

การศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลแบบมีการเดือดในท่อกลม

A NUMERICAL STUDY OF FLOW BOILING IN CIRCULAR TUBE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2563
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

A NUMERICAL STUDY OF FLOW BOILING IN CIRCULAR TUBE



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึ๒020 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาโทปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลแบบมีการเดือดในท่อกลม

A NUMERICAL STUDY OF FLOW BOILING IN CIRCULAR TUBE

ผู้จัดทำ

1. นางสาวจินตนา นาคม่วง รหัสประจำตัว 60010133
2. นางสาวสุพิชชา วิทิตสุนทร รหัสประจำตัว 60011101
3. นายอัศวพล ถนัดคำ รหัสประจำตัว 60011175



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.มธุรส สุชาตะวัฒน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลแบบมีการเดือดในท่อกลม

นางสาวจินตนา นาคม่วง	60010133
นางสาวสุพิชชา วิทิตสุนทร	60011101
นายอัครพล ถนัดคำ	60011175
ผศ.ดร.มธุรส สุชาติวัฒน์	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลสองสถานะแบบมีการเดือดโดยใช้น้ำเป็นของไหลในท่อกลมแนวตั้งและท่อกลมแนวนอน แบบจำลองเป็นท่อตรงทำจากเหล็ก และเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.8 mm ความยาวท่อ 1 m ให้ฟลักซ์ความร้อนคงที่ที่ผนังท่อ 800 kW/m^2 โดยจะทำการศึกษาผลของทิศทางการไหลที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกันสามทิศทาง ได้แก่ การไหลขึ้นในแนวตั้ง การไหลลงในแนวตั้ง และการไหลในแนวระดับ เปรียบเทียบรูปแบบการไหลของแต่ละทิศทางการไหล สำหรับผลที่ได้จากการศึกษาโดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พบว่าแบบจำลอง 3 ทิศทางการไหล คือ การไหลขึ้นในแนวตั้ง การไหลลงในแนวตั้ง และการไหลในแนวระดับ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าทิศทางการไหลส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนน้อยมากหรือแทบไม่มีผลเลย และสำหรับการไหลสองสถานะแบบมีการเดือด พบว่าในช่วงแรกค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าลดลง เนื่องจากเป็นการไหลแบบสถานะเดียว ต่อมาเมื่อของไหลมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว แต่ที่ผนังท่อมีความร้อนเพียงพอที่จะทำให้เกิดฟอง จะเกิดการเดือดแบบ Subcooled boiling ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเมื่อของไหลมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวจะเข้าสู่การเดือดแบบ Saturated boiling ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าคงที่และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ แสดงให้เห็นว่าการไหลแบบมีการเดือดที่มากกว่าหรือฟองมากกว่าจะถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า เนื่องจากฟองทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

A NUMERICAL STUDY OF FLOW BOILING IN CIRCULAR TUBE

Jintana Nakmuang 60010133

Supitcha Vititsoontorn 60011101

Akarapol Thanatkha 60011175

Asst.Prof.Dr.Maturose Suchatawat Advisor

Year 2019

ABSTRACT

This project is a numerical study of subcooled flow boiling of water in vertical and horizontal circular tubes. The circular tube simulated is made of steel with a diameter of 15.8 mm. A constant heat flux of 800 kW/m² is applied at the tube wall. The effect of tube orientations (horizontal, vertical upward and vertical downward) on heat transfer and flow patterns are studied. It is found that the results obtained from all three orientations (vertical upward, vertical downward and horizontal) show no obvious different in the values of the heat transfer coefficient. That is, the flow direction has no significant impact on heat transfer coefficient. For two-phase flow simulation, the results show that initially the heat transfer coefficient decreases as the fluid flow along the tube which indicates the single phase flow characteristic. As the flow proceeds, despite the fluid temperature remains below the saturation temperature, the tube surface temperature is high enough to cause the formation of the bubble. Then, the subcooled flow boiling occurs. Heat transfer coefficient then increases. When the fluid temperature is higher than the saturated temperature, it enters a saturated boiling where the heat transfer coefficient is quite constant at the beginning and followed by a slow increase. This indicates that the flow with higher

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถ
 นำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

boiling rate, or in other words, the flow with more bubbles can enhance the heat transfer because the bubble motion produces more turbulence.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้เนื่องจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มธุรส สุชาติวัฒน์ ที่ช่วยให้คำแนะนำแก้ไขปัญหาและให้ความรู้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิศวกรรมเครื่องกล และ รศ.ดร.วิฑาดา เจษฎารัตนชัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการใช้โปรแกรม ANSYS

ขอขอบคุณเพื่อนๆและพี่ๆในภาควิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้คำปรึกษาและแนะนำข้อมูลต่าง ๆ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้คอมพิวเตอร์ในการศึกษาเชิงตัวเลขและค้นคว้าหาความรู้สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณบิดามารดา ที่คอยสนับสนุนทำให้ข้าพเจ้าทำเล่มวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ประโยชน์ต่าง ๆที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณ บุคคลทุกคนที่กล่าวมาข้างต้น

นางสาว จินตนา นาคม่วง

นางสาว สุพิชชา วิทิตสุนทร

นาย อัครพล ถนัดคำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำในลักษณะเดือดภายในท่อกลม.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 การจำแนกรูปแบบการไหลของของไหลสองสถานะ.....	10
2.1.1 รูปแบบการไหลในท่อกลมแนวตั้ง.....	10
2.1.2 รูปแบบการไหลในท่อกลมแนวนอน.....	11
2.2 การถ่ายเทความร้อน.....	12
2.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน.....	12
2.2.2 ค่าคุณภาพไอ.....	13
2.2.3 Nusselt number.....	14
2.3 ฟลักซ์มวล.....	14
2.4 ความเร็วเฉลี่ย.....	14
2.5 วิธีการคำนวณเชิงตัวเลข.....	15
2.5.1 สมการเชิงอนุพันธ์ของการอนุรักษ์.....	15
2.5.2 แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.3 แบบจำลองการเดือดของผนัง.....	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	22
3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองของไหลแบบเปลี่ยนสถานะ.....	22
3.1.1 แบบจำลองที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง.....	22
3.1.2 การแบ่งกริดที่ใช้จำลอง.....	23
3.1.3 การกำหนดเงื่อนไขในแบบจำลอง.....	25
3.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	25
3.3 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา.....	30
3.3.1 การแบ่งกริดที่ใช้จำลอง.....	31
3.3.2 การกำหนดเงื่อนไขในแบบจำลอง.....	33
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขและการอภิปราย.....	49
4.1 รูปแบบการไหลสองสถานะแบบเดือดในท่อกลม.....	49
4.1.1 ทิศทางการไหลขึ้นในแนวตั้ง.....	49
4.1.2 ทิศทางการไหลลงในแนวตั้ง.....	54
4.1.3 ทิศทางการไหลในแนวระดับ.....	59
4.2 การพาความร้อนและ Vapor volume fraction ของของไหลสองสถานะแบบเดือดในท่อกลม.....	69
4.3 Nusselt number ของการไหลสองสถานะแบบเดือดในท่อกลม.....	74
4.4 Friction factor ของการไหลสองสถานะแบบเดือดในท่อกลม.....	75
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	76
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	76
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงแบบจำลองที่ทำการศึกษา.....	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงถึงรูปร่างท่อในอัตราส่วนARที่แตกต่างกัน.....	3
1.2 แสดงภาพกระบวนการการเกิดฟองในสภาวะการเดือดของน้ำภายในท่อ.....	4
1.3 แสดงถึงลักษณะฟองทั้ง 4 แบบ.....	5
1.4 แสดงการไหลความเร็วสูงที่ทำให้เห็นการเปลี่ยนรูปแบบการไหล.....	6
1.5 แสดงอิทธิพลของทิศทางการไหลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในท่อขนาด 0.5 m.....	7
2.1 แสดงการจำลองการไหลแบบเดือดในท่อแนวตั้ง.....	9
2.2 แสดงรูปแบบการไหลในท่อกลมแนวตั้ง.....	11
2.3 แสดงรูปแบบการไหลในท่อกลมแนวนอน.....	12
3.1 แสดงลักษณะท่อ.....	22
3.2 แสดงการตั้งค่ากริด.....	23
3.3 แสดงรูปร่างกริด.....	24
3.4 แสดงทางเข้า.....	24
3.5 แสดงทางออก.....	24
3.6 แสดงheated wall.....	25
3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(h) กับค่าคุณภาพไอ(x) ที่ $G = 900 \text{ kg/m}^2\text{s}$	27
3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vapor volume fraction กับความยาวท่อที่ $G = 900 \text{ kg/m}^2\text{s}$	27
3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(h) กับค่าคุณภาพไอ(x) ที่ $G = 990 \text{ kg/m}^2\text{s}$	28
3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vapor volume fraction กับความยาวท่อที่ $G = 990 \text{ kg/m}^2\text{s}$	28
3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(h) กับค่าคุณภาพไอ(x) ที่ $G = 1080 \text{ kg/m}^2\text{s}$	29
3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vapor volume fraction กับความยาวท่อ ที่ $G = 1080 \text{ kg/m}^2\text{s}$	29
3.13 แสดงลักษณะท่อ.....	30
3.14 แสดงการตั้งค่ากริด.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 แสดงรูปร่างกริด.....	31
3.16 แสดงทางเข้า.....	32
3.17 แสดงทางออก.....	32
3.18 แสดง heated wall.....	32
3.19 แสดงการตั้งค่าทั่วไป.....	33
3.20 แสดงการตั้งค่าแบบจำลองสองสถานะ.....	34
3.21 แสดงการตั้งค่าพลังงาน.....	35
3.22 แสดงการตั้งค่าแบบจำลองความปั่นป่วน.....	35
3.23 แสดงการตั้งค่าสถานะของของไหลสองสถานะ.....	36
3.24 แสดงการตั้งค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน, สัมประสิทธิ์แรงยก และสัมประสิทธิ์แรงดึงผิวระหว่างน้ำสถานะของเหลวกับน้ำสถานะไอ.....	37
3.25 แสดงการตั้งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำสถานะของเหลวกับน้ำสถานะไอ.....	38
3.26 แสดงการตั้งค่าการถ่ายโอนมวลระหว่างน้ำสถานะของเหลวกับน้ำสถานะไอ.....	39
3.27 แสดงการตั้งค่า Cell Zone Conditions ของ fluid สถานะไอ.....	40
3.28 แสดงการตั้งค่าโมเมนต์ที่ทางเข้าของน้ำสถานะของผสม.....	41
3.29 แสดงการตั้งค่าโมเมนต์และอุณหภูมิที่ทางเข้าของน้ำสถานะของเหลว.....	41
3.30 แสดงการตั้งค่าโมเมนต์, อุณหภูมิ และ Multiphase ที่ทางเข้าของน้ำสถานะไอ.....	42
3.31 แสดงการตั้งค่าโมเมนต์ที่ทางออกของน้ำสถานะของผสม.....	43
3.32 แสดงการตั้งค่าอุณหภูมิที่ทางออกของน้ำสถานะของเหลว.....	43
3.33 แสดงการตั้งค่าอุณหภูมิที่ทางออกของน้ำสถานะไอ.....	43
3.34 แสดงการตั้งค่าฟลักซ์ความร้อน.....	44
3.35 แสดงการหาผลเฉลยความดันและความเร็ว.....	45
3.36 แสดงการตั้งค่า Solution Controls.....	46
3.37 แสดงการตั้งค่า Residual.....	47
3.38 แสดงการสมมุติค่าตอบเริ่มต้น.....	47
3.39 แสดงการตั้งค่าในหัวข้อ Run Calculation.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับอาจารย์ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m.....	50
4.2 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m.....	50
4.3 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m.....	51
4.4 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 – 0.8 m.....	51
4.5 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 – 0.8 m.....	52
4.6 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m.....	52
4.7 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก.....	53
4.8 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก.....	53
4.9 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก.....	54
4.10 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m.....	55
4.11 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m.....	55
4.12 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m.....	56
4.13 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 – 0.8 m.....	56
4.14 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 – 0.8 m.....	57
4.15 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 – 0.8 m.....	57
4.16 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก.....	58
4.17 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก.....	58
4.18 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก.....	59
4.19 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m.....	60
4.20 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m.....	60
4.21 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m.....	61
4.22 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 – 0.8 m.....	61
4.23 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 – 0.8 m.....	62
4.24 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 – 0.8 m.....	62
4.25 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก.....	63
4.26 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก.....	63
4.27 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม กรุณาแจ้งให้ด้วยเสมอ และส่งแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.28 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m	64
4.29 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m	65
4.30 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m	65
4.31 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ $0.6 - 0.8 \text{ m}$	66
4.32 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ $0.6 - 0.8 \text{ m}$	66
4.33 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ $0.6 - 0.8 \text{ m}$	67
4.34 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก.....	67
4.35 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก.....	68
4.36 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก.....	68
4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ Vapor volume fraction กับความยาวท่อ เมื่อ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$	70
4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ Vapor volume fraction กับความยาวท่อ เมื่อ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$	70
4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ Vapor volume fraction กับความยาวท่อ เมื่อ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$	71
4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ Vapor volume fraction กับความยาวท่อ ที่ทิศทางการไหล upward.....	72
4.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ Vapor volume fraction กับความยาวท่อ ที่ทิศทางการไหล downward.....	72
4.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ Vapor volume fraction กับความยาวท่อ ที่ทิศทางการไหล horizontal.....	73
4.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Reynolds number กับ Nusselt number.....	74
4.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Reynolds number กับ friction factor.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

A_{ch}	พื้นที่หน้าตัดของช่องทางการไหล (m^2)
A_s	พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน (m^2)
$C_{p,l}$	ความจุความร้อนจำเพาะของของเหลว ($J/kg \cdot K$)
D	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
\vec{F}_q	แรงภายนอก (N)
$\vec{F}_{lift,q}$	แรงยก (N)
$\vec{F}_{td,q}$	turbulent dispersion force (N)
$\vec{F}_{vm,q}$	virtual mass force (N)
$\vec{F}_{wt,q}$	wall lubrication force (N)
G	ฟลักซ์มวล (kg/m^2s)
G_b	Turbulent kinetic energy เนื่องจากการลอยตัว
G_k	Turbulent kinetic energy เนื่องจาก mean velocity gradients
\bar{g}	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)
\bar{h}	เอนทาลปีของสาร (kJ/kg)
\bar{h}_l	เอนทาลปีในสถานะของเหลว (kJ/kg)
\bar{h}_v	เอนทาลปีขณะเปลี่ยนสถานะ (kJ/kg)
h	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉพาะจุด (kW/m^2K)
h_c	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการไหลสถานะเดียว
k_l	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของเหลว
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
\dot{m}_{lv}	การถ่ายโอนมวลสารจากของไหลไปไอ
\dot{m}_{vl}	การถ่ายโอนมวลสารจากไอไปของไหล
N_w	active nucleate site density
P	ความดัน (Pa)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

\dot{q}_w	ฟลักซ์ความร้อนที่ผิวนิ่งถ่ายเทให้ของเหลว (W/m ²)
\dot{q}_c	ฟลักซ์ความร้อนการพา (W/m ²)
\dot{q}_Q	quenching heat flux (W/m ²)
\dot{q}_E	ฟลักซ์ความร้อนของการระเหย (W/m ²)
\bar{R}_{v1}	แรงปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองสถานะ (N)
S_q	source term (W/m ³)
T_w	อุณหภูมิของผนังท่อเฉลี่ย (°C)
T_b	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล (°C)
T_{SAT}	อุณหภูมิของเหลวอิ่มตัว (K)
$T_{l,i}$	อุณหภูมิของของเหลวที่ทางเข้า (K)
$\bar{\tau}_q$	เทนเซอร์ความเค้นของสถานะไอ
T_l	อุณหภูมิของของเหลว (K)
t	เวลาที่ใช้ (s)
\bar{v}_{v1}	ความเร็วระหว่างสถานะ (m/s)
V_d	ปริมาตรของฟองที่ขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศ
\bar{v}_l	ความเร็วของของไหล
x	คุณภาพไอ
Y_{M1}	การผันผวนของการกระจายตัวของอัตราความแปรปรวนของการกระจายตัวโดยรวม
α_l	สัดส่วนปริมาตรของของเหลว
λ_l	แรงเฉือนของของของเหลว
μ_l	ความหนืดของของเหลว (kg/m·s)
μ_v	ความหนืดของแก๊ส (kg/m·s)
ρ_l	ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m ³)
ρ_v	ความหนาแน่นของไอ (kg/m ³)
z	ความยาวท่อ (m)
Z_{SC}	ความยาวท่อตั้งแต่ทางเข้าจนจบช่วง subcooled boiling (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การถ่ายเทความร้อนโดยใช้การไหลแบบสองสถานะได้รับความสนใจที่มากขึ้น โดยเฉพาะการถ่ายเทความร้อนแบบเปลี่ยนสถานะของของไหล ซึ่งการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสถานะของของไหลได้นำไปประยุกต์กับอุตสาหกรรมมากขึ้น เช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ระบบระบายความร้อนในโรงงานผลิตไฟฟ้า เป็นต้น ดังนั้นเราจึงต้องการพัฒนาอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อน ให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้นโดยอาศัยการถ่ายเทความร้อนแบบเปลี่ยนสถานะของของไหล ซึ่งสิ่งที่ต้องการในการพัฒนาคือการถ่ายเทความร้อนแบบเปลี่ยนสถานะของของไหลมีประสิทธิภาพที่สูงและความดันตกต่ำสุด โดยการศึกษาของของไหลแบบเปลี่ยนสถานะสามารถทำได้หลายแบบเช่นการทำการทดลอง (Experimental method) และการศึกษาเชิงตัวเลข (Numerical method) โดยการศึกษาเชิงตัวเลขจะทำได้ง่ายกว่าและรวดเร็วกว่าทำการทดลอง

ในโครงการนี้จึงเลือกการศึกษาเชิงตัวเลขซึ่งมีข้อดีหลายประการ เช่น การออกแบบให้ชิ้นงานมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ลดค่าใช้จ่าย ใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่าการทำการทดลอง หลีกเลี่ยงในการลองผิดลองถูกไปได้ ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการศึกษาเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาเกี่ยวกับการไหลของน้ำเดือดในท่อจะช่วยแก้ปัญหาได้อย่างดี โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการจำลองการไหลของของไหลแบบเปลี่ยนสถานะในท่อน้ำตัดกลมโดยกำหนดให้พื้นที่ถ่ายเทความร้อนคือพื้นที่ผิวรอบ ๆ ท่อ ซึ่งขนาดของท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.8 mm ให้ฟลักซ์ความร้อนคงที่ โดยมีอุณหภูมิทางเข้าเป็นของเหลวอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือด โดยจะมีการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลและการถ่ายเทความร้อนของแต่ละทิศทางการไหลที่แตกต่างกัน 3 ทิศทาง ได้แก่ การไหลขึ้นในแนวตั้ง การไหลลงในแนวตั้ง และการไหลในแนวระดับ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์

1. การศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลสองสถานะแบบมีการเดือดในท่อกลม
2. เพื่อศึกษาผลของทิศทางการไหลที่มีต่อลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อน

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. เป็นการศึกษาเชิงตัวเลข
2. การไหลของน้ำแบบมีการเดือด
3. ศึกษาการไหลในสามทิศทาง ได้แก่ การไหลในแนวระดับ การไหลขึ้น และการไหลลง

1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำในลักษณะเดือดภายในท่อกลม

Rui Zhang และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาแบบจำลองการเดือดผ่านผนังท่อของน้ำที่อุณหภูมิต่ำในท่อแนวตั้งภายใต้แรงดันสูงและแรงดันต่ำ โดยที่ฟลักซ์ความร้อนความแบ่งออกเป็น 4 ส่วนในแบบจำลอง RPI ได้แก่ ฟลักซ์ความร้อนแบบระเหย, Quench heat flux, ฟลักซ์ความร้อนแบบการพาความร้อนใช้สำหรับของเหลว และ ฟลักซ์ความร้อนแบบการพาใช้สำหรับไอน้ำ เป็นต้น ซึ่งในการทดลองนี้ได้เปรียบเทียบกับค่า CHF (Critical heat flux) ของการทดลองและการศึกษาเชิงตัวเลขผลที่ได้พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Han-Zhong Tao และคณะ [2] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีอัตราส่วน (Aspect ratio , AR) ต่างกัน ได้แก่ อัตราส่วนของ AR = 0, 1, 3 และ 5 ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งเป็นการศึกษาแบบจำลองเกี่ยวกับการไหลของน้ำที่มีเดือดในท่อแนวดิ่งโดยการนำแบบจำลอง RPI (Rensselaer Polytechnic Institute) มาใช้เพื่ออธิบายอัตราส่วนปริมาตรไอ ความดันตก และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งในการศึกษาจะใช้ฟลักซ์ความร้อน 395.8 kW/m², 475 kW/m². และ 570 kW/m² และใช้ฟลักซ์มวล 900 kg/m², 990 kg/m² และ 1080 kg/m² ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือเมื่ออัตราส่วน AR เพิ่มขึ้นจาก 0 ไปจนถึง 3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น 20% และความดันตกเพิ่มขึ้นประมาณ 7% แต่เมื่อ AR เพิ่มขึ้นจาก 3 เป็น 5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเพียง 1% แต่ค่าความดันตกเพิ่มขึ้นถึง 16% ดังนั้นท่อที่มีอัตราส่วน AR = 3 จะมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากขึ้นได้โดยการเพิ่มฟลักซ์ความร้อนและมวลฟลักซ์



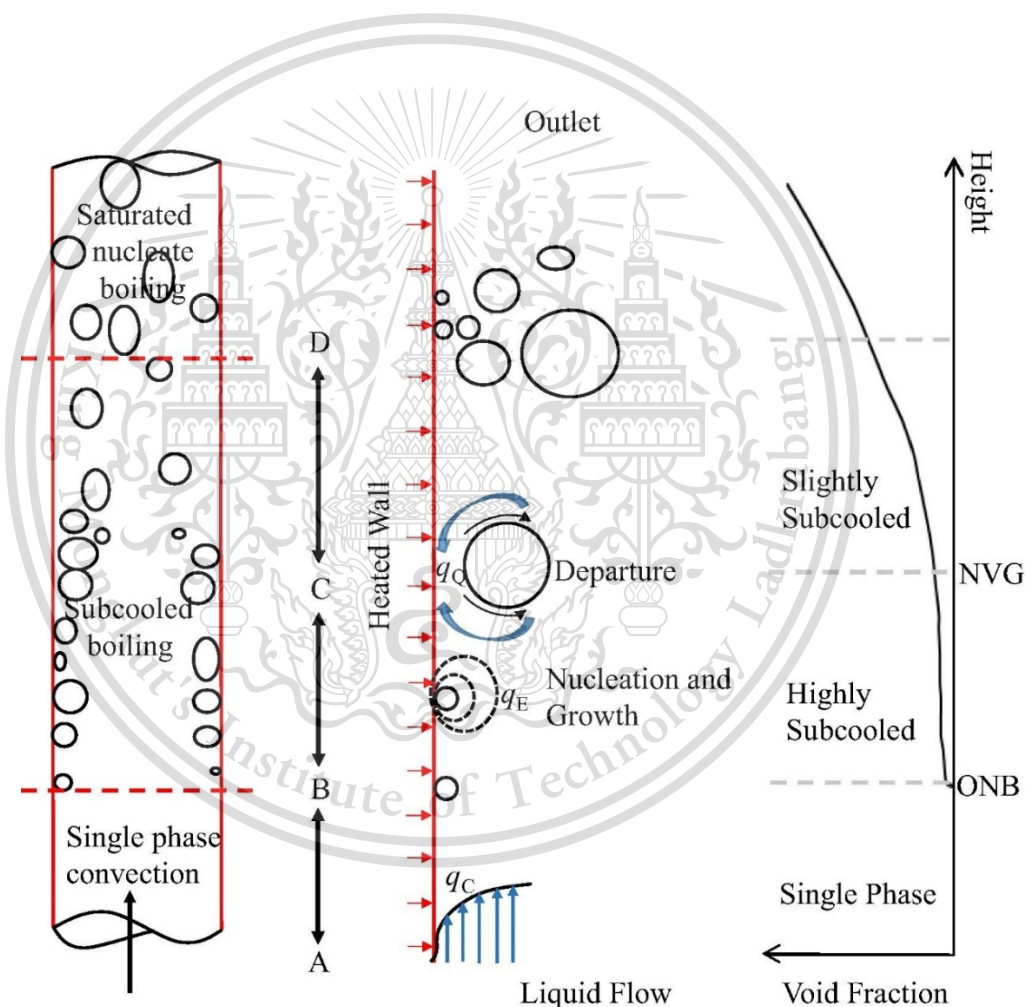
รูปที่ 1.1 แสดงถึงรูปร่างท่อในอัตราส่วน AR ที่แตกต่างกัน [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Junping Gu และคณะ [3] ได้ทำการศึกษารูปแบบการไหลแบบสองสถานะและการถ่ายเทความร้อนภายในท่อแรงดันสูงซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความปลอดภัยของอุปกรณ์พลังงานไอน้ำ ในการศึกษานี้ได้ใช้การไหลแบบมีการเดือดของน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าความดันสูงตั้งแต่ 3-15 MPa โดยมีช่วงฟลักซ์มวล 503–2123 kg/m²·s และช่วงฟลักซ์ความร้อน 0.42– 2.21 MW/m² ได้ทำการจำลองเชิงตัวเลขและ RPI เพื่อแสดงโครงสร้างการไหลและกระบวนการการเกิดฟองในสภาวะการเดือดของน้ำ จากรูปที่ 1.2 ที่ตำแหน่ง B จะเกิดฟองไอน้ำแรกที่ก่อตัวขึ้นและเป็นจุดเริ่มต้นของการเดือด ต่อมาเกิดการสะสมความร้อนมากขึ้นจนถึงตำแหน่ง C จนฟองหลุดออกจากผนังจนถึงตำแหน่ง D การสะสมของฟองจะเปลี่ยนรูปแบบการไหลไปตามท่อ



รูปที่ 1.2 แสดงภาพกระบวนการการเกิดฟองในสภาวะการเดือดของน้ำภายในท่อ [3]

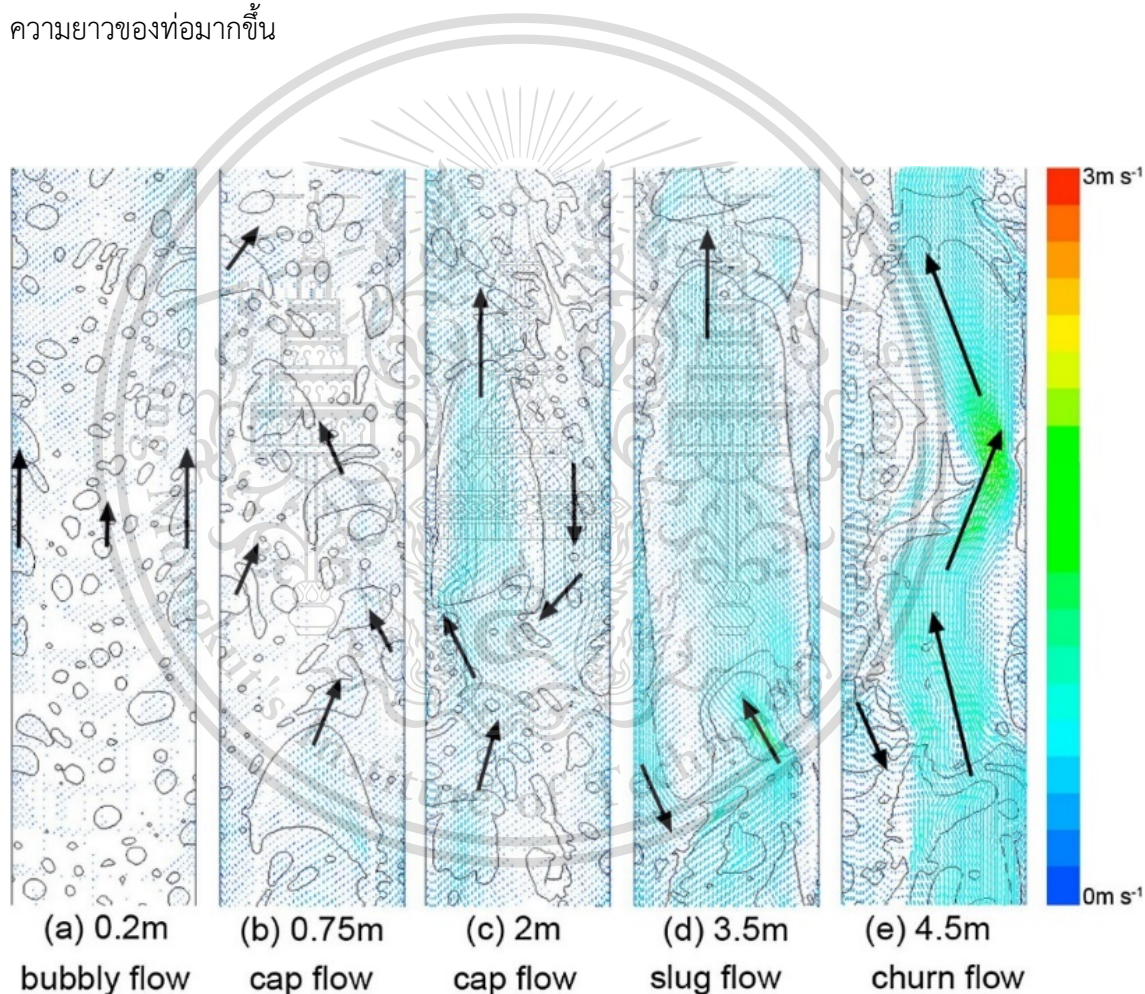
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Xuan Yin และคณะ [4] ศึกษาการไหลของน้ำที่มีการเดือดในท่อแนวตั้งในการศึกษานี้จะใช้แบบจำลองแบบ VOF (Volume of fluid) การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของท่อแนวตั้ง มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 50 mm. และความยาว 5,000 mm. ซึ่งใช้ฟลักซ์ความร้อนต่ำระหว่าง 11,000-15,000 W/m². ซึ่งการศึกษานี้จะวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของฟองและจำแนกรูปแบบการไหลแบบสองสถานะในท่อแนวตั้งระดับกลางออกเป็น 4 รูปแบบดังรูปที่ 1.3 ได้แก่ Bubbly flow, Cap flow, Slug flow และ Churn flow ยังมีการศึกษาลักษณะเฉพาะของการถ่ายเทความร้อนที่มีการเดือดไปตามท่อและผลกระทบของระบบฟองต่อการถ่ายเทความร้อนอีกด้วย ซึ่งผลสรุปคือรูปแบบการไหลของการเดือดจะแตกต่างกันไปตามความสูงของท่อ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะดีขึ้นเมื่อความยาวของท่อมากขึ้น



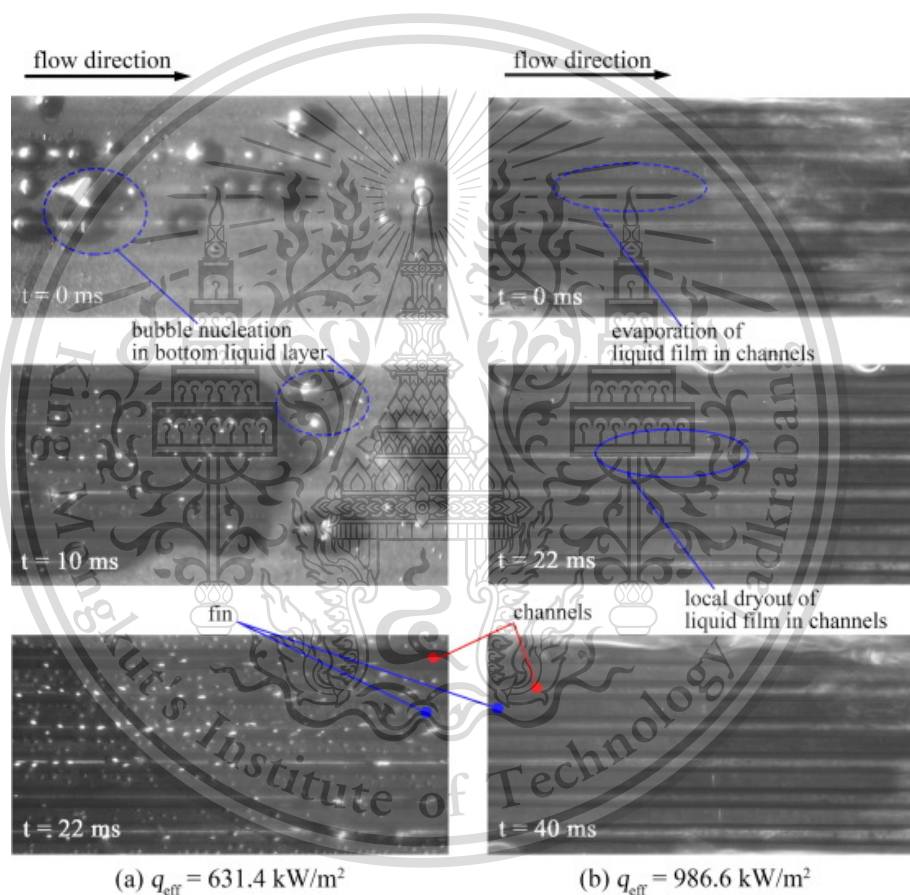
รูปที่ 1.3 แสดงถึงลักษณะฟองทั้ง 4 แบบ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Liaofei Yin และคณะ [5] ทำการศึกษาการไหลของน้ำที่เดือดในท่อไมโครแชนแนลแบบเปิด โดยใช้ น้ำที่ทางเข้า $\Delta T_{sub} = 20, 35, 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่ฟลักซ์มวลต่าง ๆ ตั้งแต่ 174 ถึง 374 kg/m². สำหรับ ฟลักซ์ความร้อนที่ใช้คือ 214.9 – 1355.1 W/cm². ซึ่งการทดลองจะตรวจสอบการถ่ายเทความร้อน ลักษณะการตกของแรงดันระหว่างการไหลของน้ำ รูปที่ 1.4 แสดงภาพการไหลความเร็วสูงที่ทำให้เห็น ถึงการเปลี่ยนรูปแบบการไหลระหว่างการไหลเดือดในไมโครช่องเปิด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือไมโครแชนแนล แบบเปิดที่มีขนาดเล็กกว่า แต่มีจำนวนช่องที่มากจะมีความสามารถในการกระจายความร้อนที่ดีขึ้น พร้อมกับความดันลดลงที่สูงขึ้นในระบบการไหล



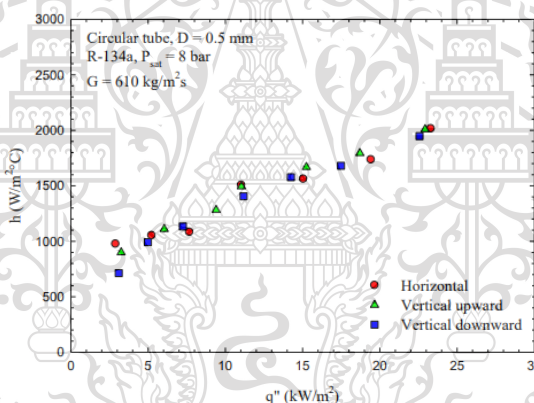
รูปที่ 1.4 แสดงการไหลความเร็วสูงที่ทำให้เห็นการเปลี่ยนรูปแบบการไหล [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

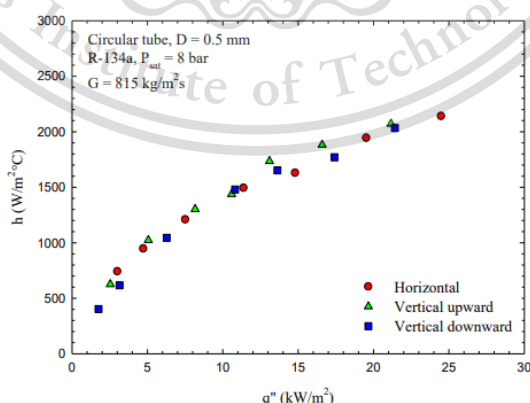
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โพธิ์ชัย ศรีทุมพันธ์ [6] ทำการทดลองศึกษารูปแบบการไหล คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อน และความดันลด สำหรับการไหลขณะเดือดของสารทำความเย็น R134a ในท่อกลม และไมโคร แชนแนลฮีตซิงก์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 mm โดยทำการทดลองภายใต้เงื่อนไข สำหรับทิศทางการไหลที่แตกต่างกัน 3 ทิศทาง ได้แก่ การไหลในแนวระดับ การไหลขึ้นในแนวตั้ง และการไหลลงในแนวตั้ง สำหรับผลการทดลองในท่อกลมพบรูปแบบการไหลทั้งหมด 4 รูปแบบ ได้แก่ Slug flow, Churn flow, Throat-annular flow และ Annular flow ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อฟลักซ์ความร้อนเพิ่มสูงขึ้น ส่วนฟลักซ์มวลจะไม่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในช่วงฟลักซ์ความร้อนต่ำ แต่จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงฟลักซ์ความร้อนสูง นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลจะไม่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในทุกเงื่อนไขการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงหรือแรงลอยตัวจะไม่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสำหรับท่อขนาด 0.5 mm



(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 1.5 แสดงอิทธิพลของทิศทางการไหลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในท่อขนาด 0.5 mm

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ฟลักซ์มวล ก) 610 และ ข) 815 kg/m²s [6]

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

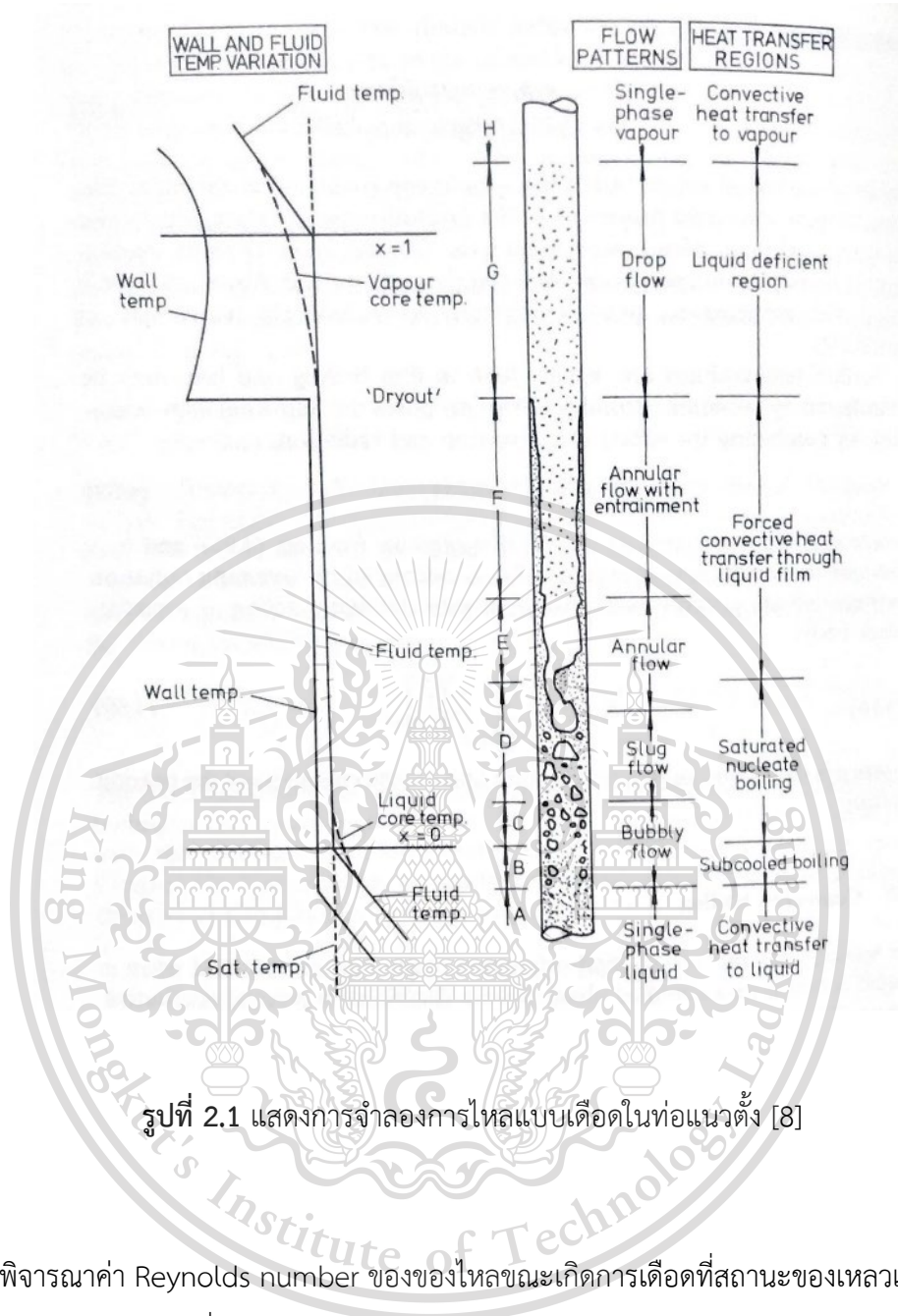
จากการศึกษาพบว่า การถ่ายเทความร้อนโดยใช้การไหลแบบสองสถานะจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการถ่ายเทความร้อนโดยใช้การไหลแบบสถานะเดียว [7] เนื่องจากการไหลแบบสองสถานะมีฟองอากาศเกิดขึ้น ซึ่งฟองอากาศจะมีการหมุนเวียนของมวลภายใน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีขึ้น และการถ่ายเทความร้อนโดยการไหลสองสถานะแบบมีการเดือดจะมีความร้อนแฝงจากการเปลี่ยนสถานะเกิดขึ้น โดยที่อุณหภูมิไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้มากกว่าการถ่ายเทความร้อนโดยการไหลสองสถานะแบบไม่มีการเดือด จึงเป็นเหตุผลการถ่ายเทความร้อนโดยการไหลสองสถานะแบบมีการเดือดมีประสิทธิภาพดีกว่าการถ่ายเทความร้อนโดยการไหลสองสถานะแบบไม่มีการเดือด

จากรูปที่ 2.1 เป็นแผนภาพการจำลองการไหลแบบเดือดในท่อแนวตั้งโดยให้ฟลักซ์ความร้อนคงที่ที่ผนังท่อ [8] ที่ทางเข้าท่อเป็นของเหลวอิ่มตัว เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนจากผนังท่อสู่ของเหลว จะเริ่มเกิดฟองอากาศเล็กๆ ที่ผนังรอบท่อ ฟองอากาศจะเริ่มเกิดก่อนถึงอุณหภูมิอิ่มตัวของของเหลว เรียกการเดือดช่วงนี้ว่า Subcooled boiling เมื่อได้รับความร้อนตลอดความยาวท่อจนของเหลวถึงอุณหภูมิอิ่มตัวจะเข้าสู่การเดือดแบบ Saturated boiling จนกลายเป็นไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.1 แสดงการจำลองการไหลแบบเดือดในท่อแนวตั้ง [8]

ในการพิจารณาค่า Reynolds number ของของไหลขณะเกิดการเดือดที่สถานะของเหลวและแก๊ส สามารถหาได้จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ

$$Re_l = \frac{GD(1-x)}{\mu_l} \tag{2.1}$$

$$Re_v = \frac{GDx}{\mu_v} \tag{2.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อ	G	คือ	ฟลักซ์มวล ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$)
	D	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
	x	คือ	ค่าคุณภาพไอ
	μ_l	ความหนืดของของเหลว ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)	
	μ_v	ความหนืดของแก๊ส ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)	

เกณฑ์การแบ่งลักษณะการไหลสำหรับการไหลภายในท่อ สามารถแบ่งตาม Reynolds number ได้ดังนี้

$Re < 2300$	การไหลเป็นแบบราบเรียบ (Laminar flow)
$2300 \leq Re \leq 10000$	เป็นช่วงการเปลี่ยนผ่านลักษณะการไหล (Transitional flow)
$Re > 10000$	การไหลเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

2.1 การจำแนกรูปแบบการไหลของของไหลสองสถานะ (Two-phase Flow Patterns)

รูปแบบการไหลของของไหลสองสถานะมีเกณฑ์การจำแนกที่แตกต่างกันหลากหลายแนวคิด ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้รูปแบบการไหลที่เสนอโดย Collier และ Hewitt [9]

2.1.1 รูปแบบการไหลในท่อกลมแนวตั้ง

รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการเกิดฟองในท่อกลมแนวตั้งโดยทั่วไปเมื่อมีทิศทางการไหลขึ้น โดยสามารถแบ่งการไหลได้เป็น 4 รูปแบบ ดังนี้

1. Bubbly flow มีลักษณะการไหลเป็นฟองอากาศขนาดเล็ก มีความยาวฟองอากาศน้อยกว่าความกว้างท่อ
2. Slug flow มีลักษณะการไหลเป็นฟองอากาศรูปร่างคล้ายหัวกระสุน ความยาวฟองอากาศมากกว่าความกว้างท่อ และมีฟองขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วสถานะของเหลว

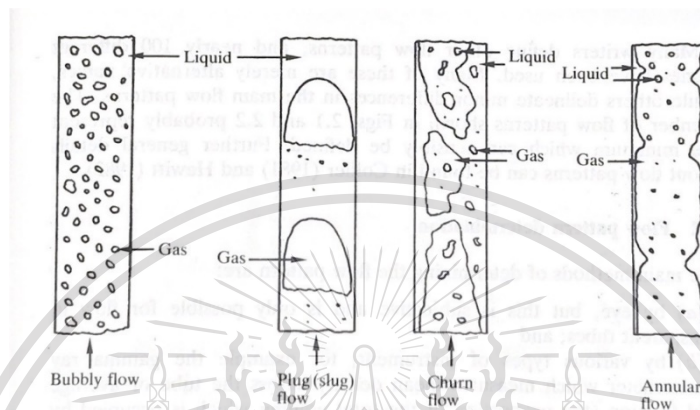
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อจุดประสงค์เฉพาะเท่านั้น โปรดอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. Churn flow มีลักษณะการไหลที่ไม่เสถียรจากการสั่น เช่น ของเหลวที่อยู่ใกล้ผนังท่อที่มีการขยับขึ้นลงตลอดเวลา

4. Annular flow มีลักษณะการไหลแบบแยกกันของอากาศและน้ำ โดยอากาศจะรวมตัวกันอยู่ตรงกลาง และมีน้ำล้อมรอบ ซึ่งบางส่วนจะเป็นหยดเล็ก ๆ กระจายอยู่ในอากาศ



รูปที่ 2.2 แสดงรูปแบบการไหลในท่อกลมแนวตั้ง [9]

2.1.2 รูปแบบการไหลในท่อกลมแนวนอน

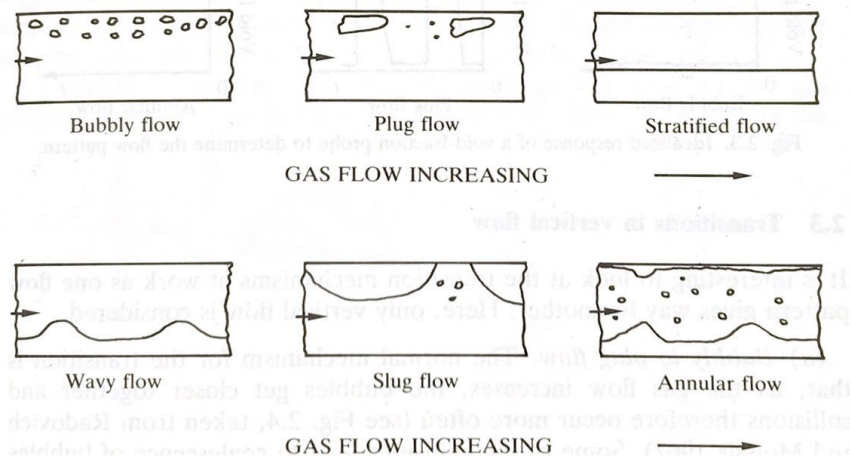
ลักษณะการเกิดฟองในท่อกลมแนวนอนโดยทั่วไปแสดงได้ดังในรูปที่ 2.4 โดยสามารถแบ่งการไหลได้เป็น 6 รูปแบบ ดังนี้

1. Bubbly flow มีลักษณะการไหลเป็นฟองขนาดเล็ก ซึ่งมีแนวโน้มการไหลไปตามด้านบนของท่อ
2. Plug flow มีลักษณะการไหลเป็นฟองที่มีขนาดยาวขึ้นจากการรวมตัวกันของฟองขนาดเล็ก
3. Stratified flow มีลักษณะการไหลแบบแยกชั้นกันอย่างชัดเจนระหว่างของเหลวกับอากาศ โดยอากาศไหลอยู่ด้านบนและน้ำไหลอยู่ด้านล่าง
4. Wavy flow มีลักษณะการไหลที่คล้ายกับการไหลแบบ Stratified flow แต่จะมีแอมพลิจูดของคลื่นเพิ่มขึ้นมาจากการเพิ่มความเร็วยของอากาศ
5. Slug flow แอมพลิจูดของคลื่นมีขนาดใหญ่ถึงผนังท่อด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ของเหลวที่ผนังท่อด้านล่างจะหนากว่าของเหลวที่ผนังท่อด้านบน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบการไหลในท่อกลมแนวนอน [9]

2.2 การถ่ายเทความร้อน

2.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉพาะจุด หาได้จากสมการ

$$h(z) = \frac{\dot{q}}{T_w(z) - T_b(z)} \tag{2.3}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสามารถหาได้จากสมการ

$$h_{avg} = \frac{1}{L} \int_0^L h(z) dz \tag{2.4}$$

เมื่อ $h(z)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉพาะจุด ($\text{kW/m}^2\text{K}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$T_w(z)$ คือ อุณหภูมิของผนังท่อเฉลี่ยที่ตำแหน่งใด ๆ ($^{\circ}\text{C}$)

$T_b(z)$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลเย็นยิ่งที่ตำแหน่งใด ๆ ($^{\circ}\text{C}$)

L คือ ความยาวท่อ (m)

2.2.2 คุณภาพไอ (Vapor quality)

คุณภาพไอ ณ ตำแหน่งใด ๆ หาได้จากสมการ [8]

$$x(z) = \frac{4\dot{q}}{DG\bar{h}_{iv}(z)}(z - z_{SC}) \quad (2.5)$$

เมื่อ \dot{q} คือ ฟลักซ์ความร้อน (W/m^2)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)

G คือ ฟลักซ์มวล ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$)

$\bar{h}_{iv}(z)$ คือ เอนทาลปีขณะเปลี่ยนสถานะที่ตำแหน่งใด ๆ (kJ/kg)

z คือ ระยะตามความยาวท่อ (m)

z_{SC} คือ ความยาวท่อตั้งแต่ทางเข้าจนจบช่วง subcooled boiling (m) หาได้จากสมการ

$$z_{SC} = \frac{Gc_{p,l}D}{4\dot{q}}(T_{SAT} - T_{fi}) \quad (2.6)$$

เมื่อ $c_{p,l}$ คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$)

T_{SAT} คือ อุณหภูมิของของเหลวที่จุดอิ่มตัว (K)

T_{fi} คือ อุณหภูมิของของเหลวที่ทางเข้า (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.3 Nusselt number

คือ อัตราส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นของของไหล convection ต่อของอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นของของไหล conduction หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง Nusselt number และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน เป็นดังสมการ

$$\text{Nu}(z) = \frac{h(z)D}{k_f} \quad (2.7)$$

เมื่อ k_f คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของไหล ($\text{W/m} \cdot \text{K}$)

2.3 ฟลักซ์มวล (Mass flux)

คือ อัตราการไหลเชิงมวลต่อพื้นที่การไหล หาได้จากสมการ

$$G = \frac{\dot{m}}{A_{ch}} \quad (2.8)$$

เมื่อ \dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

A_{ch} คือ พื้นที่หน้าตัดของช่องทางการไหล (m^2)

2.4 ความเร็วเฉลี่ย (Average velocity)

ความเร็วเฉลี่ยที่ทางเข้าท่อ หาได้จากสมการ

$$v_{\text{avg.in}} = \frac{\dot{m}}{\rho_l A_{ch}} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 วิธีการคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical Method)

ในการคำนวณเชิงตัวเลขนี้แบบจำลองหลายสถานะของ Eulerian ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์การไหลแบบเต็อดร่วมกับแบบจำลองการเต็อด RPI (Rensselaer Polytechnic Institute) โดยวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล หรือ CFD (Computational Fluid Dynamics) ซึ่งเป็นการใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาช่วยแก้ปัญหาพลศาสตร์ของไหล สมการอนุรักษ์มวล (Conservation of mass), สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of momentum) และสมการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of energy) ได้ถูกนำมาใช้โดยแปลงให้อยู่ในรูปของสมการพีชคณิต (Algebraic Equations) ด้วยระเบียบวิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method) จากนั้นจึงหาผลเฉลยเชิงตัวเลข และจำลองตัวแปรต่างๆในทางกายภาพ เพื่อนำไปวิเคราะห์ผล

2.5.1 สมการเชิงอนุพันธ์ของการอนุรักษ์ (Conservation equation)

สมการการเคลื่อนที่ของการไหลแบบปั่นป่วนประกอบไปด้วย สมการอนุรักษ์มวล สมการการอนุรักษ์โมเมนตัม และสมการอนุรักษ์พลังงาน

สมการอนุรักษ์มวล

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_i \rho_i) + \nabla \cdot (\alpha_i \rho_i \vec{v}_i) = \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{i,p} - \dot{m}_{i,v}) + S_q \quad (2.10)$$

เมื่อ α_i คือ สัดส่วนปริมาตรของของเหลว, ρ_i คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3), \vec{v}_i คือ ความเร็วของของเหลว (m/s), $\dot{m}_{i,p}$ คือ อัตราการถ่ายโอนมวลสารจากสถานะไอไปเป็นของเหลว (kg/s), $\dot{m}_{i,v}$ คือ อัตราการถ่ายโอนมวลสารจากของเหลวไปเป็นไอ (kg/s), S_q คือ Source term ที่มีแหล่งที่มาจากเอนทาลปี เช่น ปฏิกิริยาเคมีหรือการแผ่รังสี (W/m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_1 \rho_1 \vec{v}_1) + \nabla \cdot (\alpha_1 \rho_1 \vec{v}_1 \vec{v}_1) = -\alpha_1 \nabla p + \nabla \cdot \overline{\overline{\tau}}_q + \alpha_1 \rho_1 \vec{g} + \sum_{p=1}^n (\vec{R}_{v1} - \dot{m}_{v1} \vec{v}_{v1} - \dot{m}_{lv} \vec{v}_{lv}) + (\vec{F}_q + \vec{F}_{\text{lift},q} + \vec{F}_{\text{vm},q} + \vec{F}_{\text{td},q} + \vec{F}_{\text{wl},q}) \quad (2.11)$$

โดย $\overline{\overline{\tau}}_q$ คือ เทนเซอร์ความเค้น หาจากสมการ

$$\overline{\overline{\tau}}_q = \alpha_1 \mu_1 (\nabla \vec{v}_1 + \nabla \vec{v}_1^T) + \alpha_1 \left(\lambda_1 - \frac{2}{3} \mu_1 \right) \nabla \cdot \vec{v}_1 \vec{I} \quad (2.12)$$

เมื่อ p คือ ความดัน(Pa), g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง(m/s^2), \vec{R}_{v1} คือ แรงปฏิสัมพันธ์ระหว่างสองสถานะ(N), \vec{F}_q คือ แรงภายนอก(N), $\vec{F}_{\text{lift},q}$ คือ แรงแยก(N), $\vec{F}_{\text{vm},q}$ คือ Virtual mass force(N), $\vec{F}_{\text{td},q}$ คือ Turbulent dispersion force(N), $\vec{F}_{\text{wl},q}$ คือ Wall lubrication force(N), λ_1 คือ แรงเฉือนของของเหลว, μ_1 คือ ความหนืดของของเหลว($kg/m \cdot s$), v_{lv} คือ ความเร็วจากสถานะของเหลวไปเป็นไอ (m/s) และ v_{v1} คือ ความเร็วจากสถานะของเหลวไปเป็นไอ (m/s)

สมการอนุรักษ์พลังงาน

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_1 \rho_1 \bar{h}_1) + \nabla \cdot (\alpha_1 \rho_1 \bar{u}_1 \bar{h}_1) = \alpha_1 \frac{\partial p_1}{\partial t} + \overline{\overline{\tau}}_1 \nabla \bar{u}_1 - \nabla \cdot \bar{q}_1 + S_1 + \sum_{p=1}^n (\bar{Q}_{v1} - \dot{m}_{v1} \bar{h}_{v1} - \dot{m}_{lv} \bar{h}_{lv}) \quad (2.13)$$

การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสถานะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข $Q_{v1} = -Q_{lv}$ และ $Q_{II} = 0$

เมื่อ Q_{v1} คือ การแลกเปลี่ยนความร้อนจากสถานะไอไปเป็นของเหลว(W) และ Q_{lv} การ

แลกเปลี่ยนความร้อนจากสถานะของเหลวไปเป็นไอ(W) นั่นหมายความว่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.2 แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence model)

สำหรับเงื่อนไขการจำลอง แบบจำลอง $k-\epsilon$ มาตรฐานจะเป็นแบบจำลองที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์สูง แต่ไม่ใช่ทุกสถานะการไหลที่จะมีค่าตัวเลขเรย์โนลด์สูง ทฤษฎี RNG เป็นทฤษฎีที่ได้มีการใช้สูตรเชิงอนุพันธ์มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพความหนืดซึ่งอธิบายถึงการไหลที่ตัวเลขเรย์โนลด์ต่ำได้ ดังนั้นแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน $k-\epsilon$ RNG ได้ถูกนำมาใช้เนื่องจากมีช่วงการใช้งานที่กว้างและเหมาะสมสำหรับการจำลองนี้ ซึ่งสมการสำหรับแบบจำลอง $k-\epsilon$ RNG มีสมการดังต่อไปนี้

สมการ Turbulent kinetic energy (k)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k u_{\text{eff}} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (2.14)$$

สมการ Dissipation rate of turbulent kinetic energy (ϵ)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\epsilon u_{\text{eff}} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R_\epsilon + S_\epsilon \quad (2.15)$$

โดยที่ G_k คือ Turbulent kinetic energy เนื่องจาก *mean velocity gradients*, G_b คือ Turbulent kinetic energy เนื่องจากการลอยตัว, Y_M คือ การผันผวนของการกระจายตัวของอัตราความแปรปรวนของการกระจายตัวโดยรวม, α_k คือ ส่วนกลับของ Prandtl number สำหรับ k , α_ϵ คือ ส่วนกลับของ Prandtl number สำหรับ ϵ

หากจากสมการดังต่อไปนี้

$$G_k = -\rho \bar{u}_i \bar{u}_j \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (2.16)$$

$$G_b = \beta g_i \frac{\mu_t}{Pr_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อ $Pr_t = 1/\alpha$

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p$$

$$M_t = \sqrt{\frac{k}{c^2}}, \quad c \text{ คือ ความเร็วเสียง (m/s)}$$

สมการเชิงอนุพันธ์สำหรับความหนืดปั่นป่วน

$$d \left(\frac{\rho^2 k}{\sqrt{\epsilon \mu}} \right) = 1.72 \frac{\hat{v}}{\sqrt{\hat{v}^3 - 1 + C_v}} d\hat{v} \quad (2.19)$$

เมื่อ $\hat{v} = \mu_{\text{eff}} / \mu$

$$C_v \approx 100$$

ความแตกต่างของแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน $k = \epsilon$ มาตรฐาน และ RNG คือเทอม R_ϵ ในสมการ

$$R_\epsilon = \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1 - \eta / \eta_0) \epsilon^2}{1 + \beta \eta^3} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (2.20)$$

โดยที่ $\eta = Sk / \epsilon$, $\eta_0 = 4.38$, $\beta = 0.012$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อนำเทอม R_ε ไปรวมกับสมการ (2.15) จะได้สมการ Dissipation rate of turbulent kinetic energy (ε) ใหม่ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) + C_{2\varepsilon}^* \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2.21)$$

เมื่อ
$$C_{2\varepsilon}^* = C_{2\varepsilon} + \frac{C_\mu \eta^3 (1 - \eta / \eta_0)}{1 + \beta \eta^3}$$

สำหรับค่าคงที่ของแบบจำลอง เป็นดังนี้

$$C_\varepsilon = 1.42, \quad C_{2\varepsilon} = 1.68$$

2.5.3 แบบจำลองการเดือดของผนัง (Wall boiling model)

ในการจำลองนี้ได้ใช้แบบจำลองผนังเดือดแบบ RPI (Rensselaer Polytechnic Institute) ตามงานวิจัยของ Kurul และ Podowski [10] ซึ่งหมายความว่าฟลักซ์ความร้อนที่ผนังถ่ายเทให้ของเหลวทั้งหมด จะเป็นไปตามสมการ

$$\dot{q}_w = \dot{q}_c + \dot{q}_q + \dot{q}_e \quad (2.22)$$

เมื่อ \dot{q}_w คือ ฟลักซ์ความร้อนที่ผนังถ่ายเทให้ของเหลว (W/m^2)

\dot{q}_c คือ Convective heat flux (W/m^2)

\dot{q}_q คือ Quenching heat flux (W/m^2)

\dot{q}_e คือ Evaporative heat flux (W/m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ผู้ใช้ทั้งนี้คือ Evaporative heat flux (W/m^2) จึงอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Convective heat flux คือ ฟลักซ์ความร้อนในการพาความร้อน หาได้จากสมการ

$$\dot{q}_c = h_c (T_w - T_1)(1 - A_b) \quad (2.23)$$

เมื่อ h_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการไหลสถานะเดียว, T_w คือ อุณหภูมิที่ผนัง และ T_1 คือ อุณหภูมิของของเหลว ซึ่งพื้นที่ผิวที่ผนังความร้อนจะแบ่งออกเป็นส่วนที่มีฟองอากาศ นิวเคลียส (Nucleating bubbles) ; A_b และส่วนที่เป็นของเหลว ; $1 - A_b$ โดยที่

$$A_b = \min \left(1, K \frac{N_w \pi D_w^2}{4} \right) \quad (2.24)$$

K คือ ค่า Empirical constant อ้างอิงจากงานวิจัยของ Valle and Kenning [11]

$$K = 4.8 e^{\left(\frac{Ja_{sub}}{80} \right)} \quad (2.25)$$

โดยที่

$$Ja_{sub} = \frac{\rho_l C_{p,l} \Delta T_{sub}}{\rho_v h_{lv}} \quad (2.26)$$

เมื่อ ρ_l คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3), $C_{p,l}$ คือ ความจุความร้อนจำเพาะของของเหลว ($\text{J/kg}\cdot\text{K}$), ρ_v คือ ความหนาแน่นของไอ (kg/m^3), h_{lv} คือ เอนทาลปีขณะเปลี่ยนสถานะ (kJ/kg) และ $\Delta T_{sub} = T_{sat} - T_1$: T_{sat} คือ อุณหภูมิอิ่มตัว (K) และ T_1 คือ อุณหภูมิของของเหลว (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เส้นผ่านศูนย์กลางฟองอากาศเริ่มต้น (Default bubble departure diameter) ; D_w หาจากสมการ ความสัมพันธ์ของ Tolubinsky and Kostanchuk [12]

$$D_w = \min \left(0.0014, 0.0006e^{\frac{\Delta T_w}{45}} \right) \quad (2.27)$$

Quenching heat flux คือ หาได้จากสมการ

$$\dot{q}_Q = \frac{2\sqrt{k\rho_1 C_{p,1} f}}{\sqrt{\pi\lambda_L t}} (T_w - T_1) \quad (2.28)$$

ความถี่ของฟองอากาศนิยามโดย Robert

$$f = \frac{1}{T} \sqrt{\frac{4g(\rho_l - \rho_g)}{3d_{bw}\rho_l}} \quad (2.29)$$

เมื่อ k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของเหลว, t คือ เวลาที่ใช้ และ $\lambda_L = k/\rho_1 C_{p,1}$ คือ สัมประสิทธิ์การแพร่

Evaporative heat flux คือ ฟลักซ์ความร้อนระเหย หาได้จากสมการ

$$\dot{q}_E = V_d N_w \rho_v h_{lv} f \quad (2.30)$$

เมื่อ V_d คือ ปริมาตรของฟองที่ขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศ และ N_w คือ Active nucleate site density

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

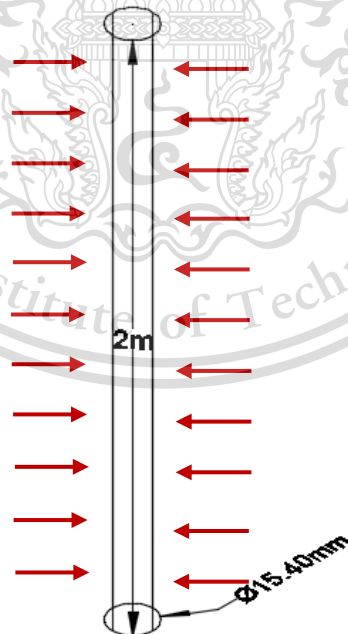
วิธีการดำเนินงาน

3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองของไหลแบบเปลี่ยนสถานะ

วิทยานิพนธ์ที่ใช้ในการตรวจสอบเป็นการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของของไหลแบบเปลี่ยนสถานะในท่อกลม ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อขนาด 15.4 mm ในการศึกษาเชิงตัวเลขครั้งนี้ใช้โปรแกรม Ansys Fluent ในการจำลองแบบจำลอง การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองทั้งหมดเป็นไปตามหัวข้อที่ 3.1.1 - 3.1.3

3.1.1 แบบจำลองที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง

แบบจำลองที่ใช้ในการตรวจสอบผลมาจากงานวิจัยของ Han-Zhong Tao และคณะ[2] ได้ทำการศึกษาเชิงตัวเลขการไหลของน้ำแบบมีการเดือดในท่อกลมแนวตั้ง โดยแบบจำลองของงานวิจัยนี้ขนาดท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.4 mm ความยาว 2 m ดังรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน **รูปที่ 3.1** แสดงลักษณะท่อ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

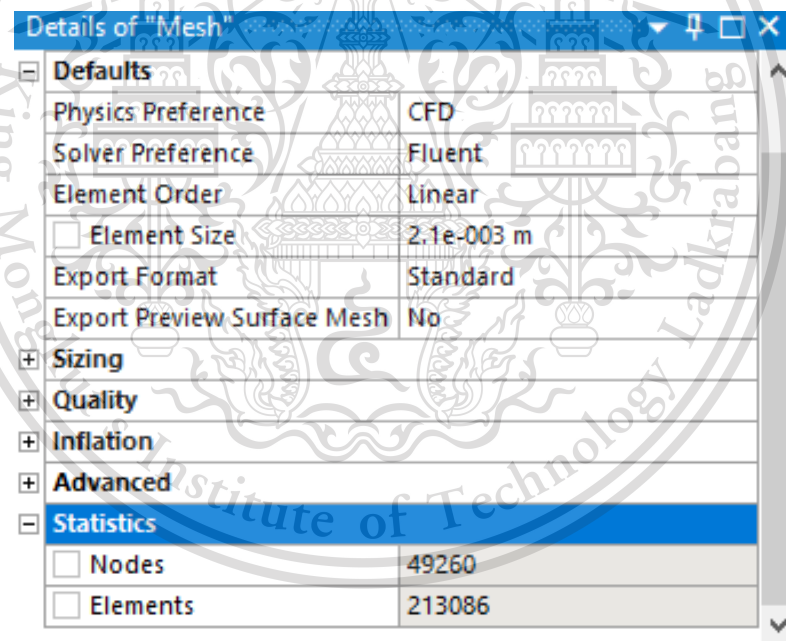
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2 การแบ่งกริดที่ใช้จำลอง (Meshing)

การแบ่งจำนวนกริดที่เหมาะสมนั้นมีความสำคัญในการจำลองเชิงตัวเลข เนื่องจากต้องการความแม่นยำและระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ในแบบจำลองของ Han-Zhong Tao และคณะ[2] แนะนำจำนวนกริดที่เหมาะสมในการจำลองมา คือไม่ต่ำกว่า 880,000 กริด แต่เนื่องจากใช้เวลาในการจำลองนาน แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในการศึกษาครั้งนี้จึงลดขนาดกริดลงโดยเลือกใช้จำนวนกริดที่ 200,000 และ 300,000 พบว่า จำนวนกริด 200,000 ใช้เวลาในการจำลองประมาณ 6-9 วัน จำนวนกริด 300,000 ใช้เวลาในการจำลอง 11-14 วัน เราจึงเลือกใช้จำนวนกริด 200,000 กริด เพื่อประหยัดเวลาในการจำลอง

ในหัวข้อ Sizing กำหนด Use Adaptive Sizing เป็น Yes ดังรูปที่ 3.2

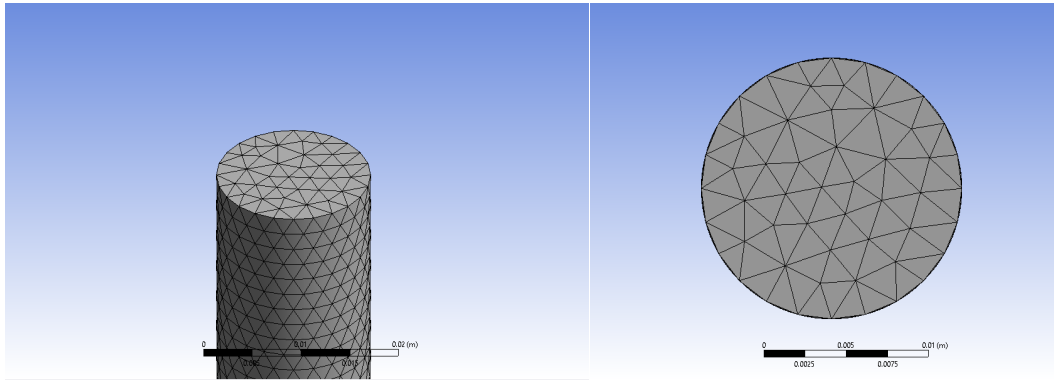


รูปที่ 3.2 แสดงการตั้งค่ากริด

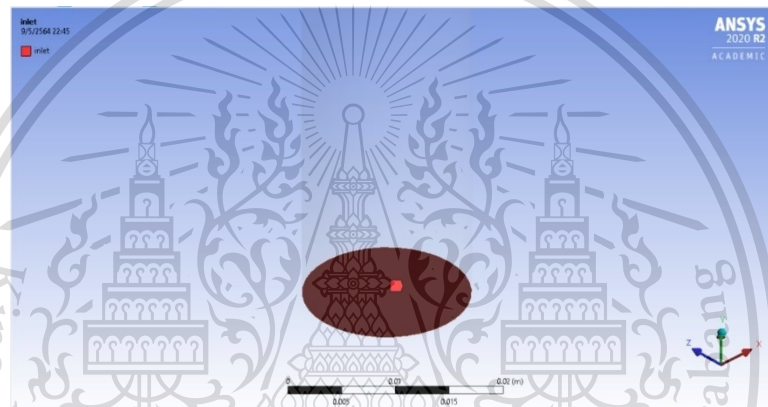
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

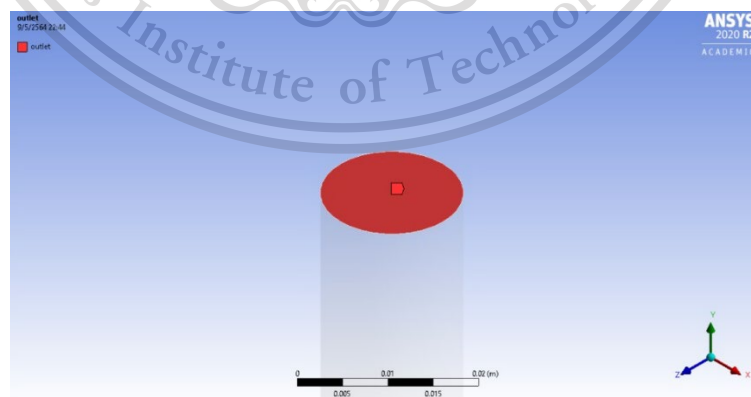
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3 แสดงรูปร่างกริด



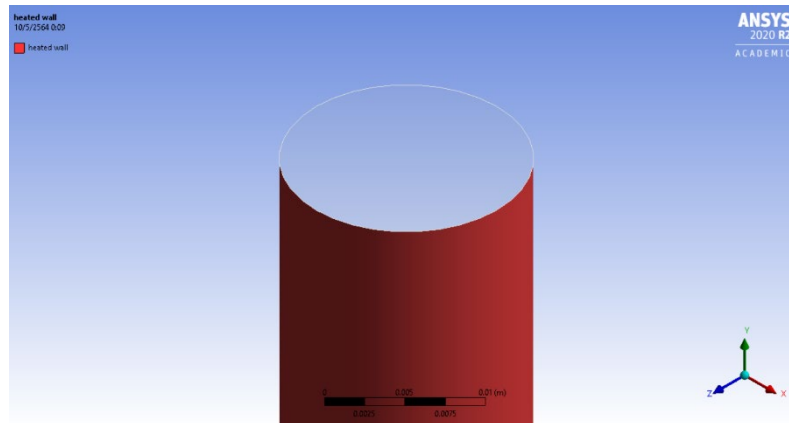
รูปที่ 3.4 แสดงทางเข้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 3.5 แสดงทางออกไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.6 แสดง heated wall

3.1.3 การกำหนดเงื่อนไขในแบบจำลอง (Model condition)

การตั้งค่าการจำลองจะแสดงในหัวข้อ 3.3.2 โดยมีเงื่อนไขการตั้งค่า คือ อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเท่ากับ 472.095 K อุณหภูมิอิ่มตัวเท่ากับ 530.295 K ฟลักซ์มวลเท่ากับ 900, 990 และ 1080 $\text{kg} / \text{m}^2\text{s}$ วัสดุทำมาจากเหล็ก ให้ฟลักซ์ความร้อน 395.8 kW/m^2

3.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง จะทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองของ Han-Zhong Tao และคณะ[2] โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนและค่า Vapor volume fraction

รูปที่ 3.7 และ 3.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนและค่า Vapor volume fraction ที่ฟลักซ์มวลเท่ากับ 900 $\text{kg} / \text{m}^2\text{s}$ ผลที่ได้พบว่าค่า h และค่า Vapor volume fraction ที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับ Han-Zhong Tao และคณะ[2] โดยค่าความคลาดเคลื่อนของค่า h และค่า Vapor volume fraction มีค่าเท่ากับ 25.30% และ 31.72% ตามลำดับ

รูปที่ 3.9 และ 3.10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนกับค่า Vapor volume fraction ที่ฟลักซ์มวลเท่ากับ 990 $\text{kg} / \text{m}^2\text{s}$ ผลที่ได้พบว่าค่า h และค่า Vapor volume fraction ที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับ Han-Zhong Tao และคณะ[2] โดยค่าความคลาดเคลื่อนของค่า h และค่า Vapor volume fraction มีค่าเท่ากับ 25.30% และ 31.72% ตามลำดับ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Tao และคณะ[2] โดยค่าความคลาดเคลื่อนของค่า h และค่า Vapor volume fraction มีค่าเท่ากับ 32.68% และ 33.35% ตามลำดับ

รูปที่ 3.11 และ 3.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนกับค่า Vapor volume fraction ที่ฟลักซ์มวลเท่ากับ $1080 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ผลที่ได้พบว่าค่า h และค่า Vapor volume fraction ที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับ Han-Zhong Tao และคณะ[2] โดยค่าความคลาดเคลื่อนของค่า h และค่า Vapor volume fraction มีค่าเท่ากับ 33.75% และ 35.21% ตามลำดับ

ในรูปที่ 3.7, 3.9 และ 3.11 ค่าคุณภาพไอน้ำมีค่าติดลบเนื่องจากการเดือดแบบ Subcooled boiling[9] จากกราฟจะเห็นได้ว่า ในช่วงแรกค่า h มีค่าลดลง เนื่องจากเป็นการไหลแบบสถานะเดียว เมื่อค่า x เพิ่มขึ้น (ติดลบน้อยลง) ค่า h มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากของไหลได้รับความร้อนจากผนังท่ออย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการเดือด ส่งผลให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้นและความร้อนแฝงจากการเปลี่ยนสถานะ ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนดีขึ้น นอกจากนั้นที่ $x \approx -0.14$ ค่า h ที่ได้จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าของ Han-Zhong Tao และคณะ[2] มาก ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิของของไหลกับอุณหภูมิผนังมีค่าใกล้เคียงกันมาก จากสูตร(2.3) ค่า h ที่ได้จึงมีค่าเข้าใกล้อนันต์ ซึ่งผลของ Han-Zhong Tao และคณะ[2] แสดงให้เห็นเฉพาะช่วงที่มีการเดือด

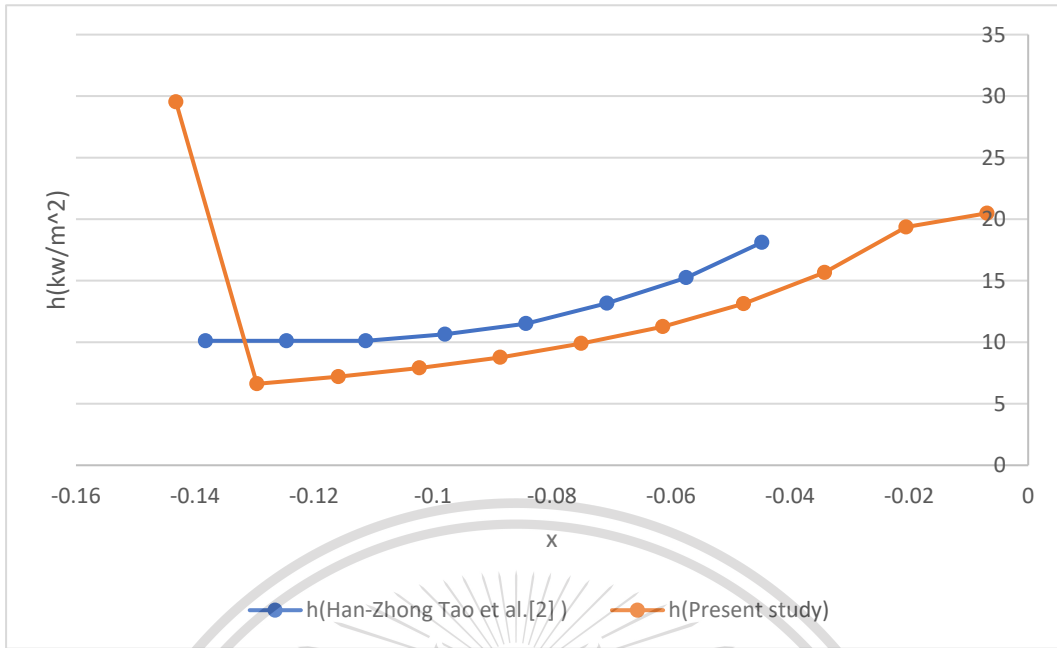
ในรูปที่ 3.8, 3.10 และ 3.12 แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นแสดงให้เห็นว่าเริ่มเกิดฟองที่ตำแหน่ง 1.2 m จากทางเข้าของท่อ ซึ่งก็สอดคล้องกับผลจาก Han-Zhong Tao และคณะ[2] อย่างไรก็ตามค่า Vapor volume fraction ที่ทำนายได้จะมีค่าน้อยกว่า

จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนและค่า Vapor volume fraction ที่ฟลักซ์มวลทั้ง 3 ค่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับผลของ Han-Zhong Tao และคณะ[2] จึงสามารถใช้เงื่อนไขการตั้งค่าของแบบจำลองนี้ในการศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นของของไหลได้ ค่าความผิดพลาดที่มีค่ามากเนื่องจากไม่สามารถใช้จำนวนกริดเทียบเท่าวิทยานิพนธ์ที่นำมาอ้างอิงได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์

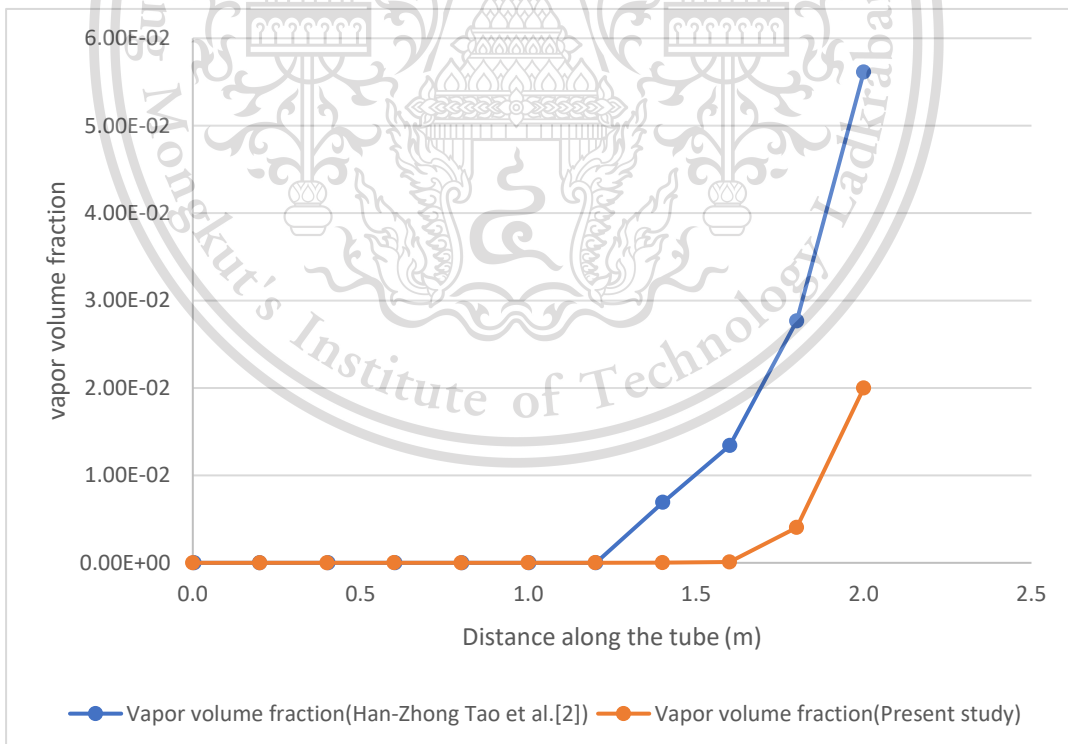
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(h) กับค่าคุณภาพไอ(x) ที่ $G = 900 \text{ kg/m}^2\text{s}$



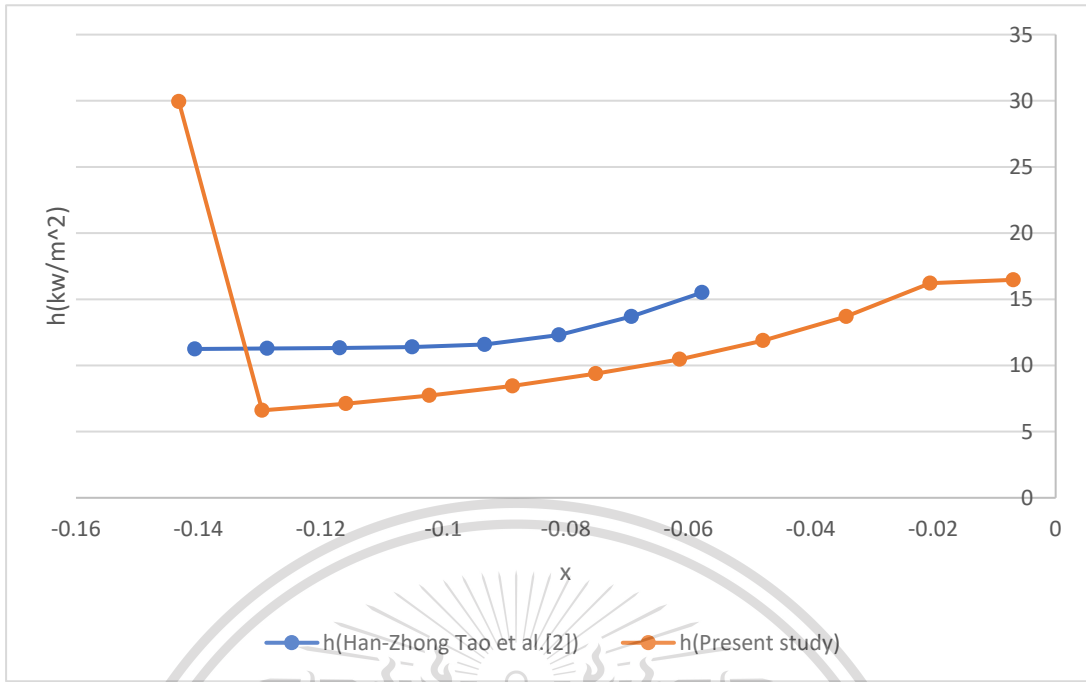
รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vapor volume fraction กับความยาวท่อ ที่ $G = 900 \text{ kg/m}^2\text{s}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

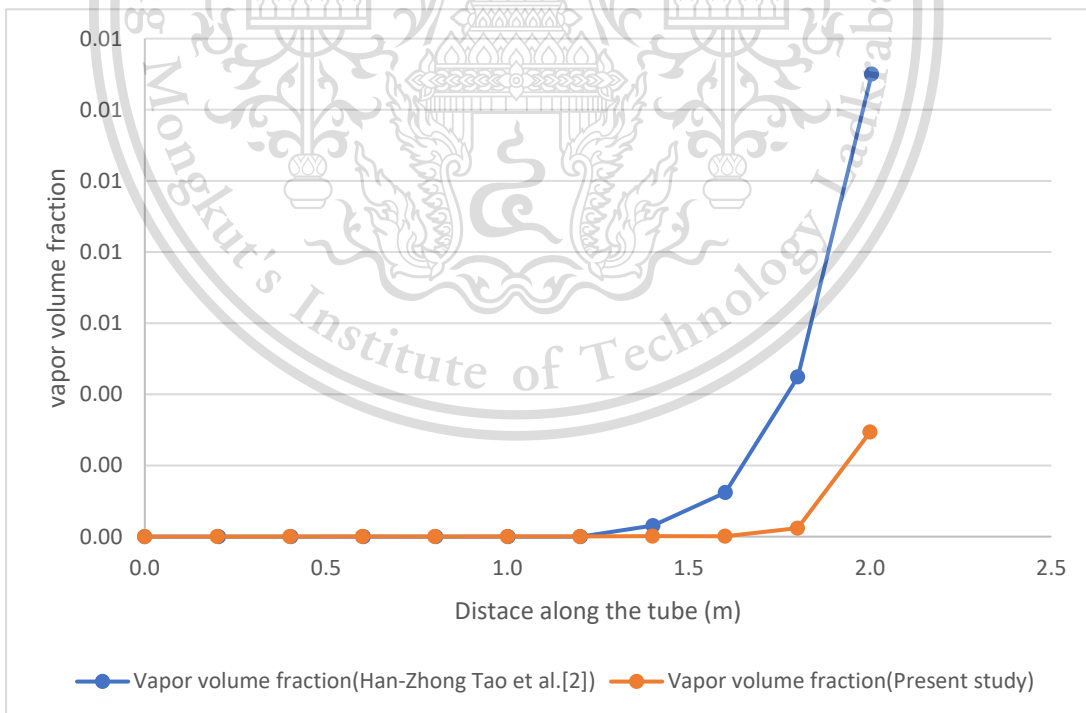
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



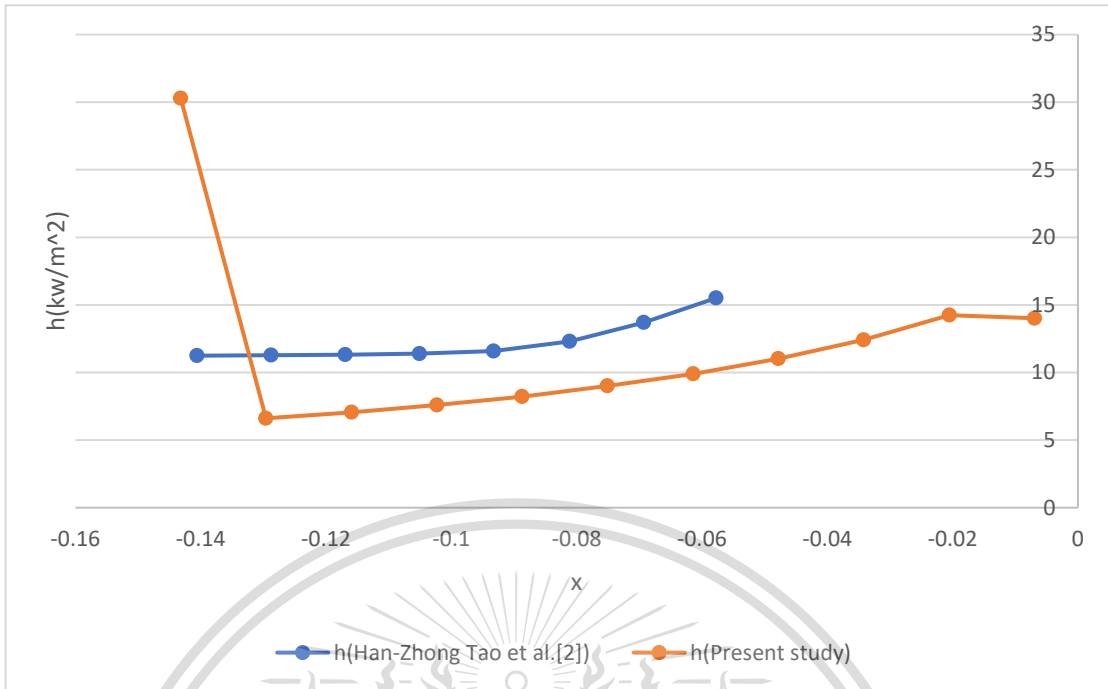
รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(h) กับค่าคุณภาพไอ(x) ที่ $G = 990 \text{ kg/m}^2\text{s}$



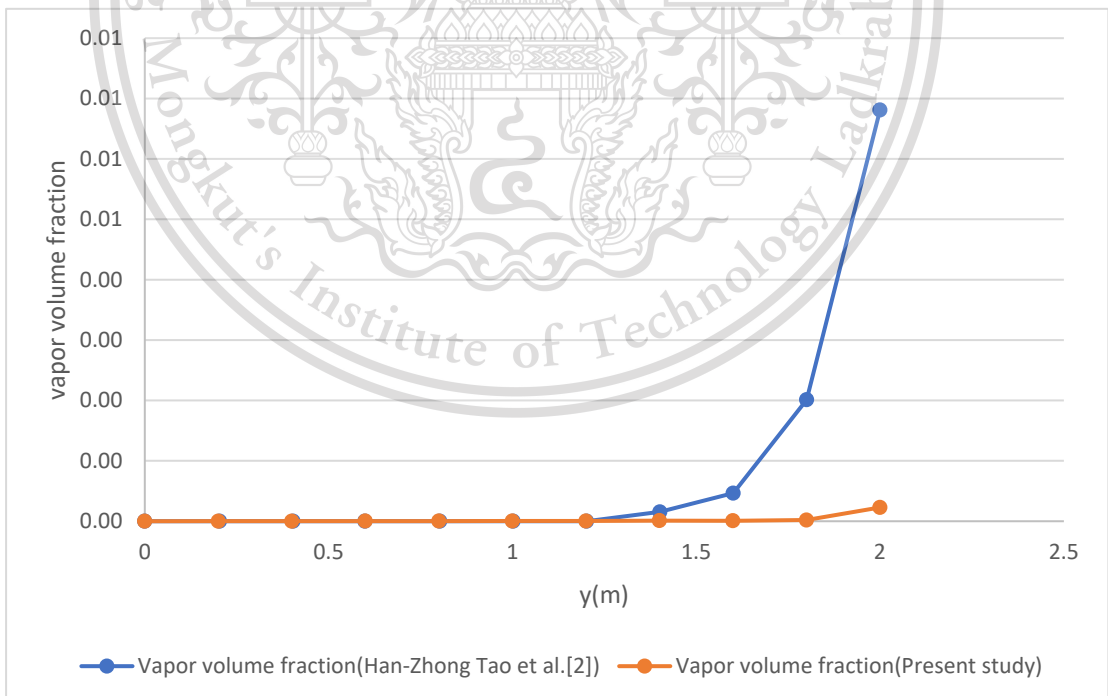
รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vapor volume fraction กับความยาวท่อ ที่ $G = 990 \text{ kg/m}^2\text{s}$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(h) กับค่าคุณภาพไอ(x) ที่ $G = 1080 \text{ kg/m}^2\text{s}$



รูปที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Vapor volume fraction กับความยาวท่อ ที่ $G = 1080 \text{ kg/m}^2\text{s}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

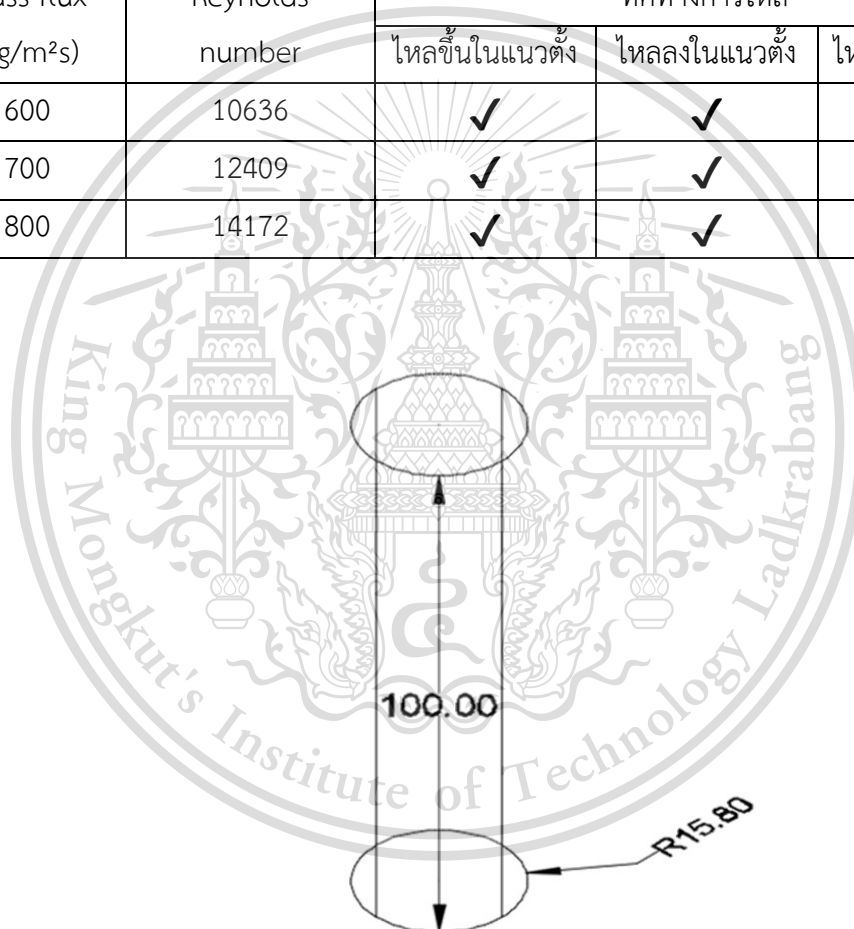
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 9 แบบจำลอง ดังที่แสดงในตารางที่ 3.2 ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองทั้งหมดเป็นไปตามหัวข้อที่ 3.3.1 และ 3.3.2 ซึ่งเป็นตัวอย่างการตั้งค่าแบบจำลองการไหลลงในแนวตั้ง ที่ค่าพลาสม่าเท่ากับ $800 \text{ kg/m}^2\text{s}$

ตารางที่ 3.1 แสดงแบบจำลองที่ทำการศึกษา

Mass flux ($\text{kg/m}^2\text{s}$)	Reynolds number	ทิศทางการไหล		
		ไหลขึ้นในแนวตั้ง	ไหลลงในแนวตั้ง	ไหลในแนวระดับ
600	10636	✓	✓	✓
700	12409	✓	✓	✓
800	14172	✓	✓	✓



รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะท่อ

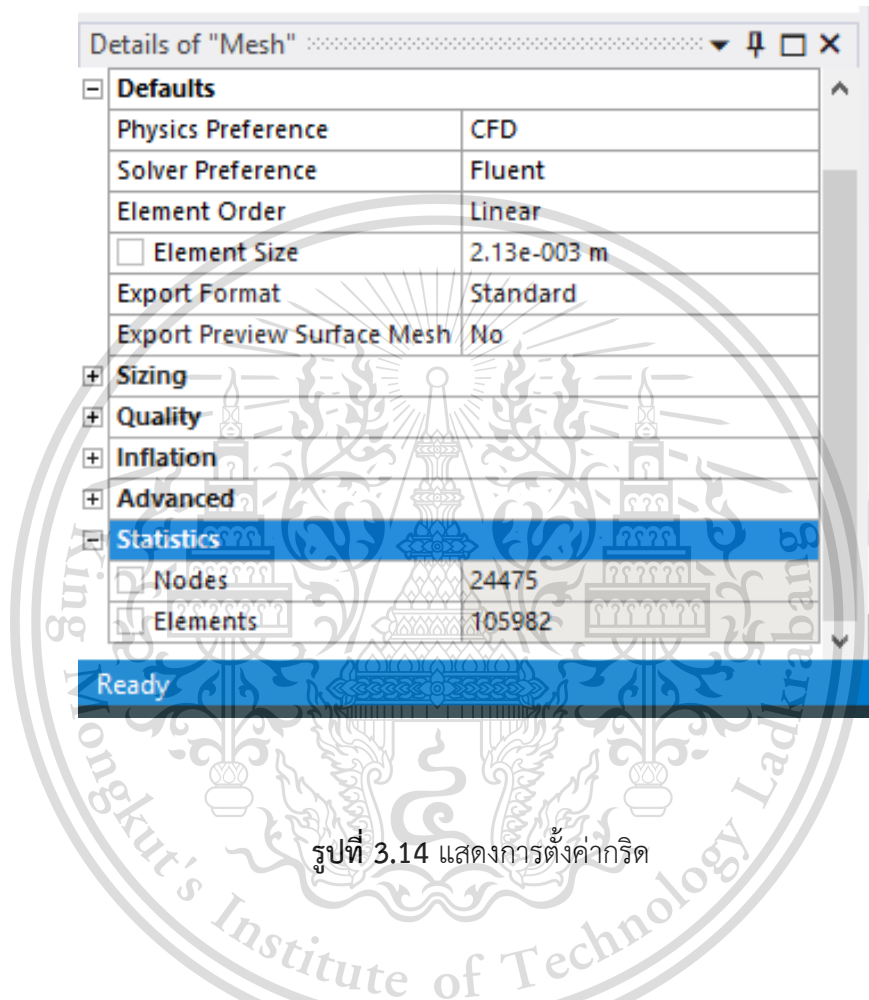
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะท่อที่ใช้ในการศึกษา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.8 mm ยาว 1 m วัสดุทำ
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ผู้อื่นห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
มาจากเหล็ก

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

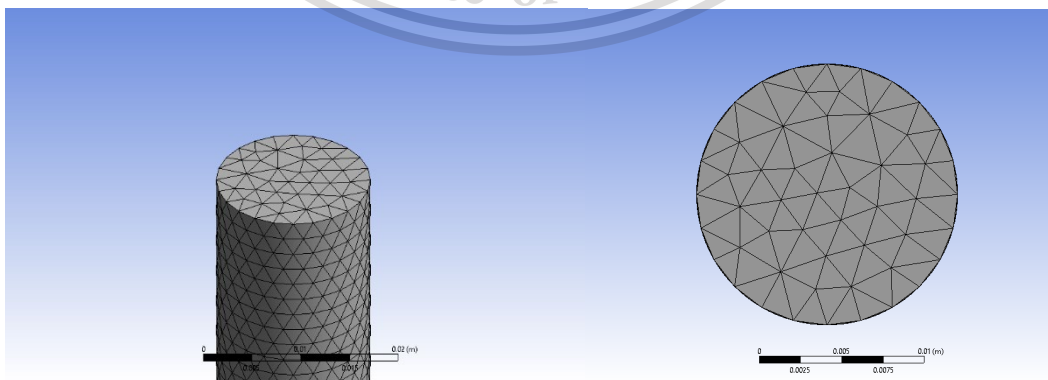
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.1 การแบ่งกริดที่ใช้จำลอง (meshing)

กริดที่ใช้ในการจำลองมีขนาดเดียวกับแบบจำลองที่ใช้ในการตรวจสอบ โดยกำหนด Element Size เป็น 0.00213 m และในหัวข้อ Sizing กำหนด Use Adaptive Sizing เป็น Yes ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงการตั้งค่ากริด

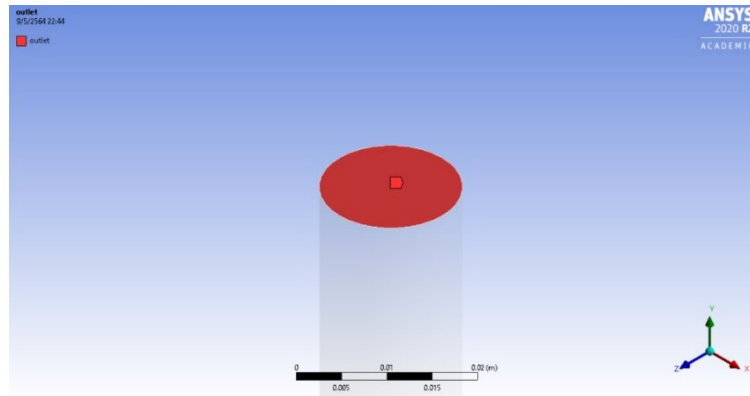


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

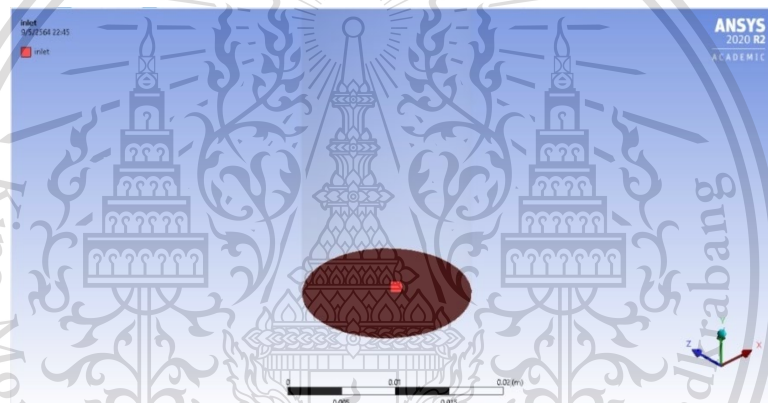
รูปที่ 3.15 แสดงรูปร่างกริด

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

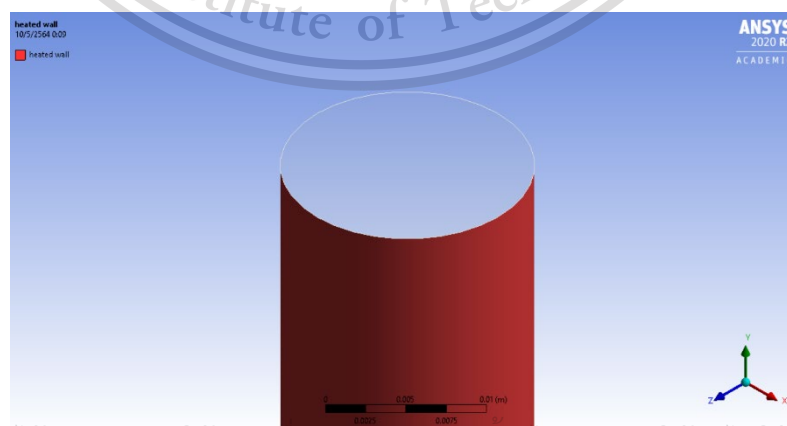
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.16 แสดงทางเข้า



รูปที่ 3.17 แสดงทางออก



รูปที่ 3.18 แสดง Heated wall

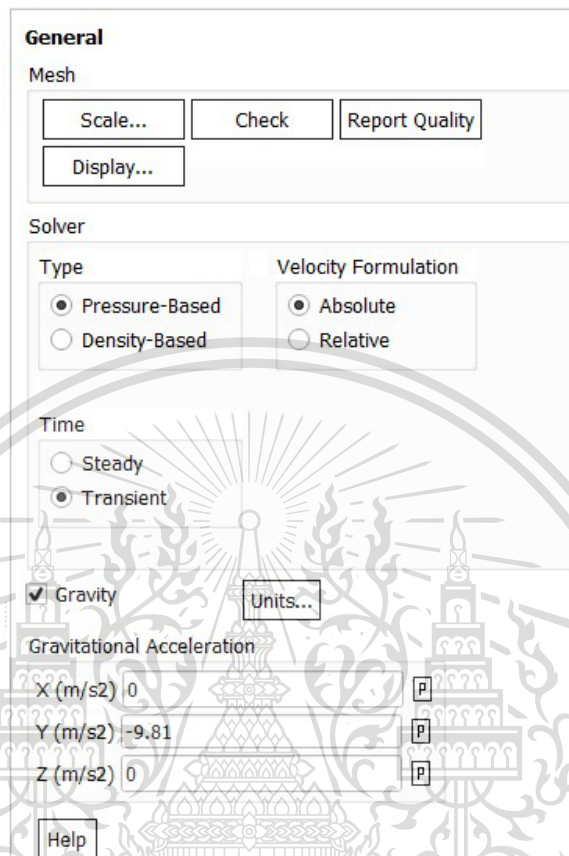
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.2 การกำหนดเงื่อนไขในแบบจำลอง (Model condition)



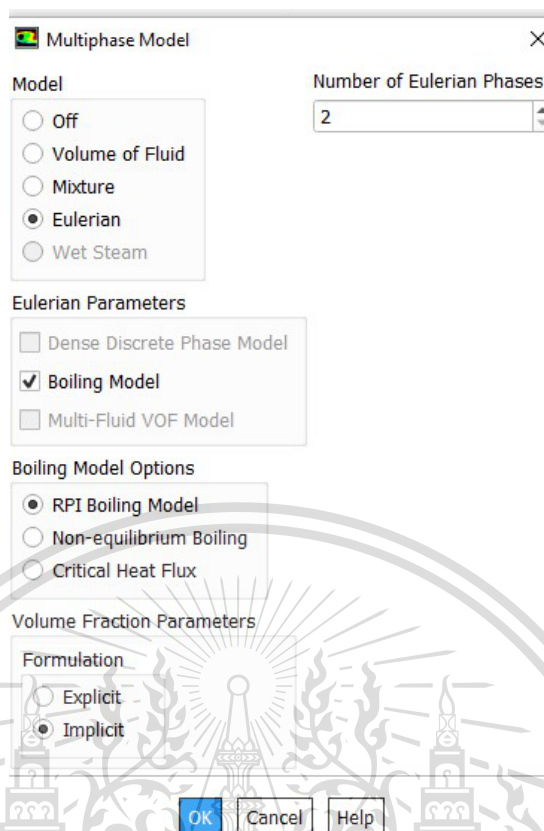
รูปที่ 3.19 แสดงการตั้งค่าทั่วไป

การกำหนดเงื่อนไขของแบบจำลองในหัวข้อทั่วไป (General) กำหนดการไหลเป็นแบบขึ้นอยู่กับเวลา (Transient) และกำหนดแรงโน้มถ่วง (Gravity) แกน y เท่ากับ -9.81 m/s^2 แสดงรายละเอียดการกำหนดค่าต่างๆดังรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.20 แสดงการตั้งค่าแบบจำลองสองสถานะ

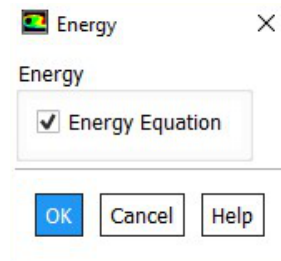
รูปที่ 3.20 แสดงการกำหนดค่าในหัวข้อแบบจำลอง (Model) กำหนดการไหลให้เป็นการไหลสองสถานะและใช้ระเบียบวิธีแบบ Eulerian ในการแก้ปัญหาช่วยให้สามารถสร้างแบบจำลองของสถานะที่แยกจากกันหลายสถานะ แต่โต้ตอบกันได้ กำหนด Energy เป็น on ดังรูปที่ 3.21 แบบจำลองความหนืดใช้แบบจำลองความปั่นป่วน k-epsilon RNG ใช้ทฤษฎีสนามควอนตัม (Renormalization group) ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการไหลเวียน เหมาะสำหรับแบบจำลองสองสถานะ ดังรูปที่ 3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

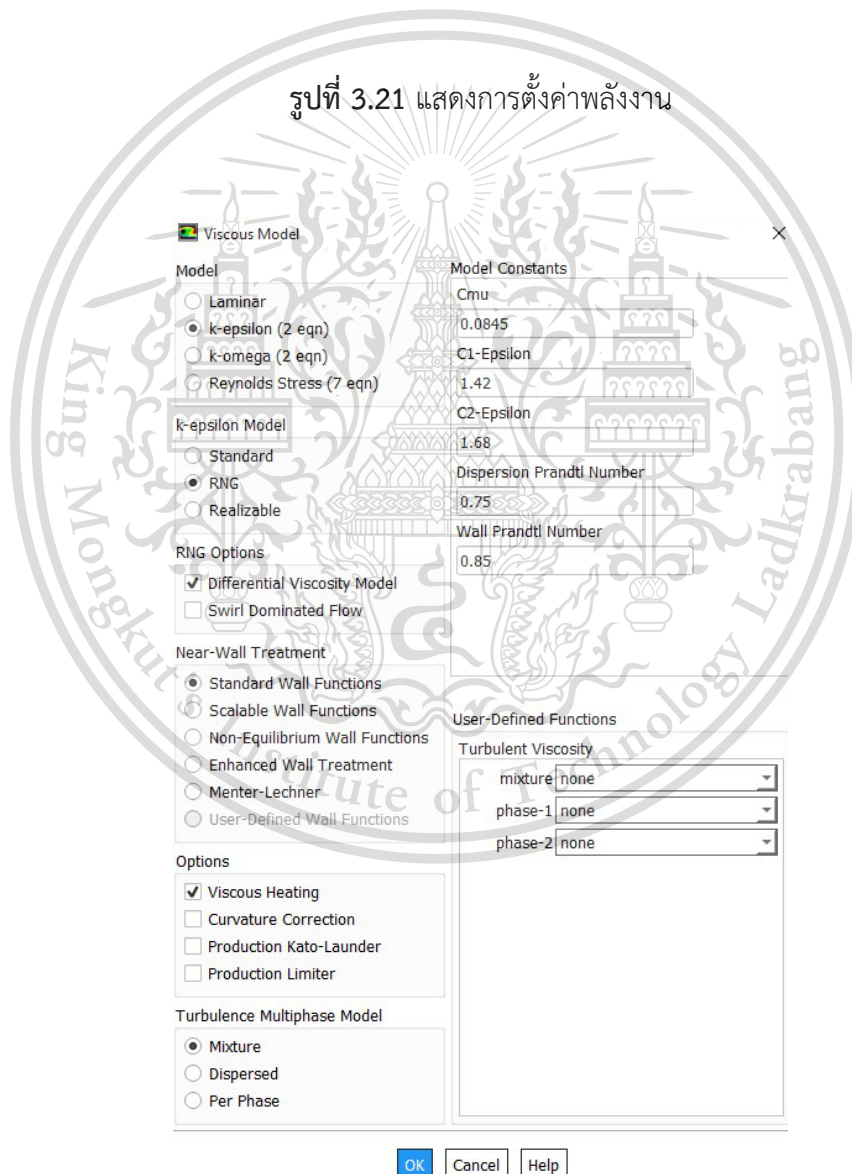
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การกำหนดในหัวข้อสถานะ (Phase) กำหนดน้ำสถานะของเหลวเป็นสถานะแรก (Primary phase) และกำหนดน้ำสถานะไอเป็นสถานะสอง (Secondary phase) ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.21 แสดงการตั้งค่าพลังงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.22 แสดงการตั้งค่าแบบจำลองความปั่นป่วน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



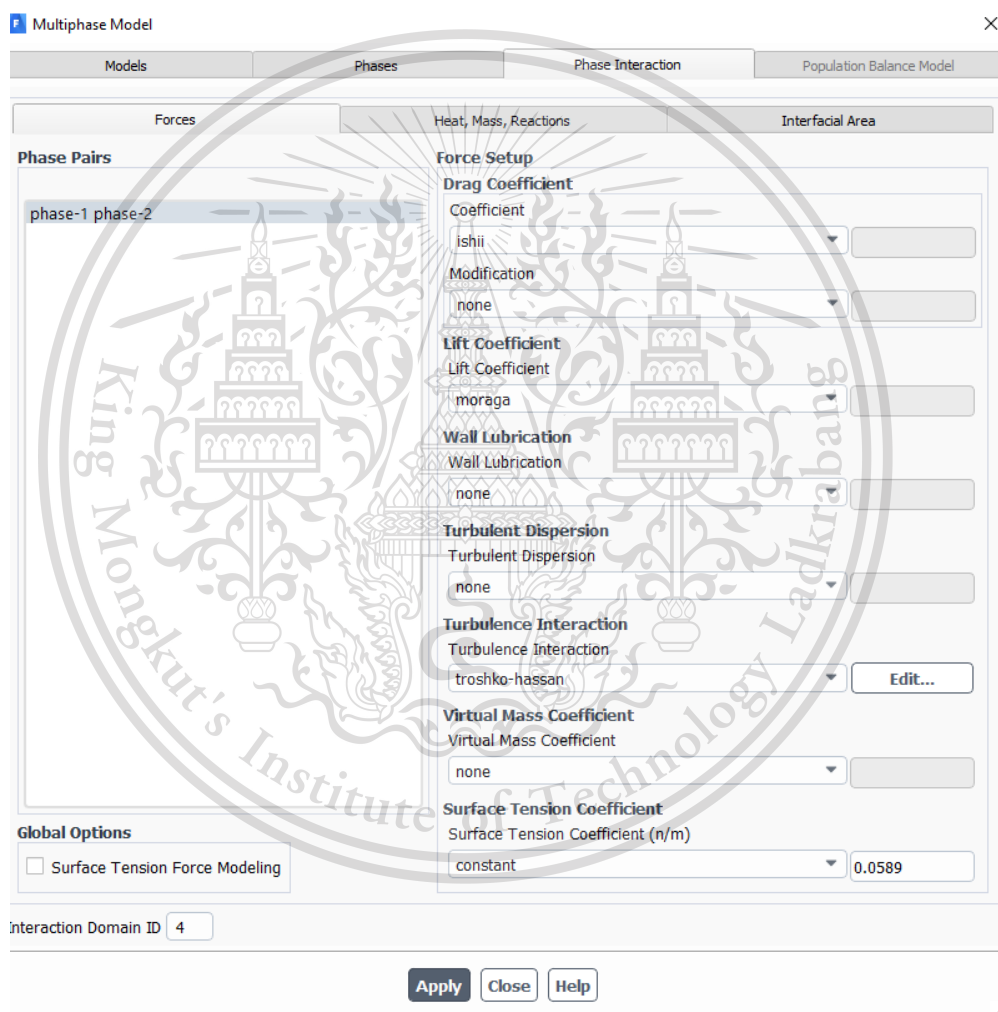
รูปที่ 3.23 แสดงการตั้งค่าสถานะของของไหลสองสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กำหนดสัมประสิทธิ์แรงต้านระหว่างน้ำสถานะของเหลวกับน้ำสถานะไอตั้งเป็น Ishii กำหนดสัมประสิทธิ์แรงยกระหว่างน้ำสถานะของเหลวกับน้ำสถานะไอตั้งเป็น Moraga กำหนดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำสถานะของเหลวกับน้ำสถานะไอตั้งเป็น Ranz-Marshall กำหนดการถ่ายโอนมวลระหว่างน้ำสถานะของเหลวกับน้ำสถานะไอตั้งเป็น Boiling แล้วกำหนด Saturation temperature เท่ากับ 373.15 K และกำหนดสัมประสิทธิ์แรงตึงผิวระหว่างน้ำสถานะของเหลวกับน้ำสถานะไอ เท่ากับ 0.0589 N/m ดังรูปที่ 3.24 - 3.28

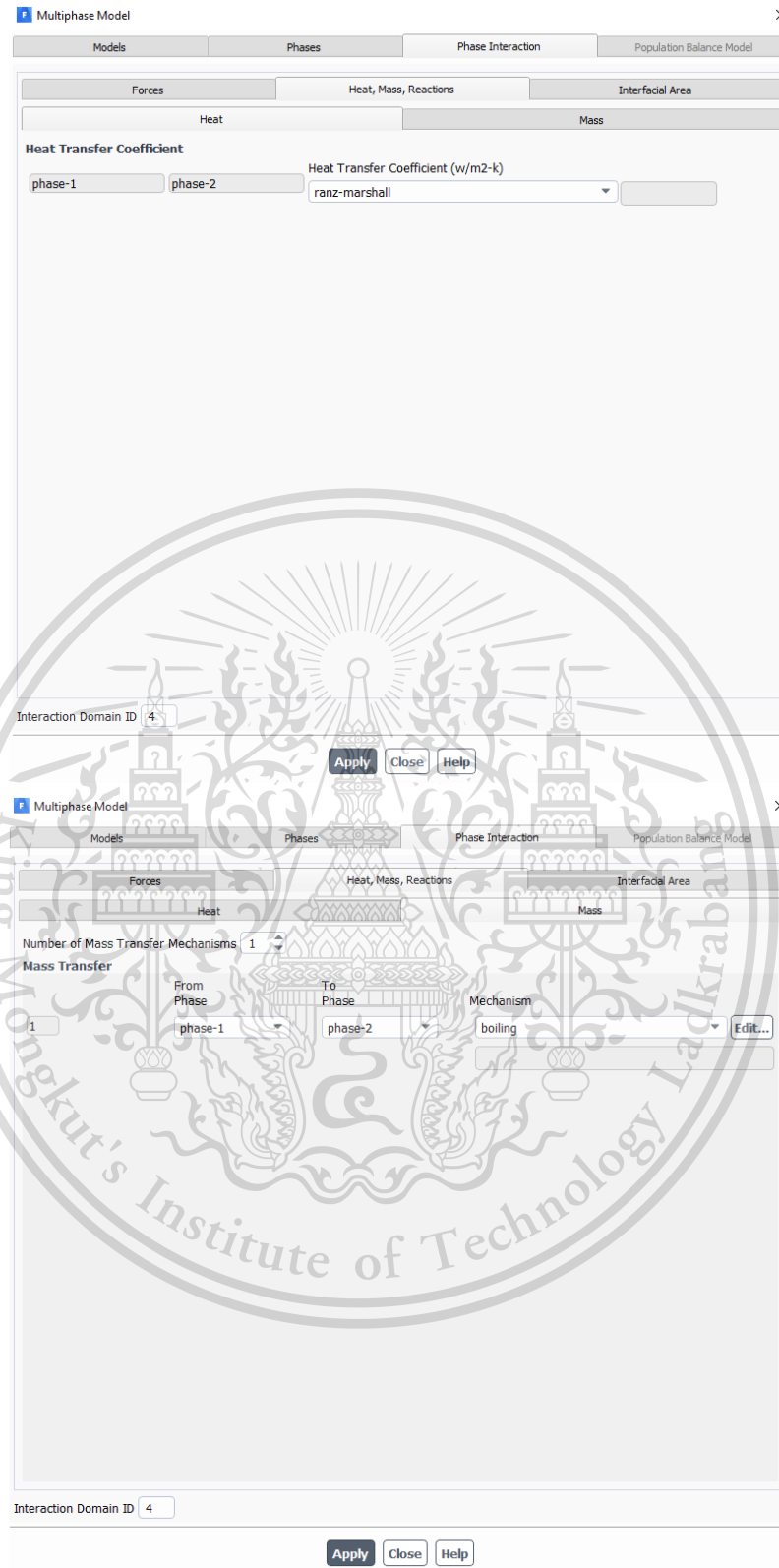


รูปที่ 3.24 แสดงการตั้งค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน, สัมประสิทธิ์แรงยก และสัมประสิทธิ์แรงตึงผิวระหว่างน้ำสถานะของเหลวกับน้ำสถานะไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.25 แสดงการตั้งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำสถานะของเหลวกับน้ำสถานะ การคำนวณค่า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

F Boiling Model X

Interfacial Model Constants

Liquid-Interface Transfer Coeff.
1

Evaporation-Condensation Property

Saturation Temperature (k)
constant Edit...
373.15

Boiling Model Parameters

Bubble Departure Diameter (m)
tolubinski-kostanchuk Edit...

Frequency of Bubble Departure
cole Edit...

Nucleation Site Density
lemmert-chawla Edit...

Area Influence Coeff.
delvalle-kenning Edit...

Quenching Model Correction

Bubble Waiting Time Coeff.
1

Correction Model

OK Cancel Help

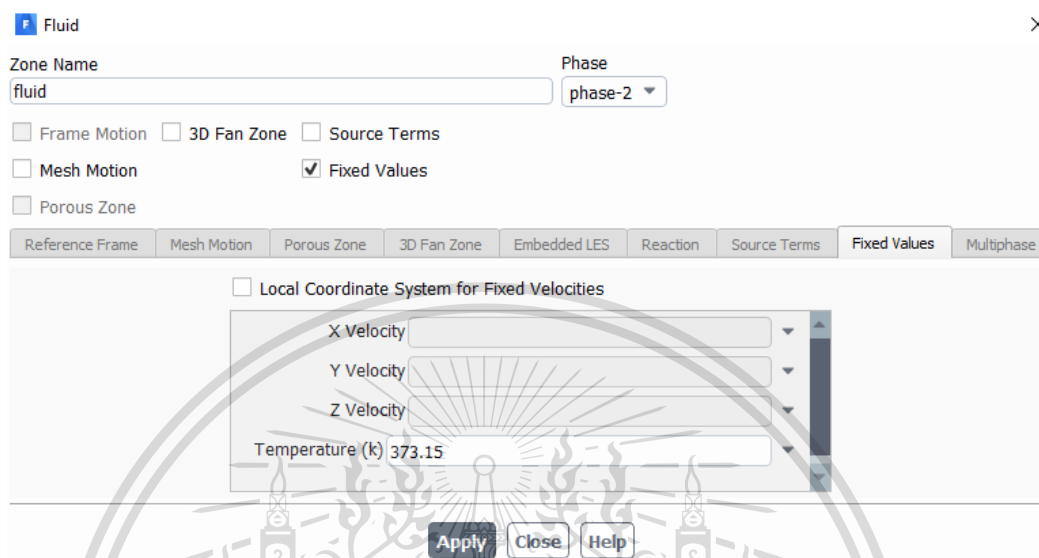
รูปที่ 3.26 แสดงการตั้งค่าการถ่ายโอนมวลระหว่างน้ำสถานะของเหลวกับน้ำสถานะไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การตั้งค่า Cell Zone Conditions กำหนด Fluid สถานะไอเลือก Fixed Values ใส่ค่าคงที่ สำหรับอุณหภูมิเท่ากับ 373.15 K เพื่อให้ของไหลในสถานะไออยู่ในสภาพอิ่มตัวเสมอ ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 แสดงการตั้งค่า Cell Zone Conditions ของ Fluid สถานะไอ

กำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) ตั้ง Specification Method ที่ทางเข้าของน้ำ สถานะของผสมเป็น K and Epsilon กำหนดความเร็วและอุณหภูมิที่ทางเข้าของน้ำสถานะของเหลว เท่ากับ 0.80157 m/s และ 298.15 K ตามลำดับ กำหนดความเร็ว อุณหภูมิและ Volume Fraction ที่ทางเข้าของน้ำสถานะไอเท่ากับ 0 m/s, 373.15 K และ 0 ตามลำดับ ตั้ง Specification Method ที่ทางออกของน้ำสถานะของผสมเป็น Intensity and Hydraulic Diameter แล้วกำหนด Backflow Turbulent Intensity และ Backflow Hydraulic Diameter เท่ากับ 1% และ 0.0154 m กำหนดอุณหภูมิที่ออกของน้ำสถานะของเหลวเท่ากับ 373.15 K กำหนดอุณหภูมิทางออกของน้ำสถานะไอ เท่ากับ 373.15 K กำหนดเงื่อนไขที่ผนังท่อ Heated Wall พลั๊กซ์ความร้อนเท่ากับ 800000 W/m² ดังรูปที่ 3.28 - 3.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Velocity Inlet ×

Zone Name: inlet Phase: mixture

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal) 0

Turbulence

Specification Method: K and Epsilon

Turbulent Kinetic Energy (m2/s2) 1

Turbulent Dissipation Rate (m2/s3) 1

Apply Close Help

รูปที่ 3.28 แสดงการตั้งค่าโมเมนต์ที่ทางเข้าของน้ำสถานะของผสม

Velocity Inlet ×

Zone Name: inlet Phase: phase-1

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Velocity Specification Method: Magnitude, Normal to Boundary

Reference Frame: Absolute

Velocity Magnitude (m/s) 0.80157

Apply Close Help

Velocity Inlet ×

Zone Name: inlet Phase: phase-1

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

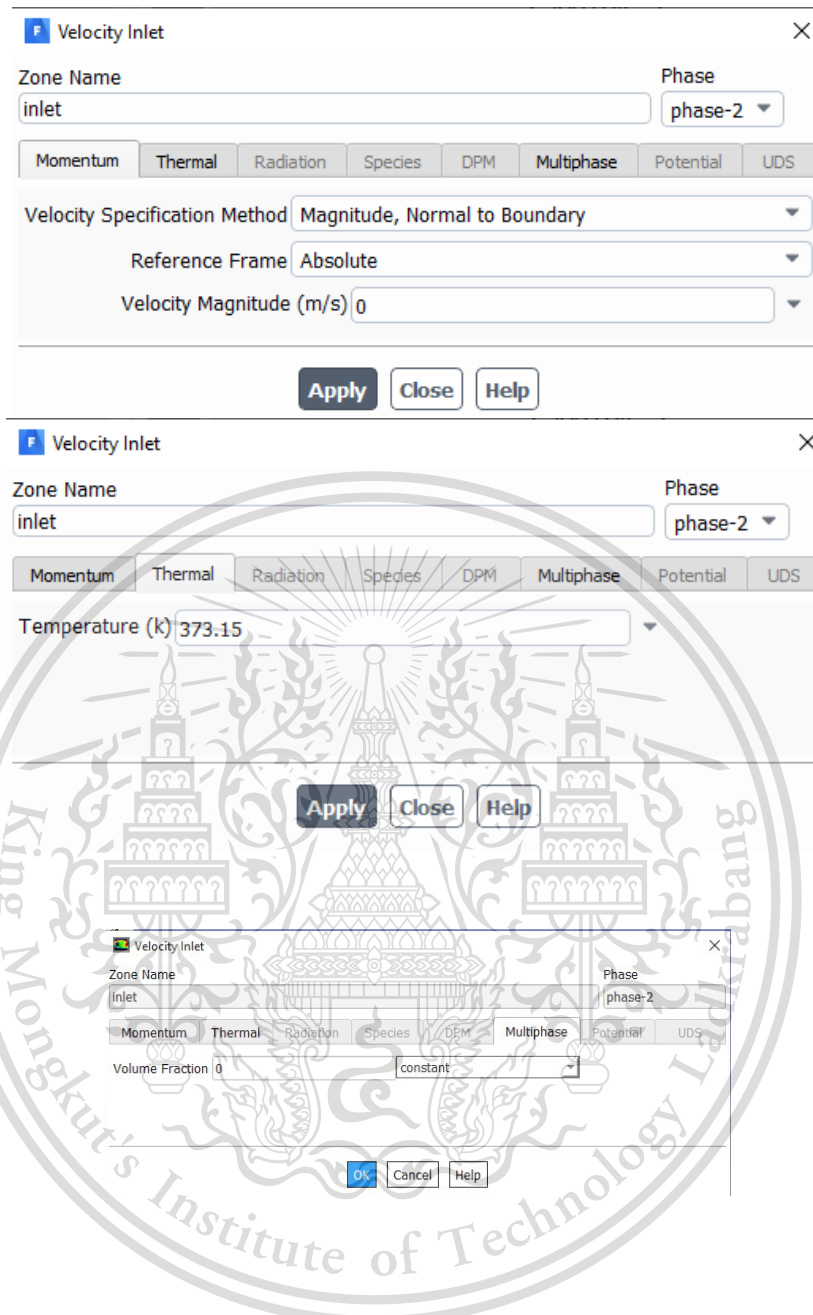
Temperature (k) 298.15

Apply Close Help

รูปที่ 3.29 แสดงการตั้งค่าโมเมนต์และอุณหภูมิที่ทางเข้าของน้ำสถานะของเหลว
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.30 แสดงการตั้งค่าโมเมนตัม, อุณหภูมิ และ Multiphase ที่ทางเข้าของน้ำสถานะไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Pressure Outlet

Zone Name: outlet Phase: mixture

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Gauge Pressure (pascal) 0

Pressure Profile Multiplier 1

Backflow Direction Specification Method Normal to Boundary

Radial Equilibrium Pressure Distribution

Turbulence

Specification Method Intensity and Hydraulic Diameter

Backflow Turbulent Intensity (%) 1

Backflow Hydraulic Diameter (m) 0.0154

Apply Close Help

รูปที่ 3.31 แสดงการตั้งค่าโมเมนต์ที่ทางออกของน้ำสถานะของผสม

Pressure Outlet

Zone Name: outlet Phase: phase-1

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Backflow Total Temperature (K) 373.15

Apply Close Help

รูปที่ 3.32 แสดงการตั้งค่าอุณหภูมิที่ทางออกของน้ำสถานะของเหลว

Pressure Outlet

Zone Name: outlet Phase: phase-2

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase Potential UDS

Backflow Total Temperature (k) 373.15

Apply Close Help

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามรูปที่ 3.33 แสดงการตั้งค่าอุณหภูมิที่ทางออกของน้ำสถานะไอทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Wall

Zone Name: heated_wall Phase: mixture

Adjacent Cell Zone: fluid

Momentum Thermal Radiation Species DPM Multiphase UDS Potential Structure

Thermal Conditions

Heat Flux Heat Flux (w/m2): 800000

Temperature Wall Thickness (m): 0

Convection Heat Generation Rate (w/m3): 0

Radiation

Mixed Shell Conduction 1 Layer Edit...

via System Coupling

via Mapped Interface

Material Name: steel Edit...

Apply Close Help

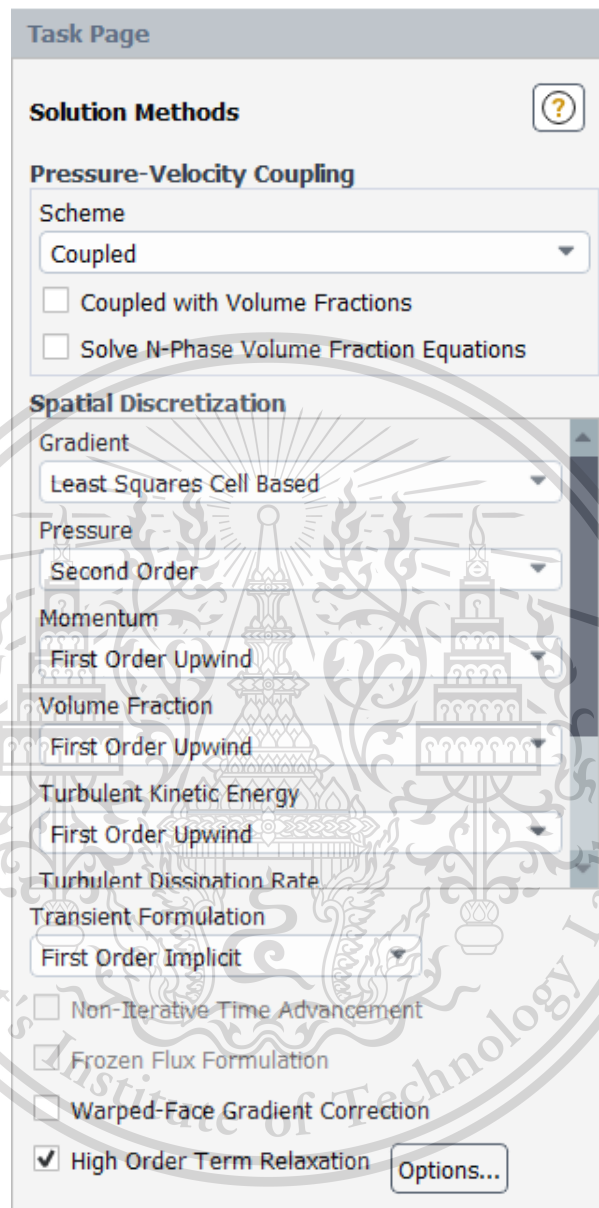
รูปที่ 3.34 แสดงการตั้งค่าฟลักซ์ความร้อน

การหาผลเฉลยความดันและความเร็วใช้ระเบียบวิธีแบบ Coupled เหมาะสำหรับการปั่นป่วน และเหมาะสำหรับการทำ Iterations แต่ครั้งจะมีการอัปเดตคุณสมบัติให้เป็นปัจจุบัน ตั้งค่า Flow Courant Number เท่ากับ 10 ตั้งค่า Explicit Relaxation Factors ให้ Pressure และ Momentum เท่ากับ 1 และ 1 ตั้งค่า Under-Relaxation Factors ให้ Density เท่ากับ 1 Body Forces เท่ากับ 0.5 Vaporization Mass เท่ากับ 0.5 Volume Fraction เท่ากับ 0.3 Turbulent Kinetic Energy เท่ากับ 0.3 Turbulent Dissipation Rate เท่ากับ 0.3 Turbulent Viscosity เท่ากับ 0.5 Energy เท่ากับ 0.6 ตั้งค่า Residual Monitors โดยเลือก Compute Local Scale จากนั้นเลือก Local Scale จากหัวข้อ Reporting Option รายละเอียดเป็นดังรูปที่ 3.35 - 3.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.




รูปที่ 3.35 แสดงการหาผลเฉลยความดันและความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Task Page

Solution Controls 

Flow Courant Number
10

Explicit Relaxation Factors

Momentum 1

Pressure 1

Under-Relaxation Factors

Density 1

Body Forces 0.5

Vaporization Mass 0.5

Volume Fraction 0.3

Turbulent Kinetic Energy 0.3

Turbulent Dissipation Rate 0.3

Turbulent Viscosity 0.5

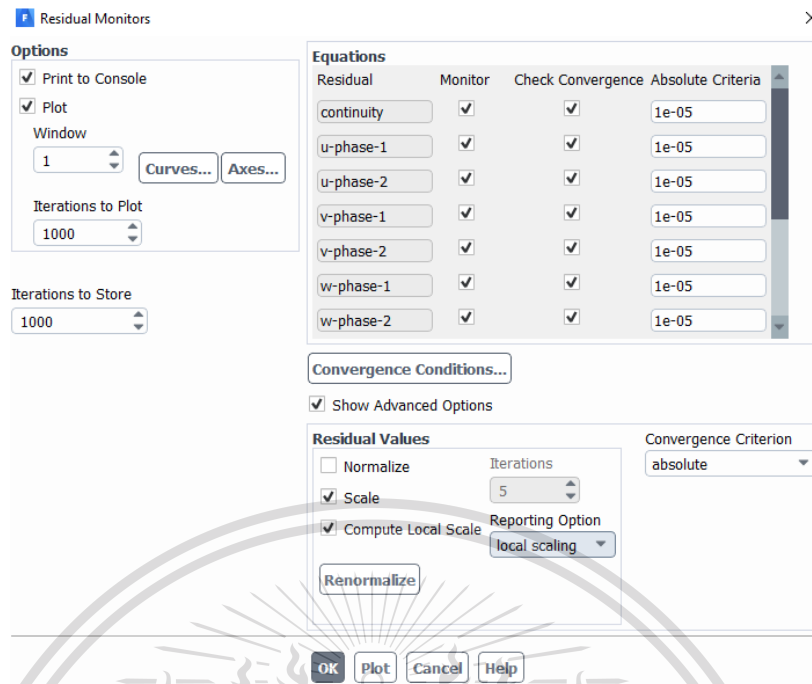
Energy 0.6

รูปที่ 3.36 แสดงการตั้งค่า Solution Controls

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

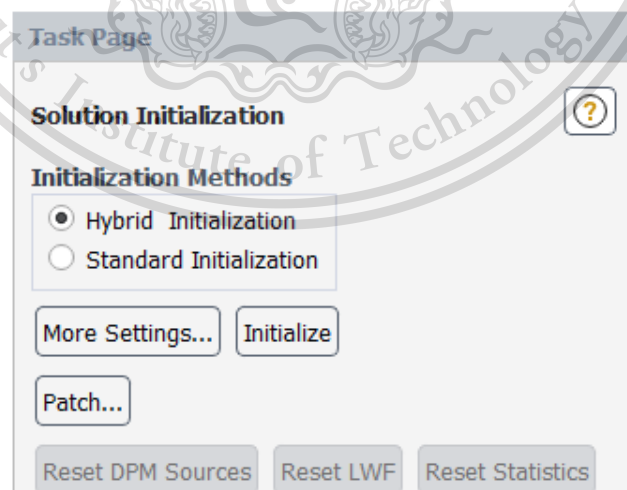
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.37 แสดงการตั้งค่า Residual

กำหนดวิธีสมมุติค่าตอบเริ่มต้นแบบ Hybrid Initialization ดังรูปที่ 3.38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในหัวข้อ Run Calculation ตั้งค่าดังรูปที่ 3.39 และกำหนดให้เวลาการไหลเป็น 1.994 วินาที

รูปที่ 3.39 แสดงการตั้งค่าในหัวข้อ Run Calculation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขและการอภิปราย

แบบจำลองการไหลของของไหลแบบเดือดในท่อกลมแบ่งเป็น 3 ทิศทางการไหล คือ การไหลขึ้นในแนวตั้ง การไหลลงในแนวตั้ง และการไหลในแนวระดับ ที่ค่าพลาซิมวลต่าง ๆ ท่อกลมที่พิจารณา มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.8 mm ยาว 1 m และให้พลาซิมวลความร้อนคงที่ 800 kW/cm² ที่ผนังท่อ

4.1 รูปแบบการไหลสองสถานะแบบเดือดในท่อกลม

ผลการทดลองพบว่าที่ค่าพลาซิมวลต่ำจะเกิดฟองมาก ซึ่งจำลองที่ $G = 600, 700$ และ $800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ตามลำดับ เนื่องจากที่ค่าพลาซิมวลต่ำ จะมีความเร็วในการไหลของของไหลต่ำ ทำให้มีเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนนานขึ้น จึงมีการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นและเกิดฟองมากกว่า (พิจารณาในกรณีที่เป็นการไหลแบบปั่นป่วน)

4.1.1 ทิศทางการไหลขึ้นในแนวตั้ง

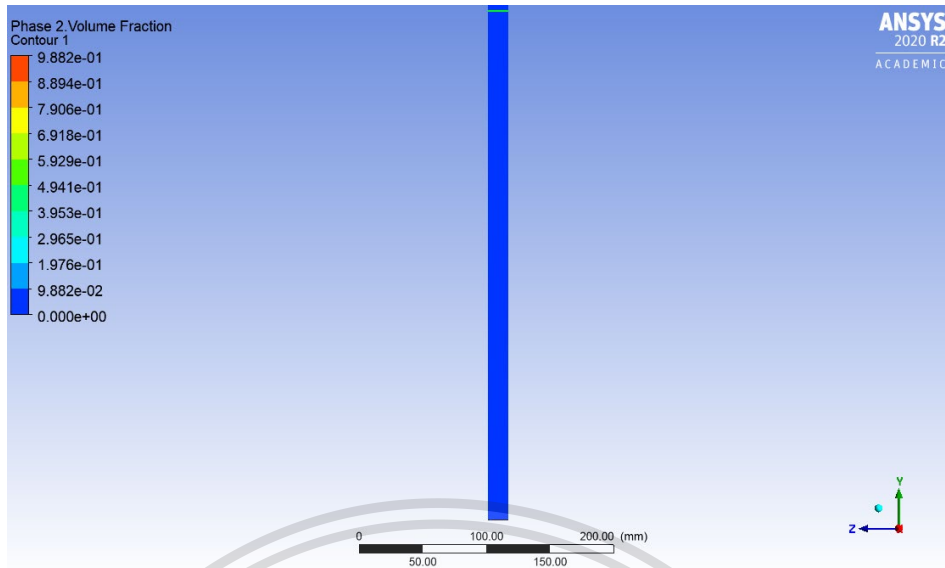
จากรูปผลการทดลองท่อกลมที่มีทิศทางการไหลขึ้นในแนวตั้ง พบว่าที่เข้าถึงระยะ 0.6 เมตร จะไม่เห็นฟอง แต่ในความเป็นจริงคือเริ่มเกิดการเดือด และมีฟองอากาศเกิดขึ้นน้อยมากจนแทบมองไม่เห็น ที่ค่า $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ จะเริ่มเห็นฟองชัดเจนที่ระยะเกือบ 0.8 เมตร ที่ค่า $G = 700$ และ $800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ จะเริ่มเห็นฟองชัดเจนที่ปลายท่อ

รูปที่ 4.1 - 4.3 แสดงรูปแบบการไหลที่พลาซิมวลต่าง ๆ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

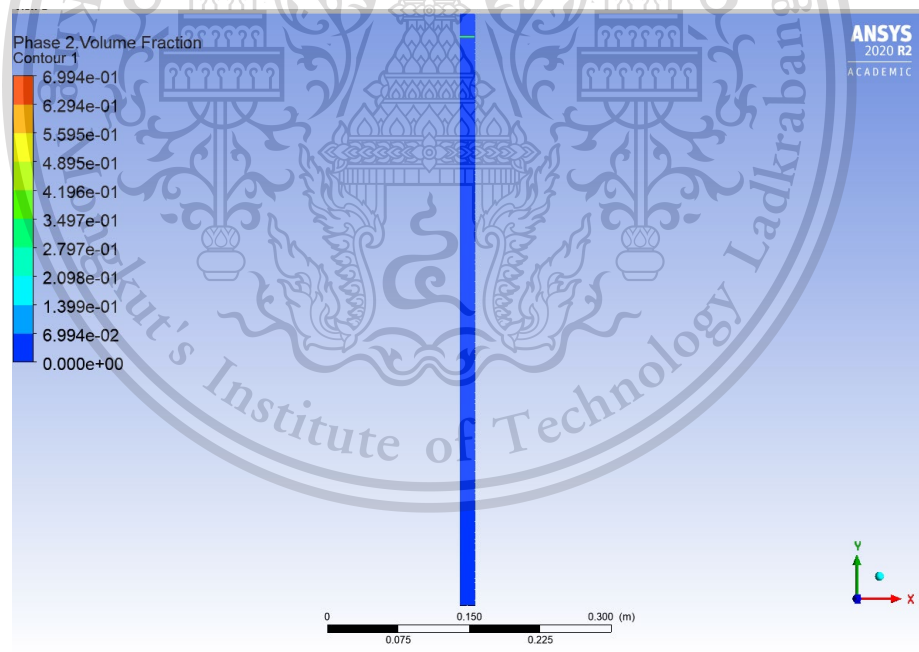
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

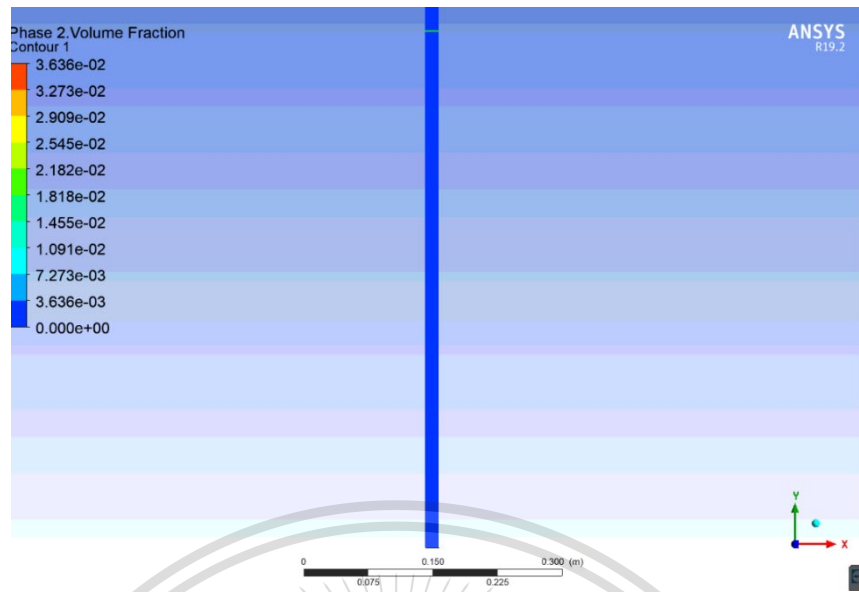


รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

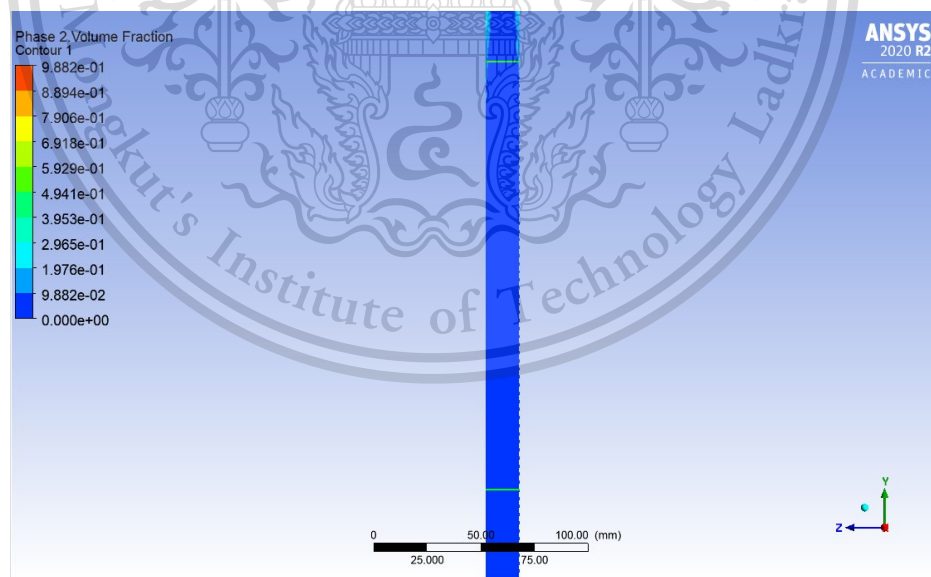
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

รูปที่ 4.4 - 4.6 แสดงรูปแบบการไหลที่ฟลักซ์มวลต่าง ๆ ที่ระยะท่ 0.6 - 0.8 m

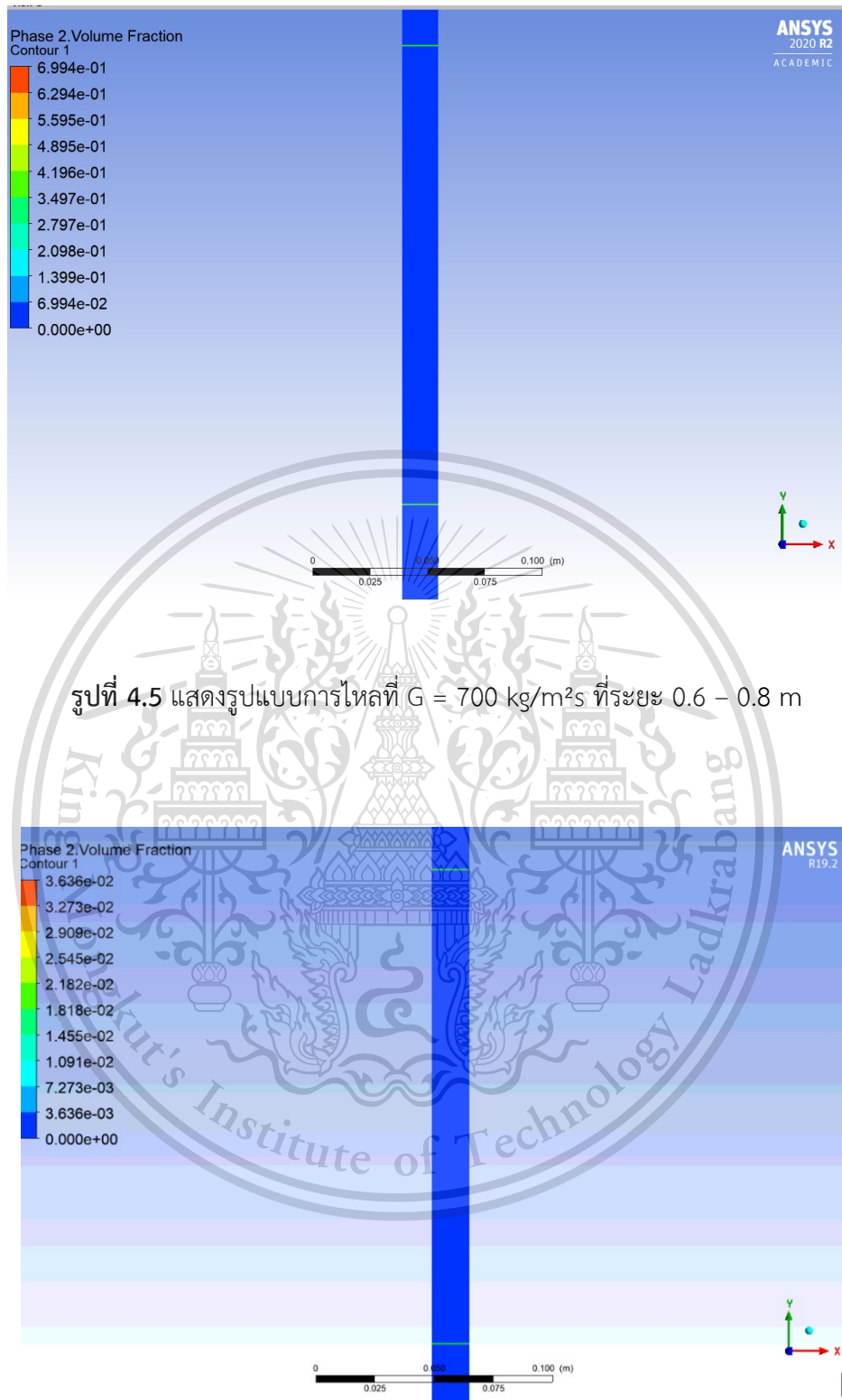


รูปที่ 4.4 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 - 0.8 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



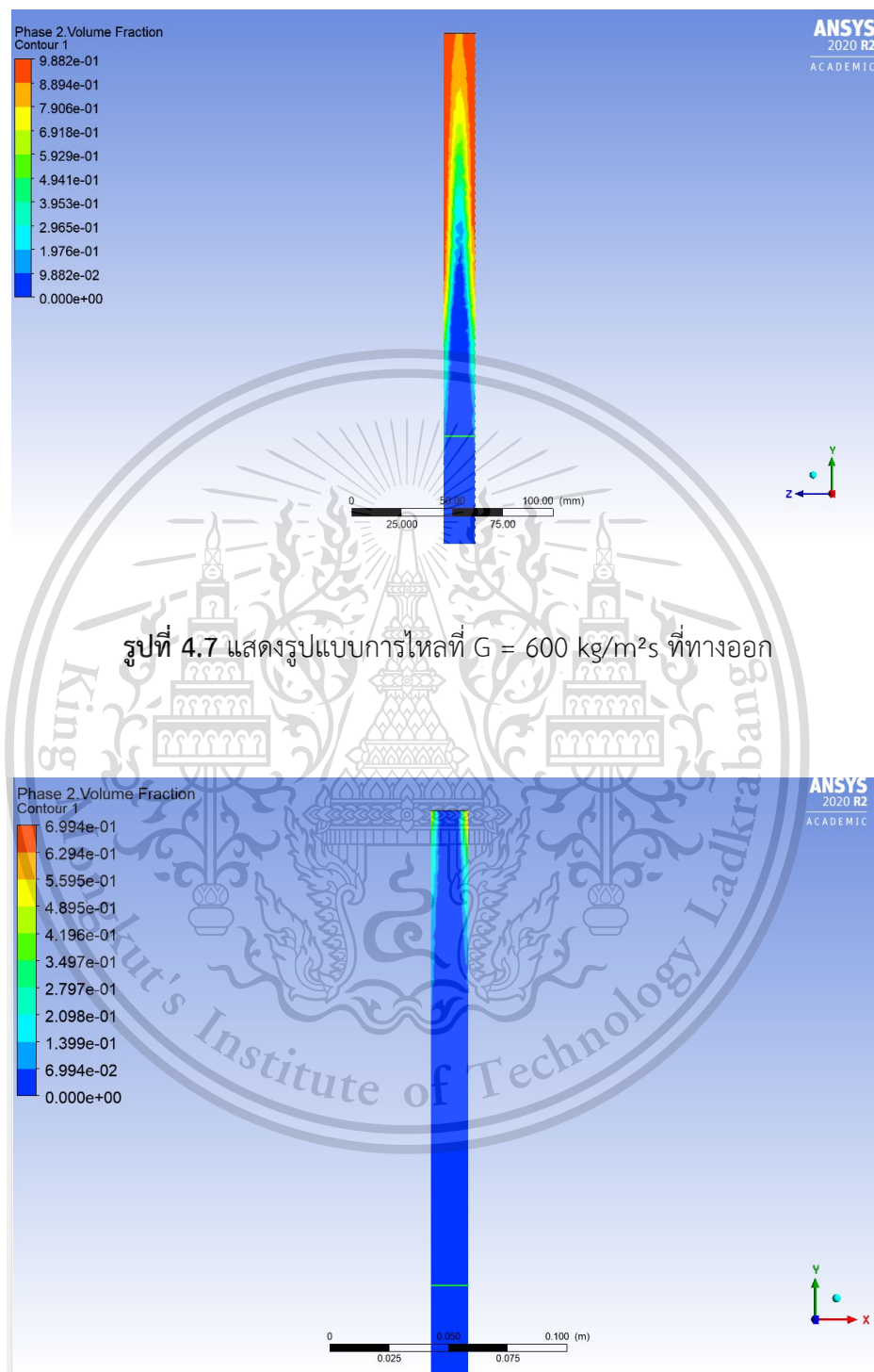
รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

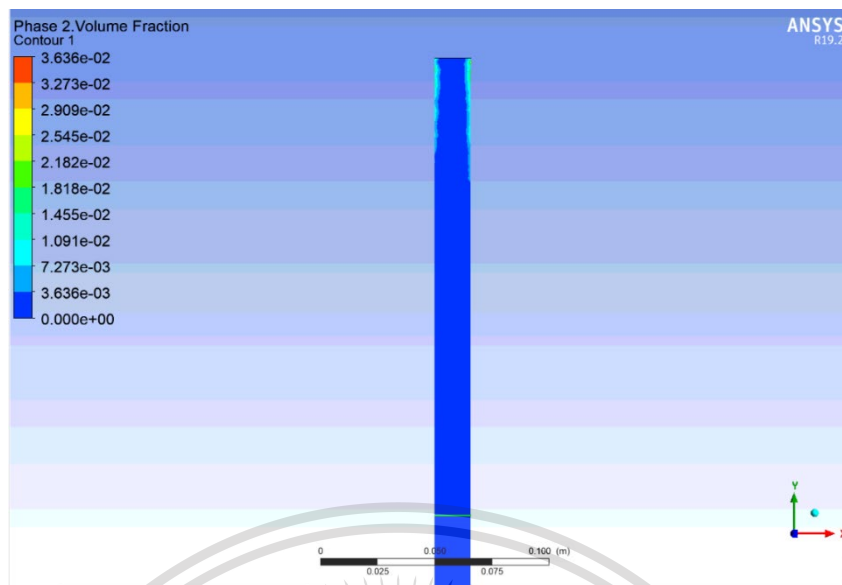
รูปที่ 4.7 - 4.9 แสดงรูปแบบการไหลที่ฟลักซ์มวลต่าง ๆ ที่ทางออก (ระยะท่อ 0.8 - 1 m)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก

4.1.2 ทิศทางการไหลลงในแนวตั้ง

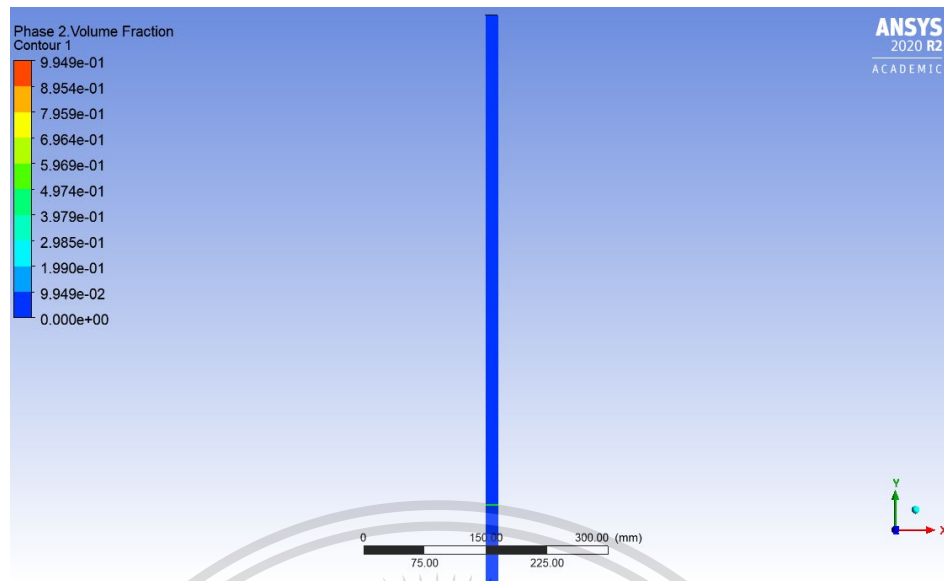
จากรูปผลการทดลองท่อกลมที่มีทิศทางการไหลลงในแนวตั้ง พบว่าที่เข้าถึงระยะ 0.6 เมตร ไม่พบฟองอากาศ แต่ในความจริงจะเริ่มเกิดการเดือดและมีฟองอากาศน้อยมากจนแทบมองไม่เห็น ที่ค่า $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ จะเริ่มเห็นฟองชัดที่ระยะ 0.8 เมตร ที่ค่า $G = 700$ และ $800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ จะเริ่มเห็นฟองชัดที่ปลายท่อ

รูปที่ 4.10 - 4.12 แสดงรูปแบบการไหลที่พลักซ์มวลต่าง ๆ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

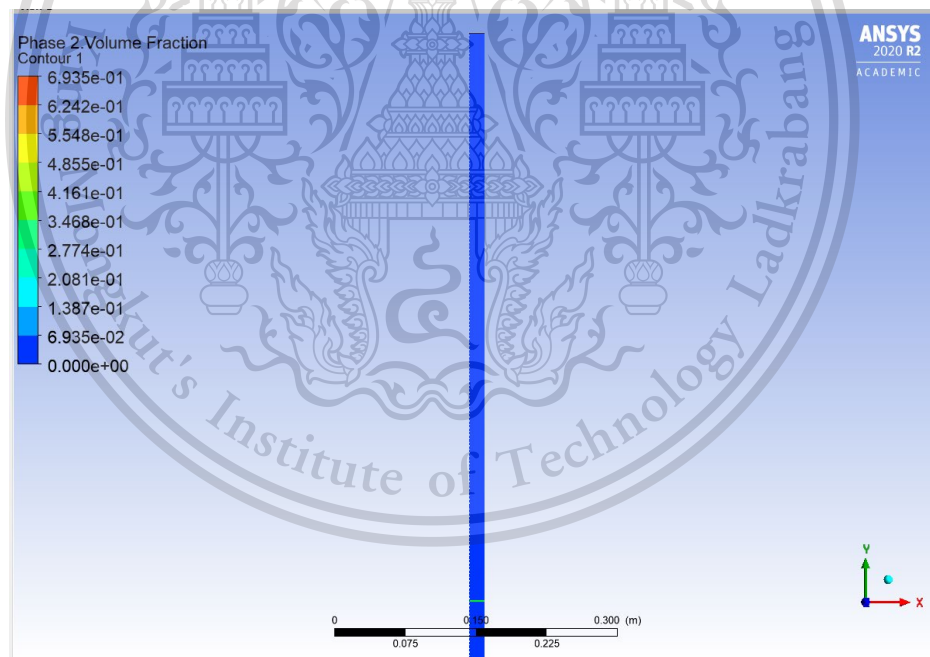
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.10 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

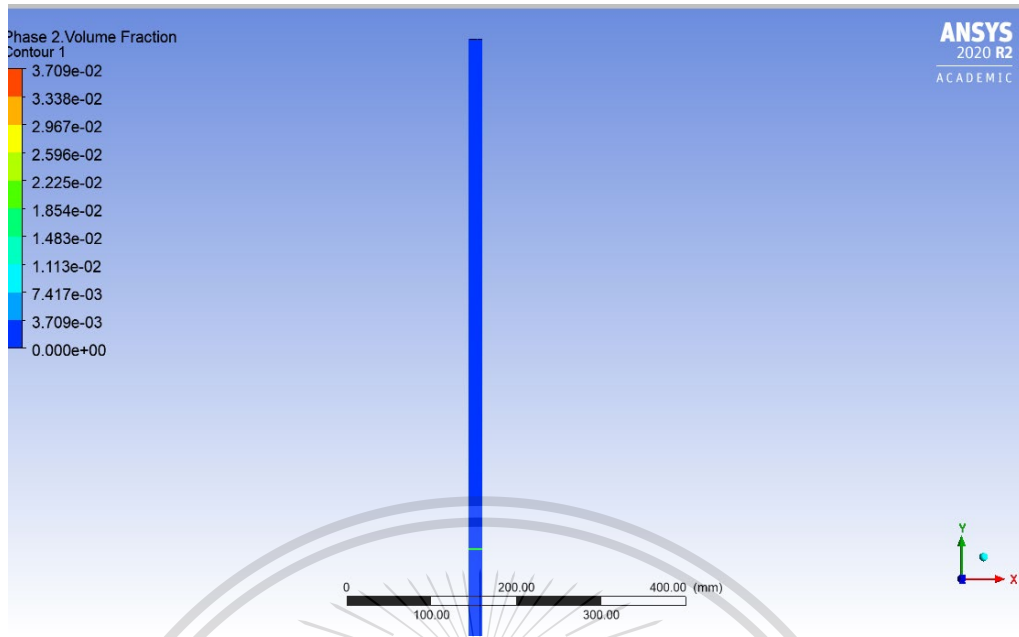


รูปที่ 4.11 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

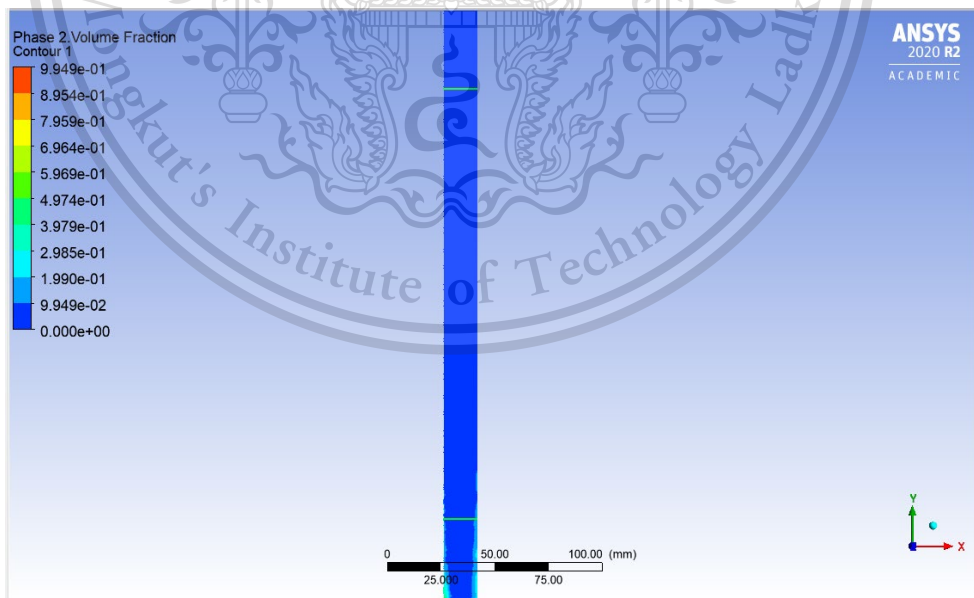
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.12 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

รูปที่ 4.13 - 4.15 แสดงรูปแบบการไหลที่ฟลักซ์มวลต่าง ๆ ที่ระยะทอ 0.6 - 0.8 m

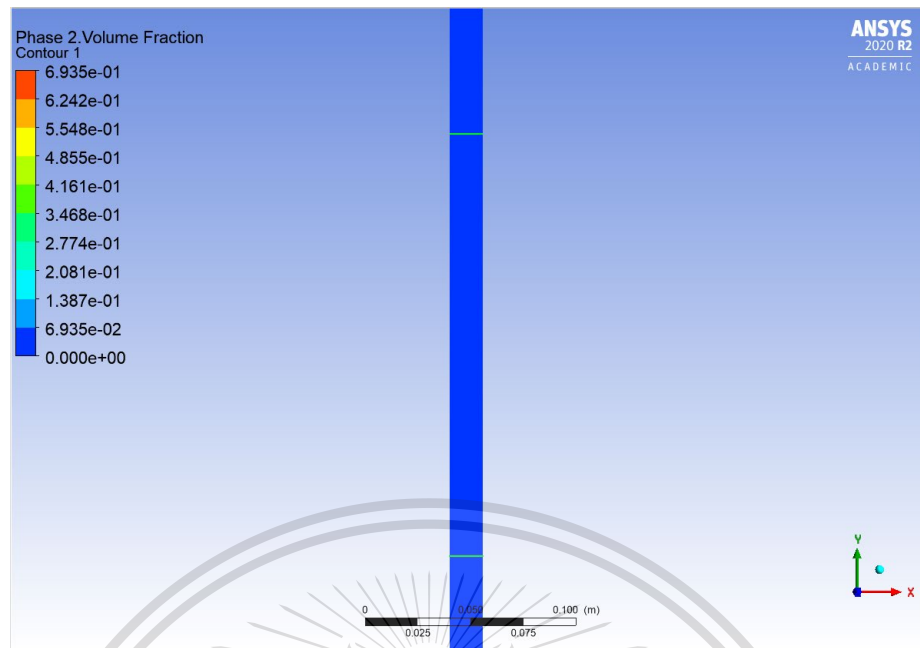


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยรูปที่ 4.13 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 - 0.8 m

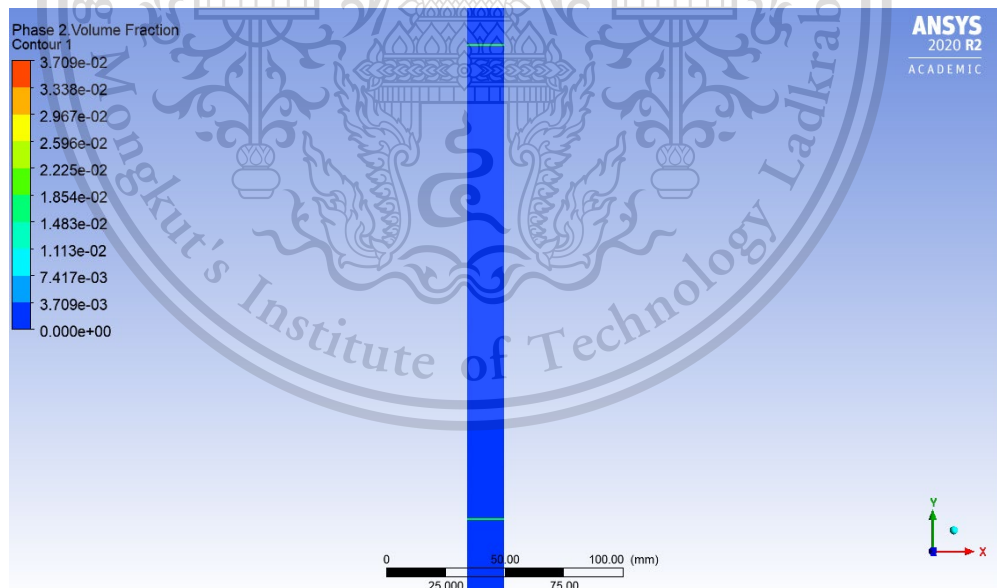
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.14 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 – 0.8 m



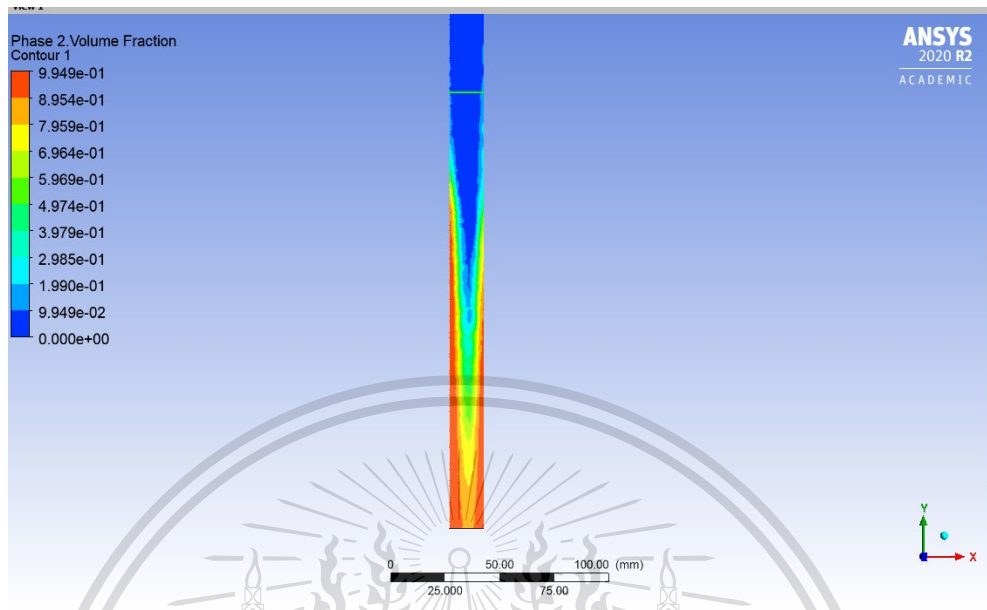
รูปที่ 4.15 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 – 0.8 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

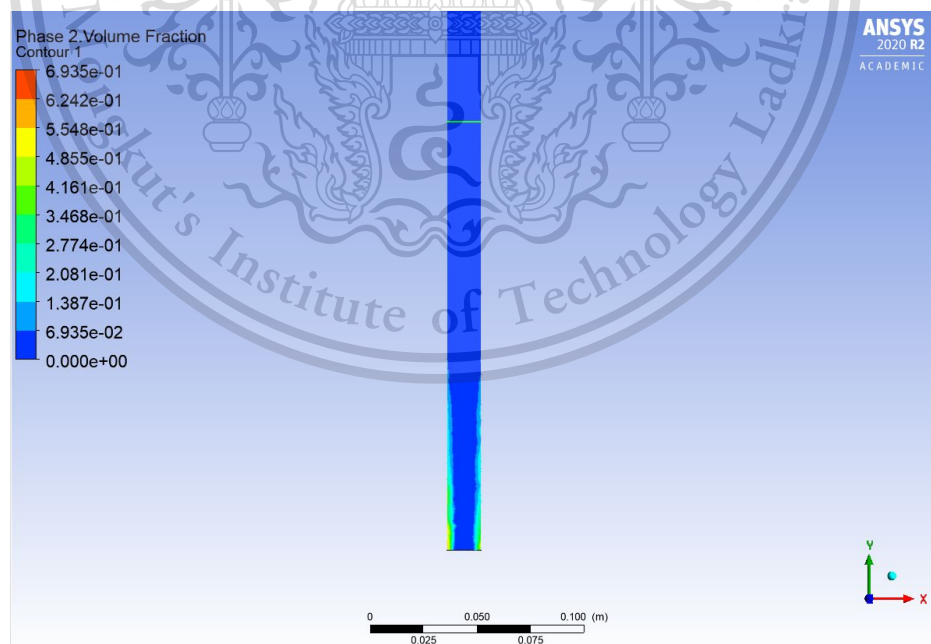
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.16 - 4.18 แสดงรูปแบบการไหลที่ฟลักซ์มวลต่าง ๆ ที่ทางออก (ระยะท่อ 0.8 - 1 m)



รูปที่ 4.16 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก

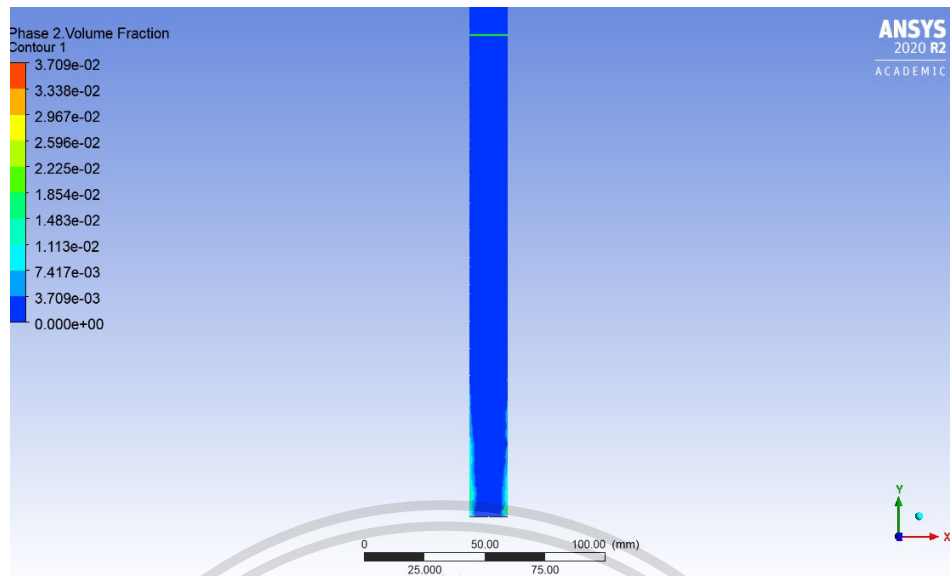


รูปที่ 4.17 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.18 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก

4.1.3 ทิศทางการไหลในแนวระดับ

รูปแบบฟองในการไหลแนวระดับจะแตกต่างกันในแต่ละมุมมอง เนื่องจากผลของแรงโน้มถ่วง ถ้ามองเข้าจากแกน Y (ระนาบ XZ) จะเห็นลักษณะฟองที่สมมาตร ถ้ามองเข้าจากแกน X (ระนาบ YZ) จะเห็นฟองอยู่ติดผนังด้านบนมากกว่า เนื่องจากน้ำมีความหนาแน่นมากกว่าไอน้ำ ทำให้ไอน้ำลอยขึ้นด้านบน

จากรูปผลการทดลองที่กลมที่มีทิศทางการไหลในแนวระดับ พบว่าที่เข้าถึงระยะ 0.6 เมตรจะไม่เห็นฟอง แต่ในความเป็นจริงจะเริ่มเกิดการเดือดและมีฟองอากาศเกิดขึ้นน้อยมากจนแทบมองไม่เห็น ที่ค่า $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ จะเริ่มเห็นฟองชัดที่ระยะ 0.8 เมตร ที่ค่า $G = 700$ และ $800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ จะเริ่มเห็นฟองชัดที่ปลายท่อ

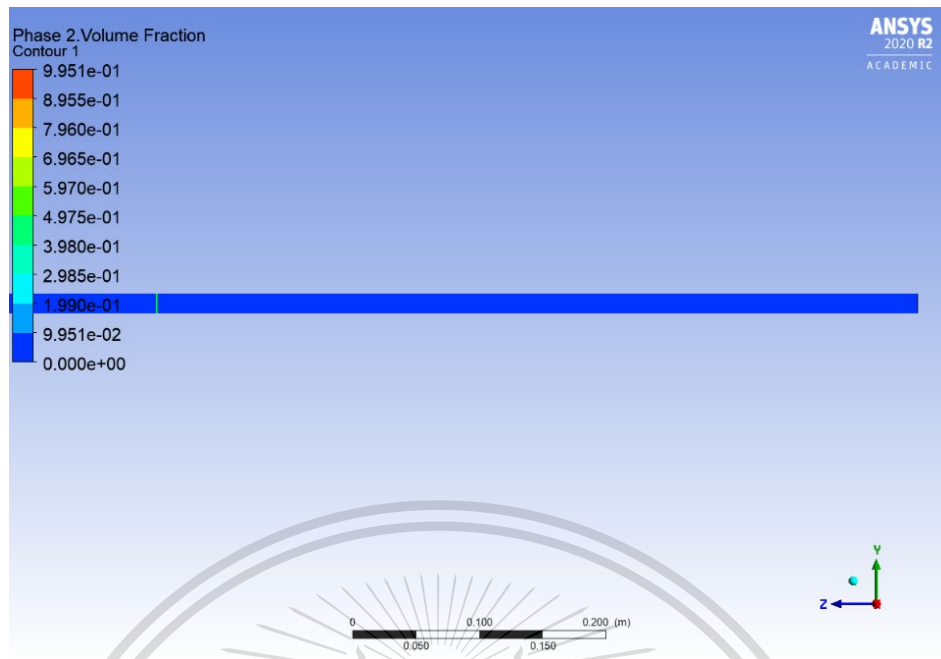
4.1.3.1 มองเข้าจากแกน X (ระนาบ YZ)

รูปที่ 4.19 - 4.21 แสดงรูปแบบการไหลที่ลักษณะมวลต่าง ๆ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

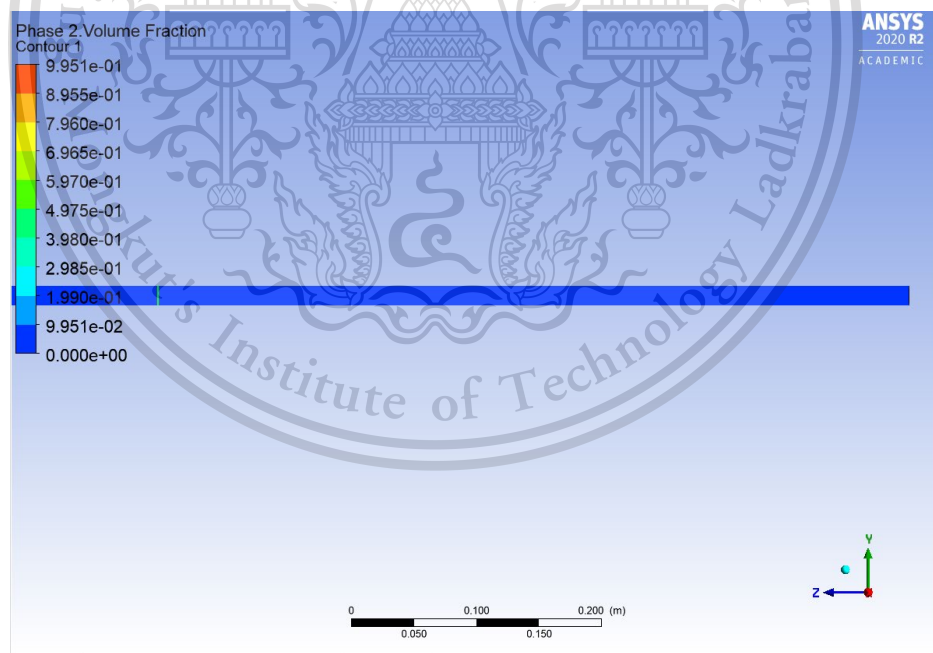
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.19 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

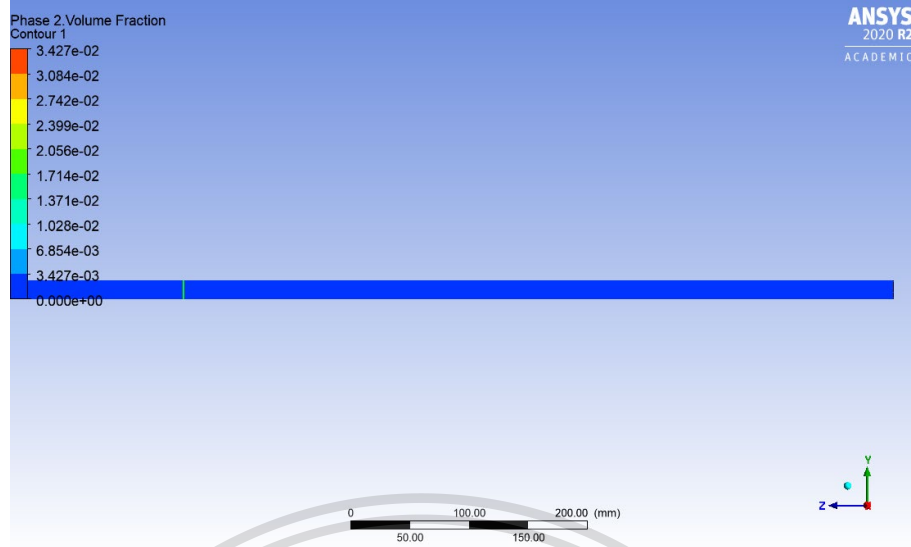


รูปที่ 4.20 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

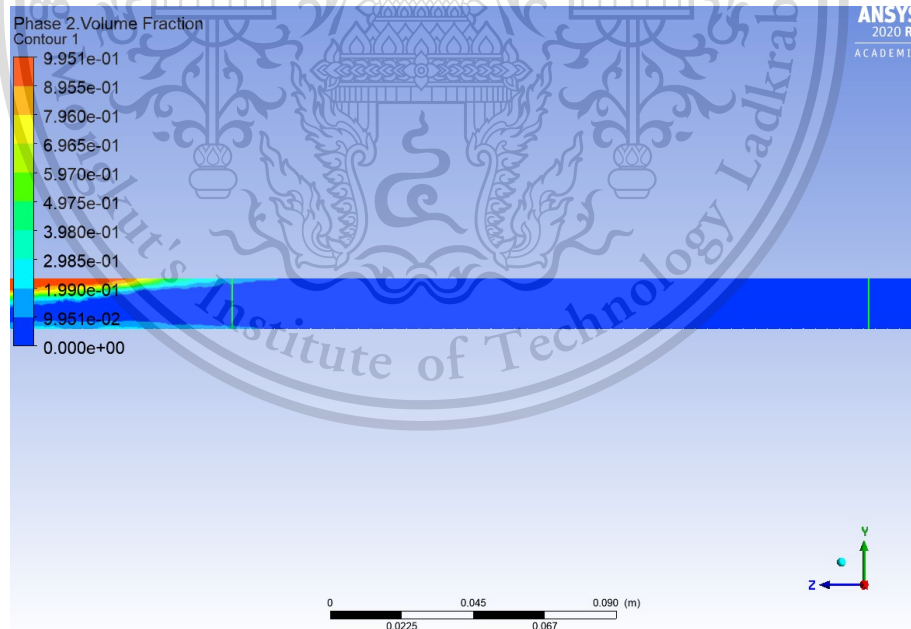
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.21 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

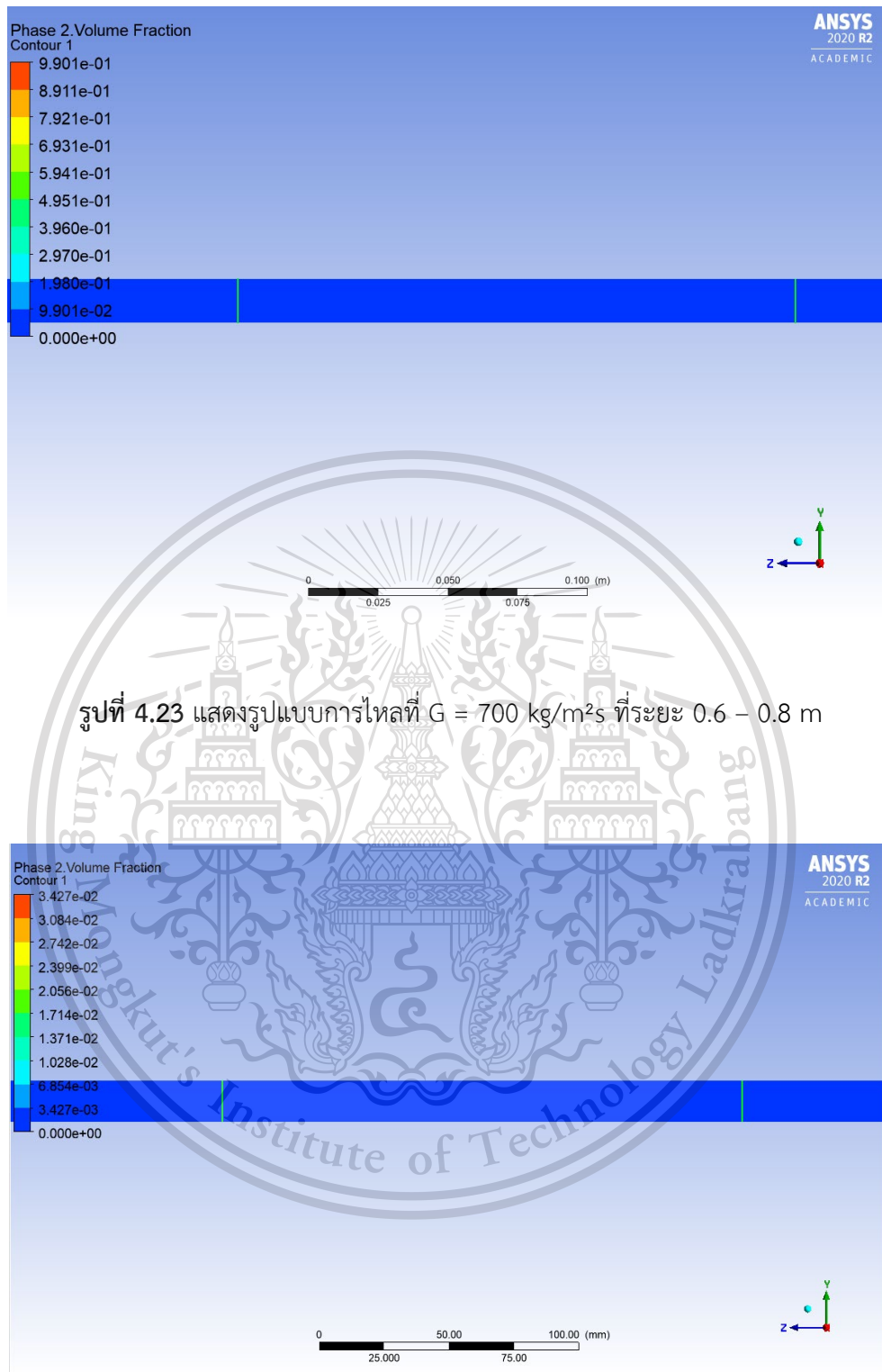
รูปที่ 4.22 - 4.24 แสดงรูปแบบการไหลที่ฟลักซ์มวลต่าง ๆ ที่ระยะทอ 0.6 - 0.8 m



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.22 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 - 0.8 m
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.23 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 – 0.8 m

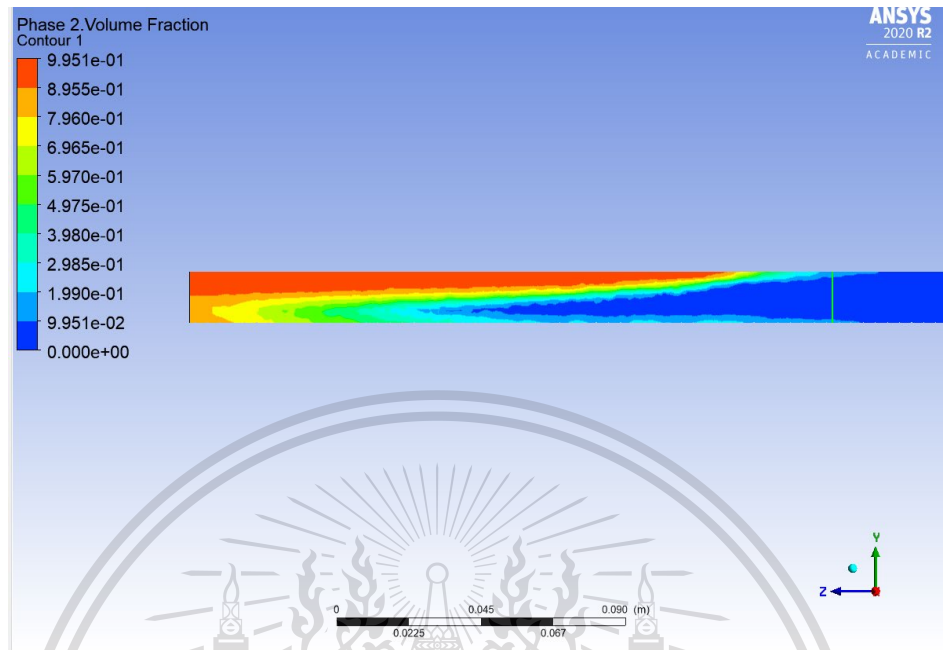
รูปที่ 4.24 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 – 0.8 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

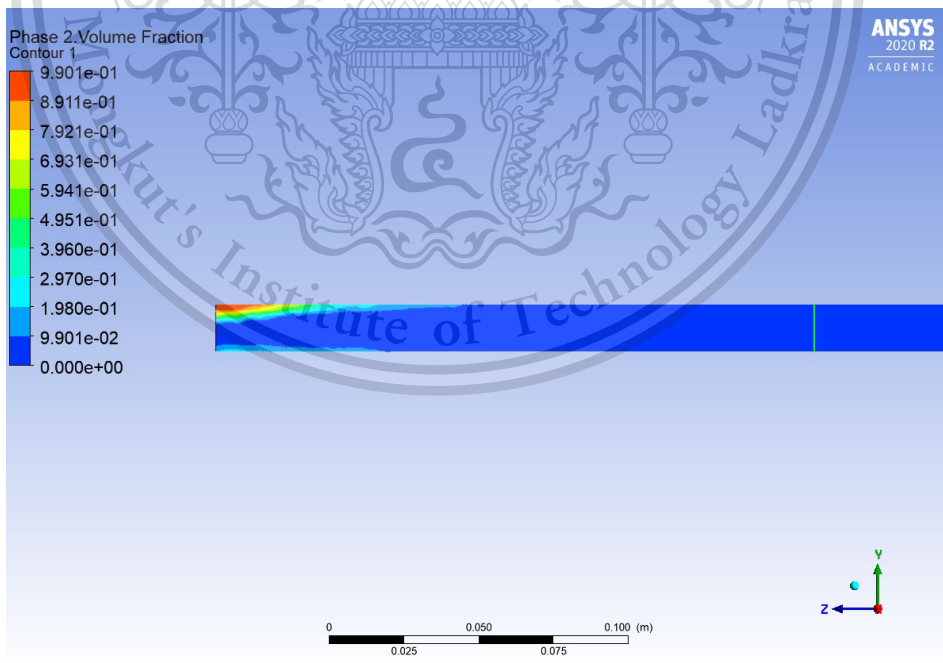
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.25 - 4.27 แสดงรูปแบบการไหลที่ฟลักซ์มวลต่าง ๆ ที่ทางออก (ระยะท่อ 0.8 - 1 m)



รูปที่ 4.25 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก

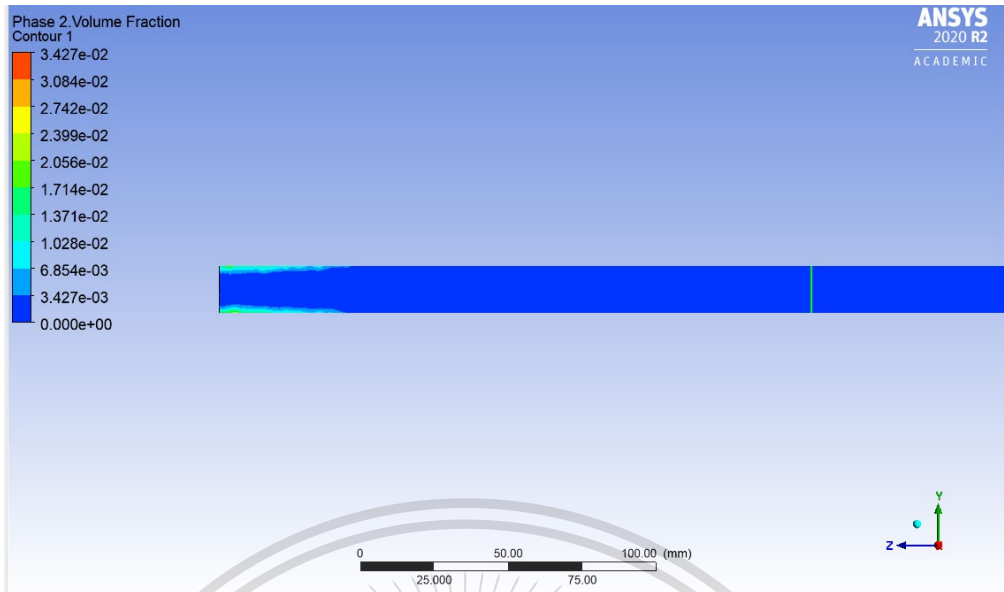


รูปที่ 4.26 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

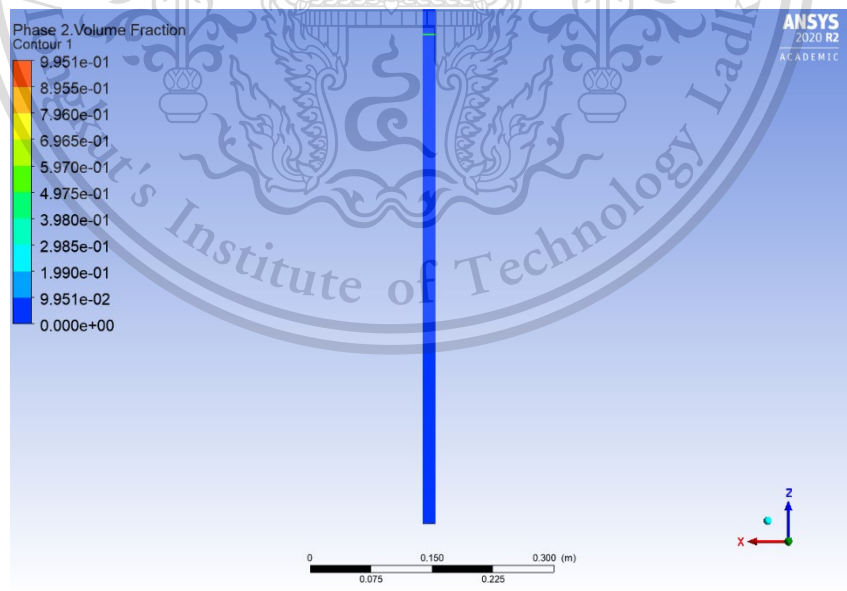
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.27 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก

4.1.3.2 มองเข้าจากแกน Y (ระนาบ XZ)

รูปที่ 4.28 - 4.30 แสดงรูปแบบการไหลที่ฟลักซ์มวลต่าง ๆ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

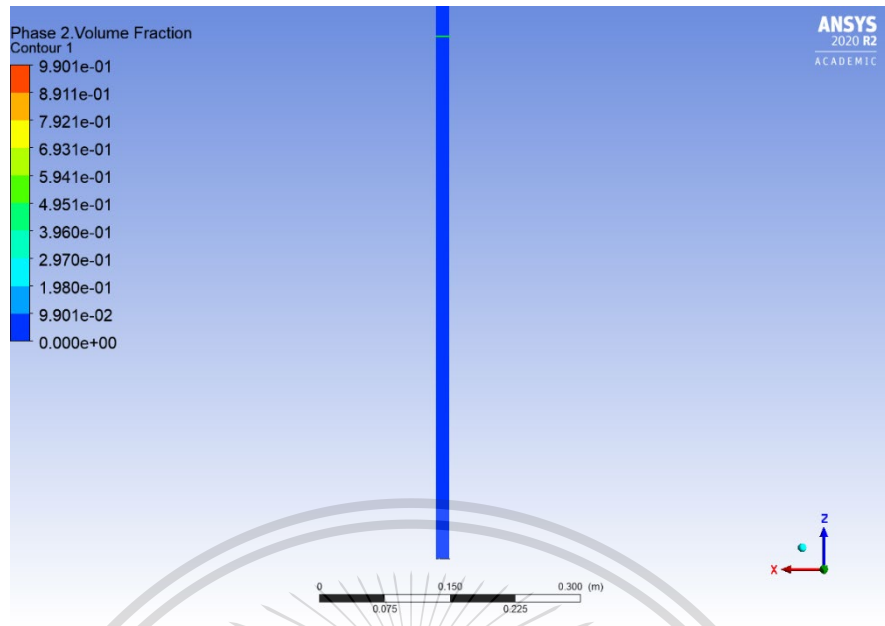


รูปที่ 4.28 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

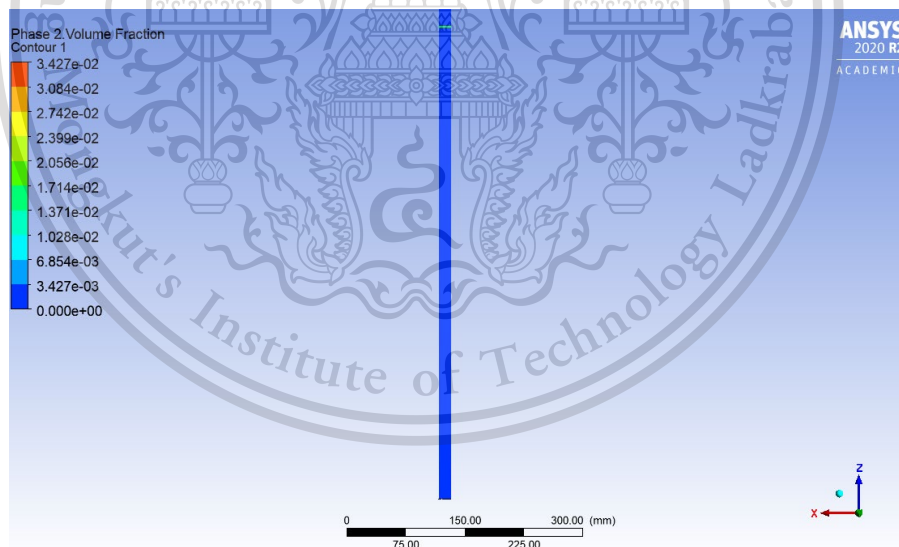
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกิจกรรมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.29 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m



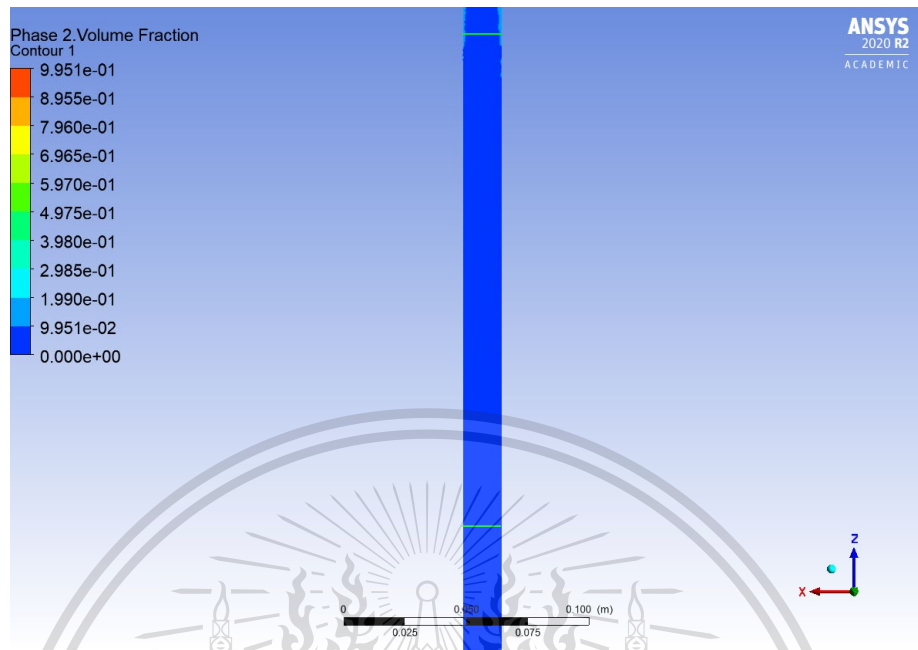
รูปที่ 4.30 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางเข้าถึงระยะ 0.6 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

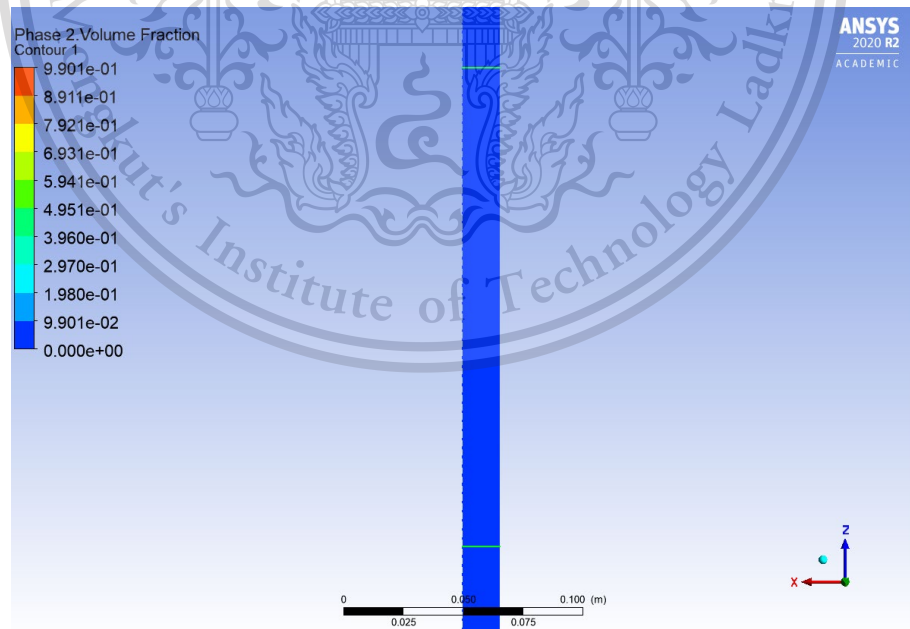
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.31 - 4.33 แสดงรูปแบบการไหลที่ฟลักซ์มวลต่าง ๆ ที่ระยะท่อ 0.6 - 0.8 m



รูปที่ 4.31 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 - 0.8 m

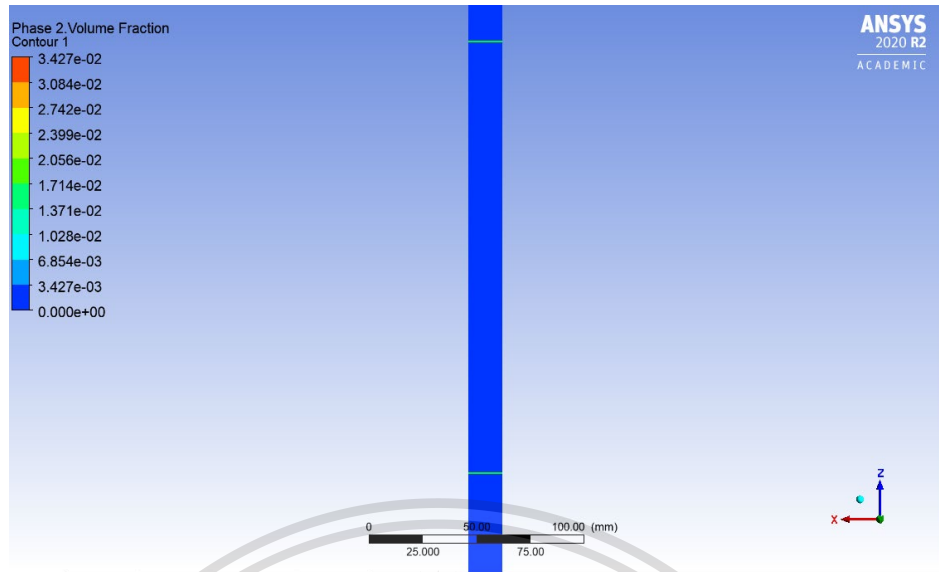


รูปที่ 4.32 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 - 0.8 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

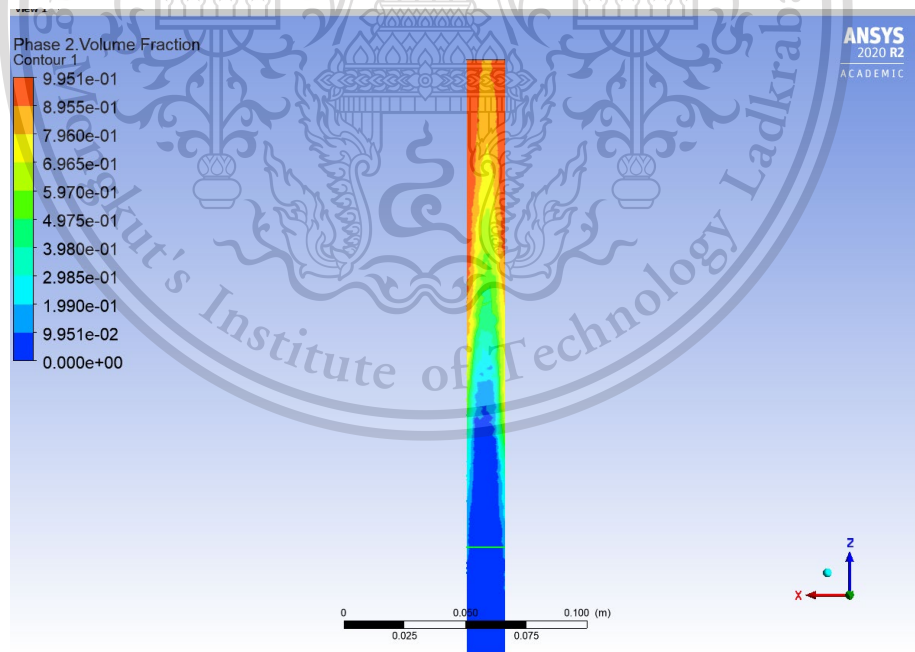
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.33 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ระยะ 0.6 – 0.8 m

รูปที่ 4.34 - 4.36 แสดงรูปแบบการไหลที่ฟลักซ์มวลต่าง ๆ ที่ทางออก (ระยะท่อ 0.8 - 1 m)

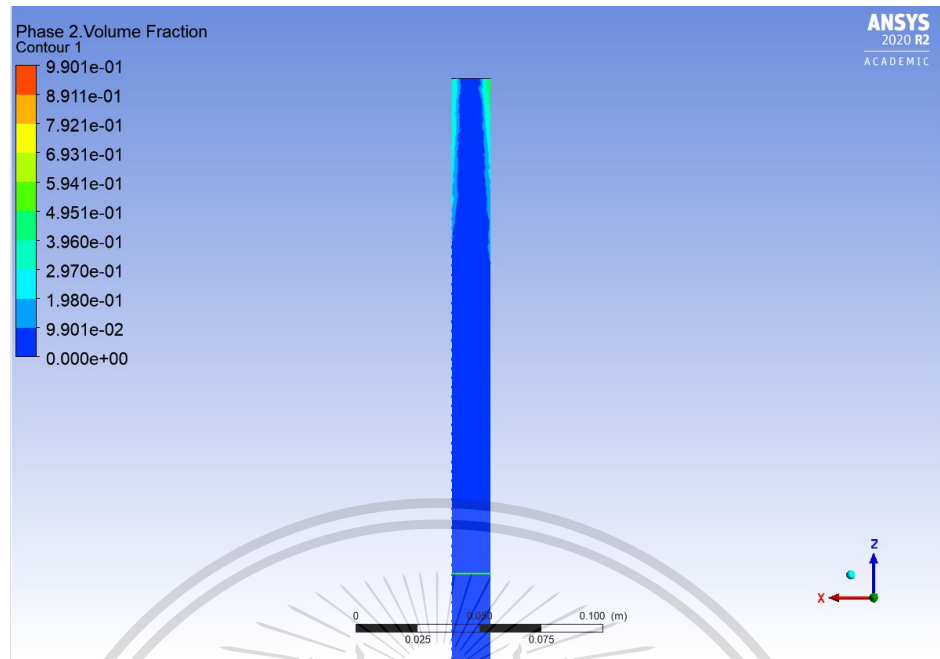


รูปที่ 4.34 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก

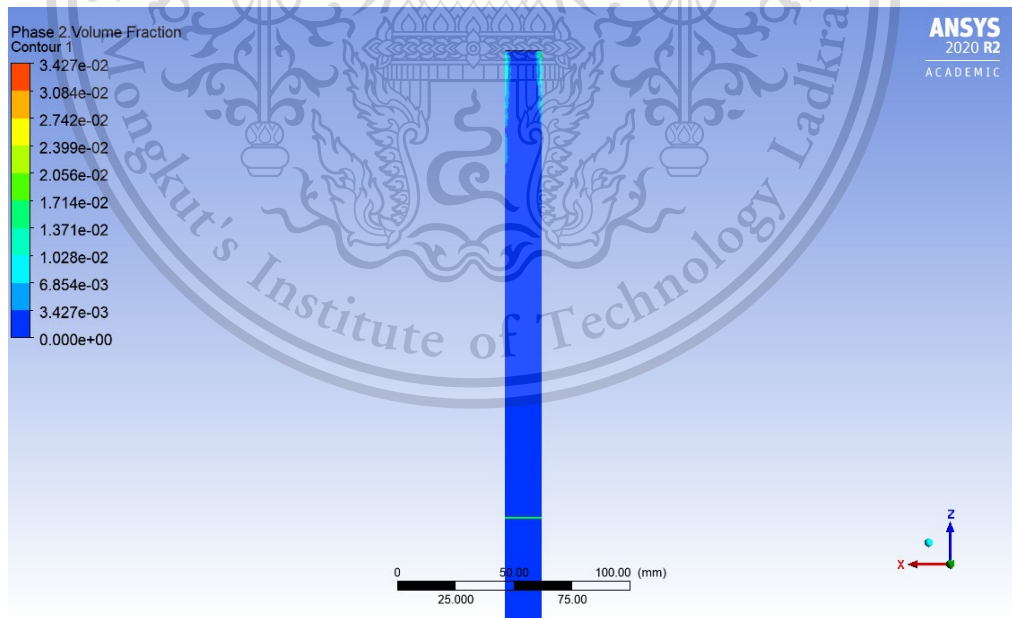
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.35 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก



รูปที่ 4.36 แสดงรูปแบบการไหลที่ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ที่ทางออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 การพาความร้อนและ Vapor volume fraction ของของไหลสองสถานะแบบเดือดในท่อกลม

ผลที่ได้พบว่าในช่วงแรก (ประมาณ 0 - 0.2 m) ค่า h มีค่าลดลง เนื่องจากเป็นการไหลแบบสถานะเดียว ต่อมาในช่วงที่สอง (ประมาณ 0.2 - 0.7 m) เป็นช่วง Subcooled boiling เริ่มเกิดการเดือดจะเริ่มมีฟองอากาศเกิดขึ้นติดผนังท่อ ซึ่งจากกราฟจะเห็นค่าฟองขึ้นไม่ชัด ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และในช่วงสุดท้าย (ประมาณ 0.7 - 1.0 m) จะเดือดมากขึ้นฟองจะมีจำนวนมากขึ้น เข้าสู่ช่วง Saturated boiling ซึ่งจะมีช่วงหนึ่งที่คงที่แล้ว หลังจากนั้นจะค่อยเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ คือ การพาความร้อนของไออิ่มตัว

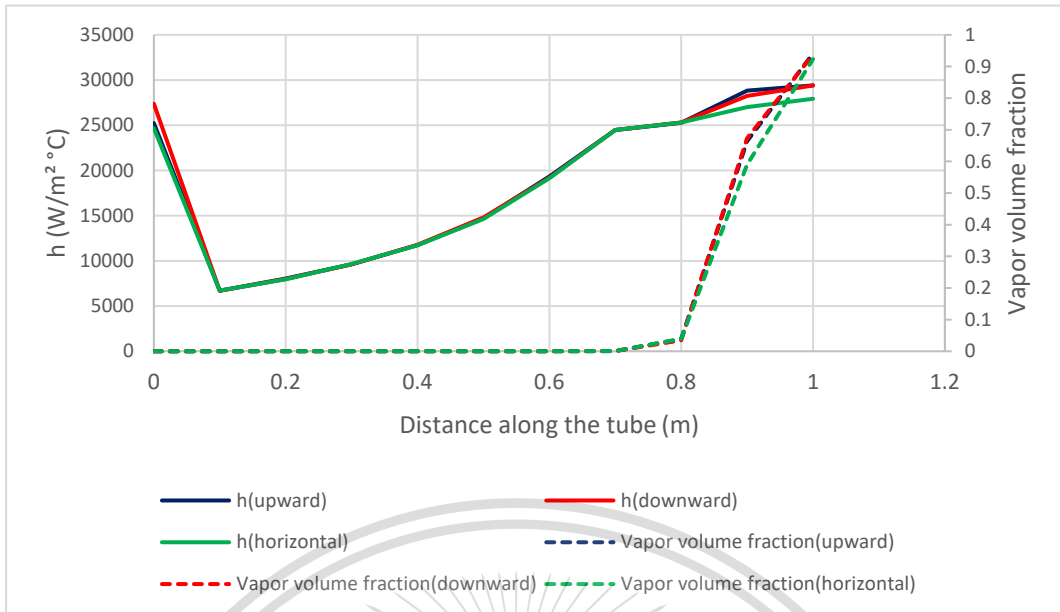
รูปที่ 4.37 - 4.39 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉพาะที่และ Vapor volume fraction กับความยาวท่อ โดยเปรียบเทียบ 3 ทิศทางการไหล คือ การไหลขึ้นในแนวตั้ง การไหลลงในแนวตั้ง และการไหลในแนวระดับ ที่ค่า $G = 600, 700$ และ $800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ตามลำดับ

ผลการจำลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าใกล้เคียงกันมากในทุกทิศทางการไหล แสดงว่าทิศทางการไหลส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนน้อยมากหรือแทบไม่มีผลเลย ดังนั้นในการใช้งานจริงจึงสามารถวางท่อในแนวใดก็ได้

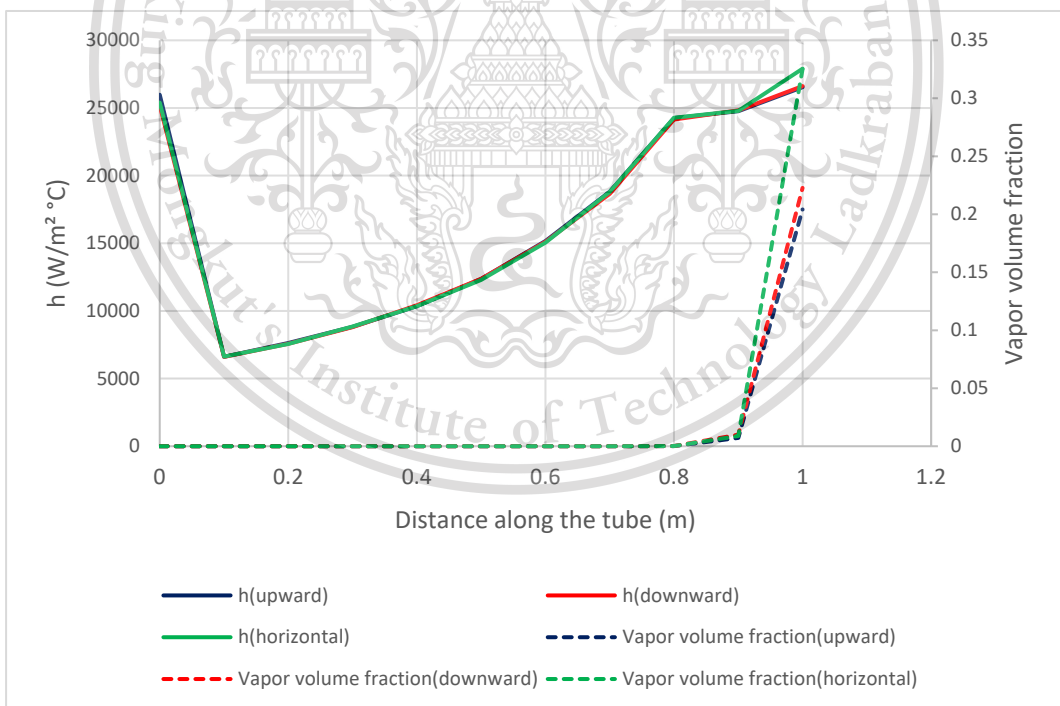
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



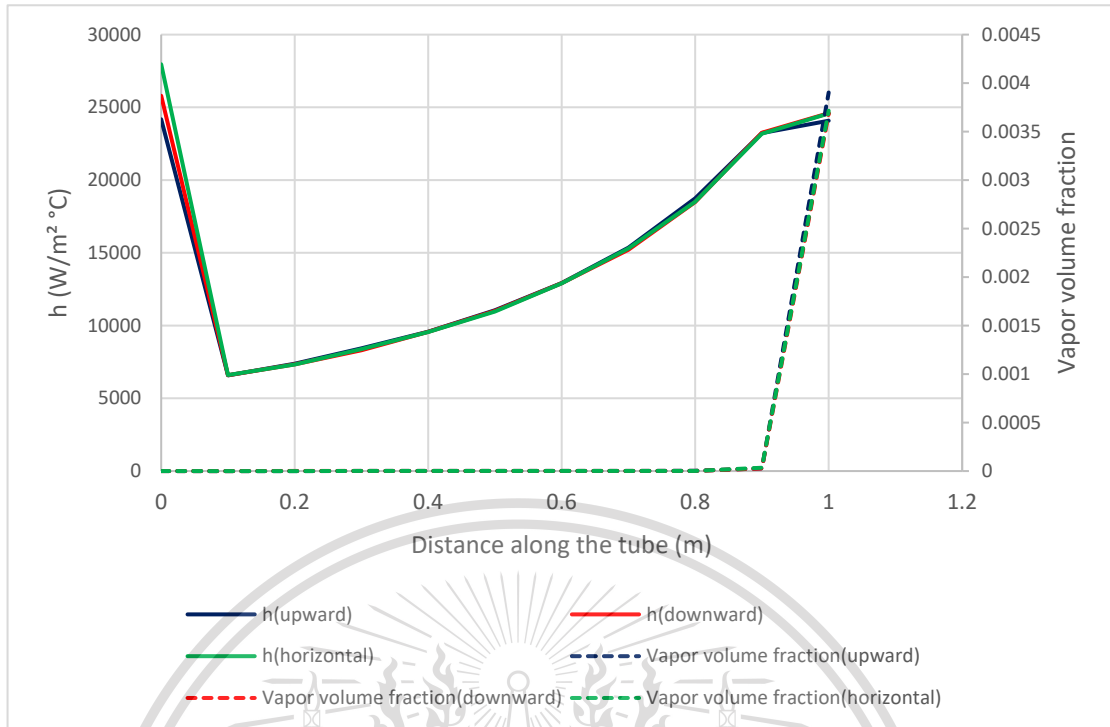
รูปที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ Vapor volume fraction กับความยาวท่อ เมื่อ $G = 600 \text{ kg/m}^2\text{s}$



รูปที่ 4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ Vapor volume fraction กับความยาวท่อ เมื่อ $G = 700 \text{ kg/m}^2\text{s}$
 เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ Vapor volume fraction กับความยาวท่อ เมื่อ $G = 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$

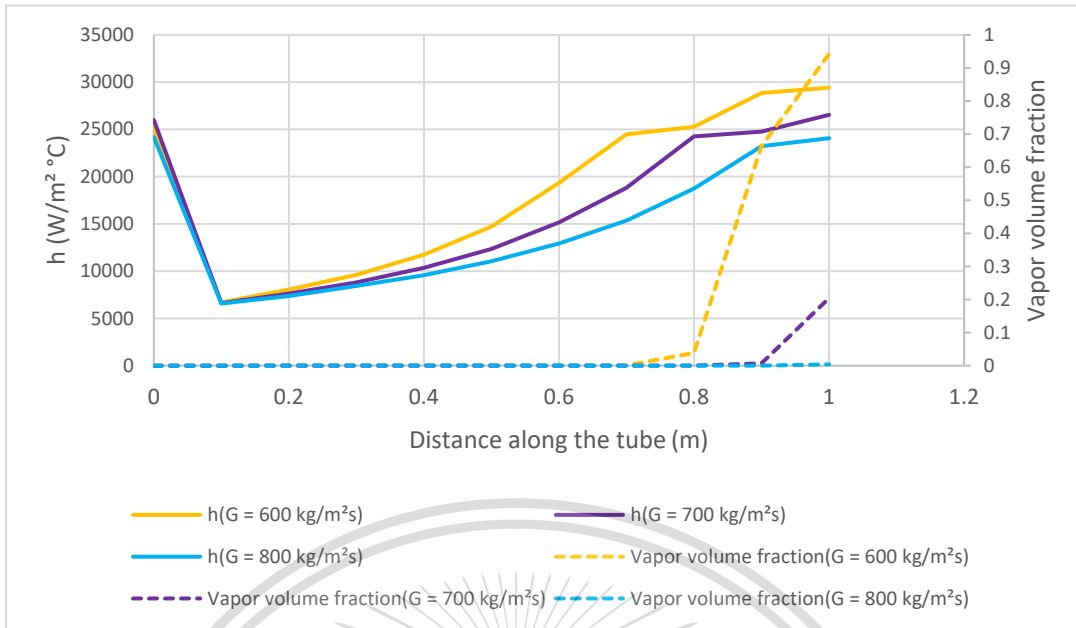
รูปที่ 4.40 - 4.42 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉพาะที่และ Vapor volume fraction กับความยาวท่อ โดยเปรียบเทียบ 3 ฟลักซ์มวล คือ 600, 700 และ 800 $\text{kg/m}^2\text{s}$ ที่ 3 ทิศทางการไหล คือ การไหลขึ้นในแนวตั้ง การไหลลงในแนวตั้ง และการไหลในแนวระดับ ตามลำดับ

ผลการจำลองพบว่า ที่ฟลักซ์มวลน้อยมีการระเหยได้มากกว่าและมีฟองเกิดขึ้นมาก ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะดีกว่า เนื่องจากฟองทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง

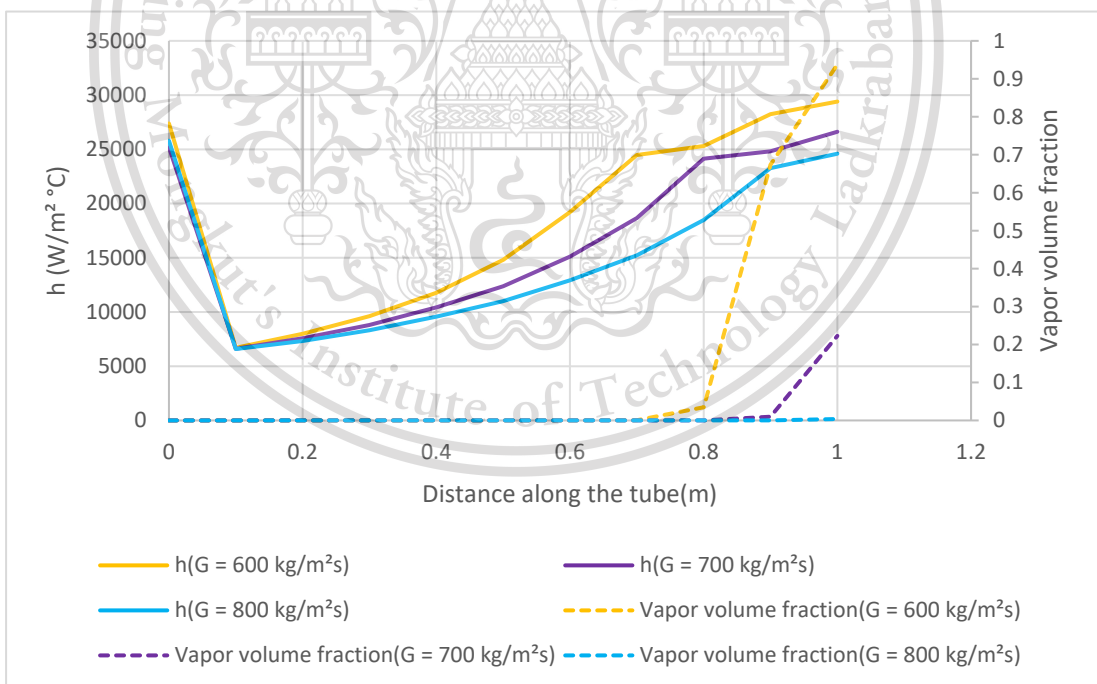
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ Vapor volume fraction กับความยาวท่อ ที่ทิศทางการไหล Upward

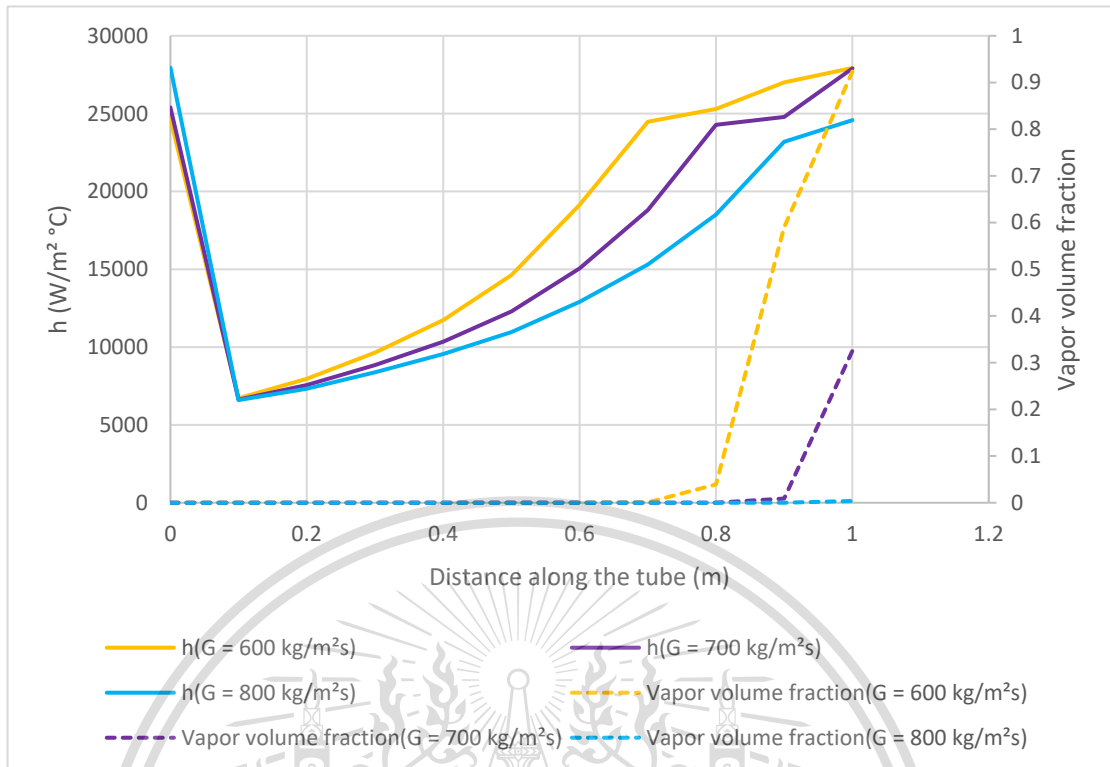


รูปที่ 4.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ Vapor volume fraction กับความยาวท่อ ที่ทิศทางการไหล Downward

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ Vapor volume fraction กับความยาวท่อ ที่ทิศทางการไหล Horizontal

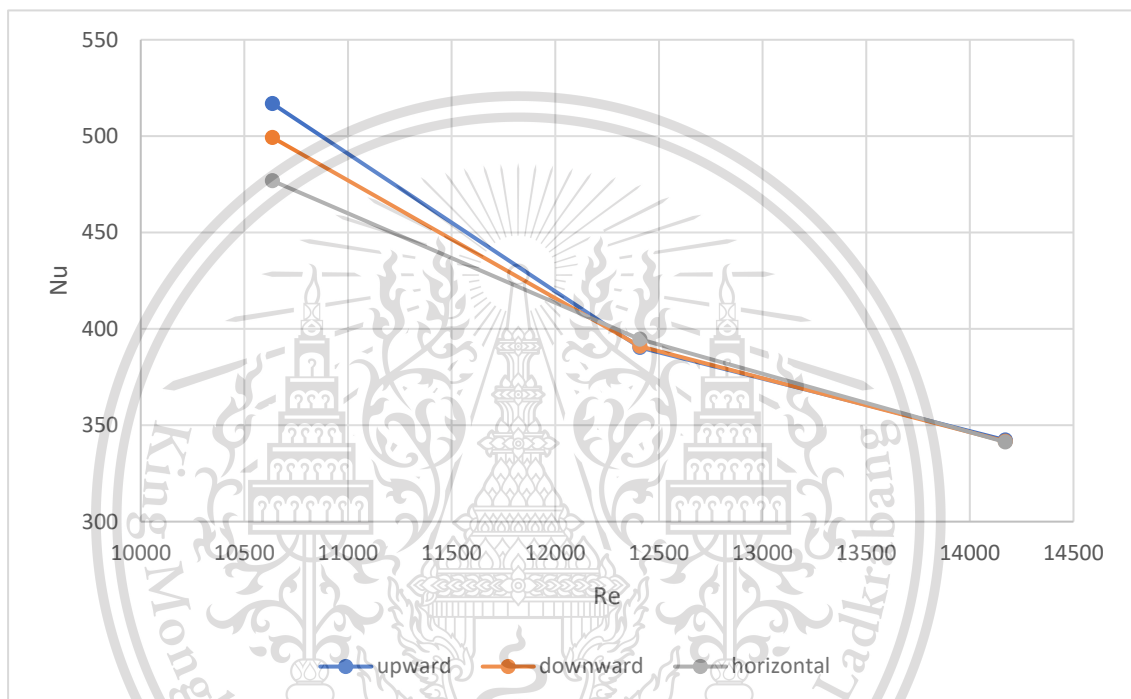
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 Nusselt number ของการไหลสองสถานะแบบเดือดในท่อกลม

รูปที่ 4.43 แสดงค่า Nusselt number ที่ Reynolds number ต่าง ๆ เปรียบเทียบทั้งสามทิศทางการไหล คือ การไหลขึ้นในแนวตั้ง การไหลลงในแนวตั้ง และการไหลในแนวระดับ พบว่าที่ค่า Re ต่ำ จะมีค่า Nu มากเนื่องมาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่มาก ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับรูปที่ 4.40 - 4.42



รูปที่ 4.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Reynolds number กับ Nusselt number

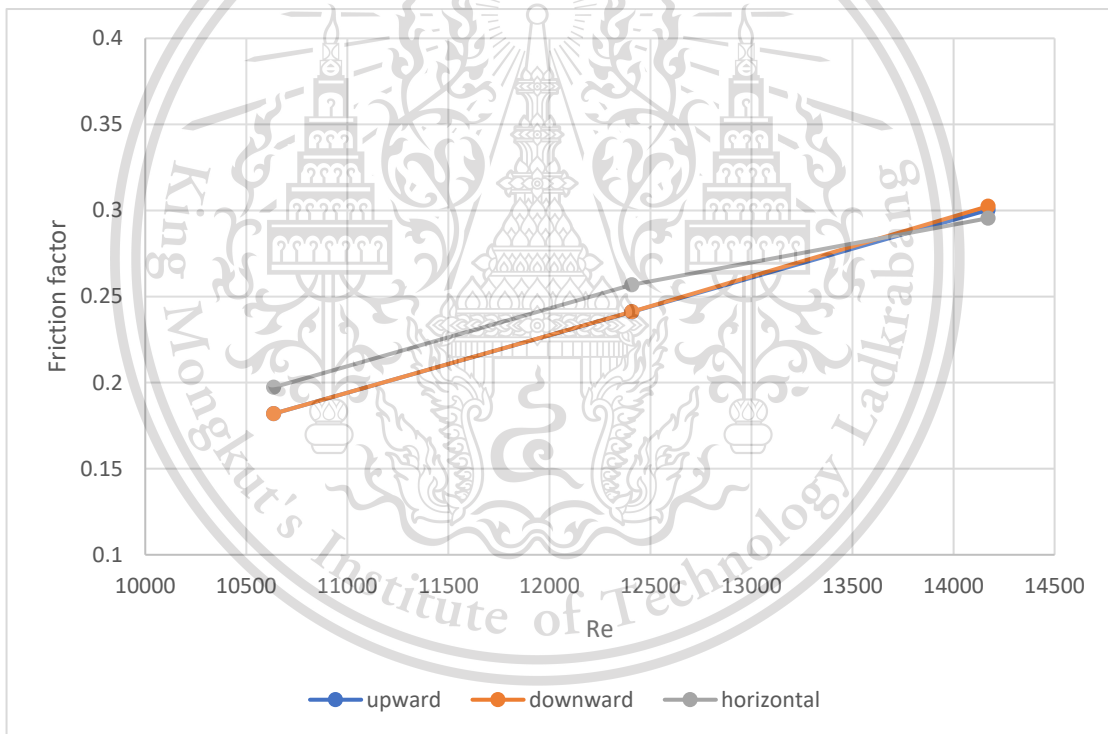
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4 ค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานของการไหลสองสถานะแบบเดือดในท่อกลม

รูปที่ 4.44 แสดงค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานที่ Reynolds number ต่าง ๆ เปรียบเทียบทั้งสามทิศทางการไหล คือ การไหลขึ้นในแนวตั้ง การไหลลงในแนวตั้ง และการไหลในแนวระดับ ผลการจำลองพบว่าทิศทางการไหลในแนวนอนให้ค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามมีค่าต่างจากทิศทางการไหลขึ้นและลงในแนวตั้ง เฉลี่ยแล้วแค่ 5.18% และ 5.40% ตามลำดับ แสดงว่าทิศทางการไหลส่งผลต่อค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานน้อยมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงหรือแรงลอยตัวไม่มีผลต่อค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน



รูปที่ 4.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Reynolds number กับ Friction factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเชิงตัวเลขของแบบจำลองการไหลสองสถานะแบบมีการเดือดโดยใช้ น้ำเป็นของไหล ที่ค่าฟลักซ์มวล $600-800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ เพื่อเปรียบเทียบ 3 ทิศทางการไหล คือ การไหลขึ้นในแนวตั้ง การไหลลงในแนวตั้ง และการไหลในแนวระดับ ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

สำหรับการไหลสองสถานะแบบมีการเดือด พบว่าในช่วงแรกค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าลดลง เนื่องจากเป็นการไหลแบบสถานะเดียว ต่อมาเมื่อของไหลมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว แต่ที่ผนังท่อมีความร้อนเพียงพอที่จะทำให้เกิดฟอง จะเกิดการเดือดแบบ Subcooled boiling ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเมื่อของไหลมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวจะเข้าสู่การเดือดแบบ Saturated boiling ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าคงที่และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ

แบบจำลองที่ฟลักซ์มวล $600 - 800 \text{ kg/m}^2\text{s}$ พบว่าค่าฟลักซ์มวลต่ำ ความเร็วในการไหลของของไหลจะต่ำ ทำให้มีเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนนานขึ้น เกิดการระเหยได้มากกว่าและมีฟองเกิดขึ้นมาก ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนดีกว่าที่ฟลักซ์มวลสูง เนื่องจากฟองทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง

แบบจำลอง 3 ทิศทางการไหล คือ การไหลขึ้นในแนวตั้ง การไหลลงในแนวตั้ง และการไหลในแนวระดับ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าแฟกเตอร์ความเสียหายมีค่าใกล้เคียงกันมากในทุกทิศทางการไหล แสดงว่าทิศทางการไหลส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนและค่าแฟกเตอร์ความเสียหายน้อยมากหรือแทบไม่มีผลเลย ดังนั้นในการใช้งานจริงจึงสามารถวางท่อในแนวใดก็ได้

สำหรับ Nusselt number ที่ Reynolds number ต่าง ๆ เปรียบเทียบทั้งสามทิศทางการไหล คือ การไหลขึ้นในแนวตั้ง การไหลลงในแนวตั้ง และการไหลในแนวระดับ พบว่าที่ค่า Re ต่ำ จะมีค่า Nu มากเนื่องมาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่มาก ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับรูปที่ 4.40 -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เปลี่ยนของไหลภายในท่อเป็นสารทำความเย็น หรือสารอื่นที่ใช้ในปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำว่าของไหลชนิดใดมีการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่า
2. เพิ่มฟลักซ์ความร้อนให้มีการเดือดมากขึ้น เพื่อดูแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนในช่วงหลังของการเปลี่ยนสถานะ เมื่อของไหลเปลี่ยนสถานะเป็นไอทั้งหมด
3. ทำการจำลองแบบ VOF เพิ่มเติมเพื่อให้ศึกษาลักษณะของฟองและการถ่ายเทความร้อนในแต่ละแบบ
4. เปลี่ยนลักษณะท่อต่าง ๆ เพื่อเทียบการถ่ายเทความร้อนกับท่อกลม
5. ทำการจำลองแบบ Steady-state เพิ่มเติมที่จำนวนกริดละเอียดมากกว่าเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

- [1] Rui Zhang, Wenwen Zhang, Tenglong Cong, Wenxi Tian, G H Su, & Suizheng Qiu. (2015). **APPLICATION OF RPI MODEL: PREDICTION OF SUBCOOLED BOILING AND DNB IN VERTICAL PIPES**. School of Nuclear Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China
- [2] Han-zhong Tao, Chuan-yang Xie, & Mi-mi Wang.(2019). **Numerical simulation study on the flow and heat transfer characteristics of sub-cooled boiling in vertical round and flattened tubes**, *Annals of Nuclear Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2019.107144>
- [3] Junping Gu, Qinggong Wang, Yuxin Wu, Junfu Lyu, Suhui Li, & Wei Yao. (2017). **Modeling of subcooled boiling by extending the RPI wall boiling model to ultra-high pressure conditions**. *Applied Thermal Engineering* 124, 571–584.
- [4] Xuan Yin, Yongsheng Tian, Dan Zhou, & Naihua Wang. (2019). **Numerical study of flow boiling in an intermediate-scale vertical tube under low heat flux**. *Applied Thermal Engineering* 153, 739–747.
- [5] Liaofei Yin, Peixue Jiang, Ruina Xu, Haowei Hu, & Li Jia. (2019). **Heat transfer and pressure drop characteristics of water flow boiling in open microchannels**. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 137, 204 – 215.
- [6] โพร้ชัย ศรีทุมพันธ์. การศึกษาเชิงทดลองของการถ่ายเทความร้อนขณะเดือดในไมโครแชนแนล สิตซิงก์ที่มีทิศทางการไหลต่างกัน. KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG (2019).
- [7] P. Suwankamnerd, S. Wongwises. (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.
- [8] John G. Collier, & John R. Thome.(1996). **INTRODUCTION TO POOL AND CONVECTIVE BOILING. CONVECTIVE BOILING AND CONDENSATION**. (p.169-186). Oxford Science Publications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [9] Collier, & Hewitt. (1987). TWO-PHASE FLOW PATTERNS AND FLOW PATTERN MAPS. **BOILING CONDENSATION AND GAS-LIQUID FLOW**. (p.4). Oxford University Press.
- [10] Kurul, N., Podowski, M. (1991). **On the modeling of multidimensional effects in boiling channels**. In ANS Proc. 27th National Heat Transfer Conference, 28–31
- [11] Valle, V.H.D., Kenning, D.B.R. (1985). **Subcooled flow boiling at high heat flux**. Int. J. Heat Mass Transf. 28 (10), 1907–1920.
- [12] Tolubinsky, V.I., Kostanchuk, D.M.(1970). **Vapor bubbles growth rate and heat transfer intensity at subcooled water boiling**. In 4th International Heat Transfer Conference.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.