การพาความร้อนสำหรับการไหลของละอองน้ำแบบราบเรียบ ในท่อกลม

นายวรภัทร์ ระหว่างบ้าน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-598-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 18931907

CONVECTIVE HEAT TRANSFER OF LAMINAR DROPLET FLOW IN A CIRCULAR TUBE

MR. WORAPAT RAWANGBAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998

ISBN 974-331-598-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพาความร้อน สำหรับการไหลของละอองน้ำ แบบราบเรียบ ในท่อกลม

โดย นาย วรภัทร์ ระหว่างบ้าน

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรัญญากรณ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมศรี จงรุ่งเรือง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ธร จรัญญากรณ์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชาญชัย ลิมปิยากร)

วรภัทร์ ระหว่างบ้าน : การพาความร้อน สำหรับการไหลของละอองน้ำแบบราบเรียบ ในท่อกลม (Convective heat transfer of laminar droplet flow in a circular tube) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์ , 91 หน้า .
ISBN 974-331-598-5

งานวิจัยฉบับนี้ เป็นการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของของไหลสองสถานะที่มีลักษณะการไหลแบบ droplet flow ภายใน thermal entrance region ของท่อกลม ภายใต้สภาวะอุณหภูมิผนังท่อคงที่ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะวิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงขนาดของละอองน้ำ การเปลี่ยนแปลงความเร็วของไอน้ำร้อนยิ่งยวด การเปลี่ยนแปลงของค่า local Nusselt number และ การเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของไอน้ำร้อนยิ่งยวด

ด้านการคำนวณจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. กรณีที่ velocity profile เป็น Langhaar velocity profile และ 2. กรณีที่ velocity profile เป็น parabolic velocity profile โดยได้นำวิธีไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนซ์ ในการจัดรูปแบบของสมการเพื่อใช้ในการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์

ผลการวิจัยพบว่าขนาดของละอองน้ำจะลดลงเร็วขึ้นเมื่อขนาดของละอองน้ำมีขนาดเล็กลงมากขึ้น (ขนาดของละอองน้ำน้อยกว่า 0.8) ความเร็วของไอน้ำร้อนยิ่งยวดจะเพิ่มขึ้นจากผลของการระเหยของละอองน้ำ และเมื่อละอองน้ำระเหยหมด ความเร็วจะคงที่ สำหรับค่า local Nusselt number จะมีค่าสูงกว่ากรณีที่เป็นของไหลสถานะเดียว เนื่องจากละอองน้ำจะรับความร้อนจากไอน้ำร้อนยิ่งยวด ทำให้ไอน้ำร้อนยิ่งยวดรับความร้อนจากผนังท่อได้ในปริมาณที่มากขึ้น และสำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยของไอน้ำร้อนยิ่งยวดจะสูงขึ้น จนถึงอุณหภูมิของผนังท่อ แต่มีอัตราการเพิ่มขึ้นช้ากว่ากรณีที่เป็นของไหลสถานะเดียว เนื่องจากไอน้ำร้อนยิ่งยวดถูกหล่อเย็นด้วยละอองน้ำ การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมา จะมีค่ามากน้อยเท่าใดนั้นจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ 3 ตัวคือ 1. Liquid loading parameter (A) 2. Heat sink parameter (S) และ 3. Wall superheat parameter (C)

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C 816313 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD : CONVECTIVE HEAT TRANSFER \ DROPLET FLOW

WORAPAT RAWANGBAN : CONVECTIVE HEAT TRANSFER OF LAMINAR DROPLET FLOW IN A CIRCULAR TUBE.

THESIS ADVISOR : ASSO.PROFESSOR PONGTORN CHARUNYAKORN , Ph.D. 87 pp. ISBN 974-331-598-5

This thesis studies laminar droplet flow heat transfer in thermal entrance region of circular tube under constant wall temperature condition. The purposes of the study are to analyze the variations of droplet size, vapor velocity, local Nusselt number and vapor bulk mean temperature.

The study employed two types of velocity profile, namely: 1. Langhaar velocity profile and 2. Parabolic velocity profile. The finite difference method was applied to convert the relevant equations to systems of equations suitable for computer solution.

The results show that droplet diameter decreases faster as the droplets become smaller ($D < 0.8$) The vapor velocity increases due to evaporation of droplets and remains constant after all droplets completely vaporize. The local Nusselt number for droplet flow is higher than that for single phase flow due to droplet heat absorption from superheated vapor. This results in higher heat transfer rate between the wall and the vapor. The vapor bulk mean temperature approaches the wall temperature but the increase rate is lower than single phase flow condition. This is the result of heat absorption by droplets. The extent of the variation depends on three parameters, i.e. 1. Liquid loading parameter 2. Heat sink parameter and 3. Wall superheat parameter.

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการให้คำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์พงษ์ธร จรัญญากรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่เป็นกรรมการทุกท่าน ซึ่งทุกท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการจัดทำวิยานิพนธ์ครั้งนี้ด้วยดีมาตลอด จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ. ที่นี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดาซึ่งให้กำลังใจและสนับสนุนในการทำวิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ฎ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... ฑ

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย..... 1

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 8

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย..... 8

1.5 ขั้นตอน และวิธีดำเนินการวิจัย..... 9

1.6 ความสำคัญ หรือประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัยนี้..... 10

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 11

2.1 รูปแบบจำลอง และข้อกำหนดของงานปัญหา..... 11

2.2 สมการพลังงาน..... 16

2.3 สมการแสดงขนาดการเปลี่ยนแปลงของละอองน้ำ..... 24

2.4 การจัดรูปสมการให้อยู่ในรูปตัวแปรไร้หน่วย (Nondimensionalization)..... 27

สารบัญ

หน้า

3. การคำนวณเชิงตัวเลข..... 32
3.1 วิธีไฟไนท์ดิฟเฟอเรนซ์..... 32
3.2 วิธีการกำจัดแบบเกาส์..... 34
3.3 วิธีการหาค่าอินทิกรัล โดยใช้กฎซิมป์สันแบบหลายช่วง..... 39
4. รูปแบบการวิเคราะห์เชิงตัวเลข..... 42
4.1 รูปแบบสมการไฟไนท์ดิฟเฟอเรนซ์ของสมการพลังงาน..... 44
4.2 รูปแบบสมการไฟไนท์ดิฟเฟอเรนซ์ของสมการแสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดของละอองน้ำ..... 52
5. อภิปรายผลและสรุปผล..... 56
5.1 อภิปรายผล..... 56
5.2 สรุปผล..... 78
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 79
รายการอ้างอิง..... 80
ภาคผนวก..... 82
ประวัติผู้เขียน..... 92

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงค่า γ ตามตำแหน่งตามแนวแกนท่อจากงานวิจัยของ Langhaar (1942)..... 14

5.1 แสดงค่า mean velocity ตลอดตามแนวยาวท่อสำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile ที่ C = 0.5, A = 0.2,0.6,1.0 และ S = 15,100..... 79

5.2 แสดงค่า mean velocity ตลอดตามแนวยาวท่อสำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ parabolic velocity profile ที่ C = 0.5, A = 0.2,0.6,1.0 และ S = 15,100..... 80

5.3 แสดงค่า local Nusselt number ตลอดตามแนวยาวท่อสำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile ที่ C = 0.5, A = 0.2,0.6,1.0 และ S = 0,15,100..... 81

5.4 แสดงค่า local Nusselt number ตลอดตามแนวยาวท่อสำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ parabolic velocity profile ที่ C = 0.5, A = 0.2,0.6,1.0 และ S = 0,15,100..... 82

5.5 แสดงค่า bulk mean temperature ตลอดตามแนวยาวท่อสำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile ที่ C = 0.5, A = 0.2,0.6,1.0 และ S = 0,15,100..... 83

5.6 แสดงค่า bulk mean temperature ตลอดตามแนวยาวท่อสำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ parabolic velocity profile ที่ C = 0.5, A = 0.2,0.6,1.0 และ S = 0,15,100 84

5.7 แสดงค่า droplet diameter ตลอดตามแนวยาวท่อสำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile ที่ C = 0.5, A = 0.2,0.6,1.0 และ S = 15,100..... 85

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

5.8 แสดงค่า droplet diameter ตลอดตามแนวยาวท่อสำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ parabolic velocity profile ที่ C = 0.5, A = 0.2,0.6,1.0 และ S = 15,100..... 86

5.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า local Nusselt number ตามการเปลี่ยนแปลงของ wall superheat parameter ที่ A=0.6 S=60 และ C = 1.0,5.0,10 ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile และ parabolic velocity profile..... 87

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ลักษณะทางกายภาพของของไหลใน evaporator	3
2.1 รูปแบบจำลองของปัญหา	16
2.2 การดุลพลังงานภายในปริมาตรควบคุม	17
3.1 แสดงตำแหน่งของ node ที่เกี่ยวข้อง โดยวิธี implicit method	34
3.2 ภาษาเทียม (psudocode) ตามวิธีการกำจัดแบบเกาส์ สำหรับระบบสมการที่มีลักษณะเป็น tridiagonal system	39
3.3 การประมาณค่าอินทริกรัล โดยการใช้กฎของซิมป์สันแบบหลายช่วง	40
4.1 แสดงการแบ่ง element จากรูปแบบจำลองของปัญหาตามวิธีไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนซ์	44
4.2 ลักษณะของ node ภายใน	46
4.3 ลักษณะของ node ที่อยู่บนเส้นกึ่งกลางท่อ	47
4.4 ลักษณะของ node ที่อยู่ติดผนังท่อ	48
4.5 ลักษณะการแบ่งช่วง สำหรับการคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำตามแนวยาวท่อ	52
5.1 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วเฉลี่ยของไอน้ำร้อนยิ่งยวด สำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile	58
5.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วเฉลี่ยของไอน้ำร้อนยิ่งยวด สำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ parabolic velocity profile	59
5.3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า local Nusselt number ตลอดตามแนวยาวท่อ สำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile	62

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

5.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า local Nusselt number ตลอดตามแนวยาวท่อ สำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ parabolic velocity profile 63

5.5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า bulk mean temperature ตลอดตามแนวยาวท่อ สำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile 66

5.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า bulk mean temperature ตลอดตามแนวยาวท่อ สำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ parabolic velocity 67

5.7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำตลอดตามแนวยาวท่อสำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ Langhaar velocity profile 69

5.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำตลอดตามแนวยาวท่อสำหรับการไหลแบบ droplet flow ในกรณีที่ใช้ parabolic velocity profile..... 70

5.9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า local Nusselt number ตามการเปลี่ยนแปลงของ wall superheat parameter ที่ค่า liquid loading parameter เท่ากับ 0.6 ในกรณีที่ใช้ parabolic velocity profile และ Langhaar velocity profile..... 72

5.10 กราฟเปรียบเทียบค่า Local nusselt number ที่ได้จากงานวิจัยนี้ กับผลจากงานวิจัยของ Yao (1979) (heat sink parameter (S) นิยามเช่นเดียวกับ droplet parameter (B) ในงานวิจัยของ Yao (1979)..... 76

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

5.11 กราฟเปรียบเทียบค่า bulk mean temperature ที่ได้จากงานวิจัยนี้ กับ งานวิจัยของ Yao (1979) (heat sink parameter (S) นิยามเช่นเดียวกับ droplet parameter (B) ในงานวิจัยของ Yao (1979))..... 77

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	Liquid loading parameter
B	Droplet parameter
C	Wall superheat parameter
C_p	ความร้อนจำเพาะของไอน้ำ
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำในรูปไร้หน่วย มีค่าเท่ากับ $\frac{d}{d_0}$
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำ , μm
d_0	เส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำ ณ. ตำแหน่ง x = 0, μm
E_{1-8}	Energy flux
h_d	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของละอองน้ำ ซึ่งพิจารณาการระเหยตัวของละอองน้ำ
h_{fg}	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ
h_p	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของละอองน้ำที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ d โดยไม่คิดการระเหยตัวของละอองน้ำ , $\frac{2k}{d}$
h_{p0}	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของละอองน้ำที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ d_0 โดยไม่คิดการระเหยตัวของละอองน้ำ , $\frac{2k}{d_0}$
$I_n(p)$	Bessel function โดยมีค่าเท่ากับ $\frac{p^n}{2^n}\sum_{m=0}^{\infty}\frac{p^{2m}}{4^m m!(m+n)!}$
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของไอน้ำ
n	ปริมาณของละอองน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร
n_0	ปริมาณของละอองน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ณ. ตำแหน่ง x=0
Nu_x	local Nusselt number
Pr	Prandtl number ของไอน้ำ โดยมีค่าประมาณ 1
R	ระยะในแนวรัศมีของท่อกลม ในรูปไร้หน่วย, $\frac{r}{r_0}$
Re	Reynolds number ของไอน้ำ
r	ระยะในแนวรัศมีของท่อกลม

r_0 รัศมีของท่อกลม

S Heat sink parameter

T อุณหภูมิของไอน้ำ

T_m Bulk mean temperature ของละอองน้ำ

T_s อุณหภูมิอิ่มตัว

T_w อุณหภูมิผนังท่อ

u ความเร็วของไอน้ำ

V ความเร็วเฉลี่ยของไอน้ำ

V_0 ความเร็วเฉลี่ยของไอน้ำ ณ. ตำแหน่ง x=0

W อัตราการไหลเชิงมวล

x พิกัดระยะทางตามแนวแกนของท่อกลม

X พิกัดระยะทางตามแนวแกนของท่อกลมในรูปไร้หน่วย

z_0 คุณภาพการไหลของไอน้ำ ณ. ตำแหน่ง x = 0

Greek symbols

ϕ_{wv} ปริมาณ heat flux เชิงปริมาตร ของการแผ่รังสีความร้อนจากผนังท่อไปยังไอน้ำ

ϕ_{wl} ปริมาณ heat flux เชิงปริมาตร ของการแผ่รังสีความร้อนจากผนังท่อไปยังละอองน้ำ

ϕ_{vl} ปริมาณ heat flux เชิงปริมาตร ของการแผ่รังสีความร้อนจากละอองน้ำไปยังละอองน้ำ

γ พารามิเตอร์ที่กำหนดขึ้นด้วย Langhaar ที่ใช้ใน Langhaar velocity profile

χ ค่าคงที่ ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1

μ ค่าความหนืดเชิงพลศาสตร์ของไอน้ำ

α Vapor void fraction

β ค่าคงที่การถ่ายเทความร้อนระหว่างไอน้ำ และละอองน้ำ

θ อุณหภูมิของไอน้ำในรูปไร้หน่วย

θ_m ค่า bulk mean temperature ของไอน้ำในรูปไร้หน่วย

ν ความหนืดเชิงจลศาสตร์