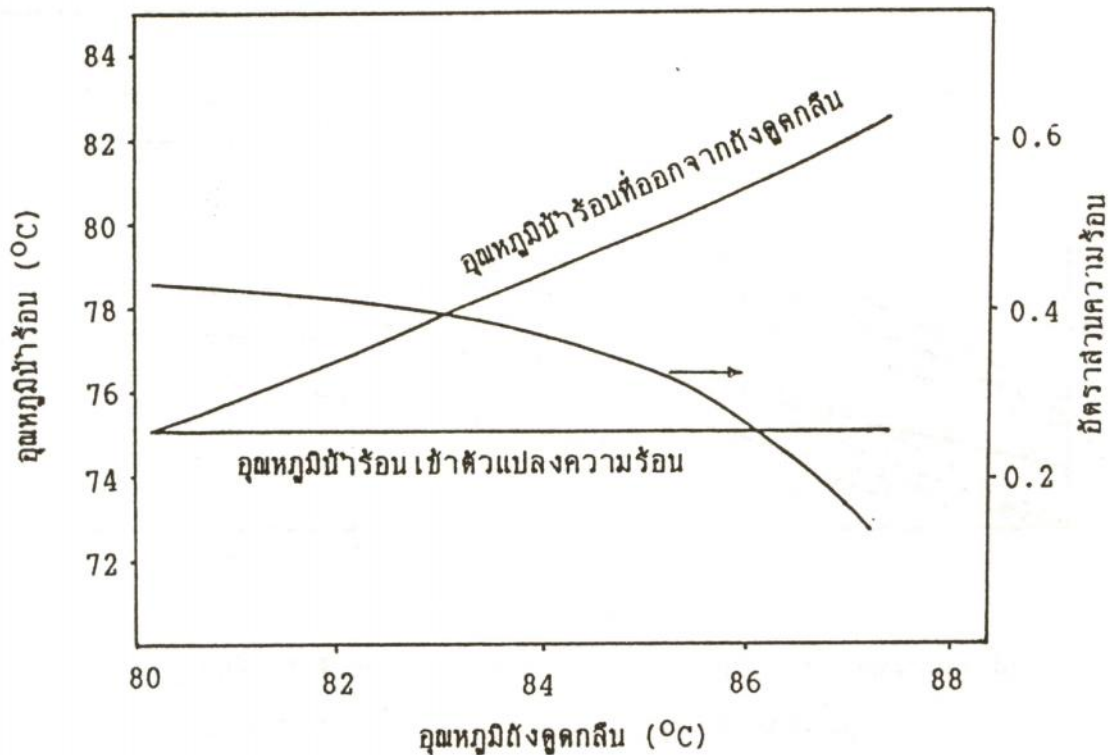
การทำงานรูปแบบที่ 3

สำหรับการทำงานรูปแบบที่ 3 จะมีกระแสความร้อนอุณหภูมิ 75°C 2 กระแส แยกออกจากกันจ่ายพลังงานที่เจเนเรเตอร์ และที่อีแวปอเรเตอร์ และมีกระแสน้ำร้อนอีกกระแสหนึ่งไปเพิ่มอุณหภูมิที่ถังดูดกลืนเช่นเดียวกับรูปแบบอื่น เมื่ออุณหภูมิการทำงานของตัวแปลงความร้อนดังนี้

$$T_c = 40^{\circ}\text{C} : T_g = T_e = 65^{\circ}\text{C}$$

ซึ่งผลการวิเคราะห์ แสดงในรูปที่ 6 ซึ่งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและค่าอัตราส่วนความร้อนที่อุณหภูมิถังดูดกลืนต่าง ๆ พบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับในรูปที่ 5

การจัดการทำงานตามรูปแบบที่ 3 มีข้อเสียเปรียบจากวิธีที่แล้ว คือกระแสของน้ำร้อนที่ไปแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีถึง 3 กระแส ทำให้บางครั้งจะต้องจัดหาปั๊มน้ำมากกว่าในรูปแบบที่ 2 แต่มีข้อได้เปรียบที่สำคัญ กล่าวคือ รูปแบบที่ 3 จะมีความยืดหยุ่นมากกว่า ในการจ่ายความร้อนที่เจเนเรเตอร์ และอีแวปอเรเตอร์โดยสามารถปรับอัตราการไหล เพื่อให้อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนไม่แตกต่างจากอุณหภูมิของสารทำงานในเจเนเรเตอร์และในอีแวปอเรเตอร์มากนัก เป็นการลดสภาพการย้อนกลับไม่ได้ (irreversibility) ในอุปกรณ์



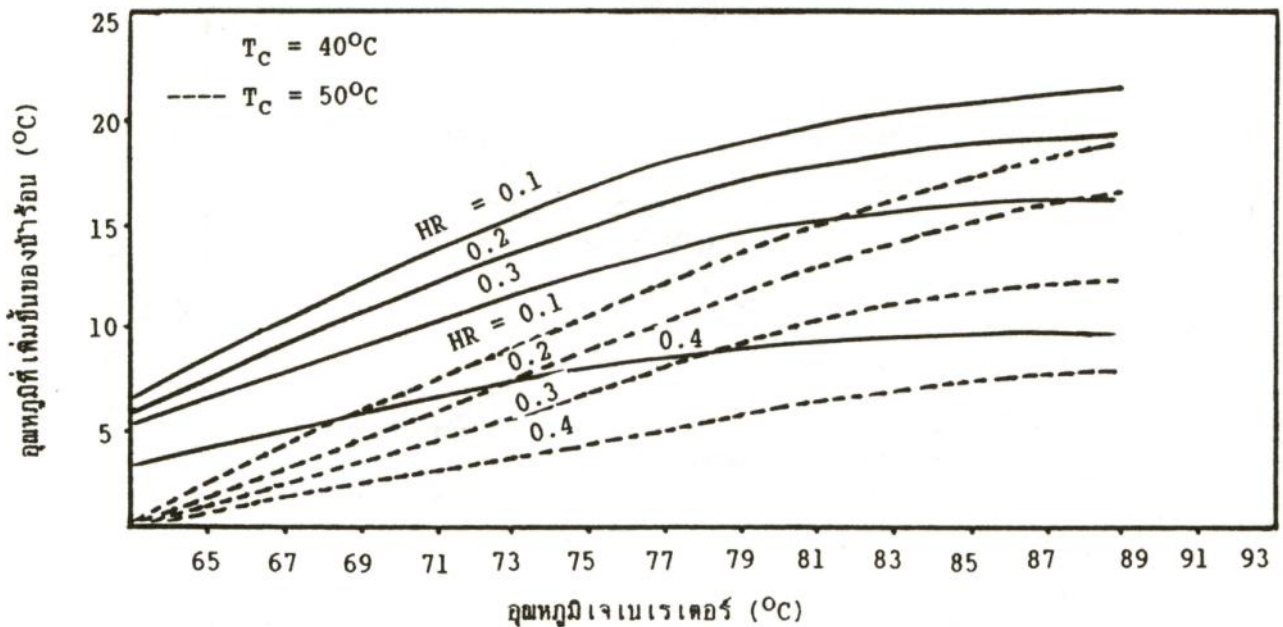
รูปที่ 6 อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากถังตุกกลิ้น และค่าอัตราส่วนความร้อนในการทำงานตามรูปแบบที่ 3

รูปที่ 7 แสดงความสามารถในการเพิ่มอุณหภูมิ น้ำร้อนของการทำงานในรูปแบบที่ 3 โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในกระแสน้ำร้อนที่รับ ความร้อนที่ถังตุกกลิ้น, T , และค่าอัตราส่วนความร้อน, HR , ที่อุณหภูมิการทำงานของเจเนเรเตอร์ต่าง ๆ กัน และอุณหภูมิเจเนเรเตอร์เท่ากับอุณหภูมิอีแวปอเรเตอร์ จากรูปที่อัตราส่วนความร้อนค่าหนึ่ง เมื่ออุณหภูมิ เจเนเรเตอร์/อีแวปอเรเตอร์ เพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิ ของถังตุกกลิ้นสูงขึ้น ในขณะเดียวกันอัตราความร้อนที่ ได้จากถังตุกกลิ้นจะมีค่าลดลง จากรูปจะเห็นได้ว่า ในช่วงแรก ๆ ของอุณหภูมิเจเนเรเตอร์/อีแวปอเรเตอร์ ค่า T จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลจากอุณหภูมิที่ สูงขึ้นของถังตุกกลิ้น และมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่ออุณหภูมิเจเนเรเตอร์ อีแวปอเรเตอร์มีค่าสูงขึ้น เรื่อย ๆ ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราความร้อนที่ลดลง และที่อุณหภูมิ T_G ค่าหนึ่ง ถ้าต้องการให้คุณภาพของ

พลังงานความร้อนสูงขึ้น (T สูงขึ้น) จะเกิดขึ้นเมื่อ อุณหภูมิถังตุกกลิ้นสูงขึ้น ซึ่งขณะเดียวกันอัตราความ ร้อนที่ถังตุกกลิ้นจะลดน้อยลง ทำให้ค่าอัตราส่วนความ ร้อนลดลงด้วย นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิคอนเดนเซอร์มี ค่าสูงขึ้น ความสามารถในการเพิ่มคุณภาพพลังงาน ความร้อนจะลดน้อยลง เนื่องจากจะมีอัตราความร้อน สูญเสียจากตัวแปลงความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น ทำให้อัตราความร้อนที่จ่ายที่ถังตุกกลิ้นเพื่อเพิ่มคุณ ภาพพลังงานให้แก่ น้ำร้อนที่มารับความร้อนน้อยลง

ผลของอุณหภูมิแตกต่างระหว่าง อุณหภูมิเจเนเรเตอร์และ อีแวปอเรเตอร์

ค่าอัตราส่วนความร้อนของตัวแปลงความร้อน จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเจเนเรเตอร์ T_g มีค่ามากกว่า อุณหภูมิอีแวปอเรเตอร์ T_c ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อ T_g เพิ่มขึ้น



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น, T_c , อัตราส่วนความร้อน, HR, ที่อุณหภูมิเจเนเรเตอร์ ต่าง (เมื่ออุณหภูมิเจเนเรเตอร์ เท่ากับ อุณหภูมิอีแวปอเรเตอร์)

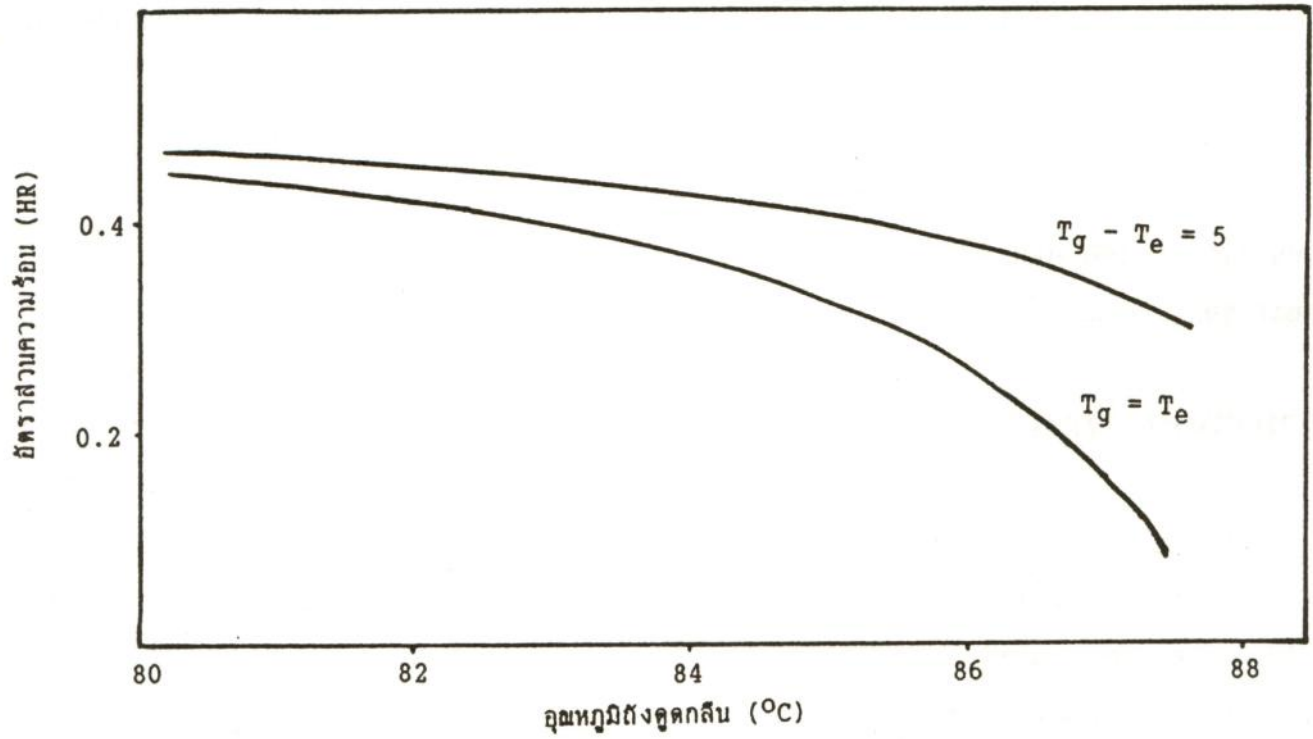
ปริมาณความร้อนที่ถึงดูดกลืนจะมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่า T_c ก็มีข้อจำกัด เนื่องจากอุณหภูมิของของไหลที่มาให้ความร้อนที่เจเนเรเตอร์ รูปที่ 8 แสดงสมรรถนะของตัวแปลงความร้อนเมื่ออุณหภูมิเจเนเรเตอร์สูงกว่าอุณหภูมิอีแวปอเรเตอร์

สรุป

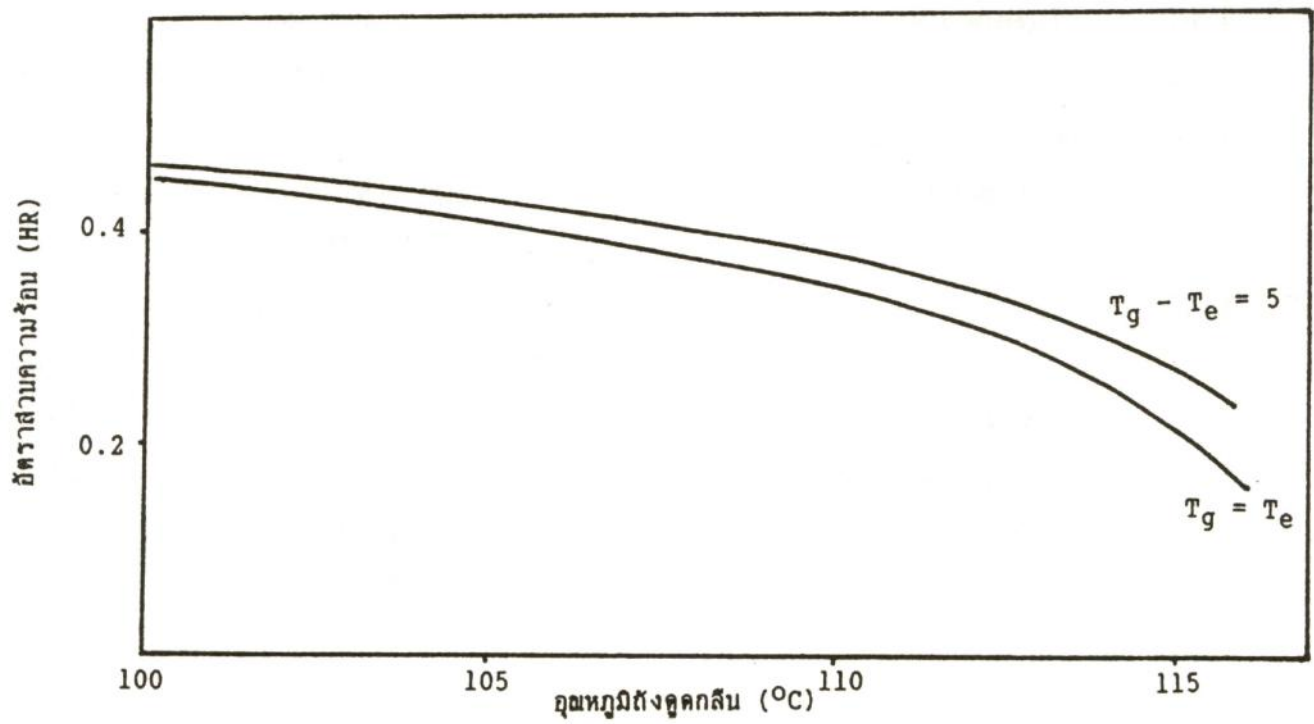
การเพิ่มคุณภาพความร้อนสามารถทำได้ เมื่อมีการให้ความร้อนแก่ตัวแปลงความร้อนที่เจเนเรเตอร์และอีแวปอเรเตอร์ และนำของไหลคุณภาพต่ำไปปรับความร้อนที่ถึงดูดกลืน

อุณหภูมิสามารถเพิ่มขึ้นได้ เมื่ออุณหภูมิเจเนเรเตอร์มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอัตราความร้อนและอัตราส่วนความร้อนที่ได้จะมีค่าน้อยลง นั่นคือคุณภาพของกระแสของไหลอุณหภูมิต่ำสามารถเพิ่มขึ้นได้ แต่ปริมาณพลังงานความร้อนที่ได้จะน้อยลง

สมรรถนะของตัวแปลงความร้อนจะดีขึ้น เมื่ออุณหภูมิเจเนเรเตอร์สูงกว่าอุณหภูมิอีแวปอเรเตอร์ แต่มีข้อจำกัดเนื่องจากอุณหภูมิของกระแสของไหลที่มาจ่ายพลังงานที่เจเนเรเตอร์



ก. การทำงานตามรูปแบบที่ 2



ข. การทำงานตามรูปแบบที่ 3

รูปที่ 8 ผลของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเจเนเรเตอร์และอุณหภูมิอีแวปอเรเตอร์ที่มีต่อค่าอัตราส่วนความร้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ส่วนหนึ่งได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัย เพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พ.ศ. 2535 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

รายงานสัญลักษณ์

c_p	= ความจุความร้อนจำเพาะของของไหล
h	= เอนทัลปีจำเพาะของสารทำงาน
HR	= อัตราส่วนความร้อน
m	= อัตราการไหลโดยมวล ของสารทำงานในตัวแปลงความร้อน
Q	= อัตราความร้อนที่อุปกรณ์ต่าง ๆ
T	= อุณหภูมิของของไหลที่มาแลกเปลี่ยนความร้อนในอุปกรณ์
x	= ค่าความเข้มข้นของสาร ที่อิจิ ต่อสารละลายทั้งหมด
w	= อัตราการไหลโดยมวลของไหลที่มาแลกเปลี่ยนความร้อนในอุปกรณ์ต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

- Stephan, K., Absorption heat transformer cycles, *Heat Pump Fundamentals*, Martinus Nijhoff Publishers, pp. 352-373, 1980.
- Kiatsiriroat, T., Bhattacharya, S.C. and Wibulswas, P., Upgrade heat by a reversed absorption heat pump, *Applied Energy*, vol. 25, pp. 175-186, 1986.
- Tyagi, K.P., Mathur, S., Singh, A., Srinivas, A., and Mathur, G., Working fluid for heat transformer, *Heat Recovery System & CHP*, vol. 9 no. 2 pp. 175-181, 1989.
- Kiatsiriroat, T., Bhattacharya, S.C. and Wibulswas, P., Improvement of lithium bromide-water absorption heat pump for temperature boosting of low grade heat, Proc. 4 the ASEAN Energy Conference or Energy Technology, Singapore, pp. 281-292, 1987.
- Eisa, M.A.R., Best, R. and Holland, F.A., Thermodynamic design data for absorption heat transformer-Part I Operation on water-lithium bromide *Heat Recovery Systems*, vol. 6, no. 5 pp. 421-432, 1986.
- Holland, F.A., Patasker, S.G., Adgan thaya, S.D. and Devotta, S., Performance of an experimental absorption heat transformer using aqueous LiBr, LiCl and LiBr/LiCl solution, *Ind. Eng. Chem. Res*, vol. 29 pp. 1658-1662, 1990.
- สุรัตน์ พร้อมพุดทงกูร, วิทยา เทพไพฑูรย์ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, การศึกษาสมรรถนะของตัวแปลงความร้อนไตรเอทธิลีนไกลคอล-น้ำ, การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรม เรื่องความก้าวหน้าทางวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หาดใหญ่, 2535.
- วิทยา เทพไพฑูรย์, ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, การพัฒนาต้นแบบเครื่องแปลงความร้อนแบบดูดกลืนเพื่อใช้ในการเพิ่มคุณภาพของความร้อนทิ้ง, รายงานความก้าวหน้าของการวิจัยที่ได้รับอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พ.ศ. 2535.

ภาคผนวก

คุณสมบัติของสารละลายไตรเอทธิลีน-ไกลคอล-น้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความดัน อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารละลายไตรเอทธิลีนไกลคอล-น้ำ สามารถแสดงในรูป [8]

$$0 \leq x \leq 0.7 :$$

$$\ln P = (19.94707 + 0.638797 x - 1.60525 x^2) - (9033.81 + 295.899 x - 519.071 x^2) / [1.8(T + 273)]$$

$$0.7 \leq x \leq 0.85 :$$

$$\ln P = (14.99596 + 14.40174 x - 11.246 x^2) - (7930.72 + 3100.53 x - 2307.722 x^2) / [1.8(T + 273)]$$

$$0.85 \leq x \leq 0.94 :$$

$$\ln P = (-28.467 + 116.8217 x - 71.5715 x^2) - (1203.95 + 19080.3 x - 11807.12 x^2) / [1.8(T + 273)]$$

$$0.94 \leq x \leq 0.98$$

$$\ln P = (-429.1836 + 963.1602 x - 518.4629 x^2) + (55101.566 - 136461.1 x + 72967.312 x^2) / [1.8(T + 273)]$$

P คือ ความดันสมบูรณ์ (mm.Hg) T คือ อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) x คือ ความเข้มข้นโดยมวลของไตรเอทธิลีนไกลคอลในสารละลาย

ค่าเอนทัลปีของสารละลาย สามารถคำนวณจาก

$$h_s = x_1 h_3 + x_2 h_4$$

$$h_3 = h_1 + h_m + x_2 K \quad A = 1154$$

$$h_4 = h_2 + h_m - x_1 K \quad B = -13480$$

$$h_1 = 18 T \quad C = 34790$$

$$h_2 = 72.45 T + 8.45 \times 10^{-2} T^2 \quad D = -39390$$

$$b_m = A x_1 + B x_1^2 + C x_1^3 + D x_1^4 + E x_1^5 \quad E = 16630$$

$$K = A + 2KBx_1 + 3Cx_1^2 + 4Dx_1^3 + 5Ex_1^4$$

เมื่อ h_s = เอนทัลปีของสารละลายไตรเอทธิลีนไกลคอล-น้ำ, cal/g-mole

h_3 = เอนทัลปีจำเพาะของน้ำ, cal/g-mole

h_4 = เอนทัลปีจำเพาะของไตรเอทธิลีนไกลคอล, cal/g-mole

x_1 = mole fraction ของน้ำ

x_2 = mole fraction ของไตรเอทธิลีนไกลคอล

h_m = heat of mixing, cal/g-mole

T = อุณหภูมิ, $^{\circ}\text{C}$

ค่าเอนทัลปีของสารละลายจะอยู่ในหน่วย cal/g-mole ซึ่งไม่สะดวกที่จะใช้กับสมการ ดังนั้นจึงแปลงสมการให้อยู่ใน kJ/kg ได้ดังนี้

$$h_s = 4.1868 (x_1 h_3 + x_2 h_4) / (18 x_1 + 150 x_2)$$

โดยที่ 18,150 เป็นน้ำหนักโมเลกุลของน้ำและไตรเอทธิลีนไกลคอล ตามลำดับ

ค่าเอนทัลปีจำเพาะของน้ำ และไอน้ำอิ่มตัว ช่วงอุณหภูมิ
0-140 °C (อุณหภูมิอ้างอิงที่ 0 °C) เป็นดังนี้

$$h_f = 4.21 T$$

$$h_g = 2501.42 + 184 T$$

โดยที่ h_f = เอนทัลปีจำเพาะของน้ำอิ่มตัว, kJ/kg

h_g = เอนทัลปีจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัว, kJ/kg

T = อุณหภูมิ, °C