



การวิเคราะห์ผลกระทบแผ่นกั้นแบบเกลียวต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่อง
แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
Influence Analysis of Helical Baffle on Heat Transfer in Shell
and Tube Heat Exchanger by Using Finite Element Method

นายธีรพล ชัยวิเศษ รหัส 54363224
นายณัฐพล กันทะเมืองลี รหัส 54363170

i 6893 698

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนเรศวร
ปีการศึกษา 2557



แบบเสนอปริญญาานิพนธ์

หัวข้อโครงการ : การวิเคราะห์ผลกระทบแผ่นกั้นแบบเกลียวต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Influence Analysis of Helical Baffle on Heat Transfer in Shell and Tube Heat Exchanger by Using Finite Element Method

ผู้ดำเนินโครงการ : นายธีรพล ชัยวิเศษ รหัส 54363224

นายณัฐพล กันทะเมืองลี รหัส 54363170

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์นพรัตน์ สีหะวงษ์


ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2557

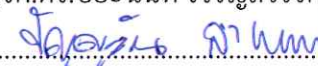
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงการ

(ผศ.นพรัตน์ สีหะวงษ์)

.....กรรมการ

(รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณ)

.....กรรมการ

(ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์)

หัวข้อโครงการ : การวิเคราะห์ผลกระทบแผ่นกั้นแบบเกลียวต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ผู้ดำเนินโครงการ : นายธีรพล ชัยวิเศษ รหัส 54363224
นายณัฐพล กันทะเมืองลี รหัส 54363170

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์นพรัตน์ สีหะวงษ์

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2557

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของมุมเอียงของแผ่นกั้นแบบเกลียวที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าประสิทธิผลการแลกเปลี่ยนความร้อนและค่าความดันตกในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองในห้องปฏิบัติการกับผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ จากผลการคำนวณที่ได้ ค่าความคลาดเคลื่อนสะสมเท่ากับ 12.67 เปรียบเทียบกับค่า RMSE เท่ากับ 0.90 และค่า MBD เท่ากับ 0.84 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนสะสมมีค่ามากกว่าค่า RMSE และค่า MBD ดังนั้นจึงถือว่าแบบจำลองมีความถูกต้องและมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อได้แบบจำลองที่ยอมรับได้แล้วจึงทำการศึกษาการปรับมุมเอียงของแผ่นกั้นที่ $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$ และ 40° และปรับเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นที่ 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% และ 40% กำหนดให้ของไหลทำงานเป็นน้ำ อุณหภูมิน้ำร้อนทางเข้า 350.44 K อุณหภูมิน้ำเย็นทางเข้า 302.27 K อัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำเย็นเท่ากับ 1.5 l/min

จากผลการวิเคราะห์พบว่า การเพิ่มขึ้นของมุมเอียงของแผ่นกั้นแบบเกลียวส่งผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมีค่าลดลง พิจารณาที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10% เมื่อมุมเอียงเพิ่มขึ้นจาก 0° เป็น 40° ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมลดลงเท่ากับ 4.71% อย่างไรก็ตามเมื่อเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นเพิ่มขึ้น มุมเอียงของแผ่นกั้นนั้นจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมน้อยลง โดยพิจารณาที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10%, 20% และ 30% ที่มุมเอียง

เพิ่มขึ้นจาก 0° เป็น 40° ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมลดลงเท่ากับ 4.71%, 1.36% และ 0.50% ตามลำดับ ส่วนการเพิ่มขึ้นของมุมเอียงของแผ่นกั้นแบบเกลียวนั้น จะมีผลกระทบต่อค่าประสิทธิผลการแลกเปลี่ยนความร้อนน้อยมาก พิจารณาจากที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10% ซึ่งมีค่าประสิทธิผลสูงสุด มุมเอียงที่เพิ่มจาก 0° เป็น 40° มีค่าประสิทธิผลลดลงเพียง 0.20% เท่านั้น และการเพิ่มขึ้นของมุมเอียงของแผ่นกั้นแบบเกลียวส่งผลกระทบต่อค่าความดันลดในลักษณะเดียวกันกับที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม คือ จะส่งผลให้ค่าความดันลดมีค่าลดลงและผลกระทบนี้จะมีค่าลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นเพิ่มมากขึ้น พิจารณาที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10%, 20% และ 30% มุมเอียงที่เพิ่มจาก 0° เป็น 40° ค่าความดันลดลดลงเท่ากับ 117.49, 23.48 และ 10.94 Pa ตามลำดับ



Project Title : Influence Analysis of Helical Baffle on Heat Transfer in Shell and Tube Heat Exchanger by Using Finite Element Method

Name : Mr.Theerapol Chaiwiset ID.54363224

Mr.Nuttapon Kuntamuengli ID.54363170

Project Advisor : Asst. Prof.Nopparat Seehawong

Major : Mechanical Engineering

Academic Year : 2014

Abstract

The purpose of this research was to analyze the effect of helical baffle of a shell-and-tube heat exchanger at various tilt angles on overall heat transfer coefficient, effectiveness and pressure drop by using finite element method. The results obtained from laboratory-scaled experiments were compared to model analysis finite element calculation. According to the validation, the propagation of error was 12.67. As compared to the RMSE and the MBD, 0.90 and 0.84 respectively, it shows that the propagation of error is greater than the RMSE and the MBD values. Therefore, the model is considered to be accurate with an acceptable error. After the validation, the finite element simulation by using the model was carried on. The baffle tilt-angle was varied from 0° to 40° with 5° increment. The percentage of baffle cutting area was studied for the values of 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% and 40% respectively. With regard to the scope of this research, the working fluid was limited to water, 350.44 K inlet higher temperature, 302.27 K inlet lower temperature and 1.5 L/min flow rate.

From the study, as the tilt angle of helical baffle increased, the overall heat transfer coefficient was reduced. At 10% cutting area, as the tilt angle was increased from 0° to 40° , the overall heat transfer coefficient decreased to 4.71%. However as

the percentage of baffle cutting area was increased, the overall heat transfer coefficient was sharply declined. At 10%, 20%, and 30% baffle cutting area with the tilt angle ranging from 0° to 40° , the overall heat transfer coefficient values were found to be 4.71%, 1.36% and 0.50%, respectively. The increase in the baffle angel values hardly affected on the heat exchanger effectiveness values. At 10% cutting area, the maximum effectiveness condition, as the tilt angle increased from 0° to 40° , there was only 0.2% reduction on the effectiveness value. Moreover, as the baffle tilt angle was increased, the pressure drop and the effectiveness values were reduced. At 10%, 20%, and 30% baffle cutting area with the baffle tilt angle increased from 0° to 40° , the pressure drop were 117.49, 23.48 and 10.94 Pa, respectively.



กิตติกรรมประกาศ

โครงการด้านวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้ดำเนินงานต้องขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์นพรัตน์ สีหะวงษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินงาน ตลอดจนติดตามผลการดำเนินโครงการมาโดยตลอด ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์ และ ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์ ที่กรุณา รับเป็นกรรมการตรวจสอบโครงร่างปริญญานิพนธ์ และเป็นกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ทั้งเป็นอาจารย์สอนที่ให้คำแนะนำความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการในหลายๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทความรู้ แนะนำและ ตักเตือนแก่ผู้ดำเนินงานจนมีวันนี้

ขอขอบพระคุณฝ่ายเลขานุการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการ

สุดท้ายนี้ ผู้ดำเนินงานขอขอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากโครงการนี้ แต่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ ร่วมร่วมในการทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และถ้าเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงการนี้ ผู้ดำเนินงานต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
แบบเสนอปฏิญญานิพนธ์.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.6 งบประมาณที่ใช้.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	5
2.1 ทฤษฎีระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	5
2.2 ขั้นตอนการใช้งานของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์.....	8

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.3 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน.....	10
2.4 สมการที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.5 ค่าความคลาดเคลื่อน.....	15
2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	20
3.1 ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลรายละเอียด.....	21
3.2 การทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อในห้องปฏิบัติการ.....	21
3.3 สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....	24
3.4 วิเคราะห์แบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	29
3.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลอง.....	29
3.6 ปรับมุมเอียง เพอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นและวิเคราะห์สรุปผล.....	29
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.	31
4.1 ผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการ.....	31
4.2 ผลการทดลองจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....	32
4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	34
4.4 วิเคราะห์ผลกระทบมุมเอียงของแผ่นกั้นและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้น ที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม.....	36

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.5 วิเคราะห์ผลกระทบมุมมองเอียงของแผ่นกั้นและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้น ที่ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อน.....	39
4.6 วิเคราะห์ผลกระทบมุมมองเอียงของแผ่นกั้นและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นที่ส่งผลต่อค่า ความดันลดภายในเปลือกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	43
4.7 รูปตัวอย่างจากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	46
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผล.....	48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก ก วิธีสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Solidworks.....	51
การสร้าง Shell ทางเข้าและทางออกของของไหล.....	53
การสร้าง Tube.....	65
การสร้าง Baffle.....	67
การสร้าง Tube sheet.....	71
การสร้าง Flang.....	75
สร้างแบบจำลองโดยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน.....	82
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	83
เตรียมแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	84
สร้าง Lids ทางเข้าและทางออกของของไหล.....	85

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
กำหนดคุณสมบัติของของไหลในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	86
กำหนดค่าอัตราการไหลและอุณหภูมิของแบบจำลอง.....	92
กำหนด Material ให้ชิ้นส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน.....	98
กำหนดชิ้นส่วนที่แลกเปลี่ยนความร้อน.....	99
วิธีการ Run การแสดงผลและการเก็บค่าจากแบบจำลอง.....	100
ภาคผนวก ค ตารางคุณสมบัติของน้ำ.....	104
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณ.....	106
ประวัติผู้จัดทำโครงการ.....	110

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตารางขั้นตอนการดำเนินงาน.....	4
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ในแบบจำลอง.....	8
ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน.....	8
ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการ.....	32
ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองจากการวิเคราะห์แบบจำลอง.....	33
ตารางที่ 4.3 ผลความคลาดเคลื่อนสะสมและค่าประสิทธิผลจากการทดลอง.....	34
ตารางที่ 4.4 ผลต่างของค่าประสิทธิผลระหว่างแบบจำลองกับการทดลอง.....	35
ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม.....	36
ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิและค่าประสิทธิผลที่มุมเอียงต่างๆ.....	39
ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกค่าความดันและผลของค่าความดัน.....	43

สารบัญรูปรูปภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 1.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	1
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างโครงสร้างของเอลิเมนต์ โดยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....	5
รูปที่ 2.2 การแบ่งวัตถุเป็นชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็ก.....	6
รูปที่ 2.3 การกำหนดสภาวะเงื่อนไขโดยยึดฐานของวัตถุให้อยู่กับที่.....	7
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการขึ้นรูปชิ้นงาน.....	8
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการกำหนดลักษณะเงื่อนไขขอบของแบบจำลอง.....	9
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความดันของแบบจำลอง.....	10
รูปที่ 2.7 การถ่ายเทความร้อน.....	11
รูปที่ 2.8 การนำความร้อนผ่าน.....	11
รูปที่ 2.9 การพาความร้อน.....	12
รูปที่ 2.10 การแผ่รังสีความร้อน.....	13
รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงวิธีดำเนินงาน.....	20
รูปที่ 3.2 ชุดการทดลองรุ่น WL 110.....	21
รูปที่ 3.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	22
รูปที่ 3.4 เครื่องกำหนดอัตราการไหลและอุณหภูมิ.....	22
รูปที่ 3.5 ชุดสายยางของน้ำร้อนและน้ำเย็น.....	23
รูปที่ 3.6 การตั้งค่าการทดลอง.....	23

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 3.7 ลักษณะของเปลือก.....	24
รูปที่ 3.8 ลักษณะของท่อ.....	25
รูปที่ 3.9 ลักษณะของแผ่นกั้น.....	25
รูปที่ 3.10 ลักษณะของแผ่นสวมยึดท่อ.....	25
รูปที่ 3.11 ลักษณะของท่อทางเข้าและทางออกของกระแส น้ำ.....	26
รูปที่ 3.12 แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	26
รูปที่ 3.13 กำหนดตำแหน่งทางเข้าและทางออกของของไหลทั้ง 2 กระแส.....	28
รูปที่ 3.14 กำหนดตำแหน่งทางเข้าและทางออกของของไหลทั้ง 2 กระแส ในการวิเคราะห์การรับมุมเอียงของแผ่นกั้น.....	30
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิทางเข้า - ออกของน้ำร้อนและน้ำเย็น.....	31
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิทางเข้า - ออกของน้ำร้อนและน้ำเย็น.....	33
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม.....	38
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าประสิทธิผล.....	42
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความดันลด.....	45
รูปที่ 4.6 การจำลองทิศทางการไหลของอุณหภูมิด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	46
รูปที่ 4.7 การจำลองทิศทางการไหลของความดันด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	47

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	m ²
c _p	ค่าความจุจำเพาะ	J/kg · K
{d}	เมตริกซ์การเสีรूपของแต่ละโนด	
{D}	ผลรวมของการเสีรूपแต่ละโนด	
{f}	เมตริกซ์ของแรงที่กระทำแต่ละโนด	
{F}	ผลรวมเมตริกซ์ของแรงกระทำแต่ละโนด	
{k}	ค่าสทิฟเนสเมตริกซ์ของเอลิเมนต์ย่อย	
{K}	ผลรวมสทิฟเนสเมตริกซ์ของเอลิเมนต์	
h	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน	W/m ² · K
k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	W/m ² · K
ṁ	อัตราการไหลเชิงมวล	kg/s
P	ความดัน	Pa
Q	ความร้อนที่แลกเปลี่ยน	W
T _{hot,in}	อุณหภูมิทางเข้าของน้ำร้อน	K
T _{hot,out}	อุณหภูมิทางออกของน้ำร้อน	K
T _{cold,in}	อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเย็น	K
T _{cold,out}	อุณหภูมิทางออกของน้ำเย็น	K

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
ΔT_{lm}	ผลต่างของอุณหภูมิเชิงล็อก	K
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	$W/m^2 \cdot K$
X	ความหนาของวัสดุนำความร้อน	mm
σ	ค่าคงที่ของ สตีฟาน-โบลทซ์มันน์	$W/m^2 \cdot K^4$
ϵ	ค่าประสิทธิผล , ค่าการแผ่รังสี (Emissivity)	
T_s	อุณหภูมิของพื้นผิว	K
ΔT	ผลต่างของอุณหภูมิ	K
T_A	อุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุแผ่รังสีความร้อน	K
T_p	อุณหภูมิของผิววัตถุ	K
T_f	อุณหภูมิส่วนต้นของของไหล	K
δx	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์	

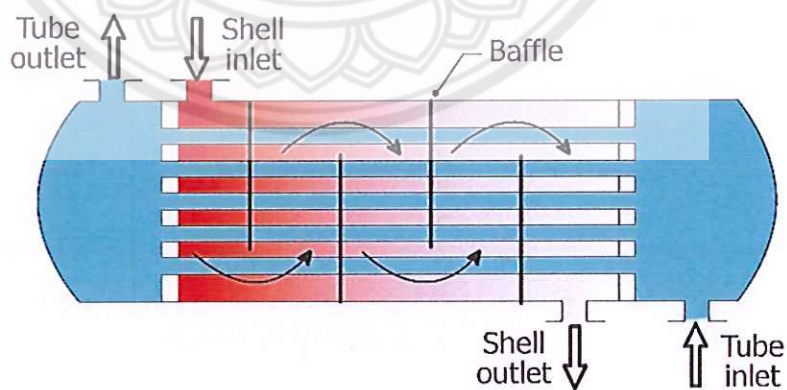
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรม โดยทำหน้าที่ในการระบายความร้อนออกจากกระบวนการต่างๆ ที่มีมากจนเกินไปจนอาจก่อให้เกิดผลเสียในการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ หรือในกรณีที่ต้องการนำความร้อนที่เกิดขึ้นกลับมาใช้ใหม่เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ [5] มีความสามารถที่จะทำการดึงหรือรับความร้อนจำนวนมากเข้าหรือออกจากขบวนการเป็นอย่างดีและมีส่วนประกอบหลักภายในเครื่องซึ่งทำหน้าที่ในการทำงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 1.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

[ที่มา <http://faculty.kfupm.edu.sa/ME/antar/experiments>]

1.1.2 ตัวเปลือก (Shell) คือ ส่วนประกอบที่มีความแข็งแรงสูง ทำหน้าที่เป็นช่องทางลำเลียงของไหลทำงานชนิดที่หนึ่ง (Primary Fluids) ให้ไหลผ่านเข้าและออกที่ตัวเปลือกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

1.1.3 แผ่นกั้น (Baffle) คือ อุปกรณ์ที่บังคับทิศทางการไหลของของไหลชนิดที่หนึ่ง เพื่อให้เกิดการหมุนวนภายในตัวเปลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ช่วยยืดชุดท่อรวมทั้งป้องกันการสั่นสะเทือนในขณะทำงานเมื่อมีของไหลไหลผ่านและเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อน

เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของแผ่นกั้น โครงการนี้จึงได้มีแนวคิดในการปรับปรุงรูปแบบการวางตัวของแผ่นกั้น โดยบังคับทิศทางการไหลของของไหลให้มีลักษณะหมุนวนเป็นเกลียว และทำการวิเคราะห์ผลกระทบของมุมเอียงของแผ่นกั้นต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าความดันลดและค่าประสิทธิผลต่อมุมเอียงของการแลกเปลี่ยนความร้อน ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาผลกระทบของมุมเอียงของแผ่นกั้นแบบเกลียว ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าความดันลดและค่าประสิทธิผลของการแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 การวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ

1.3.2 เป็นการศึกษาผลกระทบของมุมเอียงของแผ่นกั้นที่มุมเอียง 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , 40° และที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% และ 40%

1.3.3 วัสดุในแบบจำลองระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีลักษณะเป็น Isotropic Material และ Homogeneous Material

1.3.4 การศึกษาการส่งผ่านความร้อนในสภาวะคงตัว

1.3.5 ค่าความดันลดเป็นการศึกษาเฉพาะของไหลภายในเปลือก

1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้แบบจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ ที่สามารถวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ เช่น หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม หาค่าความดันลด

1.4.2 ทราบถึงผลกระทบของมุมเอียงของแผ่นกั้นแบบเกลียว เพื่อนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพเพื่อให้ใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีรวมถึงข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ทำการทดลองและคำนวณผลที่ได้จากการทดลอง

1.5.3 สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

1.5.4 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ระหว่างผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์

1.5.5 ปรับมุมของแผ่นกั้นแบบเกลียว จากนั้นวิเคราะห์และสรุปผล

1.5.6 จัดทำเล่มปริญาานิพนธ์

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2557					2558						
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1. ศึกษาทฤษฎีรวมถึงข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง												
2. ทำการทดลองและคำนวณผลที่ได้จากการทดลอง												
3. สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์												
4. เปรียบเทียบและวิเคราะห์ระหว่างผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์												
5. ปรับมุมเอียงของแผ่นกั้นแบบเกลียวจากนั้นวิเคราะห์และสรุปผล												
6. จัดทำเล่มปริยญา นินพนธ์												

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

1.6.1 กระดาษ 500 บาท

1.6.2 จัดทำรูปเล่ม 1,000 บาท

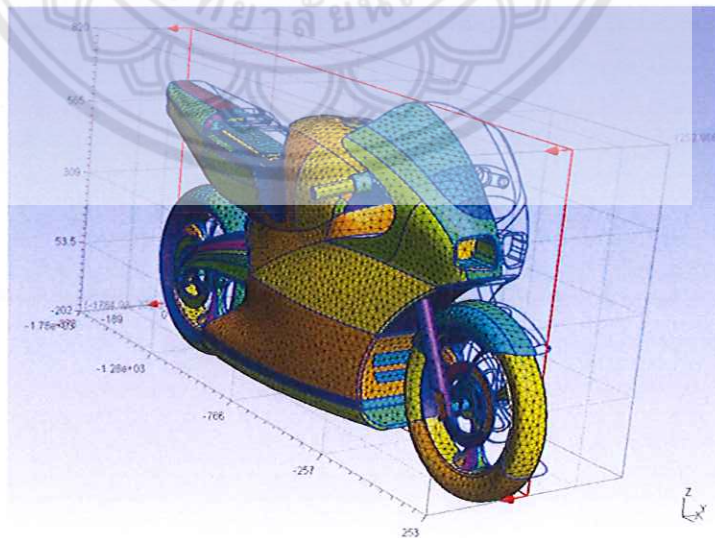
1.6.3 ค่าอุปกรณ์อื่นๆ 500 บาท

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [4]

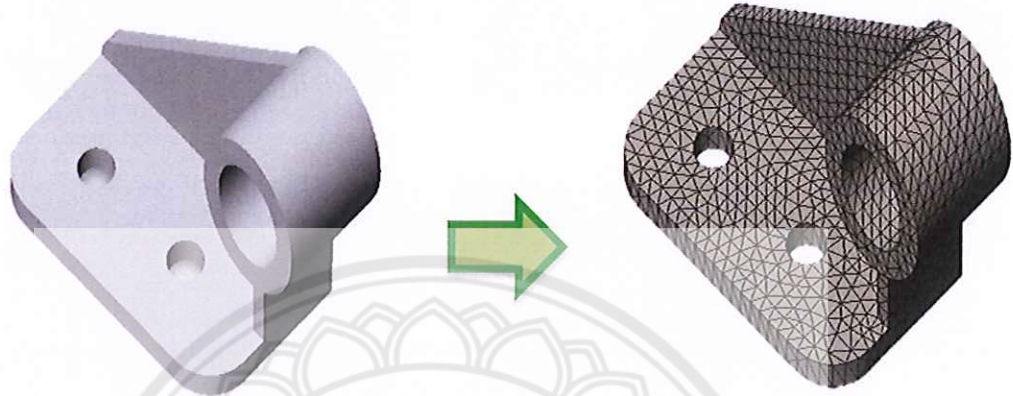
เนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อนั้นมีรูปร่างที่ซับซ้อน ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) จึงเป็นวิธีที่เหมาะสม เพราะสามารถวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ได้โดยง่ายและสะดวกรวดเร็ว ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่มีแนวความคิดที่ว่าวัตถุที่มีรูปร่างซับซ้อนใดๆ จะสามารถแบ่งออกเป็นชิ้นเล็กๆ ได้ โดยแต่ละชิ้นสามารถพิจารณาแยกกันอย่างอิสระและสามารถประกอบเข้ากันเป็นวัตถุรูปแบบเดิมได้ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เหมาะสมกับปัญหาที่ยุ่งยากซับซ้อน ซึ่งไม่สามารถหาผลเฉลยแม่นยำตรงได้จากสมการอนุพันธ์ ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีหลักการและขั้นตอนดังนี้คือ



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างโครงสร้างของเอลิเมนต์ โดยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

[ที่มา th.wikipedia.org/wiki/ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์]

2.1.1 แบ่งวัตถุที่พิจารณาออกเป็นชิ้นเล็กๆ เรียกว่า Element และเชื่อมต่อกันด้วย Node



รูปที่ 2.2 การแบ่งวัตถุเป็นชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็ก

2.1.2 สร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของแต่ละเอลิเมนต์ (Local Finite Element Equation) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของภาระและผลที่เกิดขึ้น

$$\{f\} = [k]\{d\}$$

โดยที่

$\{f\}$ คือ Local Force Vector เป็น Column Matrix ของภาระที่กระทำในแต่ละ Node ในกรณีการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน ภาระจะเป็นแหล่งความร้อนต่างๆ ซึ่งอาจกำหนดในรูปของ อุณหภูมิ Heat Flux ความดันหรืออัตราการไหล เป็นต้น

$[k]$ คือ Local Stiffness Matrix เป็น Matrix แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระและผลที่เกิดขึ้น ในกรณีการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผลที่เกิดขึ้นคือการกระจายอุณหภูมิที่ Node ต่างๆ

$\{d\}$ คือ Local Displacement Vector เป็น Column Matrix แสดงอุณหภูมิที่ Node ต่างๆ

2.1.3 รวมสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของแต่ละเอลิเมนต์เข้าด้วยกัน ซึ่งจะทำให้ได้สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองทั้งหมด (Global Finite Element Equation)

$$\begin{array}{l} \{f\} = [k]\{d\} \\ \dots \\ \{f\} = [k]\{d\} \\ \dots \\ \{f\} = [k]\{d\} \end{array} \rightarrow \{F\} = [K]\{D\}$$

2.1.4 กำหนดสถานะเงื่อนไขขอบ สำหรับการทดลองค่าที่กำหนด เช่น Heat transfer coefficient ค่าการนำความร้อนของวัสดุ



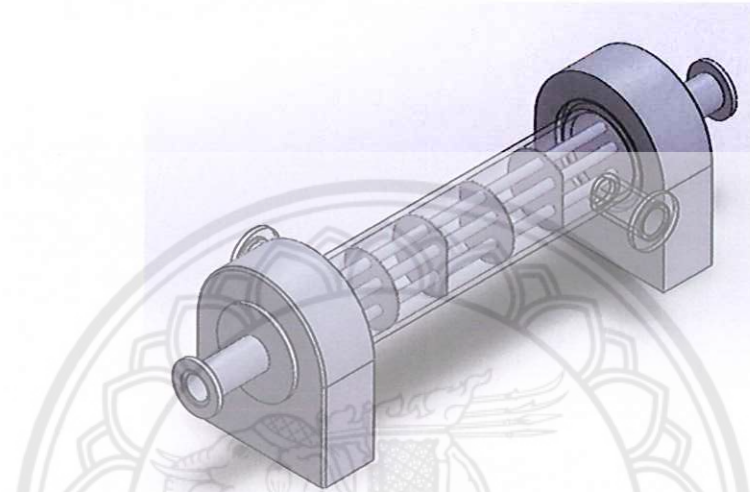
รูปที่ 2.3 การกำหนดสถานะเงื่อนไขโดยยึดฐานของวัตถุให้อยู่กับที่

สำหรับการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ ในโครงการนี้ จะทำโดยการใช้งานโปรแกรม Solidworks Simulation ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้วิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังนั้น กระบวนการการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ได้กล่าวข้างต้น จะกระทำผ่านโปรแกรมนี้

2.2 ขั้นตอนการใช้งานของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

2.2.1 ขั้นตอนของการเตรียมแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ (Pre-processing)

2.2.1.1 การสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Geometry modeling)



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการสร้างชิ้นงาน

2.2.1.2 การกำหนดชนิดและคุณสมบัติของวัสดุ (Material property)

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างคุณสมบัติของวัสดุ [3]

วัสดุ	Thermal conduction ($W/m \cdot K$)	Specific heat ($J/kg \cdot K$)	Mass density (kg/m^3)
Stainless steel 321	16.1	500	8,000
Glass	1.4	835	2,225

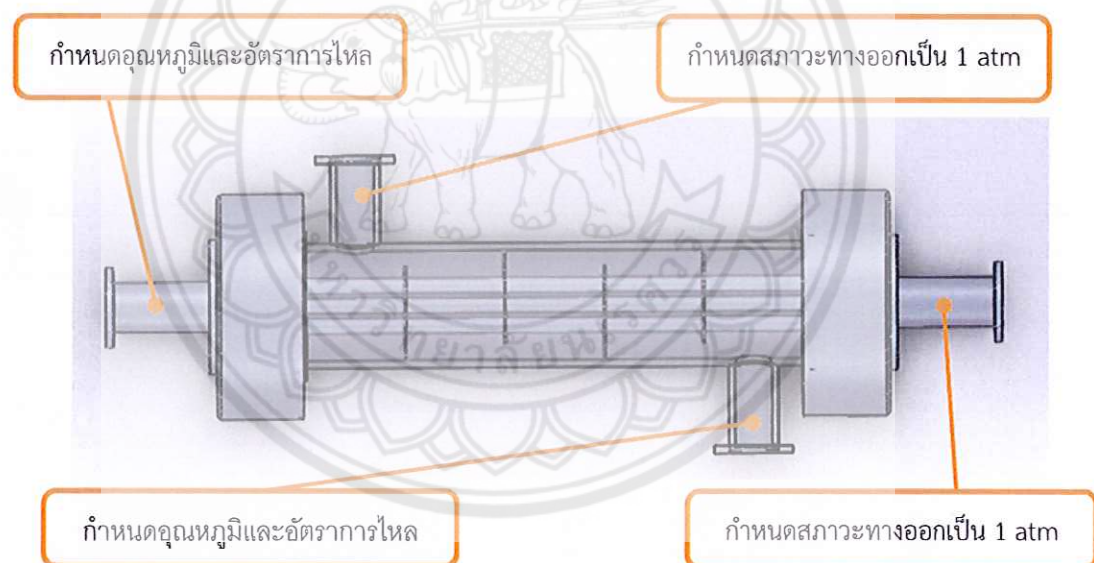
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน [3]

Process	$h(W/m^2 \cdot K)$
Free convection	
Gases	2 - 25
Liquids	50 - 1,000

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน(ต่อ)

Process	h (W/m ² ·K)
Forced convection	
Gases	25 - 250
Liquids	100 - 20,000
Convection with phase change	
Boiling or condensation	2,500 - 100,000

2.2.1.3 กำหนดลักษณะของภาวะ (Load) ที่มากระทำกับแบบจำลอง ซึ่งในกรณีศึกษาี้ภาวะที่กระทำคือ อุณหภูมิและอัตราการไหล



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการกำหนดลักษณะเงื่อนไขขอบของแบบจำลอง

2.3.1.4 การกำหนดลักษณะเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) เป็นการกำหนดเงื่อนไขต่างๆ ให้กับแบบจำลอง โดยกรณีศึกษาี้จะกำหนดให้ท่อ (Tube) ทำหน้าที่เป็นวัสดุตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อนระหว่างของไหลทำงานทั้ง 2 ชนิด มีการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนเพียงอย่างเดียว และกำหนดให้เปลือก (Shell) ทำหน้าที่เป็นท่อทางลำเลียงของไหลทำงานชนิดที่

หนึ่ง (Primary Fluids) ให้ไหลผ่านเข้าและออกที่ตัวเปลือกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไม่มีการแผ่รังสี เป็นต้น

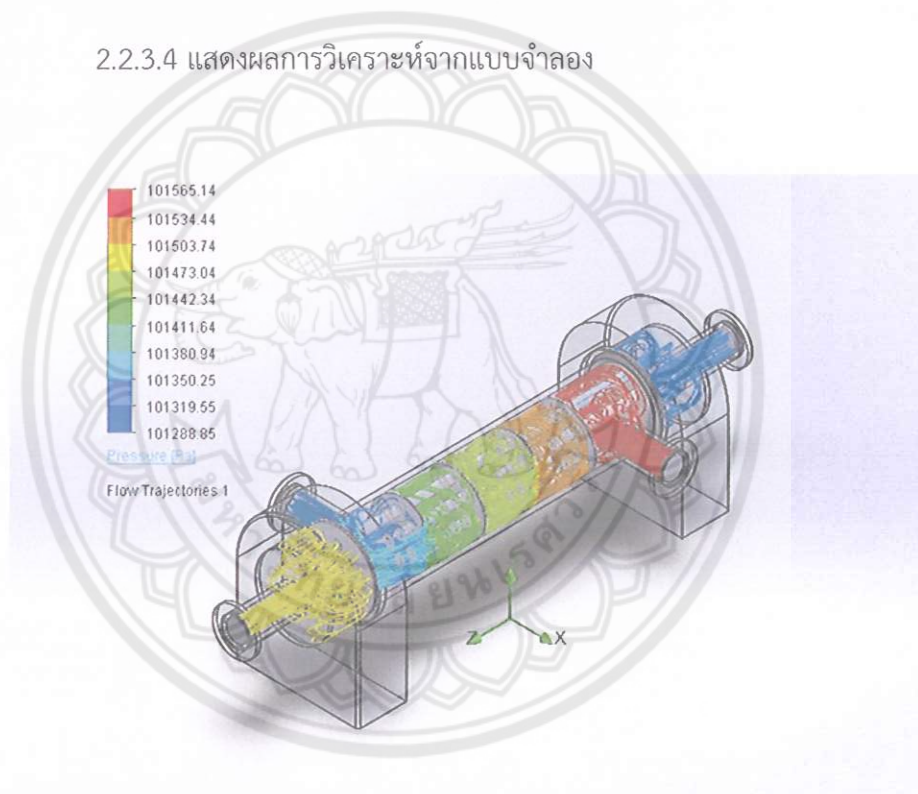
2.2.2 ขั้นตอนการแสดงผลการวิเคราะห์ (Post-processing)

2.2.3.1 กำหนดการแสดงผลของค่าความดันและอุณหภูมิ

2.2.3.2 กำหนดลักษณะการไหลของของไหลภายในแบบจำลอง

2.2.3.3 บันทึกค่าผลการวิเคราะห์จากแบบจำลอง

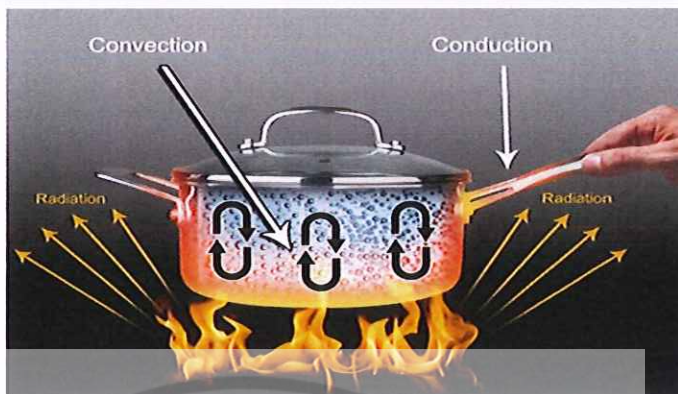
2.2.3.4 แสดงผลการวิเคราะห์จากแบบจำลอง



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความดันของแบบจำลอง

2.4 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน [3]

ถ่ายเทความร้อน แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

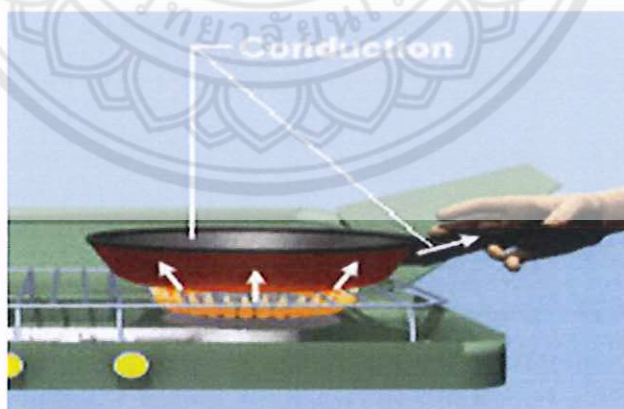


รูปที่ 2.7 การถ่ายเทความร้อน

[ที่มา <http://www.bakingmatters.co.uk/heat.php>]

2.4.1 การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าที่มีของแข็งเป็นตัวกลาง โดยตัวกลางนั้นไม่มีการเคลื่อนที่ แต่การส่งผ่านความร้อนจะผ่านไป ตามของแข็งที่ใช้เป็นตัวกลาง



รูปที่ 2.8 การนำความร้อน

[ที่มา http://solidswiki.com/index.php?title=Heat_Conductors]

$$Q = \frac{kA\Delta T}{L} = \frac{kA(T_2 - T_1)}{L}$$

โดยที่

Q คือ อัตราการนำความร้อน (W)

k คือ ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) (W/m·K)

A คือ พื้นที่ในการถ่ายโอนความร้อน (m²)

L คือ ระยะทางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน (m)

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิ (K)

2.4.2 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อน คือ วิธีการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในของไหล ซึ่งโมเลกุลมีอิสระที่จะเคลื่อนที่ไปรอบๆ ได้ โดยปริมาณความร้อนจะไหลไปกับโมเลกุลซึ่งกำลังเคลื่อนที่อยู่



รูปที่ 2.9 การพาความร้อน

[ที่มา <http://www.fwdder.com/topic/74409>]

$$Q = hA\Delta T = hA(T_p - T_f)$$

โดยที่

Q คือ อัตราการพาความร้อน (W)

A คือ พื้นที่ในการถ่ายโอนความร้อน (m^2)

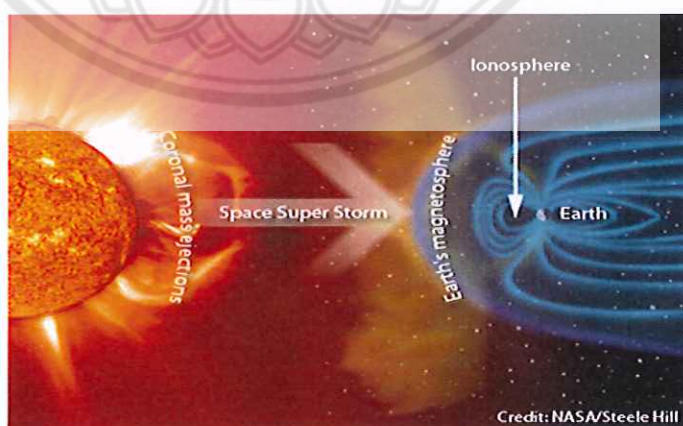
h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat transfer coefficient) ที่ผิวสัมผัสระหว่างของไหลกับ
วัตถุ ($W/m^2 \cdot K$)

T_p คือ อุณหภูมิของผิววัตถุ (K)

T_f คือ อุณหภูมิของของไหลที่อยู่ห่างออกไปจากผิวหรืออุณหภูมิส่วนต้นของของไหล (K)

2.4.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัย
ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 2.10 การแผ่รังสีความร้อน

[ที่มา http://www.sunflowercosmos.org/warning_report/warning_report_main/space_storm_1.html]

$$Q = \sigma \epsilon A T_A^4$$

โดยที่

Q คือ อัตราการแผ่รังสีความร้อน (W)

σ คือ ค่าคงที่สเตฟาน-โบลทซ์มันน์ (Stefan-Boltzmann constant) มีค่าเท่ากับ $5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

ϵ คือ ค่าการแผ่รังสี (Emissivity)

T_A คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุแผ่รังสีความร้อน (K)

A คือ พื้นที่ในการถ่ายโอนความร้อน (m^2)

2.5 สมการที่เกี่ยวข้อง [1]

2.5.1 ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat, c_p) โดยความดันคงที่ คือ พลังงานที่ให้กับสารหนึ่งหน่วยมวลแล้ว ส่งผลให้อุณหภูมิของสารนั้นเพิ่มขึ้น 1 หน่วยอุณหภูมิตามกระบวนการความดันคงที่ สามารถเขียนเป็นปริมาณความร้อนได้ ดังสมการ

$$c_p = \frac{\dot{Q}}{\dot{m} \Delta T}$$

2.5.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient, U) คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อผลต่างของอุณหภูมิระหว่างของไหลทั้งสองและพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถเขียนปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นได้ ดังสมการ

$$U = \frac{\dot{Q}}{A \Delta T_{lm}}$$

หา ΔT_{lm} ของการไหลแบบสวนทางโดยสมการ

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{hot,in} - T_{cold,out}) - (T_{hot,out} - T_{cold,in})}{\ln\left(\frac{T_{hot,in} - T_{cold,out}}{T_{hot,out} - T_{cold,in}}\right)}$$

2.5.3 ค่าประสิทธิผล (Effectiveness) คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้จริงต่อการถ่ายเทความร้อนที่เป็นไปได้สูงสุด หาได้จากสมการ

$$\varepsilon = \frac{T_{hot,in} - T_{hot,out}}{T_{hot,in} - T_{cold,in}} \times 100\%$$

2.6 ค่าความคลาดเคลื่อน [6]

2.6.1 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute Error) คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือวัด หาได้จากค่าปริมาณความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่วัดได้ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Absolute Error} = \text{Best Estimate } (X_{best}) \pm \text{Uncertainty } (\delta x)$$

2.6.2 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error) คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหาได้จากค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เปรียบเทียบกับค่าจริง ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์} = \text{ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์} \times 100\% / \text{ค่าที่แท้จริง}$$

$$\text{Relative Error} = \frac{\delta x}{|X_{best}|} \times 100\%$$

2.6.3 ค่าความคลาดเคลื่อนสะสม (Propagation of Error)

การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสะสมสามารถหาได้จากวิธี Step By Step โดยการใช้สมการ Quadratic Sum

2.6.3.1 กรณีที่สมการของตัวแปรต้นบวกหรือลบกันจะใช้สมการ Absolute Error

$$q = x + \dots z - (u + \dots v)$$

$$\delta q = \sqrt{(\delta x^2) + \dots + (\delta z^2)}$$

2.6.3.2 กรณีที่สมการของตัวแปรต้นคูณหรือหารกันใช้สมการ Relative Error

$$q = \frac{x \cdot y \cdot z}{u \cdot v \cdot w}$$

$$\frac{\delta q}{|q|} = \sqrt{\left(\frac{\delta x}{x}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta z}{z}\right)^2 + \left(\frac{\delta u}{u}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta w}{w}\right)^2}$$

2.6.4 Root Mean Square Error (RMSE) คือ การวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ประมาณได้จากแบบจำลองหาก RMSE มีค่าน้อย แสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง ดังนั้นหากมีค่าเท่ากับศูนย์แล้ว จะหมายความว่าไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในแบบจำลองนี้ คำนวณได้จากสมการ

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M - E)^2}{N}}$$

เมื่อ M คือ ผลจากแบบจำลอง

E คือ ผลจากการทดลอง

N คือ จำนวนข้อมูล

2.6.5 Mean Bias Difference (MBD) เป็นค่าที่บ่งบอกว่าตัวโมเดลทำนายเกินหรือทำนายขาด (+) ทำนายเกิน (-) ทำนายขาด

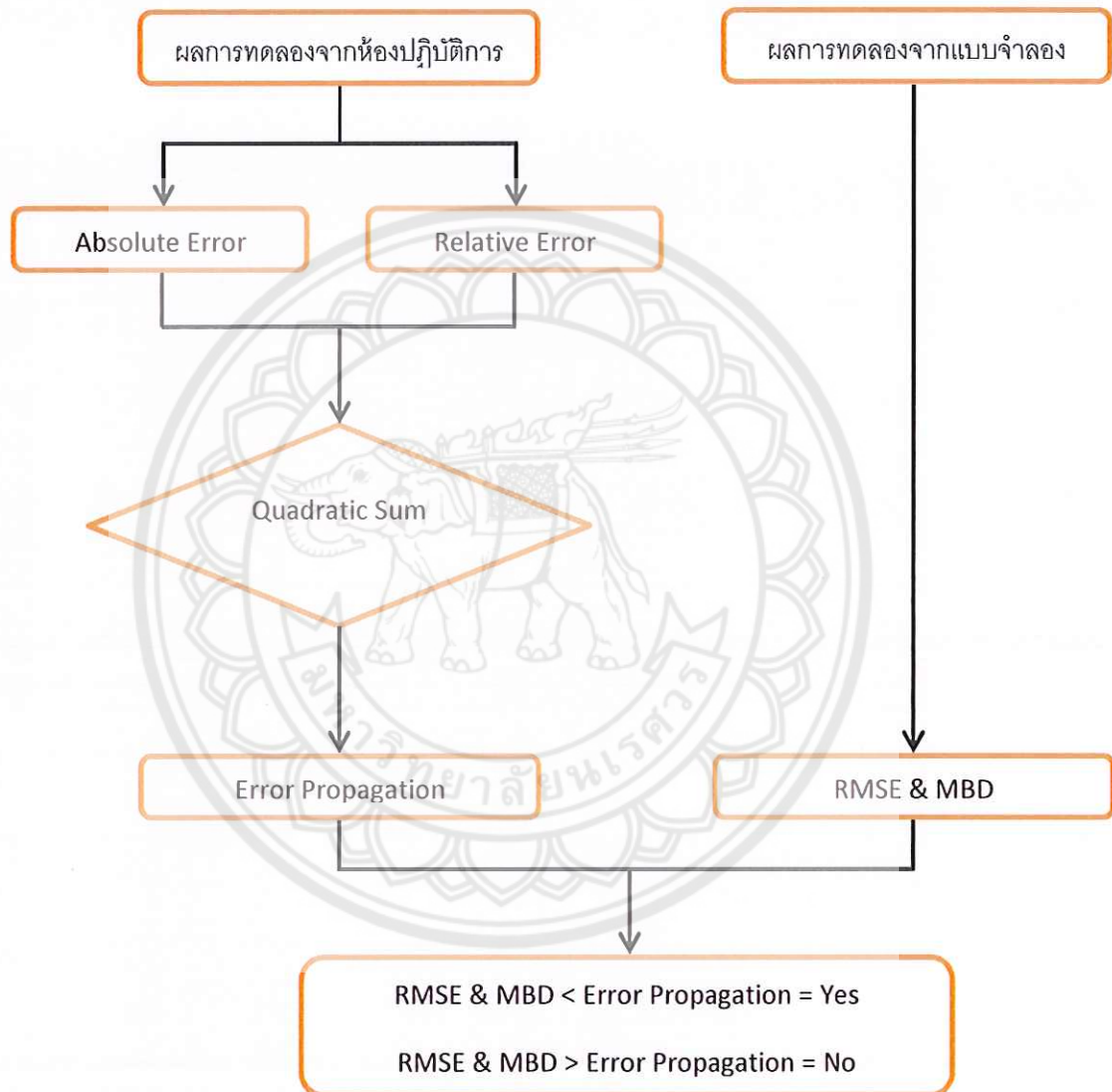
$$MBD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M - E)$$

เมื่อ M คือ ผลจากแบบจำลอง

E คือ ผลจากการทดลอง

N คือ จำนวนข้อมูล

2.6.6 แผนผังแสดงการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง



ค่า RMSE และค่า MBD เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนสะสม (Error Propagation) ที่เกิดขึ้นจริง ถ้ามีค่าน้อยกว่าสามารถสรุปได้ว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลองที่ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ถ้ามีค่ามากกว่าสามารถสรุปได้ว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลองที่ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับไม่ได้

2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายณรงค์ จันทิชัย นายสุวัฒน์ ศรีสอาด และนายเอกมล มัสโอดี ได้ทำการศึกษาค่าระยะห่างของแผ่นกั้น ที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าความดันลดและค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาระยะห่างของแผ่นกั้นที่ 19.68%, 13.94%, 10.75%, 8.72% และ 7.32% ของความยาวเปลือก จากการศึกษพบว่า การปรับระยะห่างของแผ่นกั้นจะส่งผลกระทบต่อค่าประสิทธิผลน้อยมาก แต่จะส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและค่าความดันลด โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและค่าความดันลดจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นเพิ่มมากขึ้น โดยกำหนดให้อุณหภูมิทางเข้าของกระแสร้อนเป็น 350.68 K อุณหภูมิทางเข้าของกระแสเย็นเป็น 340.72 K อัตราการไหลเชิงปริมาตรของกระแสร้อนเป็น $8.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของกระแสเย็นเป็น $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ และความดันที่ทางออกของทั้งสองกระแสเป็น 1 atm [1]

นายเต็ดดวง วงศ์วิริยชาติ นายประสงค์ พิทักษ์ทองกุล และนายไพฑูรย์ ไชยวรรณ ได้ทำการศึกษาโครงการวิเคราะห์ผลกระทบบ่อยเรื้อรังการตัดของแผ่นกั้น ต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ค่าความดันลดและค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่เปอร์เซ็นต์การตัด 15% ถึง 45% จากผลการวิเคราะห์พบว่าที่เปอร์เซ็นต์การตัด 35% ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ $385.98 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ การเพิ่มเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นจะส่งผลให้ค่าความดันลดลงและจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าประสิทธิผล โดยการศึกษานั้นกำหนดอุณหภูมิทางเข้าของกระแสร้อนเท่ากับ 350.68 K และอุณหภูมิทางเข้าของกระแสเย็นเป็น 304.72 K อัตราการไหลเชิงปริมาตรของกระแสร้อนเท่ากับ $8.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของกระแสเย็นเท่ากับ $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ และความดันที่ทางออกของทั้งสองเท่ากับ 1 atm [2]

นายจรัส เนาวราช นายณัฐชนน ศรีทองวัฒนา และนายวิชัย จันท์ทอง ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบบ่อยเรื้อรังการตัดและมุมเอียงของแผ่นกั้น ที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าความดันลดและค่าประสิทธิผลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการศึกษาทำการปรับมุมเอียงของแผ่นกั้นที่ 0° ถึง 30° และที่เปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้น 10% ถึง 40% การทดลองกำหนดให้ของไหลทำงานคือ น้ำ อุณหภูมิ

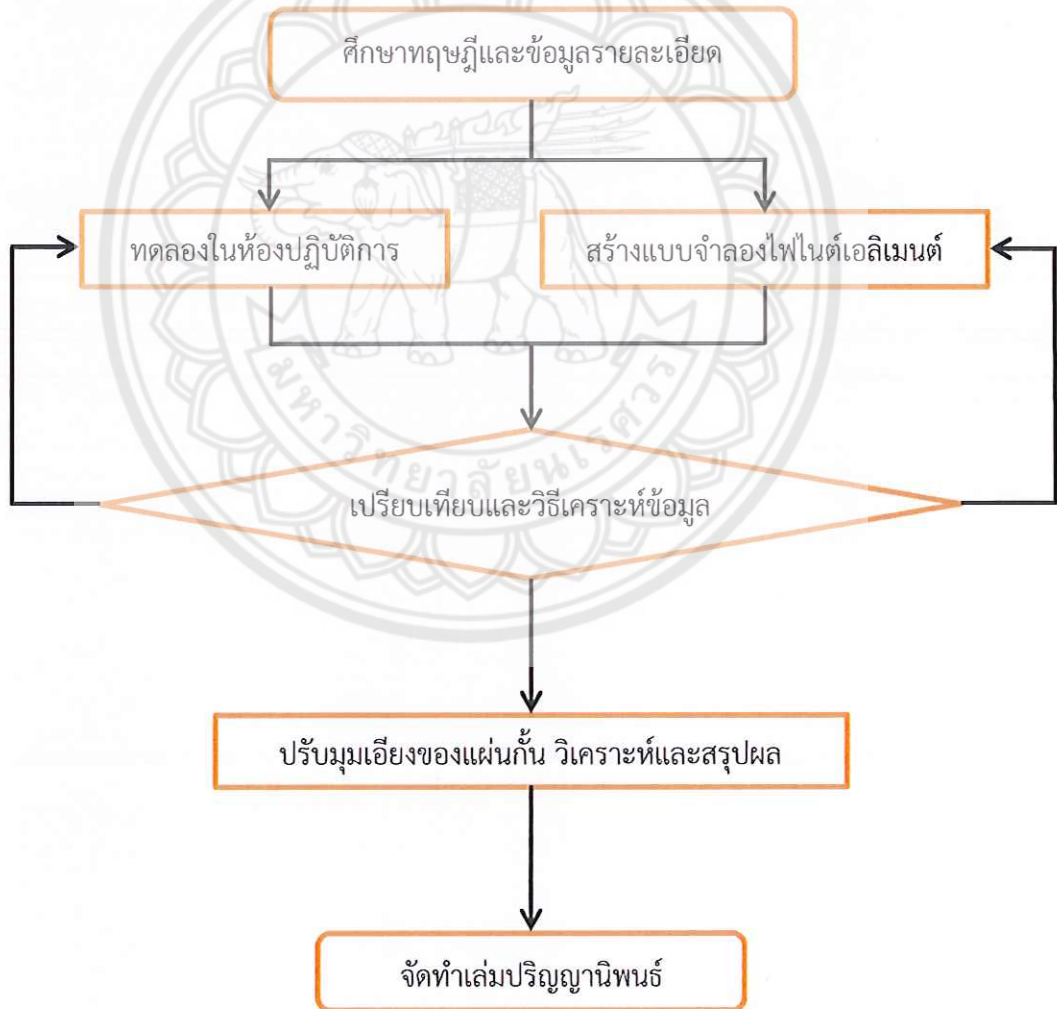
น้ำร้อนขาเข้า 350 K อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า 302 K อัตราการไหลของกระแสความร้อนและกระแสน้ำเย็นเท่ากับ 2.2 l/min และค่าความดันที่ทางออกน้ำเย็นและน้ำร้อนเท่ากับ 1 atm จากผลการวิเคราะห์พบว่า เมื่อมุมเอียงของแผ่นกันเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าลดลง ส่วนผลกระทบต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนมีลักษณะเช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม แต่ผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นน้อยมาก [3]



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานของโครงการนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนภูมิวิธีดำเนินงาน

3.1 ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลรายละเอียด

ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานนี้ โดยทำการศึกษาดังนี้

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1.2 ศึกษาทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

3.1.3 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.3.1 การวิเคราะห์ผลกระทบเปอร์เซ็นต์การตัดและมุมเอียงของแผ่นกั้นต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1.3.2 การวิเคราะห์ผลกระทบระยะของแผ่นกั้นต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1.3.3 การวิเคราะห์ผลกระทบเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.2 การทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อในห้องปฏิบัติการ

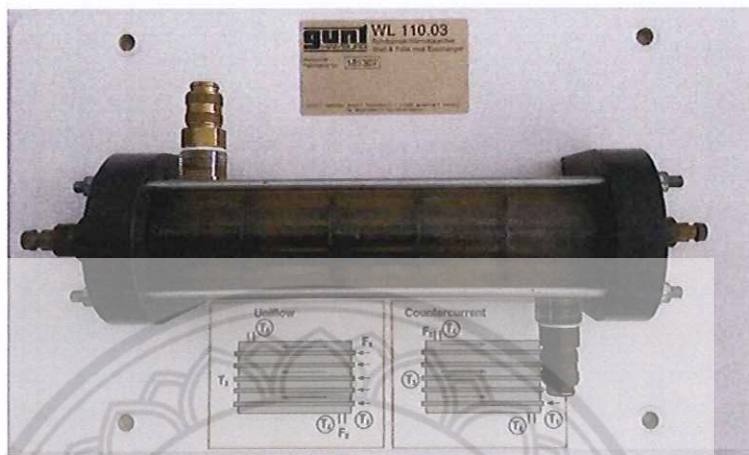
การทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล โดยใช้ชุดการทดลองรุ่น WL 110 ซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำหนดอัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำเย็นและอุณหภูมิของน้ำร้อน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อขนาดเล็ก ที่แผ่นกั้นและท่อทำจากสแตนเลสและเปลือกทำจากแก้ว



รูปที่ 3.2 ชุดการทดลองรุ่น WL 110

3.2.1 ชุดอุปกรณ์ในการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ

3.2.1.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ



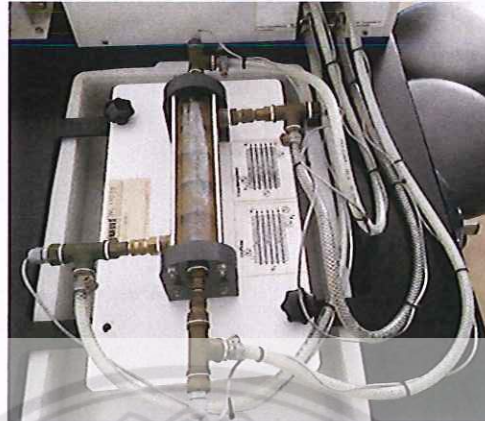
รูปที่ 3.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

3.2.1.2 เครื่องกำหนดอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำร้อนและน้ำเย็น



รูปที่ 3.4 เครื่องกำหนดอัตราการไหลและอุณหภูมิ

3.2.1.3 ชุดสายยางของน้ำร้อนและน้ำเย็น



รูปที่ 3.5 ชุดสายยางของน้ำร้อนและน้ำเย็น

3.2.2 วิธีทำการทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

3.2.2.1 ประกอบชุดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรุ่น WL 110 โดยการต่อสายยางน้ำร้อนและน้ำเย็นให้มีรูปแบบการไหลแบบสวนทางกัน

3.2.2.2 เปิดสวิตช์ชุดควบคุมอุณหภูมิ

3.2.2.3 กำหนดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำร้อนและน้ำเย็นเท่ากับ $1.5 \text{ l/min} = 2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$



รูปที่ 3.6 การตั้งค่าการทดลอง

3.2.2.4 เมื่อเครื่องทำความร้อนให้ความร้อนที่ 80°C ให้อ่านค่าอุณหภูมิน้ำร้อน และน้ำเย็นที่ทางเข้าและทางออก

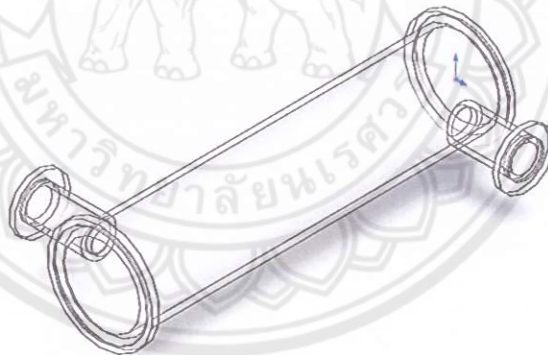
3.2.3 ทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแล้วนำไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเพื่อนำผลไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.3 สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

3.3.1 สร้างแบบจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ (ชุดทดลอง WL110)

การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ จะทำการสร้างด้วยโปรแกรม Solidworks โดยมีประกอบทั้ง 5 ส่วน คือ

3.3.1.1 เปลือก (Shell) ทำมาจากแก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 50 mm หนา 3 mm ยาว 200 mm มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 3.7 ลักษณะของเปลือก

3.3.1.2 ท่อ (Tubes) ทำจาก Stainless steel 321 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 mm ยาว 200 mm หนา 1 mm จำนวน 7 ท่อ มีลักษณะดังนี้



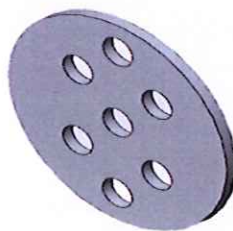
รูปที่ 3.8 ลักษณะของท่อ

3.3.1.3 แผ่นกั้น (Baffle) ทำจาก Stainless steel 321 ความหนา 0.75 mm
เปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นอยู่ที่ 15% จำนวน 4 แผ่น มีลักษณะดังนี้



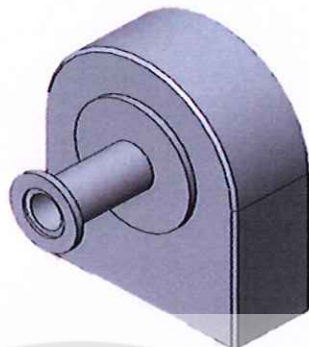
รูปที่ 3.9 ลักษณะของแผ่นกั้น

3.3.1.4 แผ่นสวมยึดท่อ (Tube sheets) ทำจาก Stainless steel 321 ความหนา
2 mm จำนวน 2 แผ่น มีลักษณะดังนี้



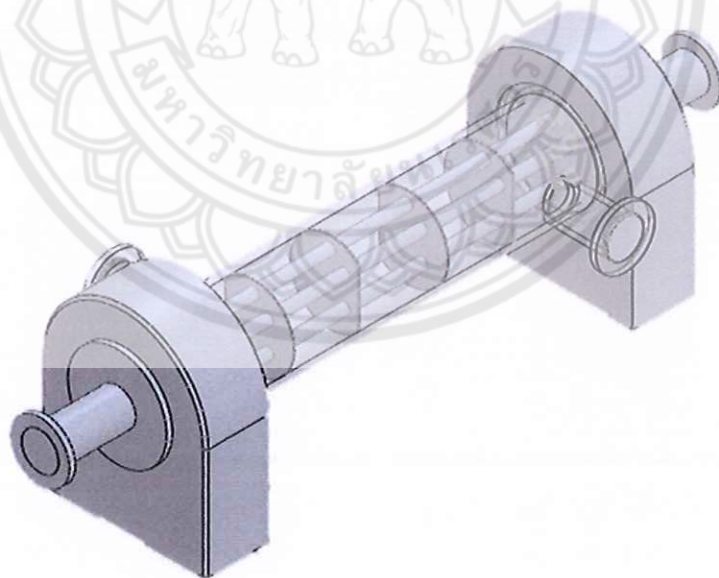
รูปที่ 3.10 ลักษณะของแผ่นสวมยึดท่อ

3.3.1.5 ท่อทางเข้าและท่อทางออก (Tube side flow in and out) ของกระแสน้ำ
ทำจาก Stainless steel 321 มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 3.11 ลักษณะของท่อทางเข้าและทางออกของกระแสน้ำ

3.3.1.6 การประกอบแบบจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและ
ท่อ



รูปที่ 3.12 แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

3.2.2 กำหนดคุณสมบัติและสภาวะเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง

3.3.2.1 กำหนดคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ให้แบบจำลองดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างคุณสมบัติของวัสดุ

วัสดุ	Thermal conduction (W/m·K)	Specific heat (J/kg·K)	Mass density (kg/m ³)
Stainless steel 321	16.1	500	8,000
Glass	1.4	835	2,225

ที่มา : Dewitt Bergman Lavine (2007)

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

Process	h (W/m ² ·K)
Free convection	
Gases	2-25
Liquids	50-1,000
Forced convection	
Gases	25-250
Liquids	100-20,000
Convection with phase change	
Boiling or condensation	2,500-100,000

ที่มา : หนังสือ Fundamentals of Heat and Mass Transfer [Sixth edition] หน้า 8

ในแบบจำลองกำหนดให้ของไหลภายในเปลือกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาความร้อนแบบบังคับ สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากการทดลอง โดยคำนวณจากสมการ

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T$$

โดย Q คือ ปริมาณความร้อนที่กระแสน้ำของไหลเย็นรับไปจากกระแสน้ำของไหลร้อน (W)

\dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลกระแสน้ำเย็น (kg/s)

c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะเปิดตาราง (J/kg·K)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิของของไหลกระแสน้ำเย็น (K)

และสมการ

$$Q = hA\Delta T$$

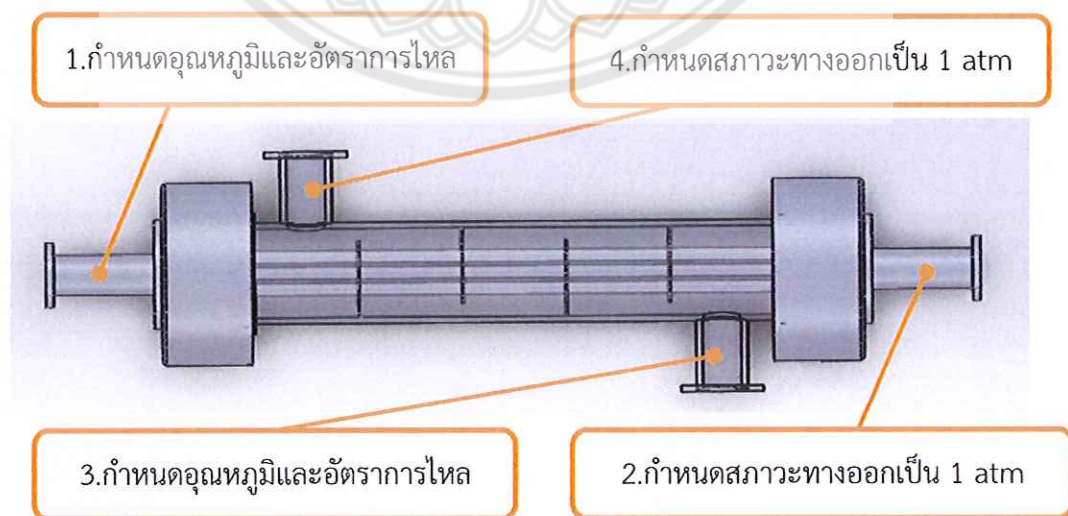
โดยที่ Q คือ ปริมาณความร้อนที่กระแสน้ำของไหลเย็นรับไปจากกระแสน้ำของไหลร้อน (W)

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลกระแสน้ำเย็น ($W/m^2 \cdot K$)

A คือ พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนคิดจากพื้นที่ผิวภายนอกของท่อทั้งหมด (m^2)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิของของไหลกระแสน้ำเย็น (K)

3.3.2.2 กำหนดสถานะเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองให้ตรงกับการทดลองในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 3.13 กำหนดตำแหน่งทางเข้าและทางออกของของไหลทั้ง 2 กระแส

3.4 วิเคราะห์แบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

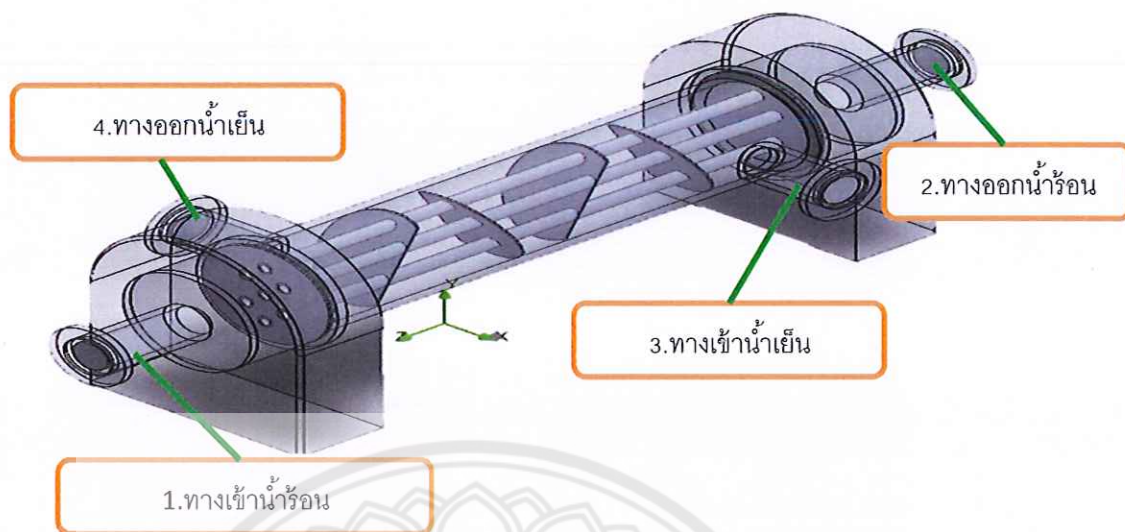
เมื่อได้แบบจำลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อแล้ว นำมาวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Solidworks Simulation แล้วนำค่าอุณหภูมิที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพ เพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

3.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองในห้องปฏิบัติการ

นำค่าประสิทธิภาพจากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และค่าประสิทธิภาพจากการทดลองในห้องปฏิบัติการมาเปรียบเทียบว่าผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ และยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของค่าประสิทธิภาพจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ กับค่า RMSE และค่า MBD ถ้าค่าของ RMSE และ MBD มีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของค่าประสิทธิภาพจากการทดลองในห้องปฏิบัติการจะถือว่าแบบจำลองมีความถูกต้อง ก่อนที่จะนำไปปรับมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นที่วางตัวแบบเกลียว และการวิเคราะห์ผลหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าประสิทธิภาพ และค่าความดันลดต่อไป

3.6 ปรับมุมเอียงของแผ่นกั้นที่วางตัวแบบเกลียว วิเคราะห์และสรุปผล

เมื่อได้แบบจำลองที่มีความถูกต้องแล้วจะทำการปรับมุมเอียงของแผ่นกั้นที่มุมเอียง 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , 40° และที่เปอร์เซ็นต์การตัดของทุกมุมเอียงเท่ากับ 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% และ 40% เพื่อวิเคราะห์ผลหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าประสิทธิภาพและค่าความดันลด โดยวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดที่ส่งผลต่อแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยกำหนดสถานะเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลอง ดังนี้



รูปที่ 3.14 กำหนดตำแหน่งทางเข้าและทางออกของของไหลทั้ง 2 กระแส ในการวิเคราะห์การปรับ
มุมเอียงของแผ่นกัน

หมายเลข 1 ทางเข้าของน้ำร้อน กำหนดให้อุณหภูมิเท่ากับ 350.44 K และอัตราการไหลเชิง
ปริมาตรเท่ากับ $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

หมายเลข 2 ทางออกน้ำร้อน กำหนดให้ความดันเท่ากับ 1 atm

หมายเลข 3 ทางเข้าของน้ำเย็น กำหนดให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 302.27 K และมีอัตราการไหลเชิง
ปริมาตรเท่ากับ $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

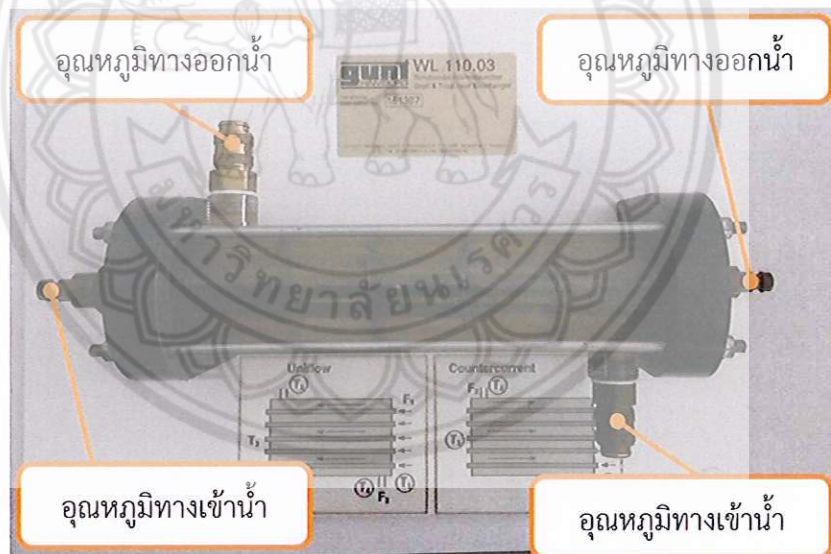
หมายเลข 4 ทางออกน้ำเย็น กำหนดให้ความดันเท่ากับ 1 atm

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการ

จากการทดลองด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อในห้องปฏิบัติการสามารถวัดค่าอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกของน้ำร้อนและน้ำเย็นได้ ดังนี้



รูปที่ 4.1 กำหนดอุณหภูมิทางเข้า - ออกของน้ำร้อนและน้ำเย็น

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการ

ลำดับ	$T_{h,i}$ (K)	$T_{h,o}$ (K)	$T_{c,i}$ (K)	$T_{c,o}$ (K)	ϵ (%)
1	351.05	339.05	301.75	310.15	24.34
2	350.05	338.45	301.95	310.05	24.12

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการ(ต่อ)

ลำดับ	$T_{h,i}$ (K)	$T_{h,o}$ (K)	$T_{c,i}$ (K)	$T_{c,o}$ (K)	ϵ (%)
3	350.55	338.65	302.25	310.35	24.64
4	350.45	338.75	302.35	310.35	24.32
5	350.55	338.95	302.35	310.45	24.07
6	350.25	338.65	302.45	310.55	24.27
7	350.25	338.75	302.45	310.35	24.06
8	350.35	338.85	302.35	310.35	23.96
9	350.45	338.95	302.35	310.45	23.91
10	350.45	338.95	302.45	310.45	23.96
เฉลี่ย	350.44	338.80	302.27	310.35	24.16

จากผลการทดลองที่ได้สามารถนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\epsilon = \frac{T_{hot,in} - T_{hot,out}}{T_{hot,in} - T_{cold,in}} \times 100\%$$

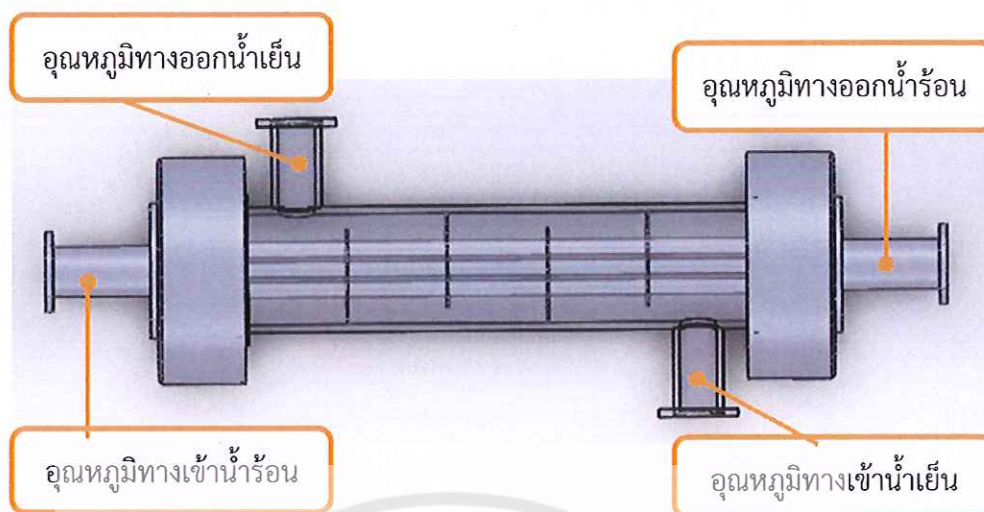
นำค่าเฉลี่ยแทนลงในสมการจะได้

$$\epsilon = \frac{350.44 - 338.80}{350.44 - 302.27} \times 100\% = 24.16\%$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 24.16%

4.2 ผลการทดลองจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองที่สร้างด้วยโปรแกรม Solidworks ซึ่งวิเคราะห์ด้วยสภาวะเดียวกันกับสภาวะในการทดลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในห้องปฏิบัติการ ผลการวิเคราะห์ที่ได้สามารถหาค่าอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกของน้ำร้อนและน้ำเย็น ดังนี้



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิทางเข้า - ออกของน้ำร้อนและน้ำเย็น

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองจากการวิเคราะห์แบบจำลอง

ลำดับ	$T_{h,i}$ (K)	$T_{h,o}$ (K)	$T_{c,i}$ (K)	$T_{c,o}$ (K)	ϵ (%)
1	351.05	338.78	301.75	308.98	24.89
2	350.05	337.88	301.95	306.98	25.30
3	350.55	338.60	302.25	308.32	24.74
4	350.45	338.31	302.35	307.32	25.24
5	350.55	338.61	302.35	308.43	24.77
6	350.25	338.33	302.45	308.45	24.94
7	350.25	338.26	302.45	308.45	25.08
8	350.35	338.34	302.35	308.38	25.02
9	350.45	338.43	302.35	308.39	24.99
10	350.45	338.40	302.45	308.46	25.10
เฉลี่ย	350.44	338.38	302.27	308.33	25.04

จากผลการทดลองที่ได้สามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\epsilon = \frac{T_{hot,in} - T_{hot,out}}{T_{hot,in} - T_{cold,in}} \times 100\%$$

นำค่าเฉลี่ยแทนลงในสมการจะได้

$$\varepsilon = \frac{350.44 - 338.38}{350.44 - 302.27} \times 100\% = 25.04\%$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพของแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 25.04%

4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองเทียบกับผลการทดลอง โดยการนำค่าความคลาดเคลื่อนสะสม (Error Propagation) ของค่าประสิทธิภาพการทดลองจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดนำไปเปรียบเทียบกับค่า RMSE และค่า MBD หากค่า RMSE และค่า MBD มีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของค่าประสิทธิภาพการทดลองจากห้องปฏิบัติการ จะถือว่าแบบจำลองมีความถูกต้อง มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ โดยผลการคำนวณแสดงดังตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 ผลความคลาดเคลื่อนสะสมและค่าประสิทธิภาพจากการทดลองจากห้องปฏิบัติการ

ลำดับ	ค่าประสิทธิภาพจากการทดลองและผลความคลาดเคลื่อนสะสม	
	$\varepsilon(100\%)$	Error Propagation
1	24.34	11.99
2	24.12	13.06
3	24.64	11.89
4	24.32	12.62
5	24.07	12.52
6	24.27	12.48
7	24.06	12.96
8	23.96	13.01
9	23.91	13.04
10	23.96	13.12
เฉลี่ย	24.16	12.67

ตารางที่ 4.4 ผลต่างของค่าประสิทธิผลระหว่างแบบจำลองกับผลการทดลอง

ลำดับ	M แบบจำลอง	E การทดลอง	M-E	$(M-E)^2$
1	24.89	24.34	0.55	0.30
2	25.30	24.12	1.19	1.40
3	24.74	24.64	0.10	0.01
4	25.24	24.32	0.91	0.84
5	24.77	24.07	0.71	0.50
6	24.94	24.27	0.67	0.45
7	25.08	24.06	1.03	1.05
8	25.02	23.96	1.06	1.13
9	24.99	23.91	1.08	1.17
10	25.10	23.96	1.15	1.31
เฉลี่ย	25.04	24.16	0.84	0.82

จากตารางที่ 4.4 คำนวณค่า RMSE ได้จาก

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M-E)^2}{N}}$$

แทนค่า

$$RMSE = \sqrt{\frac{8.16}{10}} = 0.90$$

คำนวณค่า MBD ได้จาก

$$MBD = \frac{1}{10} \times \sum_{i=1}^N (M-E)$$

$$MBD = \frac{1}{10} \times 8.44 = 0.84$$

จากผลการคำนวณที่ได้ ค่า Error Propagation เท่ากับ 12.67 ค่า RMSE เท่ากับ 0.90 และค่า MBD เท่ากับ 0.84 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า Error Propagation มีค่ามากกว่าค่า RMSE และค่า MBD ดังนั้น ถือว่าแบบจำลองมีความถูกต้องและค่าความคลาดเคลื่อนสะสมอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4.4 วิเคราะห์ผลกระทบมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน ที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

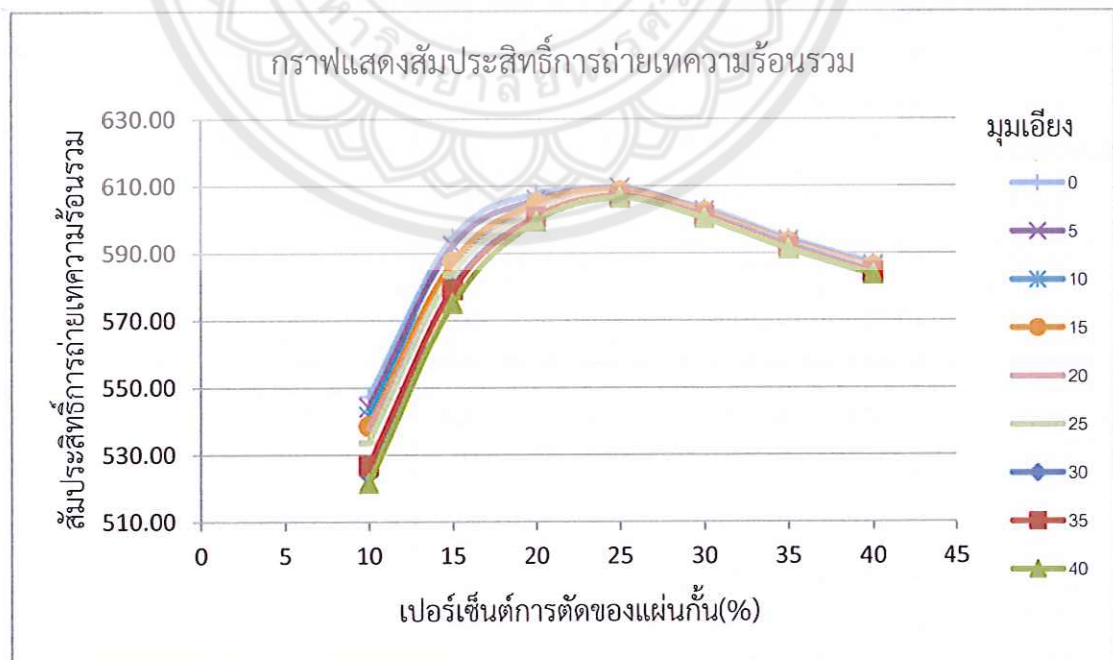
มุมเอียงแผ่นกัน ($^{\circ}$)	เปอร์เซ็นต์การตัดแผ่นกัน (%)	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2 \cdot K$)
0	10	547.34
	15	594.76
	20	607.77
	25	607.80
	30	603.33
	35	594.33
	40	587.08
5	10	544.08
	15	592.36
	20	605.86
	25	609.39
	30	602.64
	35	593.74
	40	586.41
10	10	541.50
	15	587.09
	20	604.33
	25	607.83
	30	601.73
	35	592.85
	40	585.82

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(ต่อ)

มุมเอียงแผ่นกัน (°)	เปอร์เซ็นต์การตัดแผ่นกัน (%)	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2 \cdot K$)
15	10	538.57
	15	587.46
	20	604.98
	25	608.58
	30	602.31
	35	593.25
	40	586.03
20	10	537.83
	15	584.34
	20	603.21
	25	607.52
	30	601.54
	35	592.79
	40	585.55
25	10	533.63
	15	583.78
	20	602.16
	25	607.31
	30	600.81
	35	591.89
	40	584.92
30	10	524.12
	15	579.76
	20	600.84
	25	607.02
	30	601.33
	35	592.41
	40	584.58

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(ต่อ)

มุมเอียงแผ่นกัน (°)	เปอร์เซ็นต์การตัดแผ่นกัน (%)	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (W/m ² ·K)
35	10	526.81
	15	579.22
	20	600.82
	25	607.06
	30	601.03
	35	591.78
	40	584.34
40	10	521.55
	15	575.03
	20	599.51
	25	606.47
	30	600.31
	35	591.15
	40	583.61



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

ที่มุมเอียงต่างๆ ของแผ่นกั้น ลักษณะของเส้นกราฟจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือจะเพิ่มขึ้นที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10—25% หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง เมื่อมุมเอียงของแผ่นกั้นเพิ่มมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะมีค่าลดลง พิจารณาที่เปอร์เซ็นต์การตัด 25% ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูงสุดที่มุมเอียง 0° มีเท่ากับ $607.79 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และมีค่าต่ำสุดที่มุมเอียง 40° ค่าเท่ากับ $606.47 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ มีค่าลดลงเท่ากับ $1.32 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และที่เปอร์เซ็นต์การตัดที่เพิ่มขึ้น มุมเอียงจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมน้อยลง พิจารณาที่มุมเอียงของแผ่นกั้น 0° และ 40° ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูงสุดและต่ำสุดตามลำดับ ที่เปอร์เซ็นต์การตัดน้อยสุดเท่ากับ 10% ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูงสุดเท่ากับ $547.34 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมต่ำสุดเท่ากับ $521.55 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ลดลง $25.79 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ คิดเป็น 4.71% และที่เปอร์เซ็นต์การตัดมากที่สุดเท่ากับ 40% ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูงสุดที่มุมเอียง 0° เท่ากับ $587.08 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และต่ำสุดที่มุมเอียง 40° เท่ากับ $583.61 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ลดลงเท่ากับ $3.47 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ คิดเป็น 0.59%

4.5 การวิเคราะห์ผลกระทบมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้น ที่ส่งผลต่อค่าประสิทธิผลในการแลกเปลี่ยนความร้อนจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิและค่าประสิทธิผลที่มุมเอียงต่างๆ

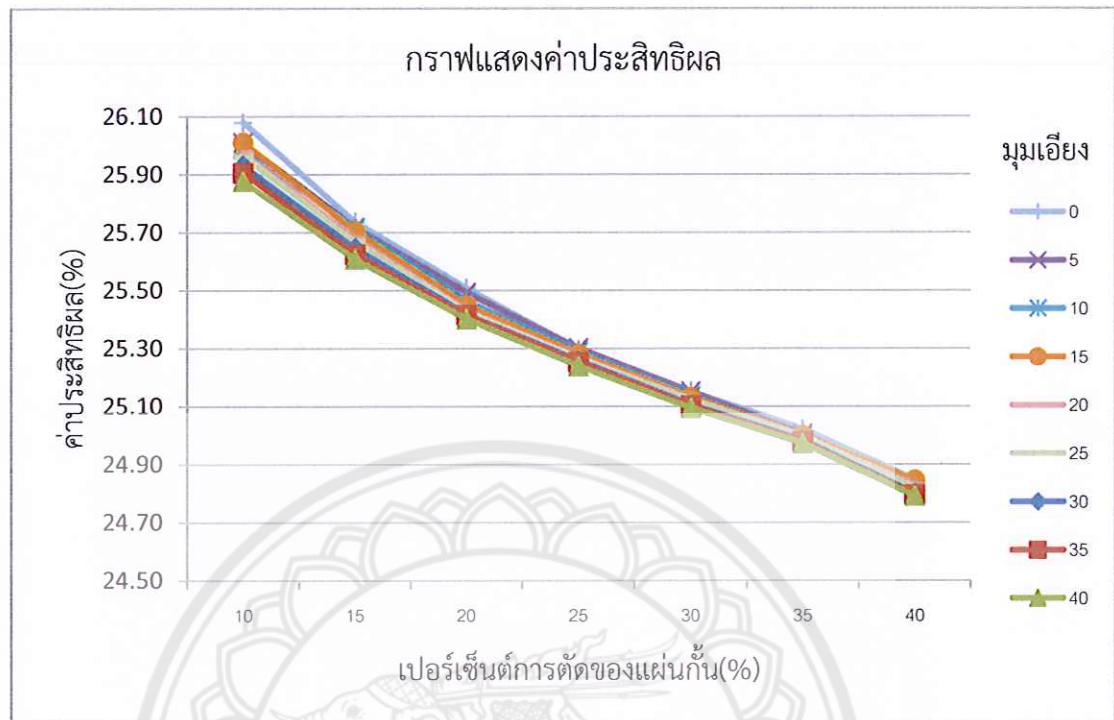
มุมเอียงของแผ่นกั้น ($^{\circ}$)	เปอร์เซ็นต์การตัดแผ่นกั้น (%)	อุณหภูมิ (K)				ประสิทธิผล (%)
		$T_{c,i}$	$T_{c,o}$	$T_{h,i}$	$T_{h,o}$	
0	10	302.27	307.67	350.44	337.88	26.08
	15	302.27	308.12	350.44	338.04	25.74
	20	302.27	308.25	350.44	338.15	25.51
	25	302.27	308.26	350.44	338.25	25.30
	30	302.27	308.22	350.44	338.32	25.15
	35	302.27	308.14	350.44	338.39	25.02
	40	302.27	308.08	350.44	338.47	24.85
5	10	302.27	307.64	350.44	337.91	26.01
	15	302.27	308.10	350.44	338.05	25.72
	20	302.27	308.23	350.44	338.16	25.49
	25	302.27	308.27	350.44	338.25	25.30

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิและค่าประสิทธิผลที่มุมเอียงต่างๆ(ต่อ)

มุมเอียงของ แผ่นกั้น ($^{\circ}$)	เปอร์เซ็นต์การตัด แผ่นกั้น (%)	อุณหภูมิ (K)				ประสิทธิผล (%)
		$T_{c,i}$	$T_{c,o}$	$T_{h,i}$	$T_{h,o}$	
5	30	302.27	308.21	350.44	338.33	25.15
	35	302.27	308.14	350.44	338.40	25.01
	40	302.27	308.08	350.44	338.48	24.83
10	10	302.27	307.62	350.44	337.92	25.99
	15	302.27	308.05	350.44	338.05	25.72
	20	302.27	308.22	350.44	338.17	25.46
	25	302.27	308.26	350.44	338.26	25.29
	30	302.27	308.21	350.44	338.33	25.14
	35	302.27	308.13	350.44	338.40	25.00
	40	302.27	308.07	350.44	338.48	24.83
15	10	302.27	307.59	350.44	337.91	26.01
	15	302.27	308.06	350.44	338.06	25.70
	20	302.27	308.23	350.44	338.18	25.45
	25	302.27	308.26	350.44	338.26	25.28
	30	302.27	308.21	350.44	338.33	25.13
	35	302.27	308.13	350.44	338.40	25.00
	40	302.27	308.07	350.44	338.47	24.85
20	10	302.27	307.59	350.44	337.93	25.98
	15	302.27	308.03	350.44	338.07	25.68
	20	302.27	308.21	350.44	338.19	25.43
	25	302.27	308.26	350.44	338.27	25.27
	30	302.27	308.21	350.44	338.34	25.13
	35	302.27	308.13	350.44	338.40	25.00
	40	302.27	308.07	350.44	338.48	24.83
25	10	302.27	307.55	350.44	337.93	25.96
	15	302.27	308.02	350.44	338.08	25.67
	20	302.27	308.20	350.44	338.19	25.43
	25	302.27	308.25	350.44	338.27	25.27
	30	302.27	308.20	350.44	338.34	25.12
	35	302.27	308.12	350.44	338.40	25.00
	40	302.27	308.06	350.44	338.49	24.82

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิและค่าประสิทธิผลที่มุมเอียงต่างๆ(ต่อ)

มุมเอียงของ แผ่นกั้น ($^{\circ}$)	เปอร์เซ็นต์การตัด แผ่นกั้น (%)	อุณหภูมิ (K)				ประสิทธิผล (%)
		$T_{c,i}$	$T_{c,o}$	$T_{h,i}$	$T_{h,o}$	
30	10	302.27	307.46	350.44	337.95	25.93
	15	302.27	307.99	350.44	338.09	25.65
	20	302.27	308.19	350.44	338.20	25.42
	25	302.27	308.25	350.44	338.27	25.26
	30	302.27	308.20	350.44	338.35	25.11
	35	302.27	308.13	350.44	338.41	24.98
	40	302.27	308.06	350.44	338.49	24.80
35	10	302.27	307.49	350.44	337.96	25.91
	15	302.27	307.98	350.44	338.10	25.62
	20	302.27	308.19	350.44	338.20	25.41
	25	302.27	308.25	350.44	338.28	25.25
	30	302.27	308.20	350.44	338.35	25.10
	35	302.27	308.12	350.44	338.41	24.98
	40	302.27	308.06	350.44	338.50	24.79
40	10	302.27	307.44	350.44	337.98	25.88
	15	302.27	307.94	350.44	338.11	25.61
	20	302.27	308.18	350.44	338.20	25.40
	25	302.27	308.25	350.44	338.28	25.24
	30	302.27	308.20	350.44	338.35	25.09
	35	302.27	308.11	350.44	338.41	24.97
	40	302.27	308.05	350.44	338.50	24.79



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าประสิทธิผล

จากกราฟ เมื่อพิจารณาเส้นกราฟของแผ่นกั้นที่มุมเอียงต่างๆ จะเห็นได้ว่ามีลักษณะเดียวกัน คือ ผลกระทบของมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดต่อค่าประสิทธิผลมีค่าน้อย ค่าประสิทธิผลมีค่าสูงสุดที่มุมเอียง 0° เปอร์เซ็นต์การตัด 10% จากนั้นค่าประสิทธิผลจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมุมเอียงหรือเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น พิจารณาจากที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10% ซึ่งมีค่าประสิทธิผลสูงสุด ที่มุมเอียง 0° มีค่าประสิทธิผลเท่ากับ 26.08% และที่มุมเอียง 40° มีค่าประสิทธิผลเท่ากับ 25.88% ลดลงเท่ากับ 0.20% และเปอร์เซ็นต์การตัดส่งผลต่อค่าประสิทธิผลน้อยมาก พิจารณาจากมุมเอียง 0° ค่าประสิทธิผลสูงสุดที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10% เท่ากับ 26.08% และต่ำสุดที่เปอร์เซ็นต์การตัด 40% เท่ากับ 24.85% ลดลง 1.23%

4.6 วิเคราะห์ผลกระทบมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้น ที่ส่งผลต่อค่าความดันลดภายในเปลือกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

ตารางที่ 4.7 ค่าความดันและผลของค่าความดันลด

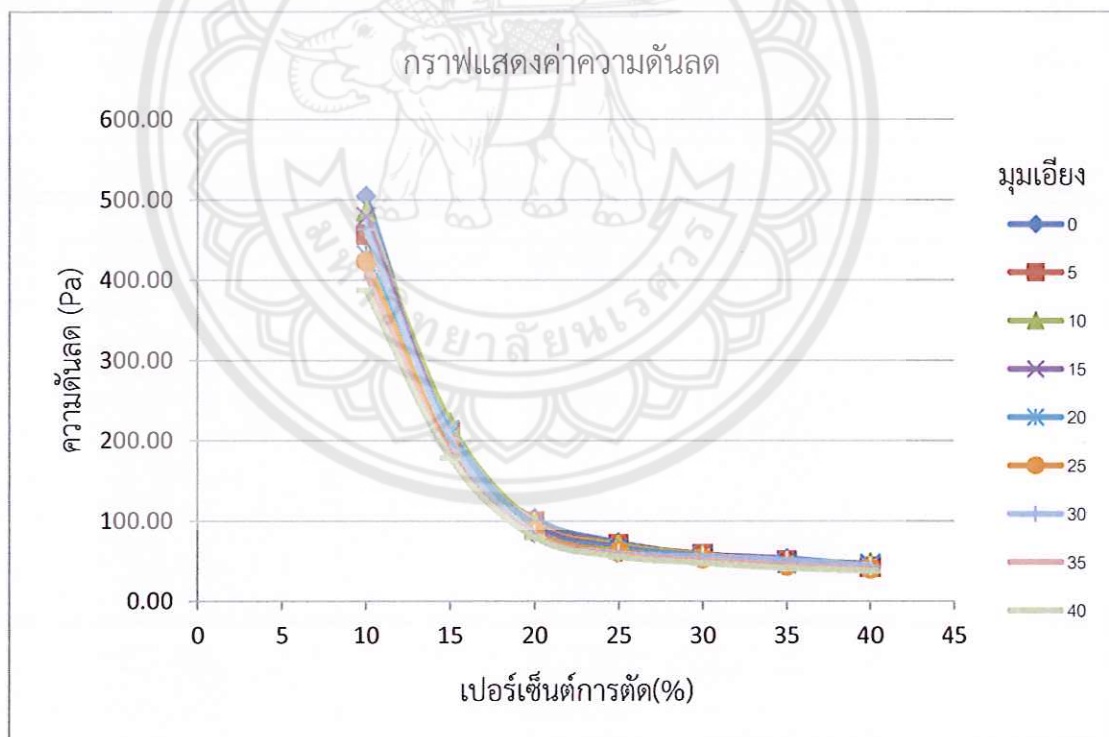
มุมเอียงของแผ่นกั้น (°)	เปอร์เซ็นต์การตัดแผ่นกั้น (%)	ความดัน (Pa)		ค่าความดันลด (Pa)
		$P_{c,i}$	$P_{c,o}$	
0	10	101829.84	101325.01	504.84
	15	101524.26	101325.01	199.26
	20	101428.16	101325.01	103.15
	25	101397.91	101325.01	72.91
	30	101383.33	101325.01	58.32
	35	101378.05	101325.01	53.04
	40	101368.98	101325.01	43.97
5	10	101782.06	101325.01	457.06
	15	101537.56	101325.01	212.55
	20	101424.22	101325.01	99.21
	25	101396.05	101325.01	71.04
	30	101383.55	101325.01	58.54
	35	101375.68	101325.01	50.67
	40	101367.83	101325.01	42.82
10	10	101811.01	101325.01	486.00
	15	101548.34	101325.01	223.33
	20	101423.31	101325.01	98.30
	25	101395.27	101325.02	70.25
	30	101382.63	101325.02	57.61
	35	101374.84	101325.01	49.83
	40	101372.28	101325.02	47.26
15	10	101804.40	101325.01	479.39
	15	101533.27	101325.03	208.24
	20	101420.78	101325.02	95.77
	25	101392.28	101325.03	67.25
	30	101381.28	101325.02	56.26
	35	101373.50	101325.02	48.47

ตารางที่ 4.7 ค่าความดันและผลของค่าความดันลด(ต่อ)

มุมเอียงของ แผ่นกัน (°)	เปอร์เซ็นต์การตัด แผ่นกัน (%)	ความดัน (Pa)		ค่าความดันลด (Pa)
		P _{c,i}	P _{c,o}	
15	40	101371.82	101325.03	46.80
20	10	101756.70	101325.02	431.68
	15	101539.04	101325.02	214.02
	20	101415.22	101325.03	90.20
	25	101390.20	101325.02	65.18
	30	101380.75	101325.02	55.73
	35	101371.47	101325.03	46.45
	40	101370.34	101325.03	45.32
25	10	101748.29	101325.01	423.28
	15	101520.73	101325.02	195.72
	20	101412.26	101325.04	87.22
	25	101386.87	101325.03	61.85
	30	101378.56	101325.02	53.54
	35	101369.40	101325.03	44.37
	40	101366.08	101325.02	41.06
30	10	101788.20	101325.01	463.20
	15	101527.98	101325.01	202.97
	20	101408.92	101325.01	83.91
	25	101384.53	101325.01	59.52
	30	101380.86	101325.01	55.85
	35	101375.87	101325.01	50.86
	40	101369.29	101325.01	44.29
35	10	101731.98	101325.01	406.97
	15	101509.14	101325.01	184.13
	20	101406.92	101325.01	81.91
	25	101382.77	101325.01	57.77
	30	101376.14	101325.01	51.14
	35	101369.69	101325.01	44.69
	40	101364.73	101325.01	39.72

ตารางที่ 4.7 ค่าความดันและผลของค่าความดันลด(ต่อ)

มุมเอียงของ แผ่นกัน (°)	เปอร์เซ็นต์การตัด แผ่นกัน (%)	ความดัน (Pa)		ค่าความดันลด (Pa)
		$P_{c,i}$	$P_{c,o}$	
40	10	101712.35	101325.01	387.35
	15	101503.86	101325.01	178.86
	20	101404.68	101325.01	79.67
	25	101380.49	101325.01	55.48
	30	101372.39	101325.01	47.38
	35	101365.83	101325.01	40.82
	40	101362.78	101325.01	37.77



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความดันลด

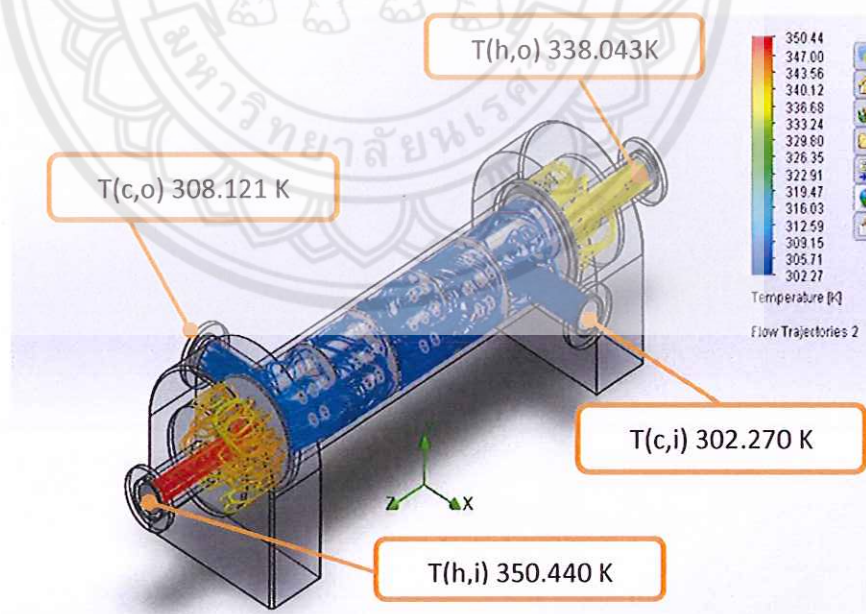
เมื่อมุมเอียงของแผ่นกันเพิ่มขึ้นค่าความดันลดจะลดลง และทุกมุมเอียงมีลักษณะเดียวกันคือ ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปอร์เซ็นต์การตัดเพิ่มขึ้นในช่วง 10 – 20% และจะค่อยๆ ลดลงเมื่อ

เปอร์เซ็นต์การตัดมีค่าเพิ่มขึ้น พิจารณาที่มุมเอียง 0° ซึ่งมีค่าความดันลดสูงสุด มีค่าความดันลดในช่วงเปอร์เซ็นต์การตัด 10% มีค่า 504.84 Pa และที่เปอร์เซ็นต์การตัด 20% มีค่าความดันลดเท่ากับ 103.15 Pa ลดลง 79.57% ของค่าความดันลดสูงสุด

การเพิ่มขึ้นของมุมเอียงของแผ่นกั้นจะส่งผลให้ค่าความดันลดลงและจะเห็นผลชัดเจนที่เปอร์เซ็นต์การตัดมีค่าน้อยและส่งผลกระทบน้อยลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การตัดเพิ่มมากขึ้น พิจารณาที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10% มุมเอียงของแผ่นกั้นที่ 0° และ 40° มีค่าความดันลดลงเท่ากับ 117.49 Pa คิดเป็น 23.27% ของค่าความดันลดสูงสุด แต่ที่เปอร์เซ็นต์การตัด 30% และ 40% ค่าความดันลดลงเท่ากับ 18.76% และ 14.09% ตามลำดับ

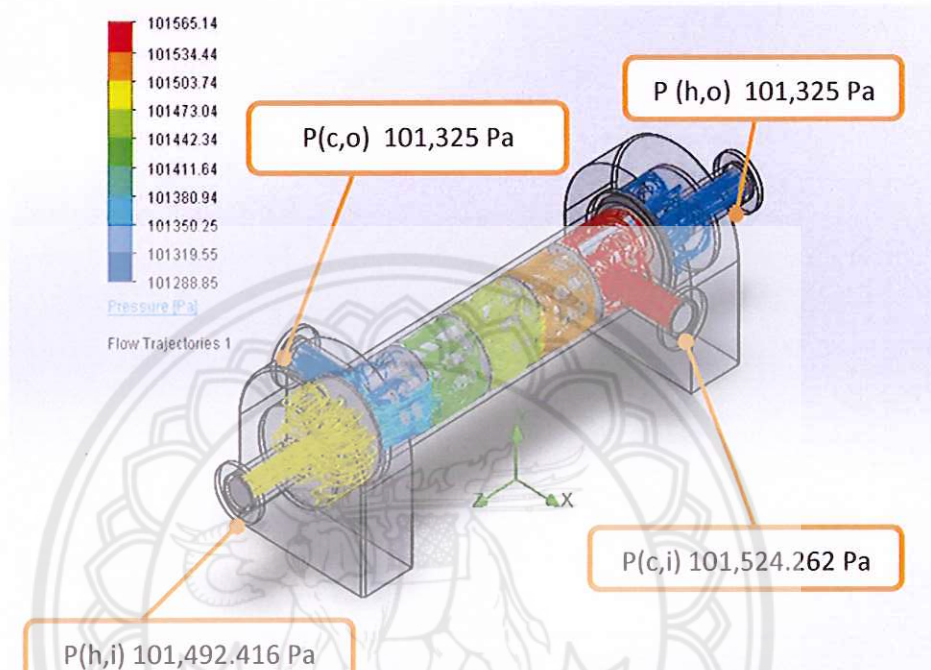
4.7 รูปตัวอย่างจากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

4.7.1 เป็นรูปแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์อุณหภูมิด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ ที่เปอร์เซ็นต์การตัด 15% และมุมเอียงของแผ่นกั้น 0°



รูปที่ 4.6 การจำลองทิศทางไหลของอุณหภูมิด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

4.7.2 เป็นรูปแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าความดันด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อที่เปอร์เซ็นต์การตัด 15% และมุมเอียงของแผ่นกัน 0°



รูปที่ 4.7 การจำลองทิศทางการไหลของความดันด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการทดลองและวิเคราะห์ผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อจากห้องปฏิบัติการและจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาผลกระทบมุมเอียงของแผ่นกั้นแบบเกลียวที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าประสิทธิผลและค่าความดันลด สามารถสรุปผลได้ตามขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

5.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ พบว่าผลต่างของค่าประสิทธิผลระหว่างแบบจำลองกับผลการทดลองมีค่าน้อยมาก คำนวนหาค่า RSME เท่ากับ 0.90 และค่า BMD เท่ากับ 0.82 เมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนสะสมเท่ากับ 12.67 มาเปรียบเทียบกับค่า RSME และค่า MBD ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนสะสมมีค่ามากกว่า ถือว่าแบบจำลองมีความถูกต้องและค่าความคลาดเคลื่อนสะสมอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.1.2 การปรับมุมเอียงของแผ่นกั้นที่วางตัวแบบเกลียวและเปอร์เซ็นต์การตัด เพื่อศึกษาผลกระทบที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าประสิทธิผลและค่าความดันลด

5.1.2.1 การเพิ่มขึ้นของมุมเอียงของแผ่นกั้นแบบเกลียวส่งผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมีค่าลดลง พิจารณาที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10% เมื่อมุมเอียงเพิ่มขึ้นจาก 0° เป็น 40° ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมลดลงเท่ากับ $25.79 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ คิดเป็น 4.71% อย่างไรก็ตามเมื่อเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นเพิ่มขึ้น มุมเอียงของแผ่นกั้นนั้นจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมน้อยลง โดยพิจารณาที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10% ,20% และ 30% ที่มุมเอียงเพิ่มขึ้นจาก 0° เป็น 40° ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมลดลงเท่ากับ 4.71% , 1.36% และ 0.50% ตามลำดับ

5.1.2.2 การเพิ่มขึ้นของมุมเอียงของแผ่นกั้นแบบเกลียววนั้น ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อค่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีค่าน้อย พิจารณาจากที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10% ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพสูงสุด มุมเอียงที่เพิ่มขึ้นจาก 0° เป็น 40° มีค่าประสิทธิภาพลดลงเพียง 0.20% เท่านั้น

5.1.2.3 การเพิ่มขึ้นของมุมเอียงของแผ่นกั้นแบบเกลียวส่งผลกระทบต่อค่าความดันลด คือ ค่าความดันลดนั้นมีค่าลดลง พิจารณาที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10% เมื่อมุมเอียงเพิ่มขึ้นจาก 0° เป็น 40° ค่าความดันลดลดลงเท่ากับ 23.27% อย่างไรก็ตามผลกระทบนี้จะลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นเพิ่มสูงขึ้น โดยพิจารณาที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10% , 20% และ 30% มุมเอียงที่เพิ่มจาก 0° เป็น 40° ค่าความดันลดลดลงเท่ากับ 117.49, 23.48 และ 10.94 Pa ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองและวิเคราะห์ผลกระทบของมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ทางคณะผู้จัดทำจึงมีข้อเสนอแนะกับผู้สนใจในการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

5.2.1 ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเปลี่ยนสารทำงานในการแลกเปลี่ยนความร้อน

5.2.2 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองควรมีสมรรถนะสูง เพื่อความรวดเร็วและความถูกต้องของแบบจำลอง

5.2.3 ศึกษาชนิดของแผ่นกั้นชนิดต่างๆ ที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เอกสารอ้างอิง

- [1] นายณรงค์ จันทิชัย นายสุวัฒน์ ศรีสะอาด นายเอกมล มัคไอดี. (2554). การวิเคราะห์ผลกระทบระยะของแผ่นกั้นต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [2] นายเด็ดดวง วงศ์วิริยชาติ นายประสงค์ พิทักษ์ทองกุล นายไพฑูรย์ ไชยวรรณ. (2554). การวิเคราะห์ผลกระทบเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้น ต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [3] นายจำรัส เนาวราช นายณัฐชนน ศรีทองวัฒนา นายวิชัย จันทร์ทอง. (2556). การวิเคราะห์ผลกระทบเปอร์เซ็นต์การตัดและมุมเอียงของแผ่นกั้น ต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [4] นพรัตน์ สีหพงษ์ (ผู้บรรยาย). (24 กุมภาพันธ์ 2558). ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. การเรียนเพิ่มเติมเรื่องระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. (บทที่ 1-5).
- [5] Boca Raton, FL. Heat exchanger design handbook
- [6] Basic error analysis. (วันที่ 20 มีนาคม 2558).

<https://www.youtube.com/watch?v=N73dkRRwdw8>

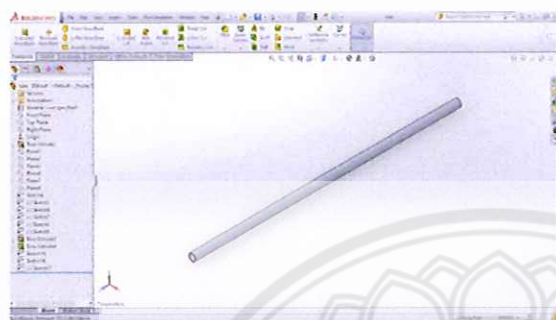
ภาคผนวก ก

วิธีการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Solidworks

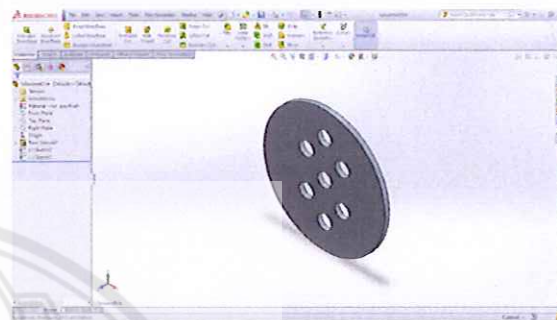


วิธีและขั้นตอนการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Solidworks

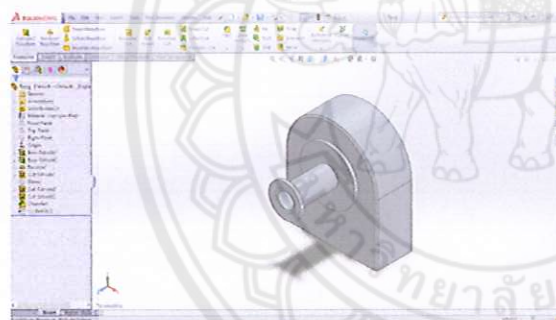
แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก 5 ส่วนดังรูป



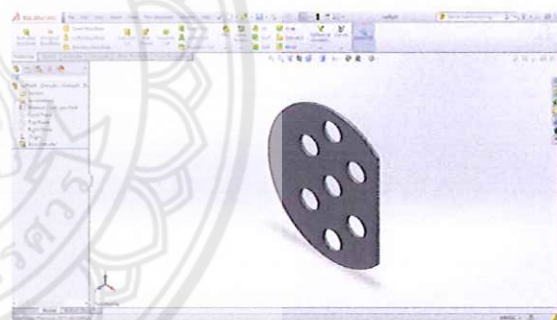
Tube



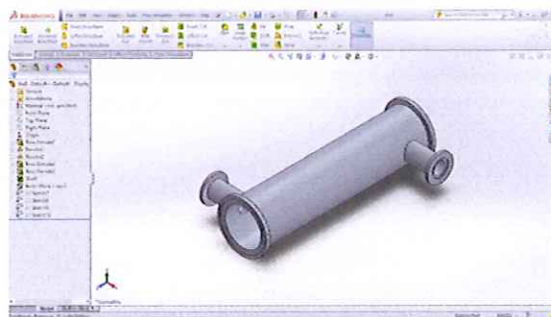
Tube sheet



Flang



Baffle



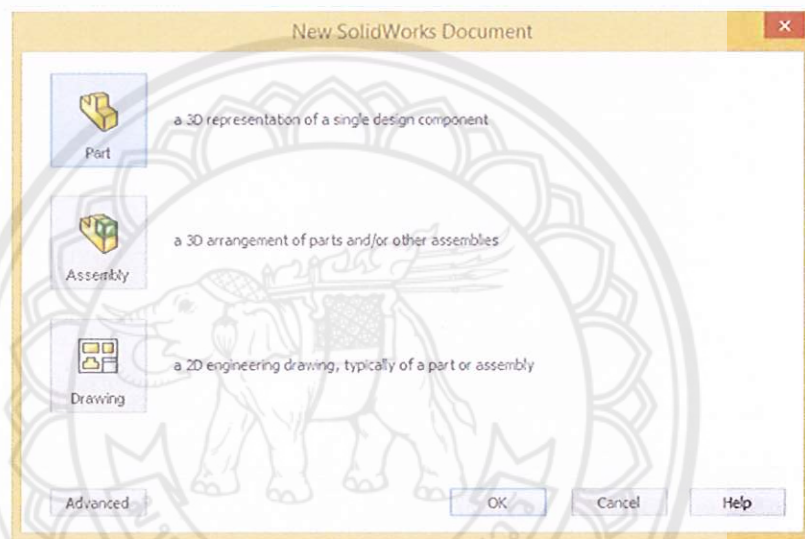
Shell


การสร้าง Shell และทางเข้า - ทางออกของของไหล

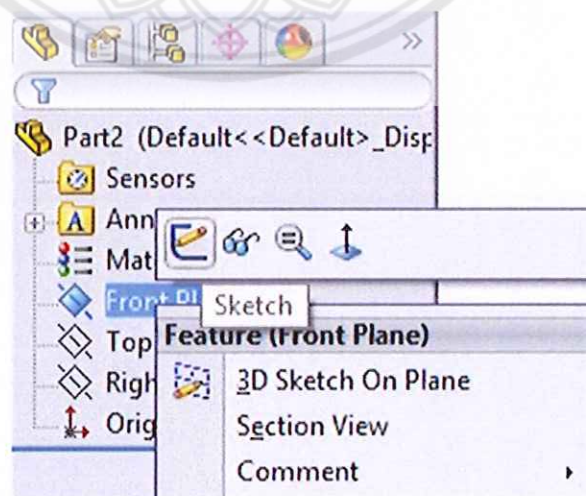
1. การสร้าง Shell

1.1 คลิก New  เพื่อทำการเริ่มสร้างชิ้นงาน

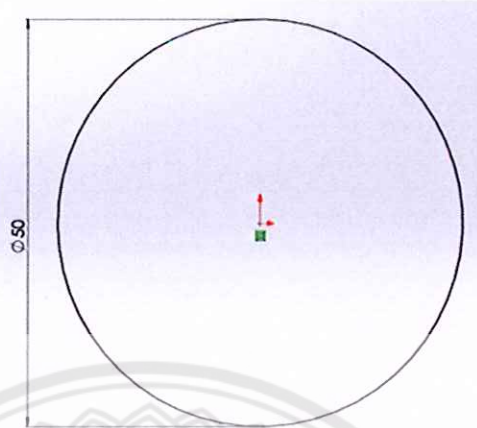
1.2 คลิกเลือก Part เพื่อสร้างแบบจำลอง 3D



1.3 คลิกขวาที่ระนาบ Front Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูลัด



1.4 สร้างวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm



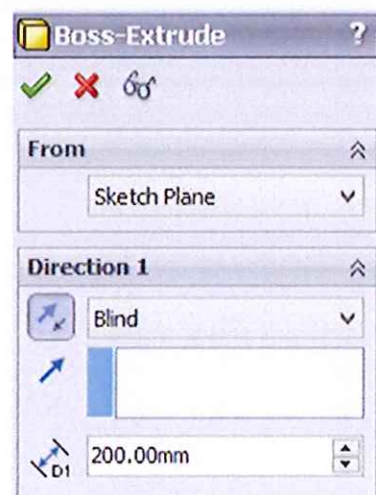
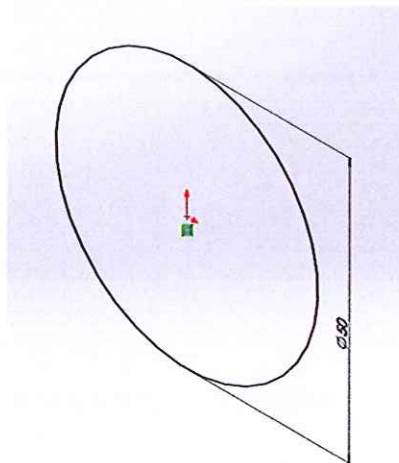
1.5 กำหนดมุมมองเป็นแบบ Isometric จากนั้นทำการ Extruded



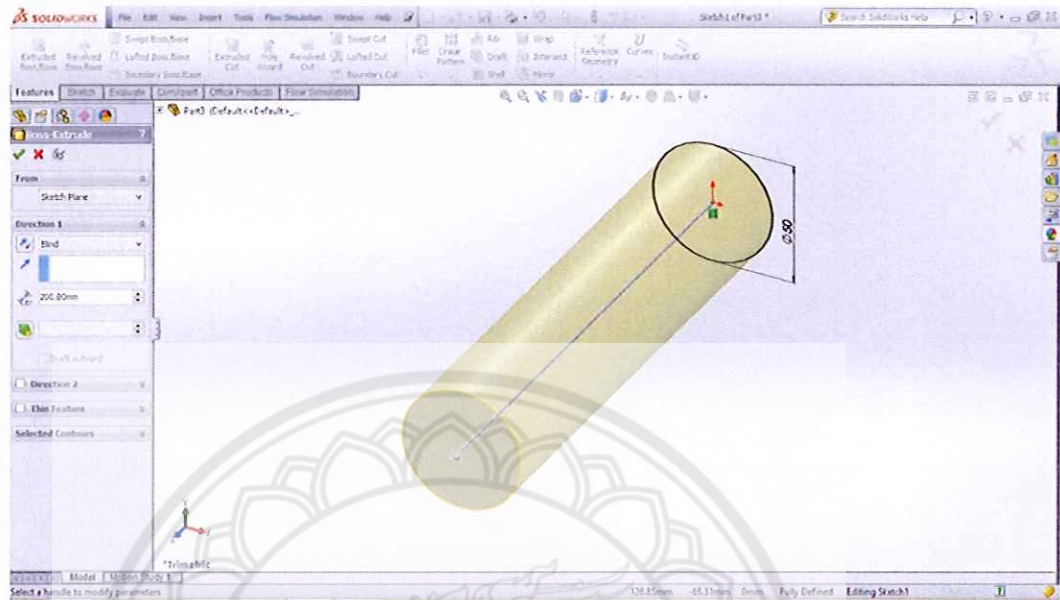
1.6 คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base



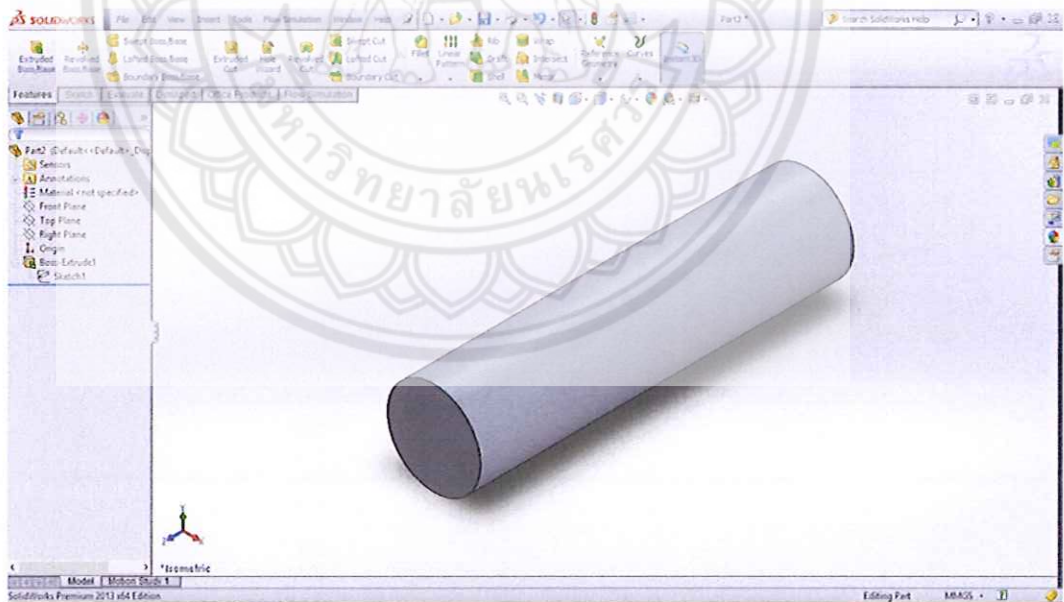
1.6.1 กำหนด Depth (เป็นความยาวของ Shell) 200 mm



1.6.2 เลือกการ Extruded เป็นแบบ Blind



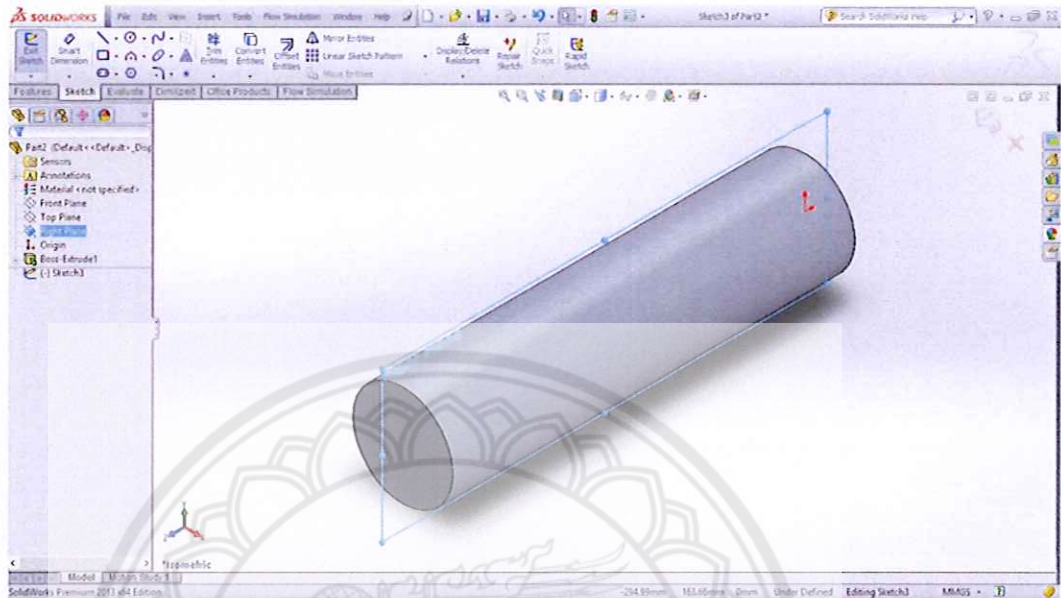
1.6.3 คลิก OK



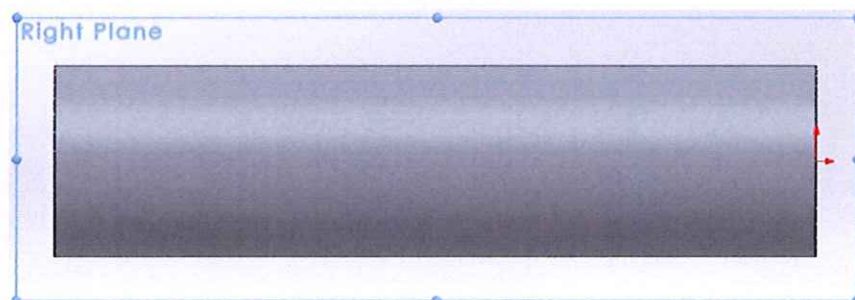
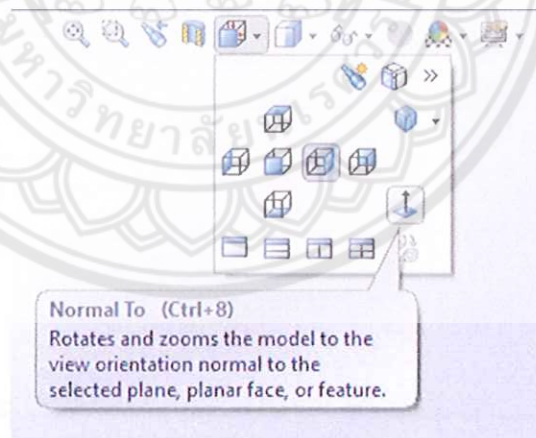
2. ทางเข้าและทางออกของของไหล

2.1 สร้างทางเข้าน้ำเย็น

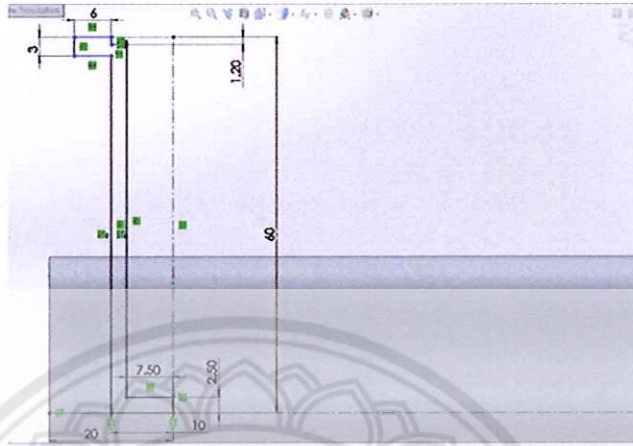
2.1.1 คลิกขวาที่ระนาบ Right Plane เลือก Insert Sketch



2.1.2 คลิก View เป็นแบบ Normal Plane เพื่อให้ Right ตั้งฉากกับหน้าจอเพื่อจะทำการสร้างทางเข้าของของไหลต่อไป

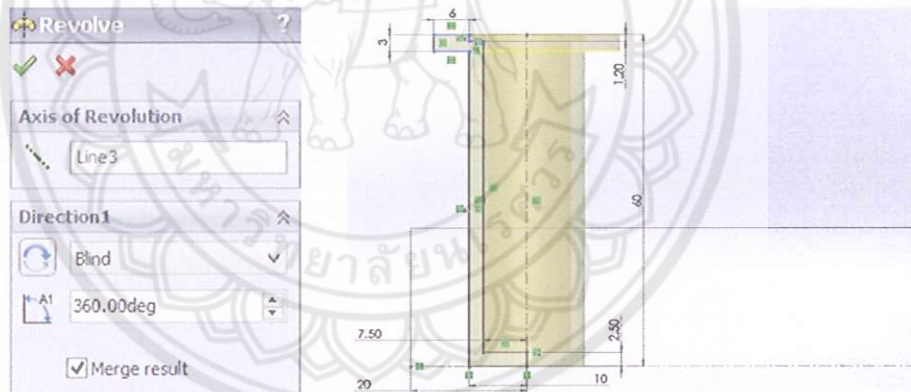


2.1.3 สร้างภาพตัดของทางเข้าน้ำเย็น โดยเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 20 mm และ หนา 2.5 mm และตำแหน่งศูนย์กลางของทางออกอยู่ห่างจากขอบ 20 mm

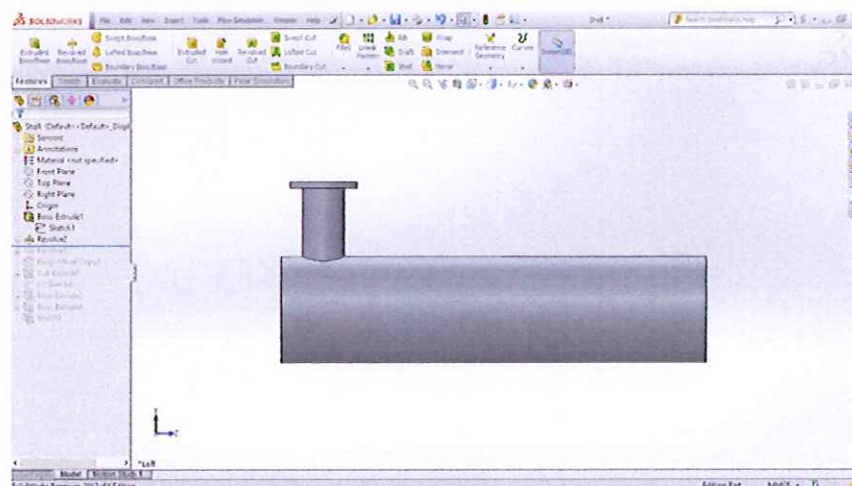


2.1.4 ใช้คำสั่ง Revolved เพื่อสร้างส่วนของทางออกน้ำร้อน

2.1.5 เลือก Axis of Revolution (เป็นแกนกลางของทางออก)



2.1.6 เลือกการ Revolution 360° และคลิก

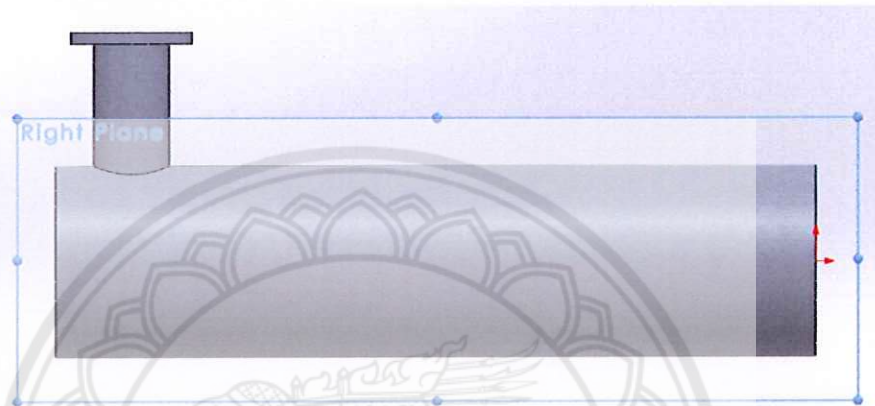


2.2 สร้างทางออกน้ำเย็น

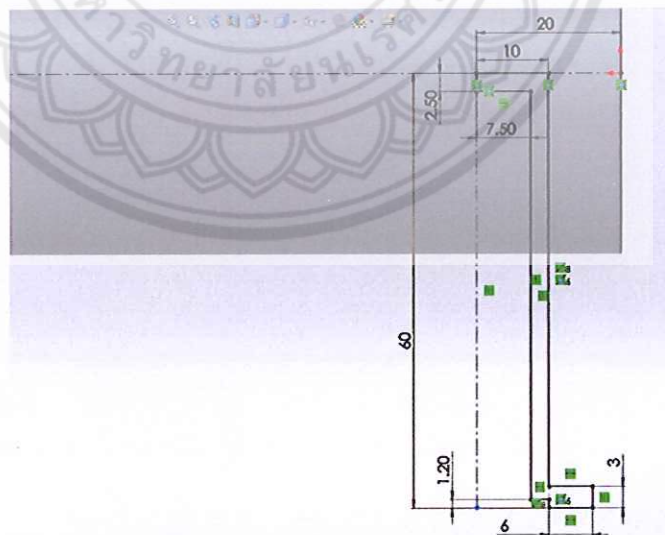
2.2.1 คลิกขวาที่ระนาบ Right Plane เลือก Insert Sketch



2.2.2 คลิก View เป็นแบบ Normal Plane เพื่อให้ Right ตั้งฉากกับหน้าจอเพื่อจะทำการสร้างทางเข้าของของไหลต่อไป



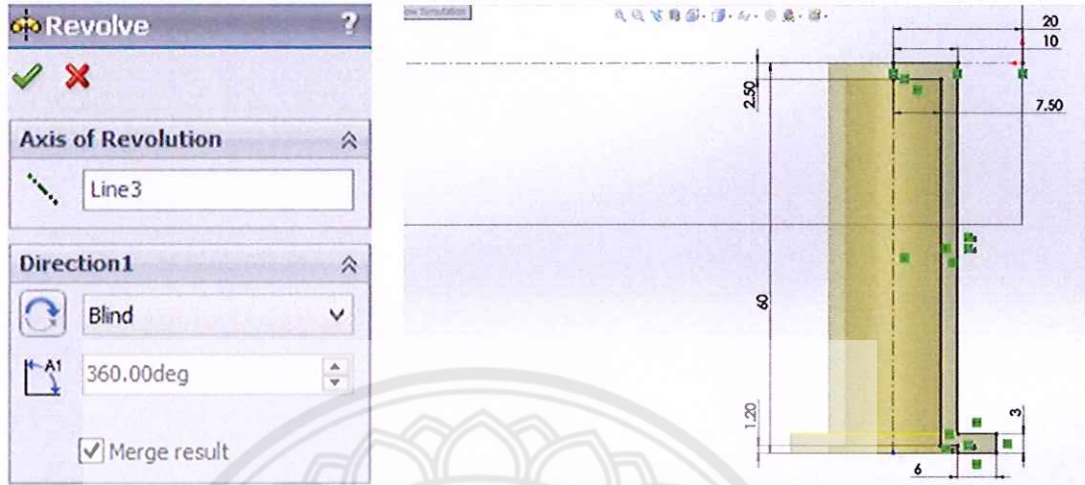
2.2.3 สร้างภาพตัดของทางออกน้ำเย็น โดยเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกเท่ากับ 20 mm และหนา 2.5 mm และตำแหน่งศูนย์กลางของทางออกอยู่ห่างจากขอบ 20 mm



2.2.4 ใช้คำสั่ง Revolved เพื่อสร้างส่วนของทางออกน้ำร้อน

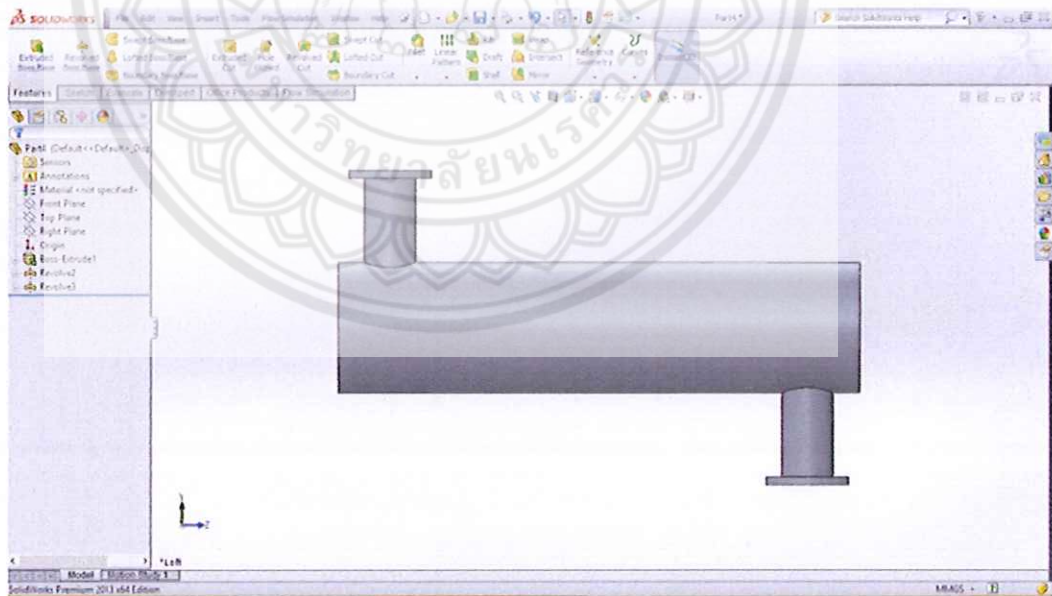


2.2.5 เลือก Axis of Revolution (เป็นแกนกลางของทางออก)



2.2.6 เลือกการ Revolution 360°

2.2.7 คลิก OK

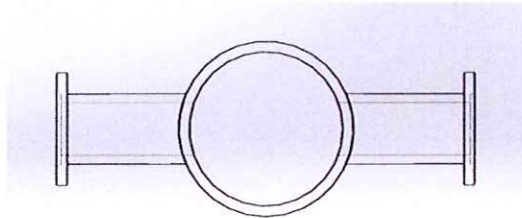






3. สร้างขอบของ Shell

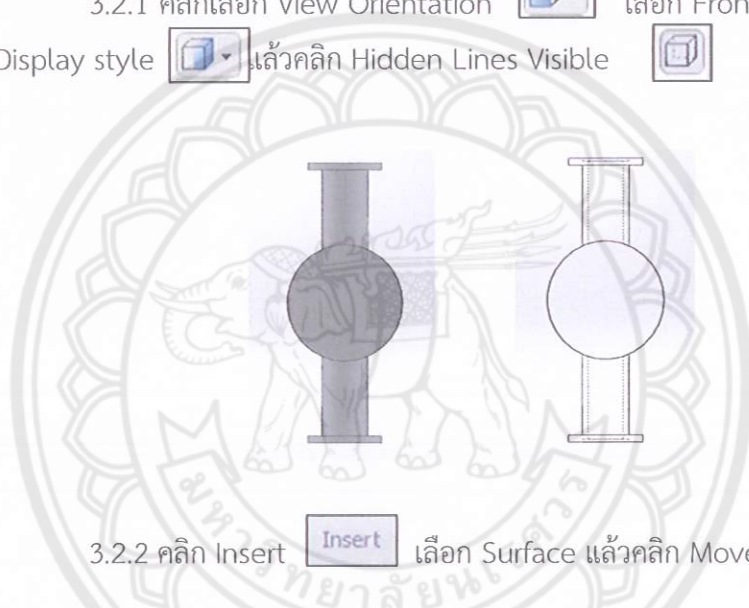
3.1 คลิกขวาที่พื้นที่หน้าตัดของ Shell เลือก Insert Sketch



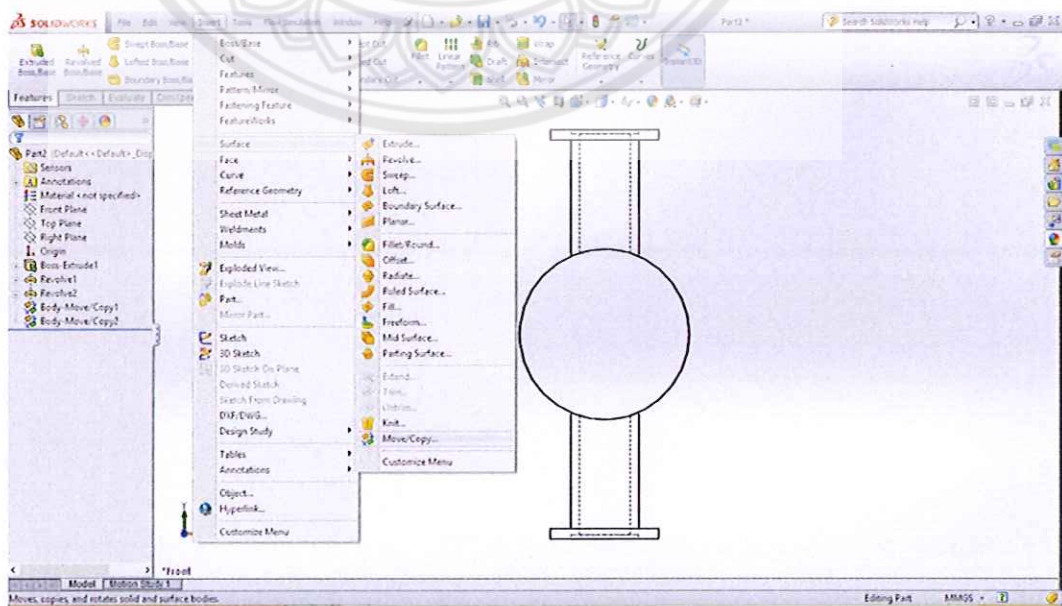
3.2 สร้าง Sketch ดังรูปด้านล่าง



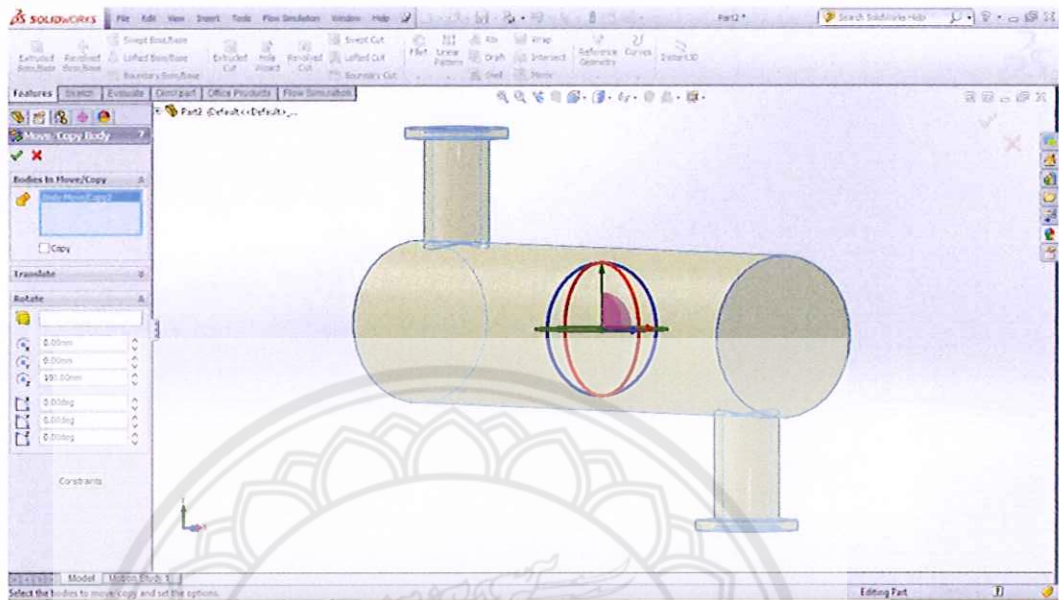
3.2.1 คลิกเลือก View Orientation  เลือก Front  จากนั้นเลือก Display style  แล้วคลิก Hidden Lines Visible 



3.2.2 คลิก Insert  เลือก Surface แล้วคลิก Move/Copy...

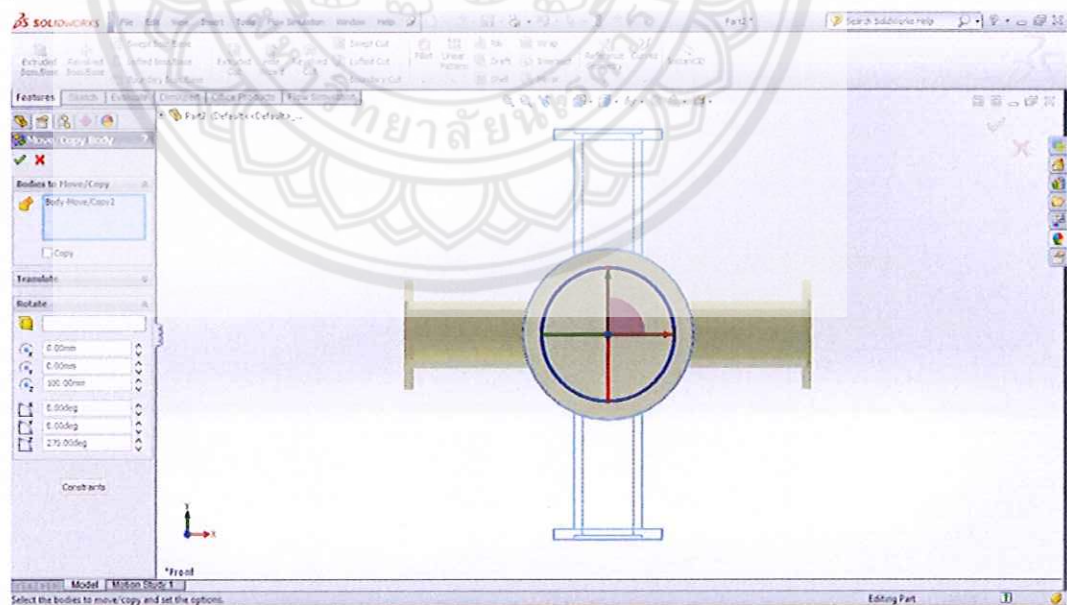


3.2.3 คลิกเลือกที่ผิวของวัตถุ



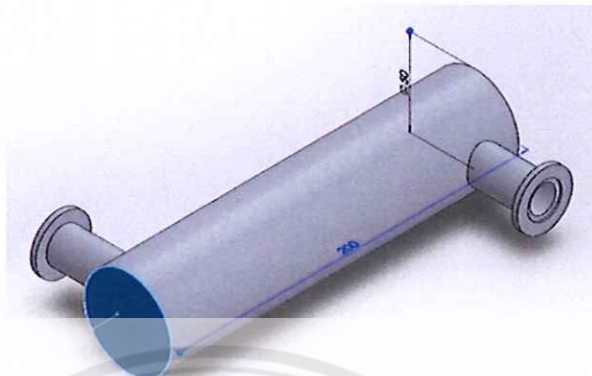
3.2.4 คลิกเลือก View Orientation เลือก Front

3.2.4 ปรับแกน Z 270° ตั้งรูป



3.2.5 คลิก

3.3 กำหนดมุมมองแบบ Isometric  เพื่อทำการเจาะ Shell

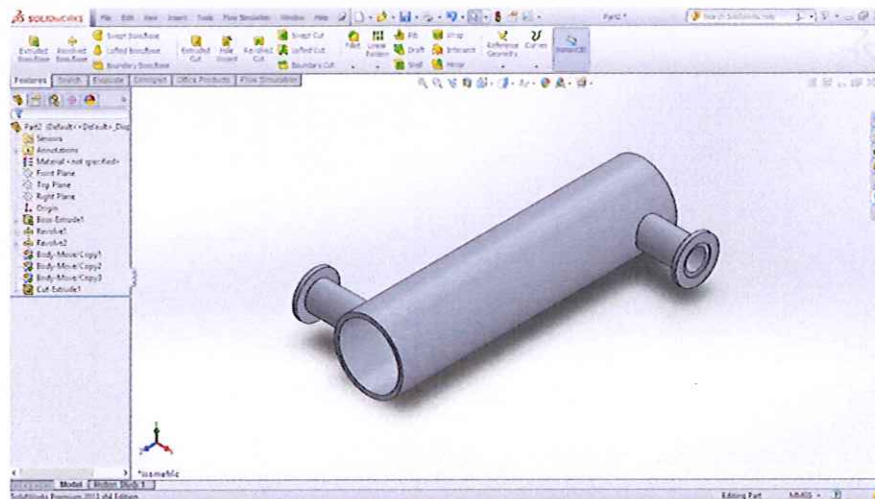


3.3.1 คลิกด้านหน้า Shell เลือก Sketch 

3.3.2 สร้างวงกลมดังรูป กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลาง 44 mm



3.3.3 คลิก Extruded Cut  เลือก Direction แบบ Through All คลิก 



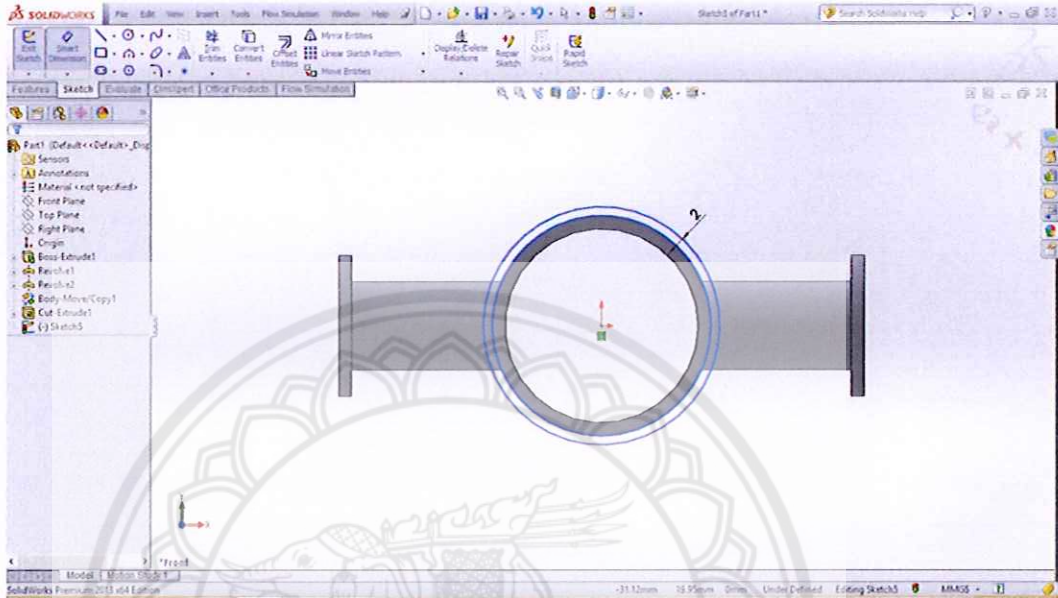
3.4 คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base



3.4.1 เลือกขอบของ Shell คลิก Sketch



สร้างวงกลมที่ขอบหนา 2 mm

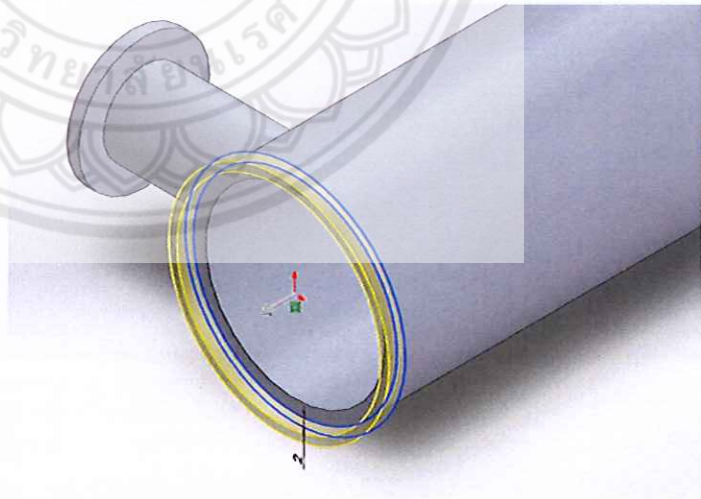
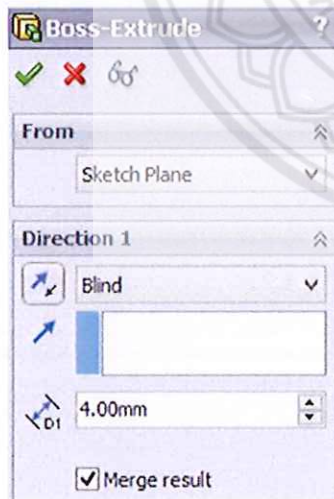


3.4.2 คลิก Extruded Boss/Base




กำหนด Depth (เป็นความยาวของ

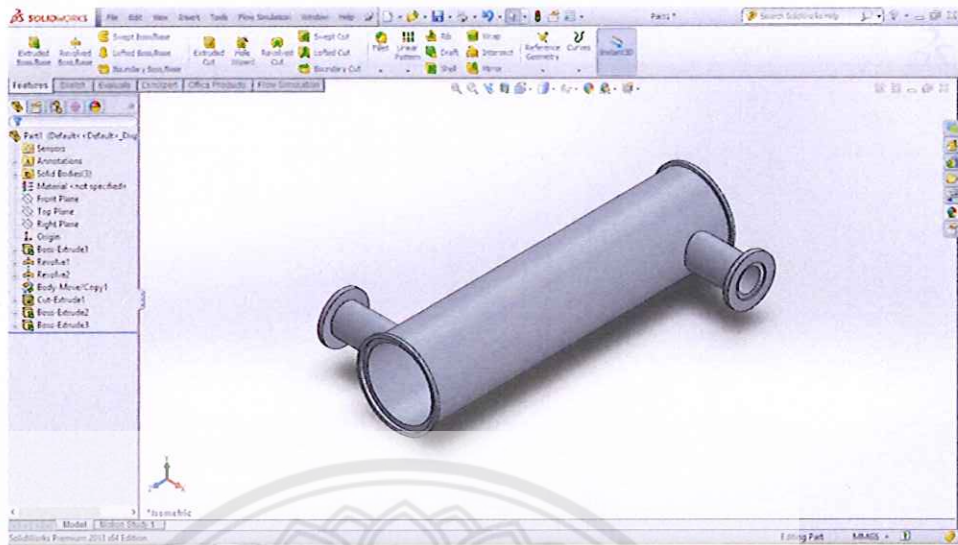
Shell) 4 mm



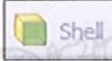
3.4.3 เลือกการ Extruded เป็นแบบ Blind

3.4.4 คลิก OK 

3.4.5 ทำขอบอีกด้านหนึ่งให้มีขนาดเดียวกัน

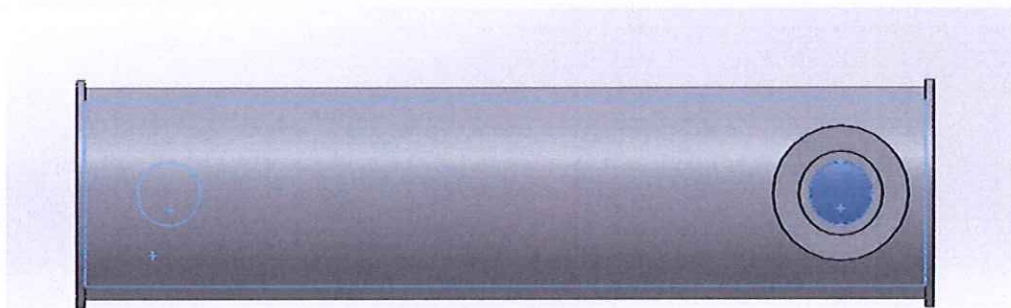


4. เจาะรูภายใน Shell

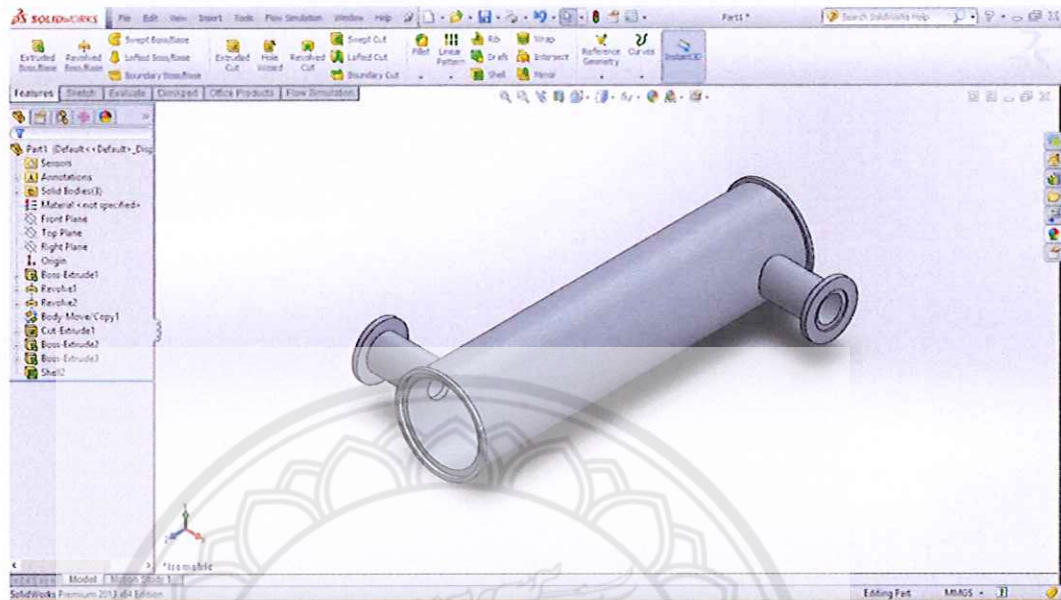
4.1 เลือกใช้คำสั่ง Shell  และกำหนดให้ความหนาของ Shell หนา 3 mm





4.2 เลือกพื้นที่ผิวที่ต้องการให้เจาะ ดังรูป

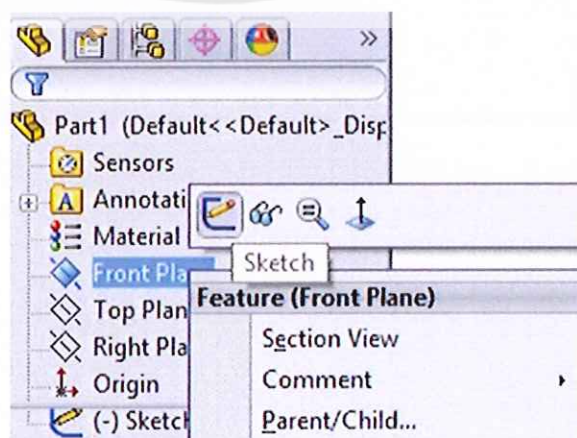


4.3 คลิก OK

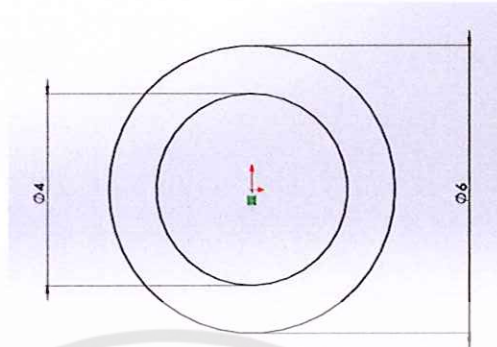


การสร้าง Tube

1. คลิก New  เพื่อทำการเริ่มสร้างชิ้นงาน
2. คลิกเลือก Part เพื่อสร้างแบบจำลอง 3D
3. คลิกขวาที่ระนาบ Front Plane แล้วเลือก Insert Sketch จากเมนูลัด 



4. สร้าง Sketch ของพื้นที่หน้าตัดของท่อ โดยเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 mm




5. คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base

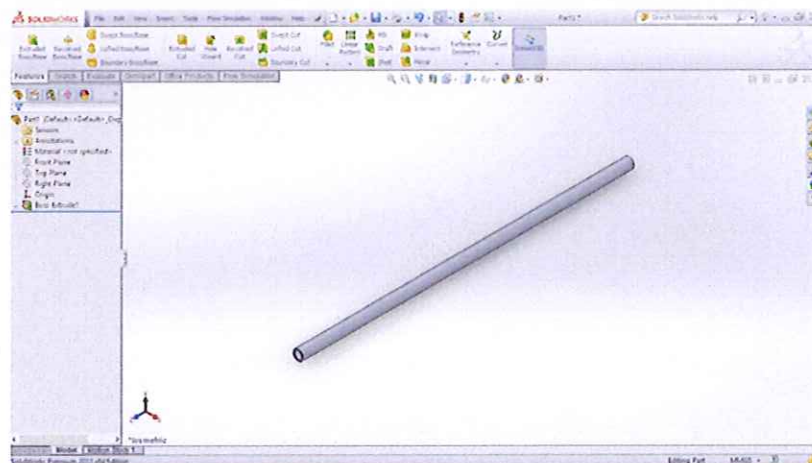


5.1 กำหนด Depth (เป็นความยาวของ Shell) 200 mm



5.2 เลือกการ Extruded เป็นแบบ Blind



5.3 คลิก OK 

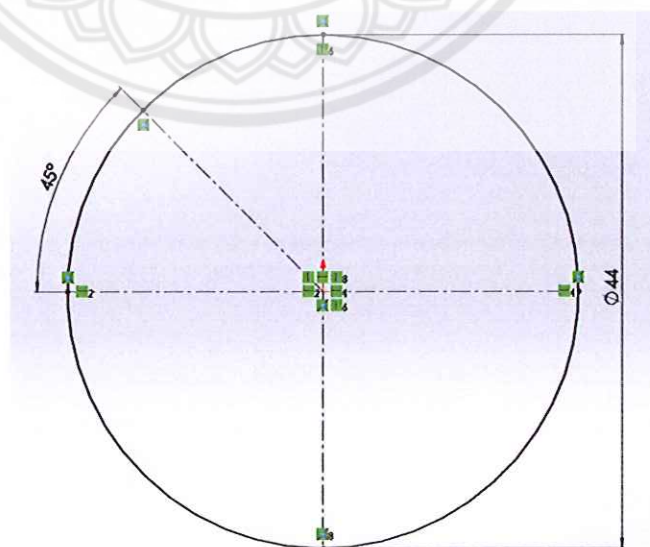


วิธีการสร้าง Baffle

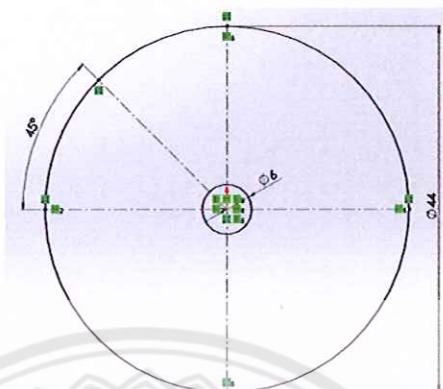
1. คลิก New  เพื่อทำการเริ่มสร้างชิ้นงาน
2. คลิกเลือก Part เพื่อสร้างแบบจำลอง 3D
3. คลิกขวาที่ระนาบ Front Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูลัด
4. สร้างวงกลมโดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง Baffle เท่ากับ 44 mm



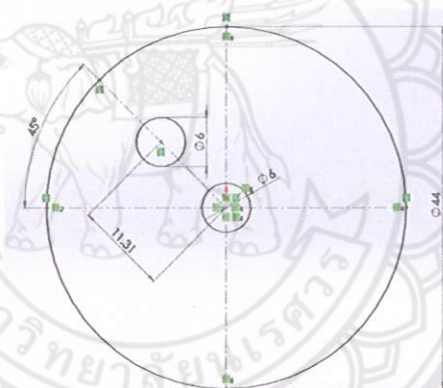
5. สร้างเส้นอ้างอิงเพื่อจะทำการสร้างรูใส่ Tube โดยคลิก Sketch  คลิก Line เลือก Centerline  โดยสร้างเส้นอ้างอิงที่แกน X และแกน Y และสร้างเส้นอ้างอิงที่มีขนาดมุม 45° ทำมุมกับแกน X



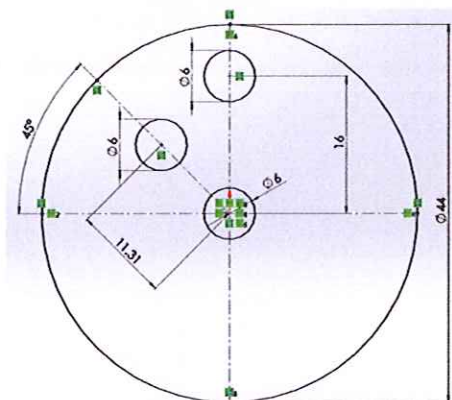
6. คลิกสร้างวงกลมที่จุด Origin โดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm



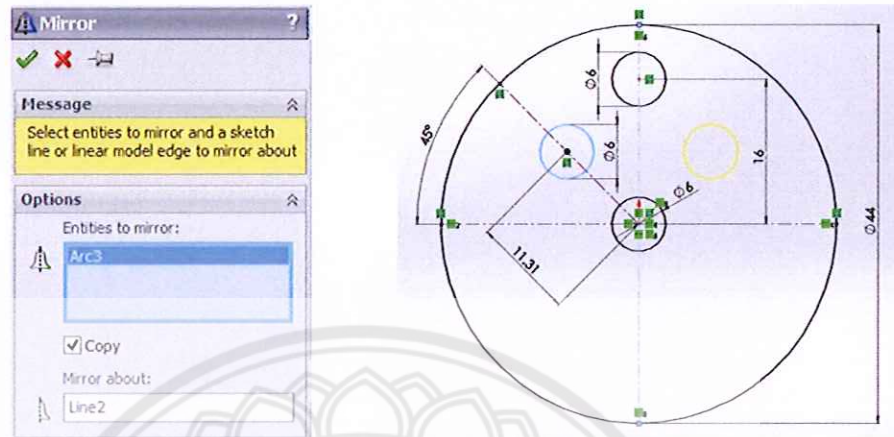
7. สร้างวงกลมบนเส้นอ้างอิง 45° โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm และอยู่ห่างจากจุด Origin เท่ากับ 11.314 mm




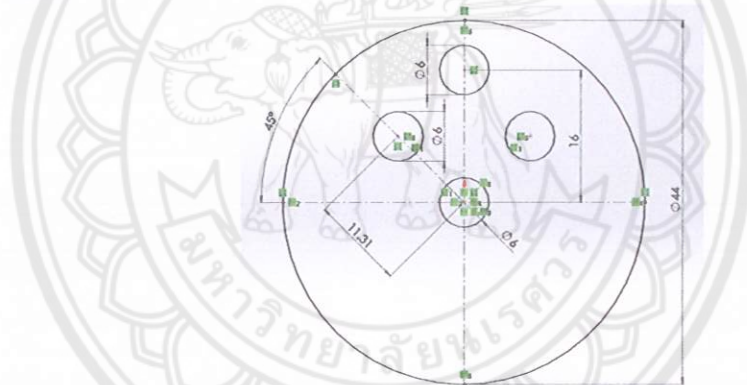
8. สร้างวงกลมบนเส้นอ้างอิงแกน Y โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm และอยู่ห่างจากจุด Origin เท่ากับ 16 mm จะได้ดังรูป



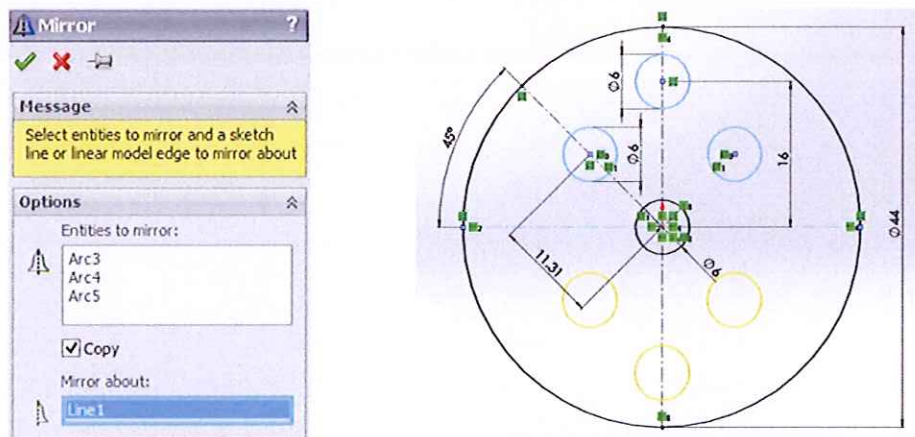
9. คลิก Mirror Entities  โดยในช่อง Entities to mirror ให้คลิกเลือกวงกลมที่จะสร้างใหม่ และในช่อง Mirror about ให้คลิกเลือกเส้นอ้างอิงที่จะทำการ Mirror



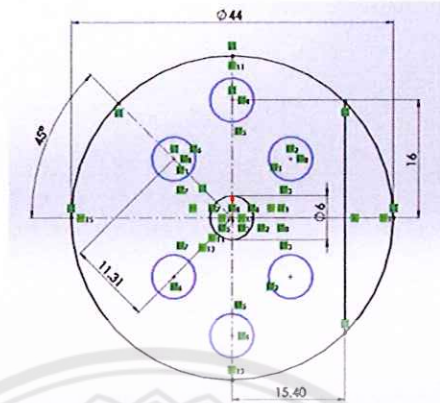
10. คลิก 



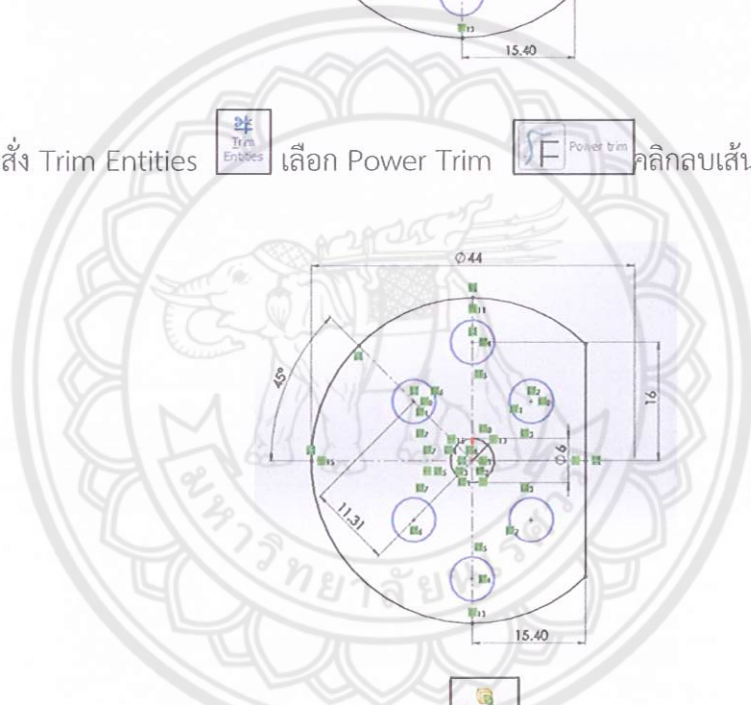
11. คลิก Mirror Entities  โดยในช่อง Entities to mirror ให้คลิกเลือกวงกลมที่จะสร้างใหม่ และในช่อง Mirror about ให้คลิกเลือกเส้นอ้างอิงที่จะทำการ Mirror



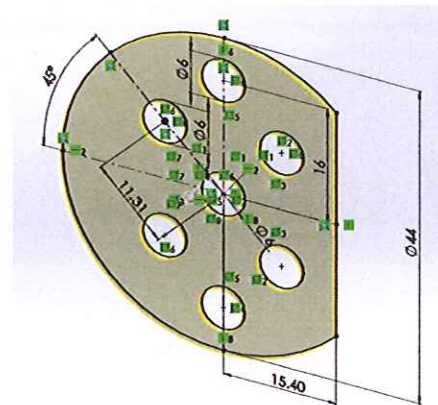
12. ทำการสร้างเส้นตัด (ตัด 15%) ขนานกับเส้นอ้างอิงแกนตั้งห่างเท่ากับ 15.4 mm



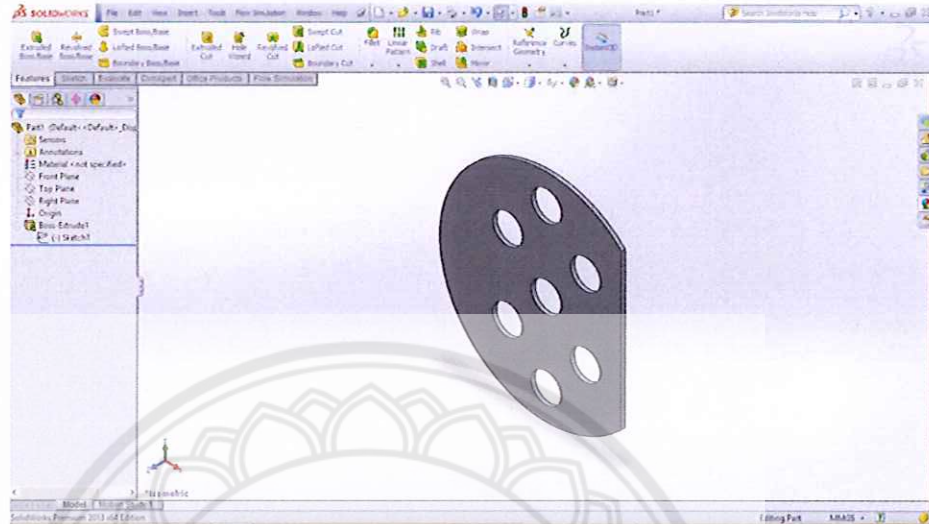
13. ใช้คำสั่ง Trim Entities เลือก Power Trim คลิกเส้นที่ไม่ต้องการออก



14. คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base กำหนด Depth (เป็นความหนาของ Baffle) 0.75 mm คลิกเลือก Blind

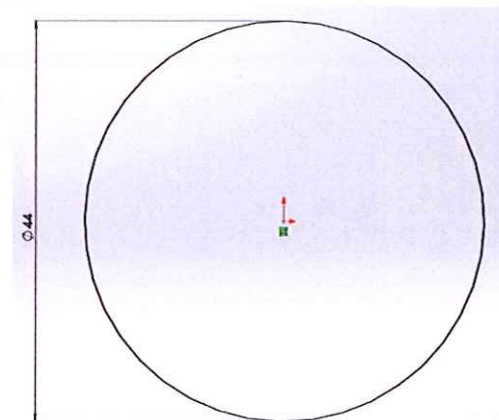
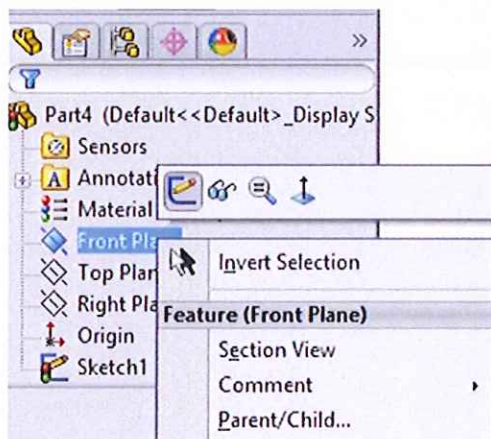





15. คลิก OK

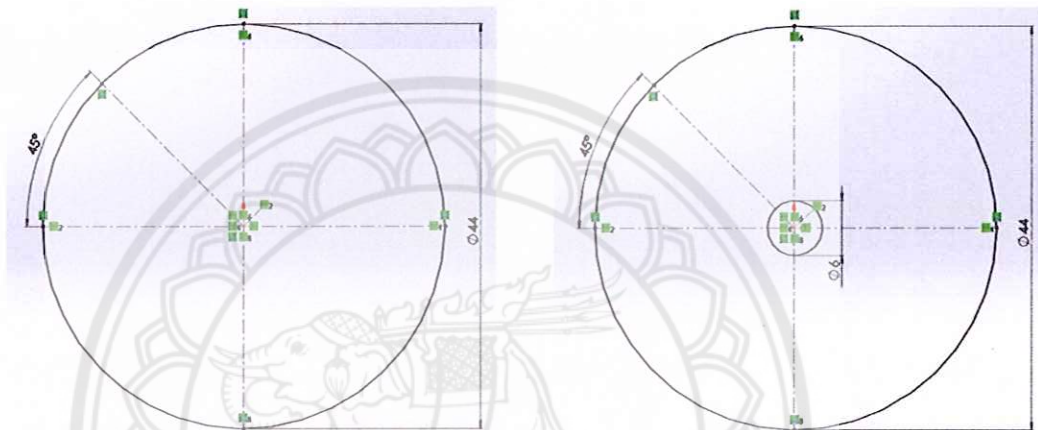


การสร้าง Tube Sheet

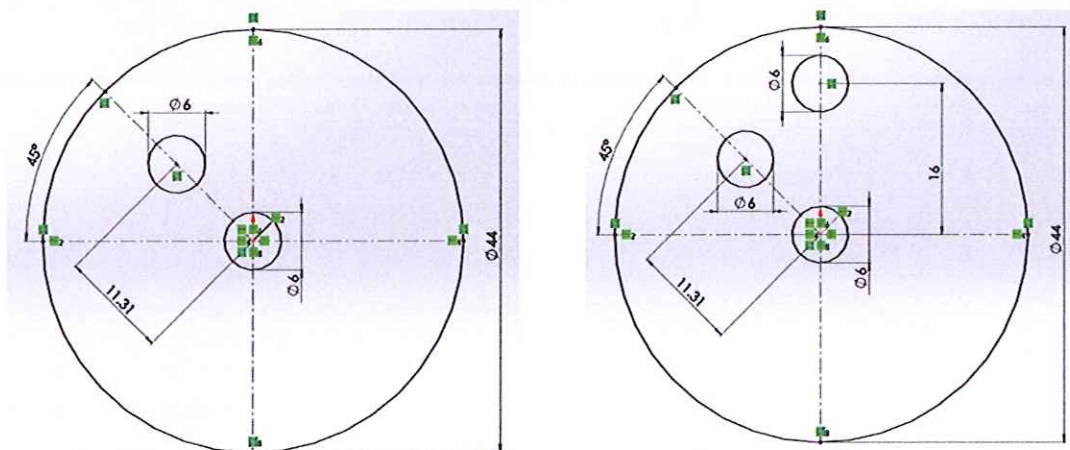
1. คลิก New  เพื่อทำการเริ่มสร้างชิ้นงาน
2. คลิกเลือก Part เพื่อสร้างแบบจำลอง 3D
3. คลิกขวาที่ระนาบ Front Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูลัด
4. สร้างวงกลมโดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง Baffle เท่ากับ 44 mm



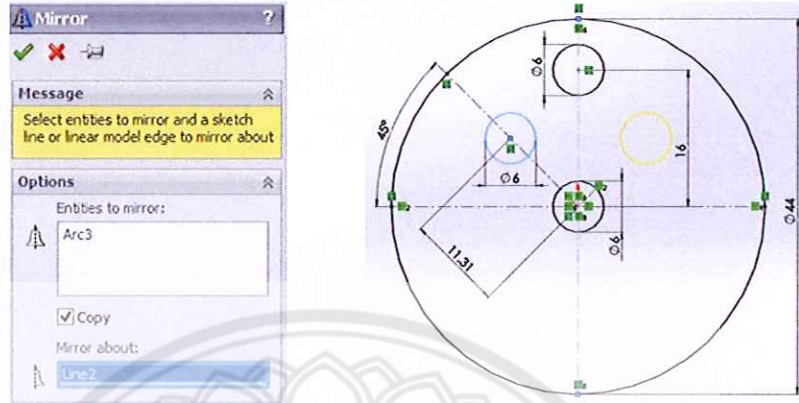
5. สร้างเส้นอ้างอิงเพื่อทำการสร้างรูใส่ Tube โดยคลิก Sketch  คลิก Line เลือก Centerline  โดยสร้างเส้นอ้างอิงที่แกน X และแกน Y และสร้างเส้นอ้างอิงที่มีขนาดมุม 45° ทำมุมกับแกน X
6. คลิก สร้างวงกลมที่จุด Origin โดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm




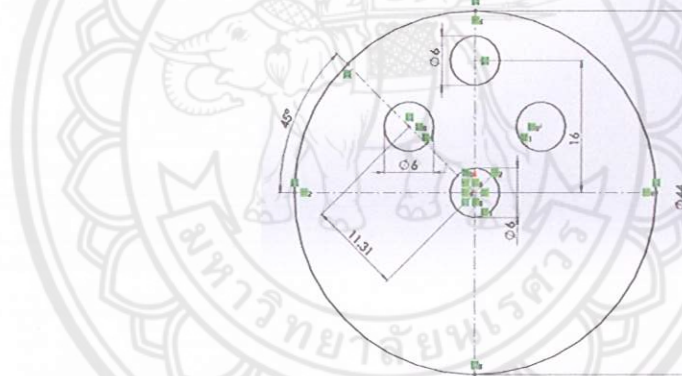
7. สร้างวงกลมบนเส้นอ้างอิง 45° โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm และอยู่ห่างจากจุด Origin เท่ากับ 11.314 mm
8. สร้างวงกลมบนเส้นอ้างอิงแกน Y โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm และอยู่ห่างจากจุด Origin เท่ากับ 16 mm จะได้ดังรูป



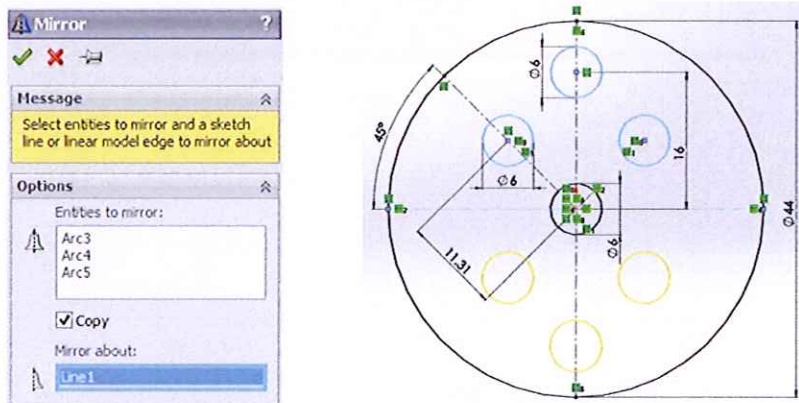
9. คลิก Mirror Entities  โดยในช่อง Entities to mirror ให้คลิกเลือกวงกลมที่จะสร้างใหม่ และในช่อง Mirror about ให้คลิกเลือกเส้นอ้างอิงที่จะทำการ Mirror



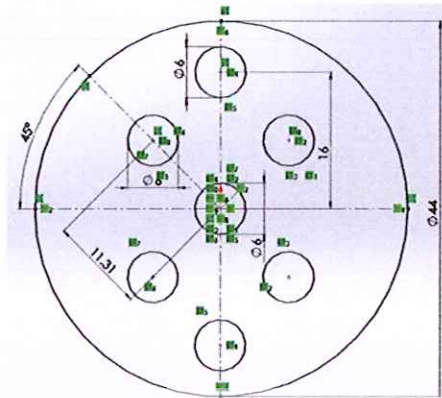
10. คลิก 



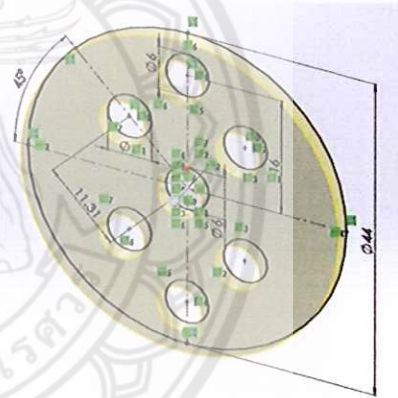
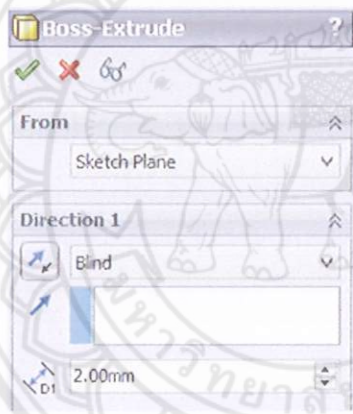
11. คลิก Mirror Entities  โดยในช่อง Entities to mirror ให้คลิกเลือกวงกลมที่จะสร้างใหม่ และในช่อง Mirror about ให้คลิกเลือกเส้นอ้างอิงที่จะทำการ Mirror



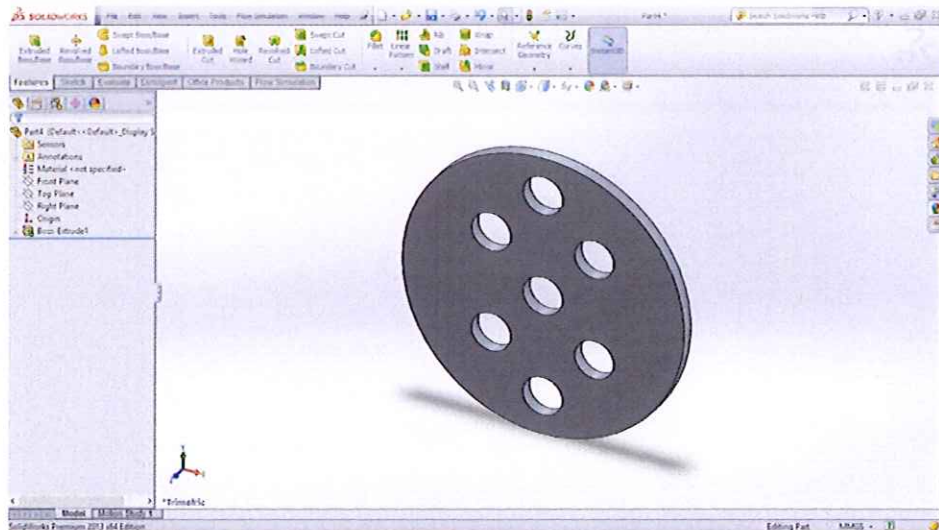
12. คลิก 





13. คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base กำหนด Depth (เป็นความยาวของ Tube Sheet) โดยกำหนดความหนา 2.00 mm คลิกเลือก Blind 

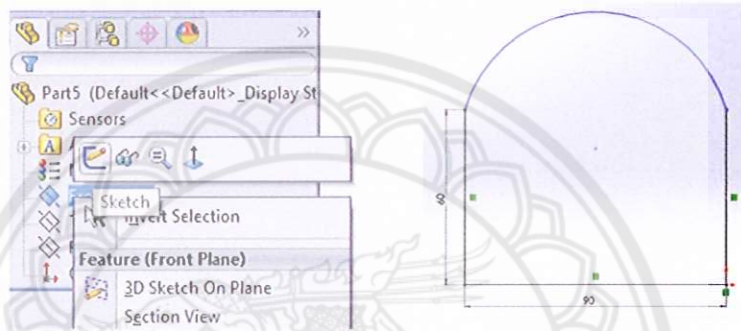


14. คลิก OK 

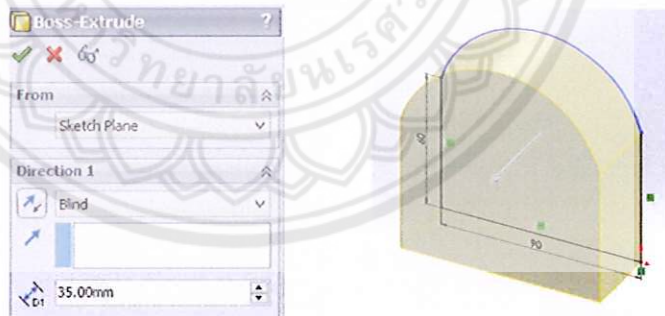


การสร้าง Flang

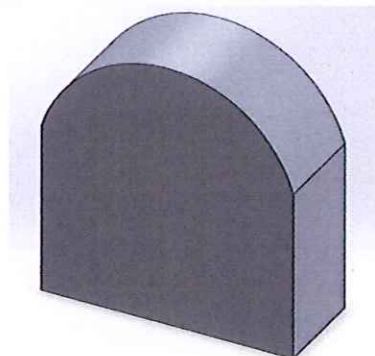
1. คลิก New  เพื่อทำการเริ่มสร้างชิ้นงาน
2. คลิกเลือก Part เพื่อสร้างแบบจำลอง 3D
3. คลิกขวาที่ระนาบ Front Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูถัด
4. สร้าง Sketch ดังรูปด้านล่าง



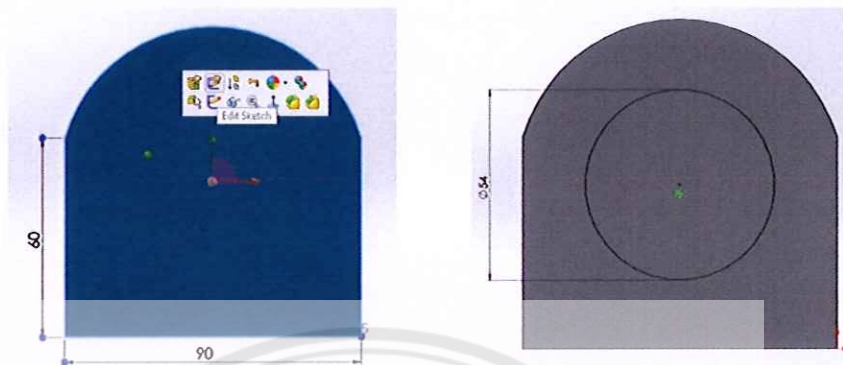
5. คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base  กำหนด Depth โดยกำหนดความหนา 35.00 mm คลิกเลือก Blind




6. คลิก 



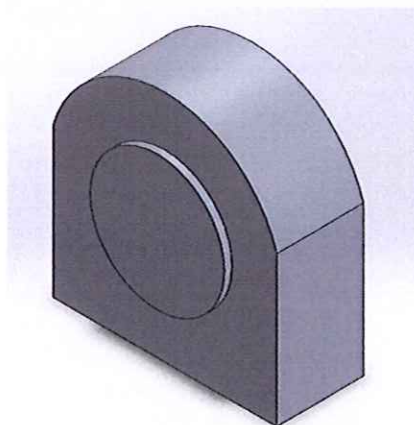
7. คลิกขวาที่ Plan ของวัตถุ แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูลัด สร้างวงกลม  เส้นผ่านศูนย์กลางกลาง 54 mm



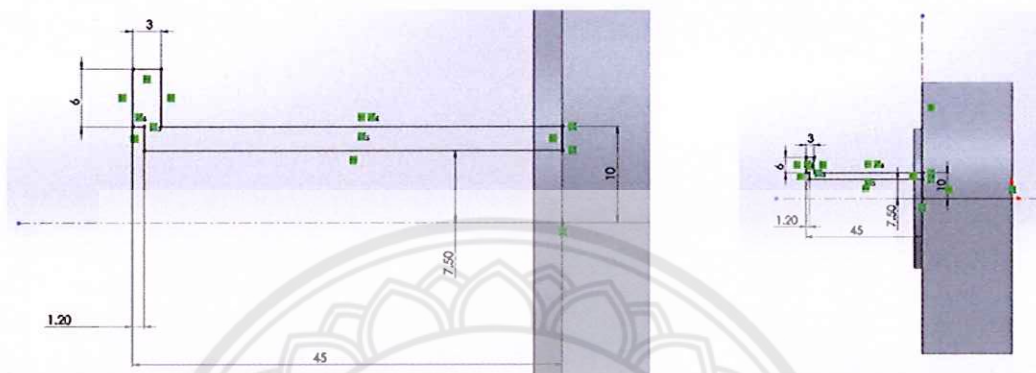
8. คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base  กำหนด Depth โดยกำหนดความหนา 3.00 mm คลิกเลือก Blind



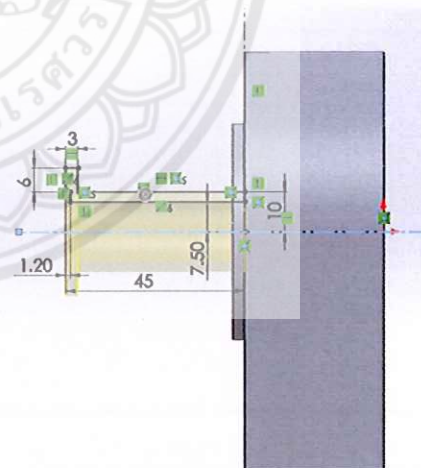
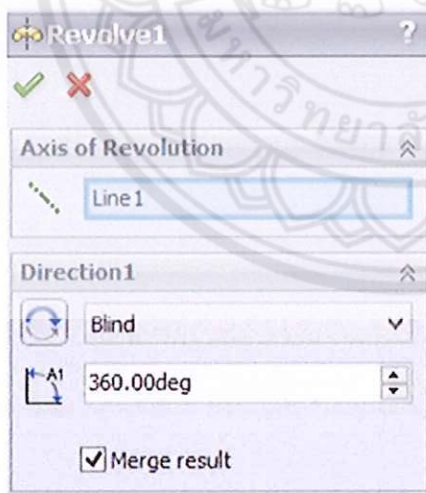
9. คลิก OK 



10. สร้าง Sketch เพื่อสร้างทางออกของของไหล คลิกขวาที่ระนาบ Right Plane แล้วเลือก Insert Sketch จากเมนูลัด จากนั้นสร้าง Sketch โดยเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 20 mm และหนา 2.5 mm และตำแหน่งเส้นผ่านศูนย์กลางทางออกใช้จุดศูนย์กลางร่วมกับส่วนโค้งที่นูนออกมาตั้งรูปด้านล่าง

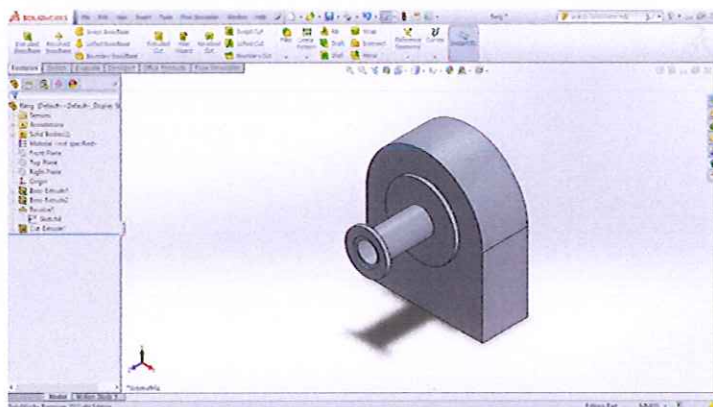


10.1 ใช้คำสั่ง Revolved เพื่อสร้างส่วนของทางออกน้ำร้อน Revolution (เป็นแกนกลางของทางออก) เลือก Axis of

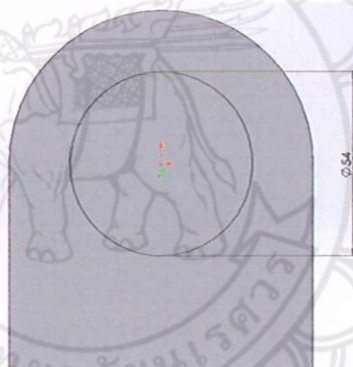


10.2 เลือกการ Revolution 360° และคลิก

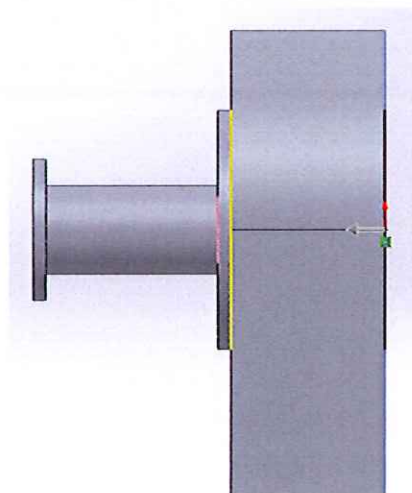
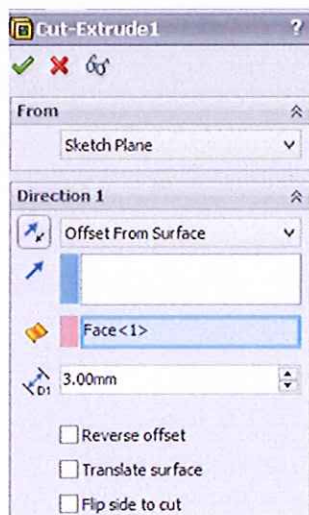
10.3 คลิก OK



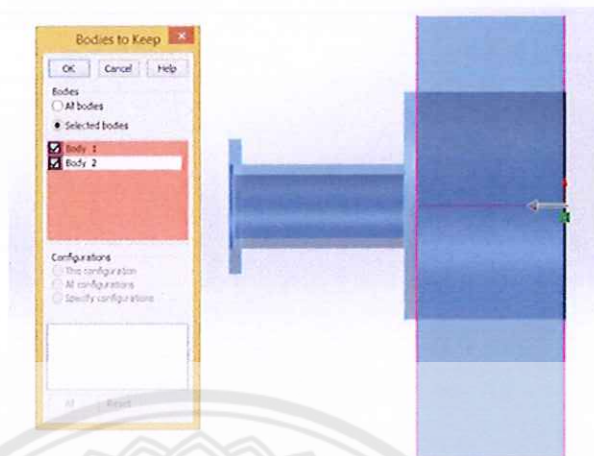
11. เจาะรูทางออกของของไหล โดยคลิกขวาที่ Plan ของวัตถุ (ด้านหลังของ Flang) แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูลัด จากนั้นสร้าง Sketch กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลาง 54.00 mm แสดงดังรูป



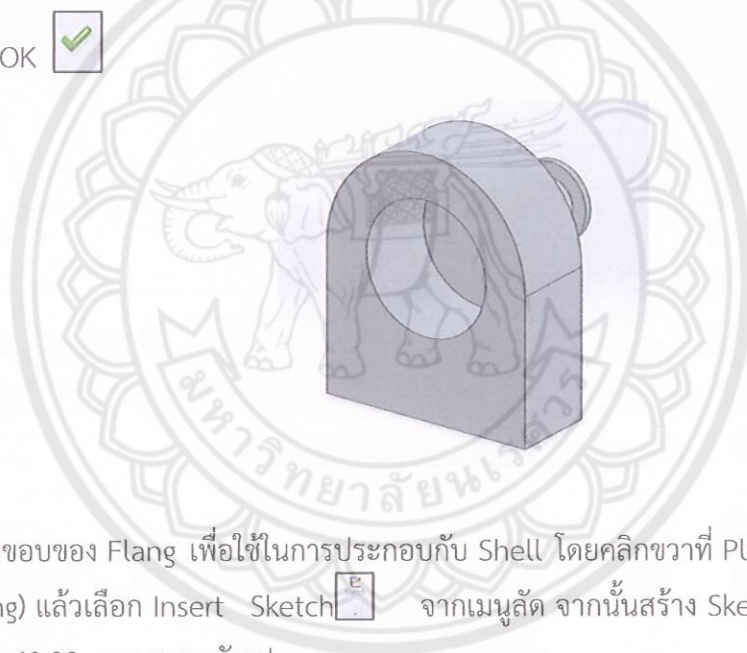
12. คลิก Features เลือก Extruded Cut  เลือก Depth โดยกำหนดความหนา 3.00 mm คลิกเลือก Offset From Surface แล้วเลือกผิวอีกด้านของ Flang



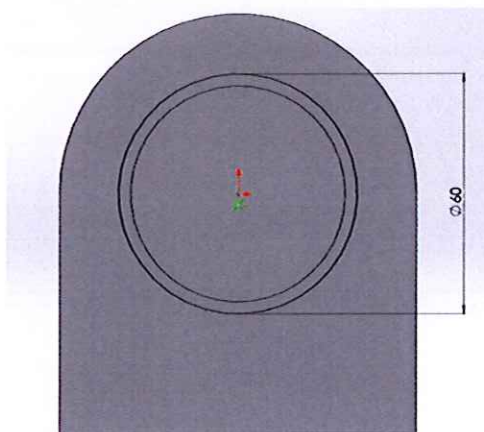
13. Bodies to Keep คลิก Selected bodies เลือกคลิกถูก ดังรูป แล้วกด OK



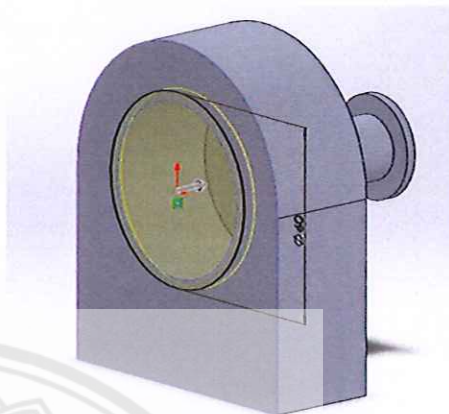
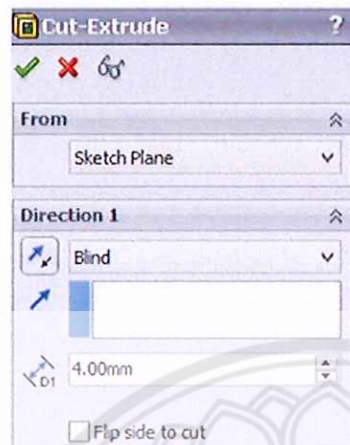
14. คลิก OK



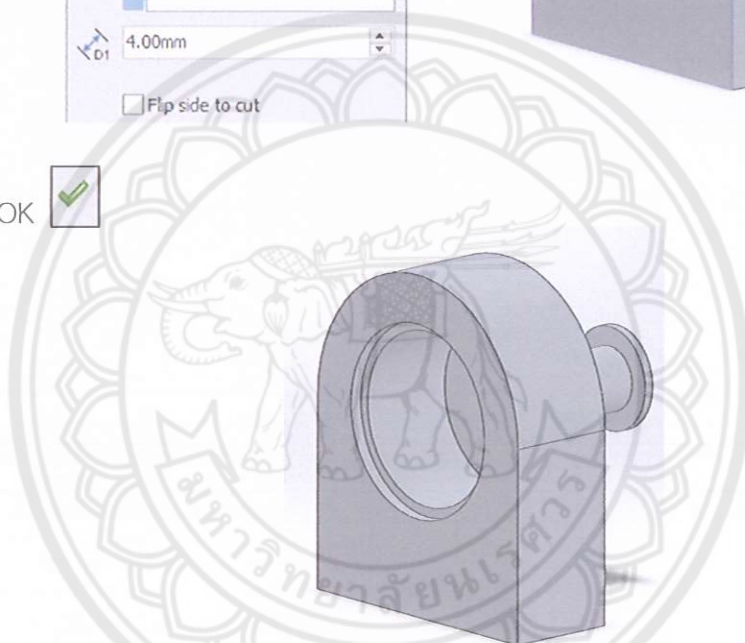
15. สร้างขอบของ Flang เพื่อใช้ในการประกอบกับ Shell โดยคลิกขวาที่ Plan ของวัตถุ (ด้านหลังของ Flang) แล้วเลือก Insert Sketch จากเมนูลัด จากนั้นสร้าง Sketch กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60.00 mm แสดงดังรูป




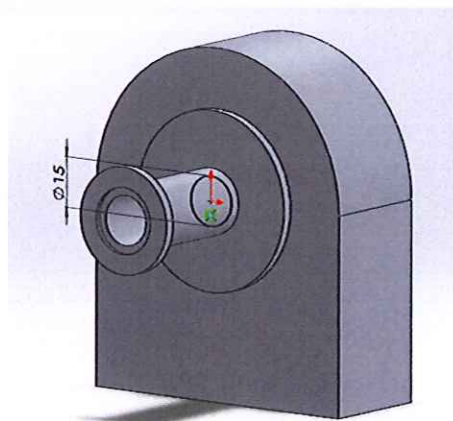
16. คลิก Features เลือก Extruded Cut  เลือก Depth โดยกำหนดความหนา 4.00 mm เลือก Blind



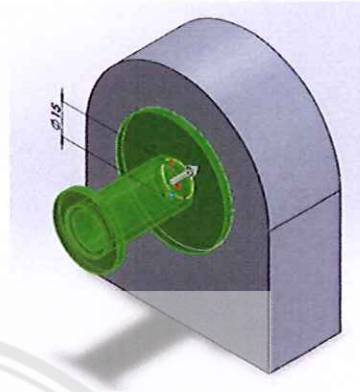
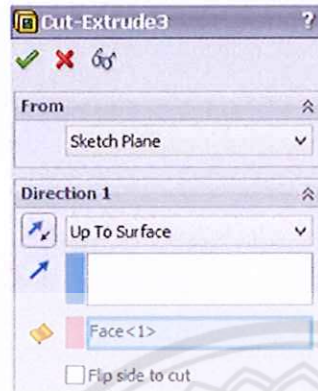
17. คลิก OK 



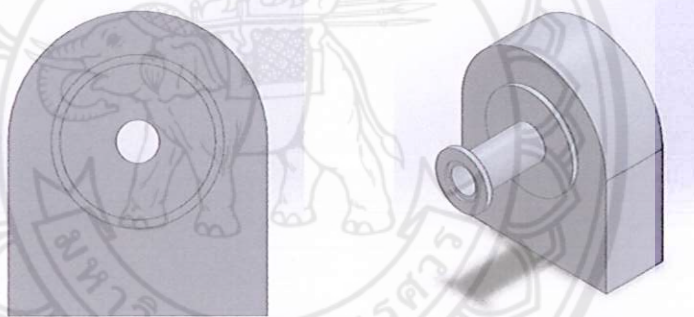
18. เจาะรูทางออกของของไหล โดยคลิกขวาที่ Plan ของวัตถุ (ด้านในของ Flang) แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูลัด จากนั้นสร้าง Sketch กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางออกของของไหลที่เคยสร้าง แสดงดังรูป



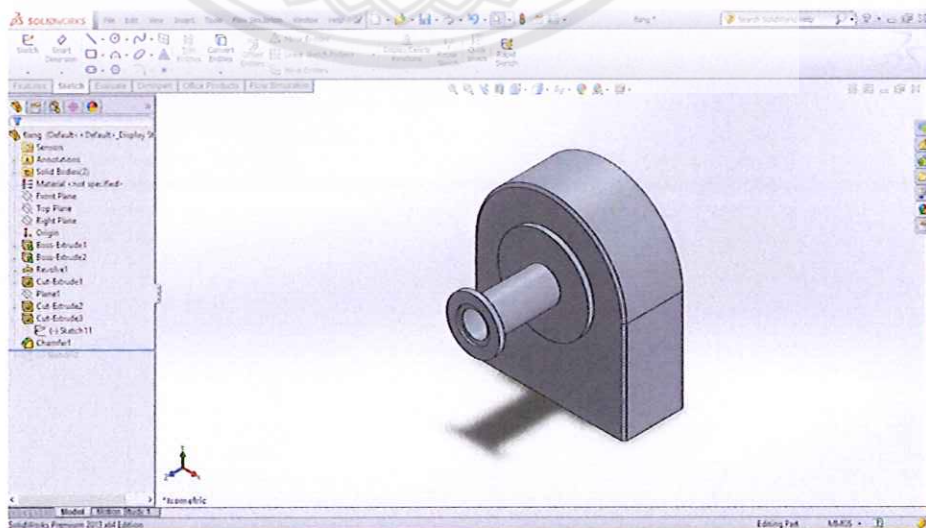
19. คลิก Features เลือก Extruded Cut  เลือก Depth โดยกำหนดความหนา 3.00 mm
คลิก Up To Surface เลือก แล้วเลือกผิวอีกด้านของ Flang (ด้านใน)



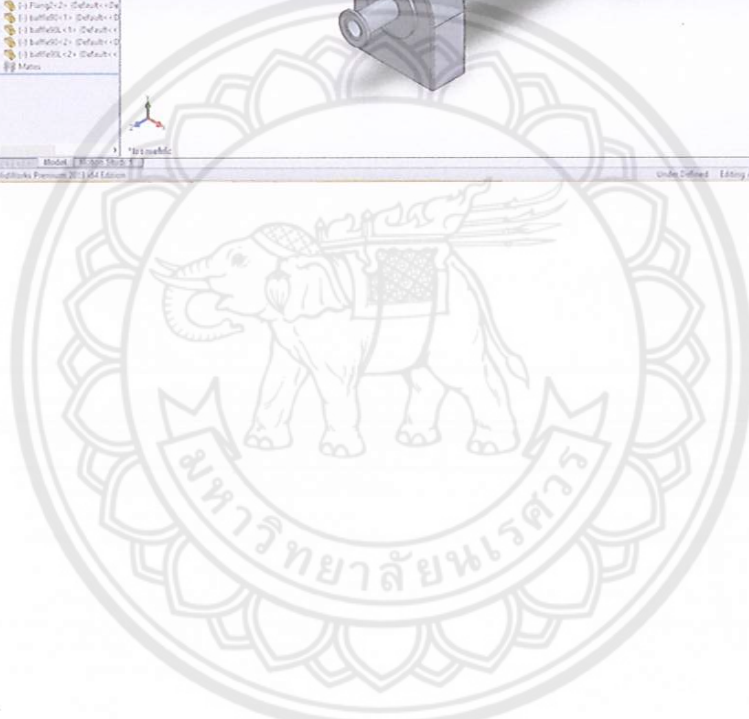
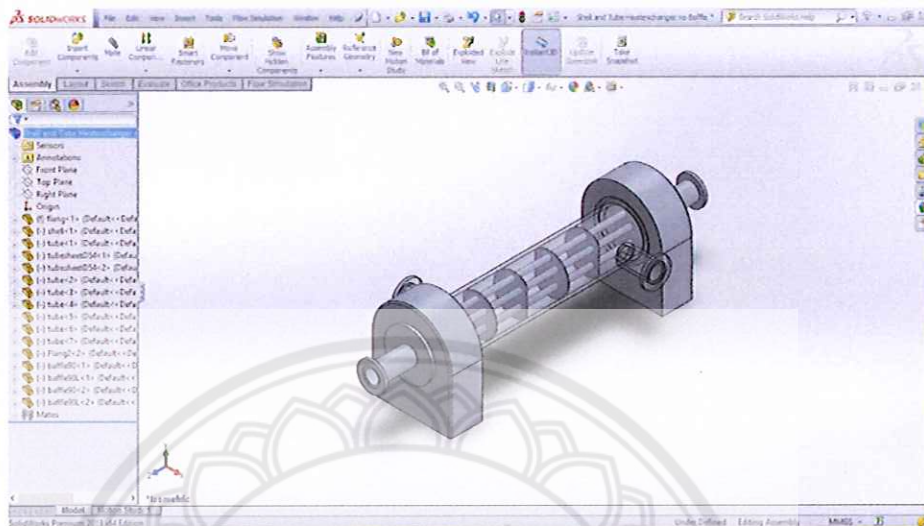
20. คลิก OK 



21. ลบเหลี่ยมด้วย  Chamfer



สร้างแบบจำลองโดยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน



ภาคผนวก ข

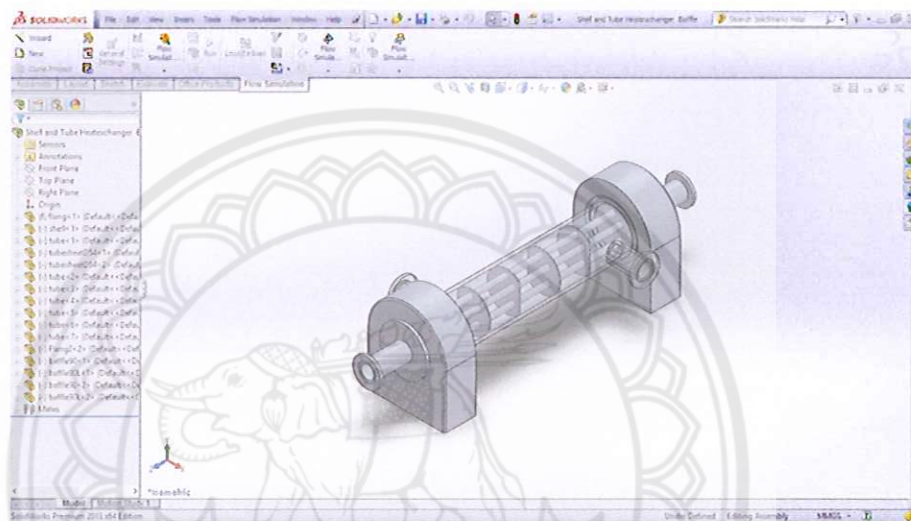
วิธีการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



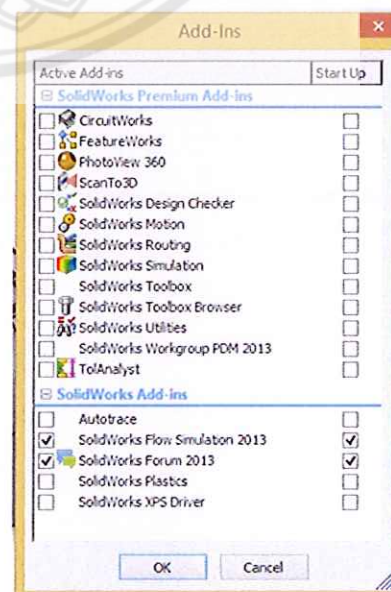
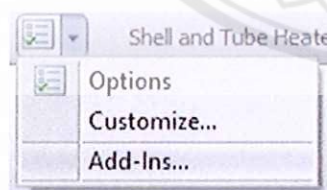
วิธีการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1. เตรียมแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์


1.1 เปิดไฟล์แบบจำลองขึ้นมา



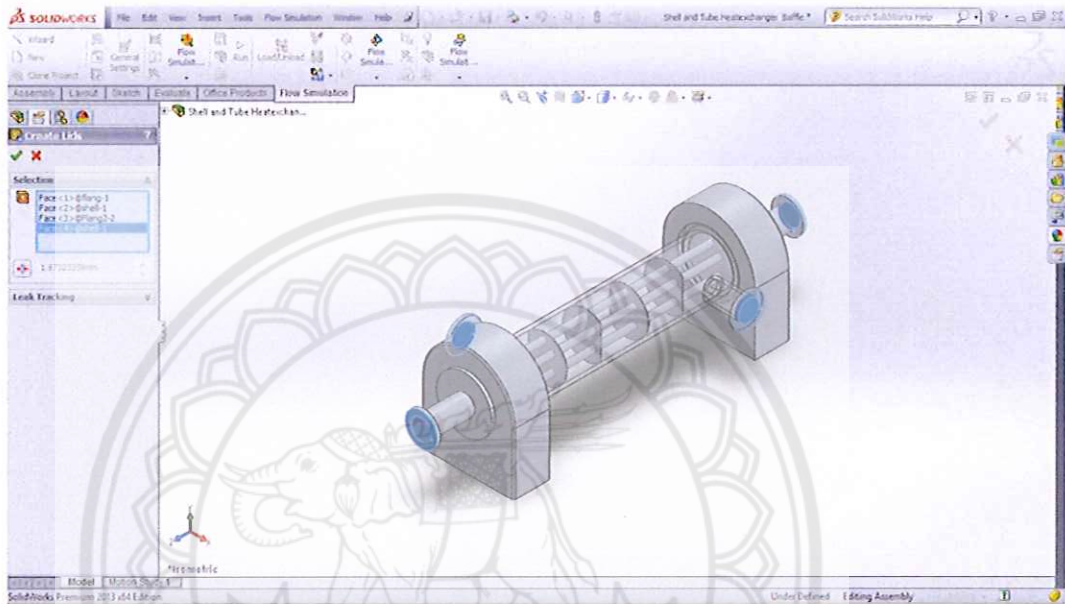
1.2 คลิกตรงลูกศร  หลังจากนั้นเลือก  จะขึ้น Tools Bar ชื่อ Add-in ให้ใช้คลิกด้านหน้าและด้านหลังของ Solidworks Flow Simulation 2013



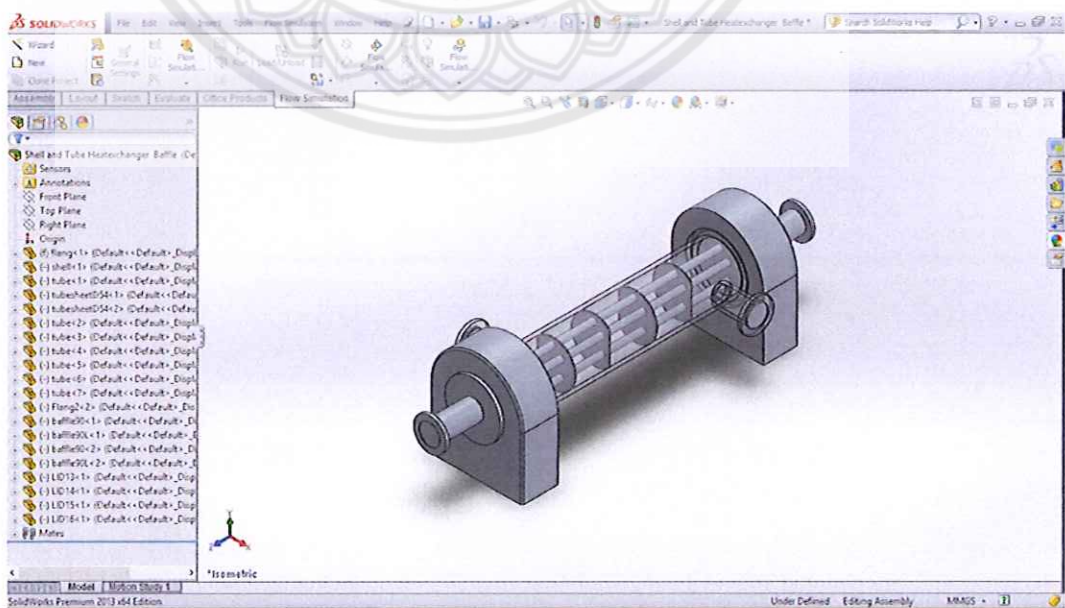
2. สร้าง Lids ที่ทางเข้าและทางออกของของไหล

2.1 คลิก Create lids  เพื่อสร้าง lids ให้ปิดทางเข้าและทางออกของของไหลทั้งหมด

2.2 คลิกที่หน้าตัดของทางเข้าและทางออกทั้งหมด



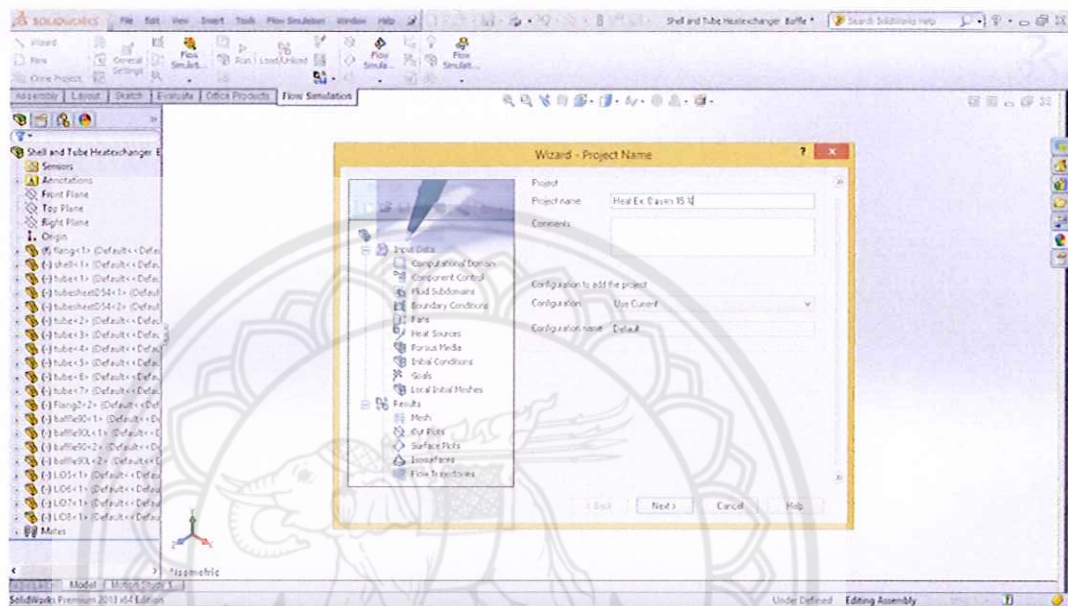
2.3 คลิก 



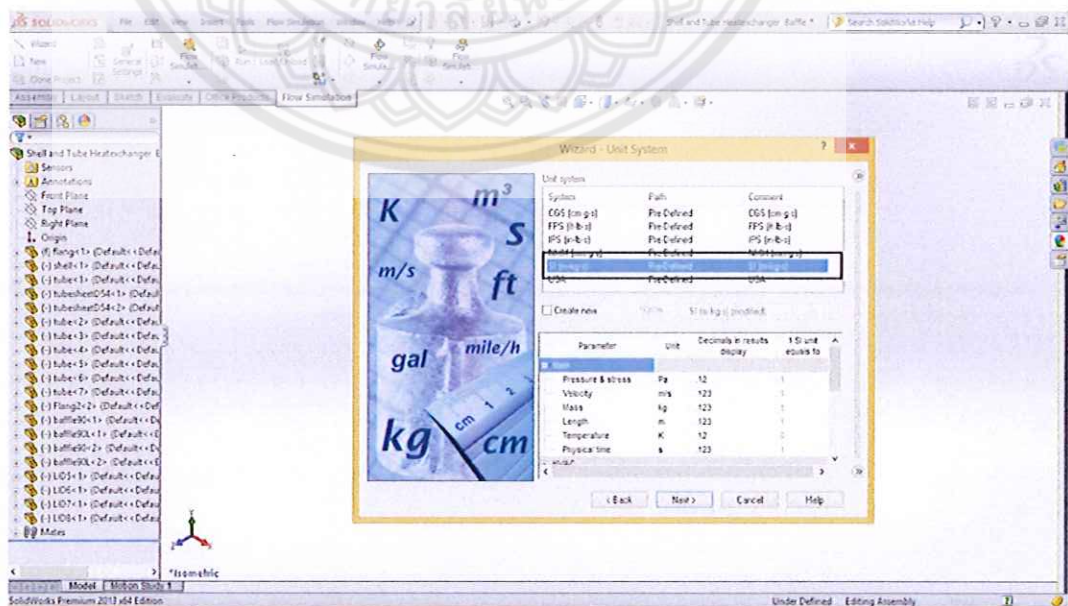
3. กำหนดคุณสมบัติของของไหลในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1 คลิก Wizard

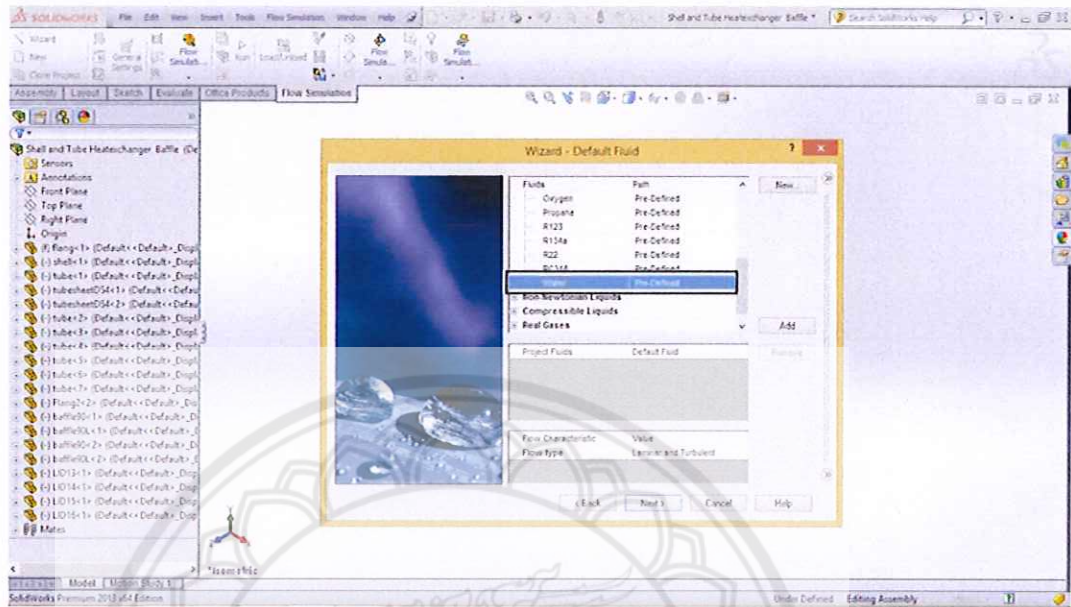
3.2 แสดงหน้าต่าง Wizard – Project Name ให้ตั้งชื่อ Project ที่ช่อง Project name



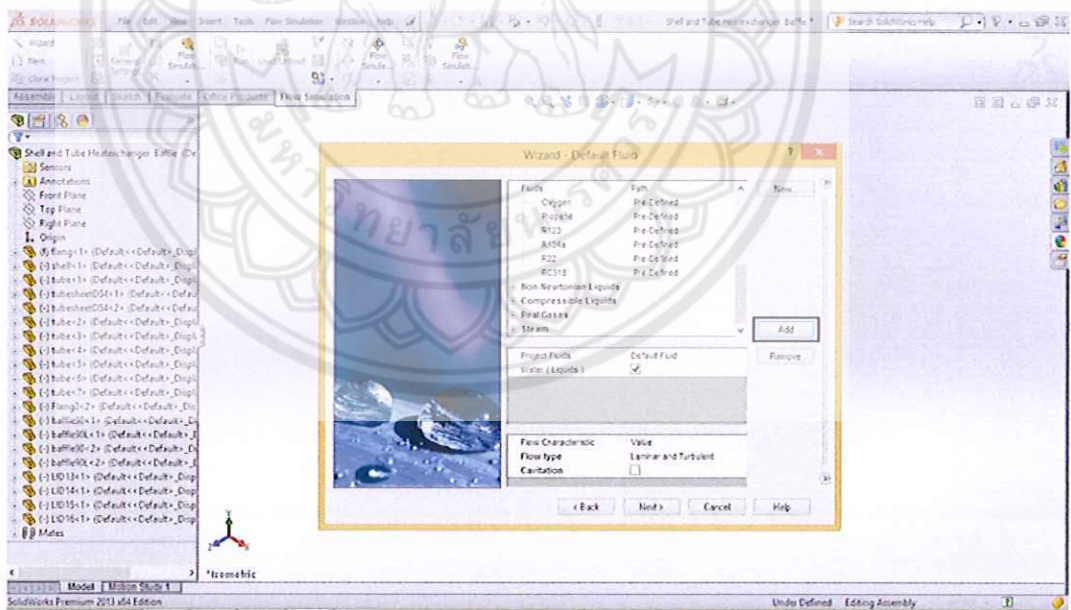
3.3 คลิก Next แสดงหน้าต่างชื่อ Wizard - Unit System กำหนดระบบหน่วยที่ใช้ในการวิเคราะห์ (เลือกระบบหน่วย SI) แสดงดังรูป



3.6.2 เลือก Water แสดงดังรูป

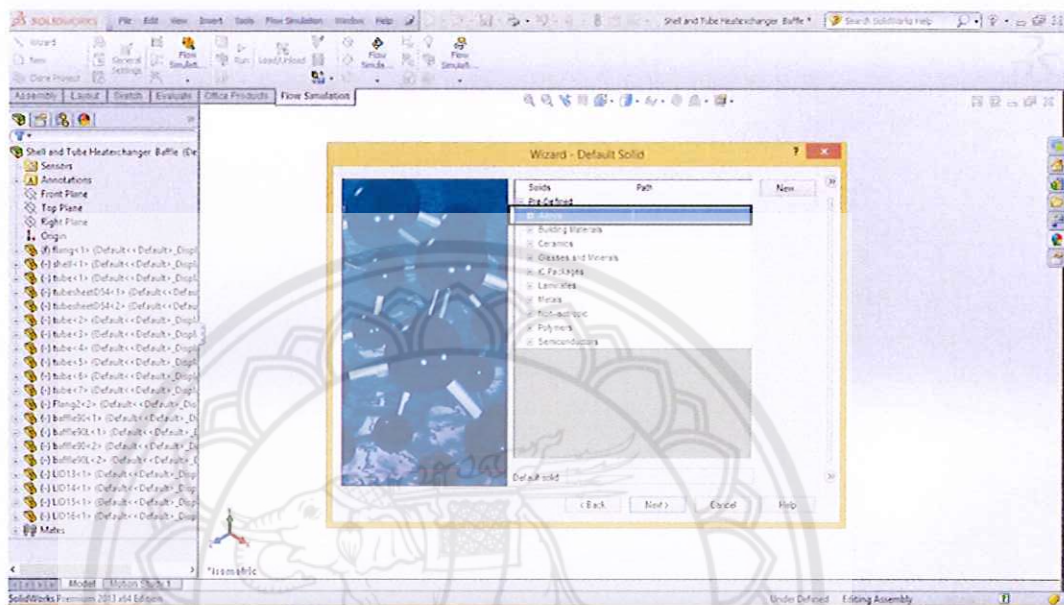


3.6.3 คลิก Add

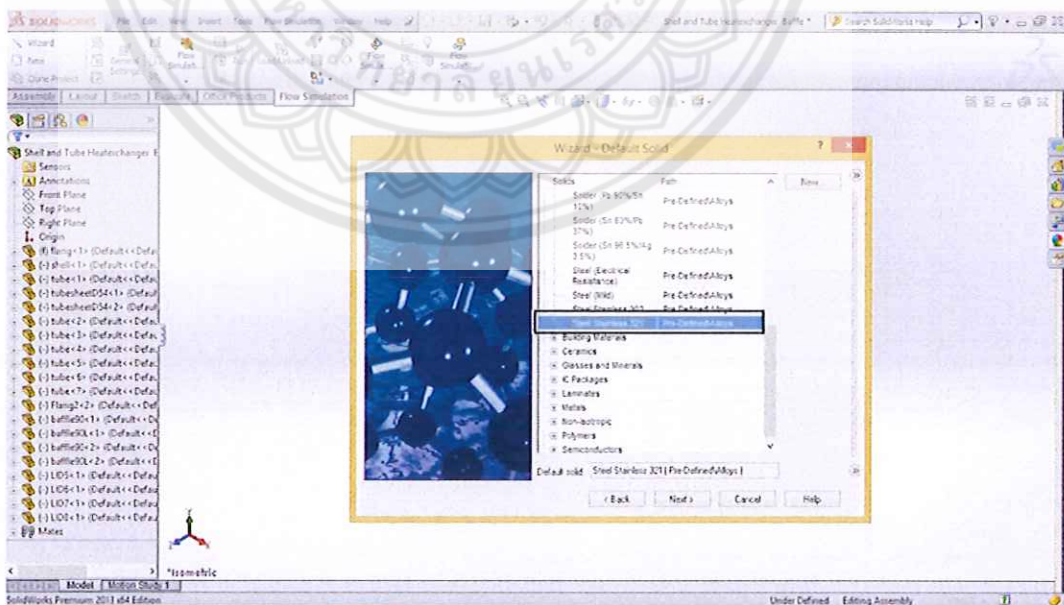


3.7 คลิก Next แสดงหน้าต่าง Wizard - Default Solid กำหนด Material ของแบบจำลอง (กรณีศึกษาใช้ Steel Stainless 321)

3.7.1 คลิกเครื่องหมาย (+) ด้านหน้า Alloy แสดงดังรูป

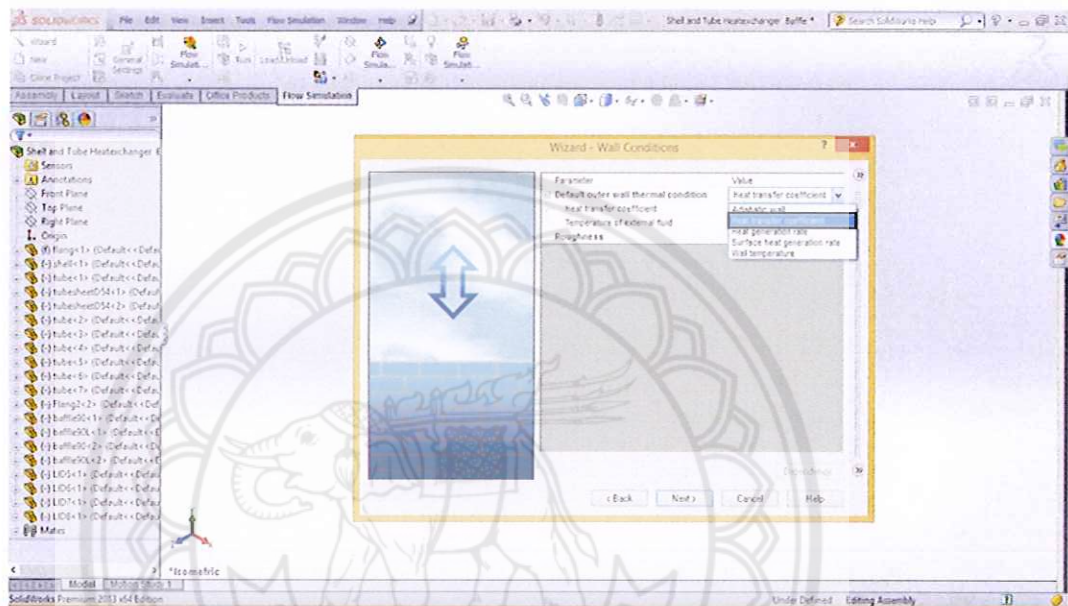


3.7.2 เลือก Steel Stainless 321 แสดงดังรูป

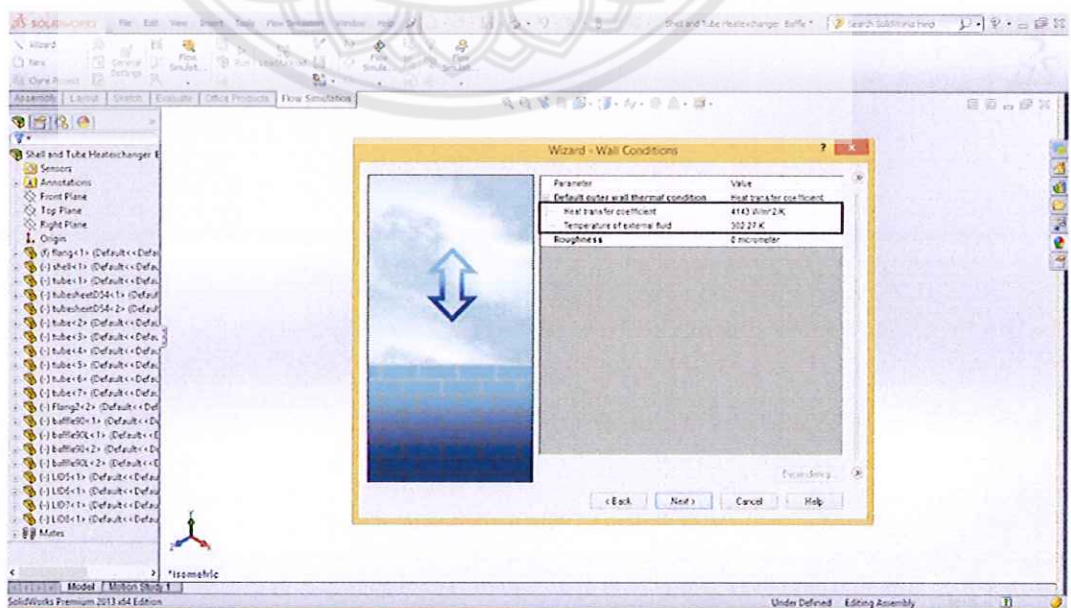


3.8 คลิก Next แสดงหน้าต่างชื่อ Wizard - Wall conditions กำหนดรูปแบบของการถ่ายเทความร้อนของผนัง

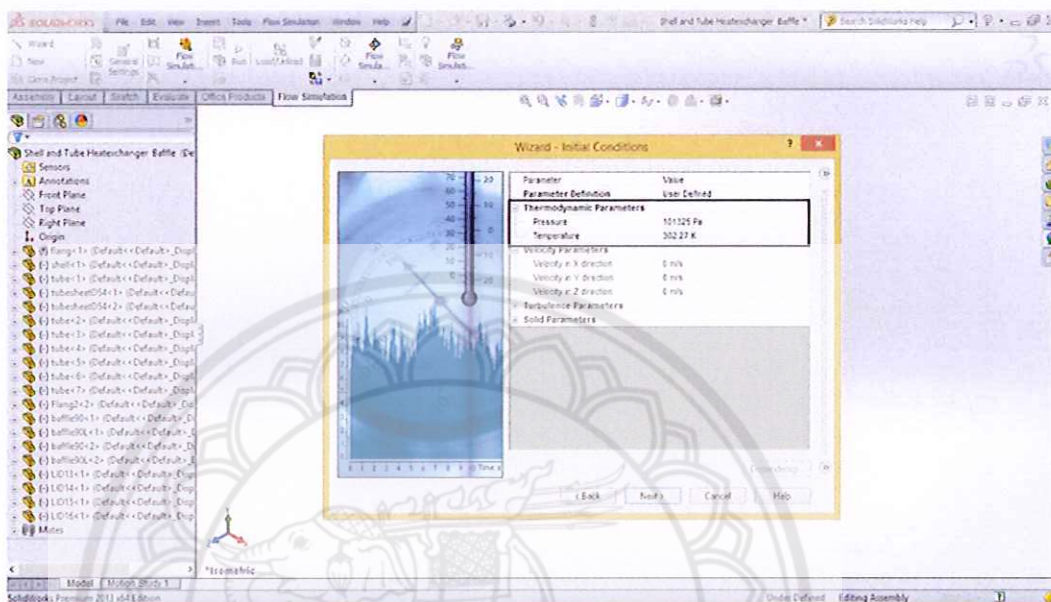
3.8.1 ที่ Default outer wall thermal condition เลือกให้ผนังถ่ายเทความร้อนแบบ Heat transfer coefficient แสดงดังรูป



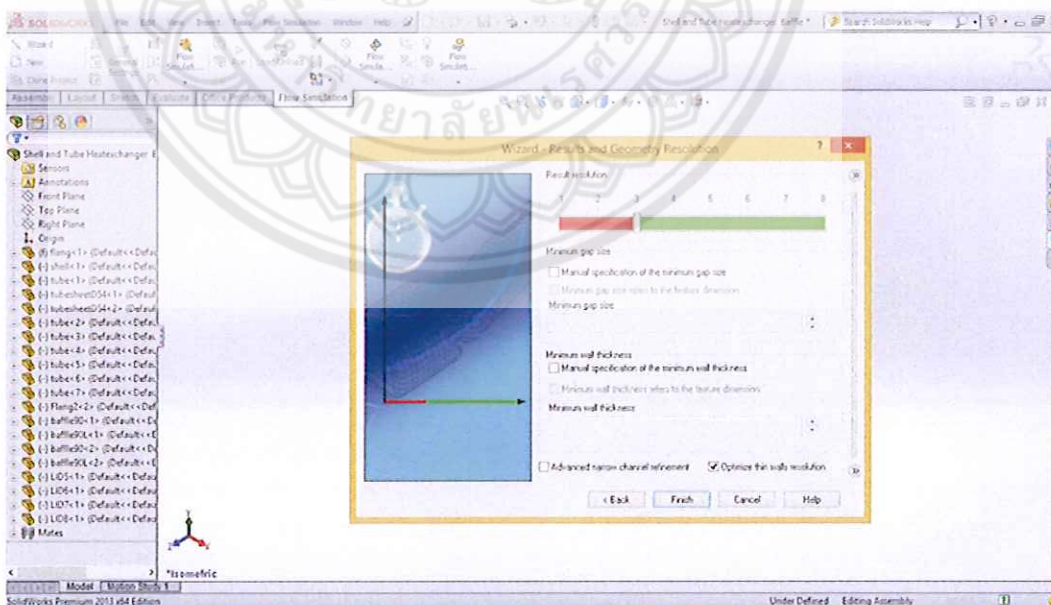
3.8.2 กำหนดค่า Heat transfer coefficient เท่ากับ $4,143 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และ Temperature of external fluid เท่ากับ 302.27 K แสดงดังรูป



3.9 คลิก Next แสดงหน้าต่างชื่อ Wizard - Initial Conditions กำหนดความดันและอุณหภูมิของน้ำเย็น (กรณีศึกษาที่กำหนดให้ Pressure เท่ากับ 101,325 Pa และ Temperature เท่ากับ 302.27 K) แสดงดังรูป



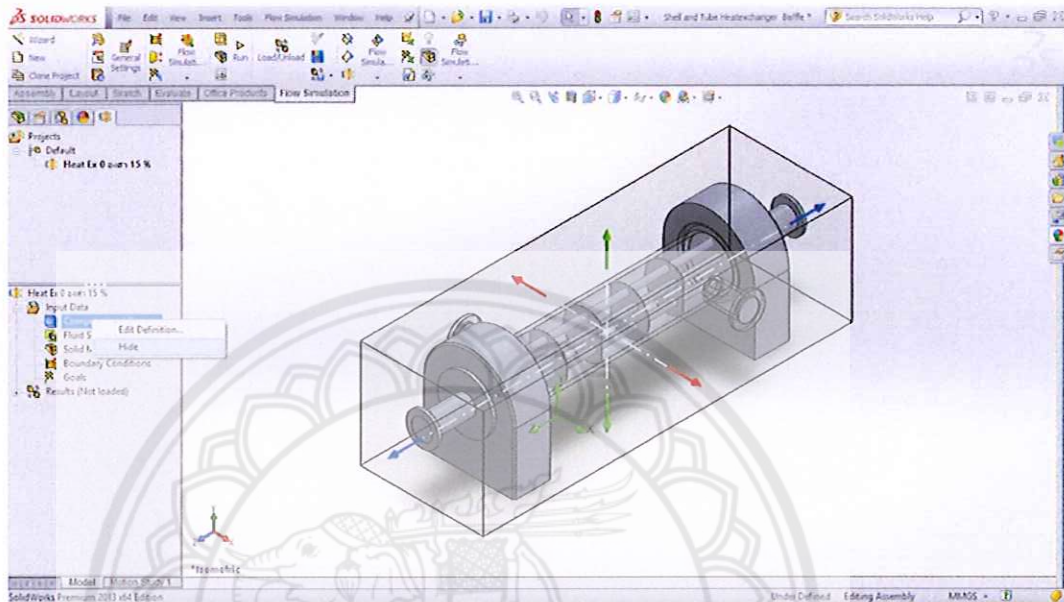
3.10 คลิก Next แสดงหน้าต่าง Wizard - Result and Geometry Resolution



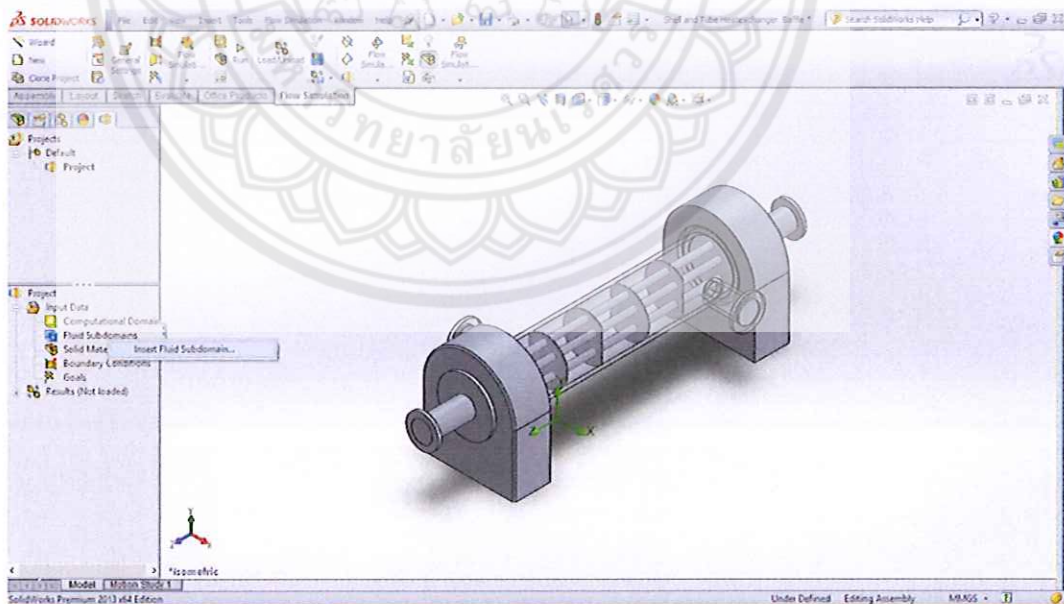
3.11 คลิก Finish


4. กำหนดค่าอัตราการไหล และอุณหภูมิของแบบจำลอง

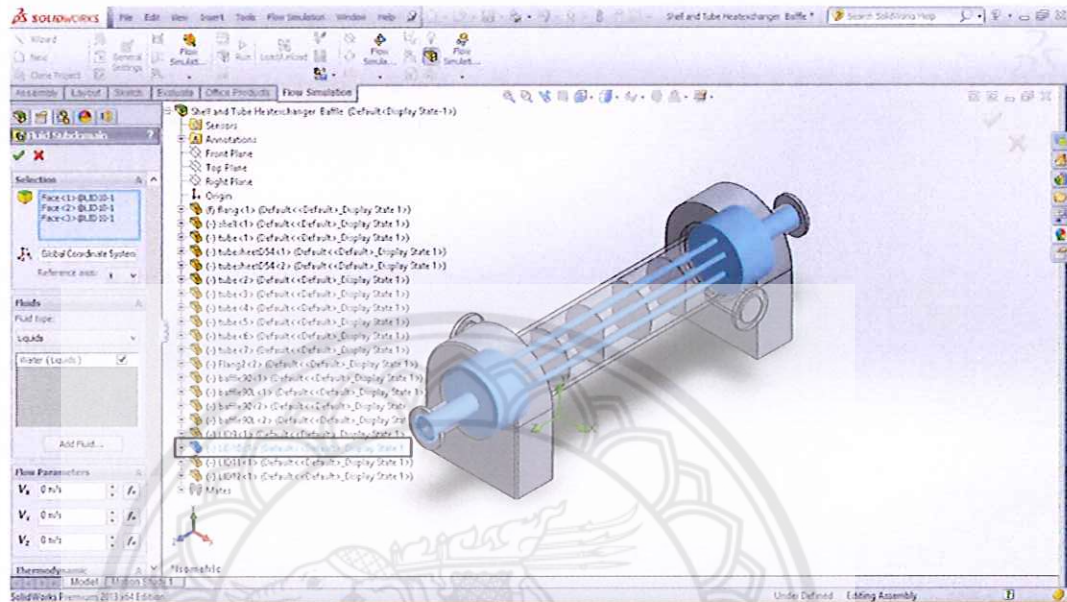
4.1 คลิกขวาที่  **Computational Domain** เลือก Hide แสดงดังรูป




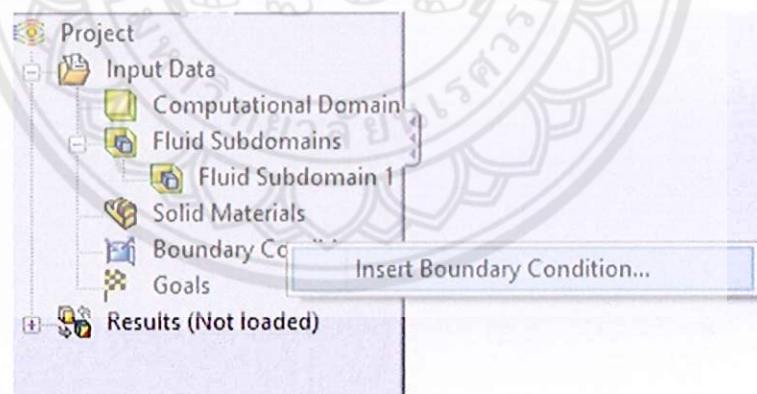
4.2 คลิกขวาที่  **Fluid Subdomains** เลือก Insert Fluid Subdomain แสดงดังรูป



4.3 คลิกเลือก Lids กระจายน้ำร้อนทางเข้า และกำหนดอุณหภูมิของทางเข้ากระจายน้ำร้อน 350.44K แสดงดังรูป แล้วคลิก 



4.4 คลิกขวาที่  Boundary Conditions เลือก Insert Boundary Condition (เพื่อกำหนดคุณสมบัติทางเข้าของน้ำเย็น) แสดงดังรูป

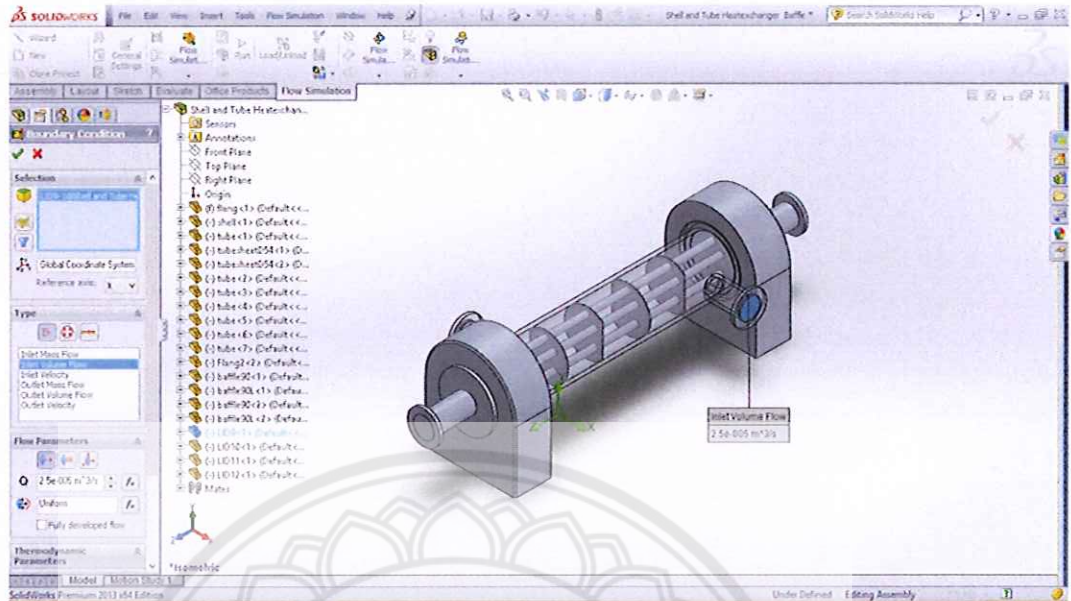



4.4.1 คลิกที่ Lids ทางเข้าน้ำเย็น

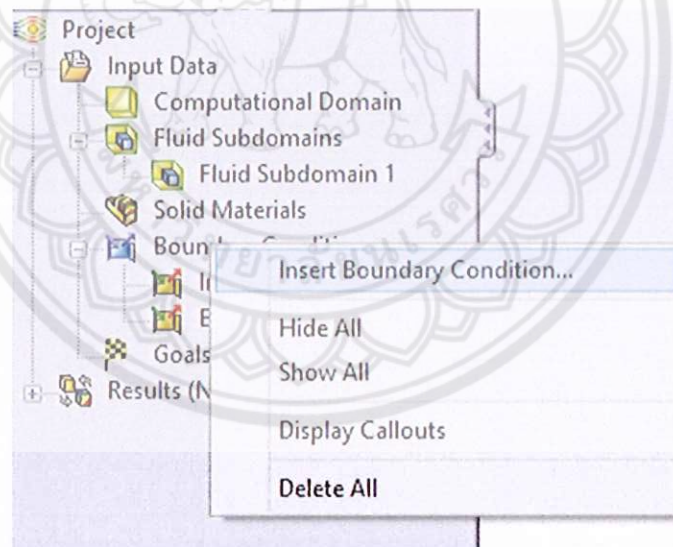
4.4.2 คลิกที่  เลือก Inlet Volume Flow

4.4.3 กำหนดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำเย็นขาเข้าเท่ากับ $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

4.4.4 กำหนดอุณหภูมิของน้ำเย็นทางเข้าเท่ากับ 302.27 K หลังจากนั้นคลิก 



4.5 คลิกขวาที่  **Boundary Conditions** เลือก Insert Boundary Condition (เพื่อกำหนดคุณสมบัติทางออกของน้ำเย็น) แสดงดังรูป

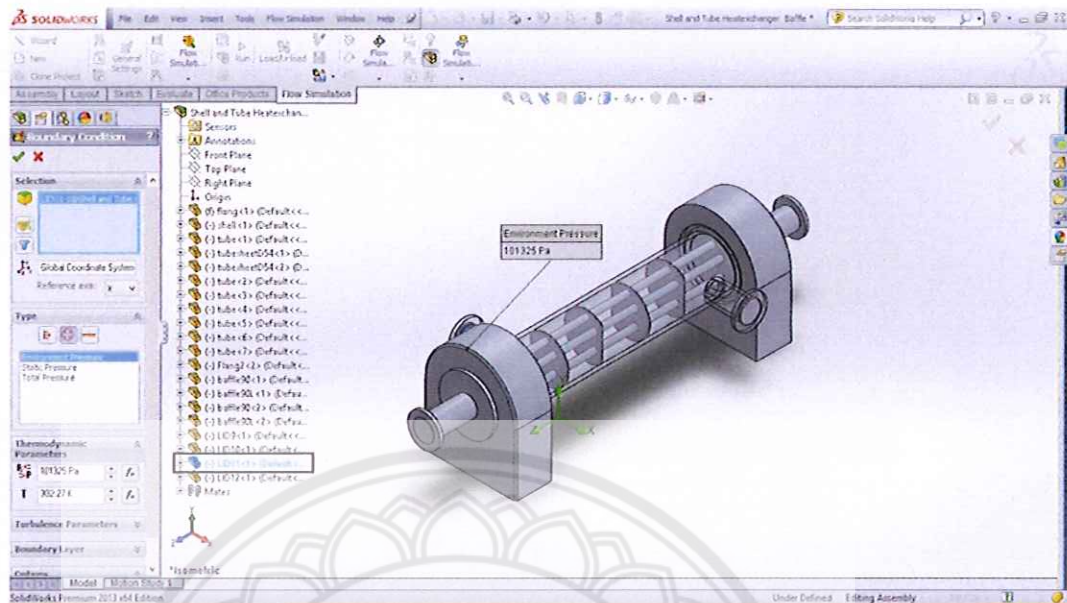


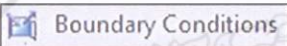
4.5.1 คลิกที่ Lids ทางออกน้ำเย็น

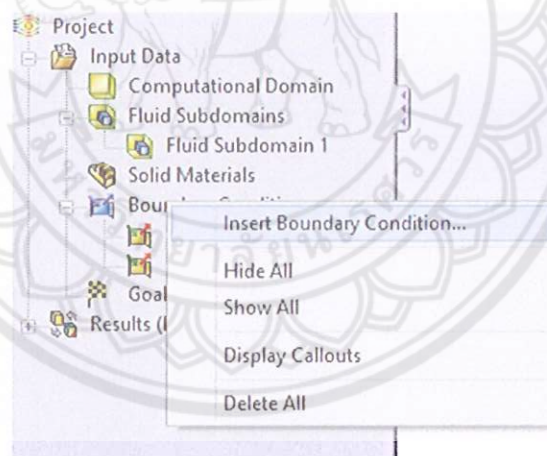
4.5.2 คลิกที่  เลือก Environment Pressure

4.5.3 กำหนดความดันของน้ำเย็นทางออกเท่ากับ 101,325 Pa

4.5.4 กำหนดอุณหภูมิของน้ำเย็นทางออกเท่ากับ 302.27 K หลังจากนั้นคลิก 



4.6 คลิกขวาที่  เลือก Insert Boundary Condition (เพื่อกำหนดคุณสมบัติทางเข้าของน้ำร้อน) แสดงดังรูป

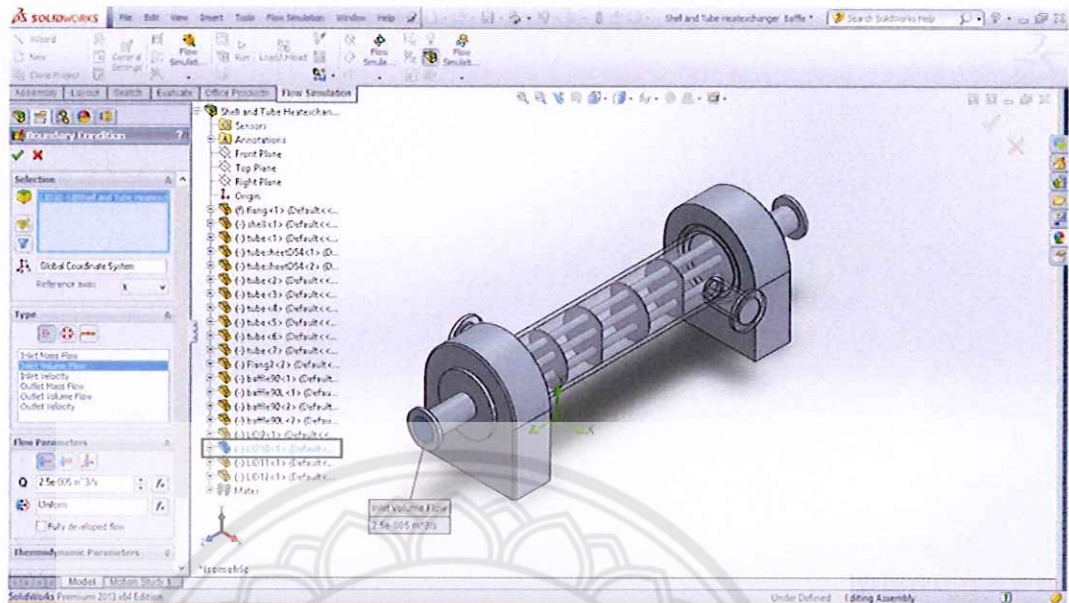



4.6.1 คลิกที่ Lids ทางเข้าน้ำร้อน

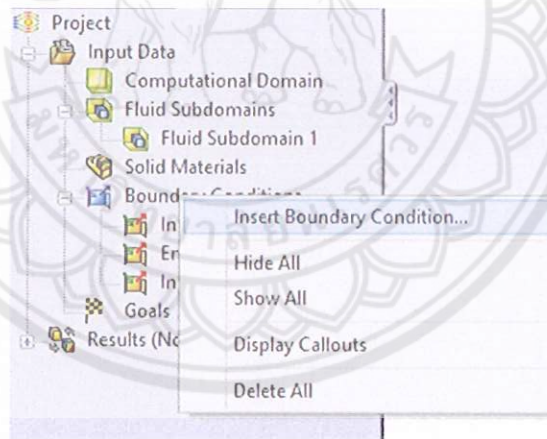
4.6.2 คลิกที่  เลือก Inlet Volume Flow

4.6.3 กำหนดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำร้อนทางเข้าเท่ากับ $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

4.6.4 กำหนดอุณหภูมิของน้ำร้อนทางเข้าเท่ากับ 350.44 K หลังจากนั้นคลิก 



4.7 คลิกขวาที่  **Boundary Conditions** เลือก Insert Boundary Condition (เพื่อกำหนดคุณสมบัติทางออกของน้ำร้อน) แสดงดังรูป

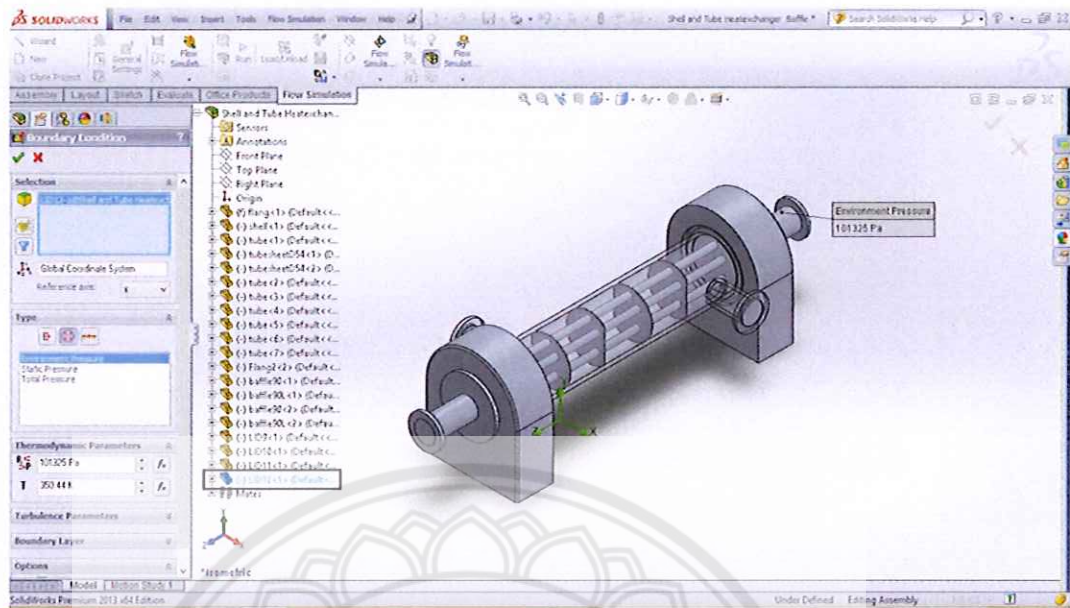



4.7.1 คลิกที่ Lids ทางออกน้ำร้อน

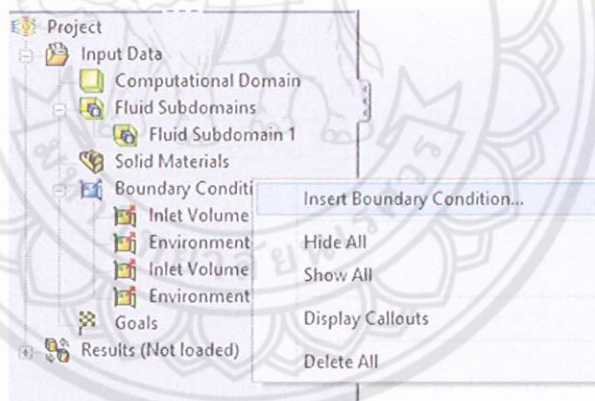
4.7.2 คลิกที่  เลือก Environment Pressure

4.7.3 กำหนดความดันของน้ำร้อนทางออกเท่ากับ 101,325 Pa

4.7.4 กำหนดอุณหภูมิของน้ำร้อนทางออกเท่ากับ 350.44 K หลังจากนั้นคลิก 



4.8 คลิกขวาที่  **Boundary Conditions** เลือก Insert Boundary Condition (เพื่อ กำหนดคุณสมบัติของ Shell) แสดงดังรูป

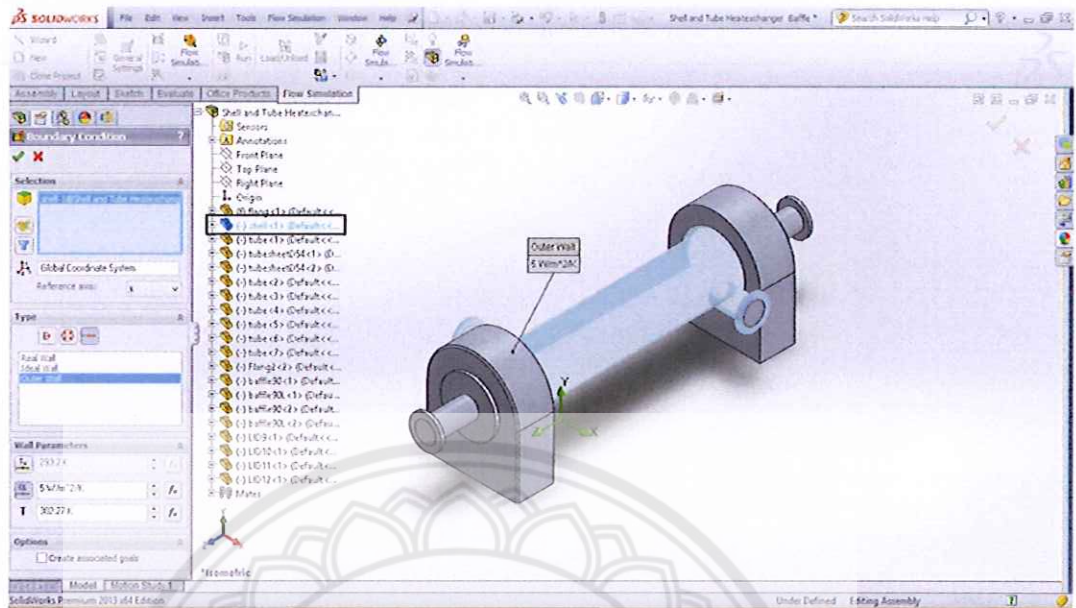


4.8.1 คลิกที่ผิว Shell


4.8.2 คลิกที่  เลือก Outer Wall

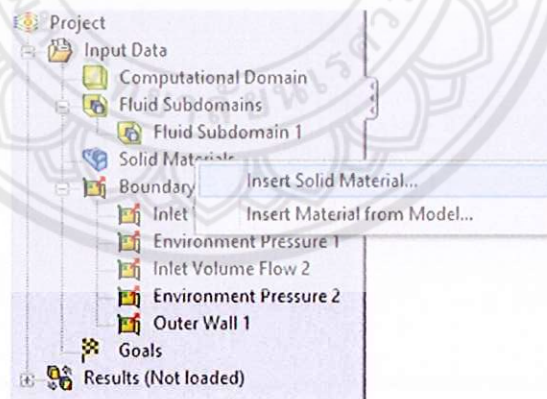
4.8.3 กำหนด Heat transfer coefficient เท่ากับ $5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

4.8.4 กำหนดอุณหภูมิของน้ำเย็นเท่ากับ 302.27 K หลังจากนั้นคลิก 



5. กำหนด Material ให้ชิ้นส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน

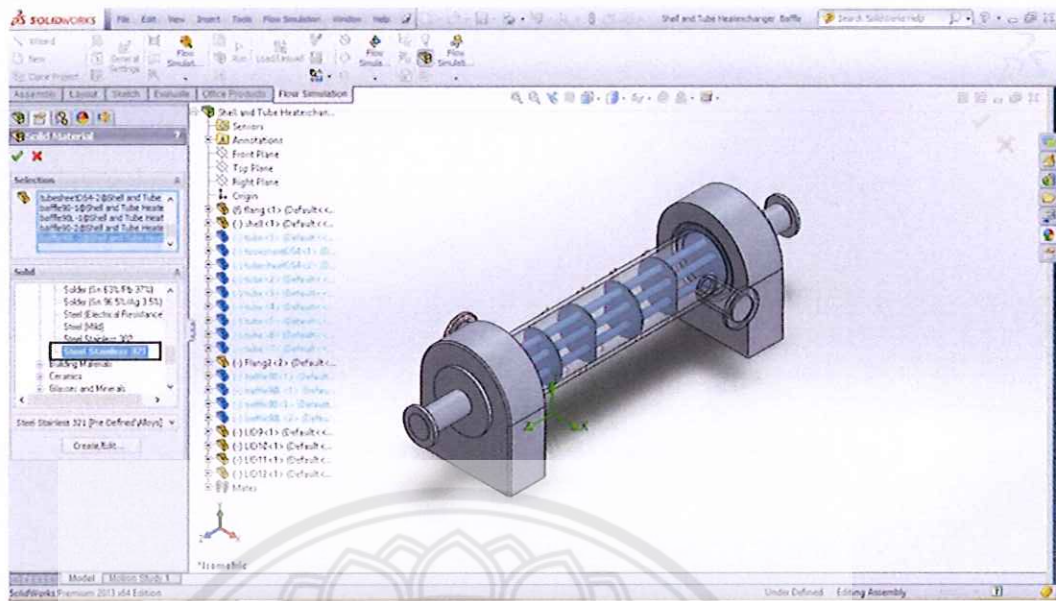
5.1 คลิกขวาที่  Solid Materials เลือก Insert Solid Material (เพื่อกำหนด Material ให้ชิ้นส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน) แสดงดังรูป



5.2 คลิกที่ Tube ทั้งหมด (มีท่อแลกเปลี่ยนความร้อน 7 ท่อ) คลิก Baffle ทั้งหมด (มี Baffle 4 แผ่น) และคลิก Tube Sheet (บริเวณหัวและท้ายของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 2 แผ่น)

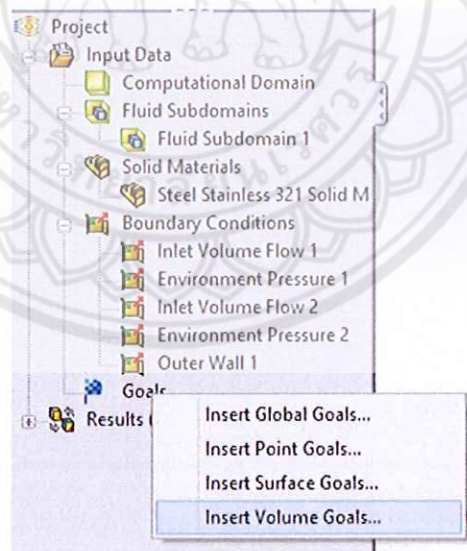
5.3 เลือก Material (กรณีศึกษาที่กำหนด Material เป็น Steel Stainless 321)

5.4 คลิก 



6. กำหนดชิ้นส่วนที่แลกเปลี่ยนความร้อน

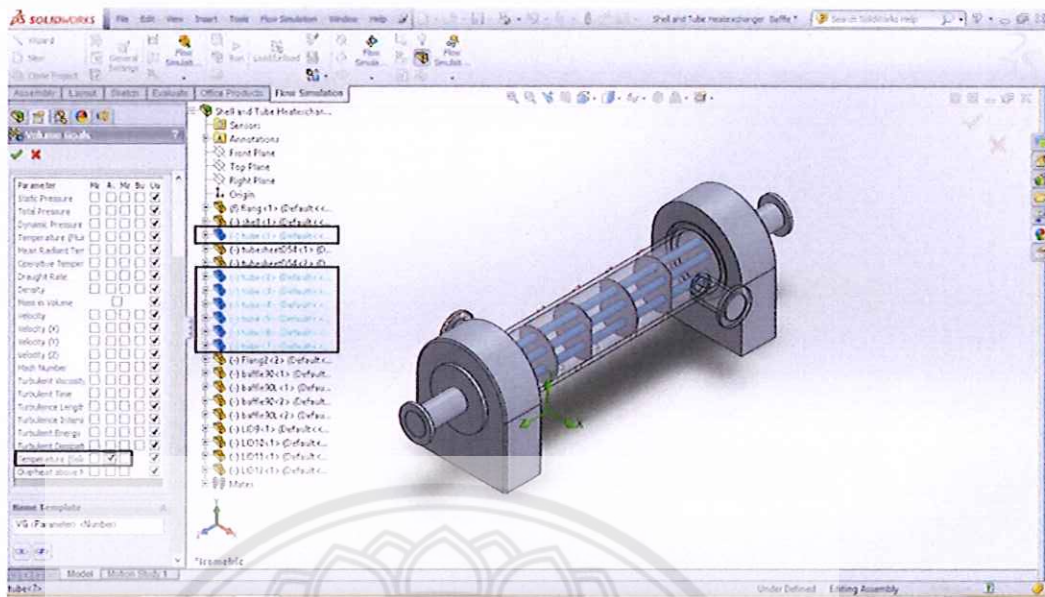
6.1 คลิกขวาที่  Goals เลือก Insert Volume Goals (เพื่อกำหนดชิ้นส่วนที่แลกเปลี่ยนความร้อน) แสดงดังรูป



6.2 คลิกที่ Tube ทั้งหมด (มีท่อแลกเปลี่ยนความร้อน 7 ท่อ)

6.3 ที่ Temperature (Solid) เลือก Average

6.4 คลิก 

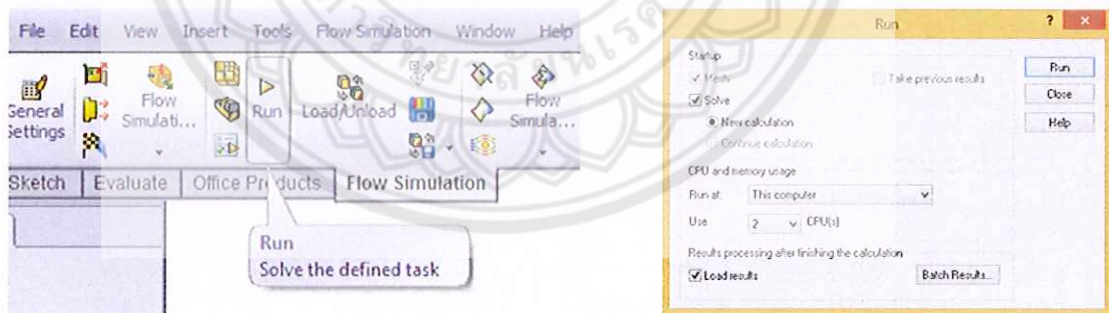


7. วิธีการ Run การแสดงผลและการเก็บค่าจากแบบจำลอง

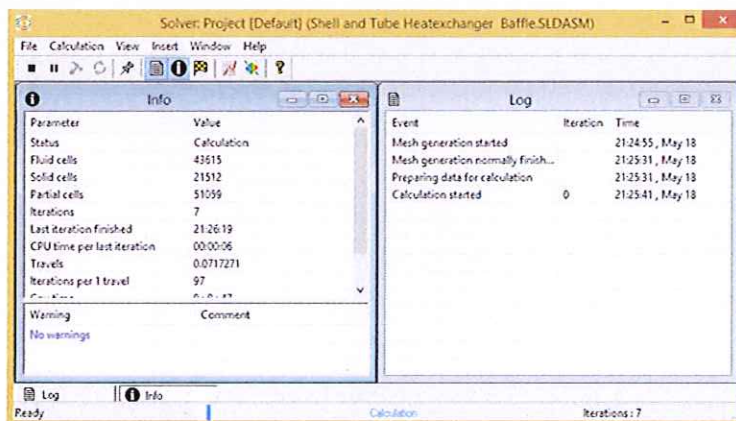
7.1 การ Run

7.1.1 คลิก Run 

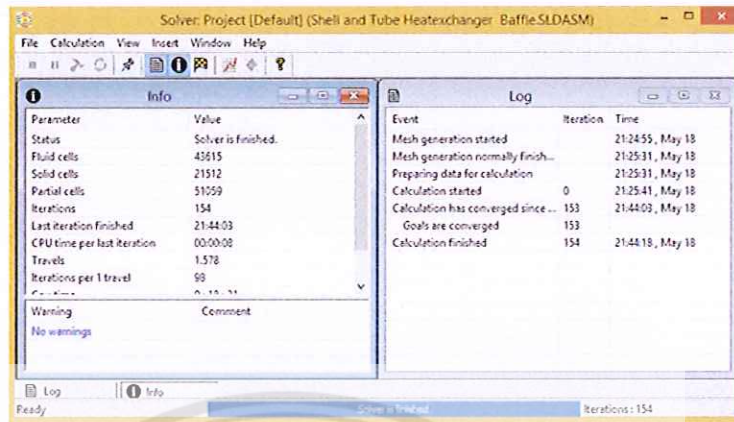
7.1.2 คลิก Solve และคลิกลูกที่ New calculation จากนั้นคลิก Run



7.1.3 รอกการ Calculation ของโปรแกรม แสดงดังรูป



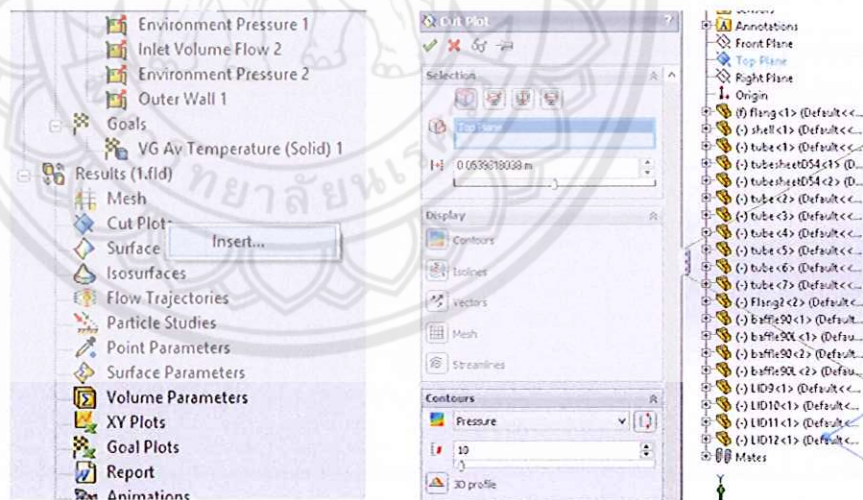
7.1.4 Run เสร็จจะขึ้นข้อความว่า Solve Finished



7.2 การแสดงผลค่าความดันและอุณหภูมิ

7.2.1 คลิกขวา Cut Plots เลือก Insert...

7.2.2 คลิกเลือก Top plane เลือกแสดงผลแบบ Contours



7.2.3 เลือกแสดงผล Pressure (เมื่อต้องการแสดงผลเป็นอุณหภูมิให้เลือก Temperature)

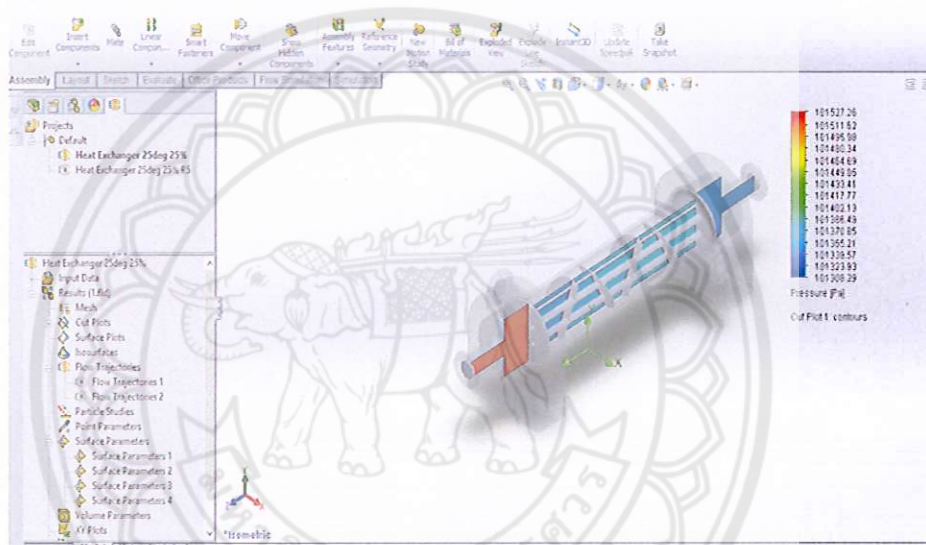
7.2.4 คลิก OK

7.2.5 คลิกขวา Cut Plots  เลือก Insert....

7.2.6 คลิกเลือก Right plane เลือกแสดงผลแบบ Contours

7.2.7 เลือกแสดงผล Pressure (เมื่อต้องแสดงผลเป็นอุณหภูมิให้เลือก Temperature)

7.2.8 คลิก OK



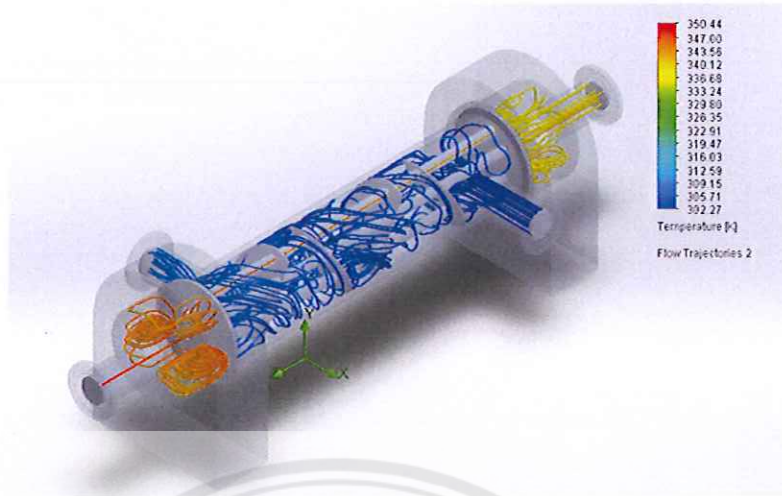
7.3 การแสดงลักษณะการไหลของของไหล

7.3.1 คลิกขวา Flow Trajectories เลือก Insert....

7.3.2 คลิกเลือก Top plane, Right plane, Front plane เลือกลักษณะการไหลแบบ Pipes

7.3.3 เลือกแสดงผล Temperature (เมื่อต้องการแสดงผลเป็นอุณหภูมิให้เลือก Pressure)

7.2.4 คลิก OK



7.4 การเก็บค่าของแบบจำลอง

7.4.1 คลิกขวาที่ Surface Parameters เลือก Insert....

7.4.2 คลิกเลือก Lids ทางเข้าหรือทางออกของไหลที่ต้องการทราบค่า

7.4.3 คลิกเลือกค่าที่ต้องการทราบ (ในกรณีศึกษาต้องการทราบค่า ดังนี้

Pressure [Pa], Velocity [m/s], Surface Heat Flux [W/m²], Temperature (Fluid) [K],
Relative Pressure [Pa], Heat Transfer Rate [kg/s], Mass Flow Rate [kg/s],
Volume Flow Rate [m³/s], Surface Area [m²])

7.4.4 คลิกเลือก Export to Excel เพื่อแสดงค่าข้อมูล

7.4.5 คลิก OK

Surface Parameters 2[Heat Exchanger 25deg 25% [Default]]						Global parameters					
LID-1						Iteration[] 83					
Global Coordinate System											
Local parameters						Global parameters					
Parameter	Minimum	Maximum	Average	Std Average	Surface Area [m ²]	Parameter	Value	X-component	Y-component	Z-component	Surface Area [m ²]
Pressure [Pa]	101325	101325.005	101325.004	101325.004	0.000175978	Heat Transfer Rate [W]	0.73071143				0.000275022
Density [kg/m ³]	919.454647	911.404138	899.108885	900.009179	0.000175978	Mass Flow Rate [kg/s]	-0.02434255				0.000175978
Velocity [m/s]	0.37841812	0.15081278	0.14247923	0.1505617	0.000175978	Volume Flow Rate [m ³ /s]	-2.4839E-05				0.000175978
Velocity (X) [m/s]	-0.00388787	0.00378489	6.274E-05	2.4563E-05	0.000175978	Surface Area [m ²]	0.00045184	-1.0041E-05	1.5012E-05	-4.2402E-05	0.000451842
Velocity (Y) [m/s]	-0.00233595	0.00449171	-2.034E-05	-0.00014243	0.000175978	Total Enthalpy Rate [W]	-34758.8306				0.000175978
Velocity (Z) [m/s]	-0.15081264	-0.07651884	-0.14246478	-0.15054287	0.000175978	Uniformity Index []	0.8905519				0.000175978
Surface Heat Flux [W/m ²]	7879.01281	14590.8738	2651.28473		0.000275022	CAD Fluid Area [m ²]	0.000175978				0.000175978
Temperature [Fluid] [K]	336.171502	339.906772	338.719072	338.811544	0.000175978	CAD Solid Area [m ²]	0.00045888				0.000458883
Temperature [Solid] [K]	302.713125	305.787745	303.454505	303.295195	0.000451884						
Overheat above Melting Temperature	-1300.33687	-1371.41226	-1375.85633	-1378.8545	0.000451884						
Relative Pressure [Pa]	-1.0128E-05	0.00271508	0.00262918	0.00301508	0.000175978						



ตารางคุณสมบัติของน้ำ

878
APPENDIX 1

TABLE A-9

Properties of saturated water

Temp. <i>T</i> , °C	Saturation Pressure <i>P</i> _{sat} , kPa	Density <i>ρ</i> , kg/m ³		Enthalpy of Vaporization <i>h</i> _{fg} , kJ/kg	Specific Heat <i>c</i> _p , J/kg·K		Thermal Conductivity <i>k</i> , W/m·K		Dynamic Viscosity <i>μ</i> , kg/m·s		Prandtl Number Pr		Volume Expansion Coefficient <i>β</i> , 1/K
		Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4185	1863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4205	1993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1,002.1	887.3	5.153	2016	4410	2590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1,254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1,553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2,318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3,344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4,688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6,412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8,581	713.8	46.15	1405	5750	5980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	
374.14	22,090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵			

Note 1: Kinematic viscosity ν and thermal diffusivity α can be calculated from their definitions, $\nu = \mu/\rho$ and $\alpha = k/\rho c_p = \nu/Pr$. The temperatures 0.01°C, 100°C, and 374.14°C are the triple-, boiling-, and critical-point temperatures of water, respectively. The properties listed above (except the vapor density) can be used at any pressure with negligible error except at temperatures near the critical-point value.

Note 2: The unit kJ/kg·°C for specific heat is equivalent to kJ/kg·K, and the unit W/m·°C for thermal conductivity is equivalent to W/m·K.

Source: Viscosity and thermal conductivity data are from J. V. Sengers and J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291–1322. Other data are obtained from various sources or calculated.

ที่มา : file:///C:/Users/BENZ/Downloads/App1.pdf



ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าความดันลด
และค่าประสิทธิผลที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10% มุมเอียงแผ่นกั้น 30°

ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

จากตารางที่ 4.5 แสดงผลค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คำนวณได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ $524.12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. คำนวณหาปริมาณความร้อนที่แลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำทั้งสองกระแสจาก

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อน

\dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวล โดย $\dot{m} = \rho \dot{v}$ โดย \dot{v} คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร,

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำ และเปิดหาค่า ρ จากตารางคุณสมบัติของน้ำ ใช้น้ำอุณหภูมิเฉลี่ย

c_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะ เปิดจากตารางคุณสมบัติของน้ำ ใช้น้ำอุณหภูมิเฉลี่ย

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิของน้ำเย็น ดูจากตารางที่ 4.6

จะได้ว่า

$$\dot{m} = 2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 0.025 \text{ kg/s}$$

$$c_p = 4178.35 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$\Delta T = 307.46 - 302.27 = 5.19 \text{ K}$$

ดังนั้น $Q = 0.025 \times 4178.35 \times 5.19 = 542.14 \text{ J}$

2. คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

$$Q = UA \Delta T_{lm}$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อน

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

A คือ พื้นที่ผิวภายนอกของท่อทั้งหมด

ΔT_{lm} คือ ผลต่างของอุณหภูมิเชิงล็อกเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการเปลี่ยนแปลงความร้อนหา

จาก

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{hot,in} - T_{cold,out}) - (T_{hot,out} - T_{cold,in})}{\ln \left(\frac{T_{hot,in} - T_{cold,out}}{T_{hot,out} - T_{cold,in}} \right)}$$

เมื่อ $T_{h,i}$ คือ อุณหภูมิน้ำร้อนทางเข้า $T_{h,o}$ คือ อุณหภูมิน้ำร้อนทางออก

$T_{c,i}$ คือ อุณหภูมิน้ำเย็นทางเข้า $T_{c,o}$ คือ อุณหภูมิน้ำเย็นทางออก

ค่าอุณหภูมิจากตารางที่ 4.6

จะได้ว่า $Q = 542.14 \text{ J}$

$$A = 0.026 \text{ m}^2$$

$$\Delta T_{lm} = 39.22 \text{ K}$$

ดังนั้น

$$U = \frac{542.14}{0.026 \times 39.22} = 524.12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิผล

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลของค่าประสิทธิผลจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คำนวณได้ค่าประสิทธิผลเท่ากับ 25.93% มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

$$\epsilon = \frac{T_{hot,in} - T_{hot,out}}{T_{hot,in} - T_{cold,in}} \times 100\%$$

เมื่อ ϵ คือ ค่าประสิทธิผล

$T_{cool,in}$ คือ อุณหภูมิน้ำเย็นทางเข้า

$T_{hot,out}$ คือ อุณหภูมิน้ำร้อนทางออก

$T_{\text{hot,in}}$ คือ อุณหภูมิน้ำร้อนทางเข้า

จะได้

$$T_{\text{cool,in}} = 302.27 \text{ K}$$

$$T_{\text{hot,out}} = 337.95 \text{ K}$$

$$T_{\text{hot,in}} = 350.44 \text{ K}$$

ดังนั้น

$$\varepsilon = \frac{350.44 - 337.95}{350.44 - 302.27} \times 100\% = 25.93\%$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าความดันลด

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลค่าความดันลดจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คำนวณได้ค่าความดันลดเท่ากับ 463.20 Pa

$$\Delta P = P_{c,i} - P_{c,o}$$

เมื่อ ΔP คือ ค่าความดันลด

$P_{c,i}$ คือ ค่าความดันลดของน้ำเย็นทางเข้า

$P_{c,o}$ คือ ค่าความดันลดของน้ำเย็นทางออก

ค่าความดันที่ทางเข้าและทางออกดูจากตารางที่ 4.7

$$\text{จะได้ว่า } P_{c,i} = 101788.20 \text{ Pa}$$

$$P_{c,o} = 101325.01 \text{ Pa}$$

ดังนั้น

$$\Delta P = 101778.20 - 101325.01 = 463.20 \text{ Pa}$$

ประวัติผู้จัดทำโครงการ

1. นายธีรพล ชัยวิเศษ

เกิดวันที่ : 4 เมษายน 2534

สถานที่เกิด : โรงพยาบาลสังขะ

จังหวัด : สุรินทร์

ประวัติการศึกษา : จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสังขะ

2. นายณัฐพล กันทะเมืองลิ

เกิดวันที่ : 13 กุมภาพันธ์ 2535

สถานที่เกิด : โรงพยาบาลลำพูน

จังหวัด : ลำพูน

ประวัติการศึกษา : จบการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนบ้านกลาง
(มิตรภาพ 17)

จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเวียงเจดีย์วิทยา