

การพัฒนาแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสำหรับถังปั่นกววนแบบไม่
บัฟเฟอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยใบปั่นกววนชนิด Rushton turbine



ณัฐนันท์ สุขสวัสดิ์
พรพรหม วัฒนสุขนนท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสำหรับกังป่นกวนแบบไม่
บัฟเฟอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยใบป่นกวนชนิด Rushton turbine



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS MODELLING FOR UNBAFFLED
STIRRED TANK DRIVEN BY RUSHTON TURBINE



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2023


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

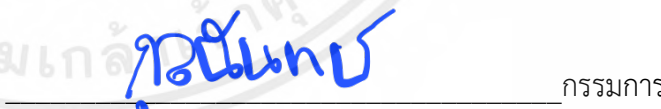
ปริญญาานิพนธ์ การพัฒนาแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสำหรับถังปั่นกววนแบบ
ไม่มีปั๊มเฟอร์ ที่ขับเคลื่อนด้วยใบปั่นกววนชนิด Rushton turbine
โดย ณัฐนันท์ สุขสวัสดิ์
 พรพรหม วัฒนสุขนนท์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์
ปริญญาานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์


ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์)


กรรมการ
(ดร.นริศรา ทองบุญชู)


กรรมการ
(รศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาโท	การพัฒนาแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสำหรับกังหันแบบไม่มีบัพเฟอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยใบกังหันชนิด Rushton turbine		
นักศึกษา	ณัฐนันท์	สุชสวัสดิ์	รหัสนักศึกษา 63010322
	พรพรหม	วัฒนสุชนนท์	รหัสนักศึกษา 63010642
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี		
ปีการศึกษา	2566		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สันติ	วัฒนานุสรณ์	

บทคัดย่อ

กังหันถูกใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเคมีสำหรับการผสมของไหล การปรับปรุงการถ่ายโอนความร้อน การแขวนลอยของแข็ง ฯลฯ การประยุกต์ของกังหันเหล่านี้กระตุ้นให้นักวิจัยจำนวนมากศึกษาอุปกรณ์นี้ด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (computational fluid dynamics, CFD) อย่างไรก็ตาม การประมาณขนาดกริดใกล้เคียงสำหรับการจำลอง CFD ของกังหันไม่สามารถหาได้ ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้ การประมาณขนาดกริดใกล้เคียงถูกพัฒนาด้วยนิยามของระยะทางจากผนังไร้หน่วย (y^+) นอกจากนี้ แบบจำลอง CFD ที่เหมาะสมสำหรับการทำนายตัวเลขกำลัง (Power number) ของกังหันแบบไม่มีติดตั้ง baffle ที่ขับเคลื่อนด้วยใบกังหันแบบ Rushton ถูกศึกษาด้วยการพิจารณาแบบจำลองความปั่นป่วน k-epsilon แบบ realizable และ renormalization group ที่มีและไม่มี การปรับแก้ความโค้ง (curvature correction) ฟังก์ชันผนังแบบ scalable และ standard ถูกประยุกต์เพื่อหาค่าการจำลอง CFD ของกังหันที่ไม่มีติดตั้ง baffle ที่เหมาะสมอีกด้วย โดเมนการคำนวณถูกลดความซับซ้อนเป็น $1/6$ ของกังหัน ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number) สำหรับทุกการจำลอง CFD คือ 20,000 ระเบียบวิธีคู่ความดัน-ความเร็วคือ SIMPLE PRESTO! ถูกนำมาใช้ในรูปแบบการประมาณความดัน รูปแบบการแยกสำหรับโมเมนตัมและปริมาณความปั่นป่วนคือ QUICK แบบจำลอง CFD ที่พัฒนาด้วยความละเอียดของกริดที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ซึ่งประกอบไปด้วย 47,820 92,830 และ 209,984 เซลล์ ถูกจำลองเพื่อให้ได้กริดที่เป็นอิสระต่อผลเฉลย (grid independent solutions) สำหรับการพิสูจน์แบบจำลอง (model validation) ตัวเลขกำลังที่ถูกจำลองด้วยกริดที่ละเอียดที่สุดสอดคล้องกับข้อมูลที่วัดก่อนหน้า จากการจำลอง CFD นี้ ผลลัพธ์บ่งชี้ว่า การประมาณขนาดกริดใกล้เคียงสามารถประยุกต์สำหรับการสร้างกริดของแบบจำลอง CFD ของกังหันที่ไม่มีติดตั้ง baffle นอกจากนี้ แบบจำลอง CFD ที่พัฒนาด้วยแบบจำลอง k-epsilon แบบ realizable กับการปรับแก้ความโค้งและฟังก์ชันผนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ scalable เหมาะสำหรับการจำลองกังป่นกวนแบบไม่ติดตั้ง baffle ที่ขับเคลื่อนด้วยใบกวน
แบบ Rushton



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS MODELLING FOR UNBAFFLED STIRRED TANK DRIVEN BY RUSHTON TURBINE		
Student	Natthanan Suksawat	Student ID	63010322
	Pornprom Watthanasuknon	Student ID	63010642
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Chemical Engineering		
Year	2023		
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Santi Wattananusorn		

Abstract

Stirred tanks are widely used in chemical industries for fluid mixing, heat transfer improvement, solid suspension, etc. These various applications of the stirred tank encourage many researchers to study this device by computational fluid dynamics (CFD). However, the near-wall grid size estimation for the stirred tank CFD simulation is unavailable. Therefore, in this thesis, the near-wall grid size estimation was developed by the definition of the dimensionless wall distance (y^+). Further, the appropriate CFD model for predicting the power number of the unbaffled stirred tank driven by Rushton turbine was studied by considering realizable and renormalization group k-epsilon turbulence models with and without curvature correction. The scalable and standard wall functions were also applied to investigate the suitable unbaffled stirred tank CFD simulation. The computational domain was simplified to be 1/6 of the stirred tank. The Reynolds number for all CFD simulations was 20,000. The pressure-velocity coupling algorithm was SIMPLE. PRESTO! was used as the pressure interpolation scheme. The discretization schemes for momentum and turbulence quantities were QUICK. The CFD models developed by three different grid resolutions, including 47,820, 92,830, and 209,984 cells, were simulated to obtain grid independent solutions. For model validation, the power number simulated by finest grid level agreed well with the previous measured data. According to the present CFD simulations, the results indicated that the present near-wall grid size estimation can be applied for grid generation of the unbaffled stirred tank CFD model. Moreover, the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CFD model developed by realizable k-epsilon model with curvature correction and scalable wall functions was proper for simulating the unbaffled stirred tank driven by Rushton turbine.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยความอนุเคราะห์จาก อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์ ที่ให้ความรู้ในด้านทฤษฎี ไม่ว่าจะเป็นเรื่องกลศาสตร์ของไหล หลักการทำงานของถัง ปั่นกวน พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำในการแก้ไขปัญหาและ ข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ คณะผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริง จึงขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.เอกราช บำรุงไทยชัยชาญ ที่ให้ความรู้ทั้งในเรื่องของทฤษฎี เรื่อง พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ การใช้โปรแกรมต่างๆ ทั้ง ANSYS GAMBIT และ ANSYS FLUENT กกับการประยุกต์ในการจำลองการไหลภายในถังปั่นกวนแบบไม่มีบัพเพอร์ อีกทั้งยังเป็นผู้ชี้แนะการ แก้ไขปัญหาและข้อบกพร่องในการทำวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ในห้องวิจัยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ที่คอยให้ความ ช่วยเหลือ สนับสนุน และให้คำแนะนำในเรื่องพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ รวมไปถึงเพื่อนๆ ใน ภาควิชาวิศวกรรมเคมีที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้และอบรมสั่งสอน ขอขอบพระคุณบิดา และมารดา ที่คอยให้คำแนะนำและกำลังใจตลอดการทำวิจัยฉบับนี้ และขอขอบคุณภาควิชา วิศวกรรมเคมีที่อำนวยความสะดวกในด้านสถานที่ปฏิบัติการในการทำวิจัยครั้งนี้จนประสบ ความสำเร็จลุล่วงด้วยดี หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขอน้อมรับและขอภัยมา ณ ที่นี้

ณัฐนันท์ สุขสวัสดิ์
พรพรหม วัฒนสุขนนท์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
Abstract	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป	IX
สัญลักษณ์	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics: CFD).....	3
2.2 ถังปั่นกวน (Stirred tank).....	5
2.3 สมการควบคุม (Governing Equations).....	7
2.4 ระเบียบเชิงตัวเลขในโปรแกรม ANSYS FLUENT.....	8
2.5 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow).....	9
2.6 สมการนาเวียร์-สโตกส์เฉลี่ยเรย์โนลด์ (Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations: RANS).....	10
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	15
3.1 ระบบที่ทำการศึกษา.....	15
3.2 การสร้างแบบจำลอง	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การแบ่งโดเมนและการสร้างกริด	16
3.4 การศึกษาความเป็นอิสระของกริด	19
3.5 สมมติฐานสำหรับการสร้างแบบจำลอง	19
3.6 การจำลองการไหลในถังปั่นกววน	20
3.7 การเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลองงานวิจัยของ Scargiali และคณะ	22
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	23
4.1 การศึกษาผลเฉลยของกริดอิสระ (Grid Independence)	23
4.2 แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulence model)	24
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	33
5.1 สรุปผลการทดลอง	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	35
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก	37
ภาคผนวก ก.	38
ภาคผนวก ข.	65
ภาคผนวก ค.	92
ภาคผนวก ง.	118
ภาคผนวก จ.	144
ภาคผนวก ฉ.	153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนของแบบจำลอง	16
ตารางที่ 3.2 การแบ่งสภาวะขอบเขตของแบบจำลอง	17
ตารางที่ 3.3 การแบ่งสภาวะขอบเขตของแบบจำลอง (ต่อ).....	18
ตารางที่ 3.4 จำนวนของกริดตามความละเอียดของกริด	19
ตารางที่ 3.5 สมบัติของของไหล	20
ตารางที่ 3.6 สภาวะขอบเขตของแบบจำลอง.....	20
ตารางที่ 3.7 การกำหนดสภาวะของโซน.....	20
ตารางที่ 3.8 แบบจำลองและฟังก์ชันผนัง	21
ตารางที่ 3.9 ระเบียบเชิงตัวเลขที่ใช้ในการจำลอง.....	21
ตารางที่ 4.1 ตัวเลขกำลังที่คำนวณได้ในแต่ละความละเอียดของกริด	23
ตารางที่ 4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการเปรียบเทียบความละเอียดของกริด.....	24
ตารางที่ 4.3 ผลของการคำนวณตัวเลขกำลังที่ได้จากผลการจำลอง	24
ตารางที่ 4.4 ผลของการคำนวณตัวเลขกำลังที่ได้จากผลการจำลอง (ต่อ).....	25

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	แบบจำลองการไหลแบบ 2 มิติของกังป่นกวนขับเคลื่อนด้วยใบพัดชนิด Rushton turbine (ข) แสดงรูปแบบการไหลแบบสังเขปของกังป่นกวน	5
รูปที่ 2.2	ลักษณะการไหลของของไหลที่มีค่า Re อยู่ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ที่กระทำต่อใบพัด	6
รูปที่ 2.3	ลักษณะการไหลของของไหลที่มีค่า Re อยู่ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ที่กระทำต่อใบพัด (ก) ความเร็วในแนวรัศมี (ข) ความเร็วตามแนวแกนตามแนวแกน.....	6
รูปที่ 3.1	อัตราส่วนของถังผสม.....	15
รูปที่ 3.2	(ก) ส่วนของแบบจำลองแบบเต็ม (ข) แสดงส่วนของแบบจำลองแบบ 1 ใน 6 ส่วน.....	16
รูปที่ 3.3	การแบ่งโดเมนของแบบจำลอง	17
รูปที่ 3.4	(ก) แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองของการทดลอง (ข) แบบจำลองที่ถูกสร้างกริดแล้ว (ค) แบบจำลองที่ถูกแบ่งโซนการไหล.....	17
รูปที่ 3.5	ผลการทดลองจากงานวิจัยของ Scargiali และคณะ เปรียบเทียบค่าตัวเลขกำลัง และค่า เรย์โนลด์.....	22
รูปที่ 4.1	คอนทัวร์ขนาดความเร็ว Velocity magnitude ของแบบจำลองที่เลือก Curvature correction (ก) แบบจำลองชนิด Realizable k- ϵ (ข) แบบจำลองชนิด RNG k- ϵ	27
รูปที่ 4.2	คอนทัวร์ขนาดความเร็ว Velocity magnitude ของแบบจำลองที่ไม่เลือก Curvature correction (ก) แบบจำลองชนิด Realizable k- ϵ (ข) แบบจำลองชนิด RNG k- ϵ	29
รูปที่ 4.3	คอนทัวร์ค่า y^+ ของแบบจำลองที่กำหนดแบบจำลองความปั่นป่วนด้วย Realizable k- ϵ model และเลือก Curvature correction (ก) Scalable wall function (ข) Standard wall function.....	32

สัญลักษณ์

N	ความเร็วรอบในการหมุน
D	เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด
ρ	ความหนาแน่น
t	เวลา
U	เวกเตอร์ความเร็วของของไหล และความเร็วเฉลี่ย
p	ความดัน
τ	ความเค้นเฉือน
S_{Mx}, S_{My}, S_{Mz}	ทอมของแหล่งกำเนิดโมเมนตัม
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน
S_E	ทอมของแหล่งกำเนิดพลังงาน
$\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$	องค์ประกอบความเร็วเฉลี่ย
\bar{p}	ความดันเฉลี่ย
Φ_{ij}	Liner Pressure-Strain Model
μ	ความหนืดพลวัต
τ_w	ความเค้นเฉือนที่ผนัง
y_p	The absolute distance from the wall
C_f	Skin friction coefficient

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

กังป่นกวนผสมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมเคมีและการผลิต เพื่อให้อุณหภูมิของแข็งเกิดการแขวนลอย ทำให้เกิดการผสมกันระหว่างของเหลว 2 ชนิดขึ้นไป ทำให้เกิดอิมัลชันสำหรับของเหลวที่ไม่ละลายกัน ทำให้เกิดการกระจายตัวของแก๊สในของเหลว และมีช่วยในกระบวนการถ่ายเทความร้อน เป็นต้น ลักษณะการไหลภายในกังป่นกวนเกิดจากการหมุนของใบพัดกวน สามารถแบ่งได้เป็น 3 ทิศทาง คือ ความเร็วในแนวรัศมี (Radial velocity) ความเร็วในแนวแกน (Axial velocity) และความเร็วที่จุดสัมผัสเส้นรอบวงของแนวหมุน (Tangential velocity) โดยผลรวมขององค์ประกอบความเร็วย่อยทั้ง 3 นี้ จะส่งผลต่อรูปแบบการไหลของของไหลภายในกังป่นกวน

การศึกษาการจำลองการไหลภายในกังป่นกวนแบบไม่มีบัฟเฟอร์สามารถศึกษาได้ 3 วิธี คือ วิธีเชิงทฤษฎี (Theoretical) วิธีการทดลอง (Experimental) และวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational fluid dynamic, CFD) ที่นำมาใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหล การถ่ายเทความร้อน การแพร่กระจายของอนุภาค การเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ และเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาภาคอุตสาหกรรม ซึ่งการใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการศึกษาเนื่องจากให้ผลลัพธ์ในการจำลองการไหลที่แม่นยำและน่าเชื่อถือ ทำให้สามารถเห็นภาพของปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการไหลได้ดียิ่งขึ้น และยังช่วยประหยัดเวลากับค่าใช้จ่ายในการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับกังป่นกวนแบบไม่มีบัฟเฟอร์ขับเคลื่อนด้วยใบพัด Rushton turbine และพัฒนาวิธีการประมาณค่ากริดของกังป่นกวนแบบไม่มีบัฟเฟอร์จากวิธีการประมาณค่ากริดใกล้เคียงนั้น โดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational fluid dynamic, CFD) มาช่วยในการจำลอง โดยใช้โปรแกรม ANSYS Gambit version 2.4.6 สร้างแบบจำลองและกริดของกังป่นกวนและใช้โปรแกรม ANSYS Fluent version 14.5 จำลองการไหลภายในกังป่นกวน ซึ่งการเข้าใจถึงลักษณะการไหลภายในกังป่นกวนเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการผสม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับกังหันแบบไม่มีใบพัดขับเคลื่อนด้วย ใบพัดชนิด Rushton turbine
2. เพื่อพัฒนาวิธีการประมาณค่ากริดของกังหันแบบไม่มีใบพัด จากวิธีการประมาณค่ากริดใกล้เคียงของกังหัน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาการจำลองการไหลภายในกังหันแบบไม่มีใบพัด ขับเคลื่อนด้วยใบพัดชนิด Rushton turbine และ กังหันที่มีแผ่นโลหะปิดด้านบนเพื่อป้องกันการเกิดวอร์เท็กซ์
2. สร้างแบบจำลองและกริดของกังหันด้วยโปรแกรม ANSYS Gambit version 2.4.6 และทำการจำลองการไหลภายในกังหันด้วยโปรแกรม ANSYS Fluent version 14.5
3. ศึกษาและเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลของตัวเลขกำลังจากข้อมูลของ Raul Alcamo
4. ศึกษาและเปรียบเทียบผลการจำลองของตัวเลขกำลังจากการใช้แบบจำลองความปั่นป่วน Realizable k- ϵ และ RNG k- ϵ
5. ศึกษาและเปรียบเทียบผลการจำลองของตัวเลขกำลังจากการใช้ฟังก์ชันผนังแบบ Scalable wall functions และ Standard wall functions
6. ศึกษาและเปรียบเทียบผลการจำลองของตัวเลขกำลังจากการใช้ Curvature correction และไม่ใช่ Curvature correction

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจในเทคนิคการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ
2. มีความเข้าใจกระบวนการไหลของของไหลภายในกังหันแบบไม่มีใบพัด
3. ได้วิธีการประมาณขนาดของกริดที่ผนังภายในกังหันแบบไม่มีใบพัด
4. สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาไปปรับใช้หรือแก้ไขในงานวิจัยในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics: CFD)

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ชนิดหนึ่งซึ่งเป็นการรวมกันของ พลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics) วิธีการเชิงตัวเลข (Numerical Method) และวิทยาการ คอมพิวเตอร์ เพื่อทำการศึกษารวบรวมปรากฏการณ์การไหลต่างๆของของไหลซึ่งหมายความว่า พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเป็นเครื่องมือที่ใช้แก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) ของการไหลของของไหลโดยใช้วิธีการเชิงตัวเลขและอัลกอริทึม ในปัจจุบันพลศาสตร์ของ ไหลเชิงคำนวณ เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมที่เป็นที่นิยมและได้รับการยอมรับอย่าง กว้างขวาง เนื่องจากมันให้ผลลัพธ์จำนวนมากแต่มีต้นทุนในการดำเนินการที่ไม่แพง และยังทำให้เกิด ความเข้าใจในปรากฏการณ์การไหลต่างๆได้อย่างชัดเจนนอกจากนี้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณยัง สามารถนำไปศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาของการถ่ายเทความร้อนและปฏิกิริยาเคมีได้ ตัวอย่างของ การใช้งานมีดังนี้ ในงานวิศวกรรมการบินใช้เพื่อการทำนายแรงยกและแรงลากสำหรับเครื่องบิน ใน งานวิศวกรรมเคมีใช้เพื่อการทำนายการไหลของของไหลในอุปกรณ์เคมีต่างๆ และวิศวกรรมโยธาใช้ เพื่อศึกษาการไหลของของไหลผ่านตัวอาคาร เป็นต้น พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ กระบวนการก่อนการประมวลผลกระบวนการคำนวณ และกระบวนการหลังการ ประมวลผล โดยสามารถอธิบายรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆได้ดังต่อไปนี้ [7]

2.1.1 ขั้นตอนการเตรียมการก่อนการคำนวณ (Pre-processor)

ขั้นตอนนี้เป็นการบ่อนปัญหาการไหลของของไหลให้กับโปรแกรมการคำนวณ ประกอบด้วย

1. กำหนดรูปร่างขอบเขต หรือ บริเวณของปัญหาที่ต้องการคำนวณ (Computational domain)
2. การสร้างกริด (Grid) การแบ่งขอบเขตของปัญหาออกเป็นส่วนเล็กๆ
3. การเลือกสมการอธิบายปรากฏการณ์ทางกายภาพและเคมี
4. การนิยามสมบัติของของไหล

2.1.2 กระบวนการคำนวณเพื่อหาผลเฉลย (Solver)

ขั้นตอนนี้เป็นการคำนวณโดยใช้เทคนิคการหาคำตอบเชิงตัวเลข ซึ่งประกอบไปด้วยวิธี ผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method, FDM) วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element

Method, FEM) และวิธีไฟไนต์วอลุ่ม (Finite Volume Method, FVM) โดยหลักการพื้นฐานของวิธีที่กล่าวมามีดังนี้

1. การประมาณค่าพารามิเตอร์ของการไหลที่ต้องการหาคำตอบด้วยฟังก์ชันอย่างง่าย
2. แทนค่าตัวแปรที่ประมาณไว้ในสมการควบคุมการไหล
3. เปลี่ยนสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยในการไหลของของไหล ให้อยู่ในรูปของสมการพีชคณิต (Algebraic equation) ด้วยวิธีเชิงตัวเลข โดยขั้นตอนนี้จะเรียกว่า ดิสครีตไทเซชัน (Discretization) ด้วยการแทนค่าลงในสมการควบคุมและจัดรูปสมการใหม่
4. แก้สมการพีชคณิต เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในเชิงตัวเลข
5. หาคำตอบของสมการพีชคณิต

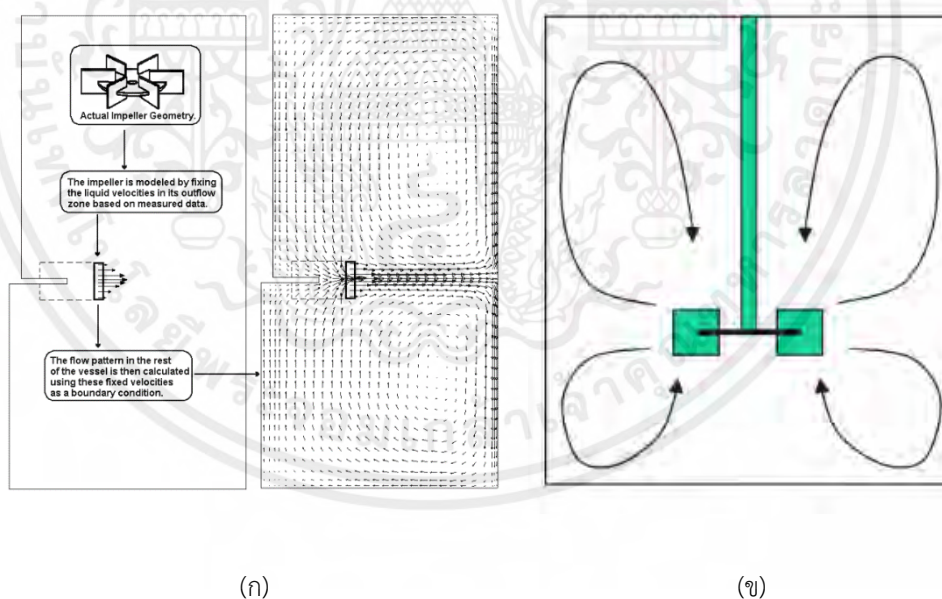
2.1.3 กระบวนการหลังการประมวลผล (Post-processing)

ขั้นตอนหลังการประมวลผล เป็นกระบวนการแสดงผลจากการแก้ปัญหาเชิงตัวเลข ผลลัพธ์ที่เป็นจำนวนตัวเลขสามารถแสดงในรูปแบบต่างๆได้ อาทิเช่น รูปทรงโดเมนและ แสดงกริด กราฟ เวกเตอร์ คอนทัวร์ การพล็อตพื้นผิว 2 มิติและ 3 มิติ เป็นต้น

2.2 ถังปั่นกวน (Stirred tank)

กระบวนการผสมสามารถเกิดได้จากหลายกลไก เช่น วิธีการปั่นกวน วิธีการพ่นฟองแก๊ส (sparging) วิธีการไหลผ่านแผ่นกั้น (static flow) ซึ่งวิธีการปั่นกวนในถังผสมนั้นเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสูงสุด ถังกวนมักประกอบด้วย ใบพัดที่ติดตั้งอยู่บนเพลาหรือแกนหมุน (shaft) และสามารถเพิ่มแผ่นกั้น (baffles) และอุปกรณ์ภายในอื่น ๆ ได้ เช่น ตัวกระจายแก๊ส ขดลวด และท่อร่าง เป็นต้น

ใบพัดที่ใช้ในงานในถังผสมมีหลายชนิดตามการใช้งานที่หลากหลาย เช่น ใบพัดที่เหมาะสมกับสารที่มีความหนืดสูง รอบในการหมุนน้อย ใบพัดที่เหมาะสมกับการผสมของแข็ง เป็นต้น ซึ่งในการจำลองนี้ใช้งานใบพัดแบบ Rushton 6 ใบพัด (Six blade Rushton turbine) เป็นใบพัดแนวแกนรัศมี มีอัตราแรงเฉือนสูงเพราะมุมการเข้าปะทะของใบพัดต่อของไหล ความเร็วรอบที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 100-300 รอบ/นาที และไม่ต้องใช้ถังผสมที่สูงแบบใบพัดที่พัดในแนวแกน จากการจำลองการไหล 2 มิติ ของถังผสมใบพัดแบบรัศมี 6 ใบพัด (Six blade Rushton turbine) แสดงได้ดัง รูปที่ 2.1 (ก) จะสังเกตเห็นว่าของไหลเข้าสู่ใบพัดจากด้านบนและด้านล่าง และถูกพัดออกในแนวแกนรัศมี ลักษณะของของไหลจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ด้วยการปั่นกวนจากใบพัดแสดงรูปแบบการไหลพอสังเขป ดังรูปที่ 2.2 (ข)

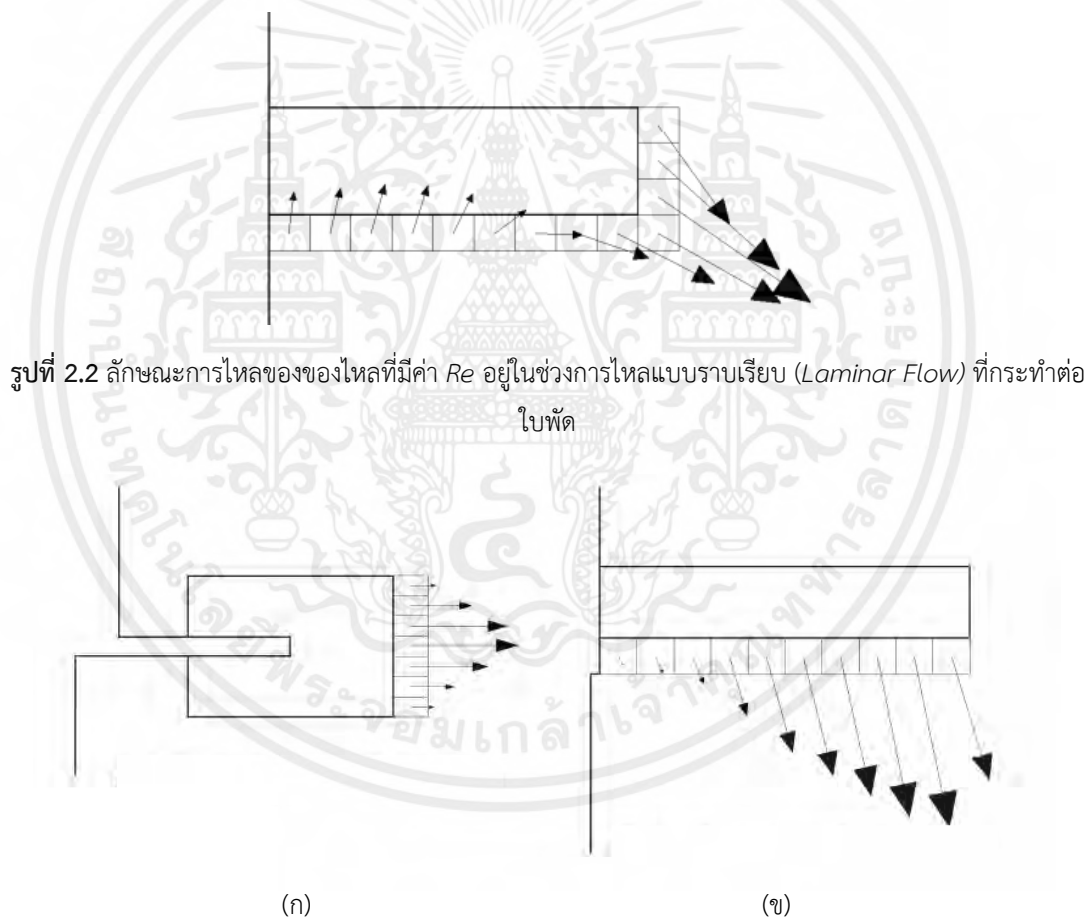


รูปที่ 2.1 แบบจำลองการไหลแบบ 2 มิติของถังปั่นกวนขับเคลื่อนด้วยใบพัดชนิด Rushton turbine (ข) แสดงรูปแบบการไหลแบบสังเขปของถังปั่นกวน

โดยของไหลที่มีค่าตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วงแบบราบเรียบ (Laminar) ของไหลจะถูกพัดทั้งในแนวแกนและแนวรัศมีร่วมกัน ดังรูปที่ 2.2.2 ส่วนของไหลที่มีค่าตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วงแบบปั่นป่วน (Turbulent) ของไหลจะพัดในแนวแกนและแนวรัศมีแยกกัน ดังรูปที่ 2.2.3 โดยค่า Re ของถึงผสมสามารถคิดได้ดังสมการ 2.1 ซึ่งแตกต่างจาก Re ของของไหลในท่อหรือของไหลทั่วไป

$$Re = \frac{ND^2\rho}{\mu} \quad (2.1)$$

เมื่อ	N	คือ ความเร็วรอบในการหมุน (rps)
	D	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (m)
	ρ	คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
	μ	คือ ค่าความหนืดพลวัต (Pa/s)



รูปที่ 2.3 ลักษณะการไหลของของไหลที่มีค่า Re อยู่ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ที่กระทำต่อใบพัด (ก) ความเร็วในแนวรัศมี (ข) ความเร็วตามแนวแกนตามแนวแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สมการควบคุม (Governing Equations)

สมการควบคุมสำหรับของไหลที่มีความหนืดเรียกว่า “Navier-Stokes equations” โดยทั่วไปแล้วการไหลของของไหลจะถูกควบคุมด้วยกฎพื้นฐานทางกายภาพ 3 ข้อ ได้แก่ กฎการอนุรักษ์มวล (Mass conservation law) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน (Newton’s second law of motion) และกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (First law of thermodynamics) กฎพื้นฐานทางกายภาพเหล่านี้ถูกนำมาใช้เปลี่ยนสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยให้เป็นสมการพีชคณิต และสามารถแสดงสมการสำหรับการไหลของของไหลได้ดังนี้

2.3.1 สมการความต่อเนื่อง (Continuity equation)

จากกฎการอนุรักษ์มวลที่กล่าวว่า "มวลไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือถูกทำลายได้" จึงสามารถเขียนสมการความต่อเนื่องหรือสมการอนุรักษ์มวลสำหรับระบบไม่คงตัว (Unsteady state) ของของไหลที่อัดตัวไม่ได้ ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinates) ได้ดังสมการที่ 2.1

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad (2.1)$$

หรือ

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U}) = 0 \quad (2.2)$$

เมื่อ

ρ	คือ ความหนาแน่นของของไหล
t	คือ เวลา
\mathbf{U}	คือ เวกเตอร์ความเร็วของของไหล
u, v, w	คือ องค์ประกอบความเร็วตามแนวแกน x, y, z ตามลำดับ

2.3.2 สมการโมเมนตัม (Momentum equations)

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันระบุว่า "อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของระบบ เท่ากับผลรวมของแรงที่กระทำต่อระบบและมีทิศทางเปลี่ยนแปลงตามผลรวมของแรง" สมการโมเมนตัมในพิกัดคาร์ทีเซียนสามารถแสดงได้ดัง สมการที่ 2.3 ถึงสมการที่ 2.5

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \nabla \cdot (\rho u \mathbf{U}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (2.3)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \nabla \cdot (\rho v \mathbf{U}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (2.4)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t}(\rho w) + \nabla \cdot (\rho w \mathbf{U}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + S_{Mz} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	p	คือ ความดัน
	τ	คือ ความเค้นเฉือน
	S_{Mx}, S_{My}, S_{Mz}	คือ เทอมของแหล่งกำเนิดโมเมนตัมตามแนวแกน x,y,z

2.3.3 สมการพลังงาน (Energy equation)

สมการพลังงานจะได้มาจากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ซึ่งระบุว่า "อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานของระบบจะเท่ากับอัตราเพิ่มความร้อนให้กับระบบบวกกับอัตราการทำงานที่ทำโดยระบบ" แสดงสมการพลังงานในรูปของผลรวมพลังงาน E ในพิกัดคาร์ทีเซียน สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.6

$$\rho \frac{DE}{Dt} = -\frac{\partial(up)}{\partial x} - \frac{\partial(vp)}{\partial y} - \frac{\partial(wp)}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial(w\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z} + S_E \quad (2.6)$$

เมื่อ	E	คือ พลังงานภายในและพลังงานจลน์
	k	คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน
	T	คือ อุณหภูมิ
	S_E	คือ แหล่งพลังงานอื่นๆ (Energy source terms)

2.4 ระเบียบเชิงตัวเลขในโปรแกรม ANSYS FLUENT

2.4.1 ระเบียบเชิงตัวเลขในโปรแกรม ANSYS FLUENT

ระเบียบวิธี Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations (SIMPLE) ระเบียบวิธีนี้เป็นการคำนวณสนามความดันและสนามความเร็วภายในการจำลอง ด้วยการเริ่มต้นเดาค่าความดันแล้วนำไปคำนวณในสมการโมเมนตัม หลังจากนั้นจะนำไปแทนค่าในสมการควบคุมการไหลอื่นๆ หากคำตอบของสนามการไหลที่ได้จากการคำนวณไม่ลู่อู่เข้า ระเบียบวิธีจะวนซ้ำกลับไปเดาค่าความดันเพื่อคำนวณใหม่ [8]

ระเบียบวิธี Quadratic Upstream Interpolation for Convective Kinematics (QUICK) เป็นระเบียบวิธีที่ใช้ในการประมาณค่าสนามต่างๆ ที่บริเวณขอบของกริด โดยระเบียบวิธีนี้ให้ความแม่นยำของคำตอบที่สูงเหมาะสมสำหรับกริดที่มีลักษณะเป็นทรงหกหน้า

ระเบียบวิธี Least-Squares Cell-Based เป็นระเบียบวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณเกรเดียนต์ของคำตอบที่คำนวณได้ตรงกลางของกริด ระเบียบวิธีนี้ใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์น้อยและให้คำตอบที่แม่นยำที่สุด

ระเบียบวิธี PREssure Staggering Option (PRESTO!) เป็นระเบียบวิธีในการประมาณค่าความดันที่บริเวณขอบของกริด ระเบียบวิธีนี้เหมาะสำหรับการจำลองการไหลที่ภายในโดเมนมีการหมุนเหวี่ยงรุนแรง ลักษณะการไหลมีความซับซ้อน เช่น การจำลองการไหลภายในไซโคลน เป็นต้น

2.5 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

ลักษณะการไหลสามารถแบ่งเป็น 3 แบบ ตามช่วงของค่าตัวเลขเรย์โนลด์ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของ แรงเฉื่อย (Inertia force) และแรงเนื่องจากความหนืด (Viscous force) ประกอบไปด้วยการไหล 3 รูปแบบ คือ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar) การไหลแบบทรานซิชัน (Transition) ซึ่งเป็นช่วงการเปลี่ยนรูปแบบการไหลจากราบเรียบเป็นแบบปั่นป่วน และรูปแบบสุดท้ายการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence) เกิดจากมีการรบกวนระบบของการไหล ทำให้เกิดการไหลที่ยุ่งเหยิง และไม่มีแบบแผน (Random) การรบกวนนั้นอาจเกิดจากการไหลของของไหลเองหรือพื้นผิวที่ขรุขระ (Roughness)

การเกิดการไหลแบบปั่นป่วนขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของแรงเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืด ซึ่งถูกแสดงในรูปของค่า Re โดยธรรมชาติการรบกวนระบบจะค่อยๆ ลดลงและค่อยๆ สลาย ส่งผลให้การไหลกลับสู่การไหลแบบราบเรียบอย่างเดิม การไหลที่ Re สูงๆ ค่าความเฉื่อยจะขยายตัวแปรการรบกวน และเปลี่ยนไปเป็นการเกิดการปั่นป่วน การเคลื่อนที่จะเป็นแบบไม่คงตัว (Unsteady) แม้ว่าสถานะขอบเขตจะคงที่ ความเร็วและคุณสมบัติการไหลอื่นๆ จะมีทิศทางที่ยุ่งเหยิง (Chaotic) และไม่มีแบบแผน (Random) แสดงตัวอย่างการวัดความเร็วของไหลแบบปั่นป่วนซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา ค่าที่ผันผวนยากต่อการคำนวณจึงจำเป็นต้องจำลองความเร็วจริงที่เกิดขึ้น คือ ค่าความเร็วผันผวน ($U'(t)$) เมื่อบวกกับค่าความเร็วเฉลี่ย (\bar{U}) จะได้ค่าความเร็วที่เกิดขึ้นดังสมการที่ 2.7

$$U(t) = \bar{U} + U'(t) \quad (2.7)$$

โดยทั่วไปมี 3 วิธีการในการแก้ปัญหการไหลแบบปั่นป่วน ขั้นแรกเป็นการจำลองเชิงตัวเลขโดยตรง (Direct Numerical Simulation: DNS) จะแก้ไขขนาดกระแสไหลวนแบบปั่นป่วนทั้งหมดโดยตรง อย่างไรก็ตาม DNS ต้องการสิ่งที่มีสมรรถภาพสูงในการคำนวณเนื่องจากขนาดกริดที่เล็ก เช่น ซูเปอร์คอมพิวเตอร์ (Supercomputer) ดังนั้น เพื่อลดความต้องการนี้ กระแสไหลวนขนาดใหญ่ จะได้รับการแก้ไขในขณะที่สร้างแบบจำลองกระแสไหลวนขนาดเล็กเท่านั้น วิธีที่สองเรียกว่า "การจำลองกระแสไหลวนขนาดใหญ่ (Large Eddy Simulation: LES) ในด้านการใช้งานทางวิศวกรรมจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาเฉพาะผลกระทบของความผันผวนแบบปั่นป่วนจะไม่ได้รับการแก้ไข วิธีสุดท้ายเรียกว่า "สมการนาเวียร์-สโตกส์เฉลี่ยของเรย์โนลด์ (Reynolds-averaged Navier-Stokes equations: RANS)" หรือ "สมการนาเวียร์-สโตกส์เฉลี่ยเวลา (Time averaged Navier-Stokes equations) [2]

2.6 สมการนาเวียร์-สโตกส์เฉลี่ยเรย์โนลด์ (Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations: RANS)

การไหลแบบปั่นป่วนสามารถคำนวณด้วย คุณสมบัติการไหลฉับพลัน (ϕ) (Instantaneous Flow Property) ซึ่งเป็นผลรวมของคุณสมบัติของไหลเฉลี่ยตามเวลา ($\bar{\phi}$) (Time-averaged Flow Property) และคุณสมบัติของของไหลผันผวน (ϕ') (Fluctuating Flow Property) แสดงดังสมการที่ 2.8

$$\phi(t) = \bar{\phi} + \phi'(t) \quad (2.8)$$

ซึ่งนิยามของเวลาเฉลี่ยของคุณสมบัติการไหล ($\bar{\phi}$) และเวลาเฉลี่ยของคุณสมบัติการไหลแกว่ง (ϕ') แสดงได้ดังสมการที่ 2.9-2.10

$$\bar{\phi} = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \phi(t) dt \quad (2.9)$$

$$\bar{\phi}' = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \phi'(t) dt \quad (2.10)$$

การแยกเรย์โนลด์ (Reynolds Decomposition) ของความดัน เวกเตอร์ความเร็วและความเร็วในแนวแกน x y และ z สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.9-2.10

$$p(t) = \bar{p} + p'(t) \quad (2.11)$$

$$U(t) = \bar{U} + U'(t) \quad (2.12)$$

$$u(t) = \bar{u} + u'(t) \quad (2.13)$$

$$v(t) = \bar{v} + v'(t) \quad (2.14)$$

$$w(t) = \bar{w} + w'(t) \quad (2.15)$$

การไหลเฉลี่ยที่มีอิทธิพลของการแกว่งสามารถหาได้จากการแทนที่สมการที่ (2.11-2.15)

ลงในสมการควบคุมและใช้นิยามของเวลาเฉลี่ยดังแสดงในสมการที่ (2.11-2.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการความต่อเนื่องสำหรับการไหลเฉลี่ยของของไหลอัดตัวได้แสดงสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \bar{v}) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \bar{w}) = 0 \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \bar{U}) = 0 \quad (2.18)$$

สมการโมเมนตัมสำหรับการไหลเฉลี่ยของของไหลอัดตัวไม่ได้ที่ความหนืดคงที่แสดงสมการได้ดังนี้

แนวแกน x :

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{u}) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \bar{u}^2) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \bar{u} \bar{v}) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \bar{u} \bar{w}) \\ &= -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \\ &+ \left[-\frac{\partial}{\partial x}(\rho \overline{(u')^2}) - \frac{\partial}{\partial y}(\rho \overline{u'v'}) - \frac{\partial}{\partial z}(\rho \overline{u'w'}) \right] + S_{Mx} \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} \text{หรือ} \quad & \frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{u}) + \nabla \cdot (\rho \bar{u} \bar{U}) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \mu \nabla^2 \bar{u} \\ &+ \left[-\frac{\partial}{\partial x}(\rho \overline{(u')^2}) - \frac{\partial}{\partial y}(\rho \overline{u'v'}) - \frac{\partial}{\partial z}(\rho \overline{u'w'}) \right] + S_{Mx} \end{aligned} \quad (2.20)$$

แนวแกน y :

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{v}) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \bar{v} \bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \bar{v}^2) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \bar{v} \bar{w}) \\ &= -\frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \mu \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z^2} \\ &+ \left[-\frac{\partial}{\partial x}(\rho \overline{u'v'}) - \frac{\partial}{\partial y}(\rho \overline{(v')^2}) - \frac{\partial}{\partial z}(\rho \overline{v'w'}) \right] + S_{My} \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} \text{หรือ} \quad & \frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{v}) + \nabla \cdot (\rho \bar{v} \bar{U}) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \mu \nabla^2 \bar{v} \\ &+ \left[-\frac{\partial}{\partial x}(\rho \overline{u'v'}) - \frac{\partial}{\partial y}(\rho \overline{(v')^2}) - \frac{\partial}{\partial z}(\rho \overline{v'w'}) \right] + S_{My} \end{aligned} \quad (2.22)$$

แนวแกน Z :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial t}(\rho\bar{w}) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho\bar{w}\bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho\bar{w}\bar{v}) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho\bar{w}^2) \\
& = -\frac{\partial\bar{p}}{\partial z} + \mu\frac{\partial^2\bar{w}}{\partial x^2} + \mu\frac{\partial^2\bar{w}}{\partial y^2} + \mu\frac{\partial^2\bar{w}}{\partial z^2} \\
& + \left[-\frac{\partial}{\partial x}(\rho\overline{u'w'}) - \frac{\partial}{\partial y}(\rho\overline{v'w'}) - \frac{\partial}{\partial z}(\rho\overline{(w')^2}) \right] + S_{Mz} \quad (2.23)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{หรือ} \quad & \frac{\partial}{\partial t}(\rho\bar{w}) + \nabla \cdot (\rho\bar{w}\bar{U}) = -\frac{\partial\bar{p}}{\partial z} + \mu\nabla^2\bar{w} \\
& + \left[-\frac{\partial}{\partial x}(\rho\overline{u'w'}) - \frac{\partial}{\partial y}(\rho\overline{v'w'}) - \frac{\partial}{\partial z}(\rho\overline{(w')^2}) \right] + S_{Mz} \quad (2.24)
\end{aligned}$$

$$\bar{\tau}_{ij}^{(t)} = -\rho\overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial\bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial\bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3}\rho k\delta_{ij} \quad (2.25)$$

โดยที่ μ_t คือความหนืดปั่นป่วน (Turbulent Viscosity) หรือเรียกว่า ความหนืดหมุนวน (Eddy Viscosity) ซึ่งขึ้นกับตำแหน่งจากความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.25) ดังนั้นจึงเขียนสมการที่ (2.19-2.24) ได้ในรูปของสมการที่ (2.26-2.28) ดังนี้

แนวแกน x:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\bar{u}) + \nabla \cdot (\rho\bar{u}\bar{U}) = -\frac{\partial\bar{p}}{\partial x} + \mu_{eff}\nabla^2\bar{u} + S_{Mx} \quad (2.26)$$

แนวแกน y:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\bar{v}) + \nabla \cdot (\rho\bar{v}\bar{U}) = -\frac{\partial\bar{p}}{\partial y} + \mu_{eff}\nabla^2\bar{v} + S_{My} \quad (2.27)$$

แนวแกน z:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\bar{w}) + \nabla \cdot (\rho\bar{w}\bar{U}) = -\frac{\partial\bar{p}}{\partial z} + \mu_{eff}\nabla^2\bar{w} + S_{Mz} \quad (2.28)$$

โดยที่ μ_{eff} คือค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพความหนืด (Effective Viscosity) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Raul Alcamo และคณะ [1] ได้ทำการสร้างแบบจำลองกังป่นกวนชนิดไม่มีบัพเพอร์ ขับเคลื่อนด้วยใบพัดชนิด Rushton turbine ที่มีรูปแบบไหลแบบปั่นปวน โดยคำนวณผ่านแบบจำลอง large-eddy simulation (LES). ร่วมกับแบบจำลอง Smagorinsky ถูกใช้เพื่อสร้างแบบจำลองที่ยังไม่ถูกแก้ปัญหาค่าหรือขนาดของ Sub-grid โดยใช้ CFD ในการแก้ไขการคำนวณความหนืดของ Sub-grid และ เพื่อการเก็บสถิติเกี่ยวกับผลลัพธ์จากการคำนวณ และได้มีการปรับกริดในบริเวณใกล้ผนัง โดยถูกนำมาเปรียบเทียบกับ ข้อมูลการทดลองซึ่งได้มาจากการวัดความเร็วของภาพอนุภาค

Scargiali และคณะ [2] และคณะได้ทำการทดลองในกังป่นกวนแบบไม่มีบัพเพอร์ เนื่องจากเป็นที่รู้จักและใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่ข้อมูลจากการทดลองของกังป่นกวนยังคงไม่สมบูรณ์ แม้กระทั่งพารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น ความเร็วของใบพัด โดยได้ทำการทดลองเพื่อทำการศึกษาผลกระทบจากการเพิ่มขนาดของกังป่นกวน การปรับเปลี่ยนขนาดของกังป่นกวน การมีฝาปิดและไม่มีฝาปิดที่ด้านบนของกัง ซึ่งจากการทดลองทำให้ทราบว่าในการเพิ่มขนาดกังป่นกวนส่งผลให้การประมาณค่า ตัวเลขกำลัง (Power number) สูงขึ้นเมื่อ ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number) สูงขึ้น เมื่อปรับเปลี่ยนขนาดของกังป่นกวนโดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความสูงของของเหลวในกัง และอัตราส่วนของใบพัดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของกังป่นกวน จะไม่ส่งผลต่อเลขชี้กำลังของตัวเลขกำลังหรือ ตัวเลขเรย์โนลด์และในกรณีของกังป่นกวนที่มีฝาปิดและไม่มีฝาปิดตัวเลขกำลังของกังป่นกวนที่ไม่มีฝาปิดมีค่าใกล้เคียงกับภาชนะที่มีฝาปิด ซึ่งจะนำผลการทดลองมาเพื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการจำลอง

Bumrunghthaichai [9] ได้ทำการศึกษาวิธีการประมาณค่ากริดใกล้ผนังสำหรับการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของแก๊สไซโคลน (Gas cyclone) โดยมีขั้นตอนการประมาณค่ากริดอิสระ คือ กำหนดองค์ประกอบของความเร็ว (Velocity component) และความเร็วเฉลี่ยทั้งหมด (Total average velocities) ที่ส่วนของทรงกระบอก (barrel) และวอร์เท็กซ์ไฟนด์ (Vortex finder) ของแก๊สไซโคลน โดยพิจารณาว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายท่อด้านล่าง (D_c) มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางออกทางตอนบน (D_v) หรือไม่ สำหรับกรณีที่เส้นผ่านศูนย์กลางของปลายท่อด้านล่าง มีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางออกทางตอนบน ทำการกำหนดส่วนประกอบความเร็วและความเร็วเฉลี่ยทั้งหมดในส่วนของกรวยด้วยการใช้พารามิเตอร์ที่ $z_c = h_c$ ส่วนกรณีที่เส้นผ่านศูนย์กลางของปลายท่อด้านล่าง มีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางออกทางตอนบน ทำการกำหนดส่วนประกอบความเร็วและความเร็วเฉลี่ยทั้งหมด ในส่วนของกรวย ด้วยการใส่พารามิเตอร์ที่ตำแหน่งตัวแทน $z_c = 0.75h_o$ ในขั้นตอนถัดมาทำการคำนวณตัวเลข

เรย์โนลด์ ความขรุขระสัมพัทธ์ (Relative roughness) ในส่วนทรงกระบอก ส่วนกรวย และส่วนท่อทางออกทางตอนบนของไซโคลน และหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแบบแฟนนิง (Fanning friction coefficient: f_F) จากนั้นจึงคำนวณ y_p (ระยะห่างจากผนังถึงโหนดการคำนวณของเซลล์ที่อยู่ติดกับผนัง) เพื่อประมาณค่าความสูงของกริดใกล้ผนังในไซโคลนทั้งสามส่วน ซึ่งความสูงของกริดใกล้ผนังมีค่าเท่ากับ $2y_p$



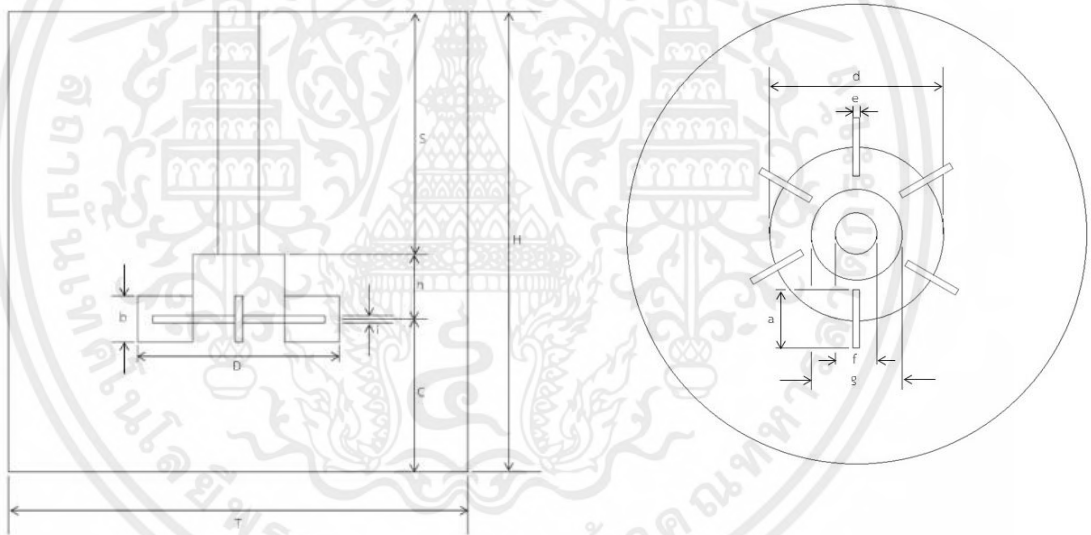
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 ระบบที่ทำการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการศึกษาระบบของถังปั่นกววนแบบไม่มีปั๊มเฟอร์ ที่มีฝาปิดด้านบน ที่ถูกขับเคลื่อนโดยใบพัดแบบ Rushton โดยถังมีเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูง 0.19 เมตร ใบพัดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.095 m แผ่นดิสก์สูงขึ้นจากถัง 0.063 เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.07125 เมตร ใบพัดมีความสูง ความกว้างและความหนาเท่ากับ 0.019 เมตร 0.02375 เมตร และ 0.003 เมตร ดุมมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ 0.0168 เมตร และ 0.038 เมตร โดยดุมมีความสูงเท่ากับ 0.027 เมตร และอับมีความสูง 0.127 เมตร โดยจะมีสัดส่วนของถังปั่นกววนแสดงดัง

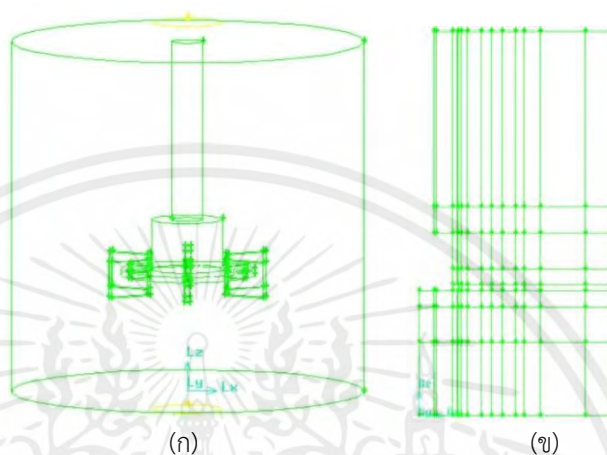


รูปที่ 3.1 อัตราส่วนของถังผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การสร้างแบบจำลอง

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ของถังปั่นกวน ผ่านการใช้โปรแกรม GAMBIT โดยอ้างอิงขนาดและสัดส่วนของถังปั่นกวนจากงานวิจัยของ Raul Alcamo [1] และ Scargiali และคณะ [2] ใน case 6 โดยจะทำการแบ่งชิ้นส่วนของแบบจำลองออกเป็น 1 ใน 6 เพื่อใช้ในการจำลองการไหล



รูปที่ 3.2 (ก) ส่วนของแบบจำลองแบบเต็ม (ข) แสดงส่วนของแบบจำลองแบบ 1 ใน 6 ส่วน

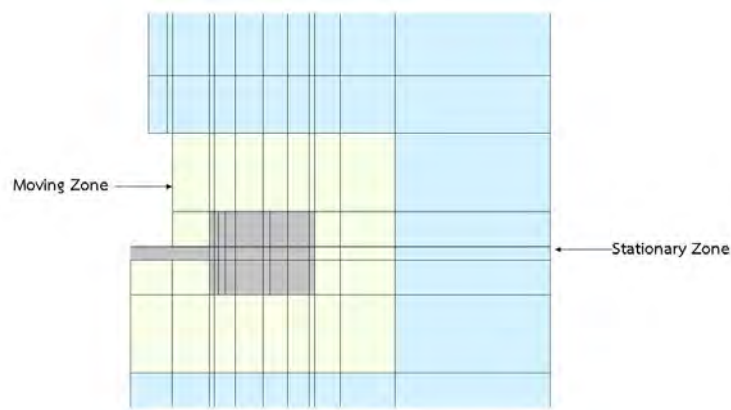
ตารางที่ 3.1 สัดส่วนของแบบจำลอง

H/T	C/T	D/T	d/D	a/D	b/H	g/D	f/g
1	1/3	1/2	3/4	1/4	1/10	2/5	4/9

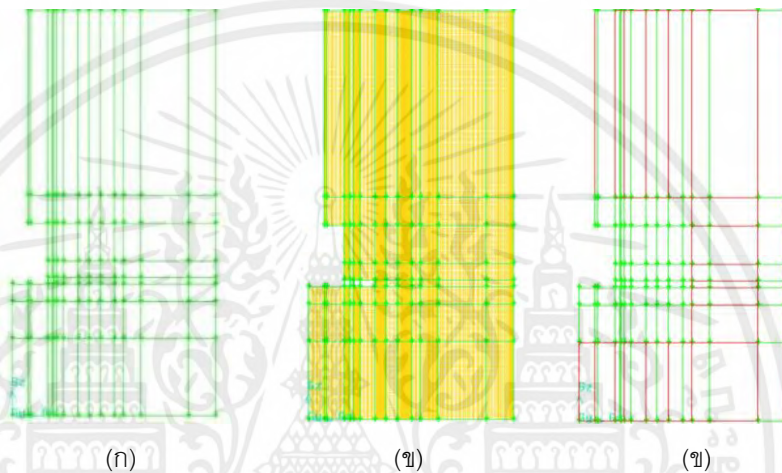
3.3 การแบ่งโดเมนและการสร้างกริด

3.3.1. การแบ่งโดเมน

เมื่อทำการสร้างแบบจำลองจะทำการแบ่งโดเมนและสร้างกริดของถังปั่นกวนในโปรแกรม GAMBIT โดยงานวิจัยนี้จะทำการแบ่งโดเมนของถังปั่นกวนเป็น 2 ส่วน คือบริเวณที่หมุน (Moving zone) และบริเวณที่คงที่ (Stationary zone) บริเวณที่หมุนนั้นจะมีพื้นที่ครอบคลุมบริเวณใบพัดดังรูปที่ 3.3 โดยกริดของถังผสมจะใช้กริดรูปทรงหกหน้า (Hexahedron grid cells) ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 การแบ่งโดเมนของแบบจำลอง



รูปที่ 3.4 (ก) แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองของการทดลอง (ข) แบบจำลองที่ถูกสร้างกริดแล้ว
(ค) แบบจำลองที่ถูกแบ่งโซนการไหล

3.3.2. การกำหนดสถานะขอบเขต

กำหนดสถานะขอบเขตของแบบจำลองจาก โปรแกรม GAMBIT โดยกำหนดชนิดของ สัดส่วนต่างๆให้เป็นผนังและระบุด้านหน้า (Face) ของแบบจำลองว่าเทียบเป็นสัดส่วนใด ดัง ตารางที่ 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.2 การแบ่งสถานะขอบเขตของแบบจำลอง

ชนิด	wall
Shaft	Inner shaft
	Outer shaft
Hub	Hub top
	Hub side

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 การแบ่งสภาวะขอบเขตของแบบจำลอง (ต่อ)

ชนิด	wall
Disc	Disc top
	Disc side
	Disc bottom
Blade	Blade back
	Blade top
	Blade bottom
	Blade front
	Blade left
	Blade right
Tank	Tank bottom
	Tank top
	Tank side
Moving zone	Moving left
	Moving right
Stationary zone	Stationary left
	Stationary right

3.3.3. การประมาณค่ากริด

ในการประมาณค่ากริดอิสระของงานวิจัยนี้ ประมาณค่ากริดผ่านการประยุกต์จากงานวิจัยของ Bumrunghthaichaichan [9] เกี่ยวกับการคำนวณหาค่าความสูงของกริดแรกใกล้ผนัง (First cell high) ผ่านการคำนวณหา ค่า y_p จากสมการที่ 3.1 และสมการที่ 3.2

$$y^+ = \frac{y_p U \sqrt{c_f / 2\rho}}{\mu} \quad (3.1)$$

$$c_f = \frac{0.3164}{4} Re^{-1/4} \quad (3.2)$$

เมื่อ y^+ คือ ระยะทางจากผนังไร้หน่วย

y_p คือ ระยะทางจากผนังถึงโหนดการคำนวณ

U คือ อัตราเร็วของใบพัด (m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

μ คือ ความหนืดของของไหล ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$)

C_f คือ skin friction coefficient

3.4 การศึกษาความเป็นอิสระของกริด

ในการศึกษากริดอิสระของแบบจำลองถังปั่นกวนแบบไม่มีขั้วเพอร์ ทำการเปลี่ยนจำนวนกริดของถังปั่นกวน โดยการเพิ่มจำนวนกริด ดังตารางที่ 3.4 และนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Scargiali และคณะ [2] ซึ่งการเพิ่มจำนวนกริดนั้นจะต้องไม่ส่งผลต่อคำตอบ และทำการจำลองภายใต้สภาวะและแบบจำลองชนิดเดียวกันดังต่อไปนี้ กำหนดแบบจำลองความปั่นป่วนเป็นชนิด Realizable k- ϵ Model ฟังก์ชันผนังคือ Scalable และเลือกเงื่อนไขเพิ่มเติม เป็น Curvature correction ในการตั้งค่าการจำลอง

ตารางที่ 3.4 จำนวนของกริดตามความละเอียดของกริด

ชนิดของกริด	อัตราการเติบโตตามแนวรัศมี	จำนวนของกริด
กริดแบบละเอียด (Fine mesh)	1	209,984
กริดแบบปานกลาง (Medium mesh)	1.1	92,830
กริดแบบหยาบ (Coarse mesh)	1.2	47,820

3.5 สมมติฐานสำหรับการสร้างแบบจำลอง

สำหรับสมมติฐานในการสร้างแบบจำลองของถังปั่นกวน การไหลแบบปั่นป่วนถูกจำลองด้วยแบบจำลองความปั่นป่วน จะถูกจำลองโดยแบ่งชั้นส่วนเป็น 1 ใน 6 ส่วน ความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นในระบบเป็นแบบไอโซโทรปิก การจำลองการไหลใกล้ผนังถูกจำลองด้วยฟังก์ชันผนัง

3.6 การจำลองการไหลในถังปั่นกวน

3.6.1. การกำหนดเงื่อนไขที่จำเป็นในการจำลองการไหล

ในงานวิจัยนี้เป็นการจำลองการไหลของของไหลวิฤภาคเดียว โดยของไหลที่ใช้ในการจำลองการไหลภายในถังปั่นกวน คือ น้ำ ซึ่งมีสมบัติของของไหลเป็นไปตามตารางที่ 3.5 ในส่วนของข้อกำหนดเงื่อนไขและขอบเขตของแบบจำลองถังปั่นกวนผสม กำหนดให้บริเวณ Moving zone มีความเร็วรอบ (Rotational speed) เป็น 9.12356 รอบ/วินาที ในส่วนของบริเวณ Stationary zone เป็นบริเวณของผนังที่อยู่นิ่ง บริเวณภายนอกของผนัง (Outer shaft) กำหนดให้ผนังเคลื่อนที่ (Moving wall) โดยมีเงื่อนไขของผนังคือไม่มีการลื่นไถล (No slip) ซึ่งแสดงสภาวะขอบเขตของการจำลองได้ดังตาราง 3.6 และเงื่อนไขของ cell zone เป็นไปตามตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.5 สมบัติของของไหล

สมบัติ	ค่า
ความหนาแน่น (Density)	992 kg/m^3
ความหนืด (Viscosity)	0.00065 Pa•s

ตารางที่ 3.6 สภาวะขอบเขตของแบบจำลอง

สมบัติ	เงื่อนไข
Moving zone	Rotational
Stationary zone	Rotational
Outer shaft	Moving wall, ความเร็ว 9.12356 รอบ/วินาที
Wall	No slip

ตารางที่ 3.7 การกำหนดสภาวะของโซน

บริเวณ	ทิศการหมุนตามแนวแกน	ค่า
Moving zone	แนวแกน Z	ความเร็ว 9.12356 รอบ/วินาที
Stationary zone	-	-

3.6.2. แบบจำลองและระเบียบเชิงตัวเลขของการจำลองการไหล

ในงานวิจัยนี้การตั้งค่าแบบจำลองการไหลและระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.8 และตารางที่ 3.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.8 แบบจำลองและฟังก์ชันผนัง

การตั้งค่าแบบจำลอง	แบบจำลอง
Turbulence model	Realizable k- ϵ Model
	RNG k- ϵ Model
Wall function	Scalable wall function
	Standard wall function
Option	Curvature Correction
	No curvature correction

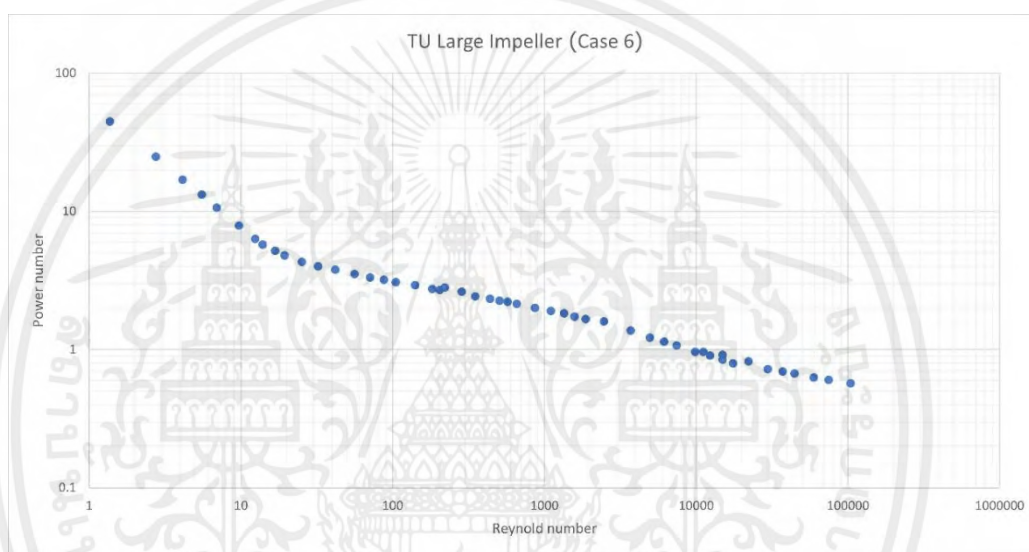
ตารางที่ 3.9 ระเบียบเชิงตัวเลขที่ใช้ในการจำลอง

ประเภท	ระเบียบเชิงตัวเลข
Pressure-velocity coupling scheme	SIMPLE
Gradient	Least Squares Cell-Based
Pressure	PRESTO!
Momentum	QUICK
Turbulence quantities	QUICK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลองงานวิจัยของ Scargiali และคณะ

ในการศึกษานี้จะทำการเปรียบเทียบผลการจำลองที่ได้จากโปรแกรม ANSYS FLUENT 14.5 กับผลการทดลองจากงานวิจัยของ Scargiali และคณะ [2] โดยเทียบกับสภาวะเงื่อนไขของถังปั่นกวน TU large impeller (Case 6) ซึ่งในการทำพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณการเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลองจากงานวิจัยของ Scargiali และคณะ [2] จะใช้การพล็อตกราฟเปรียบเทียบระหว่างตัวเลขกำลังกับตัวเลขเรย์โนลด์ เพื่อดูแนวโน้มความสอดคล้องของข้อมูลการจำลองที่แสดงดังรูปที่ 3.5 และการทดลองจริง



รูปที่ 3.5 ผลการทดลองจากงานวิจัยของ Scargiali และคณะ เปรียบเทียบค่าตัวเลขกำลัง และค่าเรย์โนลด์

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 การศึกษาผลเฉลยของกริดอิสระ (Grid Independence)

ในการจำลองพลศาสตร์ของไหล ความละเอียดของกริดเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความแม่นยำของผลเฉลย และระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เพราะฉะนั้นการศึกษาความละเอียดของกริดอิสระจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพื่อคงไว้ซึ่งความแม่นยำของผลเฉลยและเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการคำนวณต่อการจำลองในแต่ละครั้ง โดยทำการศึกษาผ่านการเปรียบเทียบ กริดทั้ง 3 แบบ คือ กริดแบบละเอียด กริดแบบกลาง และกริดแบบหยาบ ที่มีจำนวนกริดดังนี้ 209,984 92,830 และ 47,820 เซลล์ ตามลำดับ

จากผลการจำลองเมื่อพิจารณาผ่านการคำนวณตัวเลขกำลังและเทียบจากผลการทดลองของ Scargiali และคณะ [2] พบว่าค่าตัวเลขกำลังที่คำนวณได้จากกริดทั้ง 3 แบบพบว่า กริดแบบละเอียด และกริดแบบปานกลาง ให้ค่าตัวเลขกำลังที่ใกล้เคียงกัน และ แตกต่างกันเล็กน้อยในกริดแบบหยาบ เมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของกริดระหว่าง กริดแบบหยาบกับกริดแบบละเอียด และกริดแบบปานกลางกับกริดแบบละเอียด พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้มีค่าน้อยกว่า 10% ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้สามารถยอมรับได้ในทางวิศวกรรม แต่ในการจำลองในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้กริดแบบละเอียดในการจำลองเพื่อป้องกันปัญหาความไม่แน่นอนเชิงตัวเลข (Numerical uncertainty) ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ระหว่างการจำลอง

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวเลขกำลังที่คำนวณได้ในแต่ละความละเอียดของกริด

ความละเอียดของกริด	โมเมนต์ทั้งหมด (Nm)	ตัวเลขกำลัง
กริดแบบละเอียด	3.624×10^{-4}	0.844
กริดแบบปานกลาง	3.767×10^{-4}	0.877
กริดแบบหยาบ	3.377×10^{-4}	0.787

ตารางที่ 4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการเปรียบเทียบความละเอียดของกริด

ความละเอียดของกริดที่เปรียบเทียบ	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
กริดแบบละเอียด-แบบปานกลาง	3.920
กริดแบบละเอียด-แบบหยาบ	6.821

4.2 แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulence model)

ในการศึกษาการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสำหรับถังปั่นกววนแบบไม่มีบัพเฟอร์ จะทำการใช้แบบจำลองในการจำลองทั้งหมด 2 แบบจำลอง เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณจะส่งผลต่อความแม่นยำของแบบจำลอง โดยแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองคือ Realizable k- ϵ model และ RNG k- ϵ model ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบที่สภาวะเดียวกัน โดยแต่ละแบบจำลองจะทำการจำลองทั้งหมด 4 กรณี คือ กรณีที่เปลี่ยนฟังก์ชันผนังและกรณีที่ใช้ Option Curvature correction ในการคำนวณดังตาราง 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ผลของการคำนวณ ตัวเลขกำลังที่ได้จากผลการจำลอง

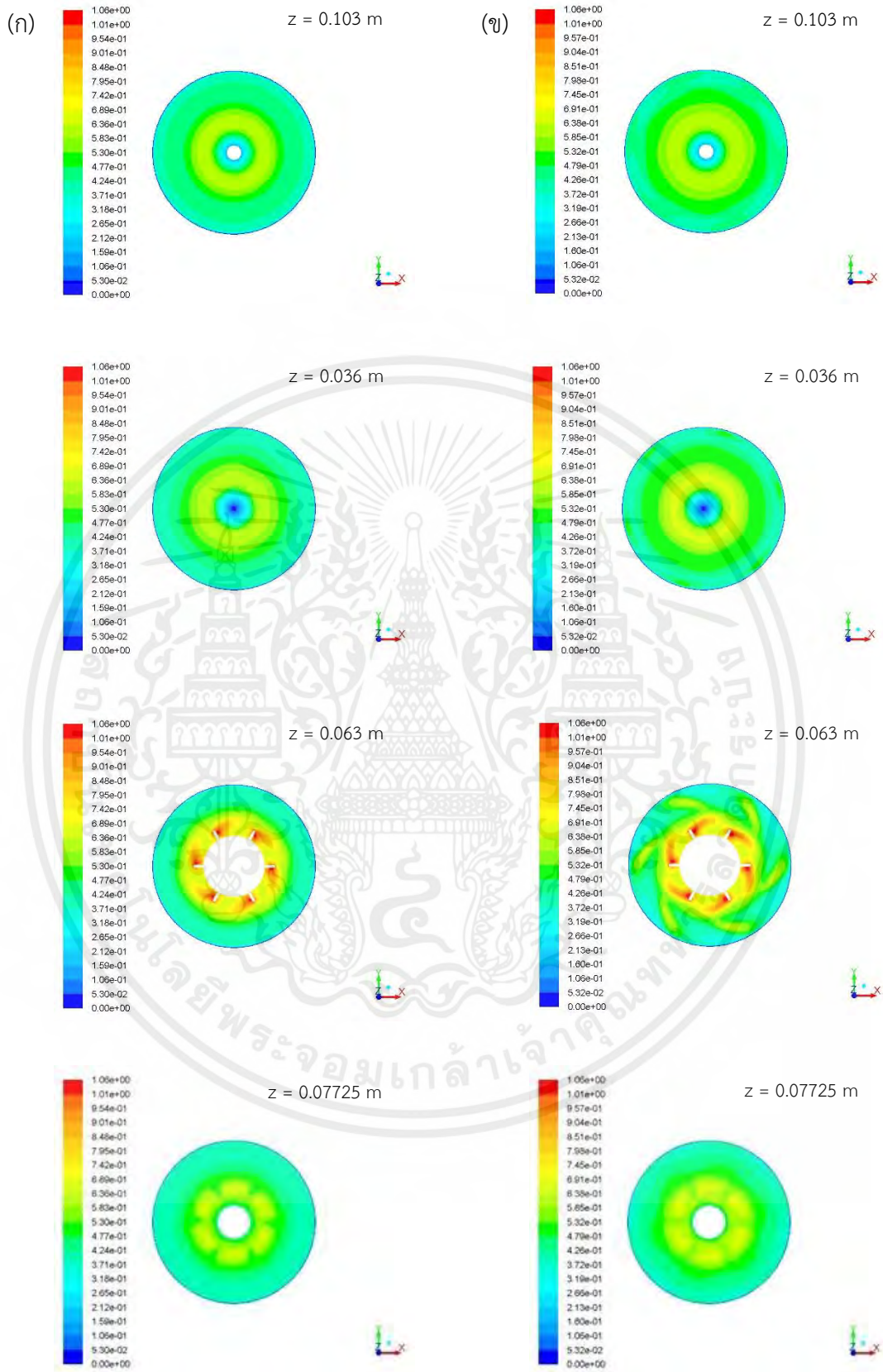
แบบจำลอง	ฟังก์ชันผนัง	การปรับแก้	โมเมนต์ทั้งหมด (Nm)	ตัวเลขกำลัง
Realizable k- ϵ model	Scalable	Curvature correction	3.624×10^{-4}	0.844
		No curvature correction	5.815×10^{-4}	1.354
	Standard	Curvature correction	3.600×10^{-4}	0.838
		No curvature correction	5.826×10^{-4}	1.357

ตารางที่ 4.4 ผลของการคำนวณตัวเลขกำลังที่ได้จากผลการจำลอง (ต่อ)

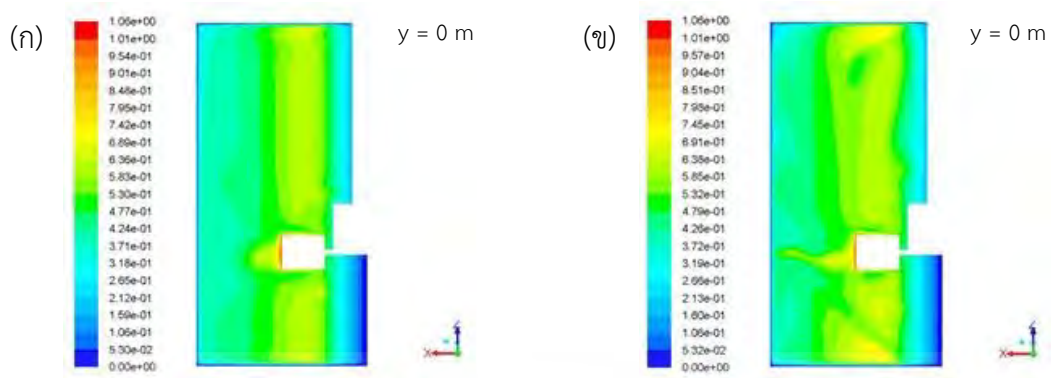
แบบจำลอง	ฟังก์ชันผนัง	การปรับแก้	โมเมนต์ทั้งหมด (Nm)	ตัวเลขกำลัง
RNG k- ϵ model	Scalable	Curvature correction	2.959×10^{-4}	0.689
		No curvature correction	4.628×10^{-4}	1.078
	Standard	Curvature correction	3.209×10^{-4}	0.747
		No curvature correction	4.763×10^{-4}	1.110

จากการจำลองทั้งหมด 8 กรณี จะได้ค่า Total Moment และนำมาคำนวณหาตัวเลขกำลังของแต่ละกรณีได้ดังตารางข้างต้น ซึ่งจากผลการจำลองพบว่า กรณีที่เลือกใช้เงื่อนไข Curvature correction ในการคำนวณ แบบจำลองชนิด RNG k- ϵ model จะให้ค่าตัวเลขกำลังที่ใกล้เคียงกับการทดลองมากกว่า Realizable k- ϵ model แต่ในทางกลับกัน เมื่อไม่เลือกใช้เงื่อนไข Curvature correction ในการคำนวณ แบบจำลองชนิด Realizable k- ϵ mode; กลับให้ค่าที่ใกล้เคียงกว่า RNG k- ϵ model

เมื่อสร้างคอนทัวร์ขนาดของความเร็วในแต่ละตำแหน่งเพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกันระหว่างแบบจำลองชนิด Realizable k- ϵ ที่ใช้ Curvature correction กับแบบจำลองชนิด RNG k- ϵ ที่ใช้ Curvature correction และ แบบจำลองชนิด Realizable k- ϵ ที่ไม่ใช้ Curvature correction กับแบบจำลองชนิด RNG k- ϵ ที่ไม่ใช้ Curvature correction ซึ่งทั้ง 4 กรณีนี้จะใช้ฟังก์ชันผนังแบบเดียวกันคือ Scalable แสดงผลการสร้างคอนทัวร์ของปริมาณความเร็วได้ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6

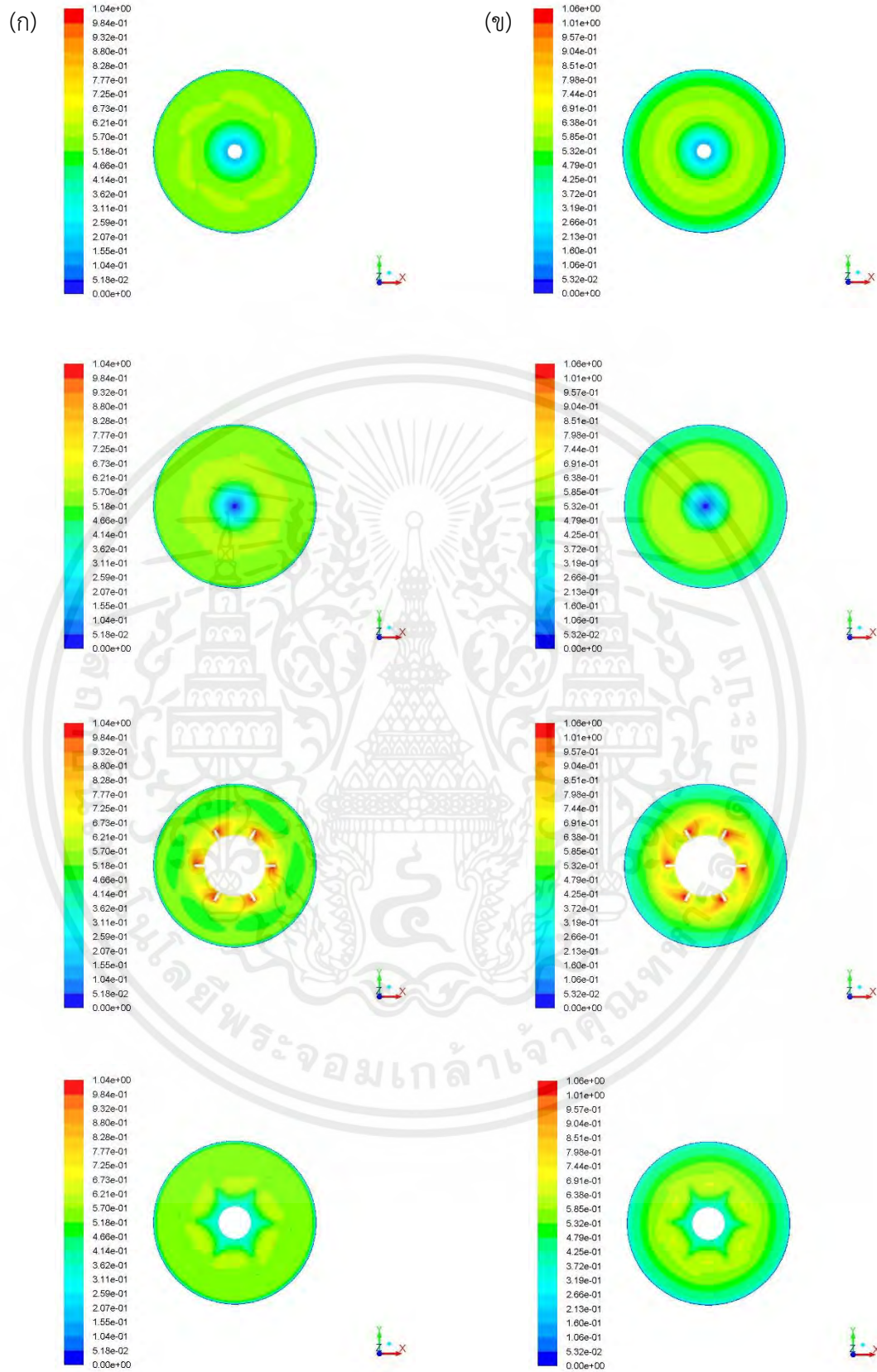


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

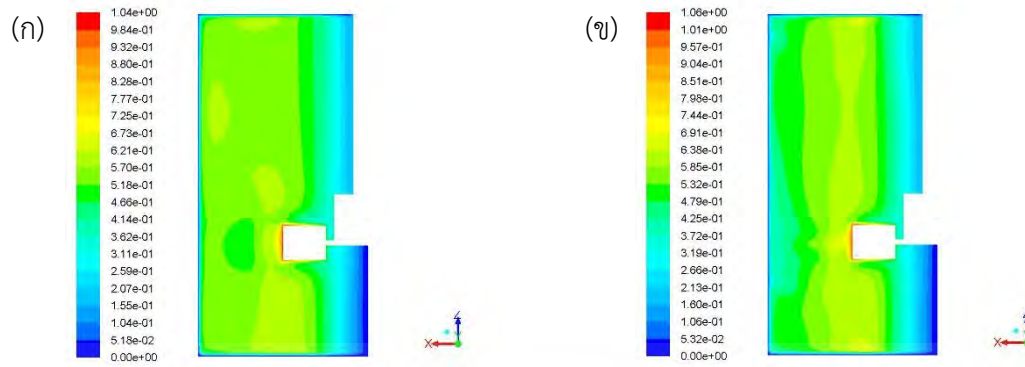


รูปที่ 4.1 คอนทัวร์ขนาดความเร็ว *Velocity magnitude* ของแบบจำลองที่เลือก *Curvature correction* (ก) แบบจำลองชนิด *Realizable k-ε* (ข) แบบจำลองชนิด *RNG k-ε*

ซึ่งจากรูปแสดงการเปรียบเทียบขนาดความเร็วในแต่ละตำแหน่งดังนี้ บริเวณด้านบนฮับ ($z = 0.103$) ด้านล่างของใบพัด ($z = 0.036$) ฝักกลางดิสก์ ($z = 0.063$) ฝักกลางฮับ ($z = 0.07725$) และ ฝักกลางใบพัด ($y = 0$) ตามลำดับ ในกรณีที่ใช้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด *Realizable k-ε* model และ *RNG k-ε* model ที่ใช้ *Curvature correction* และใช้ฟังก์ชันผนังชนิด *Scalable* เมื่อพิจารณาจากรูปที่ตำแหน่งต่างๆพบว่า ในบริเวณด้านบนฮับ ด้านล่างใบพัด ฝักกลางฮับ มีขนาดของความเร็วค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่เมื่อดูผลคอนทัวร์ของแบบจำลองความปั่นป่วน *RNG k-ε* model ในตำแหน่งฝักกลางดิสก์ จะเห็นว่าความเร็วของของไหลในบริเวณที่ใกล้ใบพัดจะมีความเร็วสูงกว่าแบบจำลองความปั่นป่วน *Realizable k-ε* model ซึ่งจากผลการจำลองกรณีที่ใช้ *Realizable k-ε* model มีค่า ตัวเลขกำลังต่างจากการจำลอง 0.035 (4.37%) และ ตัวเลขกำลังจากผลการจำลองกรณีที่ใช้ *RNG k-ε* model มีค่าต่างจากการทดลอง 0.119 (14.78%) ซึ่งมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในทั้งสองกรณี เนื่องจากการใช้แบบจำลองความปั่นป่วนที่แตกต่างกัน จึงมีสมการที่ใช้ในการคำนวณหาผลเฉลยที่แตกต่างกันร่วมด้วย ซึ่งสมการนั้นคือสมการการถ่ายโอน (Transport equation) ในเทอมของ μ_t ที่มีวิธีการคำนวณที่ต่างกันในแต่ละแบบจำลอง จึงส่งผลให้เกิดสนามความเร็วมีลักษณะที่ต่างกันเกิดขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 คอนทัวร์ขนาดความเร็ว *Velocity magnitude* ของแบบจำลองที่ไม่เลือก *Curvature correction*

(ก) แบบจำลองชนิด *Realizable k-ε* (ข) แบบจำลองชนิด *RNG k-ε*

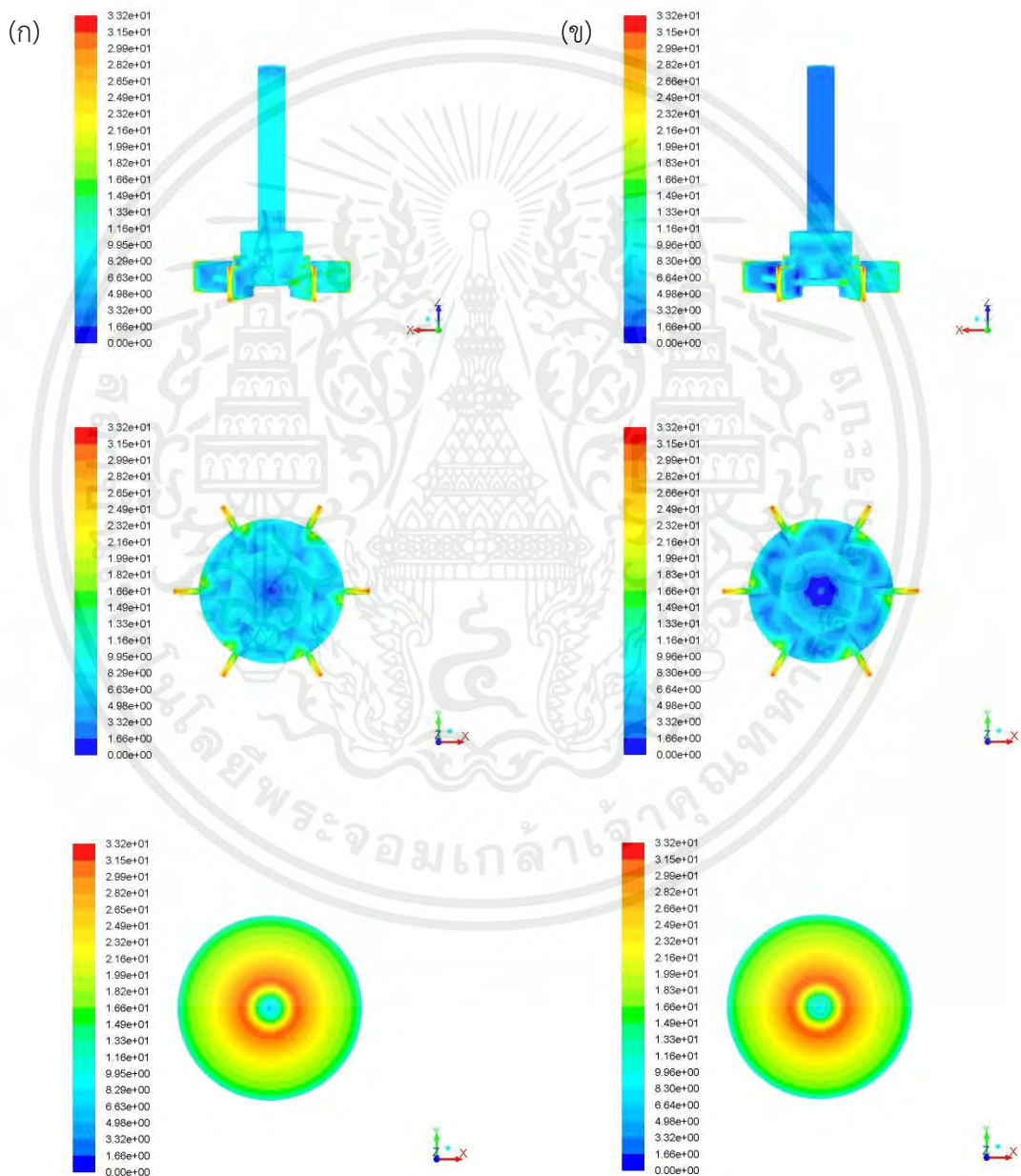
กรณีที่ใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ *Realizable k-ε* model และ *RNG k-ε* model ที่ไม่เลือกใช้ *Curvature correction* และใช้ฟังก์ชันผนังชนิด *Scalable* เมื่อพิจารณาจากคอนทัวร์ขนาดของความเร็วสำหรับแบบจำลองความปั่นป่วนชนิด *Realizable k-ε* model ของของไหลในช่วงใกล้ใบพัดจะมีความเร็วที่ต่ำกว่า *RNG k-ε* model และความเร็วช่วงใกล้ผนังของถังปั่นกววนสำหรับ *RNG k-ε* model จะมีความเร็วของของไหลที่ต่ำกว่า *Realizable k-ε* model ซึ่งจากการจำลองกรณีที่ใช้ *Realizable k-ε* model มีค่าตัวเลขกำลังต่างจากการทดลองเพียง 0.546 (67.45%) และผลการจำลองกรณีที่ใช้ *RNG k-ε* model มีค่าตัวเลขกำลังต่างจากการทดลอง 0.269 (33.26%) เนื่องจากการใช้แบบจำลองความปั่นป่วนคนละตัว ส่งผลให้มีการคำนวณของสมการการถ่ายโอนในเทอมของ μ_t ต่างกัน แต่ในกรณีนี้กลับเป็นผลการจำลองของ *RNG k-ε* model ที่ใกล้ค่าผลการทดลองมากกว่า เนื่องจากเป็นกรณีที่ไม่ใช้ *Curvature correction* ในการคำนวณทั้งคู่ แต่ *RNG k-ε* model ยังมีเทอมของ μ_t ที่ครอบคลุมในการคำนวณ *Swirl dominated flow* จึงทำให้ผลการจำลองของ *RNG k-ε* model เข้าใกล้ค่าตัวเลขกำลังจากการทดลองมากกว่า

และเมื่อนำรูปที่ 4.1 (ก) และรูปที่ 4.2 (ก) มาเปรียบเทียบขนาดของความเร็วในแต่ละตำแหน่ง จะพบว่ากรณีที่ไม่ใช้ *Curvature correction* ความเร็วใกล้ผนังของถังปั่นกววนจะสูงกว่ากรณีที่ใช้ *Curvature correction* อย่างเห็นได้ชัด โดยผลการจำลองของแบบจำลองการปั่นป่วน *Realizable k-ε* model กรณีที่ใช้ *Curvature correction* มีค่าตัวเลขกำลังต่างจากการทดลอง 0.035 (4.37%) แต่กรณีที่ไม่ใช้ *Curvature correction* มีค่าตัวเลขกำลังต่างจากการทดลอง 0.546 (67.45%) เนื่องจาก *Curvature correction* เป็นฟังก์ชันที่จะช่วยให้แบบจำลองความปั่นป่วน

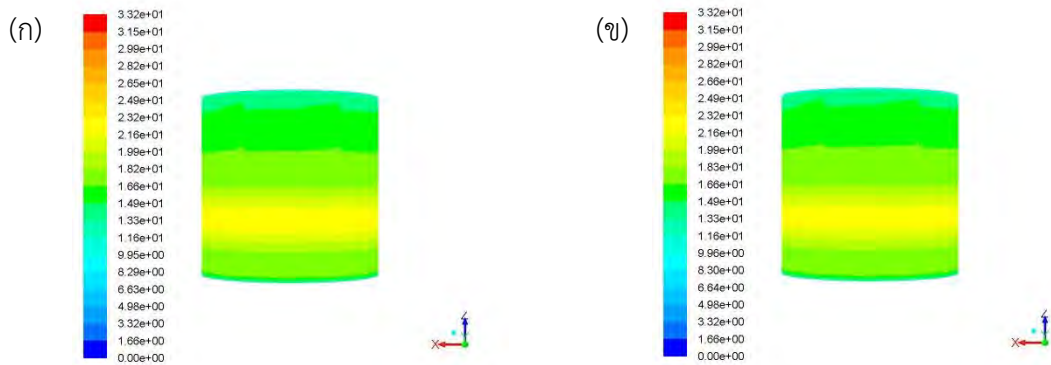
สามารถคำนวณการไหลที่มีความโค้งได้แม่นยำยิ่งขึ้น โดย Curvature correction ค่า k ในสมการการถ่ายโอนส่งผลให้ในเทอมของ μ_t ได้รับการปรับปรุงให้เหมาะสมกับการจำลองมากยิ่งขึ้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบแบบจำลองความปั่นป่วนโดยสร้างคอนทัวร์ขนาดของความเร็วในแต่ละตำแหน่งเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระหว่าง Realizable $k-\epsilon$ model ที่ใช้ Curvature correction กับ RNG $k-\epsilon$ model ที่ใช้ Curvature correction และ Realizable $k-\epsilon$ model ที่ไม่ใช้ Curvature correction กับ RNG $k-\epsilon$ model ที่ไม่ใช้ Curvature correction ซึ่งเปลี่ยนการใช้ฟังก์ชันผนังแบบ Standard ทั้ง 4 กรณี ยังคงได้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับกรณีที่ใช้ฟังก์ชันผนังชนิด Scalable เมื่อเปรียบเทียบขนาดความเร็วของการใช้แบบจำลองความปั่นป่วนระหว่าง Realizable $k-\epsilon$ model และ RNG $k-\epsilon$ model ที่ใช้ Curvature correction จะให้ผลเฉลยที่แตกต่างกันเล็กน้อยซึ่งเกิดจากผลของวิธีการคำนวณสมการถ่ายโอน (Transport equation) ของแต่ละแบบจำลองที่ต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบการใช้แบบจำลองความปั่นป่วนระหว่าง Realizable $k-\epsilon$ model และ RNG $k-\epsilon$ model ที่ไม่ใช้ Curvature correction จะเห็นว่าผลการจำลองของ RNG $k-\epsilon$ model จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการทดลองมากกว่าผลการจำลองของ Realizable $k-\epsilon$ model เนื่องจากเทอมของ μ_t ในสมการการถ่ายโอน ของ RNG $k-\epsilon$ model ที่ครอบคลุมในการคำนวณ Swirl dominated flow และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกรณีอื่นๆที่ใช้แบบจำลองการปั่นป่วนและฟังก์ชันผนังเดียวกันที่ใช้ Curvature correction และไม่ใช้ Curvature correction ยังคงให้ผลไปในทิศทางเดียวกันคือทุกกรณีที่ใช้ Curvature correction จะให้ค่าผลการจำลองที่ใกล้เคียงกับการทดลองกว่ากรณีไม่ใช้ Curvature correction เสมอ

ในส่วนของฟังก์ชันผนัง (Wall y^+) ถือเป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญในการคำนวณหาผลเฉลยของการจำลองที่แม่นยำของพฤติกรรมกรไหลแบบปั่นป่วนบริเวณใกล้ผนังและยังส่งผลต่อประสิทธิภาพในการคำนวณร่วมด้วย จากการจำลองทำการเปรียบเทียบฟังก์ชันผนังทั้งหมด 2 กรณีคือ Scalable และ Standard และเปรียบเทียบผลของการจำลองผ่านค่า y^+ และค่าตัวเลขกำลัง ที่คำนวณได้ภายใต้การกำหนดสภาวะของแบบจำลองในกรณีต่างๆ เพื่อสังเกตฟังก์ชันผนังส่งผลอย่างไรกับผลเฉลย ซึ่งค่าตัวเลขกำลัง ที่ได้ทำการจำลองเป็นไปดังตารางที่ 4.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 คอนทัวร์ค่า y^+ ของแบบจำลองที่กำหนดแบบจำลองความปั่นป่วนด้วย *Realizable k- ϵ* model และเลือก *Curvature correction* (ก) *Scalable wall function* (ข) *Standard wall function*

จากรูปที่ 4.1 แสดงคอนทัวร์ของค่า y^+ จากการจำลองที่ใช้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด *Realizable k- ϵ* และเลือกเงื่อนไข *Curvature correction* (ก) แสดงคอนทัวร์ของ y^+ ที่ใช้ฟังก์ชันผนังแบบ *Scalable wall function* จะเห็นว่าให้ค่า y^+ สูงสุดอยู่ในช่วง 31.5-32.2 (ข) แสดงคอนทัวร์ของ y^+ ที่ใช้ฟังก์ชันผนังแบบ *Standard* และให้ค่า y^+ สูงสุดอยู่ที่ 31.5-32.2 เช่นกัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะเห็นว่าค่า y^+ สูงสุดของทั้งสองกรณี ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ใช้ในการคำนวณคือ 30 เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 5 - 7.33 เปอร์เซ็นต์ และตำแหน่งการเกิดค่า y^+ สูงสุดนั้นเกิดขึ้นในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบผ่าน ตัวเลขกำลังทั้งสองกรณีให้ค่าที่ใกล้เคียงกันเป็นอย่างมากเช่นกัน ดังนั้นในการจำลองในครั้งนี้สามารถเลือกใช้ได้ทั้ง ฟังก์ชันผนังแบบ *Scalable* และ *Standard* เนื่องจากให้ผลการจำลองที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกัน และคาดการณ์ว่าค่าความต่างที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมาจากการประมาณค่าของการจำลอง

และเมื่อใช้วิธีการจำลองแบบเดิมแต่ไม่เลือก *Curvature correction* ผลของการจำลองของทั้งสองกรณีให้ค่า y^+ สูงสุดอยู่ในช่วง 31.5-32.2 เช่นกัน จะเห็นว่าผลของ y^+ สูงสุดของช่วงคอนทัวร์อยู่ในช่วงเดียวกันและตำแหน่งที่เกิดขึ้นคล้ายกันก็จริงแต่ลักษณะของการเกิดคอนทัวร์นั้นกลับเกิดขึ้นแตกต่างกัน คาดว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการประมาณค่าของการจำลอง ไม่ได้เป็นผลมาจากการเลือกใช้ฟังก์ชันผนัง และในทำนองเดียวกันแม้จะทำการเปลี่ยนแบบจำลองความปั่นป่วนเป็น *RNG k- ϵ* ก็ยังคงให้ผลการจำลองในลักษณะเดียวกันกับ *Realizable k- ϵ* ดังนั้นจึงสรุปว่า ในการจำลองของงานวิจัยนี้สามารถใช้ฟังก์ชันผนังได้ทั้ง 2 กรณี แต่การเลือกใช้ฟังก์ชันผนังแบบ *Scalable* นั้นจะเหมาะสมกว่าเนื่องจากเป็นฟังก์ชันผนังที่พัฒนามาจาก ฟังก์ชันผนังแบบ *Standard* มีความยืดหยุ่นมากกว่าถ้าหากมีการปรับแต่งกริดและถ้าหากมีค่า y^+ น้อยกว่า 11 ฟังก์ชันผนังชนิดนี้ยังคงให้ความแม่นยำของผลการคำนวณอยู่ และครอบคลุมไปถึงการไหลที่มีลักษณะซับซ้อนมากขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการพัฒนาแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสำหรับกังหันแบบไม่มีใบพัดที่ขับเคลื่อนด้วยใบกังหันชนิด Rushton turbine ซึ่งสัดส่วนต่างๆของกังหันอ้างอิงมาจากงานวิจัยของ Raul Alcamo ในการศึกษาพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของงานวิจัยนี้ศึกษาผ่านโปรแกรม GAMBIT ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองโครงสร้างสามมิติ การแบ่งโดเมน และกำหนดขอบเขตสถานะของกังหัน และโปรแกรม ANSYS FLUENT 14.5 เป็นโปรแกรมสำหรับการตั้งค่าขั้นตอนการจำลองการไหลภายในกังหัน เพื่อทำนายผลเฉลยและคำนวณหาค่าตัวเลขกำลังของกังหัน

การศึกษาเริ่มต้นที่การสร้างแบบจำลองสามมิติ การแบ่งโดเมน และการศึกษาการประมาณกริดในกังหัน โดยการแบ่งโดเมนของกังหันจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือบริเวณที่หมุน (Moving zone) และบริเวณที่คงที่ (Stationary zone) ในส่วนของการประมาณค่ากริดประยุกต์มาจากงานวิจัยของ Bumrungthaichaichan [9] สามารถคำนวณค่าความสูงของเซลล์แรกจากผนังเท่ากับ 1.98 และมีจำนวนของกริดแบบละเอียด กริดแบบกลาง และกริดแบบหยาบเท่ากับ 209,984 92,830 และ 47,820 เซลล์ ตามลำดับ จากนั้นกำหนดสถานะขอบเขตของแบบจำลองกังหัน การประมาณค่ากริดของกังหัน ให้ผลการจำลองใกล้เคียงกับผลการทดลอง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วิธีการประมาณค่ากริดที่ผนังของกังหันที่ประยุกต์มาจากงานวิจัยของ Bumrungthaichaichan [9] นั้นสามารถประยุกต์ใช้กับการจำลองการไหลภายในกังหันนี้ได้ และทำการศึกษาต่อในหัวข้อดังต่อไปนี้

การศึกษากริตอิสระ โดยการเปรียบเทียบค่าตัวเลขกำลังของผลการจำลองจากกริดทั้งสามแบบกับผลการทดลอง ซึ่งผลจากการจำลองคือกริดแบบละเอียดให้ผลการจำลองที่ใกล้เคียงกับการทดลองมากที่สุด ซึ่งกริดแบบกลางและกริดแบบหยาบมีเปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อนของตัวเลขกำลังในกริดระหว่างกริดแบบหยาบกับกริดแบบละเอียด และกริดแบบปานกลางกับกริดแบบละเอียดน้อยกว่า 10% ซึ่งยังคงอยู่ในช่วงที่รับได้ทางวิศวกรรม และการศึกษาต่อจากนี้เลือกใช้กริดแบบละเอียดในการศึกษาต่อ

ต่อมาเป็นการศึกษาการจำลองการไหลทั้งหมด 8 กรณี คือการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสำหรับถังปั่นกววน โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วน Realizable k- ϵ ทั้งหมด 4 กรณี คือกรณีที่ใช้ฟังก์ชันผนังเป็น Scalable wall function 2 กรณี คือใช้ฟังก์ชัน Curvature correction และไม่ใช่ Curvature correction และใช้ฟังก์ชันผนังแบบ Standard 2 กรณี โดยแบ่งเช่นเดียวกับกรณีที่ใช้ฟังก์ชันผนังแบบ Scalable สำหรับอีก 4 กรณีทำการจำลองโดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วนเป็น RNG k- ϵ โดยแบ่งกรณีเช่นเดียวกับการใช้แบบจำลองความปั่นป่วน Realizable k- ϵ

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการจำลองระหว่างกรณีที่ใช้แบบจำลองความปั่นป่วนต่างกัน แต่ใช้ฟังก์ชันผนังและฟังก์ชันเดียวกัน พบว่าผลการจำลองในกรณีที่ใช้แบบจำลองความปั่นป่วนที่ต่างกันแต่เงื่อนไขอื่น ๆ เหมือนกัน ให้ค่าตัวเลขกำลังจากผลการจำลองที่ใกล้เคียงกัน แต่สนามความเร็วที่เกิดจากการจำลองมีลักษณะต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากเป็นผลของการคำนวณของสมการการถ่ายโอนในเทอมของ μ_t ที่ต่างกัน

ต่อมาทำการเปรียบเทียบผลการจำลองระหว่างกรณีที่ใช้ฟังก์ชัน Curvature correction และไม่ใช่ Curvature correction ภายใต้แบบจำลองความปั่นป่วนและฟังก์ชันผนังชนิดเดียวกัน ซึ่งจากผลการจำลองในทุกกรณีให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือ การใช้ฟังก์ชัน Curvature ในการจำลองถึงปั่นกววน ส่งผลให้ค่าตัวเลขกำลังจากการจำลองมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองมากกว่ากรณีที่ไม่ใช้ฟังก์ชัน Curvature correction เนื่องจากการใช้ Curvature correction ส่งผลต่อค่า k ในสมการการถ่ายโอน ส่งผลให้ในเทอมของ μ_t ได้รับการปรับปรุงให้เหมาะสมกับการจำลองมากยิ่งขึ้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการจำลองระหว่างกรณีที่ใช้ฟังก์ชันผนังแบบ Scalable และ Standard ภายใต้แบบจำลองความปั่นป่วนและฟังก์ชันเดียวกัน ซึ่งจากผลการจำลองในทุกกรณีให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่า y^+ สูงสุดให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ใช้ในการคำนวณคือ 30 และตำแหน่งการเกิดค่า y^+ สูงสุดนั้นเกิดขึ้นในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งลักษณะของการเกิดคอนทัวร์ที่ต่างกันนั้นเกิดจากการประมาณค่าของการจำลอง ดังนั้นในการจำลองในครั้งนี้อาจเลือกใช้ฟังก์ชันผนังแบบ Scalable และ Standard wall function เนื่องจากให้ผลการจำลองที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนการสร้างกริดส่วนของการกำหนดสภาวะขอบเขตควรกำหนดให้ครอบคลุมทุกส่วนที่ส่งผลต่อผลเฉลยเพื่อการทำนายผลเฉลยที่แม่นยำและใกล้เคียงค่าเป้าหมายมากขึ้น
2. ค่าที่ได้จากการทดลองนั้นเกิดจากการข้อมูลที่ได้จากกราฟไม่ใช่ผลการทดลองดิบ ดังนั้นผลการทดลองที่ใช้ในการเปรียบเทียบนั้นอาจเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้
3. ควรศึกษาการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสำหรับถังปั่นกวนแบบไม่มีบัฟเฟอร์ภายใต้ ตัวเลขเรย์โนลด์อื่นๆ และนำผลการจำลองมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองเพิ่มเติม เพื่อที่จะสามารถนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างของผลเฉลยและนำมาพัฒนาแบบจำลองให้สามารถทำนายสนามการไหลภายในถังปั่นกวนได้ดียิ่งขึ้น
4. ในการศึกษาควรทำการจำลองแบบจำลองแบบเต็มถังเพื่อให้ลักษณะการไหลหรือสมบัติทางฟิสิกส์บางประการใกล้เคียงกับธรรมชาติของถังปั่นกวนมากที่สุด

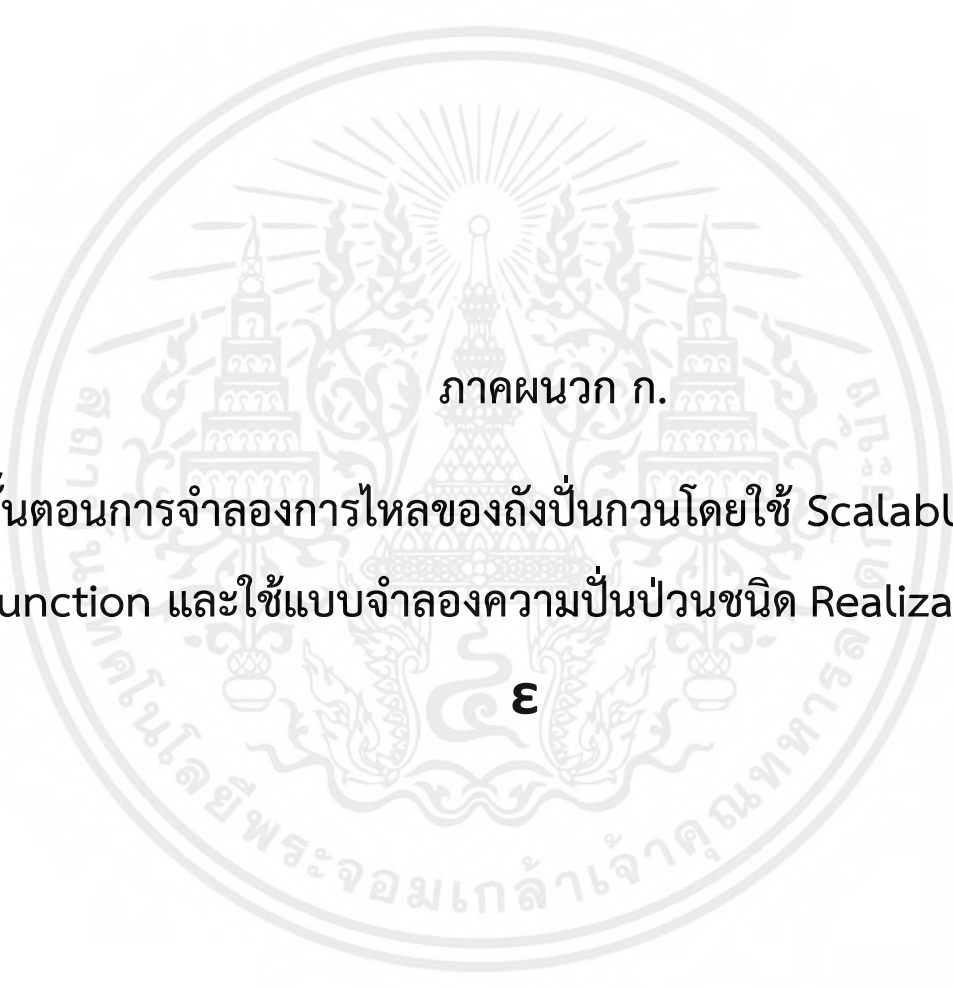
เอกสารอ้างอิง

- [1] Alcamo, R.; Micale, G.; Grisafi, F.; Brucato, A.; Ciofalo, M. Large-Eddy Simulation of Turbulent Flow in an Unbaffled Stirred Tank Driven by a Rushton Turbine. In *Chemical Engineering Science*; 2005; Vol. 60, pp 2303–2316.
<https://doi.org/10.1016/j.ces.2004.11.017>.
- [2] Scargiali, F.; Tamburini, A.; Caputo, G.; Micale, G. On the Assessment of Power Consumption and Critical Impeller Speed in Vortexing Unbaffled Stirred Tanks. *Chemical Engineering Research and Design* **2017**, 123, 99–110.
<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2017.04.035>.
- [3] *GAMBIT 2.2 Tutorial Guide*; 2004. www.fluent.com.
- [4] Marden, E.; Bakker, M. A. *Computational Fluid Mixing*.
- [5] Namkanisorn, A.; Wattananusorn, S.; Sakdasri, W.; Bumrunghaichaichan, E. CFD Prediction of Mixing Performance for Circular and Non-Circular Jet Mixing Tanks. *Korean Journal of Chemical Engineering* **2022**, 39 (6), 1424–1435.
<https://doi.org/10.1007/s11814-021-1051-6>.
- [6] *Modeling Flow Fields in Stirred Tanks Reacting Flows-Lecture 7*.
<http://www.bakker.org>.
- [7] *Computational Fluid Dynamics Simulations of Pump-around Jet Mixing Tanks*.
- [8] *ANSYS Fluent Theory Guide*; 2013. <http://www.ansys.com>.
- [9] Bumrunghaichaichan, E. How Can the Appropriate Near-Wall Grid Size for Gas Cyclone CFD Simulation Be Estimated? *Powder Technol* **2022**, 396, 327–344.
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.10.031>.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

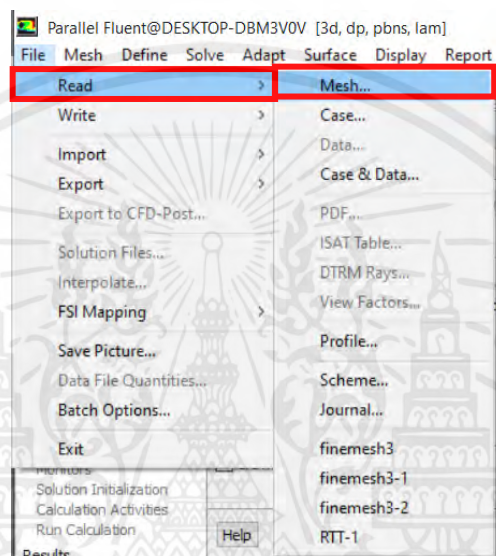
ขั้นตอนการจำลองการไหลของถังปั่นกวนโดยใช้ Scalable wall function และใช้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด Realizable k-

ϵ

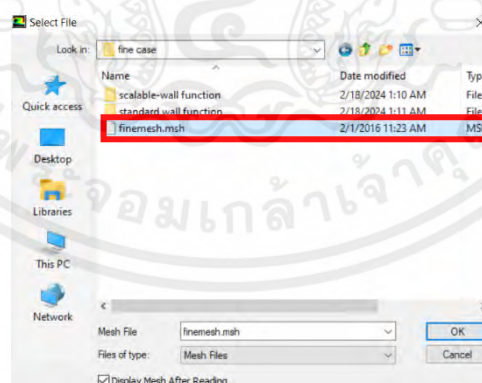
การกำหนดสภาวะขอบเขตและวิธีการคำนวณในโปรแกรม ANSYS FLUENT 14.5 ในการจำลองการไหลของถึงปั่นกววนโดยใช้ Scalable wall function และใช้โมเดล Realizable k- ϵ ในการคำนวณจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่มีการใช้ Option Curvature correction และไม่ใช่ Curvature correction ในการคำนวณ โดยมีขั้นตอนดังนี้

สำหรับ Curvature correction

ไปที่เมนู File > Read > Mesh > finemesh > OK



รูปที่ ก.1 ขั้นตอนการ Set up

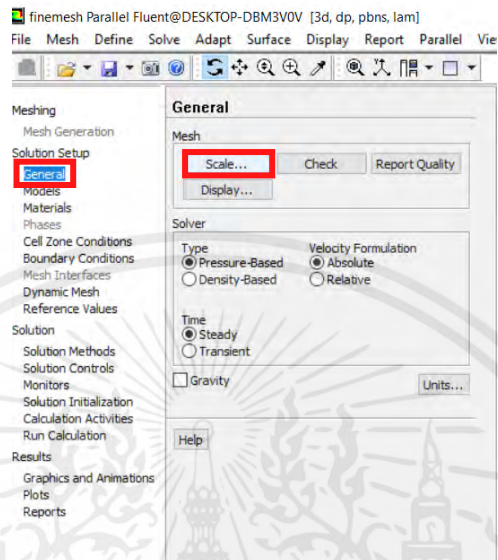


รูปที่ ก.2 ขั้นตอนการ Set up

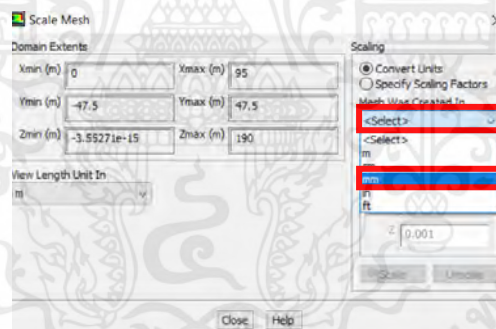
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของ Solution Setup

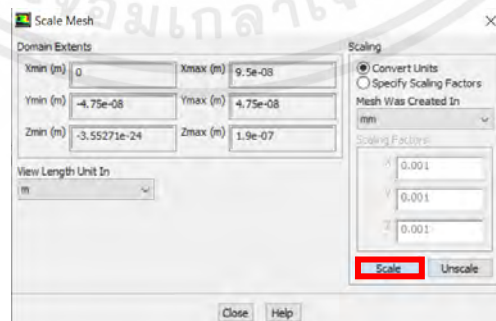
ไปที่ General > Scale > Select > mm > Scale > Close



รูปที่ ก.3 ขั้นตอนการ Set up

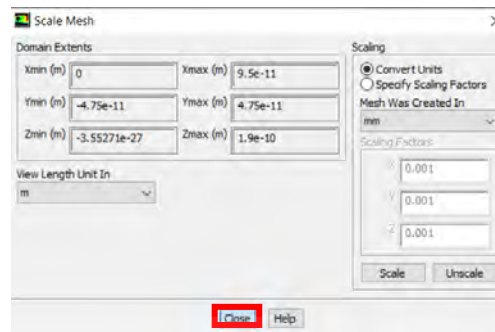


รูปที่ ก.4 ขั้นตอนการ Set up



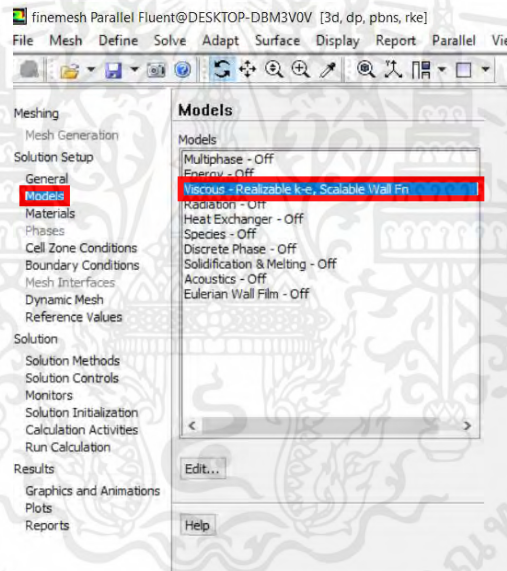
รูปที่ ก.5 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



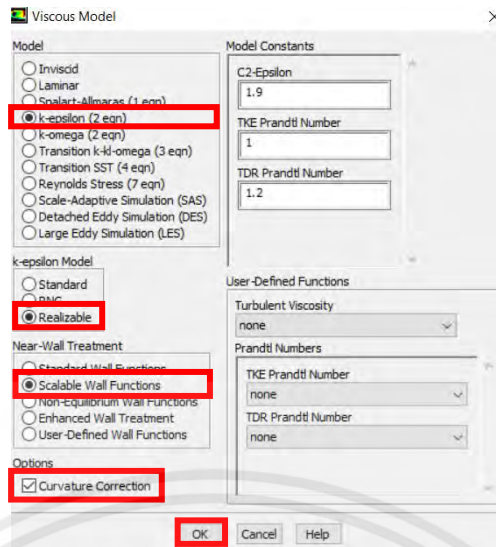
รูปที่ ก.6 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Models > Viscous > Model > เลือก k-epsilon (2 eqn), Realizable, Scalable Wall Functions, Curvature Correction > OK



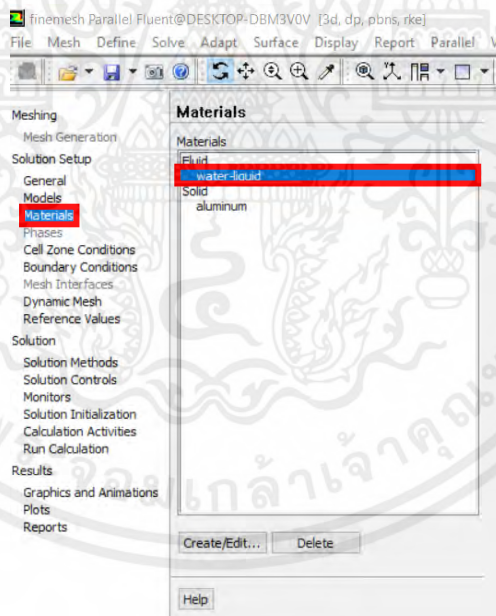
รูปที่ ก.7 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



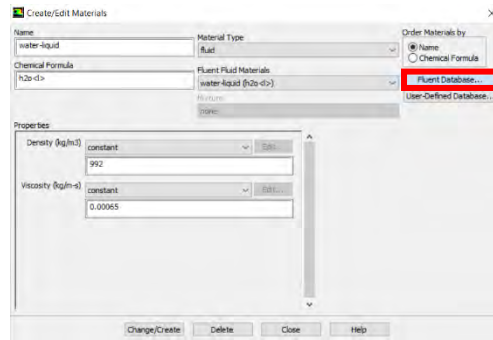
รูปที่ ก.8 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Materials > Fluid > Fluent Database > water-liquid (h2o<l>) > Copy > เลือก Density 992 kg/m³, Viscosity 0.00065 kg/m-s > Close

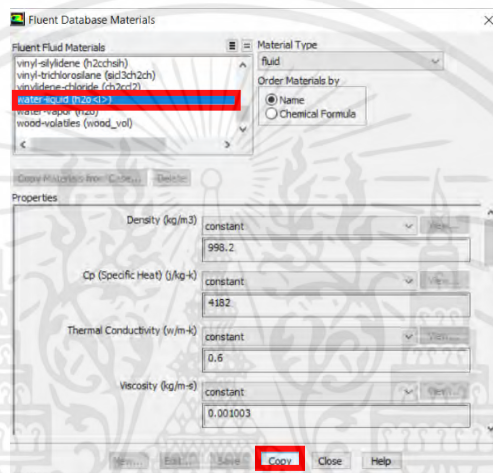


รูปที่ ก.9 ขั้นตอนการ Set up

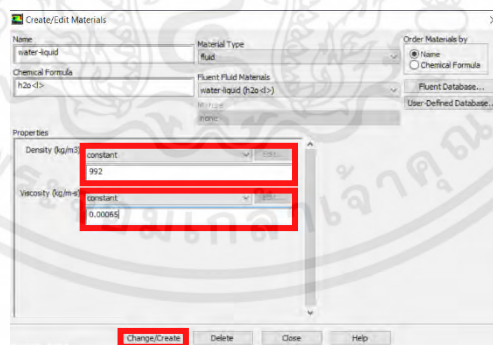
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.10 ขั้นตอนการ Set up

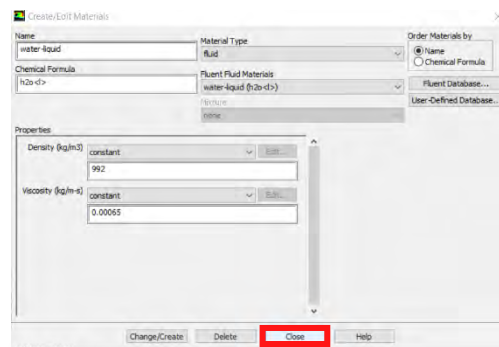


รูปที่ ก.11 ขั้นตอนการ Set up



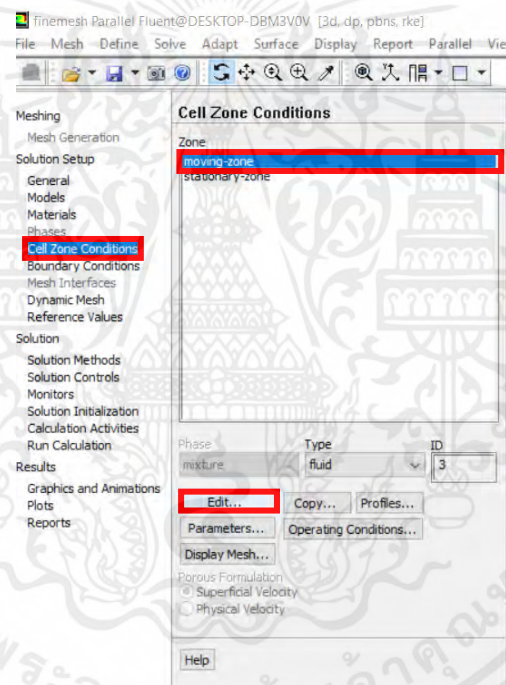
รูปที่ ก.12 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



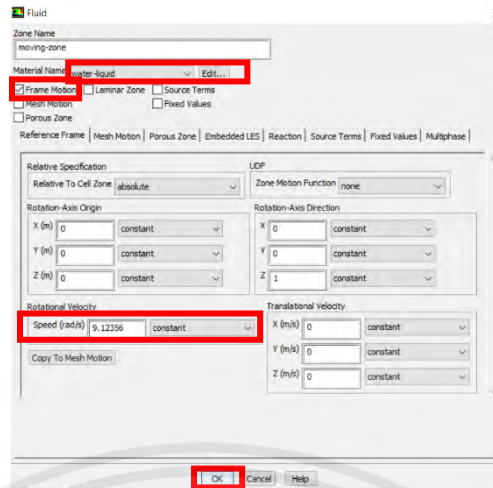
รูปที่ ก.13 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > moving-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid, Frame Motion, Speed 9.12356 rad/s > OK



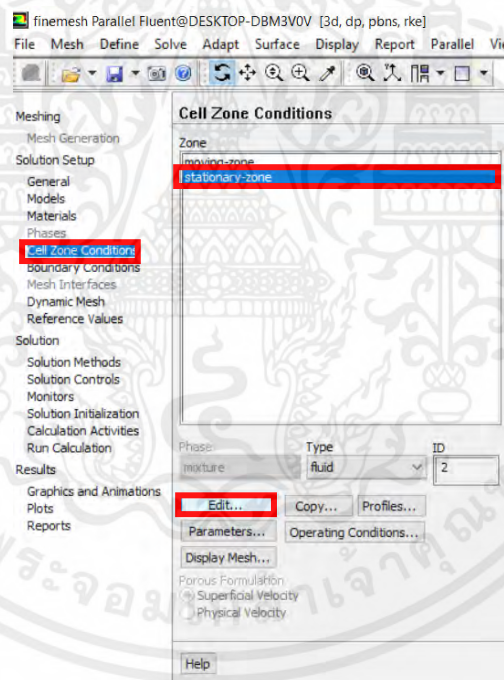
รูปที่ ก.14 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



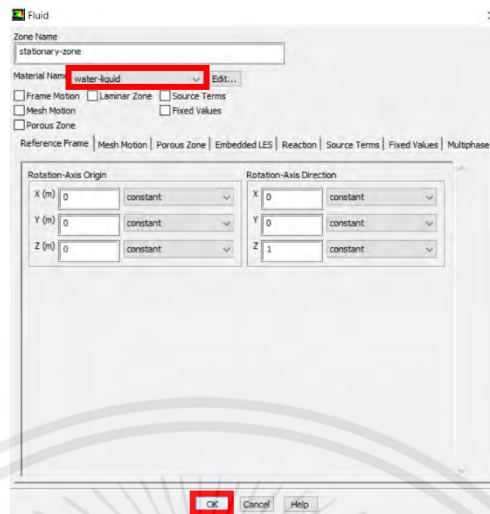
รูปที่ ก.15 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > stationary-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid > OK



รูปที่ ก.16 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.17 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 11 (Moving-left), Shadow zone พิมพ์ 10 (Moving-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y

```

Preparing mesh for display...
Done.
mesh
/nesh> modify-zones
/nesh/modify-zones> mp
Periodic zone [()] 11
Shadow zone [()] 10
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

all 836 faces matched for zones 11 and 10.

zone 10 deleted

created periodic zones.
/nesh/modify-zones>

```

รูปที่ ก.18 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 5 (Stationary-left), Shadow zone พิมพ์ 4 (Stationary-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y > พิมพ์ q > พิมพ์ q

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

zone 10 deleted
created periodic zones.
/nesh/modify-zones> mp
Periodic zone (()) 5
Shadow zone (()) 4
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

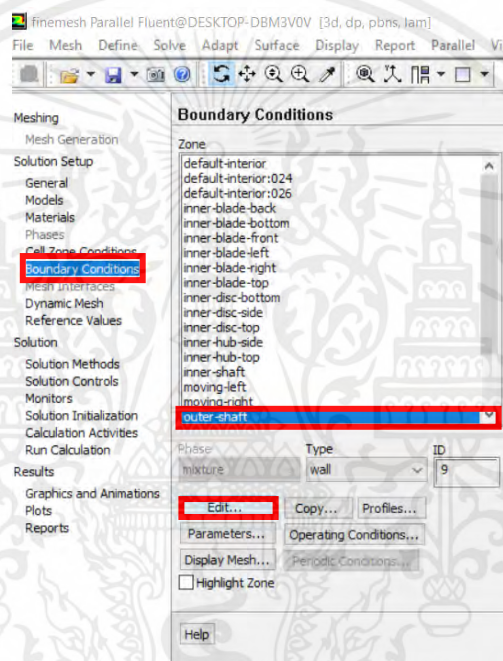
all 3368 Faces matched for zones 5 and 4.

zone 4 deleted
created periodic zones.
/nesh/modify-zones> q
/nesh> q

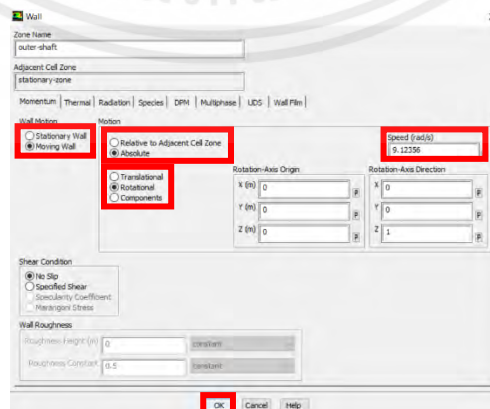
```

รูปที่ ก.19 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > outer-shaft > Edit > เลือก Moving Wall, Absolute, Rotational, Speed 9.12356 rad/s > OK



รูปที่ ก.20 ขั้นตอนการ Set up

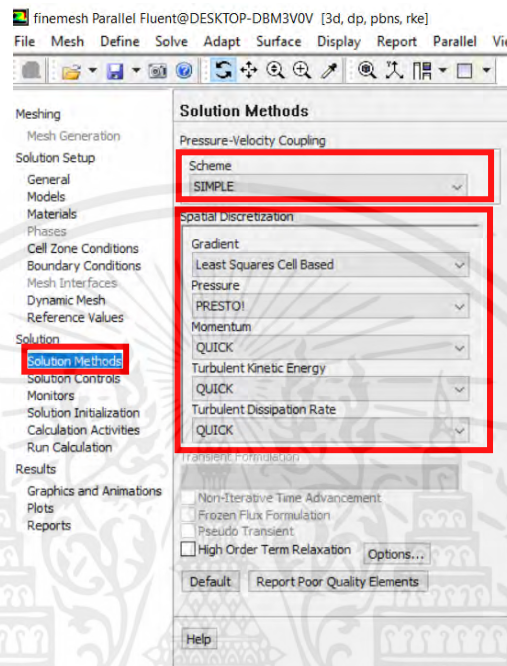


รูปที่ ก.21 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของ Solution

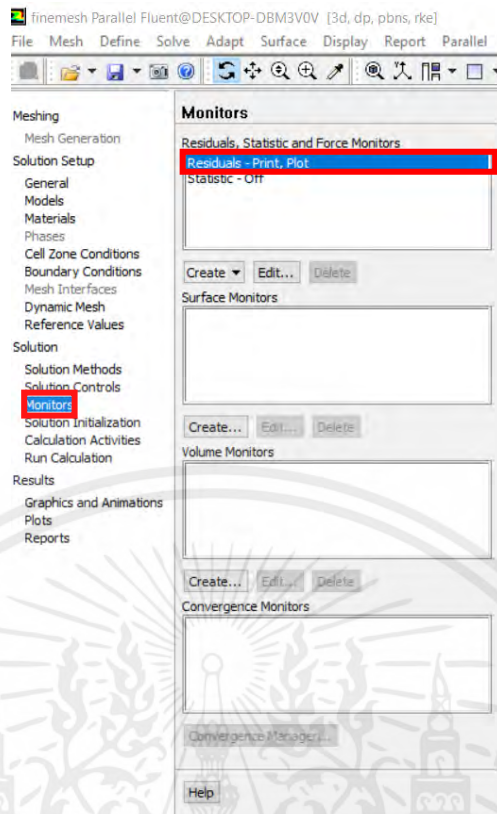
ไปที่ Solution Methods > Scheme เลือก SIMPLE > Gradient เลือก Least Squares Cell Based, Pressure เลือก PRESTO!, Momentum เลือก QUICK, Turbulent Kinetic Energy เลือก QUICK, Turbulent Dissipation Rate เลือก QUICK



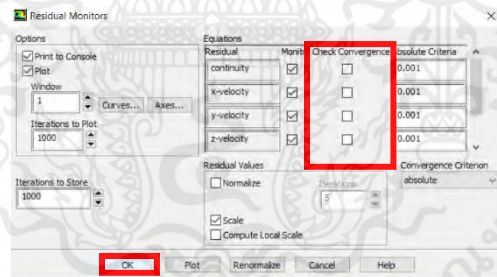
รูปที่ ก.22 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Monitors > Residuals – Print, Plot > เอาเครื่องหมายถูกของ Check Convergence ออกทั้งหมด > OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



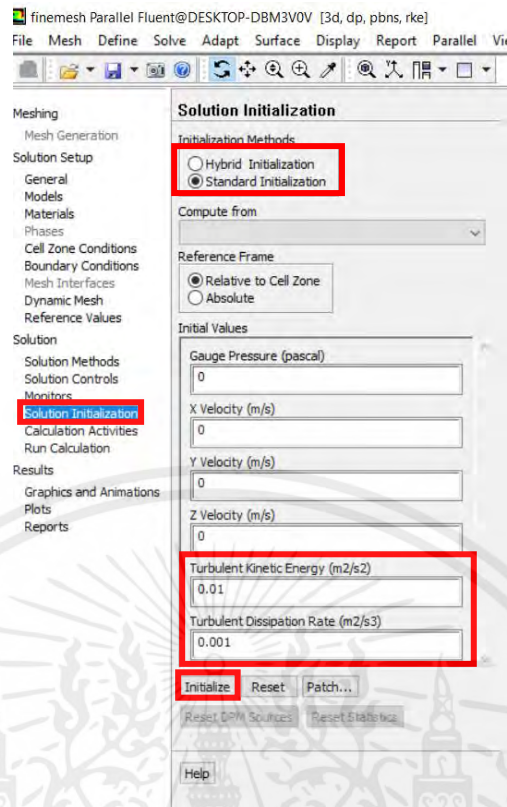
รูปที่ ก.23 ขั้นตอนการ Set up



รูปที่ ก.24 ขั้นตอนการ Set up

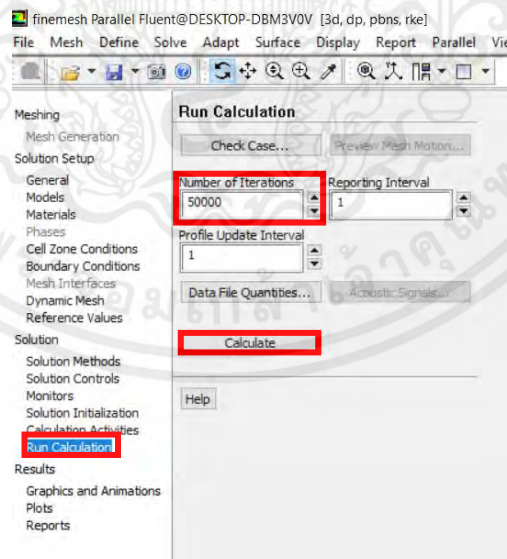
ไปที่ Solution Initialization > Initialization Methods เลือก Standard Initialization > Turbulent Kinetic Energy 0.01 m²/s², Turbulent Dissipation Rate 0.001 m²/s³ > Initialize

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.25 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Run Calculation > Number of Iterations 50000

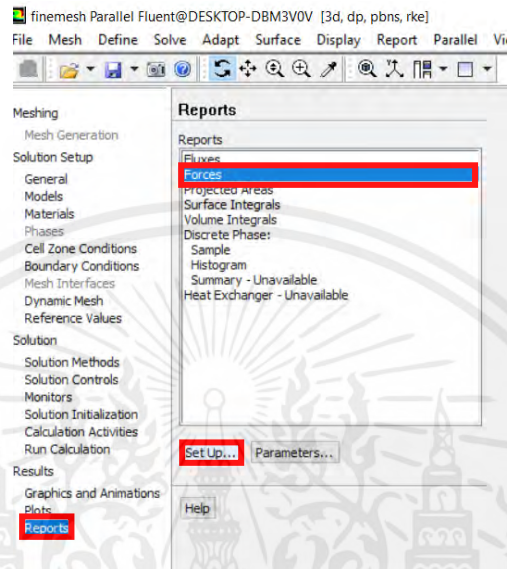


รูปที่ ก.26 ขั้นตอนการ Set up

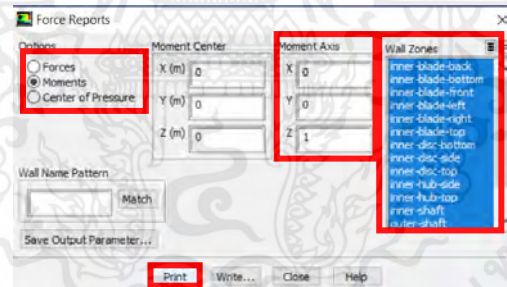
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของ Result

ไปที่ Report > Forces > Set up > Moment > Moment Center เลือก (0,0,0), Moment Axis เลือก (0,0,1) > Wall Zones เลือกทั้งหมดยกเว้น tank-bottom, tank side และ tank top > Print



รูปที่ ก.27 ขั้นตอนการ Set up



รูปที่ ก.28 ขั้นตอนการ Set up

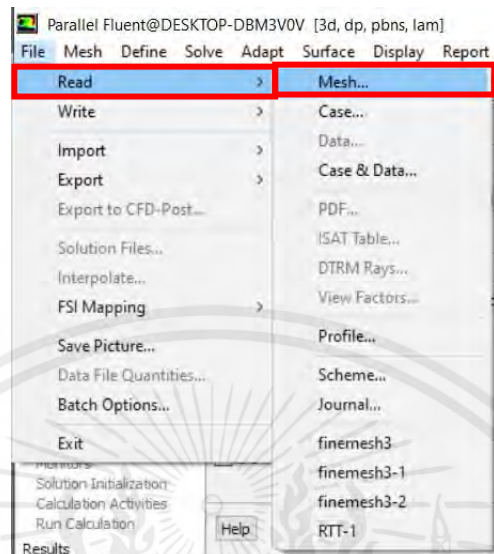
Zone	Moments (n-m)		Total
	Pressure	Viscous	
inner-blade-back	-2.5150419e-09	-4.6382647e-09	-7.1453866e-09
inner-blade-bottom	0	-5.5448893e-07	-5.5448893e-07
inner-blade-front	-4.3315895e-07	-7.3387249e-07	-1.1674324e-06
inner-blade-left	-0.00091100571	-1.6576582e-08	-0.00091102229
inner-blade-right	0.00055063934	9.7261082e-08	0.0005507366
inner-blade-top	0	-5.3125945e-07	-5.3125945e-07
inner-disc-bottom	0	-8.7209054e-09	-8.7209054e-09
inner-disc-side	-3.2621757e-14	-3.483839e-09	-3.4838716e-09
inner-disc-top	0	-1.7428311e-08	-1.7428311e-08
inner-hub-side	2.5106327e-16	9.7978385e-08	9.7978385e-08
inner-hub-top	0	-4.5677349e-09	-4.5677349e-09
inner-shaft	5.5924476e-17	4.2952994e-09	4.2952994e-09
outer-shaft	-3.6736219e-17	6.7615403e-09	6.7615403e-09
Net	-0.00036080204	-1.6685752e-06	-0.00036247061

รูปที่ ก.29 ขั้นตอนการ Set up

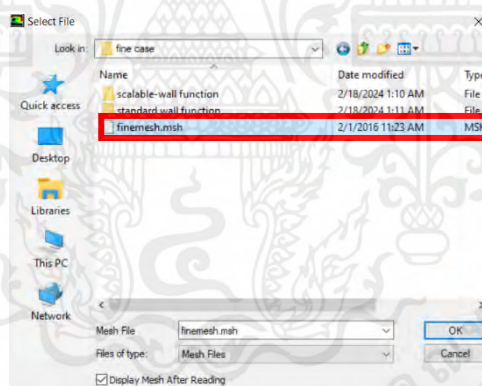
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกรณีไม่ใช่ Curvature correction

ไปที่เมนู File > Read > Mesh > finemesh > OK



รูปที่ ก.30 ขั้นตอนการ Set up

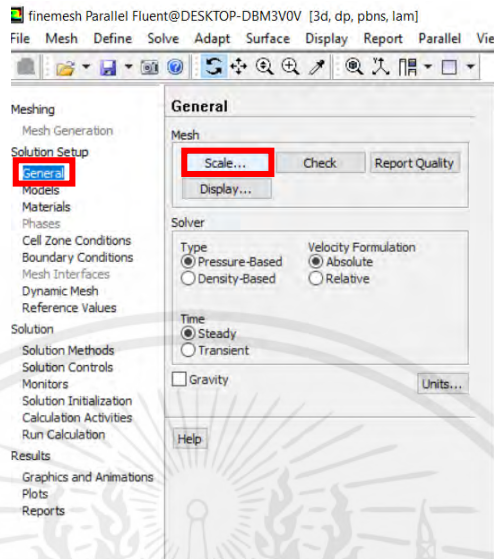


รูปที่ ก.31 ขั้นตอนการ Set up

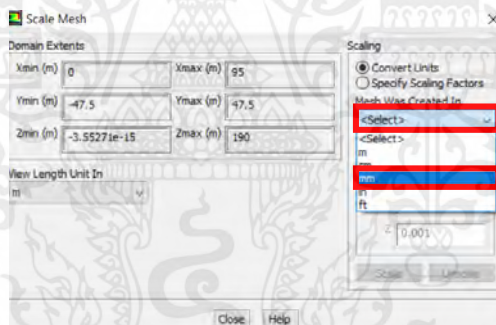
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของ Solution Setup

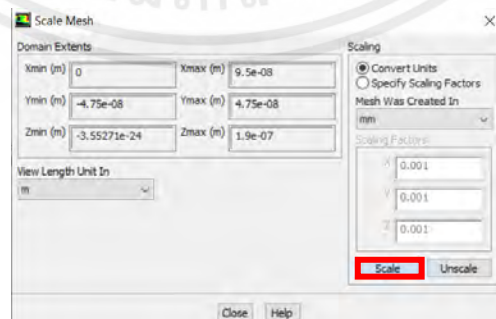
ไปที่ General > Scale > Select > mm > Scale > Close



รูปที่ ก.32 ขั้นตอนการ Set up

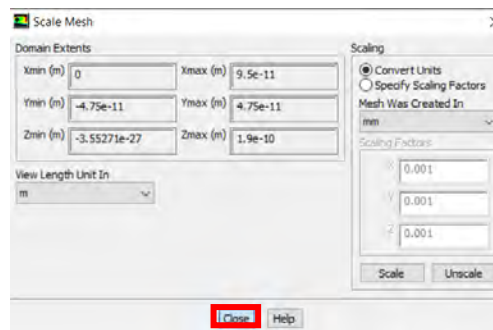


รูปที่ ก.33 ขั้นตอนการ Set up



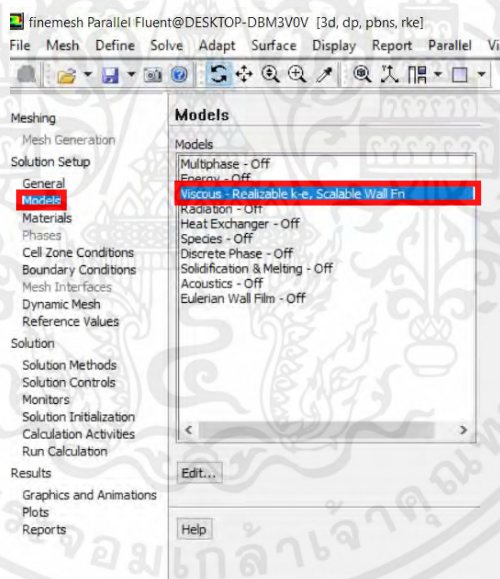
รูปที่ ก.34 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



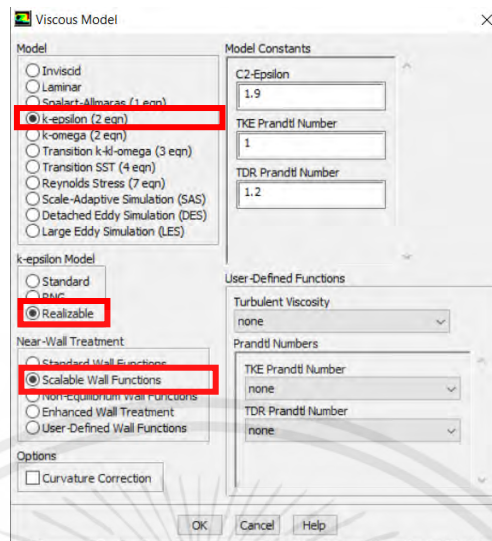
รูปที่ ก.35 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Models > Viscous > Model > เลือก k-epsilon (2 eqn), Realizable, Scalable Wall Functions > OK



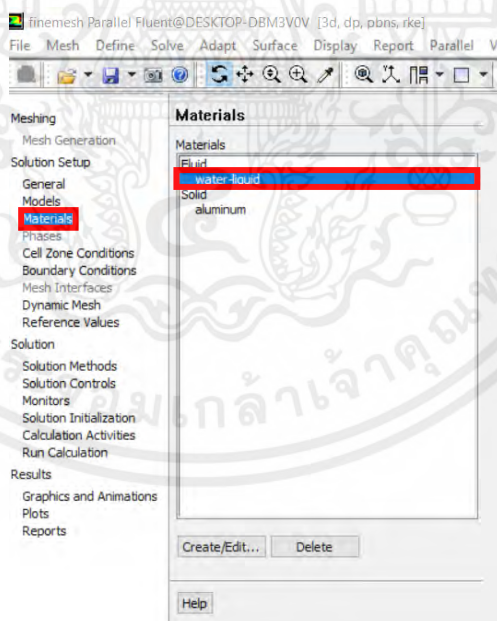
รูปที่ ก.36 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



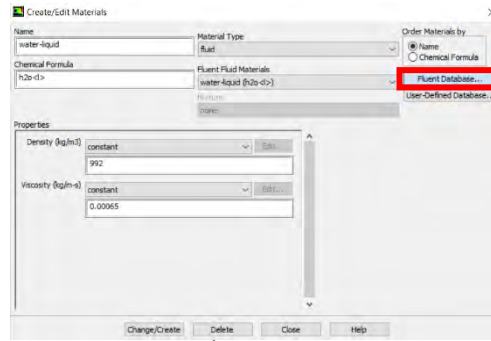
รูปที่ ก.37 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Materials > Fluid > Fluent Database > water-liquid (h2o<l>) > Copy > เลือก Density 992 kg/m³, Viscosity 0.00065 kg/m-s > Close

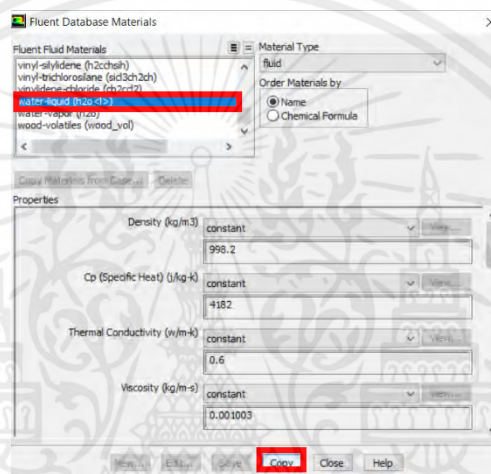


รูปที่ ก.38 ขั้นตอนการ Set up

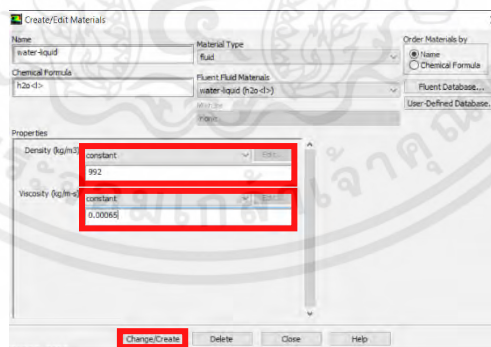
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.39 ขั้นตอนการ Set up

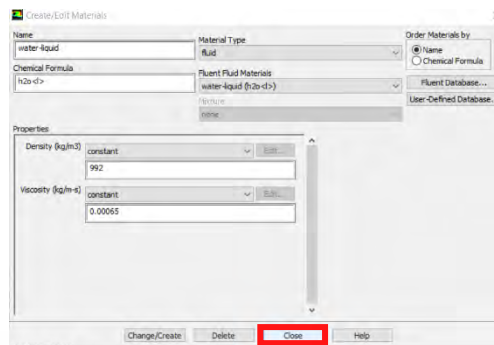


รูปที่ ก.40 ขั้นตอนการ Set up



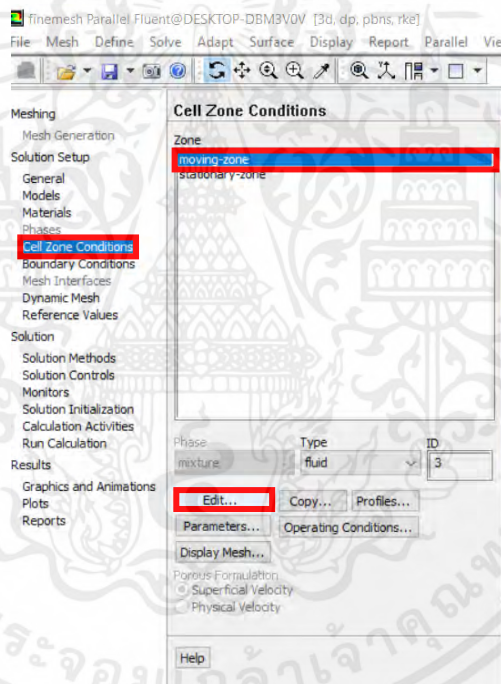
รูปที่ ก.41 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



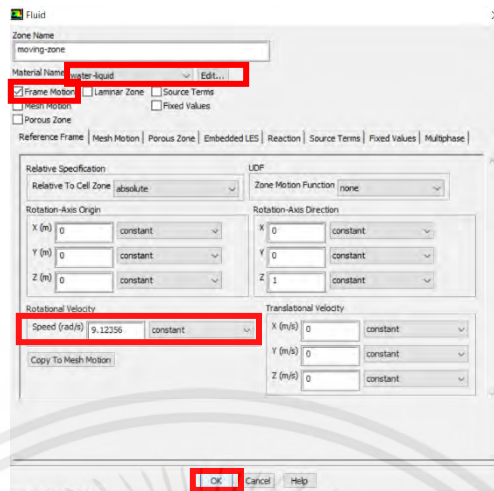
รูปที่ ก.42 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > moving-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid, Frame Motion, Speed 9.12356 rad/s > OK



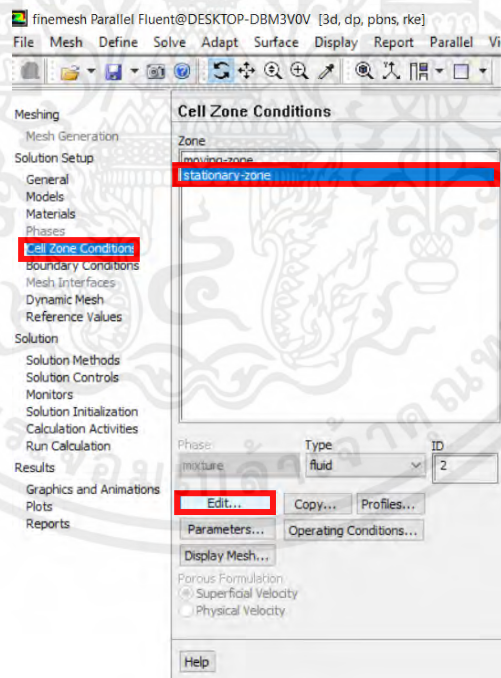
รูปที่ ก.43 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



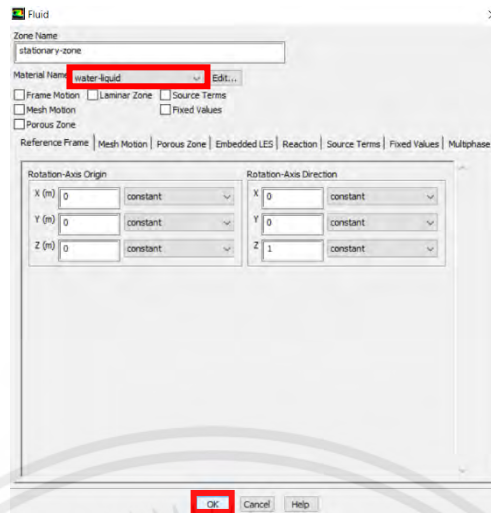
รูปที่ ก.44 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > stationary-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid > OK



รูปที่ ก.45 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.46 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 11 (Moving-left), Shadow zone พิมพ์ 10 (Moving-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y

```

Preparing mesh for display...
Done.
mesh

/mesh> modify-zones

/mesh/modify-zones> mp
Periodic zone [O] 11
Shadow zone [O] 10
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

all 836 faces matched for zones 11 and 10.
zone 10 deleted

created periodic zones.
/mesh/modify-zones>
  
```

รูปที่ ก.47 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 5 (Stationary-left), Shadow zone พิมพ์ 4 (Stationary-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y > พิมพ์ q > พิมพ์ q

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

zone 10 deleted
created periodic zones.
/nesh/modify-zones> np
Periodic zone [()] 5
Shadow zone [()] 4
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

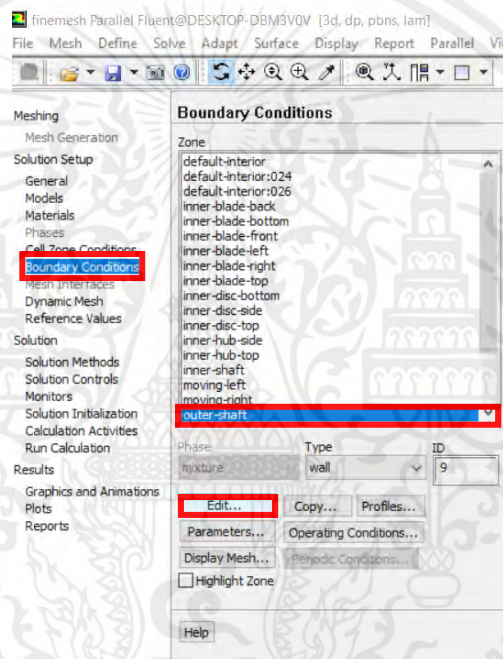
all 3368 Faces matched for zones 5 and 4.

zone 4 deleted
created periodic zones.
/nesh/modify-zones> q
/nesh> q

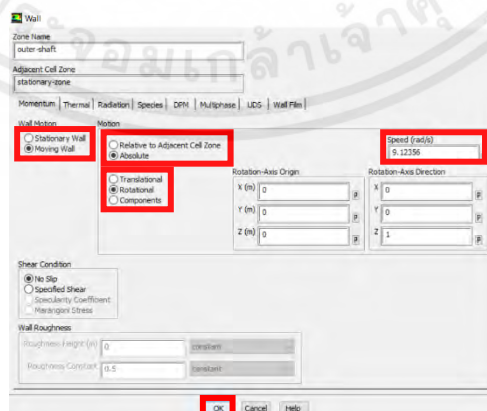
```

รูปที่ ก.48 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > outer-shaft > Edit > เลือก Moving Wall, Absolute, Rotational, Speed 9.12356 rad/s > OK



รูปที่ ก.49 ขั้นตอนการ Set up

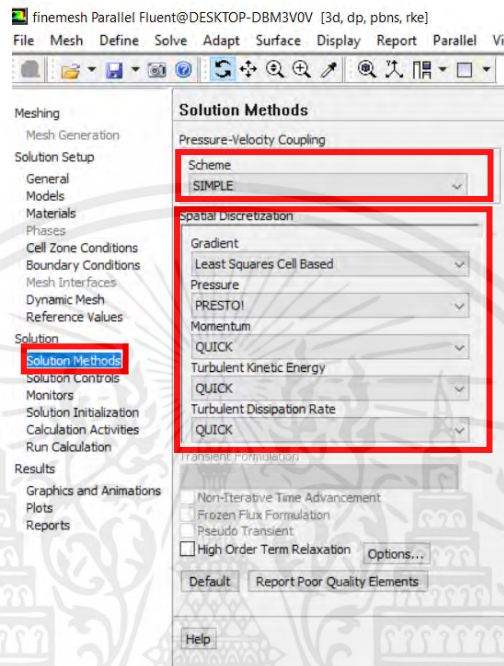


รูปที่ ก.50 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของ Solution

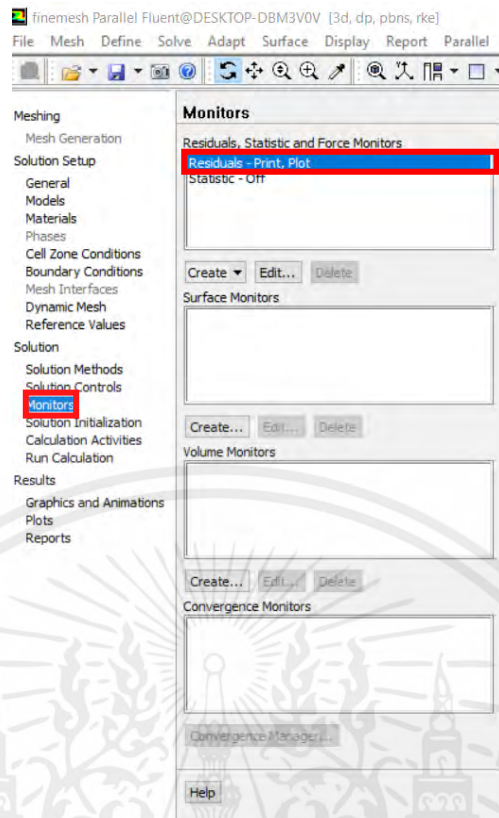
ไปที่ Solution Methods > Scheme เลือก SIMPLE > Gradient เลือก Least Squares Cell Based, Pressure เลือก PRESTO!, Momentum เลือก QUICK, Turbulent Kinetic Energy เลือก QUICK, Turbulent Dissipation Rate เลือก QUICK



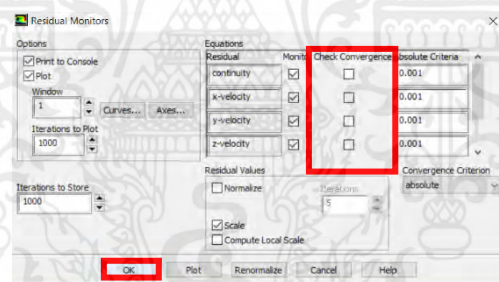
รูปที่ ก.51 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Monitors > Residuals – Print, Plot > เอาเครื่องหมายถูกของ Check Convergence ออกทั้งหมด > OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



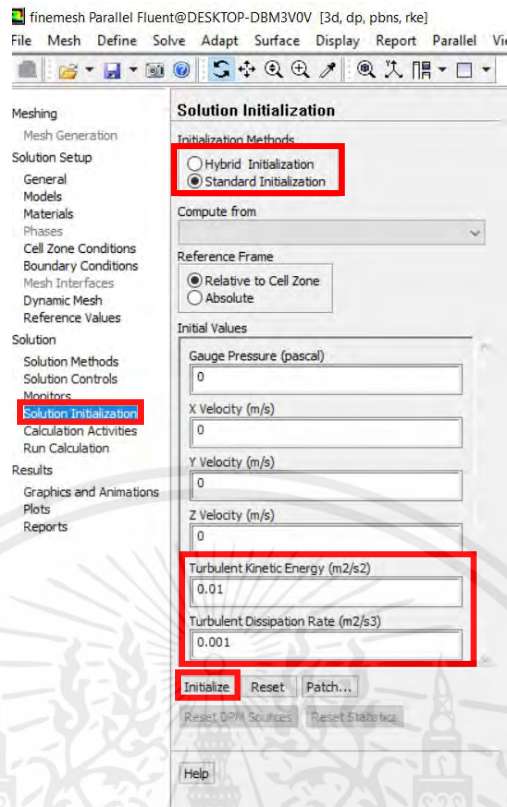
รูปที่ ก.52 ขั้นตอนการ Set up



รูปที่ ก.53 ขั้นตอนการ Set up

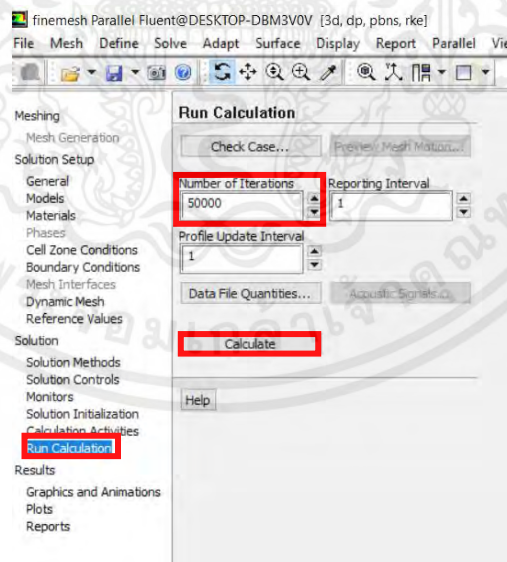
ไปที่ Solution Initialization > Initialization Methods เลือก Standard Initialization > Turbulent Kinetic Energy 0.01 m²/s², Turbulent Dissipation Rate 0.001 m²/s³ > Initialize

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.54 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Run Calculation > Number of Iterations 50000

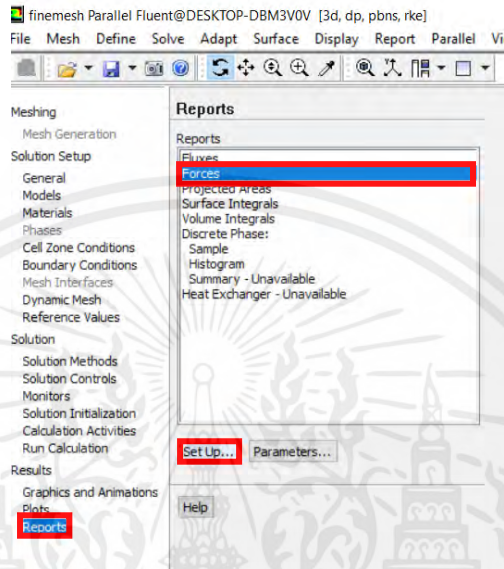


รูปที่ ก.55 ขั้นตอนการ Set up

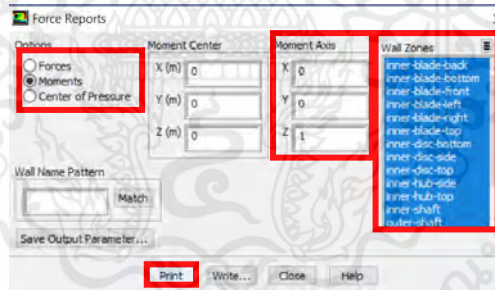
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของ Result

ไปที่ Report > Forces > Set up > Moment > Moment Center เลือกร (0,0,0), Moment Axis เลือกร (0,0,1) > Wall Zones เลือกรทั้งหมดยกเว้น tank-bottom, tank side และ tank top > Print



รูปที่ ก.56 ขั้นตอนการ Set up



รูปที่ ก.57 ขั้นตอนการ Set up

Zone	Moments (n-n)		
	Pressure	Viscous	Total
inner-blade-back	2.677890e-08	-1.2846275e-07	-1.0128982e-07
inner-blade-bottom	0	-7.3681672e-07	-7.3681672e-07
inner-blade-front	-5.5688859e-07	-7.1076825e-07	-1.2676568e-06
inner-blade-left	0.00085803472	-6.0381684e-08	0.0008580951
inner-blade-right	0.0002812711	1.3790951e-07	0.00028140981
inner-blade-top	0	-9.05001e-07	-9.05001e-07
inner-disc-bottom	0	-5.9087356e-07	-5.9087356e-07
inner-disc-side	-5.9027556e-14	-1.2064651e-07	-1.2064657e-07
inner-disc-top	0	-7.2142236e-07	-7.2142236e-07
inner-hub-side	6.0259961e-16	-3.3612866e-07	-3.3612866e-07
inner-hub-top	0	-5.0541268e-08	-5.0541268e-08
inner-shaft	-2.3992812e-16	-1.4685159e-09	-1.4685161e-09
outer-shaft	-6.4203859e-16	-2.2576142e-08	-2.2576142e-08
Net	-0.0005729372	-4.245277e-06	-0.000581530

รูปที่ ก.58 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

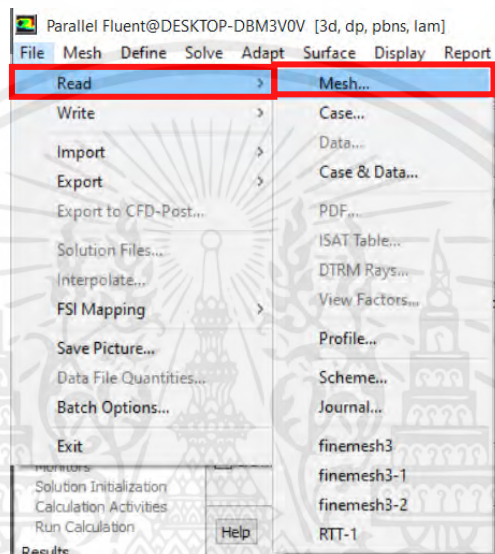
ขั้นตอนการจำลองการไหลของกังหันคววนโดยใช้ Scalable wall function และใช้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด RNG k- ϵ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

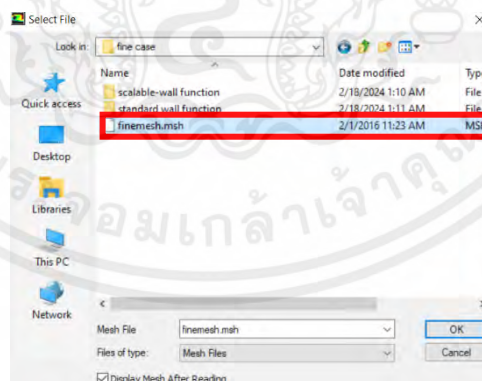
การกำหนดสภาวะขอบเขตและวิธีการคำนวณในโปรแกรม ANSYS FLUENT 14.5 ในการจำลองการไหลของถึงปั่นกววนโดยใช้ Scalable wall function และใช้โมเดล RNG k- ϵ ในการคำนวณจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่มีการใช้ Option Curvature correction และไม่ใช่ Curvature correction ในการคำนวณ โดยมีขั้นตอนดังนี้

สำหรับ Curvature correction

ไปที่เมนู File > Read > Mesh > finemesh > OK



รูปที่ ข.1 ขั้นตอนการ Set up

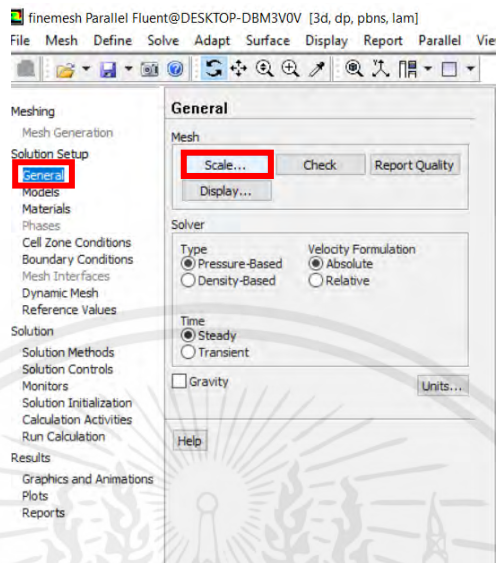


รูปที่ ข.2 ขั้นตอนการ Set up

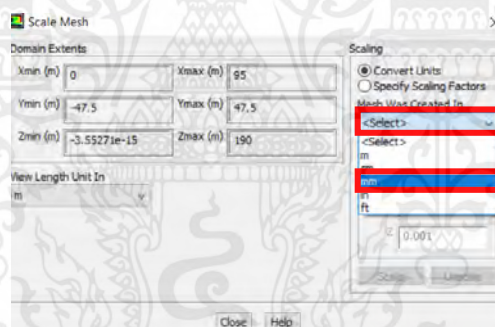
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของ Solution Setup

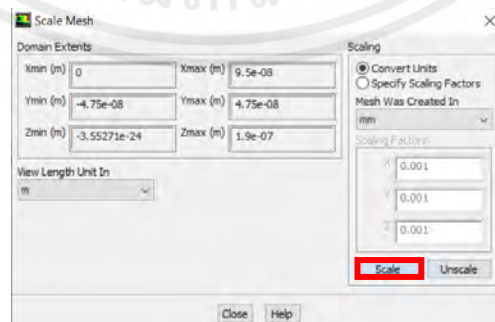
ไปที่ General > Scale > Select > mm > Scale > Close



รูปที่ ข.3 ขั้นตอนการ Set up

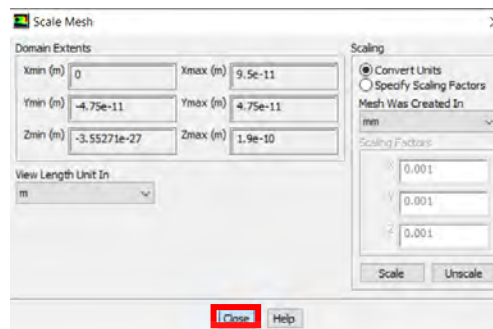


รูปที่ ข.4 ขั้นตอนการ Set up



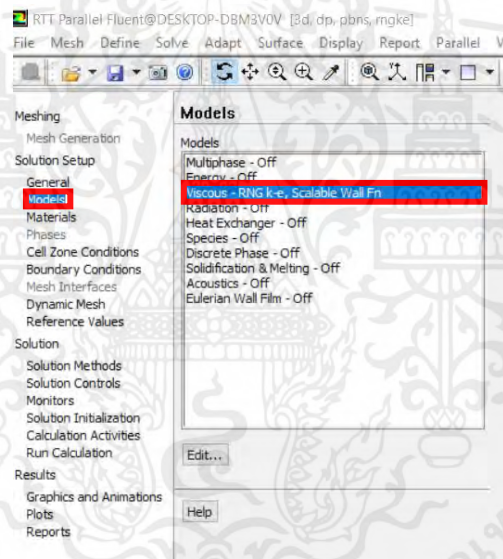
รูปที่ ข.5 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



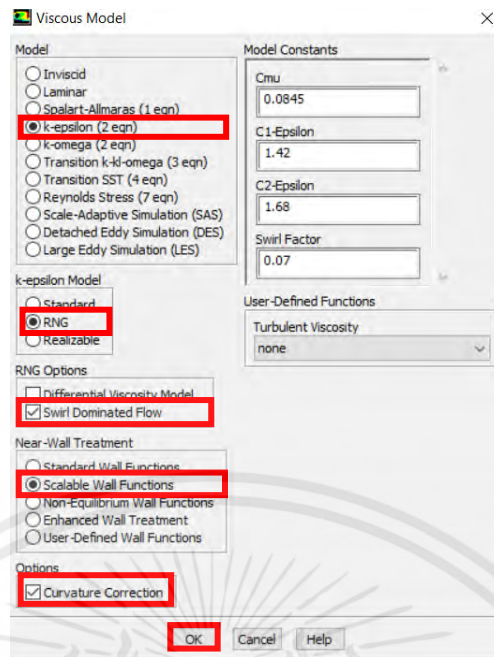
รูปที่ ข.6 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Models > Viscous > Model > เลือก k-epsilon (2 eqn), RNG, Swirl Dominated Flow, Scalable Wall Functions, Curvature Correction > OK



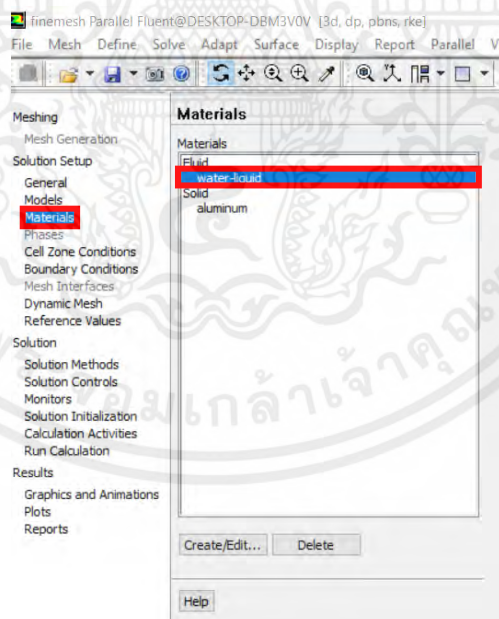
รูปที่ ข.7 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



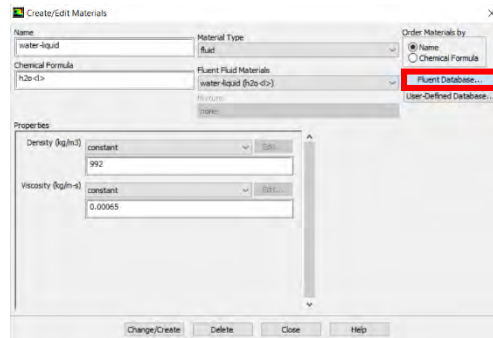
รูปที่ ข.8 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Materials > Fluid > Fluent Database > water-liquid (h2o<|>) > Copy > เลือก Density 992 kg/m³, Viscosity 0.00065 kg/m-s > Close

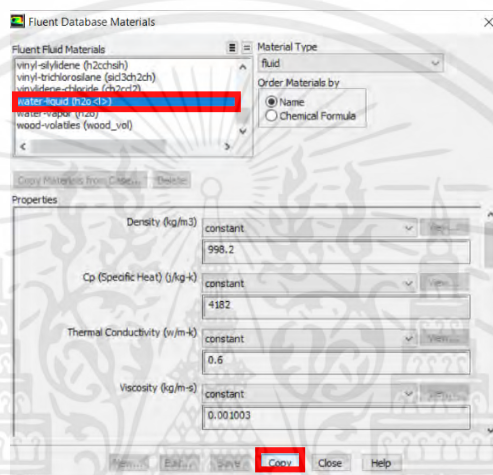


รูปที่ ข.9 ขั้นตอนการ Set up

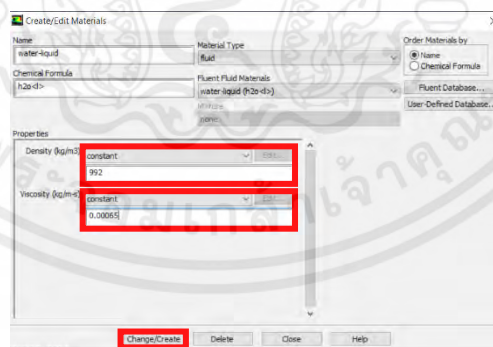
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.10 ขั้นตอนการ Set up

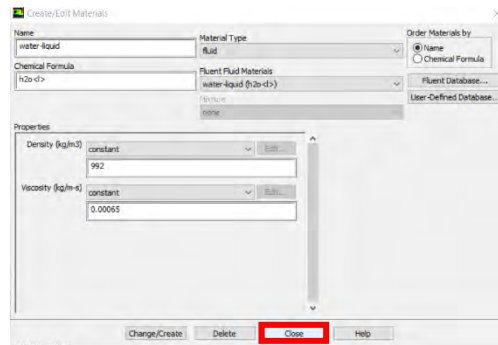


รูปที่ ข.11 ขั้นตอนการ Set up



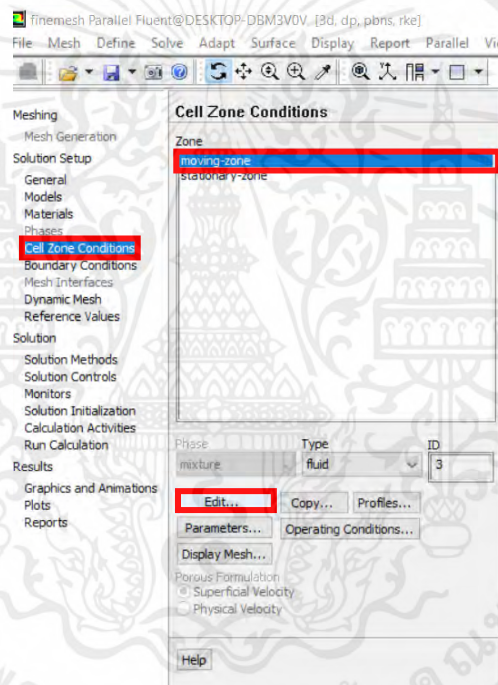
รูปที่ ข.12 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



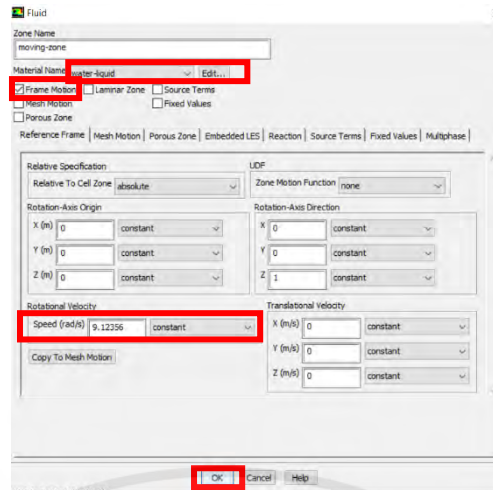
รูปที่ ข.13 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > moving-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid, Frame Motion, Speed 9.12356 rad/s > OK



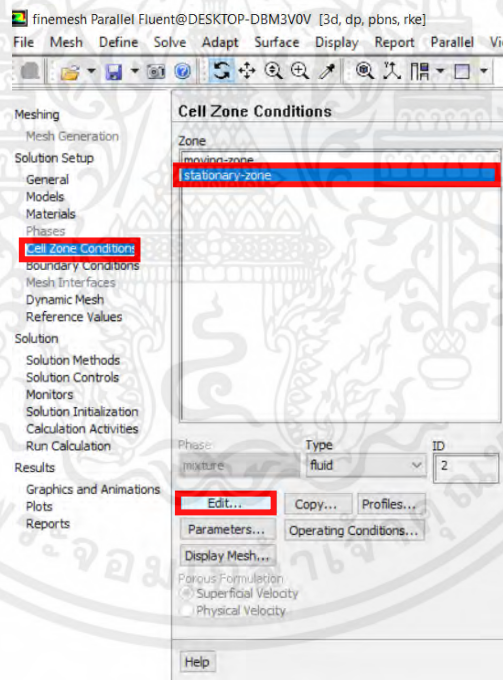
รูปที่ ข.14 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



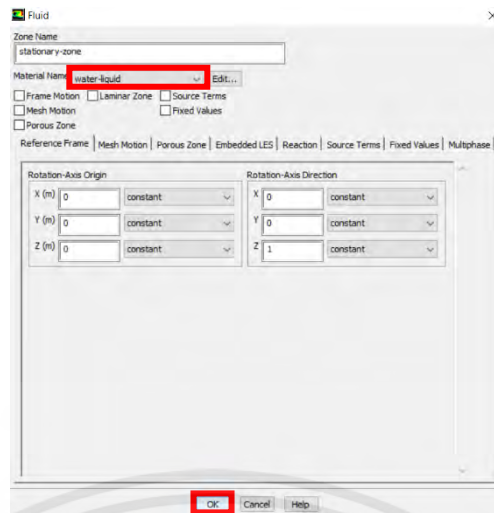
รูปที่ ข.15 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > stationary-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid > OK



รูปที่ ข.16 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.17 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 11 (Moving-left), Shadow zone พิมพ์ 10 (Moving-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y

```

Preparing mesh for display...
Done.
mesh
/mesh> modify-zones

/mesh/modify-zones> mp
Periodic zone [()] 11
Shadow zone [()] 10
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

all 836 faces matched for zones 11 and 10.

zone 10 deleted

created periodic zones.
/mesh/modify-zones>

```

รูปที่ ข.18 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 5 (Stationary-left), Shadow zone พิมพ์ 4 (Stationary-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y > พิมพ์ q > พิมพ์ q

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

zone 10 deleted
created periodic zones.
/nesh/modify-zones> np
Periodic zone [()] 5
Shadow zone [()] 4
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

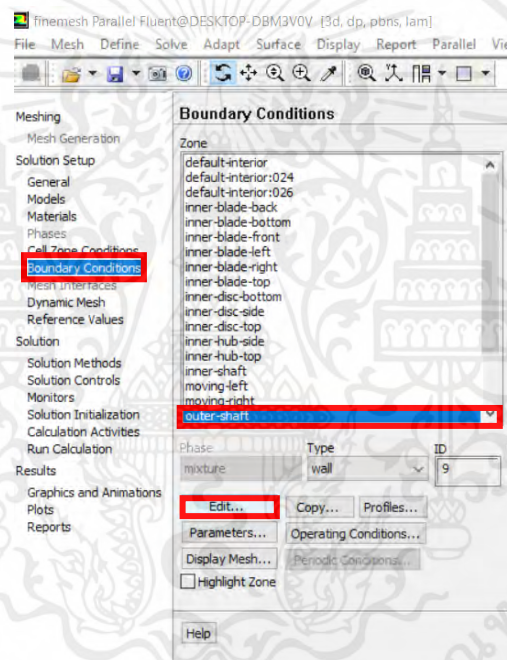
all 3368 faces matched for zones 5 and 4.

zone 4 deleted
created periodic zones
/nesh/modify-zones> q
/nesh> q

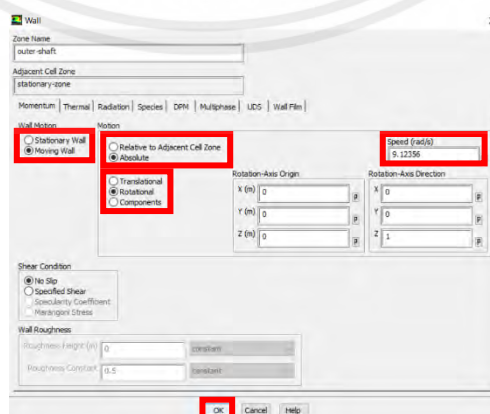
```

รูปที่ ข.19 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > outer-shaft > Edit > เลือก Moving Wall, Absolute, Rotational, Speed 9.12356 rad/s > OK



รูปที่ ข.20 ขั้นตอนการ Set up

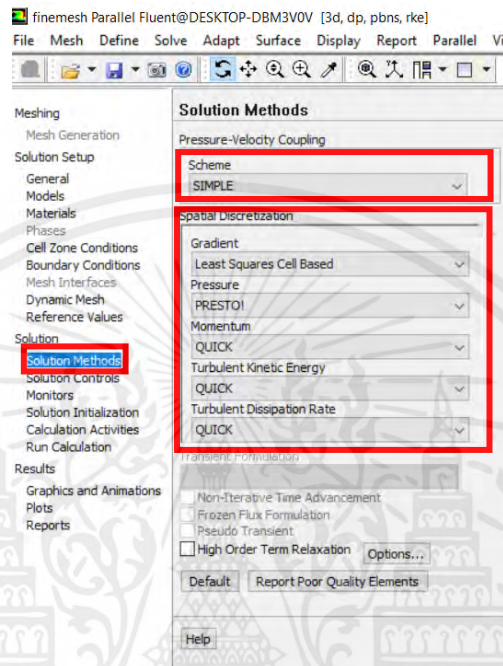


รูปที่ ข.21 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

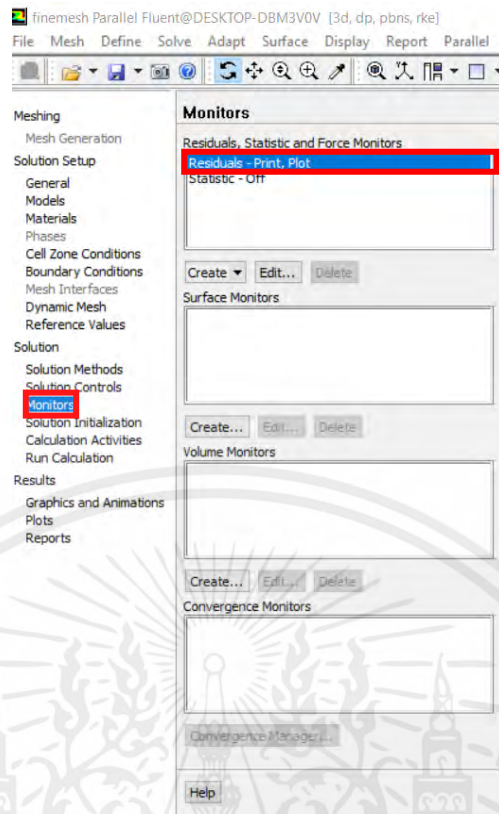
ส่วนของ Solution

ไปที่ Solution Methods > Scheme เลือก SIMPLE > Gradient เลือก Least Squares Cell Based, Pressure เลือก PRESTO!, Momentum เลือก QUICK, Turbulent Kinetic Energy เลือก QUICK, Turbulent Dissipation Rate เลือก QUICK

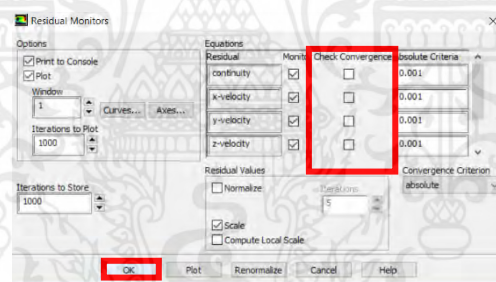


รูปที่ ข.22 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Monitors > Residuals – Print, Plot > เอาเครื่องหมายถูกของ Check Convergence ออกทั้งหมด > OK



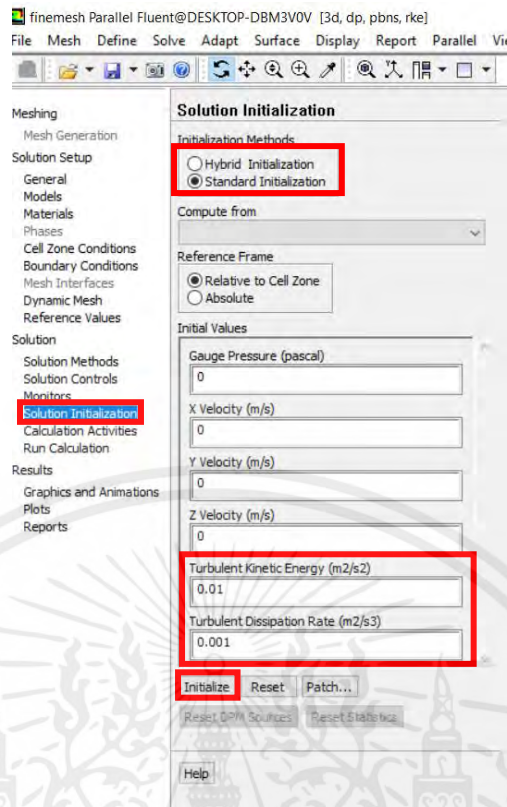
รูปที่ ข.23 ขั้นตอนการ Set up



รูปที่ ข.24 ขั้นตอนการ Set up

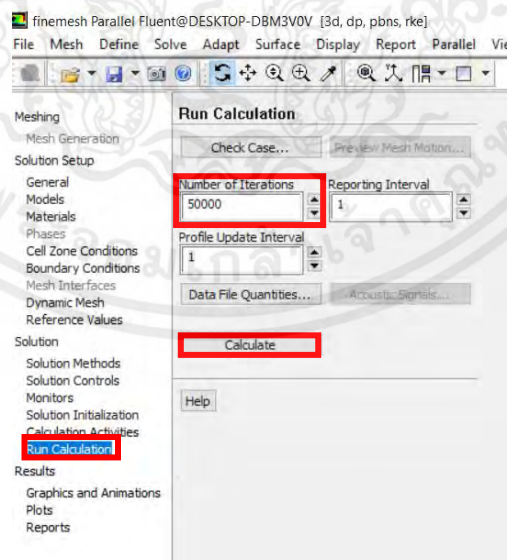
ไปที่ Solution Initialization > Initialization Methods เลือก Standard Initialization > Turbulent Kinetic Energy 0.01 m²/s², Turbulent Dissipation Rate 0.001 m²/s³ > Initialize

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.25 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Run Calculation > Number of Iterations 50000

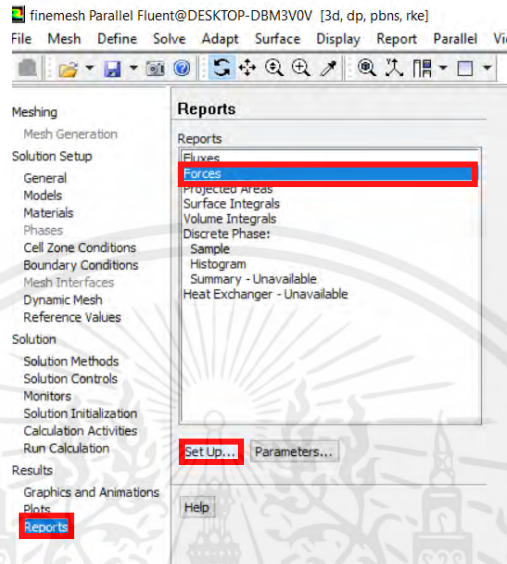


รูปที่ ข.26 ขั้นตอนการ Set up

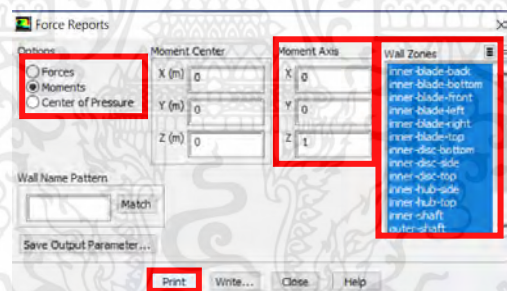
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของ Result

ไปที่ Report > Forces > Set up > Moment > Moment Center เลือกร (0,0,0), Moment Axis เลือกร (0,0,1) > Wall Zones เลือกรทั้งหมดยกเว้น tank-bottom, tank side และ tank top > Print



รูปที่ ข.27 ขั้นตอนการ Set up



รูปที่ ข.28 ขั้นตอนการ Set up

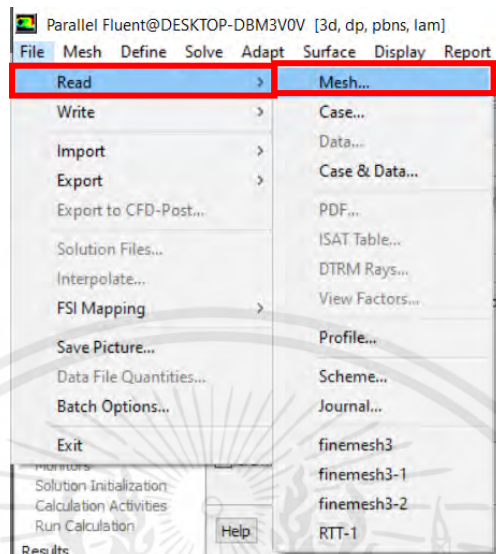
Zone	Moments (N-m)	Pressure	Viscous	Total
inner-blade-back	-5.2442259e-10	5.8532082e-10	6.0898226e-11	
inner-blade-bottom	0	-2.6212975e-07	-2.6212975e-07	
inner-blade-front	-3.3086687e-07	-3.4712202e-07	-6.8098889e-07	
inner-blade-left	-0.0006261592	-7.8818469e-09	0.0006262381	
inner-blade-right	0.00056744086	6.5833549e-08	0.0005677127	
inner-blade-top	0	-2.6075215e-07	-2.6075215e-07	
inner-disc-bottom	0	1.6511105e-08	1.6511105e-08	
inner-disc-side	-2.2908836e-14	-4.9208904e-09	-4.9209193e-09	
inner-disc-top	0	-1.0631932e-08	-1.0631932e-08	
inner-hub-side	3.1133847e-17	1.4912124e-07	1.4912124e-07	
inner-hub-top	0	4.0788018e-09	4.0788018e-09	
inner-shaft	3.1154662e-16	3.6355375e-09	3.6355378e-09	
outer-shaft	1.1330716e-15	1.9151686e-08	1.9151687e-08	
Net	-0.00029530645	-6.3452136e-07	-6.3452136e-07	

รูปที่ ข.29 ขั้นตอนการ Set up

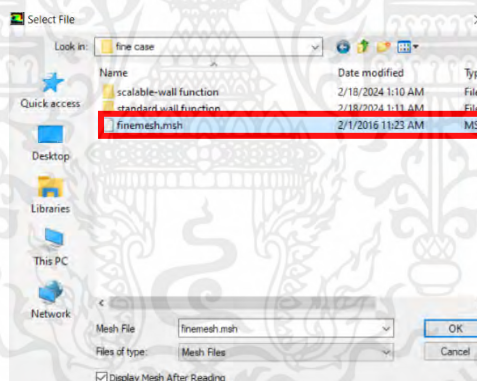
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกรณีไม่ใช้ Curvature correction

ไปที่เมนู File > Read > Mesh > finemesh > OK



รูปที่ ข.30 ขั้นตอนการ Set up

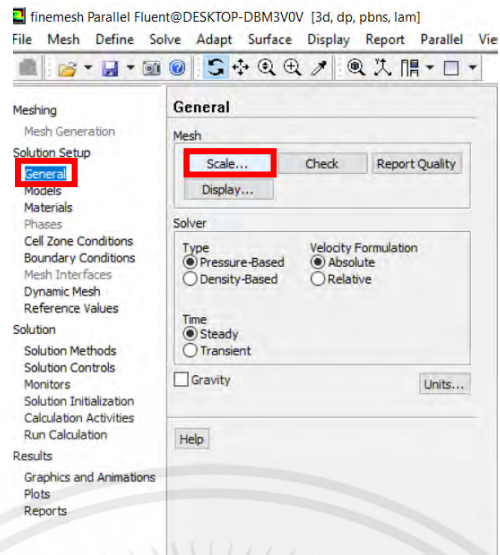


รูปที่ ข.31 ขั้นตอนการ Set up

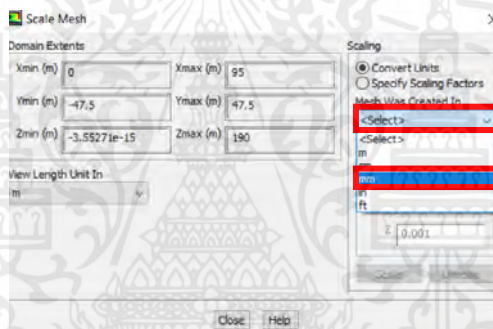
ส่วนของ Solution Setup

ไปที่ General > Scale > Select > mm > Scale > Close

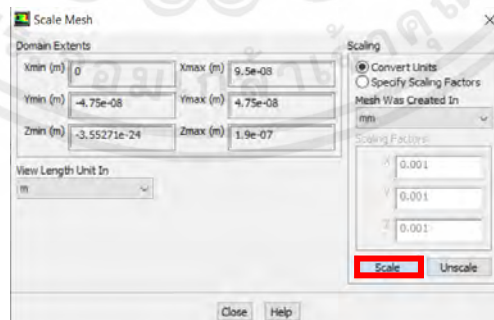
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.32 ขั้นตอนการ Set up

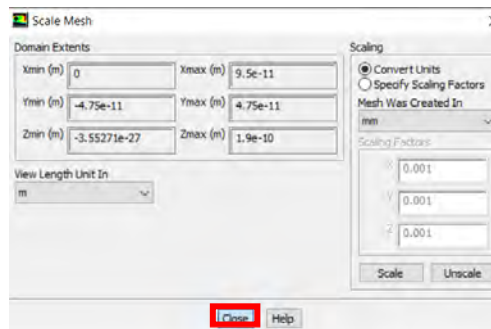


รูปที่ ข.33 ขั้นตอนการ Set up



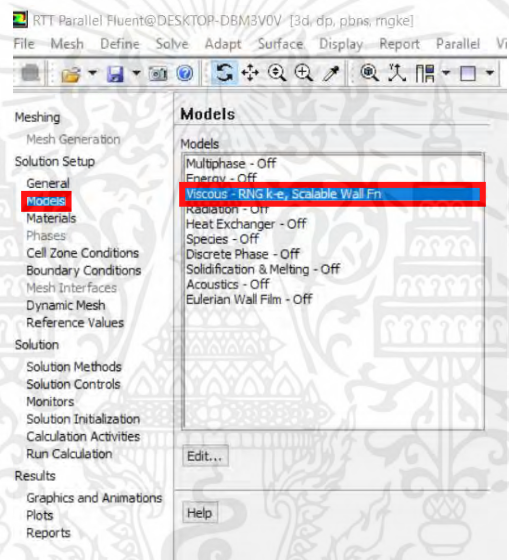
รูปที่ ข.34 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



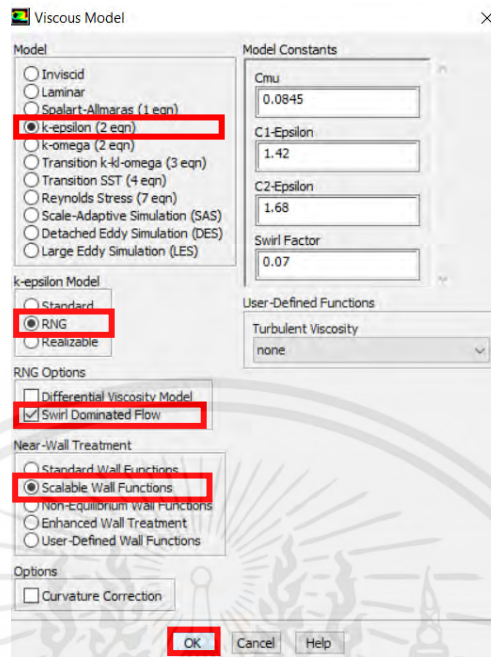
รูปที่ ข.35 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Models > Viscous > Model > เลือก k-epsilon (2 eqn), RNG, Swirl Dominated Flow, Scalable Wall Functions > OK



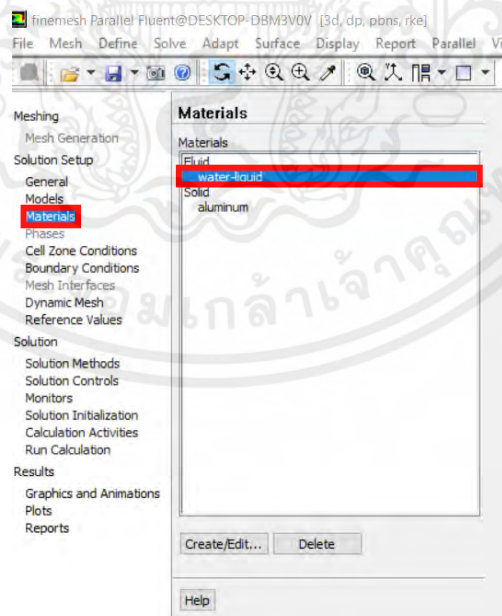
รูปที่ ข.36 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



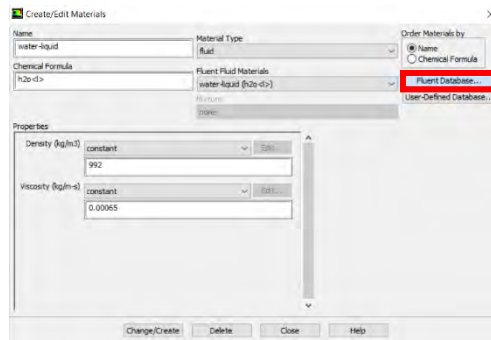
รูปที่ ข.37 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Materials > Fluid > Fluent Database > water-liquid (h2o<L>) > Copy > เลือก Density 992 kg/m³, Viscosity 0.00065 kg/m-s > Close

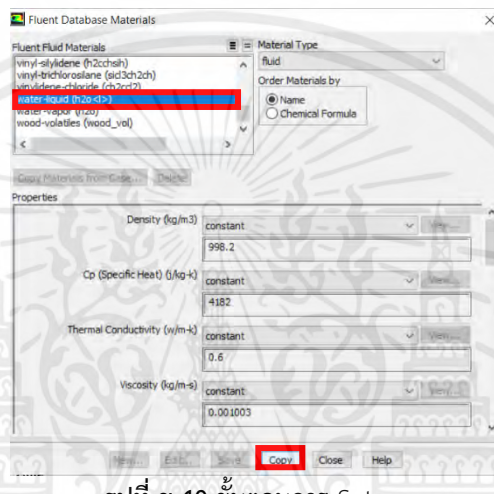


รูปที่ ข.38 ขั้นตอนการ Set up

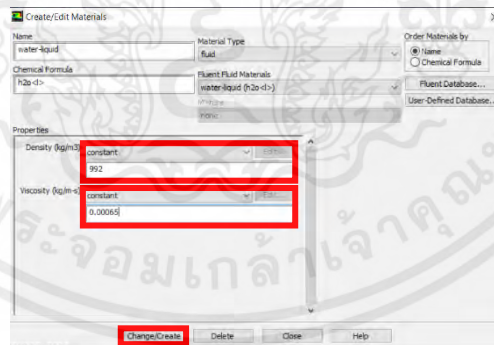
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.39 ขั้นตอนการ Set up

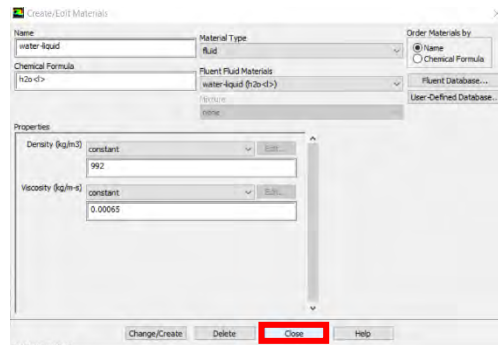


รูปที่ ข.40 ขั้นตอนการ Set up



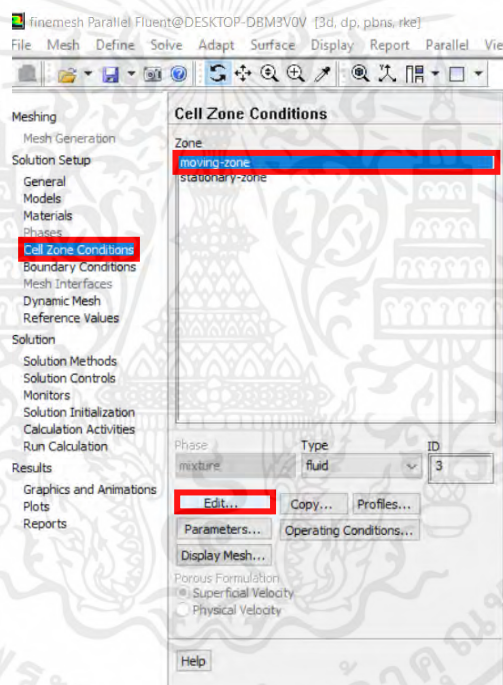
รูปที่ ข.41 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



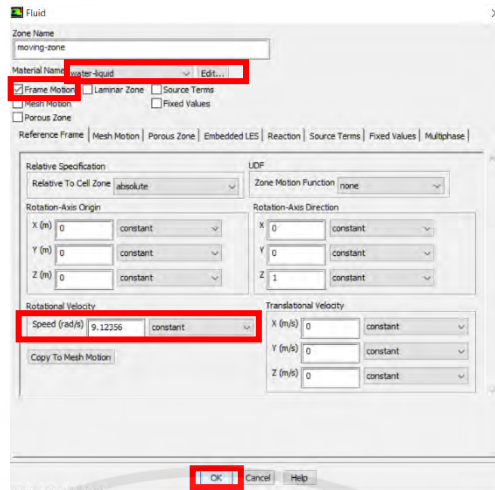
รูปที่ ข.42 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > moving-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid, Frame Motion, Speed 9.12356 rad/s > OK



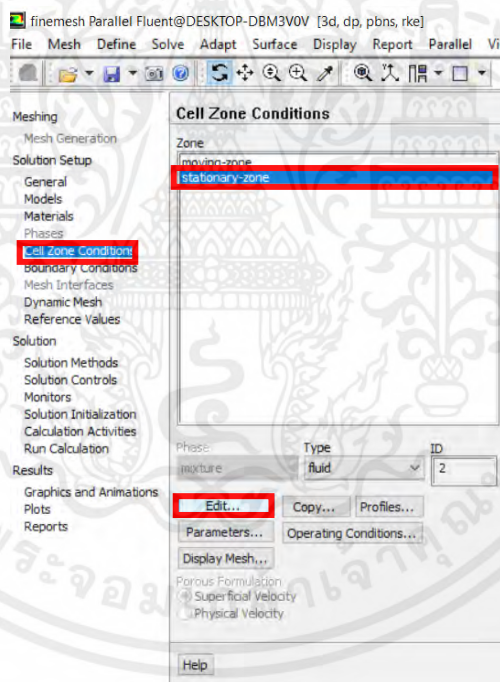
รูปที่ ข.43 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



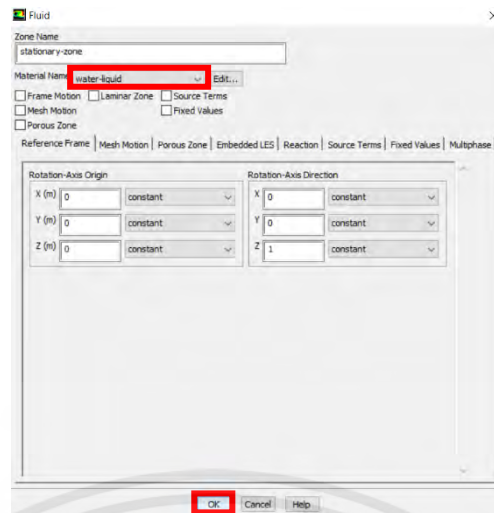
รูปที่ ข.44 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > stationary-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid > OK



รูปที่ ข.45 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.46 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 11 (Moving-left), Shadow zone พิมพ์ 10 (Moving-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y

```
Preparing mesh for display...
Done.
mesh
/mesh> modify-zones
/mesh/modify-zones> mp
Periodic zone [()] 11
Shadow zone [()] 10
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

all 836 faces matched for zones 11 and 10.

zone 10 deleted

created periodic zones.
/mesh/modify-zones> |
```

รูปที่ ข.47 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 5 (Stationary-left), Shadow zone พิมพ์ 4 (Stationary-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y > พิมพ์ q > พิมพ์ q

```
zone 10 deleted

created periodic zones.
/mesh/modify-zones> mp
Periodic zone [()] 5
Shadow zone [()] 4
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

all 3368 faces matched for zones 5 and 4.

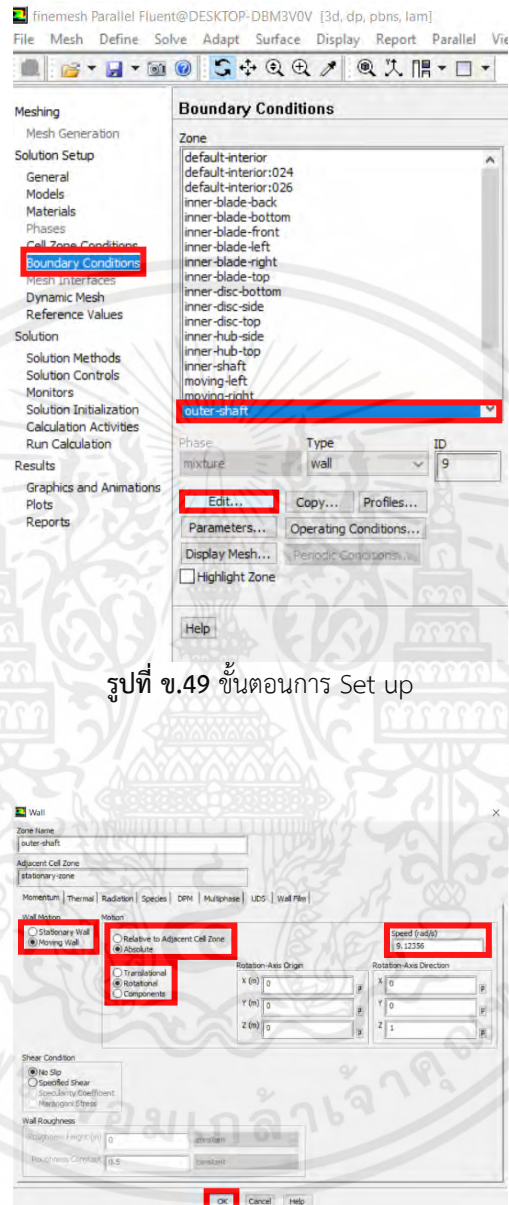
zone 4 deleted

created periodic zones.
/mesh/modify-zones> q
/mesh> q
```

รูปที่ ข.48 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปที่ Boundary Conditions > outer-shaft > Edit > เลือก Moving Wall, Absolute, Rotational, Speed 9.12356 rad/s > OK



รูปที่ ข.49 ขั้นตอนการ Set up

รูปที่ ข.50 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

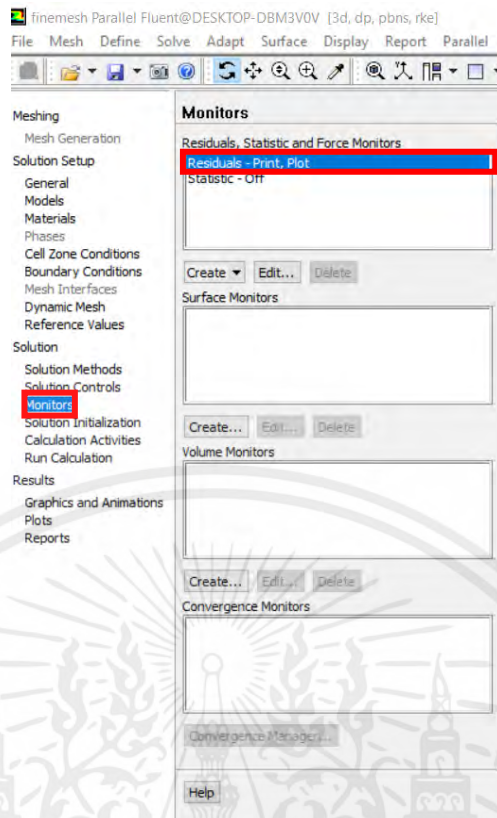
ส่วนของ Solution

ไปที่ Solution Methods > Scheme เลือก SIMPLE > Gradient เลือก Least Squares Cell Based, Pressure เลือก PRESTO!, Momentum เลือก QUICK, Turbulent Kinetic Energy เลือก QUICK, Turbulent Dissipation Rate เลือก QUICK

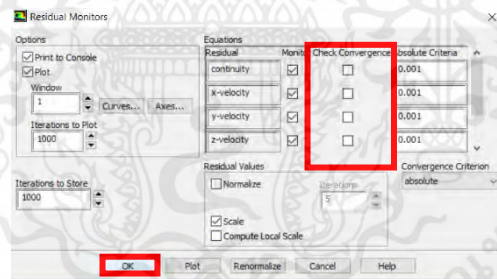


รูปที่ ข.51 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Monitors > Residuals – Print, Plot > เอาเครื่องหมายถูกของ Check Convergence ออกทั้งหมด > OK



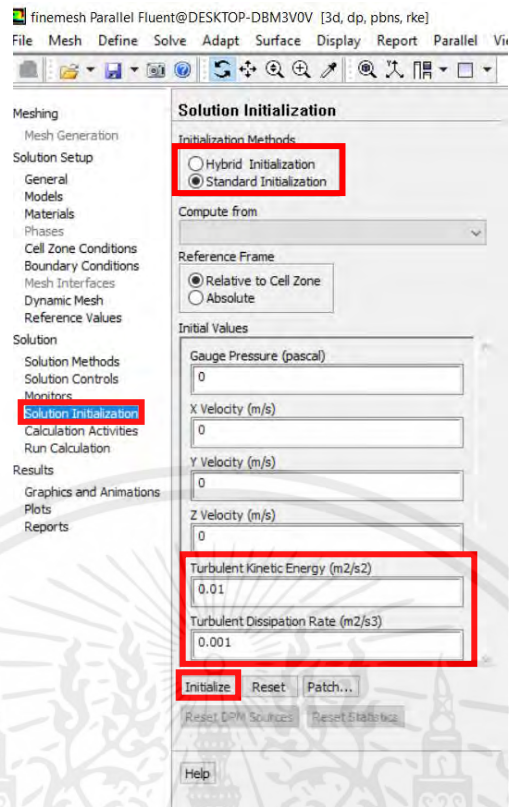
รูปที่ ข.52 ขั้นตอนการ Set up



รูปที่ ข.53 ขั้นตอนการ Set up

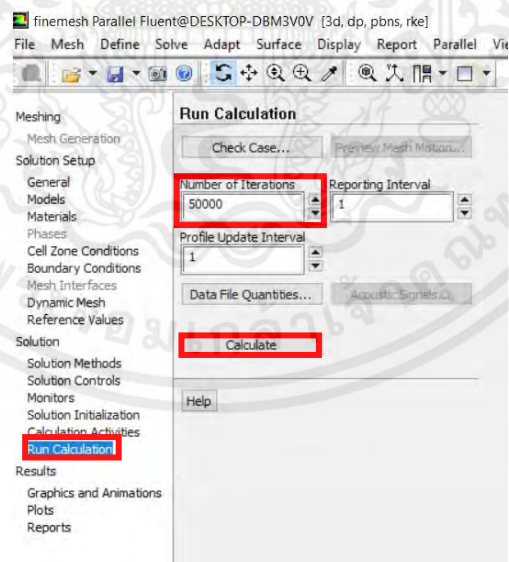
ไปที่ Solution Initialization > Initialization Methods เลือก Standard Initialization > Turbulent Kinetic Energy 0.01 m²/s², Turbulent Dissipation Rate 0.001 m²/s³ > Initialize

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.54 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Run Calculation > Number of Iterations 50000

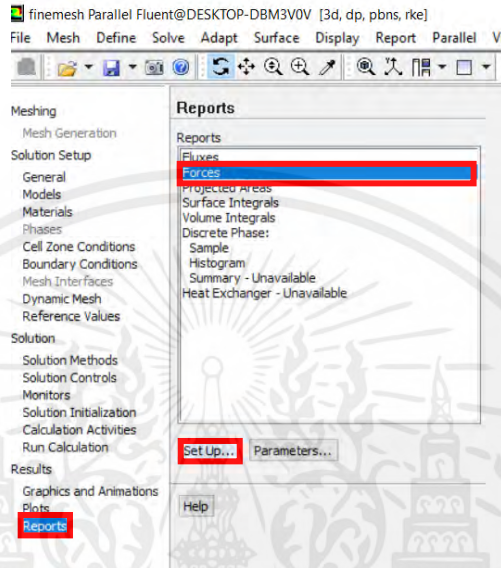


รูปที่ ข.55 ขั้นตอนการ Set up

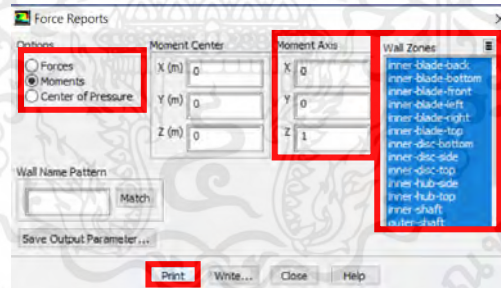
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของ Result

ไปที่ Report > Forces > Set up > Moment > Moment Center เลือกร (0,0,0), Moment Axis เลือกร (0,0,1) > Wall Zones เลือกรทั้งหมดยกเว้น tank-bottom, tank side และ tank top > Print



รูปที่ ข.56 ขั้นตอนการ Set up




รูปที่ ข.57 ขั้นตอนการ Set up

Zone	Moments (n-n)			Total
	Pressure	Viscous		
inner-blade-back	1.719313e-08	-8.6581225e-08	-6.9387913e-08	
inner-blade-bottom	0	-5.280731e-07	-5.280731e-07	
inner-blade-front	-4.0401332e-07	-5.160064e-07	-1.000818e-06	
inner-blade-left	0.00083093195	-4.158135e-08	0.00083097343	
inner-blade-right	0.0007158601	1.2318173e-07	0.0007170919	
inner-blade-top	0	-6.8320327e-07	-6.8320327e-07	
inner-disc-bottom	0	-3.753988e-07	-3.753988e-07	
inner-disc-side	-4.1602735e-14	-9.0936595e-08	-9.0936637e-08	
inner-disc-top	0	-5.1711322e-07	-5.1711322e-07	
inner-hub-side	3.2480283e-16	-2.8644036e-07	-2.8644036e-07	
inner-hub-top	0	-3.8556313e-08	-3.8556313e-08	
inner-shaft	-3.1158835e-16	-1.0828221e-09	-1.0828221e-09	
outer-shaft	-5.7029339e-16	-3.3306737e-08	-3.3306737e-08	
Net	-0.00045981346	-2.9950967e-06	-3.00062885e-06	

รูปที่ ข.58 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.

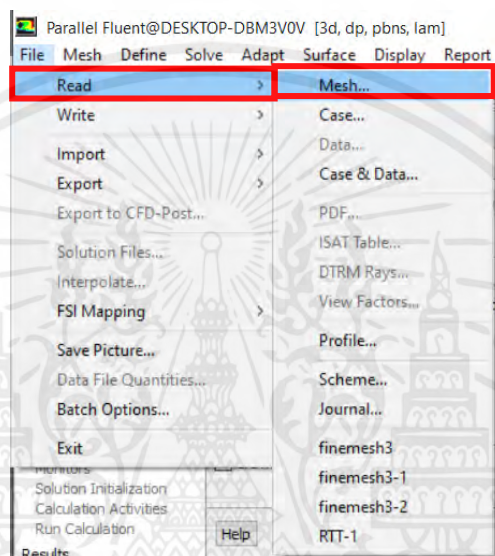
ขั้นตอนการจำลองการไหลของถังป้อนกวนโดยใช้ Standard
wall function และใช้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด
Realizable k- ϵ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

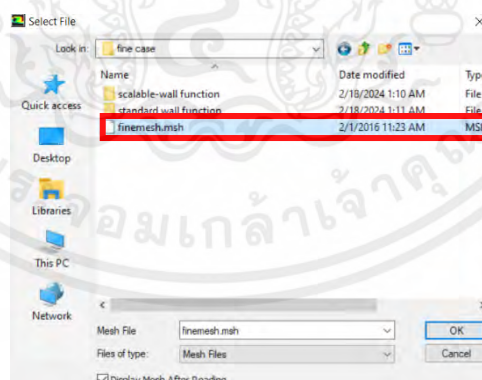
การกำหนดสภาวะขอบเขตและวิธีการคำนวณในโปรแกรม ANSYS FLUENT 14.5 ในการจำลองการไหลของถึงปั่นกววนโดยใช้ Standard wall function และใช้โมเดล Realizable k- ϵ ในการคำนวณจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่มีการใช้ Option Curvature correction และไม่ใช่ Curvature correction ในการคำนวณ โดยมีขั้นตอนดังนี้

สำหรับ Curvature correction

ไปที่เมนู File > Read > Mesh > finemesh > OK



รูปที่ ค.1 ขั้นตอนการ Set up

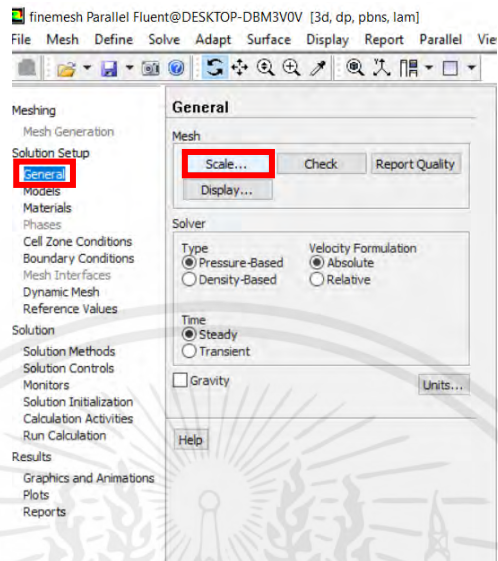


รูปที่ ค.2 ขั้นตอนการ Set up

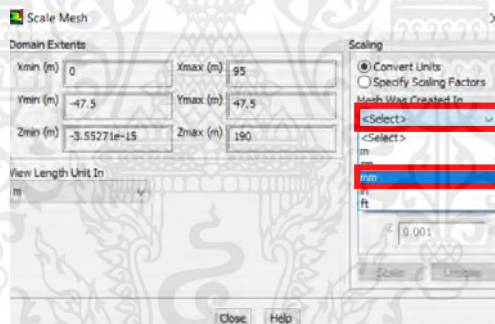
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของ Solution Setup

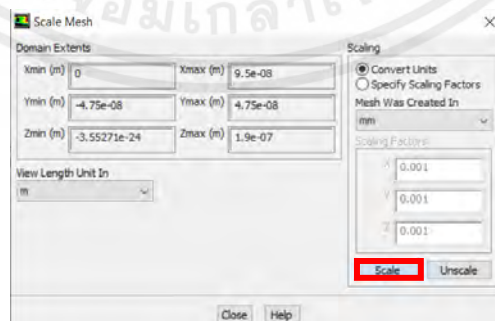
ไปที่ General > Scale > Select > mm > Scale > Close



รูปที่ ค.3 ขั้นตอนการ Set up

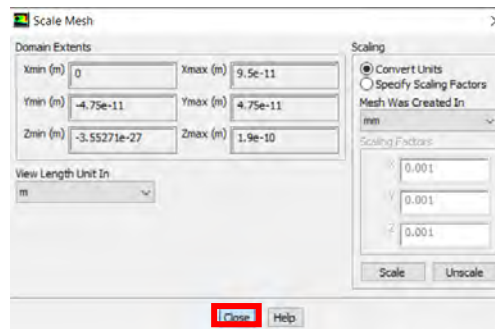


รูปที่ ค.4 ขั้นตอนการ Set up



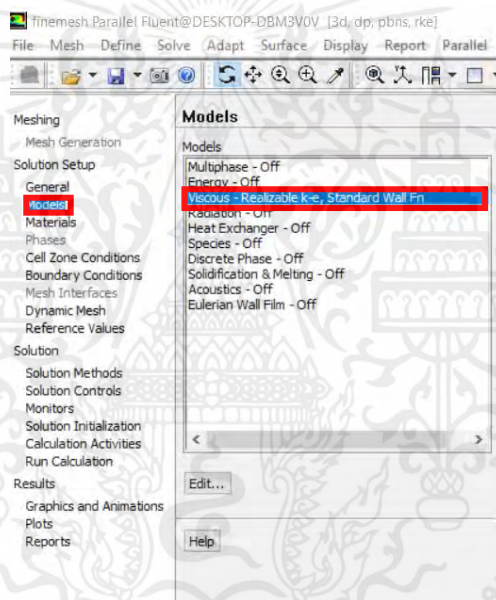
รูปที่ ค.5 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



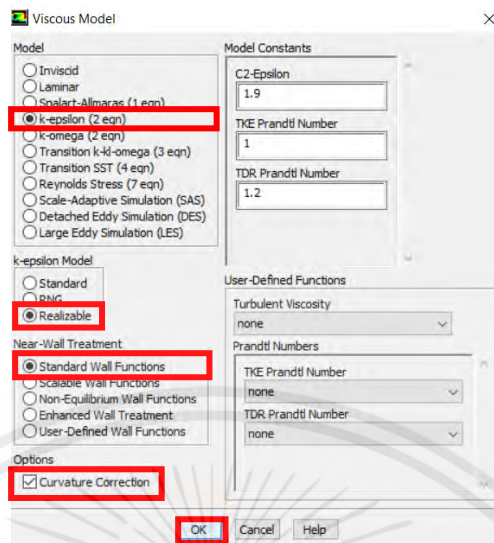
รูปที่ ค.6 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Models > Viscous > Model > เลือก k-epsilon (2 eqn), Realizable, Standard Wall Functions, Curvature Correction > OK



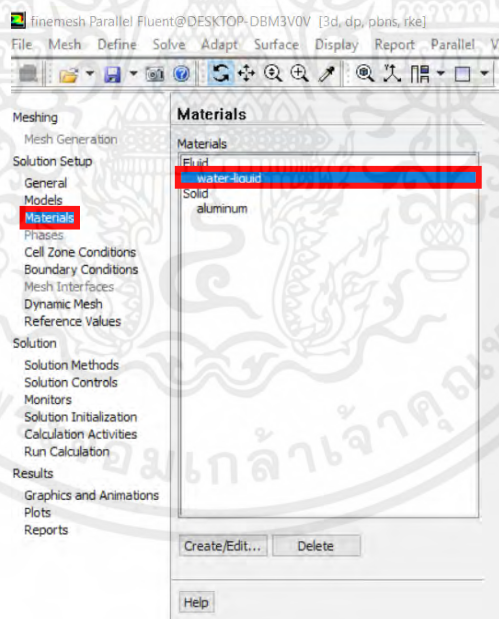
รูปที่ ค.7 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



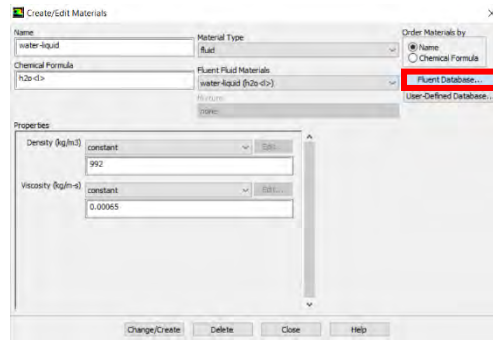
รูปที่ ค.8 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Materials > Fluid > Fluent Database > water-liquid (h2o<l>) > Copy > เลือก Density 992 kg/m³, Viscosity 0.00065 kg/m-s > Close

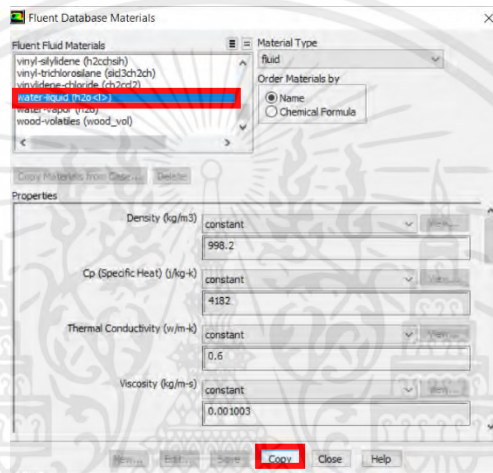


รูปที่ ค.9 ขั้นตอนการ Set up

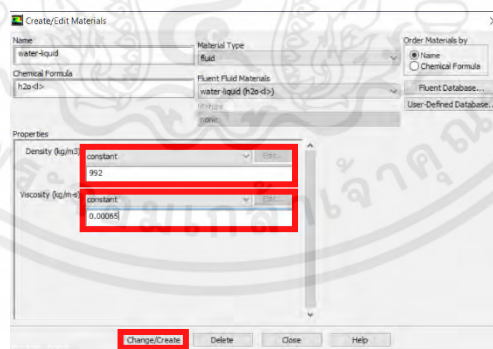
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.10 ขั้นตอนการ Set up

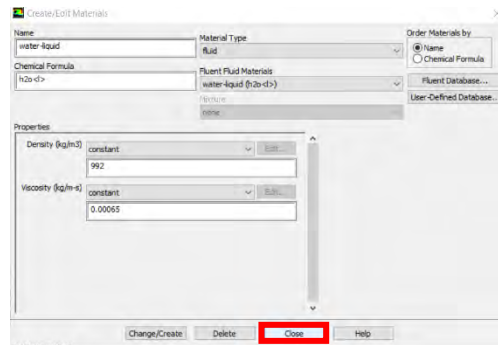


รูปที่ ค.11 ขั้นตอนการ Set up



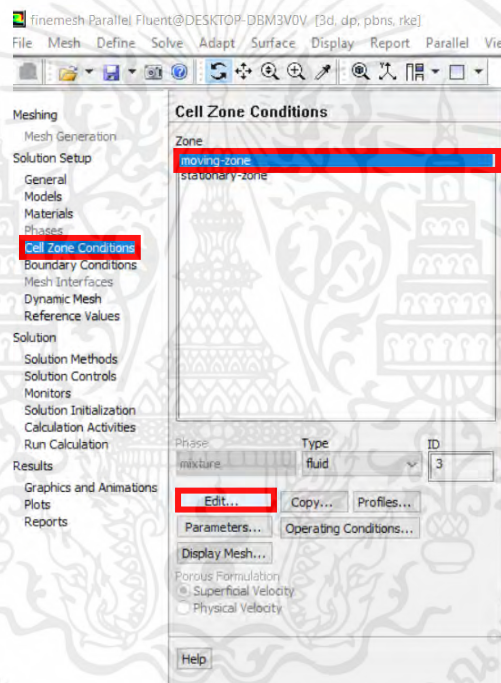
รูปที่ ค.12 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



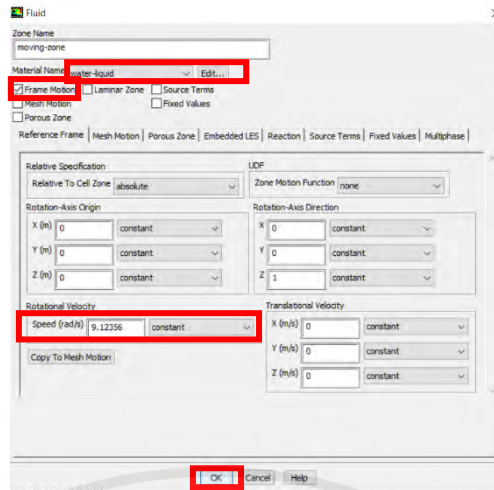
รูปที่ ค.13 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > moving-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid, Frame Motion, Speed 9.12356 rad/s > OK



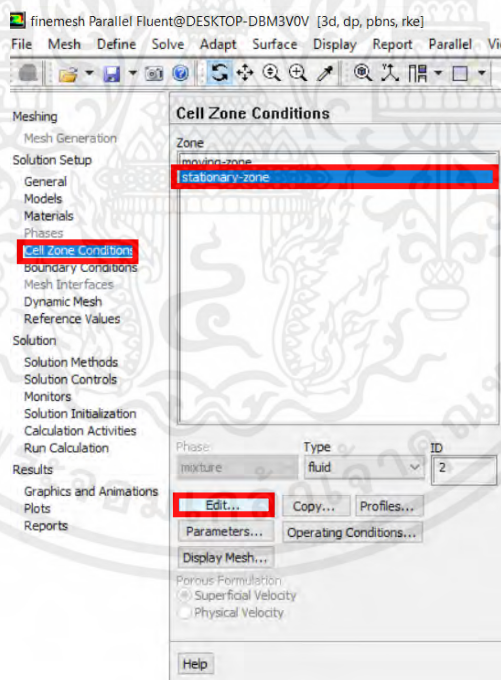
รูปที่ ค.14 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



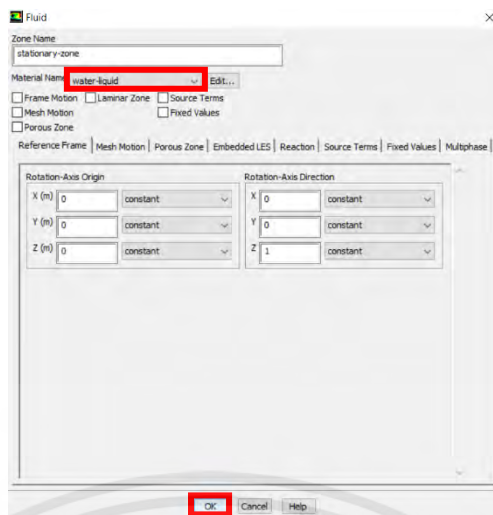
รูปที่ ค.15 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > stationary-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid > OK



รูปที่ ค.16 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.17 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 11 (Moving-left), Shadow zone พิมพ์ 10 (Moving-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y

```

Preparing mesh for display...
Done.
mesh
/mesh> modify-zones
/mesh/modify-zones> mp
Periodic zone [()] 11
Shadow zone [()] 10
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

all 836 faces matched for zones 11 and 10.

zone 10 deleted

created periodic zones.
/mesh/modify-zones>

```

รูปที่ ค.18 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 5 (Stationary-left), Shadow zone พิมพ์ 4 (Stationary-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y > พิมพ์ q > พิมพ์ q

```

zone 10 deleted

created periodic zones.
/mesh/modify-zones> mp
Periodic zone [()] 5
Shadow zone [()] 4
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

all 3368 faces matched for zones 5 and 4.

zone 4 deleted

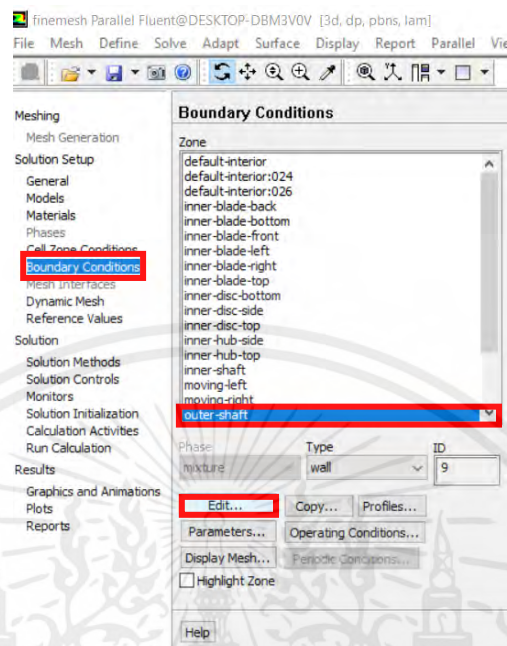
created periodic zones.
/mesh/modify-zones> q
/mesh> q

```

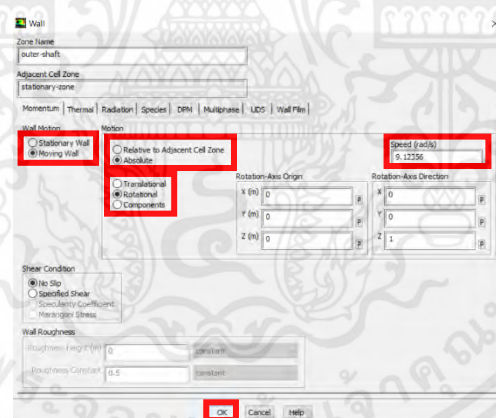
รูปที่ ค.19 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปที่ Boundary Conditions > outer-shaft > Edit > เลือก Moving Wall, Absolute, Rotational, Speed 9.12356 rad/s > OK



รูปที่ ค.20 ขั้นตอนการ Set up

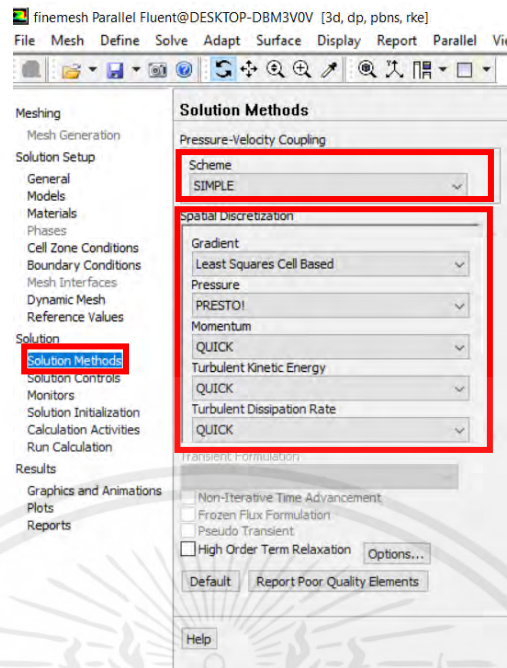


รูปที่ ค.21 ขั้นตอนการ Set up

ส่วนของ Solution

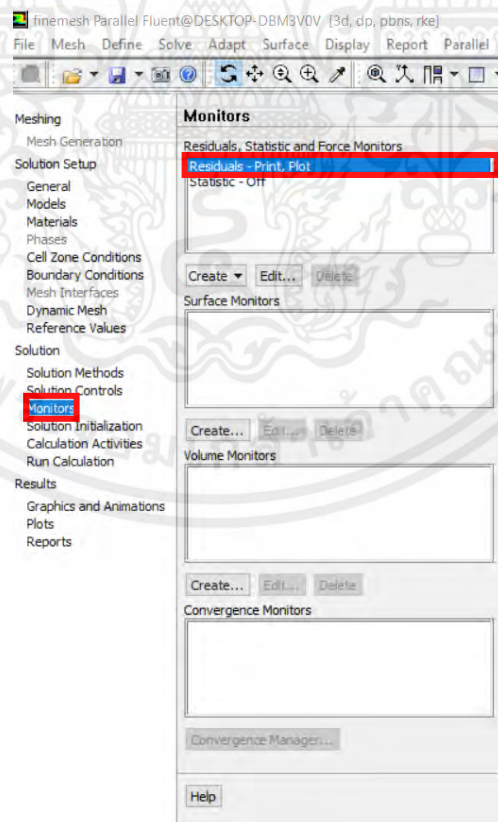
ไปที่ Solution Methods > Scheme เลือก SIMPLE > Gradient เลือก Least Squares Cell Based, Pressure เลือก PRESTO!, Momentum เลือก QUICK, Turbulent Kinetic Energy เลือก QUICK, Turbulent Dissipation Rate เลือก QUICK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



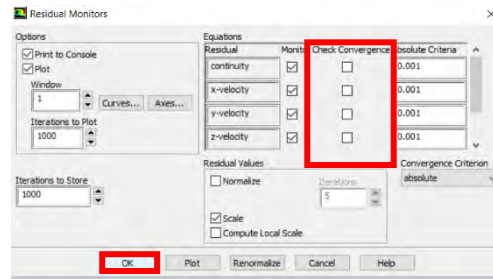
รูปที่ ค.22 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Monitors > Residuals – Print, Plot > เอาเครื่องหมายถูกของ Check Convergence ออกทั้งหมด > OK



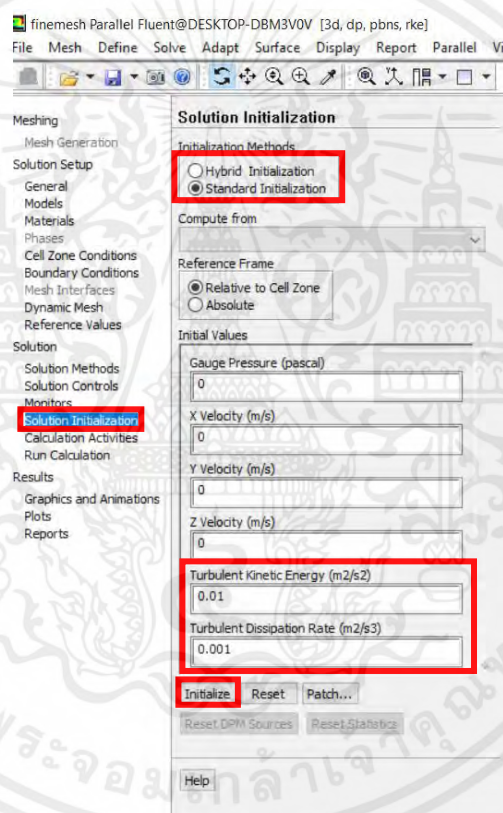
รูปที่ ค.23 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.24 ขั้นตอนการ Set up

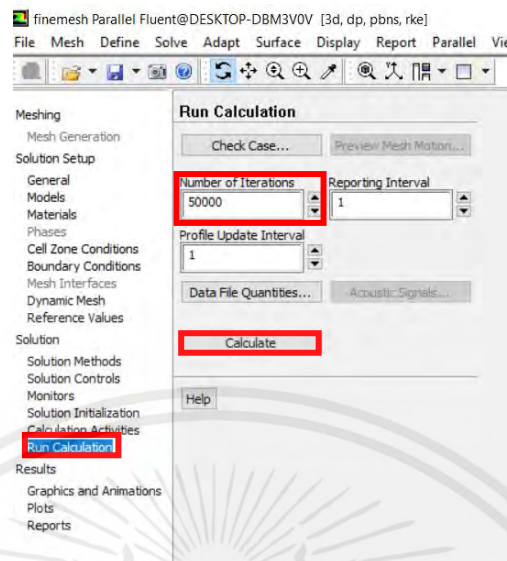
ไปที่ Solution Initialization > Initialization Methods เลือก Standard Initialization > Turbulent Kinetic Energy 0.01 m²/s², Turbulent Dissipation Rate 0.001 m²/s³ > Initialize



รูปที่ ค.25 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Run Calculation > Number of Iterations 50000

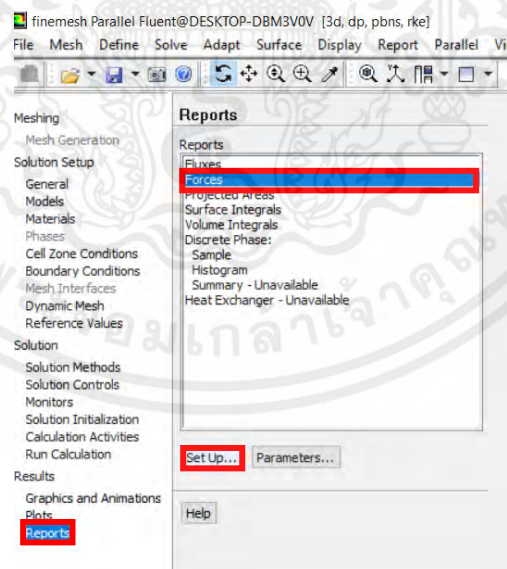
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.26 ขั้นตอนการ Set up

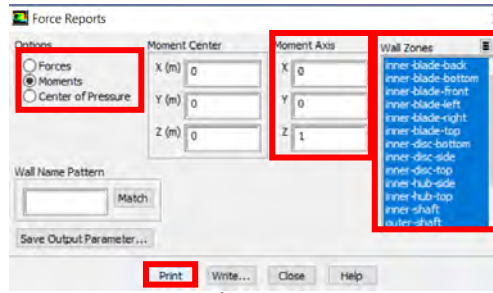
ส่วนของ Result

ไปที่ Report > Forces > Set up > Moment > Moment Center เลือก (0,0,0), Moment Axis เลือก (0,0,1) > Wall Zones เลือกทั้งหมดยกเว้น tank-bottom, tank side และ tank top > Print



รูปที่ ค.27 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



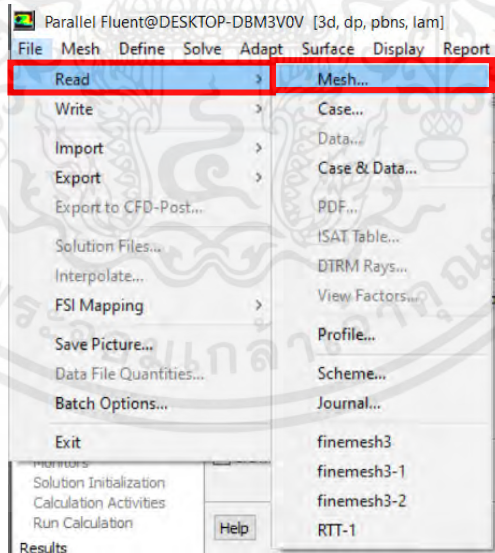
รูปที่ ค.28 ขั้นตอนการ Set up

Zone	Moments (n-m)	Viscous	Total
inner-blade-back	-2.1277701e-09	-1.7081921e-08	-1.9209691e-08
inner-blade-bottom	0	-5.4992592e-07	-5.4992592e-07
inner-blade-front	-4.3241589e-07	-7.4048325e-07	-1.1728991e-06
inner-blade-left	0.00087885114	-1.3772895e-08	0.00087864991
inner-blade-right	0.00052109055	1.2104747e-07	0.0005212119
inner-blade-top	0	-5.355519e-07	-5.355519e-07
inner-disc-bottom	0	-1.0577257e-07	-1.0577257e-07
inner-disc-side	-3.1157687e-14	1.083891e-09	1.0838598e-09
inner-disc-top	0	-3.4171207e-08	-3.4171207e-08
inner-hub-side	5.5214237e-16	1.1627154e-07	1.1627154e-07
inner-hub-top	0	8.9939202e-09	8.9939202e-09
inner-shaft	4.0004724e-17	4.1963247e-09	4.1963247e-09
outer-shaft	-7.4434711e-17	1.7901334e-08	1.7901334e-08
Net	-0.0005819513	-1.7269652e-06	0.000592209

รูปที่ ค.29 ขั้นตอนการ Set up

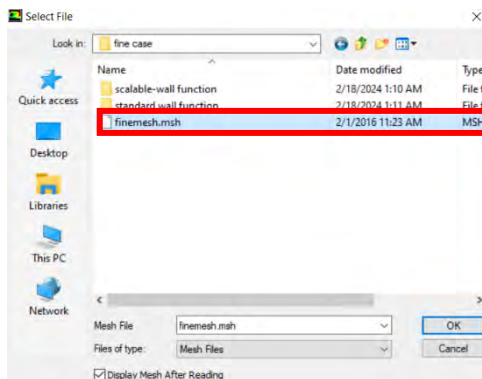
สำหรับกรณีไม่ใช่ Curvature correction

ไปที่เมนู File > Read > Mesh > finemesh > OK



รูปที่ ค.30 ขั้นตอนการ Set up

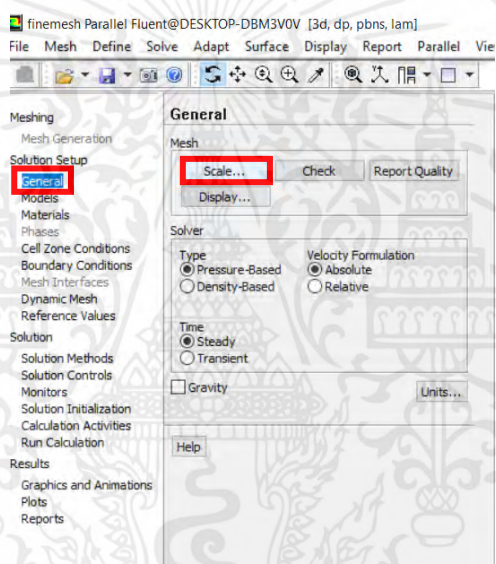
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



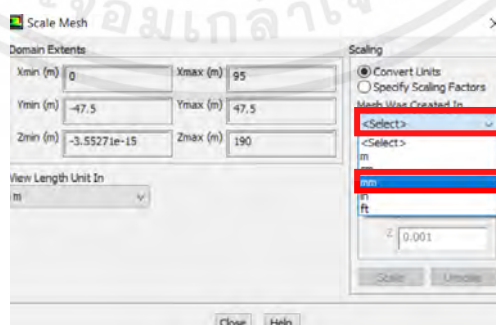
รูปที่ ค.31 ขั้นตอนการ Set up

ส่วนของ Solution Setup

ไปที่ General > Scale > Select > mm > Scale > Close

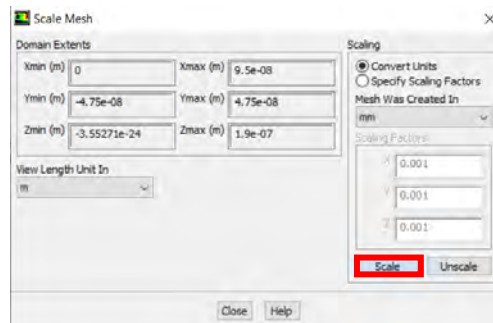


รูปที่ ค.32 ขั้นตอนการ Set up

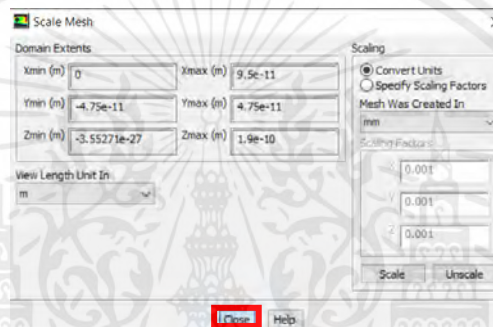


รูปที่ ค.33 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

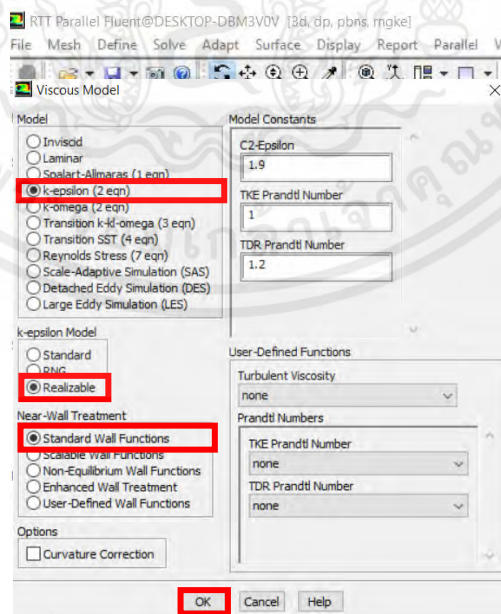


รูปที่ ค.34 ขั้นตอนการ Set up



รูปที่ ค.35 ขั้นตอนการ Set up

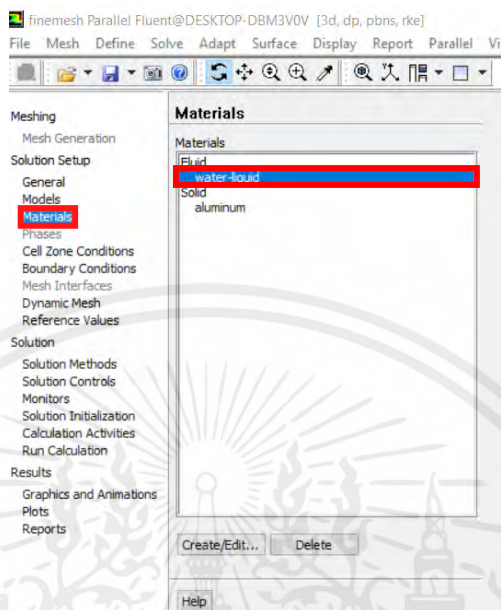
ไปที่ Models > Viscous > Model > เลือก k-epsilon (2 eqn), Realizable, Standard Wall Functions > OK



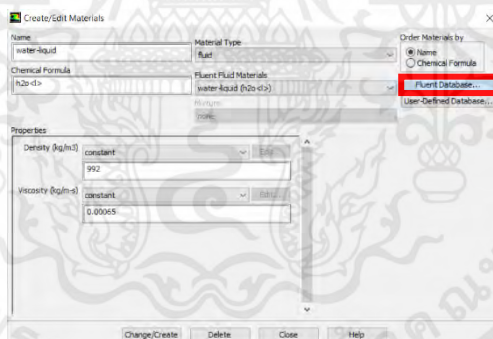
รูปที่ ค.36 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปที่ Materials > Fluid > Fluent Database > water-liquid (h₂o<l>) > Copy > เลือก Density 992 kg/m³, Viscosity 0.00065 kg/m-s > Close

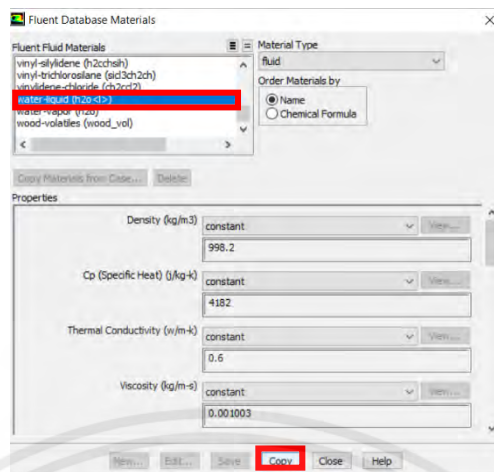


รูปที่ ค.37 ขั้นตอนการ Set up

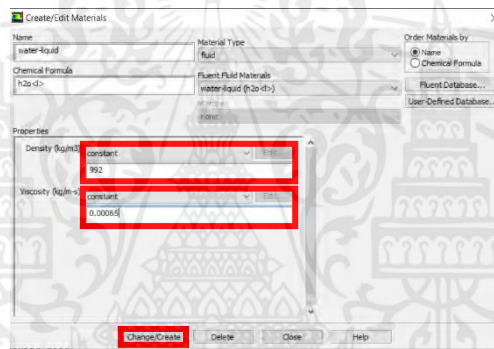


รูปที่ ค.38 ขั้นตอนการ Set up

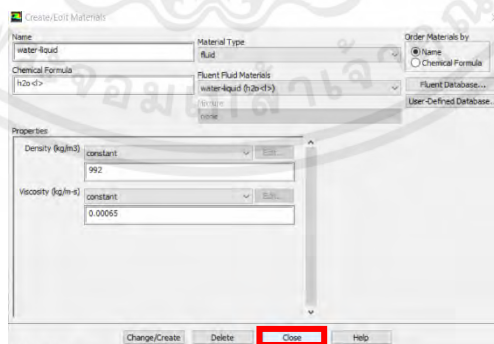
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.39 ขั้นตอนการ Set up



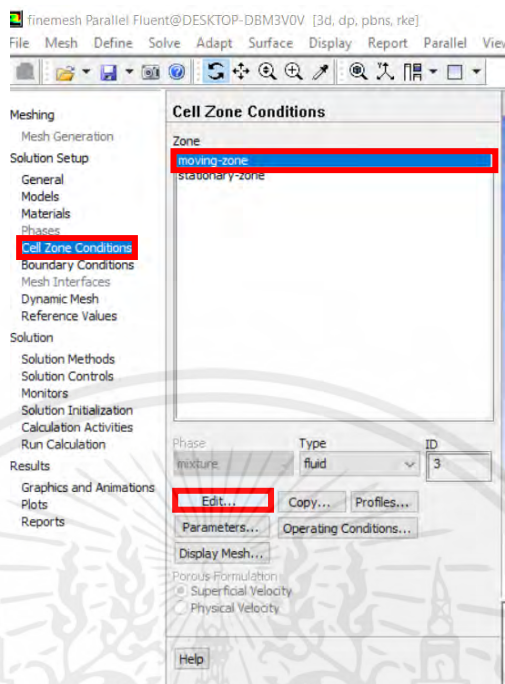
รูปที่ ค.40 ขั้นตอนการ Set up



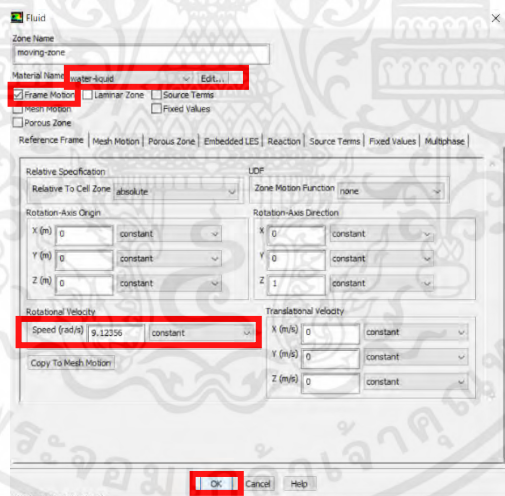
รูปที่ ค.41 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > moving-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid,
Frame Motion, Speed 9.12356 rad/s > OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



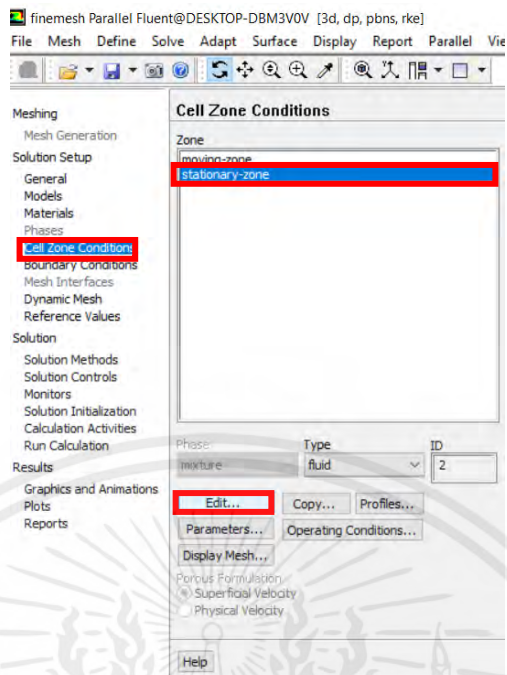
รูปที่ ค.42 ขั้นตอนการ Set up



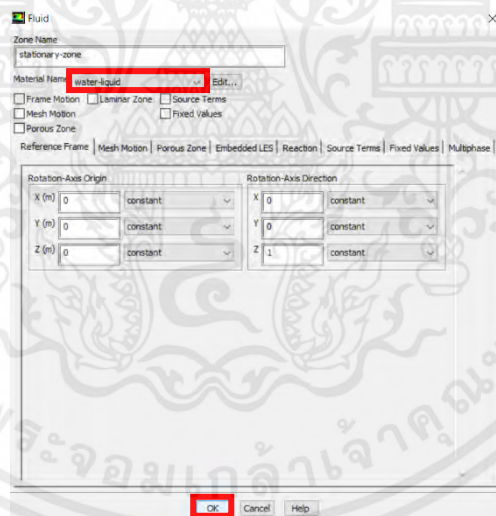
รูปที่ ค.43 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > stationary-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid > OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.44 ขั้นตอนการ Set up



รูปที่ ค.45 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 11 (Moving-left), Shadow zone พิมพ์ 10 (Moving-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Preparing mesh for display...
Done.
mesh

/mesh> modify-zones

/mesh/modify-zones> mp
Periodic zone [()] 11
Shadow zone [()] 10
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

all 836 faces matched for zones 11 and 10.

zone 10 deleted

created periodic zones.
/mesh/modify-zones> |

```

รูปที่ ค.46 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 5 (Stationary-left), Shadow zone พิมพ์ 4 (Stationary-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y > พิมพ์ q > พิมพ์ q

```

zone 10 deleted

created periodic zones.
/mesh/modify-zones> mp
Periodic zone [()] 5
Shadow zone [()] 4
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

all 3368 faces matched for zones 5 and 4.

zone 4 deleted

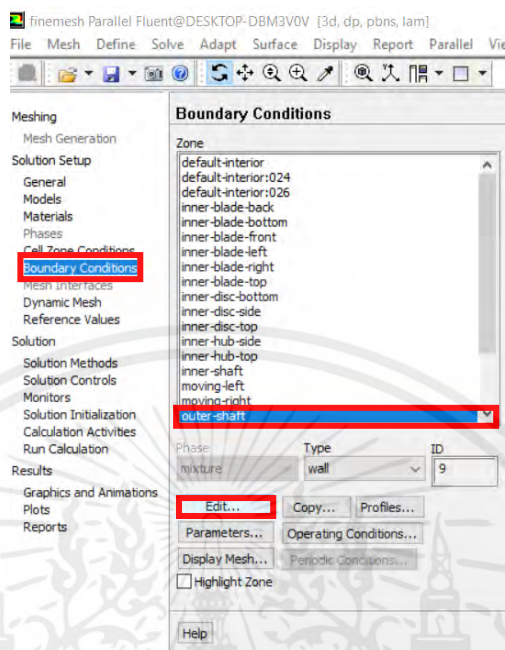
created periodic zones.
/mesh/modify-zones> q
/mesh> q

```

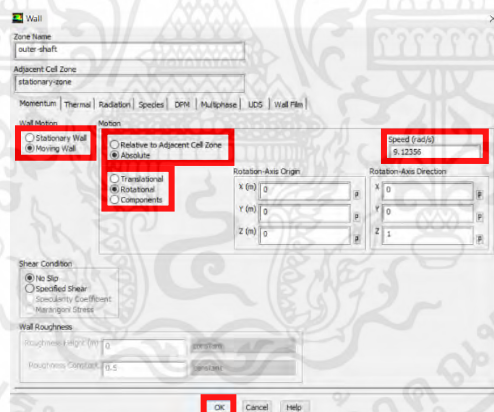
รูปที่ ค.47 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปที่ Boundary Conditions > outer-shaft > Edit > เลือก Moving Wall, Absolute, Rotational, Speed 9.12356 rad/s > OK



รูปที่ ค.48 ขั้นตอนการ Set up

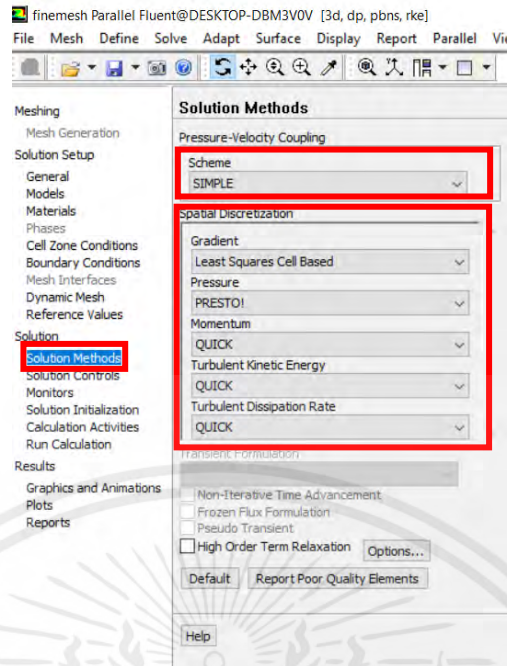


รูปที่ ค.49 ขั้นตอนการ Set up

ส่วนของ Solution

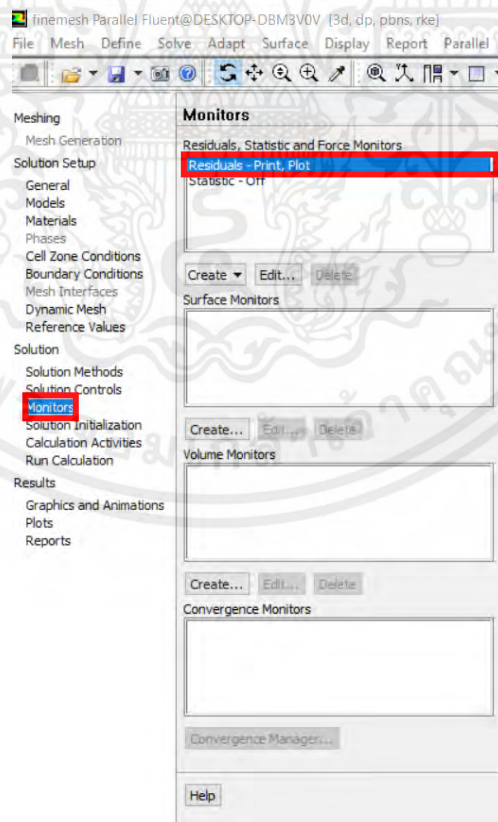
ไปที่ Solution Methods > Scheme เลือก SIMPLE > Gradient เลือก Least Squares Cell Based, Pressure เลือก PRESTO!, Momentum เลือก QUICK, Turbulent Kinetic Energy เลือก QUICK, Turbulent Dissipation Rate เลือก QUICK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



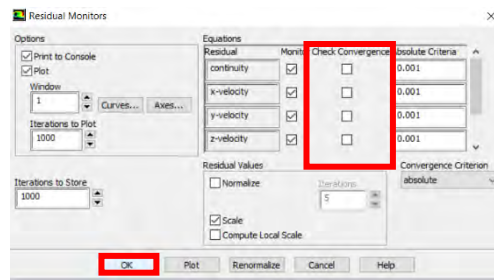
รูปที่ ค.50 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Monitors > Residuals – Print, Plot > เอาเครื่องหมายถูกของ Check Convergence ออกทั้งหมด > OK



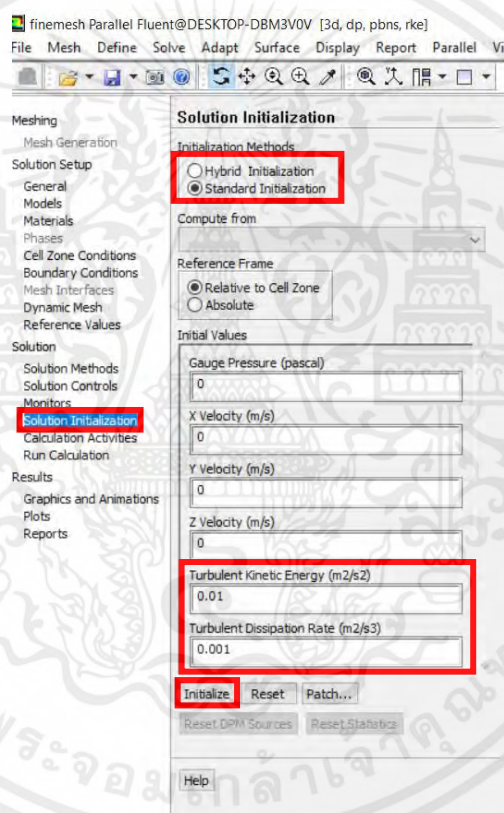
รูปที่ ค.51 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.52 ขั้นตอนการ Set up

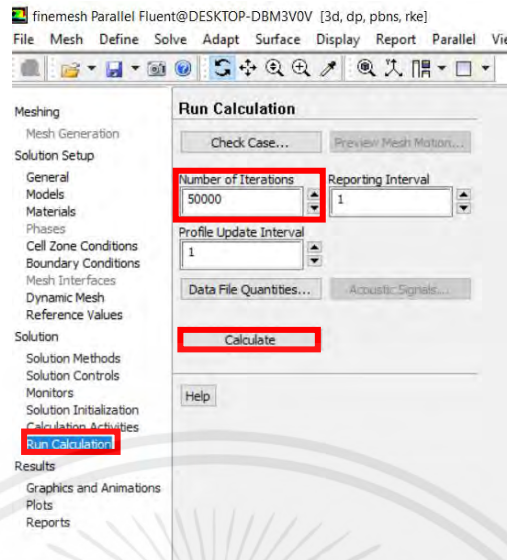
ไปที่ Solution Initialization > Initialization Methods เลือก Standard Initialization > Turbulent Kinetic Energy 0.01 m²/s², Turbulent Dissipation Rate 0.001 m²/s³ > Initialize



รูปที่ ค.53 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Run Calculation > Number of Iterations 50000

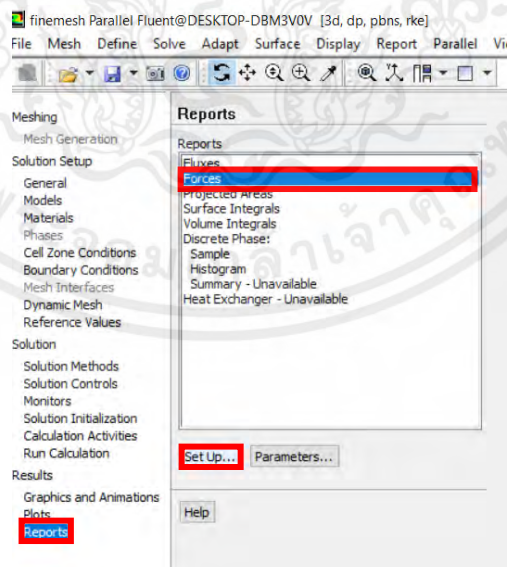
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.54 ขั้นตอนการ Set up

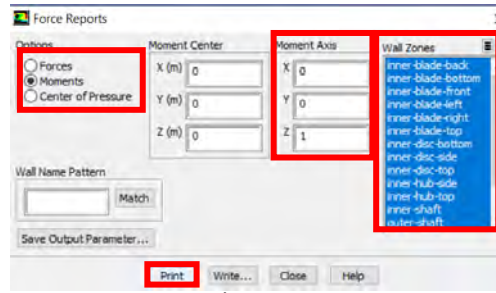
ส่วนของ Result

ไปที่ Report > Forces > Set up > Moment > Moment Center เลือก (0,0,0), Moment Axis เลือก (0,0,1) > Wall Zones เลือกทั้งหมดยกเว้น tank-bottom, tank side และ tank top > Print



รูปที่ ค.55 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ ค.56 ขั้นตอนการ Set up

Zone	Moments (n-n)	Viscous	Total
inner-blade-back	2.6345656e-08	-1.5885501e-07	-1.0250936e-07
inner-blade-bottom	0	-7.377054e-07	-7.377054e-07
inner-blade-front	-5.5763792e-07	-7.1042453e-07	-1.2680625e-06
inner-blade-left	-0.00085986156	-5.8133846e-08	-0.0008599197
inner-blade-right	0.00028205919	1.5318105e-07	0.0002821237
inner-blade-top	0	-9.0445011e-07	-9.0445011e-07
inner-disc-bottom	0	-5.9189286e-07	-5.9189286e-07
inner-disc-side	-5.7824146e-14	-1.1974313e-07	-1.1974319e-07
inner-disc-top	0	-7.2582492e-07	-7.2582492e-07
inner-hub-side	2.5916119e-16	-3.3786861e-07	-3.3786861e-07
inner-hub-top	0	-5.3629918e-08	-5.3629918e-08
inner-shaft	-4.2825513e-17	-1.4138991e-09	-1.4138992e-09
outer-shaft	-8.7880026e-17	-4.033074e-08	-4.033074e-08
Net	-0.0005783306	-4.2562922e-06	-4.2562922e-06

รูปที่ ค.57 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



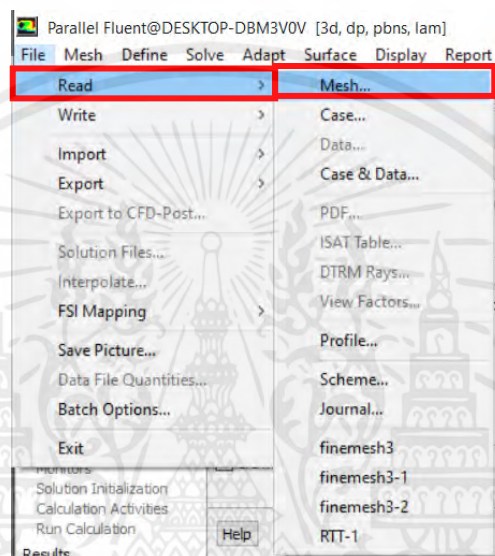
ภาคผนวก ง.

ขั้นตอนการจำลองการไหลของถังปั่นกวนโดยใช้ Standard wall function และใช้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด RNG k- ϵ

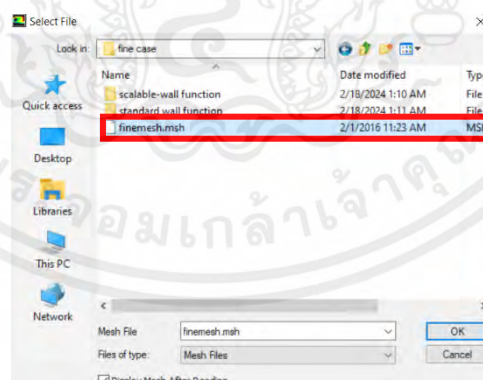
การกำหนดสภาวะขอบเขตและวิธีการคำนวณในโปรแกรม ANSYS FLUENT 14.5 ในการจำลองการไหลของถึงปั่นกววนโดยใช้ Standard wall function และใช้โมเดล RNG k- ϵ ในการคำนวณจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่มีการใช้ Option Curvature correction และไม่ใช่ Curvature correction ในการคำนวณ โดยมีขั้นตอนดังนี้

สำหรับ Curvature correction

ไปที่เมนู File > Read > Mesh > finemesh > OK



รูปที่ ง.1 ขั้นตอนการ Set up

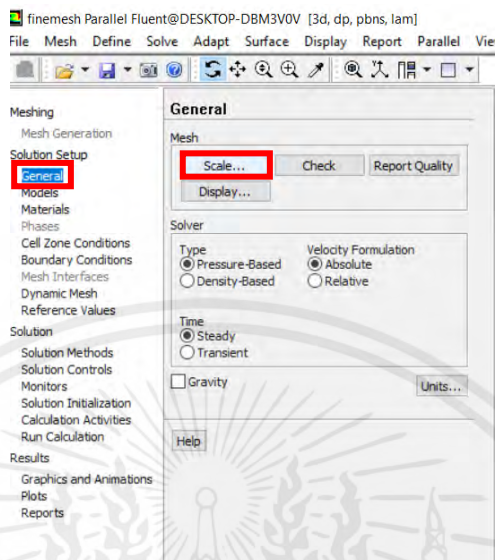


รูปที่ ง.2 ขั้นตอนการ Set up

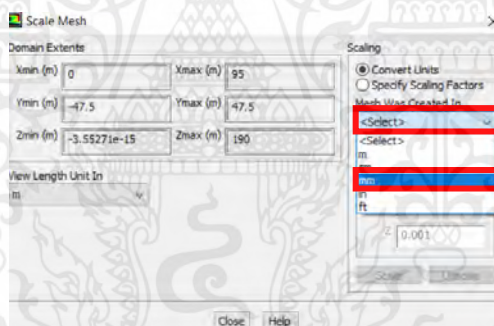
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของ Solution Setup

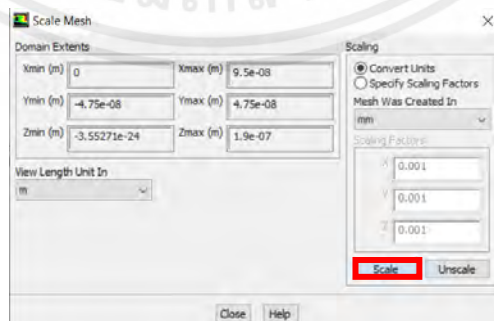
ไปที่ General > Scale > Select > mm > Scale > Close



รูปที่ 3 ขั้นตอนการ Set up

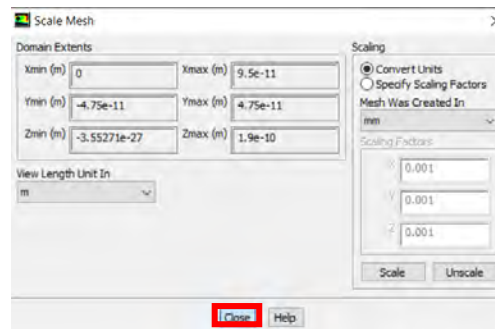


รูปที่ 4 ขั้นตอนการ Set up



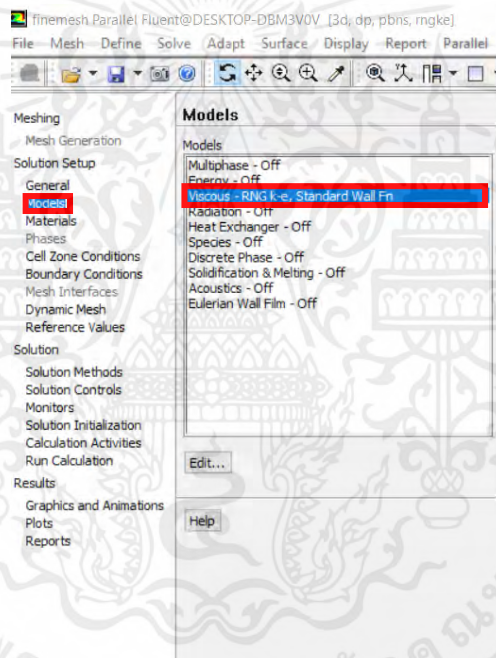
รูปที่ 5 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



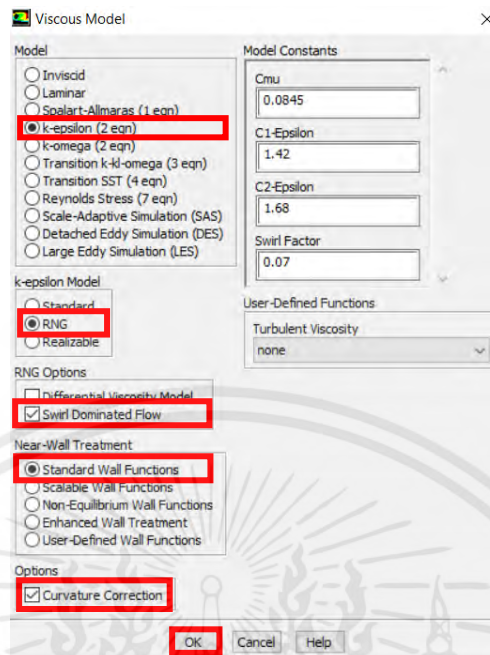
รูปที่ ง.6 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Models > Viscous > Model > เลือก k-epsilon (2 eqn), RNG, Swirl Dominated Flow, Standard Wall Functions, Curvature Correction > OK



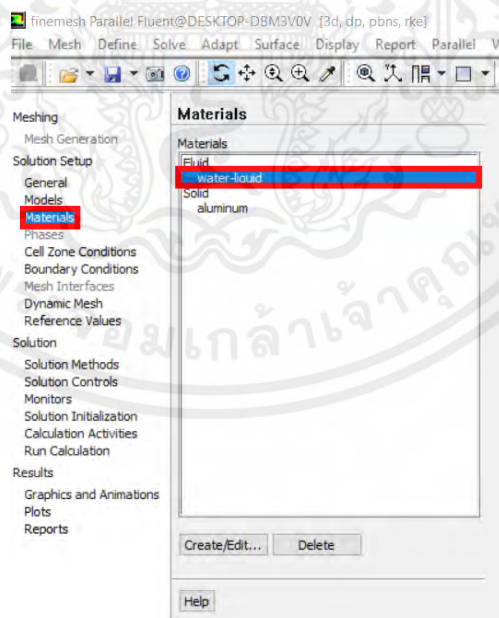
รูปที่ ง.7 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



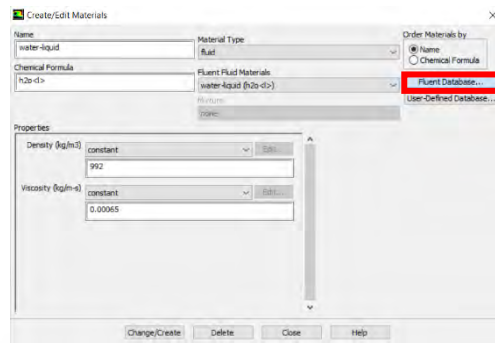
รูปที่ ง.8 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Materials > Fluid > Fluent Database > water-liquid (h2o<l>) > Copy > เลือก Density 992 kg/m³, Viscosity 0.00065 kg/m-s > Close

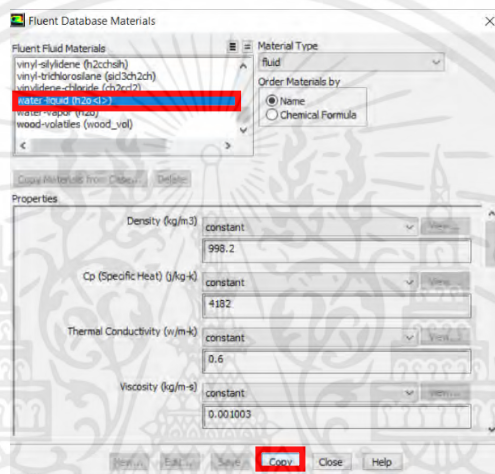


รูปที่ ง.9 ขั้นตอนการ Set up

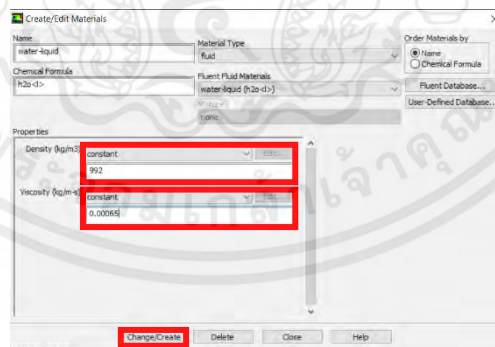
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.10 ขั้นตอนการ Set up

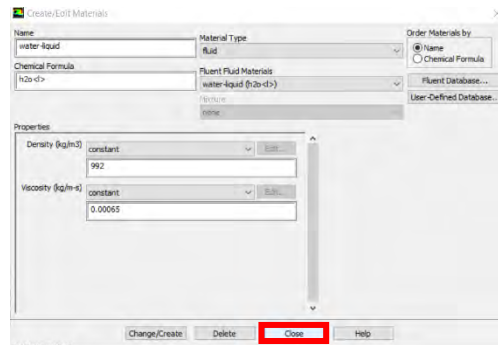


รูปที่ ง.11 ขั้นตอนการ Set up



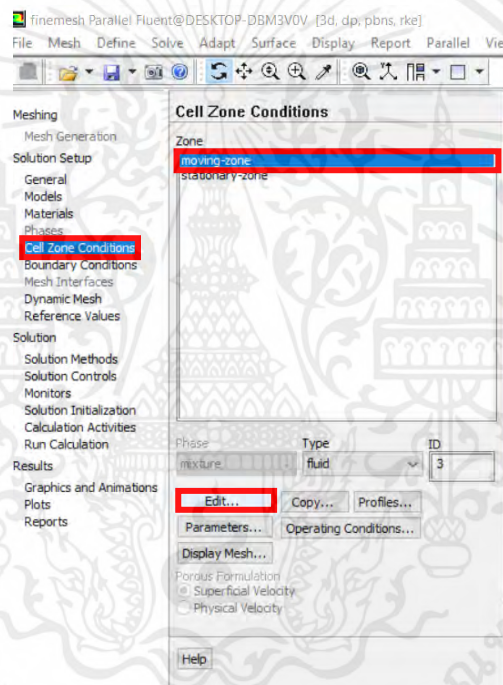
รูปที่ ง.12 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



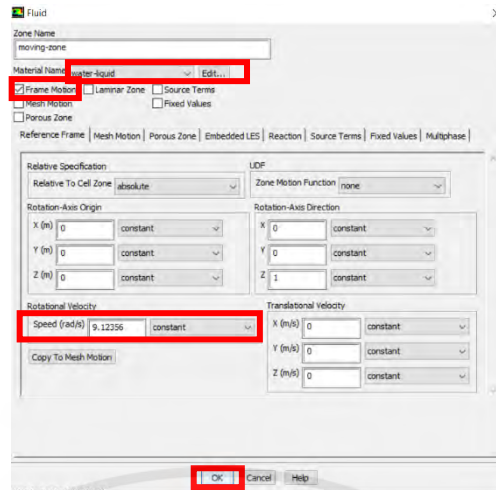
รูปที่ ง.13 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > moving-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid, Frame Motion, Speed 9.12356 rad/s > OK



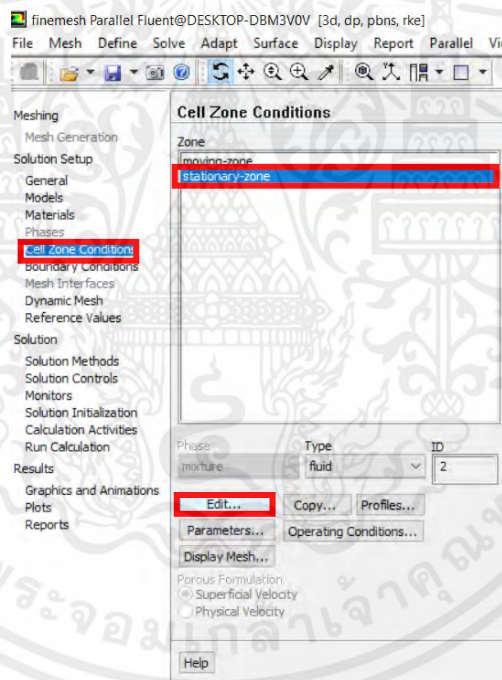
รูปที่ ง.14 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



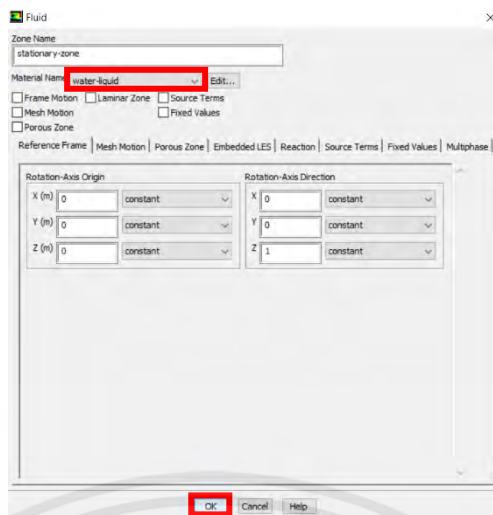
รูปที่ ง.15 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > stationary-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid > OK



รูปที่ ง.16 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.17 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 11 (Moving-left), Shadow zone พิมพ์ 10 (Moving-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y

```

Preparing mesh for display...
Done.
mesh

/mesh> modify-zones

/mesh/modify-zones> mp
Periodic zone [()] 11
Shadow zone [()] 10
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

all 836 faces matched for zones 11 and 10.

zone 10 deleted

created periodic zones.
/mesh/modify-zones>
  
```

รูปที่ ง.18 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 5 (Stationary-left), Shadow zone พิมพ์ 4 (Stationary-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y > พิมพ์ q > พิมพ์ q

```

zone 10 deleted

created periodic zones.
/mesh/modify-zones> mp
Periodic zone [()] 5
Shadow zone [()] 4
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

all 3368 faces matched for zones 5 and 4.

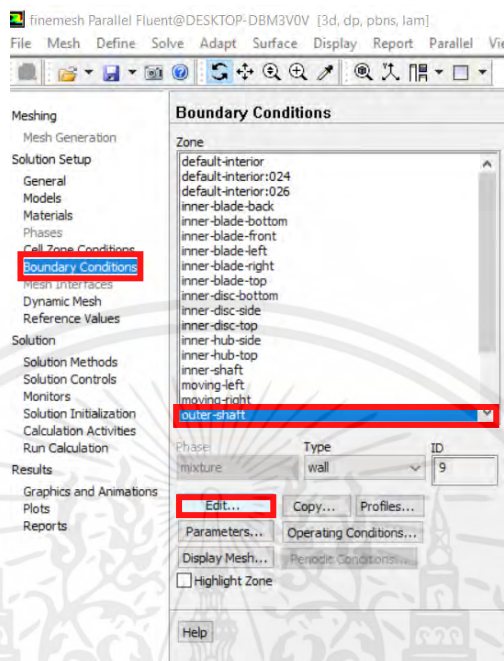
zone 4 deleted

created periodic zones.
/mesh/modify-zones> q
/mesh> q
  
```

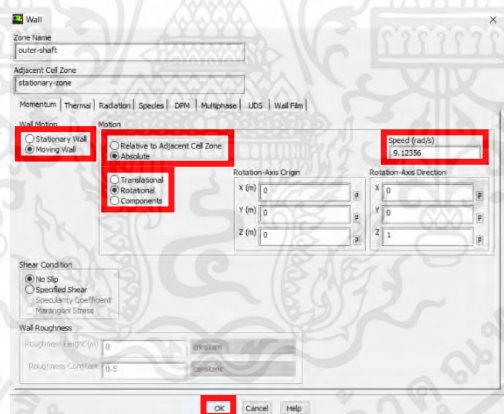
รูปที่ ง.19 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปที่ Boundary Conditions > outer-shaft > Edit > เลือก Moving Wall, Absolute, Rotational, Speed 9.12356 rad/s > OK



รูปที่ ง.20 ขั้นตอนการ Set up

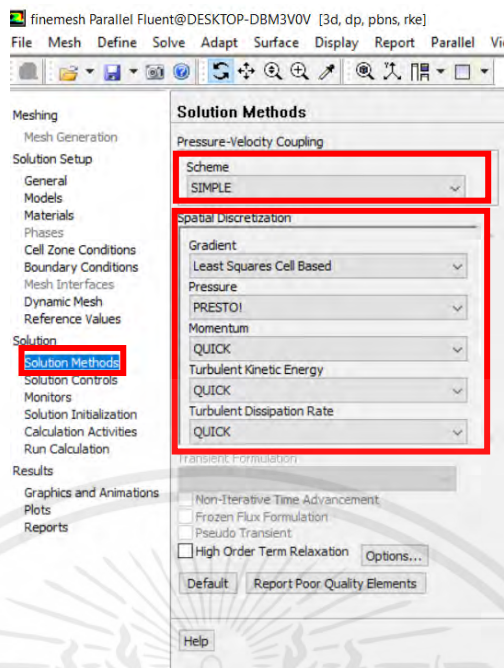


รูปที่ ง.21 ขั้นตอนการ Set up

ส่วนของ Solution

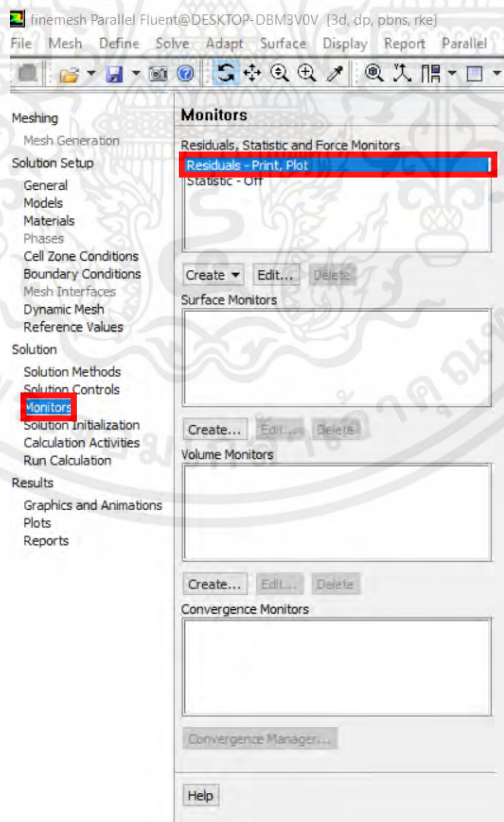
ไปที่ Solution Methods > Scheme เลือก SIMPLE > Gradient เลือก Least Squares Cell Based, Pressure เลือก PRESTO!, Momentum เลือก QUICK, Turbulent Kinetic Energy เลือก QUICK, Turbulent Dissipation Rate เลือก QUICK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



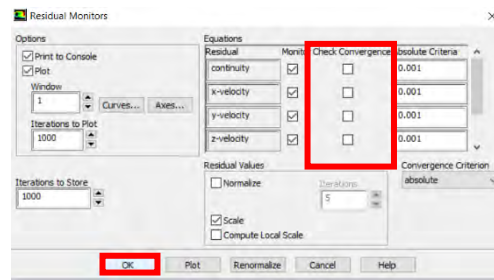
รูปที่ ง.22 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Monitors > Residuals – Print, Plot > เอาเครื่องหมายถูกของ Check Convergence ออกทั้งหมด > OK



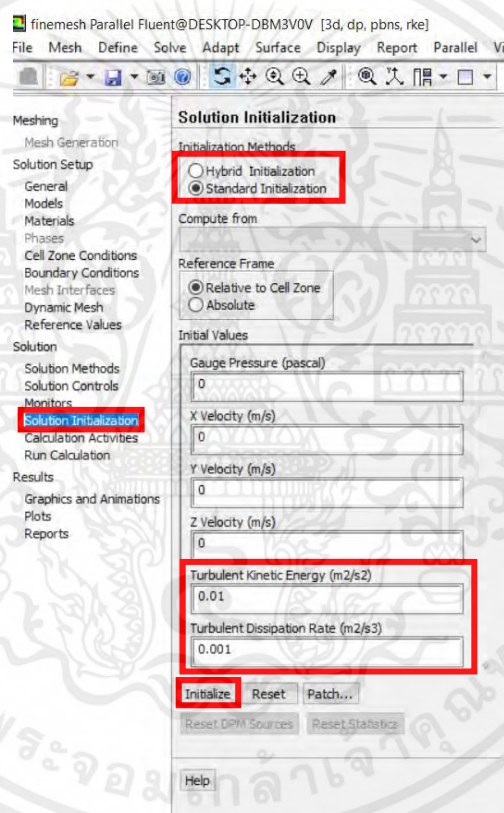
รูปที่ ง.23 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.24 ขั้นตอนการ Set up

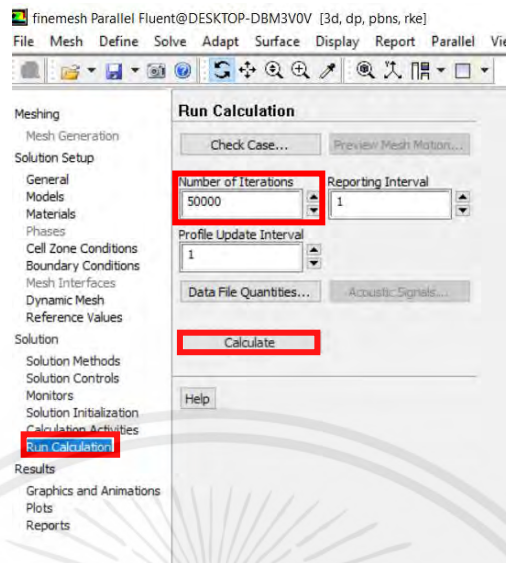
ไปที่ Solution Initialization > Initialization Methods เลือก Standard Initialization > Turbulent Kinetic Energy 0.01 m^2/s^2 , Turbulent Dissipation Rate 0.001 m^2/s^3 > Initialize



รูปที่ ง.25 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Run Calculation > Number of Iterations 50000

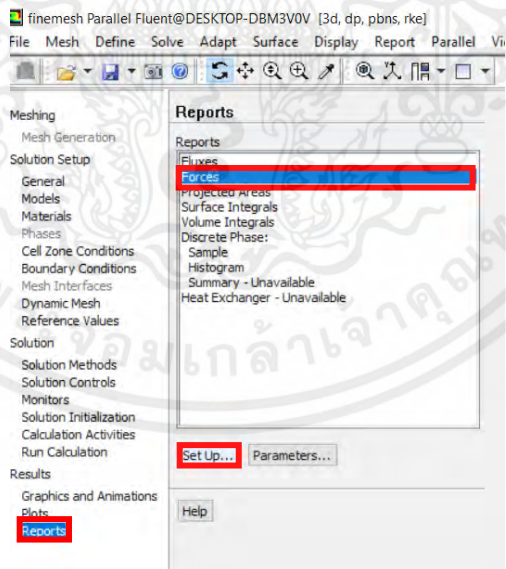
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.26 ขั้นตอนการ Set up

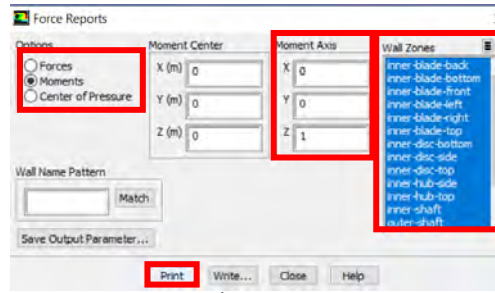
ส่วนของ Result

ไปที่ Report > Forces > Set up > Moment > Moment Center เลือก (0,0,0), Moment Axis เลือก (0,0,1) > Wall Zones เลือกทั้งหมดยกเว้น tank-bottom, tank side และ tank top > Print



รูปที่ ง.27 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



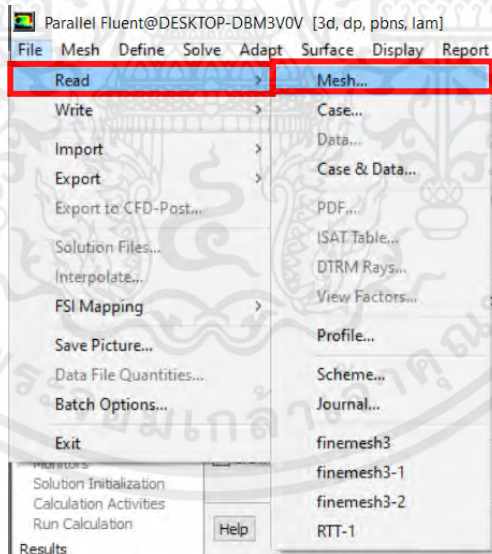
รูปที่ ง.28 ขั้นตอนการ Set up

Zone	Moments (n-n)	Viscous	Total
inner-blade-back	-3.6922547e-10	-7.3148652e-09	-7.6842806e-09
inner-blade-bottom	0	-2.7809981e-07	-2.7809981e-07
inner-blade-front	-3.7184593e-07	-3.3133689e-07	-7.0318282e-07
inner-blade-left	0.0009668577	-5.6023729e-09	0.0009668633
inner-blade-right	0.00064692267	1.2457873e-07	0.00064709725
inner-blade-top	0	-2.7516387e-07	-2.7516387e-07
inner-disc-bottom	0	4.2976532e-08	4.2976532e-08
inner-disc-side	-2.3823997e-14	-2.1980317e-08	-2.1980317e-08
inner-disc-top	0	-4.0833834e-08	-4.0833834e-08
inner-hub-side	6.1001691e-17	1.6145313e-07	1.6145313e-07
inner-hub-top	0	3.0580961e-08	3.0580961e-08
inner-shaft	6.6229945e-17	6.4952280e-09	6.495229e-09
outer-shaft	3.9576387e-16	4.1683286e-08	4.1683287e-08
Net	-0.00032030724	-5.5256338e-07	0.00032030593

รูปที่ ง.29 ขั้นตอนการ Set up

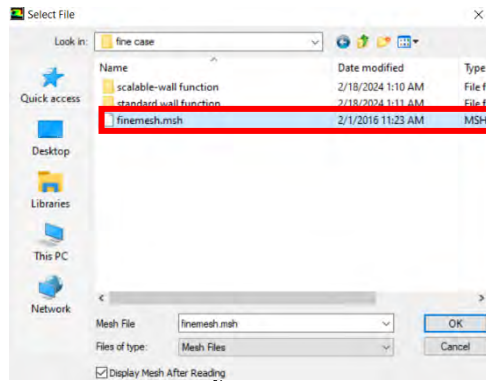
สำหรับกรณีไม่ใช่ Curvature correction

ไปที่เมนู File > Read > Mesh > finemesh > OK



รูปที่ ง.30 ขั้นตอนการ Set up

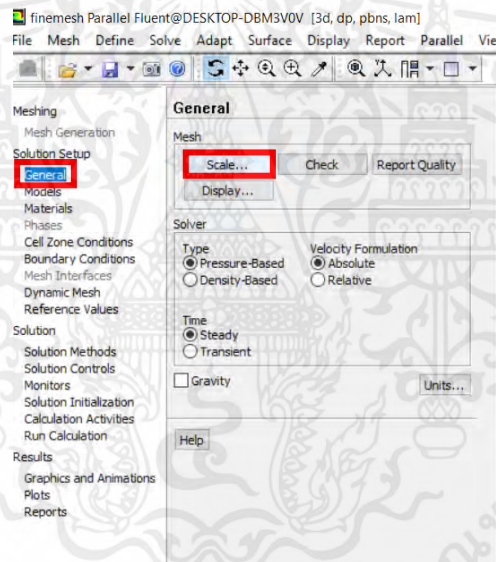
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



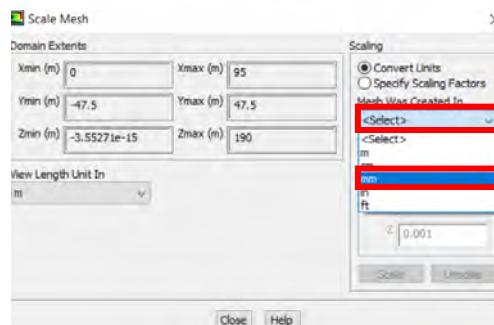
รูปที่ ง.31 ขั้นตอนการ Set up

ส่วนของ Solution Setup

ไปที่ General > Scale > Select > mm > Scale > Close

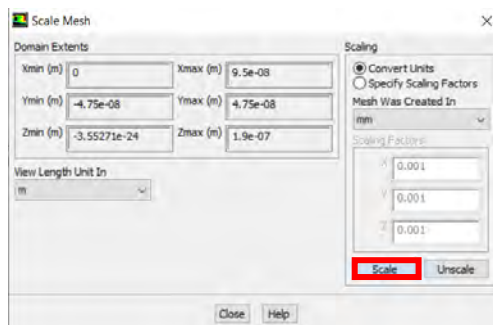


รูปที่ ง.32 ขั้นตอนการ Set up

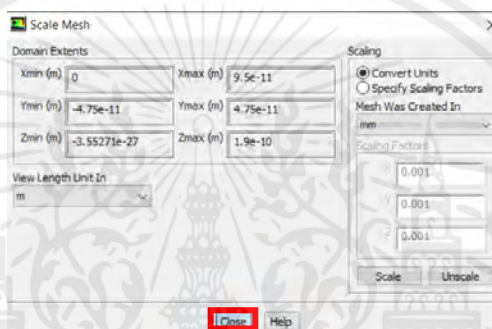


รูปที่ ง.33 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

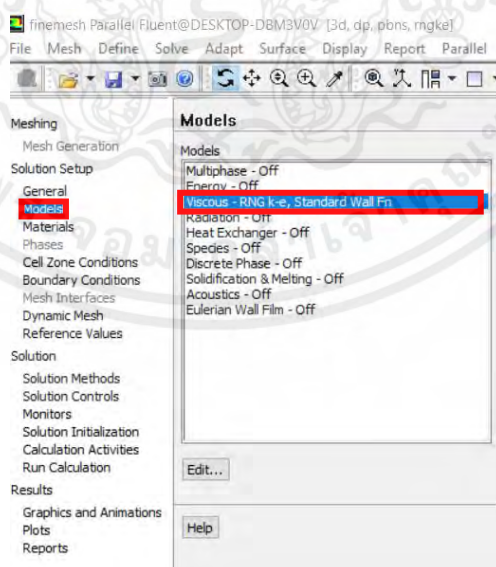


รูปที่ ง.34 ขั้นตอนการ Set up



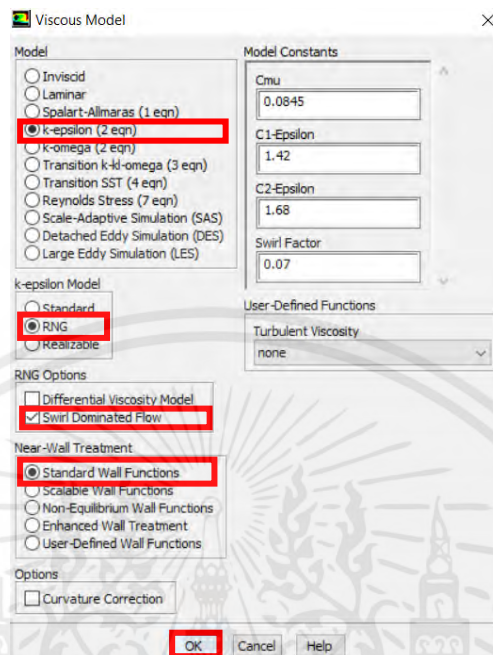
รูปที่ ง.35 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Models > Viscous > Model > เลือก k-epsilon (2 eqn), RNG, Swirl Dominated Flow, Standard Wall Functions > OK



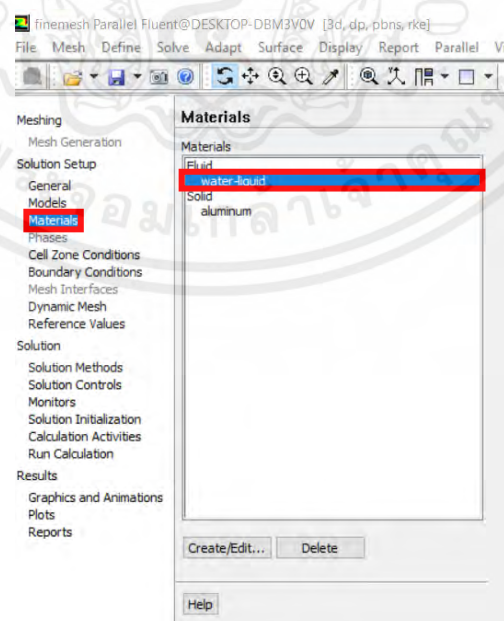
รูปที่ ง.36 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



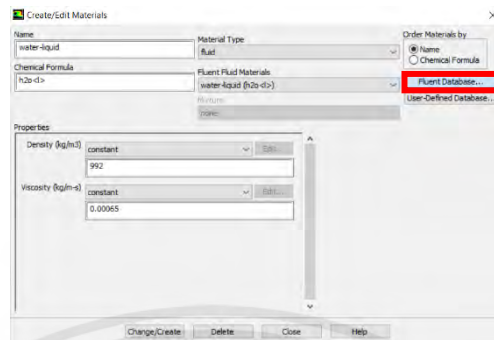
รูปที่ ง.37 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Materials > Fluid > Fluent Database > water-liquid (h2o<l>) > Copy > เลือก Density 992 kg/m³, Viscosity 0.00065 kg/m-s > Close

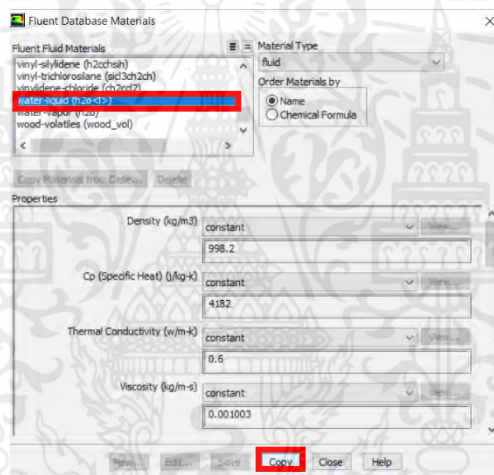


รูปที่ ง.38 ขั้นตอนการ Set up

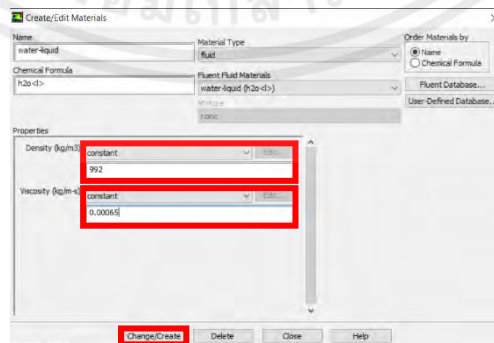
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.39 ขั้นตอนการ Set up

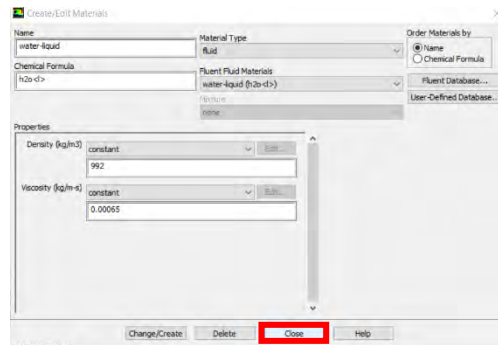


รูปที่ ง.40 ขั้นตอนการ Set up



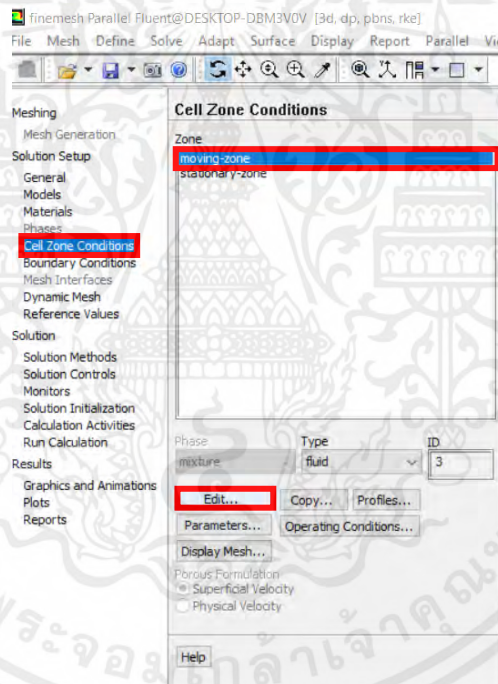
รูปที่ ง.41 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



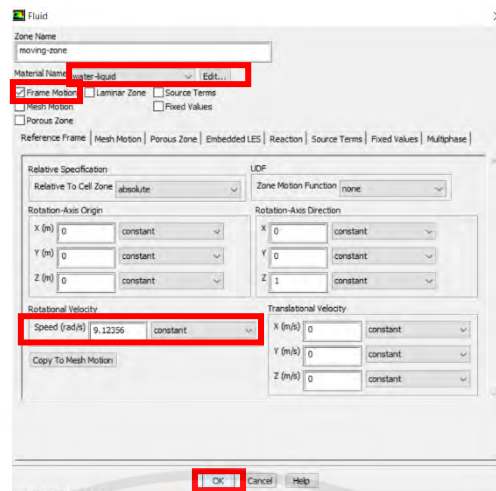
รูปที่ ง.42 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > moving-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid, Frame Motion, Speed 9.12356 rad/s > OK



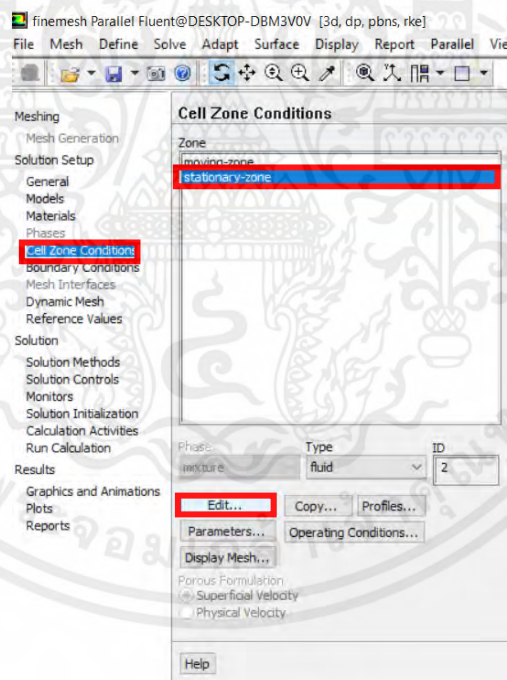
รูปที่ ง.43 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



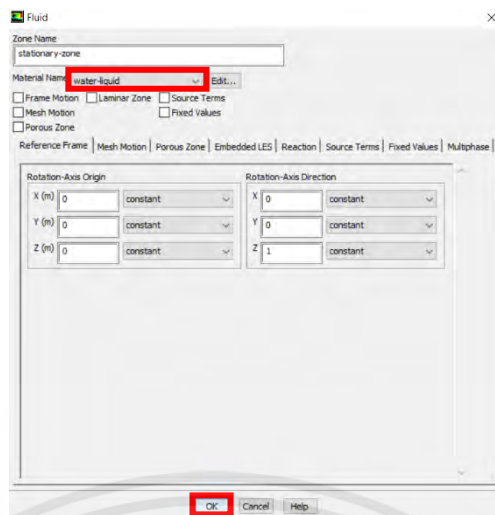
รูปที่ ง.44 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Cell Zone Conditions > stationary-zone > Edit > เลือก Material เป็น water-liquid > OK



รูปที่ ง.45 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.46 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 11 (Moving-left), Shadow zone พิมพ์ 10 (Moving-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y

```

Preparing mesh for display...
Done.
mesh
/mesh> modify-zones
/mesh/modify-zones> mp
Periodic zone [()] 11
Shadow zone [()] 10
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

all 836 faces matched for zones 11 and 10.

zone 10 deleted

created periodic zones.
/mesh/modify-zones> |

```

รูปที่ ง.47 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Boundary Conditions > พิมพ์ mesh > พิมพ์ modify-zones > พิมพ์ mp > Periodic zone พิมพ์ 5 (Stationary-left), Shadow zone พิมพ์ 4 (Stationary-Right) > Rotational periodic พิมพ์ y, Create periodic zones พิมพ์ y > พิมพ์ q > พิมพ์ q

```

zone 10 deleted

created periodic zones.
/mesh/modify-zones> mp
Periodic zone [()] 5
Shadow zone [()] 4
Rotational periodic? (if no, translational) [yes] y
Create periodic zones? [yes] y

all 3368 faces matched for zones 5 and 4.

zone 4 deleted

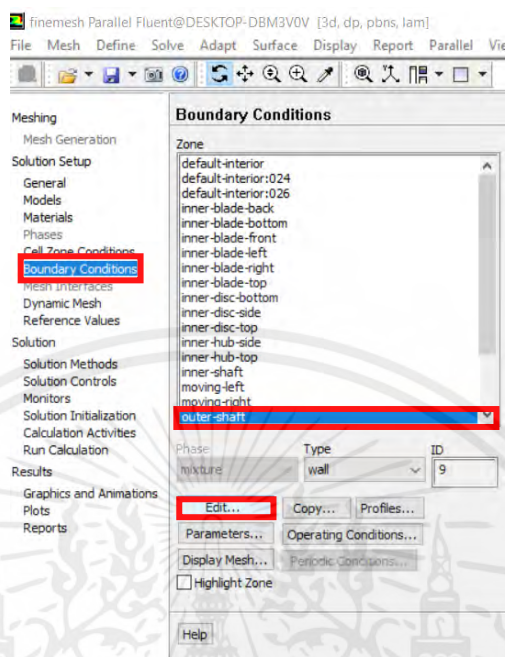
created periodic zones.
/mesh/modify-zones> q
/mesh> q

```

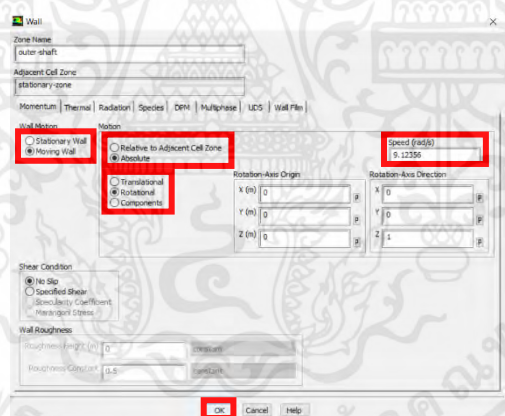
รูปที่ ง.48 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปที่ Boundary Conditions > outer-shaft > Edit > เลือก Moving Wall, Absolute, Rotational, Speed 9.12356 rad/s > OK



รูปที่ ง.49 ขั้นตอนการ Set up

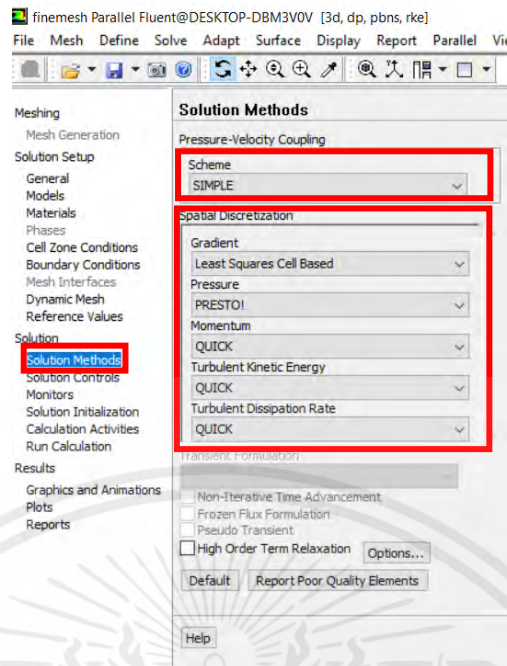


รูปที่ ง.50 ขั้นตอนการ Set up

ส่วนของ Solution

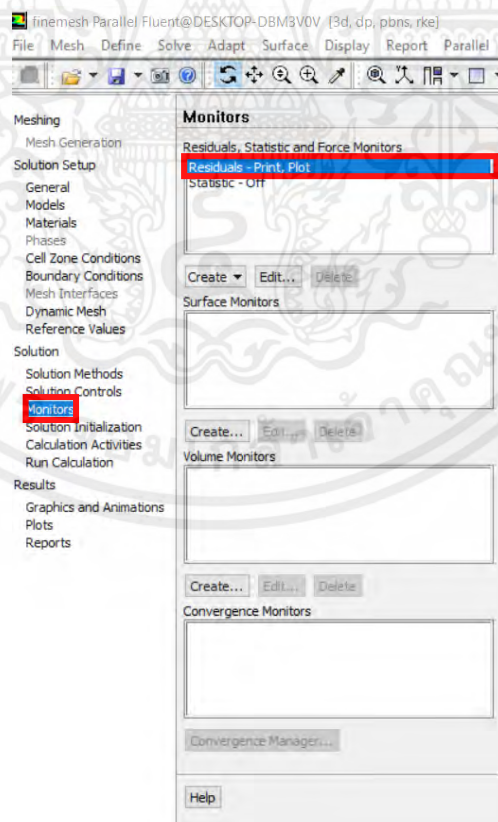
ไปที่ Solution Methods > Scheme เลือก SIMPLE > Gradient เลือก Least Squares Cell Based, Pressure เลือก PRESTO!, Momentum เลือก QUICK, Turbulent Kinetic Energy เลือก QUICK, Turbulent Dissipation Rate เลือก QUICK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



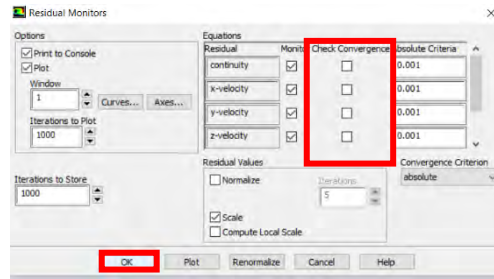
รูปที่ ง.51 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Monitors > Residuals – Print, Plot > เอาเครื่องหมายถูกของ Check Convergence ออกทั้งหมด > OK



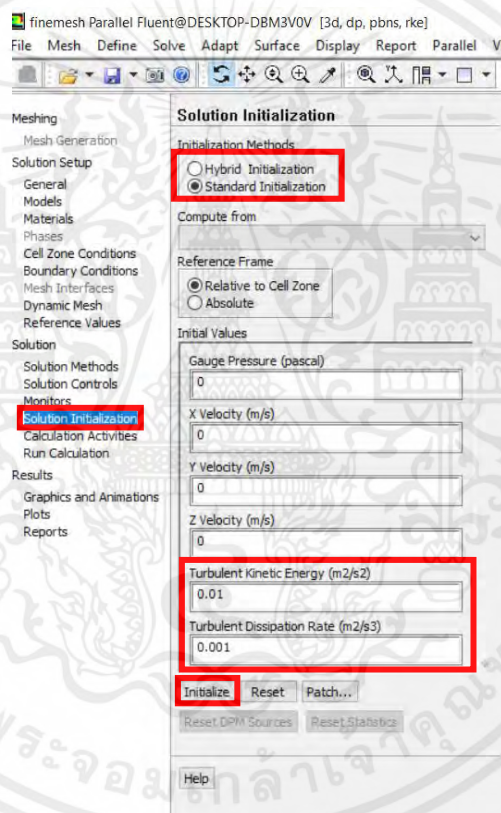
รูปที่ ง.52 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.53 ขั้นตอนการ Set up

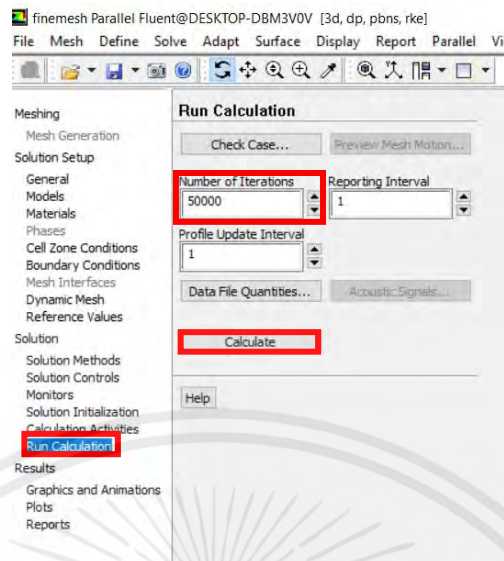
ไปที่ Solution Initialization > Initialization Methods เลือก Standard Initialization > Turbulent Kinetic Energy 0.01 m²/s², Turbulent Dissipation Rate 0.001 m²/s³ > Initialize



รูปที่ ง.54 ขั้นตอนการ Set up

ไปที่ Run Calculation > Number of Iterations 50000

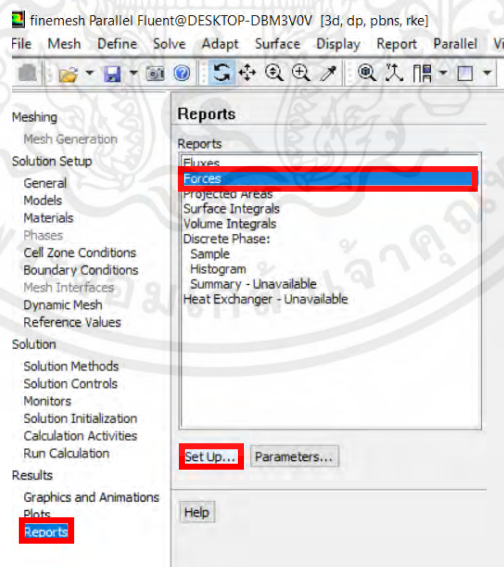
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.55 ขั้นตอนการ Set up

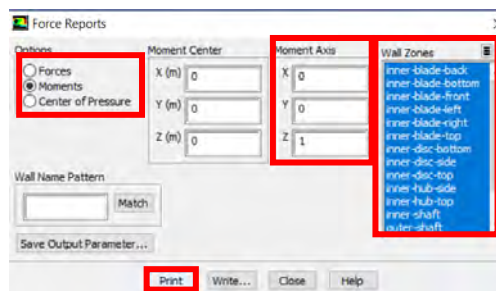
ส่วนของ Result

ไปที่ Report > Forces > Set up > Moment > Moment Center เลือก (0,0,0), Moment Axis เลือก (0,0,1) > Wall Zones เลือกทั้งหมดยกเว้น tank-bottom, tank side และ tank top > Print



รูปที่ ง.56 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

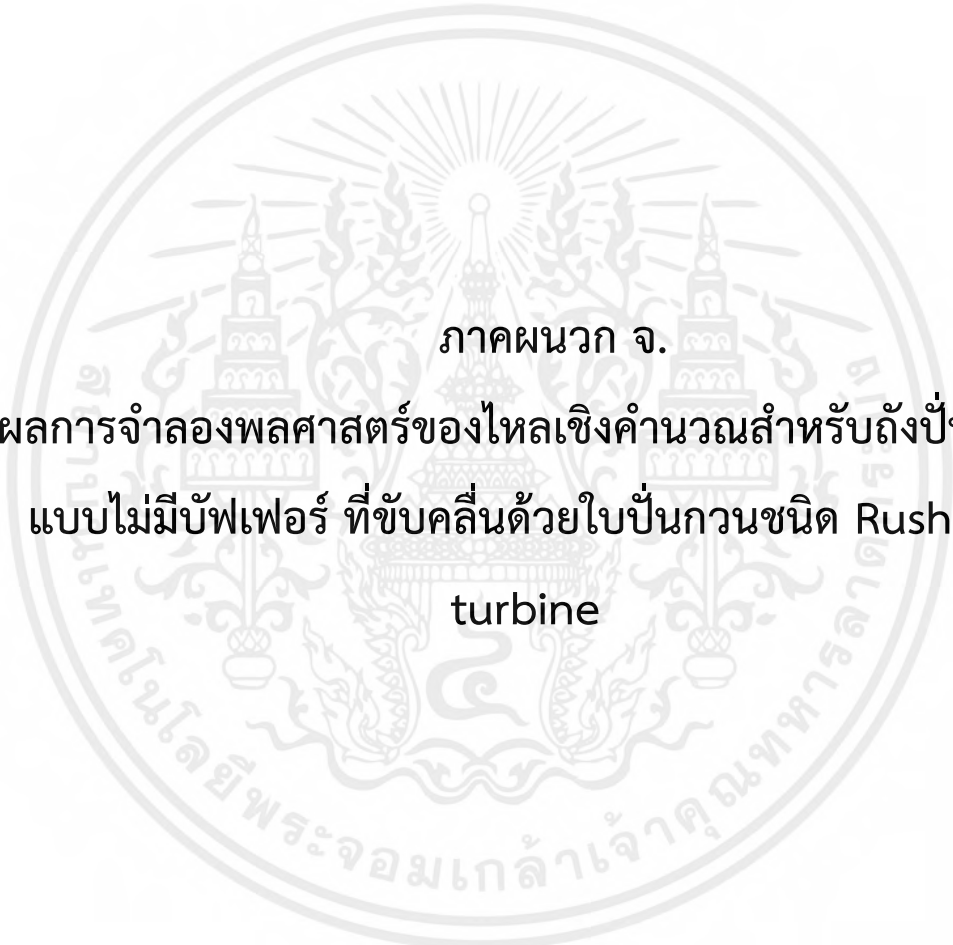


รูปที่ ง.57 ขั้นตอนการ Set up

Zone	Moments (n-m)	Viscous	Total
inner-blade-back	1.8140002e-08	-9.041887e-08	-7.2274885e-08
inner-blade-bottom	0	-5.3866672e-07	-5.3866672e-07
inner-blade-front	-4.9869657e-07	-5.2868966e-07	-1.0153862e-06
inner-blade-left	-0.000391016	-4.2608126e-06	-0.0003914421
inner-blade-right	0.0003664116	1.472280e-07	0.00036648839
inner-blade-top	0	-7.1446476e-07	-7.1446476e-07
inner-disc-bottom	0	-3.7151245e-07	-3.7151245e-07
inner-disc-side	-4.1393853e-14	-9.695925e-08	-9.695925e-08
inner-disc-top	0	-5.4973004e-07	-5.4973004e-07
inner-hub-side	-5.4242153e-16	-2.3221421e-07	-2.3221422e-07
inner-hub-top	0	-4.5984313e-08	-4.5984313e-08
inner-shaft	-3.2658414e-16	-2.2948115e-09	-2.2948115e-09
outer-shaft	-4.6489559e-16	-3.323189e-08	-3.323189e-08
Net	-0.00047324099	-3.8835415e-06	-0.00047622651

รูปที่ ง.58 ขั้นตอนการ Set up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ.
ผลการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสำหรับกังหัน
แบบไม่มีบัฟเฟอร์ ที่ขับเคลื่อนด้วยใบกังหันชนิด Rushton
turbine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

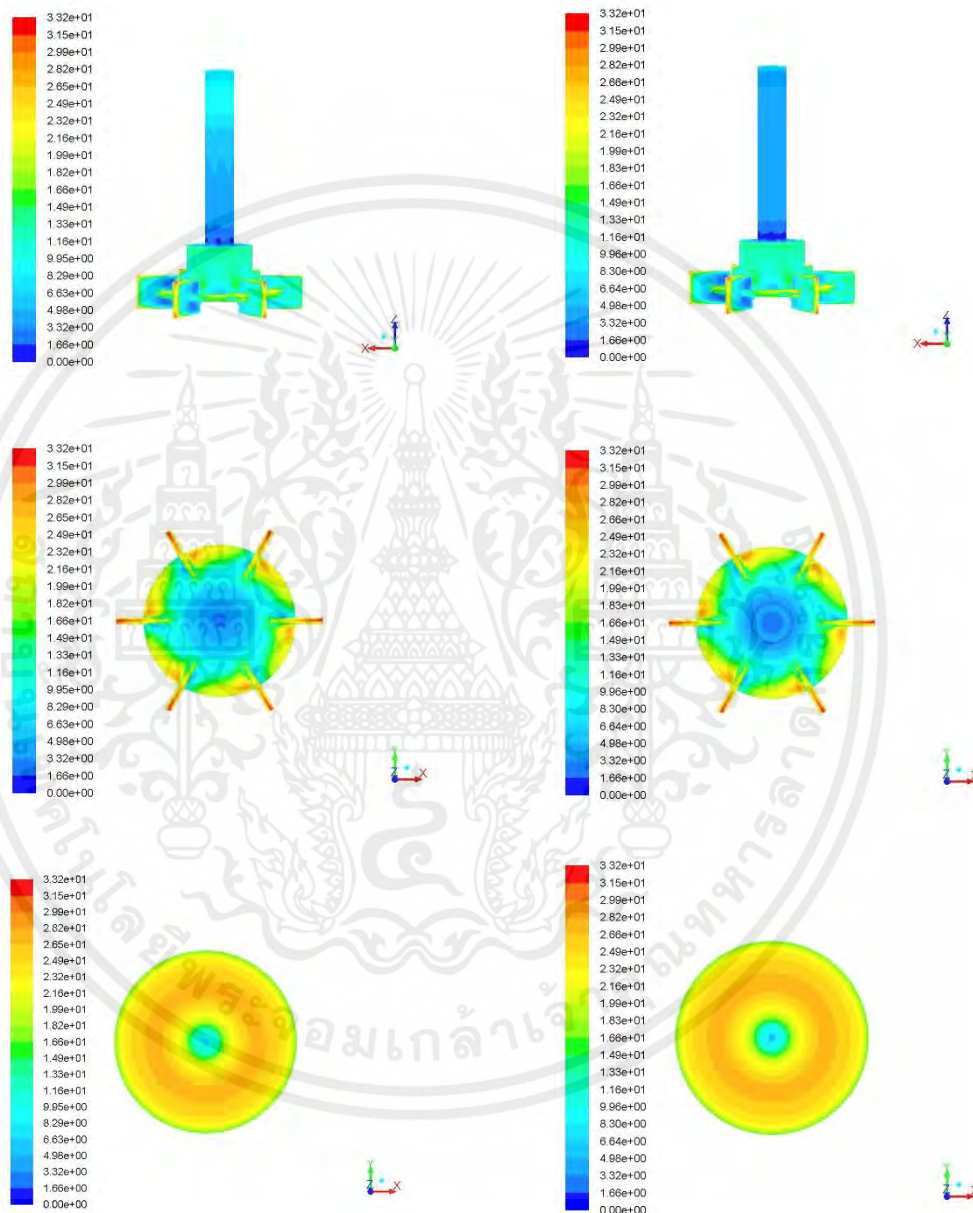
1. ผลการจำลองของแบบจำลองความปั่นป่วนชนิด Realizable k- ϵ

1.1. แสดงคอนทัวร์ของ y^+ ของแบบจำลองที่กำหนดแบบจำลองความปั่นป่วนด้วย

Realizable k-" ϵ " model และไม่เลือก Curvature correction

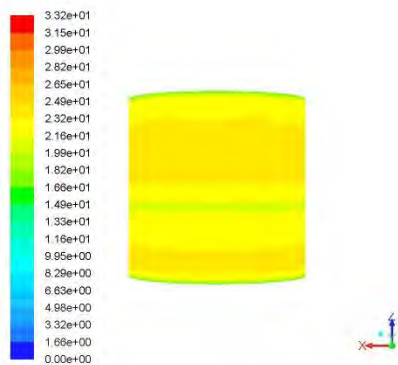
(ก) Scalable wall function

(ข) Standard wall function

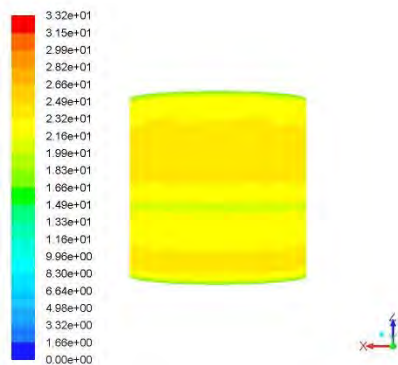


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) Scalable wall function



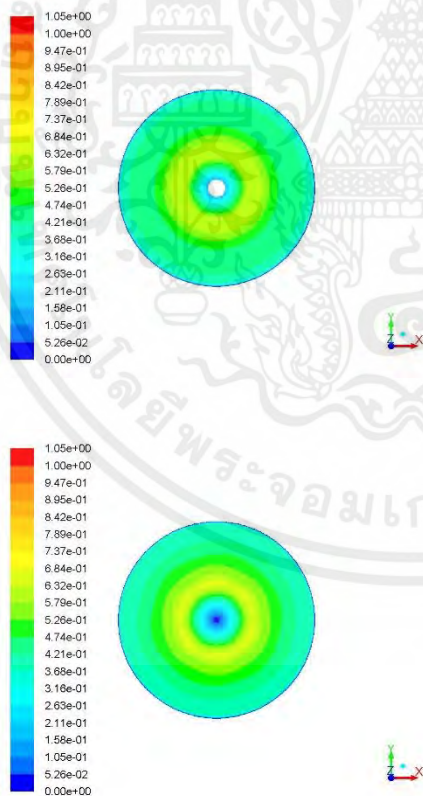
(ข) Standard wall function



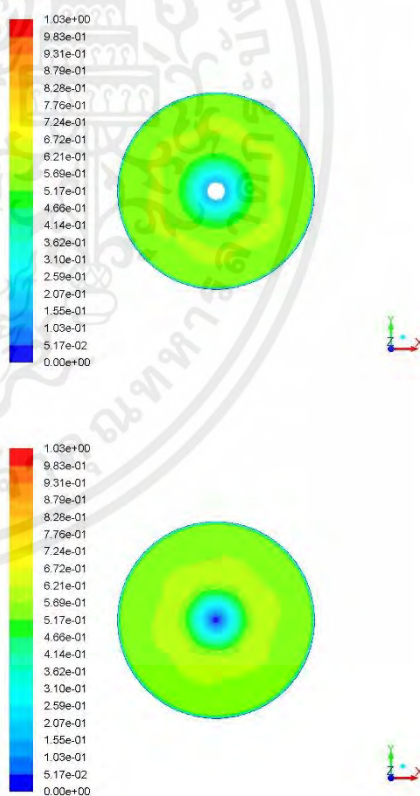
รูปที่ จ.1 คอนทัวร์ของ y^+ ของแบบจำลองที่กำหนดแบบจำลองความปั่นป่วนด้วย Realizable k- ϵ model และไม่เลือก Curvature correction

1.2. แสดงคอนทัวร์ของขนาดความเร็วของแบบจำลองที่กำหนดแบบจำลองความปั่นป่วนด้วย Realizable k- ϵ model และใช้ฟังก์ชันผนังเป็น Standard wall function

(ก) Curvature correction



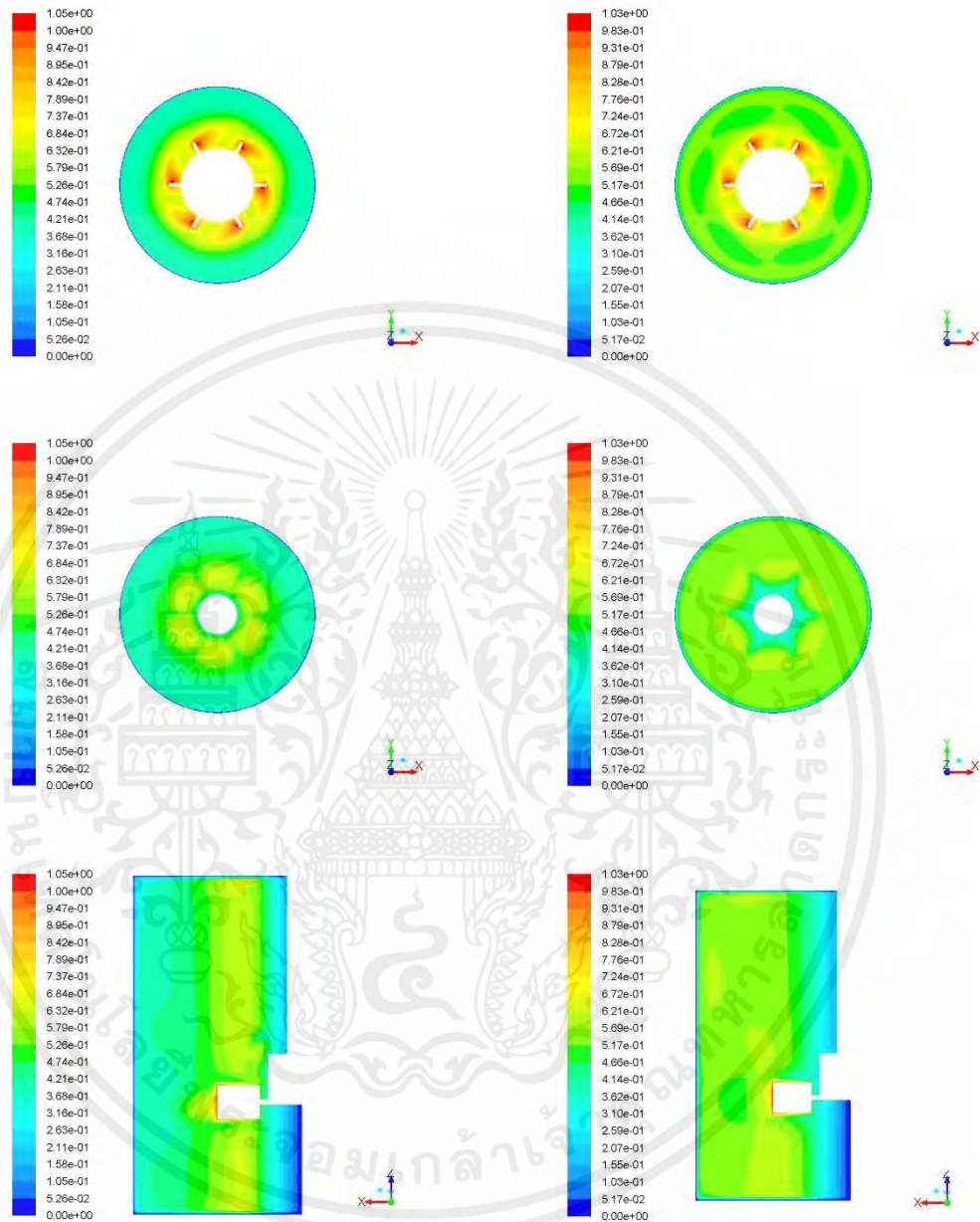
(ข) No curvature correction



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) Curvature correction

(ข) No curvature correction



รูปที่ จ.2 คอนทัวร์ของขนาดความเร็วของแบบจำลองที่กำหนดแบบจำลองความปั่นป่วนด้วย Realizable $k-\epsilon$ model และใช้ฟังก์ชันผนังเป็น Standard wall function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

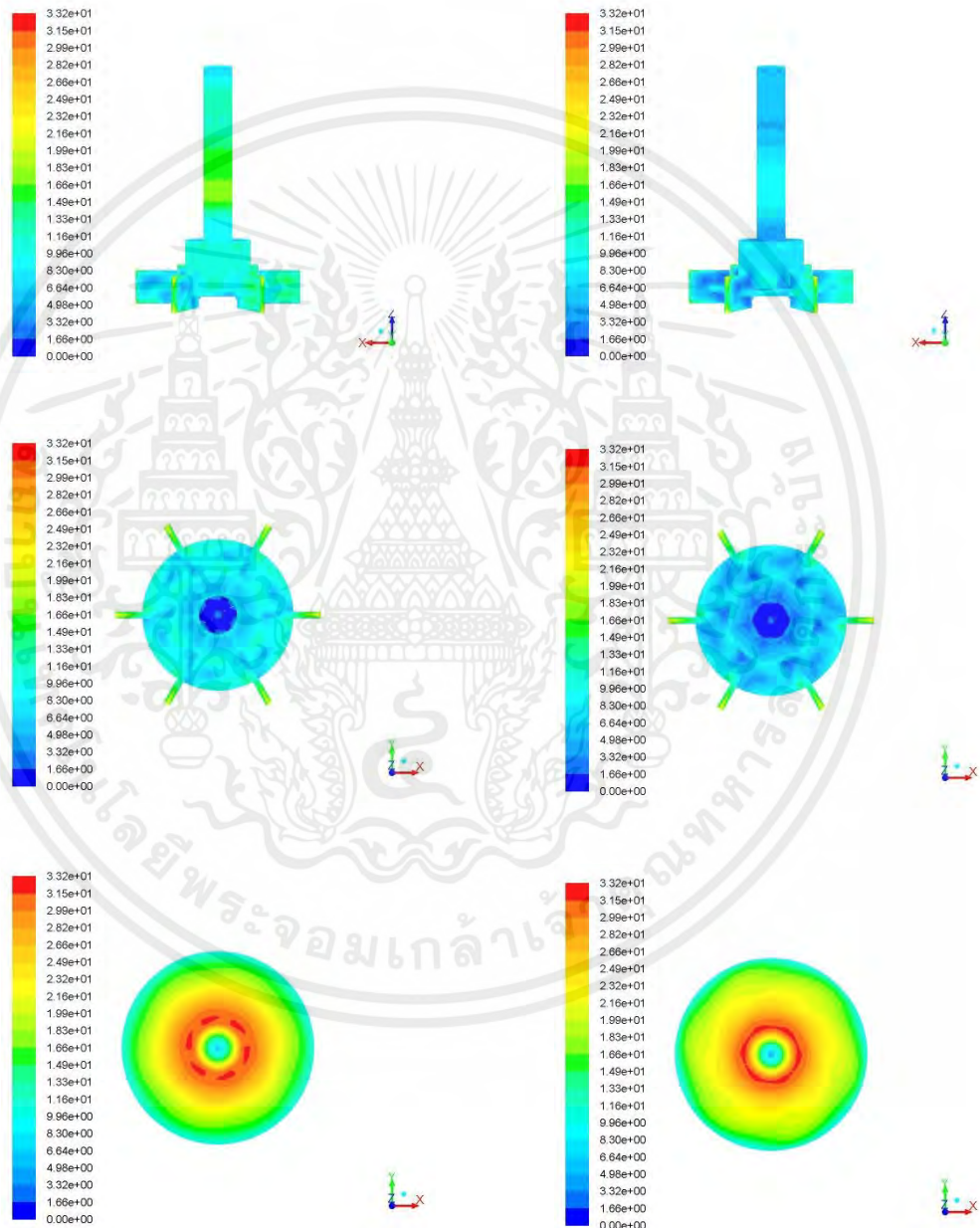
2. ผลการจำลองของแบบจำลองความปั่นป่วนชนิด RNG k- ϵ

2.1. แสดงคอนทัวร์ของ y^+ ของแบบจำลองที่กำหนดแบบจำลองความปั่นป่วนด้วย RNG k-

" ϵ " model และเลือก Curvature correction

(ก) Scalable wall function

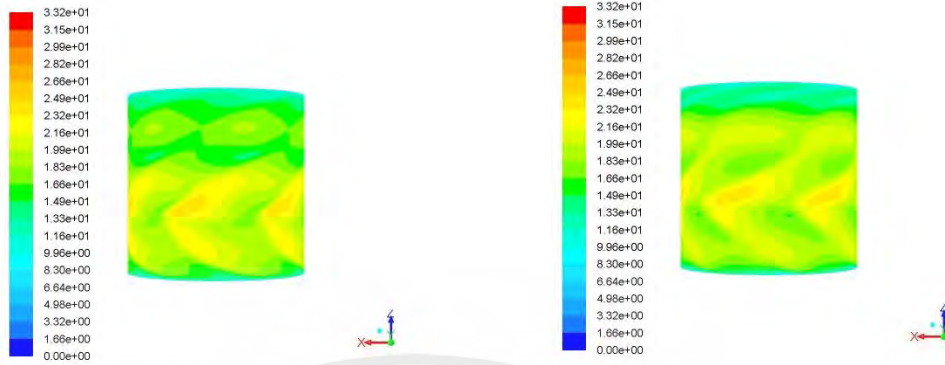
(ข) Standard wall function



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) Scalable wall function

(ข) Standard wall function

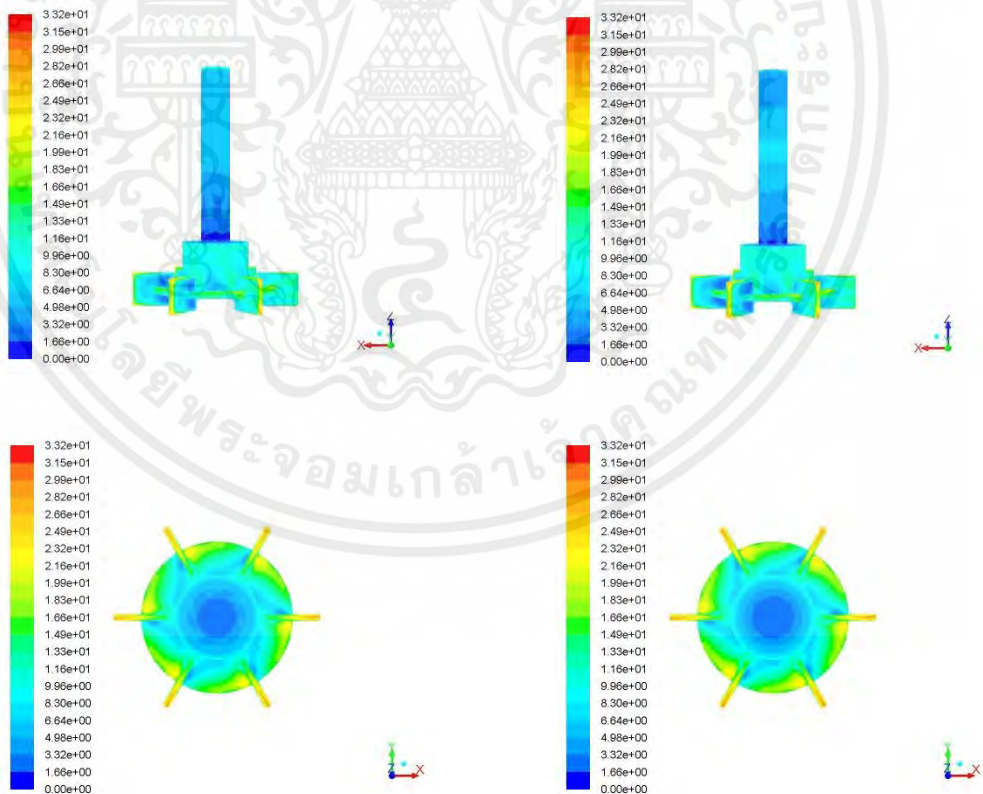


รูปที่ จ.3 คอนทัวร์ของ y^+ ของแบบจำลองที่กำหนดแบบจำลองความปั่นป่วนด้วย RNG k- ϵ model และเลือก Curvature correction

2.2. แสดงคอนทัวร์ของ y^+ ของแบบจำลองที่กำหนดแบบจำลองความปั่นป่วนด้วย RNG k- ϵ model และไม่เลือก Curvature correction

(ก) Scalable wall function

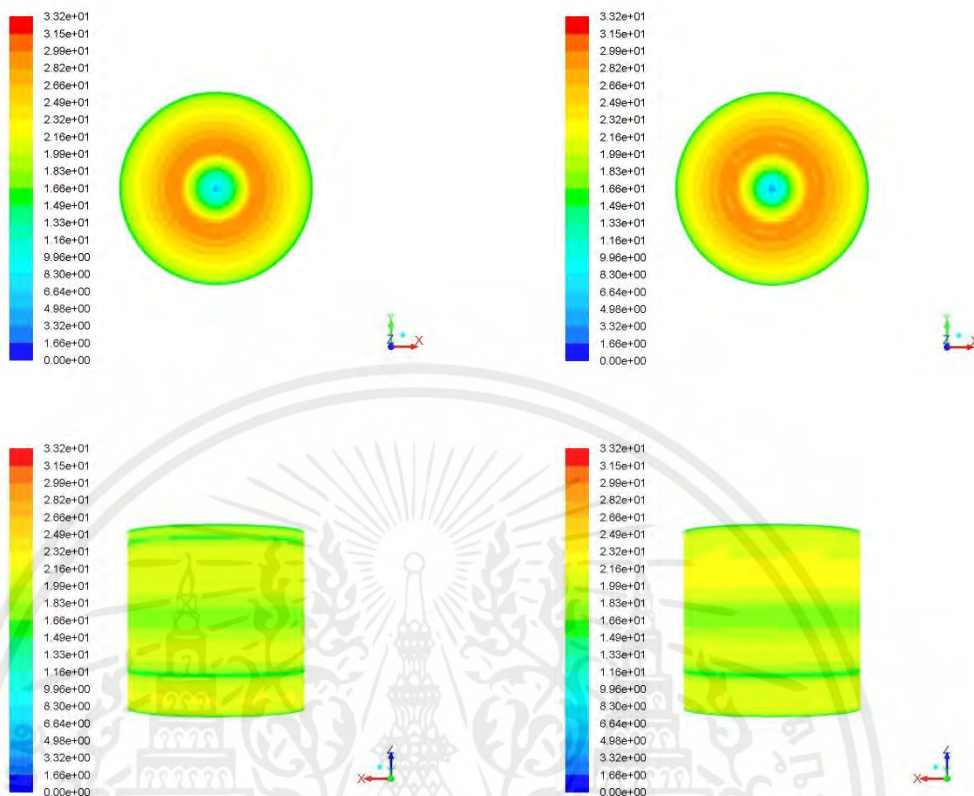
(ข) Standard wall function



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) Scalable wall function

(ข) Standard wall function



รูปที่ จ.4 คอนทัวร์ของ y^+ ของแบบจำลองที่กำหนดแบบจำลองความปั่นป่วนด้วย RNG k- ϵ model และไม่เลือก Curvature correction

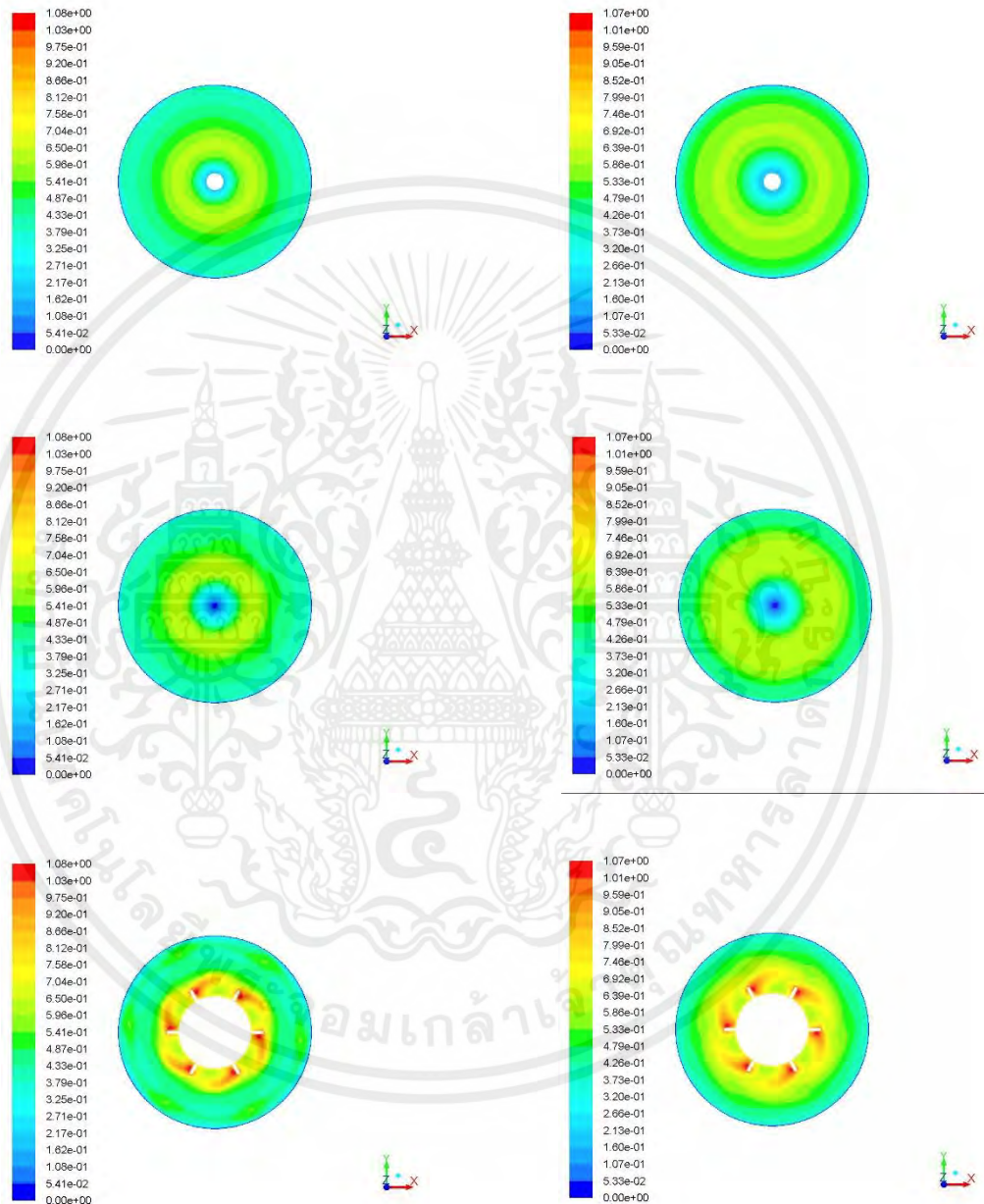
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. แสดงคอนทัวร์ของขนาดความเร็วของแบบจำลองที่กำหนดแบบจำลองความปั่นป่วน

ด้วย RNG k- ϵ model และใช้ฟังก์ชันผนังเป็น Standard wall function

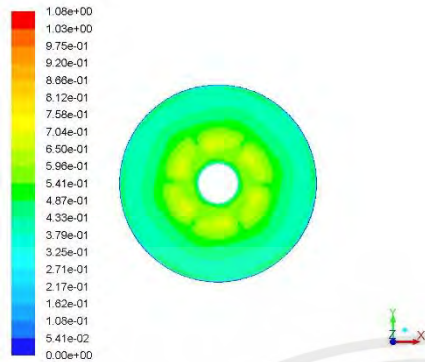
(ก) Curvature correction

(ข) No curvature correction

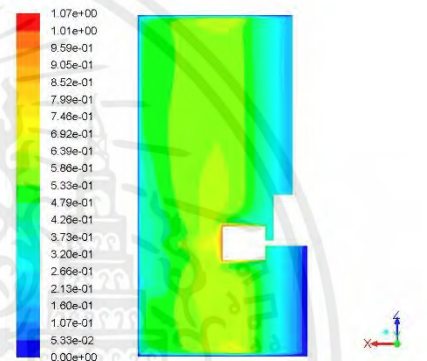
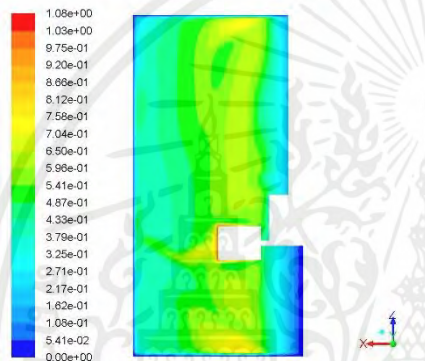
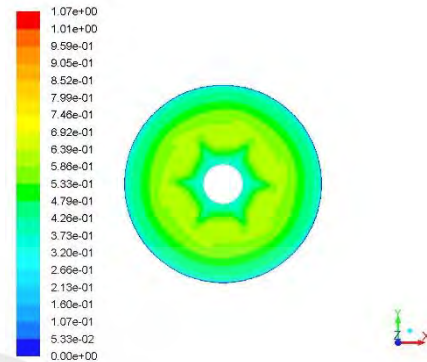


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) Curvature correction



(ข) No curvature correction



รูปที่ จ.5 คอนทัวร์ของขนาดความเร็วของแบบจำลองที่กำหนดแบบจำลองความปั่นป่วนด้วย RNG k- ϵ model และใช้ฟังก์ชันผนังเป็น Standard wall function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ฉ.
วิธีการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณตัวเลขกำลัง

$$\text{สมการ} \quad P = \frac{2\pi NM}{\rho N^3 D^5}$$

เมื่อ	P	คือ ตัวเลขกำลัง (Power number)
	N	คือ ความเร็วรอบ (รอบ/วินาที)
	M	คือ โมเมนต์ทั้งหมด (Nm)
	ρ	คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)
	D	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (m)

ตัวอย่างการคำนวณของกรณี Realizable k- ϵ ฟังก์ชันผนังชนิด Scalable wall function
เลือก Curvature correction

- คำนวณหา Total moment

ค่าโมเมนต์ที่ได้จากการจำลอง คือ 0.000362471 Nm

$$M = 0.000362471 \times 6$$

$$= 0.002174824 \text{ Nm.}$$

- คำนวณหาตัวเลขกำลัง

$$P = \frac{2 \times \pi \times 1.45205967 \times 0.002174824}{992 \times (1.45205967)^3 \times (0.095)^5}$$

$$P = 0.844316534$$

ดังนั้น ค่าตัวเลขกำลังของกรณีนี้คือ 0.844316534