



การประมาณหาค่าความสูญเสียทางความร้อนจากเครื่องทำน้ำอุ่นไฟฟ้ารุ่นใหม่

An estimation of heat loss from
the newly-designed electric water heater

นายธนากร จำปาวงษ์

THANAKORN JAMPAWONG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณหาค่าความสูญเสียทางความร้อนจากเครื่องทำน้ำอุ่นไฟฟ้ารุ่นใหม่

An estimation of heat loss from
the newly-designed electric water heater



นายธนากร จำปาวงศ์
THANAKORN JAMPAWONG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

An estimation of heat loss from the newly-designed electric water heater



A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE
OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL
ENGINEERING DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG PRINCE
OF CHUMPHON 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การประมาณหาค่าความสูญเสียทางความร้อนจากเครื่องทำน้ำอุ่นไฟฟ้ารุ่นใหม่
PROJECT TITLE An estimation of heat loss from the newly-designed electric water heater
ชื่อนักศึกษา ธนากร จำปาวงษ์ รหัสประจำตัว 62201059
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ศิระ สายศร
ปริญญาานิพนธ์
วิศวกรที่ปรึกษา นายสมคิด เอกพานิช

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ศิระ	สายศร	ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.อดิเรก	สุริยะวงศ์	กรรมการ	
ดร.ศักรินทร์	ชินกุลพิทักษ์	กรรมการและเลขานุการ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 24 พฤษภาคม 2566 เวลา 10.00 – 12.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง A315

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ รัตเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 7 มิถุนายน พ.ศ. 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์
ประจำปีการศึกษา 2565

โครงการสหกิจศึกษา การประมาณค่าความสูญเสียทางความร้อนจากเครื่องทำน้ำอุ่นไฟฟ้ารุ่นใหม่
ชื่อนักศึกษา ธนากร จำปาวงษ์ รหัสประจำตัว 62201059
สถานประกอบการ บริษัท เอส เอ็น ซี แอตแลนติก วอเตอร์ ฮีตเตอร์ เอเชีย จำกัด
ที่อยู่ เลขที่ 88/9,88/18 หมู่ที่ 2 ตำบลมะขามคู่ อำเภอนิคมน้ำอ้น จังหวัดระยอง 21180
วิศวกรที่ปรึกษา นายสมคิด เอกพานิช



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ศิริระ สายสร)

หนังสือส่งรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

เรื่อง ขอส่งรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ข้าพเจ้า นายธนากร จำปาวงษ์ นักศึกษาสาขาวิชาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ได้ปฏิบัติงานสหกิจศึกษาระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2565 ถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2565 ในตำแหน่งนักศึกษาฝึกงานในฝ่ายวิศวกรรม แผนกวิจัยและพัฒนา ณ บริษัท เอส เอ็น ซี แอตแลนติก วอเตอร์ ฮีตเตอร์ เอเชีย จำกัด และได้รับมอบหมายจากวิศวกรที่ปรึกษาสหกิจศึกษาให้ทำการศึกษาและจัดทำโครงการประมาณหาค่าความสูญเสียทางความร้อนจากเครื่องทำน้ำอุ่นไฟฟ้ารุ่นใหม่

บัดนี้ การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาได้เสร็จสิ้นลงไปแล้ว จึงใคร่ขอส่งรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ดังกล่าว จำนวน 1 เล่ม เพื่อขอรับคำปรึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

นายธนากร จำปาวงษ์

นักศึกษาสหกิจศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

Project Title An estimation of heat loss from the newly-designed electric water heater

Student Thanakorn Jampawong

Student ID 62201059

Degree Bachelor of Engineering

Program Mechanical Engineering

Project Advisor Assoc. Prof. Sira Saisorn

Project Engineer Mr. Somkid Aekpanid

Abstract

This project is an estimation of heat loss from the storage water heater. There are 3 methods for analysis : Analytical Method, Numerical Method and Experimental Method. The results of each method were compared to each other. The Numerical Method differed from the Analytical Method by 6.92 %, which was a slight difference. The Experimental Method differed from the Analytical Method by 71.46 %, which was a high difference.

Keywords: Heat Loss, Heat Conduction, Heat Convection, Heat Radiation, Thermal Insulation

กิตติกรรมประกาศ

โครงการสหกิจศึกษาฉบับนี้สำเร็จได้นั้นข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บริษัท เอส เอ็น ซี แอตแลนติก วอเตอร์ ฮีตเตอร์ เอเชีย จำกัด เป็นอย่างยิ่งที่ให้โอกาสข้าพเจ้าได้มาสหกิจศึกษาเพื่อเรียนรู้การทำงานภายในโรงงาน และเรียนรู้การใช้ชีวิตในการทำงาน

ขอขอบพระคุณวิศวกรที่ปรึกษา คุณสมคิด เอกพานิช ผู้จัดการโปรเจกต์แผนกวิจัยและพัฒนา และวิศวกรทุกท่านในแผนกที่ให้ความดูแล เอาใจใส่ คอยช่วยเหลือ ให้ความรู้และประสบการณ์ในด้านต่างๆ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่และพนักงานทุกท่านที่ให้ความรู้และคำแนะนำเรื่องความปลอดภัยในการทำงาน ภายในโรงงาน รวมถึงการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างเป็นทีม

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ศิระ สายศร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการสหกิจศึกษา ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ความรู้ต่าง ๆ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ทั้งด้านวิชาการและด้านการปฏิบัติตัวในการทำงาน ตลอดโครงการสหกิจศึกษา

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณและเป็นทีเคารพรักของข้าพเจ้า ที่คอยให้คำปรึกษา แนะนำ แนวทางในการใช้ชีวิต ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจเสมอมา ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอย่างยิ่งมา ณ ที่นี้

ธนากร จำปาวงษ์
พฤษภาคม 2566

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญกราฟ.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 หลักการทำงานของเครื่องทำน้ำอุ่นแบบถังพัก.....	4
2.2 การถ่ายเทความร้อน.....	5
2.3 ฉนวนความร้อน.....	7
2.4 การถ่ายเทความร้อนแบบผนังหลายชั้น.....	8
2.5 การถ่ายเทความร้อนแบบทรงกระบอก.....	9
2.6 Computational Fluid Dynamics.....	10
บทที่ 3 ซอฟต์แวร์และวิธีการวิเคราะห์ผล	
3.1 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลและหน้าที่ของซอฟต์แวร์.....	12
3.2 วิธีการวิเคราะห์.....	13
3.2.1 Analytical Method.....	13
3.2.2 Numerical Method.....	16
3.2.3 Experimental Method.....	55

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ผลและเปรียบเทียบผล	
4.1 Analytical Method.....	58
4.2 Numerical Method.....	58
4.3 Experimental Method.....	58
4.4 เปรียบเทียบผล.....	59
บทที่ 5 สรุปผล	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	60
5.2 ปัญหาที่พบ.....	60
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการสหกิจศึกษา.....	61
เอกสารอ้างอิง.....	X
ประวัติผู้จัดทำ.....	XI

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน.....	3
3.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ และวัสดุของส่วนประกอบนั้น ๆ.....	24
3.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ และวัสดุของส่วนประกอบนั้น ๆ.....	42
3.3 ค่าต่าง ๆ ของวัสดุ.....	44
3.4 ค่า Emissivity coefficient ของวัสดุ.....	45
4.1 เปรียบเทียบค่าสูญเสียทางความร้อนจากทั้ง 3 วิธี.....	59

สารบัญกราฟ

กราฟที่	หน้า
3.1 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง อุณหภูมิผิวถึงจากการทดลองจริง กับ อุณหภูมิผิวถึงจาก CFD.....	21
3.2 แสดงผลอุณหภูมิของน้ำภายในถังทั้ง 9 จุดตั้งแต่ 0 นาที ถึง 40 นาที.....	34
3.3 แสดงอุณหภูมิ ณ เวลาต่างๆ.....	57

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	เครื่องทำน้ำอุ่นชนิดถังพัก.....	1
1.2	เครื่องทำน้ำอุ่นชนิดถังพักมุมมอง Front View.....	2
2.1	เครื่องทำน้ำอุ่นแบบถังพักมุมมอง Section Cut.....	4
2.2	การถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน.....	5
2.3	การถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน.....	6
2.4	การถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสี.....	6
2.5	การถ่ายเทความร้อนแบบผนังหลายชั้น.....	8
2.6	การถ่ายเทความร้อนแบบทรงกระบอกผนังหลายชั้น.....	9
2.7	โดเมนปริภูมิ (Spatial Domain).....	10
2.8	โครงตาข่ายเชิงปริมาตร (Volume Mesh).....	10
2.9	a) Structured Mesh b) Unstructured Mesh.....	11
2.10	Adaptive Mesh Refinement.....	11
3.1	โปรแกรม SolidWorks 2020.....	12
3.2	SolidWorks Flow Simulation.....	12
3.3	diagram และทิศทางการถ่ายเทความร้อนสำหรับการวิเคราะห์.....	13
3.4	Thermal Circuit การถ่ายเทความร้อนของผิวถังเครื่องทำน้ำอุ่นสู่อากาศ.....	14
3.5	เครื่องทำน้ำอุ่นแบบถังพักมุมมอง Front View.....	16
3.6	Water Temperature Stratification.....	17
3.7	กำหนด Analysis Type แบบ Internal วิเคราะห์เพียงภายในถัง.....	18
3.8	กำหนด Default Fluid.....	19
3.9	การกำหนดจุดต่าง ๆ ที่ผิวถัง.....	20
3.10	กำหนด Default Solid.....	22
3.11	กำหนด Initial Conditions.....	23
3.12	กำหนด Material ให้ของแข็งต่าง ๆ.....	24
3.13	หน้าตาการกำหนด Material.....	24
3.14	ส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อกำหนดวัสดุ.....	25
3.15	กำหนดของไหลในถัง.....	26
3.16	หน้าตาการกำหนดของไหล.....	26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 กำหนดแรงดันและอุณหภูมิที่เข้ามาจากท่อ Inlet.....	26
3.18 หน้าต่างการกำหนดแรงดันและอุณหภูมิของท่อ Inlet.....	27
3.19 มีน้ำอยู่เต็มถึงก่อนฮีตเตอร์เปิดใช้งาน.....	28
3.20 สร้าง Point Goal เพื่อใช้ในการตั้งให้ฮีตเตอร์หยุดทำงานเมื่อถึงอุณหภูมิที่ต้องการ.....	28
3.21 หน้าต่างการสร้าง Point Goal.....	28
3.22 จุดต่าง ๆ ทั้ง 9 จุด.....	29
3.23 หน้าต่างการสร้าง Point Goal เพื่อวัดค่าอุณหภูมิน้ำภายในถัง.....	29
3.24 จุดต่าง ๆ ทั้ง 9 จุดของน้ำภายในถัง.....	30
3.25 กำหนดแหล่งกำเนิดความร้อน.....	30
3.26 กำหนดฮีตเตอร์จ่ายพลังงาน 2500 W.....	31
3.27 กำหนดอุณหภูมิที่ทำให้ฮีตเตอร์หยุดทำงาน.....	32
3.28 หน้าต่างปรับแต่งความละเอียด Mesh.....	32
3.29 Mesh ของส่วนต่างๆ.....	33
3.30 ดำเนินการจำลอง.....	33
3.31 การไล่ระดับอุณหภูมิของน้ำในถังและจุดทั้ง 9 จุดของกราฟที่ 3.2.....	34
3.32 กำหนดวิธีการวิเคราะห์แบบ External วิเคราะห์ภายในถัง ภายนอกถัง และอากาศโดยรอบเครื่อง.....	35
3.33 กำหนดของไหลเริ่มต้น.....	36
3.34 กำหนด Default Solid.....	37
3.35 กำหนด Initial and Ambient Conditions.....	38
3.36 อุณหภูมิที่พื้นผิวของของแข็งในมุม Section Cut Front View.....	39
3.37 กำหนด Computational Domain.....	39
3.38 หน้าต่างการกำหนด Computational Domain.....	40
3.39 Computational Domain.....	40
3.40 กำหนดของไหลในถัง.....	41
3.41 หน้าต่างการกำหนดของไหล.....	41
3.42 ระยะของอุณหภูมิน้ำแต่ละระดับ โดยวัดจากระยะห่างกับ $y = 0$	41
3.43 กำหนดอุณหภูมิของน้ำที่ระดับต่าง ๆ.....	42
3.44 กำหนด Material ให้ของแข็งต่าง ๆ.....	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.45 หน้าต่างการกำหนด Material.....	43
3.46 ส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อกำหนดวัสดุ.....	44
3.47 ส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อกำหนดวัสดุ.....	44
3.48 หน้าต่างการสร้างหรือแก้ไขวัสดุ.....	45
3.49 กำหนดชื่อและค่าต่าง ๆ ของวัสดุ.....	46
3.50 กำหนดการแผ่รังสีความร้อน.....	46
3.51 หน้าต่างการสร้างหรือแก้ไข Radiative Surfaces.....	47
3.52 กำหนดชื่อและค่า Emissivity coefficient ของวัสดุ.....	47
3.53 หน้าต่างการกำหนด Radiative Surfaces.....	48
3.54 หน้าต่างปรับระดับความละเอียด Mesh.....	48
3.55 Mesh ของเครื่องและอากาศโดยรอบ.....	49
3.56 ดำเนินการจำลอง.....	49
3.57 กำหนด Surface Plots.....	50
3.58 Convective Heat Flux ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวภายนอก มุม Isometric.....	51
3.59 Convective Heat Flux ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวภายนอก มุมตรงข้าม Isometric.....	51
3.60 Radiative Heat Flux ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวภายนอก มุม Isometric.....	52
3.61 Radiative Heat Flux ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวภายนอก มุมตรงข้าม Isometric.....	52
3.62 ใช้ Surface Parameters เพื่อดู Conductive + Convective Heat Loss ที่เกิดขึ้น.....	53
3.63 การสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้น.....	54
3.64 เครื่องทำน้ำอุ่นชนิดถังพักแบบพร้อมทดสอบ.....	55
3.65 บริเวณที่ทำการเจาะ เพื่อติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล.....	56

บทที่ 1

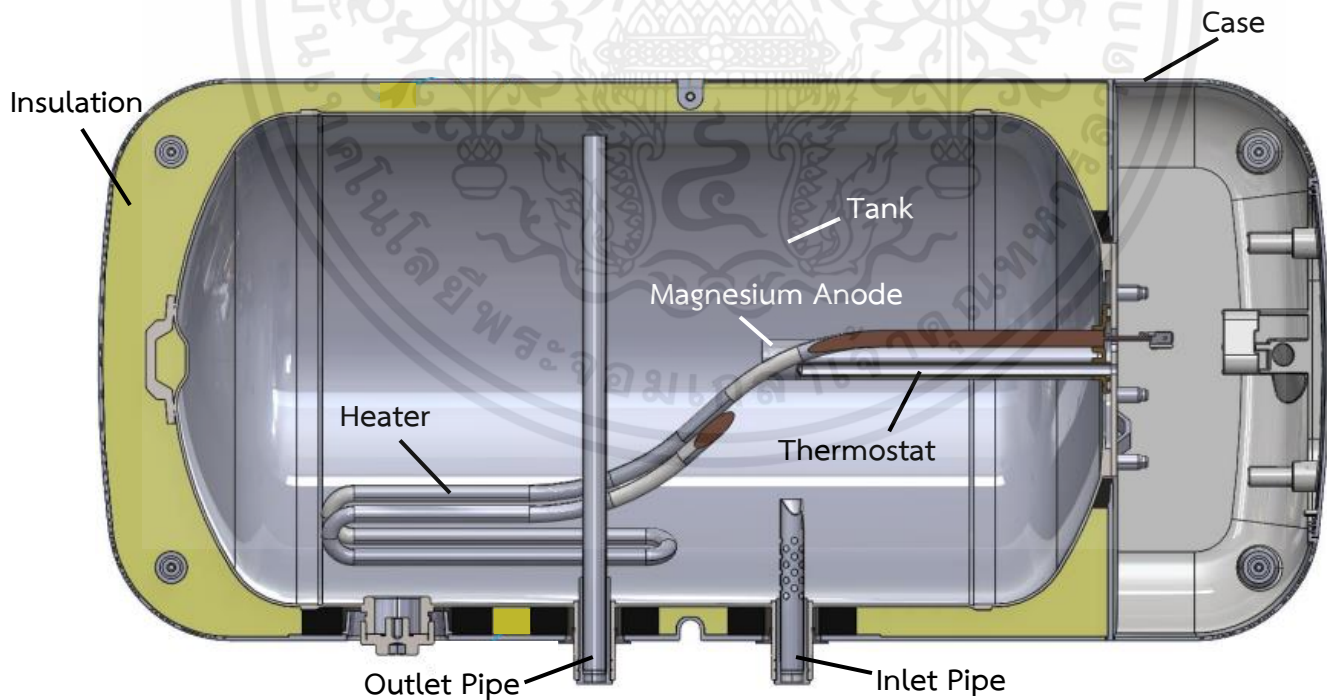
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำโครงการ

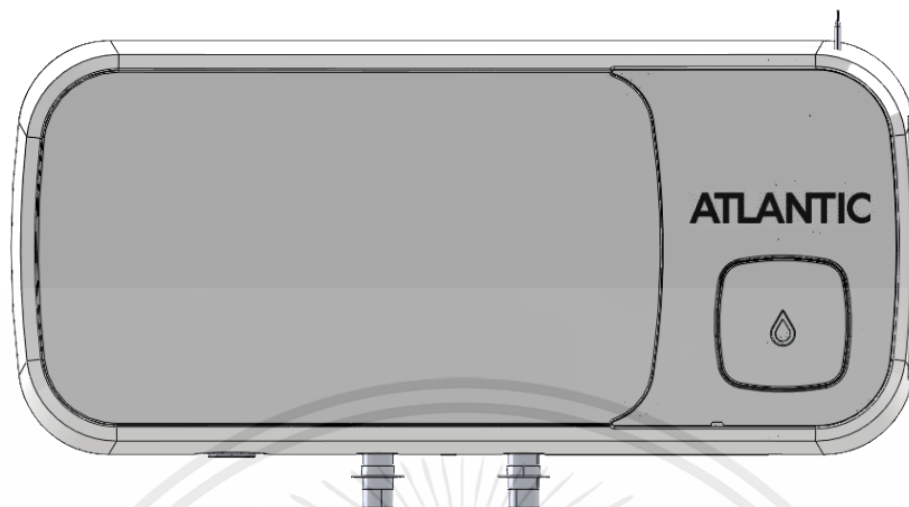
เครื่องทำน้ำอุ่น (Water heater) จัดเป็นอุปกรณ์สร้างความร้อน เพราะจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ามาอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนออกมาตามฝักบัว ทั้งนี้ เพราะน้ำอุ่นสามารถจัดไขมันหรือสามารถชะล้างสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ตามรูขุมขนได้ดีกว่าน้ำเย็น

เครื่องทำน้ำอุ่นที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นเครื่องทำน้ำอุ่นแบบมีถังพักน้ำ โดยหลักการทำงานของเครื่องทำน้ำอุ่นชนิดนี้นั้น จะต้องอาศัยตัวทำความร้อน (Heater) ในการให้ความร้อนแก่น้ำ โดยขั้นตอนการทำงาน คือ น้ำอุณหภูมิปกติเข้ามาทางท่อน้ำเย็น เมื่อน้ำเต็มถังแล้วตัวทำความร้อน (Heater) จึงเริ่มทำงานถ่ายเทความร้อนไปยังน้ำ โดยมีเทอร์โมสแตทคอยควบคุมการทำงานของตัวทำความร้อน เมื่อถึงอุณหภูมิที่ต้องการ เทอร์โมสแตทจึงจะตัดการทำงานของตัวทำความร้อน น้ำร้อนจึงออกไปทางท่อน้ำร้อน จากนั้นน้ำเย็นจึงเข้ามาใหม่จนเต็มถัง ตัวทำความร้อนก็จะทำงานอีกรอบ ตัวทำความร้อนใช้พลังงานไฟฟ้ามาเปลี่ยนให้กลายเป็นพลังงานความร้อน

เมื่อมีความต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้น จึงมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น จึงต้องมีการหาวิธีทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนน้อยที่สุด เพื่อลดการทำงานของตัวทำความร้อนเพื่อทำให้ประหยัดพลังงาน โดยวิธีการลดค่าความสูญเสียทางความร้อน มีปัจจัยที่สำคัญคือ ฉนวนกันความร้อน



รูปที่ 1.1 เครื่องทำน้ำอุ่นชนิดถังพัก



รูปที่ 1.2 เครื่องทำน้ำอุ่นชนิดถังพักมุมมอง Front View

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อหาค่าความสูญเสียทางความร้อนที่เกิดขึ้นในถังเก็บน้ำร้อนในเครื่องทำน้ำอุ่น โดยวิธี Analytical Method
- 1.2.2 เพื่อหาค่าความสูญเสียทางความร้อนที่เกิดขึ้นในถังเก็บน้ำร้อนในเครื่องทำน้ำอุ่น โดยวิธี Numerical Method
- 1.2.3 เพื่อหาค่าความสูญเสียทางความร้อนที่เกิดขึ้นในถังเก็บน้ำร้อนในเครื่องทำน้ำอุ่น โดยวิธี Analytical Method

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ใช้ตัวทำความร้อนขนาด 2500 W
- 1.3.2 ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 20 L

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 รับรู้ค่าสูญเสียทางความร้อนจากวิธี Analytical Method
- 1.4.2 รับรู้ค่าสูญเสียทางความร้อนจากวิธี Numerical Method
- 1.4.3 รับรู้ค่าสูญเสียทางความร้อนจากวิธี Experimental Method

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.5.1 ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 ศึกษาระบบการทำงานของเครื่องทำน้ำอุ่นชนิดถังพัก
- 1.5.3 เก็บข้อมูลและคำนวณค่าปริมาณการสูญเสียทางความร้อนด้วยวิธี Analytical Method
- 1.5.4 เก็บข้อมูลและคำนวณค่าปริมาณการสูญเสียทางความร้อนด้วยวิธี Numerical Method
- 1.5.5 เก็บข้อมูลและคำนวณค่าปริมาณการสูญเสียทางความร้อนด้วยวิธี Experimental Method
- 1.5.6 วิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าสูญเสียทางความร้อนจากวิธีต่างๆ

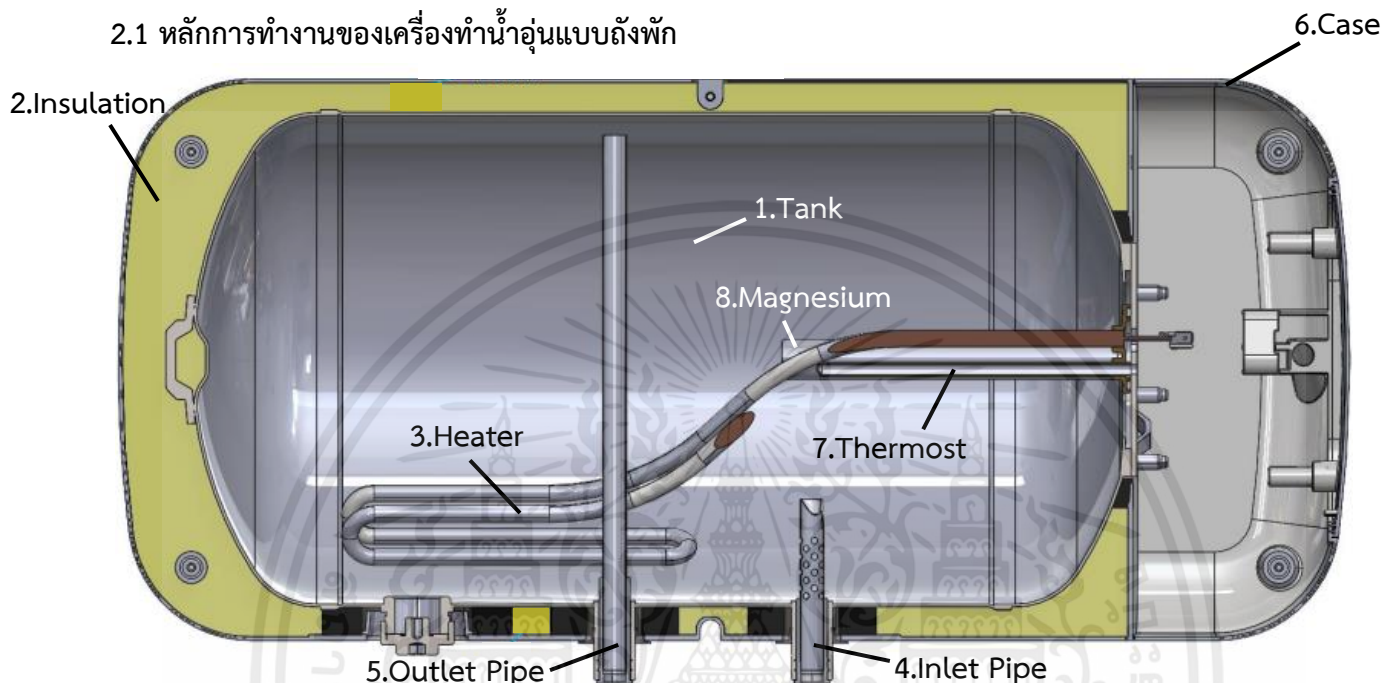
1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 การดำเนินงานคำนวณหาปริมาณการสูญเสียทางความร้อนตลอดระยะเวลาสหกิจศึกษาที่บริษัท SNC ATLANTIC WATER HEATER ASIA CO , LTD จังหวัดระยอง

ขั้นตอนการทำงาน	ปี 2565							ปี 2566		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	-	พ.ค.
1.ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูล	↔									
2.วางแผนการดำเนินงาน	↔									
3.จัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์		↔								
4.ทำการทดลองและรวบรวมผลข้อมูล			↔							
5.วิเคราะห์และเปรียบเทียบผล					↔					
6.จัดทำเล่มปริญญานิพนธ์								↔		

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการทำงานของเครื่องทำน้ำอุ่นแบบถังพัก



รูปที่ 2.1 เครื่องทำน้ำอุ่นแบบถังพักมุมมอง Section Cut

ที่มา : โปรแกรม SolidWorks 2020 ซึ่งออกแบบโดยวิศวกรที่บริษัท SNC Atlantic Water Heater Asia CO. LTD

2.1.1 อุปกรณ์และหน้าที่

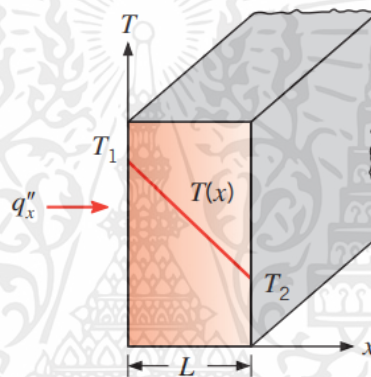
1. Tank (ถังพักน้ำ) หน้าที่ เก็บน้ำร้อนโดยที่ผิวถังด้านใน จะมีการเคลือบ Enamel เพื่อลดการเกิดสนิมที่ถัง
2. Insulation (ฉนวน) หน้าที่ เป็นฉนวนความร้อนลดการเกิดการสูญเสียความร้อน ในที่นี้ใช้ Polyurethane Foam 245fa
3. Heater (ตัวทำความร้อน) หน้าที่ ทำความร้อนให้แก่น้ำในถัง
4. Inlet Pipe (ทางน้ำเข้า) หน้าที่ รับน้ำเย็นเข้า
5. Outlet Pipe (ทางน้ำออก) หน้าที่ ส่งน้ำร้อนออกเพื่อใช้งาน
6. Case (ตัวครอบ) หน้าที่ เป็นชั้นนอกสุดของเครื่อง เป็น Polypropylene CaCO₃
7. Thermostat หน้าที่ จับอุณหภูมิของน้ำในถังเมื่อถึงตามที่ตั้งไว้ จะตัดการทำงานของ Heater
8. Magnesium Anode หน้าที่ เป็นตัวแทนที่ให้ Scale มาเกิดที่แท่งแทนที่จะเกิดที่ถัง

2.1.2 หลักการทำงาน

เมื่อถังพักน้ำรับน้ำเย็นมาจากทางเข้าจนเต็มแล้ว ฮีตเตอร์จึงจะเปิดการทำงาน เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการตามที่ตั้งไว้โดยใช้เทอร์โมสแตท ฮีตเตอร์จึงจะหยุดการทำงาน (74 °C) และกลับมาทำงานใหม่ตามที่ตั้งไว้ (70 °C) ในช่วงที่ฮีตเตอร์หยุดทำงานจึงเป็นช่วงที่น้ำในถังเกิดการสูญเสียความร้อน จึงต้องมีการติดตั้ง PU Foam เพื่อให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุดและให้น้ำร้อนสามารถคงความร้อนไว้ได้นานที่สุด เพื่อให้ฮีตเตอร์เปิดการใช้งานน้อยที่สุดและประหยัดพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

2.2 การถ่ายเทความร้อน

2.2.1 การนำความร้อน (Conduction)



รูปที่ 2.2 การถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน [1]

กระบวนการถ่ายเทความร้อนหาได้จากการคำนวณปริมาณพลังงานที่ถ่ายเทต่อหน่วยเวลา สำหรับการนำความร้อน สมการเรียกว่า Fourier's law สำหรับผนังระนาบหนึ่งมิติ สภาวะคงตัว ที่แสดงในรูปที่ 2.2 มีการกระจายอุณหภูมิ $T(x)$ สมการจะเป็น

$$q_x'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (2.1)$$

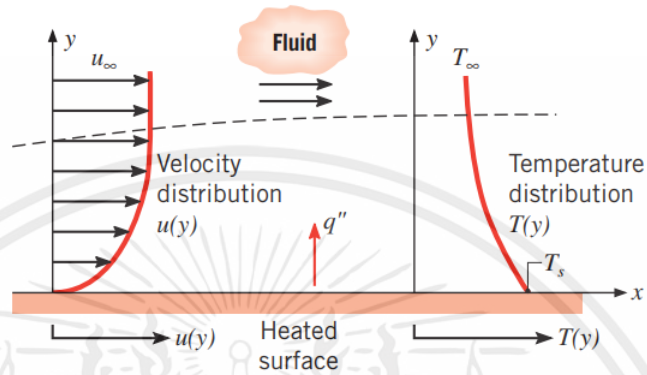
k = Thermal Conductivity (W/m.K) คือ คุณสมบัติในการนำความร้อน

q'' = heat flux (W/m²) คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่

q = heat rate (W) คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน

2.2.2 การพาความร้อน (Convection)

ประกอบด้วยสองกลไก นอกจากการถ่ายโอนพลังงานเนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลแบบสุ่ม (การแพร่กระจาย) พลังงานยังถูกถ่ายโอนโดยการเคลื่อนที่ของของไหลจำนวนมากหรือจำนวนน้อย



รูปที่ 2.3 การถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน [1]

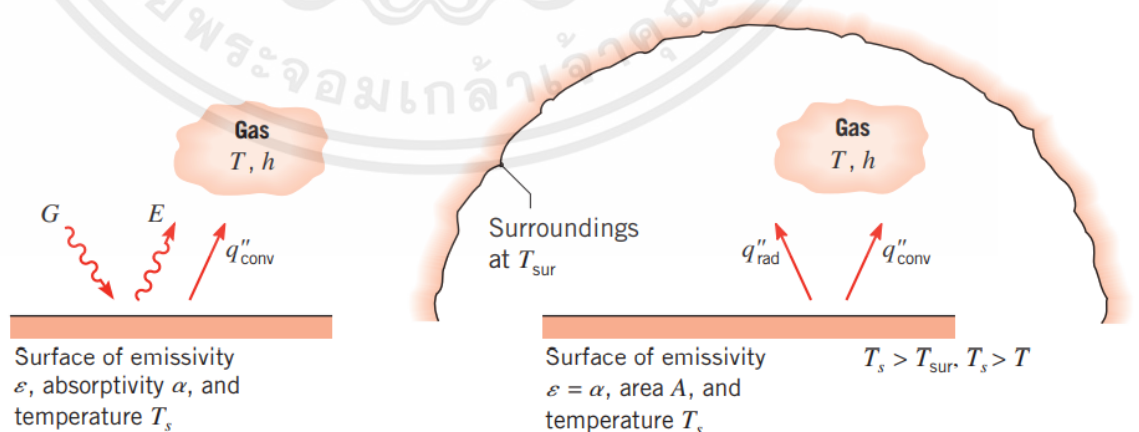
สมการการพาความร้อน หรือ Newton's law of cooling

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

h = convection heat transfer coefficient ($W/m^2.K$)

2.2.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

เป็นพลังงานที่ปล่อยออกมาจากสสารที่อุณหภูมิไม่เป็นศูนย์ การแผ่รังสีไม่เพียงแต่เกิดขึ้นจากของแข็ง แต่การก็อาจเกิดขึ้นจากของเหลวและก๊าซได้เช่นกัน



รูปที่ 2.4 การถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสี [1]

สมการการแผ่รังสีความร้อน

$$q''_{\text{rad}} = \frac{q}{A} = \varepsilon E_b(T_s) - \alpha G = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{\text{sur}}^4) \quad (2.3)$$

h_r = radiation heat transfer coefficient ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$)

$$h_r \equiv \varepsilon \sigma (T_s + T_{\text{sur}})(T_s^2 + T_{\text{sur}}^2) \quad (2.4)$$

ε = emissivity coefficient

σ = $5.6704 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ Stefan-Boltzmann constant

2.3 ฉนวนความร้อน (Thermal Resistance)

คือ ค่าที่บอกความสามารถของวัสดุในการยับยั้งการไหล หรือถ่ายเทความร้อนโดยขึ้นอยู่กับความหนา และค่า k ของวัสดุนั้นๆด้วย มีหน่วยเป็น $\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$ ยิ่งมาก ยิ่งดี

2.3.1 Thermal resistance for conduction

$$R_{t,\text{cond}} \equiv \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{kA} \quad (2.5)$$

2.3.2 Thermal resistance for convection

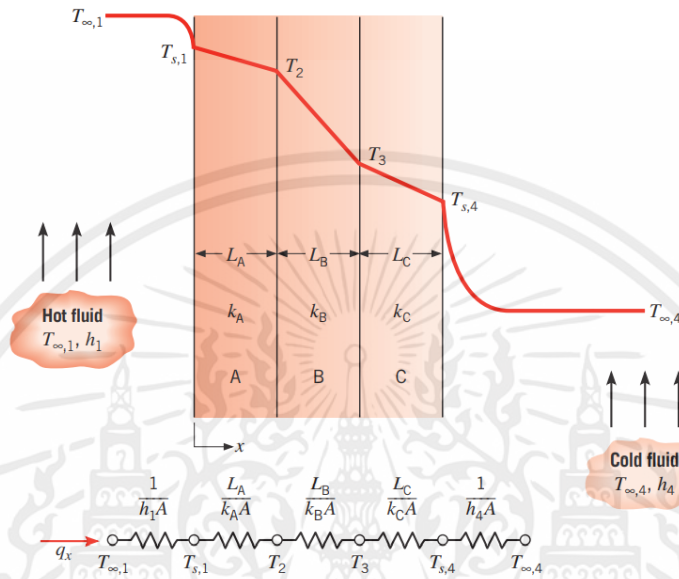
$$R_{t,\text{conv}} \equiv \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA} \quad (2.6)$$

2.3.3 Thermal resistance for radiation

$$R_{t,\text{rad}} = \frac{T_s - T_{\text{sur}}}{q_{\text{rad}}} = \frac{1}{h_r A} \quad (2.7)$$

2.4 การถ่ายเทความร้อนแบบผนังหลายชั้น

ระบบที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น ผนังหลายชั้น ผนังดังกล่าวอาจเป็นความต้านทานความร้อนอนุกรม และความต้านทานความร้อนแบบขนาน จะมีจำนวนเท่าใดขึ้นอยู่กับชั้นของวัสดุที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.5 การถ่ายเทความร้อนแบบผนังหลายชั้น [1]

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{[(1/h_1A) + (L_A/k_{AA}) + (L_B/k_{BA}) + (L_C/k_{CA}) + (1/h_4A)]} = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{\text{tot}}} \quad (2.8)$$

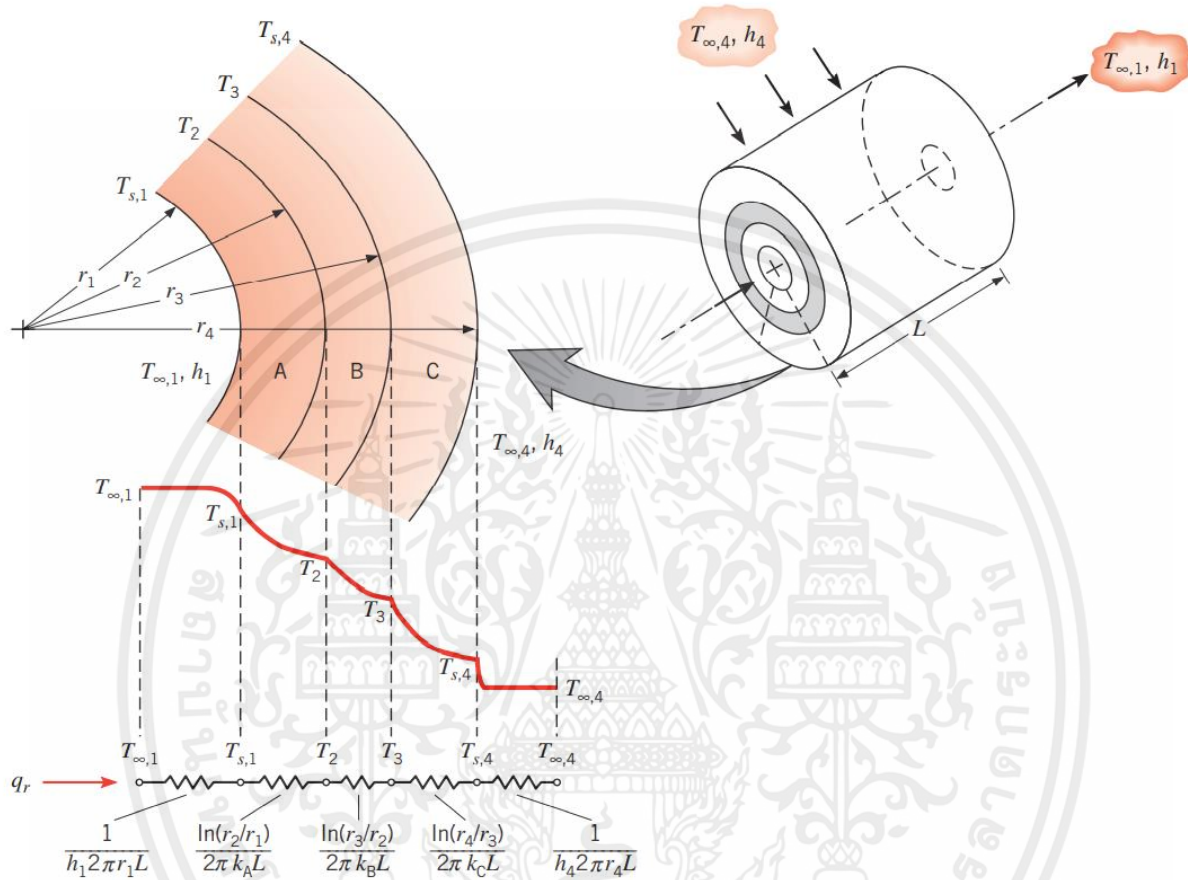
ด้วยระบบคอมโพสิต ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม U จะทำให้สะดวกในการวิเคราะห์มากกว่า ซึ่งวิธีนี้คล้ายกับ Newton's law of cooling

$$q_x \equiv UA \Delta T \quad (2.9)$$

$$U = \frac{1}{R_{\text{tot}}A} = \frac{1}{[(1/h_1) + (L_A/k_A) + (L_B/k_B) + (L_C/k_C) + (1/h_4)]} \quad (2.10)$$

2.5 การถ่ายเทความร้อนแบบทรงกระบอก (Radial System Cylinder)

ตัวอย่างโดยทั่วไป คือ ทรงกระบอกกลวงที่พื้นผิวด้านในและด้านนอกสัมผัสกับของไหลที่อุณหภูมิต่างกัน



รูปที่ 2.6 การถ่ายเทความร้อนแบบทรงกระบอกผนังหลายชั้น [1]

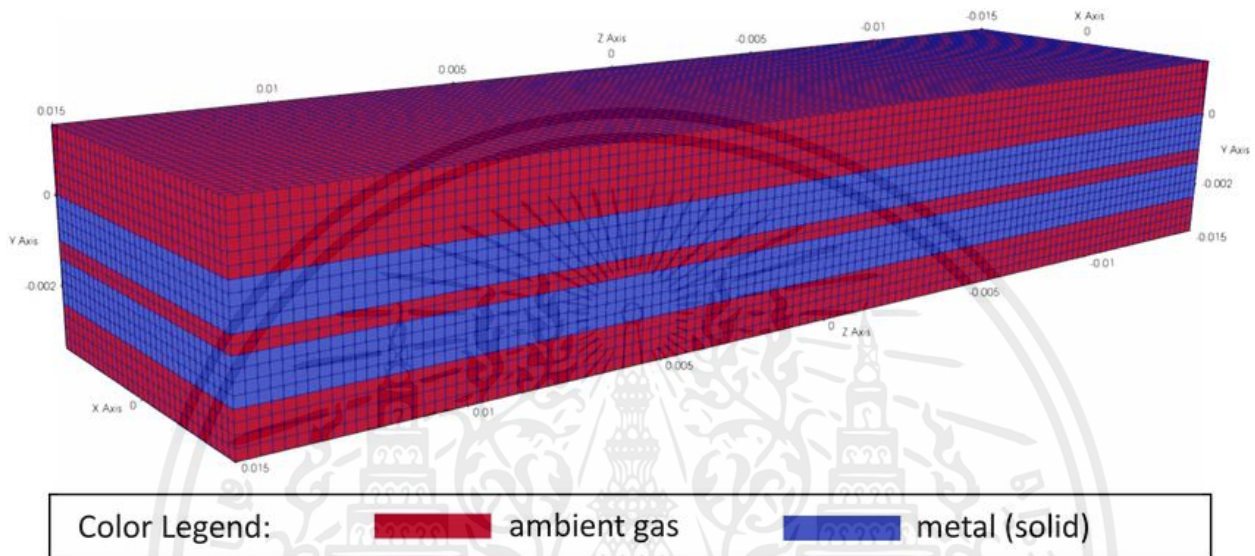
ความต้านทานทางความร้อน จะได้ว่า

$$R_{r,cond} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk} \quad (2.11)$$

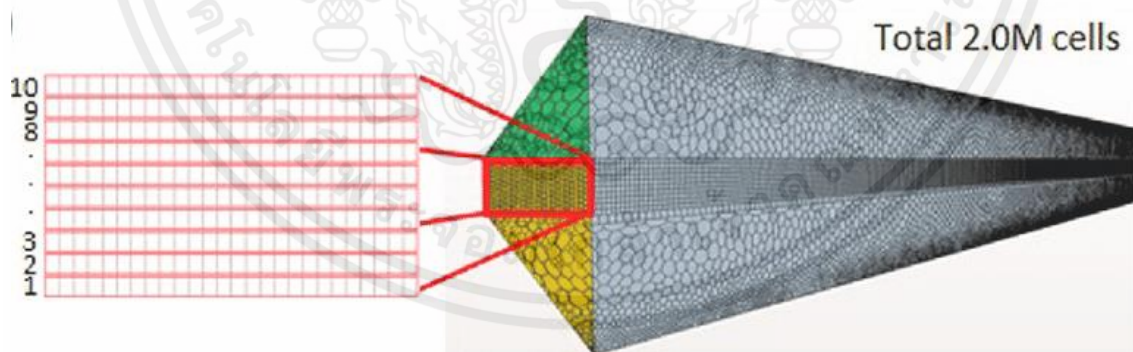
ในส่วนของการพาความร้อนและแผ่รังสีให้ใช้สมการความต้านทานความร้อนแบบปกติ

2.6 Computational Fluid Dynamics

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ คือ การใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ปัญหาทางพลศาสตร์ของไหล วิธีการส่วนใหญ่ที่ใช้ คือ การแบ่งช่วงของโดเมนปริภูมิ (Spatial Domain) ให้เป็นเซลล์เล็กๆ เพื่อก่อให้เกิดโครงตาข่ายเชิงปริมาตร (Volume Mesh) [3]



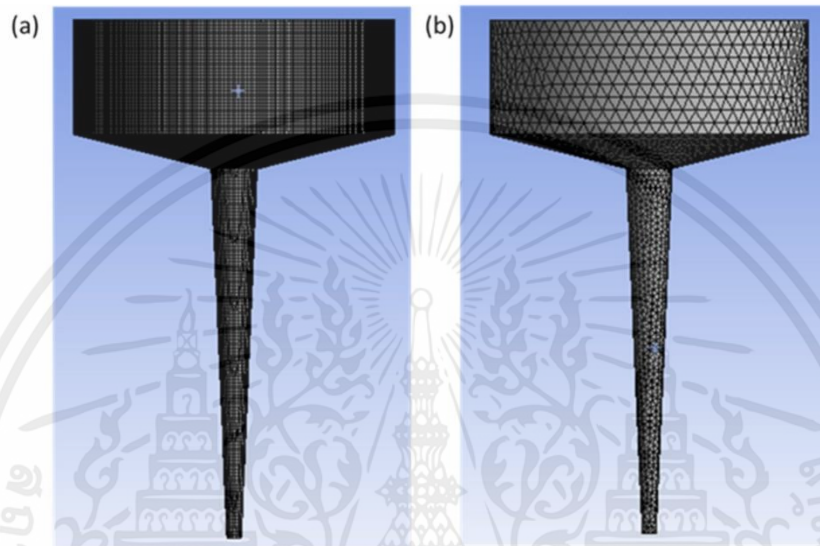
รูปที่ 2.7 โดเมนปริภูมิ (Spatial Domain) [4]



รูปที่ 2.8 โครงตาข่ายเชิงปริมาตร (Volume Mesh) [5]

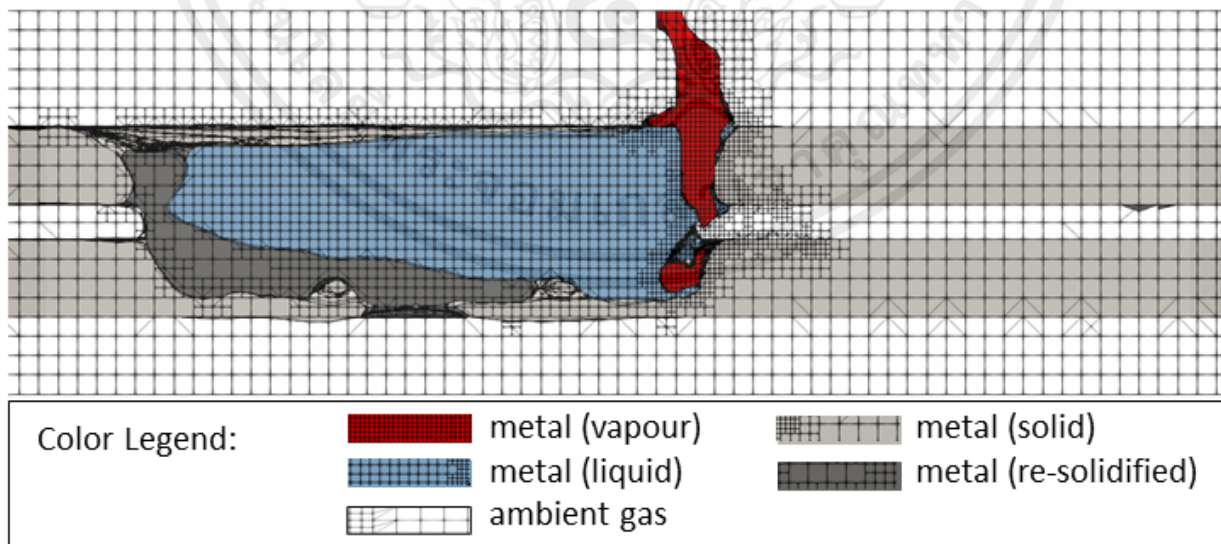
แล้วจากนั้นจึงใช้อัลกอริทึม (Algorithm) ในการแก้สมการของการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นสมการออยเลอร์ สำหรับการไหลแบบไม่หนืด

และสมการนาเวียร์-สโตกส์ สำหรับการไหลแบบหนืด โครงตาข่ายอาจจะมีลักษณะรูปทรงแบบโครงสร้างที่ไม่แน่นอน (Unstructured Mesh) เช่น มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมใน 2 มิติ หรือ ทรงปิรามิดใน 3 มิติหรืออาจจะมีรูปทรงแบบมีโครงสร้างแน่นอน (Structured Mesh)



รูปที่ 2.9 a) Structured Mesh b) Unstructured Mesh [6]

ถ้าเป็นกรณีที่มี Dynamic สูงและมีสเกลขนาดใหญ่ โครงตาข่ายอาจจะถูกตัดแปลงให้มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับเวลา เรียกว่า Adaptive Mesh Refinement Methods



รูปที่ 2.10 Adaptive Mesh Refinement [4]

บทที่ 3

ซอฟต์แวร์และวิธีการวิเคราะห์ผล

3.1 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลและหน้าที่ของซอฟต์แวร์

3.1.1 SolidWorks 2020 ทำหน้าที่ วิเคราะห์ค่าปริมาณการสูญเสียทางความร้อนด้วยวิธีการ computational fluid dynamics



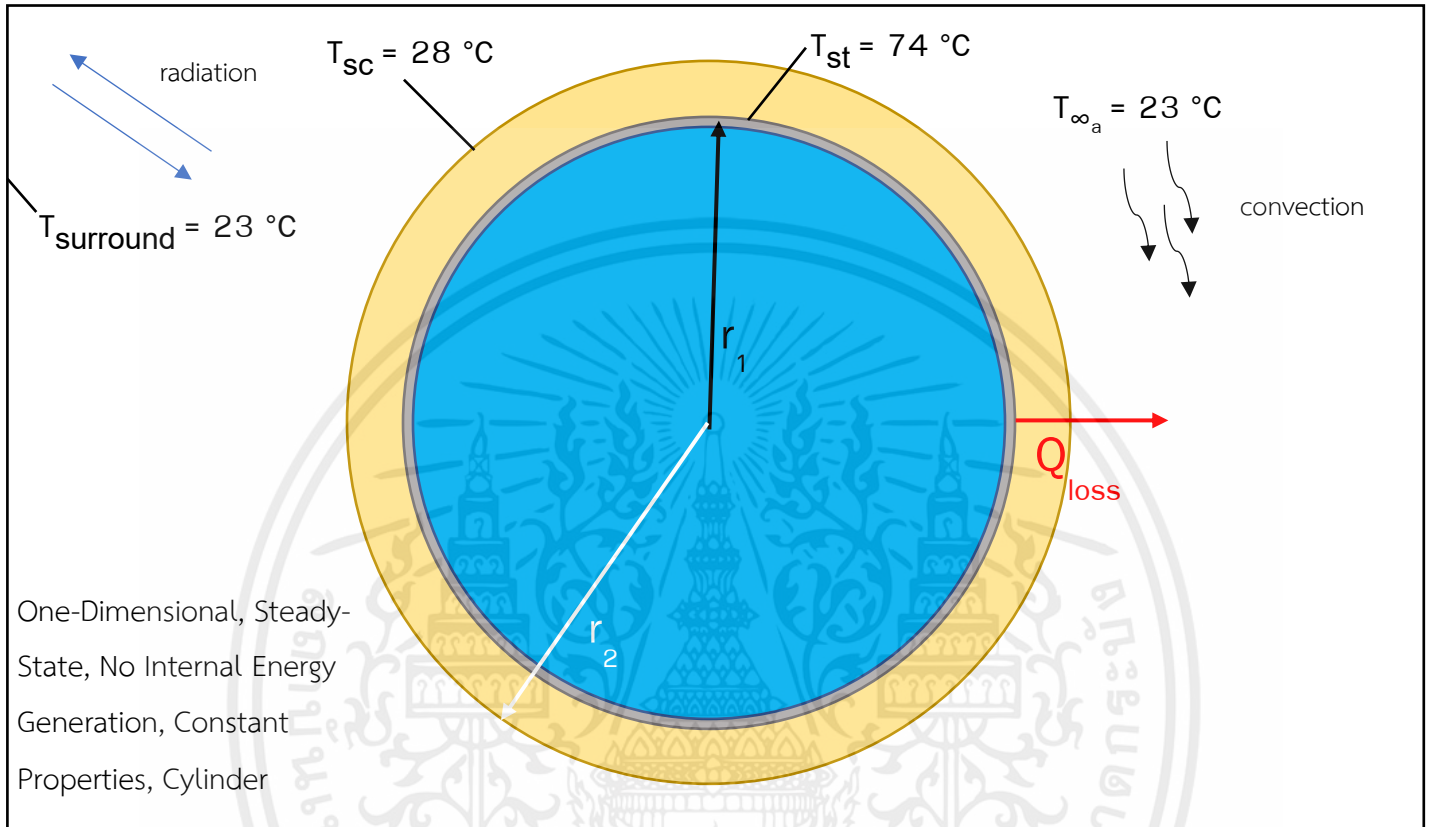
รูปที่ 3.1 โปรแกรม SolidWorks 2020

รูปที่ 3.2 SolidWorks Flow Simulation

3.2 วิธีการวิเคราะห์

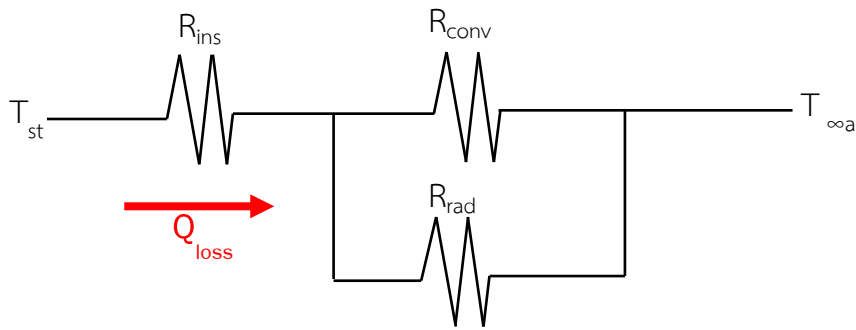
3.2.1 Analytical Method

ใช้วิธีการคำนวณตามทฤษฎีในการหาค่าปริมาณการสูญเสียทางความร้อน



รูปที่ 3.3 diagram และทิศทางการถ่ายเทความร้อนสำหรับการวิเคราะห์

- โดยที่ T_{surround} คือ อุณหภูมิที่ผิวของผนังห้อง
 T_{sc} : Case Surface คือ อุณหภูมิที่ผิวของ Case
 T_{st} : Tank Surface คือ อุณหภูมิที่ผิวของถัง
 $T_{\infty a}$ คือ อุณหภูมิของอากาศภายในห้อง
 Q_{loss} คือ ค่าสูญเสียทางความร้อนที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.4 Thermal Circuit การถ่ายเทความร้อนของผิวถังเครื่องทำน้ำอุ่นสู่อากาศ

ในวิธีนี้จะทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนแบบทรงกระบอกโดยกำหนดให้เป็นเป็น 1 มิติ
 สภาวะคงที่ คุณสมบัติคงที่ (ค่าการนำความร้อนของฉนวนคงที่) ไม่มีตัวกำเนิดพลังงานจากภายใน
 เนื่องจากเป็นการหาการสูญเสียความร้อนในขณะที่ตัวทำความร้อนได้ปิดการทำงานแล้ว จึงเหลือเพียง
 การถ่ายเทความร้อนของผิวถังออกสู่อากาศบริเวณรอบเครื่องทำน้ำอุ่น

convection heat transfer coefficient

Process	h ($W/m^2 \cdot K$)
Free convection	
Gases	2–25
Liquids	50–1000
Forced convection	
Gases	25–250
Liquids	100–20,000
Convection with phase change	
Boiling or condensation	2500–100,000

ตารางที่ 3.1 convection heat transfer coefficient

จาก Thermal Circuit จะได้สมการ

$$Q = \frac{T_{st} - T_{\infty a}}{\frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi Lk} + \left(\frac{1}{hA} + \frac{1}{h_r A}\right)^{-1}} \quad (3.1)$$

กำหนดให้ $k = 0.022 \text{ W/m.K}$ (ค่า Thermal Conductivity ของ PU Foam) [7]

$L = 0.34 \text{ m}$ (ความยาวของถัง)

$T_{st} = 74^\circ\text{C}$ (อุณหภูมิผิวถังด้านนอก)

$T_{\infty a} = 23^\circ\text{C}$ (อุณหภูมิอากาศแวดล้อม)

$r_1 = 0.125 \text{ m}$ (รัศมีถัง)

$r_2 = 0.14 \text{ m}$ (รัศมีเครื่อง)

$h = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (เป็น gas แบบ free convection สามารถดูได้จากตารางที่ 3.1) [1]

$A = 0.5008 \text{ m}^2$ (พื้นที่ผิวของ Case จาก SolidWorks)

$h_r =$ radiation heat transfer coefficient (หาได้จากสมการ 2.4)

จากสมการ 2.4

$$h_r = \sigma e (T_{sc} + T_{surround})(T_{sc}^2 + T_{surround}^2) \quad (3.2)$$

กำหนดให้ $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ J/s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^4$ (ค่า Stefan-Boltzmann constant)

$e = 0.97$ (emissivity ของ PP CaCO₃) [2]

$T_{sc} = 301 \text{ K}$ (อุณหภูมิผิว Case ด้านนอกสุด)

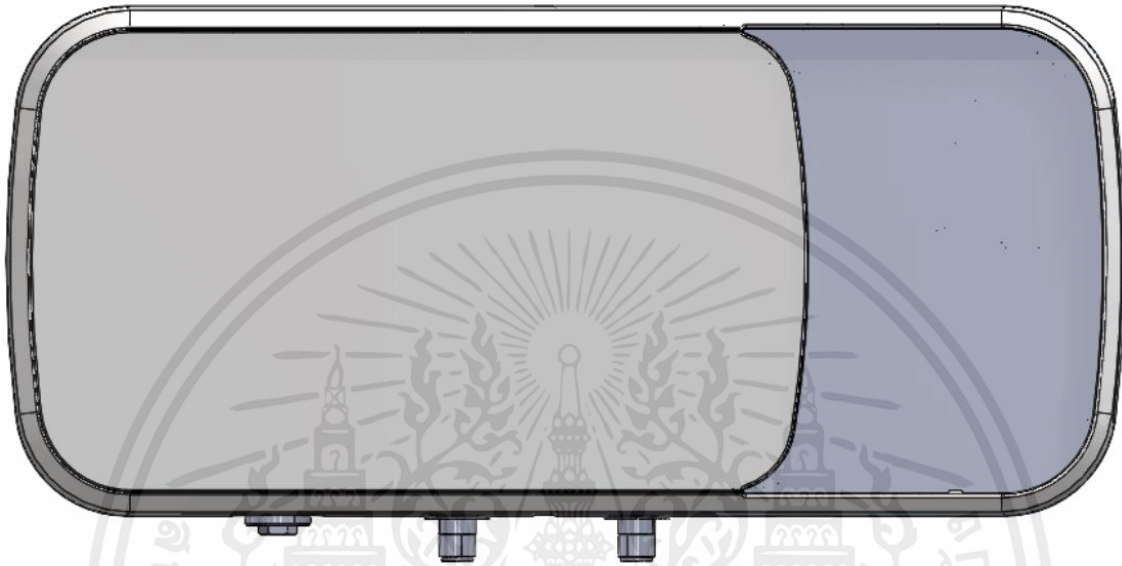
$T_{surround} = 296 \text{ K}$ (อุณหภูมิผิวสภาพแวดล้อม)

ดังนั้น จะได้ค่า h_r เท่ากับ $6.326 \text{ W/m}^2\text{K}$

จากการแทนค่าลงใน สมการ 3.1 จะเกิดการสูญเสียทางความร้อน **18.169 W**

3.2.2 Numerical Method

ในวิธีนี้จะใช้การวิเคราะห์โดยวิธี Computational Fluid Dynamic ในโปรแกรม SolidWorks ซึ่งในที่นี้ จะเรียกว่า SolidWorks Flow Simulation



รูปที่ 3.5 เครื่องทำน้ำอุ่นแบบถังพักมุมมอง Front View

ในการวิเคราะห์นั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

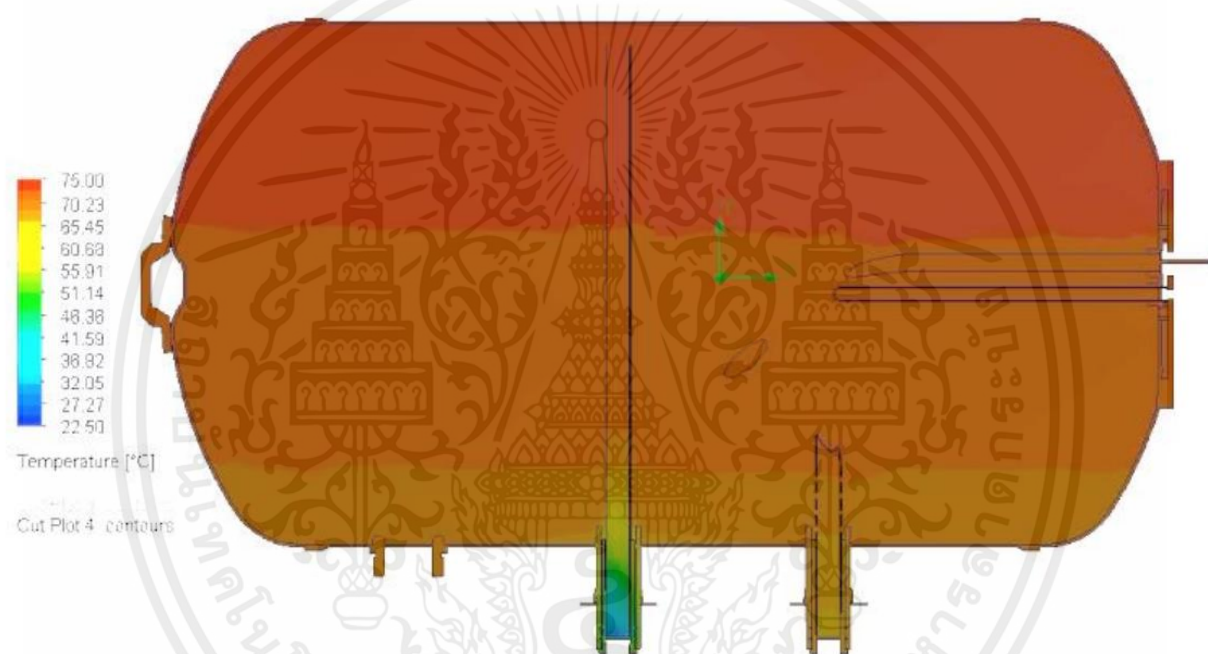
ส่วนที่ 1 คือ Transient Internal Analysis Type เป็นการจำลองแบบมีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง เป็นการวิเคราะห์เพียงน้ำและอุปกรณ์ที่อยู่ภายในถัง และถัง ไม่มีอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อดูว่าน้ำในถังจะมีการกระจายอุณหภูมิอย่างไร ใช้เวลาเท่าใดจึงจะถึงอุณหภูมิที่ต้องการ เวลาใกล้เคียงกับการทดลองจริงหรือไม่ และที่ผิวถังด้านนอกมีอุณหภูมิเท่าใดเมื่อตัวทำความร้อนหยุดการทำงาน (เทอร์โมสแตทถึงค่าที่ตั้งไว้ ในที่นี้คือ 74°C) แล้วจึงนำค่าอุณหภูมิผิวถังด้านนอกที่ได้จากวิธี CFD เปรียบเทียบกับอุณหภูมิผิวถังด้านนอกที่ได้จากการทดลองจริง เพื่อดูความน่าเชื่อถือของวิธีนี้ จากนั้นนำค่าอุณหภูมิของน้ำภายในถังไปใช้ต่อในส่วนถัดไป

ส่วนที่ 2 คือ Steady-State External Analysis Type เป็นการจำลองแบบสภาวะคงที่ ไม่มีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง เป็นการวิเคราะห์แบบอุปกรณ์ครบทั้งภายในและภายนอกถัง มีอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง และมีการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสี นำค่าอุณหภูมิของน้ำที่ได้จากส่วนที่ 1 ที่ได้แบ่งเป็น 3 ระดับ(จากการทดลองจริง อุณหภูมิของน้ำในระดับต่างๆ ไม่เท่ากัน แต่ในระดับเดียวกันจะแตกต่างกันเล็กน้อย) มาใช้เพื่อดูว่าค่าสูญเสียทางความร้อนของผิวถังออกสู่อากาศบริเวณรอบเครื่องทำน้ำอุ่น มีค่าเท่าใด โดยอ้างอิงจากวิศวกรที่บริษัทที่เคยทำเกี่ยวกับ CFD

การคำนวณค่าสูญเสียทางความร้อนแบบ Transient ใช้เวลาสูงมากเมื่อเทียบกับแบบ Steady-State [7] จึงเลือกใช้การคำนวณแบบ Steady-state

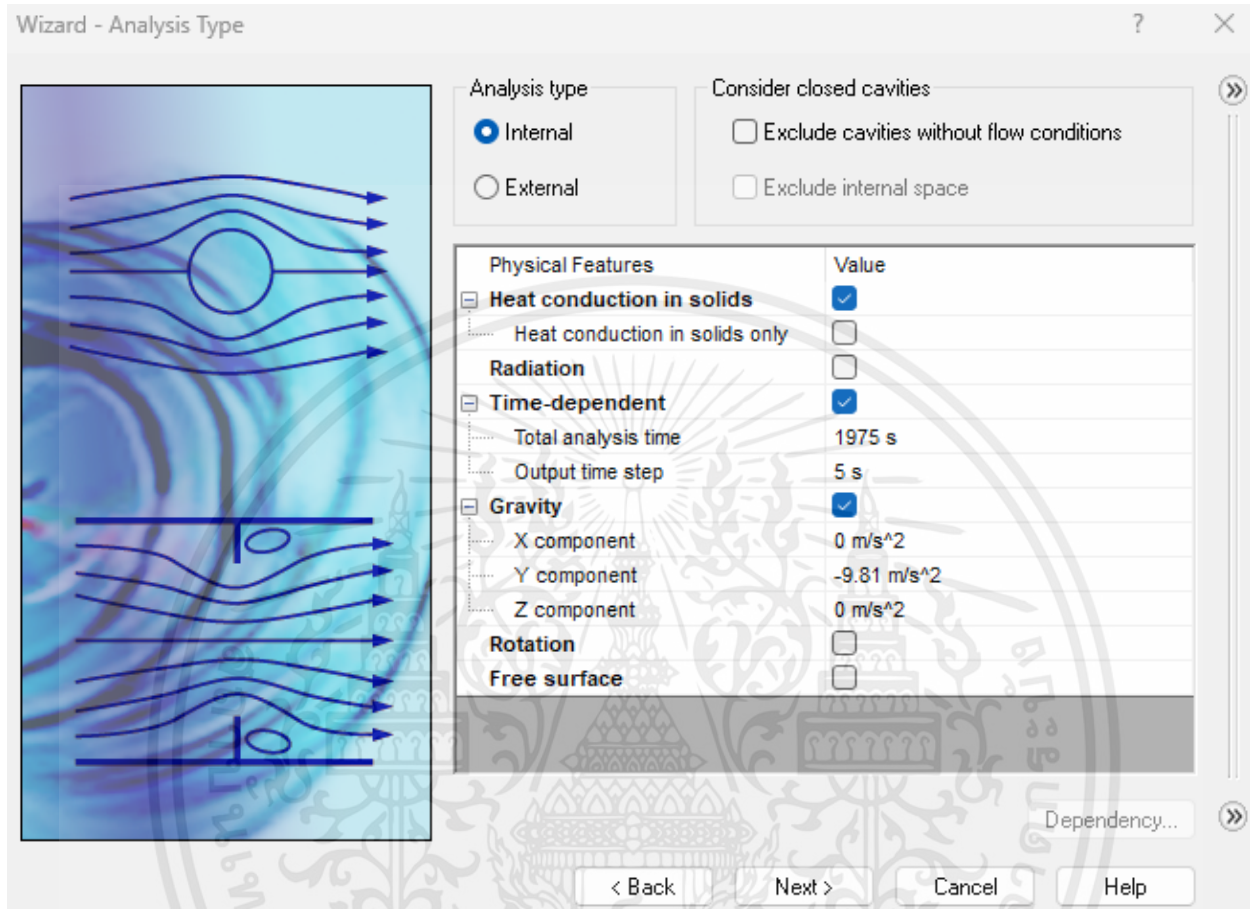
3.3.2.1 Transient Internal Analysis Type

ในขั้นตอนแรก จะทำการจำลองการอุ่นน้ำในถังเพื่อดูการแยกชั้นอุณหภูมิของน้ำในถัง (Water Temperature Stratification) เพราะในความเป็นจริงอุณหภูมิของน้ำในถังไม่เท่ากัน น้ำที่อุณหภูมิสูงกว่าจะอยู่ระดับสูงกว่าน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า จึงมีความจำเป็นที่ต้องทำขั้นตอนนี้ก่อนไปใช้ในการไปคำนวณหาการสูญเสียความร้อนในขั้นตอน Steady-State External Analysis Type ต่อไป



รูปที่ 3.6 Water Temperature Stratification

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดวิธีการวิเคราะห์

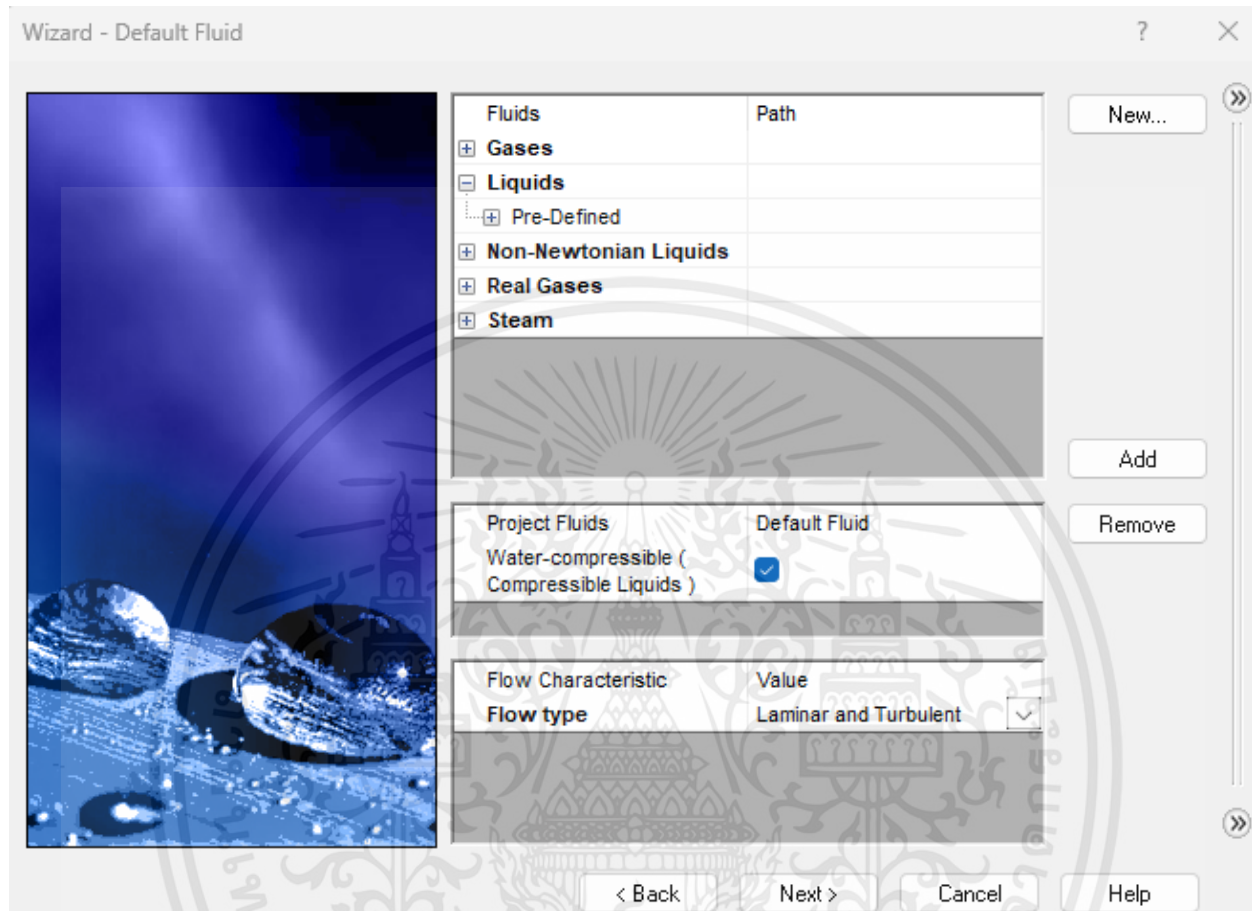


รูปที่ 3.7 กำหนด Analysis Type แบบ Internal วิเคราะห์เพียงภายในถึง

Total Analysis Time: 1975 s = 32 min 55 s โดยเวลาที่อุณหภูมิสูงสุดถึง 74°C อยู่ที่ประมาณ 30 นาที จึงเผื่อเวลาไปอีกเล็กน้อยเพื่อสังเกตพฤติกรรมขณะฮีตเตอร์หยุดการทำงาน เพราะในตามการใช้งานจริงจะกำหนดเทอร์โมสแตทไว้ที่ 74°C และใช้ Time Step = 5 s เพื่อเป็นการลดเวลาในการประมวลผล

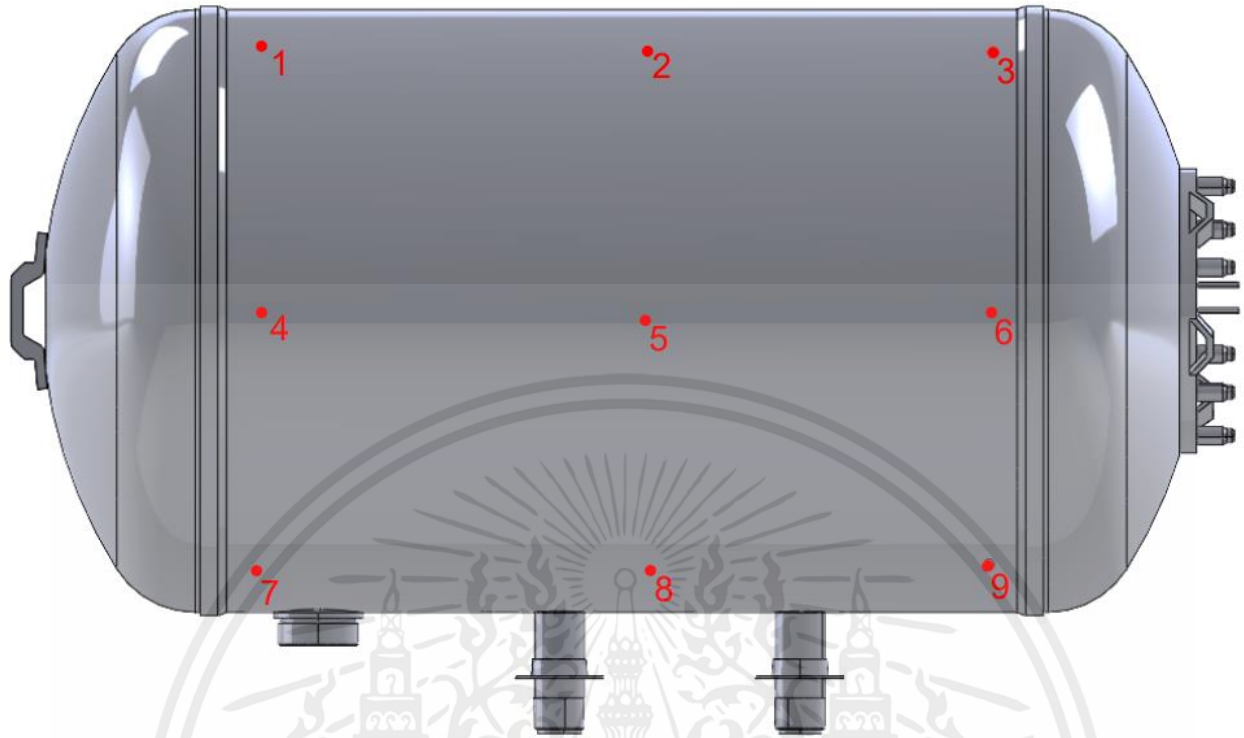
ในตอนนี้ยังไม่ใช้ Radiation เพราะจากการที่ได้ลองจำลองทั้ง 2 แบบ แบบมี Radiation ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันเล็กน้อย แต่ใช้เวลาในการประมวลผลแตกต่างกันค่อนข้างสูง เพื่อเป็นการประหยัดเวลา จึงไว้ใช้ในขั้นตอนวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนในสภาวะ Steady State เพื่อหาค่าความสูญเสียทางความร้อนที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดของไหลเริ่มต้น



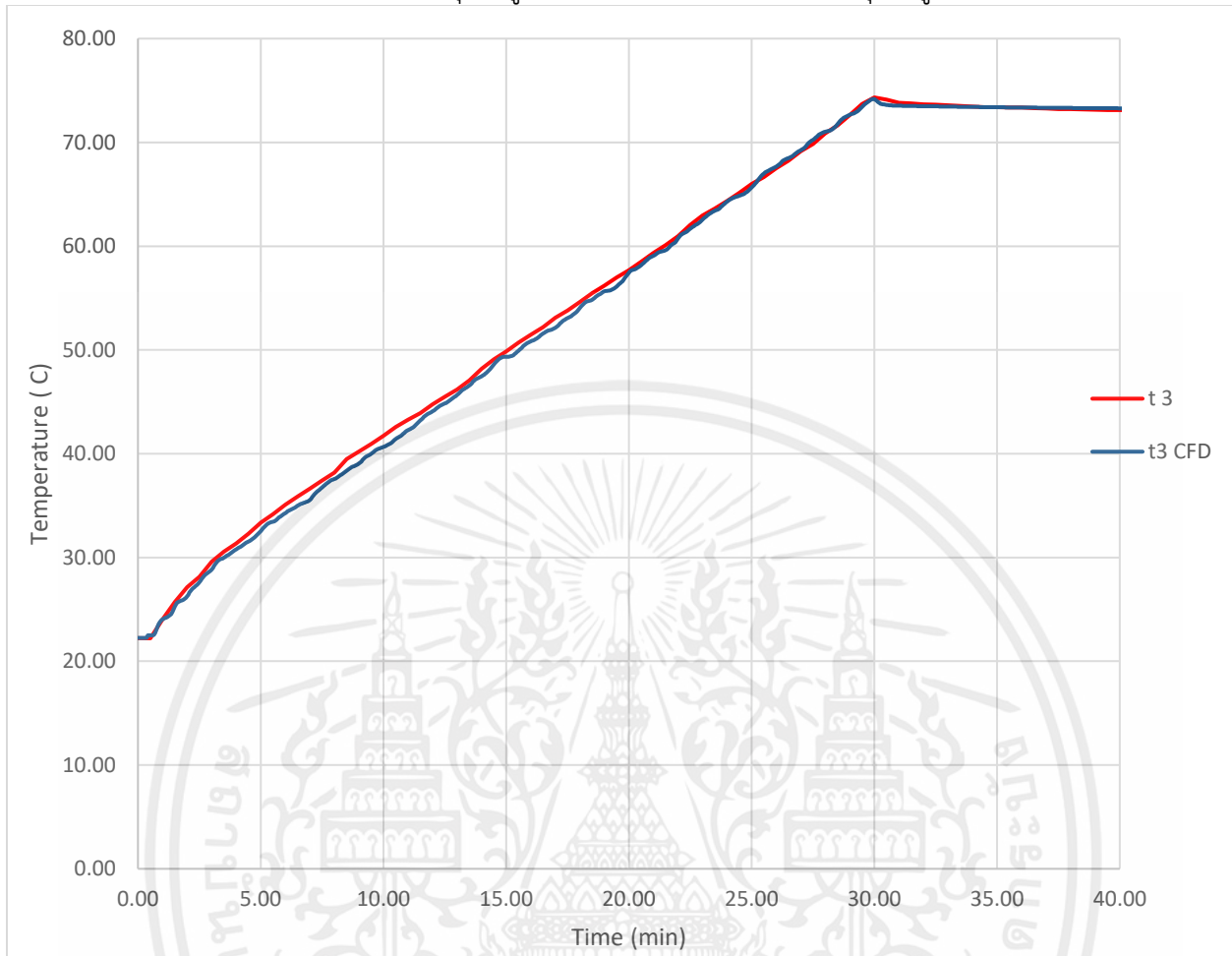
รูปที่ 3.8 กำหนด Default Fluid

ในที่นี้ ใช้ Water-Compressible ในหมวดหมู่ Compressible Liquids แทน Water ในหมวดหมู่ Liquids เพราะจากการที่ได้ลองจำลองทั้ง 2 แบบ Water-Compressible ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับการทดลองจริงที่ได้ทำที่บริษัท SNC ATLANTIC WATER HEATER ASIA CO , LTD จังหวัดระยอง โดยวัดอุณหภูมิผิวที่จุดเดียวกัน (จุดที่ 3) ดังรูปที่ 3.9



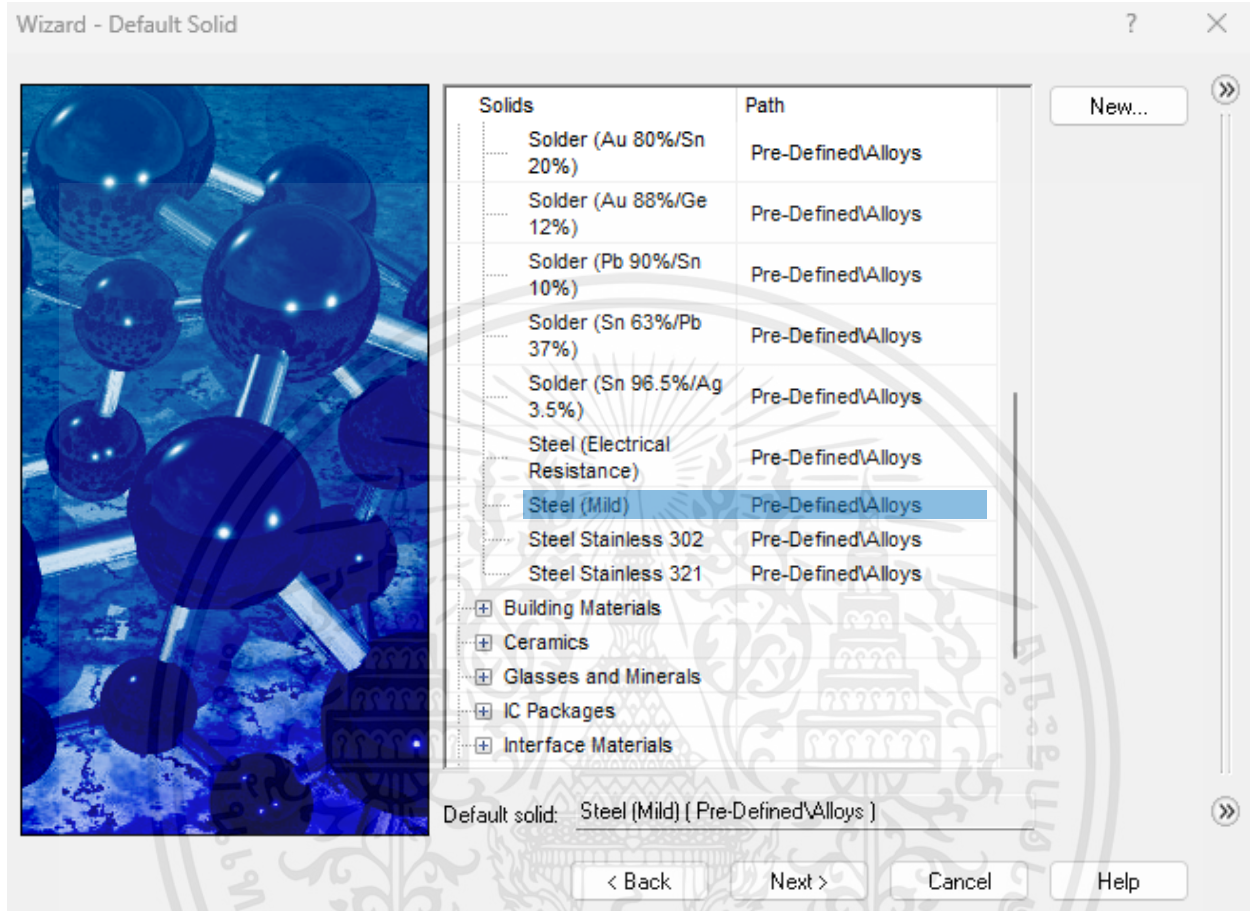
รูปที่ 3.9 การกำหนดจุดต่าง ๆ ที่ผิวถัง

กราฟเปรียบเทียบระหว่าง อุณหภูมิผิวถังจากการทดลองจริง กับ อุณหภูมิผิวถังจาก CFD



กราฟที่ 3.1 เปรียบเทียบระหว่าง อุณหภูมิจริง กับ อุณหภูมิจาก CFD

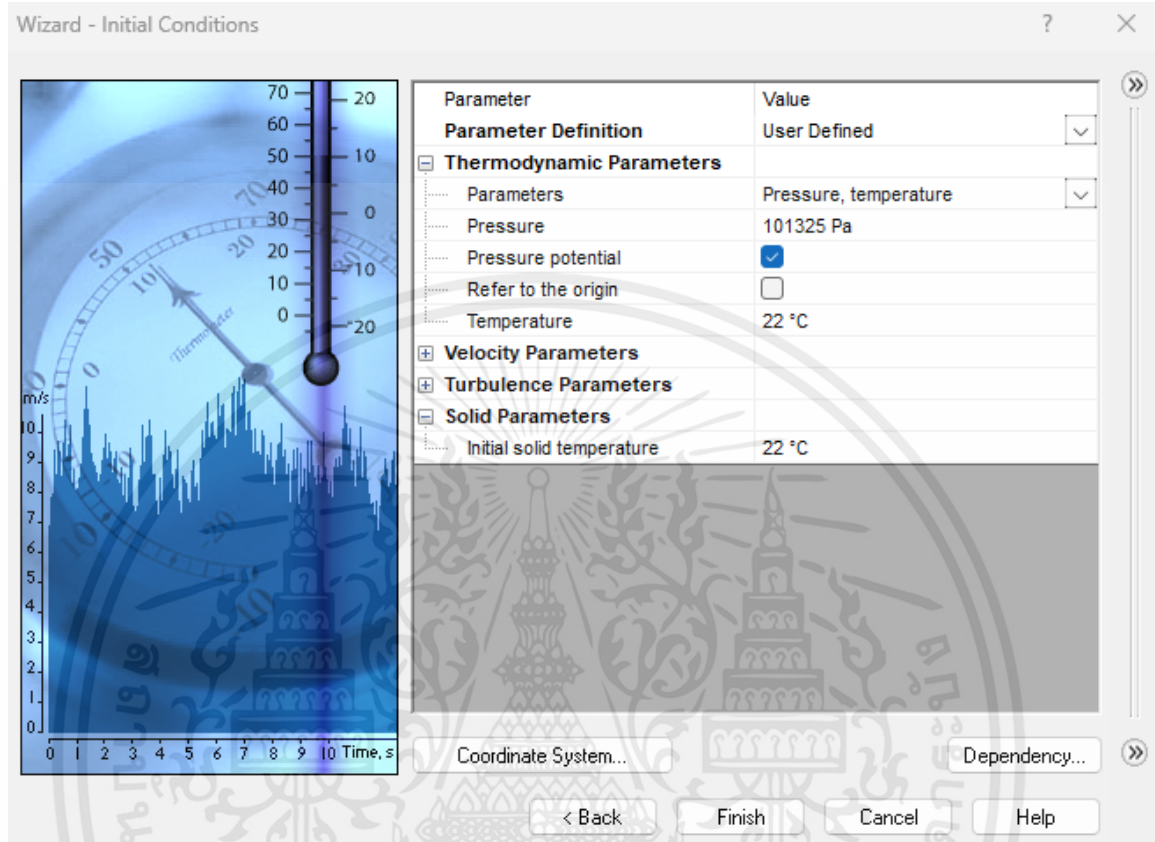
ขั้นตอนที่ 3 กำหนดของแข็งเริ่มต้น



รูปที่ 3.10 กำหนด Default Solid

ในที่นี้ใช้ Steel (Mild) เนื่องจากถึงเก็บน้ำอุ่นทำมาจาก Mild Steel และให้ถึงเก็บน้ำอุ่นเป็น Default Solid เนื่องจากเป็นของแข็งที่เป็นตัวหลัก

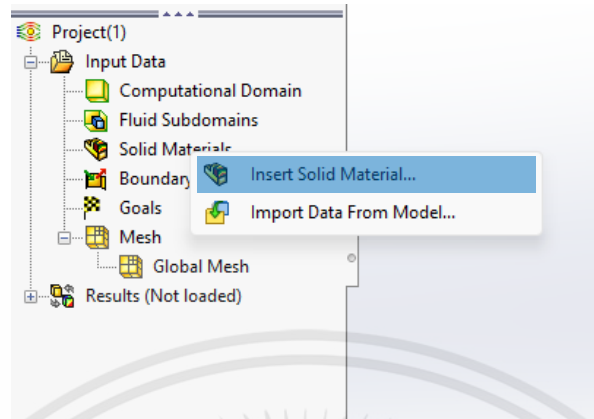
ขั้นตอนที่ 4 กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น



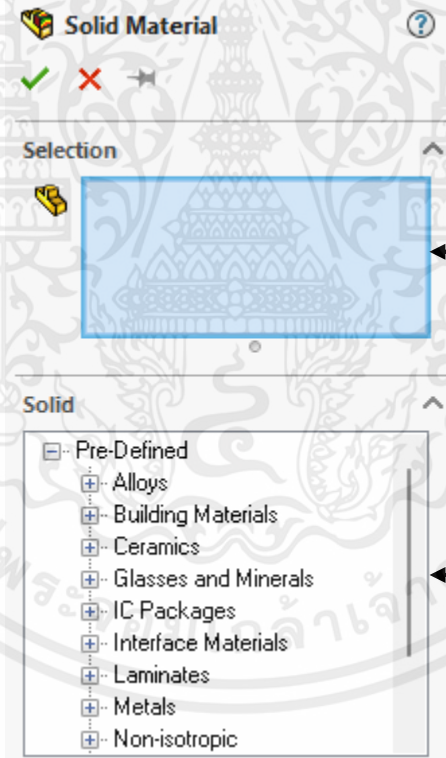
รูปที่ 3.11 กำหนด Initial Conditions

ให้อุณหภูมิของไหล (น้ำ) เริ่มต้น 22 °C เพราะอุณหภูมิน้ำจากการทดลองจริงอยู่ที่ 22 °C และถึงเริ่มต้นที่ 22 °C เช่นกันเพราะต้องเปิดน้ำให้เต็มถึงก่อนจึงทำการทดลองได้ ถึงจึงมีอุณหภูมิเท่ากับน้ำ

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดวัสดุ



รูปที่ 3.12 กำหนด Material ให้ของแข็งต่าง ๆ



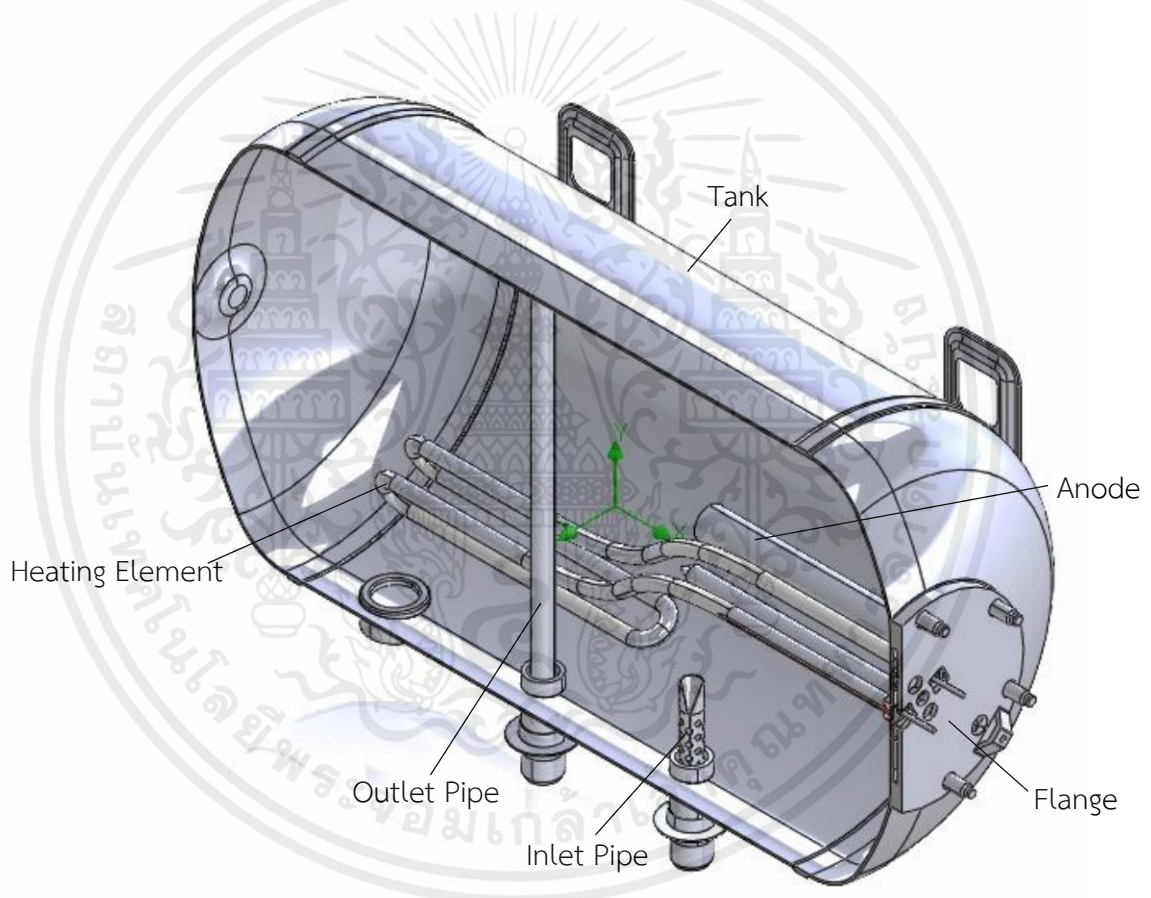
เลือกส่วนประกอบ เช่น ถัง
เก็บน้ำร้อน ท่อทางน้ำเข้า
ท่อทางน้ำออก

เลือกวัสดุ เช่น Steel (Mild)

รูปที่ 3.13 หน้าต่างการกำหนด Material

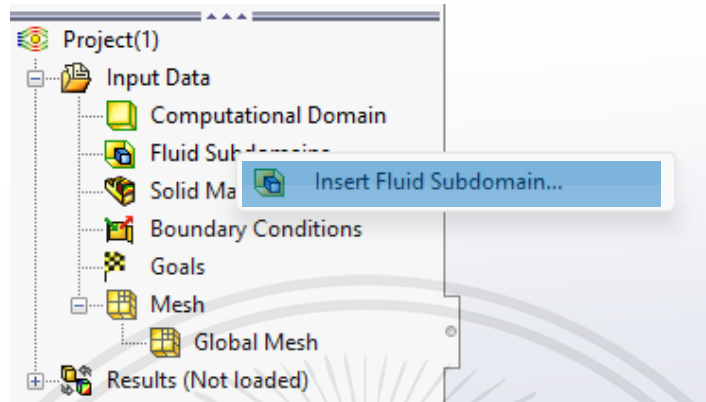
Component	Material
Tank	Mild Steel (SolidWorks database)
Flange	Mild Steel (SolidWorks database)
Heating Element	Copper (SolidWorks database)
Anode	Magnesium (SolidWorks database)
Inlet / Outlet pipes	Mild Steel (SolidWorks database)

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ และวัสดุของส่วนประกอบนั้น ๆ

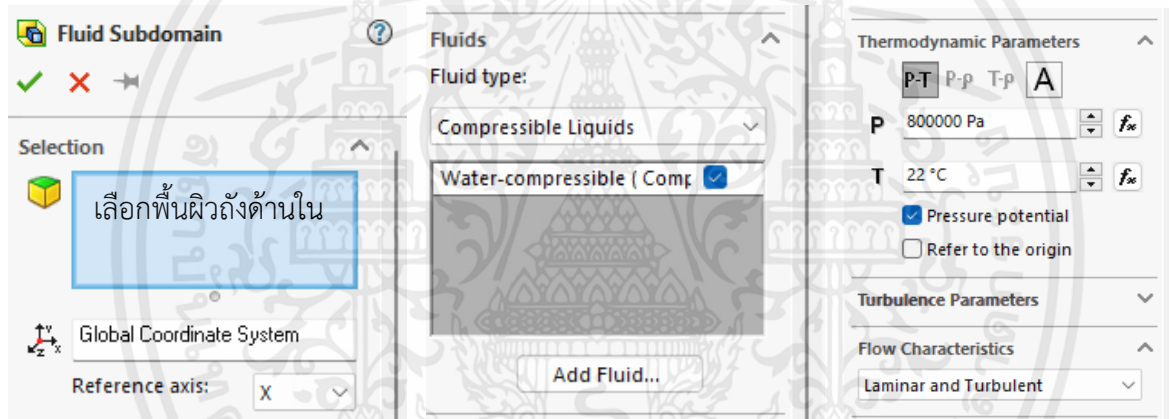


รูปที่ 3.14 ส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อกำหนดวัสดุ

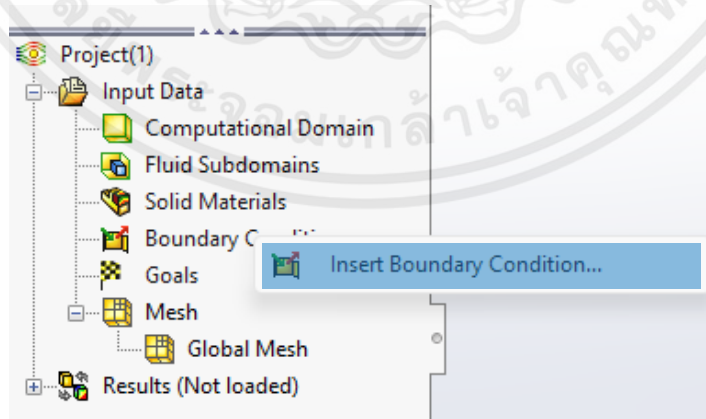
ขั้นตอนที่ 6 กำหนดของไหลในถัง



รูปที่ 3.15 กำหนดของไหลในถัง

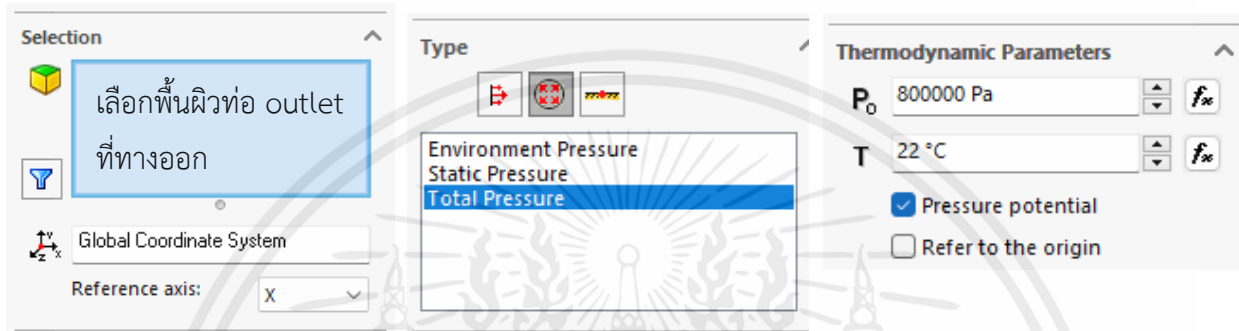


รูปที่ 3.16 หน้าต่างการกำหนดของไหล



รูปที่ 3.17 กำหนดแรงดันและอุณหภูมิที่เข้ามาจากท่อ Inlet

ในโปรแกรม SolidWorks 2020 การกำหนด Boundary Conditions คือการกำหนด แรงดันและอุณหภูมิ รวมถึงอัตราการไหลเข้าหรือออกในบางกรณี แต่ในที่นี้ไม่ได้กำหนด อัตราการไหล กำหนดเพียง แรงดันและอุณหภูมิของน้ำ เพราะเป็นการจำลองแบบที่มีน้ำเต็มถังแล้วจึงเปิดการทำงานของตัวทำความร้อน จึงถือว่าไม่มีอัตราการไหล โดยเลือกพื้นผิวท่อ outlet ที่ทางออก และกำหนดแรงดันที่ 800000 Pa หรือ 8 bar โดยอ้างอิงจากวิศวกรที่บริษัทที่เคยทำเกี่ยวกับ CFD [7]



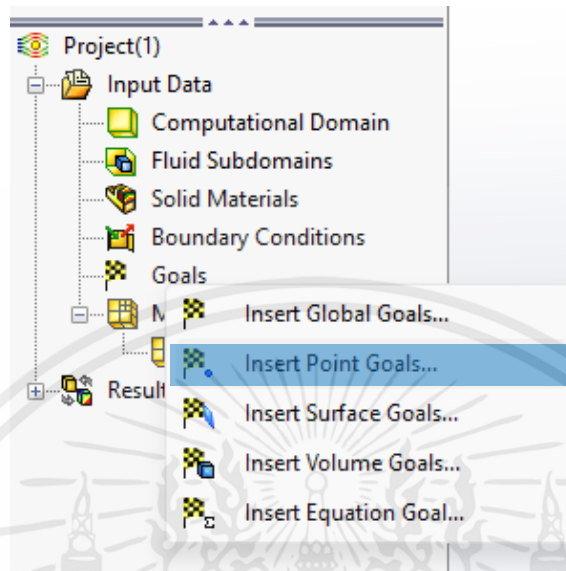
รูปที่ 3.18 หน้าต่างการกำหนดแรงดันและอุณหภูมิของท่อ Inlet

หลังจากกำหนดเสร็จแล้ว จะได้มีน้ำอยู่เต็มถัง ดังรูปที่ 3.18

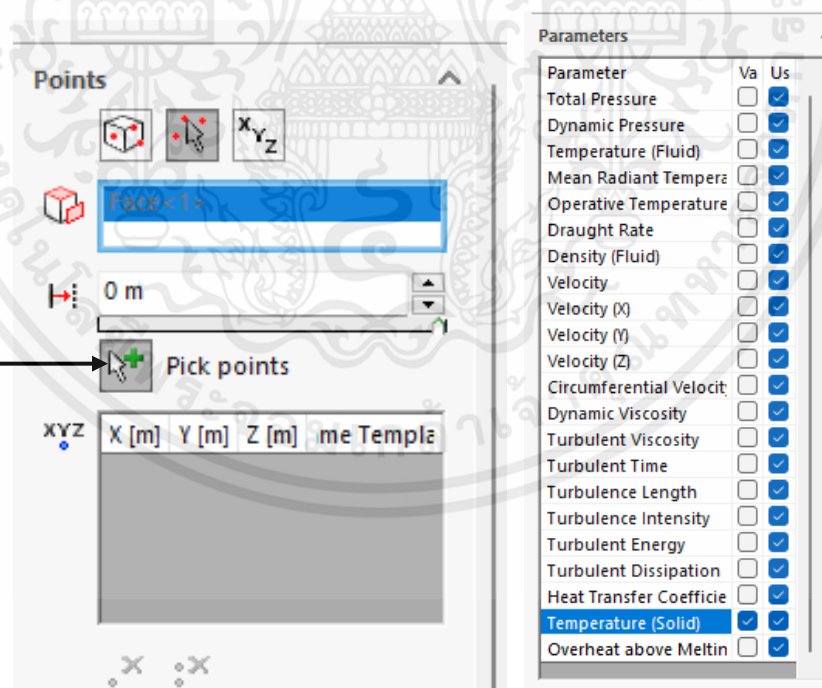


รูปที่ 3.19 มีน้ำอยู่เต็มถังก่อนฮีตเตอร์เปิดใช้งาน

ขั้นตอนที่ 7 สร้าง Point Goal เพื่อเก็บค่าอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ

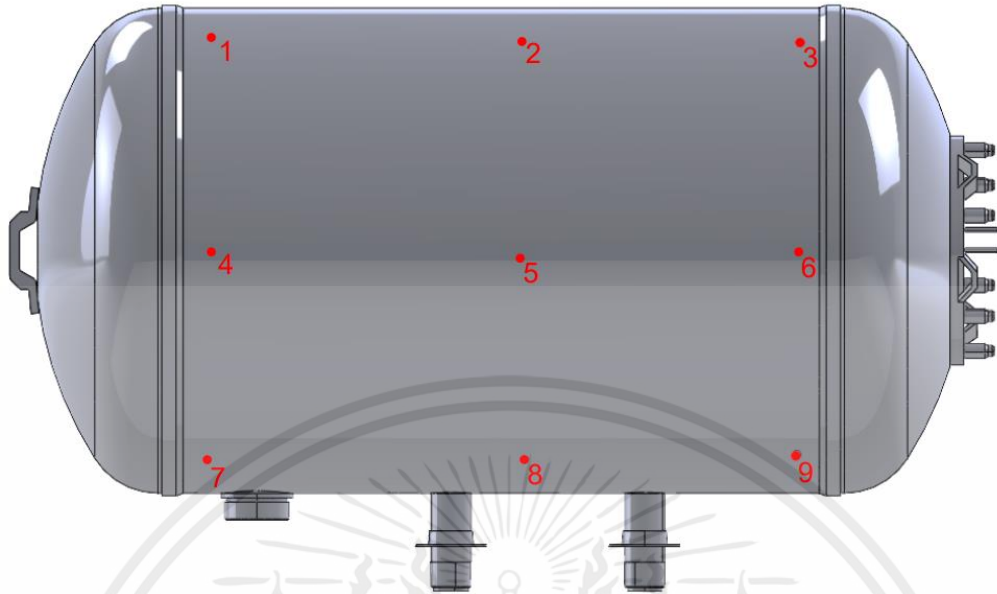


รูปที่ 3.20 สร้าง Point Goal เพื่อใช้ในการตั้งให้ฮีตเตอร์หยุดทำงานเมื่อถึงอุณหภูมิที่ต้องการ

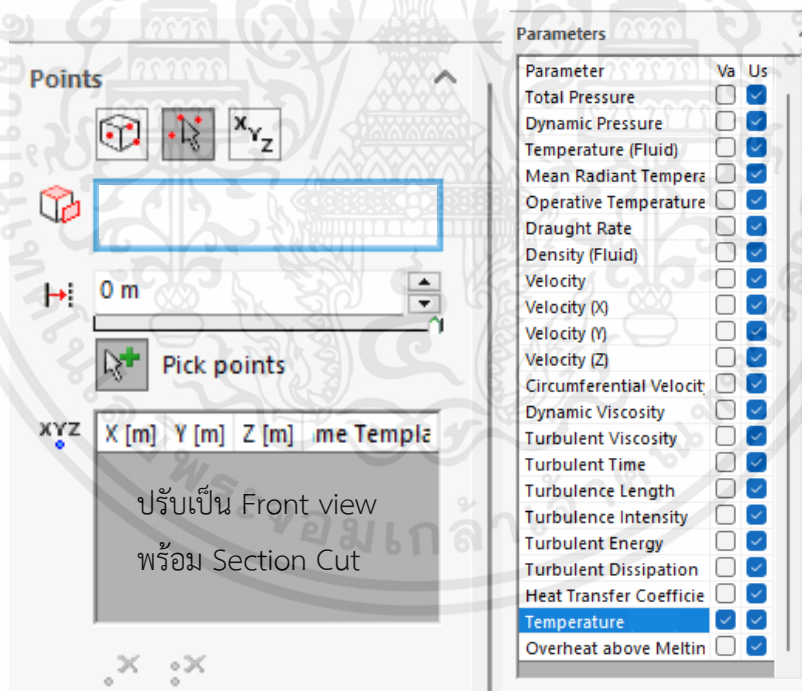


หลังจากกดปุ่มนี้ จะสามารถเลือกได้บนพื้นผิวที่เลือก โดยในที่นี้จะเลือกผิวถึง โดยจะสร้างทั้งหมด 9 จุดตามรูปที่ 3.21

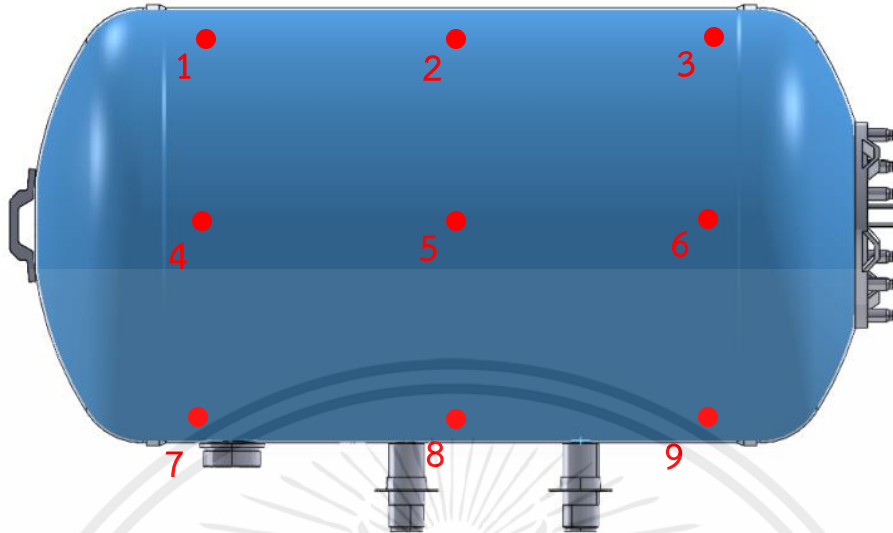
รูปที่ 3.21 หน้าต่างการสร้าง Point Goal



รูปที่ 3.22 จุดต่าง ๆ ทั้ง 9 จุดของผิวถัง

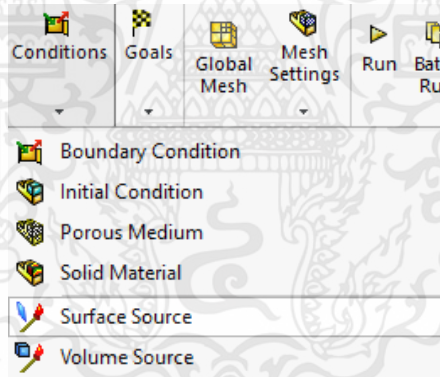


รูปที่ 3.23 หน้าต่างการสร้าง Point Goal เพื่อวัดค่าอุณหภูมิน้ำภายในถัง

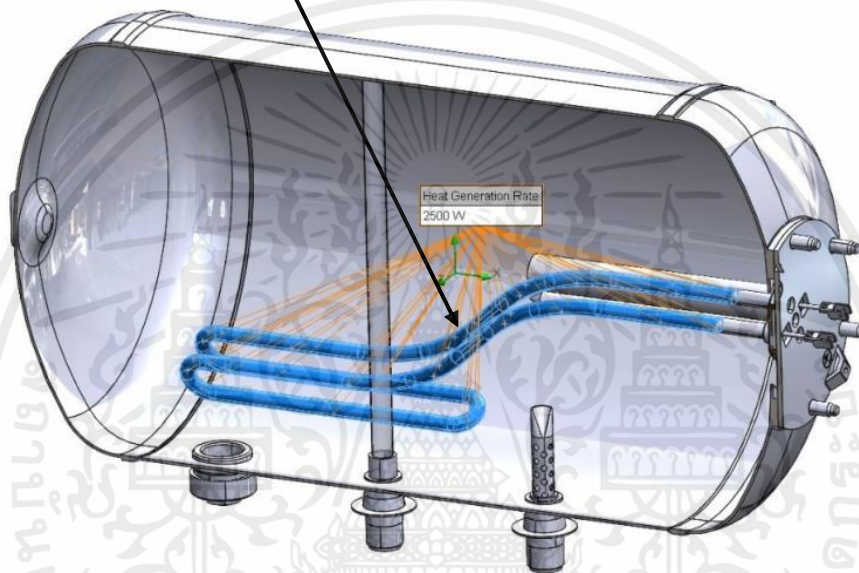
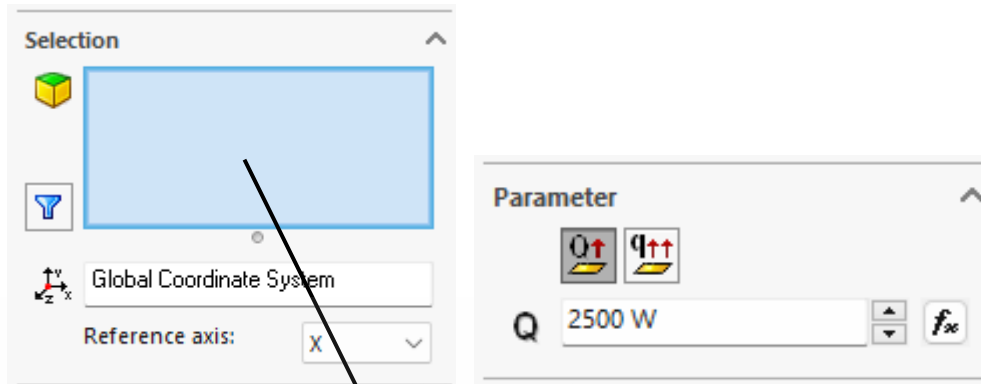


รูปที่ 3.24 จุดต่าง ๆ ทั้ง 9 จุดของน้ำภายในถัง

ขั้นตอนที่ 8 กำหนดแหล่งกำเนิดความร้อน

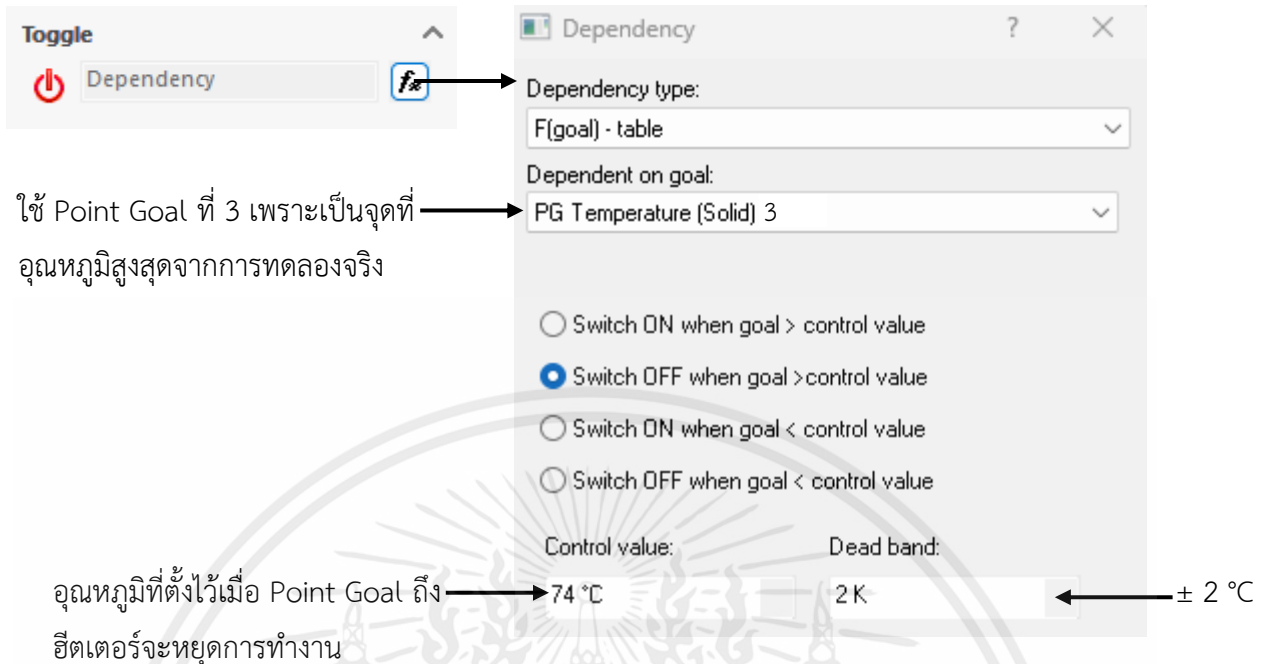


รูปที่ 3.25 กำหนดแหล่งกำเนิดความร้อน



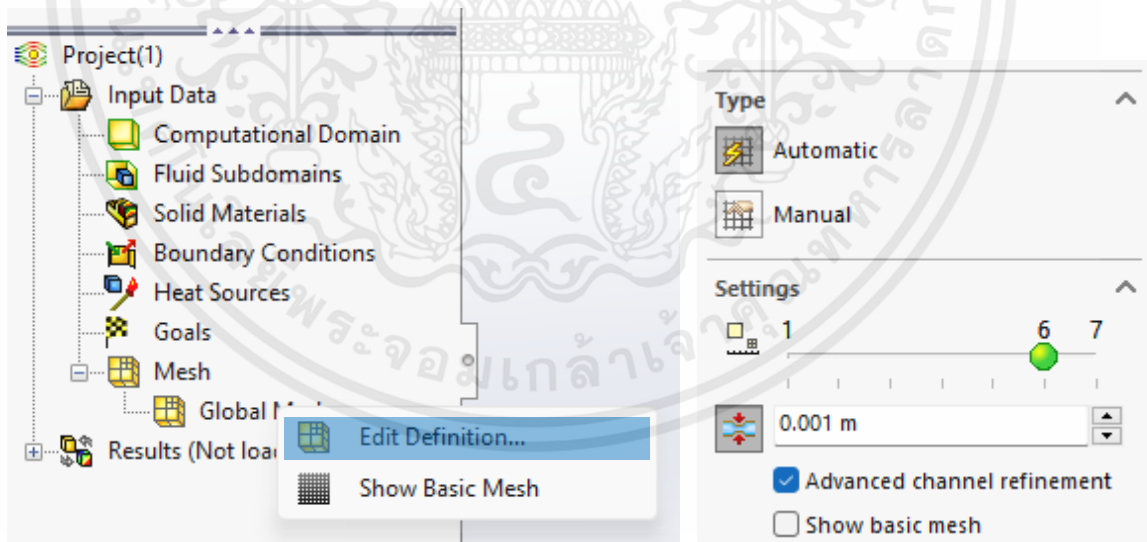
รูปที่ 3.26 กำหนดฮีตเตอร์จ่ายพลังงาน 2500 W

เนื่องจากในการทดลองจริงใช้ฮีตเตอร์ขนาด 2500 W จึงกำหนดให้แหล่งกำเนิดความร้อน อยู่ที่ 2500 W



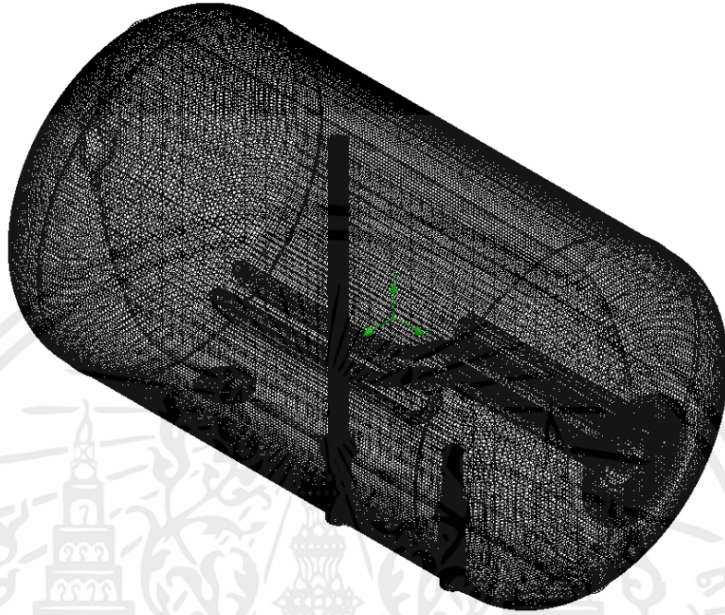
รูปที่ 3.27 กำหนดอุณหภูมิที่ทำให้ฮีตเตอร์หยุดทำงาน

ขั้นตอนที่ 9 สร้างโครงตาข่าย



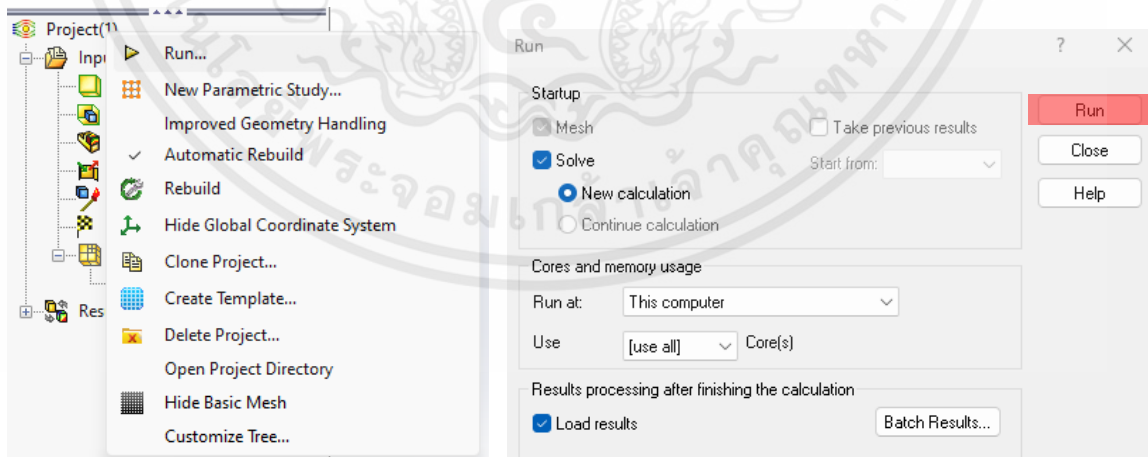
รูปที่ 3.28 หน้าต่างปรับแต่งความละเอียด Mesh

ยิ่งปรับระดับสูง ยิ่งทำให้ได้ Mesh ที่มีขนาดเล็ก ส่งผลทำให้การวิเคราะห์ได้ความที่แม่นยำมากขึ้น แต่ยิ่งใช้เวลา และทรัพยากรคอมพิวเตอร์ มากขึ้นตามด้วย



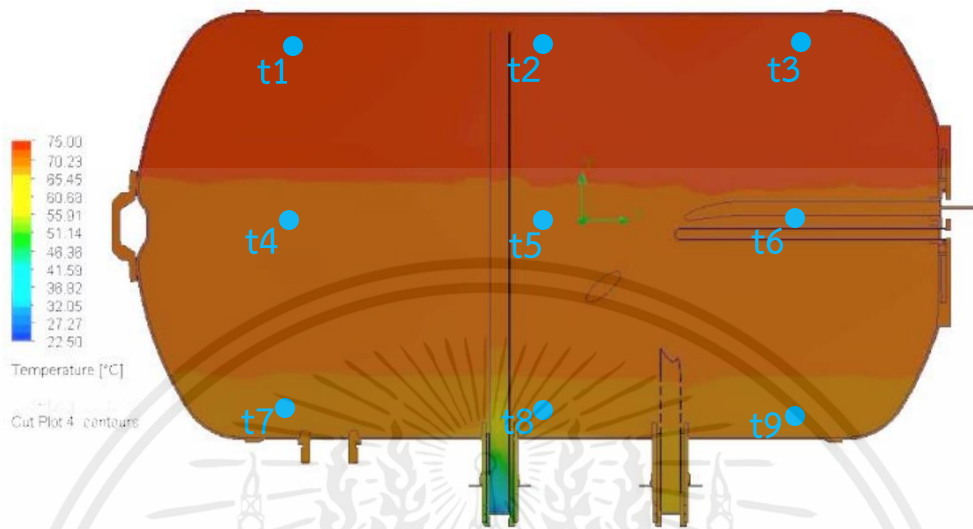
รูปที่ 3.29 Mesh ของส่วนต่างๆ

ขั้นตอนที่ 10 ดำเนินการจำลอง



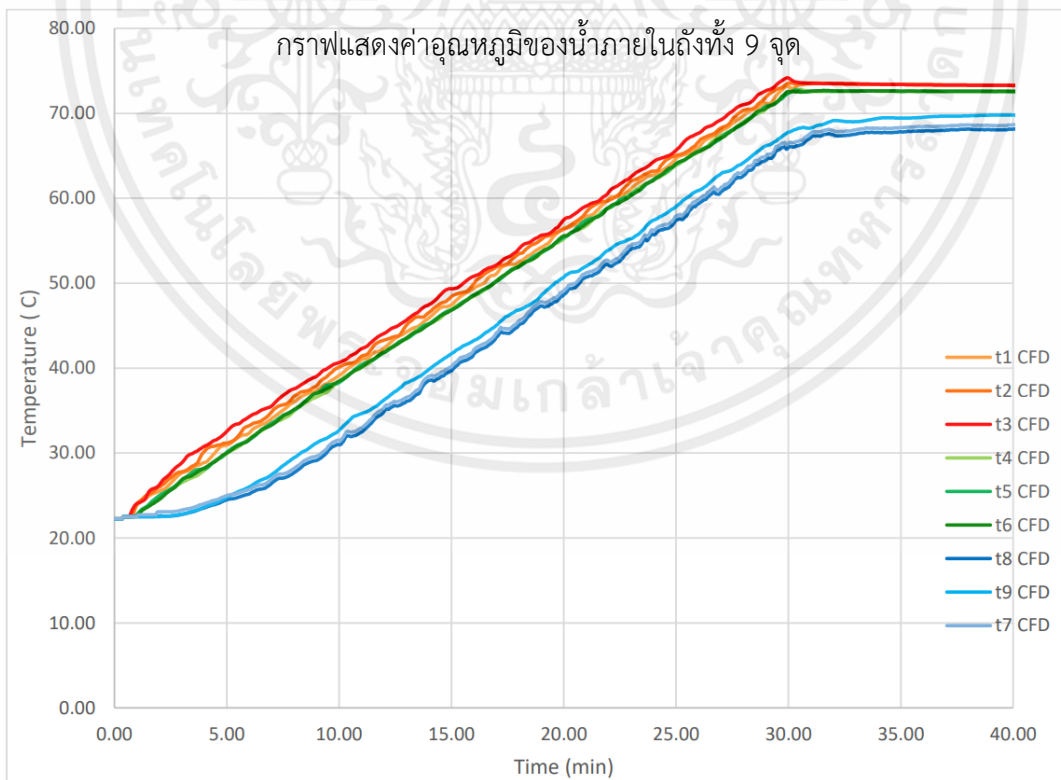
รูปที่ 3.30 ดำเนินการจำลอง

ขั้นตอนที่ 11 นำผลลัพธ์ไปใช้ต่อในขั้นต่อไป



รูปที่ 3.31 การไล่ระดับอุณหภูมิของน้ำในถังและจุดทั้ง 9 จุดของกราฟที่ 3.2

อุณหภูมิของน้ำที่ระดับต่างๆ ในขณะที่ฮีตเตอร์หยุดทำงาน (จุดที่ 3 ถึง 74°C)



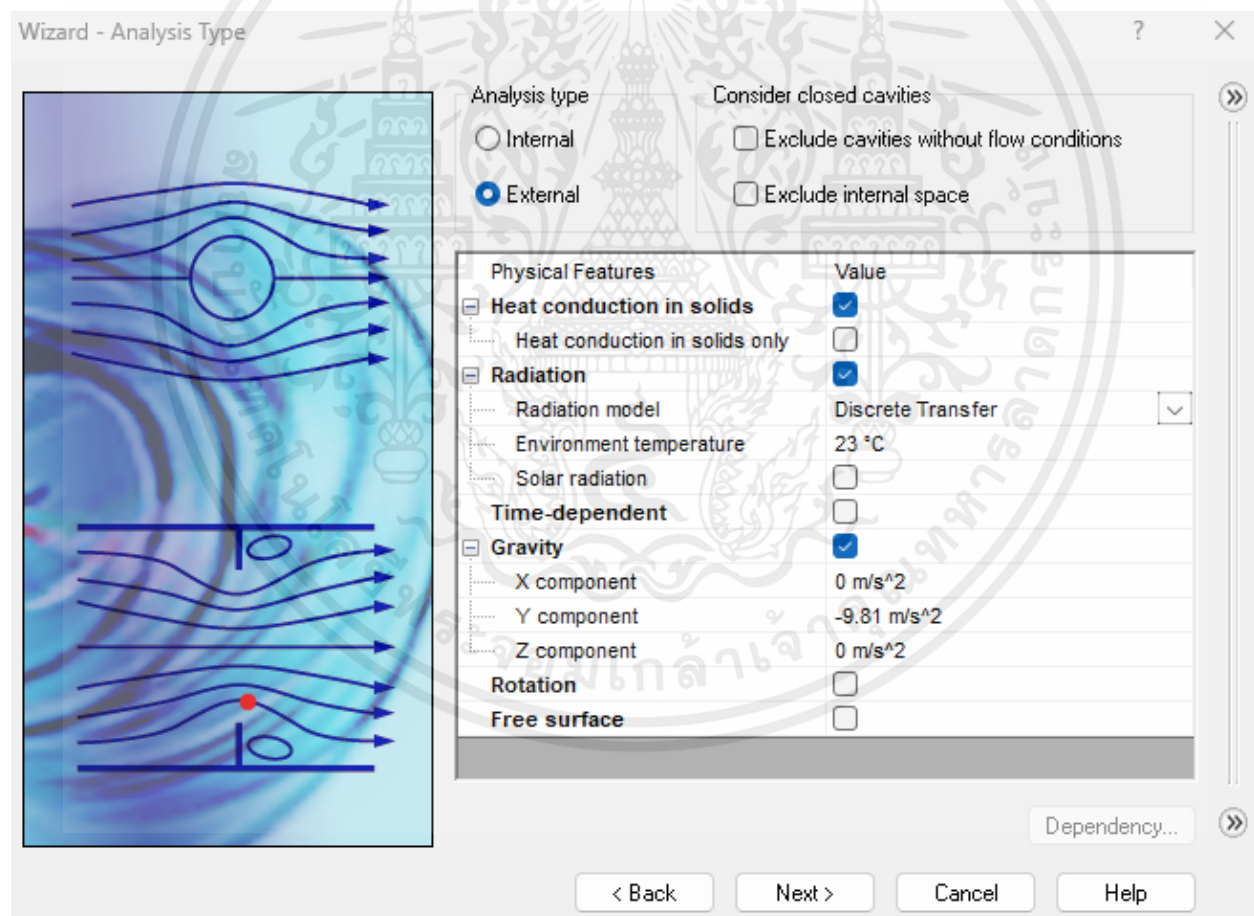
กราฟที่ 3.2 แสดงผลอุณหภูมิของน้ำภายในถังทั้ง 9 จุดตั้งแต่ 0 นาที ถึง 40 นาที

จากกราฟที่ 3.2 จะเห็นได้ว่า จุดที่ 3 เป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุด และจุดที่ 7 เป็นจุดที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุด และจะเห็นได้ว่าฮีตเตอร์มีการหยุดทำงานเมื่อถึง 30 นาที เนื่องจากเทอร์โมสแตทได้ถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ (74°C) ในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์หาค่าการสูญเสียทางความร้อน (Steady-State External Analysis Type) โดยจะแบ่งเป็น 3 ระดับ

- ระดับที่ 3 จุดที่ 1-3 เพราะอยู่บนระนาบเดียวกัน นำอุณหภูมิจุดที่ 1-3 มาเฉลี่ยจะได้ 74.12 °C
- ระดับที่ 2 จุดที่ 4-6 เพราะอยู่บนระนาบเดียวกัน นำอุณหภูมิจุดที่ 4-6 มาเฉลี่ยจะได้ 72.63 °C
- ระดับที่ 1 จุดที่ 7-9 เพราะอยู่บนระนาบเดียวกัน นำอุณหภูมิจุดที่ 7-9 มาเฉลี่ยจะได้ 68.96 °C

3.3.2.2 Steady-State External Analysis Type

ขั้นตอนที่ 12 กำหนดวิธีการวิเคราะห์

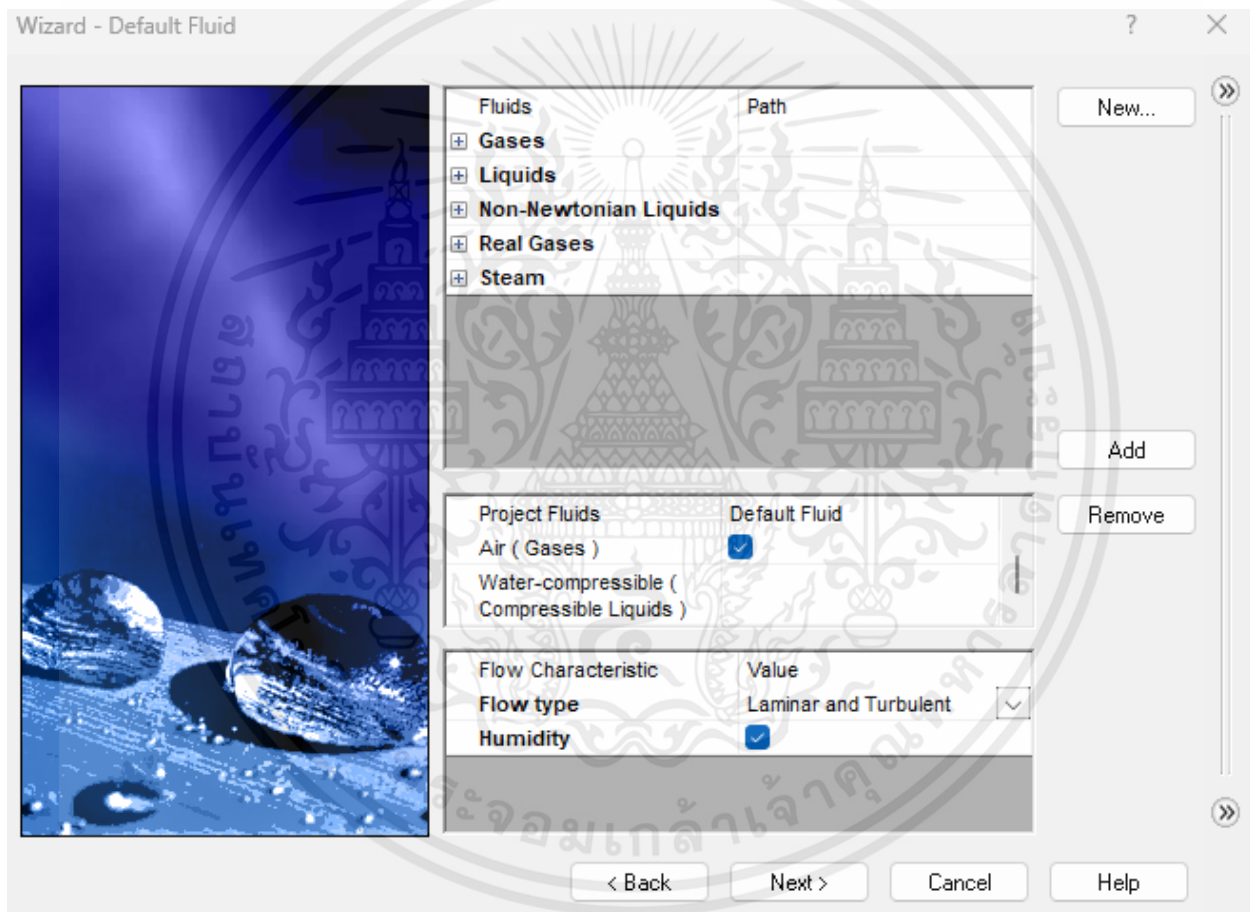


รูปที่ 3.32 กำหนดวิธีการวิเคราะห์แบบ External วิเคราะห์ภายในถัง ภายนอกถัง และอากาศโดยรอบเครื่อง

ในที่นี้จะเป็นการวิเคราะห์ในสภาวะ Steady-State ที่มีน้ำร้อนอยู่เต็มถัง(อุณหภูมิ 3 ระดับ ตามขั้นตอนที่ 11) และฮีตเตอร์ได้หยุดการทำงาน โดยมีการสูญเสียทางความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากอากาศรอบตัวเครื่องทำอูนมีค่าที่ 23°C

ในที่นี้จะมี Radiation เข้ามาเกี่ยวข้อง เนื่องจากได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างสูง ระหว่างมี Radiation กับไม่มี Radiation และในครั้งนี้จะไม่มี Time-dependent เพราะว่าเป็นการคำนวณแบบ Steady-State

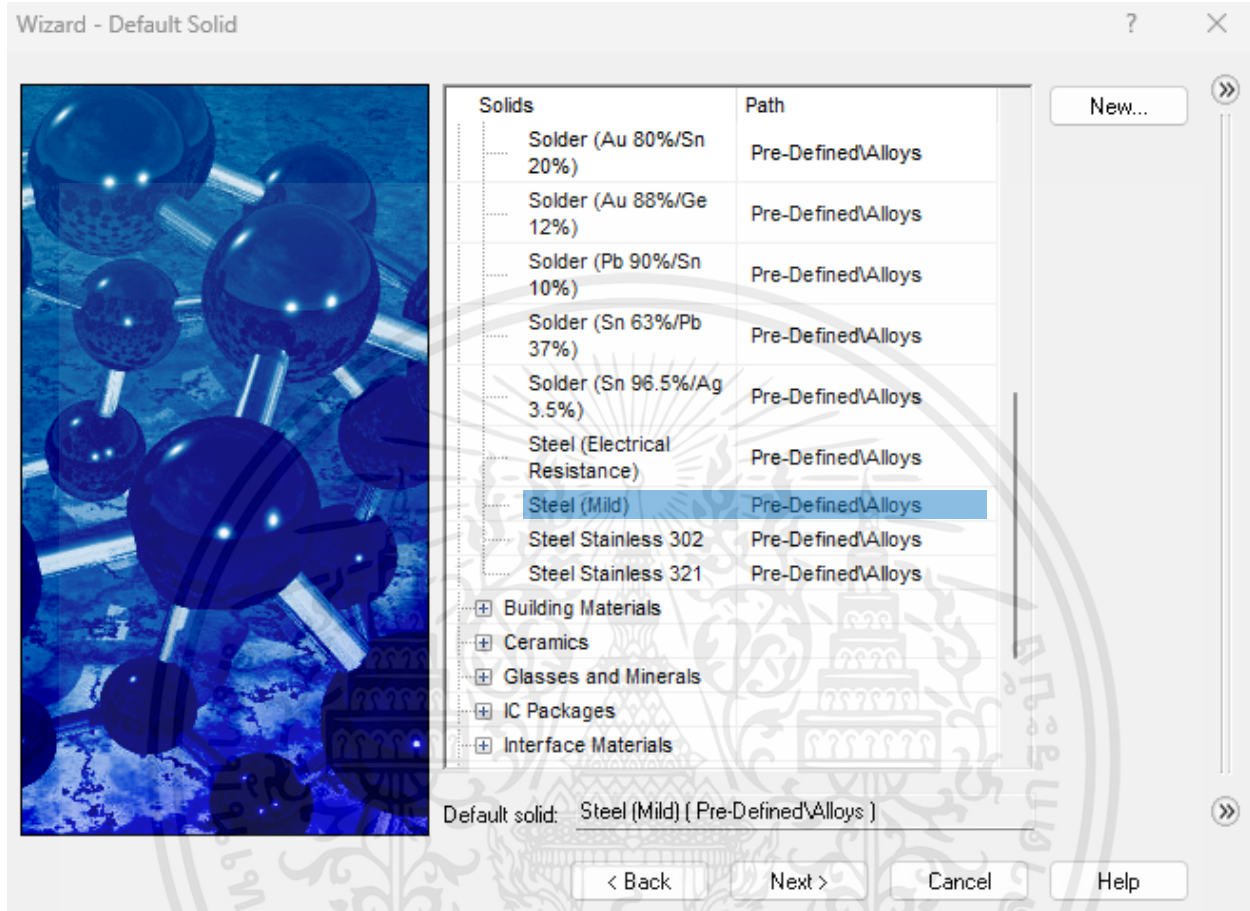
ขั้นตอนที่ 13 กำหนดของไหลเริ่มต้น



รูปที่ 3.33 กำหนดของไหลเริ่มต้น

ในที่นี้จะกำหนดให้ Air (Gases) เป็น Default Fluid เพราะ Air เป็นของไหลหลักที่ทำให้เกิดการสูญเสียทางความร้อน และมีความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้องเพราะในตอนทดลองจริง ทดลองโดยคุมความชื้นไว้ที่ 50 – 70 %

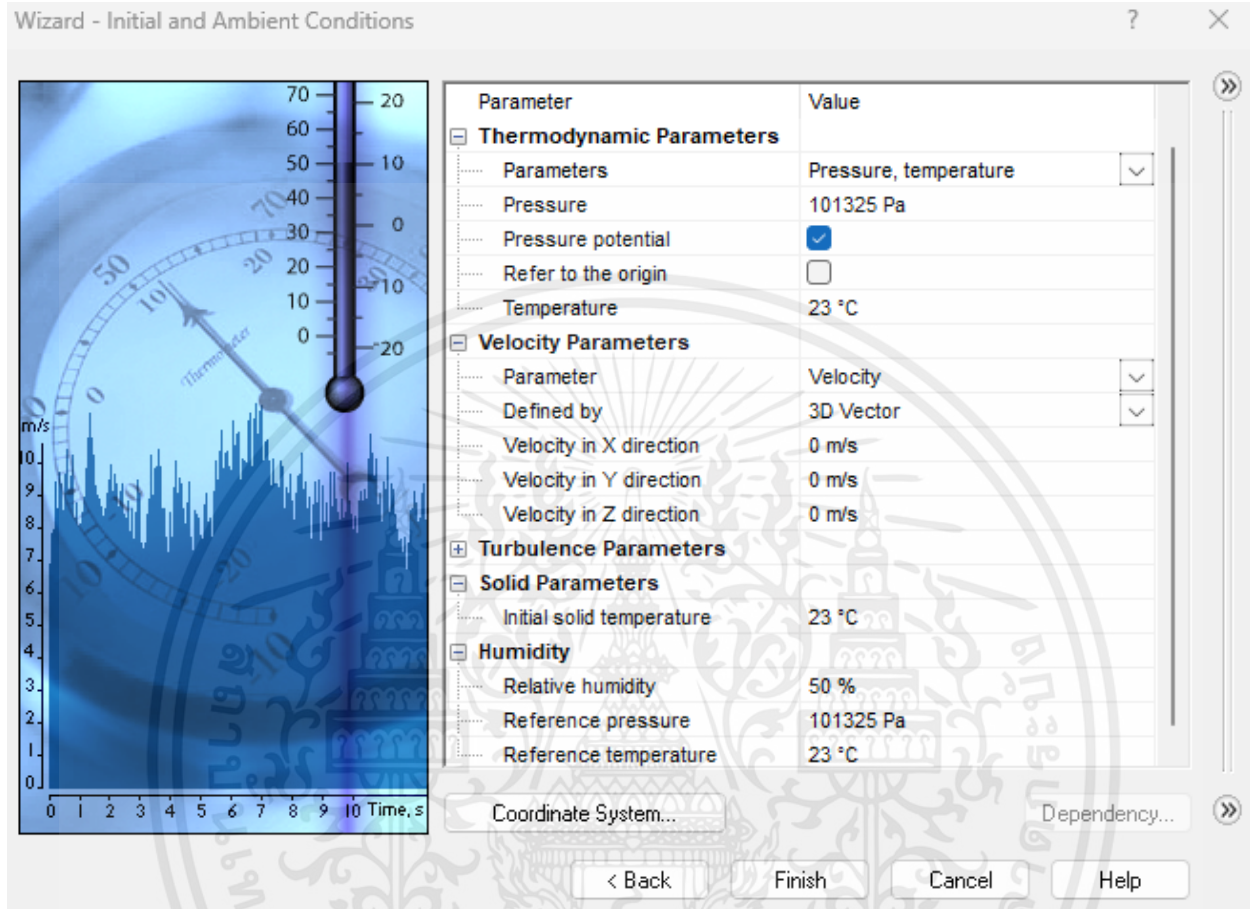
ขั้นตอนที่ 14 กำหนดของแข็งเริ่มต้น



รูปที่ 3.34 กำหนด Default Solid

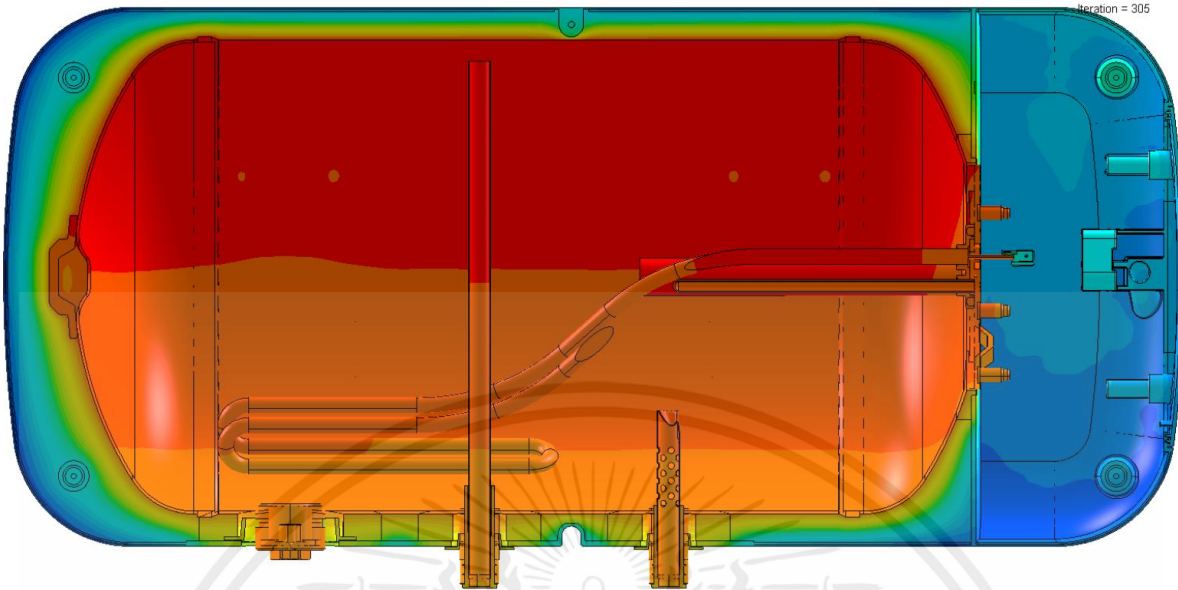
เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 3 ใช้ Steel (Mild) เพราะเป็นวัสดุของถัง ซึ่งเป็นของแข็งหลัก

ขั้นตอนที่ 15 กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นและสภาพแวดล้อม



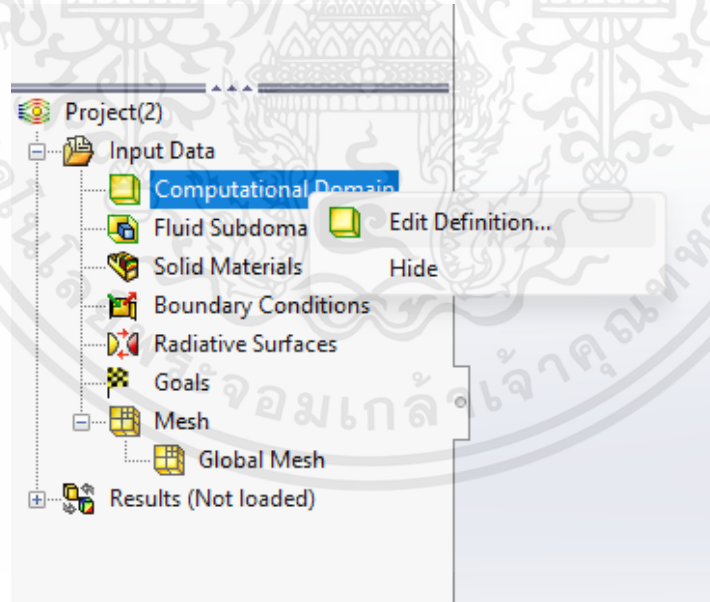
รูปที่ 3.35 กำหนด Initial and Ambient Conditions

กำหนดให้อากาศมีอุณหภูมิ 23 °C และมีความชื้นที่ 50 % โดยที่ของแข็งเริ่มต้นที่ 23 °C เช่นกัน โดยที่ความร้อนจากน้ำที่อุณหภูมิ 74.12 °C ที่ระดับที่ 3 , 72.63 °C ที่ระดับที่ 2 และ 68.96 °C ที่ระดับที่ 1 (ตามรูปที่ 3.31) จะกระจายอุณหภูมิไปยังของแข็งดังรูปที่ 3.36

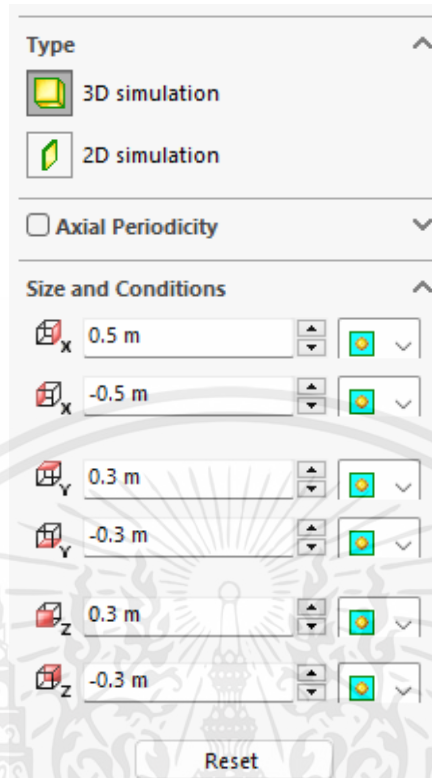


รูปที่ 3.36 อุณหภูมิที่พื้นผิวของของแข็งในมุมมอง Section Cut Front View

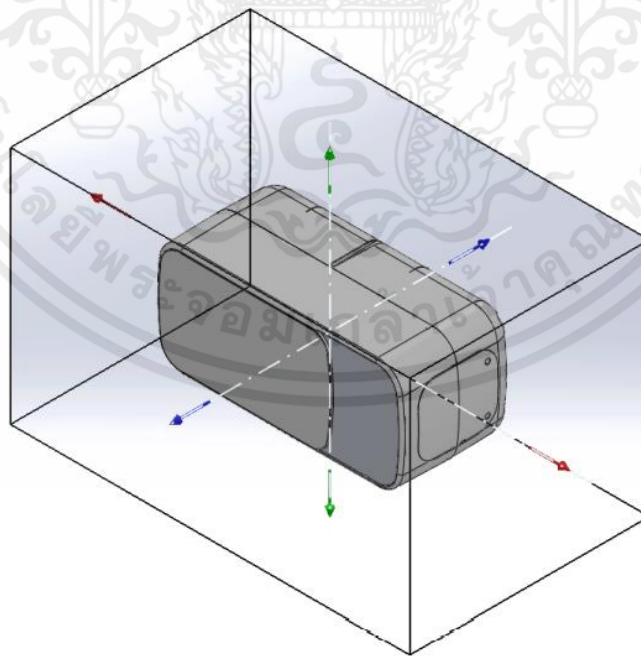
ขั้นตอนที่ 16 กำหนดขอบเขตการคำนวณ



รูปที่ 3.37 กำหนด Computational Domain



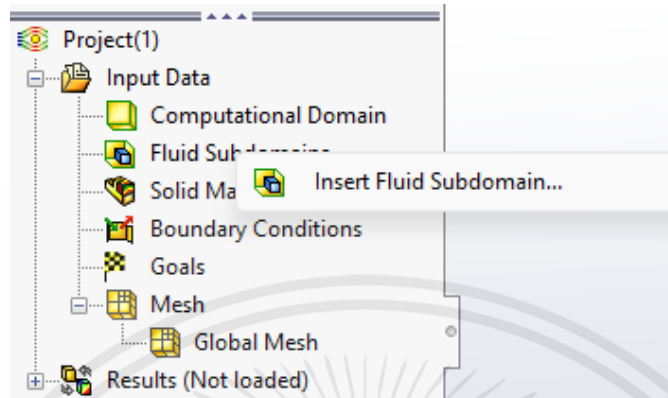
รูปที่ 3.38 หน้าต่างการกำหนด Computational Domain



$x = 0.5 \text{ m} \ \& \ -0.5 \text{ m}$
 $y = 0.3 \text{ m} \ \& \ -0.3 \text{ m}$
 $z = 0.3 \text{ m} \ \& \ -0.3 \text{ m}$

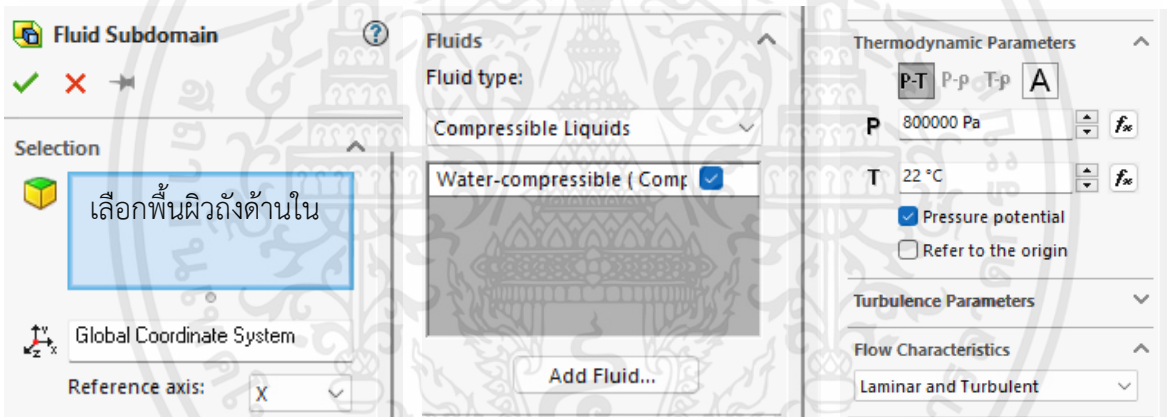
รูปที่ 3.39 Computational Domain

ขั้นตอนที่ 17 กำหนดของไหลในถัง

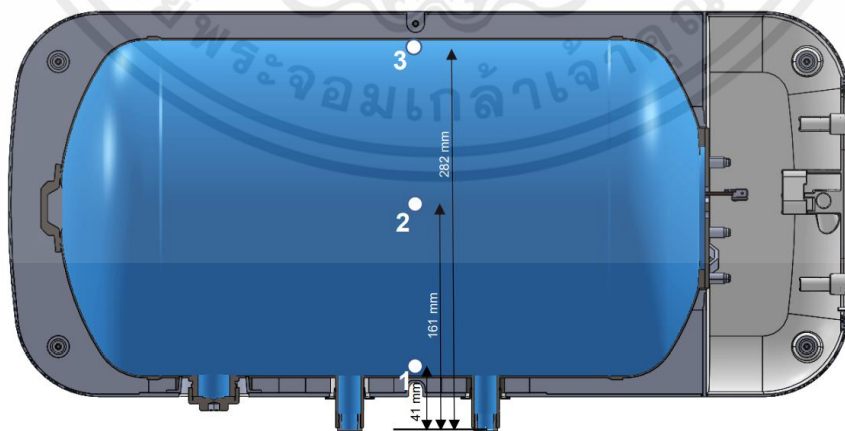


รูปที่ 3.40 กำหนดของไหลในถัง

กำหนดแรงดันที่ 800000 Pa หรือ 8 bar โดยอ้างอิงจากวิศวกรที่บริษัทที่เคยทำเกี่ยวกับ CFD [7]



รูปที่ 3.41 หน้าต่างการกำหนดของไหล



รูปที่ 3.42 ระยะของอุณหภูมิในแต่ละระดับ โดยวัดจากระยะห่างกับ $y = 0$

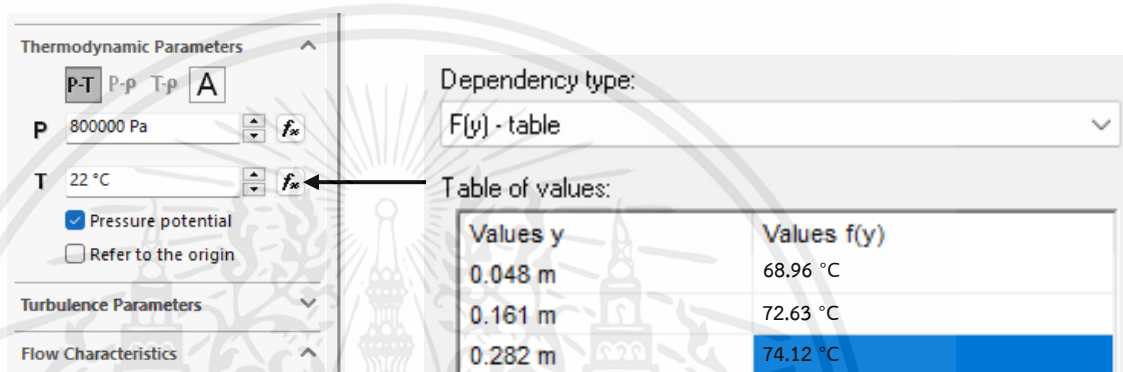
วัดระยะห่างแต่ละระดับโดยเทียบกับ $y = 0$ แล้วจึงนำข้อมูลจากกราฟที่ 3.2 ที่ได้ทำแบ่งเป็น 3 ระดับ และเฉลี่ยค่าอุณหภูมิมาใส่ในขั้นตอนนี้

โดยจากรูปที่ 3.42

จุดที่ 1 คือระดับที่ 1 มีอุณหภูมิที่ 68.96 °C

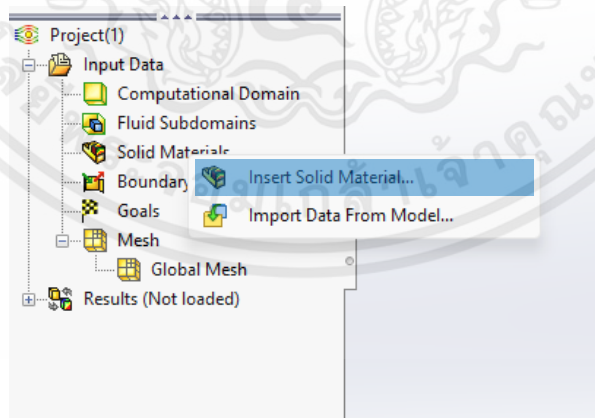
จุดที่ 2 คือระดับที่ 2 มีอุณหภูมิที่ 72.63 °C

จุดที่ 3 คือระดับที่ 3 มีอุณหภูมิที่ 74.12 °C

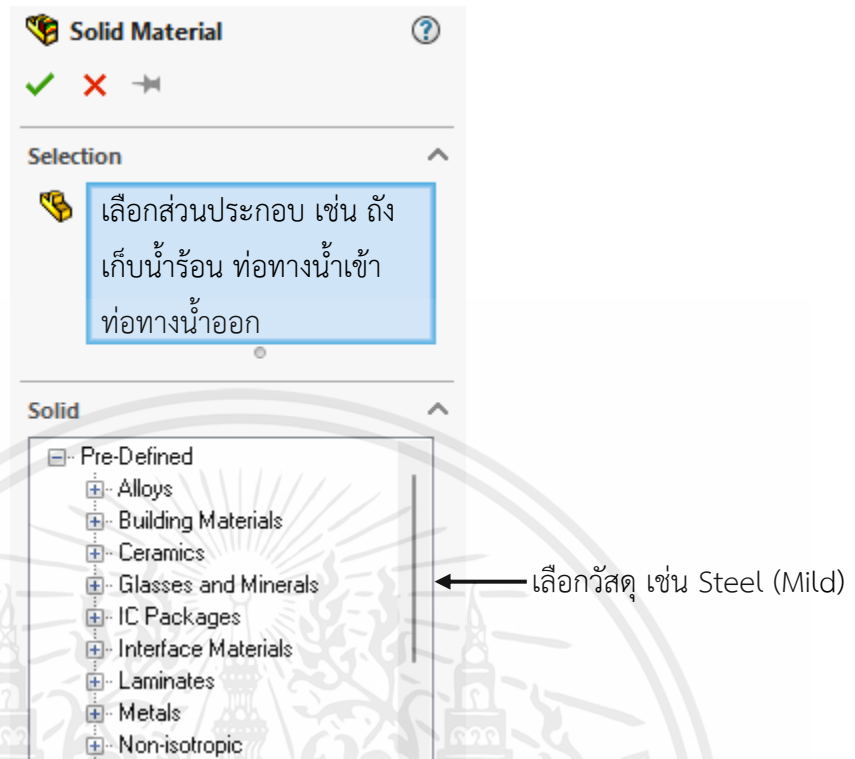


รูปที่ 3.43 กำหนดอุณหภูมิของน้ำที่ระดับต่าง ๆ

ขั้นตอนที่ 18 กำหนดวัสดุ



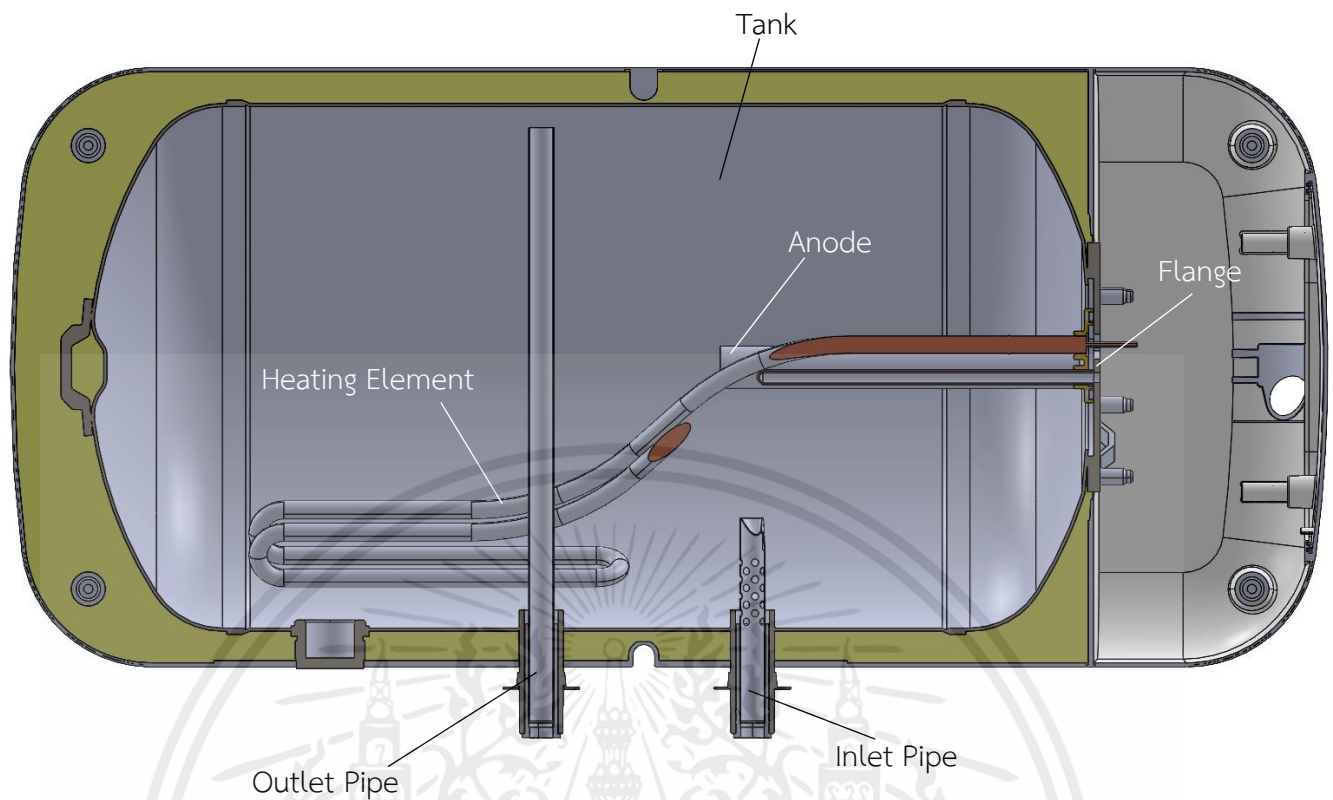
รูปที่ 3.44 กำหนด Material ให้ของแข็งต่าง ๆ



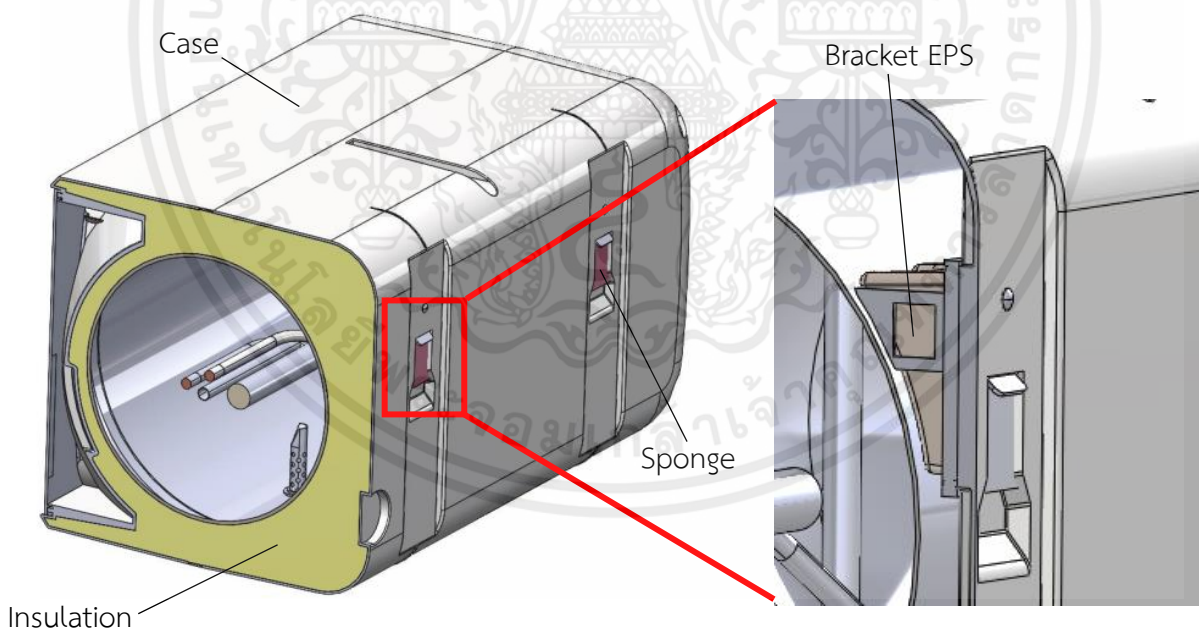
รูปที่ 3.45 หน้าต่างการกำหนด Material

Component	Material
Tank	Mild Steel (SolidWorks database)
Flange	Mild Steel (SolidWorks database)
Heating Element	Copper (SolidWorks database)
Anode	Magnesium (SolidWorks database)
Inlet / Outlet pipes	Mild Steel (SolidWorks database)
Bracket EPS	EPS (SolidWorks database)
Case	Polypropylene CaCO ₃ (User Defined)
Insulation	245fa Polyurethane Foam (User Defined)
Sponge	Sponge Sheet (User Defined)

ตารางที่ 3.3 ส่วนประกอบต่าง ๆ และวัสดุของส่วนประกอบนั้น ๆ



รูปที่ 3.46 ส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อกำหนดวัสดุ



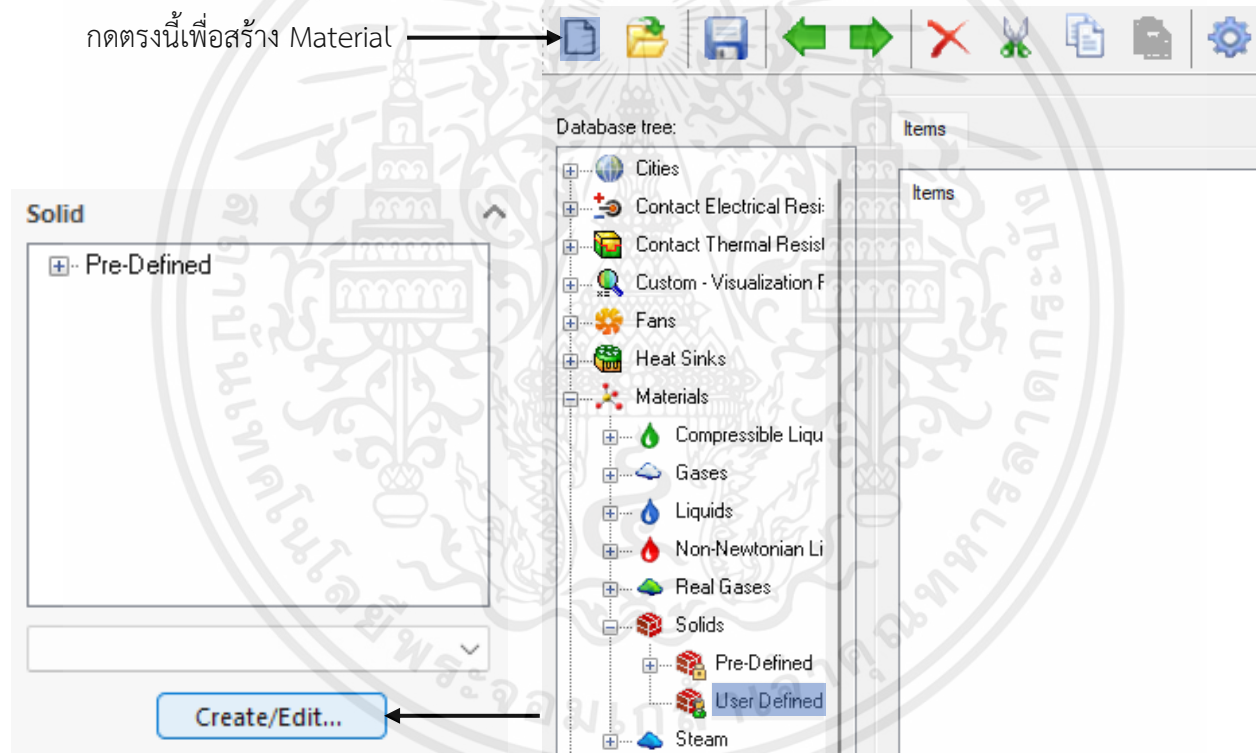
รูปที่ 3.47 ส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อกำหนดวัสดุ

Material	Density (kg/m ³)	Specific heat (J/kg.K)	Thermal conductivity (W/m.K)
PP CaCO ₃	900	1209.6	0.36
245fa PUF	38	1339.8	0.022
Sponge Sheet	44.9	1900	0.3

[7]
[7]
[7]

ตารางที่ 3.4 ค่าต่าง ๆ ของวัสดุ

PP CaCO₃ , 245fa PUF , Sponge Sheet ไม่มีใน Material ของ SolidWork2020 จึงจำเป็นที่จะต้องสร้างขึ้นใหม่ โดยสามารถทำได้ ดังนี้



รูปที่ 3.48 หน้าต่างการสร้างหรือแก้ไขวัสดุ

Property	Value
Name	PP CaCO ₃
Comments	
Density	900 kg/m ³
Specific heat	1209.6 J/(kg*K)
Conductivity type	Isotropic
Thermal conductivity	0.36 W/(m*K)
Electrical conductivity	Dielectric
Radiation properties	<input type="checkbox"/>
Melting temperature	<input type="checkbox"/>

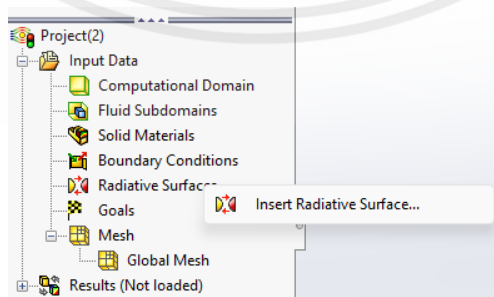
รูปที่ 3.49 กำหนดชื่อและค่าต่าง ๆ ของวัสดุ

ขั้นตอนที่ 19 กำหนดการแผ่รังสีความร้อน

Component	Material	Emissivity coefficient
Tank & Flange	Steel, Rough, Oxidized (SolidWorks database)	0.94 - 0.97
Case	PP CaCO ₃	0.97 [2]
Sponge	Sponge Sheet	0.95 [7]
Insulation	245fa PUF	0.975 [7]

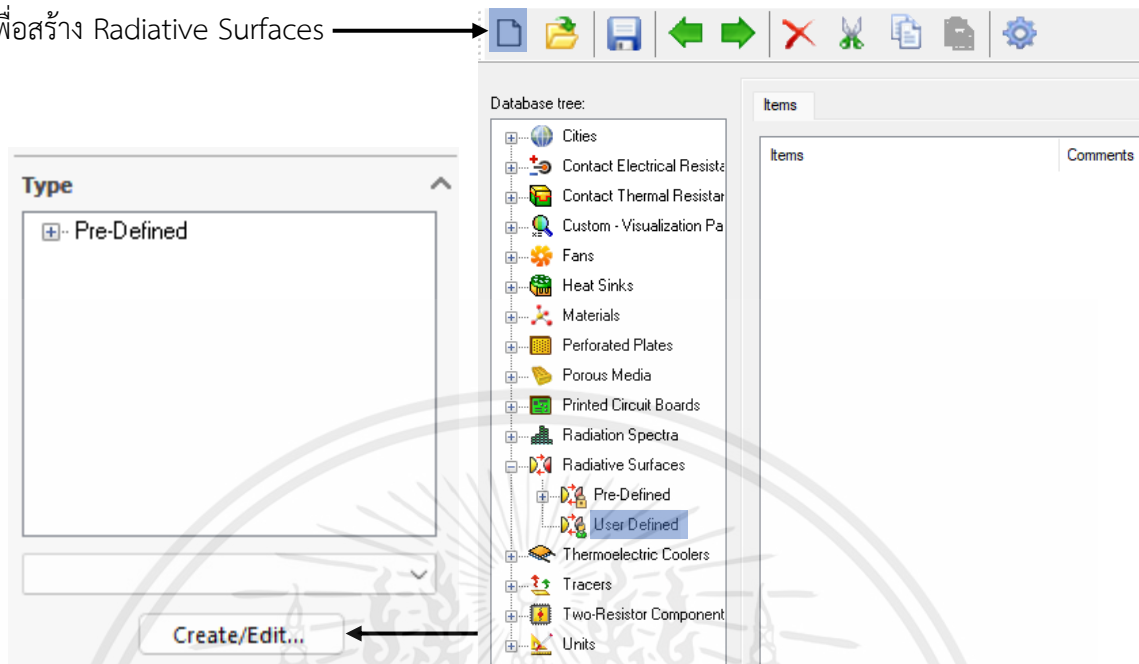
ตารางที่ 3.5 ค่า Emissivity coefficient ของวัสดุ

PP CaCO₃ , 245fa PUF , Sponge Sheet ไม่มีใน Radiative Surfaces ของ SolidWork2020 จึงจำเป็นต้องสร้างขึ้นมาใหม่ โดยสามารถทำได้ ดังนี้



รูปที่ 3.50 กำหนดการแผ่รังสีความร้อน

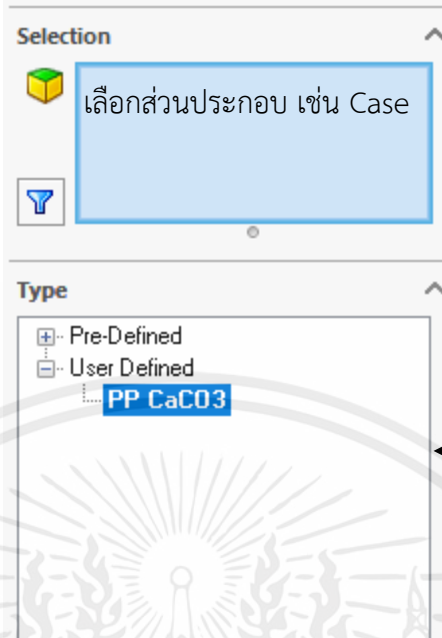
กดตรงนี้เพื่อสร้าง Radiative Surfaces



รูปที่ 3.51 หน้าต่างการสร้างหรือแก้ไข Radiative Surfaces

Property	Value
Name	PP CaCO3
Comments	
Radiative surface type	Wall
Reflection	Diffusive
Emissivity	Specific for thermal and solar radiation
Emissivity coefficient	0.97
Solar absorptance	1

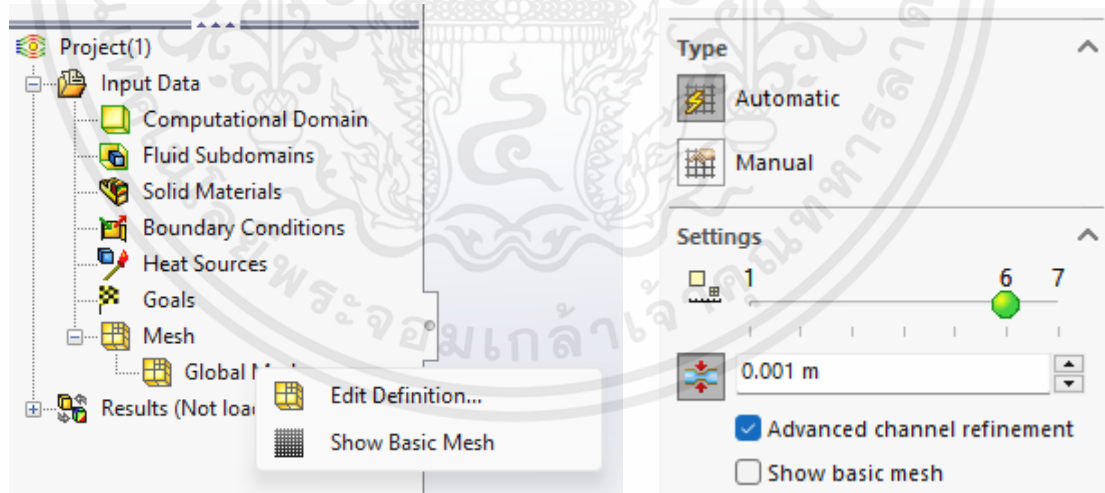
รูปที่ 3.52 กำหนดชื่อและค่า Emissivity coefficient ของวัสดุ



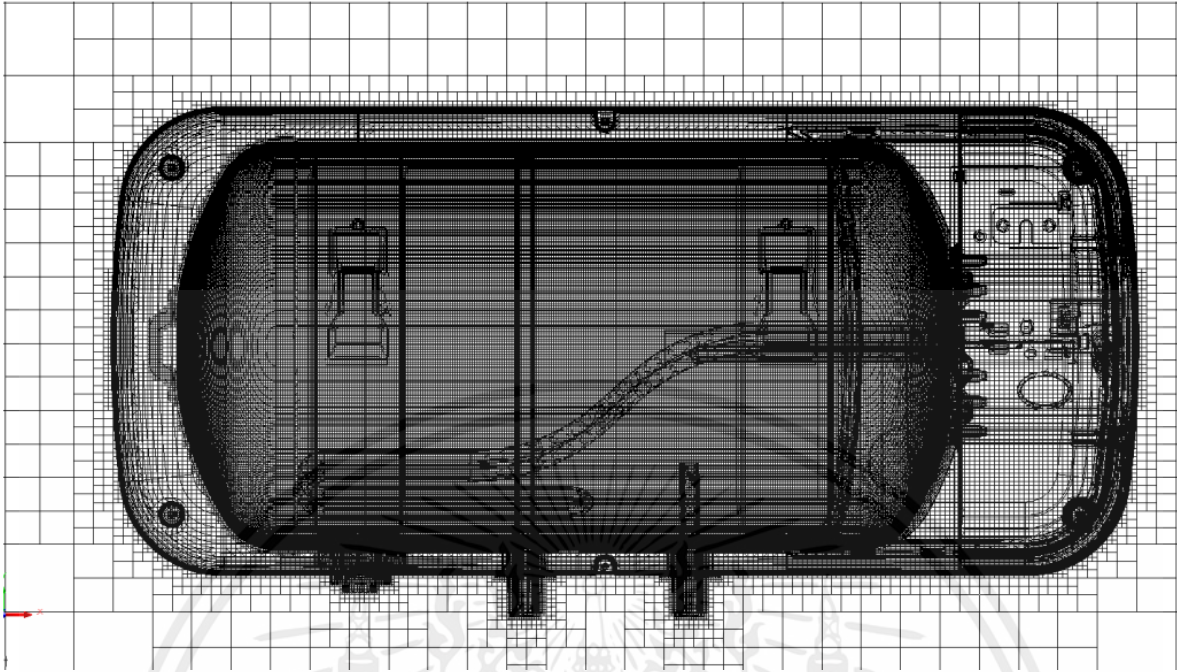
เลือก Radiative Surfaces เช่น
PP CaCO₃

รูปที่ 3.53 หน้าต่างการกำหนด Radiative Surfaces

ขั้นตอนที่ 20 สร้างโครงตาข่าย

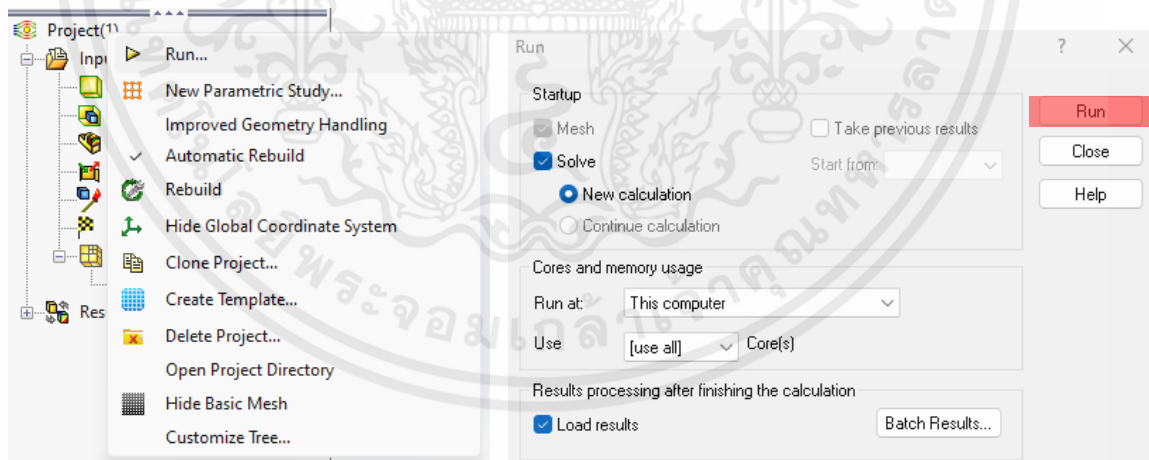


รูปที่ 3.54 หน้าต่างปรับระดับความละเอียด Mesh



รูปที่ 3.55 Mesh ของเครื่องและอากาศโดยรอบ

ขั้นตอนที่ 21 ดำเนินการจำลอง



รูปที่ 3.56 ดำเนินการจำลอง

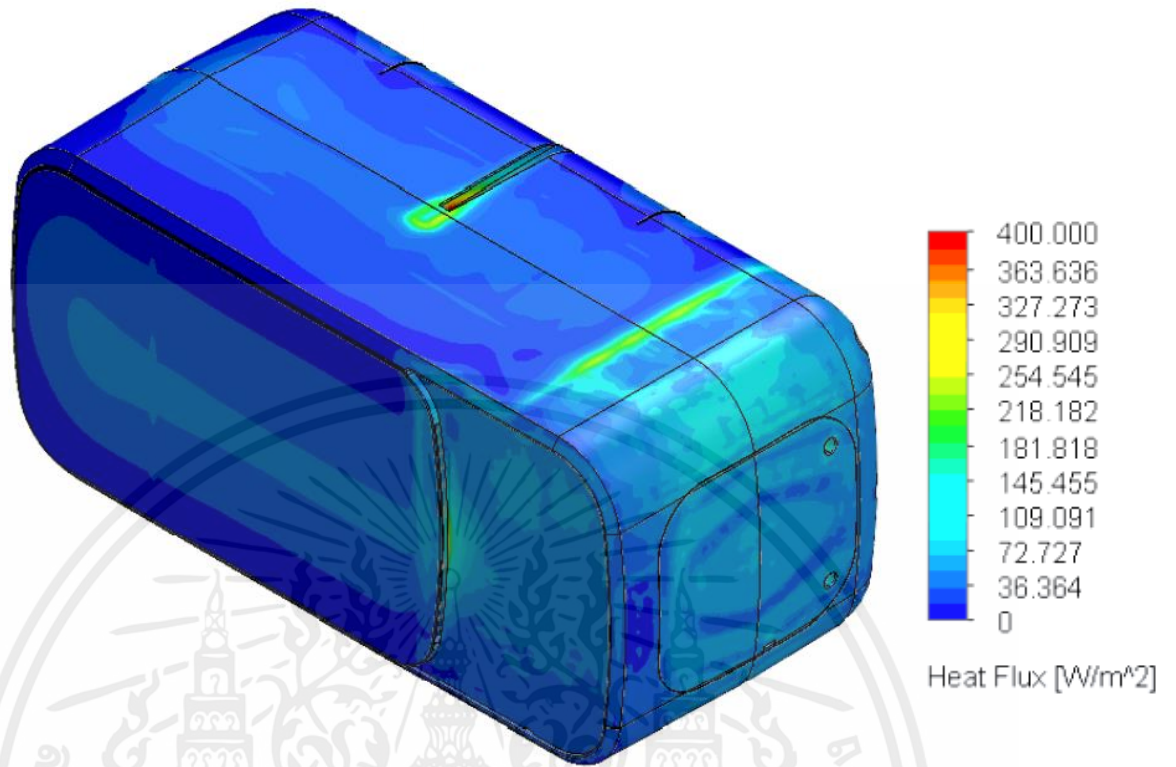
ขั้นตอนที่ 22 ดู Heat Flux ที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวของเครื่อง

สามารถปรับเปลี่ยน Parameter ได้ เช่น เปลี่ยนเป็น Radiative Heat Flux

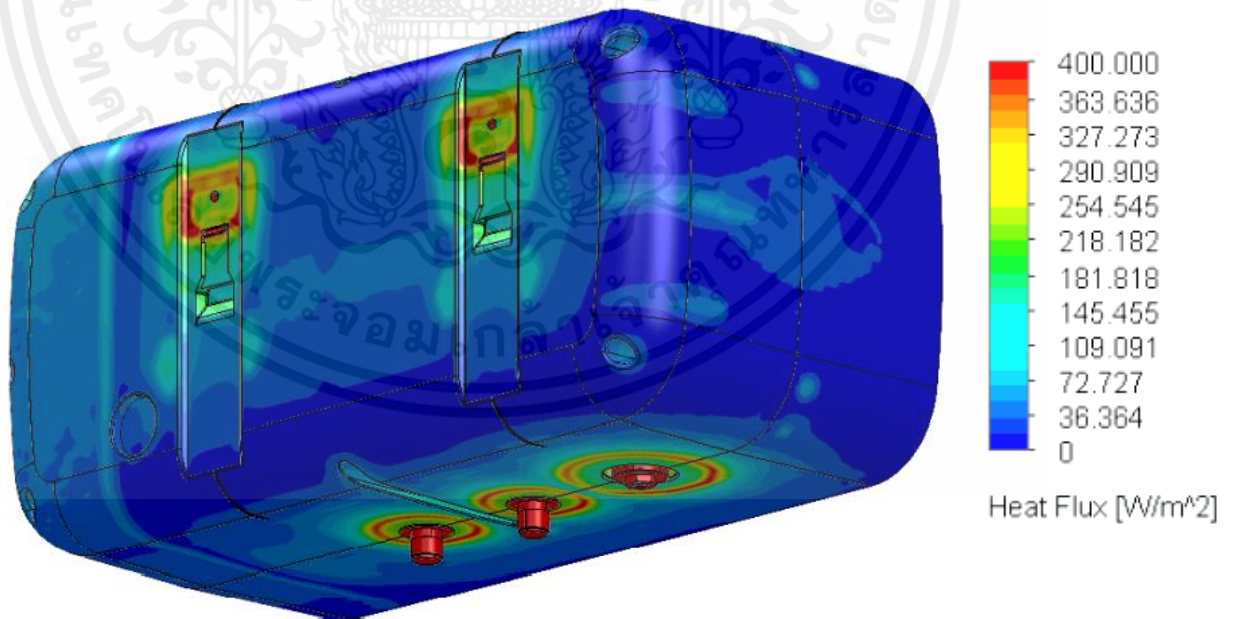
ตัวปรับระดับการแบ่งของสี ยิ่งน้อย ยิ่งเห็นการแบ่งสี ชัดเจน ยิ่งมาก ยิ่งเห็นการไล่ระดับสีได้เนียน

รูปที่ 3.57 กำหนด Surface Plots

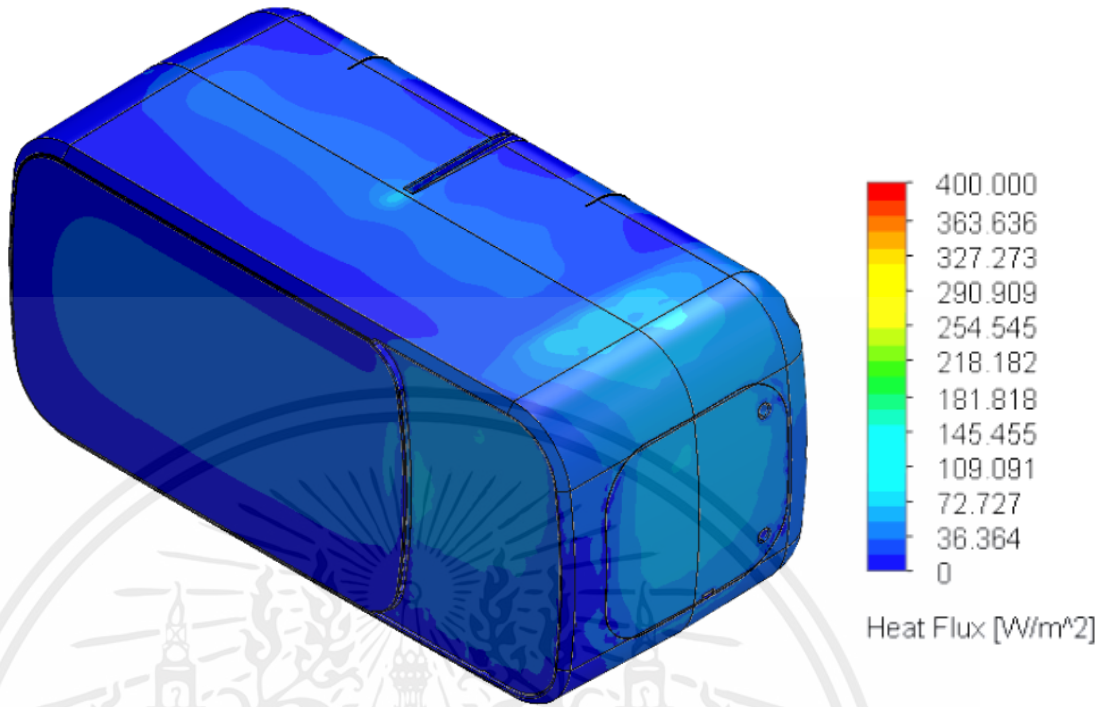
ในขั้นตอนนี้จะใช้ Surface Plots เพื่อจะดู Contour ของ Heat Flux ที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวของเครื่องที่สูญเสียความร้อนให้แก่ อากาศ โดยรอบ โดยในที่นี้เกิดขึ้นทั้งแบบ Convection และ Radiation



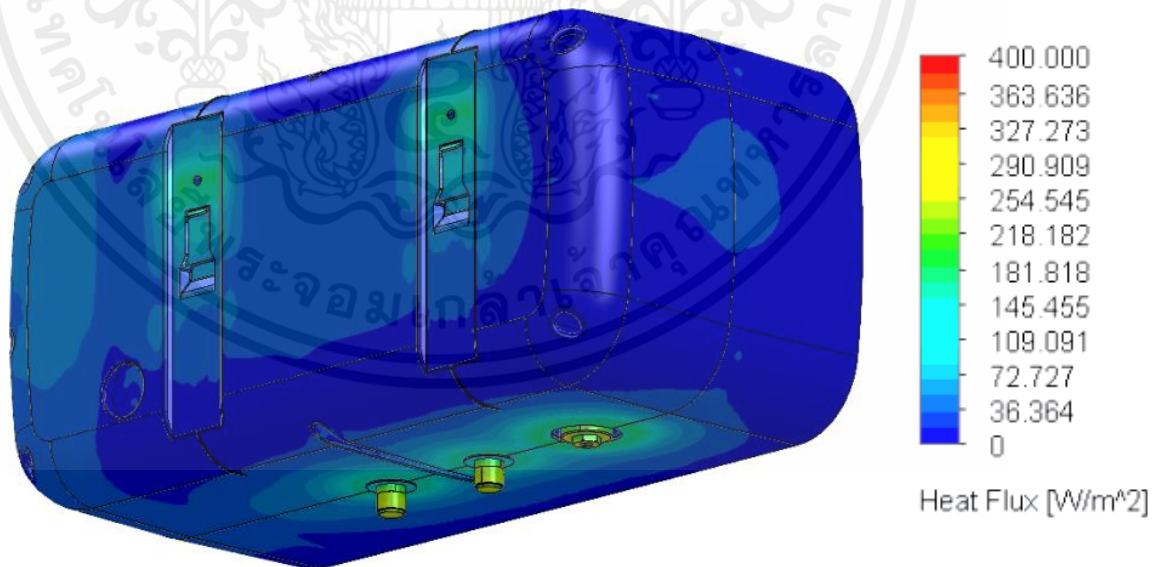
รูปที่ 3.58 Convective Heat Flux ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวภายนอก มุม Isometric



รูปที่ 3.59 Convective Heat Flux ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวภายนอก มุมตรงข้าม Isometric

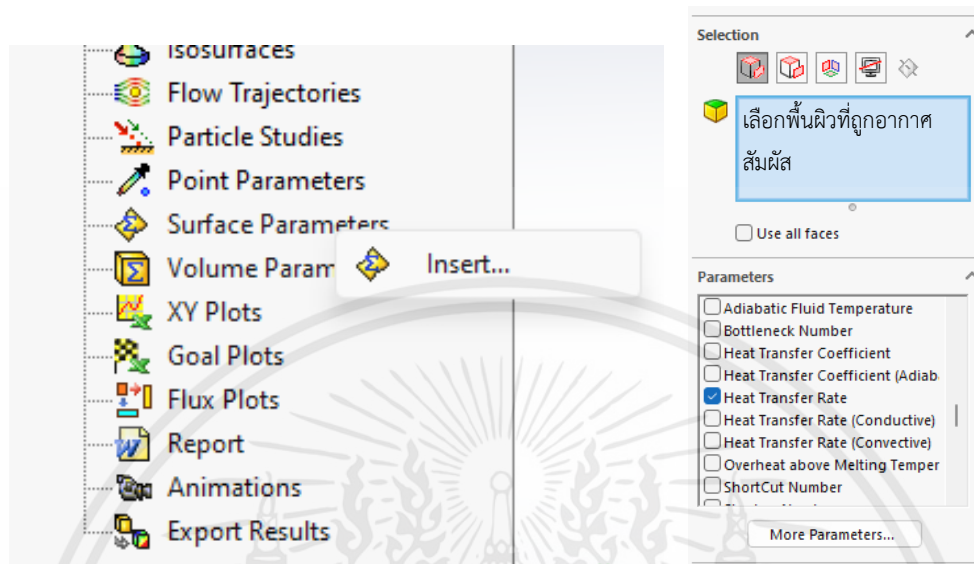


รูปที่ 3.60 Radiative Heat Flux ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวภายนอก มุม Isometric

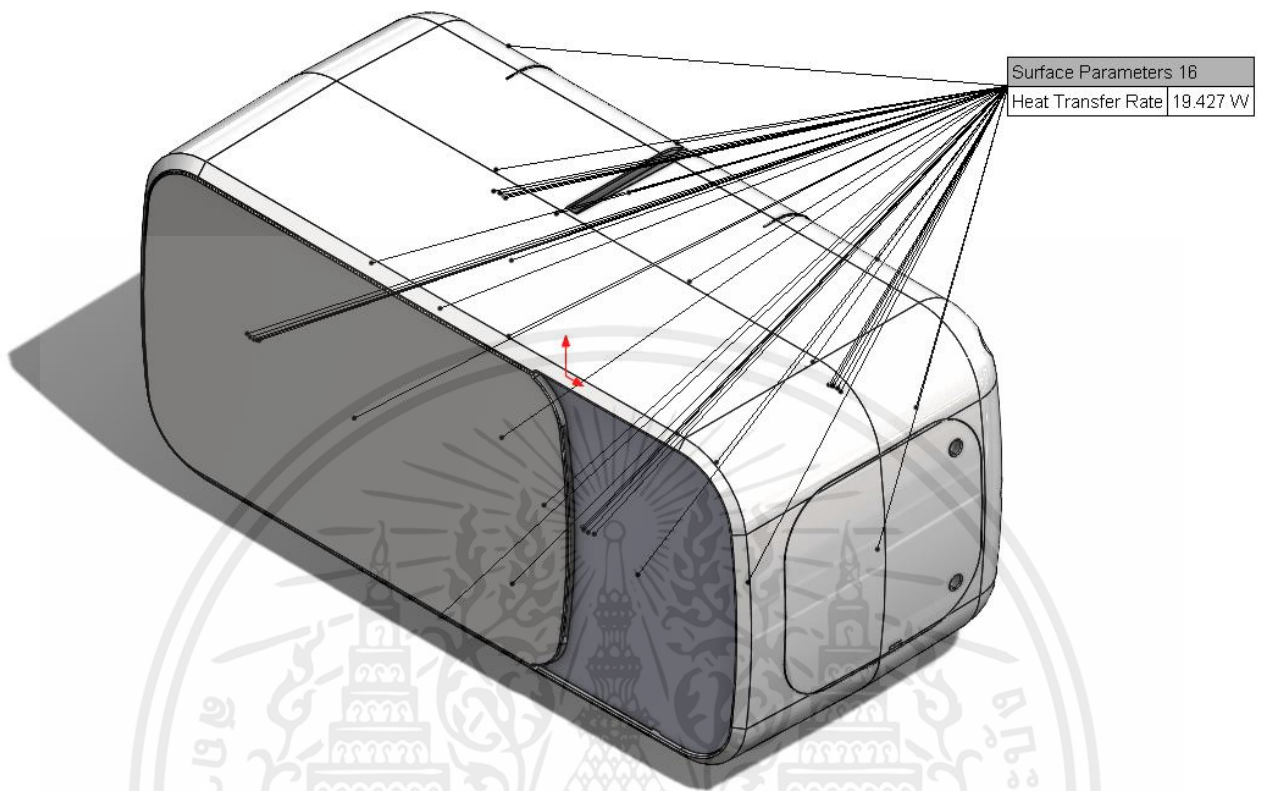


รูปที่ 3.61 Radiative Heat Flux ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวภายนอก มุมตรงข้าม Isometric

ขั้นตอนที่ 23 หาค่าสูญเสียทางความร้อน



รูปที่ 3.62 ใช้ Surface Parameters เพื่อดูการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.63 การสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้น

จากรูปจะเห็นได้ว่า มี Heat Transfer Rate = 19.427 W ดังนั้นค่าการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้น โดยวิธี Numerical Method จึงมีค่าเท่ากับ 19.427 W

3.2.3 Experimental Method

ในวิธีนี้จะเป็นการทดลองแบบใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในการวัดค่า เก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์

3.2.3.1 อุปกรณ์ต่างๆ

1. เครื่องทำน้ำอุ่นชนิดถังพักแบบพร้อมทดสอบ

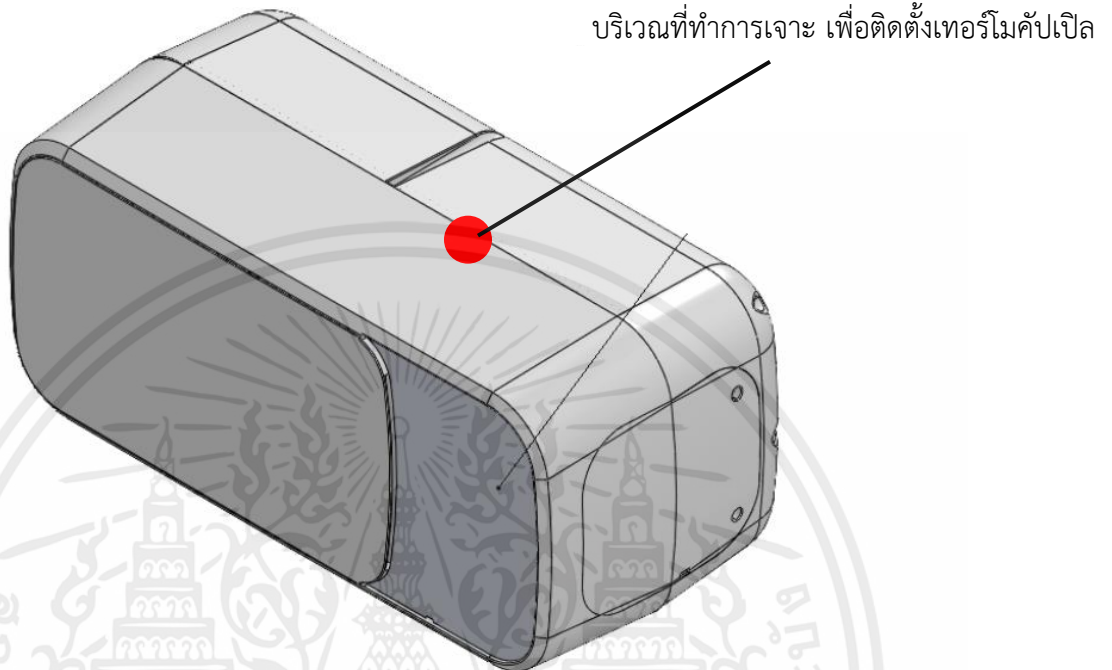


รูปที่ 3.64 เครื่องทำน้ำอุ่นชนิดถังพักแบบพร้อมทดสอบ

2. เทอร์โมคัปเปิลชนิด T
3. สว่านเจาะรูกลม
4. เทปอลูมิเนียม
5. เทปกาว

3.2.3.2 วิธีการทดลอง

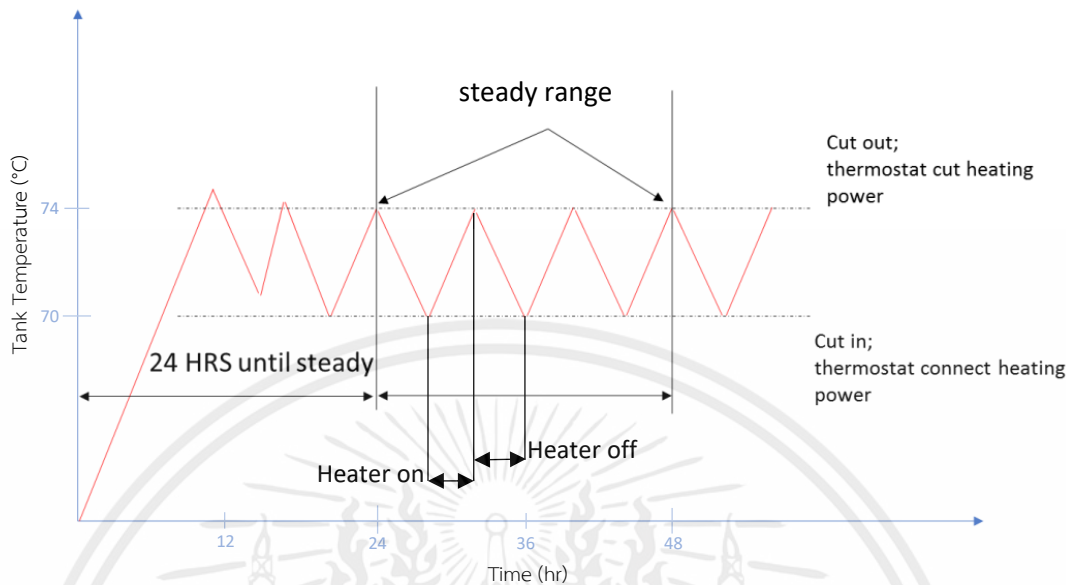
1. เจาะเครื่องทำน้ำอุ่นบริเวณ ดังรูปที่ 3.63 เพราะเป็นจุดที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด หรือที่เรียกว่า Top Tank



รูปที่ 3.65 บริเวณที่ทำการเจาะ เพื่อติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล

2. แปะเทอร์โมคัปเปิลด้วยเทปอลูมิเนียมบนพื้นผิวของถังที่เป็น Steel
3. นำโฟมและแผ่นพลาสติกที่เจาะออกมาอุดกลับไปให้เดิม
4. แปะด้วยเทปกาวกันหลุด
5. เมื่อทำขั้นตอน 1-4 เสร็จแล้วจึงนำเครื่องไปติดตั้งที่ทดสอบ
6. ต่อสายยางที่ทางเข้าและทางออก
7. เติมน้ำให้เต็มถัง
8. เปิดการทำงานของฮีตเตอร์โดยตั้งให้หยุดการทำงานที่ 74°C และกลับมาทำงานที่ 69°C พร้อมกับบันทึกข้อมูลอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิล โดยทำการบันทึกข้อมูลประมาณ 72 ชั่วโมง

9. จะได้กราฟดังนี้



กราฟที่ 3.3 แสดงอุณหภูมิ ณ เวลาต่างๆ [10]

10. นำค่าอุณหภูมิ จากบริเวณที่คงที่แล้ว มาคำนวณใน สมการ (เป็นวิธีการคำนวณของทางบริษัท) [10]

$$Q = m \times c_p \times \frac{\Delta T}{t} \quad (3.3)$$

กำหนดให้

Q = การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น (W)

m = 19.5082 kg (มวลของน้ำในถัง) หาได้จาก $m = \rho V$ (3.4)

ρ = 975.41 kg/m³ (ความหนาแน่นของน้ำที่ 74 °C) [8]

V = 20 L = 0.02 m³ (ปริมาตรของน้ำในถัง)

c_p = 4.192 KJ/kg °C (ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำที่ 74 °C) [9]

ΔT = ความต่างอุณหภูมิ (°C) ในช่วงที่ฮีตเตอร์ปิดการทำงาน (กราฟช่วงที่ลดลง)

t = เวลา (s)

บทที่ 4

ผลและเปรียบเทียบผล

ในบทนี้จะแสดงถึงผลลัพธ์ของทั้ง 3 วิธี คือ Analytical Method , Numerical Method , Experimental Method แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบ โดยทั้ง 3 วิธีเป็นการคำนวณหาการสูญเสียความร้อนจากผิวของถังออกสู่อากาศโดยรอบ ในขณะที่ตัวความร้อนหยุดทำงาน มีน้ำร้อนอยู่เต็มถัง ไม่มีการไหลภายในถัง มีเพียงการไหลของอากาศโดยรอบเครื่องเพียงเท่านั้น

4.1 Analytical Method

จากการคำนวณทางทฤษฎีโดยสมมติให้เป็น One-Dimensional, Steady-State, No Internal Energy Generation, Constant Properties, Cylinder และประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากตารางในทางทฤษฎี (ตารางที่ 3.1) ทำให้ค่าการสูญเสียความร้อนจากผิวถังสู่อากาศโดยรอบเครื่องทำน้ำอุ่นเท่ากับ 18.169 W

4.2 Numerical Method

จากการคำนวณแบบ Numerical Method โดยใช้โปรแกรม SolidWorks 2020 : Flow Simulation ทำให้ค่าการสูญเสียความร้อนจากผิวถังสู่อากาศโดยรอบเครื่องทำน้ำอุ่นเท่ากับ 19.427 W

4.3 Experimental Method

วิธีนี้ไม่สามารถนำข้อมูลกราฟการทดลองออกมาเผยแพร่ได้ เนื่องจากทางบริษัทไม่อนุญาตให้นำข้อมูลกราฟจริงออกมาเผยแพร่ แต่จากที่เคยทำการทดลองจริง ได้กราฟตามกราฟที่ 3.3 ซึ่งใน 24 ชั่วโมงแรก กราฟยังไม่มีความเสถียร จึงยังไม่ใช้ข้อมูลในช่วงนี้ จึงจะใช้ข้อมูลในช่วงที่เสถียรแล้ว ส่วนใหญ่อยู่หลังชั่วโมงที่ 24 เป็นต้นไป จากการทดลองจะได้กราฟที่ อุณหภูมิ 74 - 76 °C ลดเหลือ 69 - 70 °C ใช้เวลาประมาณ 80 - 100 นาที ขึ้นอยู่กับการหยุดการทำงานของฮีตเตอร์ว่าทำให้อุณหภูมิสูงสุดขึ้นไปได้ที่อุณหภูมิเท่าใด จากนั้นจึงนำช่วงการลดของอุณหภูมิมาคำนวณในสมการ 3.3 โดยใช้ความต่างของอุณหภูมิในช่วงนั้นและเวลาที่ใช้ไปตั้งแต่อุณหภูมิสูงสุดลดลงจนเหลืออุณหภูมิต่ำสุด จากการทดลองเก็บค่า 72 ชั่วโมง ได้ช่วงเวลาทั้งหมด 32 ช่วง จึงได้ค่าสูญเสียทางความร้อนทั้งหมด 32 ค่า แล้วนำมาเฉลี่ย จึงได้ค่าสูญเสียทางความร้อนอยู่ที่ **31.153 W** เนื่องจากในการทดลองเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิผิวของถังเพียงแค่จุดเดียวแล้วนำมาคำนวณ ซึ่งในวิธี Analytical Method อุณหภูมิที่นำมาคำนวณคืออุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวถัง และไม่ได้มีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในห้องทดลองว่าใกล้เคียงกับค่าที่ใช้ในวิธี Analytical Method หรือไม่ ดังนั้นจึงส่งผลให้มีค่าแตกต่างจาก Analytical Method สูง

4.4 เปรียบเทียบผล

Method	Heat Loss (W)	Difference (%)
Analytical Method	18.169	Ref
Numerical Method	19.427	6.92
Experimental Method	31.153	71.62

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าสูญเสียทางความร้อนจากทั้ง 3 วิธี

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า วิธี Numerical Method มีค่าแตกต่างกับ วิธี Analytical Method เพียงเล็กน้อย ส่วนวิธี Experimental Method นั้นมีค่าแตกต่างกับ วิธี Analytical Method ค่อนข้างสูง

โดยวิธี Analytical Method เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกที่สุดเพราะใช้เพียงแค่ความรู้ทางทฤษฎีและเครื่องคิดเลขเพียงเท่านั้น เป็นวิธีการวิเคราะห์คร่าว ๆ

วิธี Numerical Method เป็นวิธีที่มีความยากปานกลางและสะดวกระดับปานกลางเพราะต้องใช้ความรู้ทางทฤษฎีและโปรแกรม จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ โดยหากมีทรัพยากรคอมพิวเตอร์ที่สูงยิ่งทำให้ได้ผลลัพธ์ที่รวดเร็วมากขึ้น วิธีนี้มีความละเอียดและเห็นภาพชัดเจน สามารถดูข้อมูลและค่าอื่น ๆ ได้ ไม่เพียงแต่การสูญเสียทางความร้อนเท่านั้น

วิธี Experimental Method เป็นวิธีที่มีความยุ่งยากสูง ใช้เวลามาก และใช้ทรัพยากรสูง เนื่องจากต้องมีห้องแล็บที่ใช้สำหรับการทดลอง และต้องมีผลิตภัณฑ์ตัวจริงเพื่อนำมาทดสอบ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการหาค่าสูญเสียทางความร้อนจากทั้ง 3 วิธี วิธี Analytical Method ได้ค่าสูญเสียทางความร้อนอยู่ที่ 18.169 W วิธี Numerical Method ได้ค่าสูญเสียทางความร้อนอยู่ที่ 19.427 W และวิธี Experimental Method ได้ค่าสูญเสียทางความร้อนอยู่ที่ 31.153 W จะเห็นได้ว่า วิธี Numerical Method มีค่าแตกต่างกับ วิธี Analytical Method เพียงเล็กน้อย (6.92 %) ส่วนวิธี Experimental Method นั้นมีค่าแตกต่างกับ วิธี Analytical Method ค่อนข้างสูง (71.46 %) เนื่องจากในวิธี Experimental Method ตอนที่ทดลองนั้นเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิผิวของถังเพียงแค่จุดเดียวแล้วนำมาคำนวณ ซึ่งในวิธี Analytical Method อุณหภูมิที่นำมาคำนวณคืออุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวถัง และในตอนที่ทดลองไม่ได้มีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในห้องทดลองว่าใกล้เคียงกับค่าที่ใช้ในวิธี Analytical Method หรือไม่ โดยทั้ง 3 วิธีนี้ วิธี Analytical Method เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกที่สุดเพราะใช้เพียงแค่ความรู้ทางทฤษฎีและเครื่องคิดเลขเพียงเท่านั้น เป็นวิธีการวิเคราะห์คร่าว ๆ วิธี Numerical Method เป็นวิธีที่มีความยากปานกลางและสะดวกระดับปานกลางเพราะใช้ความรู้ทางทฤษฎีและโปรแกรม จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ โดยหากมีทรัพยากรคอมพิวเตอร์ที่สูงยิ่งทำให้ได้ผลลัพธ์ที่รวดเร็วมากขึ้นเพราะในการวิเคราะห์แต่ละครั้งนั้น หากต้องการผลลัพธ์ที่มีความละเอียดและแม่นยำ จำเป็นที่จะต้องใช้เวลามาก คอมพิวเตอร์ที่มีทรัพยากรสูงจึงสามารถลดเวลาในส่วนนี้ได้ และวิธีนี้มีความละเอียดและเห็นภาพชัดเจนโดยเห็นออกมาเป็นภาพโมเดล 3 มิติ รวมถึงสามารถดูข้อมูลและค่าอื่น ๆ ได้ ไม่เพียงแต่การสูญเสียทางความร้อนเท่านั้น เช่น ดู Surface Heat Flux ดู Surface Temperature เป็นต้น วิธีนี้มีความน่าเชื่อถือค่อนข้างสูงและประหยัดเวลาได้มากกว่าการทดลองจริงเป็นหลายเท่า เหมาะแก่การนำไปวิเคราะห์ปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อน วิธี Experimental Method เป็นวิธีที่มีความยุ่งยากสูง ต้องใช้เวลาอย่างน้อยถึง 72 ชั่วโมงเพื่อให้ได้ผลทดสอบ และใช้ทรัพยากรสูง เนื่องจากต้องมีห้องแลบที่ใช้สำหรับการทดลองเพื่อควบคุมเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น ควบคุมอุณหภูมิห้องให้ได้ตามที่ต้องการ ควบคุมความชื้นห้องให้ได้ตามต้องการ และต้องมีผลิตภัณฑ์ตัวจริงเพื่อนำมาทดสอบโดยที่ผลิตภัณฑ์ตัวต้นแบบที่จะนำมาทดสอบได้นั้นใช้เวลาในการประกอบนานกว่าการทดลองเสียอีก

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 เกิดการเปลี่ยนแปลงหัวหน้าแผนกในช่วงสหกิจศึกษาจึงทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของโครงการ

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการสหกิจศึกษา

5.3.1 มีรายได้

5.3.2 ได้พัฒนาการใช้ภาษาอังกฤษในช่วงก่อนการเปลี่ยนแปลงหัวหน้าแผนกเพราะต้องคุยกับหัวหน้าแผนกทุกวัน และต้องอัปเดตความคืบหน้ารวมถึงนำเสนอในสิ่งที่กำลังทำ (งานของบริษัท เช่น หาบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดบนพื้นผิวของฝาปิดถังโดยใช้ CFD , การทดลองต่าง ๆ ในแล็บ เป็นต้น) ทุกอาทิตย์



เอกสารอ้างอิง

- [1] Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P. and Dewitt, D. P. (2011). **Introduction to heat transfer**. 6th. Jefferson City: R. R. Donnelley
- [2] ThermoWorks. (2022). **Emissivity Table**. เข้าถึงเมื่อ 16 มกราคม 2566. เข้าถึงได้จาก <https://www.thermoworks.com/emissivity-table/>
- [3] ดร. จอมภพ แววศักดิ์. (2559). “พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ”. **บทความวิชาการคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ**.
- [4] Michele Buttazzoni, Constantin Zenz, Andreas Otto, Rodrigo Gómez Vázquez, Gerhard Liedl, and Jorge Luis Arias. (2021). “A Numerical Investigation of the Laser Beam Welding of Stainless Steel Sheets with a Gap”. **Applied Sciences** 11, 6: 2549.
- [5] Hoon Lee, and Kyeong O. Lee. (2014). “Multi-layered mesh generation and user subroutine development based on an Eulerian-Eulerian approach for soot filtration visualization in a three-dimensional particulate filter model”. **International Journal of Engine Research** 15, 8: 980-992.
- [6] Timilehin Martins Oyinloye, and Won Byong Yoon. (2021). “Application of Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulation for the Effective Design of Food 3D Printing”. **Processes** 9, 11: 1867.
- [7] Antoine Morel. (2020). “CFD ANALYSIS of STRATIFICATION and LOSSES 15L AS PLASTIC MOLDED CUBIC ELECTRIC WATER HEATERS”. **Report of Groupe Atlantic**.
- [8] Engineering ToolBox. (2003). **Water - Density, Specific Weight and Thermal Expansion Coefficients**. เข้าถึงเมื่อ 16 มีนาคม 2566. เข้าถึงได้จาก https://www.engineeringtoolbox.com/water-density-specific-weight-d_595.html.
- [9] Engineering ToolBox. (2004). **Water - Specific Heat vs. Temperature**. เข้าถึงเมื่อ 16 มีนาคม 2566. เข้าถึงได้จาก https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-water-d_660.html.
- [10] SAWHA. (2019). “Work Instruction VN Energy test TCVN7898:2018”. **Work Instruction of Groupe Atlantic**.

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นายธนากร จำปาวงษ์
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 4 สิงหาคม พ.ศ. 2544
ภูมิลำเนา จังหวัดสมุทรปราการ
ที่อยู่ 91/11 หมู่ 6 ตำบลบางเมืองใหม่ อำเภอเมือง
จังหวัดสมุทรปราการ 10270
E-mail FishCan025@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2562 จากโรงเรียนสตรีสมุทรปราการ

- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงานและสหกิจศึกษาที่ บริษัท เอส เอ็น ซี แอตแลนติก วอเตอร์ ฮีตเตอร์ เอเชีย จำกัด จังหวัดระยอง แผนกวิจัยและพัฒนา ปี พ.ศ. 2565