ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การออกแบบที่เหมาะสมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ใช้สารทำงานหลายชนิด

ชื่อผู้เขียน นาย นัฏฐพล จันทร์รอด

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศ.ดร.ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ ประธานกรรมการ

รศ.ดร.สัมพันธ์ ไชยเทพ กรรมการ

ดร.ณัฐ วรยศ กรรมการ

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนและทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบกับการทดลองแล้วนำแบบจำลองที่ปรับปรุงมาใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในแบบ Energy costing และ Exergy costing เปรียบเทียบกันเพื่อใช้ในการตัดสินใจลงทุน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ใช้ในการทดสอบมีอากาศร้อนแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศเย็น โดยใช้ท่อที่เป็น Stainless steel 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.023 เมตร ติดครีบสูง 0.01 เมตร ครีบหนา 0.0004 เมตร ระยะระหว่างครีบ 0.003 เมตร ส่วนเดือด 0.4 เมตร ส่วนควบแน่น 0.4 เมตร ส่วนไม่มีการถ่ายเทความร้อน 0.2 เมตร โดยแต่ละแถวมี 7 ท่อ อุณหภูมิอากาศร้อนอยู่ในช่วง 50 - 100 องศาเซลเซียส โดยใช้สารทำงานต่างชนิดกันคือ น้ำ อะซิโตน และเอทานอล

ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ อัตราการไหล สารทำงาน จำนวนแถวและอุณหภูมิของอากาศร้อน ในการไหลแบบสวนทางกันและไหลขนานกันเพื่อหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิขาเข้าและออกในกระแสร้อนและกระแสเย็น เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่สร้างขึ้น พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 15\%$

จากการนำแบบจำลองมาใช้คำนวณค่าที่สภาวะต่าง ๆ พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในแต่ละแถวแตกต่างกัน และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิกระแสร้อนหรือเมื่ออุณหภูมิกระแสเย็นลดลง หรือเพิ่มอัตราการไหล พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น ในการไหลแบบขนานกันอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นโดยมีค่าสูงในช่วงแรก ๆ และที่สภาวะเดียวกันโดยเปลี่ยนสารทำงานพบว่าในช่วงอุณหภูมิ 50 - 100 องศาเซลเซียส น้ำมีอัตราการถ่ายเทความร้อนมากกว่าอะซิโตน และอะซิโตนมีอัตราการถ่ายเทความร้อนมากกว่าเอทานอล นอกจากนี้ยังพบว่าในทิศทางการไหลแบบสวนทางกันจะได้อัตราการถ่ายเทความร้อนมากกว่าการไหลแบบขนานกัน

จากผลการคำนวณจากแบบจำลองได้ศึกษาหาจำนวนแถวที่เหมาะสมโดยแต่ละแถวมี 7 ท่อ โดยวิเคราะห์ในแบบ Energy costing (เชิงปริมาณ) และ Exergy costing (เชิงคุณภาพ) เปรียบเทียบกัน พบว่าจำนวนแถวที่เหมาะสมในการวิเคราะห์บางกรณีมีค่าเดียวกัน และในบางครั้งต่างกัน ตัวอย่างเช่นที่อุณหภูมิกระแสร้อน 70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิกระแสเย็น 25 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 0.3 กิโลกรัมต่อวินาที พบว่าการวิเคราะห์ในแบบ Energy costing จะได้ 9 แถว ต้นทุน 1.23 บาทต่อวัตต์ ส่วนการวิเคราะห์ในแบบ Exergy costing จะได้ 8 แถว ต้นทุน 1.22 บาทต่อวัตต์ อัตราการถ่ายเทความร้อนในแต่ละแถวตามลำดับคือ 518.22 516.14 460.6 412.9 371.71 335.93 304.67 277.24 พลังงานรวม 3,260.42 วัตต์ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ในแบบ Exergy costing น่าจะถูกต้องมากกว่าเพราะเป็นการพิจารณาในเชิงคุณภาพ

Thesis Optimum Design of Thermosyphon Heat Exchanger Using Different Working Fluids

Author Mr. Nutthapol Janrod

M.Eng. Energy Engineering

Examining Committee: Prof. Dr. Tanongkiat Kiatsiriroat Chairman

Assoc. Prof. Dr. Sumpun Chaitep Member

Dr. Nut Vorayos Member

## ABSTRACT

This research considered the factors affecting heat transfer of thermosyphon heat exchanger. Mathematical model of the heat exchanger had been developed and the simulated results agreed well with those of the experiments. Economic analyses had been carried out through energy costing and exergy costing.

The air – to – air thermosyphon consists of a set of stainless steel (type 304) tubes having 7 rows in the flow direction. Each tube has an internal diameter of 0.023 m. The dimension of the evaporator length, condenser length, and adiabatic section length of the thermosyphon are 0.4 m., 0.4 m., and 0.2 m., respectively. Spiral fins of 0.01 m. in height, 0.0004 m. in thickness and 0.003 m. of fin spacing are put on each tube in which the working fluids are either water, acetone or ethanol. The unit was tested under the hot air streams of 50-100$^{\circ}$C.

Experimental tests had been performed to verify the mathematical model both parallel and counter flows by varying the air flow rate, the working fluid inside, the number of row in the flow direction and the air temperature. The results agreed well with those of the experiments within $\pm$15% deviation.

The heat transfer rate and the overall heat transfer coefficient were found to be different from one row to another. Increasing the temperature of the hot and decreasing

the temperature of the cold air streams as well as increasing of the mass flow rate, resulted to higher heat transfer rate correspondingly.For parallel flow, the heat transfer rate was relatively high in the first few rows. For the operating temperature of 50–100 $^{o}$C, the heat transfer rate using water as the working fluid was found to be the highest in comparison to acetone and ethanol. The performance for the counter flow was found to be similar to that of the co-current flow.

The system simulation had been carried out to predict the optimum number of row (7 tubes per row) by energy costing (quantitative) and exergy costing (qualitative) approaches. In some conditions, both costing approaches offered some similar values, whereas some shows different results. The exergy costing seems to be appropriate since all streams conditions are considered at the same bases. For the hot air temperature of 70$^{o}$C and the cold air temperature of 25$^{o}$C, mass flow rate of 0.3 kg/s and using water as the working fluid, the optimum row number in case of exergy costing was found to be 8 rows with the cost per exergy of 1.22 baht/W and that obtained for the energy costing approach was 9 rows with the cost per energy of 1.23 baht/W. The heat transfer rates at each row are 518.22 516.14 460.6 412.9 371.71 335.93 304.67 277.24, respectively and the overall heat transfer rate was 3,260.42 W.