ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การศึกษาการป้องกันการกัดกร่อนภายนอกของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบท่อครีบของเครื่องอุ่นน้ำป้อนโดยใช้สีเคลือบ
ชื่อผู้เขียน	นายประชา ยืนยงกุล
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์:	รศ.ดร. ประดิษฐ์ เทอดทูล	ประธานกรรมการ
	รศ.ดร. สมชาย ทองเต็ม	กรรมการ
	ผศ.ดร. สัมพันธ์ ไชยเทพ	กรรมการ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการป้องกันการกัดกร่อนบนผิวภายนอกท่อเทอร์โมไซฟอนแบบท่อครีบของเครื่องอุ่นน้ำป้อนโดยใช้สีเคลือบ โดยทดสอบกับเทอร์โมไซฟอนที่ทำจากท่อเหล็กติดครีบเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ 21.7 มม. ความหนาท่อ 2.68 มม. ความสูงครีบ 10 มม. ท่อทองแดงติดครีบอะลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ 19.05 มม. ความหนาท่อ 1.4 มม. ความสูงครีบ 10 มม. ท่ออะลูมิเนียมติดครีบอะลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ 19.18 มม. ความหนาท่อ 1.36 มม. ความสูงครีบ 10 มม. โดยความยาวท่อเทอร์โมไซฟอนทั้งหมด 630 มม. มีส่วนทำระเหยยาว 420 มม. ส่วนไม่ถ่ายเทความร้อนยาว 10 มม. และส่วนควบแน่นยาว 200 มม. เทอร์โมไซฟอนมีทั้งหมด 4 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยเทอร์โมไซฟอนที่ทำจากท่อเหล็กครีบเหล็ก ท่อทองแดงครีบอะลูมิเนียม และท่ออะลูมิเนียมครีบอะลูมิเนียมที่ไม่เคลือบและเคลือบส่วนทำระเหยของท่อเทอร์โมไซฟอนด้วยสีทนความร้อนจำนวน 3 ความหนา ทำชิ้นงานตัวแทนที่ตัดมาจากท่อของแต่ละโลหะ และแบ่งเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน นำไปติดตรงตำแหน่งด้านหันรับไอเสียร้อนและด้านตรงข้ามของเทอร์โมไซฟอน ทดสอบกับไอ

เสียร้อนที่อุณหภูมิ 225°C ได้จากการเผาไหม้ของน้ำมันเตาเกรด A มีน้ำมันดีเซลผสม 20 % โดยปริมาตร ทดสอบวันละ 16 ชั่วโมง รวมเวลาทั้งหมด 1,000 ชั่วโมง เก็บข้อมูลอุณหภูมิแตกต่างกับค่าความร้อนส่งผ่านของเครื่องอุ่นน้ำป้อนในช่วงการทำงานต่างๆและการกัดกร่อนกับเขม่าจากเทอร์โมไซฟอนที่เวลา 250, 500, 750 และ 1,000 ชั่วโมง นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์การกัดกร่อนจากภาพถ่ายขยาย 25 เท่าจากกล้องจุลทรรศน์ ตรวจหาสารประกอบอนินทรีย์และสารประกอบอินทรีย์ในเขม่าโดยเครื่อง X-ray diffractometer และ Infra-red spectroscopy ตามลำดับ วิเคราะห์ความหนาเขม่าจากการวัดที่ผิวท่อโดยเวอร์เนียและอัตราการเกาะตัวของเขม่าเฉลี่ยจากน้ำหนักของชิ้นงานตัวแทนที่เพิ่มขึ้น วิเคราะห์ความต้านทานความร้อนของเขม่าจากความต้านทานความร้อนรวมของเครื่องอุ่นน้ำป้อนที่เปลี่ยนไป วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์จากค่าใช้จ่ายทั้งหมด จากผลการทดสอบพบว่า ตำแหน่งด้านหันรับไอเสียร้อนและความหนาสีทนความร้อนไม่มีผลต่อการกัดกร่อน ความหนาเขม่า และอัตราการเกาะตัวของเขม่าเฉลี่ย การกัดกร่อนของเทอร์โมไซฟอนที่เคลือบสีทนความร้อนมีค่าเป็น 50 % ของเทอร์โมไซฟอนที่ไม่เคลือบสีทนความร้อน ที่เวลา 1,000 ชั่วโมง ตรวจพบสารประกอบอนินทรีย์คือ $CaSO_4$ จากเขม่าที่เคลือบท่อซึ่งคาดว่ามาจากเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเตา ส่วนสารประกอบอินทรีย์นั้นตรวจไม่พบ สารที่พบจะไม่ขึ้นกับชนิดวัสดุของท่อหรือการเคลือบหรือเวลา การกัดกร่อนและอัตราการเกาะตัวของเขม่าเฉลี่ยในพจน์ของเวลาอยู่ในรูปของ $Cr = At^m$ และ $RW_{fouling} = Bt^n$ โดย A และ B คือค่าคงที่, m คือความชันของสมการที่มีค่าเป็นบวก และ n คือความชันของสมการที่มีค่าเป็นลบ ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามวัสดุของท่อและการเคลือบท่อ ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาเขม่ากับเวลาของท่อเหล็กติดครีบเหล็ก ท่อทองแดงติดครีบอะลูมิเนียมและท่ออะลูมิเนียมติดครีบอะลูมิเนียมเป็นไปดังสมการ $R_{fouling} = 42.2386(1-e^{-0.0012t})$, $R_{fouling} = 36.6862(1-e^{-0.0019t})$ และ $R_{fouling} = 15.873(1-e^{-0.0063t})$ ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานความร้อนรวมของเขม่ากับเวลาเป็นไปดังสมการ $Z_{fouling} = 1.038(1-e^{-0.0034t})$ ในการใช้งานท่อของเครื่องอุ่นน้ำป้อนแบบเทอร์โมไซฟอนที่ทำงานกับอุณหภูมิ 150-250°C นั้นแสดงว่าควรเลือกใช้ท่อเหล็กติดครีบเหล็กเคลือบสีทนความร้อนที่ความหนา 0.3 มม. จึงจะคุ้มค่า

Thesis Title	A study of Corrosion Protection on External Surface of Finned-Tube Thermosyphon Economizer by Paint
Author	Mr. Pracha Yeunyongkul
M.Eng.	Mechanical Engineering
Examining Committee :	Assoc. Prof. Dr. Pradit Terdtoon Chairman
	Assoc. Prof. Dr. Somchai Thongtem Member
	Asst. Prof. Dr. Sumpun Chaitep Member

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ABSTRACT

The purpose of this paper is to study the effects of using paint as a protection against corrosion on external surfaces of fin-tubed thermosyphon economizers. The thermosyphons used in the experiment were made of steel tubes with steel fins, aluminium tubes with aluminium fins and copper tubes with aluminium fins. All tubes had an outside diameter of 21.7 mm 19.05 mm and 19.18 mm respectively and were 630 mm in length with 10 mm high fins. The length of the evaporator section was 10 mm and the condenser section was 200 mm. The tubes were grouped into four sets. Each set consisted of uncoated and coated steel thermosyphons, uncoated and coated copper thermosyphons, uncoated and coated aluminium thermosyphons. Three different thicknesses of paint were employed on the evaporator section. The coated sample pieces, made of the same material as the tubes, were attached to both sides of each

thermosyphon; the side facing the gas flow and the lee side, in order to test the flow direction. The test was conducted using exhaust gas burned at 225 ^{0}C using a mixture of grade A heavy fuel and 20% diesel. The experiment was conducted over 16 hours per day for a total of 1,000 hours. Heat transfer temperatures were analyzed; the temperature of the economizer was taken, along with corrosion and fouling levels on the thermosyphon at 250, 500, 750 and 1,000 hours. All the data on corrosion was obtained from 25 times extended photos taken by an optical microscope. Inorganic and organic compounds in the fouling were analyzed by an X-ray defractometer and an Infrared spectroscope. Fouling thickness was obtained by measuring the surface of the thermosyphon and the average rate of fouling was calculated from the increased weight of the samples. Fouling resistance was calculated from the changes in temperature of the economizer caused by fouling . Economic viability was calculated from the total expenditure of components used. It was found that neither the placement of the facings nor the thickness of paint affected the corrosion, the fouling thickness or the average rate of fouling. At the completion of the experiment, the corrosion of the coated black steel thermosyphon, the coated copper thermosyphon and the coated aluminium thermosyphon was less than the uncoated thermosyphon by 2x, 1.5x and 1.5x respectively. The inorganic compound that was found in the fouling on the thermosyphon's surface was $CaSO_4$, which came from fuel combustion. However, no organic compound was found in this investigation. Thus fouling on the thermosyphon's surface did not originate from the material used in the tubes production, the coating or the operating time. The corrosion and the average rate of fouling in terms of time was $Cr = At^m$ and $RW_{fouling} = Bt^n$ where A and B were constants, m the positive slope and n the negative slope which varied according to the material used in the tubes production and coating. The correlation between fouling thickness and time of the steel thermosyphons (with steel fins), aluminium thermosyphons (with aluminium fins) and copper thermosyphons (with aluminium fins) was $R_{fouling} = 42.2386\ (1-e^{-0.0012t})$,

$R_{fouling}$ = 36.6862(1-$e^{-0.0019t}$) and $R_{fouling}$ = 15.873(1-$e^{-0.0063t}$), respectively. The equation for fouling resistance and time was $Z_{fouling}$ = 1.038(1-$e^{-0.0034t}$). It can be concluded that tubes used in thermosyphons at temperatures between 150 and 250°C should be made of 0.3 mm steel.

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University