

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนสำหรับการไหลสองสถานะของอากาศ-น้ำใน
ท่อสี่เหลี่ยมแนวตั้ง

STUDY OF TWO-PHASE AIR-WATER FLOW AND HEAT TRANSFER IN
VERTICAL RECTANGULAR MICROCHANNELS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนสำหรับการไหลสองสถานะของอากาศ-น้ำใน
ท่อสี่เหลี่ยมแนวตั้ง

STUDY OF TWO-PHASE AIR-WATER FLOW AND HEAT TRANSFER IN
VERTICAL RECTANGULAR MICROCHANNELS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF TWO-PHASE AIR-WATER FLOW AND HEAT TRANSFER IN
VERTICAL RECTANGULAR MICROCHANNELS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการถ่ายเทความร้อนสำหรับการไหลสองสถานะของอากาศ-น้ำในท่อสี่เหลี่ยม
แนวตั้ง

STUDY OF TWO-PHASE AIR-WATER FLOW AND HEAT TRANSFER IN
VERTICAL RECTANGULAR MICROCHANNELS

ผู้จัดทำ

1. นาย รัฐศักดิ์ ประทานวรปัญญา รหัสประจำตัว 56011022
2. นาย วรเมธ ลีลาประภาภรณ์ รหัสประจำตัว 56011486
3. นาย ธนรัตน์ รอดผล รหัสประจำตัว 56011489



(ดร.มธุรส สุชาติวัฒน์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนสำหรับการไหลสองสถานะของอากาศ-น้ำในท่อสี่เหลี่ยมแนวตั้ง

นายรัฐศักดิ์	ประธานวาระปี	56011022
นายวรมธ	ลีลาประภาภรณ์	56011486
นายธนรัตน์	รอดผล	56011489
ดร.มธุรส สุชาตะวัฒน์	อาจารย์ที่ปรึกษา	
	ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เริ่มมีขนาดที่เล็กลง ทำให้เกิดความร้อนซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ระบบระบายความร้อนจึงมีความจำเป็นสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้น เพื่อให้อุปกรณ์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มอายุการใช้งานจึงทำให้เกิดระบบระบายความร้อนด้วยน้ำในฮีตซิงค์ซึ่งเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามการระบายความร้อนด้วยน้ำเพียงสถานะเดียวมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ จึงทำให้เกิดการศึกษาการทดลองเกี่ยวกับการไหลสองสถานะในท่อขนาดเล็กของไมโครแชนแนลฮีตซิงค์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนขนาดเล็กสำหรับหน่วยประมวลผลกลางของคอมพิวเตอร์ โดยการไหลแบบสองสถานะซึ่งกำลังเป็นที่สนใจในปัจจุบัน และเพื่อเป็นการพัฒนาระบบการถ่ายเทความร้อน ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความดันลดในท่อสี่เหลี่ยมขนาดเล็กที่วางในแนวตั้งที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกขนาด 423.5 ไมโครเมตร โดยการคำนวณ ซึ่งได้ทำการทดลองการศึกษาความดันลด และการถ่ายเทความร้อนที่ใช้อากาศและน้ำเป็นสารทำงานโดยจะเกิดในช่วงที่มีค่าเรย์โนลด์ต่ำ จากผลการทดลองพบว่า ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการไหลแบบ segmented สามารถเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้เพิ่มขึ้นสูงถึง 1.35 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการไหลแบบน้ำสถานะเดียว

คำหลัก: การไหลสองสถานะ, ท่อสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก, การถ่ายเทความร้อน, ค่าความดันลด

STUDY OF TWO-PHASE AIR-WATER FLOW AND HEAT TRANSFER IN VERTICAL RECTANGULAR

Ratthasak Pratanvorapanya	56011022
Worameth Leelaprapaporn	56011486
Tanarat Rodphon	56011489
Dr.Maturose Suchatawat	Advisor
	Year 2559

ABSTRACT

Nowadays, many electronic parts come in much smaller sizes. However, smaller sizes result in more heat generation, which is a huge downside and impairs the efficiency. Heat extraction system is an important part of the equipment. Heat extraction using water and heat sink is widely used to prolong the life of the equipment and maintain the efficiency. However, in some cases only water is not adequate. There have been studies on two-phase flow in small diameter pipes of microchannel heat sink, a two-phase flow heat exchanger for computer's central processing unit which has recently become well-known. This research's purpose is to study heat extraction system for possible improvement. Heat transfer and pressure drop in vertically-placed, small-size rectangular microchannels with a hydraulic diameter of 423.5 μm . was studied and calculated. The results of the heat transfer characteristics demonstrated that the Nusselt number of segmented flow goes up to 1.35 folds over the single-phase flow.

Keywords: two-phase flow, rectangular microchannels, heat transfer, pressure drop

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่างๆ เสมอมาจาก ดร.มธุรส สุชาตะวัฒน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้เขียนขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มอบทุนสนับสนุนในการทำโครงการและภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่งซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายรัฐศักดิ์

นายวรเมธ

นายธนรัตน์

ประธานวปัญญา

ลีลาประภาภรณ์

รอดผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
รายการสัญลักษณ์	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	3
2.1 วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 3 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	8
3.1 การถ่ายเทความร้อน	8
3.1.1 ค่าเลขนัสเซิลต์เฉลี่ยสำหรับผลการทดลอง	8
3.1.2 ค่าตัวเลขนัสเซิลต์เฉลี่ยสำหรับทฤษฎี	10
3.2 ความดันลด	10
3.2.1 ความดันลดสำหรับการไหลแบบสถานะเดียว	10
3.2.2 ความดันลดสำหรับการไหลแบบสองสถานะ	12
บทที่ 4 วงจรการทำงานและรายละเอียดของชุดทดลอง	15
บทที่ 5 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	18
5.1 ความดันลด	18
5.2 การถ่ายเทความร้อน	19
5.2.1 การถ่ายเทความร้อนของการไหลสถานะเดียว	19
5.2.2 การถ่ายเทความร้อนของการไหลแบบสองสถานะ	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	22
6.1 สรุปผลการทดลอง	22
6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	22
เอกสารอ้างอิง	23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบการไหลสองสถานะอากาศ-น้ำ ในท่อไมโครแชนแนลหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกส์ขนาด 0.267 มิลลิเมตร	4
2.2 รูปแบบการไหลแบบสองสถานะอากาศ-น้ำในท่อไมโครแชนแนลที่มีหน้าตัดวงกลมสำหรับในกรณีของการไหลขึ้นในแนวตั้ง	5
2.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของการไหลแบบ slug flow ระหว่างในกรณีของการไหลขึ้นในแนวตั้งและการไหลในแนวระดับ ในท่อไมโครแชนแนลที่มีหน้าตัดวงกลม	6
2.4 ภาพสเก็ตลักษณะรูปแบบการไหล	6
2.5 การเปรียบเทียบรูปแบบการไหลในไมโครแชนแนลที่มีลักษณะของทางเข้าที่แตกต่างกันสำหรับการไหลในแนวระดับ (ก) ทางเข้าของไมโครแชนแนลที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นโฟม (ข) ทางเข้าของไมโครแชนแนลที่มีการติดตั้งแผ่นโฟม	7
3.1 แผนภาพแสดงรายละเอียดภาพตัดขวางของไมโครแชนแนลฮีตซิงค์	8
4.1 แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์การทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนของน้ำ	15
4.2 แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์การทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนของของไหลสองสถานะ อากาศ-น้ำ	16
4.3 แผนภาพแสดงการไหลในไมโครแชนแนลฮีตซิงค์	16
4.4 แผนภาพแสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งต่างๆของแท่งทองแดง	17
5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบความเสียหายกับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ ซึ่งทำการเปรียบเทียบของการไหลแบบสถานะเดียวกับการไหลแบบสองสถานะ	18
5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเลขนัสเซิลท์กับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ ของค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากผลของชุดทดลองของการไหลแบบสถานะเดียว	19
5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเลขนัสเซิลท์กับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ ของค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากผลของชุดทดลองของการไหลแบบสองสถานะ โดยให้ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ของอากาศคงที่ที่ 38.63	20
5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเลขนัสเซิลท์กับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ ของค่าที่ได้จากการทดลองของการไหลแบบสถานะเดียวเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองของการไหลแบบสองสถานะ	20
5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเลขนัสเซิลท์กับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหลแบบสถานะเดียว การไหลแบบสองสถานะเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Sywankamnerd [3]	21

รายการสัญลักษณ์

A_{ch}	surface area of the test section, m^2
AR	aspect ratio of channel
C_p	specific heat, (J/kgK)
D_h	hydraulic diameter of channel, m
f	friction factor
G	mass flux, (kg/m^2s)
H	channel height, m
h	heat transfer coefficient, (W/m^2K)
k	thermal conductivity, (W/mK)
L	channel length, m
Nu	Nusselt number
P	pressure, Pa
Q_{bulk}	heat transfer, W
q''	heat flux, (W/m^2)
Re	Reynolds number
T	Temperature, ($^{\circ}C, K$)
U	velocity, (m/s)
W	channel width, m
x	mass quality

Greek symbols

ρ	density, (kg/m^3)
μ	dynamic viscosity, (kg/ms)
ΔP	pressure drop, (kPa/m)

Subscripts

ch	channel
f	fluid
G	gas
L	liquid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TP two-phase



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายและมีขนาดที่เล็กลงเรื่อยๆ ในขณะที่อุปกรณ์เหล่านี้ทำงานจะเกิดความร้อนขึ้นซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ระบบระบายความร้อนจึงมีความจำเป็นสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้อุปกรณ์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มอายุการใช้งาน จึงได้มีการนำฮีตซิงค์ซึ่งระบายความร้อนด้วยน้ำมาใช้ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามดูเหมือนว่าการระบายความร้อนด้วยน้ำเพียงสถานะเดียวมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำ จึงทำให้เกิดการศึกษาเกี่ยวกับการไหลสองสถานะในท่อขนาดเล็กของ ไมโครแชนแนลฮีตซิงค์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนขนาดเล็กสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยการไหลแบบสองสถานะกำลังเป็นที่สนใจในปัจจุบัน แต่งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนสองสถานะในไมโครแชนแนลยังมีไม่มากนัก

จากการศึกษาการไหลแบบสองสถานะในไมโครแชนแนล พบว่า การไหลแบบ Segmented Flow สองสถานะของน้ำ-อากาศทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 1.2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การไหลสถานะเดียวของน้ำที่อัตราการไหลเท่ากัน [3] ในโครงงานนี้จะให้ความสำคัญกับค่าความดันลด, void fraction, รูปแบบการไหลและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ที่เกิดขึ้นภายในท่อสี่เหลี่ยม กว้าง 0.45 มิลลิเมตร สูง 0.4 มิลลิเมตร. เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก 0.424 มิลลิเมตร ระยะห่างของแต่ละช่องอยู่ที่ 0.54 มิลลิเมตร จำนวน 26 ช่อง ที่วางอยู่ในแนวตั้ง โดยทำการทดลองการไหลแบบไหลชั้นในแนวตั้ง เมื่อสารทำงานคือของไหลสองสถานะ อากาศ-น้ำ ผลที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในกรณีที่ใช้สารทำงานเป็นไหลสถานะเดียวคือน้ำ เพื่อเป็นข้อมูลในการหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเร็วของอากาศและน้ำที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนและความดันลด สำหรับการไหลแบบสองสถานะในไมโครแชนแนล
2. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการถ่ายเทความร้อนระหว่างการไหลแบบสถานะเดียวกับการไหลแบบสองสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความดันลดในท่อสี่เหลี่ยมขนาดเล็กที่วางในแนวตั้งโดยการคำนวณ
2. สารทำงานที่ใช้คือของไหลสองสถานะของอากาศ-น้ำ
3. ตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณโดยเทียบกับผลการทดลอง

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ทบทวนวรรณกรรม
2. รวบรวมสมการที่ใช้ในการคำนวณ
3. ทำการคำนวณ
4. ตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณโดยเปรียบเทียบผลการคำนวณกับการทดลอง
5. ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนแบบสองสถานะในไมโครแชนแนล
2. ทำให้การออกแบบไมโครแชนแนลเพื่อใช้ในระบบระบายความร้อนมีประสิทธิภาพมากขึ้น
3. ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของคอมพิวเตอร์ได้มากขึ้นเนื่องจากมีระบบระบายความร้อนที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

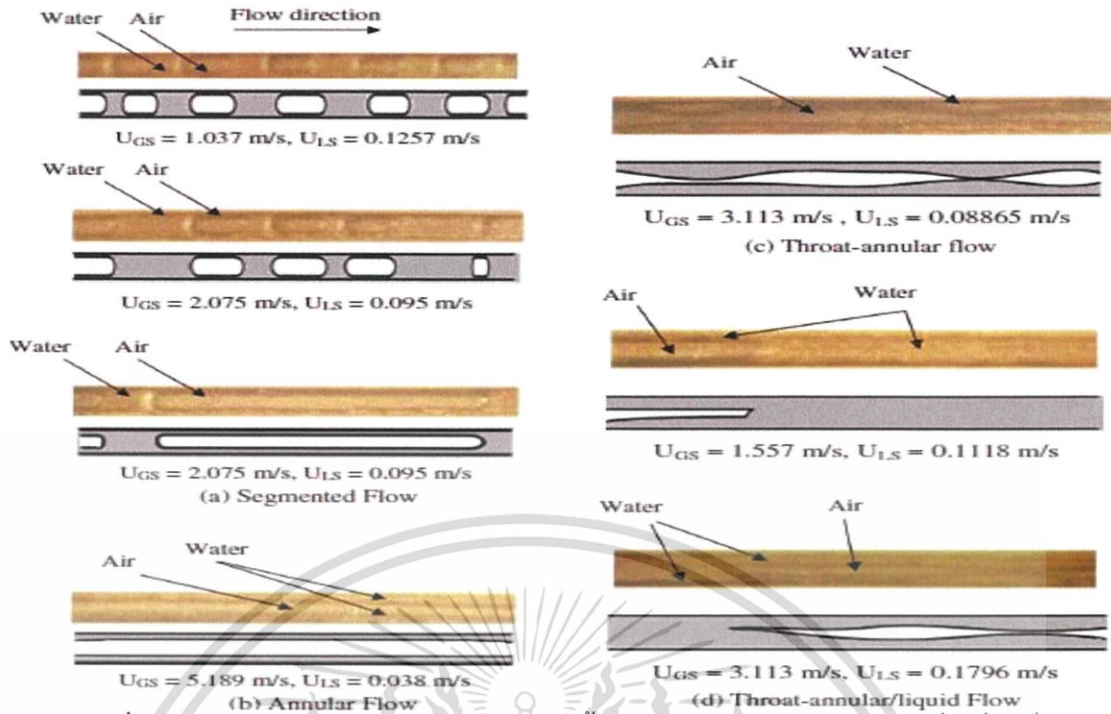
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Betz and Attinger [1] ได้ทำการทดลองเพื่อที่จะศึกษาวิธีการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของไมโครแชนแนลฮีตซิงค์ ซึ่งเป็นท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กที่วางตัวขนานกัน มีความกว้างด้านละ 0.5 มิลลิเมตร โดยในการทดลองได้มีการทำให้เกิดการไหลแบบ Segmented flow ขึ้น โดยการฉีดอากาศเข้าไปผสมกับน้ำเป็นช่วงๆผ่านอุปกรณ์ผสมรูปตัวที (T) ก่อนที่จะไหลเข้าไปสู่อไมโครแชนแนลฮีตซิงค์ ซึ่งจากการทดลองพบว่า การไหลแบบ Segmented flow สามารถที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้สูงถึง 140% เมื่อเปรียบเทียบกับการไหลแบบสถานะเดียว

Kandlikar and Balasubramanian [2] ได้ทำการทดลองการไหลแบบสองสถานะโดยใช้สารทำงานคือน้ำและอากาศภายใต้สภาวะที่เกิดการเดือดขณะที่มีการไหล เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลของทิศทาง การไหลที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ไมโครแชนแนลที่ใช้ในการทดลองเป็นท่อแบบสี่เหลี่ยม มีเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกส์ขนาด 0.333 มิลลิเมตร กว้าง 1.057 มิลลิเมตร สูง 0.197 มิลลิเมตร และยาว 63.5 มิลลิเมตร ที่วางขนานกัน 6 ช่อง โดยจากผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ในกรณีของการไหลในแนวระดับและการไหลขึ้นในแนวตั้งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยให้ค่าที่สูงกว่าในกรณีของการไหลลงในแนวตั้งประมาณ 30-40%

Suwankamnerd and Wongwises [3] ได้ทำการทดลองการไหลสองสถานะในช่องทางการไหลขนาดเล็กมาก โดยหน้าตัดของช่องทางการไหลเป็นสี่เหลี่ยมที่ทำจากทองแดง มีเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกส์ขนาด 0.267 มิลลิเมตร

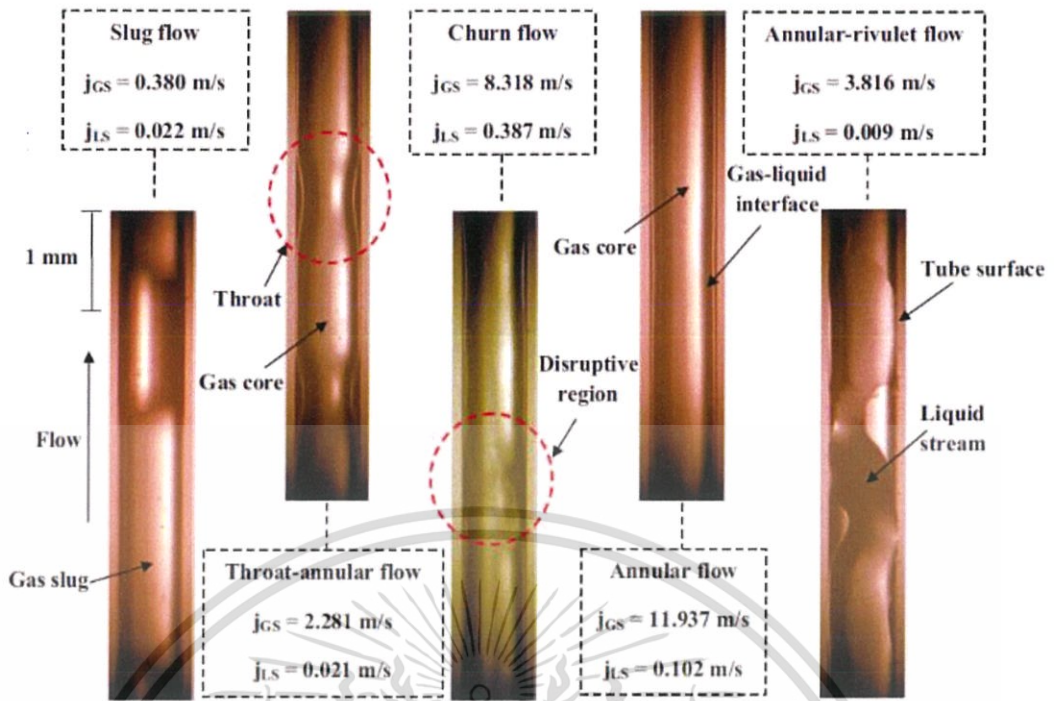


รูปที่ 2.1 รูปแบบการไหลสองสถานะอากาศ-น้ำ ในท่อไมโครแขนแนลหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกขนาด 0.267 มิลลิเมตร [3]

โดยได้ศึกษารูปแบบการไหล ความดันลด และการถ่ายเทความร้อนในช่วงเมื่อมีค่าเรย์โนลด์ต่ำที่ใช้น้ำและอากาศเป็นสารทำงานให้แก่ระบบ จากผลการทดลองพบว่า รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นคือ segmented, annular, throat-annular, throat-annular/liquid นอกจากนี้ยังได้เสนอการทำนายความดันลดโดยใช้แบบจำลองความดันลดแบบรูปการไหลแบบเนื้อเดียวและรูปแบบการไหลแบบแยกส่วน ในส่วนของลักษณะการถ่ายเทความร้อนจากการทดลองพบว่าการไหลแบบ segmented สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนให้กับช่องทางการไหลได้ถึง 1.2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรไหลสถานะเดียวของน้ำ

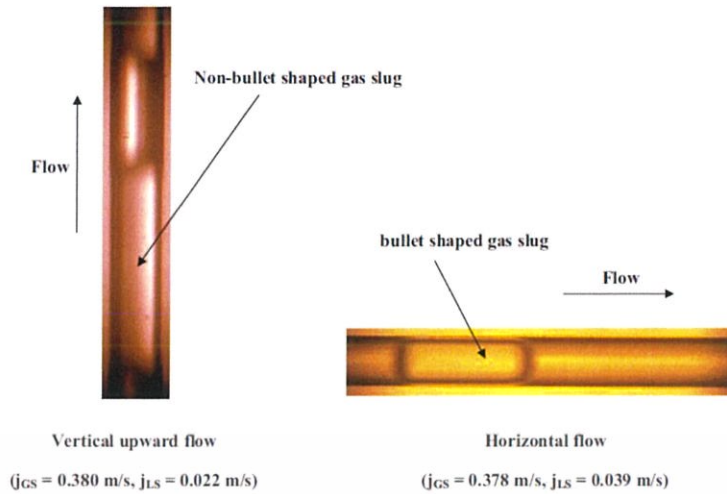
Saisorn and Wongwises [4] ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของการไหลแบบสองสถานะของอากาศ-น้ำภายในท่อไมโครแขนแนล โดยหน้าตัดของช่องทางการไหลเป็นวงกลม ที่มีการวางตัวไว้ในแนวตั้งและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.53 มิลลิเมตรและ ยาว 320 มิลลิเมตร โดยได้ทำการทดลองการไหลแบบไหลขึ้นในแนวตั้งภายใต้สภาวะที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน โดยพบว่ารูปแบบการไหลที่เกิดขึ้น ในแต่ละสภาวะเงื่อนไขของการทดลองมีความแตกต่างกัน 5 รูปแบบ ได้แก่ การไหลแบบ slug flow การไหลแบบ throat-annular flow การไหลแบบ churn flow การไหลแบบ annular flow การไหลแบบ annular-rivulet flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

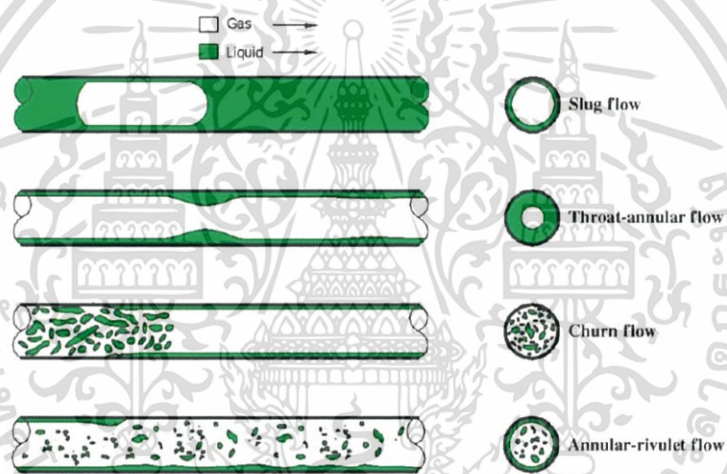


รูปที่ 2.2 รูปแบบการไหลแบบสองสถานะอากาศ-น้ำในท่อไมโครเซนแนลที่มีหน้าตัดวงกลมสำหรับในกรณีของไหลขึ้นในแนวตั้ง [4]

ในส่วนของความดันลดพบว่าความดันลดจากแรงเสียดทานจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดการไหลแบบ churn flow โดยในที่นี้ได้มีการนำรูปแบบการไหลในการทดลองนี้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลของรูปแบบการไหลที่ได้จากการทดลองของ Saisorn and Wongwises [5] ซึ่งได้ทำการทดลองในลักษณะคล้ายๆกัน แต่เป็นการไหลในแนวระดับ โดยพบว่ารูปแบบการไหลของทั้งกรณีแนวตั้งและแนวนอนมีลักษณะที่คล้ายกัน แต่ก็มีข้อที่แตกต่างกันในบางประการ ประการแรก คือ ทิศทางของการไหลมีอิทธิพลต่อเส้นรอยต่อระหว่างสถานะ (gas-liquid interface) โดยพบว่าถ้าเป็นการไหลในแนวระดับรูปร่างของฟองแก๊สจะมีลักษณะเหมือนกับกระสุน (bullet-shaped gas slug) แต่ในกรณีที่การไหลเป็นการไหลในแนวตั้งรูปร่างของฟองแก๊สจะมีลักษณะไม่เหมือนกับกระสุน (non-bullet-shaped gas slug) ส่วนความแตกต่างประการที่สองคือ จะพบการไหลแบบ annular flow เฉพาะกรณีการไหลขึ้นในแนวตั้งเท่านั้น ภายใต้สภาวะของการทดลองเดียวกัน



รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของการไหลแบบ slug flow ระหว่างในกรณีของการไหลขึ้นในแนวตั้งและการไหลในแนวระดับ ในท่อไมโครเซนแนลที่มีหน้าตัดวงกลม [4]

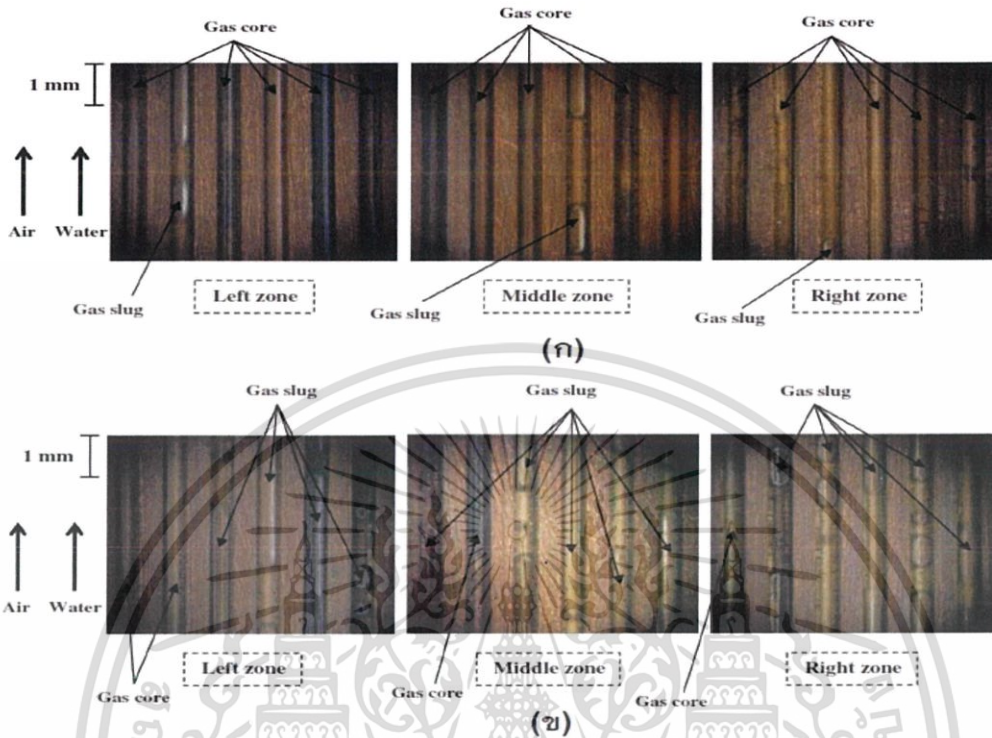


รูปที่ 2.4 ภาพสเก็ตลักษณะรูปแบบการไหล [5]

Saisorn และคณะ [6] ศึกษาเชิงทดลองการไหลแบบสองสถานะโดยไม่มีการเดือดระหว่างอากาศกับน้ำในไมโครเซนแนลที่มีหน้าตัดเป็นแบบสี่เหลี่ยมขนาดเล็กที่วางตัวขนานกันจำนวน 21 ช่อง แต่ละช่องมีความยาวตามทิศทางการไหลเท่ากับ 40 มิลลิเมตร ความกว้าง 0.45 มิลลิเมตร ความสูง 0.41 มิลลิเมตร เพื่อที่จะศึกษาลักษณะการไหล การถ่ายเทความร้อน และความดันตก โดยได้ทำการทดลองการไหลในทิศทางต่างๆ ได้แก่ การไหลในแนวระดับ การไหลขึ้นที่มุมเอียง 45 องศา การไหลลงมุมเอียง 45 องศา การไหลขึ้นในแนวตั้ง และการไหลลงในแนวตั้ง นอกจากนี้ยังมีการทดลองโดยใช้ทางเข้าของไมโครเซนแนลที่มีลักษณะแตกต่างกัน 2 รูปแบบ โดยทดลองภายใต้สภาวะเงื่อนไขของการไหลเดียวกัน ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า การไหลแบบ slug flow จะให้การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าการไหลแบบ gas core flow นอกจากนี้ยังพบว่า การไหลแบบ slug flow ในกรณีของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นในแนวตั้งจะให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไหลในทิศทางอื่น



รูปที่ 2.5 การเปรียบเทียบรูปแบบการไหลในไมโครแชนแนลที่มีลักษณะของทางเข้าที่แตกต่างกัน สำหรับการไหลในแนวระดับ (ก) ทางเข้าของไมโครแชนแนลที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นโฟม (ข) ทางเข้าของไมโครแชนแนลที่มีการติดตั้งแผ่นโฟม [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

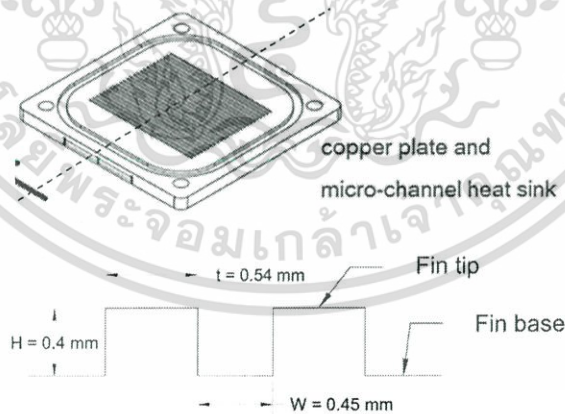
3.1 การถ่ายเทความร้อน

3.1.1 ค่าตัวเลขนัสเซิลท์เฉลี่ยสำหรับผลการทดลอง (Average Experimental Nusselt Number)

ค่าตัวเลขนัสเซิลท์เฉลี่ย (Nu) เป็นค่าที่แสดงผลของการถ่ายเทความร้อนโดยอยู่ในรูปของตัวแปรไร้มิติ สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Nu = \frac{hD_h}{k_{fluid}} \quad (3.1)$$

โดยที่ D_h คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (Hydraulic diameter) ของช่องทางการไหล ($D_h = \frac{2WH}{W+H}$) , โดยที่ W และ H เป็นความยาวด้านของท่อไมโครแชนแนล ดังแสดงไว้ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงรายละเอียดภาพตัดขวางของไมโครแชนแนลฮีตซิงค์

โดยนอกจากนี้ k_{fluid} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสารทำงาน และ h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (Average heat transfer coefficients) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h = \frac{q''_w}{T_{\text{wall}} - T_{\text{fluid}}} \quad (3.2)$$

โดยที่ T_{fluid} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของสารทำงาน $\left(\frac{T_{f,\text{in}} + T_{f,\text{out}}}{2} \right)$ และ T_{wall} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยที่พื้นผิวของไมโครเซนแนลซึ่งหาได้จากวิธีการประมาณค่านอกช่วง(Extrapolation) และ q''_w คือค่าฟลักซ์ความร้อน

$$q''_w = \frac{Q_{\text{Bulk}}}{(2H + W)L} \quad (3.3)$$

โดยที่ Q_{Bulk} คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดหาได้จาก

$$Q_{\text{Bulk}} = \dot{m} c_p (T_{\text{fluid, out}} - T_{\text{fluid, in}}) \quad (3.4)$$

โดยที่ค่า c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity)

$$c_p = \phi c_{p,\text{water}} + (1 - \phi) c_{p,\text{air}} \quad (3.5)$$

เมื่อ $c_{p,\text{water}}$ และ $c_{p,\text{air}}$ คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำและอากาศ ตามลำดับ ส่วน ϕ คือ ค่าสัดส่วนเชิงมวลของน้ำ ซึ่งได้ถูกนิยามไว้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\phi = \left(\frac{\rho_{\text{water}} Q_{\text{water}}}{\rho_{\text{water}} Q_{\text{water}} + \rho_{\text{air}} Q_{\text{air}}} \right) \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ρ_{water} และ ρ_{air} คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำและอากาศ ตามลำดับ Q_{water} และ Q_{air} คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำและอากาศ ตามลำดับ

3.1.2 ค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ยสำหรับทฤษฎี (Average Theoretical Nusselt Number)

ในส่วนนี้จะเป็นการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับค่าทางทฤษฎีเพื่อไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณตัวเลขจากการทดลองเพื่อยืนยันข้อมูลว่ามีความน่าเชื่อถืออย่างน้อยเพียงใดโดยค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ย เป็นค่าที่แสดงผลของการถ่ายเทความร้อนโดยอยู่ในรูปตัวแปรไร้มิติ สามารถหาได้จากสมการของ Dittus-Boelter ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Nu} = 0.023 \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.4} \quad (3.7)$$

โดยที่ Nu คือค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ย Re คือ ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ Pr คือเลขพรันด์เทิล ซึ่งนอกจากนี้ยังสามารถหาค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ยของการไหลแบบสองสถานะทางทฤษฎีสามารถใช้สมการที่ (3.7) หาได้เหมือนกันแตกต่างกันแค่บางตัวแปรเท่านั้น ซึ่งจะนำไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Nu} = 0.023 \text{Re}_{\text{TP}}^{0.8} \text{Pr}_{\text{TP}}^{0.4} \quad (3.8)$$

โดยที่ Nu คือค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ย Re_{TP} คือ ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหลแบบสองสถานะโดยจะแสดงวิธีการหาค่าไปในหัวข้อที่ 3.2.2 Pr_{TP} คือเลขพรันด์เทิลของการไหลแบบสองสถานะ

3.2 ความดันลด (Pressure drop)

3.2.1 ความดันลดสำหรับการไหลแบบสถานะเดียว (Single-phase pressure drop)

ในงานวิจัยนี้จะเริ่มต้นด้วยการทดลองการไหลแบบสถานะเดียวโดยใช้น้ำเป็นสารทำงาน ก่อนที่จะมีการทดลองการไหลแบบสองสถานะ เพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของอุปกรณ์ และ เครื่องมือวัดต่างๆ ที่ใช้สำหรับการทดลองโดยการคำนวณหาค่าความดันลดที่เกิดจากความเสียดทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ การไหลแบบสถานะเดียวภายในท่อนั้น สามารถคำนวณได้ จากสมการของ Darcy-Weisbach ดังแสดงตามสมการต่อไปนี้

$$\Delta P_{\text{friction}} = f \frac{L}{D_h} \frac{G^2}{2\rho}$$

(3.9)

โดยที่ f คือ ค่าตัวประกอบความเสียดทานแบบ (Friction factor), L คือ ความยาวของไมโคร แชนเนลซึ่งถูกใช้เป็นที่ทดสอบ, G คือ ฟลักซ์มวล (Mass flux) และ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

ในการหาค่าตัวประกอบความเสียดทานจำเป็นต้องหาอย่างอื่นที่จะต้องทราบค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re) เพื่อที่จะสามารถบอกได้ว่าการไหลที่เกิดขึ้นในท่อนั้นเป็นแบบใดโดยค่าตัวเลขเรย์โนลด์ได้ถูกนิยามไว้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$Re = \frac{\text{Inertial forces}}{\text{Viscous forces}} = \frac{\rho U D_h}{\mu} = \frac{G D_h}{\mu} \quad (3.10)$$

โดยที่ U คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหลภายในท่อ และ μ คือ ค่า ความหนืดแบบไดนามิกของของไหล (Dynamic viscosity)

ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเกณฑ์ที่ใช้แบ่งลักษณะของการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อตามค่าตัวเลขเรย์โนลด์นั้นจะเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

$Re < 2300$	การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)
$2300 \leq Re \leq 4000$	การไหลในช่วงเปลี่ยนผ่าน(Transitional flow)
$Re > 4000$	การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

ในกรณีของการไหลผ่านท่อที่มีหน้าตัดแบบสี่เหลี่ยมสามารถหาค่าตัวประกอบความเสียดทานได้จากสหสัมพันธ์ของ Shah and London (1978) ซึ่งได้นำเสนอสหสัมพันธ์ที่อยู่ในเทอมของ fRe ดังแสดงไว้ตามสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$fRe = 96(1 - 1.3553AR + 1.9467AR^2 - 1.7012AR^3 + 0.9564AR^4 - 0.2537AR^5) \quad (3.11)$$

เมื่อ AR คือ อัตราส่วนความยาวด้านของท่อทดสอบ (Aspect ratio) โดยเป็นอัตราส่วนระหว่างความยาวด้านสั้นต่อความยาวของหน้าตัดท่อแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งจะมีค่าไม่เกิน 1 ซึ่งจากในงานวิจัยในครั้งนี้ ค่า AR เท่ากับ 8/9 ทำให้ฟังก์ชันของงานวิจัยนี้มีค่าอยู่ในเทอม

$$f = \frac{57.1}{Re} \quad (3.12)$$

โดยที่ f คือ ค่าตัวประกอบความเสียหายของการไหล Re คือ ค่าตัวเลขเรย์โนลด์

3.2.2 ความดันลดสำหรับการไหลแบบสองสถานะ (Two-phase pressure drop)

การคำนวณค่าความดันลดสำหรับการไหลแบบสองสถานะโดยใช้แบบจำลองของการไหลแบบเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous flow model, HFM) ถือว่าเป็นแบบจำลองที่ง่ายที่สุดที่ใช้ในการคำนวณค่าความดันลดที่เกิดขึ้นสำหรับการไหลแบบสองสถานะ โดยแบบจำลองนี้จะตั้งอยู่ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าเฟสของแก๊สกับเฟสของของเหลวมีการผสมเข้าด้วยกันเป็นอย่างดีและแต่ละเฟสก็เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เท่ากัน โดยในการคำนวณจะใช้วิธีการแบบเดียวกันกับการคำนวณค่าความดันลดสำหรับการไหลแบบสถานะเดียว แต่จะคำนวณโดยใช้คุณสมบัติที่เกิดจากการผสมกันระหว่างของไหลทั้งสองสถานะ

ความดันลดที่เกิดขึ้นทั้งหมดสำหรับการไหลแบบสองสถานะจะประกอบไปด้วย (Carey,1992)

$$\Delta P_{TP} = \Delta P_{friction} + \Delta P_{acceleration} + \Delta P_{contraction} + \Delta P_{gravitatio n} \quad (3.13)$$

โดยที่ $\Delta P_{friction}$ คือ ความดันลดที่เกิดจากความเสียหาย $\Delta P_{acceleration}$ คือ ความดันลดที่เกิดจากความเร่ง $\Delta P_{contraction}$ คือ ความดันลดที่เกิดจากการลดขนาดหน้าตัด $\Delta P_{gravitatio n}$ คือ ความดันลดที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้ความดันลดที่เกิดขึ้นทั้งหมดตามที่ได้แสดงไว้ในสมการที่ (3.13) จะมีค่าเท่ากับความดันลดที่เกิดจากความเสียดทานของการไหลแบบสองสถานะ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยอาศัยแบบจำลองการไหลแบบเป็นเนื้อเดียวกัน (HFM) ดังแสดงได้ตามสมการต่อไปนี้

$$\Delta P_{TP} = \Delta P_{\text{friction}} = f_{TP} \frac{L}{D_h} \frac{G^2}{2\rho_{TP}} \quad (3.14)$$

โดยที่ f_{TP} คือ ค่าตัวประกอบความเสียดทานของการไหลแบบสองสถานะ (Two-phase friction factor),

G คือ ฟลักซ์มวลทั้งหมด ($G = G_L + G_G$) และ ρ_{TP} คือ ความหนาแน่นของของไหลแบบสองสถานะ (Two-phase density) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\rho_{TP} = \left[\frac{x}{\rho_G} + \frac{1-x}{\rho_L} \right] \quad (3.15)$$

เมื่อ ρ_L และ ρ_G คือ ความหนาแน่นของของเหลวและแก๊ส ตามลำดับ และ x คือ ค่าคุณภาพเชิงมวล (Mass quality) ซึ่งหาได้จาก

$$x = \frac{\dot{m}_G}{\dot{m}_G + \dot{m}_L} \quad (3.16)$$

โดยที่ \dot{m}_L และ \dot{m}_G คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของเหลวและแก๊สตามลำดับ

สำหรับค่าตัวประกอบความเสียดทานของการไหลแบบสองสถานะ (f_{TP}) ในสมการที่ (3.14) ขึ้นอยู่กับลักษณะของการไหลและรูปร่างของหน้าตัดท่อซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$f_{TP} = \frac{57.1}{\text{Re}_{TP}} \quad (3.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าตัวประกอบความเสียดทานของการไหลแบบสองสถานะจะถูกกำหนดให้เป็นฟังก์ชันของค่าตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหลแบบสองสถานะ (Two-phase Reynolds number, Re_{TP}) ซึ่งถูกนิยามไว้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$Re_{TP} = \frac{GD_h}{\mu_{TP}} \quad (3.18)$$

เมื่อ μ_{TP} คือ ค่าความหนืดของของไหลแบบสองสถานะ (Two-phase viscosity) ซึ่งได้มีการนำเสนอแบบจำลองที่ใช้ในการทำนายค่าความหนืดของของไหลแบบสองสถานะที่แตกต่างกันโดยนักวิจัยหลายท่าน โดยแบบจำลองที่มีการใช้กันโดยทั่วไปสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

แบบจำลองความหนืดของ Awad and Myuztchka (2008) :

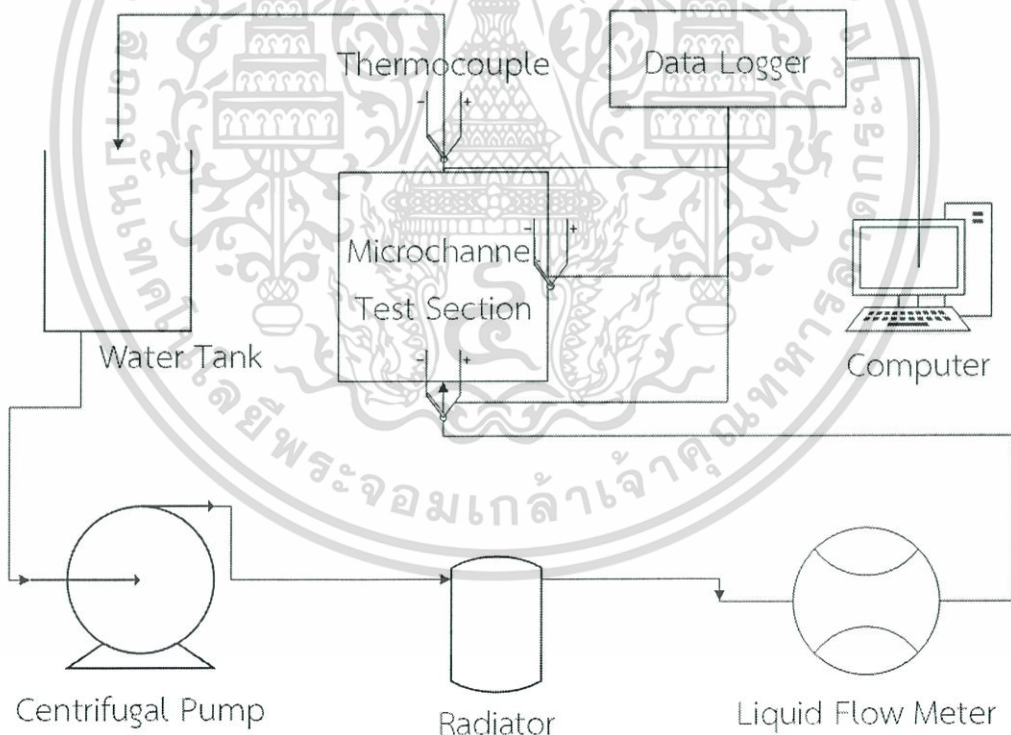
$$\mu_{TP} = \mu_G \frac{2\mu_G + \mu_L - 2(\mu_G - \mu_L)(1-x)}{2\mu_G + \mu_L + (\mu_G - \mu_L)(1-x)} \quad (3.19)$$

เมื่อ μ_{TP} คือ ความหนืดพลวัตของการไหลแบบสองสถานะ μ_G คือ ความหนืดพลวัตของอากาศ μ_L คือ ความหนืดพลวัตของน้ำ และ x คือ ค่าคุณภาพเชิงมวล

บทที่ 4

วงจรการทำงานและรายละเอียดของชุดทดลอง

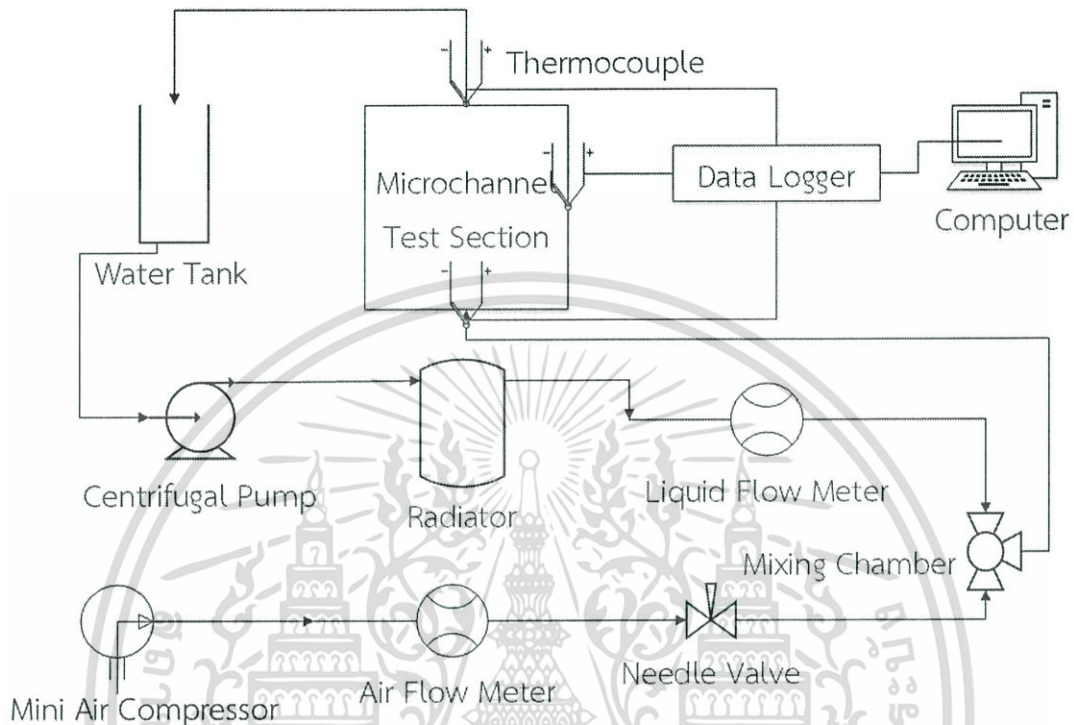
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์การทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ โดยกระบวนการทำงานของระบบจะเริ่มต้นจากปั๊มแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump) ซึ่งสามารถปรับอัตราการไหลได้ จะดูดน้ำจากถังเก็บน้ำ ส่งไปยังอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของของเหลว (Liquid flow meter) แล้วส่งเข้าไปยังไมโครแชนแนลฮีตซิงค์ (Microchannel heat sink) ซึ่งจะถูกติดตั้งไว้บนหน่วยประมวลผลกลาง (Central processing unit) ของคอมพิวเตอร์ จากนั้นน้ำจะไหลเข้าหม้อน้ำ (Radiator) ที่มีพัดลมระบายความร้อนติดตั้งอยู่ แล้วจะไหลเข้าสู่ถังเก็บน้ำ จะมีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ไว้ตามตำแหน่งต่างๆ เพื่อที่จะวัดค่าอุณหภูมิของน้ำ โดยจะมีเครื่องวัดและบันทึกข้อมูล (Data logger) ใช้วัดค่าสัญญาณและบันทึกค่าที่วัดได้ ลงในคอมพิวเตอร์ซึ่งจะมีซอฟต์แวร์สำหรับจัดเก็บและแสดงผลข้อมูลที่บันทึกไว้



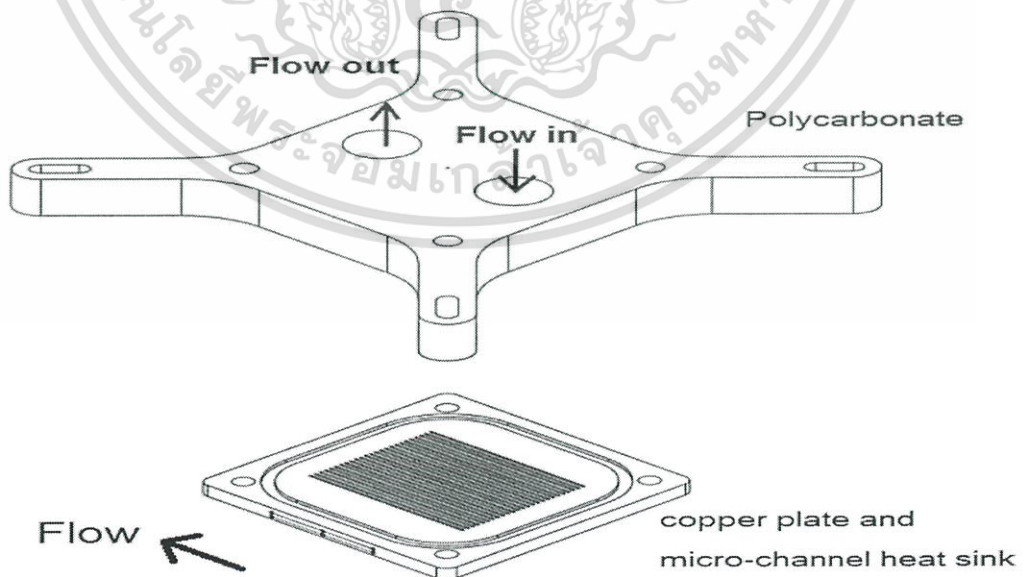
รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์การทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนของน้ำ

ในการศึกษารูปแบบการไหลของของไหลสองสถานะ อากาศ-น้ำ นั้นจะทดลองเหมือนกับการทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนของน้ำ แต่จะมีการเพิ่มอุปกรณ์การทดลองในส่วนของการส่งอากาศ โดยกระบวนการทำงานจะเริ่มต้นจากเครื่องอัดอากาศขนาดเล็ก (mini air compressor) ส่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาติเห็นว่าไปไซประเยชชดานการค้ำ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศผ่านอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ (air flow meter) ก่อนจะเข้าสู่อุปกรณ์ผสม (Mixing chamber) รูปตัวที (T-shaped mixer) เพื่อทำให้มีการผสมกันของน้ำและอากาศ ก่อนเข้าสู่ไมโครเซนแนลฮีตซิงค์ (Microchannel heat sink) ตามเดิม ดังรูปที่ 4.2

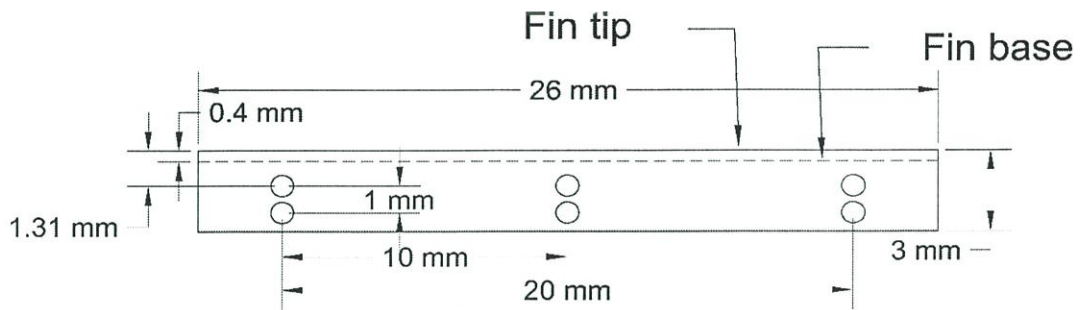


รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงวงจรการทำงานของชุดอุปกรณ์การทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนของไหลสองสถานะ อากาศ-น้ำ



รูปที่ 4.3 แผนภาพแสดงการไหลในไมโครเซนแนลฮีตซิงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งต่างๆของแท่งทองแดง

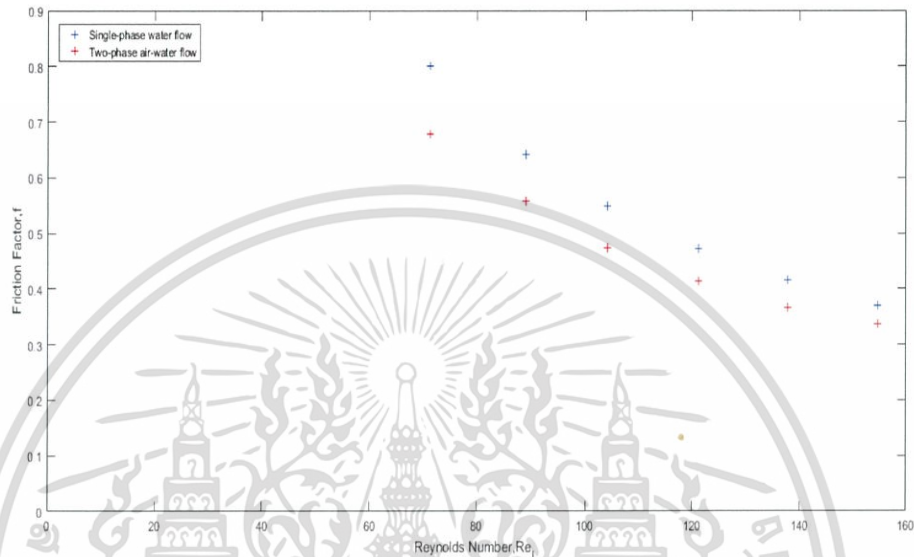


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

5.1 ความดันลด

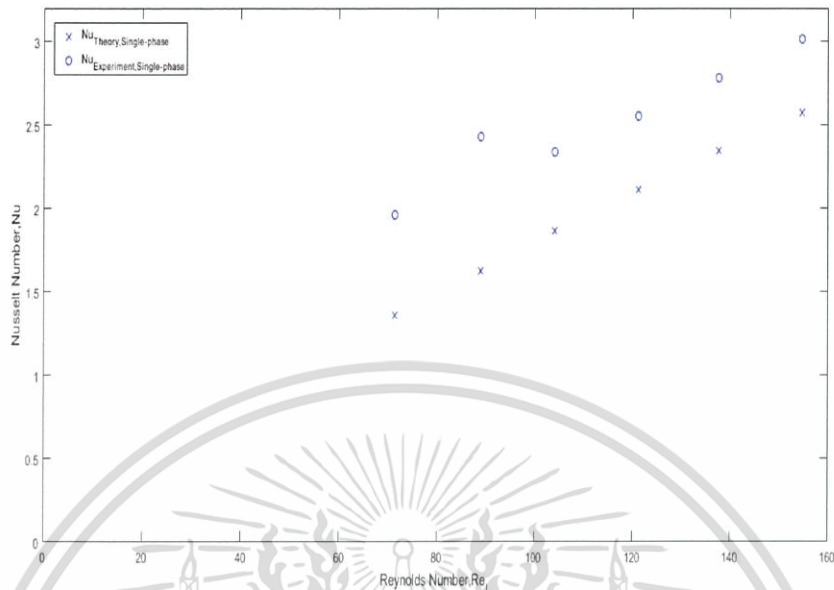


รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบความเสียดทานกับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ ซึ่งทำการเปรียบเทียบของการไหลแบบสถานะเดียวกับการไหลแบบสองสถานะ

จากรูปที่ 5.1 สังเกตได้ว่าค่าตัวประกอบความเสียดทานของการไหลแบบสองสถานะของอากาศและน้ำมีค่าน้อยกว่าการไหลแบบน้ำสถานะเดียว โดยพบว่าค่าตัวประกอบความเสียดทานของการไหลแบบสองสถานะของอากาศและน้ำมีค่าน้อยกว่าถึง 1.14 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าตัวประกอบความเสียดทานของการไหลแบบน้ำสถานะเดียว และแนวโน้มของค่าตัวประกอบความเสียดทานของทั้งสองรูปแบบการไหลมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าตัวเลขเรย์โนลด์ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น

5.2 การถ่ายเทความร้อน

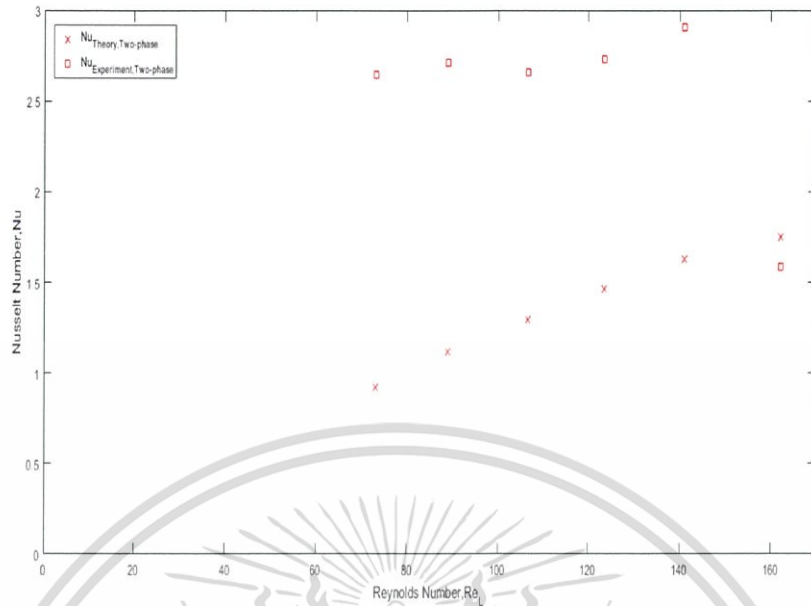
5.2.1 การถ่ายเทความร้อนของการไหลสถานะเดียว



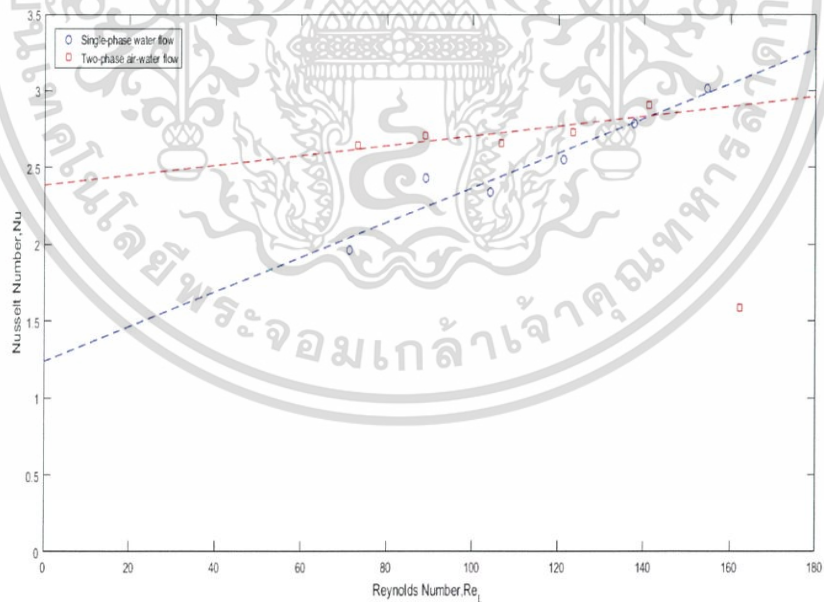
รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเลขนัสเซลท์กับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ ของค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากผลของชุดทดลองของการไหลแบบสถานะเดียว

จากรูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเลขนัสเซลท์กับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ ของค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากผลของชุดทดลอง เพื่อตรวจสอบที่มาของผลการทดลองของการไหลสถานะเดียวว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดก่อนที่จะนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองของการไหลแบบสองสถานะ ผลปรากฏว่ามีร้อยละของความคลาดเคลื่อนของค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ยอยู่ที่ 21.09 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของค่าตัวเลขนัสเซลท์มากที่สุดอยู่ที่ค่าเรย์โนลด์ 89.06 โดยมีค่าร้อยละอยู่ที่ 33.04 และน้อยที่สุดอยู่ที่ค่าเรย์โนลด์ 154.60 มีค่าร้อยละอยู่ที่ 14.55

5.2.2 การถ่ายเทความร้อนของการไหลแบบสองสถานะ

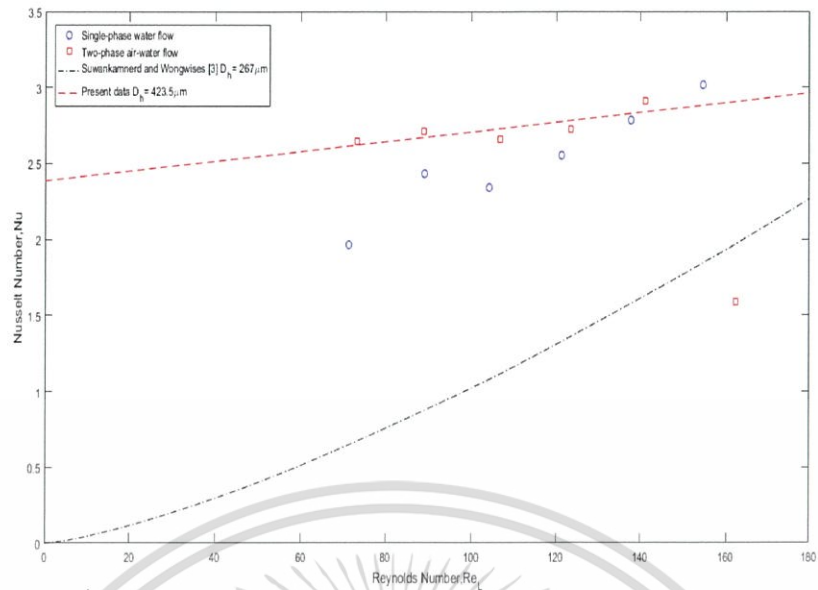


รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเลขนัสเซลท์กับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ ของค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากผลของชุดทดลองของการไหลแบบสองสถานะ โดยให้ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ของอากาศคงที่ที่ 38.63



รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเลขนัสเซลท์กับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ ของค่าที่ได้จากการทดลองของการไหลแบบสถานะเดียวเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองของการไหลแบบสองสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวเลขสเซลท์กับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหลแบบสถานะเดียว การไหลแบบสองสถานะเปรียบเทียบกับ การทดลองของ Suwankamnerd [3]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้มีการศึกษาการถ่ายเทความร้อน และความดันลด สำหรับการไหลของน้ำสถานะเดียวเปรียบเทียบกับ การไหลแบบสองสถานะโดยไม่มีการเดือด (Non-boiling two-phase flow) ระหว่างอากาศกับน้ำในไมโครแชนแนล โดยจะมีการทดลองการไหลขึ้นในแนวดิ่ง ซึ่งการทดลองจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่มีฟลักซ์ความร้อนที่พื้นผิวคงที่ตามแนวแกน (Axially uniform wall heat flux) โดยมีค่าตัวเลขเรย์โนลด์สำหรับเฟสของของเหลว (Liquid superficial Reynolds number) อยู่ในช่วง 71.3-154.6 และค่าตัวเลขเรย์โนลด์สำหรับเฟสของแก๊ส (Gas superficial Reynolds number) อยู่ในช่วง 28-45 สำหรับไมโครแชนแนลที่ใช้ในการทดลองจะมีหน้าตัดเป็นแบบสี่เหลี่ยมและมีช่องทางการไหลที่วางตัวขนานกันจำนวน 26 ช่อง แต่ละช่องมีความยาวตามทิศทางการไหลเท่ากับ 26 มิลลิเมตร มีขนาดความกว้างและความสูงเท่ากับ 0.45 และ 0.4 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับผลที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การไหลแบบ segmented จะมีการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนสูงสุดในกรณีการไหลขึ้นในแนวดิ่ง โดยพบว่าการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนสูงถึงร้อยละ 135 เมื่อเปรียบเทียบกับ การไหลแบบน้ำสถานะเดียว
2. จากการทดลองพบว่าการไหลแบบ segmented มีการลดลงของค่าตัวประกอบความเสียหายของการไหล โดยพบว่าการลดลงเฉลี่ยของค่าตัวประกอบความเสียหายของการไหลถึงร้อยละ 114 เมื่อเทียบกับการไหลแบบน้ำสถานะเดียว
3. โดยแนวโน้มของค่าตัวประกอบความเสียหายของการไหลทั้งแบบการไหลที่เป็นน้ำสถานะเดียว กับ การไหลสองสถานะของอากาศและน้ำ มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าตัวเลขเรย์โนลด์มีของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น

6.2 คำแนะนำสำหรับงานในอนาคต

1. ศึกษาการระบายความร้อนของชุดระบายความร้อนของคอมพิวเตอร์ในช่วงที่เกิดรูปแบบการไหลแบบ segmented flow โดยเริ่มตั้งแต่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ของน้ำที่ 0 จนถึงค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ของน้ำที่ 100 เพื่อเปรียบเทียบกับ การวิจัยในครั้งนี้อย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สำหรับการทดลองในอนาคตสามารถเปลี่ยนสารทำงานที่ใช้ระบายความร้อน นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนรูปทรงของท่อ รวมถึงขนาดและวัสดุของชิ้นทดลอง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนสำหรับหน่วยประมวลผลกลางของคอมพิวเตอร์ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Betz A.R., Attinger D., 2010 Can segmented flow enhance heat transfer in microchannel heat sinks?, International Journal of Heat and Mass Transfer 53 3683–3691
- [2] Kandlikar G., Balasubramanian P., 2005. An Experimental Study on the Effect of Gravitational Orientation on Flow Boiling of Water in 1054 Å197 μm Parallel Minichannels, J. Heat Transfer 127 820–829.
- [3] Suwankamnerd P., Wongwises S., 2015. An experimental study of two-phase air–water flow and heat transfer characteristics of segmented flow in a microchannel, Experimental Thermal and Fluid Science 62 29-39.
- [4] Saisorn S., Wongwises S., 2015. Adiabatic two-phase gas–liquid flow behaviors during upward flow in a vertical circular micro-channel, Experimental Thermal and Fluid Science 69 158-168
- [5] Saisorn S., Wongwises S., 2008. Flow pattern, void fraction and pressure drop of two-phase air–water flow in a horizontal circular micro-channel, Experimental Thermal and Fluid Science 32 748–760
- [6] Saisorn S., Kuaseng P., Wongwises S., 2014. Heat transfer characteristics of gas–liquid flow in horizontal rectangular micro-channels, Experimental Thermal and Fluid Science 55 54-61