

การวิเคราะห์ผลกระทบบเปอร์เซ็นต์การตัดและมุมเอียงของแผ่นกั้น ต่อการส่งผ่านความร้อนใน
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
INFLUENCE ANALYSIS OF PERCENTAGE BAFFLES CUT AND BAFFLES ANGLE OF
INCLINATION ON HEAT TRANSFER IN SHELL AND TUBE TYPE HEAT
EXCHANGERS BY FINITE ELEMENTS METHOD

นายจรัส เยาวราช รหัสนิสิต 53361887
นายณัฐชนน ศรีทองวัฒนา รหัสนิสิต 53361955
นายวิชัย จันทร์ทอง รหัสนิสิต 53362259

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 120 ก.ค. 2556
เลขทะเบียน..... 16914279
เลขเรียกหนังสือ..... มร.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปีการศึกษา 2556



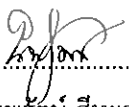
ใบรับรองโครงการงาน

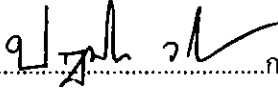
หัวข้อโครงการ : การวิเคราะห์ผลกระทบมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน ต่อ
การส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ
โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
Influence analysis of percentage baffles angle and baffles cut
of inclination on heat transfer in shell and tube type heat
exchangers by finite elements method


ผู้ดำเนินโครงการ : นายจำรัส เนาวราช รหัสนิสิต 53361887
นายวิชัย จันทร์ทอง รหัสนิสิต 53362259
นายณัฐชนน ศรีทองวัฒนา รหัสนิสิต 53361955

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ณพรัตน์ สีหะวงษ์
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา : 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล


.....ประธานกรรมการ
(อ.นพรัตน์ สีหะวงษ์)


.....กรรมการ
(รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล)


.....กรรมการ
(ผศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์)

หัวข้อโครงการ	: การวิเคราะห์ผลกระทบของมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน ต่อ การส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์		
ผู้ดำเนินโครงการ	: นายจำรัส	เนาวราช	รหัสนิสิต 53361887
	: นายวิชัย	จันทร์ทอง	รหัสนิสิต 53362259
	: นายณัฐชนน	ศรีทองวัฒนา	รหัสนิสิต 53361955
อาจารย์ที่ปรึกษา	: อาจารย์นพรัตน์ สีหะวงษ์		
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	: 2556		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ผลกระทบของมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน ที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าความดันลด ค่าประสิทธิผล ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการศึกษาจะทำการปรับมุมเอียงของแผ่นกันที่ 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° และเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกันที่ 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% ขอบเขตในการทดลองกำหนดให้ของไหลทำงานเป็นน้ำ อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้า 350 K อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า 302 K อัตราการไหลของกระแสความร้อนและกระแสน้ำเย็นเท่ากับ 2.2 l/min และความดันที่ทางออกน้ำเย็นและน้ำร้อนเท่ากับ 1 atm

จากผลการวิเคราะห์พบว่า เมื่อมุมเอียงของแผ่นกันเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าลดลง พิจารณาที่เปอร์เซ็นต์การตัด 25% ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูงสุด สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมีค่าลดลงเมื่อมุมเอียงของแผ่นกันเพิ่มขึ้น 0° 30° เท่ากับ 8.76% ของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูงสุด โดยจะลดลงอย่างมากเมื่อมุมเอียงของแผ่นกันเพิ่มขึ้นในช่วง 0° 5° คิดเป็น 67.24% ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่ลดลง ส่วนผลกระทบต่อประสิทธิผลการแลกเปลี่ยนความร้อนจะเป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกับกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม แต่ผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นน้อยมาก เมื่อพิจารณาที่เปอร์เซ็นต์การตัด 25% ซึ่งมีค่าประสิทธิผลสูงสุด มุมเอียงของแผ่นกันที่เพิ่มขึ้น 0° 30° จะทำให้ค่าประสิทธิผลลดลงเพียง 0.98% การเพิ่มขึ้นของมุมเอียงของแผ่นกันจะทำให้ค่าความดันลดมีค่าลดน้อยลง อย่างไรก็ตามผลกระทบดังกล่าวจะน้อยลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกันเพิ่มสูงขึ้น ที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10% ค่าความดันลด ที่ลดลงเมื่อมุมเอียงของแผ่นกันเพิ่มขึ้นจาก 0° 30° เท่ากับ 27.11% ของค่าความดันลดสูงสุด ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การตัด 40% ค่าความดันลด ลดลงเพียง 0.17%

Project Title : Influence analysis of percentage baffles angle baffles cut and of inclination on heat transfer in shell and tube type heat exchangers by finite elements method

Name : Mr.Jamrat Naowarach ID.53361887
Mr.Wichai Junthong ID.53362259
Mr.Nutchanon Srithongwatthana ID. 53361955

Project Advisor : Mr.Nopparat Seehawong

Major : Mechanical Engineering

Academic Year : 2013

Abstract

The objective of this research was to study the effect of tilt angle and cutting area values of a shell-and-tube heat-exchanger buffer on the overall heat transfer coefficient, pressure drop and effectiveness by using a finite element method. In this study, the angle of the buffer was varied from 0° to 30° with 5° increment and the cutting percentage of buffer area was studied for the values of 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% respectively. With regard to the scope of this research, the working fluid was limited to water with 350K inlet higher temperature and 302K inlet lower temperature. The flow rate was at 202 L/min and the outlet water pressure was at the atmospheric pressure for all experiments and simulations.

From the study, it was found that as the tilt angle of buffer increased, there was a decrease in the overall heat transfer coefficient. The maximum value of the overall heat transfer coefficient was for the 25% cutting area condition. Moreover, the overall heat transfer coefficient was reduced, approximately 8.76% of the maximum value, as the angle of buffer increased 0° 30° . In addition, the majority of the decrease in the heat transfer values, 67.24%, occurred for the case of 0° 5° buffer tilt angle. With regard to the effect of studied parameters on the effectiveness, it showed that the effectiveness was slightly affected by the tilt angle and cutting area percentage of the buffer. The highest value of effectiveness was for the 25%

cutting area condition. The 0° – 30° increase of the buffer angle reduced the value of effectiveness, 0.98%, and pressure drop. However these effects were reduced with an increase in cutting area percentage. At 0° – 30° tilt angle, the pressure drops were decreased about 27.11% for the case of 10% cutting percentage and about 0.17% for the case of 40% cutting value as compared to the maximum value.



กิตติกรรมประกาศ

โครงการด้านวิศวกรรมเครื่องกลเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ อาจารย์นพรัตน์ สีหะวงษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาชี้แนะและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินโครงการ ตลอดจนติดตามผลการดำเนินงานมาโดยตลอด คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ปฐมศก วิไลพล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยนันท์ เจริญสุวรรณ ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจสอบโครงร่างปริญญานิพนธ์ และเป็นกรรมการตรวจสอบการสอบปริญญานิพนธ์ ตลอดทั้งให้ความรู้และคำแนะนำ ดิชมในการดำเนินงานซึ่งเป็นประโยชน์ต่อโครงการในหลายๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอนประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้คำแนะนำ ตลอดทั้งว่ากล่าวตักเตือนผู้ดำเนินงานจนมีวันนี้

ขอขอบพระคุณฝ่ายเลขานุการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการ

สุดท้ายนี้ ขอมอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากโครงการนี้ แต่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และถ้าเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงการนี้ ผู้ดำเนินงานต้องกราบขอภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำโครงการ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ใบรับรองโครงการ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	4
1.6 งบประมาณที่ใช้.....	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	6
2.1 ทฤษฎีระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	6
2.2 ขั้นตอนการใช้งานของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์.....	8
2.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	10
2.4 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน.....	11
2.5 สมการที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.6 ค่าความคลาดเคลื่อน.....	14
2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	19
3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูล	20
3.2 ทำการทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ	20
3.3 สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	22
3.4 วิเคราะห์แบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	27
3.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลอง	28
3.6 ปรับมุมเอียง เพอร์เซ็นต์การตัดแผ่นกัน และวิเคราะห์สรุปผล	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	29
4.1 ผลจากการทดลองจาก LAB.....	29
4.2 ผลการทดลองจากแบบจำลอง.....	30
4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง	31
4.4 วิเคราะห์ผลกระทบมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน ที่ส่งผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	33
4.5 วิเคราะห์ผลกระทบมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อน	36
4.6 วิเคราะห์ผลกระทบมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน ที่ส่งผลกระทบต่อ ความดันตกภายในเปลือกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ	38
4.7 รูปตัวอย่างจากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	42
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	44
5.1 สรุปผล.....	44
5.2 ข้อเสนอแนะ	45

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก ก วิธีสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Solidworks.....	47
การสร้าง Shell และทางเข้าทางออกของของไหล	49
การสร้าง Tube	55
วิธีการสร้างBaffle	57
การสร้าง Tube sheet.....	60
การสร้าง Flang.....	62
สร้างแบบจำลองโดยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน	67
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์หัตถ์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	68
เตรียมแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์หัตถ์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	69
สร้าง Lids ที่ทางเข้าและทางออกของของไหล.....	70
กำหนดคุณสมบัติของของไหลในการวิเคราะห์หัตถ์ด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์.....	70
กำหนดค่าอัตราการไหล และอุณหภูมิของแบบจำลอง	75
กำหนด Material ให้ชิ้นส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน	82
กำหนดชิ้นส่วนที่แลกเปลี่ยนความร้อน	83
วิธีการ Run การแสดงผล และการเก็บค่าจากแบบจำลอง	84
ภาคผนวก ค ตารางคุณสมบัติของน้ำ	89
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณ	91
ประวัติผู้จัดทำโครงการ	95

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตารางขั้นตอนการดำเนินงาน.....	4
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ในแบบจำลอง.....	8
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน.....	8
ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุต่างๆในแบบจำลอง.....	25
ตารางที่ 3.2 ค่าแสดงสัมประสิทธิ์การพาความร้อน.....	26
ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองจาก LAB.....	29
ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองจากการวิเคราะห์แบบจำลอง.....	30
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลความคลาดเคลื่อนสะสมและค่าประสิทธิผลจากการทดลอง.....	31
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลต่างของค่าประสิทธิผลระหว่างแบบจำลองกับการทดลอง.....	31
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม.....	33
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดง อุณหภูมิ และค่าประสิทธิผลที่มุมเอียงต่างๆ.....	36
ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกค่าความดัน และผลของค่าความดัน.....	38

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 1.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	1
รูปที่ 1.2 แสดงแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ ที่มุมเอียงของแผ่นกัน 30° และเปอร์เซ็นต์การตัด 25 เปอร์เซ็นต์.....	3
รูปที่ 2.1 การแบ่งแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์เล็กๆ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	6
รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการขึ้นรูปขึ้นงาน	8
รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการกำหนดลักษณะเงื่อนไขขอบ	9
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความดัน ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ชนิดเปลือกและท่อ	10
รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	11
รูปที่ 2.5 แสดงการถ่ายเทความร้อน	12
รูปที่ 2.7 (a) แสดงการนำความร้อนผ่าน Plane wall.....	12
(b) แสดงการพาความร้อนบน flat plate.....	12
รูปที่ 2.8 แสดงการแผ่รังสี.....	13
รูปที่ 2.9 รูปประกอบการอธิบายการอ่านค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์	15
รูปที่ 2.10 แสดงขั้นตอนการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง	17
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน	19
รูปที่ 3.2 แสดงชุดทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ รุ่น WL 110.03.....	20
รูปที่ 3.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	21
รูปที่ 3.4 เครื่องกำหนดอัตราการไหลและอุณหภูมิ.....	21
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของเปลือก.....	22
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของท่อ.....	23
รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของแผ่นกัน.....	23
รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของแผ่นสวมยึดท่อ	24
รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของท่อทางเข้าและทางออกของกระแสน้ำ.....	24
รูปที่ 3.10 แสดงแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	25
รูปที่ 3.11 กำหนดตำแหน่งทางเข้าและทางออกของของไหลทั้ง 2 กระแส	27
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	35
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อน	38

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความดันลด	41
รูปที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์อุณหภูมิด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	42
รูปที่ 4.5 แสดงการจำลองทิศทางการไหลของอุณหภูมิด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	42
รูปที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความดันด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	43
รูปที่ 4.7 แสดงการจำลองทิศทางการไหลของความดันลด ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	43



สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	m ²
c _p	ค่าความจุจำเพาะ	J / kg · K
{d}	เมตริกซ์การเสีรูปของแต่ละโนด	
{D}	ผลรวมของการเสีรูปแต่ละโนด	
{f}	เมตริกซ์ของแรงที่กระทำแต่ละโนด	
{F}	ผลรวมเมตริกซ์ของแรงกระทำแต่ละโนด	
[k]	ค่าสทิพเนสเมตริกซ์ของเอลิเมนต์	
[K]	ผลรวมสทิพเนสเมตริกซ์ของเอลิเมนต์	
h	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน	W / m ² · K
k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	W / m · K
ṁ	อัตราการไหลเชิงมวล	kg / s
P	ความดัน	Pa
Q	ความร้อนที่แลกเปลี่ยน	W
T _{hot,in}	อุณหภูมิทางเข้าของของไหลร้อน	K
T _{hot,out}	อุณหภูมิทางออกของของไหลร้อน	K
T _{cold,in}	อุณหภูมิทางเข้าของของไหลเย็น	K
T _{cold,out}	อุณหภูมิทางออกของของไหลเย็น	K
T _f	อุณหภูมิของพื้นผิว	K
ΔT	ผลต่างของอุณหภูมิ	K
T _{ln}	ผลต่างของอุณหภูมิเชิงล็อก	K
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	K
X	ความหนาของวัสดุนำความร้อน	mm
σ	ค่าคงที่ของ Stefan Boltzmann	W / m ² · K ⁴
ε	ค่าประสิทธิผล	

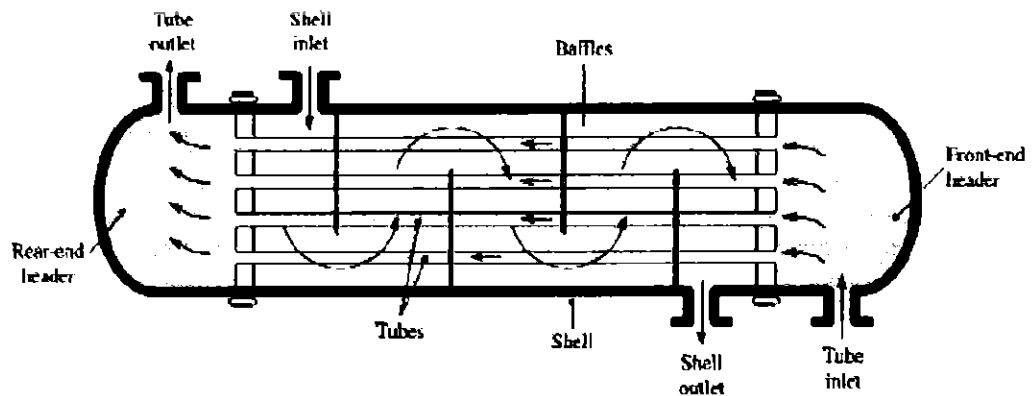
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากอย่างหนึ่งเพราะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบต่างๆทางด้านวิศวกรรม โดยจะทำหน้าที่เป็นเครื่องมือสำหรับการถ่ายเทความร้อน จากของไหลอุณหภูมิสูงไปยังของไหลอุณหภูมิต่ำ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่ปัจจุบันนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อนประเภทต่างๆ อาทิเช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมทำปุ๋ยและอุตสาหกรรมอื่นๆที่ต้องการ การระบายความร้อนให้กับเครื่องจักรหรือหมุนเวียนความร้อนกลับมาใช้ใหม่

ประสิทธิภาพในการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและค่าความดันลดของของไหลภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ชิ้นส่วนอุปกรณ์อย่างหนึ่งในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ส่งผลกระทบต่อค่าดังกล่าวโดยตรง คือ แผ่นกั้น (Baffle) ทำหน้าที่ในการควบคุมทิศทางการไหลของของไหล ควบคุมท่อไม่ให้เกิดการโก่งตัวและป้องกันการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูป 1.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

โครงการนี้จะทำการศึกษาถึงผลกระทบของมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าความดันลดและค่าประสิทธิผลของการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยทำการศึกษามุมเอียงของแผ่นกั้น 0° ถึง 30° และเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นที่ 10% ถึง 40% ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้น ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้น ที่มีผลต่อค่าความดันลดในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

1.2.3 เพื่อศึกษาผลกระทบของมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้น ที่มีผลต่อค่าประสิทธิผลของการแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 การยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ทำโดยการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

1.3.2 เป็นการศึกษาผลกระทบของมุมเอียงของแผ่นกั้นที่ 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° และแผ่นกั้นที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%

1.3.3 วัสดุในแบบจำลองระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีลักษณะเป็น Isotropic Material และ Homogeneous Material

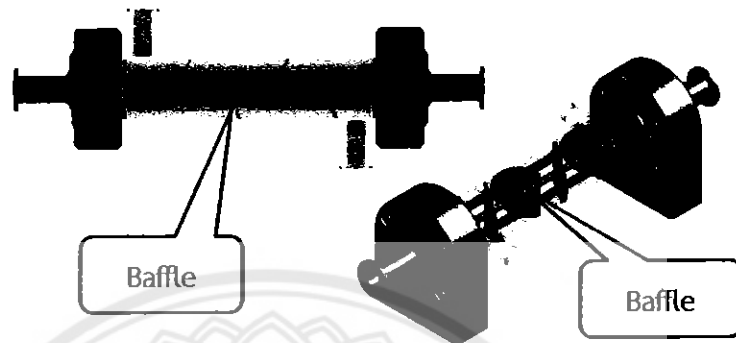
1.3.4 เป็นการศึกษาการส่งผ่านความร้อนในสภาวะคงตัว

1.3.5 ค่าความดันลดเป็นการศึกษาเฉพาะของไหลภายในเปลือก

1.3.6 กำหนดให้ของไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไหลสวนทางกัน

1.3.7 ไม่คิดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสี

1.3.8 กำหนดให้กลุ่มท่อของแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เรียงตัวกันแบบ Staggered Array



รูป 1.2 แสดงแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ ที่มีมุมเอียงของแผ่นกัน 30° และเปอร์เซ็นต์การตัด 25 เปอร์เซ็นต์

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนรวม ค่าความดันลด และค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

1.4.2 ทราบถึงมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกันที่เหมาะสม ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ ที่มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2556							
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1. ศึกษาทฤษฎีรวมถึงข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	■	■						
2. ทำการทดลองและคำนวณผลที่ได้จากการทดลอง		■	■					
3. สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์			■	■				
4. เปรียบเทียบและวิเคราะห์ระหว่างผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์				■	■			
5. ปรับมุมเอียงของแผ่นกัน 0-30° เปรอ์เซ็นต์การตัด 10-40% ในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และวิเคราะห์สรุปผล					■	■		
6. จัดทำเล่มปริญาานิพนธ์						■	■	■

1.6 งบประมาณที่ใช้

1.6.1 กระดาษ 500 บาท

1.6.2 จัดทำรูปเล่ม 1500 บาท

1.6.3 ค่าอุปกรณ์อื่นๆ 1000 บาท

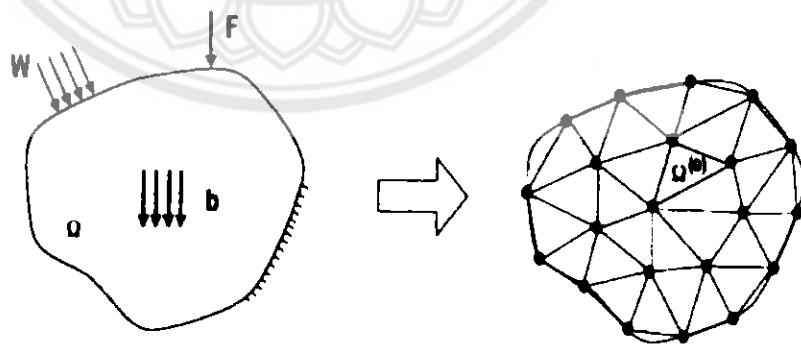


บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อนั้นมีรูปร่างที่ซับซ้อน ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ได้โดยง่ายและสะดวกรวดเร็วในการวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมีแนวความคิดที่ว่าวัตถุที่มีรูปร่างซับซ้อนใดๆ จะสามารถแบ่งออกเป็นชิ้นเล็กๆ ได้โดยแต่ละชิ้นเล็กๆ เหล่านั้นสามารถพิจารณาแยกกันอย่างอิสระและสามารถประกอบเข้ากันเป็นวัตถุรูปเดิมได้ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เหมาะกับปัญหาที่ยุ่งยากซับซ้อน ซึ่งไม่สามารถหาผลเฉลยแน่นอนตรงได้จากสมการเชิงอนุพันธ์ โดยจะแก้ปัญหาลให้อยู่ในรูปฟังก์ชันพีชคณิตแล้วใช้คอมพิวเตอร์คำนวณหาผลลัพธ์ มีหลักการและลำดับขั้นตอนดังนี้คือ



รูป 2.1 การแบ่งแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์เล็กๆ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
(ที่มา : จากปริญญาณีพนธ์เรื่องการวิเคราะห์ผลกระทบเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์)

2.1.1 แบ่งวัตถุที่พิจารณาออกเป็นชิ้นเล็กๆ เรียกว่า Element และเชื่อมต่อกันด้วย Node

2.1.2 สร้างสมการความสัมพันธ์ของปริมาณทางฟิสิกส์ของแต่ละ Element ซึ่งจะทำได้ Local Equations ของแต่ละ Element

$$[k]\{d\} = \{f\} \quad (2.1)$$

โดยที่

$[k]$ คือ สทิต์เฟเนสมตริกซ์ของเอลิเมนต์ แทนด้วย คุณสมบัติ (ค่าการนำความร้อนของวัสดุ และค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำในเปลือก)

$\{d\}$ คือ เมตริกซ์การเสียรูปของแต่ละโนดแทนด้วย ตัวแปรที่เราต้องการหา (อุณหภูมิ, ความดันลด)

$\{f\}$ คือ เมตริกซ์ของแรงที่กระทำแต่ละโนดแทนด้วย ภาระกระทำต่างๆ (อัตราการใช้, อุณหภูมิทางเข้า และความดันทางออกของน้ำทั้งสองกระแส)

2.1.3 ประกอบ Element เข้าด้วยกันโดยใช้หมายเลข Node เป็นตัวเชื่อม จะทำให้ได้ ระบบสมการ การเปลี่ยนแปลงของวัตถุที่พิจารณา ดังสมการ (2.2)

$$[K]\{D\} = \{F\} \quad (2.2)$$

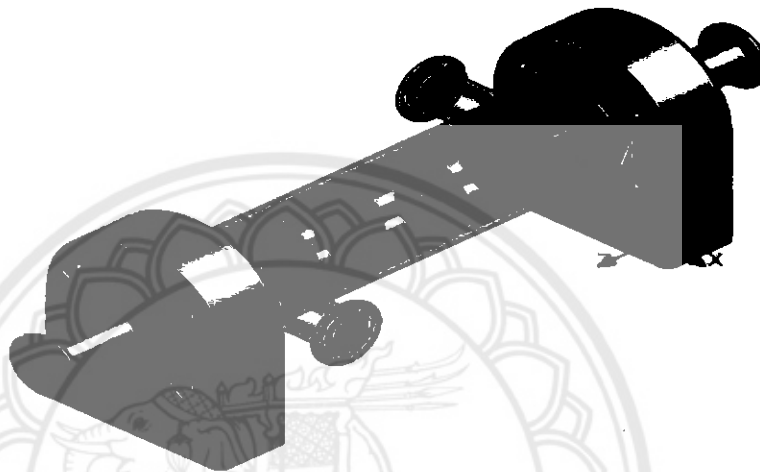
2.1.4 แก่ระบบสมการเพื่อหาค่าตัวแปรที่ Node ต่างๆ $\{D\}$ โดยใช้เงื่อนไขขอบเข้าช่วยในการ พิจารณาระบบสมการดังกล่าวเพื่อลดจำนวนตัวแปร

2.1.5 คำนวณหาค่าอื่นๆ ที่ต้องการจากค่าตัวแปรที่ได้จากการคำนวณในข้อ 2.1.4 เช่น ความเค้น ความเครียด อุณหภูมิ และความดัน [4]

2.2 ขั้นตอนการใช้งานของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

2.2.1 ขั้นตอนของการเตรียมแบบจำลองเพื่อที่จะใช้ในการวิเคราะห์ (Pre-processing)

2.2.1.1 การขึ้นรูปชิ้นงานที่ต้องการทำการวิเคราะห์ (Geometry modeling)



รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการขึ้นรูปชิ้นงาน

2.2.1.2 การกำหนดชนิดและคุณสมบัติของวัสดุ (Material property)

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงตัวอย่างคุณสมบัติของวัสดุ

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

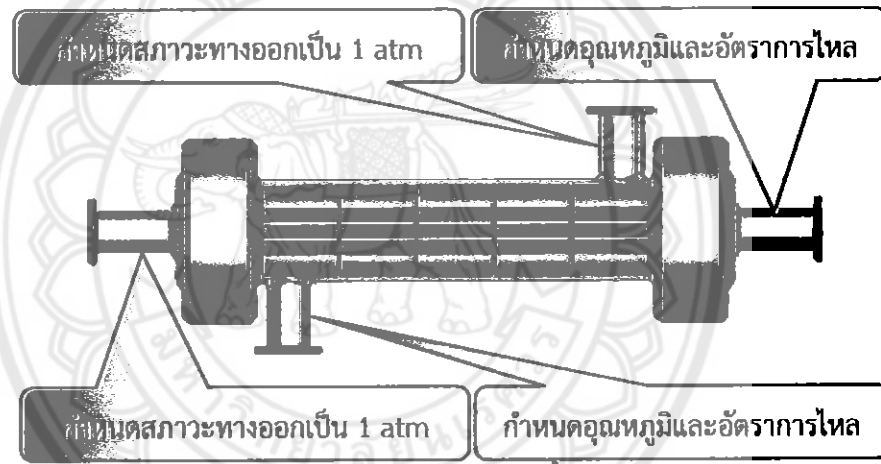
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

Process	h (W/m ² ·K)
Free convection	
Gases	2-25
Liquids	50-1,000

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างแสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (ต่อ)

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

2.2.1.3 การกำหนดลักษณะของภาระที่มากระทำ (Load) ในกรณีศึกษาภาระกระทำที่กำหนดให้กับแบบจำลองคือ อุณหภูมิและอัตราการไหล



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการกำหนดลักษณะเงื่อนไขขอบ

2.3.1.4 การกำหนดลักษณะเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) เป็นกำหนดเงื่อนไขต่างๆให้กับแบบจำลอง โดยการกำหนดให้อุปกรณ์ใดๆ ทำหน้าที่อย่างไรเช่นกรณีศึกษาจะกำหนดให้ท่อมีการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนเพียงอุปกรณ์เดียว และกำหนดให้เปลือกไม่มีการแผ่รังสี เป็นต้น

2.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลอง (Processing)

เป็นการแก้ระบบสมการเชิงพีชคณิตซึ่งจะมีวิธีการและเทคนิคที่ขึ้นอยู่กับผู้พัฒนาโปรแกรมนั้นๆ

2.2.3 ขั้นตอนการแสดงผลการวิเคราะห์ (Post-processing)

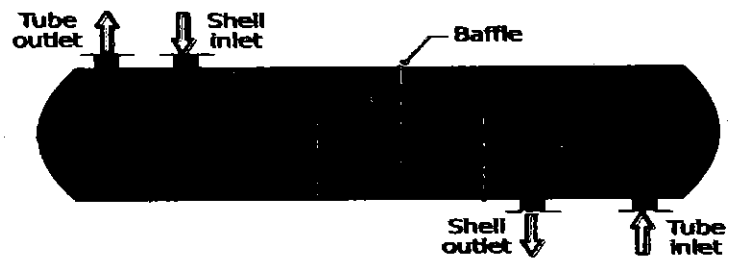
ขั้นตอนนี้ผู้ใช้งานจะต้องกำหนดและเลือกแสดงผลค่าที่ต้องการนำเสนอ ว่าต้องการนำเสนออะไร ในทางวิศวกรรม โดยปกติแล้วค่าที่จะนำเสนอจะเป็นค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง ซึ่งค่าความเค้นที่นำเสนอจะต้องสอดคล้องกับทฤษฎีความเสียหายของวัสดุที่ทำการวิเคราะห์ ส่วนในกรณีศึกษานี้คณะผู้ศึกษาต้องการศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อนและค่าความดันลงในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ คณะผู้ศึกษาจึงแสดงผลการวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปแบบของอุณหภูมิและความดัน ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความดัน ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

2.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมเคมีส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ เนื่องจากมีความสามารถที่จะทำการดึงหรือรับเอาความร้อนจำนวนมากเข้าหรือออกจากกระบวนการได้เป็นอย่างดี ดังนั้นความสามารถในการถ่ายโอนความร้อนที่ดีเยี่ยมนี้ จึงได้นำไปประยุกต์ใช้งานภายในงานอุตสาหกรรมได้หลากหลาย



รูป 2.5 แสดงเครื่องแลกเปลี่ยนความชนิดเปลือกและท่อ

(ที่มา : <http://www.enggpedia.com/chemical-engineering-encyclopedia/93-machines-equipment/1854-heat-exchanger-types>)

2.3.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

2.3.1.1 เปลือก (Shell) คือ ส่วนประกอบนอกสุดที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีความแข็งแรงสูง โดยทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักและส่งผ่านของไหลที่ 1

2.3.1.2 ท่อ (Tube) คือ ท่อทรงกระบอกขนาดเล็กที่บรรจุอยู่ภายในเปลือก ทำหน้าที่ส่งผ่านของไหลที่ 2 ในการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยจะอาศัยพื้นผิวท่อเป็นวัสดุตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อนระหว่างของไหลทั้ง 2 ชนิด

2.3.1.3 แผ่นกั้น (Baffle) คือ ตัวบังคับทิศทางการไหลของของไหลที่ 1 และป้องกันการสั่นสะเทือนของท่อ

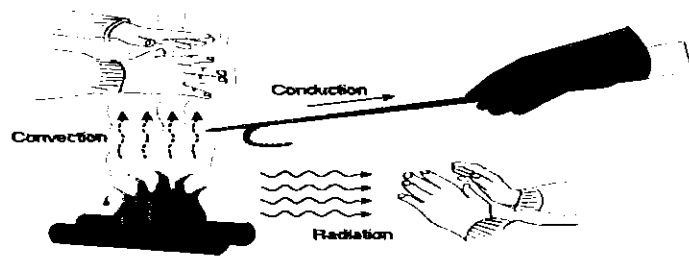
2.3.2 ความสำคัญของแผ่นกั้นสามารถแบ่งออกได้ 2 กรณีด้วยกัน คือ

2.3.2.1 เพิ่มความแข็งแรง โดยเป็นอุปกรณ์รองรับชุดท่อในระหว่างการประกอบ รวมทั้งป้องกันการสั่นสะเทือนในขณะทำงานเมื่อของไหลมีการไหลผ่าน และบังคับให้ของไหลเกิดการหมุนวนภายในตัวเปลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

2.3.2.2 เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อน เมื่อของไหลเกิดการไหลผ่านแผ่นกั้นบังคับทิศทางการไหล จะช่วยให้อัตราส่วนการถ่ายโอนความร้อนสูงขึ้น [6]

2.4 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน มี 3 แบบ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน มีรายละเอียดดังนี้



รูป 2.6 แสดงการถ่ายเทความร้อน

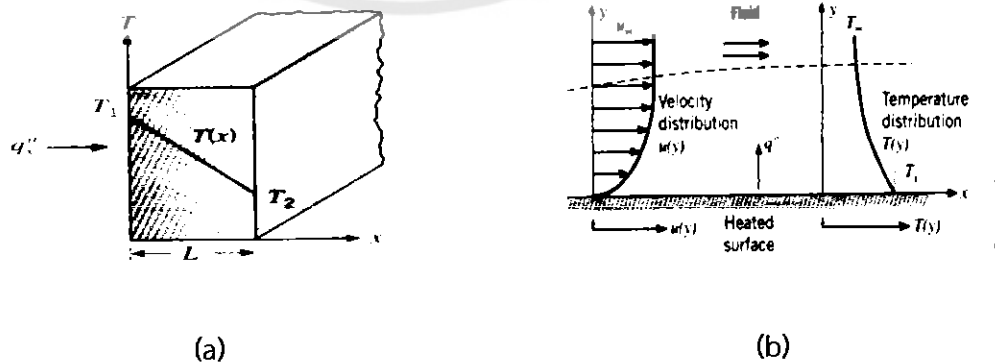
(ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com>)

2.4.1 การนำความร้อน (Conduction) คือ การถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุจากอะตอมหนึ่งไปยังอีกอะตอมหนึ่ง โดยจะต้องอาศัยตัวกลางในการนำความร้อน ซึ่งความร้อนจะถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนแบบนี้ เป็นไปตามกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's law of heat conduction) ซึ่งเป็นไปตามสมการ (2.3)

$$Q = \frac{kA\Delta T}{L} \tag{2.3}$$

2.4.2 การพาความร้อน (Convection) คือ การถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือแก๊ส เมื่อของเหลวหรือแก๊สส่วนที่ได้รับความร้อนจะเคลื่อนที่พาความร้อนไปถ่ายเทให้กับสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้น โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนเป็นไปตาม กฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) ซึ่งเป็นไปตามสมการ (2.4)

$$Q = hA\Delta T \tag{2.4}$$



รูป 2.7 (a) แสดงการนำความร้อนผ่าน Plane wall (b) แสดงการพาความร้อนบน flat plate
(ที่มา : หนังสือ Fundamentals of heat and mass transfer)

โดยการพาความร้อนถูกจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ

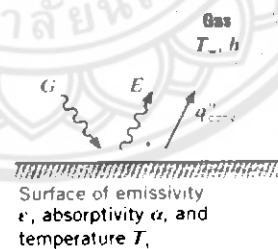
2.4.2.1 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural Convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ไม่มีกลไกใดๆ ที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของของแข็ง เกิดการเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัวของของไหลเอง แรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหลขึ้น

2.4.2.2 การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) คือ การเคลื่อนที่ของของไหลที่เป็นผลมาจากแรงกระทำภายนอก เช่น เครื่องสูบลม เครื่องเป่าลม เป็นต้น

2.4.3 การแผ่รังสี (Radiation) คือ การถ่ายเทความร้อนโดยไม่อาศัยตัวกลาง พลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีจะเคลื่อนที่ไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนแบบนี้เป็นไปตาม กฎของสเตฟาน-โบลทซ์มันน์ (Stefan-Boltzmann law) ซึ่งเป็นไปตามสมการ (2.5)

$$Q = \epsilon \sigma A T_s^4 \quad (2.5)$$

โครงการนี้จะศึกษาการถ่ายเทความร้อนเฉพาะการนำความร้อนและการพาความร้อนเท่านั้น ส่วนการถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสีจะไม่คำนึงถึง



รูป 2.8 แสดงการแผ่รังสี

(ที่มา : หนังสือ Fundamentals of heat and mass transfer)

2.5 สมการที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat, c_p) คือ พลังงานที่ทำให้สารมวล 1 หน่วยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศา ถ้าปริมาณความร้อน Q หน่วย ถูกถ่ายเทให้กับมวล m แล้วทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนไป ΔT สามารถเขียนเป็นปริมาณความร้อนได้ ดังสมการ (2.6)

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p \Delta T \quad (2.6)$$

2.5.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient, U) เป็นค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้น สามารถเขียนปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นได้ ดังสมการ (2.7)

$$\dot{Q} = UA \Delta T_{lm} \quad (2.7)$$

หา ΔT_{lm} ของการไหลแบบสวนทางโดยสมการ (2.8)

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{hot,in} - T_{cold,out}) - (T_{hot,out} - T_{cold,in})}{\ln\left(\frac{T_{hot,in} - T_{cold,out}}{T_{hot,out} - T_{cold,in}}\right)} \quad (2.8)$$

2.5.3 ค่าประสิทธิผล (Effectiveness) คือ ค่าที่ประมาณจากอัตราส่วนของการถ่ายเทความร้อนที่ทำให้จริงต่อค่าการถ่ายเทความร้อนที่เป็นไปได้สูงสุด โดยในกรณี $\dot{m}_{hot} c_{p,hot} > \dot{m}_{cold} c_{p,cold}$ หาได้จากสมการ (2.9) [7]

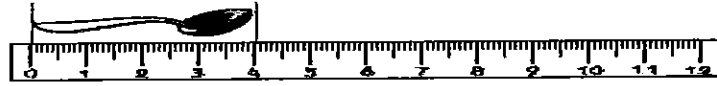
$$\mathcal{E} = \frac{T_{cold,out} - T_{cold,in}}{T_{hot,in} - T_{cold,in}} \times 100\% \quad (2.9)$$

2.6 ค่าความคลาดเคลื่อน

2.6.1 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute Error) คือค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือวัดซึ่งค่าที่มีความแม่นยำมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของหน่วยที่เล็กที่สุดที่ใช้ในการวัด ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (2.10)

$$\text{Absolute Error} = \text{Best Estimate } (X_{best}) \pm \text{Uncertainty } (\delta x) \quad (2.10)$$

ตัวอย่างการอ่านค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์



รูปที่ 2.9 รูปประกอบการอธิบายการอ่านค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์

ดังนั้น สามารถอ่านค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ได้ $Abs\ Error = 4.00 \pm 0.05$

2.6.2 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error) คือการนำค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ไปเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้ ซึ่งหาได้จากสมการ (2.11)

$$Relative\ Error = \frac{\delta x}{|x_{best}|} \times 100\% \quad (2.11)$$

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์จากรูปที่ 2.9

$$Relative\ Error = \frac{0.05}{|4|} \times 100\% = 1.25\%$$

ดังนั้น ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เท่ากับ 1.25%

2.6.3 ค่าความคลาดเคลื่อนสะสม (Error Propagation)

การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสะสมสามารถหาได้จากวิธี step by step โดยใช้ สมการ Quadratic Sum

2.6.3.1 กรณีที่สมการของตัวแปรต้นบวกหรือลบกันจะใช้สมการ (2.12)

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

$$\delta q = \sqrt{(\delta x)^2 + \dots + (\delta z)^2} \quad \text{ใช้ Absolute Error} \quad (2.12)$$

2.6.3.2 กรณีที่สมการของตัวแปรต้นคูณหรือหารกันใช้สมการ (2.13)

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

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

ใช้ Relative Error (2.13)

2.6.4 Root Mean Square Error (RMSE) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความห่างของขนาดโดยเฉลี่ยของแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าทดลอง

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M - E)^2}{N}} \quad (2.14)$$

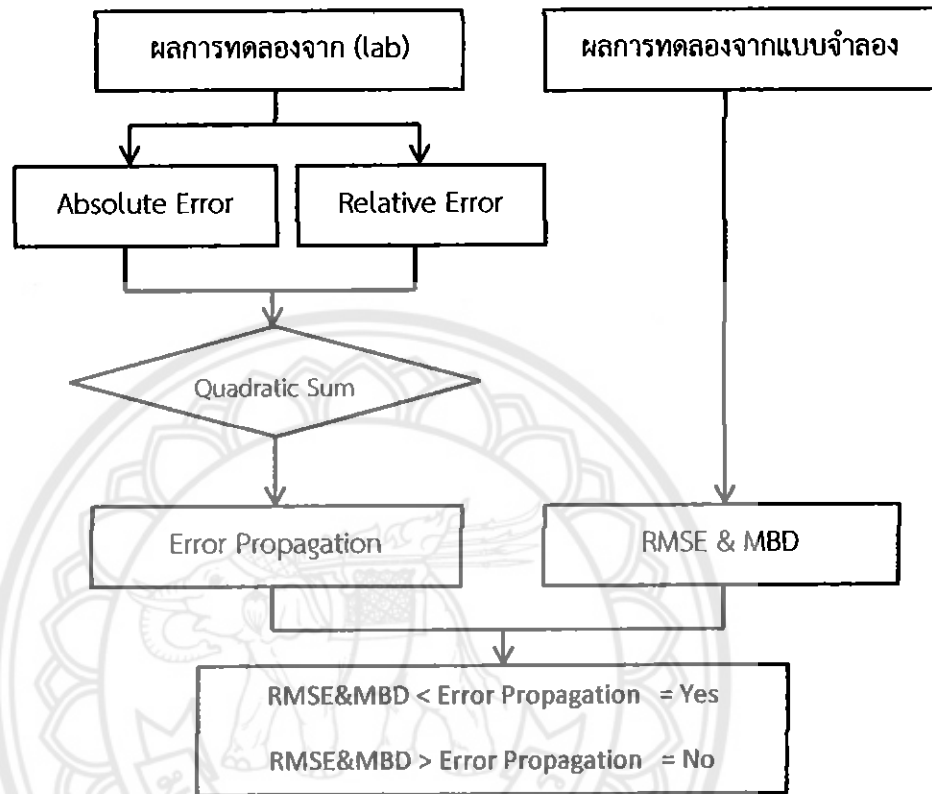
เมื่อ M คือผลจากแบบจำลอง
E คือผลจากการทดลอง
N คือจำนวนข้อมูล

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

$$MBD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M - E) \quad (2.15)$$

เมื่อ M คือผลจากแบบจำลอง
E คือผลจากการทดลอง
N คือจำนวนข้อมูล

2.6.6 แผนผังแสดงการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง



รูปที่ 2.10 แสดงขั้นตอนการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง

ค่า RMSE และค่า MBD เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนสะสมสัมบูรณ์ (Error Propagation) ที่เกิดขึ้นจริง ถ้ามีค่าน้อยกว่าสามารถสรุปได้ว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ถ้ามีค่ามากกว่าสามารถสรุปได้ว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับไม่ได้ [7]

2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายณรงค์ จันทิชัย นายสุวัฒน์ ศรีสะอาด และนายเอกมล มัคโคติ ได้ทำการศึกษาถึงเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าความดันลด และค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นที่ทำการศึกษาประกอบด้วย 10–45% โดยกำหนดอุณหภูมิขาเข้าของกระแสน้ำเป็น 350.68 K อุณหภูมิทางเข้ากระแสน้ำเย็นเป็น 304.72 K ความดันที่ทางออกของทั้งสองกระแสเป็น 1 atm จากผลการวิเคราะห์พบว่า ที่เปอร์เซ็นต์การตัด 35% มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเท

ความร้อนรวมสูงสุดเท่ากับ $385.98 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ การเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกันจะส่งผลให้ค่าความดันลดมีค่าลดลงและจะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพ [3]

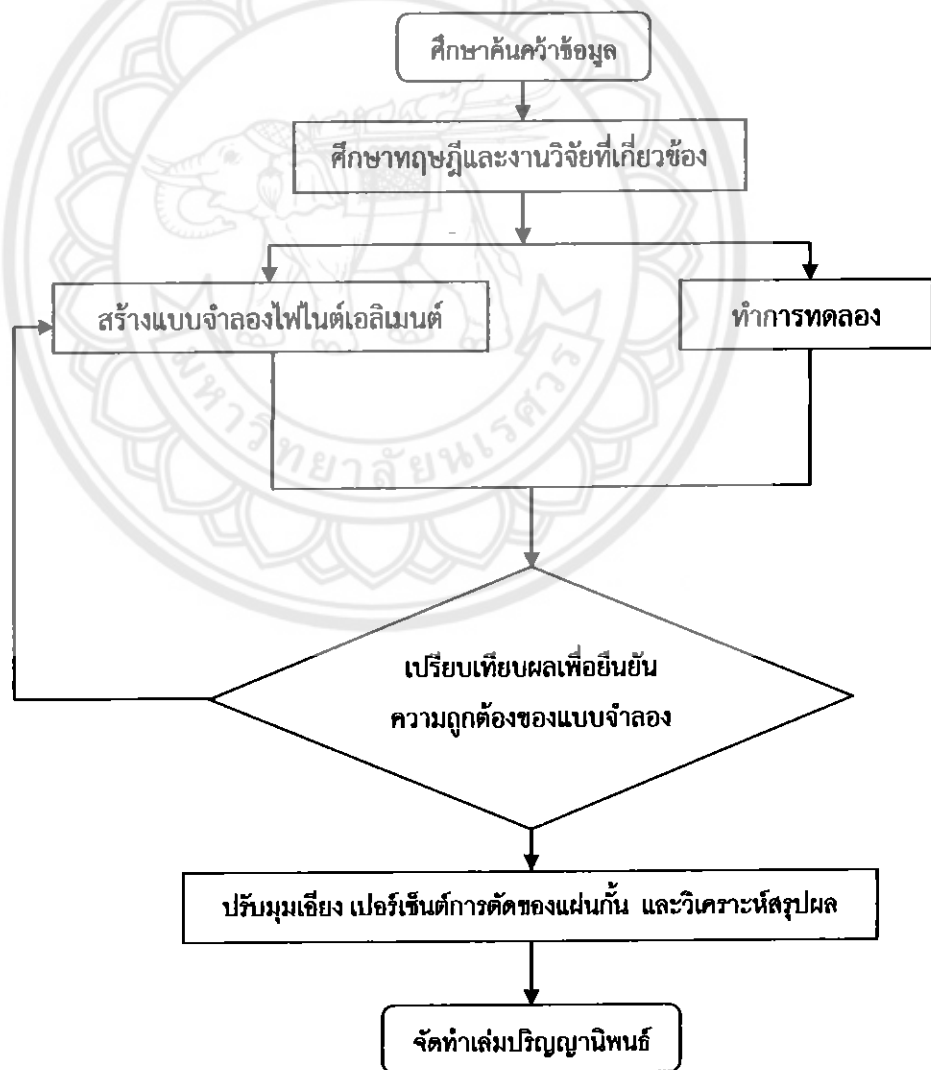
Rajagopal THUNDIL KARUPPA RAJ and Srikanth GANNE ศึกษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยจะศึกษาการทำมุมเอียงของแผ่นกัน เพื่อสังเกตลักษณะการไหลของน้ำ การแลกเปลี่ยนความร้อน และค่าความดันลด โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบและทำการทดลอง กำหนดให้ความเอียงของแผ่นกันไปตามทิศทางการไหลด้วยมุม 0° , 10° และ 20° ทำมุมกับแนวตั้ง (เมื่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ในแนวระดับ) โดยจะตัดแผ่นกัน 36 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นช่องทางไหลของสารทำงานกำหนดอุณหภูมิทางเข้าเปลือก 300 K อุณหภูมิภายในท่อ 450 K (ของไหลร้อน) อัตราการไหลคงที่และมีวของท่อไม่มีความขรุขระ ซึ่งในการทดลองจะใช้อัตราการไหล 0.5 kg/s 1 kg/s และ 2 kg/s จากการทดลองที่อัตราการไหลมากกว่า 2 kg/s จะทำให้ค่าความดันลดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีการแลกเปลี่ยนความร้อนเพียงเล็กน้อย ที่แผ่นกันเอียงทำมุม 10° จะสามารถลดค่าความดันลดได้ 4% และแผ่นกันเอียงทำมุม 20° จะสามารถลดค่าความดันลดได้ 16% ดังนั้นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อที่แผ่นกันทำมุมเอียง 20° องศา จะมีประสิทธิภาพสูงกว่ามุมเอียง 0° และ 10° [1]



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนวิธีดำเนินงานของโครงการนี้เป็นไปตามแผนภูมิการดำเนินงานดังนี้



รูป 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูล

ศึกษาข้อมูลและรายละเอียดต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ รวมไปถึงเอกสารงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้ โดยได้ทำการศึกษาดังนี้

3.1.1 ทฤษฎีระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1.2 ทฤษฎีการถ่ายโอนความร้อน

3.1.3 ค่าความคลาดเคลื่อน และสมการที่เกี่ยวข้อง

3.1.4 ผลงานวิจัย

3.1.4.1 เรื่อง การวิเคราะห์ผลกระทบเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้น ต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1.4.2 เรื่อง การวิเคราะห์ผลกระทบระยะของแผ่นกั้น ต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1.4.3 เรื่อง Numerical analysis of a shell and tube heat exchanger considering the effects of baffle inclination angle on fluid flow

3.2 ทำการทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลมหาวิทยาลัยนเรศวร โดยใช้ชุดการทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ รุ่น WL 110.03 (ค่าความคลาดเคลื่อนในการอ่านเท่ากับ 0.5)



รูปที่ 3.2 แสดงชุดการทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ รุ่น WL

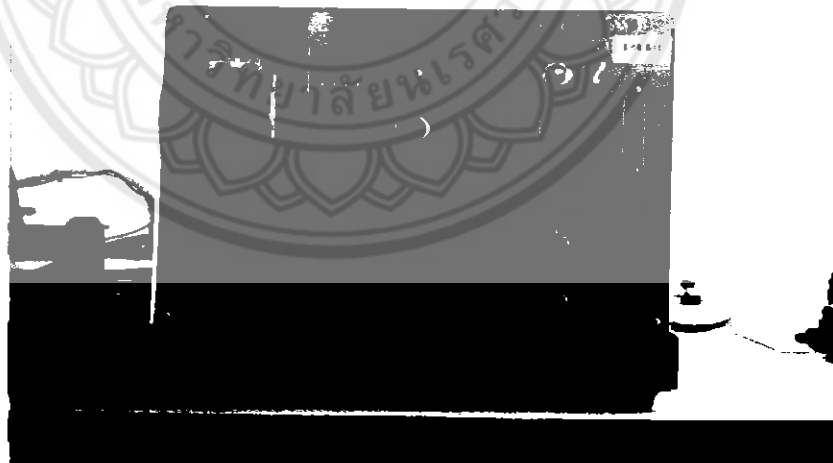
3.2.1 อุปกรณ์ในการทำการทดลอง

3.2.1.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ



รูปที่ 3.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

3.2.1.2 เครื่องกำหนดอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำร้อนน้ำเย็น



รูปที่ 3.4 เครื่องกำหนดอัตราการไหลและอุณหภูมิ

3.2.2 วิธีทำการทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

3.2.2.1 ประกอบชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเข้ากับเครื่องควบคุม โดยต่อท่อน้ำให้มีรูปแบบการไหลเป็นแบบสวนทางกัน

3.2.2.2 เปิดสวิตช์ชุดควบคุมอุณหภูมิน้ำร้อน

3.2.2.3 กำหนดให้อุณหภูมิทางเข้าของกระแสความร้อนเท่ากับ 350 K และอุณหภูมิทางเข้าของกระแสน้ำเย็นเท่ากับ 302 K (น้ำที่อุณหภูมิห้อง)

3.2.2.4 กำหนดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของของไหลกระแสน้ำร้อนและกระแสน้ำเย็น โดยเราจะทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลโดย กำหนดอัตราการไหลของกระแสน้ำร้อนและกระแสน้ำเย็นเท่ากับ 2.2 l/m

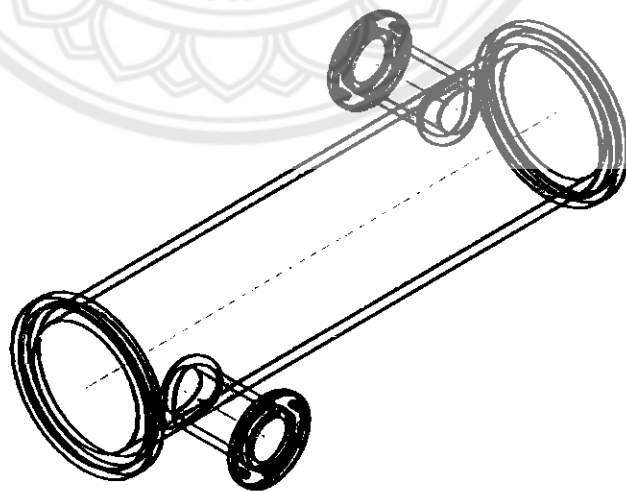
3.2.3 ทำการทดลอง 10 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแล้วนำไปคำนวณเป็นค่าประสิทธิภาพเพื่อนำผลไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.3 สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

3.3.1 สร้างรูปทรงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

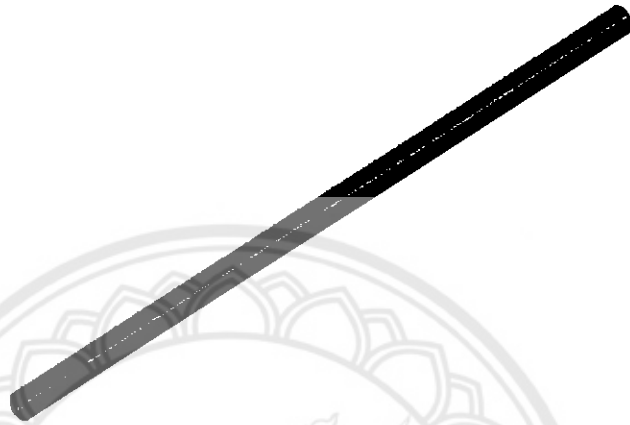
ในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ จะทำการสร้างด้วยโปรแกรม solidworks โดยจะประกอบไปด้วย 5 ส่วน คือ

3.3.1.1 เปลือก ทำมาจากแก้ว ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 50 mm หนา 3 mm ยาว 190 mm มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของเปลือก

3.3.1.2 ท่อ ทำจาก Stainless steel 321 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 mm ยาว 190 mm หนา 1 mm จำนวน 7 ท่อ มีลักษณะแสดงดังในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของท่อ

3.3.1.3 แผ่นกั้น ทำจาก Stainless steel 321 ความหนา 0.75 mm เปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นอยู่ที่ 15% มีลักษณะดังแสดงในรูป 3.6



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของแผ่นกั้น

3.3.1.4 แผ่นสวมยึดท่อ (tube sheets) ทำจาก Stainless steel 321 ความหนา 2 mm มีลักษณะดังแสดงในรูป 3.7



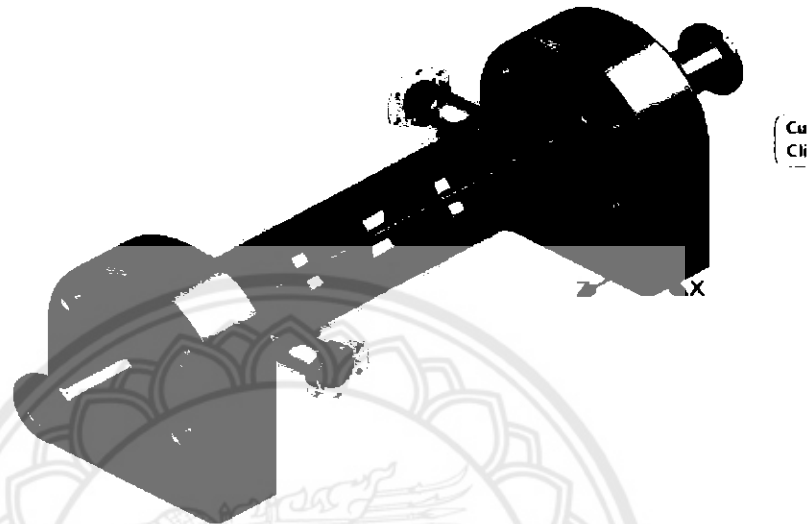
รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของแผ่นสวมยึดท่อ

3.3.1.5 ท่อทางเข้าและทางออกของกระแสน้ำ (Tubeside Flow in and out) ทำจาก Stainless steel 321 มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของท่อทางเข้าและทางออกของกระแสน้ำ

3.3.1.6 ลักษณะการประกอบแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ



รูปที่ 3.10 แสดงแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

3.3.2 กำหนดคุณสมบัติและสภาวะเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง

3.3.2.1 กำหนดคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ให้แบบจำลองดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ในแบบจำลอง

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 Bergmann Lavine (2007)

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

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

ในแบบจำลองของไหลภายในเปลือกเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จากการทดลอง โดยคำนวณจากสมการ

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

โดย Q คือ ปริมาณความร้อนที่กระแสน้ำไหลเย็นรับไปจากกระแสน้ำไหลร้อน (W)

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

c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะเปิดตาราง (J/kg · K)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิของของไหลกระแสน้ำเย็น (K)

และสมการ

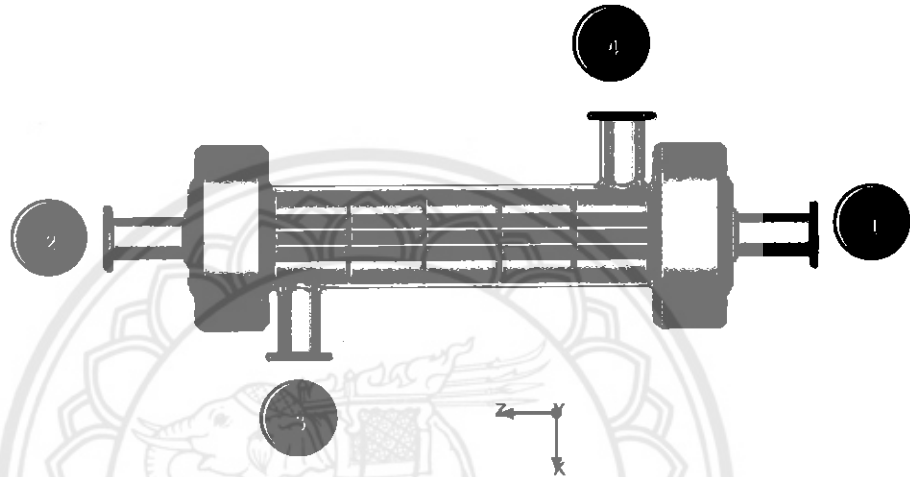
$$Q = hA\Delta T$$

โดยที่ Q คือ ปริมาณความร้อนที่กระแสน้ำไหลเย็นรับไปจากกระแสน้ำไหลร้อน (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) ที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลอง



รูปที่ 3.11 กำหนดตำแหน่งทางเข้าและทางออกของของไหลทั้ง 2 กระแส

หมายเลข 1 ทางเข้าของน้ำร้อน กำหนดให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 350.78 K และมีอัตราการไหลเชิงปริมาตรเท่ากับ $3.67 \times 10^{-5} m^3 / s$

หมายเลข 2 ทางออกน้ำร้อน

หมายเลข 3 ทางเข้าของน้ำเย็น กำหนดให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 302.91 K และมีอัตราการไหลเชิงปริมาตรเท่ากับ $3.67 \times 10^{-5} m^3 / s$

หมายเลข 4 ทางออกน้ำเย็น

3.4 วิเคราะห์แบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ทำการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แล้วนำผลของอุณหภูมิที่ได้ไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ เพื่อนำผลไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง

3.5 เปรียบเทียบประสิทธิผลที่ได้จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลอง

นำค่าประสิทธิผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และค่าประสิทธิผลจากการทดลอง มาเปรียบเทียบว่าผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ และเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองว่าแบบจำลองใช้ได้หรือไม่ โดยทำการคำนวณค่ารากค่าตอบของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง และค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประสิทธิผลระหว่างแบบจำลองและการวัดจริง แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนสะสมสัมบูรณ์ที่ได้จากการวัดเพื่อจะได้แบบจำลองที่มีความถูกต้อง ก่อนที่จะนำไปปรับมุมเอียง เพอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน และวิเคราะห์ผลหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ค่าประสิทธิผล และค่าความดันลดต่อไป

3.6 ปรับมุมเอียง เพอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน และวิเคราะห์สรุปผล

เมื่อได้แบบจำลองที่ผ่านการยืนยันความถูกต้องตามหัวข้อที่ 3.5 จะทำการปรับมุมเอียงและเพอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน เพื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ค่าประสิทธิผลและค่าความดันลด ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้การวิเคราะห์มุมเอียง เพอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกันว่ามีผลกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ค่าประสิทธิผลและค่าความดันลดอย่างไร

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลจากการทดลองจาก LAB

จากการทดลองในห้องทดลองสามารถวัดค่าอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกของกระแสน้ำร้อนและกระแสน้ำเย็นได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองจาก LAB

ลำดับ	$T_{h,i}$ (K)	$T_{h,o}$ (K)	$T_{c,i}$ (K)	$T_{c,o}$ (K)	ϵ (%)
1	351.85	341.45	302.55	311.05	17.24
2	351.35	340.85	302.65	310.55	16.22
3	351.35	339.95	302.55	310.05	15.37
4	346.35	333.25	302.65	308.95	14.42
5	351.30	338.65	302.85	310.35	15.48
6	351.35	340.65	302.95	310.85	16.32
7	350.65	339.35	303.25	310.75	15.82
8	351.75	339.35	303.25	313.05	20.21
9	351.05	340.95	303.35	311.05	16.14
10	351.15	340.65	303.05	310.55	15.59
เฉลี่ย	350.82	339.51	302.91	310.72	16.30

จากตารางการทดลองทำให้ทราบค่าอุณหภูมิ และนำค่าดังกล่าวไปคำนวณหาประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ โดยหาได้จาก

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

แทนค่า

$$\epsilon = \frac{310.72 - 302.91}{350.82 - 302.91} \times 100\% = 16.30\%$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 16.30%

4.2 ผลการทดลองจากแบบจำลอง

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองที่สร้างโดยคอมพิวเตอร์ แล้ววิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้ผลดังตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองจากการวิเคราะห์แบบจำลอง

ลำดับ	$T_{h,i}$ (K)	$T_{h,o}$ (K)	$T_{c,i}$ (K)	$T_{c,o}$ (K)	ϵ (%)
1	351.85	340.87	302.55	308.79	12.65
2	351.35	340.38	302.65	308.60	12.23
3	351.35	340.32	302.55	308.42	12.03
4	346.35	336.72	302.65	307.82	11.83
5	350.95	340.03	302.85	308.60	11.96
6	351.35	340.49	302.95	309.02	12.53
7	350.65	339.98	303.25	309.00	12.13
8	351.75	340.83	303.25	309.33	12.53
9	351.05	340.28	303.35	309.11	12.07
10	351.15	340.28	303.05	308.91	12.19
เฉลี่ย	350.78	340.02	302.91	308.76	12.21

จากตารางการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนได้จาก

$$\epsilon = \frac{T_{c, \text{out}} - T_{c, \text{in}}}{T_{h, \text{in}} - T_{c, \text{in}}} \times 100\%$$

แทนค่า

$$\epsilon = \frac{308.76 - 302.91}{350.78 - 302.91} \times 100\% = 12.21\%$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพของแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 12.21%

4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองเทียบกับผลของการทดลอง ทำโดยการนำค่าความคลาดเคลื่อนสะสม (Error Propagation) ของค่าประสิทธิผลจากการทดลอง ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดนำไปเปรียบเทียบกับค่า RMSE และค่า MBD หากค่า RMSE และค่า MBD มีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของค่าประสิทธิผลจากการทดลอง จะถือว่าแบบจำลองมีความถูกต้อง มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ โดยผลการคำนวณแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลความคลาดเคลื่อนสะสมและค่าประสิทธิผลจากการทดลอง

ลำดับ	ผลความคลาดเคลื่อนสะสมและค่าประสิทธิผลจากการทดลอง	
	ϵ (100%)	Error Propagation
1	17.24	8.44
2	16.22	9.07
3	15.37	9.54
4	14.42	11.34
5	15.59	9.54
6	16.32	9.07
7	15.82	9.55
8	20.21	7.36
9	16.14	9.30
10	15.59	9.54
เฉลี่ย	16.29	9.27

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลต่างของค่าประสิทธิผลระหว่างแบบจำลองกับการทดลอง

ลำดับ	M แบบจำลอง	E การทดลอง	M-E	$(M-E)^2$
1	12.65	17.24	-4.59	21.05
2	12.23	16.22	-3.99	15.97
3	12.03	15.37	-3.34	11.16
4	11.83	14.42	-2.59	6.71
5	11.96	15.48	-3.645	13.22
6	12.53	16.32	-3.79	14.37
7	12.13	15.82	-3.69	13.63
8	12.53	20.21	-7.68	58.98
9	12.07	16.14	-4.07	16.60

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลต่างของค่าประสิทธิผลระหว่างแบบจำลองกับการทดลอง (ต่อ)

ลำดับ	M แบบจำลอง	E การทดลอง	M-E	$(M-E)^2$
10	12.18	15.59	-3.41	11.62
เฉลี่ย	122.13	162.93	-40.79	183.28

จากตารางที่ 4.4 คำนวณค่า RMSE ได้จากสมการที่ (2.14)

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

แทนค่า

$$RMSE = \sqrt{\frac{183.28}{10}} = 4.28$$

คำนวณค่า MBD ได้จากสมการที่ (2.15)

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

$$MBD = \frac{1}{10} \times -40.79 = -4.08$$

วิเคราะห์ความถูกต้องและการยอมรับความผิดพลาดของแบบจำลอง

จากผลการคำนวณที่ได้ ค่า Error Propagation เท่ากับ 9.27 ค่า RMSE เท่ากับ 4.28 และค่า MBD เท่ากับ -4.08 ซึ่งจะเห็นได้ว่าคุณค่า Error Propagation มีค่ามากกว่าค่า RMSE และค่า MBD ดังนั้น ถือว่าแบบจำลองมีความถูกต้องและค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

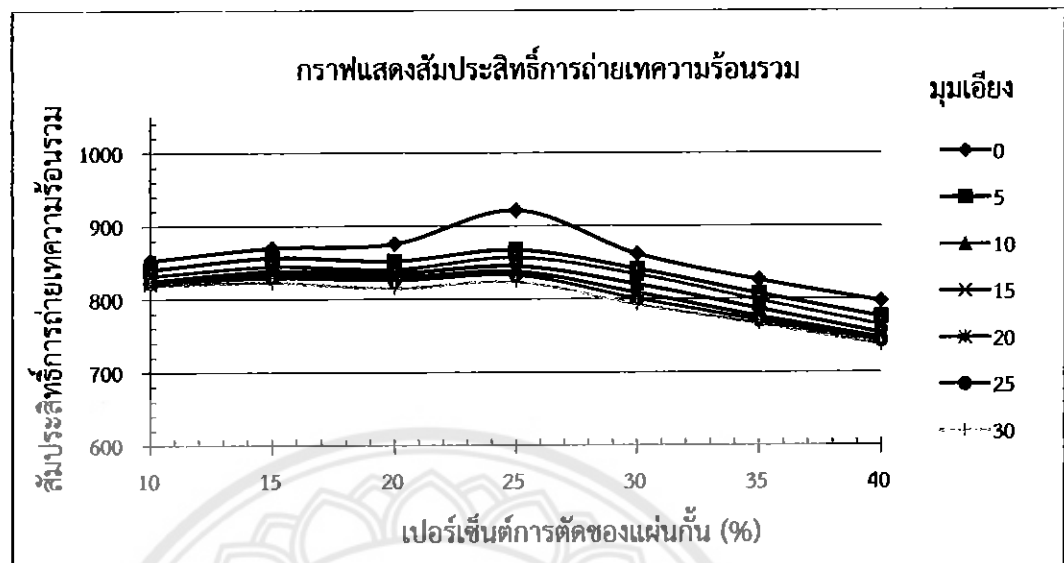
4.4 วิเคราะห์ผลกระทบมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน ที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

มุมเอียงแผ่นกัน (°)	เปอร์เซ็นต์การตัดแผ่นกัน (%)	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W / m^2 \cdot K$)
0	10	853.13
	15	870.42
	20	876.16
	25	921.74
	30	862.27
	35	826.03
	40	797.37
5	10	840.82
	15	856.67
	20	852.48
	25	867.61
	30	841.51
	35	807.49
	40	775.91
10	10	831.83
	15	844.96
	20	841.07
	25	857.20
	30	834.17
	35	808.46
	40	764.56
15	10	834.78
	15	838.46
	20	845.64
	25	853.60

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (ต่อ)

มุมเอียงแผ่นกัน (°)	เปอร์เซ็นต์การตัดแผ่นกัน (%)	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (W / m ² · K)
15	30	820.60
	35	792.84
	40	753.54
20	10	821.94
	15	834.14
	20	836.32
	25	837.97
	30	809.11
	35	776.45
	40	747.06
25	10	822.75
	15	829.65
	20	826.25
	25	832.99
	30	800.97
	35	771.22
	40	743.04
30	10	819.56
	15	820.75
	20	815.27
	25	823.69
	30	792.85
	35	765.95
	40	737.19



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้น ดังแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 4.1 พบว่า

4.4.1 ที่มุมเอียงของแผ่นกั้นต่างๆ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ของการตัดเพิ่มขึ้นในช่วง 10-25% และหลังจากนั้นจะมีค่าลดลง พิจารณาที่มุมเอียง 0° สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูงสุดที่เปอร์เซ็นต์การตัด 25% เท่ากับ $921.74 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และต่ำสุดที่เปอร์เซ็นต์การตัด 40% เท่ากับ $737.19 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ลดลง $184.55 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ คิดเป็น 20.02% เมื่อพิจารณาที่มุมเอียง 30° ที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูงสุด $823.69 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และต่ำสุด $737.19 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 10.50% และเมื่อพิจารณาจากเส้นกราฟที่มุมเอียงต่างๆ จะเห็นได้ว่า ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การตัดต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะน้อยลงเมื่อมุมเอียงของแผ่นกั้นเพิ่มขึ้น

4.4.2 ที่เปอร์เซ็นต์การตัดต่างๆ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะลดลงเมื่อมุมเอียงของแผ่นกั้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น พิจารณาที่เปอร์เซ็นต์การตัด 25% ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูงสุด ที่มุมเอียงเอียง 0° ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ $921.74 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และที่มุมเอียง 30° เท่ากับ $823.69 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ลดลงเท่ากับ $98.05 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ คิดเป็น 10.63% ซึ่งจากลักษณะของเส้นกราฟจะพบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะลดลงอย่างมากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมุมเอียงของแผ่นกั้นจาก 0° แต่จะมีการลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อมุมเอียงเพิ่มขึ้นในช่วง 5°-25° และจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดอีกครั้งที่มุมเอียงของแผ่นกั้น 30°

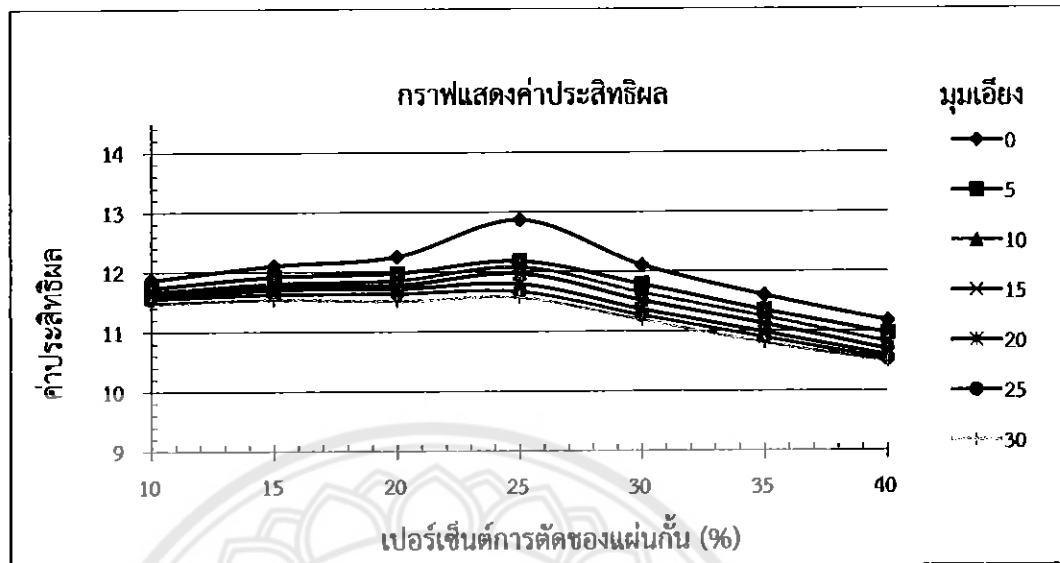
4.5 วิเคราะห์ผลกระทบบวมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน ที่ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อน

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิ และค่าประสิทธิภาพที่มุมเอียงต่างๆ

มุมเอียงของแผ่นกัน (°)	เปอร์เซ็นต์การตัดแผ่นกัน (%)	อุณหภูมิ (K)				ประสิทธิภาพ (%)
		$T_{c,i}$	$T_{c,o}$	$T_{h,i}$	$T_{h,o}$	
0	10	302.91	308.62	350.78	340.02	11.87
	15	302.91	308.71	350.78	340.02	12.11
	20	302.91	308.76	350.78	340.24	12.26
	25	302.91	308.92	350.78	340.16	12.87
	30	302.91	308.60	350.78	340.44	12.11
	35	302.91	308.52	350.78	340.55	11.60
	40	302.91	308.30	350.78	340.73	11.17
5	10	302.91	308.71	350.78	339.95	11.74
	15	302.91	308.57	350.78	340.19	11.92
	20	302.91	308.58	350.78	340.43	11.98
	25	302.91	308.60	350.78	340.42	12.18
	30	302.91	308.54	350.78	340.50	11.79
	35	302.91	308.41	350.78	340.59	11.35
	40	302.91	308.29	350.78	340.74	10.96
10	10	302.91	308.46	350.78	339.99	11.67
	15	302.91	308.56	350.78	340.25	11.81
	20	302.91	308.52	350.78	340.45	11.86
	25	302.91	308.64	350.78	340.42	12.08
	30	302.91	308.55	350.78	340.50	12.65
	35	302.91	308.36	350.78	340.64	11.24
	40	302.91	308.10	350.78	340.91	10.81
15	10	302.91	308.31	350.78	340.00	11.62
	15	302.91	308.63	350.78	340.30	11.75
	20	302.91	308.50	350.78	340.45	11.78

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิ และค่าประสิทธิผลที่มุมเอียงต่างๆ (ต่อ)

มุมเอียงของ แผ่นกัน (°)	เปอร์เซ็นต์การ ตัดแผ่นกัน (%)	อุณหภูมิ (K)				ประสิทธิผล (%)
		$T_{c,i}$	$T_{c,o}$	$T_{h,i}$	$T_{h,o}$	
15	25	302.91	308.64	350.78	340.42	11.97
	30	302.91	308.51	350.78	340.56	11.52
	35	302.91	308.26	350.78	340.71	11.12
	40	302.91	308.03	350.78	340.97	10.69
20	10	302.91	308.28	350.78	339.97	11.58
	15	302.91	308.47	350.78	340.31	11.71
	20	302.91	308.52	350.78	340.45	11.72
	25	302.91	308.58	350.78	340.45	11.80
	30	302.91	308.40	350.78	340.62	11.37
	35	302.91	308.17	350.78	340.79	10.98
	40	302.91	307.95	350.78	341.06	10.59
25	10	302.91	308.70	350.78	339.98	11.56
	15	302.91	308.53	350.78	340.33	11.63
	20	302.91	308.46	350.78	340.49	11.64
	25	302.91	308.58	350.78	340.48	11.67
	30	302.91	308.37	350.78	340.66	11.27
	35	302.91	308.13	350.78	340.82	10.89
	40	302.91	307.97	350.78	341.04	10.53
30	10	302.91	308.49	350.78	339.96	11.48
	15	302.91	307.97	350.78	340.80	11.54
	20	302.91	308.36	350.78	340.51	11.51
	25	302.91	308.45	350.78	340.51	11.57
	30	302.91	308.27	350.78	340.74	11.19
	35	302.91	307.31	350.78	341.17	10.80
	40	302.91	307.93	350.78	341.08	10.49



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงประสิทธิผลของการแลกเปลี่ยนความร้อน

จากผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิผลการแลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงข้อมูลในกราฟรูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าประสิทธิผลการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน มีลักษณะเดียวกันกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม โดยมีการเพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์การตัดเพิ่มขึ้นและสูงสุดที่เปอร์เซ็นต์การตัดเท่ากับ 25% จากนั้นจะมีค่าลดลง ส่วนการเพิ่มขึ้นของมุมเอียงที่เปอร์เซ็นต์การตัด 25% ซึ่งมีค่าประสิทธิผลสูงสุด ที่มุมเอียง 0° ค่าประสิทธิผลเท่ากับ 12.87% และที่มุมเอียง 30° ค่าประสิทธิผลเท่ากับ 11.57% ลดลงเท่ากับ 1.3% จากตัวเลขดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของมุมเอียงของแผ่นกันนั้นส่งผลกระทบต่อค่าประสิทธิผลการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

4.6 วิเคราะห์ผลกระทบมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน ที่ส่งผลต่อค่าความดันตกภายในเปลือกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกค่าความดัน และผลของค่าความดันตก

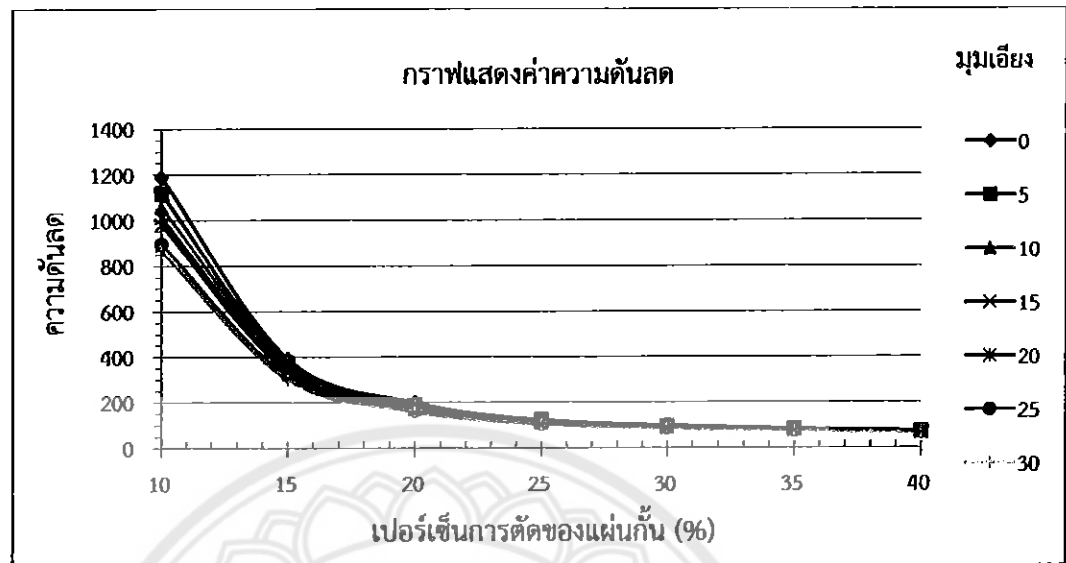
มุมเอียงแผ่นกัน (°)	เปอร์เซ็นต์การตัดแผ่นกัน (%)	ความดัน (Pa)		ค่าความดันตก (Pa)
		$P_{c,i}$	$P_{c,o}$	
0	10	101721.6	101325	1187.75
	15	101717.9	101325	392.84
	20	101524.6	101325	199.60
	25	101445.9	101325	120.83

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกค่าความดัน และผลของค่าความดันลด (ต่อ)

มุมเอียงแผ่น กัน (°)	เปอร์เซ็นต์การตัด แผ่นกัน (%)	ความดัน (Pa)		ค่าความดันลด (Pa)
		$P_{c,i}$	$P_{c,o}$	
0	30	101423.5	101325	98.51
	35	101408.3	101325	83.29
	40	101394.5	101325	69.45
5	10	102440.6	101325	1115.62
	15	101699.8	101325	374.73
	20	101513.2	101325	188.23
	25	101448	101325	122.99
	30	101422	101325	96.99
	35	101408.3	101325	83.33
	40	101398.9	101325	73.87
10	10	102380.3	101325	1055.32
	15	101694.8	101325	369.73
	20	101508.3	101325	183.29
	25	101441.8	101325	116.78
	30	101419.9	101325	94.86
	35	101406.5	101325	81.44
	40	101395.5	101325	70.47
5	10	102336.1	101325	1011.11
	15	101670.7	101325	345.64
	20	101501.9	101325	176.84
	25	101438.3	101325	113.28
	30	101417.1	101325	92.051
	35	101405	101325	80.02
	40	101395.2	101325	70.19
20	10	102306.5	101325	981.47
	15	101663.6	101325	338.62
	20	101494.3	101325	169.32

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกค่าความดัน และผลของค่าความดันลด (ต่อ)

มุมเอียงแผ่น กัน (°)	เปอร์เซ็นต์การตัด แผ่นกัน (%)	ความดัน (Pa)		ค่าความดันลด (Pa)
		$P_{c,i}$	$P_{c,o}$	
20	25	101436	101325	111.01
	30	101414.8	101325	89.78
	35	101403.2	101325	78.23
	40	101394.1	101325	69.11
25	10	102220.9	101325	895.86
	15	101643.7	101325	318.71
	20	101490.3	101325	165.29
	25	101432.9	101325	107.86
	30	101412.7	101325	87.63
	35	101401.5	101325	76.48
	40	101393.5	101325	68.51
30	10	102190.7	101325	865.71
	15	101626.4	101325	301.35
	20	101482.4	101325	157.35
	25	101428.3	101325	103.32
	30	101410.3	101325	85.26
	35	101400.3	101325	75.279
	40	101392.5	101325	67.46



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความดันลด

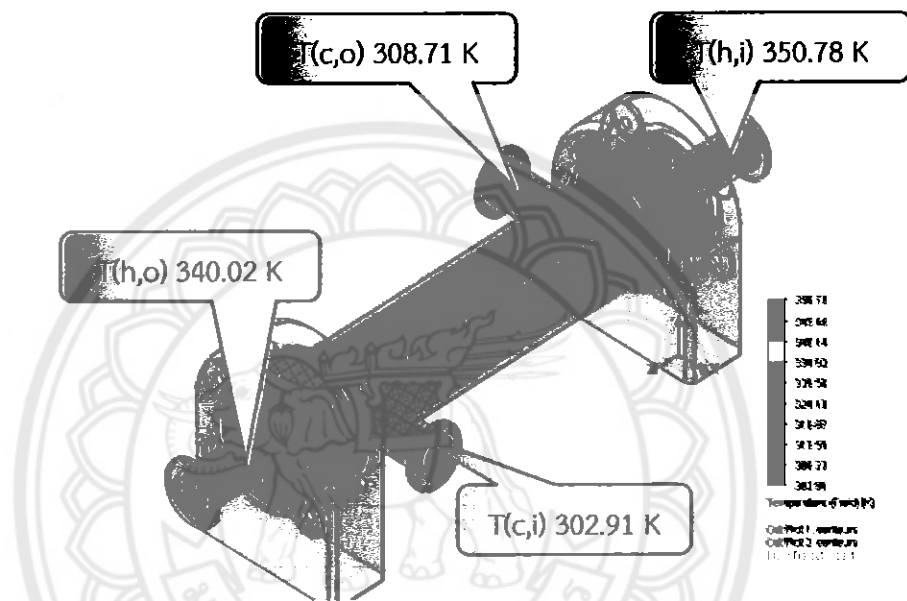
ผลของความดันด้านเปลือกที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ เมื่อนำมาคำนวณค่าความดันลดที่เกิดขึ้น ได้ผลดังแสดงในกราฟ รูปที่ 4.3 พบว่า

4.6.1 ค่าความดันลดที่ลดลงในทุกๆ มมเอียงของแผ่นกัน มีลักษณะเดียวกัน คือ ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการเพิ่มเปอร์เซ็นต์การตัดในช่วง 10-15% จากนั้นค่าความดันลดจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีเปอร์เซ็นต์การตัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น พิจารณาที่มุมเอียง 0° ซึ่งมีค่าความดันลดสูงสุด ค่าความดันลดที่ลดลงในช่วงเปอร์เซ็นต์การตัด 10-15% เท่ากับ 794.91 Pa คิดเป็น 66.93% ของค่าความดันลดสูงสุด

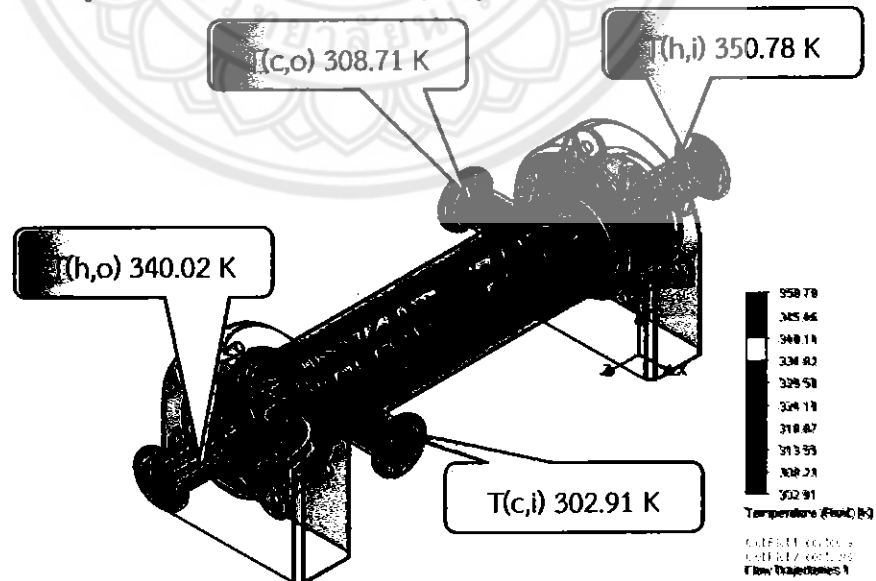
4.6.2 การเพิ่มขึ้นของมุมเอียงของแผ่นกันส่งผลให้ค่าความดันลด ลดลงโดยจากลักษณะของกราฟจะเห็นได้ว่ามุมเอียงของแผ่นกันส่งผลต่อค่าความดันลดอย่างชัดเจนเมื่อเปอร์เซ็นต์การตัดมีค่าน้อยแต่จะส่งผลกระทบน้อยลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การตัดเพิ่มมากขึ้น พิจารณาเปอร์เซ็นต์การตัด 10% ค่าความดันลด ที่ลดลงเมื่อมุมเอียงของแผ่นกันเพิ่มขึ้นจาก 0° - 30° เท่ากับ 322.04 Pa คิดเป็น 27.11% ของค่าความดันลดสูงสุด ในขณะที่เดียวกันที่เปอร์เซ็นต์การตัด 25% และ 40% ค่าความดันลด ลดลงเพียง 1.47% และ 0.17% ตามลำดับ

4.7 รูปตัวอย่างจากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

4.7.1 เป็นรูปแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์อุณหภูมิด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ ที่เปอร์เซ็นต์การตัด 15% และมุมเอียงของแผ่นกัน 0°

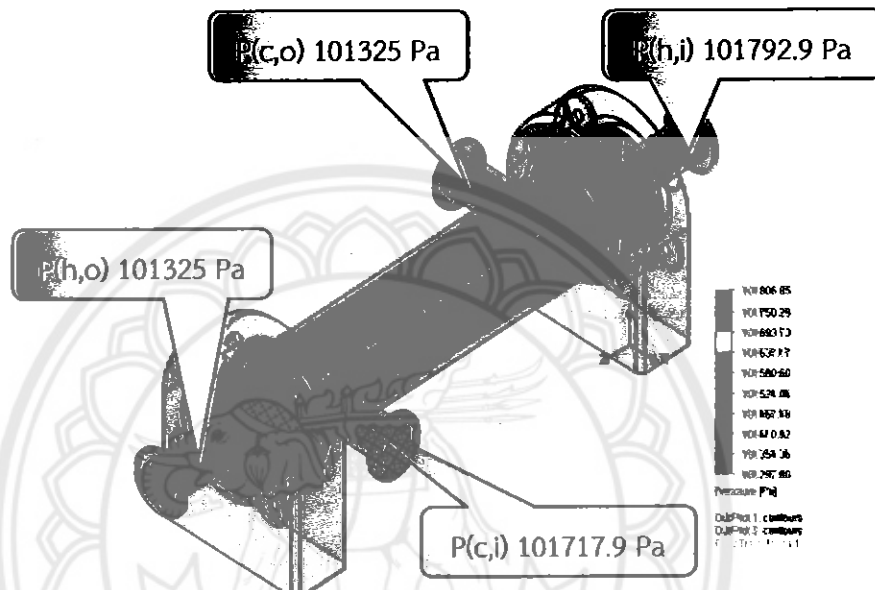


รูปที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์อุณหภูมิด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

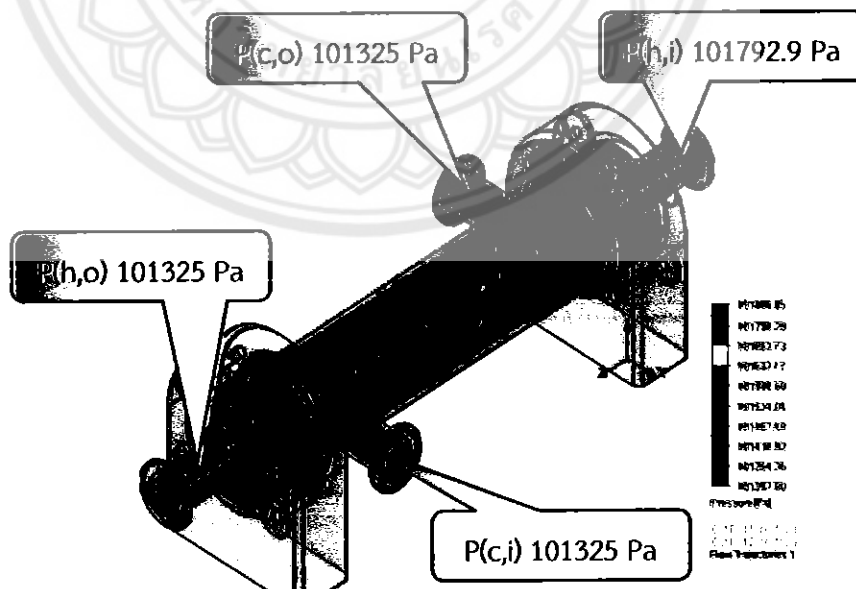


รูปที่ 4.5 แสดงการจำลองทิศทางการไหลของอุณหภูมิด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

4.7.2 เป็นรูปแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าความดันด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ของแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ ที่เปอร์เซ็นต์การตัด 15% และมุมเอียงของแผ่นกั้น 0°



รูปที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความดันด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 4.7 แสดงการจำลองทิศทางกาไหลของความดันลดด้วยด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การวิเคราะห์แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีขั้นตอนการดำเนินงานที่ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลอง ขั้นตอนที่สองคือการปรับเปอร์เซ็นต์การตัดและมุมเอียงของแผ่นกัน เพื่อศึกษาผลกระทบของเปอร์เซ็นต์การตัดและมุมเอียงของแผ่นกันต่อค่าประสิทธิผล ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและค่าความดันลดซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้

5.1.1 การยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ จากการสร้างแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ สรุปว่าแบบจำลองมีความถูกต้องเพียงพอ มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยค่า RSME (4.28) และ BMD (-4.08) ของแบบจำลองและการทดลองมีค่าน้อยกว่า ค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของค่าประสิทธิผลจากการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.27

5.1.2 การปรับเปอร์เซ็นต์การตัดและมุมเอียงของแผ่นกัน เพื่อศึกษาค่าประสิทธิผล ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าความดันลด

5.1.2.1 ผลกระทบของมุมเอียงของแผ่นกันต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม เมื่อมุมเอียงของแผ่นกันมีค่าเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าลดลง พิจารณาที่เปอร์เซ็นต์การตัด 25% ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุด สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมลดลงเมื่อมุมเอียงของแผ่นกันเพิ่มขึ้น 0°-30° เท่ากับ 8.76% ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูงสุด โดยจะลดลงอย่างมากเมื่อมุมเอียงของแผ่นกันเพิ่มขึ้นในช่วง 0°-5° คิดเป็น 55.20% ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่ลดลง

5.1.2.2 ผลกระทบของมุมเอียงของแผ่นกันต่อค่าประสิทธิผลการแลกเปลี่ยนความร้อน การเพิ่มมุมเอียงของแผ่นกันจะส่งผลให้ประสิทธิผลการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่อง

แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าลดลงในลักษณะเช่นเดียวกันกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม อย่างไรก็ตามผลกระทบดังกล่าวเกิดขึ้นน้อยมาก โดยเมื่อพิจารณาที่เปอร์เซ็นต์การตัด 25% ซึ่งมีค่าประสิทธิผลสูงสุด มุมเอียงของแผ่นกั้นที่เพิ่มขึ้น 0° - 30° จะทำให้ค่าประสิทธิผลลดลงเพียง 1.30%

5.1.2.3 ผลกระทบของมุมเอียงของแผ่นกั้นต่อค่าความดันลด มุมเอียงของแผ่นกั้นที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าความดันลดมีค่าน้อยลง อย่างไรก็ตามผลกระทบดังกล่าวจะน้อยลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้นเพิ่มสูงขึ้น ที่เปอร์เซ็นต์การตัด 10% ค่าความดันลด ที่ลดลงเมื่อมุมเอียงของแผ่นกั้นเพิ่มขึ้นจาก 0° - 30° เท่ากับ 27.11% ของค่าความดันลดสูงสุด ในขณะที่เดียวกันที่เปอร์เซ็นต์การตัด 40% ค่าความดันลด ลดลงเพียง 0.17%

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบมุมเอียงและเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกั้น ต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ทางคณะผู้จัดทำจึงมีข้อเสนอแนะกับผู้ที่เกี่ยวข้องในการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

5.2.1 ศึกษาการเปลี่ยนสารทำงาน

5.2.2 ศึกษาการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการทำท่อในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

5.2.3 ศึกษาอัตราการไหลของของไหลเย็นและของไหลร้อน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Rajagapat THUNDIL KARUPPA RAJ and Srikanth GANNE. (2555). SHELL SIDE NUMERICAL ANALYSIS OF A SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER CONSIDERING THE EFFECTS OF BAFFLE INCLINATION ANGLE ON FLUID FLOW. School of mechanical and Building Sciences.
- [2] นายเด็ดดวง วงศ์วิริยชาติ นายประสงค์ พิทักษ์ทองกุล นายไพฑูรย์ ไชยวรรณ. (2554). การวิเคราะห์ผลกระทบบอร์ด์เชิงการตัดของแผ่นกั้น ต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [3] นายณรงค์ จันทิชัย นายสุวัฒน์ ศรีสะอาด นายเอกมล มัคโอดี. (2554). การวิเคราะห์ผลกระทบระยะของแผ่นกั้น ต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [4] นพรัตน์ สีหะวงษ์ (ผู้บรรยาย). (21 พฤษภาคม 2556). ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. ใน การนัดสอนเพิ่มเติมเรื่องระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์. (บทที่ 1 และ 2).
- [5] Incropera and DeWitt and Bergmann and Lavine. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Sixth editon
- [6] G.F.Hewit and G.L.Shires and T.R.Bott. Process Heat Transfer.
- [7] Basic error analysis, วันที่ 15 มิถุนายน 2553,

<http://www.youtube.com/watch?v=N73dkRRwdw8&list=PL0EB555101801DB6B>

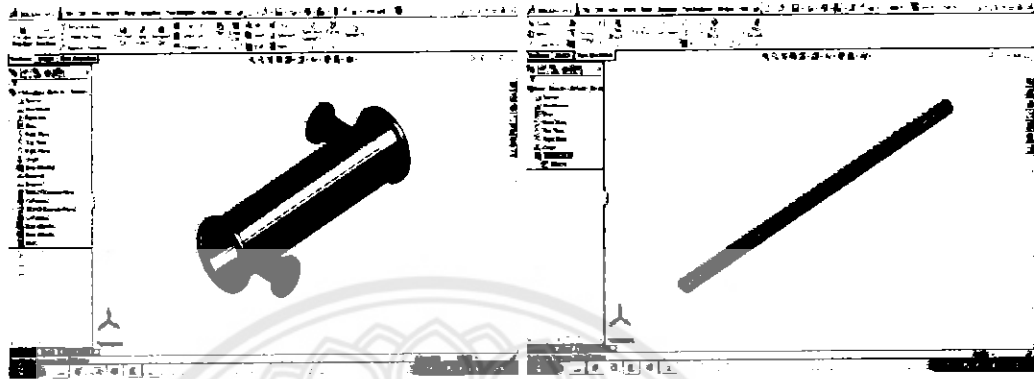


ภาคผนวก ก

วิธีการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Solidworks

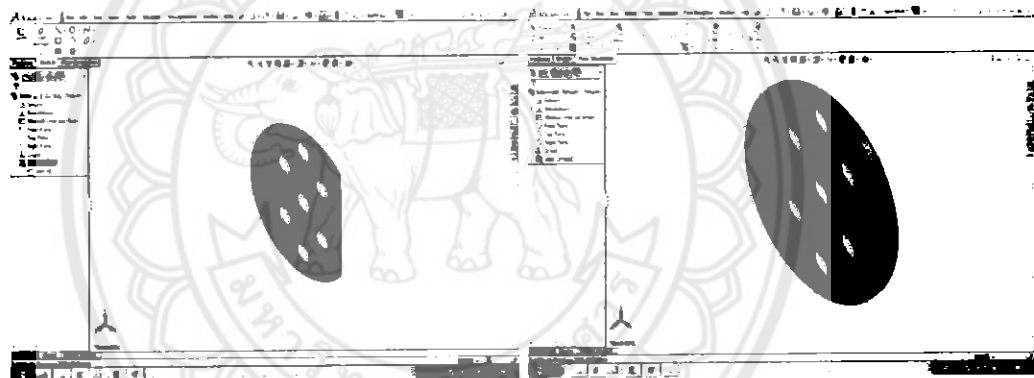
วิธีและขั้นตอนการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Solidworks

แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนหลัก 5 ชิ้นส่วนดังรูป



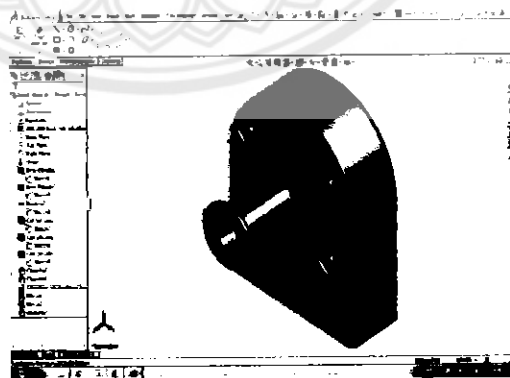
Shell

Tube



Baffle

Tube sheet



Flang

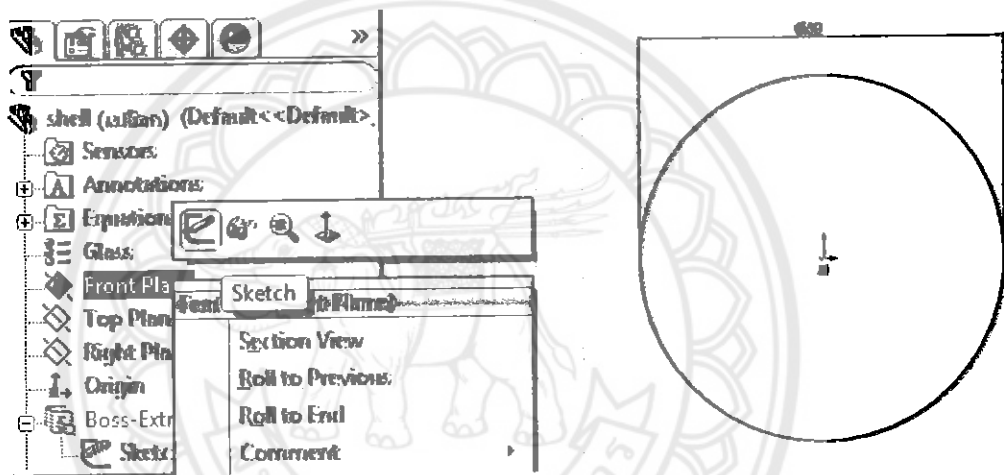
การสร้าง Shell และทางเข้าทางออกของของไหล

1. การสร้าง Shell

1.1 คลิก New  เพื่อทำการเริ่มสร้างชิ้นงาน

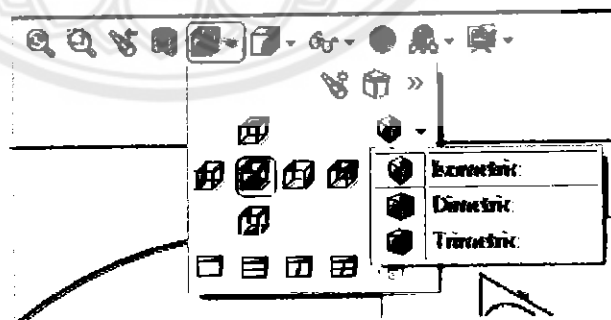
1.2 คลิกเลือก Part เพื่อสร้างแบบจำลอง 3D

1.3 คลิกขวาที่ระนาบ Front Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูถัด



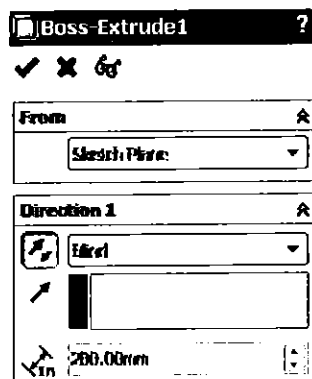
1.4 สร้างวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm

1.5 กำหนดมุมมองเป็นแบบ Isometric จากนั้นทำการ Extruded



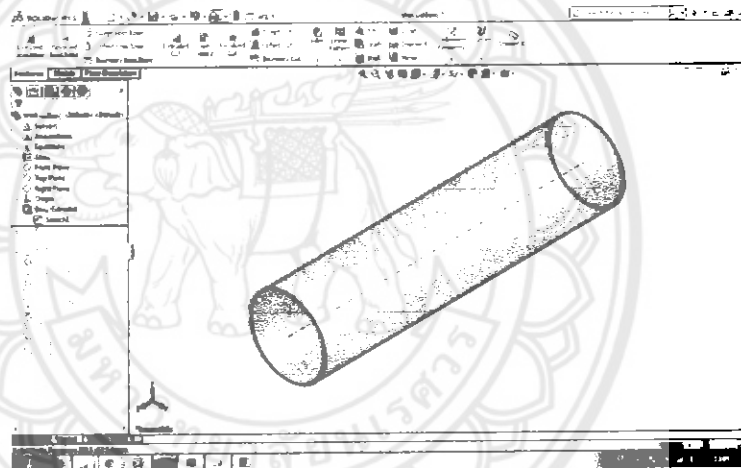
1.6 คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base 

1.6.1 กำหนด Depth (เป็นความยาวของ Shell) 200 mm



1.6.2 เลือกการ Extruded เป็นแบบ Blind

1.6.3 คลิก OK

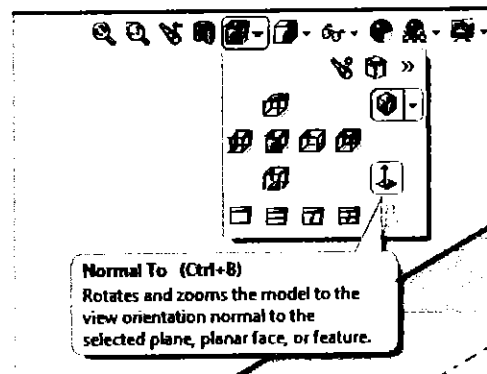


2. ทางเข้าและทางออกของของไหล

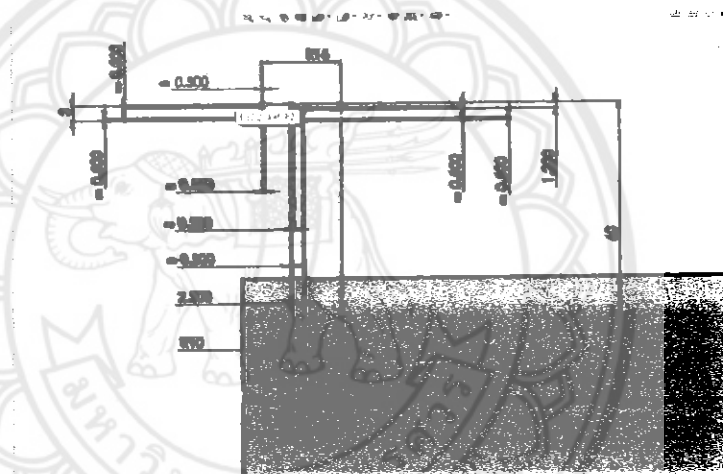
2.1 สร้างทางเข้าน้ำเย็น

2.1.1 คลิกขวาที่ระนาบ Right Plane เลือก Insert Sketch

2.1.2 คลิก View เป็นแบบ Normal Plane เพื่อให้ Right ตั้งฉากกับหน้าจอเพื่อจะทำการสร้างทางเข้าของของไหลต่อไป

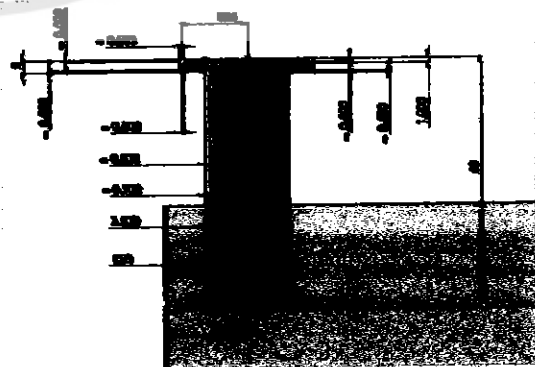
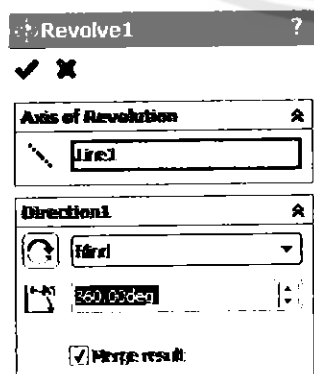


2.1.3 สร้างภาพตัดของทางเข้าน้ำเย็น โดยเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 20 mm และหนา 2.5 mm และตำแหน่งศูนย์กลางของทางออกอยู่ห่างจากขอบ 20 mm



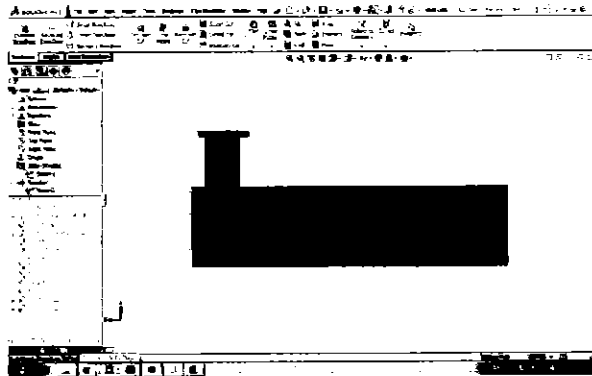
2.1.4 ใช้คำสั่ง Revolved เพื่อสร้างส่วนของทางออกน้ำร้อน

2.1.5 เลือก Axis of Revolution (เป็นแกนกลางของทางออก)



2.1.6 เลือกการ Revolution 360 องศา และคลิก

2.1.7 คลิก OK ✓

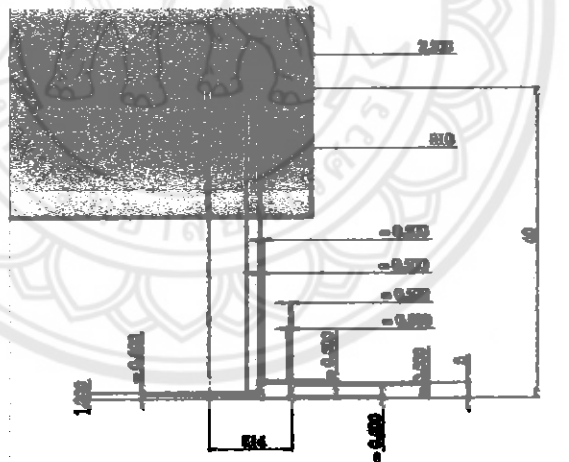



2.2 สร้างทางออกน้ำเย็น

2.2.1 คลิกขวาที่ระนาบ Right Plane เลือก Insert Sketch 

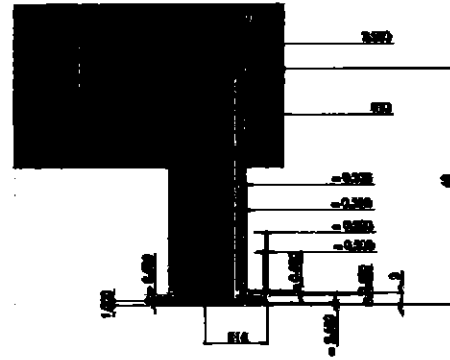
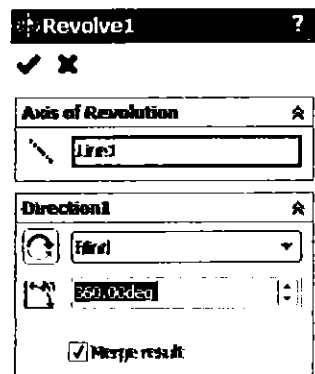
2.2.2 คลิก View เป็นแบบ Normal Plane เพื่อให้ Right ตั้งฉากกับหน้าจอเพื่อจะทำการสร้างทางเข้าของของไหลต่อไป

2.2.3 สร้างภาพตัดของทางออกน้ำเย็น โดยเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 20 mm และหนา 2.5 mm และตำแหน่งศูนย์กลางของทางออกอยู่ห่างจากขอบ 20 mm



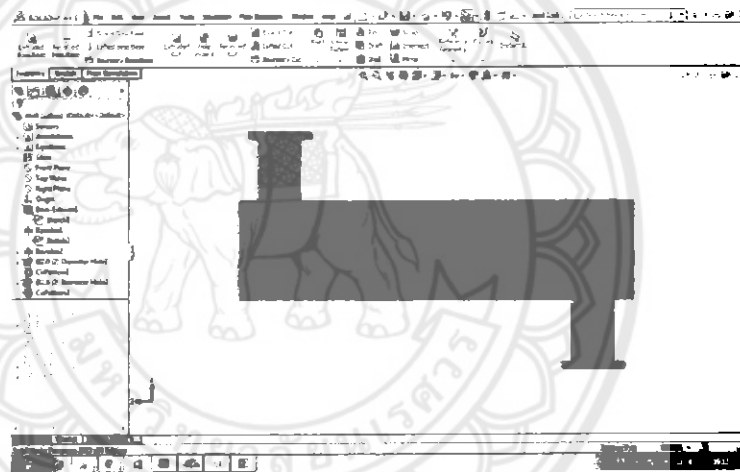
2.1.4 ใช้คำสั่ง Revolved เพื่อสร้างส่วนของทางออกน้ำร้อน 

2.1.5 เลือก Axis of Revolution (เป็นแกนกลางของทางออก)



2.1.6 เลือกการ Revolution 360° และคลิก

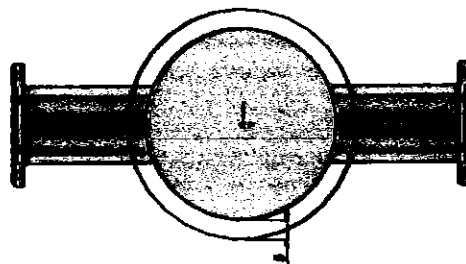
2.1.7 คลิก OK



3. สร้างขอบของ Shell

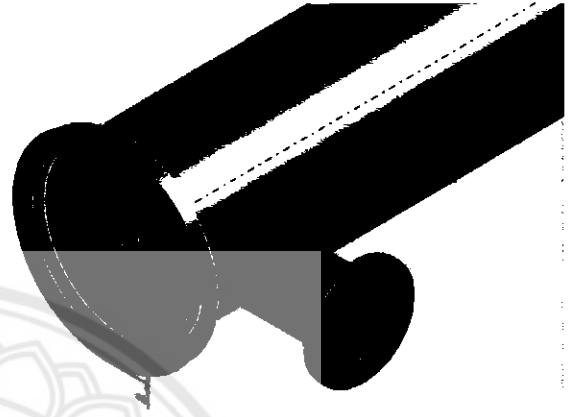
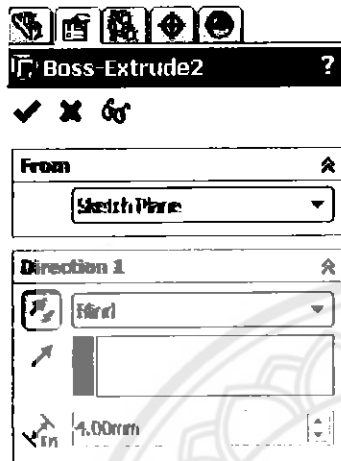
3.1 คลิกขวาที่พื้นที่หน้าตัดของ Shell เลือก Insert Sketch

3.2 สร้าง Sketch ดังรูปด้านล่าง



3.3 คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base

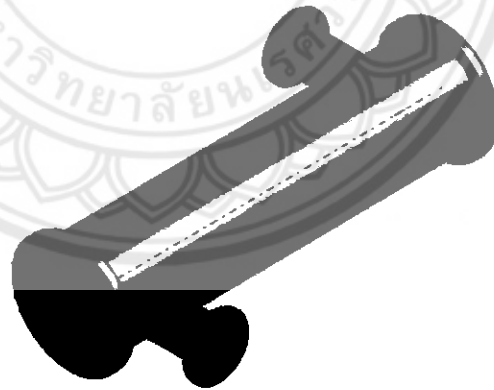
3.3.1 กำหนด Depth (เป็นความยาวของ Shell) 4 mm



3.3.2 เลือกรการ Extruded เป็นแบบ Blind

3.3.3 คลิก OK

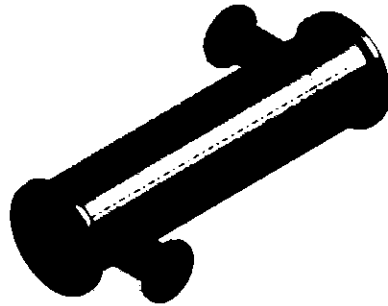
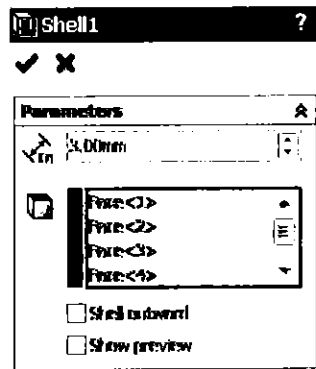
3.3.4 ทำขอบอีกด้านหนึ่งให้มีขนาดเดียวกัน



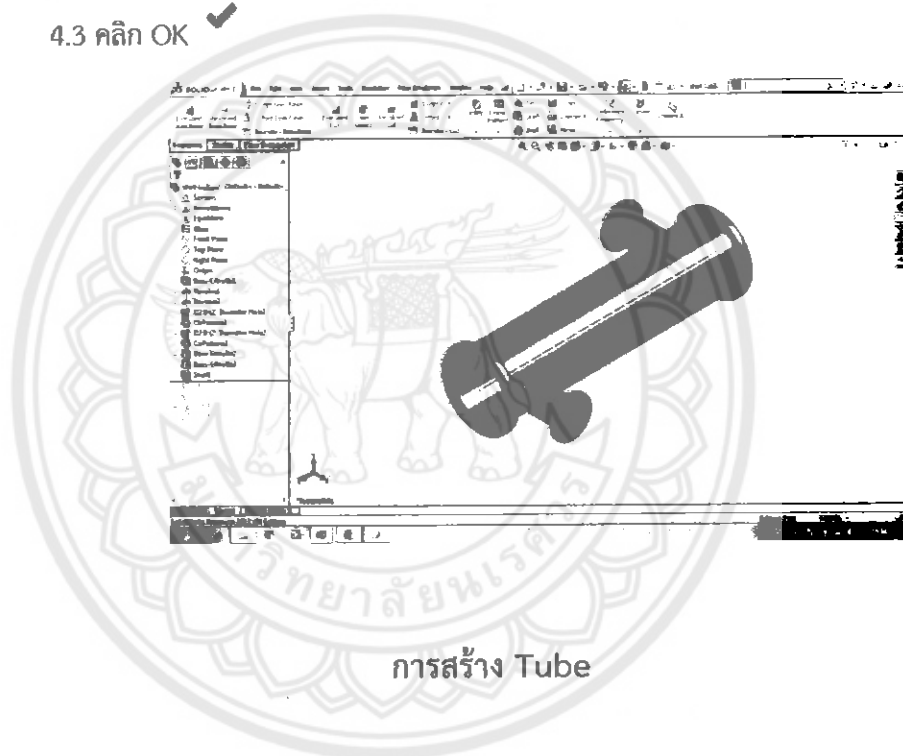
4. เจาะรูภายใน Shell

4.1 เลือกใช้คำสั่ง Shell Shell1



4.2 เลือกพื้นที่ผิวที่ต้องการให้เจาะ และกำหนดให้ความหนาของ Shell หนา 3 mm

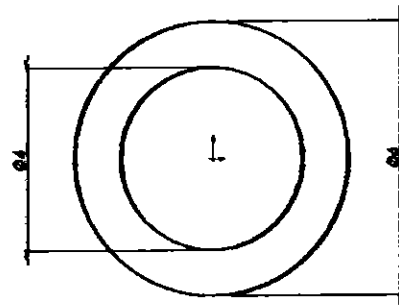
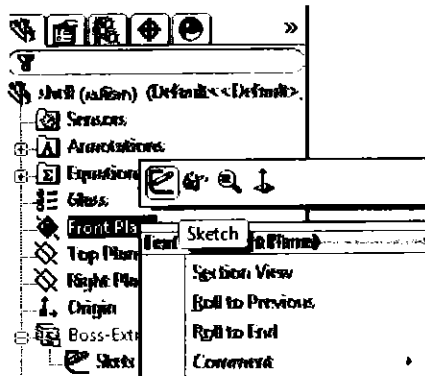


4.3 คลิก OK ✓



การสร้าง Tube

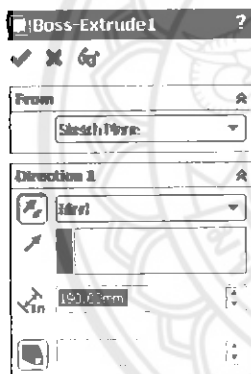
1. คลิก New  เพื่อทำการเริ่มสร้างชิ้นงาน
2. คลิกเลือก Part เพื่อสร้างแบบจำลอง 3D
3. คลิกขวาที่ระนาบ Front Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูลัด



4. สร้าง sketch ของพื้นที่หน้าตัดของท่อ โดยเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 mm

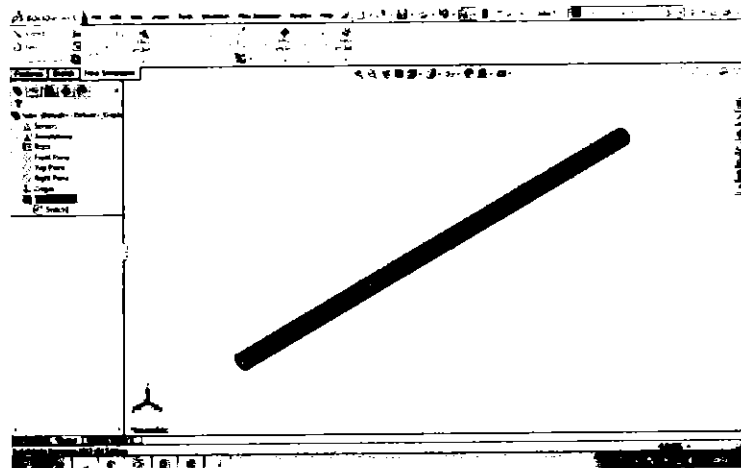
5. คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base

5.1 กำหนด Depth (เป็นความยาวของ Shell) 190 mm








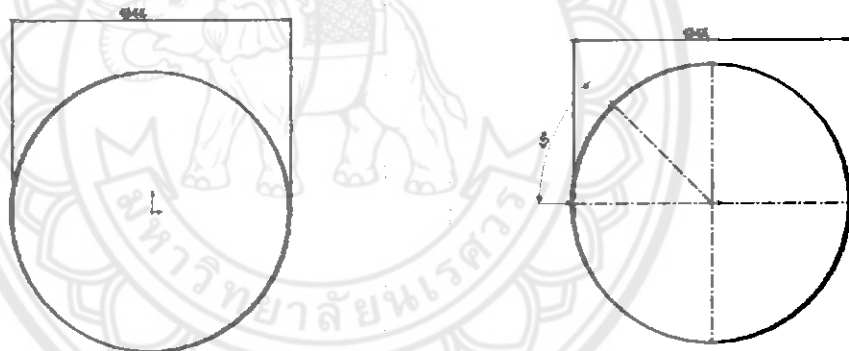
5.2 เลือกการ Extruded เป็นแบบ Blind


5.3 คลิก OK

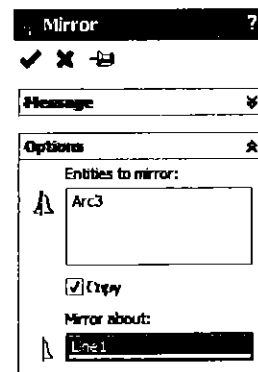
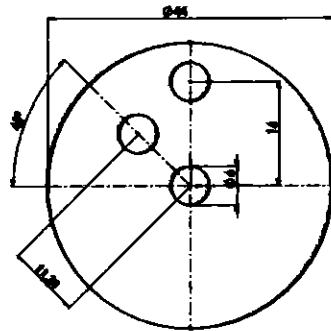


วิธีการสร้าง Baffle


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

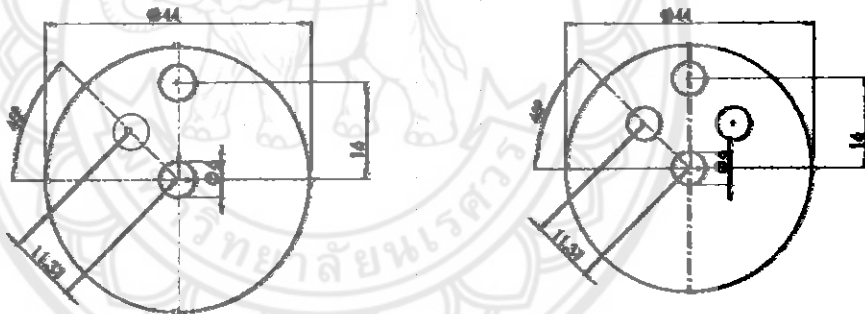



6. คลิก สร้างวงกลมที่จุด Origin โดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm
7. สร้างวงกลมบนเส้นอ้างอิง 45 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm และอยู่ห่างจากจุด Origin เท่ากับ 11.314 mm

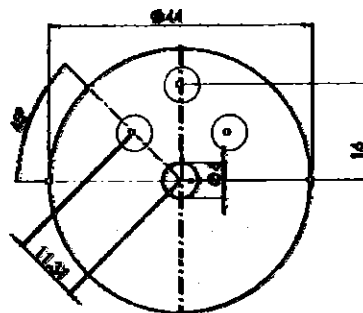
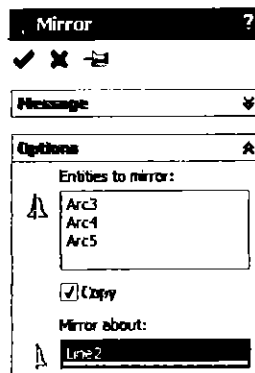


8. สร้างวงกลมบนเส้นอ้างอิงแกน Y โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm และอยู่ห่างจากจุด Origin เท่ากับ 16 mm จะได้ดังรูป

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

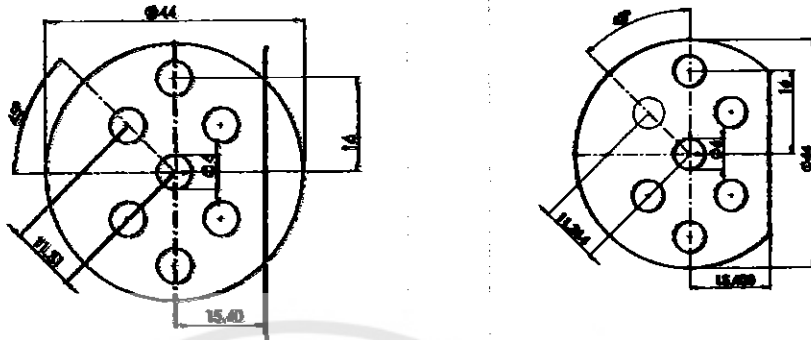


10. คลิก Mirror Entities  โดยในช่อง Entities to mirror ให้คลิกเลือกวงกลมที่จะสร้างใหม่ และในช่อง Mirror about ให้คลิกเลือกเส้นอ้างอิงที่จะทำการ Mirror

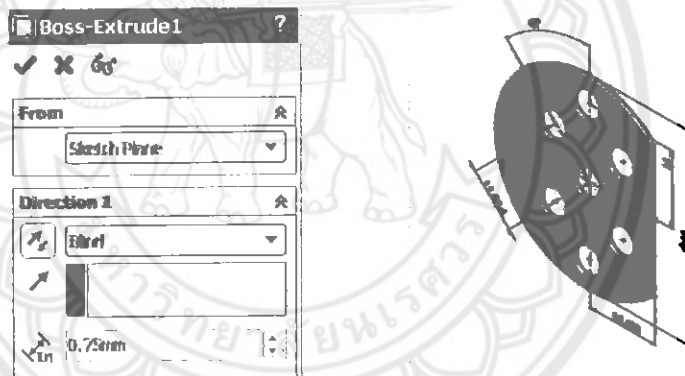


11. ทำการสร้างเส้นตัด (ตัด 15%) ขนานกับเส้นอ้างอิงแกนตั้งห่างกัน 15.4 mm

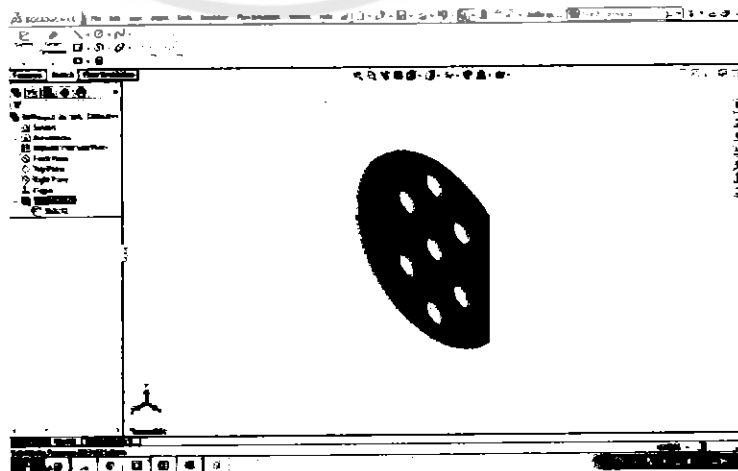
12. ใช้คำสั่ง Trim Entities  เลือก Power Trim  คลิกลบเส้นที่ไม่ต้องการออก








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

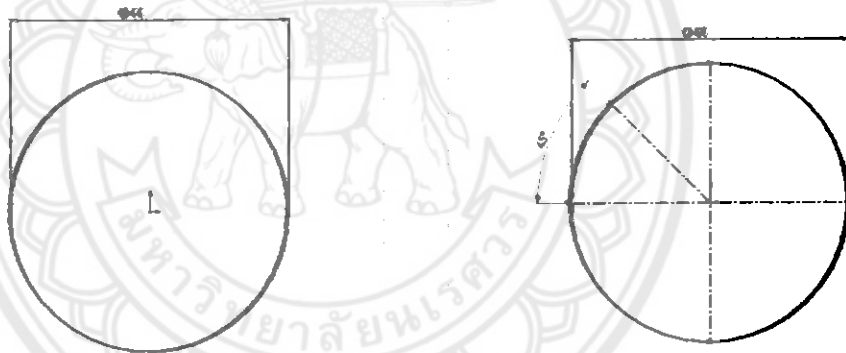



14. คลิก OK 

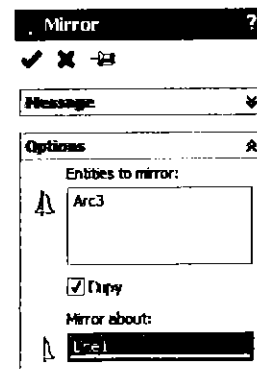
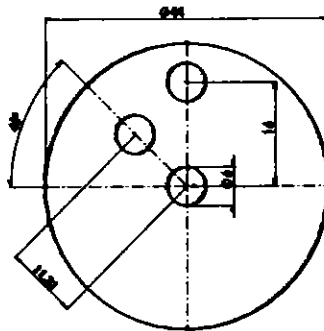


การสร้าง Tube sheet


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

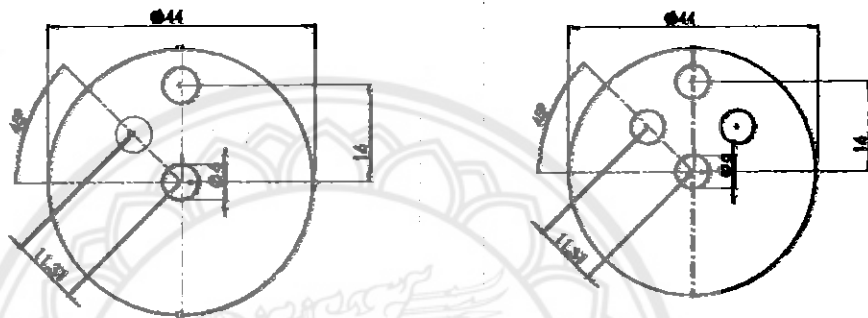



6. คลิก สร้างวงกลมที่จุด Origin โดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm
7. สร้างวงกลมบนเส้นอ้างอิง 45° โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm และอยู่ห่างจากจุด Origin เท่ากับ 11.314 mm

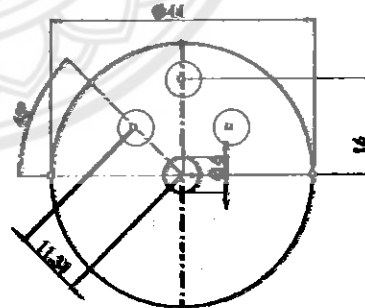
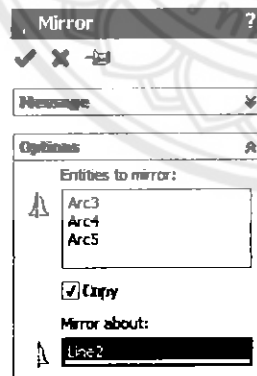



8. สร้างวงกลมบนเส้นอ้างอิงแกน Y โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm และอยู่ห่างจากจุด Origin เท่ากับ 16 mm จะได้ดังรูป

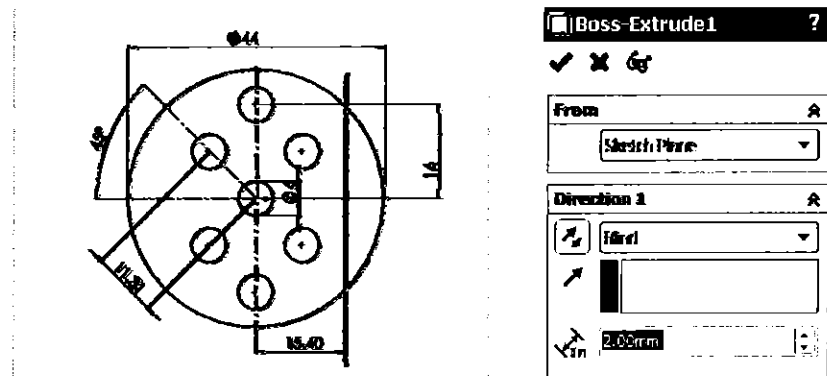
9. คลิก Mirror Entities  โดยในช่อง Entities to mirror ให้คลิกเลือกวงกลมที่จะสร้างใหม่ และในช่อง Mirror about ให้คลิกเลือกเส้นอ้างอิงที่จะทำการ Mirror



10. คลิก Mirror Entities  โดยในช่อง Entities to mirror ให้คลิกเลือกวงกลมที่จะสร้างใหม่และในช่อง Mirror about ให้คลิกเลือกเส้นอ้างอิงที่จะทำการ Mirror






11. คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base  กำหนด Depth (เป็นความหนาของ Tube sheet) โดยกำหนดความหนา 2.00 mm คลิกเลือก Blind

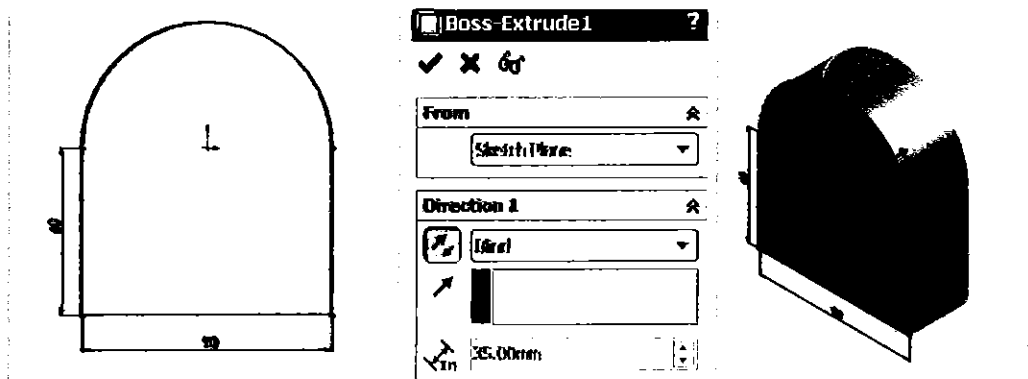


12. คลิก OK ✓



การสร้าง Flang

1. คลิก New  เพื่อทำการเริ่มสร้างชิ้นงาน
2. คลิกเลือก Part เพื่อสร้างแบบจำลอง 3D
3. คลิกขวาที่ระนาบ Front Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูลัด
4. สร้าง Sketch ดังรูปด้านล่าง
5. คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base  กำหนด Depth โดยกำหนดความหนา 35.00 mm คลิกเลือก Blind




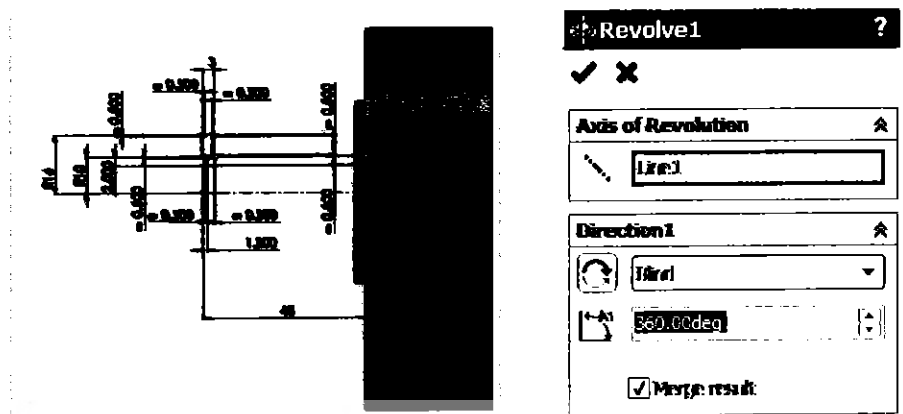
6. คลิกขวาที่ Plan ของวัตถุ แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูลัด จากนั้นสร้าง Sketch ดังรูป

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



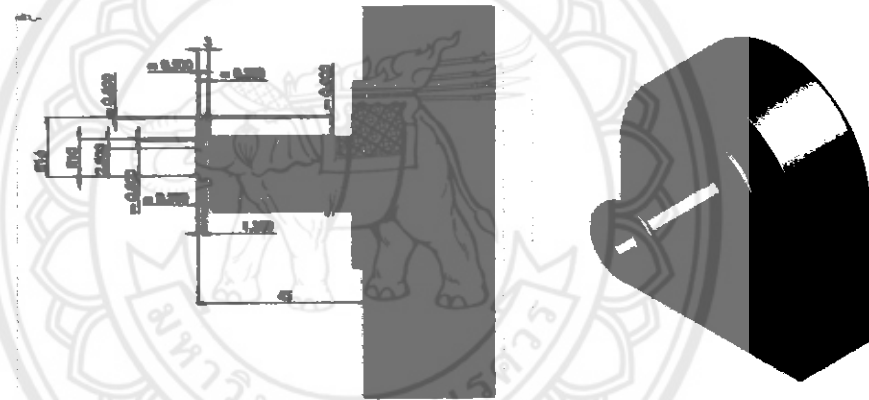
8. คลิก OK 

9. สร้าง Sketch เพื่อสร้างทางออกของของไหล คลิกขวาที่ระนาบ Right Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูลัด จากนั้นสร้าง Sketch . โดยเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 20 mm และหนา 2.5 mm และตำแหน่งศูนย์กลางของทางออกใช้จุดศูนย์กลางร่วมกับส่วนโค้งที่นูนออกมา ดังรูปด้านล่าง



9.1 ใช้คำสั่ง Revolved เพื่อสร้างส่วนของทางออกนํ้าร้อน

9.2 เลือก Axis of Revolution (เป็นแกนกลางของทางออก)

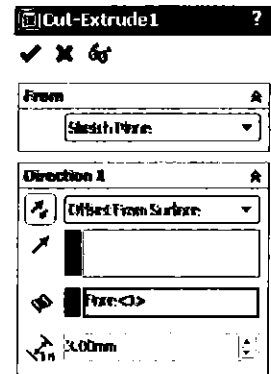
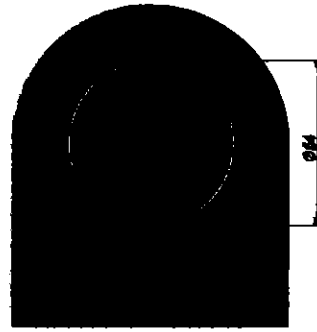


9.3 เลือกการ Revolution 360° และคลิก

9.4 คลิก OK


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

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

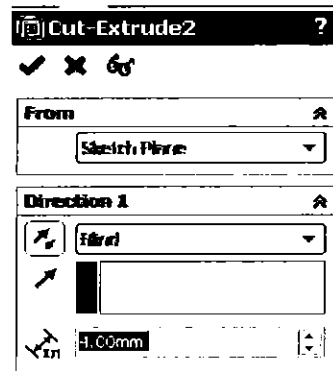
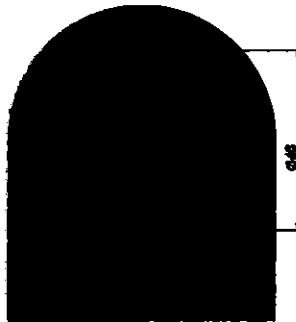


12. คลิก OK ✓

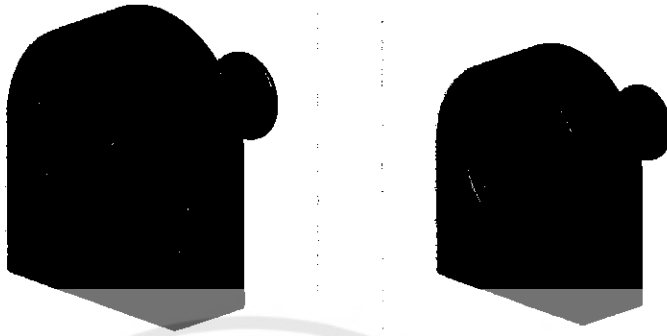



13. สร้างขอบของ Flang เพื่อใช้ในการประกอบกับ Shell โดยคลิกขวาที่ Plan ของวัตถุ (ด้านหลังของ Flang) แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูแล้ว จากนั้นสร้าง Sketch กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60.00 mm แสดงดังรูปด้านล่าง

14.คลิก Features เลือก Extruded Cut  เลือก Depth โดยกำหนดความหนา 4.00 mm คลิกเลือก Blind

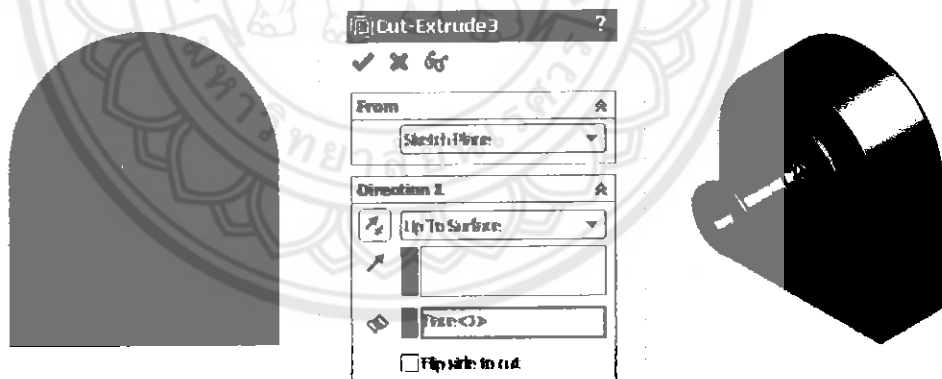


15. คลิก OK ✓

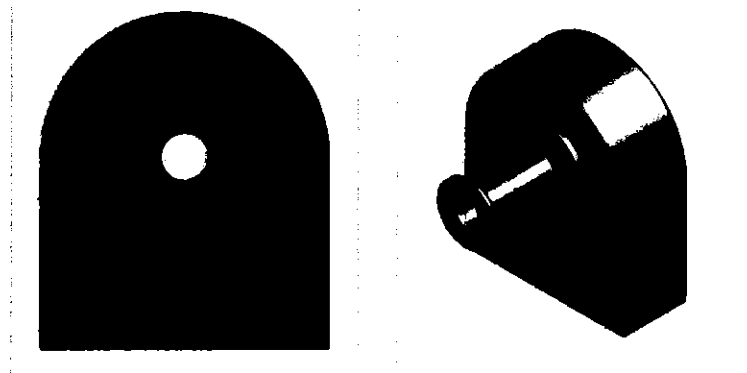


16. เจาะรูทางออกของของไหล โดยคลิกขวาที่ Plan ของวัตถุ (ด้านในของ Flang) แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูถัด จากนั้นสร้าง Sketch กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางออกของไหลที่เคยสร้าง แสดงดังรูปด้านล่าง

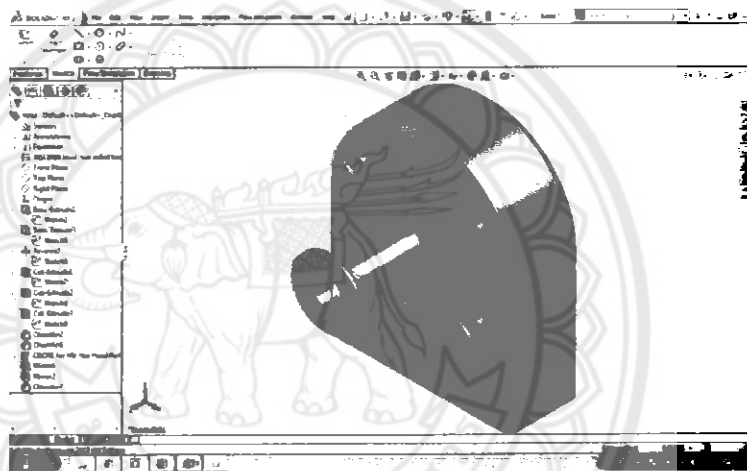
17. คลิก Features เลือก Extruded Cut  เลือก Depth โดยกำหนดความหนา 3.00 mm คลิกเลือก Up To Surface แล้วเลือกผิวอีกด้านของ Flang (ด้านใน)



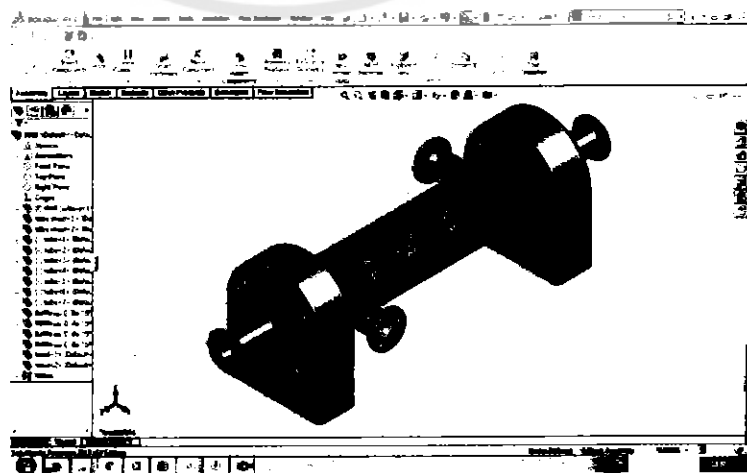
18. คลิก OK ✓



19. ลบเหลี่ยมด้วย Chamfer



สร้างแบบจำลองโดยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน





ภาคผนวก ข

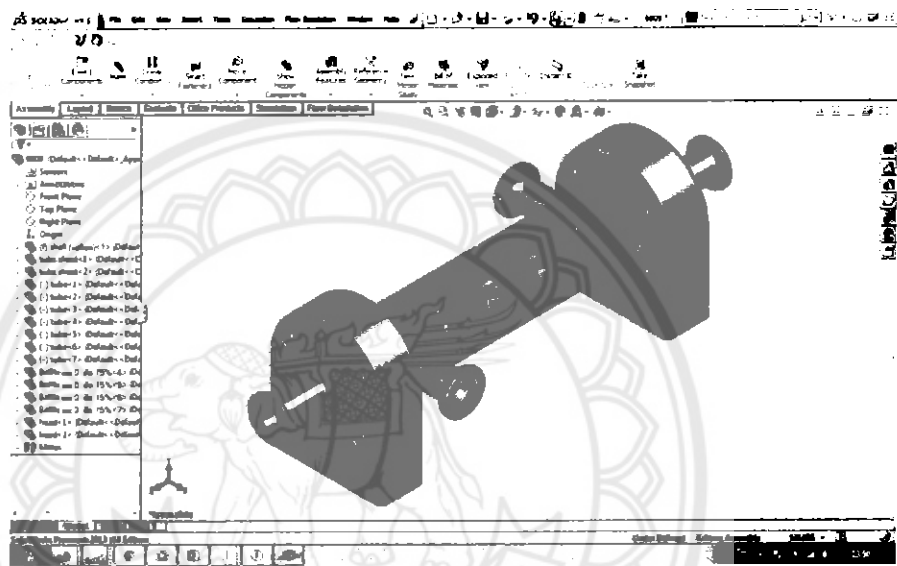
วิธีการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิธีการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

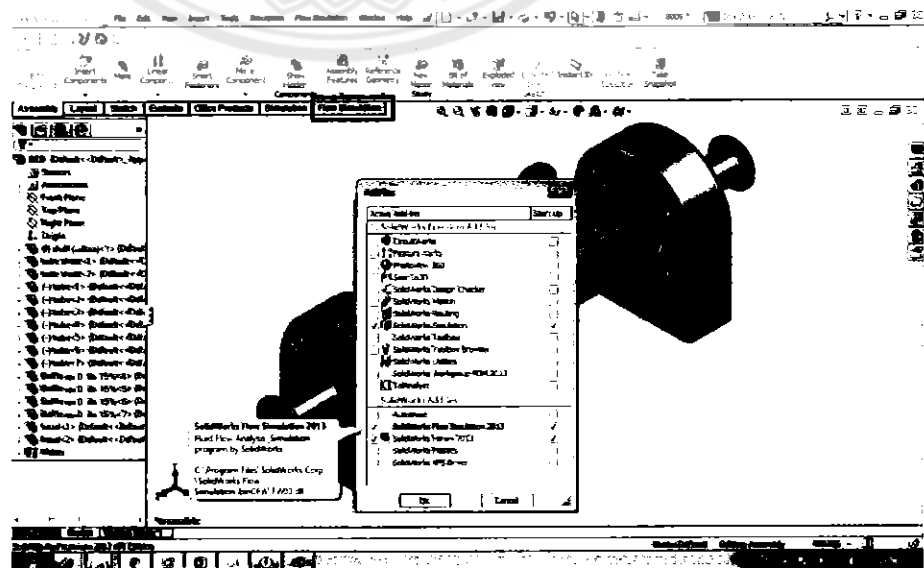
1. เตรียมแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1.1 เปิดไฟล์แบบจำลองขึ้นมา



1.2 คลิกที่ลูกศรทางด้านขวา  หลังจากนั้นคลิก

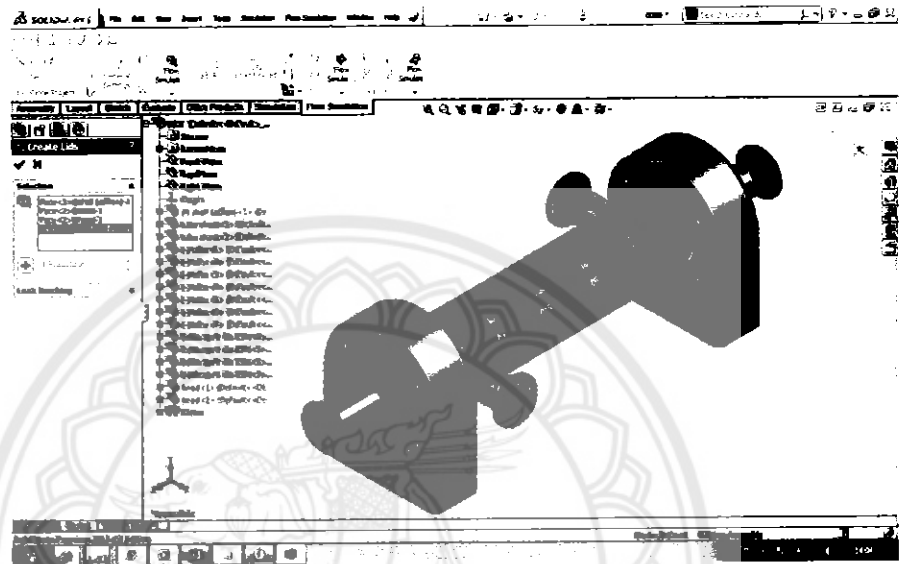
1.3 จะขึ้น Tools Bar ชื่อ Add-ins ให้ติ๊กถูกด้านหน้าและด้านหลังของ SolidWorks Flow Simulation 2013



2. สร้าง Lids ที่ทางเข้าและทางออกของของไหล

2.1 คลิก Create lids เพื่อสร้าง lids ให้ปิดทางเข้าและทางออกของของไหลทั้งหมด

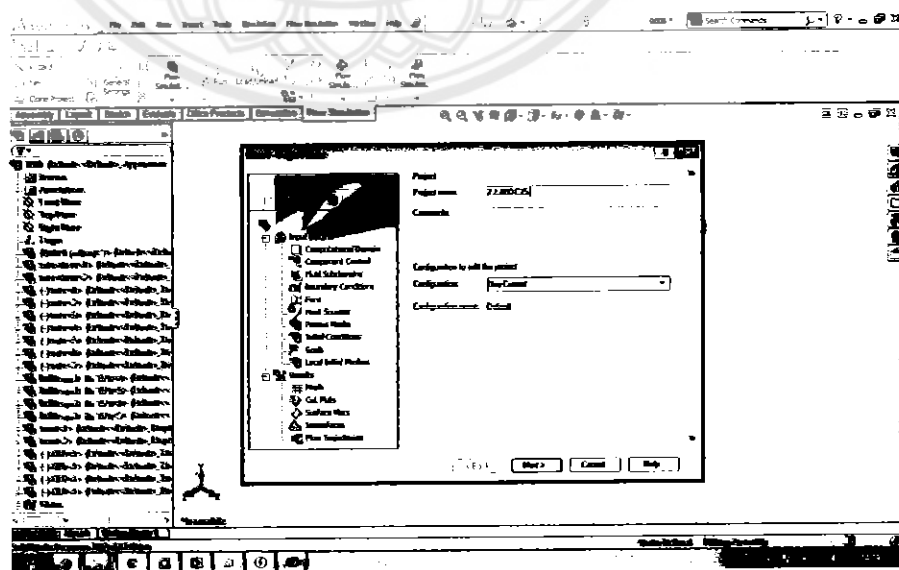
2.2 คลิกที่หน้าต่างของทางเข้าและทางออกทั้งหมดหลังจากนั้นให้คลิก OK



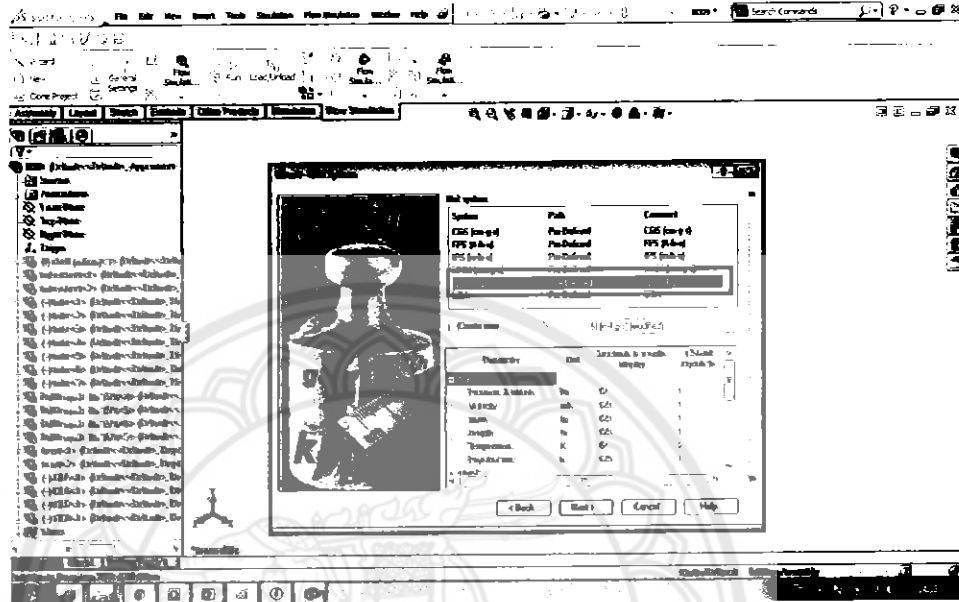
3. กำหนดคุณสมบัติของของไหลในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1 คลิก Wizard

3.2 จะมีหน้าต่าง Project Name หน้าต่างนี้จะให้เราตั้งชื่อ Project ที่เราทำงาน (ในกรณีนี้จะตั้งชื่อเป็น 2.2 A00-C15 หมายถึงที่อัตราการไหล 2.2 มุมเอียง 0° และ ตัด 15%)

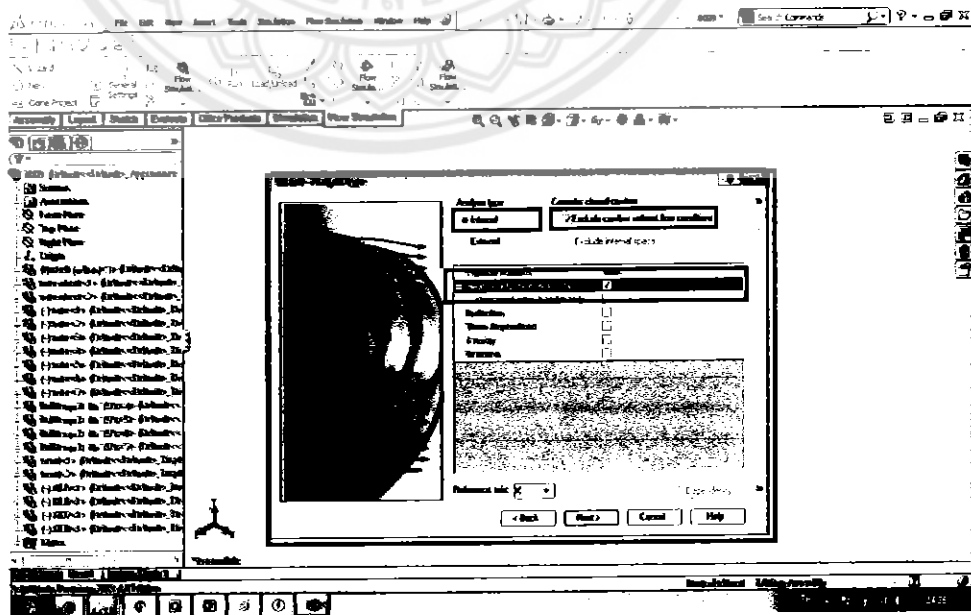


3.3 คลิก Next จะเห็นหน้าต่างชื่อ Unit System เป็นหน้าต่างให้เราตั้งค่าระบบหน่วยที่ใช้ในการวิเคราะห์ (การวิเคราะห์ครั้งนี้ใช้ระบบหน่วย SI)



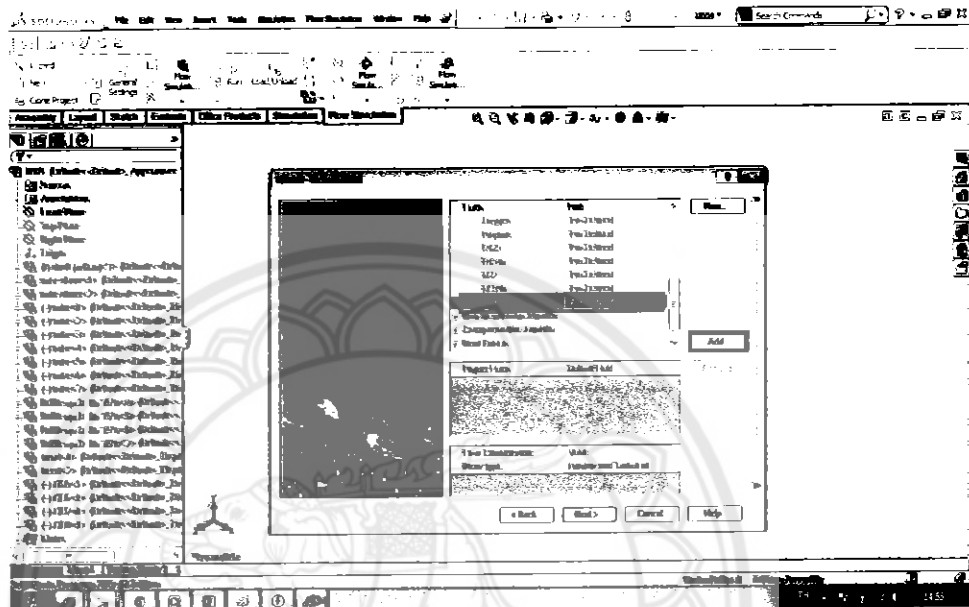
3.4 คลิก Next จะเห็นหน้าต่างชื่อ Analysis Type เป็นหน้าต่างที่เรากำหนดรูปแบบการไหลและการคำนวณ

3.5 ให้เลือกรูปแบบการไหลเป็นแบบไหลภายใน (Internal) และการคำนวณให้เลือก Heat conduction in solids โดยติ๊กเครื่องหมายถูกที่ช่องด้านหลังของแถบชื่อ ดังรูปด้านล่างนี้

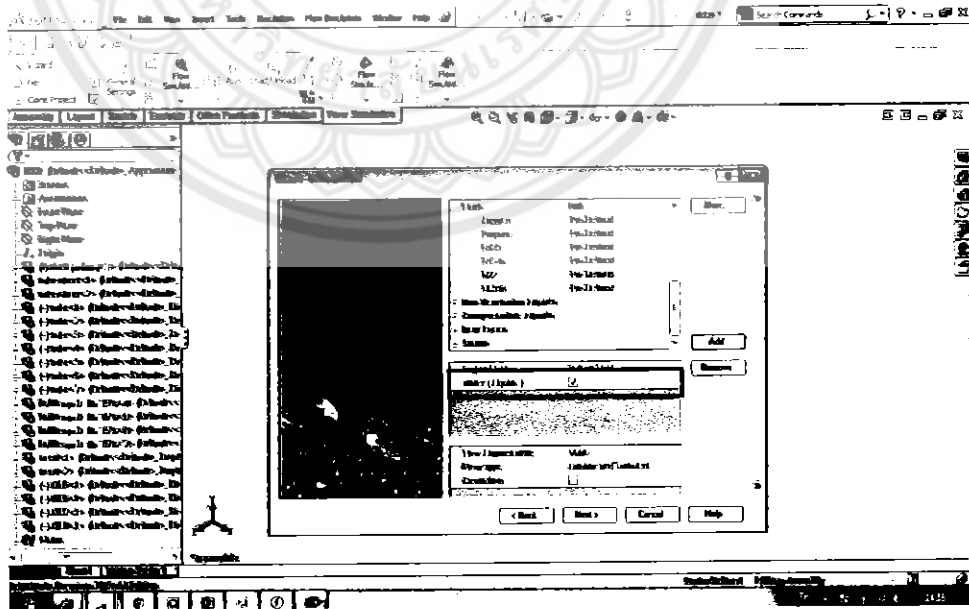


3.6 คลิก Next จะเห็นหน้าต่างชื่อ Default Fluid เป็นหน้าต่างที่ให้กำหนดชนิดของไหล (ในกรณีศึกษาใช้น้ำเป็นของไหลทำงาน)

3.6.1 คลิกเครื่องหมายบวก (+) ด้านหน้า Liquid



3.6.2 คลิก water หลังจากนั้นคลิก Add

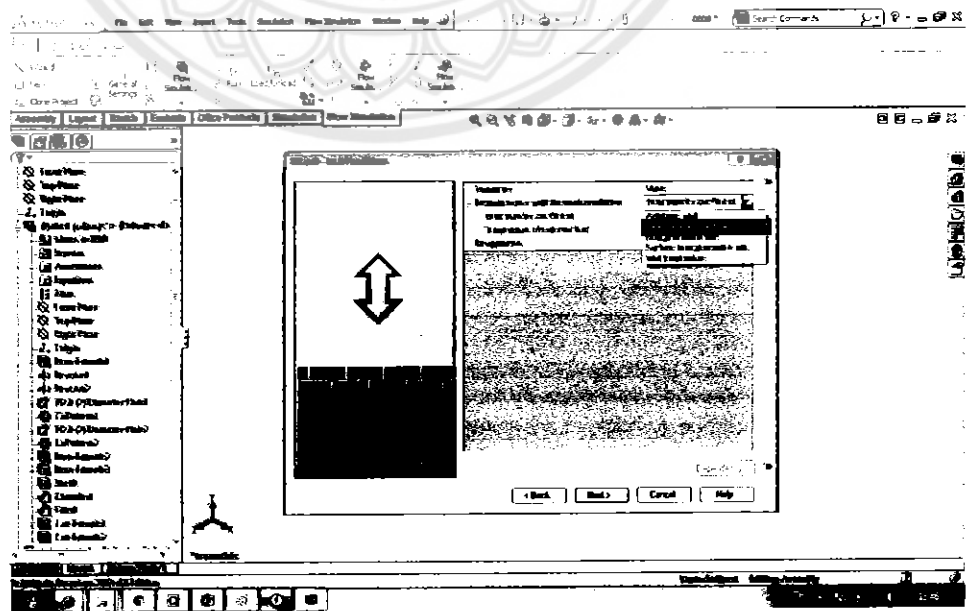


3.7 คลิก Next จะเห็นหน้าต่าง Default Solid เป็นหน้าต่างที่กำหนด Material ของโมเดล (กรณีศึกษาใช้ Steel Stainless 321)

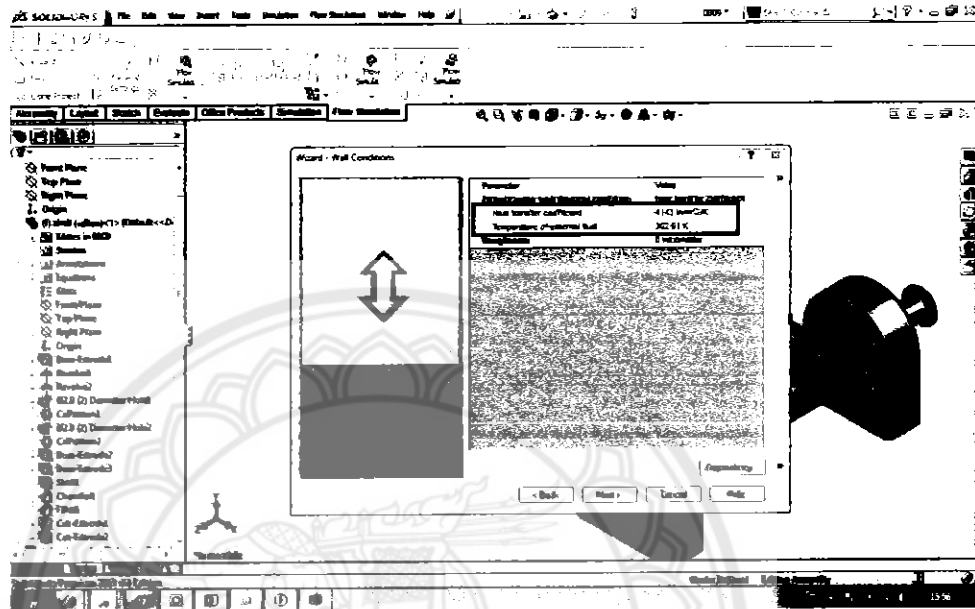


3.8 คลิก Next จะเห็นหน้าต่างชื่อ Wall condition เป็นหน้าต่างที่กำหนดรูปแบบของการถ่ายเทความร้อนของผนัง

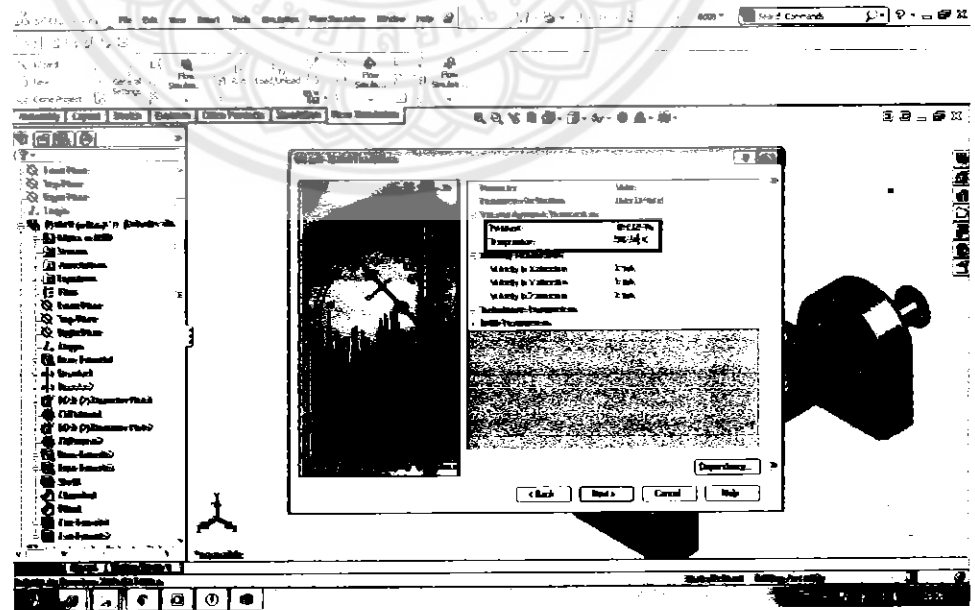
3.8.1 คลิกเลือกลูกศรลง แล้วเลือกให้ผนังถ่ายเทความร้อนแบบ Heat Transfer coefficient



3.8.2 กำหนดค่า Heat transfer coefficient เท่ากับ $4,143 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
และ Temperature of external fluid 302.91 K



3.9 คลิก Next จะเห็นหน้าต่างชื่อ Initial Conditions หน้าต่างนี้จะให้เรากำหนดความดันและ อุณหภูมิของน้ำเย็น (กรณีศึกษากำหนดให้ Pressure เท่ากับ 101325 Pa และ Temperature เท่ากับ 302.91 K)



3.10 คลิก Next จะเห็นหน้าต่าง Results and Geometry Resolution




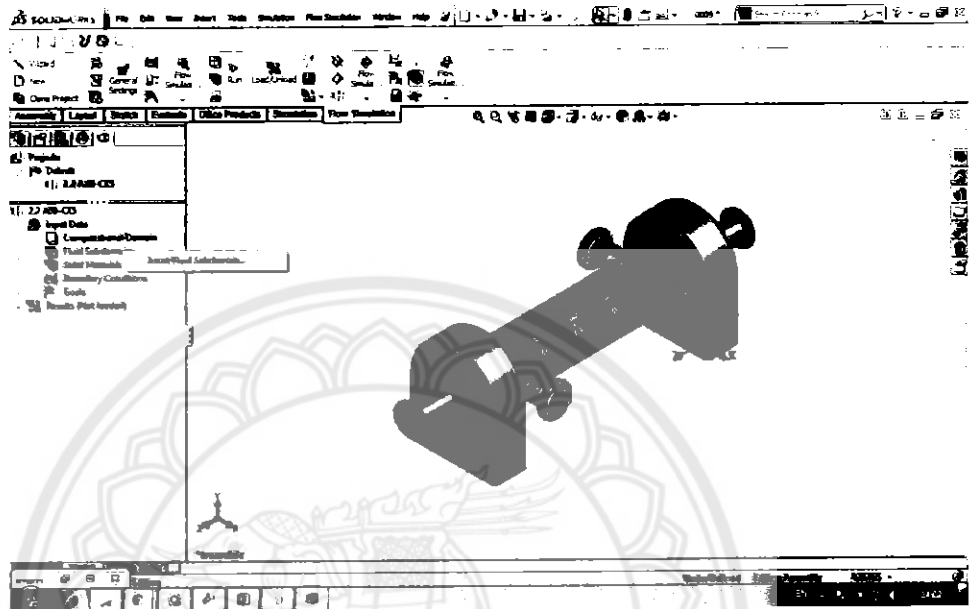
3.11 คลิก Finish

4. กำหนดค่าอัตราการไหล และอุณหภูมิของแบบจำลอง

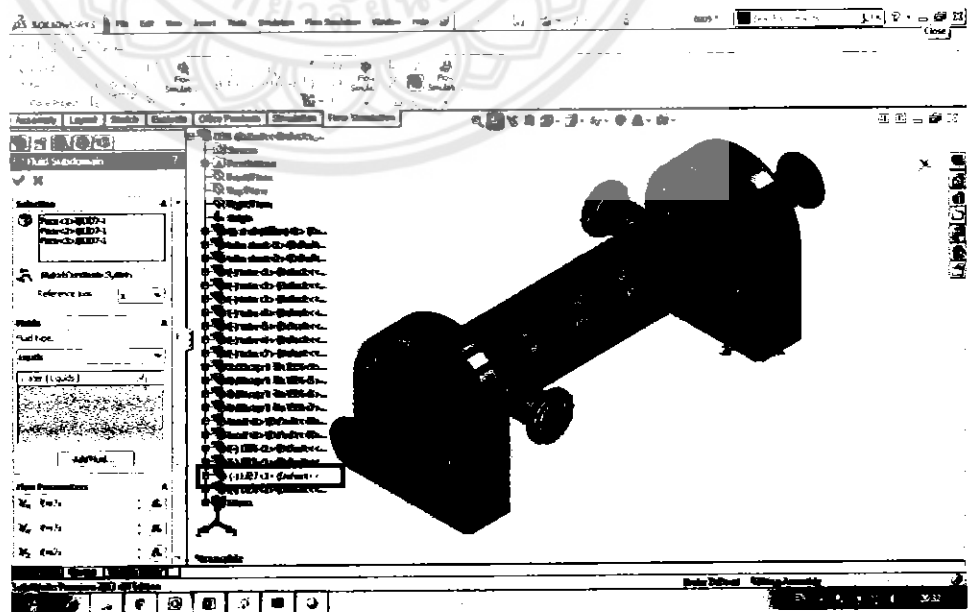
4.1 คลิกขวาที่ Computational Domain หลังจากนั้นคลิกซ้ายที่ Hide ดังรูป




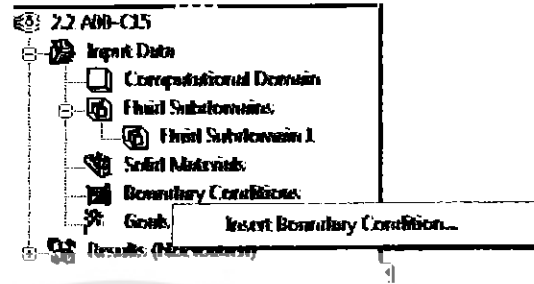
4.2 คลิกขวาที่  Fluid Subdomains หลังจากนั้นคลิกซ้ายที่ Insert Fluid Subdomain ดังรูป



4.3 คลิกด้านในของ Lids กระจกน้ำร้อนทางเข้า และกำหนดอุณหภูมิของทางเข้ากระจกน้ำร้อน 350.68 K ดังรูป แล้วคลิก ✓



4.4 คลิกขวาที่  **Boundary Conditions** หลังจากนั้นก็คลิกซ้ายที่ Insert Boundary Condition (เพื่อกำหนดคุณสมบัติทางเข้าของของไหลเย็น) ดังรูป

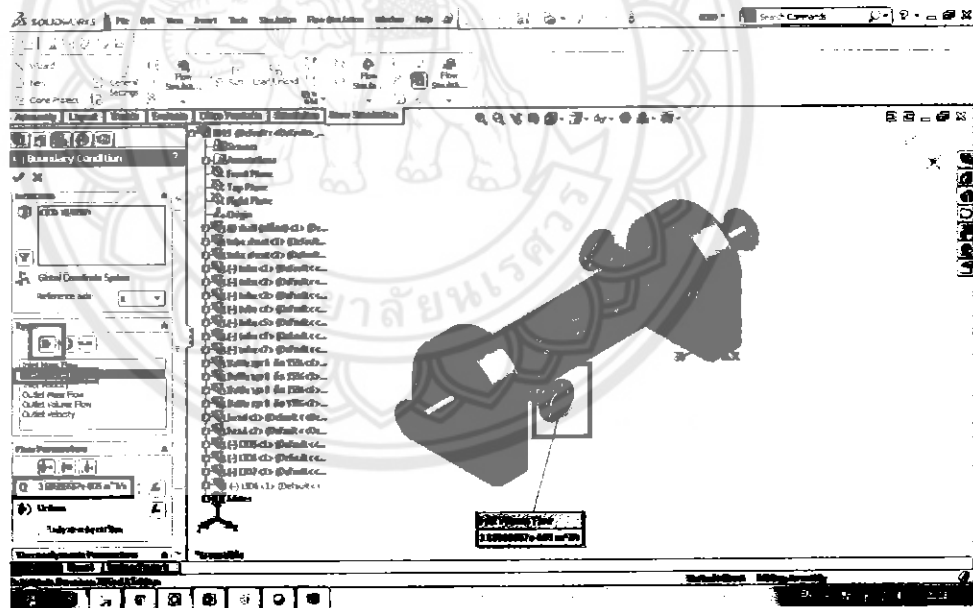



4.4.1 คลิกที่ lids ทางเข้าน้ำเย็น

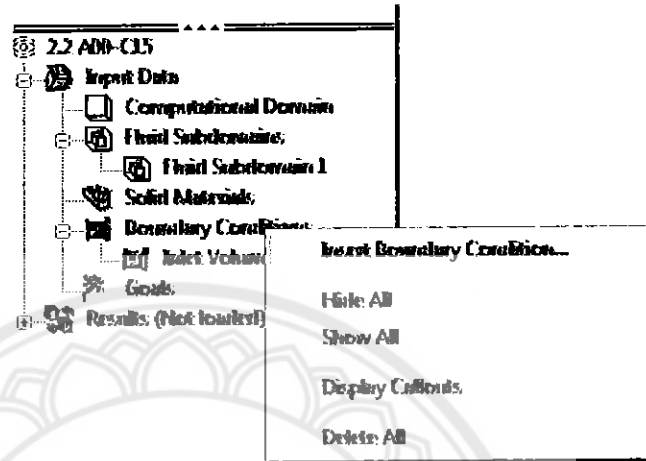
4.4.2 คลิกที่  หลังจากนั้นคลิก Inlet Volume Flow

4.4.3 ใส่อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำเย็นขาเข้าเท่ากับ $3.73 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$

4.4.4 ใส่อุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้าเท่ากับ 302.91 K หลังจากนั้นคลิก ✓



4.5 คลิกขวาที่  **Boundary Conditions:** หลังจากนั้นก็คลิกซ้ายที่ Insert Boundary Condition (เพื่อกำหนดคุณสมบัติทางออกของของไหลเย็น) ดังรูป

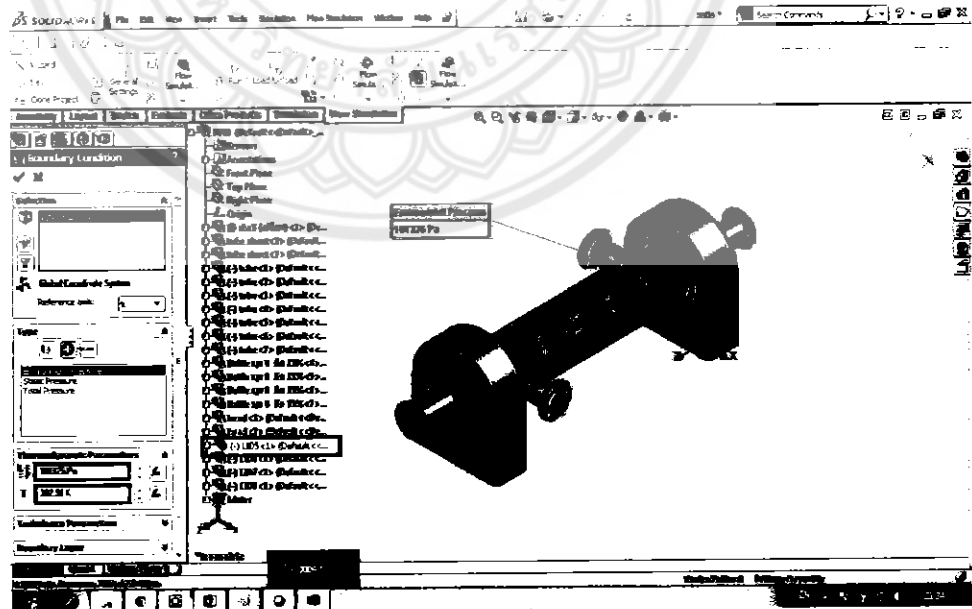



4.5.1 คลิกที่ lids ทางออกน้ำเย็น

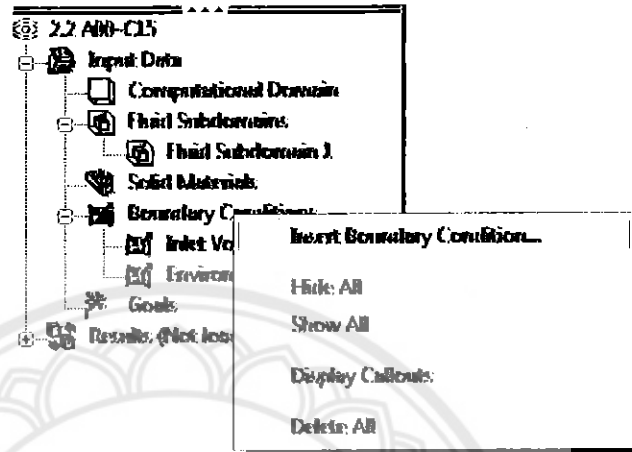
4.5.2 คลิกที่  หลังจากนั้นคลิก Inlet Volume Flow

4.5.3 กำหนดความดันของน้ำเย็นขาออกเท่ากับ 10325 Pa

4.5.4 ใส่อุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกเท่ากับ 302.91 K หลังจากนั้นคลิก ✓



4.6 คลิกขวาที่  **Boundary Conditions** หลังจากนั้นก็คลิกซ้ายที่ **Insert Boundary Condition** (เพื่อกำหนดคุณสมบัติทางเข้าของของไหลร้อน) ดังรูป

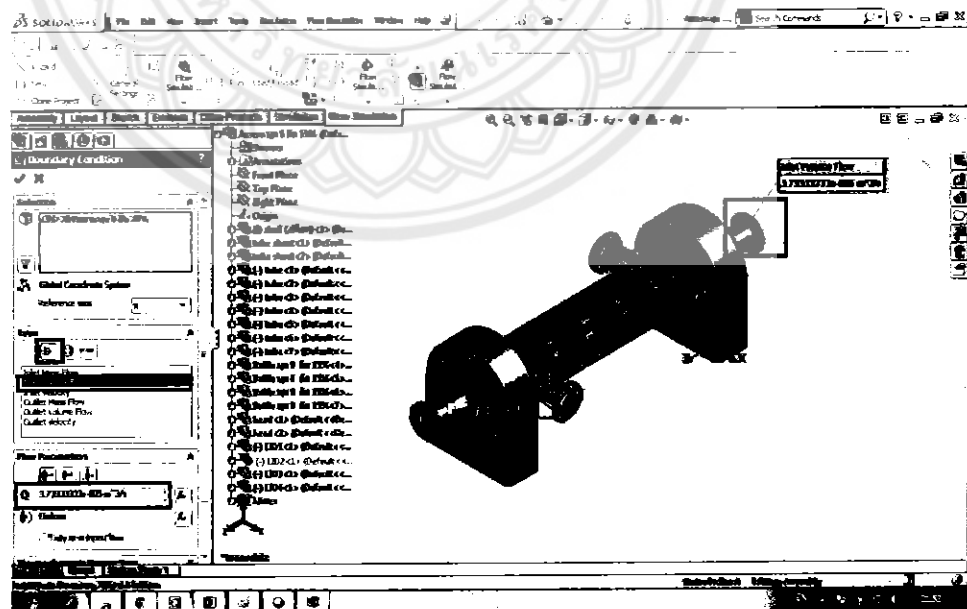



4.6.1 คลิกที่ lids ทางเข้าน้ำเย็น

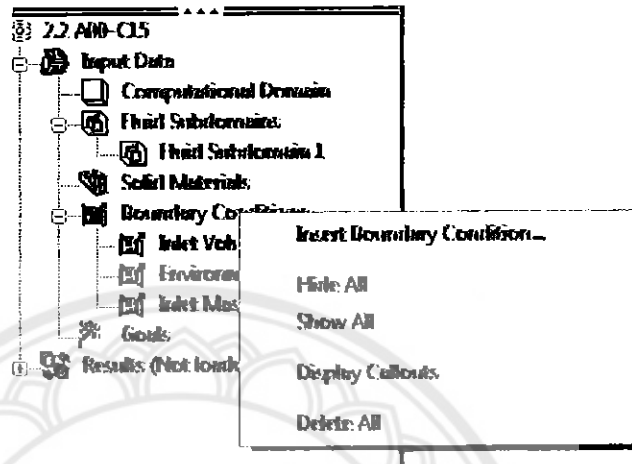
4.6.2 คลิกที่  หลังจากนั้นคลิก Inlet Volume Flow

4.6.3 ใส่อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำเย็นเข้าเท่ากับ $3.73 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$

4.6.4 ใส่อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้าเท่ากับ 305.78 K หลังจากนั้นคลิก 



4.7 คลิกขวาที่  **Boundary Conditions**: หลังจากนั้นก็คลิกซ้ายที่ **Insert Boundary Condition** (เพื่อกำหนดคุณสมบัติทางออกของของไหลร้อน) ดังรูป

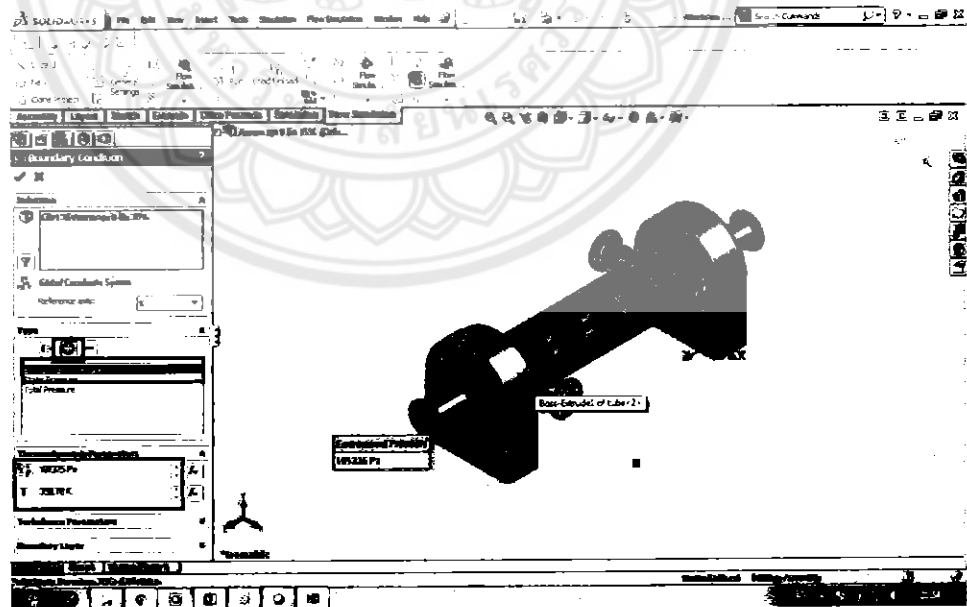



4.7.1 คลิกที่  lids ทางออกน้ำเย็น

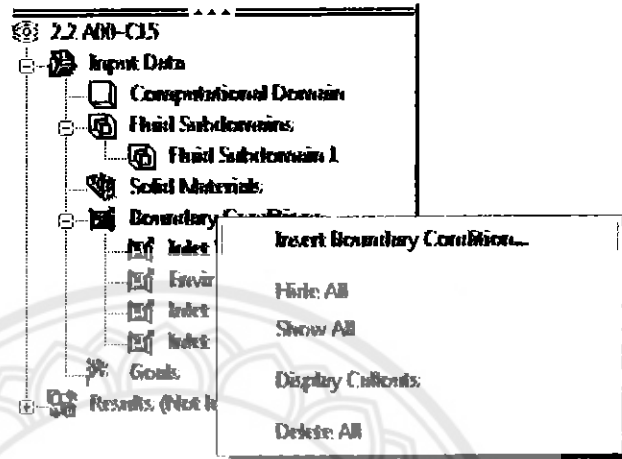
4.7.2 คลิกที่  หลังจากนั้นคลิก Environment Pressure

4.7.3 กำหนดความดันของน้ำเย็นขาออกเท่ากับ 10325 Pa

4.7.4 ใส่อุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกเท่ากับ 350.87 K หลังจากนั้นคลิก 



4.8 คลิกขวาที่  **Boundary Conditions** หลังจากนั้นก็คลิกซ้ายที่ **Insert Boundary Condition** (เพื่อกำหนดคุณสมบัติของ shell) ดังรูป

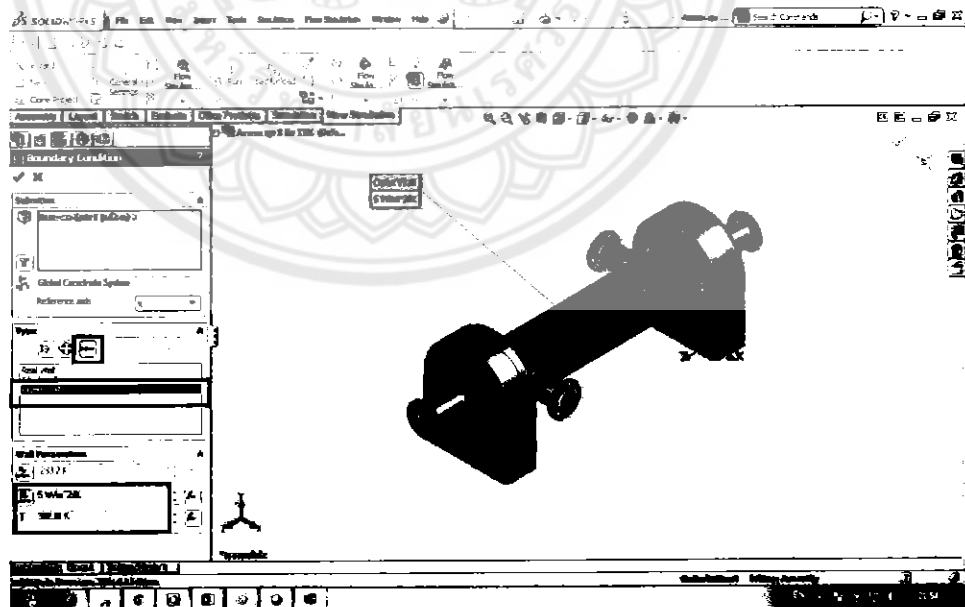


4.8.1 คลิกที่ผิว shell


4.8.2 คลิกที่  หลังจากนั้นคลิก Outer wall

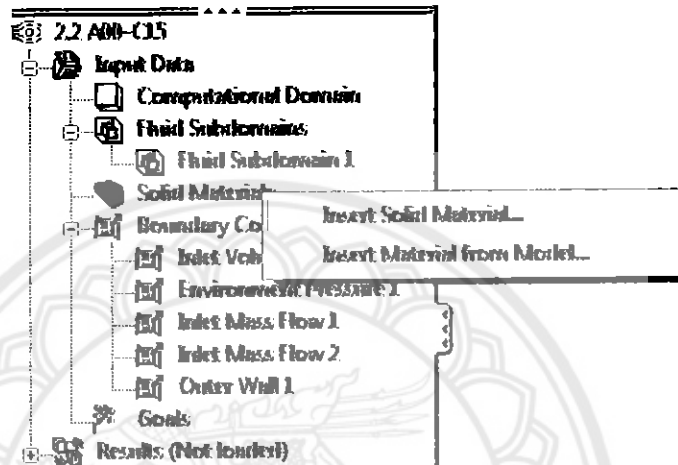
4.8.3 กำหนดความดันของน้ำเย็นขาออกเท่ากับ 10325 Pa

4.8.4 ใส่อุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกเท่ากับ 350.87 K หลังจากนั้นคลิก ✓



5. กำหนด Material ให้ชิ้นส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน

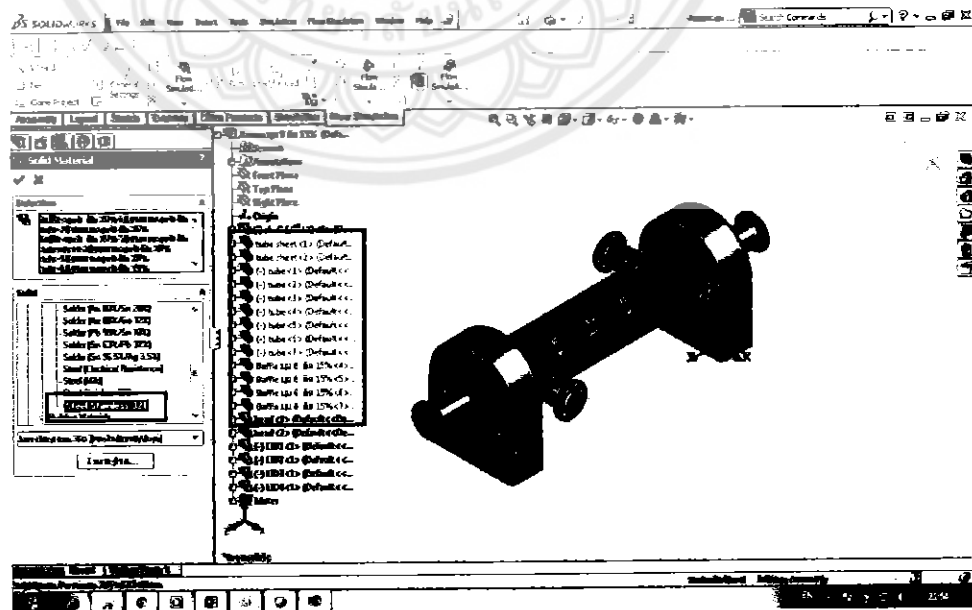
5.1 คลิกขวาที่  Solid Materials หลังจากนั้นก็คลิกซ้ายที่ Insert Solid Material (เพื่อกำหนด Material ให้ชิ้นส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน) ดังรูป




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

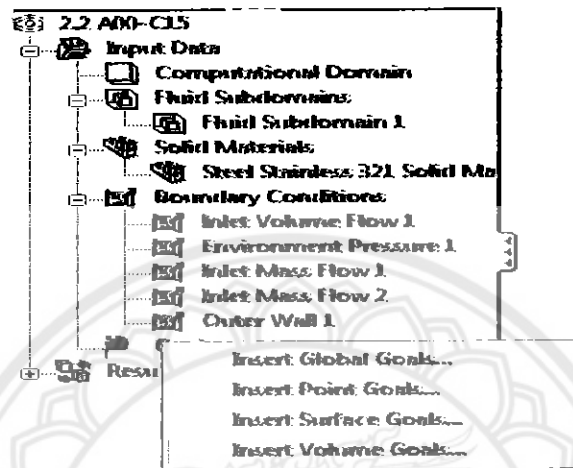
5.3 คลิกเลือก Material (กรณีศึกษา กำหนด Material เป็น Steel Stainless 321)

5.4 หลังจากนั้นคลิก 



6. กำหนดชิ้นส่วนที่แลกเปลี่ยนความร้อน

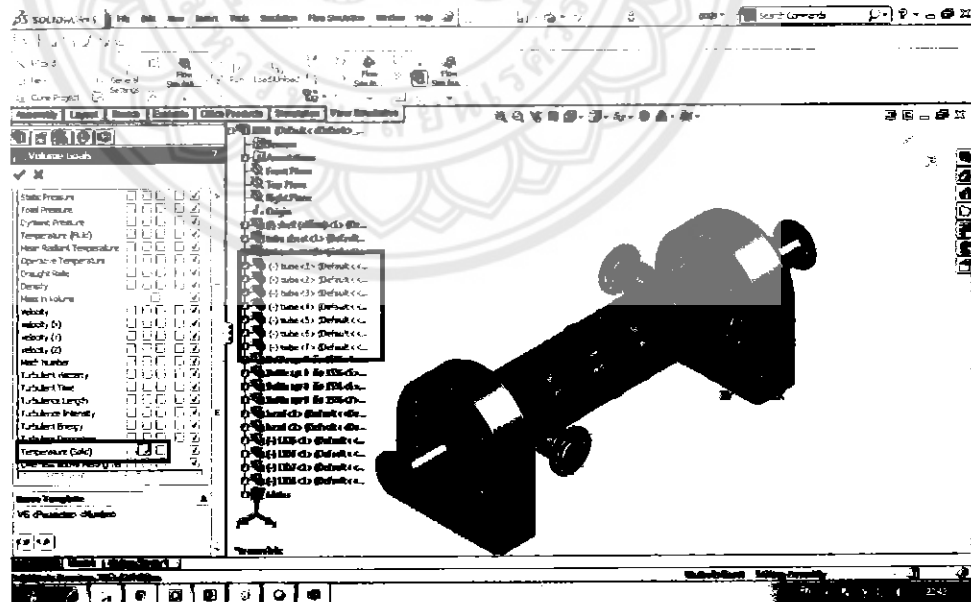
6.1 คลิกขวาที่  **Goals** หลังจากนั้นก็คลิกซ้ายที่ Insert Volume Goals (เพื่อกำหนดชิ้นส่วนที่แลกเปลี่ยนความร้อน) ดังรูป



6.2 คลิกที่ Tube ทั้งหมด (มีท่อแลกเปลี่ยนความร้อน 7 ท่อ)

6.3 คลิกเลือก Temperature (Solid) ซึ่งจะอยู่ในช่อง Average

6.4 หลังจากนั้นคลิก ✓

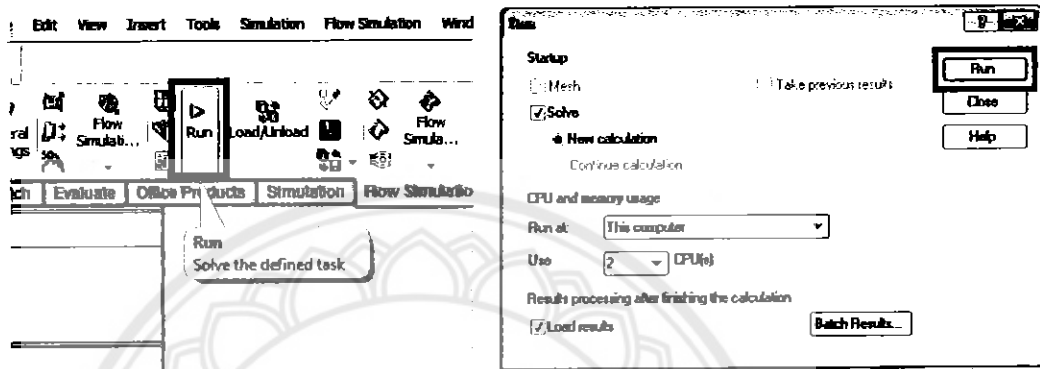


7. วิธีการ Run การแสดงผล และการเก็บค่าจากแบบจำลอง

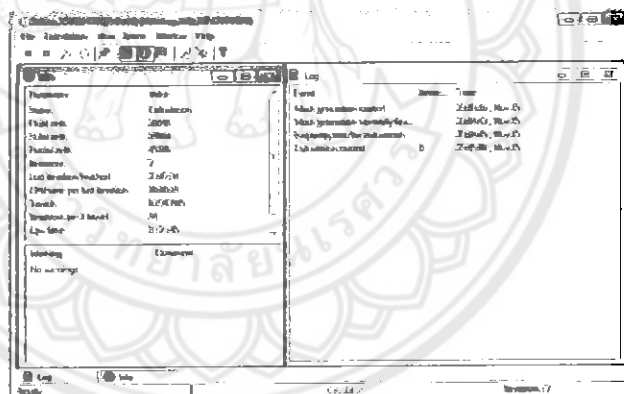
7.1 การ Run

7.1.1 คลิก Run ได้

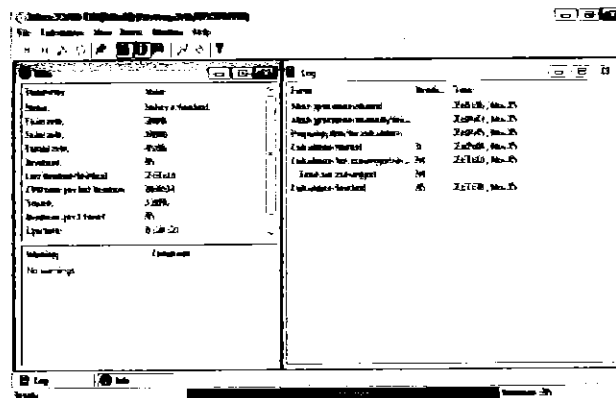
7.1.2 คลิก Solve และติ๊กถูกที่ New calculation จากนั้นคลิก Run



7.1.3 รอกการ Calculation ของโปรแกรม



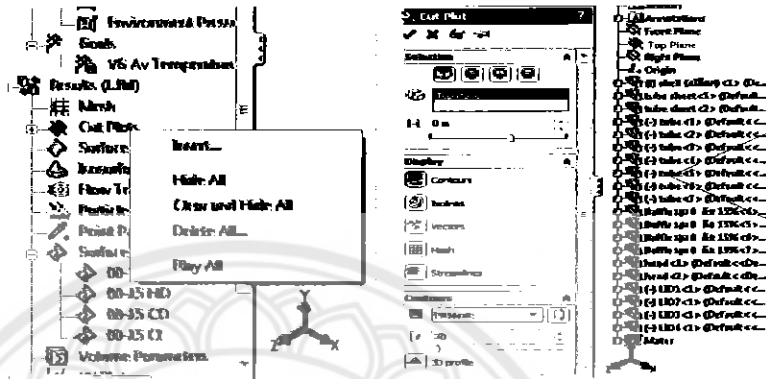
7.1.4 Run เสร็จจะขึ้นข้อความว่า Solve Finished



7.2 การแสดงผลค่าความดัน และอุณหภูมิ

7.2.1 คลิกขวา Cut Plots เลือก Insert...

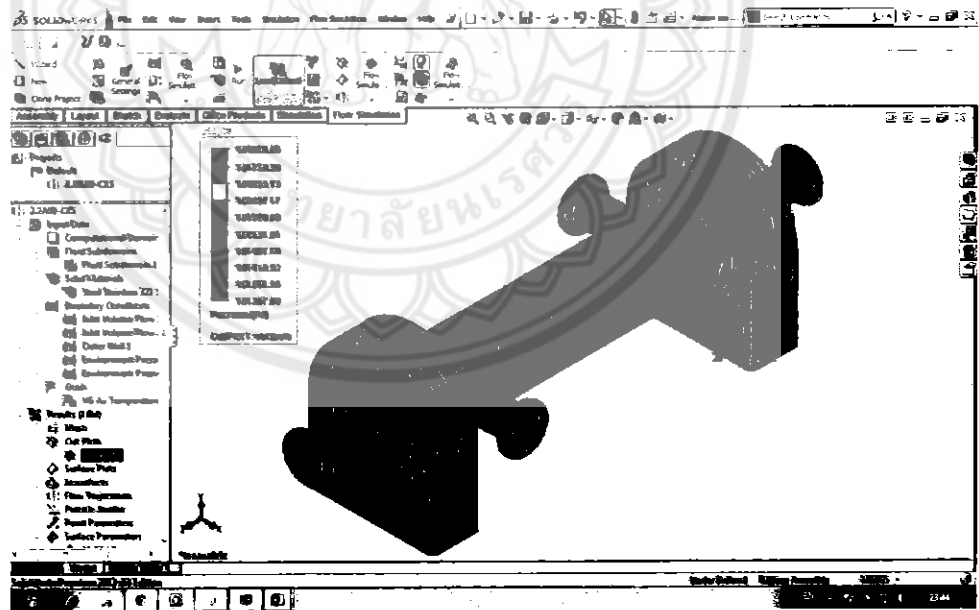
7.2.2 คลิกเลือก Top plane เลือกแสดงผลแบบ Contours



7.2.3 เลือกแสดงผล Pressure (เมื่อต้องแสดงผลเป็นอุณหภูมิให้เลือก

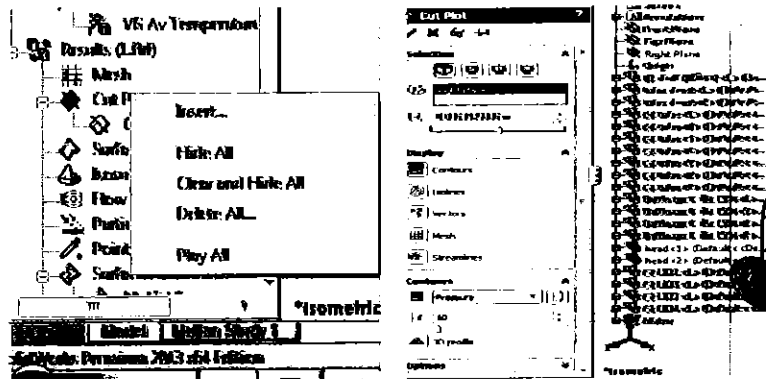
Temperature)

7.2.4 คลิก OK



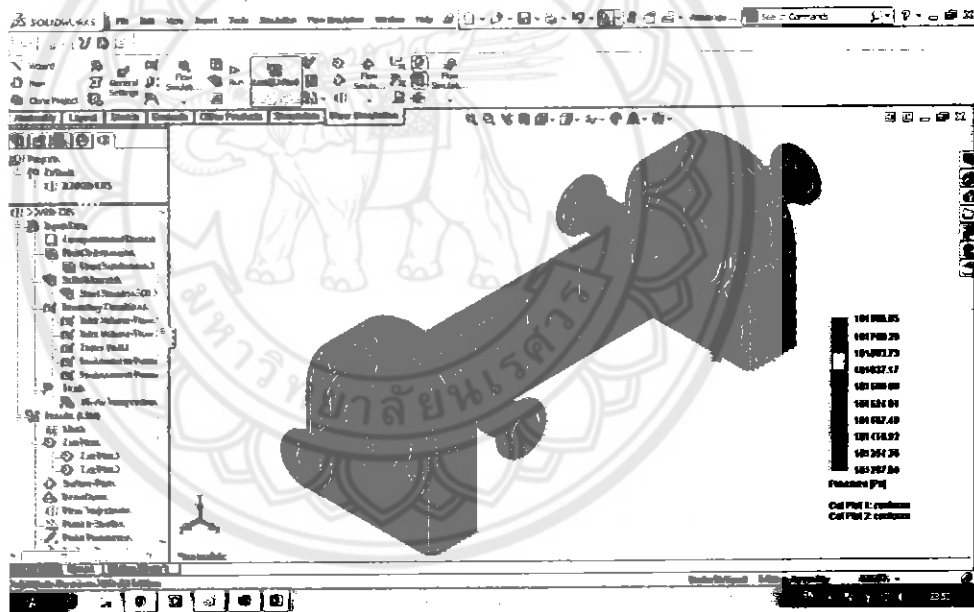
7.2.5 คลิกขวา Cut Plots เลือก Insert...

7.2.6 คลิกเลือก Right plane เลือกแสดงผลแบบ Contours




7.2.3 เลือกแสดงผล Pressure (เมื่อต้องแสดงผลเป็นอุณหภูมิให้เลือก Temperature)

7.2.4 คลิก OK ✓

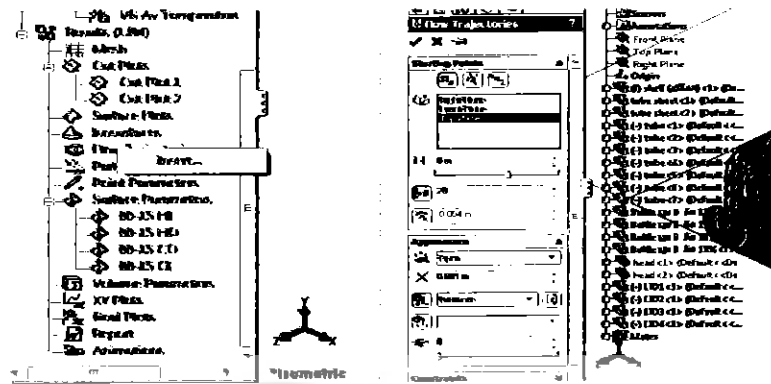


7.3 การแสดงลักษณะการไหลของของไหล

7.3.1 คลิกขวา Flow Trajectories  เลือก Insert....

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

7.3.3 เลือกแสดงผล Pressure (เมื่อต้องแสดงผลเป็นอุณหภูมิให้เลือก Temperature)



7.2.4 คลิก OK ✓

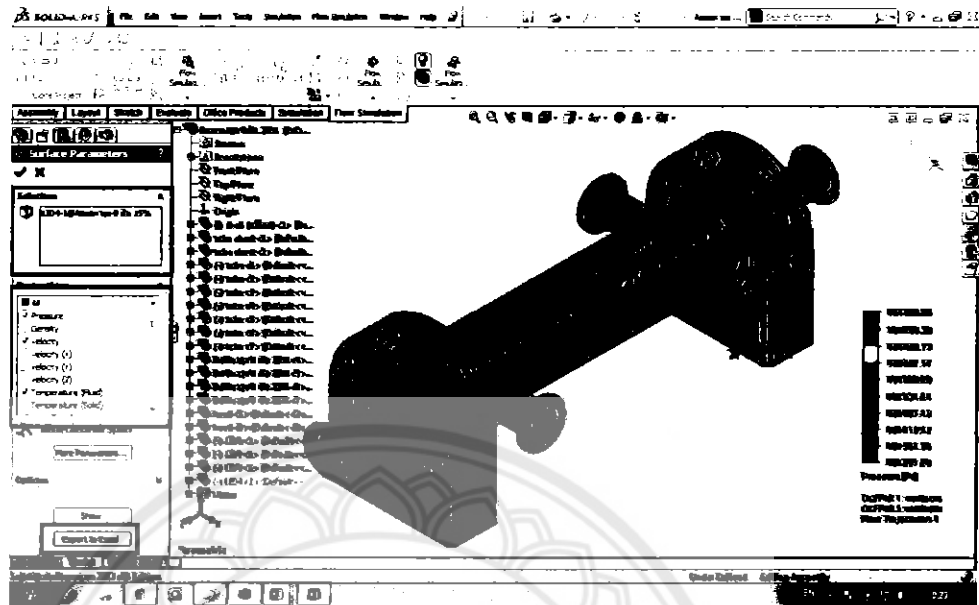


7.4 การเก็บค่าของแบบจำลอง

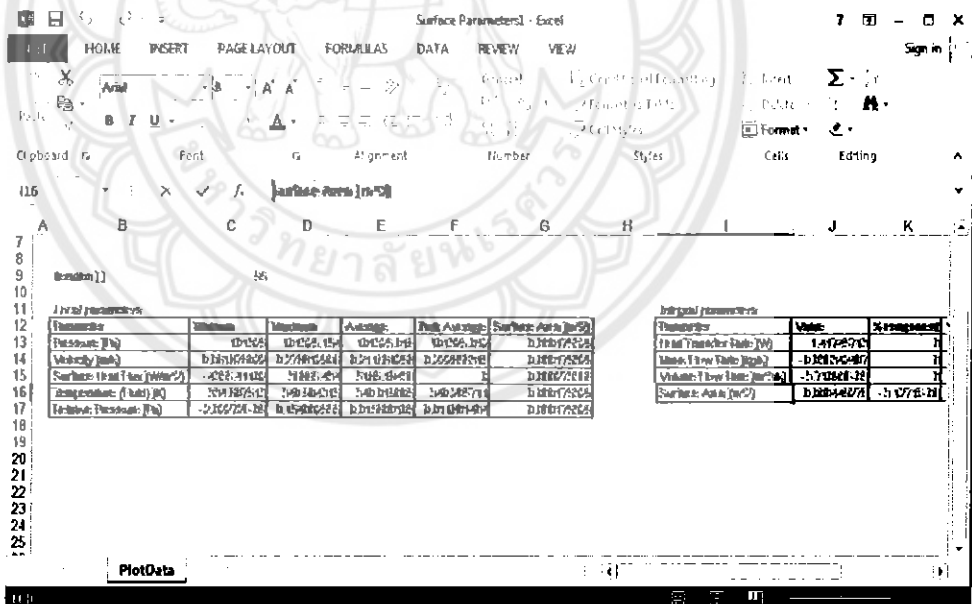
7.4.1 คลิกขวาที่ Surface Parameters เลือก Insert....

7.4.2 คลิกเลือก lid ทางเข้า หรือทางออกของไหล ที่ต้องการทราบค่า (ในตัวอย่างนี้ จะแสดงค่าของมวลของทางออกน้ำร้อน)

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 [W], 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



ภาคผนวก ค
ตารางคุณสมบัติ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตารางคุณสมบัติน้ำ

T, °C	Density, g/cm ³		Specific Volume, cm ³ /kg		Specific Heat, kJ/kg·K		Thermal Conductivity, W/m·K		Dynamic Viscosity, Pa·s		Prandtl Number, Pr		Volume Expansion Coefficient, 1/K
	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
0	999.84	0.0006	1.00016	1467.8	4.217	1.914	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁶	11.8	1.00	-0.000 × 10 ⁻⁴
5	999.97	0.0006	1.00003	1466.7	4.215	1.912	0.571	0.0172	1.817 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁶	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻⁴
10	999.99	0.0006	1.00000	1465.6	4.214	1.910	0.580	0.0173	1.841 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁶	10.6	1.00	0.030 × 10 ⁻⁴
15	999.91	0.0006	1.00007	1464.5	4.213	1.908	0.589	0.0174	1.865 × 10 ⁻³	0.958 × 10 ⁻⁶	10.0	1.00	0.045 × 10 ⁻⁴
20	999.72	0.0006	1.00028	1463.4	4.212	1.906	0.598	0.0175	1.889 × 10 ⁻³	0.970 × 10 ⁻⁶	9.4	1.00	0.060 × 10 ⁻⁴
25	999.34	0.0006	1.00066	1462.3	4.211	1.904	0.607	0.0176	1.913 × 10 ⁻³	0.982 × 10 ⁻⁶	8.8	1.00	0.075 × 10 ⁻⁴
30	998.80	0.0006	1.00114	1461.2	4.210	1.902	0.616	0.0177	1.937 × 10 ⁻³	0.994 × 10 ⁻⁶	8.2	1.00	0.090 × 10 ⁻⁴
35	998.11	0.0006	1.00172	1460.1	4.209	1.900	0.625	0.0178	1.961 × 10 ⁻³	1.006 × 10 ⁻⁶	7.6	1.00	0.105 × 10 ⁻⁴
40	997.28	0.0006	1.00240	1459.0	4.208	1.898	0.634	0.0179	1.985 × 10 ⁻³	1.018 × 10 ⁻⁶	7.0	1.00	0.120 × 10 ⁻⁴
45	996.32	0.0006	1.00318	1457.9	4.207	1.896	0.643	0.0180	2.009 × 10 ⁻³	1.030 × 10 ⁻⁶	6.4	1.00	0.135 × 10 ⁻⁴
50	995.24	0.0006	1.00406	1456.8	4.206	1.894	0.652	0.0181	2.033 × 10 ⁻³	1.042 × 10 ⁻⁶	5.8	1.00	0.150 × 10 ⁻⁴
55	994.04	0.0006	1.00504	1455.7	4.205	1.892	0.661	0.0182	2.057 × 10 ⁻³	1.054 × 10 ⁻⁶	5.2	1.00	0.165 × 10 ⁻⁴
60	992.72	0.0006	1.00612	1454.6	4.204	1.890	0.670	0.0183	2.081 × 10 ⁻³	1.066 × 10 ⁻⁶	4.6	1.00	0.180 × 10 ⁻⁴
65	991.29	0.0006	1.00730	1453.5	4.203	1.888	0.679	0.0184	2.105 × 10 ⁻³	1.078 × 10 ⁻⁶	4.0	1.00	0.195 × 10 ⁻⁴
70	989.75	0.0006	1.00858	1452.4	4.202	1.886	0.688	0.0185	2.129 × 10 ⁻³	1.090 × 10 ⁻⁶	3.4	1.00	0.210 × 10 ⁻⁴
75	988.10	0.0006	1.00996	1451.3	4.201	1.884	0.697	0.0186	2.153 × 10 ⁻³	1.102 × 10 ⁻⁶	2.8	1.00	0.225 × 10 ⁻⁴
80	986.34	0.0006	1.01144	1450.2	4.200	1.882	0.706	0.0187	2.177 × 10 ⁻³	1.114 × 10 ⁻⁶	2.2	1.00	0.240 × 10 ⁻⁴
85	984.48	0.0006	1.01302	1449.1	4.199	1.880	0.715	0.0188	2.201 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁶	1.6	1.00	0.255 × 10 ⁻⁴
90	982.52	0.0006	1.01470	1448.0	4.198	1.878	0.724	0.0189	2.225 × 10 ⁻³	1.138 × 10 ⁻⁶	1.0	1.00	0.270 × 10 ⁻⁴
95	980.46	0.0006	1.01648	1446.9	4.197	1.876	0.733	0.0190	2.249 × 10 ⁻³	1.150 × 10 ⁻⁶	0.4	1.00	0.285 × 10 ⁻⁴
100	978.30	0.0006	1.01836	1445.8	4.196	1.874	0.742	0.0191	2.273 × 10 ⁻³	1.162 × 10 ⁻⁶	-0.2	1.00	0.300 × 10 ⁻⁴



ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าความดันลด
และค่าประสิทธิผล ที่เปอร์เซ็นต์การตัด 15% มุมเอียงแผ่นกัน 0°

ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คำนวณได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ $870.419365 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$ มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. คำนวณหาปริมาณความร้อนที่แลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำทั้งสองกระแสจาก

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

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อน
 \dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวล โดย $\dot{m} = \rho \dot{v}$ เมื่อ \dot{v} คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร, ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ และเปิด ρ จากตารางคุณสมบัติของน้ำ ใช้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย
 c_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะ เปิดจากตารางคุณสมบัติของน้ำ ใช้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย

จะได้ว่า ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิน้ำกระแสน้ำ ดูจากรูปที่ ก.17 ภาคผนวก ก

ดังนั้น $\dot{m} = 0.0367 \text{ kg / s}$
 $c_p = 4181.8 \text{ J / kg.K}$
 $\Delta T = 5.7954 \text{ K}$
 $Q = 0.0367 \times 4181.8 \times 5.7954 = 889.432 \text{ J}$

2. คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

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

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อน
 U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
 A คือ พื้นที่ผิวภายนอกท่อทั้งหมด
 ΔT_{lm} คือ ผลต่างของอุณหภูมิเชิงล็อก เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการเปลี่ยนแปลงความร้อนหาจาก

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln\left(\frac{T_{h,i} - T_{c,o}}{T_{h,o} - T_{c,i}}\right)}$$

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

ค่าอุณหภูมิได้จากตารางที่ 4.5

$$\begin{aligned} \text{จะได้ว่า } Q &= 885.5606 \text{ J} \\ A &= 0.02573 \text{ m}^2 \\ \Delta T_m &= 39.54121 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } U = 889.432 / (0.02573 \times 39.54121) = 874.225 \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าความดันลด

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลความดันลดจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คำนวณได้ค่าความดันลดเท่ากับ 254.9 Pa มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

เมื่อ ΔP คือ ค่าความดันลด
 P_{in} คือ ค่าความดันลดน้ำเย็นทางเข้า
 P_{out} คือ ค่าความดันลดน้ำเย็นทางออก

ค่าความดันที่ทางเข้าและทางออกดูจากตารางที่ 4.6

$$\begin{aligned} \text{จะได้ว่า } P_{in} &= 101717.862 \text{ Pa (ค่าเฉลี่ยความดันลดของของไหลเย็นทางเข้า)} \\ P_{out} &= 101325.022 \text{ Pa (ค่าเฉลี่ยความดันลดของของไหลเย็นทางออก)} \\ \Delta P &= 101717.862 - 101325.022 = 392.84 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพ

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลของประสิทธิภาพจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คำนวณได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 12.1066% มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้ จาก

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

เมื่อ ε คือ ค่าประสิทธิภาพ
 $T_{\text{cold,in}}$ คือ อุณหภูมิน้ำเย็นทางเข้า
 $T_{\text{cold,out}}$ คือ อุณหภูมิน้ำเย็นทางออก
 $T_{\text{hot,in}}$ คือ อุณหภูมิน้ำร้อนทางเข้า

จะได้ $T_{\text{cold,in}} = 302.91 \text{ K}$
 $T_{\text{cold,out}} = 308.705441 \text{ K}$
 $T_{\text{hot,in}} = 350.78 \text{ K}$

ดังนั้น $\varepsilon = ((308.705441 - 302.91) / (350.78 - 302.91)) \times 100 = 12.1066\%$

