

การศึกษาความต้านทานเฟอ์ลิ่งในหม้อน้ำรถยนต์  
**A STUDY OF FOULING RESISTANCE IN AUTOMOBILE RADIATOR**

สุธี โปษะนุกูล<sup>1</sup> และพงษ์ธร จรรย์ญากรณ<sup>2</sup>  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ถ.พญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330  
โทร 0-2218-6630 โทรสาร 0-2252-2889 E-mail: pongtorn.c@chula.ac.th

Suthee Posayanukul and Pongtorn Charunyakorn  
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University  
Phyathai Rd, Bangkok 10330 Thailand  
Tel: 0-2218-6630 Fax: 0-2252-2889 E-mail: pongtorn.c@chula.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของความต้านทานเฟอ์ลิ่งในหม้อน้ำรถยนต์เมื่อมีอายุการใช้งานมากขึ้น เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบหม้อน้ำรถยนต์ หม้อน้ำที่ศึกษาจำนวน 9 ตัวอย่างเป็นรุ่นเดียวกันและมีขนาดทางกายภาพเหมือนกันซึ่งผ่านการใช้งานแล้วเป็นระยะทาง 0, 4036, 6263, 19120, 39752, 46816, 53569, 59506, และ 131850 km ตัวอย่างทั้งหมดถูกทดลองโดยใช้ข้อมูลสำหรับทดสอบหม้อน้ำของบริษัทผู้ผลิตหม้อน้ำรถยนต์ การทดลองกระทำที่อัตราไหลเชิงมวลของน้ำที่ 0.565, 0.970, 1.374, 1.778 kg/s และอัตราไหลเชิงมวลของอากาศที่ 0.967, 1.450, 1.934, 2.417 kg/s ในทุกการทดลองอุณหภูมิของน้ำที่เข้าหม้อน้ำถูกคุมไว้ที่ 90°C

จากการศึกษาพบว่าอายุการใช้งานของหม้อน้ำไม่ได้มีผลโดยตรงต่อความต้านทานเฟอ์ลิ่งในหม้อน้ำอย่างมีนัยสำคัญในตัวอย่างที่ศึกษา อย่างไรก็ตาม ค่าความดันตกคร่อมด้านอากาศมีแนวโน้มสูงขึ้นตามอายุการใช้งานของหม้อน้ำ ซึ่งในการใช้งานจริงจะมีผลให้อัตราไหลเชิงมวลของอากาศผ่านหม้อน้ำลดลงเมื่ออายุการใช้งานมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ที่อัตราไหลของน้ำ 0.565 kg/s ความดันตกคร่อมด้านอากาศเป็น 250 N/m<sup>2</sup> อัตราไหลของอากาศผ่านหม้อน้ำที่ผ่านการใช้งาน 4036, 6263, 19120, 46816, 59506 km มีค่าน้อยกว่าหม้อน้ำใหม่ประมาณ 2.22, 4.0, 5.33, 8.88, 19.11% ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลให้ความสามารถในการระบายความร้อนลดลงประมาณ 0.65, 1.21, 1.63, 2.79, 6.50% ตามลำดับ<sup>1</sup>

#### Abstract

The research is to study the effects of fouling resistance on automobile radiator performance at various distance of use. Nine

sample radiators tested had working distance of 0, 4036, 6263, 19120, 39752, 46816, 53569, 59506 and 131850 kilometers. All radiators were of the same physical shape and dimension and provided by a radiator manufacturer. The experiments were done with water mass flow rates of 0.565, 0.970, 1.374 and 1.778 kg/s in combination with air mass flow rates of 0.967, 1.450, 1.934 and 2.417 kg/s. Temperature of water entering radiator was maintained at 90 °C for all cases.

The study shows that working distance of a car does not directly affect the fouling resistance in radiator significantly. However, it is found that air pressure drop across radiator increases appreciably with working distance. In actual working condition air flow through radiator could drop significantly. For instance, at water mass flow rate of 0.565 kg/s and air pressure drop 250 N/m<sup>2</sup>, air mass flow rate of 4036, 6263, 19120, 46816, 59506 km radiators drops 2.2, 4, 5.33, 8.88, 19.11% compared with new radiator respectively. This, in turn, will reduce the cooling capacity of the radiator about 0.65, 1.21, 1.63, 2.79, 6.5% respectively.

#### 1. บทนำ

หม้อน้ำรถยนต์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของรถยนต์ อุตสาหกรรมการผลิตหม้อน้ำจึงมีการขยายตัวไปพร้อมๆกับการขยายตัวของอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทย หม้อน้ำรถยนต์เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่จัดว่าเป็น Compact heat exchanger ในการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยทั่วไป สิ่งที่เราจำเป็นต้องรู้ก็คือความต้านทานเฟอ์ลิ่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้นตามอายุการใช้งาน ความ

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท วิศวกรรมศาสตราจารย์

ด้านทานเพลิงมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนทั้งโดยตรง กล่าวคือ ทำให้ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของพื้นผิวเพิ่มขึ้น และโดยอ้อมซึ่งจะเกิดขบวนการไหล ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยรวมลดลง การศึกษาเกี่ยวกับความต้านทานเพลิงทั่วไปมีผู้ศึกษาไว้เป็นจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น [1]-[5] แต่ยังไม่ปรากฏว่ามีการศึกษาการเกิดความต้านทานเพลิงในหม้อน้ำรถยนต์มาก่อน การศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบหม้อน้ำให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น

## 2. วิธีการศึกษา

### 2.1 การเก็บตัวอย่างหม้อน้ำ

ตัวอย่างหม้อน้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นหม้อน้ำรุ่นเดียวกันสำหรับใช้กับรถกระบะ ประกอบด้วยหม้อน้ำใหม่ที่ยังไม่ได้ใช้งานเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ และหม้อน้ำที่ผ่านการใช้งานจริงมาแล้วเป็นระยะเวลาหรือระยะทางต่างๆกัน ในงานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างหม้อน้ำทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วยหม้อน้ำใหม่ และหม้อน้ำที่ผ่านการใช้งานแล้วที่ระยะทาง 4036, 6263, 19120, 39752, 46816, 53569, 59506, และ 131850 km สภาพโดยทั่วไปของตัวอย่างหม้อน้ำนี้ สีที่เคลือบพื้นผิวครีบล้างและทอยังอยู่ในสภาพค่อนข้างดี ไม่ปรากฏการผุกร่อน แต่มีฝุ่นจับเกาะพื้นผิวอยู่ทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่อยู่นอกกรอบของพัดลมตัวครีบล้างได้รับความเสียหายในลักษณะที่บิดเบี้ยวหรือลู่เอียงไปเนื่องจากถูกของแข็งกดเป็นบางจุด

### 2.2 วิธีการทดลอง

ตัวอย่างหม้อน้ำทั้งหมดจะถูกนำไปทดลองในอุโมงค์ลมที่ใช้ทดสอบหม้อน้ำของบริษัทผู้ผลิตหม้อน้ำรายหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งสามารถจำลองสภาวะที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงของหม้อน้ำ การทดลองหม้อน้ำแต่ละตัว จะทำการปรับค่าอัตราไหลของน้ำและอากาศอย่างละ 4 ค่าดังแสดงในตารางที่ 1

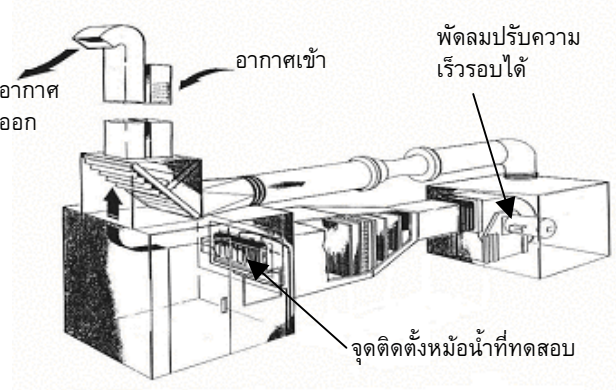
ตารางที่ 1 อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำและอากาศที่ทดลอง

อัตราการไหลของอากาศ		อัตราการไหลของน้ำ	
kg/s	m/s	kg/s	l/min
0.967	3.5	0.565	35
1.450	5.25	0.970	60
1.934	7.0	1.374	85
2.417	8.75	1.778	110

ค่าดังกล่าวถูกเลือกขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ต่างประเทศ ซึ่งกำหนดการทดสอบไว้สองช่วงคือ ช่วงค่าต่ำที่อัตราไหลของน้ำ 40 l/min และความเร็วอากาศ 4 m/s และช่วงค่าสูงที่อัตราไหลของน้ำ 100 l/min และความเร็วอากาศ 8 m/s

ในการทดลองแต่ละครั้งจะทำการบันทึกค่าต่างๆด้วย Data Logger เพื่อใช้ในการคำนวณในขั้นตอนต่อไป ค่าที่บันทึกประกอบด้วย

อุณหภูมิอากาศขาเข้า อุณหภูมิอากาศขาออก อุณหภูมิน้ำขาเข้า อุณหภูมิน้ำขาออก ความดันน้ำขาเข้า ความดันตักคร่อมด้านน้ำ ความเร็วน้ำเข้าหม้อน้ำรถยนต์ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ ความดันตักคร่อมด้านอากาศ และอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ



รูปที่ 1 อุโมงค์ลมที่ใช้ทดสอบหม้อน้ำรถยนต์

### 2.3 การคำนวณ

ค่าตัวแปรต่างๆที่บันทึกไว้จากการทดลองจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาความต้านทานเพลิงตามลำดับต่อไปนี้

ก) หาปริมาณการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำจากสมการ

$$Q = \dot{m} \times C_{pw} \times (T_{w1} - T_{w2}) \quad (1)$$

เมื่อ  $Q$  คือ ปริมาณการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำ เป็น kW,  $C_{pw}$  คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ เป็น kJ/kg-°C  $T_{w1}$  และ  $T_{w2}$  คือ อุณหภูมิน้ำขาเข้าและขาออกตามลำดับ เป็น °C

ข) ปรับค่าปริมาณการถ่ายเทความร้อนตามสมการ [8]

$$Q_{60} = Q \times \frac{60}{T_{w1} - T_{a1}} \quad (2)$$

เมื่อ  $Q_{60}$  คือ ปริมาณความร้อนถ่ายเทได้ของน้ำเทียบเป็นค่าที่ผลต่างอุณหภูมิขาเข้าของน้ำกับอุณหภูมิขาเข้าของอากาศเท่ากับ 60°C  $T_{a1}$  คืออุณหภูมิอากาศขาเข้า

ค) การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจากสมการ

$$U = \frac{Q_{60} \times 1000}{T_m \times A} \quad (3)$$

เมื่อ  $U$  คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม  $\Delta T_{lm}$  คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิเชิงลอการิทึมที่ปรับแก้แล้ว  $A$  คือ พื้นที่ถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำ (พื้นที่สัมผัสอากาศของหลอดน้ำรวมกับพื้นที่สัมผัสอากาศของครีป)

ง) การหาความต้านทานเพลิงจากสมการ

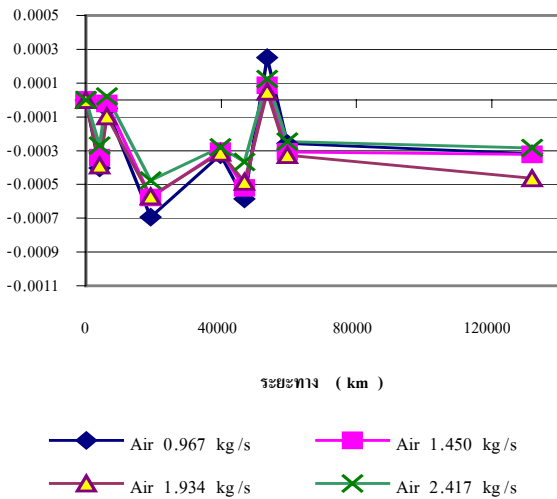
$$R_f = \frac{1}{U} - \frac{1}{U_0} \quad (4)$$

เมื่อ  $R_f$  คือ ค่าความต้านทานเพลิง  $U_0$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหม้อน้ำเมื่อไม่ติดเพลิง นั่นคือเป็นค่าของหม้อน้ำที่ยังไม่ได้ใช้งาน  $U$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหม้อน้ำที่ผ่านการใช้งานแล้วซึ่งเราทดลองเพื่อหาค่าความต้านทานเพลิง

### 3. ผลการศึกษา

รูปที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานเพลิงที่คำนวณจากสมการ(4)แปรผันตามระยะทางการใช้งาน สำหรับอัตราไหลของน้ำ 1.374 kg/s และที่ความเร็วอากาศต่างๆ กราฟสำหรับที่อัตราไหลของน้ำค่าอื่นๆ จะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน

รูปที่ 3 แสดงความดันตกคร่อมด้านอากาศที่อัตราไหลเชิงมวลของอากาศต่างๆและที่ระยะทางการใช้งานต่างๆ สำหรับอัตราไหลของน้ำ 1.374 kg/s กราฟสำหรับที่อัตราไหลของน้ำค่าอื่นๆ จะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน

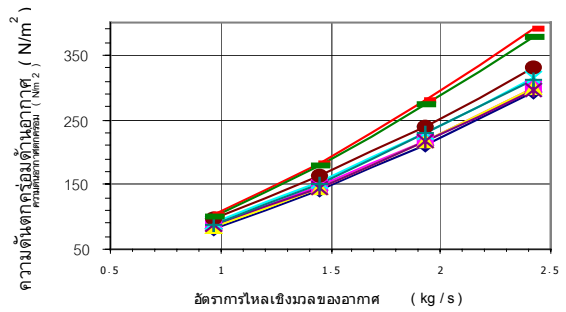
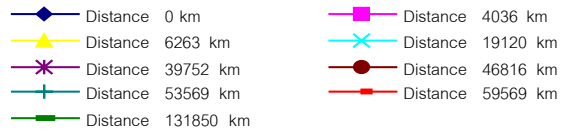


รูปที่ 2 ค่าความต้านทานเพลิงแปรตามระยะทางการใช้งานจากการทดลองที่อัตราไหลของน้ำ 1.374 kg/s

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 2 เราสรุปได้ว่า สำหรับตัวอย่างหม้อน้ำที่ทำการศึกษา ระยะทางการใช้งานไม่มีผลโดยตรงต่อความต้านทานเพลิงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจจะเป็นเพราะว่า

หม้อน้ำเหล่านี้ถูกใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีการกักคร่อม หรือการก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นผิวน้อยมาก

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณารูปที่ 3 เราจะเห็นได้ว่า ความดันตกคร่อมด้านอากาศมีการเพิ่มขึ้นตามระยะทางการใช้งานอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากมีการกักขวางหรืออุดตันทางด้านกรไหลของอากาศ ในการใช้งานจริง จะมีผลให้อัตราไหลเชิงมวลของอากาศผ่านหม้อน้ำลดลงเมื่อมีอายุการใช้งานมากขึ้น ตัวอย่างเช่น เมื่อทำการคำนวณโดยโปรแกรมของ [9] อัตราไหลของอากาศผ่านหม้อน้ำที่ผ่านการใช้งาน 4036, 6263, 19120, 46816, 59506 km มีค่าน้อยกว่าหม้อน้ำใหม่ประมาณ 2.22, 4.0, 5.33, 8.88, 19.11% ตามลำดับ สำหรับที่อัตราไหลของน้ำ 0.565 kg/s และความดันตกคร่อมด้านอากาศเป็น 250 N/m<sup>2</sup> การไหลของอากาศที่ลดลงนี้เป็นผลให้ความสามารถในการระบายความร้อนลดลงประมาณ 0.65, 1.21, 1.63, 2.79, 6.50% ตามลำดับ ส่วนความดันตกคร่อมทางด้านน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางการใช้งานน้อยมาก



รูปที่ 3 ค่าความต้านทานเพลิงแปรตามระยะทางการใช้งานจากการทดลองที่อัตราไหลของน้ำ 1.374 kg/s

### 4. สรุปและข้อเสนอแนะ

ภายใต้เงื่อนไขตัวอย่างที่ทำการทดลอง ระยะทางการใช้งานไม่มีผลโดยตรงต่อการเกิดความต้านทานเพลิงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ความสามารถในการระบายความร้อนของหม้อน้ำจะลดลง จากผลกระทบโดยทางอ้อมจากการลดลงของอัตราไหลของอากาศ

อย่างไรก็ตาม การศึกษาเกี่ยวกับการเกิดเพลิงในหม้อน้ำรถยนต์ควรจะทำเพิ่มเติมต่อไป โดยใช้ตัวอย่างหม้อน้ำที่มีระยะทางการใช้งานหรืออายุการใช้งานนานขึ้น หรือที่ผ่านการใช้งานในสภาวะแวดล้อมอื่นๆที่คาดว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดเพลิงค่อนข้างมากและมีประวัติการใช้งานที่ชัดเจนหรือการทำให้เกิดเพลิงโดยวิธีการเร่งให้ห้องปฏิบัติการ เป็นต้น

### 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณบริษัท ซีเอชพัฒนา จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทผลิตหม้อน้ำรถยนต์ที่ได้ให้ความร่วมมือในการจัดหาตัวอย่างหม้อน้ำ

และช่วยอำนวยความสะดวกให้ใช้ข้อมูลในการทดลองงานวิจัยนี้  
สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Bott, T. R. ; Bemrose, C. R. Particulate Fouling on the Gas side of Finned Tube Heat Exchangers. Transactions of the ASME vol 105 (1983):178-183.
- [2] Cho, Y. I. ; Choi, B.- G. Validation of an Electronic Anti-fouling Technology in a Single-tube Heat Exchanger. Internationnal Journal of Heat and Mass Tranfer vol 42 (1999):1491-1499.
- [3] Melo, L. F. ; Bott, T. R. ; Bemardo C. A. Fouling Science and Technology Netherland : Kluwer Academic Publishers,1988.
- [4] Ritter, R. B. Crystalline Fouling Studies.Transaction of the ASME vol 105 (1983): 374-378.
- [5] Sheikholeslami, R. ; Watkinson, P. Scaling ot Plain and Externally Finned Heat Exchanger Tubes. Transaction of the ASME vol 108 (1986):147-152.
- [6] Incropera, F. P. and DeWitt, D. P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer 4th. Unied States of America:John Wiley & Sons,1996.
- [7] Kays, W. M. ;Crawford M. E. Convective Heat and Mass Transfer 3rd. Singapore:McGRAW-HILL,1993.
- [8] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหม้อน้ำรถยนต์ มอก. 388-2534 กรุงเทพมหานคร:กระทรวงอุตสาหกรรม, พ.ศ. 2534
- [9] จักรพันธ์ จีรวิฑูร. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณสมรรถนะของหม้อน้ำรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2545