การออกแบบและออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์

นางสาว ศริญญา เจริญวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0372-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20599596

DESIGN AND OPIMIZATION OF AUTOMOTIVE RADIATOR

MISS SARINYA CHAROENWONGSA

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

For the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2001

ISBN 974-03-0372-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์
โดย	นางสาว ศริญญา เจริญวงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.สมประสงค์ ศรีชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.สมประสงค์ ศรีชัย)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วิทย์ สุนทรนันท์)

ศริญญา เจริญวงศ์ : การออกแบบและออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์. (DESIGN AND OPIMIZATION OF AUTOMOTIVE RADIATOR) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.สมประสงค์ ศรีชัย 181 หน้า. ISBN 974-03-0372-2

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบและออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์ เพื่อคำนวณตัวแปรออกแบบของหม้อน้ำรถยนต์ ที่ทำให้วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตรังผึ้งหม้อน้ำรถยนต์มีค่าต่ำที่สุด ภายใต้เงื่อนไขการออกแบบและการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ การออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์จะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีออปติไมซ์ที่สภาวะปกติ ซึ่งเป็นกรณีที่สมมติให้ความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองนั้นถูกต้อง และกรณีออปติไมซ์ภายใต้ความไม่แน่นอนซึ่งเป็นกรณีที่คำนึงถึงความไม่แน่นอนของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างความสัมพันธ์ดังกล่าว งานวิจัยนี้จะศึกษาหม้อน้ำรถยนต์ทั้งหมด 8 แบบที่มีลักษณะของรังผึ้ง วัสดุที่ใช้ในการผลิตท่อ และครีบ และลักษณะพื้นผิวของท่อที่แตกต่างกัน

จากผลการออปติไมซ์ทั้ง 2 กรณี พบว่า ภายใต้เงื่อนไขการออกแบบและการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์ที่แตกต่างกันทั้งสิ้น 10 เงื่อนไข หม้อน้ำรถยนต์ที่ประกอบด้วยท่อและครีบที่ทำจากอะลูมิเนียม และมีลักษณะรังผึ้งแบบครีบลูเวอร์พับงอและมีแผ่นกั้นเป็นรูปแบบหม้อน้ำรถยนต์ที่เหมาะสมที่สุด

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต ศริญญา เจริญวงศ์

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา สมประสงค์ ศรีชัย

ปีการศึกษา 2544

4270558721 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : OPIMIZATION / AUTOMOTIVE RADIATOR / DESIGN / LOUVER / RIB

SARINYA CHAROENWONGSA : DESIGN AND OPIMIZATION OF AUTOMOTIVE RADIATOR. THESIS ADVISOR : SOMPRASONG SRICHAI, Ph.D. 181 pp.

ISBN 974-03-0372-2

The objective of this research covers designing and optimization of automotive radiators in order to calculate their design variables based on main raw materials for the production of the radiator core at the minimum cost. Optimization of the radiator is divided into 2 cases, i.e., "normality" and the other "uncertainty." The former case is assumed that all experimental correlations from previous researches are correct, while the latter is considered uncertainty from data used in formulating correlations. This study will include details of 8 types of radiators with different core geometry, raw material of tube and fin, and surface geometry of the tube.

As a result, both optimization cases under 10 various design constraints, the aluminum core consisting of corrugated louver fin with splitter plate and ribbed tube is the optimum type of the radiator.

Department Chemical engineering Student's signature Thip- Ch.

Field of Study Chemical engineering Advisor's signature Somprasong Srichai

Academic year 2001

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร.สมประสงค์ ศรีชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาสละเวลาตรวจแก้ข้อบกพร่องตลอดจนให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ตลอดการวิจัย ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร และดร.วิทย์ สุนทรนันท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ทำให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์และถูกต้องเที่ยงตรงยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณคุณวิศิษฐ์ เยาวพงศ์ศิริ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิจัยนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ได้ให้สนับสนุนและเป็นกำลังใจเสมอมา ท้ายสุดนี้ ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือในการวิจัยด้วยดีตลอดมา

ศริญญา เจริญวงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ญ

คำอธิบายสัญลักษณ์..... ฏ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย..... 5

2 ความรู้พื้นฐาน ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 7

2.1 ระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้ในรถยนต์..... 7

2.2 การออกแบบหม้อน้ำรถยนต์..... 10

2.3 การออปติไมซ์..... 43

2.4 บทสรุป..... 62

3 การทดสอบความถูกต้องของสมการที่ใช้ในการออกแบบหม้อน้ำรถยนต์..... 63

3.1 สมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณคุณลักษณะของหม้อน้ำรถยนต์..... 63

3.2 สมการและความสัมพันธ์ที่ใช้ในการคำนวณคุณลักษณะของหม้อน้ำรถยนต์.. 64

3.3 การทดสอบความถูกต้องของสมการที่ใช้ในการออกแบบหม้อน้ำรถยนต์..... 65

3.4 บทสรุป..... 78

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 การออกแบบและออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์..... 79
4.1 รูปแบบและลักษณะของหม้อน้ำรถยนต์ที่ศึกษา..... 79
4.2 รูปแบบปัญหาออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์..... 82
4.3 ผลการออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์..... 93
4.4 วิเคราะห์ผลการออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์..... 100
4.5 การวิเคราะห์ความไว..... 103
4.6 การทดสอบความถูกต้องของการนำผลการออปติไมซ์
ภายใต้ความไม่แน่นอนไปใช้ในการออกแบบหม้อน้ำรถยนต์..... 109
4.7 บทสรุป..... 111
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 113
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 113
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 115
รายการอ้างอิง..... 123
ภาคผนวก..... 116
ประวัติผู้วิจัย.....181

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สรุปวิธีการออปติไมซ์ 48
ตารางที่ 3.1 สมการที่ใช้ในการคำนวณคุณลักษณะของหม้อน้ำรถยนต์..... 64
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องมือวัด..... 67
ตารางที่ 4.1 รูปแบบหม้อน้ำรถยนต์ที่ศึกษา..... 82
ตารางที่ 4.2 ข้อจำกัดที่เป็นสมการ..... 84
ตารางที่ 4.3 ข้อจำกัดที่เป็นอสมการ..... 85
ตารางที่ 4.4 ตัวแปรที่ต้องกำหนดค่าเฉพาะ..... 85
ตารางที่ 4.5 ตัวแปรที่ต้องกำหนดค่าขอบเขต..... 86
ตารางที่ 4.6 ข้อกำหนดสำหรับกรณีศึกษานี้..... 86
ตารางที่ 4.7 ตัวแปรที่กำหนดค่าเฉพาะสำหรับกรณีศึกษานี้..... 87
ตารางที่ 4.8 ตัวแปรที่กำหนดค่าขอบเขตสำหรับกรณีศึกษานี้..... 87
ตารางที่ 4.9 พารามิเตอร์ที่มีความไม่แน่นอน..... 89
ตารางที่ 4.10 ข้อจำกัดที่เป็นอสมการสำหรับการออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์
ภายใต้ความไม่แน่นอน..... 91
ตารางที่ 4.11 ข้อจำกัดที่เป็นสมการสำหรับการออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์
ภายใต้ความไม่แน่นอน..... 91
ตารางที่ 4.12 ผลการออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์ที่สภาวะปกติ..... 94
ตารางที่ 4.13 ผลการออปติไมซ์หม้อน้ำรถยนต์ภายใต้ความไม่แน่นอน..... 97
ตารางที่ 4.13 ผลวิเคราะห์ความไว..... 108
ตารางที่ ค.1 สัมประสิทธิ์ของสมการคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงาน
ของน้ำที่ไหลผ่านถังน้ำ..... 151
ตารางที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นเชิงพหุ..... 151

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ลักษณะพื้นผิวภายในท่อที่ศึกษา..... 3
รูปที่ 1.2 ลักษณะของลูเวอร์ที่ศึกษา..... 3
รูปที่ 1.3 ลักษณะการจัดวางท่อและครีบเป็นรังผึ้งที่ศึกษา..... 3
รูปที่ 2.1 ระบบระบายความร้อนด้วยของเหลว.....8
รูปที่ 2.2 หม้อน้ำ..... 10
รูปที่ 2.3 ลักษณะพื้นผิวภายในท่อแบน.....11
รูปที่ 2.4 ครีบลูเวอร์..... 11
รูปที่ 2.5 ลักษณะการจัดวางท่อและครีบเป็นรังผึ้ง..... 12
รูปที่ 2.6 ตัวแปรที่แสดงขนาดและลักษณะของท่อแบนและครีบลูเวอร์..... 13
รูปที่ 2.7 ตัวแปรที่แสดงขนาดและลักษณะของท่อแบน..... 14
รูปที่ 2.8 การกระจายของอุณหภูมิตามความยาวของครีบ..... 16
รูปที่ 2.9 โมดูลสำหรับรังผึ้งที่มีการจัดวางท่อและครีบแบบครีบลูเวอร์พับงอที่มีแผ่นกั้น..... 28
รูปที่ 3.1 ชุดทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์..... 67
รูปที่ 3.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ได้จากการคำนวณ
และจากผลการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์..... 75
รูปที่ 3.3 ฮิสโตแกรมแสดงการแจกแจงความถี่ของเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบน
ของอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ได้จากการคำนวณไปจากค่า
ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์..... 75
รูปที่ 3.4 ความดันลดของอากาศที่ได้จากการคำนวณและจากผลการทดสอบ
ประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์..... 76
รูปที่ 3.5 ฮิสโตแกรมแสดงการแจกแจงความถี่ของเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบน
ของความดันลดของอากาศที่ได้จากการคำนวณไปจากค่า
ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์..... 76
รูปที่ 3.6 ความดันลดของน้ำที่ได้จากการคำนวณและจากผลการทดสอบ
ประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์..... 77
รูปที่ 3.7 ฮิสโตแกรมแสดงการแจกแจงความถี่ของเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบน
ของความดันลดของน้ำที่ได้จากการคำนวณไปจากค่า
ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์..... 77

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวภายในท่อที่ศึกษา..... 80
รูปที่ 4.2 ลักษณะของลูเวอร์ที่ศึกษา..... 80
รูปที่ 4.3 ลักษณะการจัดวางท่อและครีบเป็นรังผึ้งหม้อน้ำที่ศึกษา..... 81
รูปที่ 4.4 เส้นกราฟความไวเมื่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศมีการเปลี่ยนแปลง... 104
รูปที่ 4.5 เส้นกราฟความไวเมื่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำมีการเปลี่ยนแปลง..... 105
รูปที่ 4.6 เส้นกราฟความไวเมื่อแฟกเตอร์ความเสียดทานของอากาศมีการเปลี่ยนแปลง.....105
รูปที่ 4.7 เส้นกราฟความไวเมื่อแฟกเตอร์ความเสียดทานของน้ำที่ไหลผ่านท่อแบนมี
การเปลี่ยนแปลง.....106
รูปที่ 4.8 เส้นกราฟความไวเมื่อสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการลดขนาด
พื้นที่หน้าตัดการไหลของอากาศมีการเปลี่ยนแปลง..... 106
รูปที่ 4.9 เส้นกราฟความไวเมื่อสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการขยายขนาด
พื้นที่หน้าตัดการไหลของอากาศมีการเปลี่ยนแปลง..... 107
รูปที่ 4.10 เส้นกราฟความไวเมื่อสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการลดและ
ขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำมีการเปลี่ยนแปลง..... 107
รูปที่ 4.11 เส้นกราฟความไวเมื่อสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานของน้ำ
ที่ไหลผ่านถังน้ำมีการเปลี่ยนแปลง..... 108
รูปที่ 4.12 อัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์ที่สร้างได้จริง
กับอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์ที่กำหนด..... 110
รูปที่ 4.13 ฮิสโตแกรมแสดงการแจกแจงความถี่ของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
ของอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์ที่สร้างได้จริงไปจาก
ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์ที่กำหนด 110

คำอธิบายสัญลักษณ์

A	พื้นที่ที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของความร้อน
A_a	พื้นที่ถ่ายเทความร้อนของอากาศ
A_c	พื้นที่หน้าตัดของครีบ
$A_{ff,a}$	พื้นที่การไหลที่น้อยที่สุดของอากาศ
$A^*_{ff,a}$	พื้นที่การไหลที่น้อยที่สุดของอากาศต่อหนึ่งโมดูล
$A_{ff,w}$	พื้นที่การไหลที่น้อยที่สุดของน้ำ
A_{fin}	พื้นที่ของครีบ
$A_{fr,a}$	พื้นที่ด้านหน้าของรังผึ้ง
A_i	พื้นที่ด้านในของท่อ
A_{pr}	พื้นที่ด้านนอกของท่อ
A^*_{pr}	พื้นที่ด้านนอกของท่อต่อหนึ่งโมดูล
A_{sc}	พื้นที่ผิวของครีบ
A^*_{sc}	พื้นที่ผิวของครีบต่อหนึ่งโมดูล
A_{sp}	พื้นที่ของแผ่นกั้น
A_{tube}	พื้นที่ของท่อ
A_w	พื้นที่ถ่ายเทความร้อนของน้ำ
A_{wall}	พื้นที่ถ่ายเทความร้อนของท่อ
A'	พื้นที่อ้างอิง
c_1	ค่าคงที่จากการอินทิเกรต
c_2	ค่าคงที่จากการอินทิเกรต
$c_{p,a}$	ความจุความร้อนของอากาศ
$c_{p,f}$	ความจุความร้อนของครีบ
$c_{p,w}$	ความจุความร้อนของน้ำ
C	สมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์, ค่าใช้จ่ายหรือค่าวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตรังผึ้งหม้อน้ำ
C_{fin}	ราคาของวัสดุที่ใช้ผลิตครีบต่อหน่วยพื้นที่
C_{tube}	ราคาของวัสดุที่ใช้ผลิตท่อต่อหน่วยพื้นที่
C_{strip}	ราคาของวัสดุที่ใช้ผลิตแผ่นกั้นต่อหน่วยพื้นที่
$\overline{C}$	ค่าใช้จ่ายต่ำสุดสำหรับแต่ละค่าความไม่แน่นอน

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

d	เวคเตอร์ของตัวแปรออกแบบ
D	ความลึกของรังผึ้งหม้อน้ำ
D_i	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ
D_l	เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลลามินาร์
D_h	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก
D_{ht1}	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของถังน้ำตอนบน
D_{ht2}	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของถังน้ำตอนล่าง
$D_{inlet\ pipe}$	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำเข้า
$D_{outlet\ pipe}$	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำออก
$D_{t,1}$	ความลึกของถังน้ำตอนบน
$D_{t,2}$	ความลึกของถังน้ำตอนล่าง
e	ความสูงของความขรุขระแบบ rib ภายในท่อ
e^+	roughness Reynolds number
f	เวคเตอร์ของอสมการข้อจำกัดของผลลัพท์ที่กำจัดตัวแปรสเตทแล้ว
f_i	แฟกเตอร์ความเสียดทานของของไหลที่ไหลภายในท่อ
f_o	แฟกเตอร์ความเสียดทานของของไหลที่ไหลผ่านรังผึ้ง
f_r	แฟกเตอร์ความเสียดทานของของไหลที่ไหลภายในท่อผิวขรุขระ
f_s	แฟกเตอร์ความเสียดทานของของไหลที่ไหลภายในท่อผิวเรียบ
f_w	แฟกเตอร์ความเสียดทานของน้ำที่ไหลภายในท่อ
$f_{w,inlet\ pipe}$	แฟกเตอร์ความเสียดทานของน้ำที่ไหลภายในท่อน้ำเข้า
$f_{w,outlet\ pipe}$	แฟกเตอร์ความเสียดทานของน้ำที่ไหลภายในท่อน้ำออก
F	แฟกเตอร์แก้ไขของอุณหภูมิแตกต่างล็อกมีนของของไหล, สมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์
F_d	ความลึกของครีบ
F_l	ความยาวของครีบ
F_p	ระยะห่างระหว่างครีบ
F_t	ความหนาของครีบ
g	ความเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก, เวคเตอร์ของข้อจำกัดที่เป็นอสมการ
G	heat transfer roughness function
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหล, เวคเตอร์ของข้อจำกัดที่เป็นสมการ

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

h_a	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ
h_i	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลที่ไหลภายในท่อ
h_o	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลที่ไหลผ่านรังผึ้ง
h_r	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลที่ไหลภายในท่อผิวขรุขระ
h_s	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลที่ไหลภายในท่อผิวเรียบ
h_w	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำ
H	ความสูงของรังผึ้งหม้อน้ำ
J	ฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นของความไม่แน่นอน
k	ค่าการนำความร้อน
k_a	ค่าการนำความร้อนของอากาศ
k_f	ค่าการนำความร้อนของครีบ
k_i	ค่าการนำความร้อนของของไหลที่ไหลภายในท่อ
k_o	ค่าการนำความร้อนของของไหลที่ไหลผ่านรังผึ้ง
k_w	ค่าการนำความร้อนของน้ำ
k_{wall}	ค่าการนำความร้อนของท่อ
$K_{c,i}$	สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของการไหลของของไหลที่ไหลผ่านท่อ
$K_{e,i}$	สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดของการไหลของของไหลที่ไหลผ่านท่อ
$K_{c,o}$	สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของการไหลของของไหลที่ไหลผ่านรังผึ้ง
$K_{e,o}$	สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดของการไหลของของไหลที่ไหลผ่านรังผึ้ง
K_{tank}	สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานของน้ำที่ไหลผ่านถังน้ำตอนบนและถังน้ำตอนล่าง
l	พารามิเตอร์ของครีบ
$L_{inlet\ pipe}$	ความยาวของท่อน้ำเข้า
L_l	ความยาวของลูเวอร์
$L_{outlet\ pipe}$	ความยาวของท่อน้ำออก
L_p	ระยะห่างระหว่างลูเวอร์

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

L_θ	มุมของลูเวอร์
m	พารามิเตอร์ของครีบ
m_a	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ
m_w	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ
N_m	จำนวนโมดูล
N_t	จำนวนท่อ
p	ระยะห่างของความขรุขระภายในท่อ
p	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหล
q	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหล
P	ความดัน
P_f	เส้นรอบพื้นที่หน้าตัดของครีบ
Pr	ตัวเลขแพรนเดิลของของไหล
Pr_a	ตัวเลขแพรนเดิลของอากาศ
Pr_t	ตัวเลขแพรนเดิลของของไหลที่ไหลภายในท่อ
Pr_w	ตัวเลขแพรนเดิลของน้ำ
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน
Q_a	อัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศ
Q_{cond}	อัตราการนำความร้อนผลลัพธ์เข้าส่วนของครีบที่มีความยาว dx
Q_{conv}	อัตราการพาความร้อนออกจากส่วนของครีบซึ่งมีความยาว dx
Q_f	อัตราการถ่ายเทความร้อนของครีบ
$Q_{f,ideal}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนจากครีบที่มีประสิทธิภาพ 100 %
$Q_{f,o}$	อัตราการนำความร้อนเข้าสู่ฐานของครีบ
$Q_{f,real}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนจากครีบจริง
$Q_{required}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต้องการ
Q_s	อัตราการสะสมความร้อนในส่วนของครีบซึ่งมีความยาว dx
Q_w	อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ
Q_x	อัตราการนำความร้อนเข้ามายังส่วนของครีบที่มีความยาว dx
Q_{x+dx}	อัตราการนำความร้อนออกจากส่วนของครีบที่มีความยาว dx
Q_1	อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากของไหลในท่อไปยังผนังด้านในท่อ

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

Q_2	อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำจากผิวของผนังด้านในท่อไปยังด้านที่ติดครีบ
Q_3	อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากผิวของท่อด้านที่ติดครีบและจากตัวครีบไปยังอากาศ
Q_{60}	อัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อน้ำเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าของน้ำและอากาศเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส
r	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหล
r_o	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหล
$R(e^+)$	friction roughness function
Re_i	ตัวเลขเรย์โนลด์ของของไหลที่ไหลภายในท่อ
Re_{Lp}	ตัวเลขเรย์โนลด์ของอากาศที่ไหลผ่านรังผึ้ง
Re_{t1}	ตัวเลขเรย์โนลด์ของน้ำที่ไหลผ่านถังน้ำตอนบน
Re_{t2}	ตัวเลขเรย์โนลด์ของน้ำที่ไหลผ่านถังน้ำตอนล่าง
T	อุณหภูมิ
T_a	อุณหภูมิของอากาศ
T_{a1}	อุณหภูมิขาเข้าของอากาศที่วัดได้
$T_{a,1}$	อุณหภูมิขาเข้าของอากาศ
$T_{a,2}$	อุณหภูมิขาออกของอากาศ
$T_{a,I}$	อุณหภูมิอ้างอิงของอากาศ
$T_{a,II}$	อุณหภูมิอ้างอิงของอากาศ
T_c	อุณหภูมิของของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำ
T_d	ความลึกของท่อ
T_f	อุณหภูมิของครีบ
$T_{f,o}$	อุณหภูมิที่ฐานครีบ
$T_{f,l}$	อุณหภูมิที่ปลายครีบ
$T_{f,m}$	อุณหภูมิเฉลี่ยของครีบ
T_h	อุณหภูมิของของไหลที่มีอุณหภูมิสูง
T_i	อุณหภูมิของของไหลที่ไหลภายในท่อ
T_l	ความยาวของท่อ
T_p	ระยะห่างระหว่างท่อ

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

T_o	อุณหภูมิของของไหลที่ไหลผ่านครีบ
T_t	ความหนาของท่อ
T_w	ความกว้างของท่อ
T_{w1}	อุณหภูมิขาเข้าของน้ำที่วัดได้
$T_{w,1}$	อุณหภูมิขาเข้าของน้ำ
$T_{w,2}$	อุณหภูมิขาออกของน้ำ
$T_{wall,i}$	อุณหภูมิของผนังภายในท่อ
$T_{wall,o}$	อุณหภูมิของผนังภายนอกท่อ
u_a	ความเร็วของอากาศ
u_i	ความเร็วของของไหลที่ไหลภายในท่อ
$u_{t,1}$	ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านถังน้ำตอนบน
$u_{t,2}$	ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านถังน้ำตอนล่าง
$u_{\tan k}$	ความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่ไหลผ่านถังน้ำตอนบนและถังน้ำตอนล่าง
u_w	ความเร็วของน้ำที่ไหลภายในท่อ
$u_{w,inlet\ pipe}$	ความเร็วของน้ำที่ไหลภายในท่อน้ำเข้า
$u_{w,outlet\ pipe}$	ความเร็วของน้ำที่ไหลภายในท่อน้ำออก
U_m	ค่าเฉลี่ยจริงของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกรณีเทียบกับพื้นที่อ้างอิง A
V_i	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของของไหลที่ไหลภายในท่อ
V_w	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำ
W	ความกว้างของรังผึ้งหม้อน้ำ
x	ระยะทาง, เวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ, เวคเตอร์ของตัวแปรสเตท
x_i	จำนวนจริง
$[x_i]$	จำนวนเต็มที่มีค่ามากที่สุดที่มีค่าน้อยกว่า x_i
z	เวคเตอร์ของตัวแปรควบคุม, ระยะห่างตามแนวดิ่งวัดระหว่างจุดศูนย์กลางของท่อน้ำเข้าถังน้ำตอนบนและท่อน้ำออกจากถังน้ำตอนล่าง
z_1	ความสูงของถังน้ำตอนบน
z_2	ความสูงของถังน้ำตอนล่าง
z^p	เวคเตอร์ของตัวแปรควบคุมแต่ละจุดของค่าความไม่แน่นอน

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์กรีก

η_f	ประสิทธิภาพของครีบ
μ_a	ความหนืดไดนามิกของอากาศ
μ_w	ความหนืดไดนามิกของน้ำ
θ	ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของครีบที่จุดใดๆ กับอุณหภูมิของอากาศ, เวคเตอร์ของตัวแปรความไม่แน่นอน
θ^L	ขอบเขตล่างของความไม่แน่นอน
θ^p	ความไม่แน่นอนของแต่ละสถานการณ์
θ^U	ขอบเขตบนของความไม่แน่นอน
θ^1	ความไม่แน่นอนสำหรับสถานการณ์ที่ดีที่สุด
θ^2	ความไม่แน่นอนสำหรับสถานการณ์ปกติ
θ^3	ความไม่แน่นอนสำหรับสถานการณ์ที่แย่ที่สุด
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศ
ρ_f	ความหนาแน่นของครีบ
ρ_w	ความหนาแน่นของน้ำ
σ^p	แฟกเตอร์น้ำหนักของความไม่แน่นอนของแต่ละสถานการณ์
σ^1	แฟกเตอร์น้ำหนักของความไม่แน่นอนสำหรับสถานการณ์ที่ดีที่สุด
σ^2	แฟกเตอร์น้ำหนักของความไม่แน่นอนสำหรับสถานการณ์ปกติ
σ^3	แฟกเตอร์น้ำหนักของความไม่แน่นอนสำหรับสถานการณ์ที่แย่ที่สุด
ΔT_{lm}	อุณหภูมิแตกต่างล็อกมีนของของไหลภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบที่ของไหลมีทิศทางการไหลสวนทางกัน และเป็นการไหลแบบเที่ยวเดียว
ΔT_m	ความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหล
ΔP_a	ความดันลดของอากาศ
$\Delta P_{a,\max}$	ความดันลดของอากาศสูงสุดที่ยอมรับได้
ΔP_a^p	ความดันลดของอากาศของแต่ละสถานการณ์
ΔP_i	ความดันลดของของเหลว
ΔP_o	ความดันลดของก๊าซ
ΔP_{pipe}	ความดันลดจากความเสียดทานของน้ำที่ไหลภายในท่อน้ำเข้าและออก
ΔP_{stat}	ความดันสถิตของน้ำ

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

ΔP_{tube}	ความดันลดของน้ำที่ไหลภายในท่อ
$\Delta P_{w,\max}$	ความดันลดของน้ำสูงสุดที่ยอมรับได้
ΔP_w^p	ความดันลดของน้ำของแต่ละสถานการณ์

ตัวห้อย

a	อากาศ
cal	ค่าที่ได้จากการคำนวณ
exp	ค่าที่ได้จากผลทดสอบประสิทธิภาพหม้อน้ำรถยนต์
i	ของไหลที่ไหลภายในท่อ
o	ของไหลที่ไหลภายนอกท่อหรือไหลผ่านรังผึ้ง
w	น้ำ
wall	ผนังท่อ
I	อุณหภูมิอ้างอิงของ Roetzel (1973)
II	อุณหภูมิอ้างอิงของ Roetzel (1973)
1	สภาวะขาเข้า
2	สภาวะขาออก

ตัวยก

L	ขอบเขตล่าง
N	สภาวะปกติ
U	ขอบเขตบน