

การวิเคราะห์ผลกระทบระยะของแผ่นกั้น ต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่อง
แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
INFLUENCE ANALYSIS OF BAFFLES SPACING ON HEAT TRANSFER
IN SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER BY USING FINITE ELEMENT
METHOD

นายณรงค์	จันทิชัย	รหัส 51363968
นายสุวัฒน์	ศรีสอาด	รหัส 51364125
นายเอกมล	มัศโอดี	รหัส 51364200

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 1599855A
เลขเรียกหนังสือ..... ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๘๖ 2119

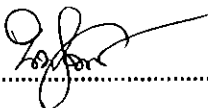
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2554



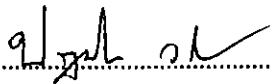
ใบรับรองโครงการงาน

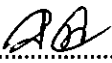
หัวข้อโครงการงาน	การวิเคราะห์ผลกระทบบระยะของแผ่นกั้น ต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์		
	Influence Analysis of baffles spacing on heat transfer in Shell and Tube Heat Exchanger by Using Finite Element Method		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายณรงค์	จันทิชัย	รหัส 51363968
	นายสุวัฒน์	ศรีสอาด	รหัส 51364125
	นายเอกมล	มัศไอดี	รหัส 51364200
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์นพรัตน์ สีหะวงษ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2554		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุรินทร์ อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

.....
ประธานกรรมการ

(อาจารย์นพรัตน์ สีหะวงษ์)

.....
กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ปฐมศก วิลอต)

.....
กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

หัวข้อโครงการ	การวิเคราะห์ผลกระทบระยะของแผ่นกัน ต่อการส่งผ่านความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายณรงค์	จันทิชัย	รหัส 51363968
	นายสุวัฒน์	ศรีสอาด	รหัส 51364125
	นายเอกมล	มัตโอดี	รหัส 51364200
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์นพรัตน์ สีหะวงษ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2554		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าระยะห่างของแผ่นกัน ที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าความดันลดและค่าประสิทธิผลของการแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการศึกษาหาค่าระยะห่างของแผ่นกันที่ทำการศึกษาทั้งหมดมี 5 ค่า คือ 19.68%, 13.94%, 10.75%, 8.72% และ 7.32% ของความยาวเปลือก โดยกำหนดให้อุณหภูมิทางเข้าของกระแสร้อนเป็น 350.68 K อุณหภูมิทางเข้าของกระแสเย็นเป็น 304.72 K อัตราการไหลเชิงปริมาตรของกระแสร้อนเป็น $8.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของกระแสเย็นเป็น $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ และความดันที่ทางออกของทั้งสองกระแสเป็น 1 atm

จากการศึกษาพบว่า การปรับระยะห่างของแผ่นกันจะส่งผลกระทบต่อค่าประสิทธิผลน้อยมาก แต่จะส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและค่าความดันลด โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและค่าความดันลดจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นกันเพิ่มมากขึ้น

Project Title Influence analysis of Baffles Spacing on Heat Transfer in Shell and Tube Heat Exchanger by using Finite Element Method

Name Mr. Narong Chanthichai ID. 51363968
Mr. Suwat Srisa-Art ID. 51364125
Mr. Ekamon Masa-O-Dee ID. 51364200

Project Advisor Mr. Nopparat Seehawong

Major Mechanical Engineering

Department Mechanical Engineering

Academic Year 2011

Abstract

The objective of this research was to study the effects of shell and tube heat exchanger on overall heat transfer coefficient, pressure drop and heat-exchanger effectiveness by using finite element method. Five levels of the baffle space such as 19.68%, 13.94%, 10.75%, 8.72%, 7.32% of shell length were studied. The constant variables in this experiment were inlet hot water temperature (350.68K), inlet cold water temperature (304.72K), hot water flow rate ($8.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$), cold water flow rate ($2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$) and outlet pressure of hot and cold water (1 atm) respectively

According to the study, it was found that changing in the baffle space level slightly affected on the efficiency of the heat exchanger. However, the results showed that the overall heat transfer coefficient and the pressure drop values were significantly decreased as the baffle space increased.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้ดำเนินงานต้องขอขอบพระคุณอาจารย์นพรัตน์ สีหะวงษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินโครงการ ตลอดจนติดตามประเมินผลการดำเนินโครงการมาโดยตลอด ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ปฐมศก วิไลพล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์ ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจสอบโครงร่างปริญญานิพนธ์ และเป็นกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ทั้งเป็นอาจารย์สอนที่ให้คำแนะนำ ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการในหลายๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่าน ที่อบรม สั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทความรู้ แนะนำ และตักเตือนแก่ผู้ดำเนินงานจนมีวันนี้

ขอขอบพระคุณฝ่ายเลขานุการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการ

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การอุปการะเลี้ยงดูและสั่งสอนจนกระทั่งสามารถเติบโตมาจนถึงปัจจุบัน ตลอดจนช่วยอุปการะทางการเงินและคอยให้กำลังใจ จนกระทั่งโครงการนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ผู้ดำเนินงานขอมอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากโครงการนี้ แต่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และถ้าเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงการนี้ ผู้ดำเนินงานต้องกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำโครงการ

สารบัญ

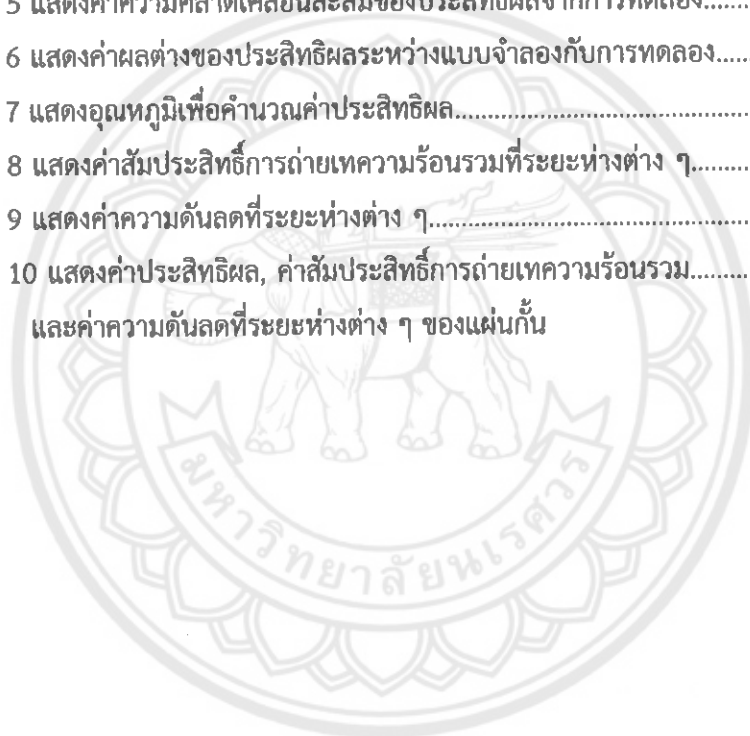
	หน้า
ใบรับรองโครงการ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 อุปกรณ์ที่ใช้.....	4
1.7 งบประมาณที่ใช้.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	5
2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	5
2.2 ทฤษฎีระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....	6
2.3 ค่าความคลาดเคลื่อน.....	7
2.4 ทฤษฎีการถ่ายโอนความร้อน (Heat Transfer).....	9
2.5 สมการที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	12
3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูล.....	14

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 ทำการทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	14
3.3 สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....	16
3.4 กำหนดคุณสมบัติและสภาวะเงื่อนไขขอบของแบบจำลอง	19
3.5 วิเคราะห์แบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	22
3.6 เปรียบเทียบประสิทธิผลที่ได้จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลอง	22
3.7 ปรับระยะห่างของแผ่นกันและวิเคราะห์ผล.....	22
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์.....	24
4.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าประสิทธิผลของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	24
กับค่าประสิทธิผลที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง	
4.2 การวิเคราะห์ผลของการปรับระยะห่างของแผ่นกันซึ่งมีผลต่อค่าความดันลด	28
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและค่าประสิทธิผล	
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	34
5.1 สรุปผล.....	34
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	35
เอกสารอ้างอิง.....	36
ภาคผนวก.....	37
ภาคผนวก ก วิธีการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Solidworks.....	38
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	61
ภาคผนวก ค ตารางคุณสมบัติของน้ำ	84
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม.....	86
ค่าความดันลดและค่าประสิทธิผล ที่เปอร์เซ็นต์การตัด 15%	
ประวัติผู้จัดทำโครงงาน.....	90

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ ในแบบจำลอง.....	19
ตารางที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน.....	20
ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลของอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง.....	25
ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลของอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ได้จากโปรแกรม solidworks.....	25
ตารางที่ 5 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของประสิทธิผลจากการทดลอง.....	27
ตารางที่ 6 แสดงค่าผลต่างของประสิทธิผลระหว่างแบบจำลองกับการทดลอง.....	27
ตารางที่ 7 แสดงอุณหภูมิเพื่อคำนวณค่าประสิทธิผล.....	28
ตารางที่ 8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่ระยะห่างต่าง ๆ.....	29
ตารางที่ 9 แสดงค่าความดันลดที่ระยะห่างต่าง ๆ.....	31
ตารางที่ 10 แสดงค่าประสิทธิผล, ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าความดันลดที่ระยะห่างต่าง ๆ ของแผ่นกัน	33



สารบัญรูปรภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	1
รูปที่ 2 ภาคตัดขวางแสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	5
รูปที่ 3 การแบ่งแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์เล็กๆโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	6
รูปที่ 4 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน.....	13
รูปที่ 5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ รุ่น WL 110.03.....	14
รูปที่ 6 เครื่องกำหนดสภาวะและแสดงผลการวัดค่าต่างๆ ในการแลกเปลี่ยนความร้อน.....	15
รูปที่ 7 ลักษณะการประกอบชุดการทดลอง	15
รูปที่ 8 แสดงลักษณะของเปลือก.....	16
รูปที่ 9 แสดงลักษณะของท่อ.....	16
รูปที่ 10 แสดงลักษณะของแผ่นกั้น.....	17
รูปที่ 11 แสดงลักษณะของแผ่นสวมท่อทาง.....	17
รูปที่ 12 แสดงลักษณะของท่อทางเข้า.....	18
รูปที่ 13 แสดงลักษณะของท่อทางออก.....	18
รูปที่ 14 แสดงรูปร่างของแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	19
รูปที่ 15 กำหนดตำแหน่งทางเข้าและออกของของไหลทั้ง 2 กระแส.....	21
รูปที่ 16 แบบจำลองแสดงทิศทางการไหลของของไหล.....	23
รูปที่ 17 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความดันลดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	23
รูปที่ 18 ชุดการทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ.....	24
รูปที่ 19 การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	26
รูปที่ 20 การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	28
รูปที่ 21 แสดงค่าระยะห่างของแผ่นกั้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพ.....	29
รูปที่ 22 แสดงค่าระยะห่างของแผ่นกั้นที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม.....	30
รูปที่ 23 การวิเคราะห์ค่าความดันลดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	31
รูปที่ 24 แสดงค่าระยะห่างของแผ่นกั้นที่มีผลต่อความดันลด.....	32

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	m ²
c_p	ค่าความจุจำเพาะ	J/kg·K
{d}	เมตริกซ์การเสีรูปของแต่ละโนด	m
{D}	ผลรวมของการเสีรูปของแต่ละโนด	
{f}	เมตริกซ์ของแรงที่กระทำแต่ละโนด	N
{F}	ผลรวมเมตริกซ์ของแรงที่กระทำแต่ละโนด	N
\bar{h}	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน	W/m ² ·K
[K]	ผลรวมสทิงเฟนสเมตริกซ์ของเอลิเมนต์	
K	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	W/m·K
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล	kg/s
P	ความดัน	Pa
Q	ความร้อนที่แลกเปลี่ยน	W
$T_{hot,in}$	อุณหภูมิทางเข้าของของไหลกระแสร้อน	K
$T_{hot,out}$	อุณหภูมิทางออกของของไหลกระแสร้อน	K
$T_{cold,in}$	อุณหภูมิทางเข้าของของไหลกระแสรเย็น	K
$T_{cold,out}$	อุณหภูมิทางออกของของไหลกระแสรเย็น	K
T_s	อุณหภูมิของพื้นผิว	K
ΔT	ผลต่างของอุณหภูมิ	K
T_{lm}	ผลต่างของอุณหภูมิเชิงล็อก	K
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	W/m ² ·K
X	ความหนาของวัสดุที่นำความร้อน	mm
σ	ค่าคงที่ของ Stefan Boltzmann	W/m ² ·K ⁴
ϵ	ค่าประสิทธิผล	

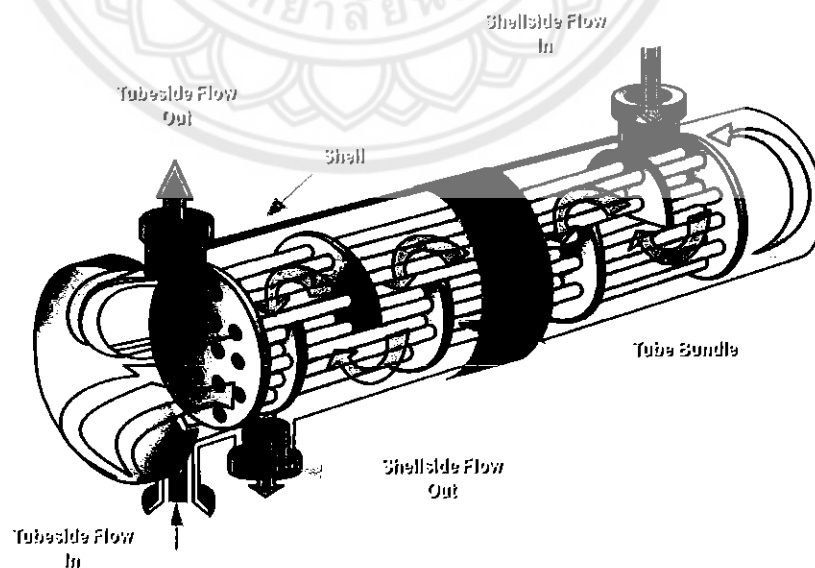
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ ทำหน้าที่เป็นตัวส่งผ่านความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และเป็นอุปกรณ์นิยมนำมาใช้งานในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างกว้างขวาง อาทิเช่น อุตสาหกรรมด้านเคมี ปิโตรเคมี เครื่องกำเนิดกำลังงาน และในภาคอุตสาหกรรมเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ ก็มีความนิยมนำมาใช้กันมากเช่นเดียวกัน ✕

ปัจจัยในการเลือกใช้งานเครื่องคือ ค่าความดันลดและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเป็นหลัก ดังนั้นในการนี้จะทำการศึกษาระยะห่างของแผ่นกัน ซึ่งเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าความดันลดและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการศึกษาที่ได้จะทำให้ได้ระยะห่างของแผ่นกันที่เหมาะสมต่อการเลือกใช้งาน



รูปที่ 1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาระยะของแผ่นกั้นที่มีผลต่อค่าความต้านลด
- 1.2.2 เพื่อศึกษาระยะของแผ่นกั้นที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
- 1.2.3 เพื่อศึกษาระยะของแผ่นกั้นที่มีผลต่อค่าประสิทธิผล
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการไหลของของไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 โครงการนี้เป็นการวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยเปรียบเทียบกับการทดลอง
- 1.3.2 ศึกษาเฉพาะผลกระทบระยะของแผ่นกั้นที่มีระยะห่างมากกว่า 20% ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเปลือกขึ้นไป
- 1.3.3 วัสดุในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์มีลักษณะเป็น Isotropic Material และ Homogeneous
- 1.3.4 เป็นการศึกษาการส่งผ่านความร้อนในสภาวะคงตัว

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ทราบถึงลักษณะของการไหลของของไหลที่มีแผ่นกั้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

1.5.2 ได้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดจากระยะห่างของแผ่นกั้นที่มีต่อค่าความดันลด ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าประสิทธิภาพ

1.5.3 ได้รู้และเข้าใจถึงหลักการและการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

1.6 อุปกรณ์ที่ใช้

1.6.1 คอมพิวเตอร์

1.6.2 แผ่นโปรแกรม Solid Works – Solid Works Flow simulation

1.6.3 ชุดอุปกรณ์ทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ รุ่น WL 110.03

1.7 งบประมาณที่ใช้

1.7.1 กระดาษ 500 บาท

1.7.2 จัดทำรูปเล่ม 2,000 บาท

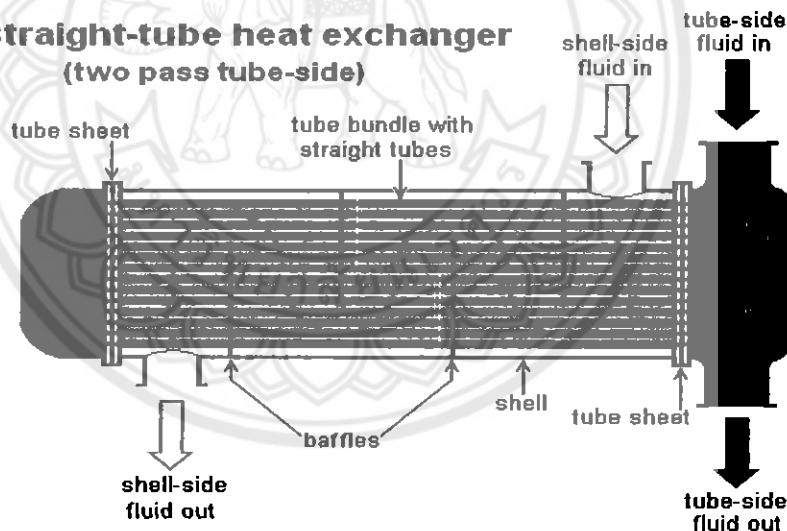
1.7.3 ค่าอุปกรณ์อื่นๆ 500 บาท

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมเคมีส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ เนื่องจากมีความสามารถที่จะทำการดึงหรือรับเอาความร้อนจำนวนมากเข้าหรือออกจากขบวนการได้เป็นอย่างดี ดังนั้นความสามารถในการถ่ายโอนความร้อนที่ดีเยี่ยมนี้ จึงได้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานภายในงานอุตสาหกรรมได้หลากหลาย

Straight-tube heat exchanger (two pass tube-side)



รูปที่ 2 ภาคตัดขวางแสดงส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

2.1.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

2.1.1.1 เปลือก (Shell) คือ ส่วนที่เป็นส่วนประกอบนอกสุดที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก โดยทำหน้าที่ส่งผ่านของไหลที่ 1

2.1.1.2 ท่อ (Tube) คือ ท่อทรงกระบอกขนาดเล็กที่บรรจุอยู่ในเปลือก ทำหน้าที่ส่งผ่านของไหลที่ 2 ในการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยจะอาศัยพื้นผิวท่อเป็นวัสดุตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อนระหว่างของไหลทั้ง 2 ชนิด

2.1.1.3 แผ่นกั้น (Baffle) คือ ตัวบังคับทิศทางการไหลของของไหลที่ 1 และป้องกันการสั่นสะเทือนของท่อ

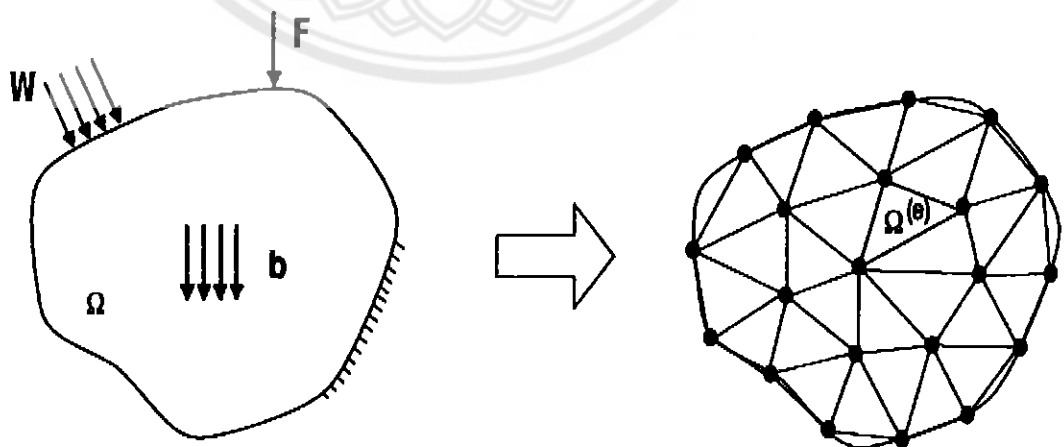
2.1.2 ความสำคัญของแผ่นกั้นสามารถแบ่งออกได้ 2 กรณีด้วยกัน คือ

2.1.2.1 เพิ่มความแข็งแรง โดยเป็นชิ้นส่วนในการรองรับชุดท่อในระหว่างการประกอบ อีกทั้งยังช่วยป้องกันแรงสั่นสะเทือนในขณะทำงานเมื่อของไหลมีการไหลผ่าน และยังช่วยบังคับให้ของไหลเกิดการหมุนวนขึ้นภายในตัวเปลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

2.1.2.2 เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อน เนื่องจากเมื่อของไหลเกิดการไหลผ่านแผ่นบังคับทิศทางการไหล จะช่วยให้อัตราส่วนการถ่ายโอนความร้อนสูงขึ้นได้

2.2 ทฤษฎีระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ [1]

เนื่องจากรูปร่างของ Shell and tube มีความซับซ้อนมาก ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากการวิเคราะห์โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลข สามารถวิเคราะห์หาค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้ โดยใช้แนวคิดที่ว่าวัตถุที่มีรูปร่างซับซ้อนใดๆ จะสามารถแบ่งเป็นชิ้นเล็กๆ ได้ ซึ่งแต่ละชิ้นเล็กๆ เหล่านี้สามารถพิจารณาแยกจากกันอย่างอิสระและสามารถประกอบรวมกันเข้าเป็นวัตถุเดิมได้ ซึ่งเหมาะสมกับงานที่มีรูปร่างซับซ้อนโดยจะแก้ปัญหาให้อยู่ในรูปฟังก์ชันพีชคณิต แล้วใช้คอมพิวเตอร์หาคำผลลัพธ์ซึ่งหลักการคำนวณดังนี้



รูปที่ 3 การแบ่งแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์เล็กๆโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

- ก. แบ่งวัตถุที่พิจารณาออกเป็นชิ้นเล็กๆเรียกว่า Element และเชื่อมต่อกันด้วย Node
 ข. สร้างสมการความสัมพันธ์ของปริมาณทางฟิสิกส์ของแต่ละ Element ซึ่งจะทำให้ได้ Local Equations ของแต่ละ Element

$$[k]\{d\}=\{f\} \quad (1)$$

เมื่อ $[k]$ คือ สทิตินสมเมตริกซ์ของเอลิเมนต์ แทนด้วย คุณสมบัติ (ค่าการนำความร้อนของวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำในเปลือก)

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

$\{f\}$ คือ เมตริกซ์ของแรงที่กระทำแต่ละโนด แทนด้วย ภาระกระทำต่างๆ (อัตราการไหล, อุณหภูมิทางเข้าและ ความดันทางออกของน้ำทั้งสองกระแส)

ค. ประกอบ Element เข้าด้วยกันโดยใช้หมายเลข Node เป็นตัวเชื่อม จะทำให้ได้ระบบสมการของทั้งวัตถุที่พิจารณา

$$[K]\{D\}=\{F\} \quad (2)$$

ง. แก้ระบบสมการเพื่อหาค่าตัวแปรที่ Node ต่างๆ $\{D\}$ โดยการนำเงื่อนไขขอบเข้าช่วยในการพิจารณาระบบสมการดังกล่าวเพื่อลดจำนวนตัวแปร

จ. คำนวณหาค่าอื่นๆ ที่ต้องการจากค่าตัวแปรที่ได้จากคำนวณในข้อ ง. เช่น Strains, Stress, Temperature

2.3 ค่าความคลาดเคลื่อน [2]

2.3.1 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute error) ของเครื่องมือวัด เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริง (Expected Value : E) กับค่าที่ได้จากการวัด (Measured Value : M) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3 ด้านล่าง

$$\text{Absolute error} = E - M \quad (3)$$

การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของตัวแปรตามเมื่อทราบความคลาดเคลื่อนของตัวแปรต้นสามารถหาได้ด้วยวิธี Step by Step โดยอาศัยความสัมพันธ์ของความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์ด้วย

$$\text{ความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์} = \frac{\text{ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์}}{\text{ค่าที่วัดได้}} \times 100\% \quad (4)$$

2.3.2 รากค่าตอบของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (Root Mean Square Error : RMSE) เป็นรากค่าตอบของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนที่ใช้วัดความแปรปรวนระหว่างผลจากการพยากรณ์ (แบบจำลอง) กับผลที่ได้จากการวัดจริง (การทดลอง) หากผิดพลาดมากค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนจะสูงขึ้นเพราะเป็นค่ายกกำลังสอง โดยปกติ RMSE จะถูกใช้เป็นค่าประเมินค่าเบี่ยงเบนของความคลาดเคลื่อนสามารถหาได้จาก

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M - E)^2}{N}} \quad (5)$$

โดยที่ N คือ จำนวนของมูล

2.3.3 ค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (Mean Bias Difference : MBD) เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่ได้จากการพยากรณ์กับผลที่ได้จากการวัดจริง สามารถหาได้จาก

$$MBD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M - E) \quad (6)$$

ค่า RMSE และค่า MBD เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนสะสมสัมบูรณ์ของค่าที่ได้จากการวัดจริง ถ้ามีค่าน้อยกว่าสามารถสรุปได้ว่าค่าที่พยากรณ์กับค่าที่ได้จากการวัดจริงมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ถ้ามีค่ามากกว่าสามารถสรุปได้ว่าค่าที่พยากรณ์กับค่าที่ได้จากการวัดจริงมีความคลาดเคลื่อนกันอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับไม่ได้

2.4 ทฤษฎีการถ่ายโอนความร้อน [3]

ความร้อนจะถ่ายโอนหรือส่งผ่านจากวัตถุที่มีระดับความร้อนสูง (อุณหภูมิสูง) ไปสู่วัตถุที่มีระดับความร้อนต่ำ (อุณหภูมิต่ำ) การถ่ายโอนความร้อนมี 3 แบบ คือ

2.4.1 การนำความร้อน (Conduction)

เป็นการถ่ายโอนพลังงานความร้อนผ่านตัวกลางซึ่งโดยมากจะเป็นพวกโลหะต่างๆ เช่น เราเอามือไปจับช้อนโลหะที่ปลายข้างหนึ่งแช่อยู่ในน้ำร้อน มือเราจะรู้สึกร้อน เพราะความร้อนถูกส่งผ่านจากน้ำร้อนมายังมือเราโดยมีช้อนโลหะเป็นตัวนำความร้อน

2.4.2 การพาความร้อน (Convection)

เป็นการถ่ายโอนความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวกลางเป็นตัวพาความร้อนไปจากบริเวณที่มีระดับความร้อนสูง (อุณหภูมิสูง) ไปสู่บริเวณที่มีระดับความร้อนต่ำ (อุณหภูมิต่ำ) เช่น เวลาต้มน้ำความร้อนจากเตาทำให้น้ำที่ก้นภาชนะร้อนมันจะขยายตัวทำให้มีความหนาแน่นน้อยกว่า น้ำด้านบนจึงลอยตัวสูงขึ้นส่วนน้ำด้านบนอุณหภูมิต่ำกว่าความหนาแน่นมากก็จะจมลงมาแทนที่ การหมุนวนของน้ำทำให้เกิดการพาความร้อน โดยการพาความร้อนจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.4.2.1 การพาความร้อนแบบอิสระ (free convection)

การพาความร้อนแบบอิสระ คือ การเคลื่อนไหวของของไหลเป็นผลของแรงลอยตัวซึ่งเกิดจากผลการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น อันเกิดจากมีผลต่างของอุณหภูมิของของไหลใน 2 บริเวณ

2.4.2.2 การพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection)

การพาความร้อนแบบบังคับคือ การเคลื่อนไหวของของไหลที่เป็นผลมาจากแรงกระทำภายนอก เช่น เครื่องสูบลม เครื่องเป่าลม เป็นต้น

2.4.3 การแผ่รังสี (Radiation)

เป็นการส่งพลังงานความร้อนที่อยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (รังสี-อินฟราเรด) ดังนั้นจึงไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ เช่นการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลก โดยทั่วไปวัตถุที่แผ่รังสีได้ดีก็จะรับ (ดูดกลืน) รังสีได้ดีด้วย วัตถุชนิดนั้นเราเรียกว่าวัตถุดำ (Black Body) วัตถุดำไม่มีในธรรมชาติ มีแต่ในอุดมคติ ดังนั้นวัตถุที่มีลักษณะใกล้เคียงวัตถุดำคือ วัตถุที่มีสีดำ ในทางกลับกันวัตถุขาวจะไม่ดูดกลืนรังสีและไม่แผ่รังสีที่ตกกระทบ มีแต่ในอุดมคติเท่านั้น

โครงการนี้จะศึกษาการถ่ายเทความร้อนเฉพาะ การนำความร้อนและการพาความร้อนเท่านั้น ส่วนการถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสีจะไม่คำนึงถึง

2.5 สมการที่เกี่ยวข้อง [4]

2.5.1 ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat : c_p) เป็นปริมาณของพลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิที่ให้อุณหภูมิใดๆ เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ต่อหน่วยมวล ถ้าปริมาณความร้อน Q หน่วย ถูกถ่ายเทความร้อนกับสิ่งแวดล้อม แล้วทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนไป ΔT สามารถเขียนปริมาณความร้อนได้สมการดังนี้

$$Q = mc_p \Delta T \quad (7)$$

2.5.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient: U) เป็นค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของการถ่ายเทแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้น สามารถเขียนปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นได้ว่า

$$Q = UA\Delta T_{lm} \quad (8)$$

และ

$$\Delta T_{lm} = \frac{T_{hot,in} - T_{hot,out}}{T_{hot,in} - T_{cold,in}} \quad (9)$$

2.5.3 ค่าประสิทธิผล (Effectiveness: ε) เป็นค่าประสิทธิผลประมาณจากอัตราส่วนของความร้อนที่ทำได้จริงต่อความร้อนที่เป็นไปได้สูงสุด

$$\varepsilon = \frac{T_{hot,in} - T_{hot,out}}{T_{hot,in} - T_{cold,in}} \quad (10)$$

2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Huadong Li และ Volker Kottke (1997) [5] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของระยะแผ่นกั้นที่มีผลต่อค่าความดันลด และสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ ซึ่งทำการศึกษาโดยการทดลอง โดยกำหนดระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นที่ค่า 113, 144

และ 175 mm ผลจากการทดลองพบว่า การเพิ่มระยะห่างของแผ่นกันจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และค่าความดันลด มีค่าน้อยลง

Ender Ozden และ Ilker Tari (2010) [6] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของระยะห่างของแผ่นกัน เเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลือก ที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและความดันลดที่เกิดขึ้นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ โดยใช้โปรแกรม CFD คำนวณ แล้วนำผลการคำนวณไปเปรียบเทียบกับผลการคำนวณของ Kern method และ Bell Delaware method โดยปรับค่าระยะห่างของแผ่นกัน ระยะเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน อัตราการไหลเชิงมวล และ กำหนดให้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของ Shell และ จำนวน Tube มีค่าคงที่ จากผลการทดลองค่าที่คำนวณจากโปรแกรม CFD มีค่าใกล้เคียงกับผลคำนวณของ Kern- method และ Bell Delaware method ค่าที่คำนวณได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดคือ ระยะเปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกัน ที่ 36% และ จำนวนแผ่นกัน 12 แผ่น ที่ความยาวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 0.6 m และอัตราการไหลเชิงมวล 0.5 kg/s

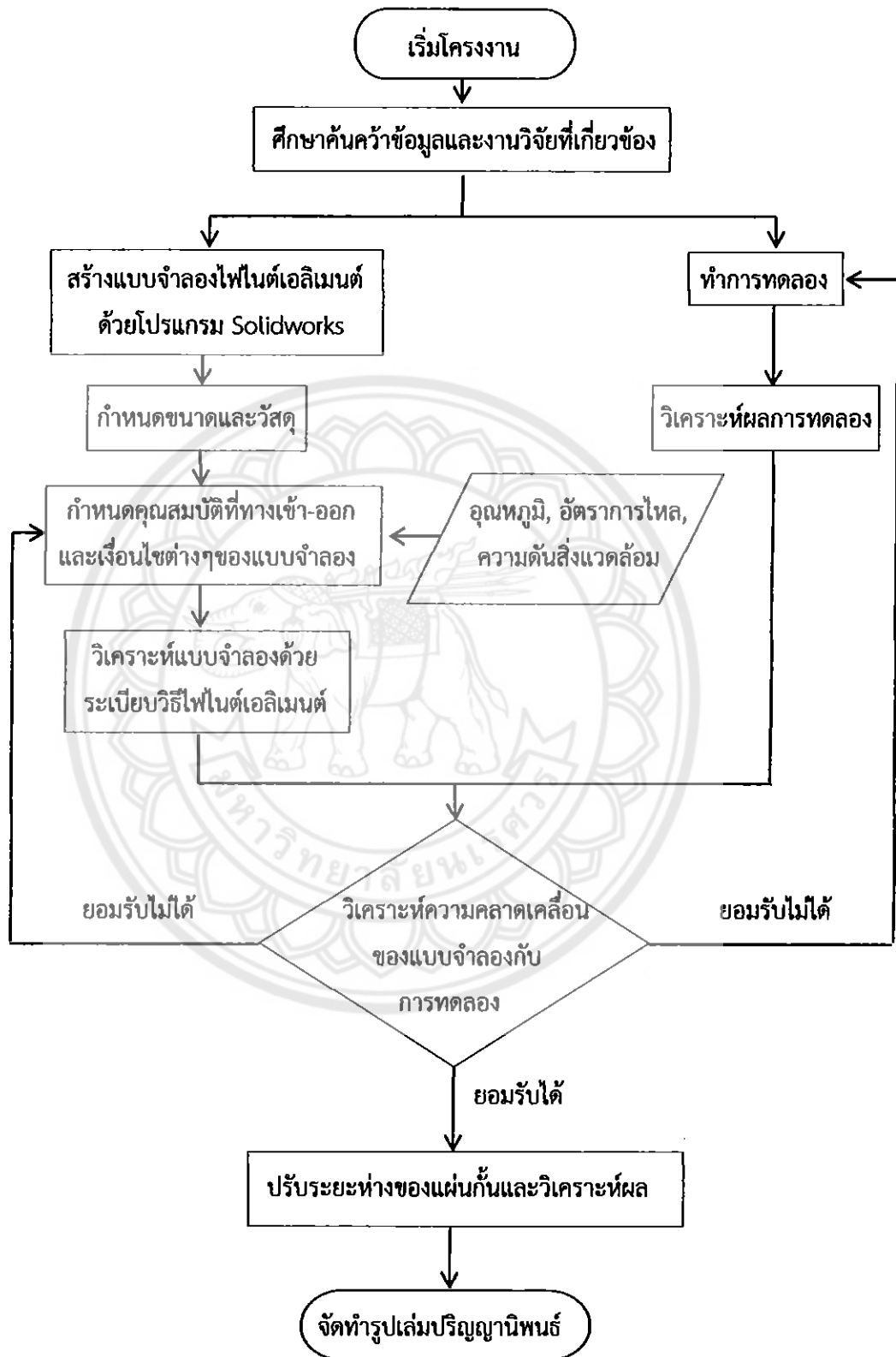
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การวิเคราะห์ผลกระทบของระยะห่างของแผ่นกั้นที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าประสิทธิผล และค่าความดันลด ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ จะทำการปรับระยะห่างของแผ่นกั้นให้อยู่ในช่วงมากกว่า 20% ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเปลือก โดยเลือกศึกษาที่ระยะห่าง 5 ระยะ คือ 36.60, 25.93, 20, 16.23 และ 13.62 mm ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 83.18%, 58.93%, 45.45%, 36.88%, 30.94% ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเปลือก ตามลำดับ กำหนดให้เปอร์เซ็นต์การติดคงที่อยู่ที่ 15.9% โดยวัดได้จากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในชุดการทดลอง และให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรกระแสร้อนเท่ากับ $8.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของกระแสเย็นเท่ากับ $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ ดังนั้นในการศึกษานี้จะประกอบไปด้วยแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมด 5 แบบ โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

- 3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูล
- 3.2 ทำการทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ
- 3.3 สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์
- 3.4 กำหนดคุณสมบัติและสภาวะเงื่อนไขขอบของแบบจำลอง
- 3.5 วิเคราะห์แบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- 3.6 เปรียบเทียบประสิทธิผลที่ได้จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลอง
- 3.7 ปรับระยะห่างของแผ่นกั้นและวิเคราะห์ผล

ซึ่งในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงานสามารถนำมาเขียนให้อยู่ในรูปของภาพแผนผังได้ดังนี้



รูปที่ 4 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

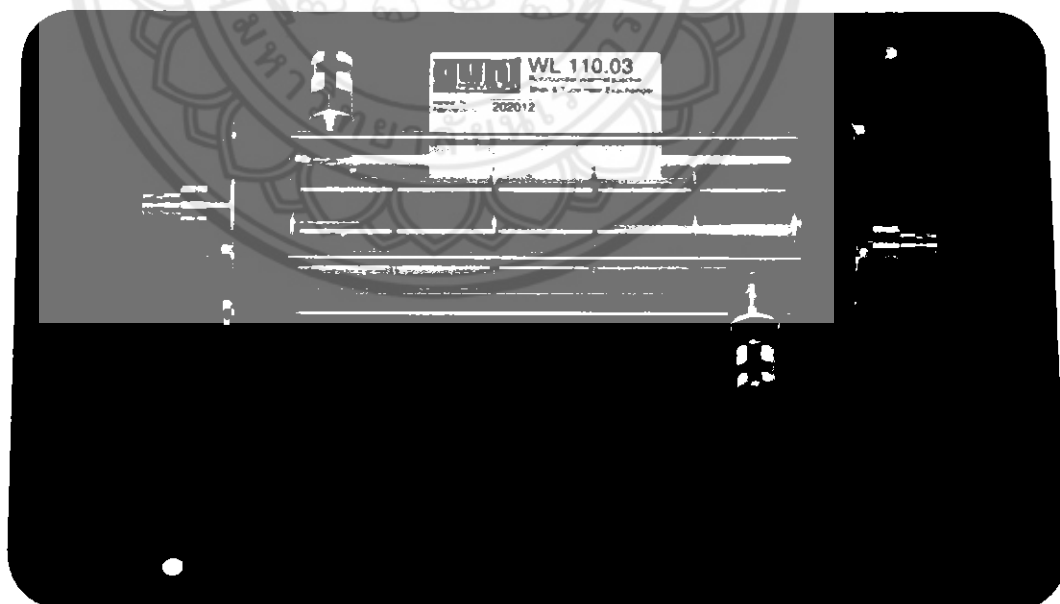
3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูล

ศึกษาข้อมูลและรายละเอียดต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ รวมไปถึงเอกสารงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้ โดยได้ทำการศึกษาดังนี้

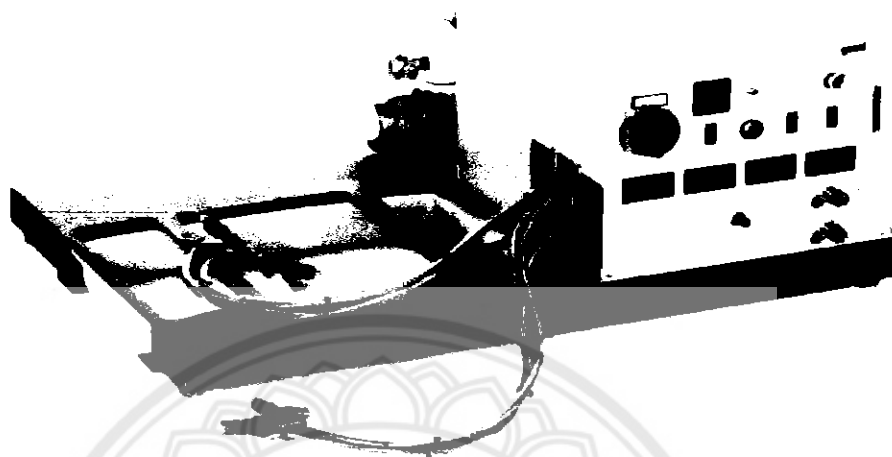
- ทฤษฎีระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์
- ทฤษฎีการถ่ายโอนความร้อน
- ค่าความคลาดเคลื่อน และสมการที่เกี่ยวข้อง
- ผลงานวิจัย

3.2 ทำการทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเครื่องกล โดยใช้ชุดการทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ รุ่น WL 110.03 ซึ่งประกอบด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ และเครื่องกำหนดสภาวะและแสดงผลการวัดค่าต่างๆ ดังแสดงในรูปด้านล่าง



รูปที่ 5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ รุ่น WL 110.03



รูปที่ 6 เครื่องกำหนดสภาวะและแสดงผลการวัดค่าต่างๆ ในการแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 7 ลักษณะการประกอบชุดการทดลอง

3.2.1 กำหนดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของของไหลกระแสนร้อนและกระแสนเย็นเป็น $8.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ และ $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ ตามลำดับ

3.2.2 ทำการทดลอง 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแล้วนำไปคำนวณเป็นค่าประสิทธิภาพเพื่อนำผลไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.3 สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

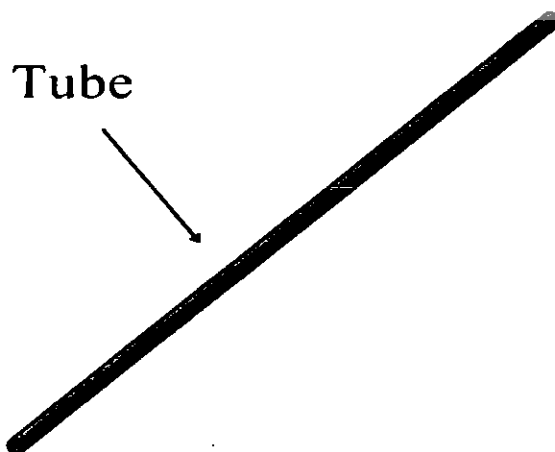
ในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ จะทำการสร้างด้วยโปรแกรม solidworks โดยจะประกอบไปด้วย 5 ส่วน คือ

1. เปลือก ทำมาจากแก้ว ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 50 mm หนา 3 mm ยาว 190 mm มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 8



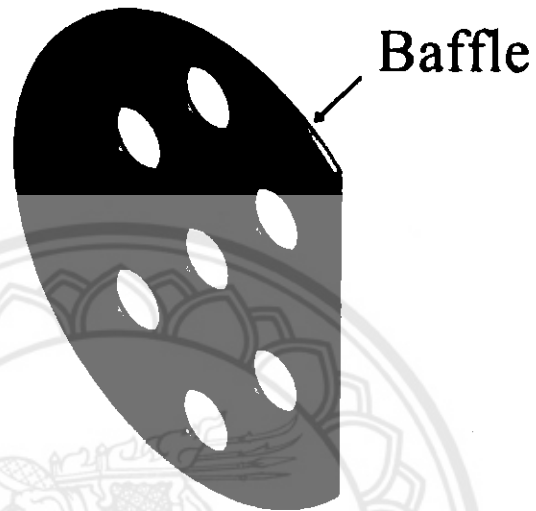
รูปที่ 8 แสดงลักษณะของเปลือก

2. ท่อ ทำจาก Stainless steel 321 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 mm ยาว 190 mm หนา 1 mm จำนวน 7 ท่อ มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 9



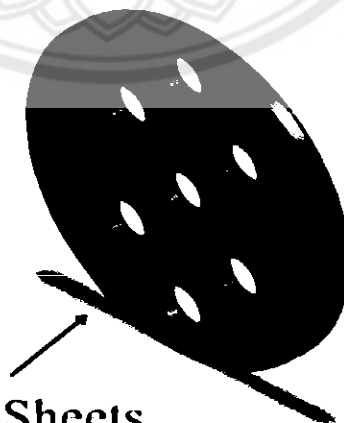
รูปที่ 9 แสดงลักษณะของท่อ

3.แผ่นกั้น ทำจาก Stainless steel 321 ความหนา 0.75 mm เปอร์เซนต์การตัดของแผ่น
กั้นอยู่ที่ 15.9% มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงลักษณะของแผ่นกั้น

4.แผ่นสวมท่อทาง (Tube sheets) ทำจาก Stainless steel 321 ความหนา 2 mm มี
ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 11

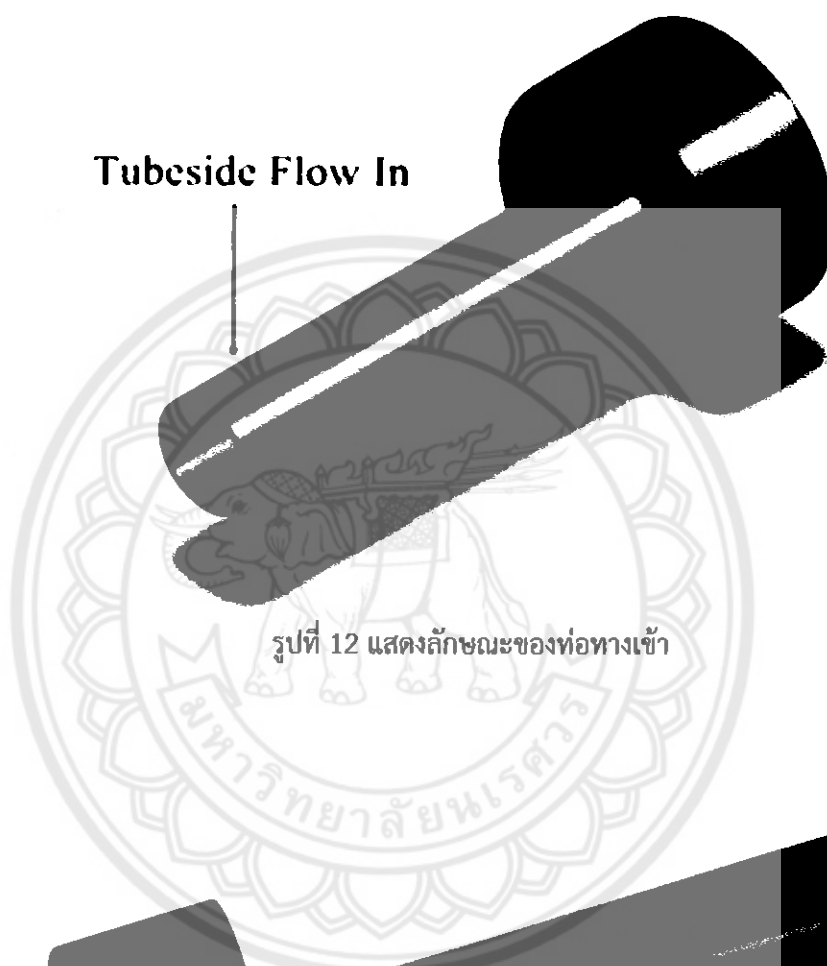


Tube Sheets

รูปที่ 11 แสดงลักษณะของแผ่นสวมท่อทาง

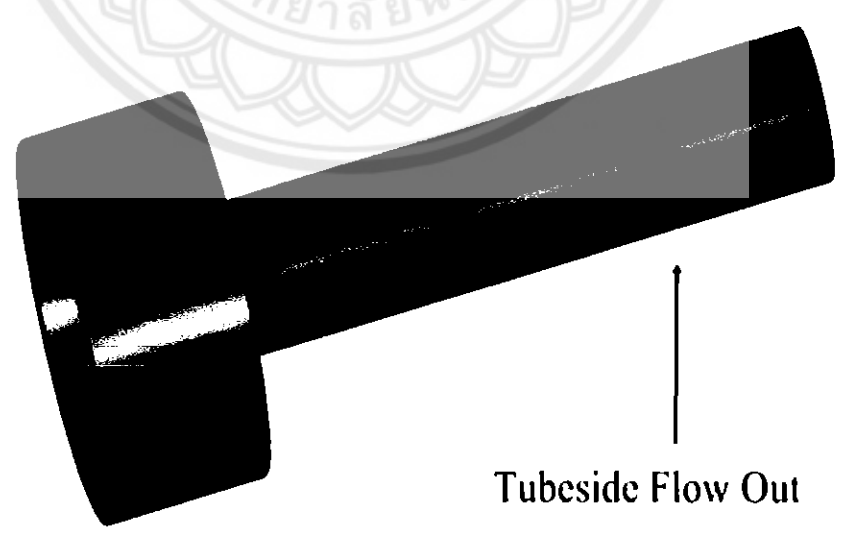
5. ท่อทางเข้าและทางออก (Tubeside Flow In and out) ทำจาก Stainless steel มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 12 และรูปที่ 13

Tubeside Flow In

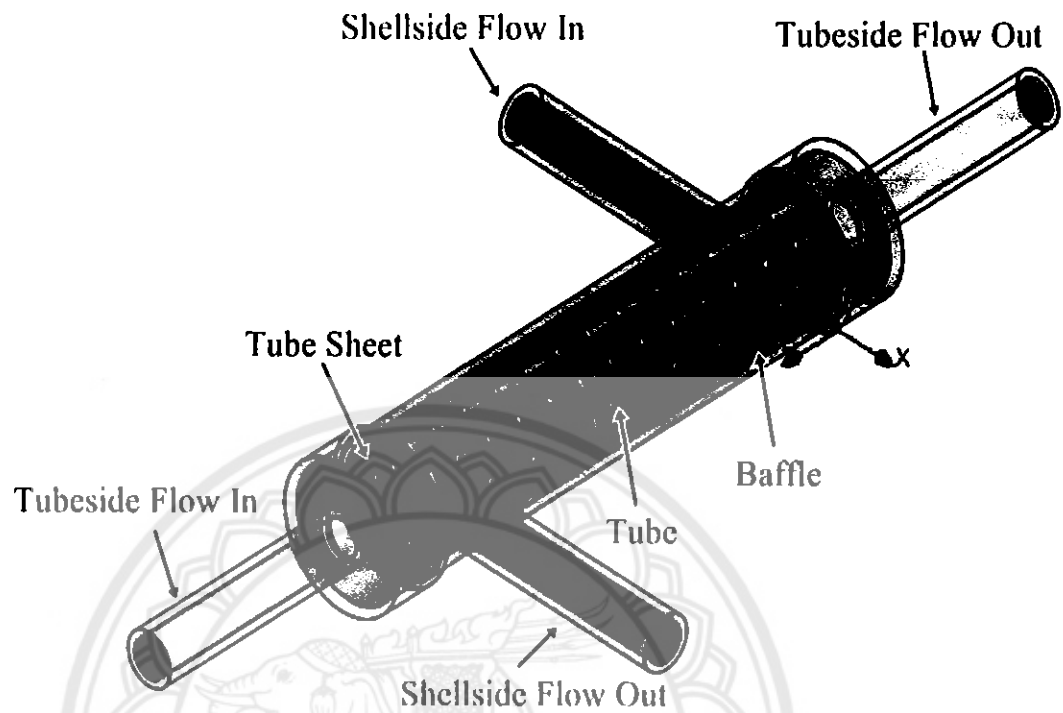


รูปที่ 12 แสดงลักษณะของท่อทางเข้า

Tubeside Flow Out



รูปที่ 13 แสดงลักษณะของท่อทางออก



รูปที่ 14 แสดงรูปร่างของแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

3.4 กำหนดคุณสมบัติและสภาวะเงื่อนไขขอบของแบบจำลอง

3.4.1 กำหนดคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ในแบบจำลองดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ ในแบบจำลอง

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

ที่มา : Dewitt Bergmann Lavine (2007)

ตารางที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

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

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

ในแบบจำลองของไหลภายในเปลือกเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาได้จากการทดลอง โดยคำนวณจาก

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

โดยที่ Q คือ ปริมาณความร้อนที่กระแสน้ำของไหลเย็นรับไปจากกระแสน้ำของไหลร้อน
 \dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลกระแสน้ำเย็น
 c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะเปิดตารางที่ ค-1 ที่อุณหภูมิ 34.065 °C
 ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิของของไหลกระแสน้ำเย็น

แทนค่า

$$Q = 0.02486 \times 4178 \times (309.71 - 304.72) = 518.29 \text{ W}$$

และจาก

$$Q = hA\Delta T$$

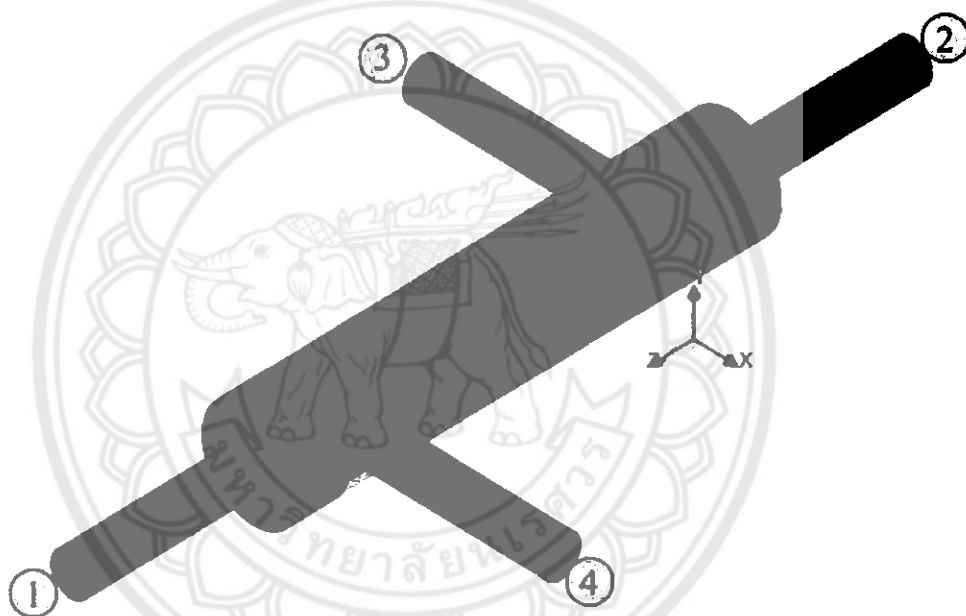
โดยที่ Q คือ ปริมาณความร้อนที่กระแสน้ำของไหลเย็นรับไปจากกระแสน้ำของไหลร้อน
 h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลกระแสน้ำเย็น
 A คือ พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนคิดจากพื้นที่ผิวภายนอกของท่อทั้งหมด
 ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิของของไหลกระแสน้ำเย็น

$$\text{แทนค่า} \quad 518.29 = h \times 0.02507 \times (309.71 - 304.72)$$

$$h = 4,143 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาของของไหลภายในเปลือกเท่ากับ $4,143 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของแบบจำลองที่เปอร์เซ็นต์การตัดของแผ่นกันต่างๆ

3.4.2 กำหนดสถานะเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) ที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลอง



รูปที่ 15 กำหนดตำแหน่งทางเข้าและออกของของไหลทั้ง 2 กระแส

- หมายเลข 1 ทางเข้าของน้ำร้อน กำหนดให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 350.68 K และมีอัตราการไหลเชิงปริมาตรเท่ากับ $8.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$
- หมายเลข 2 ทางออกของน้ำร้อน
- หมายเลข 3 ทางเข้าของน้ำเย็น กำหนดให้มีอุณหภูมิเท่ากับ 304.72 K และมีอัตราการไหลเชิงปริมาตรเท่ากับ $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
- หมายเลข 4 ทางออกของน้ำเย็น

3.5 วิเคราะห์แบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

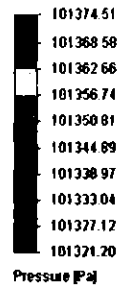
ทำการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แล้วนำผลของอุณหภูมิที่ได้ไปคำนวณหาค่าประสิทธิผล เพื่อนำผลไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง

3.6 เปรียบเทียบประสิทธิผลที่ได้จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลอง

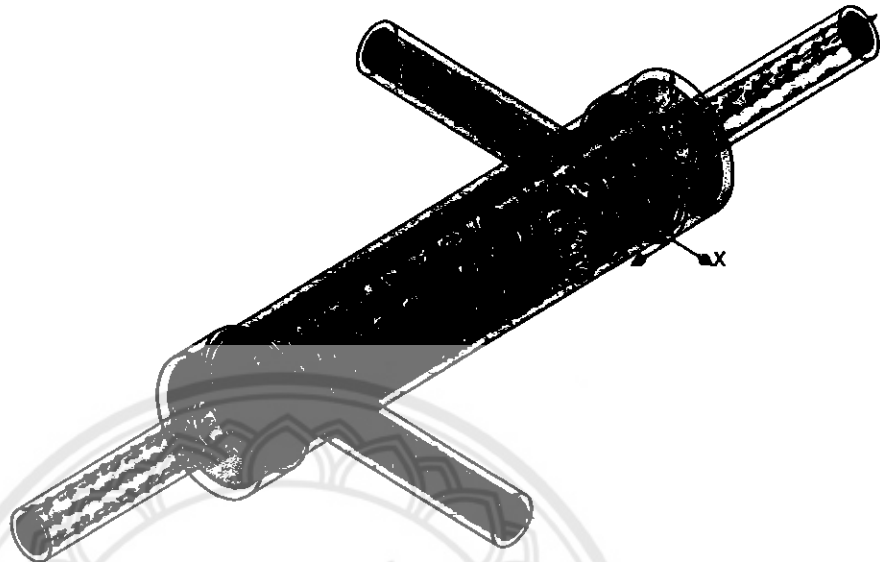
นำค่าประสิทธิผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบว่าผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ และเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองว่าแบบจำลองใช้ได้หรือไม่ โดยทำการคำนวณค่าราคาค่าตอบของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองและค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประสิทธิผลระหว่างแบบจำลองและการวัดจริง แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนสะสมสัมบูรณ์ที่ได้จากการวัด เพื่อจะได้แบบจำลองที่มีความถูกต้องก่อนที่จะนำไปปรับระยะห่างของแผ่นกัน และวิเคราะห์ผลหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าประสิทธิผล และค่าความดันลุดที่เกิดขึ้น

3.7 ปรับระยะห่างของแผ่นกันและวิเคราะห์ผล

สำหรับค่าอุณหภูมิและค่าความดันที่ได้จากการวิเคราะห์ จะนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าประสิทธิผลและค่าความดันลุด ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ ซึ่งจะศึกษาที่เปลือกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้การวิเคราะห์ดูระยะห่างของแผ่นกันว่ามีผลกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าประสิทธิผลและค่าความดันลุด อย่างไร

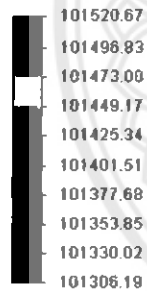


Flow Trajectories 1

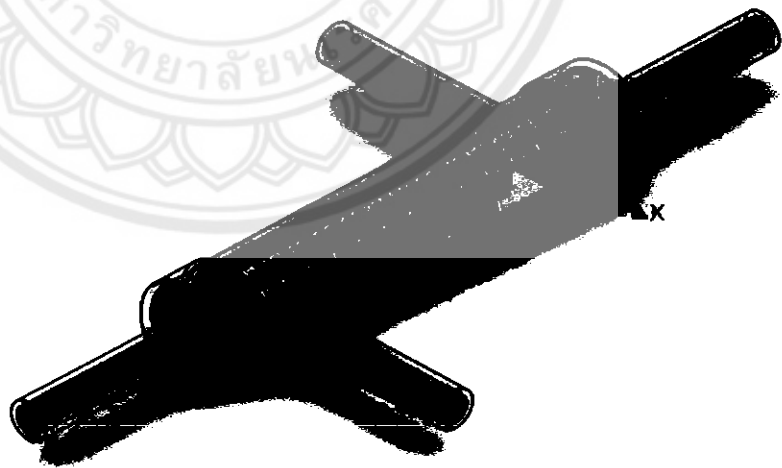


*Isometric

รูปที่ 16 แบบจำลองแสดงทิศทางการไหลของของไหล



Cut Plot 1: contours
Cut Plot 2: contours



*Isometric

รูปที่ 17 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความดันลดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะได้แสดงผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการดำเนินงานตามขั้นตอนและระเบียบวิธี การดำเนินงานวิจัยดังแสดงในบทที่ 3 ซึ่งจะประกอบด้วยเนื้อหาและรายละเอียดของผลการทดลองและวิเคราะห์ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าประสิทธิผลของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าประสิทธิผลที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง

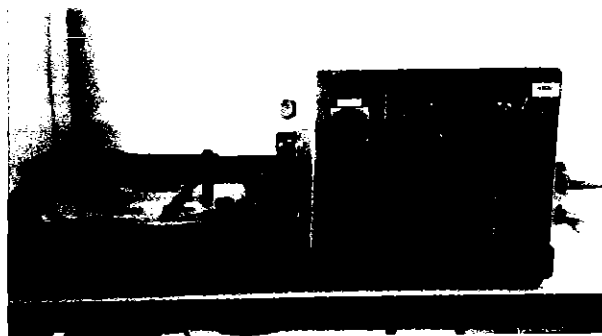
4.2 การวิเคราะห์ผลของการปรับระยะห่างของแผ่นกั้นซึ่งมีผลต่อค่าความดันลด ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าประสิทธิผล

4.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าประสิทธิผลของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าประสิทธิผลที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง

นำค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากการทดลองและค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มาหาค่าประสิทธิผลเพื่อทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลอง

4.1.1 วิเคราะห์ค่าประสิทธิผลที่ได้จากผลการทดลอง

ที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรกระแสน้ำร้อน $8.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ และที่อัตราการไหลเชิงปริมาตรกระแสน้ำเย็น $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$



รูปที่ 18 ชุดการทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลของอุณหภูมิต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง

ครั้งที่	$T_{h,i}$ (K)	$T_{h,o}$ (K)	$T_{c,i}$ (K)	$T_{c,o}$ (K)	ϵ (%)
1	350.58	329.85	304.38	309.65	44.87
2	350.75	329.95	304.72	309.65	45.18
3	350.75	330.05	305.05	309.85	45.29
เฉลี่ย	350.68	329.95	304.72	309.71	45.10

จากตารางผลการทดลองทำให้ทราบค่าอุณหภูมิ และสามารถนำค่าเหล่านั้นไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ โดยหาได้จาก

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

แทนค่า

$$\epsilon = \frac{350.68 - 329.95}{350.68 - 304.72} \times 100\% = 45.10\%$$

15998554

ป.ร.

ค.ศ. 21/11/19

2554

ค่าประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนจากการทดลอง คือ 45.10%

4.1.2 วิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

จากการวิเคราะห์ด้วยสภาวะเดียวกันกับการทดลองค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลของอุณหภูมิต่าง ๆ ที่ได้จากโปรแกรม solidworks

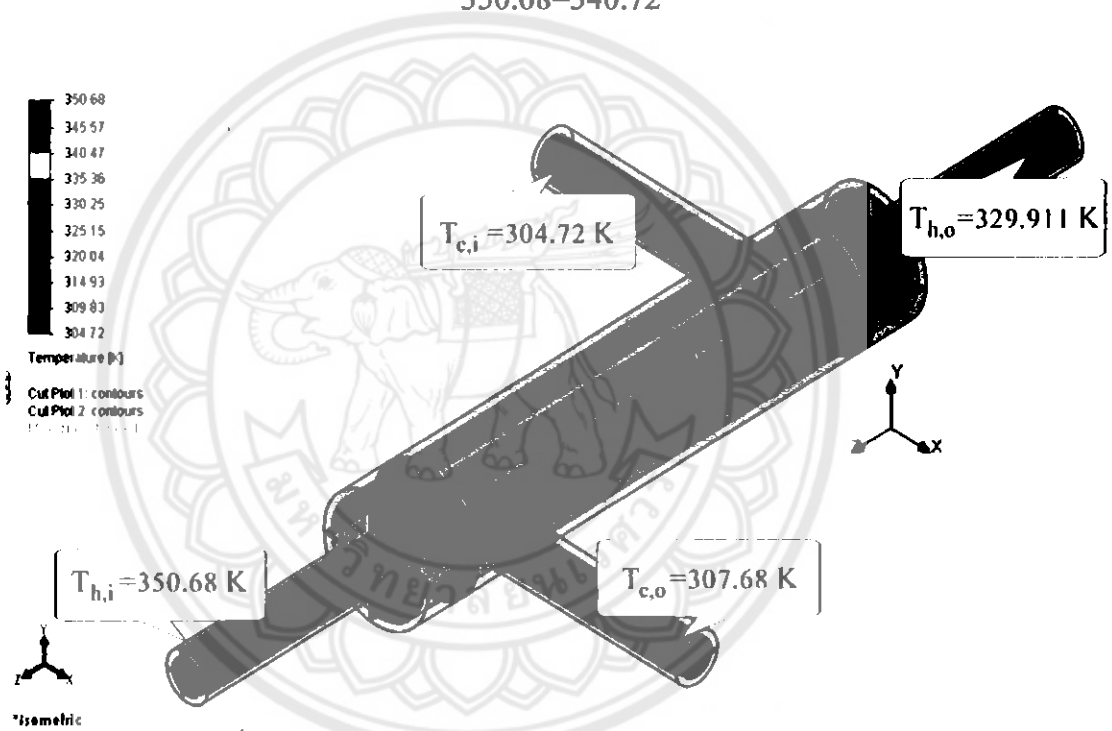
ครั้งที่	$T_{h,i}$ (K)	$T_{h,o}$ (K)	$T_{c,i}$ (K)	$T_{c,o}$ (K)	ϵ (%)
1	350.58	329.44	304.38	307.37	45.76
2	350.75	329.71	304.72	307.71	45.71
3	350.75	329.80	305.05	308.03	45.84
เฉลี่ย	350.68	329.65	304.72	307.70	45.76

จากตารางการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนได้จาก

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

แทนค่า

$$\epsilon = \frac{350.68 - 329.82}{350.68 - 340.72} \times 100\% \approx$$



รูปที่ 19 การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

4.1.3 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง

การเปรียบเทียบความถูกต้องผลของแบบจำลองกับผลของการทดลองสามารถพิสูจน์ได้โดยนำค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของประสิทธิภาพจากการทดลอง (ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของเครื่องวัดเท่ากับ ±1 °C) นำไปเปรียบเทียบกับ ค่า RMSE และ ค่า MBD ถ้าค่า RMSE และ ค่า MBD มีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของค่าประสิทธิภาพจากการทดลองจะถือว่าแบบจำลองมีความถูกต้อง โดยผลการคำนวณแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของประสิทธิผลจากการทดลอง

ลำดับ	ประสิทธิผล (%)	ค่าความคลาดเคลื่อนสะสม (%)
1	45.44	3.36
2	45.38	3.37
3	45.38	3.40
เฉลี่ย	45.40	3.38

ตารางที่ 6 แสดงค่าผลต่างของประสิทธิผลระหว่างแบบจำลองกับการทดลอง

ลำดับ	แบบจำลอง, M	การทดลอง, E	M-E	(M-E) ²
1	45.76	44.87	0.89	0.79
2	45.71	45.18	0.53	0.28
3	45.84	45.29	0.55	0.30
รวม	137.31	137.34	1.97	1.37

จากตารางที่ 6 สามารถคำนวณค่า RMSE ได้จาก

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{1.37}{3}} = 0.68\%$$

และจากตารางที่ 6 สามารถคำนวณค่า MBD ได้จาก

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

$$MBD = \frac{1}{3} \times 1.97 = 0.66\%$$

เมื่อนำค่า RMSE และ MBD มาเปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนสะสม จะเห็นได้ว่าค่า RMSE และ MBD มีค่าน้อยกว่าความคลาดเคลื่อนสะสมซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.38% ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองมีความถูกต้องเพียงพอต่อการนำไปวิเคราะห์การปรับเปลี่ยนระยะของแผ่นกันในช่วงขั้นตอนต่อไป

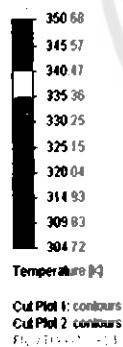
4.2 การวิเคราะห์ผลของการปรับระยะห่างของแผ่นกันซึ่งมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าประสิทธิภาพ

4.2.1 ค่าประสิทธิภาพ

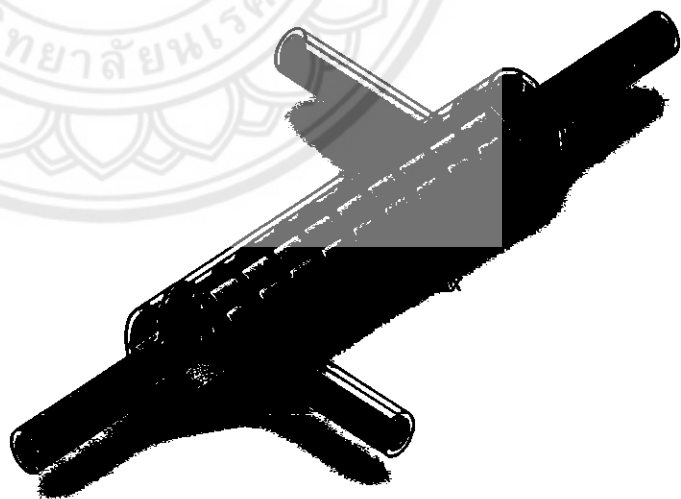
จากผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถคำนวณได้ค่าประสิทธิภาพดังแสดงในตารางที่ 7 และสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 21

ตารางที่ 7 แสดงอุณหภูมิเพื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพ

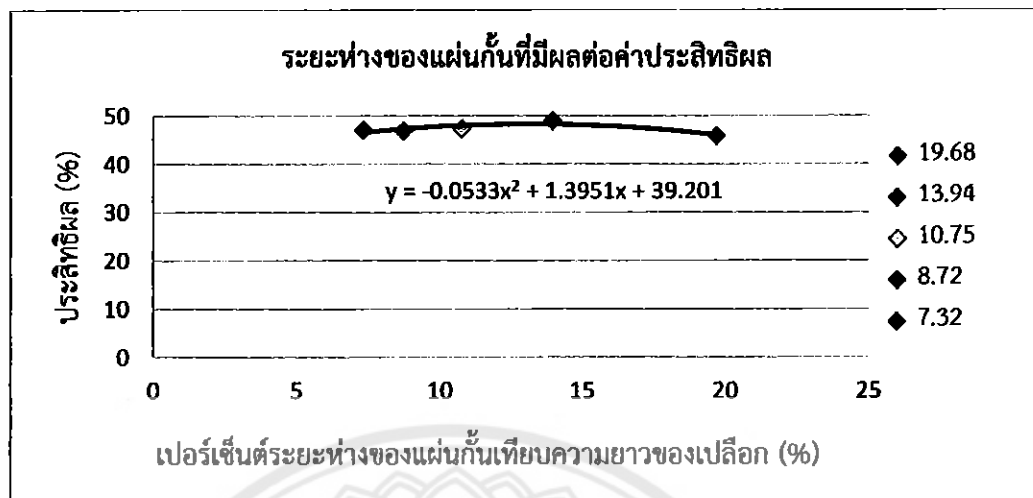
จำนวนแผ่นกัน	$T_{h,i}$ (K)	$T_{h,o}$ (K)	$T_{c,i}$ (K)	$T_{c,o}$ (K)	ϵ (%)
4	350.68	329.60	304.72	307.70	45.86
6	350.68	329.37	304.72	307.79	48.98
8	350.68	328.92	304.72	307.95	47.35
10	350.68	329.10	304.72	308.02	46.96
12	350.68	329.02	304.72	308.03	47.04



Isometric



รูปที่ 20 การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 21 แสดงค่าระยะห่างของแผ่นกั้นที่มีผลต่อประสิทธิผล

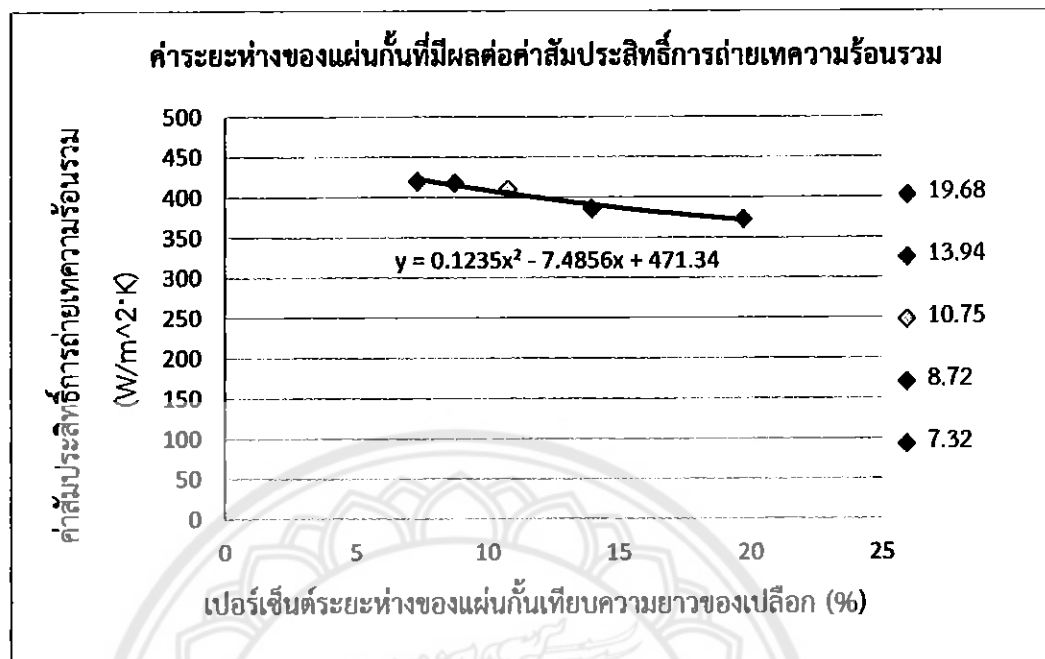
จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองที่ปรับระยะห่างของแผ่นกั้น พบว่า ค่าประสิทธิผลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าประสิทธิผลสูงสุดอยู่ที่ 48.98% ที่ระยะห่างของแผ่นกั้น 13.94% ของความยาวเปลือก หลังจากนั้นค่าประสิทธิผลมีแนวโน้มลดลง จนมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 40.50% ที่ระยะห่างแผ่นกั้น 7.32% ของความยาวเปลือก อย่างไรก็ตาม ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าประสิทธิผลดังกล่าว จะแตกต่างกันเพียง 3.12% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นนั้นส่งผลต่อค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเปลือกและท่อน้อยมาก

4.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

จากผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถคำนวณได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมดังแสดงในตารางที่ 8 และสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 22

ตารางที่ 8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่ระยะห่างต่าง ๆ

เปอร์เซ็นต์ระยะห่างของแผ่นกั้น เทียบกับความยาวเปลือก (%)	ระยะห่างของแผ่นกั้น (mm)	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2 \cdot K$)
19.68	36.60	372.89
13.94	25.93	385.86
10.75	20.00	410.23
8.72	16.23	417.98
7.32	13.62	419.63



รูปที่ 22 แสดงค่าระยะห่างของแผ่นกั้นที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

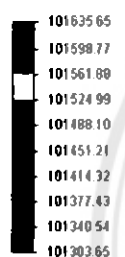
จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองที่ปรับระยะห่างของแผ่นกั้นพบว่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูงสุดอยู่ที่ $419.63 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ที่ระยะห่างของแผ่นกั้น 7.32% ของความยาวเปลือก และค่าต่ำสุดอยู่ที่ $372.89 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ที่ระยะห่างแผ่นกั้น 19.68% ของความยาวเปลือก ซึ่งแตกต่างกันเท่ากับ $46.74 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 11.14% จากลักษณะของกราฟที่ได้จะเห็นว่าที่ระยะห่างของแผ่นกั้นในช่วงแรก 7.32-8.72% ของความยาวเปลือกค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะลดลงเพียงเล็กน้อยจาก $419.63 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ เหลือ $417.98 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ จากนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน

4.2.3 ค่าความดันลด

จากผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถคำนวณได้ค่าความดันลดดังแสดงในตารางที่ 9 และสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 24

ตารางที่ 9 แสดงค่าความดันลดที่ระยะห่างต่าง ๆ

เปอร์เซ็นต์ระยะห่างของแผ่นกั้น เทียบกับความยาวเปลือก(%)	ระยะห่างของแผ่นกั้น (mm)	ความดันลด (Pa)
19.68	36.60	155.77
13.94	25.93	216.97
10.75	20.00	283.68
8.72	16.23	301.01
7.32	13.62	358.85

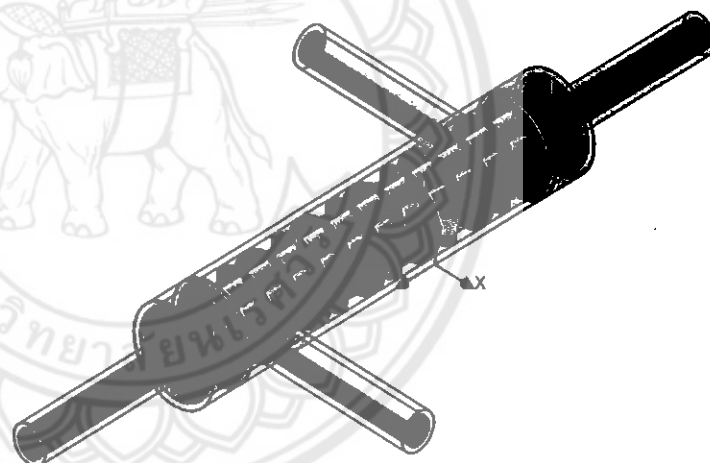


Pressure [Pa]

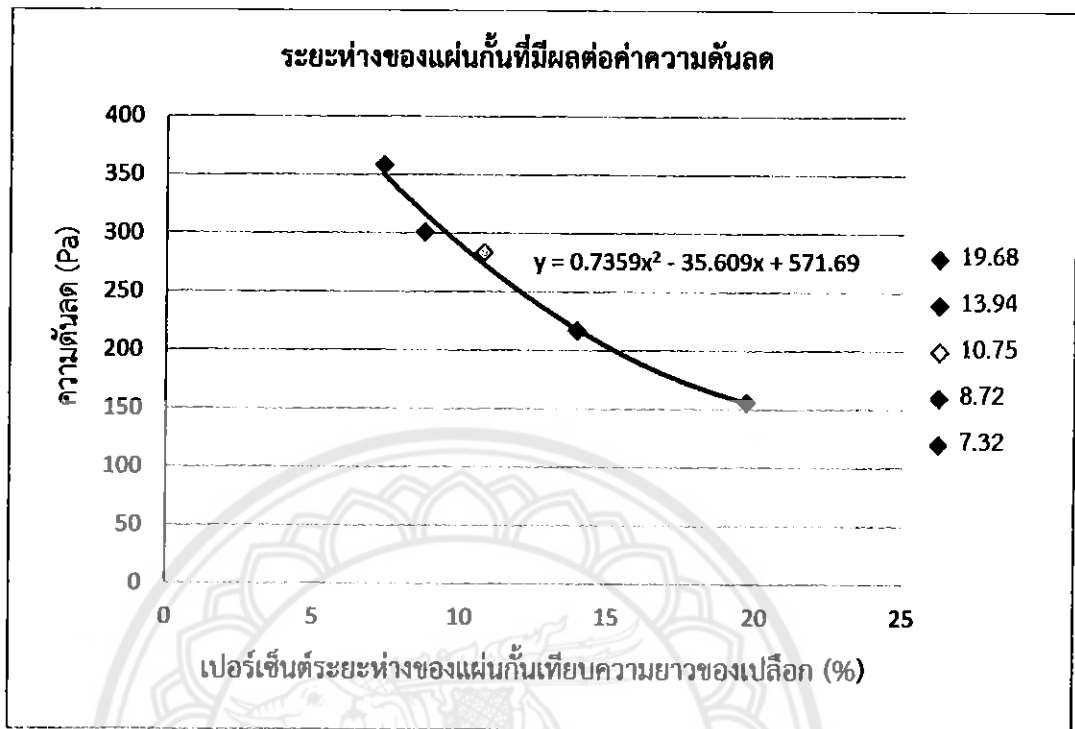
Cut Plot 1: contours
Cut Plot 2: contours



Iometric



รูปที่ 23 การวิเคราะห์ค่าความดันลดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองที่ปรับระยะห่างของแผ่นกั้น พบว่าค่าความดันลดมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่าความดันลดมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 358.35 Pa ที่ระยะห่างของแผ่นกั้น 7.32% ของความยาวเปลือก และค่าต่ำสุดอยู่ที่ 155.77 Pa ที่ระยะห่างของแผ่นกั้น 19.68% ของความยาวเปลือก ซึ่งแตกต่างกันเท่ากับ 202.58 Pa คิดเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 56.53% จากลักษณะของกราฟที่ได้จะเห็นได้ว่าการลดลงของค่าความดันลดมีสัดส่วนที่ค่อนข้างสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นที่เพิ่มขึ้น

ข้อมูลผลการวิเคราะห์ผลกระทบของระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นที่มีต่อค่าประสิทธิผล ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและค่าความดันลดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถสรุปข้อมูลได้แสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แสดงค่าประสิทธิผล, ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าความดันลดที่ระยะห่างต่าง ๆ ของแผ่นกัน

ระยะห่างระหว่างแผ่นกัน (mm)	เปอร์เซ็นต์ระยะห่างของแผ่นกันเทียบกับความยาวเปลือก(%)	ประสิทธิผล (%)	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม $W/m^2 \cdot K$	ความดันลด (Pa)
36.60	19.68	45.86	372.89	155.77
25.93	13.94	48.98	385.86	216.97
20.00	10.75	47.35	410.23	283.68
16.23	8.72	46.96	417.98	301.01
13.62	7.32	47.04	419.63	358.85

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การวิเคราะห์แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีขั้นตอนการดำเนินงานที่ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกขั้นตอนการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลอง ขั้นตอนที่สองการปรับระห่างของแผ่นกันเพื่อศึกษาผลกระทบของระยะห่างระหว่างแผ่นกันต่อค่าประสิทธิผล ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและค่าความดันลด ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

5.1.1 การยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

✓ จากการการสร้างแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ สรุปได้ว่าแบบจำลองมีความถูกต้องเพียงพอ มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยค่า RSME (0.68%) และ BMD (0.66%) ของแบบจำลองและการทดลองมีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนสะสมของค่าประสิทธิผลจากการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.38%

5.1.2 การปรับระยะห่างของแผ่นกันเพื่อวิเคราะห์ค่าประสิทธิผล ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าความดันลด

→ ✗ 5.1.2.1 ผลกระทบของระยะห่างของแผ่นกันต่อค่าประสิทธิผลการแลกเปลี่ยนความร้อน

จากการวิเคราะห์ผลที่ได้ จะพบว่าการปรับระยะห่างของแผ่นกันจะส่งผลต่อค่าประสิทธิผลน้อยมาก โดยค่าประสิทธิผลสูงสุดอยู่ที่ 48.98% ที่ระยะห่างของแผ่นกัน 13.94% ของความยาวเปลือก และค่าต่ำสุดอยู่ที่ 45.86% ที่ระยะห่างแผ่นกัน 19.68% ของความยาวเปลือก แตกต่างกันเพียง 3.12%

→ ✗ 5.1.2.2 ผลกระทบของระยะห่างของแผ่นกันต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

จากการวิเคราะห์ผลที่ได้ จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นกันเพิ่มมากขึ้น โดยที่ระยะห่างของแผ่นกัน 7.32% ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเท

ความร้อนรวมมีค่าเท่ากับ $419.63 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ที่ระยะห่างของแผ่นกัน 19.68% ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะลดลงเหลือ $372.89 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

* \rightarrow 5.1.2.3 ผลกระทบของระยะห่างของแผ่นกันต่อค่าความดันลด

จากการวิเคราะห์ผลที่ได้ จะพบว่าค่าความดันลดจะมีค่าลดลงในอัตราส่วนค่อนข้างคงที่เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นกันเพิ่มมากขึ้น โดยที่ระยะห่างของแผ่นกัน 7.32% ของความยาวเปลือก ค่าความดันลดมีค่าเท่ากับ 358.35 Pa และจะลดลงเหลือ 155.77 Pa เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นกันเพิ่มขึ้นเป็น 19.68% ของความยาวเปลือก

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการวิเคราะห์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ หากมีผู้สนใจในการวิเคราะห์เพิ่มเติมอาจทำการศึกษาในหัวข้อดังต่อไปนี้

5.2.1 การศึกษาการเปลี่ยนชนิดสารที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของไหลจากของเหลวเป็น แก๊ส

5.2.2 ศึกษาการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการทำท่อในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

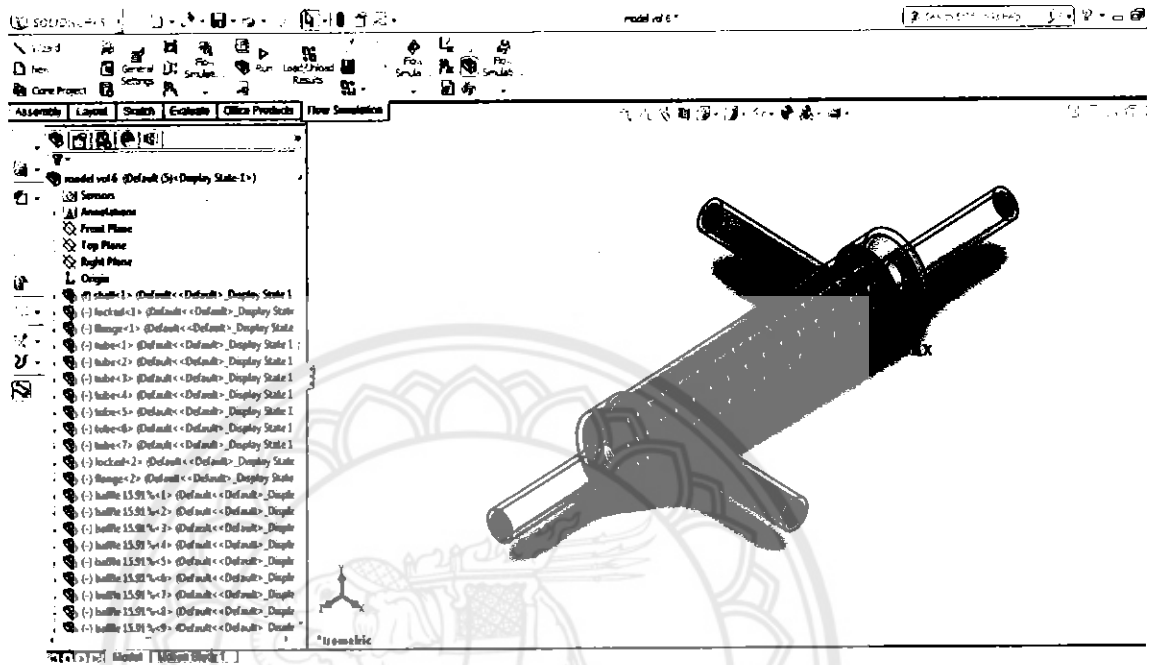
เอกสารอ้างอิง

- [1] อนุชา พรหมวังษา. เอกสารประกอบการสอนวิชาไฟไนต์เอลิเมนต์. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2544.
- [2] John R. Taylor. An Introduction to Error Analysis, Second Edition, University Science Book, California, USA
- [3] Diller, K.R, and T.P. Ryan, J. Heat Transfer, 1998.
- [4] Dewitt B L. (2007). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. (6nd ed.). John Wiley & sons (asia) Plte ltd
- [5] Huadong Li and Volker Kottke (1997). Effect of baffle spacing on pressure drop and local heat transfer in shell-and-tube heat exchangers for staggered tube arrangement. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 41, 1303 – 1311
- [6] Ender Ozden and Ilker Tari (2010). Shell side CFD analysis of a small shell-and-tube heat exchanger. *The Journal of Energy Conversion and Managment*. 51, 1004-1014
- [7] Thermocouple Specification Criteria วิธีสืบค้นวัสดุสารสนเทศ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.smartsensors.com/spectherm.pdf> วันที่ค้นข้อมูล : 12 กุมภาพันธ์ (2546)
- [8] Yunus A. Cengel and Afshin J. Ghajar. Heat and mass transfer Fundamentals and Application, (Fourth Edition). New York : Mc Graw-Hill companies, (2011)





การสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม SolidWorks



สร้างแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้เหมือนดังรูปด้านบนโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การสร้าง Shell และทางเข้า - ออกของของไหล

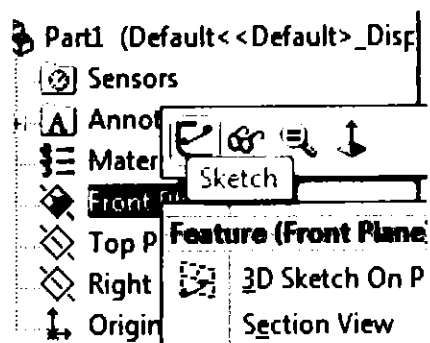
1.1 คลิก New  แล้วเพื่อเปิดไฟล์การสร้างชิ้นงาน

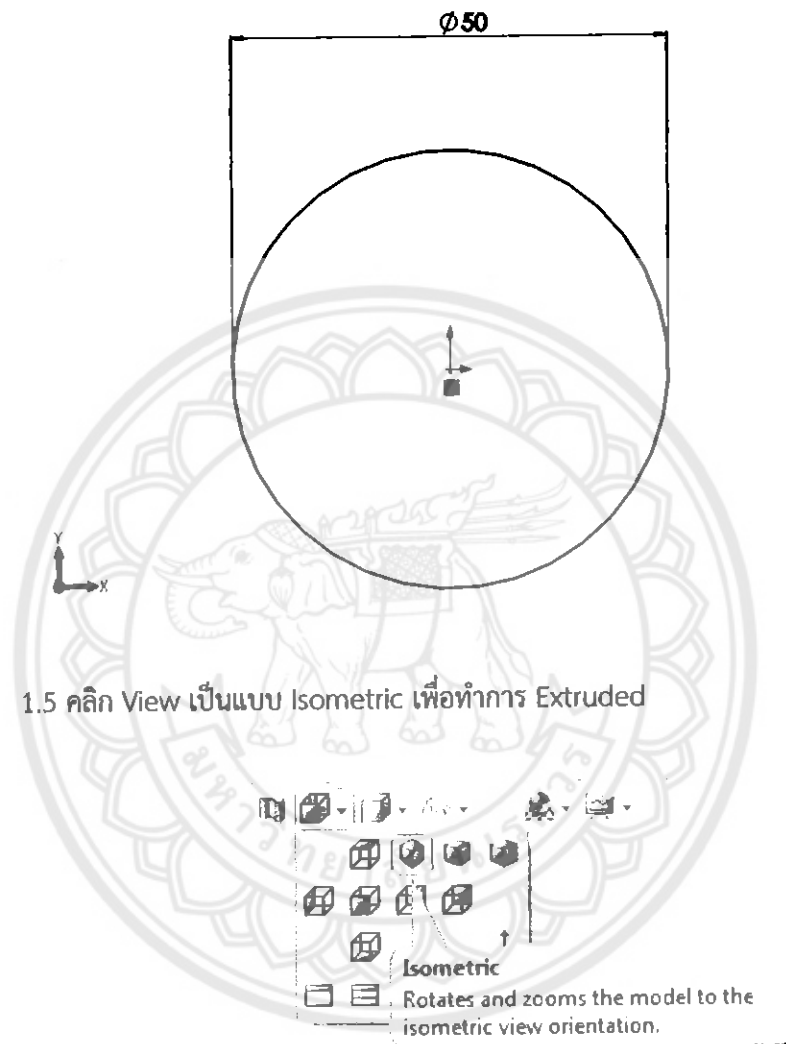
1.2 คลิก Part เพื่อสร้างแบบจำลอง 3D


1.3 คลิกขวาที่ระนาบ Front Plane แล้วเลือก Insert Sketch 


จากเมนูถัด โดย

ระนาบ Front Plane จะหันหน้ามาตั้งฉากกับหน้าจอ

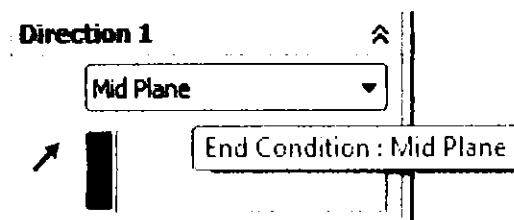




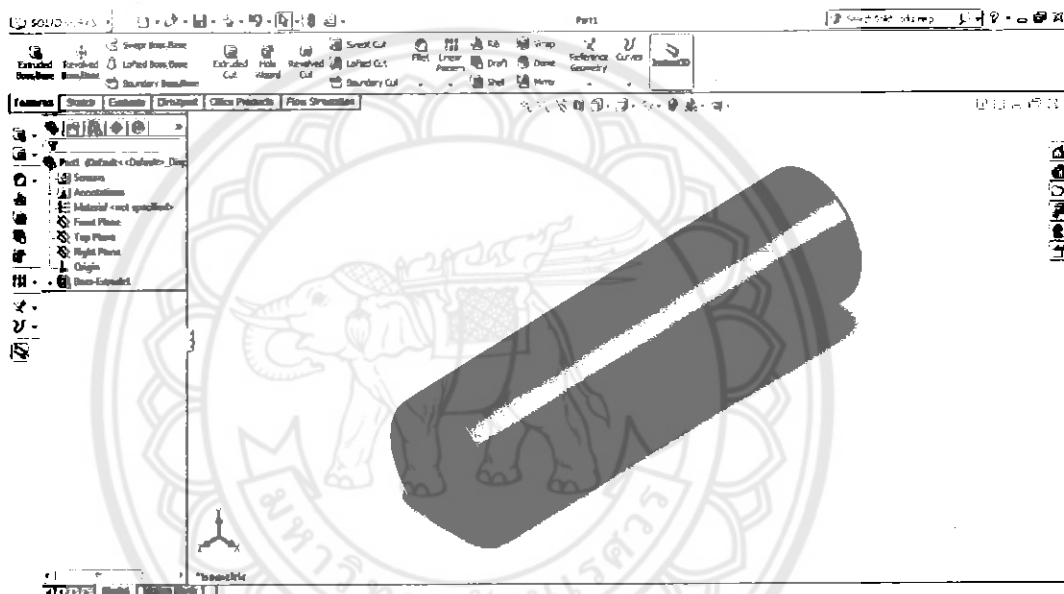
1.6 คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base 

1.6.1 กำหนด Depth ใส่ค่าเป็น 190 mm  190.00mm

1.6.2 คลิก End condition เลือก Mid Plane เพื่อให้แบบจำลองอยู่กลาง Plane



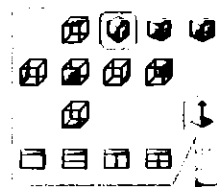
1.6.3 คลิก OK ✓ จะได้ความยาวของ Shell ดังรูป




2. การสร้างทางเข้า - ออกของของไหลเย็น

2.1 คลิกขวาที่ระนาบ Right Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนู

2.2 คลิก View เป็นแบบ Normal Plane เพื่อให้ Right ตั้งฉากกับหน้าจอเพื่อจะทำการสร้างทางเข้าของของไหลต่อไป

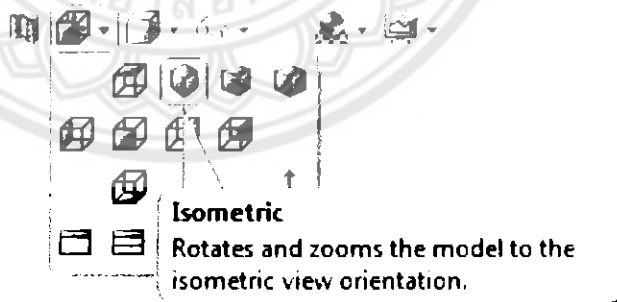


Normal To
Rotates and zooms the model to the view orientation normal to the selected plane, planar face, or feature.

2.3 สร้างวงกลม โดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลม ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 20 mm โดยจุดศูนย์กลางของวงกลมทั้งสองอยู่ห่างจากขอบด้านซ้ายของ Shell เท่ากับ 15 mm



2.4 คลิก View เป็นแบบ Isometric เพื่อทำการ Extruded



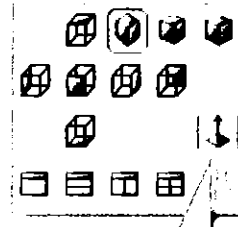
2.5 คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base

2.5.1 กำหนด Depth ใส่ค่าเป็น 115 mm  115.00mm


2.5.2 คลิก OK  จะได้ทางเข้าของของไหลเย็น

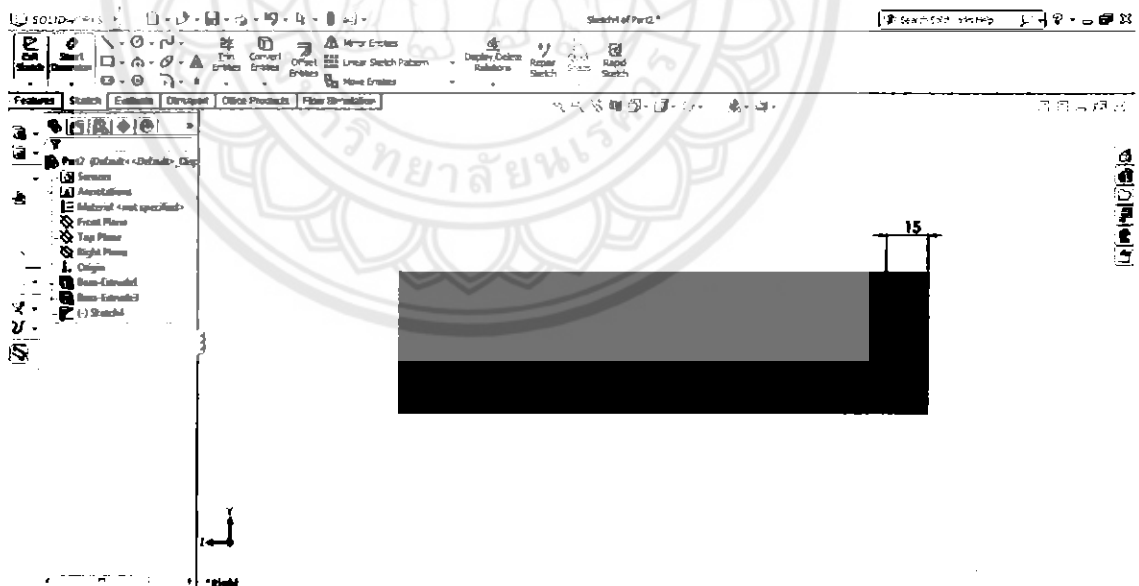
2.6 คลิกขวาที่ระนาบ Right Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูลัด

2.7 คลิก View เป็นแบบ Normal Plane เพื่อให้ Right ตั้งฉากกับหน้าจอเพื่อจะทำการสร้างทางออกของของไหลต่อไป

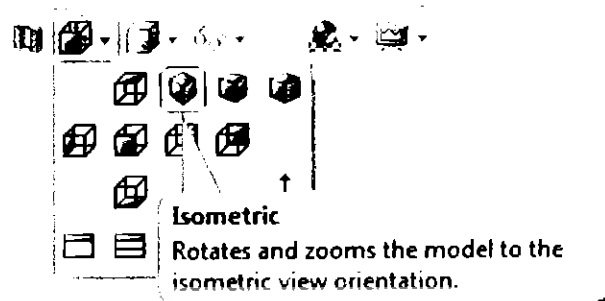


Normal To
Rotates and zooms the model to the view orientation normal to the selected plane, planar face, or feature.

2.8 สร้างวงกลม โดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 20 mm โดยจุดศูนย์กลางของวงกลมทั้งสองอยู่ห่างจากขอบด้านขวาของ Shell เท่ากับ 15 mm



2.9 คลิก View เป็นแบบ Isometric เพื่อทำการ Extruded



2.10 คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base

2.10.1 กำหนด Depth ใส่ค่าเป็น 115 mm

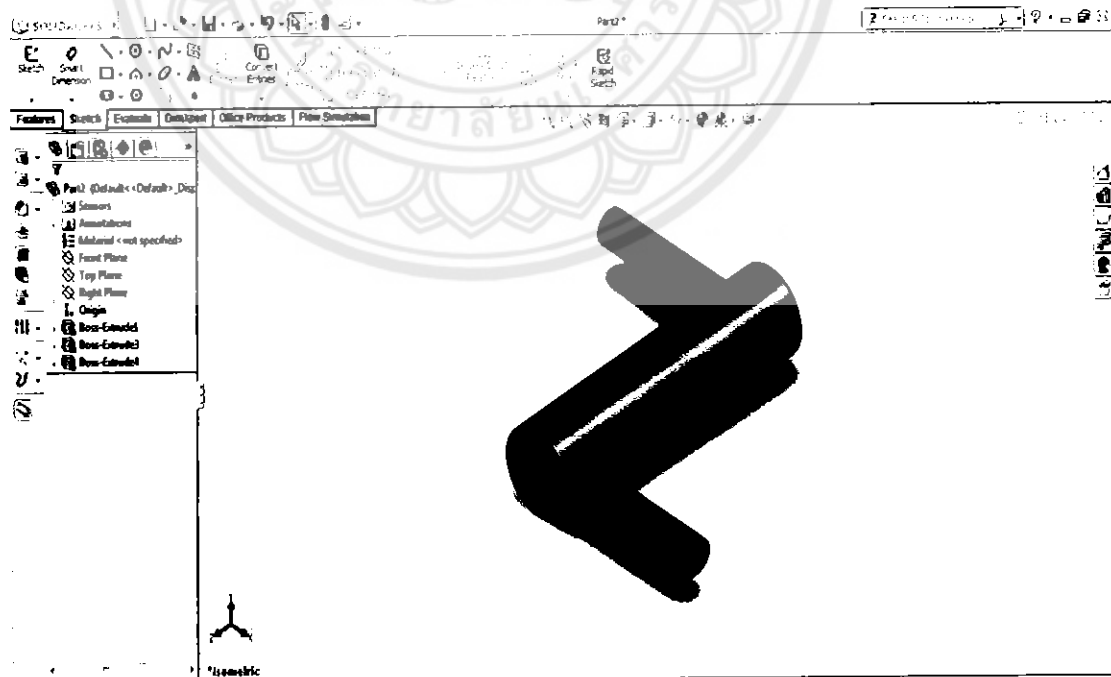
115.00mm


2.10.2 คลิก Reverse Direction เพื่อให้ทางออกของของไหลเย็นอยู่ด้านตรงข้ามกับทางเข้า

ของของไหลเย็น

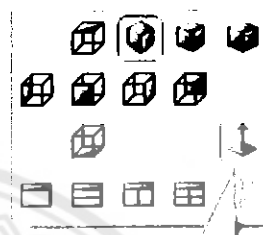
2.10.3 คลิก OK จะได้ทางเข้าของของไหลเย็น

2.10.4 จะได้ทางเข้าและทางออกของของไหลเย็นดังรูป




2.11 คลิกขวาที่ระนาบ Front Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูถัด โดยระนาบ Front Plane จะหันหน้ามาตั้งฉากกับหน้าจอ

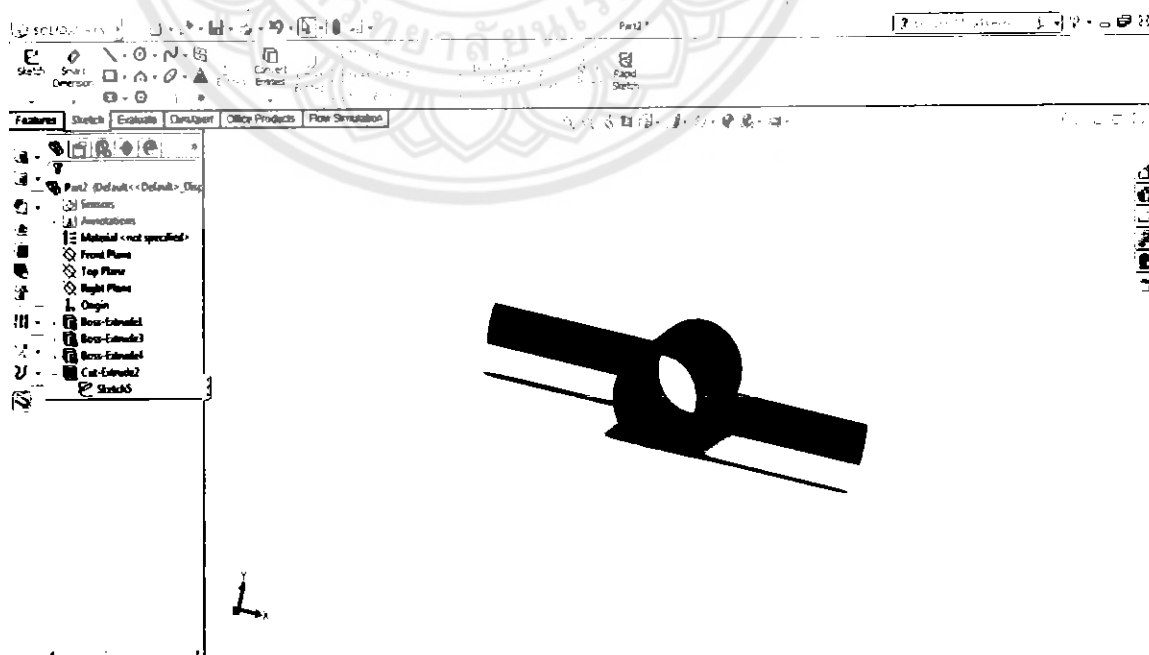
2.12 คลิก View เป็นแบบ Normal Plane เพื่อให้ Right ตั้งฉากกับหน้าจอเพื่อจะทำการเจาะ Shell ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในตามที่ต้องการ



Normal To
Rotates and zooms the model to the view orientation normal to the selected plane, planar face, or feature.

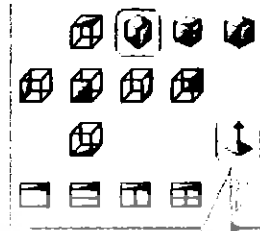
2.13 สร้างวงกลม โดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลม ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน Shell เท่ากับ 44 mm

2.14 คลิก Features เลือก Extruded Cut  และให้ทำการเจาะทะลุ Shell จะได้ดังรูป



2.15 คลิกขวาที่ระนาบ Right Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูลัด

2.16 คลิก View เป็นแบบ Normal Plane เพื่อให้ Right ตั้งฉากกับหน้าจอเพื่อจะทำการ เจาะทางออกของของไหลต่อไป

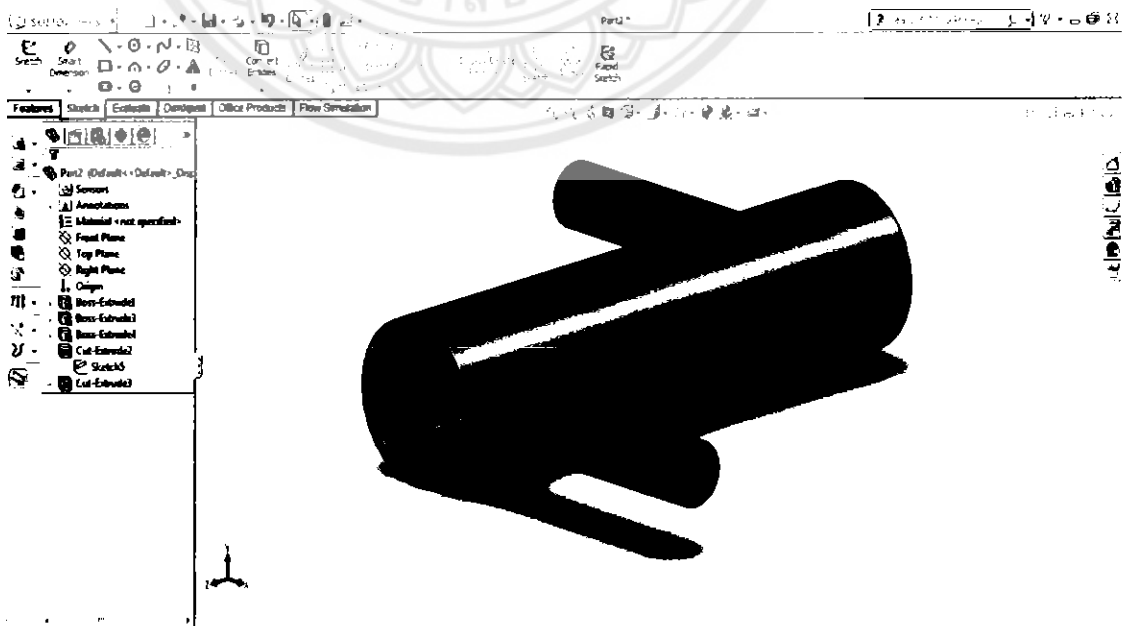


Normal To
Rotates and zooms the model to the view orientation normal to the selected plane, planar face, or feature.

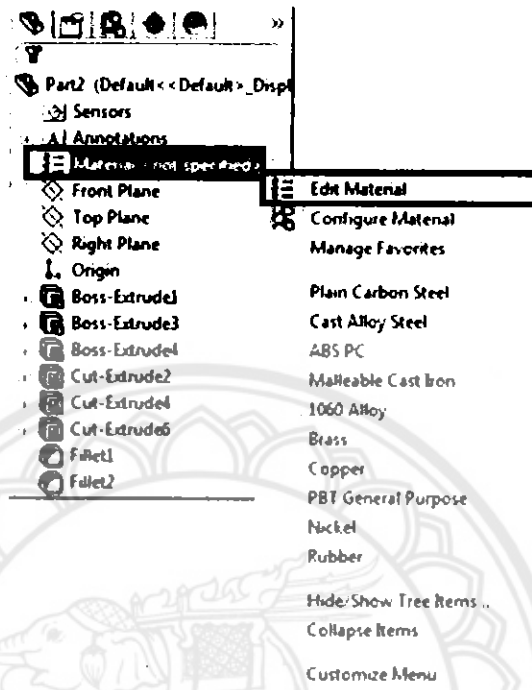
2.17 สร้างวงกลม โดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลม ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในทางเข้าของของไหลเท่ากับ 19 mm

2.18 คลิก Features เลือก Extruded Cut  และคลิก End condition เลือก Through All เพื่อให้เจาะทะลุทางเข้าของของไหล

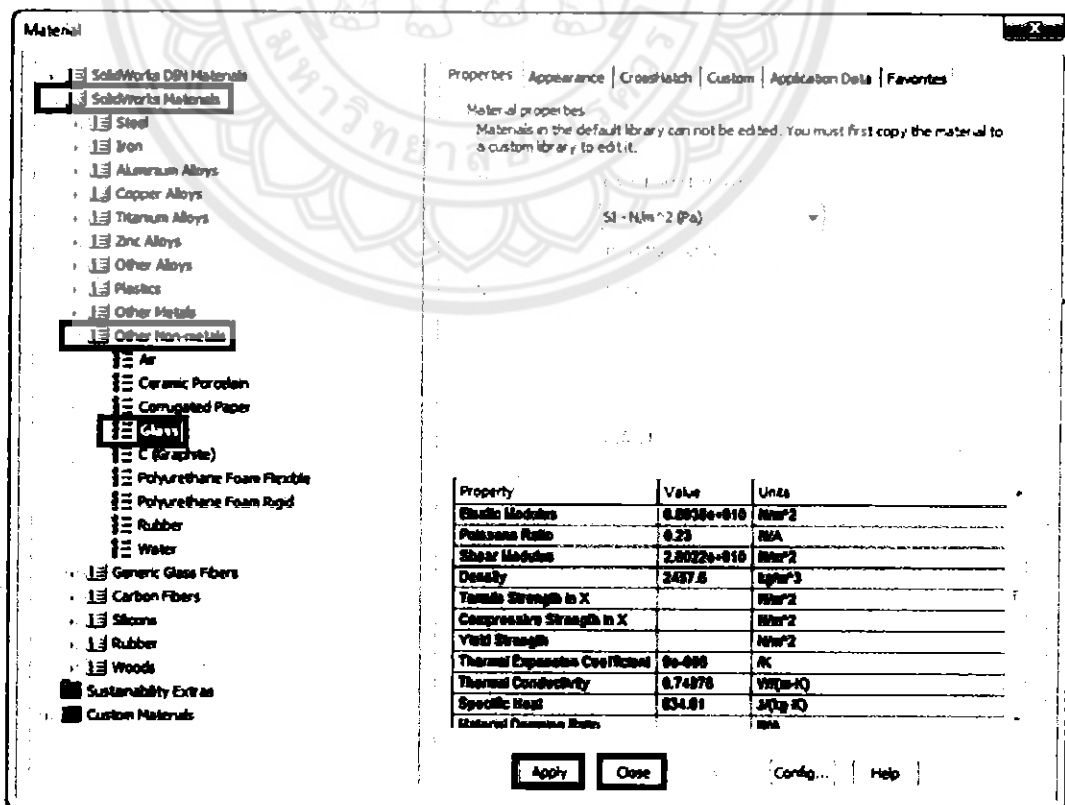
2.19 ทำการเจาะทางออกของของไหลเย็น โดยทำตามข้อ 2.14 – 2.17 จะได้ดังรูป



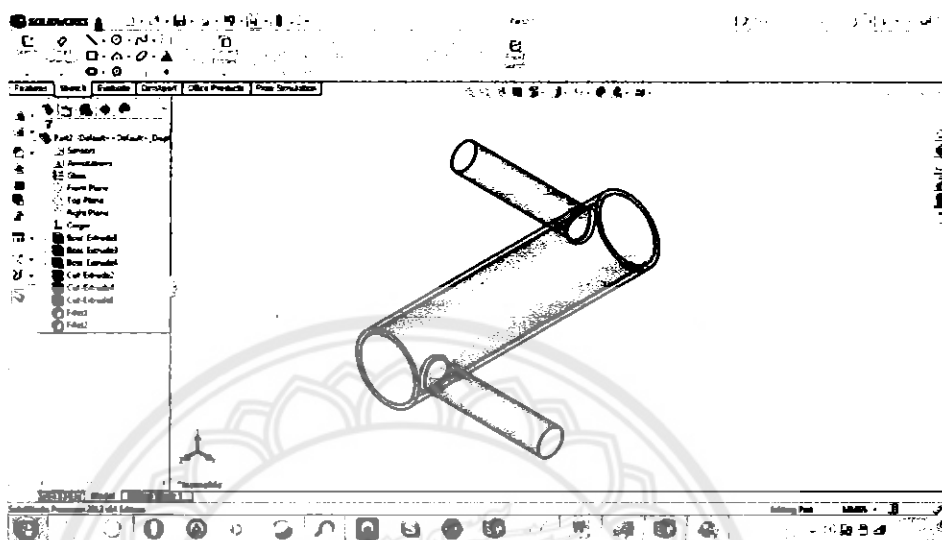
2.20 ทำการเลือกวัสดุของ Shell โดยคลิก ขาวที่ Material เลือก Edit Material



2.21คลิก SolidWorks Materials คลิก Other Non-metals เลือกวัสดุเป็น Glass คลิก Apply คลิก Close



2.22 จะได้ Shell ดังรูป



2.22 คลิก Save จบการสร้าง Shell และทางเข้า - ออกของของไหลเย็น

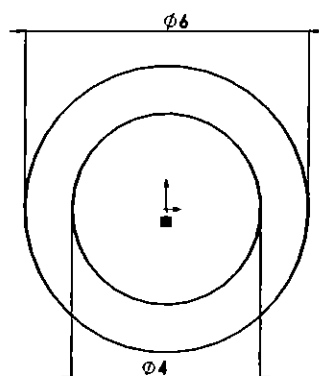
3. การสร้าง Tube

3.1 คลิก New  แล้วเพื่อเปิดไฟล์การสร้างชิ้นงาน

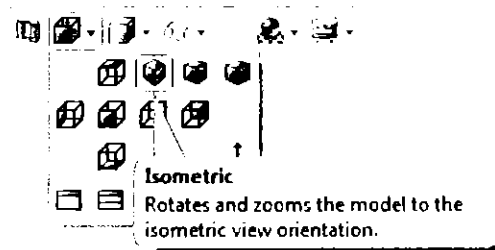
3.2 คลิก Part เพื่อสร้างแบบจำลอง 3D

3.3 คลิกขวาที่ระนาบ Front Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูถัด

3.4 สร้างวงกลม โดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก Tube เท่ากับ 6 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ



3.5 คลิก View เป็นแบบ Isometric เพื่อทำการ Extruded



3.6 คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base

3.6.1 กำหนด Depth ใส่ค่าเป็น 190 mm

190.00mm

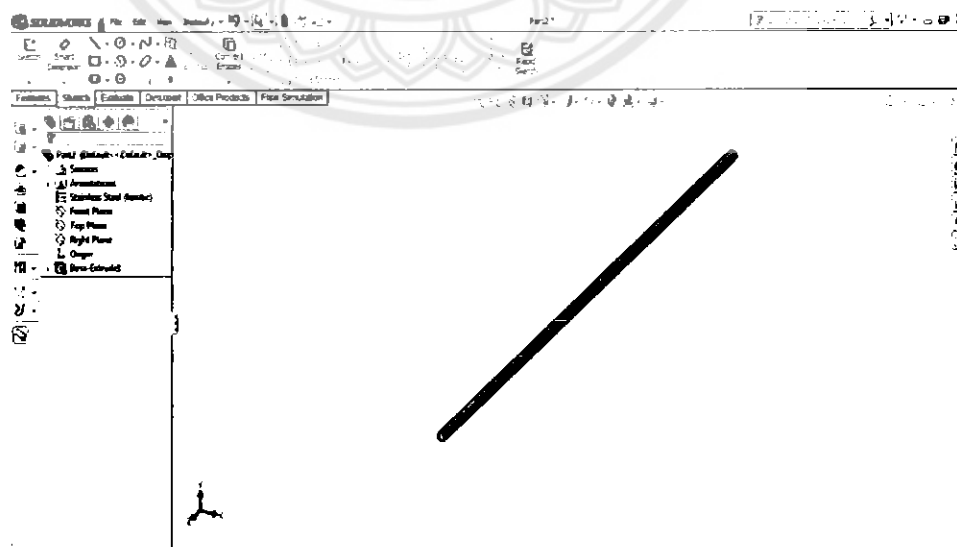
3.6.2 คลิก End condition เลือก Mid Plane เพื่อให้แบบจำลองอยู่กลาง Plane

Direction 1

Mid Plane




End Condition: Mid Plane

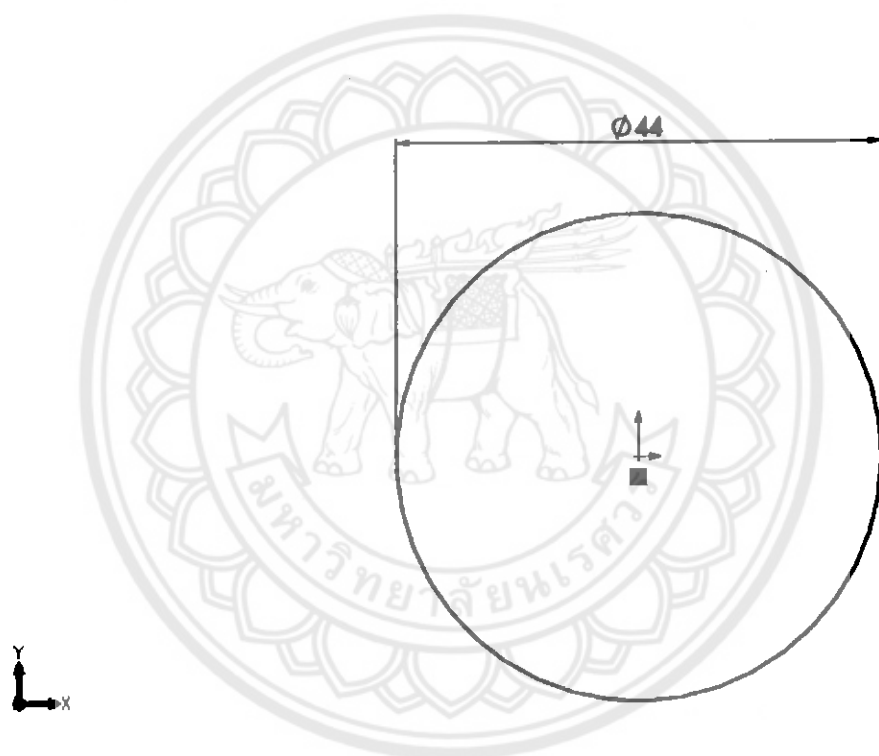
3.6.3 คลิก OK จะได้ Tube ดังรูป






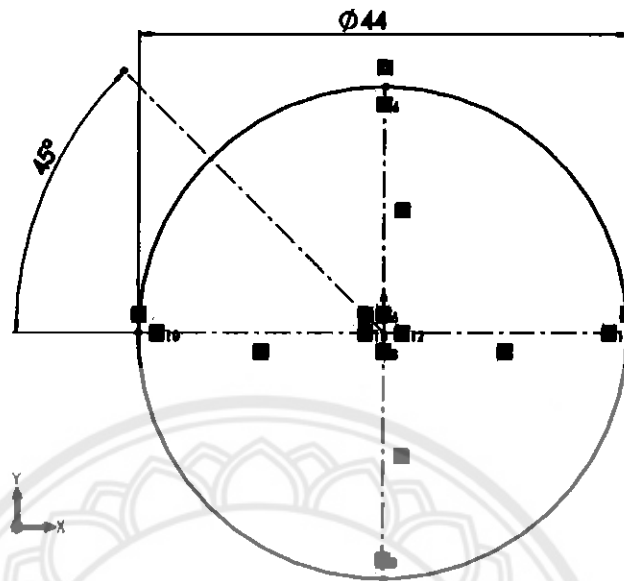
3.7 คลิก Save จบการสร้าง Tube


4. การสร้าง Baffle

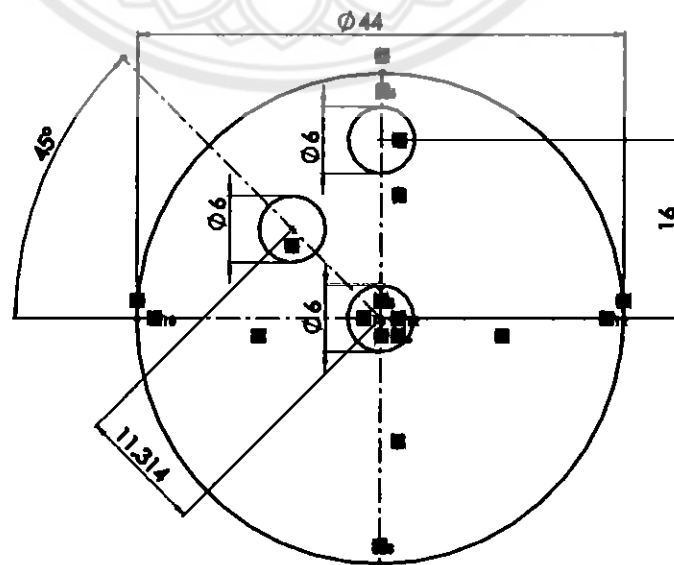
- 4.1 คลิก New  แล้วเพื่อเปิดไฟล์การสร้างชิ้นงาน
- 4.2 คลิก Part เพื่อสร้างแบบจำลอง 3D
- 4.3 คลิกขวาที่ระนาบ Front Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูลัด
- 4.4 สร้างวงกลม โดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง Baffle เท่ากับ 44 mm




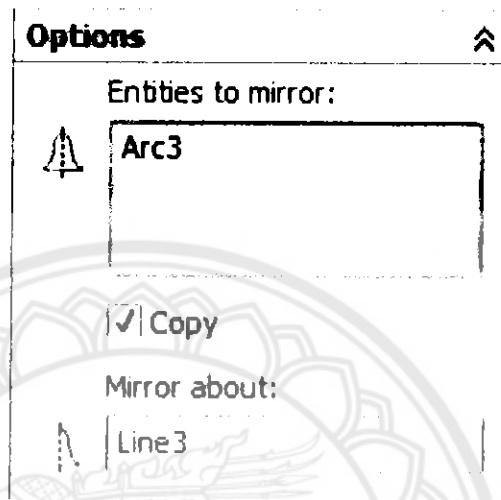
- 4.5 สร้างเส้นอ้างอิงเพื่อจะทำการสร้างรูใส่ Tube โดยคลิก Sketch  คลิก Line เลือก Centerline  | Centerline  โดยสร้างเส้นอ้างอิงที่แกน X และแกน Y และสร้างเส้นอ้างอิงที่มีขนาดมุม 45 องศา ทำมุมกับแกน X



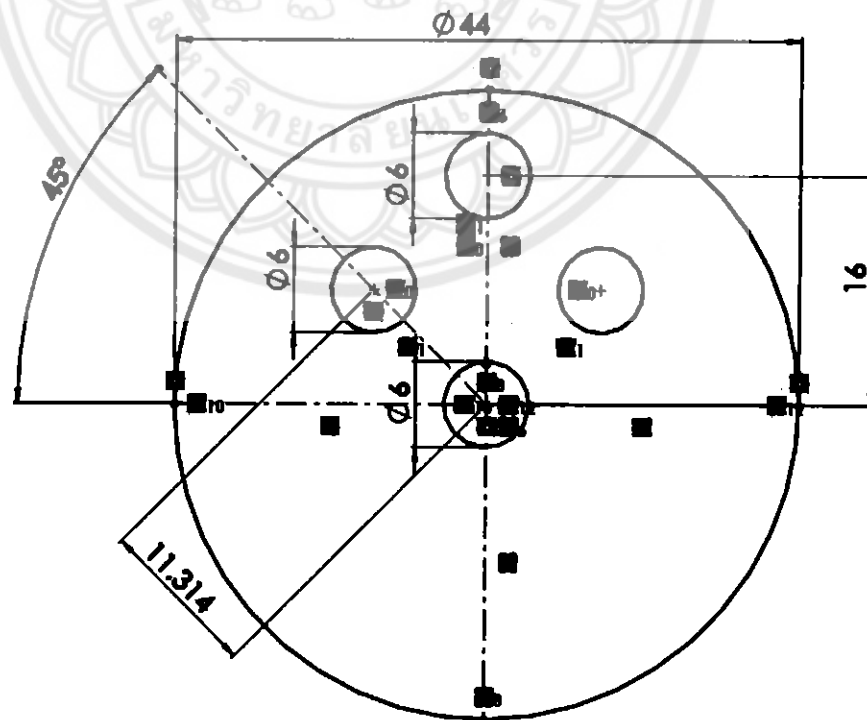
- 4.7 คลิก สร้างวงกลมที่จุด Origin โดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm
- 4.8 สร้าง วงกลมบนเส้นอ้างอิง 45 องศา โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm และอยู่ห่างจากจุด Origin เท่ากับ 11.314 mm
- 4.9 สร้างวงกลมบนเส้นอ้างอิงแกน Y โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 mm และอยู่ห่างจากจุด Origin เท่ากับ 16 mm จะได้ดังรูป




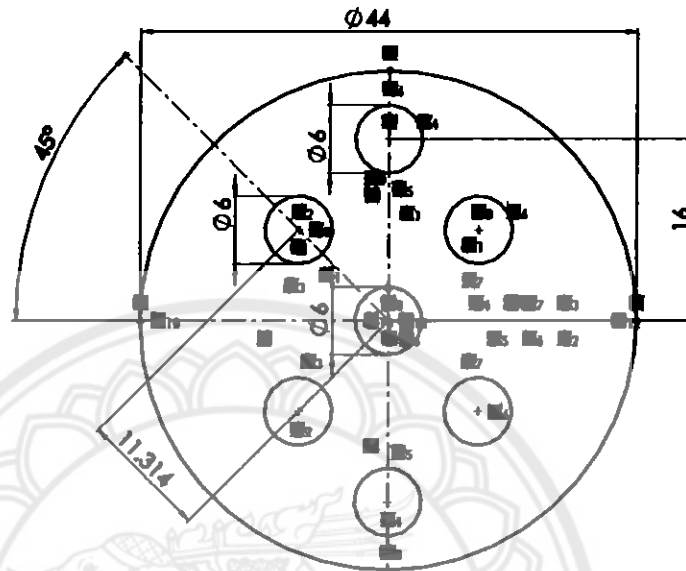
4.10 คลิก Mirror Entities  Mirror Entities โดยในช่อง Entities to mirror ให้คลิกเลือก วงกลมที่จะทำการสร้าง และในช่อง Mirror about ให้คลิกเลือกเส้นอ้างอิงที่จะทำการ Mirror



4.11 คลิก OK  จะได้ดังรูป



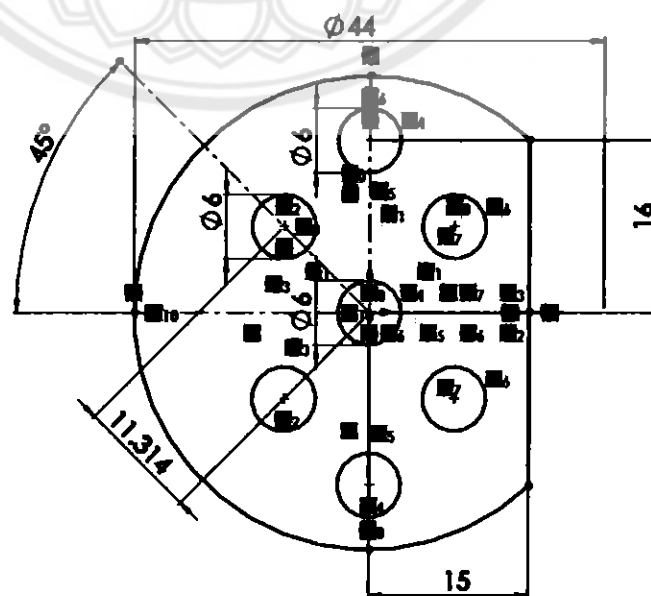
4.12 คลิก Mirror Entities  Mirror Entities ทำตามวิธีข้อ 4.10) จะได้ดังรูป



4.13 สร้างเส้นตรงขนานกับเส้นอ้างอิงเป็นระยะทาง 15 mm

4.14 ใช้คำสั่ง Trim Entities  Trim Entities เลือก Power Trim  Power trim คลิกลบเส้นที่ไม่

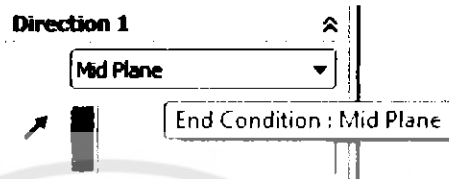
ต้องการออกจะได้ดังรูป



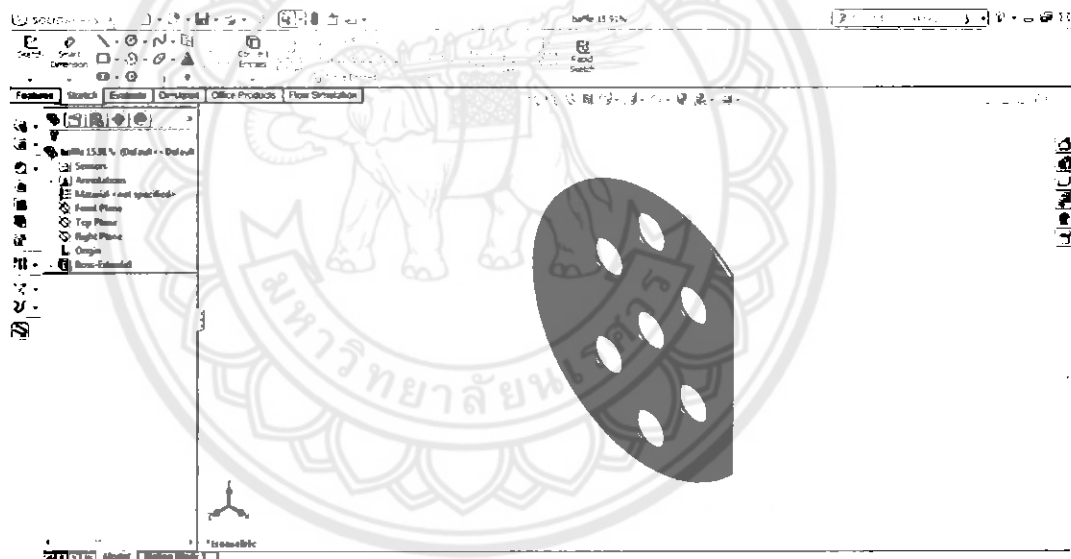
4.15 คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base 

4.15.1 กำหนด Depth ใส่ค่าเป็น 0.75 mm 

4.15.2 คลิก End condition เลือก Mid Plane เพื่อให้แบบจำลองอยู่กลาง Plane



4.15.3 คลิก OK  จะได้ Baffle ดังรูป



4.15.4 คลิก Save จบการสร้าง Baffle

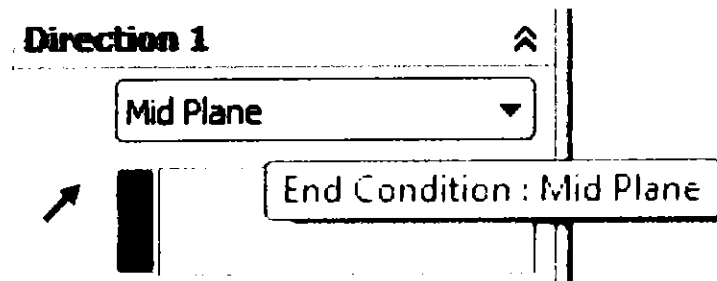
5. การสร้าง Tube sheet

5.1 ใช้วิธีการสร้างเช่นเดียวกับการสร้าง Baffle โดยทำตามข้อ 4.1 ถึง 4.12

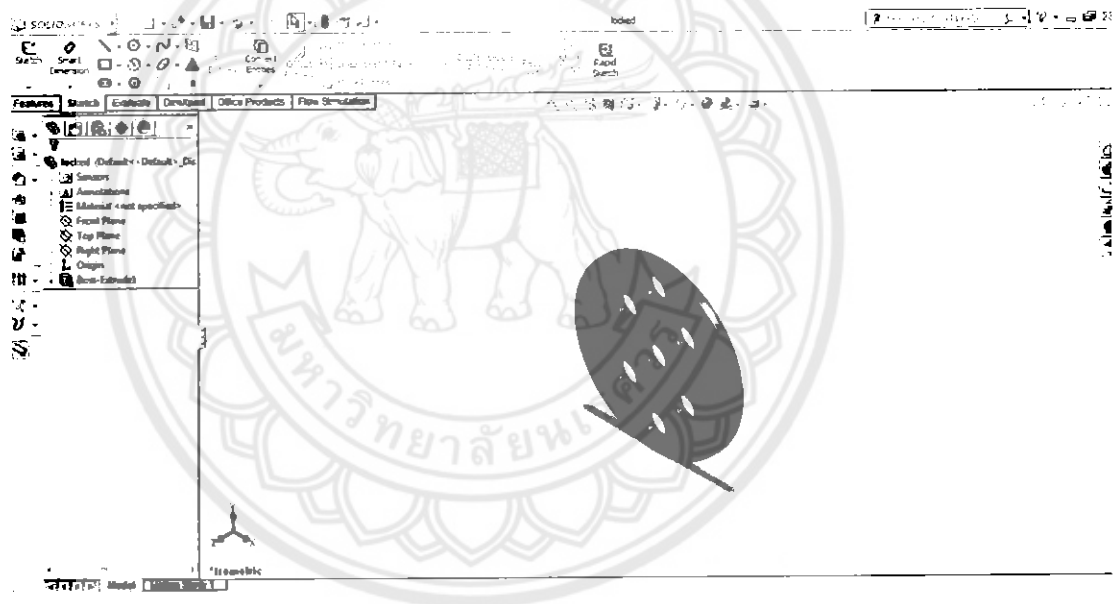
5.2 ทำการ Extruded คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base 

5.3 กำหนด Depth ใส่ค่าเป็น 2 mm 

5.4 คลิก End condition เลือก Mid Plane เพื่อให้แบบจำลองอยู่กลาง Plane



5.5 คลิก OK ✓ จะได้ Tube Sheet ดังรูป





5.6 คลิก Save จบการสร้าง Tube sheet

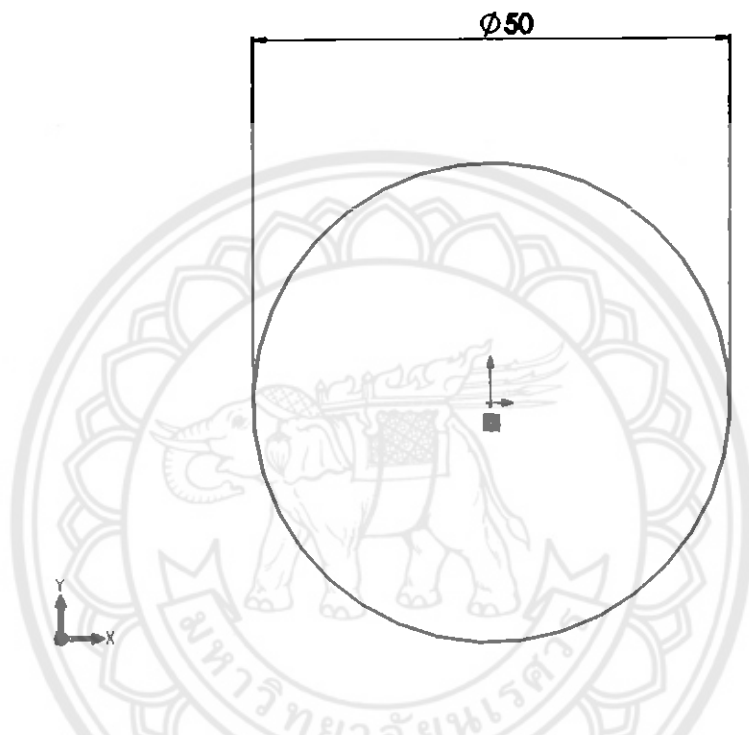
6. การสร้าง Flange

6.1 คลิก New  เพื่อเปิดไฟล์การสร้างชิ้นงาน

6.2 คลิก Part เพื่อสร้างแบบจำลอง 3D

6.3 คลิกขวาที่ระนาบ Front Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูลัด

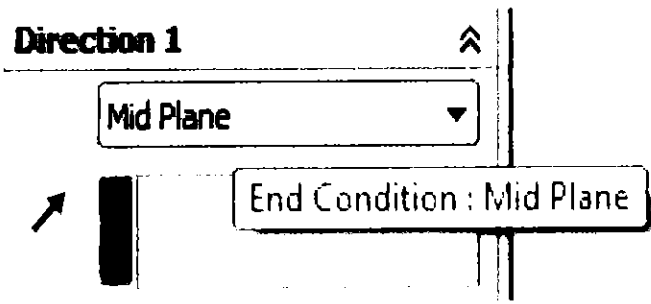
6.4 สร้างวงกลม โดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลมให้ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง Flange เท่ากับ 50 mm



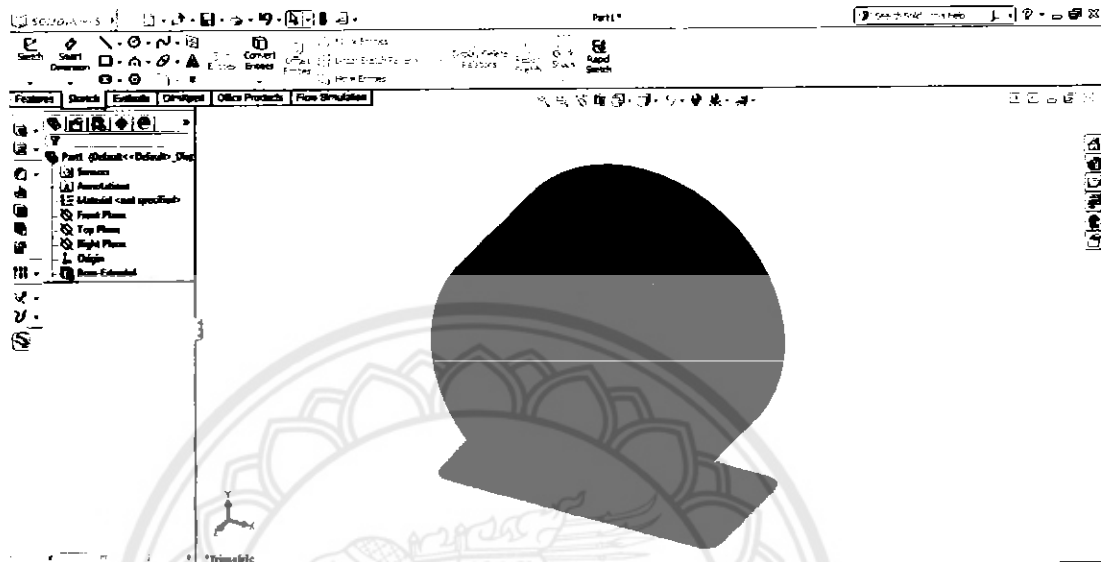
6.5 ทำการ Extruded คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base 

6.6 กำหนด Depth ใส่ค่าเป็น 24 mm  24.00mm

6.7 คลิกEnd condition เลือก Mid Plane เพื่อให้แบบจำลองอยู่กลาง Plane



6.8 คลิก OK ✓ จะได้ดังรูป




6.9 คลิกขวาที่ระนาบ Front Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูถัด

6.10 คลิก View เป็นแบบ Normal Plane เพื่อให้ Front Plane ตั้งฉากกับหน้าจอ



Normal To

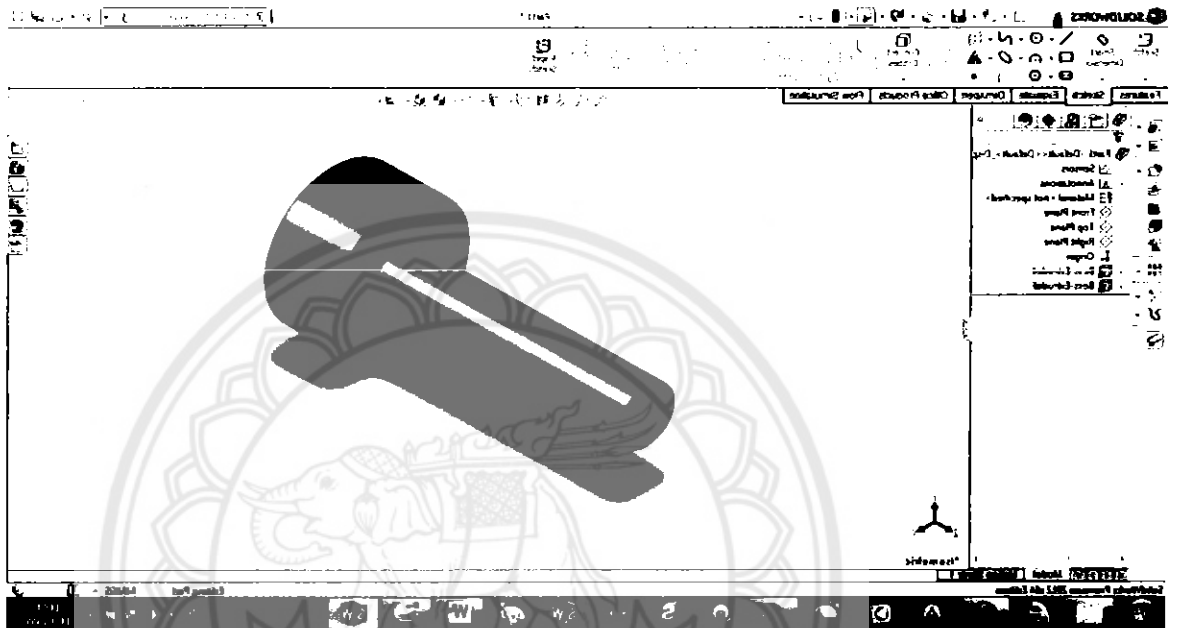
Rotates and zooms the model to the view orientation normal to the selected plane, planar face, or feature.


6.11 สร้างวงกลม โดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 20 mm

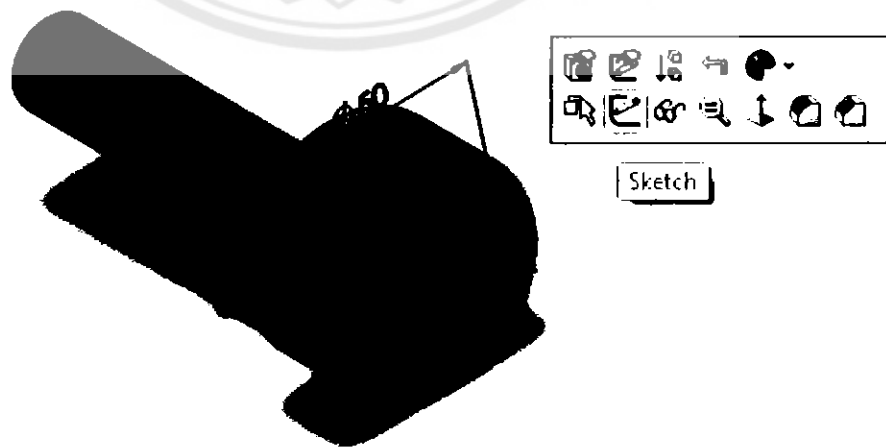
6.12 ทำการ Extruded คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base 


6.13 กำหนด Depth ใส่ค่าเป็น 102 mm  102.00mm

6.14 คลิก OK  จะได้ดังรูป



6.15 คลิกหมุนชิ้นงานเพื่อจะทำการ Sketch จากนั้นคลิกบนพื้นผิวที่จะทำการ Sketch จะมีแถบเครื่องมือลัดขึ้นมาให้คลิกเลือก sketch  จะได้ดังรูป



6.16 สร้างวงกลม โดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลม
ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 44 mm

6.17 ทำการ Extruded คลิก Features เลือก Extruded cut 

6.18 กำหนด Depth ใส่ค่าเป็น 23 mm  23.00mm



6.19 คลิก OK  จะได้ดังรูป

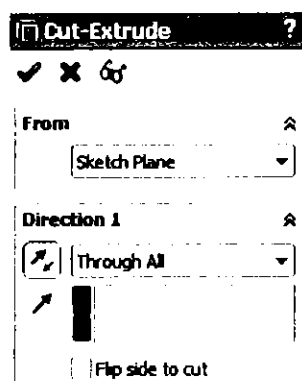


6.20 คลิกขวาที่ระนาบ Front Plane แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูลัด

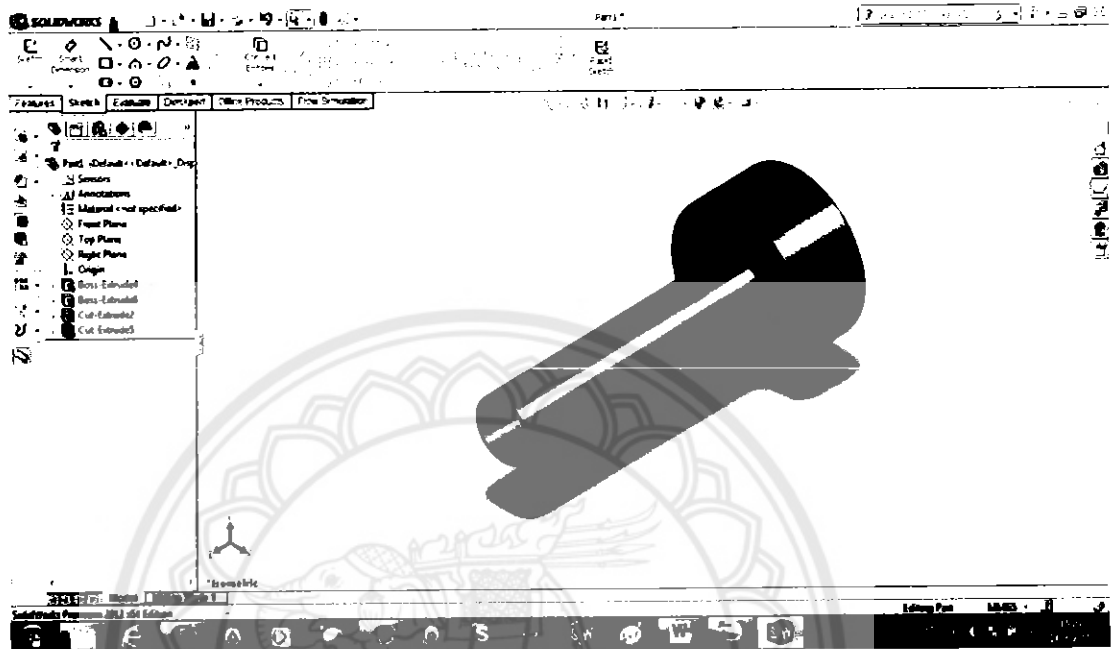
6.21 สร้างวงกลม โดยคลิกเลือก Circle  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างวงกลม
ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 19 mm

6.22 ทำการ Extruded คลิก Features เลือก Extruded cut 

6.23 คลิกเลือก Through All  เพื่อทำการเจาะทะลุและคลิก
Reverse Direction 



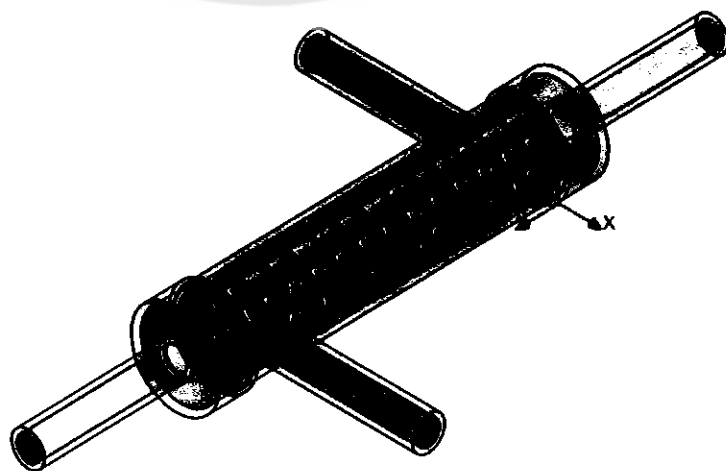
6.24 คลิก OK ✓ จะได้ดังรูป



6.25 คลิก Save จบการสร้าง Flange

7. ประกอบชิ้นส่วน

ทำการประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกันจะได้ดังรูปด้านล่าง

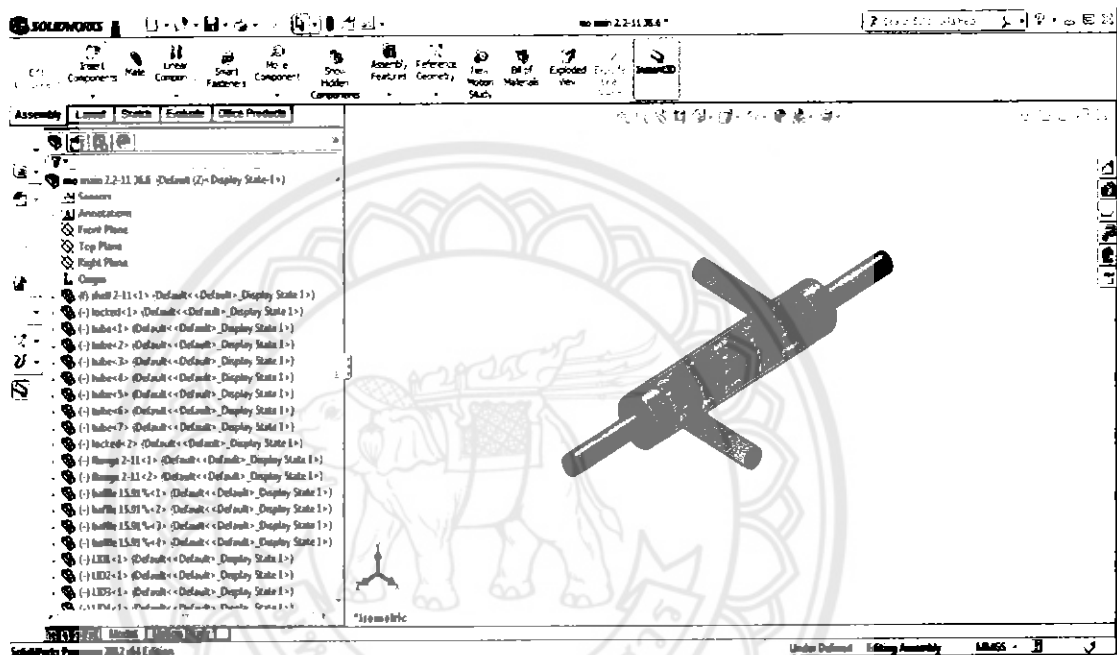




วิธีการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

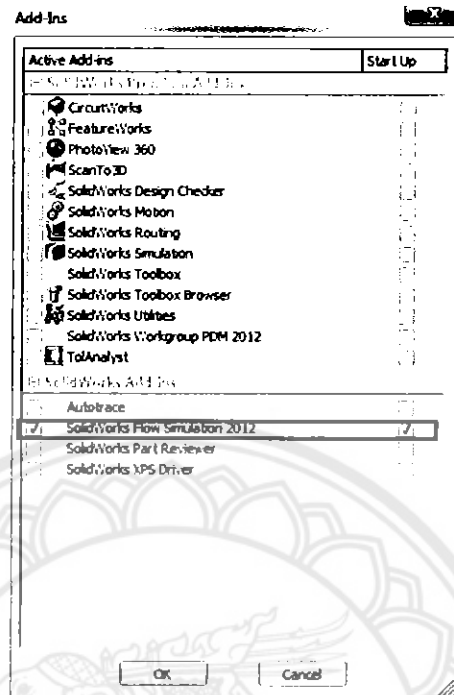
1.การ Add solidworks flow simulation

1.1 เปิดไฟล์แบบจำลองขึ้นมา

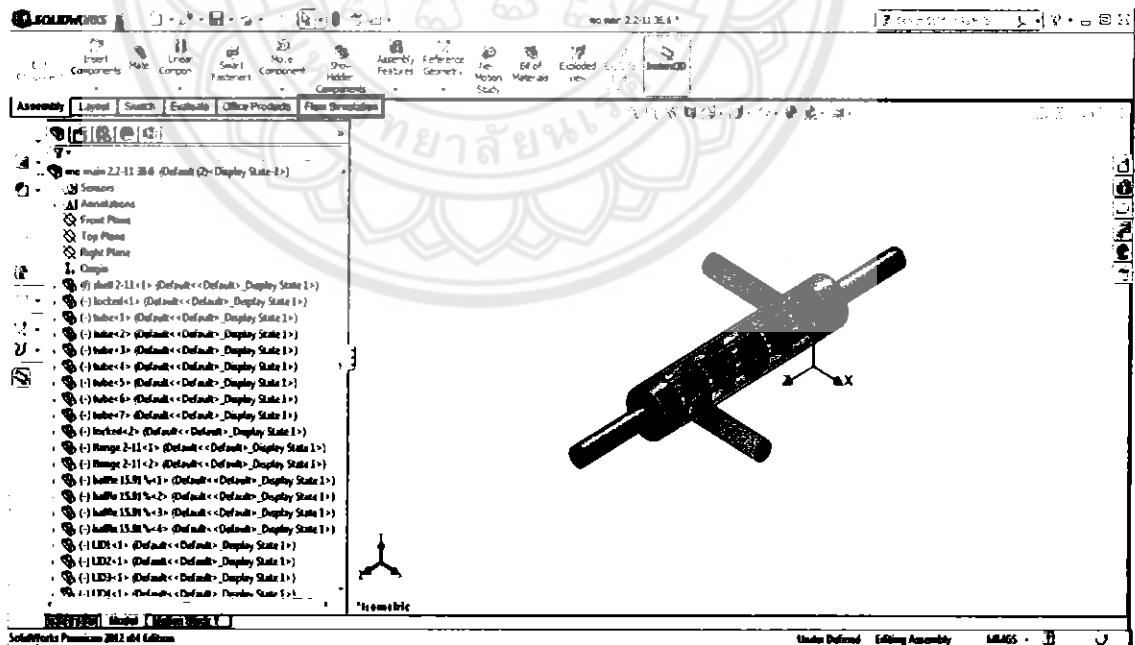


1.2 คลิกที่ลูกศรทางด้านขวา  หลังจากนั้นคลิก  Add-Ins...

1.3 หลังจากนั้นจะมีเมนู Add-Ins ขึ้นมาให้คลิกถูกที่ Solidworks Flow Simulation 2012
 ดังรูปด้านล่าง หลังจากนั้นก็คลิก OK



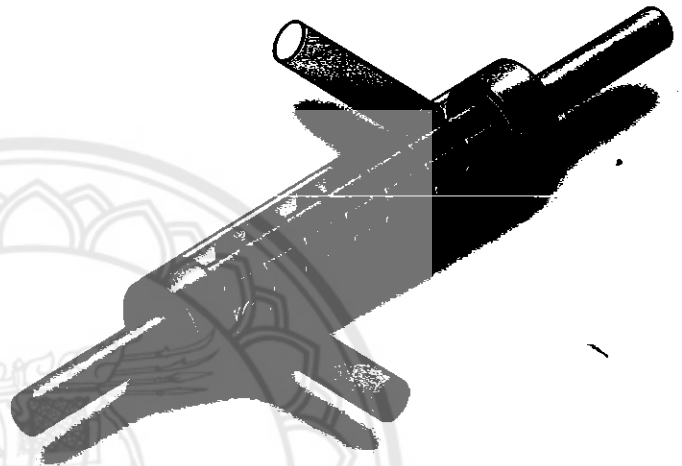
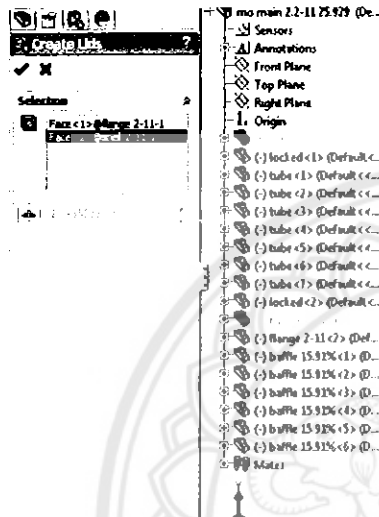
1.4 หลังจากนั้นจะมีแถบเครื่องมือ Flow Simulation ปรากฏขึ้นดังรูปด้านล่าง



2. การสร้าง Lids ที่ทางเข้าและทางออกของของไหล

2.1 คลิก create lids  เพื่อสร้าง lids เพื่อใช้ปิดทางเข้าและออกของของไหล

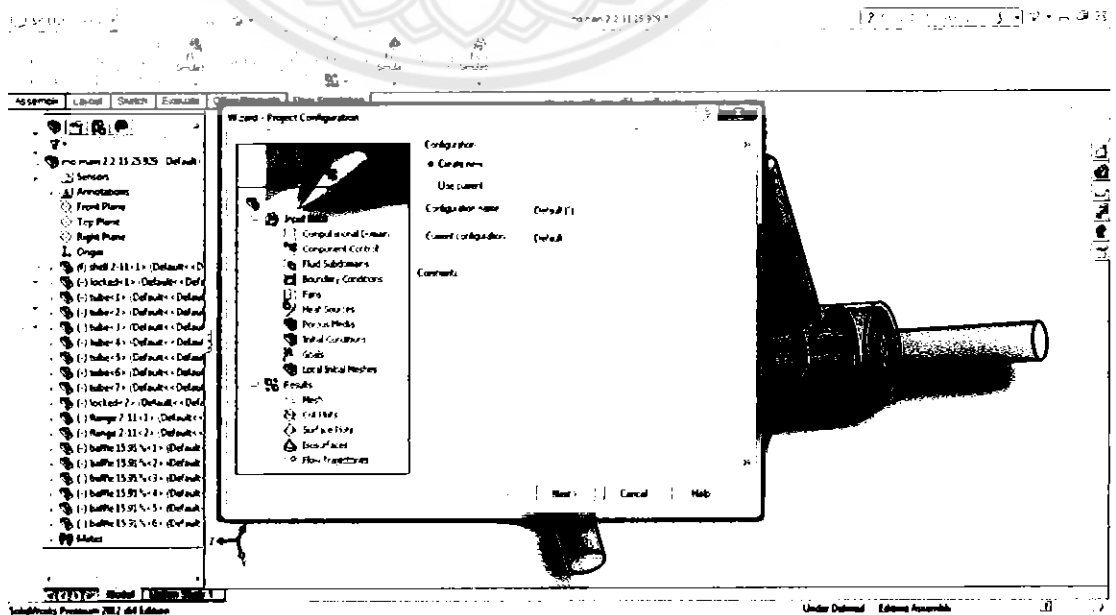
2.2 คลิกที่หน้าต่างของทางเข้าและทางออกทั้งหมดหลังจากนั้นให้คลิก 



3. การใส่คุณสมบัติต่างๆในแบบจำลอง

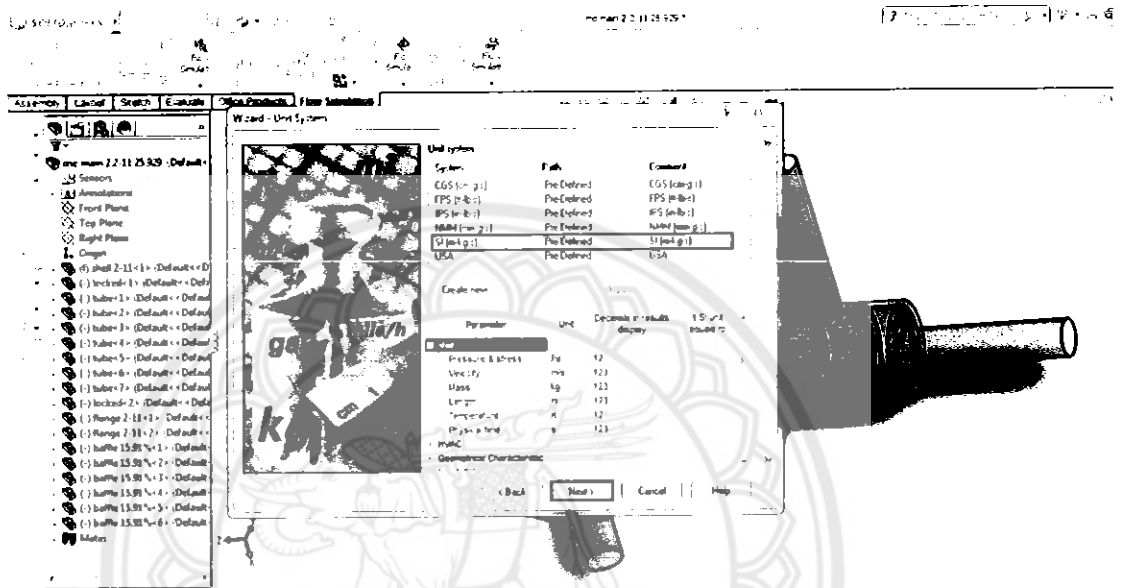
3.1 คลิก  Wizard ซึ่งอยู่ในแถบเครื่องมือ Flow Simulation

3.2 จะมีหน้าต่างให้ใส่คุณสมบัติต่างๆของแบบจำลองขึ้นมา



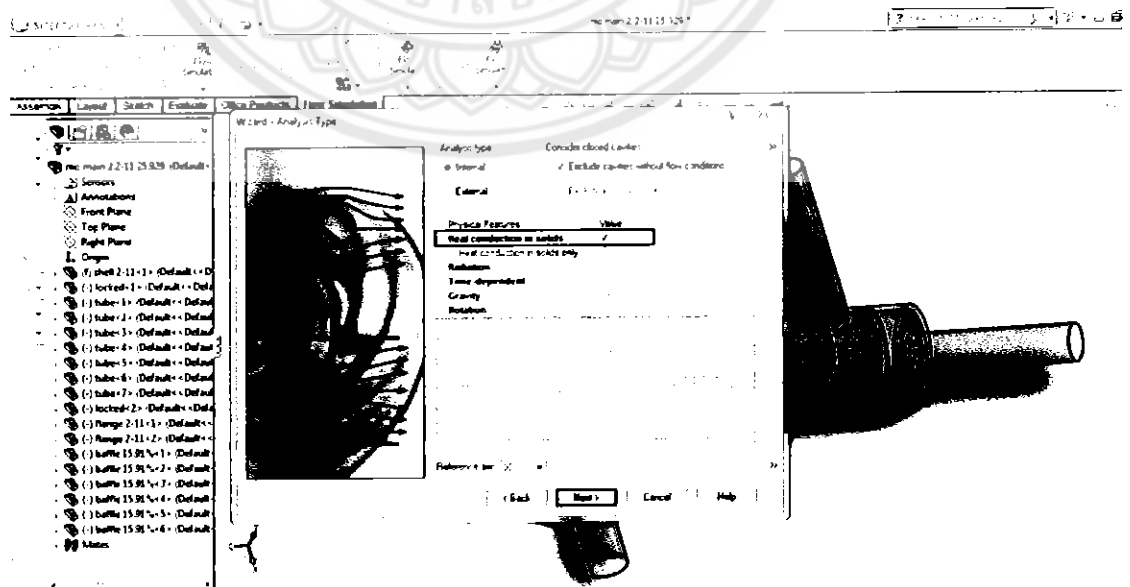
3.3 คลิกที่ Next

3.4 ขั้นตอนต่อไปเป็นการกำหนดหน่วยที่ใช้ ในที่นี้เลือกใช้หน่วย SI คลิก SI หลังจากนั้นคลิก Next ดังรูป



3.5 คลิกเครื่องหมายถูกที่ด้านขวาของ Heat conduction in solids หลังจากนั้นก็คลิก

Next

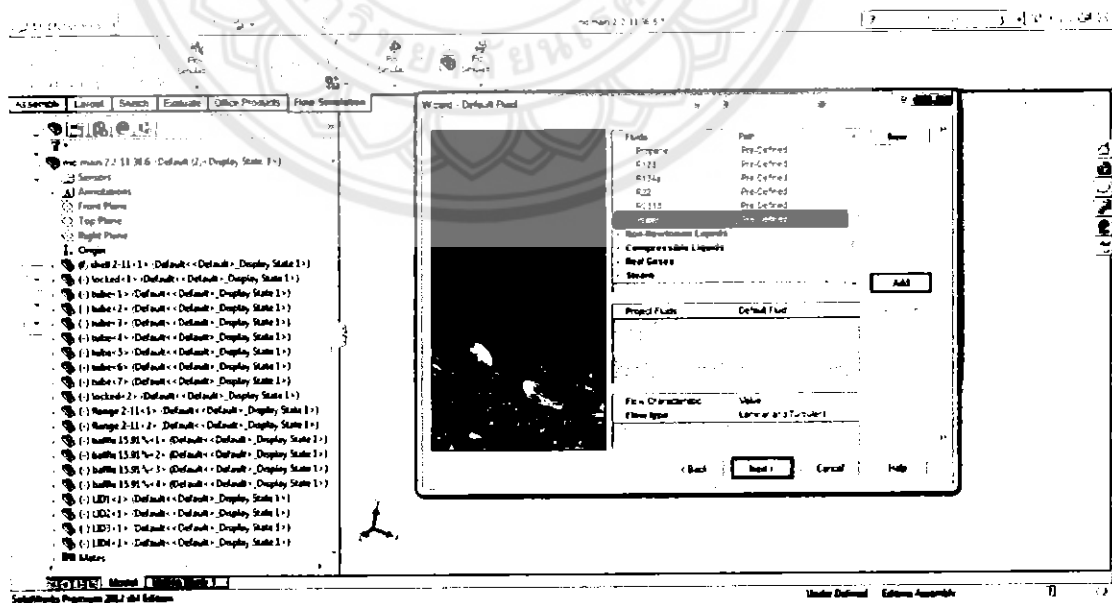


3.6 กำหนดวัสดุที่เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งในการศึกษานี้จะเป็นน้ำ

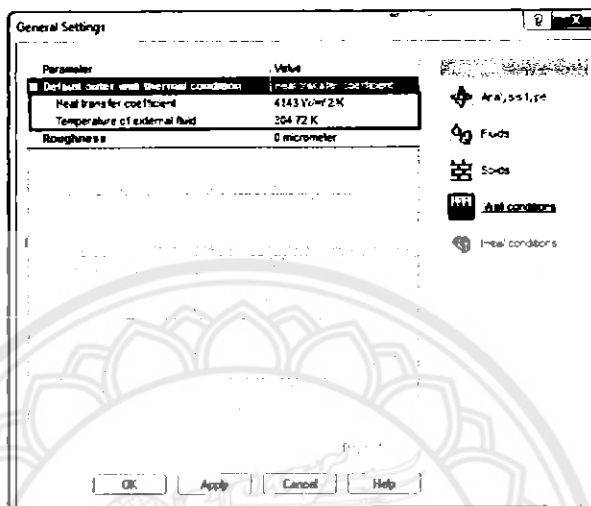
3.6.1 คลิกเครื่องหมาย + ด้านหน้า Liquid



3.6.2 คลิก water หลังจากนั้นก็คลิก Add และคลิก Next



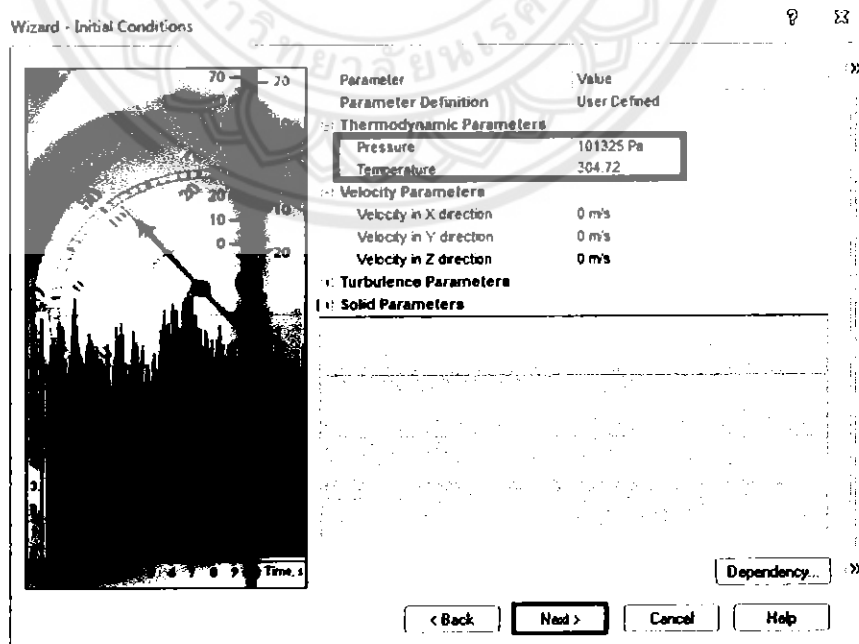
3.7 กำหนดค่า heat transfer coefficient เท่ากับ $4,143 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และ temperature of external fluid 304.72 K แล้วหลังจากนั้นก็คลิก Next ดังรูปด้านล่าง



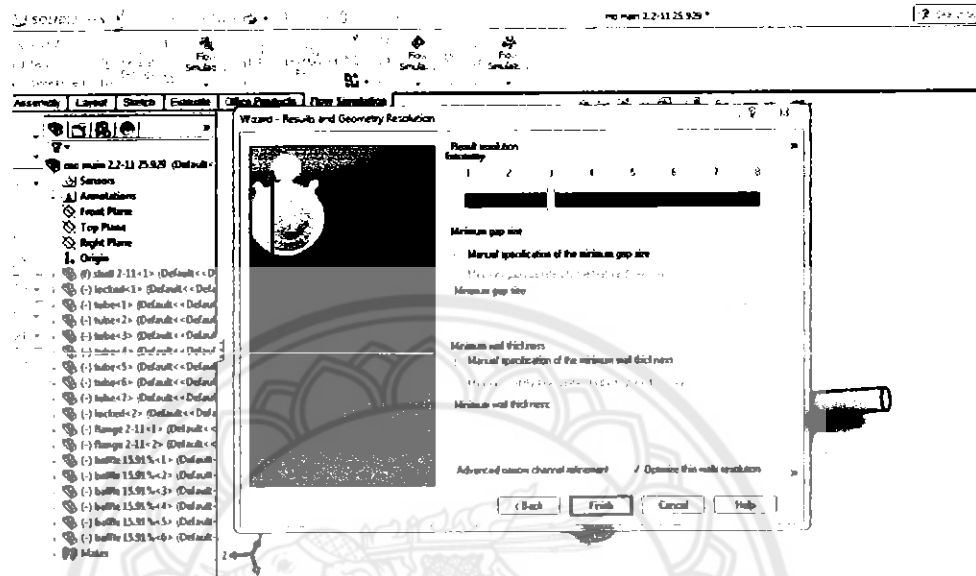
3.8 กำหนดค่า Thermodynamic Parameters

3.8.1 กำหนดให้ Pressure เท่ากับ 101325 Pa และ Temperature เท่ากับ 304.72 K

3.8.2 คลิก Next

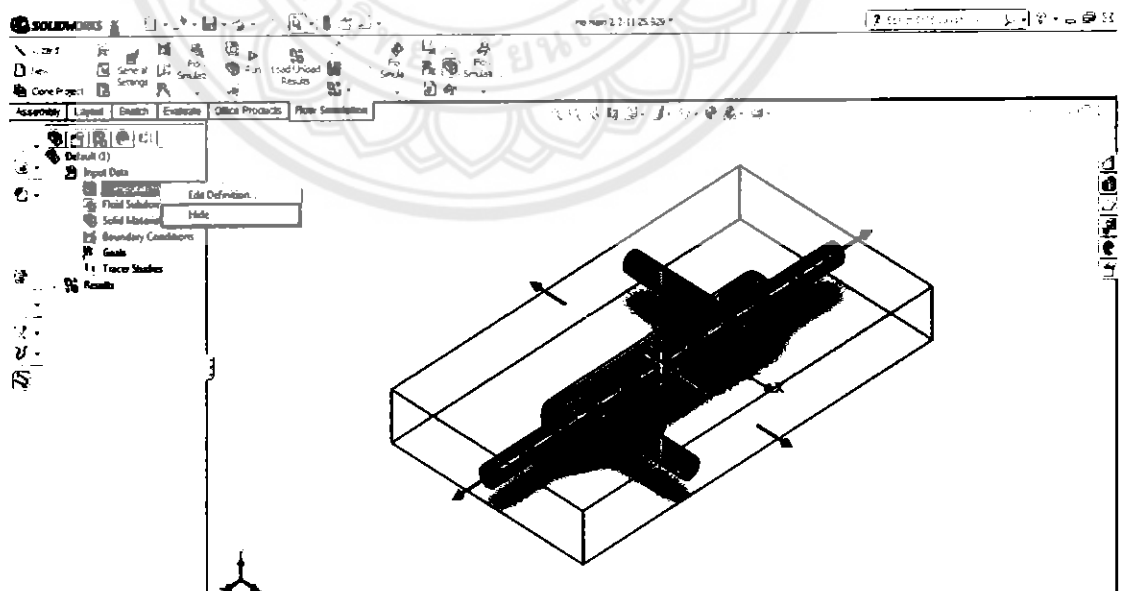



3.9 คลิก Finish ตั้งรูปด้านล่าง



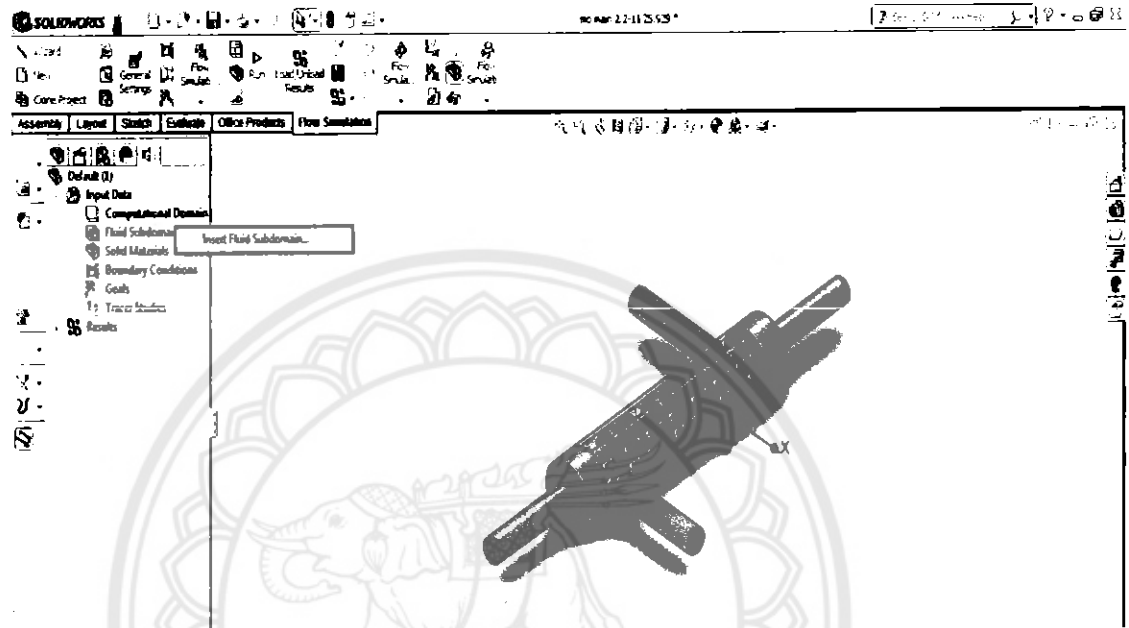
4. การใส่ค่าอัตราการไหลและอุณหภูมิของแบบจำลอง

4.1 คลิกขวาที่ Computational Domain หลังจากนั้นคลิกซ้ายที่ Hide ดังรูป



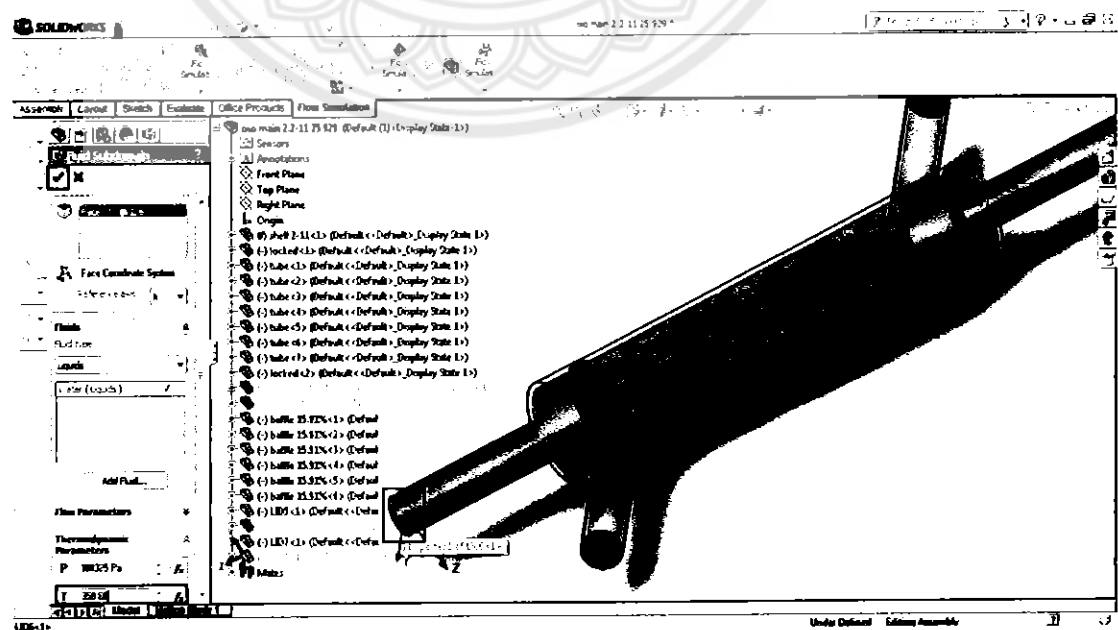
4.2 คลิกขวาที่  Fluid Subdomains หลังจากนั้นคลิกซ้ายที่ Insert Fluid Subdomain


ดังรูป

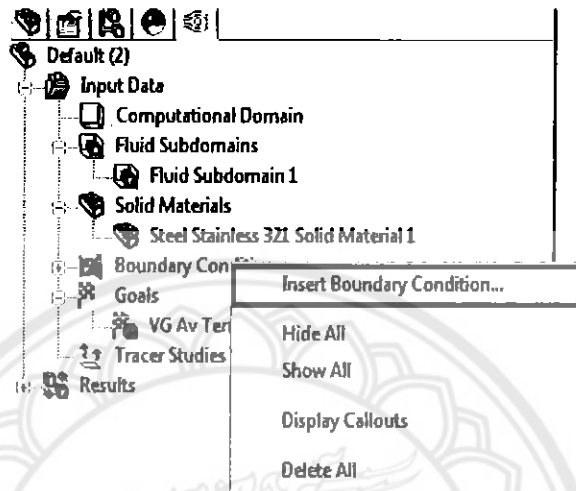


4.3 คลิกด้านในของ Lids ที่น้ำกระแสน้ำร้อนเข้าดังรูป และกำหนดอุณหภูมิของทางเข้ากระแสน้ำร้อน 350.68 K ดังรูป แล้วหลังจากนั้นคลิก

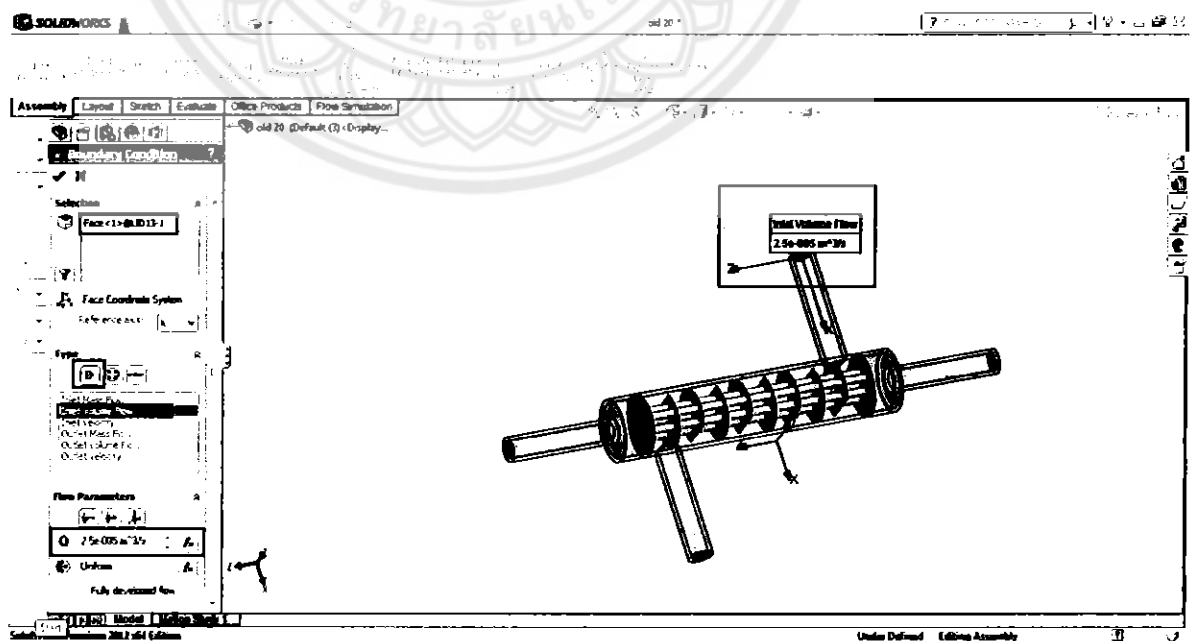
✓



4.4 คลิกขวาที่  Boundary Conditions หลังจากนั้นก็คลิกซ้ายที่ Insert Boundary Conditions ดังรูป




4.5 คลิกที่ด้านใน Lids ของทางเข้าน้ำเย็น

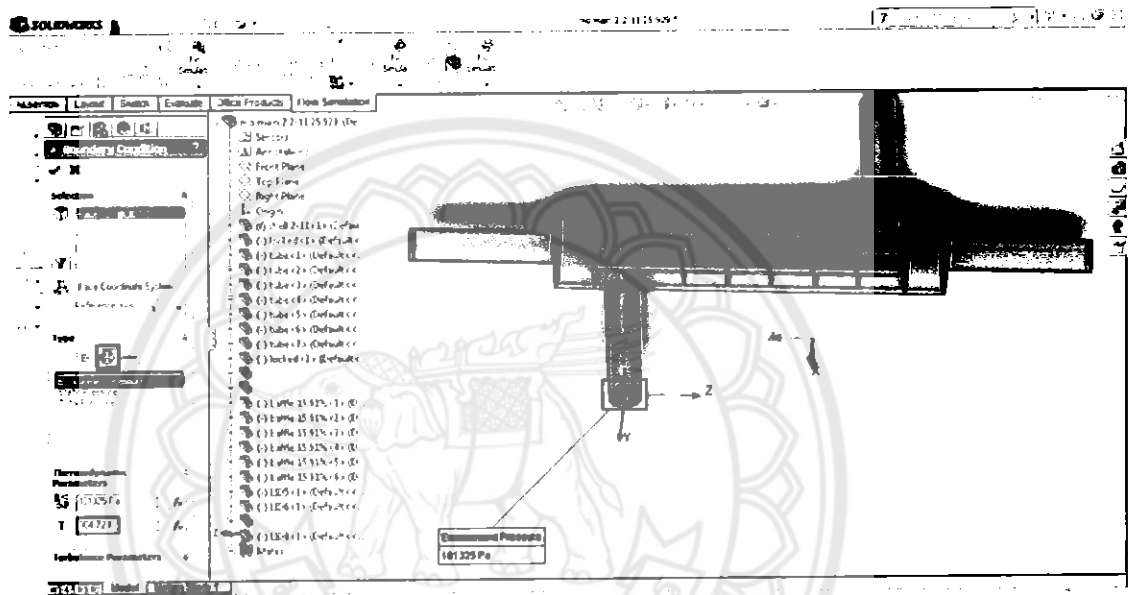


4.5 คลิกที่  หลังจากนั้นคลิก Inlet Volume Flow

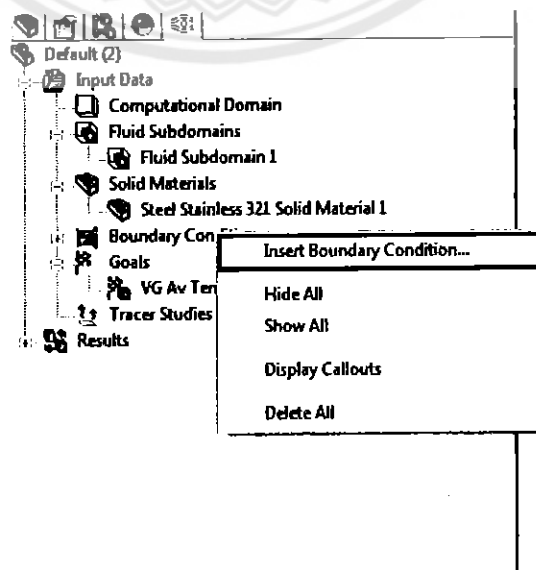
4.5.1 ใส่อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำเย็นขาเข้าเท่ากับ $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

4.5.2 ใส่อุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้าเท่ากับ 304.72 K หลังจากนั้นคลิก 

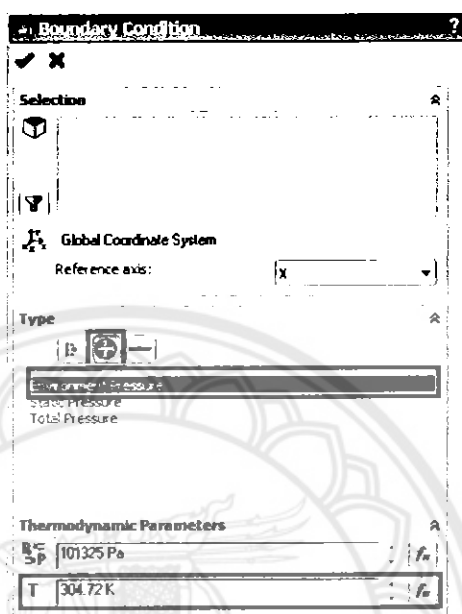
4.6 คลิกที่ด้านใน Lids ของทางออกน้ำเย็น



4.7 คลิกขวาที่  Boundary Conditions หลังจากนั้นก็คลิกซ้ายที่ Insert Boundary Conditions ดังรูป

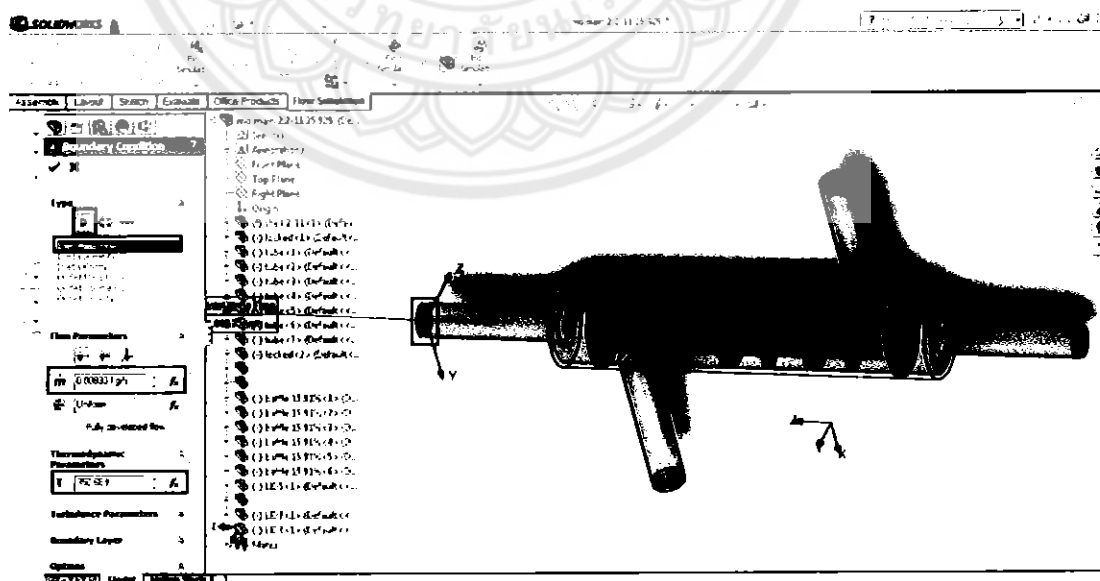


4.8 คลิกที่  หลังจากนั้นคลิก Environment Pressure

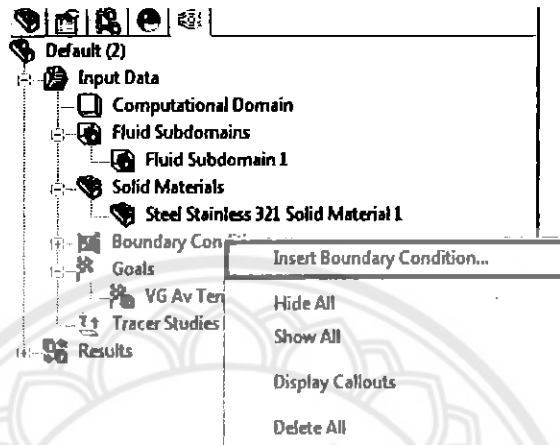


4.9 ใส่อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้าเท่ากับ 304.72 K หลังจากนั้นคลิก

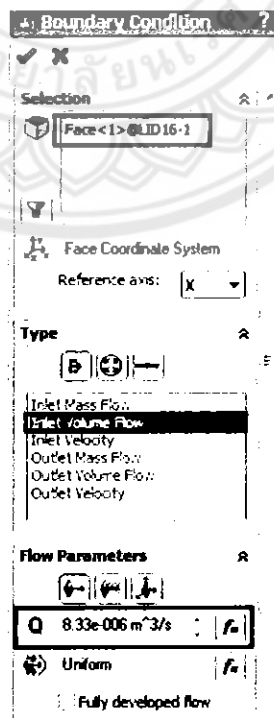
4.10 คลิกที่ด้านใน Lids ของทางเข้าน้ำเย็น



4.11 คลิกขวาที่  Boundary Conditions หลังจากนั้นก็คลิกซ้ายที่ Insert Boundary Conditions ดังรูป



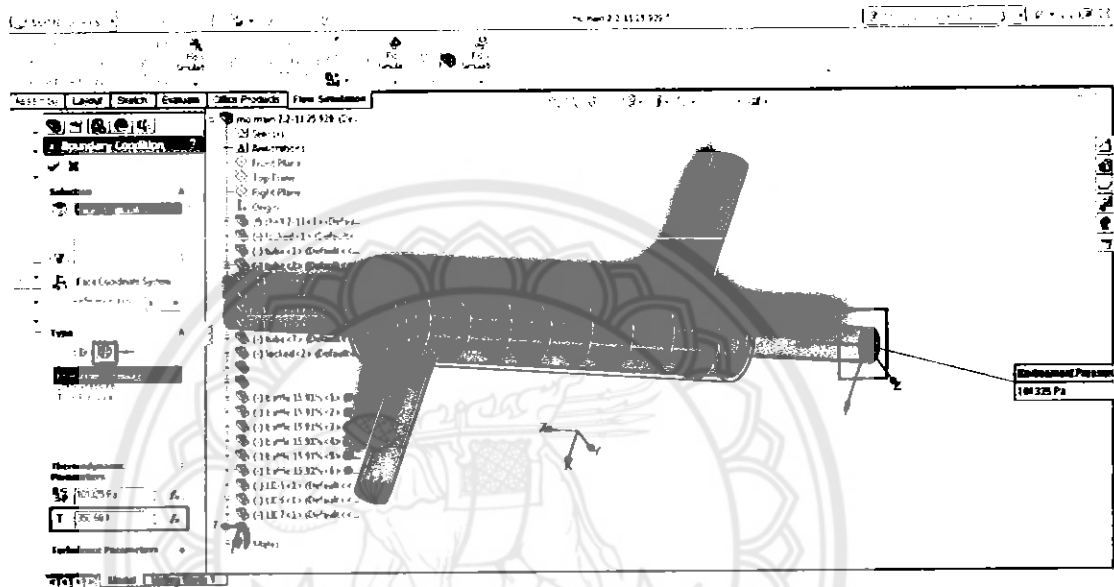
4.12 คลิกที่  หลังจากนั้นคลิก Inlet Volume Flow



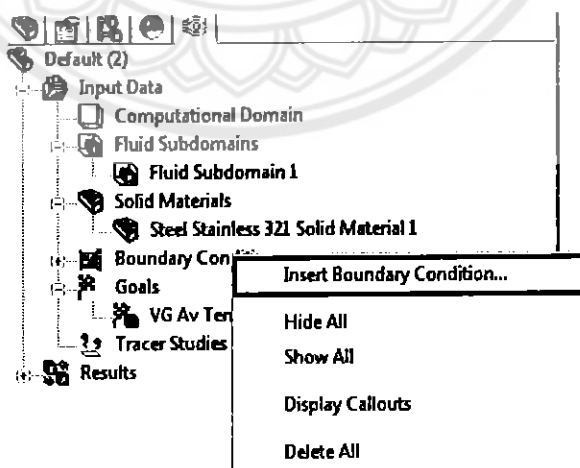
4.12.1 ใส่อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำร้อนเข้าเท่ากับ $8.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

4.12.2 ใส่อุณหภูมิของน้ำร้อนเข้าเท่ากับ 350.68 K หลังจากนั้นคลิก ✓

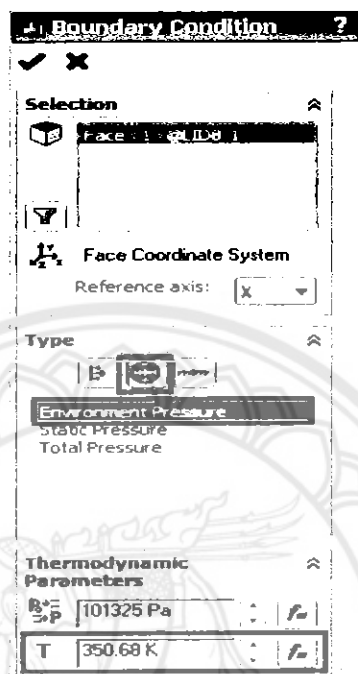
4.13 คลิกที่ด้านใน Lids ของทางออกน้ำร้อน



4.14 คลิกขวาที่  Boundary Conditions หลังจากนั้นก็คลิกซ้ายที่ Insert Boundary Conditions ดังรูป

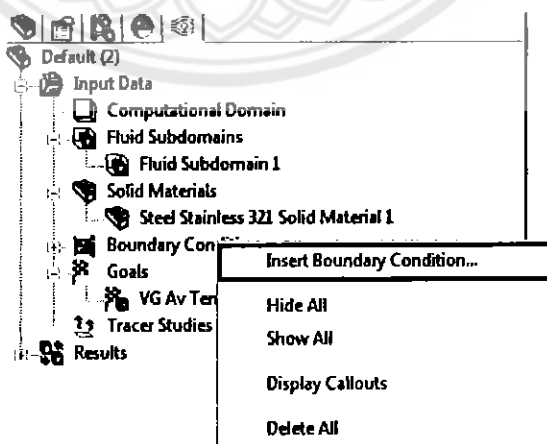


4.15 คลิกที่  หลังจากนั้นคลิก Environment Pressure

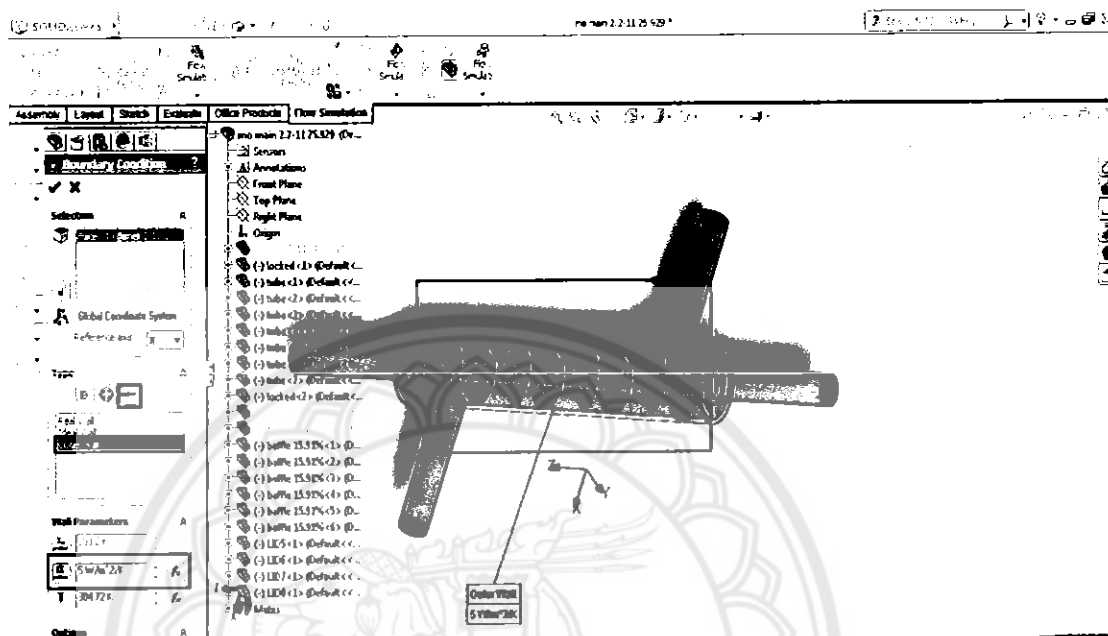
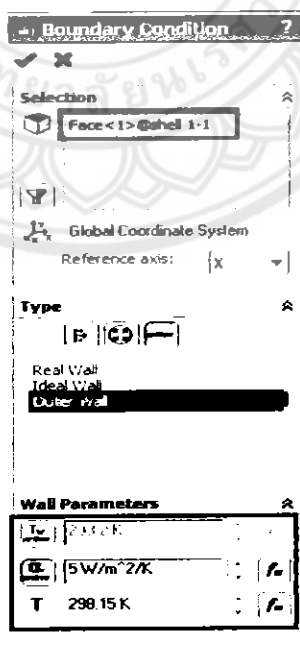



4.16 ใส่อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้าเท่ากับ 304.72 K หลังจากนั้นคลิก

4.17 คลิกขวาที่  Boundary Conditions หลังจากนั้นก็คลิกซ้ายที่ Insert Boundary Conditions ดังรูป




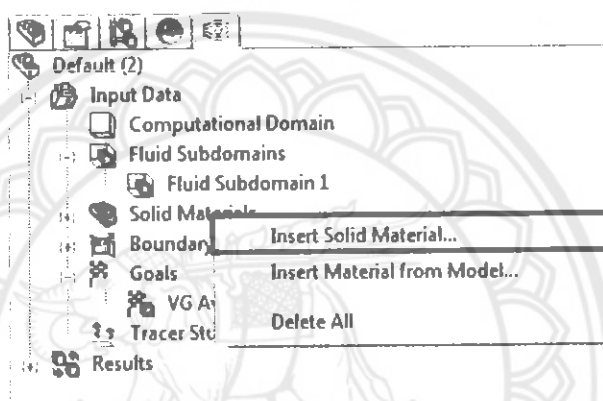
4.18 คลิกที่ผิวของ Shell ดังรูป

4.19 คลิกที่  หลังจากนั้นคลิกที่ Outer Wall

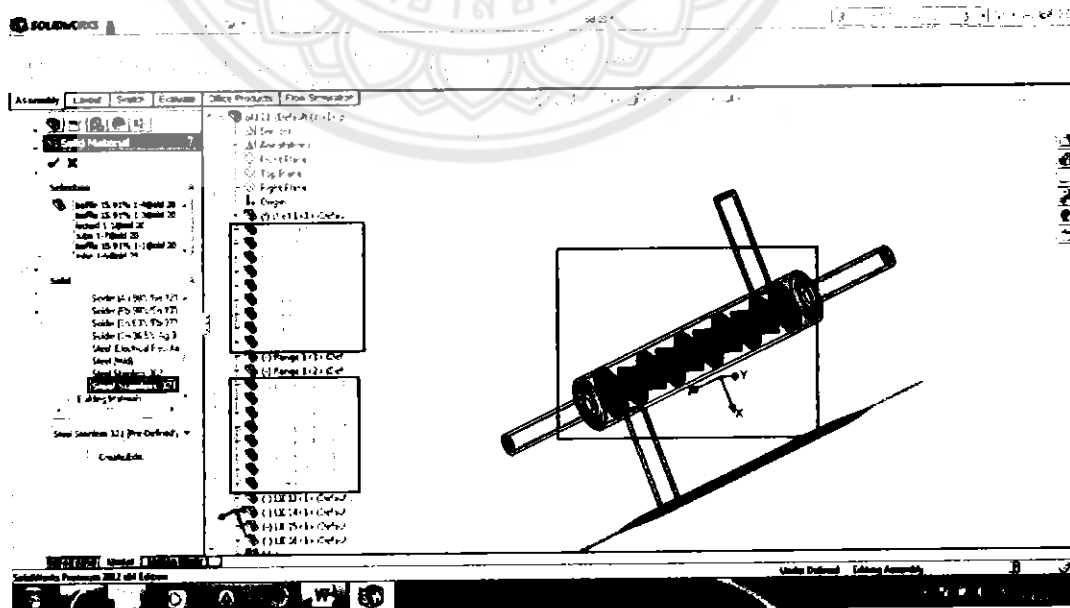
4.20 คลิกที่  แล้วใส่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอกของเปลือกเท่ากับ $5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ และ อุณหภูมิเท่ากับ 298.15 K หลังจากนั้นคลิก ✓

5. การใส่ค่าวัสดุให้แก่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเปลือกและท่อ


5.1 คลิกขวาที่  Solid Materials หลังจากนั้นคลิกซ้ายที่ Insert Solid material ดังรูป

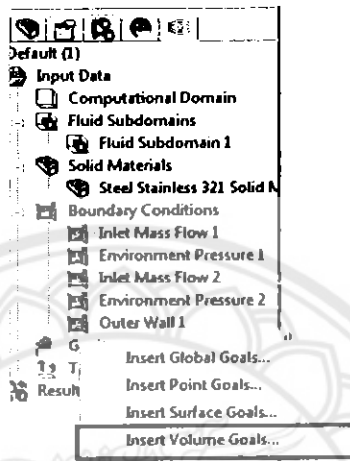


5.2 คลิกที่ Tube 1-7 และ Tube sheets หลังจากนั้นคลิกที่ Steel Stainless ดังรูป

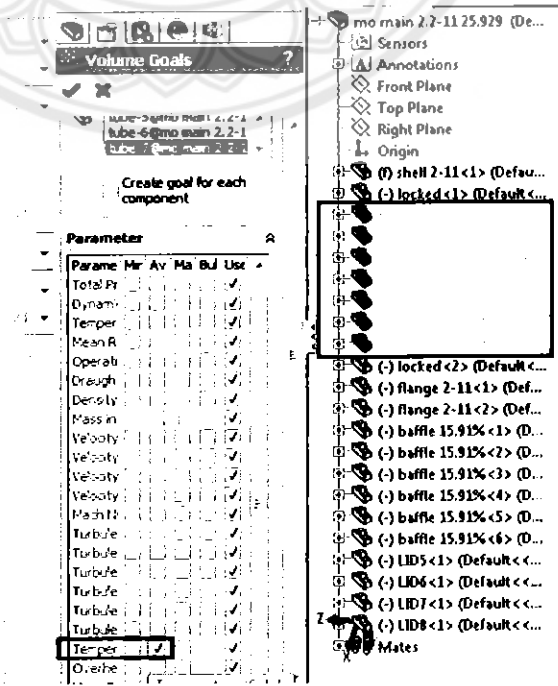


5.3 คลิก ✓

5.4 คลิกขวาที่  Goals หลังจากนั้นคลิกที่ Insert Volume Goals ดังรูป



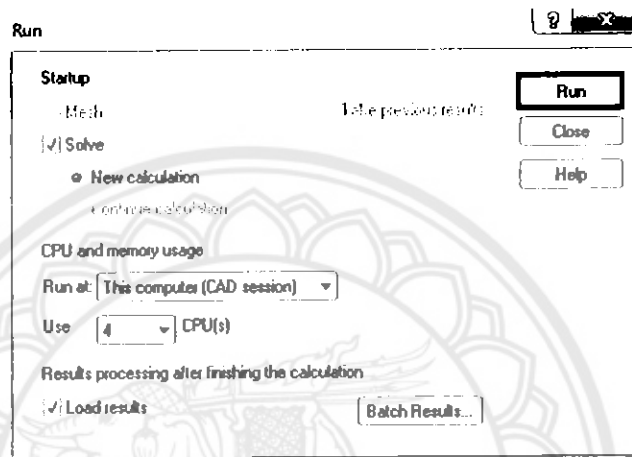
5.5 คลิกที่ Tube 1-7 และคลิกถูกที่ temperature of solid ซึ่งจะเลือกที่ช่อง Average ดังรูป



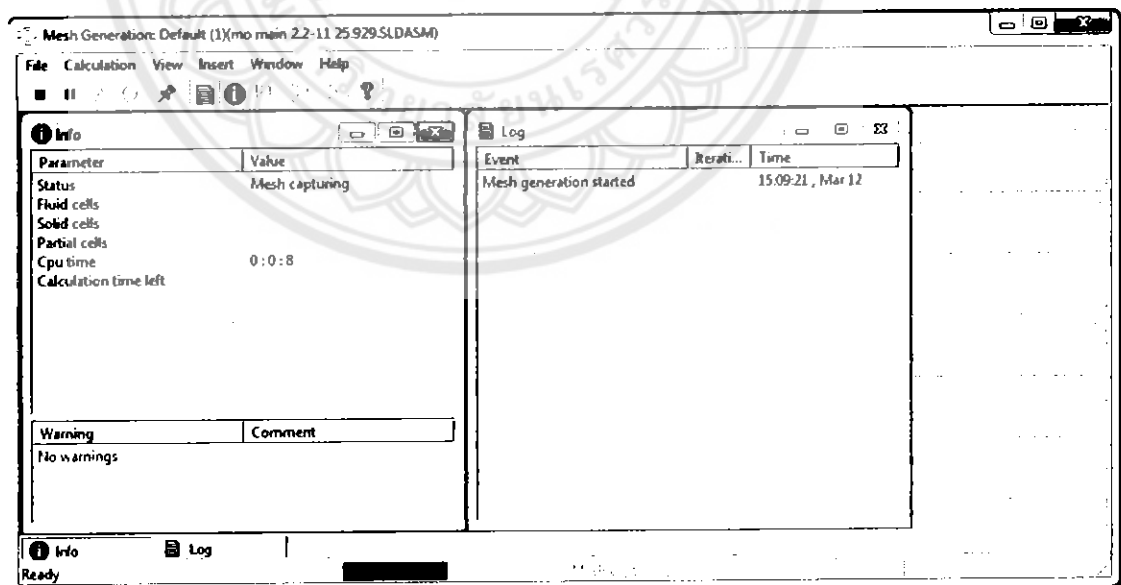
5.6 หลังจากนั้นคลิก ✓

5.7 คลิกที่ 

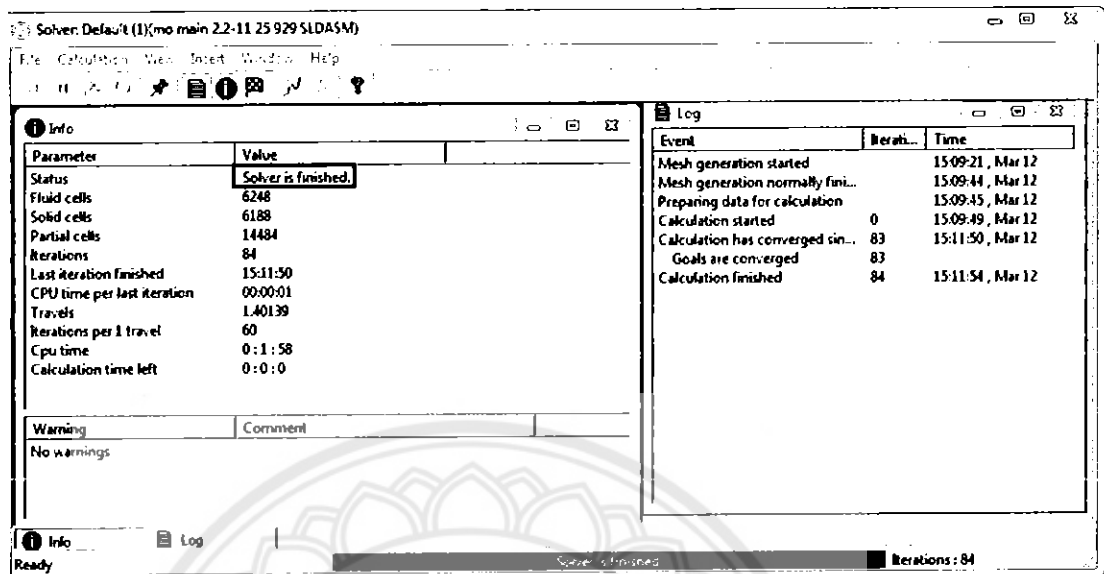
5.8 คลิกที่ Run



5.9 รอผลการรันโปรแกรม



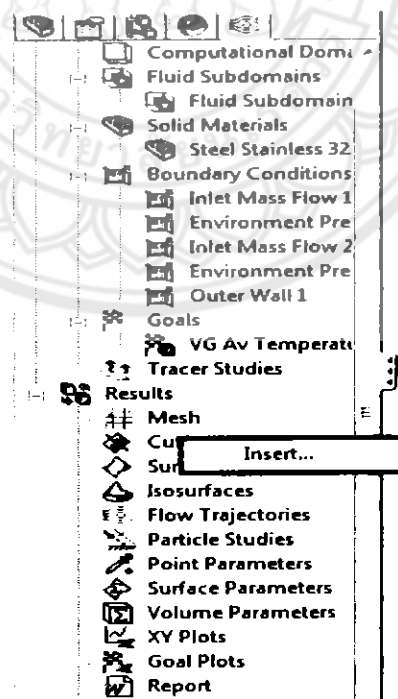
5.10 การรันโปรแกรมเสร็จสิ้น จะมีข้อความบอกว่า Solve Finished



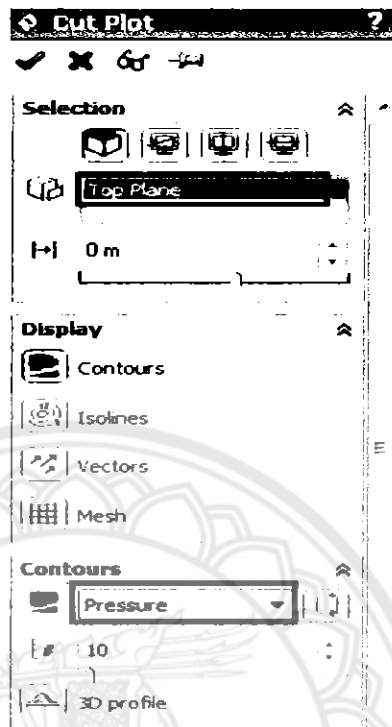
6. การแสดงผลที่ได้จากวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

6.1 การแสดงผลการวิเคราะห์แบบ Cut Plot เริ่มจากคลิกขวาที่ Cut Plots

6.2 คลิกที่ Insert ดังรูป

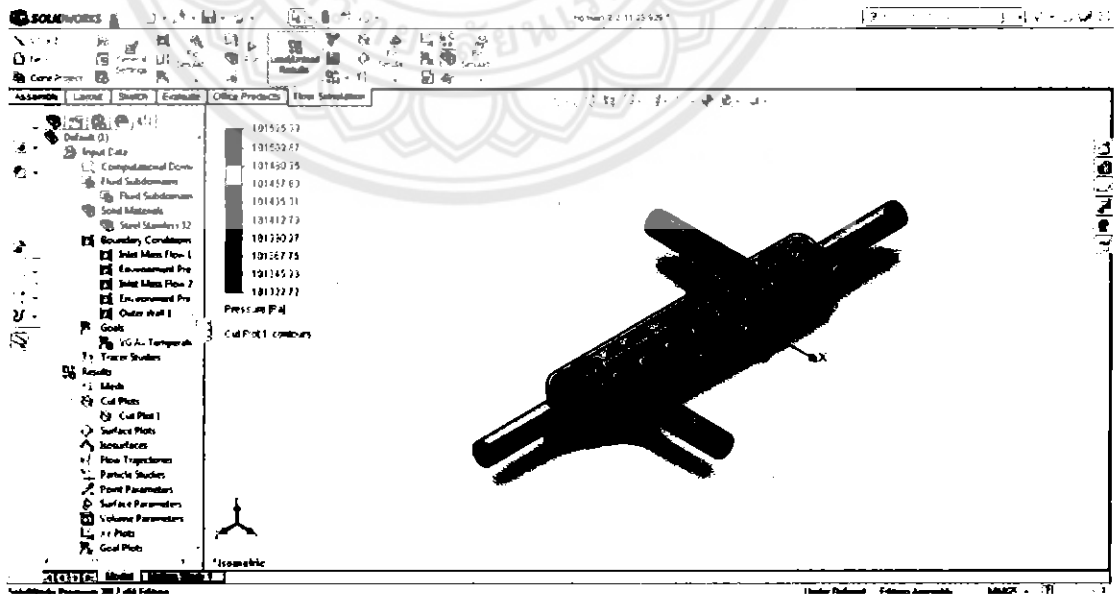


6.3 คลิกเลือก Top Plane แล้วหลังจากนั้นคลิกที่ Pressure ดังรูป

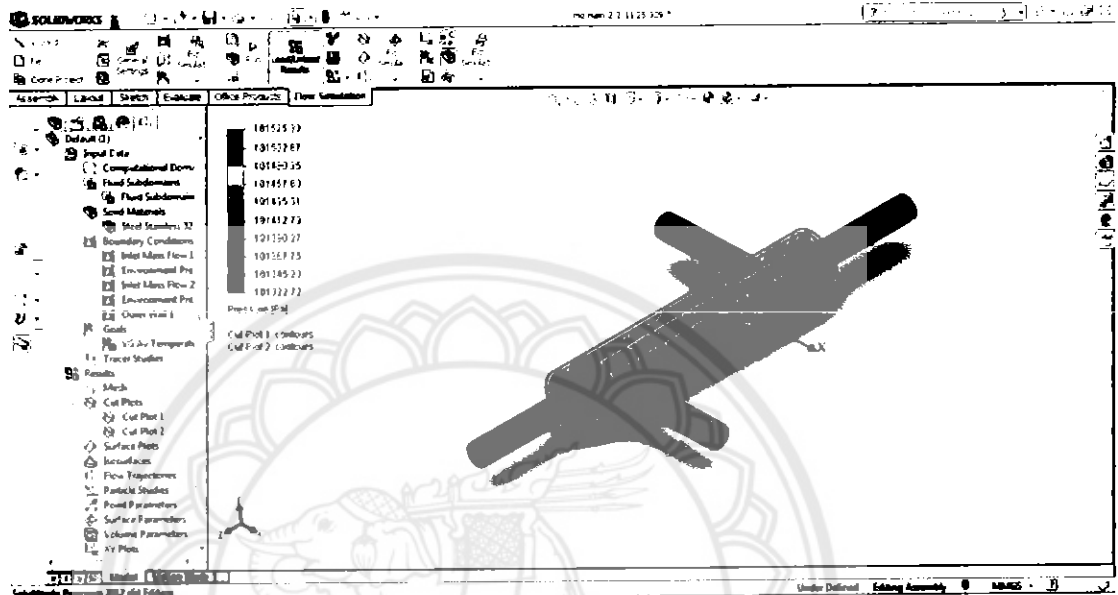


6.4 คลิก ✓

6.5 จะได้รับการแสดงผลการวิเคราะห์หาค่าความดันลดในแกน Top Plane ดังรูปด้านล่าง



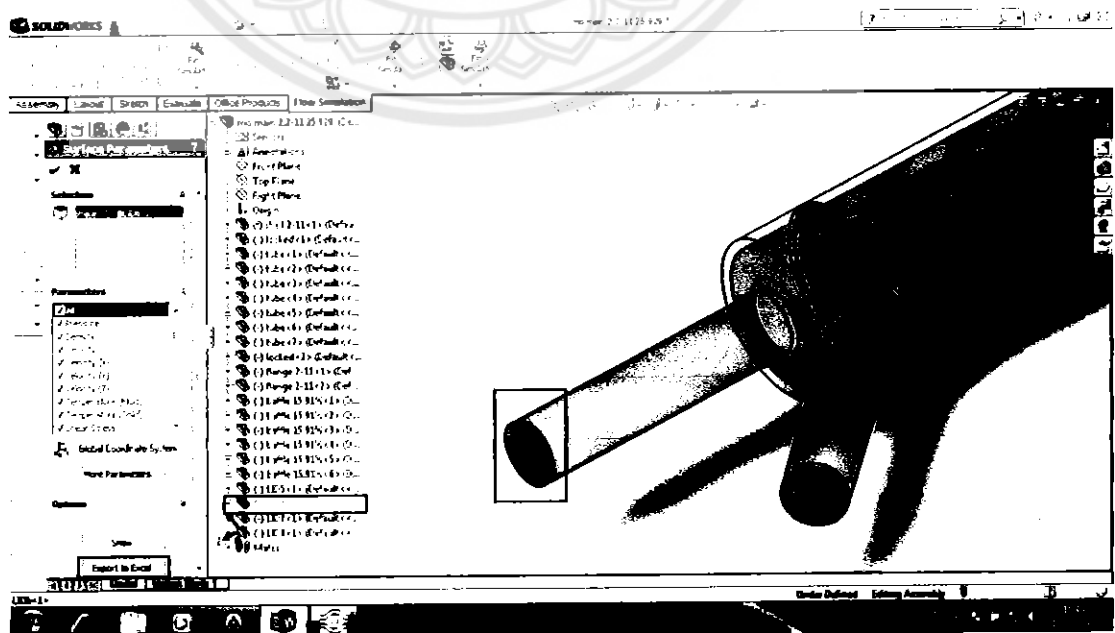
6.6 ทำเช่นเดียวกับข้อที่ 6.1-6.4 เพียงแต่เปลี่ยนค่าจาก Top Plane เป็น Right Plane แทนซึ่งจะได้ผลดังรูป



7.ผลการวิเคราะห์ของโปรแกรม

7.1 คลิกขวาที่  Surface Parameters จากนั้นคลิกซ้ายที่ Insert

7.2 คลิกเลือกด้านใน Lids ที่ทางเข้ากระแสร้อน ดังรูป



7.3 คลิก All หลังจากนั้น คลิก Export to Excel

7.4 จะได้ผลการของอุณหภูมิและความดันของทางเข้ากระแสร้อน

Local parameters

Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average	Surface Area [m ²]
Pressure [Pa]	101374.248	101374.274	101374.26	101374.26	0.000278493
Density [kg/m ³]	973.520253	973.520253	973.520253	973.520253	0.000278493
Velocity [m/s]	0.030724527	0.030724527	0.030724527	0.030724527	0.000278493
Velocity (X) [m/s]	0	0	0	0	0.000278493
Velocity (Y) [m/s]	0	0	0	0	0.000278493
Velocity (Z) [m/s]	-0.030724527	-0.030724527	-0.030724527	-0.030724527	0.000278493
Temperature (Fluid) [K]	350.68	350.68	350.68	350.68	0.000278493
Temperature (Solid) [K]	305.149331	306.686468	305.750216	305.750216	0.000278493
Overheat above Melting Temperature [K]	-1378.00067	-1376.46353	-1377.39978	-1377.39978	0.000278493

7.5 ทำข้อ 7.2 - 7.3 กับทางเข้าออกที่เหลือ





ตารางที่ ค-1 แสดงคุณสมบัติของน้ำ [8]

878
APPENDIX

TABLE A-9
Properties of saturated water

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Saturation Pressure P_{sat}, kPa	Density $\rho, \text{kg/m}^3$		Enthalpy of Vaporization $h_{fg}, \text{kJ/kg}$		Specific Heat $c_p, \text{kJ/kg}\cdot\text{K}$		Thermal Conductivity $k, \text{W/m}\cdot\text{K}$		Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$		Prandtl Number Pr		Volume Expansion Coefficient $\beta, 1/\text{K}$
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}	13.5	1.00	-0.068×10^{-3}	
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}	11.2	1.00	0.015×10^{-3}	
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}	9.45	1.00	0.733×10^{-3}	
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4185	1863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}	8.09	1.00	0.138×10^{-3}	
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}	7.01	1.00	0.195×10^{-3}	
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}	6.14	1.00	0.247×10^{-3}	
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}	5.42	1.00	0.294×10^{-3}	
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}	4.83	1.00	0.337×10^{-3}	
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}	4.32	1.00	0.377×10^{-3}	
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596×10^{-3}	1.046×10^{-5}	3.91	1.00	0.415×10^{-3}	
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547×10^{-3}	1.062×10^{-5}	3.55	1.00	0.451×10^{-3}	
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	0.504×10^{-3}	1.077×10^{-5}	3.25	1.00	0.484×10^{-3}	
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467×10^{-3}	1.093×10^{-5}	2.99	1.00	0.517×10^{-3}	
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433×10^{-3}	1.110×10^{-5}	2.75	1.00	0.548×10^{-3}	
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404×10^{-3}	1.126×10^{-5}	2.55	1.00	0.578×10^{-3}	
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	0.378×10^{-3}	1.142×10^{-5}	2.38	1.00	0.607×10^{-3}	
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355×10^{-3}	1.159×10^{-5}	2.22	1.00	0.633×10^{-3}	
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333×10^{-3}	1.176×10^{-5}	2.08	1.00	0.670×10^{-3}	
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	0.315×10^{-3}	1.193×10^{-5}	1.96	1.00	0.702×10^{-3}	
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297×10^{-3}	1.210×10^{-5}	1.85	1.00	0.716×10^{-3}	
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282×10^{-3}	1.227×10^{-5}	1.75	1.00	0.750×10^{-3}	
110	143.27	950.6	0.8263	2230	4229	2071	0.682	0.0262	0.255×10^{-3}	1.261×10^{-5}	1.58	1.00	0.798×10^{-3}	
120	198.53	943.4	1.121	2203	4244	2120	0.683	0.0275	0.232×10^{-3}	1.296×10^{-5}	1.44	1.00	0.858×10^{-3}	
130	270.1	934.6	1.496	2174	4263	2177	0.684	0.0288	0.213×10^{-3}	1.330×10^{-5}	1.33	1.01	0.913×10^{-3}	
140	361.3	921.7	1.965	2145	4286	2244	0.683	0.0301	0.197×10^{-3}	1.365×10^{-5}	1.24	1.02	0.970×10^{-3}	
150	475.8	916.6	2.546	2114	4311	2314	0.682	0.0316	0.183×10^{-3}	1.399×10^{-5}	1.16	1.02	1.026×10^{-3}	
160	617.8	907.4	3.256	2083	4340	2420	0.680	0.0331	0.170×10^{-3}	1.434×10^{-5}	1.09	1.05	1.145×10^{-3}	
170	791.7	897.7	4.119	2050	4370	2490	0.677	0.0347	0.160×10^{-3}	1.468×10^{-5}	1.03	1.05	1.178×10^{-3}	
180	1,002.1	887.3	5.153	2015	4410	2590	0.673	0.0364	0.150×10^{-3}	1.502×10^{-5}	0.983	1.07	1.210×10^{-3}	
190	1,254.4	876.4	6.388	1979	4460	2710	0.669	0.0382	0.142×10^{-3}	1.537×10^{-5}	0.947	1.09	1.280×10^{-3}	
200	1,553.8	864.3	7.852	1941	4500	2840	0.663	0.0401	0.134×10^{-3}	1.571×10^{-5}	0.910	1.11	1.350×10^{-3}	
220	2,318	840.3	11.60	1859	4610	3110	0.650	0.0442	0.122×10^{-3}	1.641×10^{-5}	0.865	1.15	1.520×10^{-3}	
240	3,344	813.7	16.73	1767	4760	3520	0.632	0.0487	0.111×10^{-3}	1.712×10^{-5}	0.836	1.24	1.720×10^{-3}	
260	4,688	783.7	23.69	1663	4970	4070	0.609	0.0540	0.102×10^{-3}	1.788×10^{-5}	0.832	1.35	2.000×10^{-3}	
280	6,412	750.8	33.15	1544	5280	4835	0.581	0.0605	0.094×10^{-3}	1.870×10^{-5}	0.854	1.49	2.380×10^{-3}	
300	8,581	713.8	46.15	1405	5760	5980	0.548	0.0695	0.086×10^{-3}	1.965×10^{-5}	0.902	1.69	2.950×10^{-3}	
320	11,274	667.1	64.57	1239	6540	7900	0.509	0.0836	0.078×10^{-3}	2.084×10^{-5}	1.00	1.97		
340	14,586	610.5	92.62	1028	8240	11,870	0.469	0.110	0.070×10^{-3}	2.255×10^{-5}	1.23	2.43		
360	18,651	528.3	144.0	720	14,690	25,800	0.427	0.178	0.060×10^{-3}	2.571×10^{-5}	2.06	3.73		
374.14	22,090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043×10^{-3}	4.313×10^{-5}				

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

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

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



ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ค่าความดันลด
และค่าประสิทธิผล ที่เปอร์เซ็นต์การตัด 15%

ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

จากตารางที่ 4.8 แสดงผลสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คำนวณได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากับ $365.68 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. คำนวณหาปริมาณความร้อนที่แลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำทั้งสองกระแสจาก

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

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อน
 \dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวล โดย $\dot{m} = \rho Q$ เมื่อ Q คือ อัตราการไหล, ρ คือความหนาแน่นของน้ำ และเปิด c_p จากตารางคุณสมบัติของน้ำ ใช้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย

c_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะ เปิดจากตารางคุณสมบัติของน้ำ ใช้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิน้ำกระแสเย็น ดูจากรูปที่ ก.17 ภาคผนวก ก

จะได้ว่า $\dot{m} = 0.248 \text{ kg/s}$

$$c_p = 4178 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$\Delta T = 2.93 \text{ K}$$

ดังนั้น $Q = 0.248 \times 4178 \times 2.93 = 303.926 \text{ J}$

2. คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจาก

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

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อน

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

A คือ พื้นที่ผิวภายนอกท่อทั้งหมด

ΔT_{lm} คือ ผลต่างของอุณหภูมิเชิงล็อก เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการแลกเปลี่ยนความร้อน

หาจาก

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

เมื่อ $T_{h,i}$ คือ อุณหภูมิน้ำร้อนทางเข้า $T_{h,o}$ คือ อุณหภูมิน้ำร้อนทางออก
 $T_{c,i}$ คือ อุณหภูมิน้ำเย็นทางเข้า $T_{c,o}$ คือ อุณหภูมิน้ำเย็นทางออกค
 ค่าของอุณหภูมิได้จากรูปที่ ก.17 ภาคผนวก ก

จะได้ว่า $Q = 303.926 \text{ J}$

$$A = 0.02507 \text{ m}^2$$

$$\Delta T_{lm} = 33.152 \text{ K}$$

ดังนั้น $U = 303.926 / (0.02507 \times 33.152) = 365.68 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

ตัวอย่างการคำนวณค่าความดันลด

จากตารางที่ 4.9 แสดงผลความดันลดจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คำนวณได้ค่าความดันลดเท่ากับ 176.27 Pa มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้ จาก

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

เมื่อ ΔP คือ ค่าความดันลด
 P_{in} คือ ค่าความดันลดน้ำร้อนทางเข้า
 P_{out} คือ ค่าความดันลดน้ำร้อนทางออก

ค่าความดันที่ทางเข้าและทางออกดูจากรูปที่ ก.16 ภาคผนวก ก

จะได้ว่า $P_{in} = 101481.02 \text{ Pa}$

$$P_{out} = 101325 \text{ Pa}$$

ดังนั้น $\Delta P = 101501.27 - 101325 = 176.27 \text{ Pa}$

ตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิผล

จากตารางที่ 4.10 แสดงผลของประสิทธิผลจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คำนวณได้ค่าประสิทธิผลเท่ากับ 45.80% มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้ จาก

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

เมื่อ ε คือ ค่าประสิทธิผล

$T_{hot,in}$ คือ อุณหภูมิน้ำร้อนทางเข้า

$T_{hot,out}$ คือ อุณหภูมิน้ำร้อนทางออก

$T_{cold,in}$ คือ อุณหภูมิน้ำเย็นทางเข้า

ค่าของอุณหภูมิทางเข้าและทางออกจากรูปที่ ก.17 ภาคผนวก ก

จะได้ว่า $T_{hot,in} = 350.68 \text{ K}$

$T_{hot,out} = 329.633 \text{ K}$

$T_{cold,in} = 304.72 \text{ K}$

ดังนั้น $\varepsilon = ((350.68 - 329.633) / (350.68 - 304.72)) \times 100\% = 45.80\%$