การหาคำตอบเชิงตัวเลขของการพาความร้อนแบบอิสระจาก ชุดครีบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวดิ่งบนพื้นผิวในแนวดิ่ง

นายอัฏฐพร ขรบันฑ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-637-237-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17539219 - 9 ส.ค. 2547

NUMERICAL SOLUTION OF FREE CONVECTION HEAT TRANSFER FROM A VERTICAL RECTANGULAR FIN ARRAY ON A VERTIVAL SURFACE

Mr. Audthaporn Khorrakhan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1997

ISBN 974-637-237-8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาคำตอบเชิงตัวเลขของการพาความร้อนแบบอิสระจากชุดครีบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวดิ่งบนพื้นผิวในแนวดิ่ง
โดย	นายอัฏฐพร ชรชันต์
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมศรี จงรุ่งเรือง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

อัฏฐพร ขรขันท์ : การหาคำตอบเชิงตัวเลขของการพาความร้อนแบบอิสระจากชุดครีบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวดิ่งบนพื้นผิวในแนวดิ่ง (NUMERICAL SOLUTION OF FREE CONVECTION HEAT TRANSFER FROM A VERTICAL RECTANGULAR FIN ARRAY ON A VERTICAL SURFACE) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.พงษ์ธร จรัญญากรณ์ , 140 หน้า . ISBN 974-637-237-8.

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทำนายลักษณะการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนซึ่งเกิดจากการพาความร้อนแบบอิสระจากชุดครีบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวดิ่งบนพื้นผิวในแนวดิ่งและเสนอผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยในรูปที่สามารถนำไปใช้ออกแบบชุดครีบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวดิ่งบนพื้นผิวในแนวดิ่ง

ในการทำนายลักษณะการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนจากชุดครีบ ได้ใช้วิธีการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite difference) ในการหาคำตอบเชิงตัวเลขของสมการเชิงอนุพันธ์ซึ่งควบคุมปัญหาและได้ประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นเพื่อใช้แก้สมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

ผลการวิจัยพบว่า การเกิด fully developed ของ boundary layer เมื่อค่าระยะห่างระหว่างแถวครีบมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความยาวครีบ จะส่งผลให้ครีบมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบค่า Nusselt number ที่ได้จากการทำนายโดยการศึกษานี้กับผลการทดลองที่มีผู้ทำไว้ 2 ราย พบว่าค่าที่ได้จากการทำนายต่ำกว่าผลการทดลองทั้งนี้เนื่องจาก ผลของการแผ่รังสีความร้อนออกจากชุดครีบที่ใช้ในการทดลอง , ความร้อนสูญเสียผ่านฉนวนของอุปกรณ์ทดลองและข้อสมมุติที่กำหนดขึ้นในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ ที่ว่าชุดครีบมีลักษณะเป็น infinity fin arrays ทำให้ค่า Nusselt number ที่ได้จากการทดลองสูงกว่าค่าที่ได้จากการทำนาย , ผลที่ได้จากการทำนายโดยการศึกษานี้ได้ถูกเสนอในรูปของสมการของค่า Nusselt number ในเทอมของตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้ในการออกแบบครีบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม –

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C618854 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: CONVECTION / FIN / NUMERICAL / HEAT
AUDTHAPORN KHORRAKHAN : NUMERICAL SOLUTION OF FREE CONVECTION HEAT TRANSFER FROM A VERTICAL RECTANGULAR FIN ARRAY ON A VERTICAL SURFACE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PONGTORN JARANYAKORN, Ph.D. 140 pp. ISBN 974-637-237-8

The objectives of this research are to predict the characteristics of fluid flow and heat transfer of free convection heat transfer from a vertical rectangular fin array on a vertical surface. The result of this research would be useful in designing of a vertical rectangular fin array on a vertical surface.

The finite difference method is used to transform differential equations that govern the problem into difference equations. The computer program is written to solve the finite difference equations.

The result of this research shows that the fully developed condition of boundary layer occured when the value of fin spacing is low relative to fin length. This causes the low efficiency of fin in heat transfer. Comparing of Nusselt number from this research with two experimental results is made. It is found that the Nusselt number from this research is lower than that from experimental results. This is because the effects of radiation heat transfer from the fin which occured in the experiment , heat leakage through the insulation of the experimental instrument and the assumptions made for differential equation solving which stated that the fin array is a infinite fin array. The result of this research is presented in the form of Nusselt number correlation in term of relevant variables so that it would be used easily for fin array design

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยมาด้วยดีตลอด

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งสนับสนุนในเรื่องค่าใช้จ่ายและให้กำลังใจเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญภาพ ..... ช

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... ญ

บทที่

1. บทนำ..... 1
2. สมการเชิงอนุพันธ์ซึ่งควบคุมปัญหา..... 5
3. การแก้สมการด้วยวิธีการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์..... 26
4. โปรแกรมคอมพิวเตอร์..... 43
5. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา..... 50
6. สรุปผลการศึกษา 82

รายการอ้างอิง..... 85

ภาคผนวก..... 86

ประวัติผู้เขียน..... 140

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1 แสดงลักษณะการจัดวางโดยทั่วไปของชุดครีบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 2

รูปที่ 2-1 แสดงชุดครีบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าในแนวดิ่งบนพื้นผิวในแนวดิ่งและตัวแปรเกี่ยวกับรูปทรงที่มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนออกจากชุดครีบ.... 5

รูปที่ 2-2 ขอบเขตของปัญหาและแกนพิกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา..... 8

รูปที่ 2-3 แสดงขอบเขตของส่วนที่เป็นครีบ, แกนพิกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 9

รูปที่ 2-4 ภาวะขอบเขตของส่วนที่เป็นครีบ..... 11

รูปที่ 2-5 แสดงขอบเขตของส่วนที่เป็นของไหล และแกนพิกัดที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา 12

รูปที่ 2-6 แสดงภาวะที่ขอบเขตของส่วนที่เป็นของไหลในแนวแกน x และแกน y..... 17

รูปที่ 2-7 แสดงภาวะที่ขอบเขตของส่วนที่เป็นของไหลในแนวแกน z 18

รูปที่ 2-8 แสดงภาวะขอบเขตของส่วนที่เป็นครีบในรูปตัวแปรไร้หน่วย..... 20

รูปที่ 2-9 แสดงภาวะที่ขอบเขตของส่วนที่เป็นของไหลในรูปตัวแปรไร้หน่วยในแนวแกน x และแกน y..... 24

รูปที่ 2-10 แสดงภาวะที่ขอบเขตของส่วนที่เป็นของไหลในรูปตัวแปรไร้หน่วยในแนวแกน z 25

รูปที่ 3-1 ครีบถูกแบ่งเป็นเอลิเมนต์ย่อยแต่ละเอลิเมนต์แทนด้วย grid point..... 27

รูปที่ 3-2 grid point P ล้อมรอบด้วย grid point E , W , N , S..... 28

รูปที่ 3-3 สมมติการแจกแจงของอุณหภูมิไร้หน่วย..... 29

รูปที่ 3-4 แสดง grid point 2 ชุดซึ่งมีตำแหน่งเยื้องกัน..... 33

รูปที่ 3-5 แสดง control volume ของความเร็วในแนวแกน x 34

รูปที่ 3-6 แสดง control volume ของความเร็วในแนวแกน y..... 35

รูปที่ 3-7 แสดง control volume ของ Continuity Equation..... 39

รูปที่ 3-8 แสดง control volume ของ dimensionless fluid temperature..... 40

รูปที่ 5-1 แสดง contour plot ของความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน X ที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 12$... 51

รูปที่ 5-2 แสดง surface plot ของความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน X ที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 12$.... 52

รูปที่ 5-3 แสดง contour plot ของความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน X ที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 3138$ 53

รูปที่ 5-4 แสดง surface plot ของความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน X ที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 3138$ 54

หน้า

รูปที่ 5-5 แสดง contour plot ของความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน Y ที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 3138$... 56
รูปที่ 5-6 แสดง surface plot ของความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน Y ที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 3138$.... 57
รูปที่ 5-7 แสดง contour plot ของความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน Z ที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 12$..... 59
รูปที่ 5-8 แสดง surface plot ของความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน Z ที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 12$..... 60
รูปที่ 5-9 แสดง contour plot ของความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน Z ที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 3138$.... 61
รูปที่ 5-10 แสดง surface plot ของความเร็วไร้หน่วยในแนวแกน Z ที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 3138$... 62
รูปที่ 5-11 แสดง contour plot ของอุณหภูมิไร้หน่วยของของไหลที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 12$..... 64
รูปที่ 5-12 แสดง surface plot ของอุณหภูมิไร้หน่วยของของไหลที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 12$..... 65
รูปที่ 5-13 แสดง contour plot ของอุณหภูมิไร้หน่วยของของไหลที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 3138$..... 66
รูปที่ 5-14 แสดง surface plot ของอุณหภูมิไร้หน่วยของของไหลที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 3138$..... 67
รูปที่ 5-15 แสดง contour plot ของอุณหภูมิไร้หน่วยของครีบที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 12$..... 69
รูปที่ 5-16 แสดง contour plot ของอุณหภูมิไร้หน่วยของครีบที่ค่า $Gr_s.Pr.s/L = 3138$..... 70
รูปที่ 5-17 แสดงกราฟของค่า Nusselt number ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับ
ผลการทดลอง..... 72
รูปที่ 5-18 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองของ Leung and Probert..... 74
รูปที่ 5-19 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองของ Chaddock..... 74
รูปที่ 5-20 แสดงผลการทดลองของ Chaddock และกราฟของสมการ (5.2)..... 76
รูปที่ 5-21 แสดงค่า Nusselt number ที่คำนวณโดยใช้โปรแกรม VFIN และ
กราฟของสมการ (5.3)..... 77
รูปที่ 5-22 แสดงกราฟของค่า Nusselt number ที่คำนวณโดยใช้สมการ (5.2)
และสมการ (5.3)..... 78
รูปที่ 5-23 กราฟแสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนที่คำนวณจากโปรแกรม VFIN
เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Leung and Probert..... 80

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	พื้นที่ (m^2)
a	ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์
b	ความสูงครีบ (m)
c_p	ค่าความจุความร้อน ($kJ.kg^{-1}.K^{-1}$)
Gr	Grashof Number
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ($m.s^{-2}$)
k	ค่าสภาพการนำความร้อน ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
L	ความยาวครีบ (m)
Nu	Nusselt Number
P	ความดัน ($N.m^{-2}$)
Pr	Prandtl Number
$\dot{q}$	ความร้อนที่ผลิตขึ้นภายในครีบ ($W.m^{-3}$)
s	ระยะห่างระหว่างแถวครีบ (m)
T	อุณหภูมิ (K)
t	เวลา (s^{-1})
U	ความเร็วไร้หน่วยของของไหลในแนวแกน x
u	ความเร็วของของไหลในแนวแกน x ($m.s^{-1}$)
V	ความเร็วไร้หน่วยของของไหลในแนวแกน y
v	ความเร็วของของไหลในแนวแกน y ($m.s^{-1}$)
W	ความเร็วไร้หน่วยของของไหลในแนวแกน z
w	ความเร็วของของไหลในแนวแกน z ($m.s^{-1}$)
X	Body force ในแนวแกน x
X	ค่าพิกัดไร้หน่วยในแนวระยะห่างระหว่างแถวครีบ
x	ค่าพิกัดในแนวระยะห่างระหว่างแถวครีบ (m)
Y	Body force ในแนวแกน y
Y	ค่าพิกัดไร้หน่วยในแนวความสูงครีบ
y	ค่าพิกัดในแนวความสูงครีบ (m)

Z	Body force ในแนวแกน z
Z	ค่าพิกัดไร้หน่วยในแนวความยาวครีบ
z	ค่าพิกัดในแนวความยาวครีบ (m)
β	Volumetric thermal expansion coefficient (K^{-1})
δ	ความหนาครีบ (m)
δX	ระยะห่างระหว่าง grid point ในแนวแกน x
δY	ระยะห่างระหว่าง grid point ในแนวแกน y
δZ	ระยะห่างระหว่าง grid point ในแนวแกน z
ΔX	ขนาดของเอลิเมนต์ในแนวแกน x
ΔY	ขนาดของเอลิเมนต์ในแนวแกน y
ΔZ	ขนาดของเอลิเมนต์ในแนวแกน z
ϕ	อุณหภูมิไร้หน่วย
ρ	ความหนาแน่น ($kg.m^{-3}$)
μ	Dynamic viscosity of fluid ($N.s.m^{-2}$)
ν	Kinematic viscosity of fluid ($m^2.s^{-1}$)
ϖ	Velocity vector ($m.s^{-1}$)

อักษรห้อย

b	ด้านล่าง
d	dimensionless
E , e	ทิศตะวันออก
f	ของไหล
N , n	ทิศเหนือ
r	Relative
S , s	ทิศใต้ , ครีบ
T , t	ด้านบน
W , w	ทิศตะวันตก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย