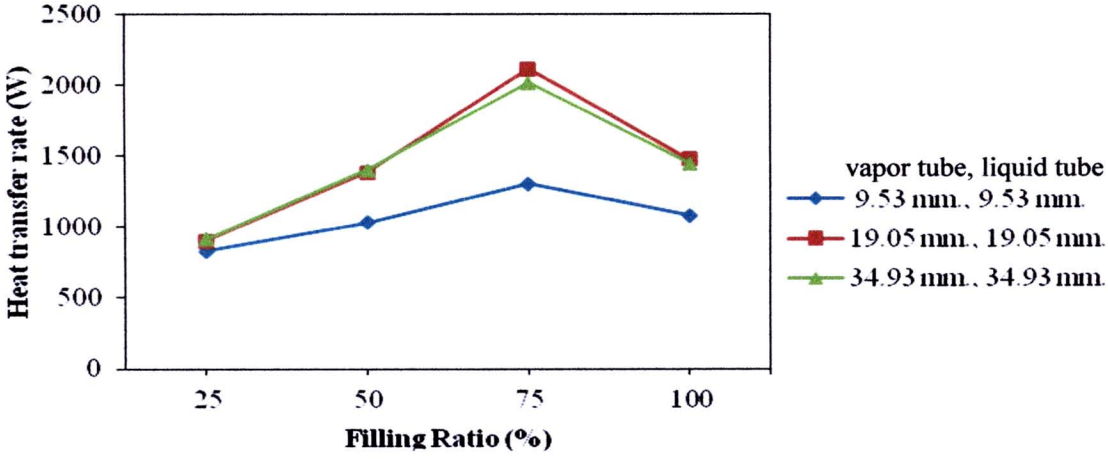
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

จากการศึกษาอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไอและท่อของเหลว สัดส่วนการเติมและชนิดของสารทำงานต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ โดยพิจารณาในรูปของอัตราการถ่ายเทความร้อน และประสิทธิผลของระบบ

4.1 อัตราการถ่ายเทความร้อน

4.1.1 ผลของสัดส่วนการเติมสารทำงานต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ



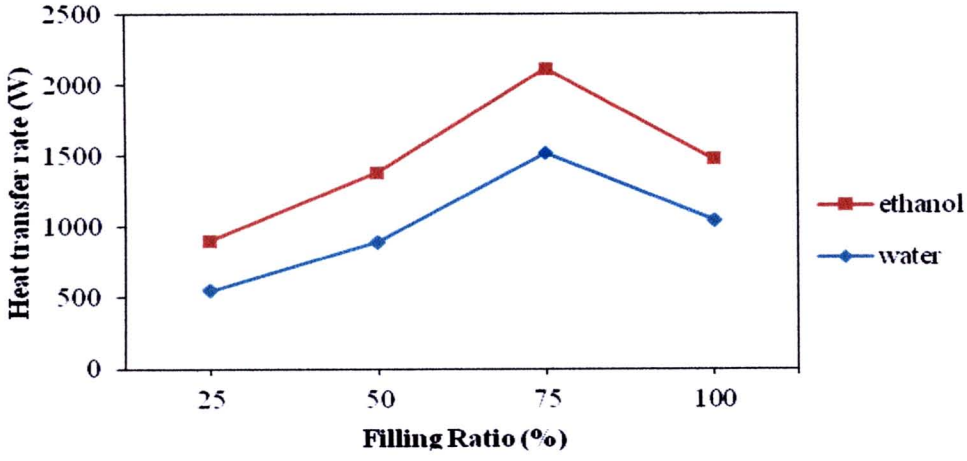
รูป 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับอัตราการถ่ายเทความร้อน เมื่อสารทำงานคือ เอธานอล

จากรูป 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยมีสัดส่วนการเติมสารทำงานอยู่ที่ 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย พบว่าเมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงานมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 25 จนถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย ที่ขนาดท่อไอและท่อของเหลว 19.05 mm. อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 902 วัตต์ ถึง 2,113 วัตต์ เนื่องจากเมื่อมีปริมาณสารทำงานเพิ่มขึ้นทำให้สารทำงานใน

ท่อเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนในระบบเพิ่มขึ้น แต่เมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงานเพิ่มขึ้นจาก 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย ไปเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง ซึ่งเกิดจากระดับของของเหลวในท่อส่วนทำระเหยสูงขึ้นเต็มส่วนทำระเหย ทำให้พื้นที่ผิวหน้าของการเดือดเกิดขึ้นได้ยาก เพราะส่วนบนของของเหลวไม่ได้รับความร้อนเต็มที่ทำให้สารทำงานส่วนบนเดือดได้ยาก และเกิดจากความดันของแท่งของเหลวเพิ่มขึ้นเนื่องจากระดับของเหลวทำให้เกิดการระเหยได้ยาก จึงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงานเพิ่มขึ้นจาก 75 เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับการศึกษาของ วีรชาติ (2535)

ดังนั้นจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนการเติมสารทำงานมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ โดยสัดส่วนการเติมสารทำงานที่ 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย ใช้สารทำงานคือ เอธานอล มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 2,113 วัตต์

4.1.2 ชนิดสารทำงานต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ



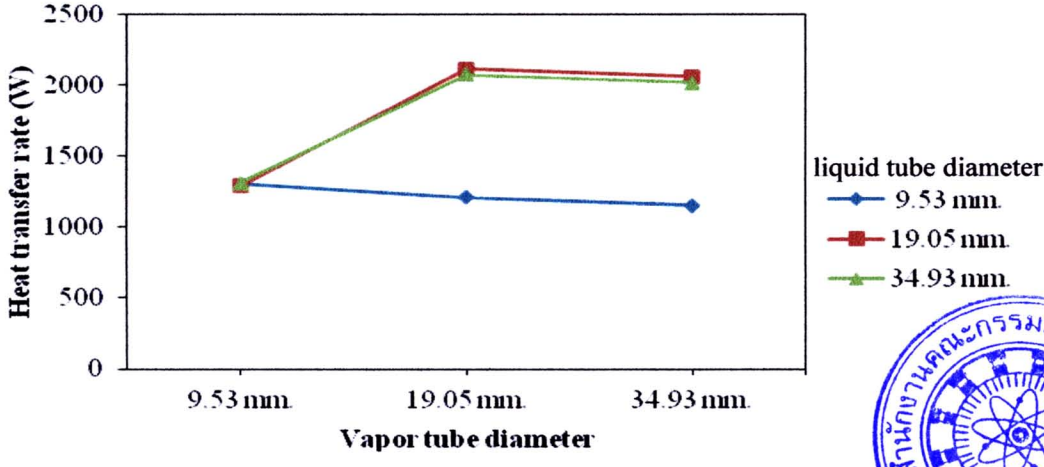
รูป 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับอัตราการถ่ายเทความร้อน เมื่อท่อไอและท่อของเหลวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันคือ 19.05 mm.

จากรูป 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับอัตราการถ่ายเทความร้อน ของสารทำงาน 2 ชนิด คือ เอธานอล และน้ำ พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารทำงาน จากผลการทดลองพบว่าเอธานอลมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า

น้ำในทุกสัดส่วนการเติมสารทำงาน เพราะเอธานอลมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอและมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำ เมื่อได้รับความร้อนจึงเกิดการระเหยได้ง่ายกว่า เอธานอลจึงมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มากกว่าน้ำในทุกสัดส่วนการเติมสารทำงาน

จากการทดลองสรุปได้ว่า เอธานอลมีอัตราการถ่ายเทความร้อนมากกว่าน้ำ เนื่องจากเอธานอลมีจุดเดือดและค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอต่ำกว่าน้ำ

4.1.3 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไอต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

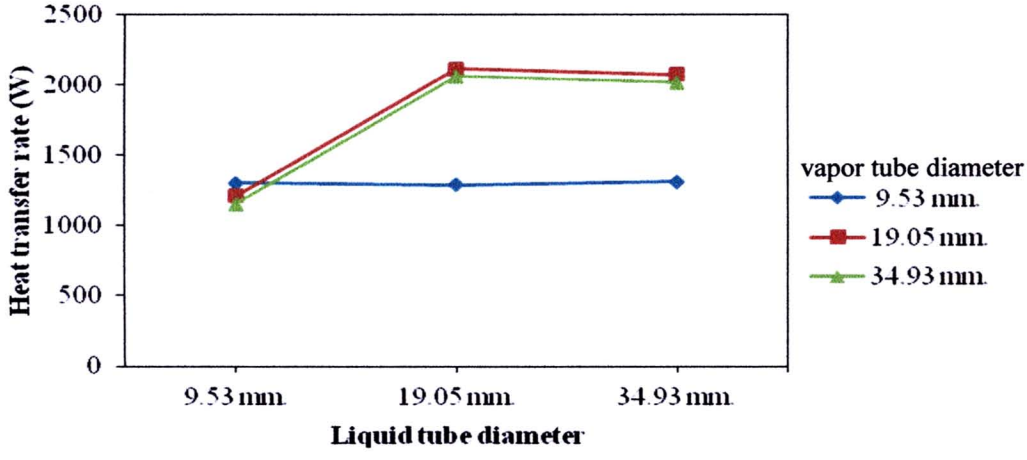
รูป 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไอกับอัตราการถ่ายเทความร้อน เมื่อสารทำงานคือ เอธานอล อัตราการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย

จากรูป 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไอกับอัตราการถ่ายเทความร้อน จากผลการทดลองท่อส่วนกันความร้อนที่เป็นท่อไอขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.53, 19.05 และ 34.93 mm. พบว่าเมื่อท่อของเหลวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.53 mm. อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าลดลงเล็กน้อยจาก 1,301 วัตต์ เป็น 1,152 วัตต์ เนื่องจากท่อของเหลวมีขนาดเล็กทำให้สารทำงานที่ควบแน่นแล้วเคลื่อนที่กลับมายังส่วนทำระเหยได้ไม่ทัน จึงทำให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนลดต่ำลงเมื่อท่อไอมีขนาดใหญ่ขึ้น และสำหรับท่อของเหลวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 19.05 mm. และ 34.93 mm. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 1,291 วัตต์ จนถึง 2,113 วัตต์ และมีค่าค่อนข้างคงที่ ที่ท่อไอขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.05 mm. และ 34.93 mm. ทั้งนี้เนื่องจากท่อไอขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 19.05 mm. และ 34.93 mm. สามารถส่งผ่านไอที่ระเหยได้

ดี และท่อของเหลวที่มีขนาดเหมาะสมทำให้สารทำงานที่ควบแน่นแล้วสามารถเคลื่อนตัวกลับมายังส่วนทำระเหยได้ทัน ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าเกือบคงที่ ในกรณีที่ท่อไอและท่อของเหลวขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 19.05 mm.

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบขนาด 3,000 วัตต์ (ตามที่ได้ออกแบบไว้) ท่อไอขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.05 mm. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด เมื่อท่อของเหลวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.05 mm.

4.1.4 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อของเหลวต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ



รูป 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อของเหลวกับอัตราการถ่ายเทความร้อน เมื่อสารทำงานคือ เอธานอล อัตราการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย

จากรูป 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อของเหลวกับอัตราการถ่ายเทความร้อน จากผลการทดลองท่อส่วนกันความร้อนที่เป็นท่อของเหลวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.53, 19.05 และ 34.93 mm. พบว่าเมื่อท่อไอมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.53 mm. อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าค่อนข้างคงที่ประมาณ 1,300 วัตต์ เนื่องจากท่อไอที่มีขนาดเล็กจะทำให้สารทำงานที่ระเหยเป็นไอแล้วเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่นได้ในปริมาณน้อย จึงทำให้ทุกขนาดท่อของเหลวสามารถส่งผ่านของเหลวที่ควบแน่นแล้วกลับมายังส่วนทำระเหยได้หมด ส่งผลให้มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนใกล้เคียงกัน และสำหรับท่อไอขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.05 mm. และ 34.93 mm. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 1,210 วัตต์ จนถึง 2,113 วัตต์ และมีค่า

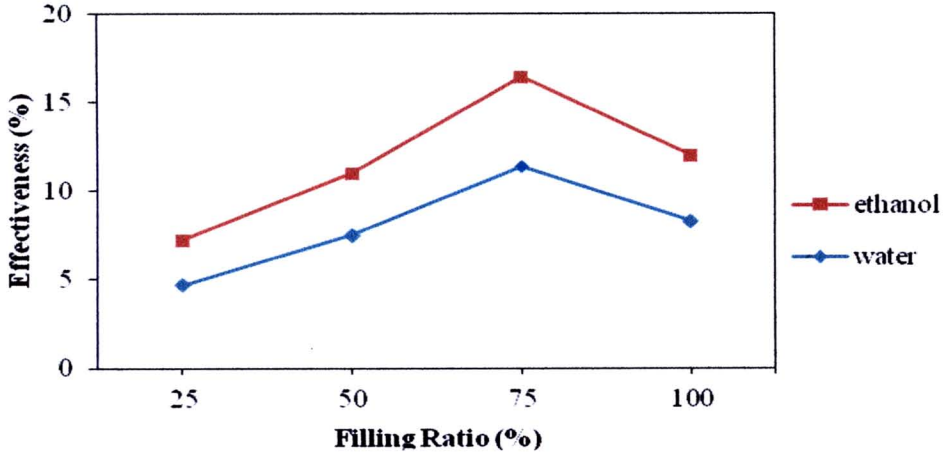
ค่อนข้างคงที่ ที่ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. และ 34.93 mm.ทั้งนี้เนื่องจากท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. และ 34.93 mm. สามารถส่งผ่านของเหลวที่ควบแน่นแล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยได้เหมาะสมจึงเกิดความสมดุลในการถ่ายเทความร้อน

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบขนาด 3,000 วัตต์ (ตามที่ได้ออกแบบไว้) ท่อของเหลวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.05 mm. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด เมื่อท่อไอขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.05 mm.

สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดต่างๆ จะมีเงื่อนไขในการออกแบบขนาดท่อส่วนกันความร้อนที่เป็นท่อไอและท่อของเหลวที่เหมาะสมต่างกัน เพื่อให้สามารถส่งถ่ายไอและของเหลวได้สมดุล ในการออกแบบท่อของเหลวจะต้องออกแบบให้มีขนาดเท่ากับหรือใหญ่กว่าท่อไอ จึงจะทำให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสม

4.2 ประสิทธิผล

4.2.1 ผลของชนิดสารทำงานต่อสมรรถนะทางความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ



รูป 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับประสิทธิผลของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ เมื่อท่อไอและท่อของเหลวมีขนาดเท่ากันที่ 19.05 mm.

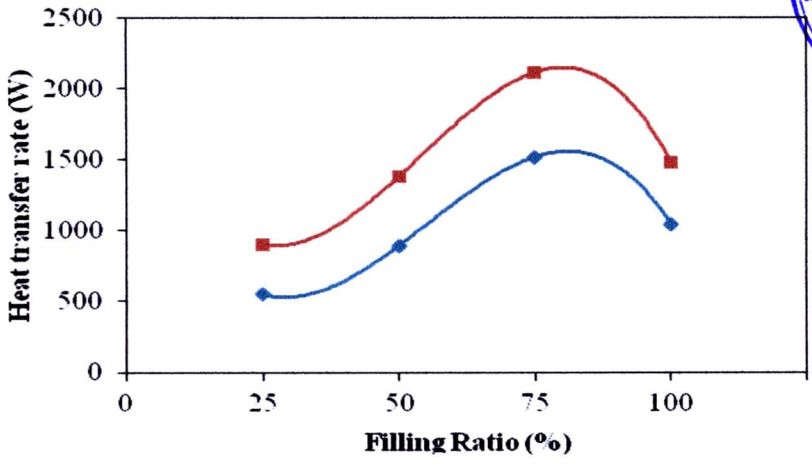
จากรูป 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับประสิทธิผล เมื่อใช้สารทำงาน 2 ชนิด คือ น้ำ และเอธานอล พบว่าเมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงานเพิ่มขึ้นจาก 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย ค่าประสิทธิผลของเอธานอลเพิ่มขึ้นจาก 7.2 เปอร์เซ็นต์ ถึง 16.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำ

ระเหย เนื่องจากเมื่อมีปริมาณสารทำงานเพิ่มขึ้นทำให้สารทำงานในท่อเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนในระบบเพิ่มขึ้นประสิทธิผลจึงมีค่าเพิ่มขึ้น จากนั้นมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากระดับของของเหลวในคอยล์ส่วนทำระเหยสูงขึ้นเต็มส่วน ทำให้พื้นที่ผิวหน้าของการเดือดเกิดขึ้นได้ยาก เพราะส่วนบนของของเหลวไม่ได้รับความร้อนเต็มที่ ทำให้สารทำงานส่วนบนเดือดได้ยาก จึงทำให้มีประสิทธิผลลดลง และสำหรับสารทำงานเอธานอลมีค่าประสิทธิผลมากกว่าน้ำในทุกสัดส่วนการเติมสารทำงาน ทั้งนี้เพราะว่าเอธานอลมีจุดเดือดและค่าความร้อนแฝงน้อยกว่าน้ำ จึงทำให้มีประสิทธิผลมากกว่าน้ำ

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบขนาด 3,000 วัตต์ ที่มีอุณหภูมิขาเข้าส่วนทำระเหย 80 °C และอุณหภูมิขาเข้าส่วนควบแน่น 21°C มีประสิทธิผลมากที่สุดเท่ากับ 16.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้สารทำงานเป็นเอธานอล และมีสัดส่วนการเติมสารทำงานที่ 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

4.3 สมการทำนายหาอัตราการถ่ายเทความร้อน



รูป 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ เมื่อท่อไอและท่อของเหลวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.05 mm.

จากรูป 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับอัตราการถ่ายเทความร้อน สมการความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับอัตราการถ่ายเทความร้อนสามารถสรุปได้ดังนี้

กรณีที่สารทำงานคือ เอธานอล จะได้

จากสมการสามารถทำนายหาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ โดยสามารถให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 2,138 วัตต์ ที่สัดส่วนการเติมสารทำงาน 80 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย

กรณีที่สารทำงานคือ น้ำ จะได้

$$Q = -0.0147F^3 + 2.4248F^2 - 103.85F + 1859$$

จากสมการสามารถทำนายค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด เท่ากับ 1,544 วัตต์ ที่สัดส่วนการเติมสารทำงาน 81 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย

หมายเหตุ ; สมการทำนายหาอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งสองสมการนี้ใช้ได้เฉพาะตามเงื่อนไขการทดลองนี้เท่านั้น

4.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคระห์ทางเศรษฐศาสตร์เป็นการวิเคราะห์หาผลตอบแทนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเทอร์โมไซฟอนสามารถทำได้ โดยมีค่าต่างๆ ดังนี้

c_q = 2 บาทต่อยูนิต

t_{op} = 240×8

= 1,920 ชั่วโมง

i = ดอกเบี้ยร้อยละ 9.60 บาท

n = อายุของอุปกรณ์ 10 ปี

ราคาเครื่อง = 10,000 บาท

ราคาติดตั้ง = 2,000 บาท

ราคาค่าบำรุงรักษา = 1,000 บาทต่อปี

หาค่า Capital-recovery factor

$$a^c = \frac{0.096(1+0.096)^{10}}{(1+0.096)^{10}-1}$$

$$= 0.159$$

ในการทดลองที่เงื่อนไข ใช้ท่อไอและท่อของเหลวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือ เอธานอล

ผลตอบแทนที่ได้

$$P = 1,920\times2\times Q- (9,000\times0.159\times N)-2,000\times0.159-1,000$$
$$P = 1,920\times2\times2.113- (10,000\times0.159\times1)-2,000\times0.159-1,000$$
$$= 5,206 \text{ บาทต่อปี}$$

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์หาผลตอบแทน ผลตอบแทนในที่นี้หมายถึง กำไรสุทธิหลังจากหักค่าใช้จ่ายแล้ว เมื่อนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ไปใช้ เป็นอุปกรณ์นำความร้อนสูญเสียกลับมาใช้ใหม่ จะได้ผลตอบแทน 5,206 บาทต่อปี จากผลตอบแทนที่ได้มีความน่าสนใจอย่างยิ่ง เพราะสามารถนำเอาพลังงานที่สูญเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ และยังทำให้สามารถประหยัดค่าใช่จ่ายได้ถึงปีล่ะ 5,206 บาท