การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการออกแบบคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋ว
STUDY OF PARAMETERS INFLUENCED TO DESIGN OF ULTRA MICRO COMPRESSOR

นายวัชรพล	เคลือกาบ	รหัส 51361384
นายอนุพงศ์	ต๊ะบุญเรือง	รหัส 51364156
นายอภิชาติ	อินยา	รหัส 51364163

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2554

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 1690733 1
เลขเรียกหนังสือ มร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร วท783
2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการออกแบบคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋ว

ผู้ดำเนินโครงงาน นายวัชรพล เคลือกาบ รหัส 51361384
นายอนุพงศ์ ต๊ะบุญเรือง รหัส 51364156
นายอภิชาติ อินยา รหัส 51364163

ที่ปรึกษาโครงงาน ผศ.ดร.กุลยา กนกจารุวิจิตร

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผศ.ดร.กุลยา กนกจารุวิจิตร)

.....กรรมการ
(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)

.....กรรมการ
(ดร.ศลิษา วีรพันธุ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการออกแบบคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋ว		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายวัชรพล	เคลือกาบ	รหัส 51361384
	นายอนุพงศ์	ต๊ะบุญเรือง	รหัส 51364156
	นายอภิชาติ	อินยา	รหัส 51364163
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ดร.กุลยา กนกจารุวิจิตร		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2554		

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลผ่านคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋ว(Ultra micro compressor) โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์จากโปรแกรม COMSOL Multiphysic ซึ่งกำหนดการไหลเป็นแบบลามินาร์ และใช้อากาศเป็นของไหลในระบบ คอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋วถูกออกแบบให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 40 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน12 มม. และความเร็วที่ทางเข้าเท่ากับ 0.00125 m/s (Re=2000) เพื่อพิจารณาผลกระทบต่างๆเช่น (1) ความโค้ง (Camber) ซึ่งใช้แพนอากาศ NACA 4 Series ได้แก่ NACA 0012, NACA 2212, NACA 4212 และ NACA 6212 (2) จำนวนใบพัด 12,18 และ 24 ใบ (3) มุมทางออกของใบพัดที่สัมพัทธ์กับเส้น Camber ที่ 50, 60 และ 70 องศา (4) ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ ที่ 10 100 และ 1000 rpm ผลการคำนวณ แสดงให้เห็นว่า ใบพัดที่มีความโค้งน้อยที่สุด คือ NACA 0012 ให้อัตราส่วนความดันมากที่สุด เนื่องจากไม่มีการการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหล จึงทำให้ได้ความเร็วที่ทางออกน้อย ส่งผลให้ได้อัตราส่วนความดันสูงไปด้วย อย่างไรก็ตามความเร็วรอบของการหมุนก็มีผลต่ออัตราส่วนความดัน กล่าวคือความเร็วรอบของการหมุนแปรผันโดยตรงกับอัตราส่วนความดัน นอกจากนี้จำนวนใบพัดที่ 24 ใบพัด ให้อัตราส่วนความดันที่สูง เนื่องจากความเร็วของการไหลที่ทางออกมีค่าน้อย และมุมที่ 70 องศา ให้อัตราส่วนความดันสูงสุดเนื่องจากเมื่อพิจารณาสามเหลี่ยมความเร็วที่ทางออก เมื่อมุมทางออกมากๆทำให้ได้องค์ประกอบความเร็วปลายทางออกของใบพัดน้อย ซึ่งแปรอัตราส่วนความดันแปรผกผันกับความเร็วที่ทางออก จึงทำให้ได้อัตราส่วนความดันที่สูงในมุมทางออกมาก

Project title	Study of parameters influenced to design of ultra micro compressor
Name	Mr. Watcharaphon Kruekab ID. 51361384
	Mr. Anupong Tabunruang ID. 51364156
	Mr. Apichat Inya ID. 51364163
Project advisor	Dr.Koonlaya Kanokjaruvijit
Major	Mechanical Engineering
Department	Mechanical Engineering.
Academic year	2011

Abstract

This project determines the numerical of a flow through ultra micro compressor by using a finite element method by COMSOL Multiphysic Program. The flow is laminar, and air is used as a working fluid. A small compressor of 40 mm diameter is designed without guide vanes. The speed of exit is 0.00125 m/s (Re=2000). Various parametric effects are considered such as (1) camber using 4 types of NACA 4 Series: NACA 0012, NACA 2212, NACA 4212 and NACA 6212 (2) number of blades 12, 18 and 24 (3) exit relative angles: 50, 60 and 70 degrees (4) speed of the compressor of 10, 100 and 1000 rpm. The calculation suggests that NACA 0012 give the lowest compression ratio, because the compression ratio increases with the decrease in the exit velocity. Furthermore, the rotation speed affected the compression ratio. Moreover, the case of 24 blades give the high compression ratio. The relative exit angle of 70 degrees allows the highest compression ratio among the tested values of angles due to the fact that the exit velocity triangle gives the lower velocity, viz, the compression ratio is conversely proportional to the exit velocity.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้จัดทำโครงงานขอกราบขอบพระคุณ บุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ เช่น ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำช่วยเหลือทั้งในด้านความรู้และงบประมาณซึ่งได้แก่บุคคลดังต่อไปนี้

- ผศ.ดร.กุลยา กนกจารุวิจิตร ที่ปรึกษาโครงงาน

- ดร.ภาณุ พุทธวงศ์ กรรมการ

- ดร.ศลิษา วีรพันธุ์ กรรมการ

- สมาชิกในกลุ่มและเพื่อนๆทุกคน

- บุคลากรคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เป็นผู้สนับสนุนโครงงานและมอบเงินให้ในการจัดทำโครงงาน

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายวัชรพล เคลือกาบ
นายอนุพงศ์ ต๊ะบุญเรือง
นายอภิชาติ อินยา

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน 2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2
1.6 สถานที่ปฏิบัติงาน 3
1.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน 3
1.8 งบประมาณที่ใช้ 3

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 การทบทวนวรรณกรรม 4
2.2 แพนอากาศแบบ NACA 4 Series 5
2.3 ทฤษฎีของการคำนวณ 6

บทที่ 3 วิธีการคำนวณ 12
3.1 Data Reduction 12
3.2 การออกแบบคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋วสองมิติ 13
3.3 การนำไฟล์เขียนแบบเข้าสู่โปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์ 17
3.4 การคำนวณโดยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ 18
3.5 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง 22
3.6 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ 27
3.7 การคำนวณค่าอัตราส่วนความดันที่ได้จากคอมเพรสเซอร์ 40

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....41
4.1 การกำหนดค่าเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขต.....41
4.2 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....43

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....47

5.1 ผลของอัตราส่วนความดันของคอมเพรสเซอร์.....47
5.2 ข้อเสนอแนะ.....47

เอกสารอ้างอิง.....48
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน.....49

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 การดำเนินงานกิจกรรมสำหรับโครงงานนี้ 2

1.2 สรุปงบประมาณที่ใช้ในโครงงานนี้ 3

3.1 ค่าของ NACA 0012 ที่ใช้พล็อต 14

4.1 ค่าคงที่และสมบัติที่ใช้ในการทดลอง 41

4.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการทดลอง 42

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 แพนอากาศของ NACA 5
2.2 การเรียกชื่อแบบอากาศของ NACA 4 Series 6
2.3 สามเหลี่ยมความเร็วที่ทางเข้าและทางออกจากใบพัด [7] 7
2.4 ภาพตัดขวางด้านหน้าและด้านข้างของการไหลผ่านคอมเพรสเซอร์ในแนวรัศมี [7] 9
2.5 ภาพสามเหลี่ยมความเร็วที่ทางออกของคอมเพรสเซอร์ในแนวรัศมี 10
3.1 แสดงขั้นตอนของ Data Reduction 13
3.2 เส้นผ่านศูนย์กลางทั้งภายนอกภายใน 13
3.3 ทำการวาดแบบ NACA 14
3.4 ทำการวาดแบบ NACA 15
3.5 ทำการลบเส้นที่ไม่ต้องการ 15
3.6 การเพิ่มจำนวนใบพัด 16
3.7 บันทึกเป็นไฟล์นามสกุล .dxf 16
3.8 เลือกชนิดของโหมดในการวิเคราะห์ 17
3.9 ขั้นตอนการนำ AutoCAD file เข้าสู่โปรแกรม COMSOL 17
3.10 การนำไฟล์ AutoCAD เข้าสู่โปรแกรม COMSOL เสร็จสิ้น 18
3.11 ชิ้นงานที่มีคุณลักษณะเป็นของแข็ง 18
3.12 แยกชิ้นส่วนออกจากกัน ด้วยคำสั่ง Split Object 19
3.13 การตัดบางส่วนของแข็ง 19
3.14 รวมชิ้นงาน 20
3.15 แยกชิ้นงานออกเป็น 2 ส่วน 20
3.16 ประกอบชิ้นงานทั้งหมด 21
3.17การเปลี่ยนลักษณะเส้นระหว่าง Stator กับ Rotor จากผนังให้เป็นช่องเปิด 21
3.18 เลือกโหมด Moving Mesh (ALE) 22
3.19 เลือก Subdomain setting 22

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.20 การกำหนดทิศทางการหมุนของชุดใบพัด 23
3.21 กำหนดคุณสมบัติของของไหล 23
3.22 เลือกโหมด Incompressible Navier-Stokes (chns) 24
3.23 กำหนดคุณสมบัติของไหล 24
3.24 การกำหนดตัวแปรของค่าคงที่ 25
3.25 การกำหนดขอบเขตแบบจำลอง 25
3.26 กำหนดทางเข้าของของไหล 26
3.27 กำหนดทางออกของของไหล 26
3.28 กำหนด Boundary type ของชุดใบพัด 27
3.29 การแสดงโหนดและตัวแปรตามองค์ประกอบ Lagrange 29
3.30 การกำหนด Mesh 30
3.31 การกำหนดชนิด Mesh 30
3.32 วิธีการสร้าง Mesh สามเหลี่ยม 31
3.33 การวิเคราะห์การไหล 32
3.34 การตั้งเวลา (Time step) ในการวิเคราะห์ผล 32
3.35 การเลือกระบบ free ใน Time stepping 33
3.36 การ Solve (วิเคราะห์การไหล) 33
3.37 Solve (วิเคราะห์การไหล) เสร็จสิ้น 34
3.38 วิธีการดึงข้อมูลจากโปรแกรม COM SOL 34
3.39 วิธีการเลือกดึงข้อมูลที่ผิวด้วนนอก 35
3.40 การนำข้อมูลออกจากโปรแกรม 35
3.41 การเก็บข้อมูลให้อยู่ใน Notepad สกุลไฟล์ .txt 36
3.42 ขั้นตอนการนำข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม Excel 36
3.43 การนำ Notepad เข้าโปรแกรม Microsoft Office Excel 37

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.44 การจัดวางช่องข้อมูลในโปรแกรม Excel 37
3.45 การนำไฟล์ Notepad เข้าสู่โปรแกรม Excel เสร็จสิ้น 38
3.46 การคำนวณหาค่าเฉลี่ยความเร็ว 38
3.47 การข้อมูลในการคำนวณหาค่าเฉลี่ย 39
3.48 ค่าเฉลี่ยความเร็วของ Model 39
4.1 การกำหนดค่าเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขต 42
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมทางออกของใบพัดต่ออัตราส่วนความดัน 43
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความดันต่อจำนวนใบพัด ที่มุม 70 องศา 44
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นมีผลต่ออัตราส่วนความดันที่ NACA 0012 45
4.5 ความสัมพันธ์ความโค้งของใบพัดต่ออัตราส่วนความดัน ที่ความเร็วรอบคงที่ 15 rpm 46

สารบัญสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัด	m^2
a_{01}	ความเร็วเสียง	m/s
b	ความหนา	m
c	ระยะคอร์ด	m
c_p	ความร้อนจำเพราะ	kJ/kg.K
d	เส้นผ่านศูนย์กลาง	m
E	พลังงาน	W
g	แรงโน้มถ่วงโลก	m/s^2
h	เอลทัลปี	kJ/kg
L	ความยาว	m
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล	kg/s
P	ความดัน	Pa
$\frac{P_{03}}{P_{01}}$	อัตราส่วนความดัน	
r_1	รัศมีภายใน	m
r_2	รัศมีภายนอก	m
Re	Reynolds number	
T	อุณหภูมิ	K
U	ความเร็วใบพัด	m/s
V	ความเร็วสัมบูรณ์	m/s
v_f	ความเร็วการไหล	m/s
v_w	ความเร็วการหมุนวน	m/s
$\dot{W}_c$	งานที่ได้จากคอมเพรสเซอร์ต่อเวลา	W/s
ΔW	งานทั้งหมดของระบบ	W
β_1	มุมทางเข้าของใบพัด	องศา
β_2	มุมทางออกของใบพัด	องศา
ω	ความเร็วเชิงมุม	rad/s
η_c	ประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์	
R	ค่าคงที่ของอากาศ (287 J/kgK)	J/kgK
N	จำนวนรอบ	rpm
ρ	ความหนาแน่น (1.2 kg/m^3)	kg/m^3
μ	ความหนืดของอากาศ	Pa.s
γ	อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (1.4)	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันกังหันก๊าซขนาดจิ๋วได้ถูกคิดค้นและได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการผลิตพลังงานขนาดเล็กเพื่อใช้งานเฉพาะทางในด้านต่างๆ อาทิเช่น ด้านวงการแพทย์ในการใช้กระแสเลือดไหลขับกังหันที่ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเพื่อสร้างกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในอวัยวะเทียม กังหันก๊าซขนาดจิ๋วมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ คือ คอมเพรสเซอร์ ซึ่งส่วนนี้มีส่วนประกอบหลักที่เป็นใบพัดที่ใช้ในการอัดหรือดันของไหลให้ได้ความดันที่ต้องการ โดยปกติแล้วประสิทธิภาพของกังหันก๊าซส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับการอัดของไหลเข้าของคอมเพรสเซอร์ โดยที่เมื่ออัตราส่วนความดันสูงขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย ซึ่งในปัจจุบันมีประสิทธิภาพการอัดของไหลที่ค่อนข้างน้อย ทำให้งานที่ได้จากกังหันก๊าซขนาดจิ๋วไม่ได้ประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากการศึกษาคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋วนั้น ยังมีการศึกษาที่ไม่แพร่หลาย และข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบค่อนข้างน้อย จึงทำให้มีการศึกษาหาข้อมูลเพื่อออกแบบพารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราส่วนความดันของคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋ว

ปัจจุบันมีการศึกษาและออกแบบสร้างคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋ว เพื่อใช้เป็นต้นแบบสำหรับการศึกษาและพัฒนากังหันขนาดจิ๋ว เพื่อให้ได้อัตราส่วนความดันที่สูงขึ้น และประสิทธิภาพที่สูงขึ้น เพื่อใช้ในอากาศยาน เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสนามขนาดเล็กสำหรับใช้ในทางทหาร อากาศยานไร้นักบิน อากาศยานเบา (Ultra light) เครื่องยนต์ระบบไฮบริด (Hybrid Engine) ซึ่งในการออกแบบคอมเพรสเซอร์ขนาดเล็กนั้น ใช้เงินลงทุนน้อย เหมาะกับประเทศที่กำลังพัฒนาในการสร้างพลังงานทางเลือกหนึ่งได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาการใช้ขอบเขตที่เคลื่อนที่ (Moving Boundary) โดยอาศัย Moving Mesh (ALE : Arbitrary Langrangian -Eulerian) ในระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม COMSAL Multiphysics ในการศึกษาการไหลผ่านคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋ว

1.2.2 ศึกษาผลกระทบของรูปทรงใบพัดและจำนวนใบพัดที่มีผลต่ออัตราการอัดคอมเพรสเซอร์

1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.3.1 เพื่อให้ได้ข้อมูลเป็นแนวทางในการพัฒนาคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋วต่อไป

1.3.2 สามารถสร้างการทำแบบจำลองคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋ว โดยอาศัย Moving Mesh (ALE: Arbitrary Langrangian - Eulerian) จากโปรแกรม COMSOL

1.3.3 ศึกษาพารามิเตอร์ เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1.4.1 แบบจำลองคอมเพรสเซอร์ที่ศึกษาเป็นแบบหอยโข่ง (Centrifugal) โดยใช้อากาศเป็นของไหลทำงาน

1.4.2 ใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยอาศัยโปรแกรม COMSOL Multiphysics

1.4.3 ล้อของคอมเพรสเซอร์ (Compressor Wheel) มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 40 mm

1.4.4 ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ จำนวนใบพัด ชนิดของใบพัดตาม NACA 4 Series และความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์

1.4.5 ของไหลทำงานแบบอัดตัวไม่ได้

1.5 กิจกรรมดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 การดำเนินงานกิจกรรมสำหรับโครงงานนี้

รายการ	พ.ศ. 2554						พ.ศ. 2555		
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและจัดทำวรรณกรรมปริทรรศน์	■	■	■						
2. เขียนแบบใบพัดโดยอาศัย AutoCad			■	■					
3. ศึกษาแบบจำลองการไหลผ่านคอมเพรสเซอร์ โดยอาศัยโปรแกรม Comsol				■	■				
3.1 ศึกษาผลของชนิดของใบพัด					■				
3.2 ศึกษาผลของจำนวนของใบพัด						■			
3.3 ศึกษาผลของความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์							■		
4. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากกิจกรรมในข้อที่ 3								■	
5. เขียนเล่มโครงงาน									■

1.6 สถานที่ปฏิบัติงาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

1.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการ

1.7.1 โปรแกรม AutoCAD

1.7.2 โปรแกรม COMSOL Multiphysics

1.7.3 เครื่องคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค Compaq Intel Core i5, CPU *Turbo Boost* @ 2.30GHz, RAM 4.00 GB

1.8 งบประมาณที่ใช้

ตารางที่ 1.2 สรุปงบประมาณที่ใช้ในโครงงานนี้

ลำดับ	รายการ	ราคา	หน่วย
1	ค่ากระดาษ	1000	บาท
2	ค่าเข้ารูปเล่ม	1000	บาท
3	ค่า Print เอกสาร	1000	บาท
	รวม	3000	บาท

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรม

Mizuki และคณะ [1] ศึกษาวิธีออกแบบคอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยงขนาดเล็ก เพื่อจำลองมาจากของจริง องค์ประกอบสำคัญ คือ จำลองขนาดเล็กเป็น 10 เท่าของขนาดคอมเพรสเซอร์ต้นแบบ ขนาดของใบพัดด้านนอก 40 มม.ความเร็วในการหมุน 220,000 รอบต่อนาที จำนวนใบพัด 16 ใบพัด ความหนาของใบพัด 0.5 มม. ความสูงใบพัดทางเข้า 6.05 มม. ความสูงใบพัดทางออก 2.4 มม. มุมทางเข้า 50 องศาและมุมทางออก 30 องศา และส่วนดิฟฟิวเซอร์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 42 มม.และเส้นภายศูนย์กลางภายนอก 60 มม. จำนวนใบพัดที่ใช้ทดลอง 0, 15 และ 16 ใบพัด ความหนาของใบพัด 0.5 มม. คอมเพรสเซอร์ ได้นำไปทดสอบคุณสมบัติโดยใช้อากาศเย็นที่ความเร็วรอบ 110,000 รอบต่อนาที และถูกทดสอบโดยใช้ก๊าซร้อนที่ความเร็วรอบ 500,000 รอบต่อนาที และถูกลดความเร็วหมุนเป็น 250,000 รอบต่อนาที ปัญหาที่พวกเขาพบในการการออกแบบคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋วสองมิติได้แก่ ผลจากแรงเหวี่ยงและการไหลภายใน ผลจากการศึกษาพบว่า ที่ความเร็วการรอบ 500,000 รอบต่อนาที ให้อัตราส่วนความดันมากกว่าที่ความเร็วรอบเป็น 250,000 รอบต่อนาที

Ishihama และคณะ [2] เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันขนาดจิ๋ว ที่มีขนาดเท่าเม็ดกระดุม คือแหล่ง พลังงานที่คาดหมายในอนาคต สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบด้านอวกาศ หุ่นยนต์ อย่างไรก็ตาม ด้วยเหตุที่มันมีขนาดเล็กมาก ปัญหาที่พบบางส่วนเกิดขึ้นกับโครงสร้าง ควรจะมีการตรวจสอบอย่างละเอียด ก่อนที่จะพัฒนาชิ้นงานต่อไป ปัญหาที่พบอย่างมาก ได้แก่ (1) เพลากังหันที่เชื่อมต่อใบพัดที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำนั้น มีขนาดสั้นมาก (2) รูปทรง 2 มิติ (3) ความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 2400 รอบต่อนาที (4) ใช้วัสดุซิลิกอนเป็นโครงสร้าง ผลลัพธ์ที่ได้นั้น เปิดเผยให้เห็นว่าโรเตอร์ใบพัดและกังหัน มีลักษณะบิดเบี้ยว เป็นเช่นนี้เนื่องจากจานของใบพัดตื้นเกินไป ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงที่ผิวหน้าจานใบพัดและเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์

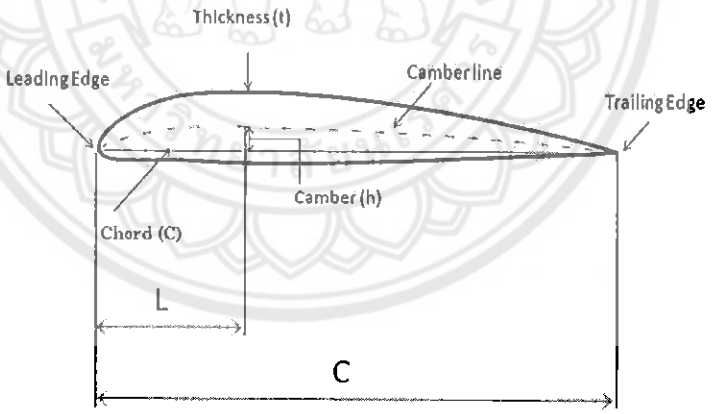
Gaydamaka และคณะ [3] ได้ทำการทดลองอากาศพลศาสตร์ผ่านคอมเพรสเซอร์ขนาดเล็กและ เทอร์ไบน์ที่มีขนาดใช้เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม. มีการศึกษาคอมเพรสเซอร์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์ที่อัตราส่วนความดันเท่ากับ 3 และ 4 อัตราการไหลของอากาศ 13 g/s อุณหภูมิอากาศเข้า 288 K ความดันอากาศเข้า 101.3 kPa และความเร็วรอบในการหมุน 210,000 รอบต่อนาที ลักษณะใบพัดที่ออกแบบความกว้างของใบพัดมีขนาด 3 มม. มุมทางเข้า 35 องศา ที่ทางออก 76 องศา ส่วนการออกแบบดิฟฟิวเซอร์ (diffuser) มุมทางเข้า 12 องศา และมุมทางออก 24 องศา ความหนาของใบพัด 1 มม. ที่อัตราส่วนความดันที่ 3 และ 4 ทำการทดลองเหมือนกัน แต่ส่วนที่อัตราส่วนความดัน 4 จะ

ความเร็วรอบเป็น 250,000 รอบต่อนาที และมุมการไหลเคลื่อนที่ 10.4 องศา เมื่อเทียบกับอัตราส่วนความดัน 3 มุมการไหลลดลง 1.5 องศา

Kamps [4] ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดเล็ก โดยชุดเครื่องอัดอากาศนั้นได้ นำมาจากใบพัดเครื่องเครื่องอัดอากาศของเทอร์โบชาร์จเจอร์ (ใช้พลังงานจากไอเสียแทนที่จะทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์มาใช้งาน จึงทำให้กำลังของเครื่องยนต์สูงขึ้น) ซึ่งเป็นใบพัดโค้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 66 มม. โดยให้อัตราการไหลของอากาศสูงสุด 0.16 kg/s ที่อัตราส่วนการอัด 1.9:1 เมื่อใบพัดของเครื่องอัดหมุนด้วยความเร็ว 100,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์กังหันก๊าซ Kamps ใช้ห้องเผาไหม้แบบแอนนูลาร์ชนิดไหลเข้าด้านหน้า ส่วนการส่งน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้นั้นใช้ท่อระเหยน้ำมันแบบท่อโค้งเครื่องยนต์กังหันก๊าซนี้ขับเครื่องอัดอากาศด้วยกังหันแบบไหลในแกน (Axial flow turbine) เช่นกันโดยได้แรงขับเมื่อเร่งเครื่องยนต์ที่ 60 นิวตัน

2.2 แพนอากาศแบบ NACA 4 Series

เนื่องจากโครงงานเล่มนี้ เราเลือกใช้ชุดใบพัดตามแพนอากาศของ NACA-4 series จึงต้องทำความเข้าใจถึงการเลือกชื่อและลักษณะของแต่ใบพัดดังรูปที่ 2.1 โดยมีองค์ประกอบของแพนอากาศดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 แพนอากาศของ NACA

2.2.1. Leading Edge คือ ส่วนต้นของแพนอากาศ

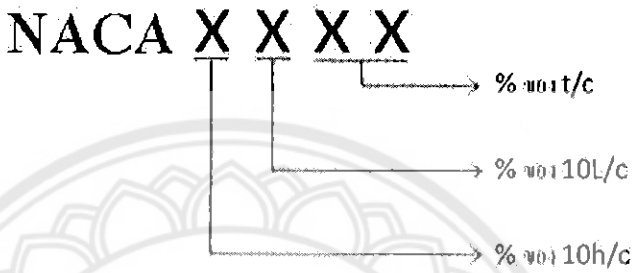
2.2.2. Trailing Edge คือ ส่วนปลายของแพนอากาศ

2.2.3. ความหนา (Thickness), t คือ ความหนาของแพนอากาศโดยวัดในส่วนที่หนาที่สุด

2.2.4. ระยะคอร์ด (Chord), C คือ ระยะกระจัดที่วัดระหว่าง Leading Edge และ Trailing Edge

2.2.5. ระยะความโค้ง (Camber), h วัดจากระยะที่กว้างที่สุดระหว่างเส้นคอร์ดกับเส้นแสดงความโค้ง (Chamber line) หรือ เส้นศูนย์ (Center line)

2.2.6. ระยะ L คือ ระยะที่วัดจาก Leading Edge ถึงตำแหน่งที่แพนอากาศมีความหนามากที่สุดที่สุด



รูปที่ 2.2 การเรียกชื่อแพนอากาศของ NACA 4 Series.

สำหรับตัวเลข 4 หลัก แสดงโดย X ใน NACA XXXX มีความหมายดังนี้ คือ

1. หลักแรก หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของระยะความโค้งหารด้วยระยะคอร์ด แล้วคูณด้วย 10 แสดงเป็นสัญลักษณ์ได้โดย ((h×100)/C) ×10

2. หลักที่ 2 หมายถึง ระยะ L หารด้วยระยะคอร์ด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ แล้วคูณด้วย 10 แสดงเป็นสัญลักษณ์ได้โดย ((L×100)/C) ×10

3. สองหลักสุดท้าย หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของความหนาเทียบกับระยะคอร์ด แสดงเป็นสัญลักษณ์ได้โดย t/C×100

ในโครงงานนี้เราใช้แพนอากาศที่มีความหนาคงที่เท่ากับ 12เปอร์เซ็นต์ของระยะคอร์ดแต่ความโค้งที่ต่างกัน ได้แก่ NACA 0012, NACA 2212, NACA 4212 และNACA 6212

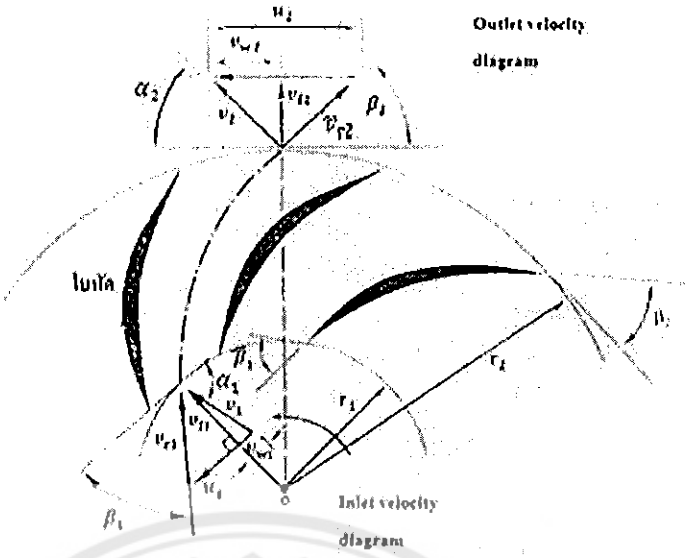
2.3 ทฤษฎีของการคำนวณ

2.3.1 ระบบคอมเพรสเซอร์

คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่อัดอากาศหรือเพิ่มความดันของอากาศที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ให้สูงขึ้นหรือทำให้มวลของอากาศมากในปริมาณที่กำหนดเพื่อที่จะทำให้ส่วนผสมเกิดการจุดระเบิดขยายตัวได้อย่างเต็มที่และรุนแรง ครีบหมุนติดอยู่บนแกนเพลาซึ่งเป็นเพลาอันเดียวกันกับกังหันก๊าซ โดยทั่วไปคอมเพรสเซอร์ที่นิยมใช้ในเครื่องยนต์กังหันก๊าซมี 2 ประเภทคือ

2.3.1.1. คอมเพรสเซอร์แบบไหลตามแนวแกน (Axial flow compressor)

2.3.1.2. คอมเพรสเซอร์แบบไหลตามแนวรัศมี (Centrifugal Compressor)



รูปที่ 2.3 สามเหลี่ยมความเร็วที่ทางเข้าและทางออกจากใบพัด [7]

อย่างไรก็ตาม สำหรับเครื่องยนต์กังหันก๊าซขนาดจิ๋วนั้น มักใช้คอมเพรสเซอร์แบบไหลตามแนวรัศมี ดังนั้น เราจึงเลือกแสดงและวิเคราะห์เฉพาะคอมเพรสเซอร์ประเภทนี้เท่านั้น

การออกแบบใบพัดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ (Centrifugal impeller) จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน โดยประยุกต์ใช้การเคลื่อนที่เชิงมุม

Torque = อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเชิงมุม

โมเมนตัมเชิงมุม = $\dot{m} \times v_w \times r$

เมื่อ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวล หน่วย *kg/s*

v_w คือ ความเร็วการหมุนวน

r คือ รัศมีของใบพัด

เพราะฉะนั้น จะได้

โมเมนตัมเชิงมุมที่ป้อนเข้าใบพัดต่อวินาที $= \dot{m}v_{w1}r_1$

โมเมนตัมเชิงมุมที่ออกจากใบพัดใบพัดต่อวินาที $= \dot{m}v_{w2}r_2$

เมื่อ $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลต่อวินาที

r_1 คือ รัศมีภายในของใบพัด

r_2 คือ รัศมีภายนอกของใบพัด

ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเชิงมุม = $\dot{m}(v_{w2}r_2 - v_{w1}r_1)$

ดังนั้น ทำให้แรงบิด (Toque) และความเร็วเชิงมุมอยู่ในหน่วยกำลัง

$$P = \tau\omega = \dot{m}(v_{w2}r_2 - v_{w1}r_1)\omega \qquad (2.1)$$

เมื่อ ω คือ ความเร็วเชิงมุม

τ คือ แรงบิด

P คือ กำลังที่ผลิตได้

แต่ $\omega = u/r$ ดังนั้น $\omega r_2 = u_2$ และ $\omega r_1 = u_1$ แทนลงในสมการ (5.1)

$$P = E_t = \dot{m}(v_{w2}u_2 - v_{w1}u_1) \quad (2.2)$$

เมื่อ u คือ ความเร็วของใบพัด

E_t คือ กำลังที่ผลิตได้ทั้งหมด

จะได้ อัตราการถ่ายเทพลังงานต่ออัตราการไหลมวลเป็น

$$gE = \frac{E_t}{\dot{m}} \quad (2.3)$$

เมื่อ g คือ แรงโน้มถ่วง 9.81 m/s^2

โดยที่ gE คือ พลังงานจำเพาะ แทนในสมการ (5.3)

จะได้

$$E = \frac{1}{g}(v_{w2}u_2 - v_{w1}u_1) \quad (2.4)$$

ในส่วนของความเร็วของของไหลจากรูปสามเหลี่ยมความเร็ว จากรูปที่ 1

$$v_{w1} = v_1 \cos\alpha_1 \quad \text{และ} \quad v_{w2} = v_2 \cos\alpha_2$$

ดังนั้น $$E = \frac{1}{g}(v_2u_2 \cos\alpha_2 - v_1u_1 \cos\alpha_1) \quad (2.5)$$

จากกฎ Cosine;

$$v_{r1}^2 = u_1^2 + u_1^2 - 2u_1v_1 \cos\alpha \quad (2.6)$$

จากนั้น $$u_1v_1 \cos\alpha = \frac{1}{2}(u_1^2 + v_{r1}^2 + v_1^2) \quad (2.7)$$

จะได้ $$u_2v_2 \cos\alpha = \frac{1}{2}(u_2^2 + v_{r2}^2 + v_2^2) \quad (2.8)$$

แทนลงสมการ (2.5) จะได้

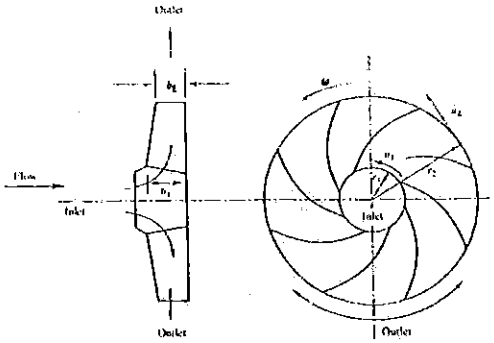
$$E = \frac{1}{2g}(u_2^2 - u_1^2 + v_{r2}^2 - v_{r1}^2 + v_2^2 - v_1^2) \quad (2.9)$$

และ $$E = \left(\frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}\right) + \left(\frac{v_{r2}^2 - v_{r1}^2}{2g}\right) + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}\right) \quad (2.10)$$

จากสามเหลี่ยมความเร็วในรูปที่ 1 และ u = ωr การไหลที่สามเหลี่ยมความเร็วของใบพัด ที่ทางเข้าและทางออก จะได้

$$u_1 = \omega r_1 \quad \text{และ} \quad u_2 = \omega r_2$$

ดังนั้นความเร็วในการไหลทางเข้า (v_{f1}) และความเร็วในการไหลทางออก(v_{f2}) ต่อเนื่องจากสมการการไหลเชิงมวลที่ทางเข้าและทางออก



รูปที่ 2.4 ภาพตัดขวางด้านหน้าและด้านข้างของการไหลผ่านคอมเพรสเซอร์ในแนวรัศมี [7]

อัตราการไหลเชิงมวลผ่านใบพัดของคอมเพรสเซอร์ สามารถคำนวณได้จาก**พื้นที่ของใบพัดที่ขอบใบ**พัดคูณกับความเร็วตั้งฉากกับพื้นที่ ดังสมการ

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$$

$$\dot{m} = \rho(2\pi r_1)b_1 v_{f1} = \rho(2\pi r_2)b_2 v_{f2} \quad (2.11)$$

เมื่อ b_1, b_2 คือ ความกว้างของใบพัด

ρ_1, ρ_2 คือ ความหนาแน่นของของไหล

เนื่องจากกำหนดให้เป็นของไหลอัดตัวไม่ได้ $\rho_1 = \rho_2 = \rho$

จะได้

$$r_1 b_1 v_{f1} = r_2 b_2 v_{f2} \quad (2.12)$$

จากสมมติฐานสำหรับการไหล ดังนี้

1) ความเร็วสมบูรณ์ตามแนวรัศมี จะได้

$$v_1 = v_{f1}, v_{w1} = 0$$

ดังนั้น v_1 สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.11) และ $\alpha_1 = 90^\circ$

2) มุมทางเข้าของใบพัด β_1ที่สามเหลี่ยมความเร็ว ดังนั้น $\beta_1 = \beta_2$

$$\cot\beta_2 = \left(\frac{u_2 - v_{w2}}{v_{f2}}\right)$$

ดังนั้น

$$v_{w2} = u_2 - v_{f2}\cot\beta_2 \quad (2.13)$$

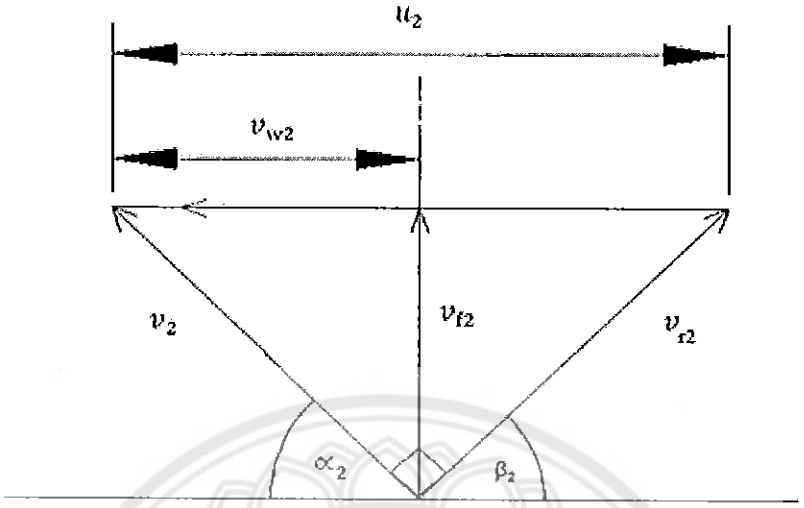
จากสมการของ Euler กำหนด $v_{w1} = 0$ ในสมการ (2.4)

$$E = \frac{u_2}{g}(u_2 - v_{f2}\cot\beta_2) \quad (2.14)$$

พลังงานทั้งหมดที่ถ่ายเทเข้าสู่ของไหล

$$E_t = \dot{m}gE = \dot{m}u_2(u_2 - v_{f2}\cot\beta_2) \quad (2.15)$$

การหาอัตราส่วนความดันของคอมเพรสเซอร์



รูปที่ 2.5 ภาพสามเหลี่ยมความเร็วที่ทางออกของคอมเพรสเซอร์ในแนวรัศมี

พิจารณาคอมเพรสเซอร์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์ที่มีทางเข้าเป็นศูนย์ เป็นการอัดแบบก๊าซสมบูรณ์ที่มีการถ่ายโอนพลังงาน คือ

$$\Delta W = \dot{W}_c/\dot{m} = h_{02} - h_{01} = U_2 v_{w2} \qquad (2.16)$$

เมื่อ ΔW คือ งานทั้งหมดของระบบ, W

$\dot{W}_c$ คือ งานที่ได้จากคอมเพรสเซอร์ต่อเวลา , W/s

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวล ,*kg/s*

U_2 คือ ความเร็วของใบพัด, m/s

h คือ ค่าของเอนทัลปี ,*kJ/kg*

v_{w2} คือ ค่าของความเร็วหมุนวน, m/s

ประสิทธิภาพโดยรวม (η_c) คือ

$$\eta_c = \frac{h_{03_{ss}} - h_{01}}{h_{03} - h_{01}} = \frac{C_p T_{01}(T_{03_{ss}}/T_{01} - 1)}{h_{02} - h_{01}} = \frac{C_p T_{01}(T_{03_{ss}}/T_{01} - 1)}{U_2 v_{w2}} \qquad (2.17)$$

เมื่อ η_c คือ ประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์

C_p คือ ความร้อนจำเพาะ ,kJ/kg K

T_{01} คือ อุณหภูมิก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ , K (ที่ 293 K)

$T_{03_{ss}}$ คือ อุณหภูมิก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์,K

อัตราส่วนความดัน คือ

$$\frac{p_{03}}{p_{01}} = \left(\frac{T_{03ss}}{T_{01}}\right)^{\gamma/(\gamma-1)} \tag{2.18}$$

เมื่อ $\frac{p_{03}}{p_{01}}$ คือ อัตราส่วนความดัน

γ คือ อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ มีค่าเท่ากับ 1.4

แทนสมการ (2.17) ลงในสมการ (2.18) และให้ $C_pT_{01} = \frac{\gamma RT_{01}}{(\gamma-1)} = a_{01}^2/(\gamma-1)$ จะได้

$$\frac{p_{03}}{p_{01}} = \left[1 + \frac{(\gamma-1)\eta_c U_2^2 v_{r2} tan\beta_2}{a_{01}^2}\right]^{\gamma/(\gamma-1)} \tag{2.19}$$

เมื่อ R คือ ค่าคงที่ของอากาศ (R= 287 J/kg·K)

a_{01} คือ ความเร็วของเสียง ($a_{01} = \sqrt{\gamma RT_{01}}$)

สมการใช้ในการทำอัตราส่วนความดันที่จำนวนใบพัด 12,18 และ24 ใบพัด และกำหนดมุมทางออกของใบพัด (β_2) ที่ 50,60 และ 70 องศา

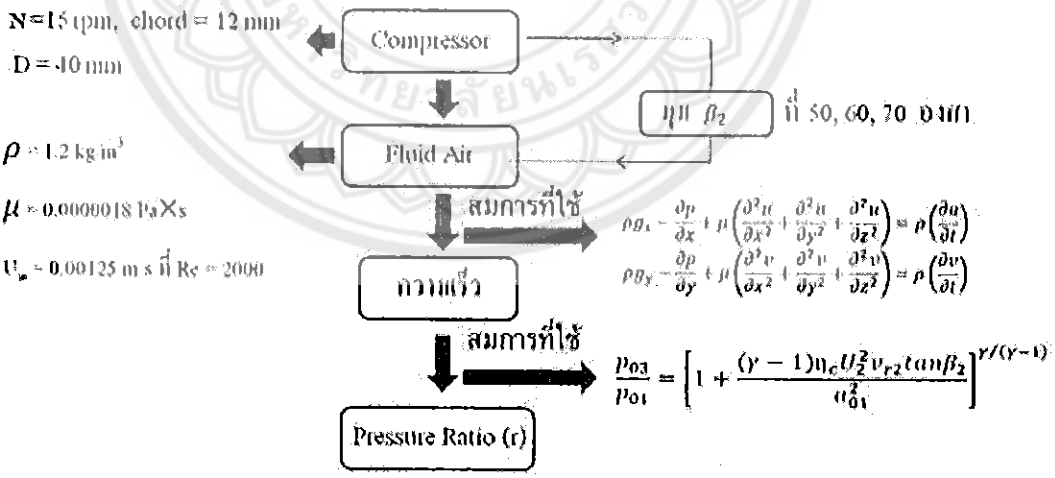
บทที่ 3

วิธีการคำนวณ

ในบทนี้เป็นการอธิบายเกี่ยวกับวิธีและขั้นตอนการสร้างแบบจำลองโดยเริ่มจากการเขียนแบบคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋วในโปรแกรม Auto Cad 2010 และนำไฟล์เขียนแบบเข้าสู่โปรแกรม COMSOL จากนั้นทำการตั้งค่าเริ่มต้นและกำหนดค่าการการไหลของของไหลและการเคลื่อนที่ของใบพัดหลังจากนั้นทำการวิเคราะห์การไหลของแบบจำลองคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋ว โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 Data Reduction

รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนของ Data Reduction เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบที่ต้องการสำหรับคอมเพรสเซอร์ ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนความดัน เริ่มจากกำหนดให้เส้นผ่าศูนย์กลางของคอมเพรสเซอร์มีขนาด 40 มิลิเมตร, ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์คงที่ที่ 15 รอบต่อนาที, เส้น chord เท่ากับ 12 มิลิเมตร โดยที่ทำการศึกษาที่มุมทางออกที่ 50, 60, และ 70 องศา กำหนดให้ของไหลเป็นอากาศ ที่คุณสมบัติดังรูป จากนั้นใช้โปรแกรม COMSOL โดยในการคำนวณจะใช้สมการ Navier-Stoke เพื่อหาความเร็วขาออกของอากาศ เมื่อได้ความเร็วขาออก เราจะใช้สมการของออยเลอร์คำนวณหาอัตราส่วนความดัน

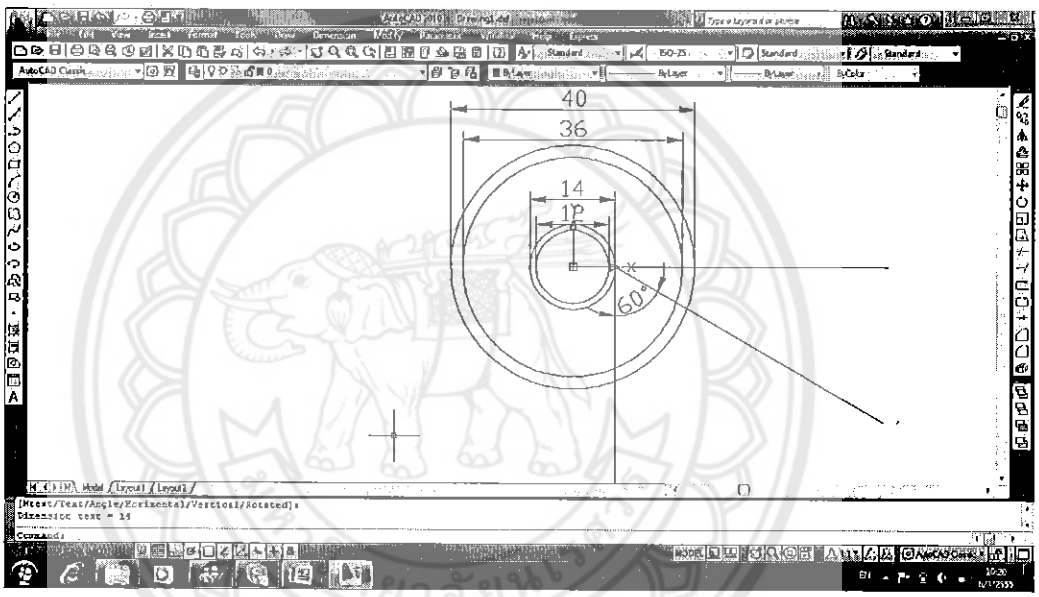


รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนของ Data Reduction

3.2 การออกแบบคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋วสองมิติ

ในการออกแบบคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋ว 2 มิติ โดยอาศัยชุดใบพัดแบบ NACA ต่างๆ โดยโปรแกรม Auto Cad 2010 เมื่อทำการวาดเสร็จบันทึกนามสกุล.dxf เพื่อจะนำเข้าสู่โปรแกรม COMSOL ต่อไป

1. เริ่มต้นเปิดโปรแกรม AutoCAD 2010 แล้วทำการวาดแบบจำลอง วาดรูปวงกลมวงนอกสุดเส้นผ่าน D_1 = 40 mm วงกลมวงในสุด D_2 = 12 mm และ D_3 = 36 mm จากนั้นวาดเส้นระดับกับวงกลม D2 และทำมุมกับแนวระดับ 60 องศา โดยที่เส้น cord เท่ากับ 12 mm ดังในรูปที่ 3.2



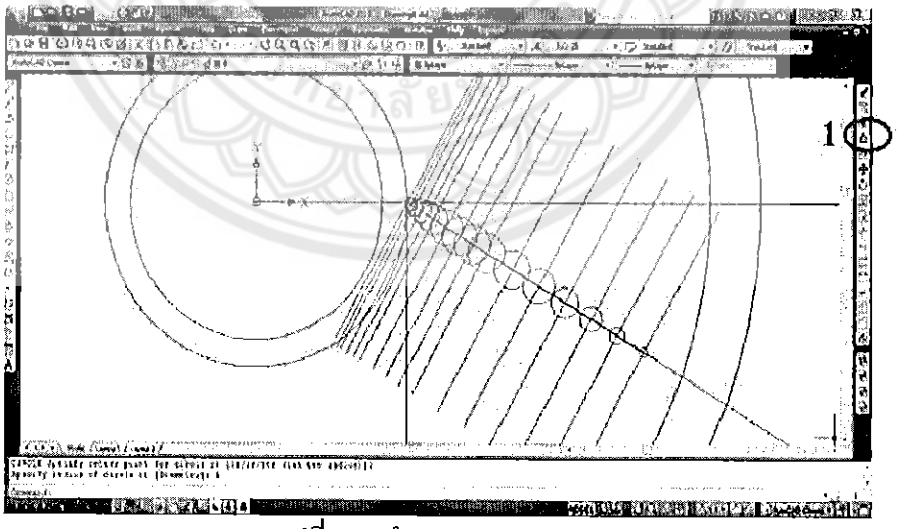
รูปที่ 3.2 เส้นผ่านศูนย์กลางทั้งภายนอกภายใน

2. วาดรูปใบพัดในวงกลมตาม NACA ชนิดต่าง ๆ โดยกำหนด เส้น Chord ทำมุมกับแนวระดับที่ 60 องศา แล้วทำการพล็อตค่าของแบบ NACA ต่าง ๆ ในที่นี้ยกตัวอย่าง NACA 0012 ดังในตารางที่ 3.1

X	Y(+)	Y(-)	ระยะที่ได้ X	ระยะที่ได้ Y	ระยะที่ได้ Y
0	0	0	0	0	0
1.25	1.89	-1.89	0.150006	0.2268091	-0.2268091
2.5	2.62	-2.62	0.300012	0.3144126	-0.3144126
5	3.56	-3.56	0.600024	0.4272171	-0.4272171
7.5	4.2	-4.2	0.900036	0.5040202	-0.5040202
10	4.68	-4.68	1.200048	0.5616225	-0.5616225
15	5.34	-5.34	1.800072	0.6408256	-0.6408256
20	5.74	-5.74	2.400096	0.6888276	-0.6888276
25	5.94	-5.94	3.00012	0.7128285	-0.7128285
30	6	-6	3.600144	0.7200288	-0.7200288
40	5.8	-5.8	4.800192	0.6960278	-0.6960278
50	5.29	-5.29	6.00024	0.6348254	-0.6348254
60	4.56	-4.56	7.200288	0.5472219	-0.5472219
70	3.66	-3.66	8.400336	0.4392176	-0.4392176
80	2.62	-2.62	9.600384	0.3144126	-0.3144126
90	1.45	-1.45	10.800432	0.174007	0.174007
95	0.81	-0.81	11.400456	0.0972039	-0.0972039
100	0.13	-0.13	12.00048	0.0156006	-0.156006
100	0	0	12.00048	0	0

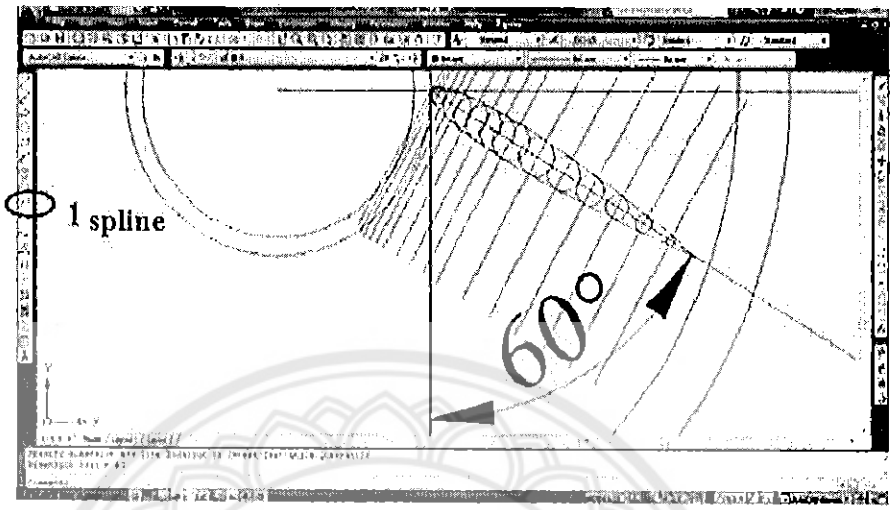
ตารางที่ 3.1 ค่าของ NACA 0012 ที่ใช้พล๊อต

3. ทำการวาดเส้นวาดเส้นแนวตั้งฉากกับเส้น Chord คือ เส้น X โดยที่ ตัดแกนเส้น Chord โดยค่าที่ได้นั้น ได้จากงานวิจัย ทำการ ofset แต่ละเส้นบนเส้น Chord โดยจะได้ทั้งหมด 18 เส้น โดยนำค่าจากตาราง เราใช้อัตราส่วนของใบพัด 12:100 ดังตารางที่ 3.1 แสดงดังในรูปที่ 3.3



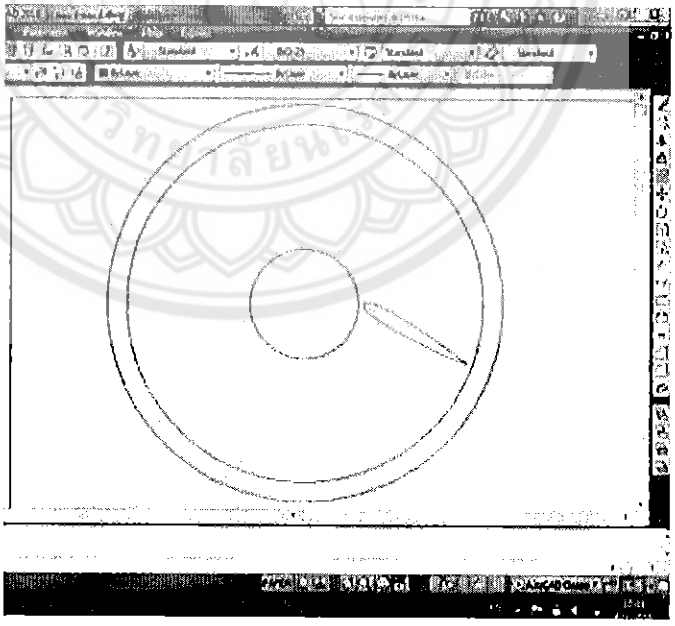
รูปที่ 3.3 ทำการวาดแบบ NACA

4. จะได้จุดตัดกันระหว่างเส้น X กับเส้น Y ทำการวาดบนจุดตัดแต่ละจุด แล้วใช้การลากเส้น spline จะได้เป็นรูปใบพัดตาม NACA ชนิดที่เราวาด โดยในรูปนี้เป็น NACA 0012 ดังแสดงในรูปที่ 3.4



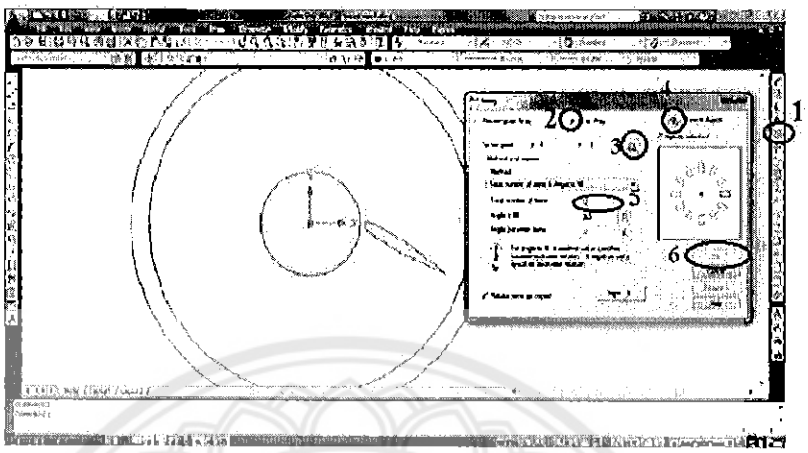
รูปที่ 3.4 ทำการวาดแบบ NACA

5. ทำการลบเส้นทุกเส้นออกยกเว้นเส้นรูป NACA จะได้รูป NACA ที่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



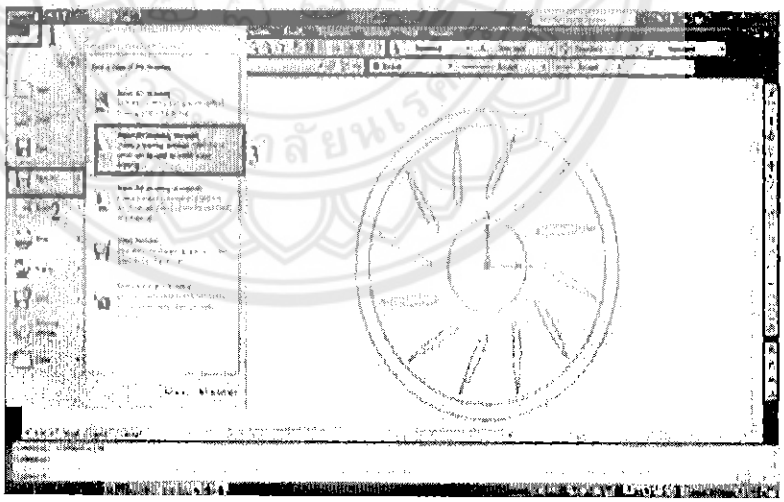
รูปที่ 3.5 ทำการลบเส้นที่ไม่ต้องการ

6. ทำเพิ่มจำนวนใบพัด โดยกดที่ Home >> Modify >> Array แล้วเลือก Polar array >> Select object แล้วทำการเลือกใบพัด จากนั้น เลือก Center point คลิกที่จุดศูนย์กลางของวงกลม แล้วใส่จำนวนใบพัดที่ Total number of item >>ok ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การเพิ่มจำนวนใบพัด

7. เมื่อทำการเขียนแบบคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋วในโปรแกรม AutoCAD โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 40 มิลลิเมตร ทำการบันทึก file>>save as>>เลือกบันทึกไฟล์เป็นนามสกุล .dxf ดังรูปที่ 3.7

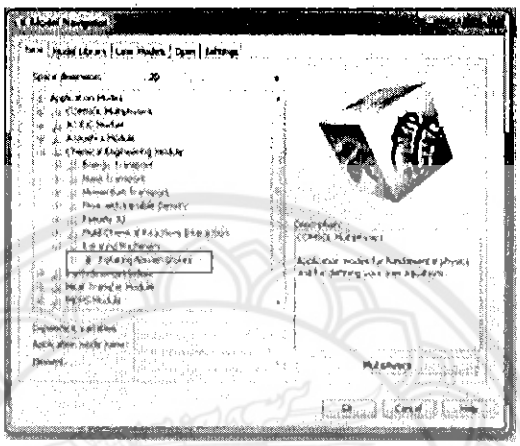


รูปที่ 3.7 บันทึกเป็นไฟล์นามสกุล .dxf

3.3 การนำไฟล์เขียนแบบเข้าสู่โปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์

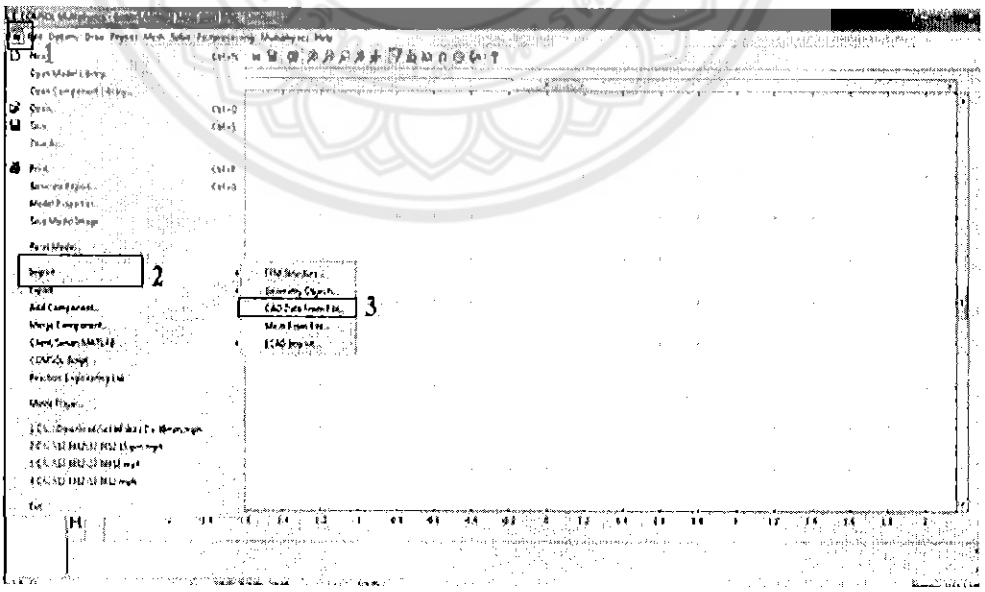
โดยเลือกโหมดการวิเคราะห์เป็น Rotating Navier-Stokes หลังจากนั้นนำไฟล์ Auto Cad นามสกุล.dxf เข้าสู่โปรแกรม Comsol

1.เปิดโปรแกรม COMSOL เลือกโหมด New>> Chemical Engineering Module>>Rotating Machinery>> Rotating Navier-Stokes ดังแสดงในรูปที่ 3.8



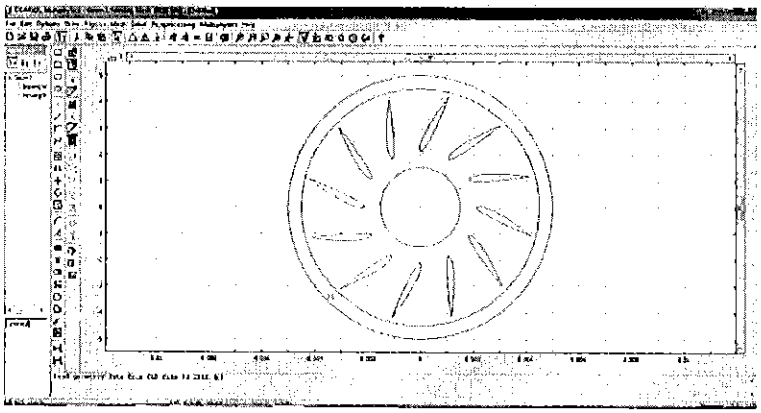
รูปที่ 3.8 เลือกชนิดของโหมดในการวิเคราะห์

2.ทำการนำไฟล์เขียนแบบจากโปรแกรม AutoCAD เข้าสู่โปรแกรม COMSOL โดยใช้คำสั่ง คลิก File >> Import >> CAD Data From file >> Import แสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการนำ AutoCAD file เข้าสู่โปรแกรม COMSOL

3. จากการนำแบบจำลองจาก AutoCAD เข้าสู่โปรแกรม COMSOL ดังรูปที่ 3.10

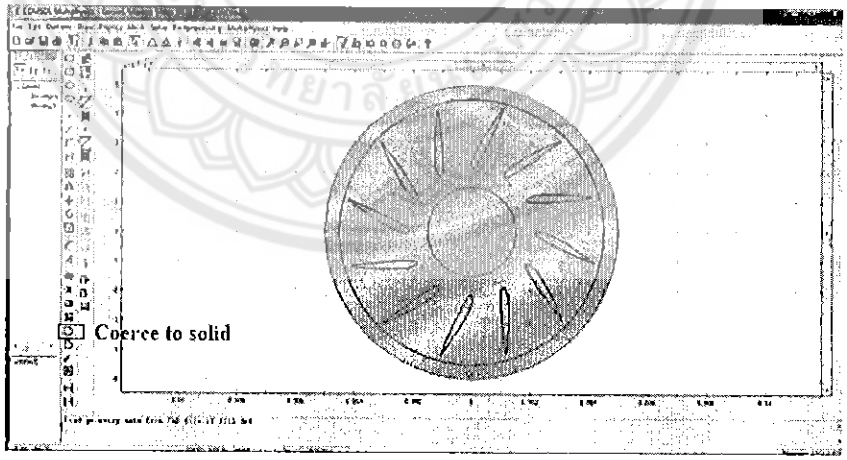


รูปที่ 3.10 การนำไฟล์ AutoCAD เข้าสู่โปรแกรม COMSOL เสร็จสิ้น

3.4 การคำนวณโดยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

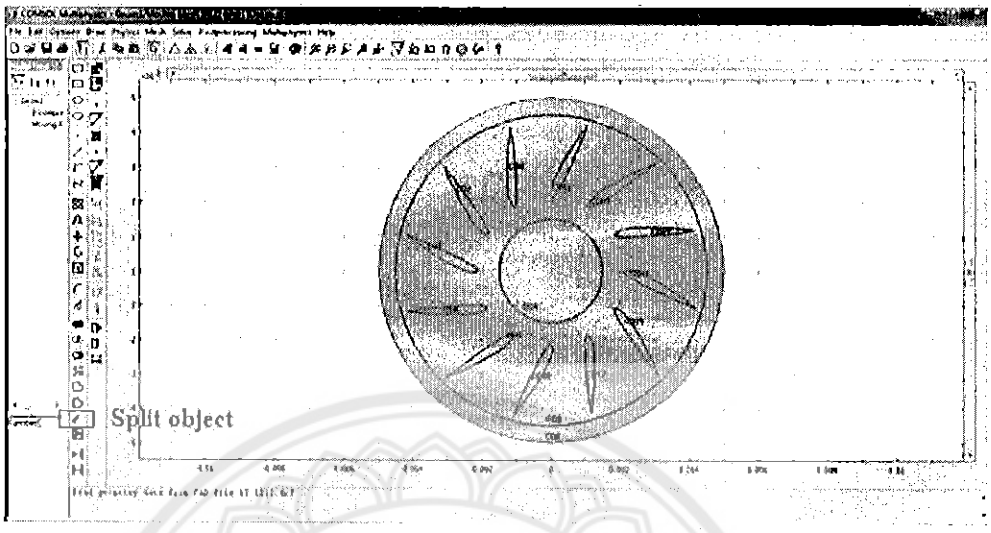
เมื่อนำไฟล์เข้าสู่โปรแกรม COMSOL หลังจากนั้นทำการแยกชิ้นส่วนออกจากกัน ตัดชิ้นส่วนใบพัดทิ้ง เพื่อทำให้เป็นผนัง (Wall no-slip) แล้วทำการประกอบสิ้นส่วนทั้งหมดเป็นชิ้นเดียวกัน แล้วทำแยกสิ้นส่วนเพื่อให้ของไหลสามารถไหลผ่านได้

1. เนื่องจากแบบจำลองนั้นเริ่มต้นเป็นเส้น แต่ในการวิเคราะห์จะต้องแปลงให้แบบจำลองเป็นของแข็ง จึงต้องทำการเปลี่ยนโดยกด Ctrl + A จากนั้นคลิก Coerce to Solid ดังแสดงในรูปที่ 3.11



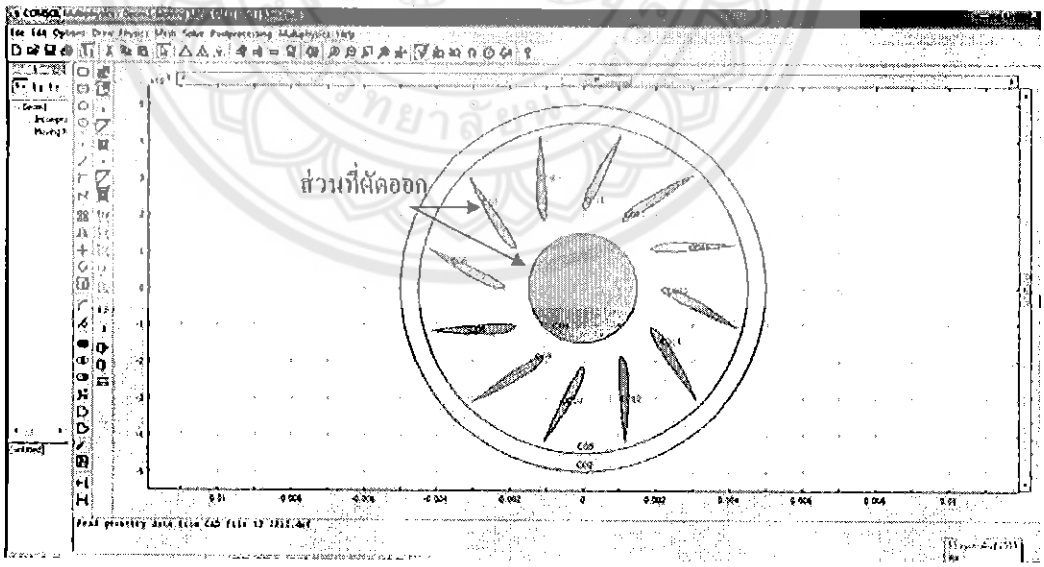
รูปที่ 3.11 ชิ้นงานที่มีคุณลักษณะเป็นของแข็ง

2. ทำการแยกส่วนของแบบจำลองออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ เพื่อให้แต่ละชิ้นส่วนเป็นอิสระต่อกัน โดยคลิก Split Object ซึ่งเป็นรูประเบิด ดังแสดงในรูปที่ 3.12



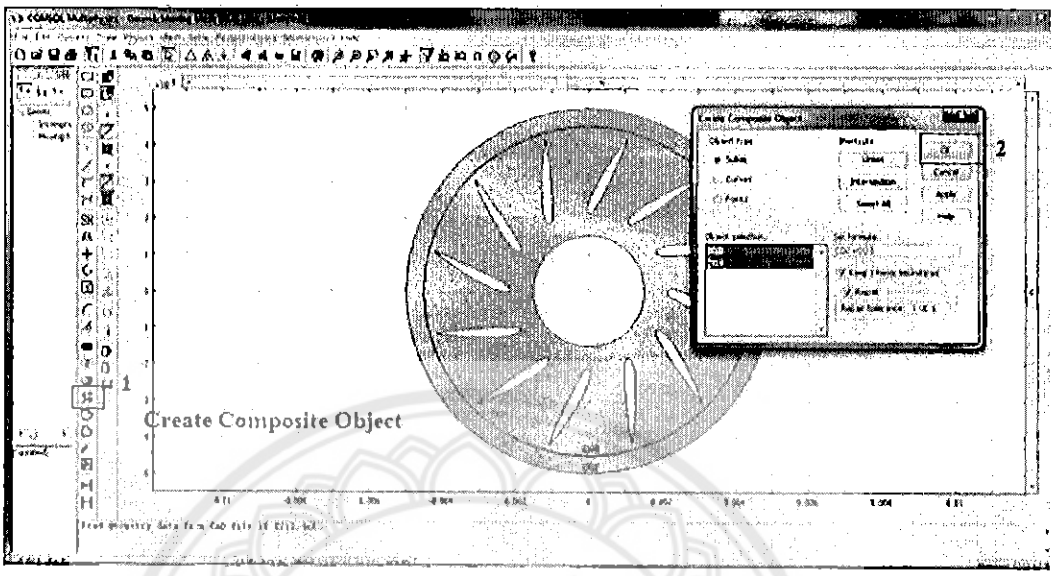
รูปที่ 3.12 แยกชิ้นส่วนออกจากกัน ด้วยคำสั่ง Split Object

3. ทำการตัดเนื้อของแข็งของใบพัดและวงกลมด้านในของแบบจำลองเพื่อทำเป็นทางออกของของไหล ส่วนที่ถูกตัดออกนั้นจะเป็นส่วนที่แรเงาดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยกด Ctrl ค้างจากนั้นคลิกส่วนที่แรเงาทั้งหมด >> Delete



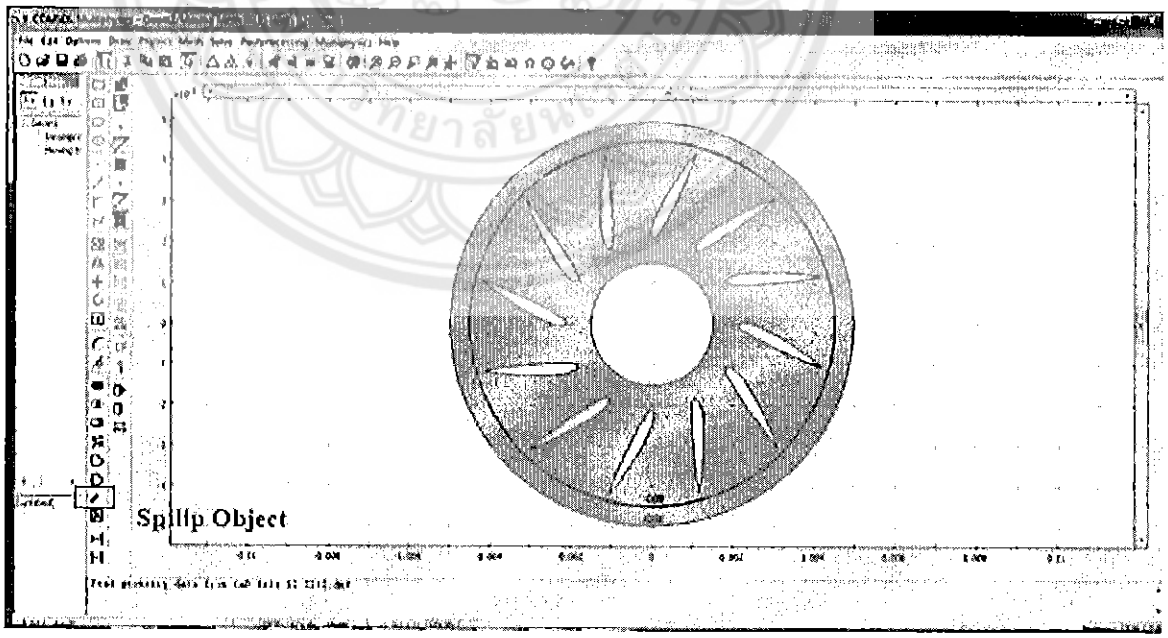
รูปที่ 3.13 การตัดบางส่วนของแข็ง

4. ทำการรวมชิ้นส่วนทั้งหมดให้เป็นชิ้นเดียวกันโดย กด Ctrl + A >> Create Composite Object >> OK ดังแสดงในรูปที่ 3.14



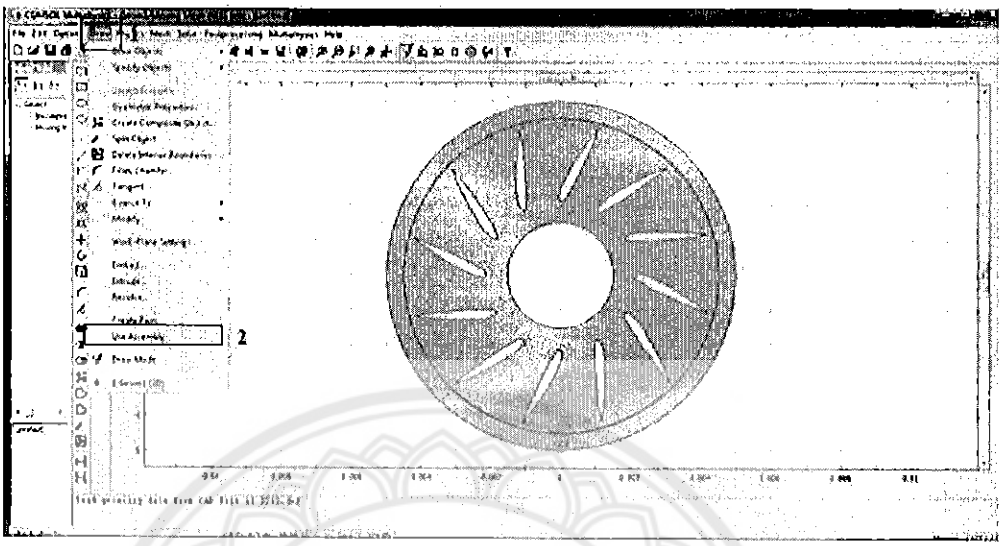
รูปที่ 3.14 รวมชิ้นงาน

5. ทำการแยกชิ้นส่วนของแบบจำลองออกเป็น 2 ส่วนโดยกด Split Object เพื่อให้แบบจำลองแยกเป็น Stator (วงแหวนนอก) และ Rotor (ชุดใบพัด) ดังแสดงในรูปที่ 3.15



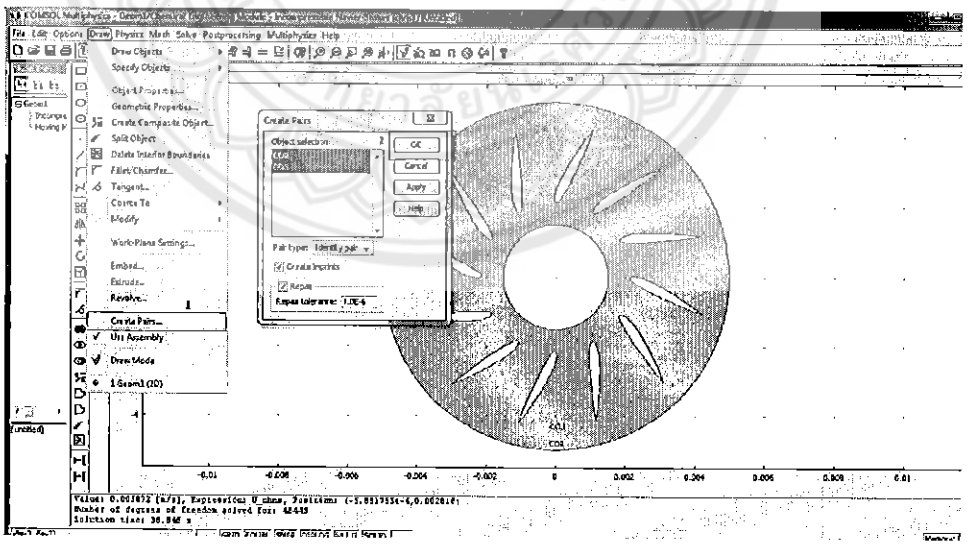
รูปที่ 3.15 แยกชิ้นงานออกเป็น 2 ส่วน

6. ทำการประกอบแบบจำลองทั้งหมดเพื่อให้ทั้งสองชิ้นส่วนสัมพันธ์เป็นชิ้นเดียวกันโดยกด Ctrl + A >> Draw >> Use Assembly ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ประกอบชิ้นงานทั้งหมด

7. ทำการเปลี่ยนลักษณะเส้นระหว่าง Stator กับ Rotor (ทั้งนอกและใน) จากที่เป็นผนังให้เป็นช่องเปิด เพื่อให้ของไหลสามารถไหลผ่านได้ โดยเลือก Draw >> Create Pairs... >> OK ดังแสดงในรูปที่ 3.17

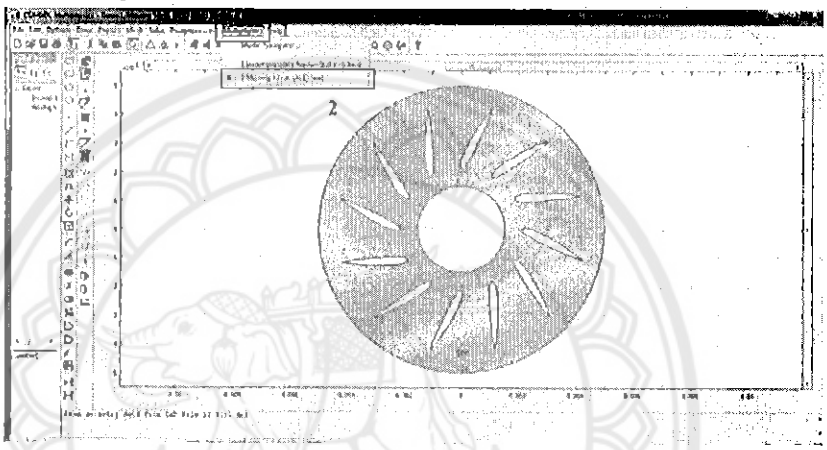


รูปที่ 3.17 การเปลี่ยนลักษณะเส้นระหว่าง Stator กับ Rotor จากผนังให้เป็นช่องเปิด

3.5 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง

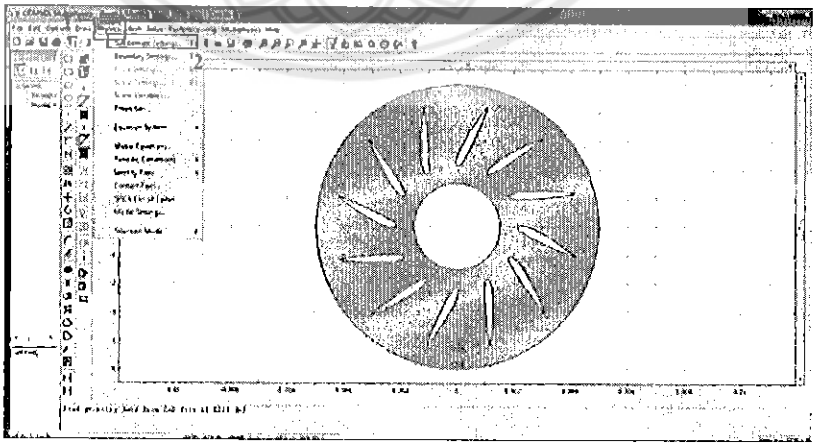
ทำการกำหนดเงื่อนไขคุณสมบัติอากาศ แล้วจากนั้นเลือกโหมดการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ (แบบจำลองคอมเพรสเซอร์) เป็นกำหนดทิศการหมุนของคอมเพรสเซอร์ให้มีทิศทางการไหลทวนเข็มนาฬิกา(Rotor CCW) จากนั้นทำการเลือกโหมดวิเคราะห์การไหล (Navier-Stokes) กำหนดการไหลเข้าและออกของอากาศ

1. กำหนดการหมุนของชุดใบพัดโดยต้องอยู่ในโหมด Moving Mesh เพื่อการกำหนดทิศทางการหมุน, ส่วนที่หมุน, และความเร็วในการหมุนได้โดยใช้คำสั่ง Multiphysics >> Moving Mesh (ALE) ดังแสดงในรูปที่ 3.18



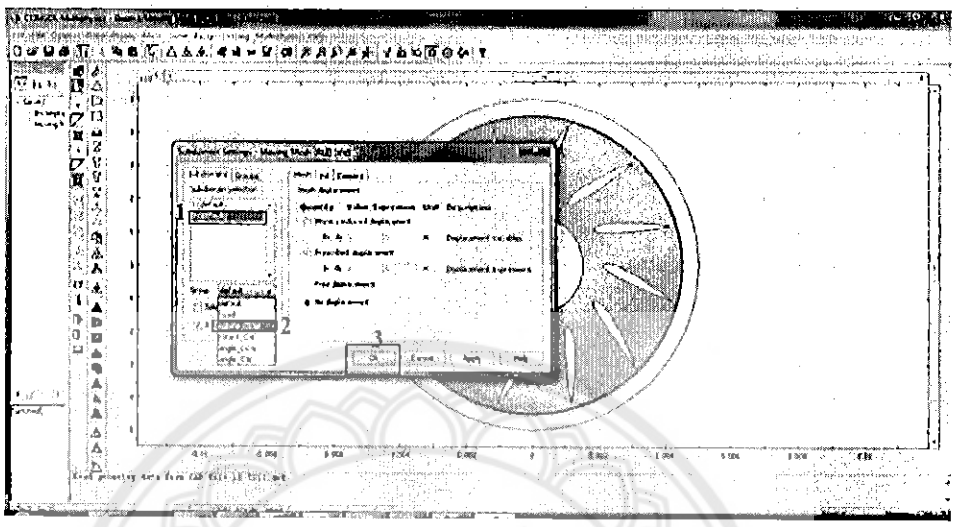
รูปที่ 3.18 เลือกโหมด Moving Mesh (ALE)

2.เพื่อกำหนดขอบเขตให้กับแบบจำลอง โดยเลือก Physics >> Subdomain setting ดังแสดงในรูปที่ 3.19



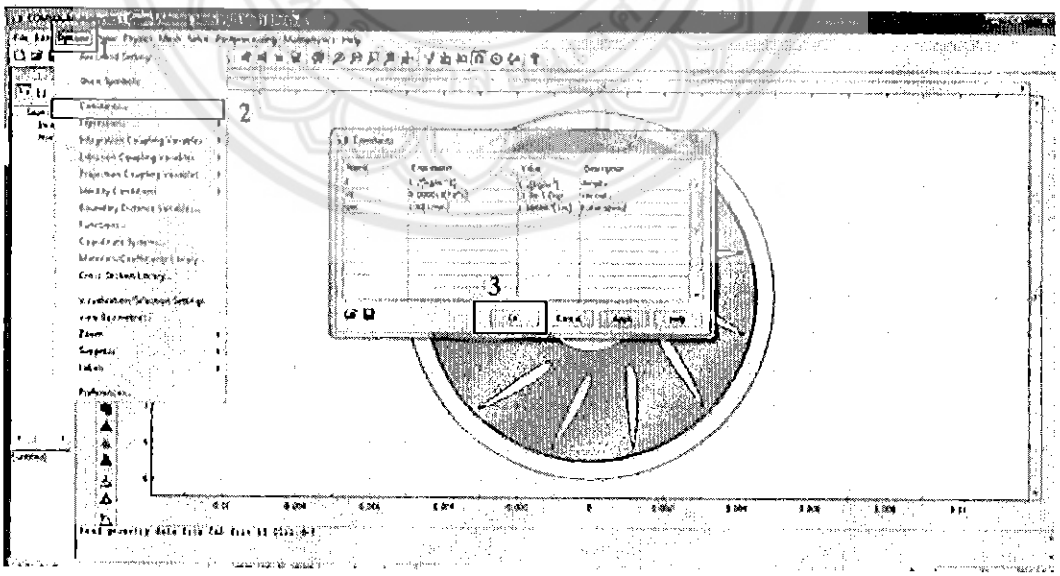
รูปที่ 3.19 เลือก Subdomain setting

3. กำหนดให้ชุดใบพัดหมุนตามเข็มนาฬิกา ส่วนวงแหวนนอกและในกำหนดให้หยุดนิ่ง เนื่องจากเป็น Stator โดยเลือก Subdomain >> 2(default) >> ช่อง Group เลือก Rotate (CCW) >> OK ดังแสดงในรูปที่ 3.20



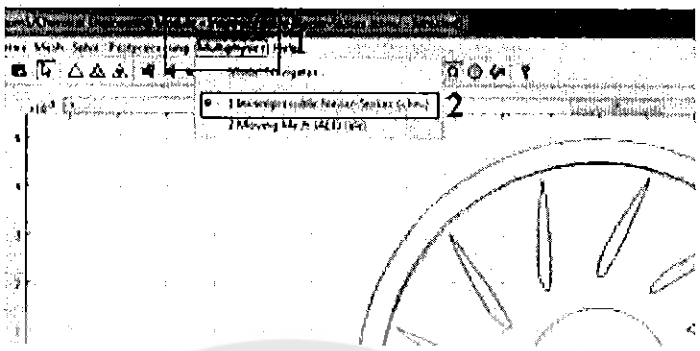
รูปที่ 3.20 การกำหนดทิศทางการหมุนของชุดใบพัด

4.กำหนดคุณสมบัติของของไหลโดยเลือก Option >> Constants... แล้วทำการกำหนดค่าสมบัติของไหลและความเร็วการหมุน โดยให้ค่า Density = 1.2 kg/m^3 , Viscosity = 0.000018 Pa*s, Rotation speed = 15 rpm >> OK ดังแสดงในรูปที่ 3.21



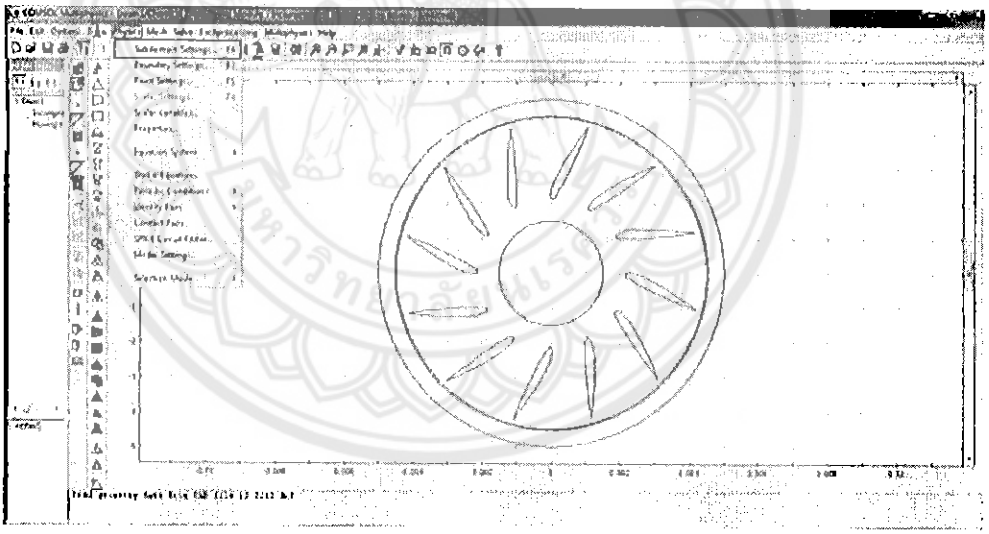
รูปที่ 3.21 กำหนดคุณสมบัติของของไหล

5. เปลี่ยนโหมดเป็น Incompressible Navier-Stokes (chns) เพื่อทำการกำหนดลักษณะการไหลและเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองโดยเลือก Multiphysics >> Incompressible Navier-Stokes (chns) ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 เลือกโหมด Incompressible Navier-Stokes (chns)

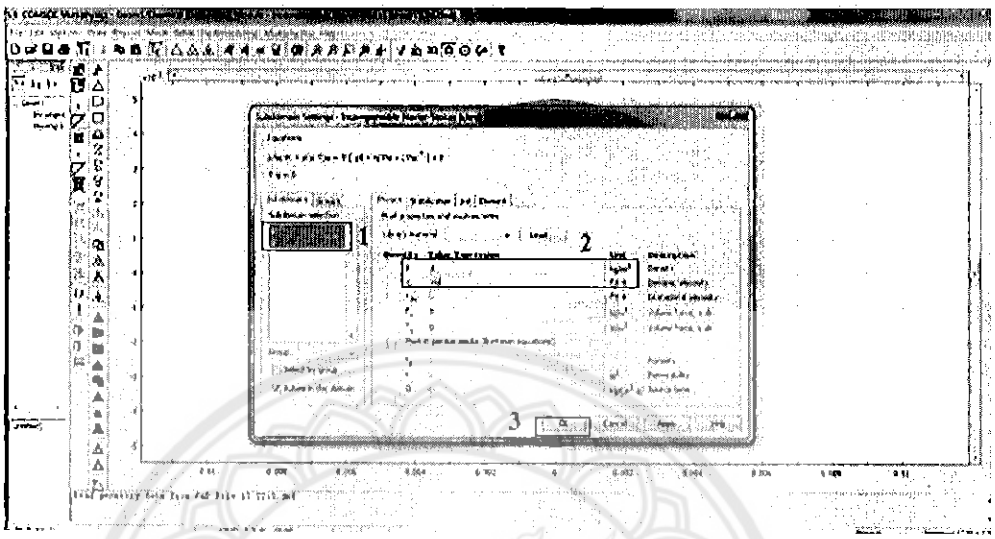
6. ทำการกำหนดคุณสมบัติของไหลที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยเลือก Physics >> Subdomain setting ดังแสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 กำหนดคุณสมบัติของไหล

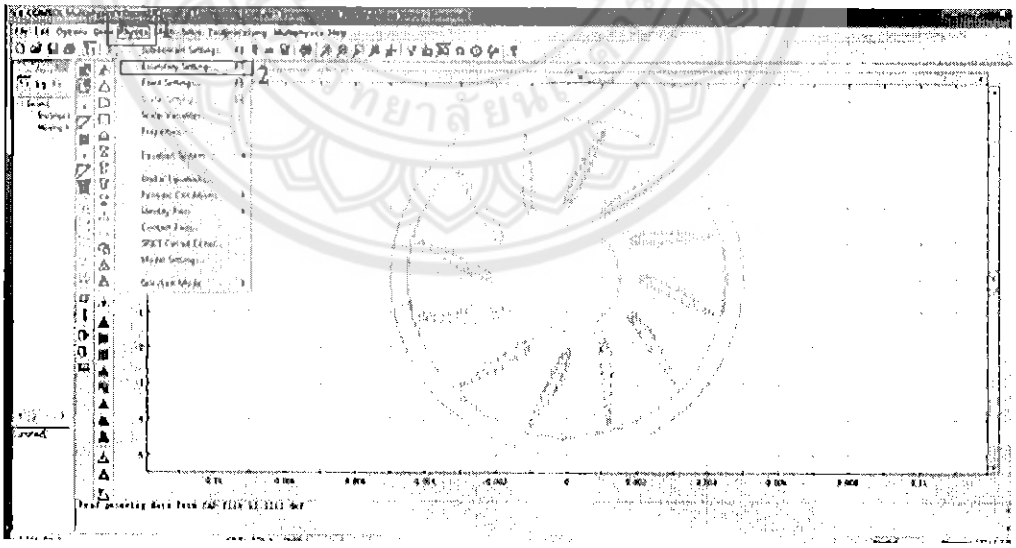
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

7. เมื่อคลิก Subdomain setting จะปรากฏหน้าดังรูปที่ 3.24 ขึ้นมาจากนั้นทำการกำหนดสมบัติต่างๆของของไหลโดยกด Ctrl ค้าง >> คลิกเลือก 1,2 ในช่อง Group selection จากนั้นกำหนดค่า Density = d, Dynamic Viscosity = vis >> OK



รูปที่ 3.24 การกำหนดตัวแปรของค่าคงที่

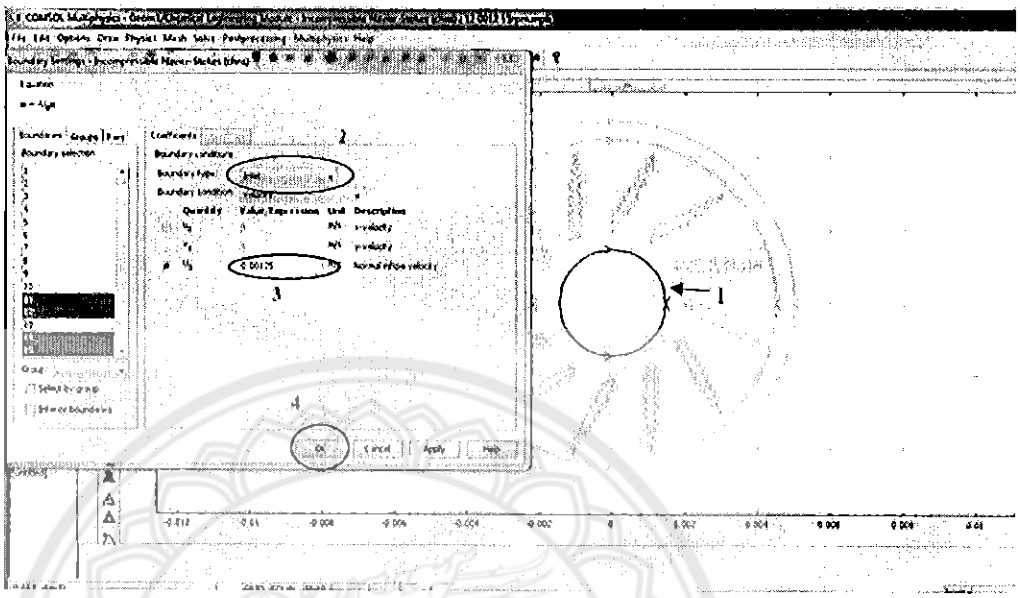
8. กำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองโดยเลือก Physics >> Boundary Setting ดังแสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 การกำหนดขอบเขตแบบจำลอง

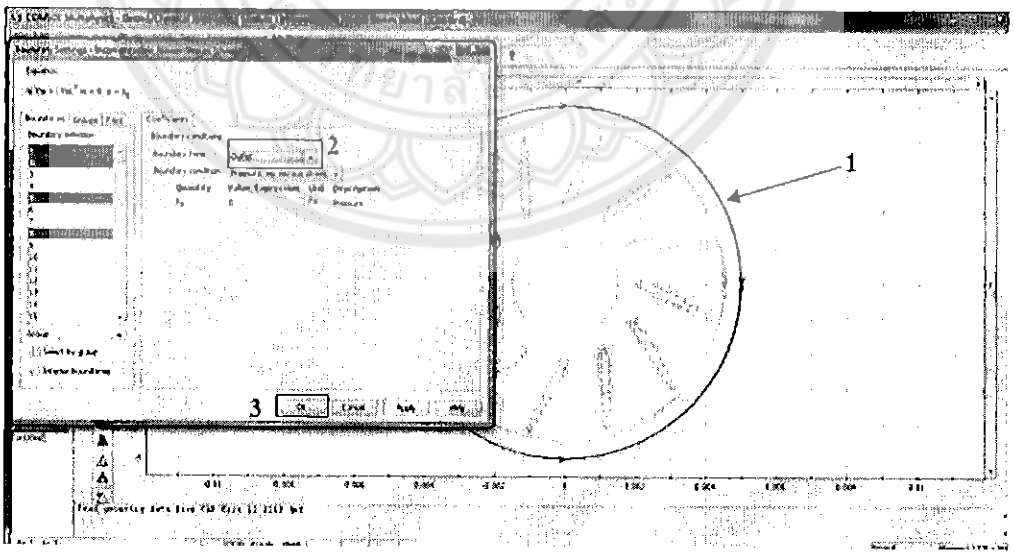
i5997331
ปร.
วิ378ก
2554

9. กำหนดทางเข้าของของไหลโดย คลิกเส้นวงนอกของแบบจำลองทั้งหมด (หมายเลข 1) >> ช่อง Boundary type เลือก inlet >> กำหนดความเร็วของไหล U_0 = 0.00125 m/s >> OK ดังแสดงในรูปที่ 3.26



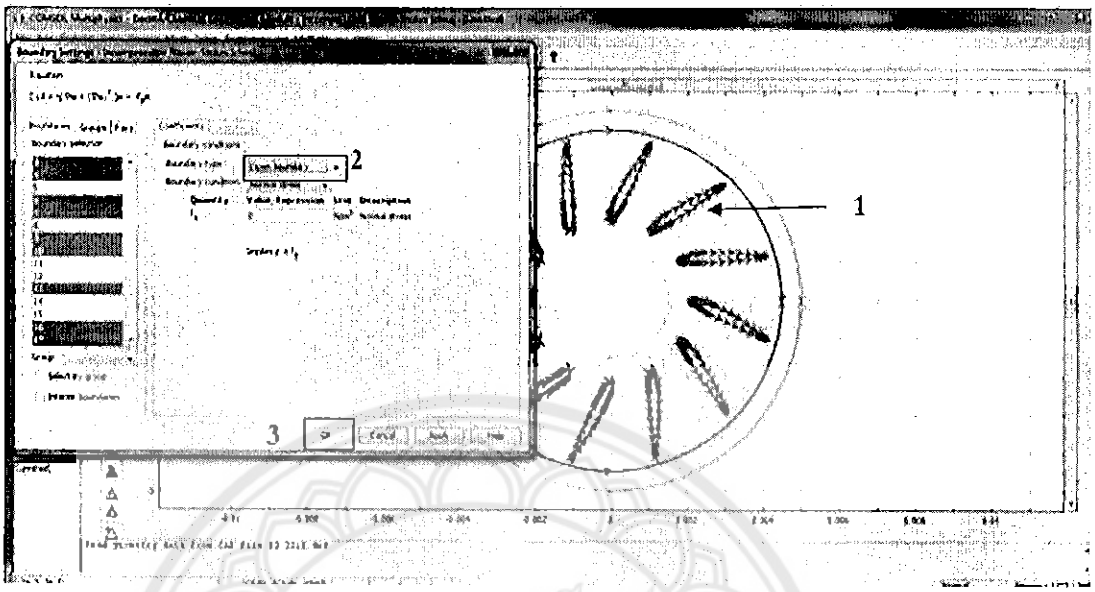
รูปที่ 3.26 กำหนดทางเข้าของของไหล

10. กำหนดทางออกของของไหลโดย คลิกเส้นวงในของแบบจำลองทั้งหมด (หมายเลข 1) >> ช่อง Boundary type เลือก outlet >> OK ดังแสดงในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 กำหนดทางออกของของไหล

10. กำหนดทางออกของของไหลโดย คลิกเส้นวงในของแบบจำลองทั้งหมด (หมายเลข 1) >> ช่อง Boundary type เลือก outlet >> OK ดังแสดงในรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 กำหนด Boundary type ของชุดใบพัด

3.6 การวิเคราะห์ผลลัพธ์

3.6.1 สมการที่เกี่ยวข้อง

สมการความต่อเนื่อง ถ้าการไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(\rho u)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho v)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho w)=0 \tag{3.1}$$

กฎอนุรักษ์โมเมนตัม

สำหรับการวิเคราะห์การไหลจะใช้ทฤษฎีของนิวตันโดยประยุกต์ใช้ในรูปสมการโมเมนตัม

กฎข้อสองของนิวตันในรูปสมการเชิงอนุพันธ์

$$\rho g_x-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}=\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t}+\mu\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}\right) \tag{3.2}$$

$$\rho g_y-\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z}=\rho\left(\frac{\partial v}{\partial t}+\mu\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}\right) \tag{3.3}$$

สำหรับของไหลที่เป็นนิวทอเนียนในรูปแบบ 2 มิติ และมีความหนืดคงที่

$$\tau_{xx}=2\mu\frac{\partial u}{\partial x} \qquad \tau_{yy}=2\mu\frac{\partial v}{\partial y} \tag{3.4}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right) \quad (3.5)$$

แทนสมการ (3.4),(3.5)ลงในสมการ (3.2),(3.3) จะได้สมการโมเมนตัมสำหรับของไหลที่เป็นนิวทอเนียนที่มีค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของของไหลคงที่ ดังสมการต่อไปนี้

$$\rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) = \rho\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right) \quad (3.6)$$

$$\rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) = \rho\left(\frac{\partial v}{\partial t}\right) \quad (3.7)$$

สำหรับของไหลที่เป็นนิวทอเนียน (ความหนืดคงที่) สมการนิวตันจะเรียกว่าสมการ Navier-Stoke

3.6.2 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับสนามการไหล

การสร้าง Mesh สามเหลี่ยมไร้ระเบียบเกิดขึ้นโดยอัลกอริทึม Delaunay คือการสร้างวงกลมบนแบบจำลองจากนั้นจึงสร้างสามเหลี่ยมที่ใหญ่ที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในวงกลมนั้น สามเหลี่ยมหนึ่งรูปจะมี node อยู่ 6 node อยู่ที่มุมของสามเหลี่ยมสาม node และที่กึ่งกลางเส้นอีกสาม node ดังรูปที่ 3.29 ซึ่ง node เหล่านี้จะเป็นจุดที่แสดงถึงสมบัติที่เราศึกษา ทำกระบวนการเช่นนี้จนเต็มแบบจำลอง พิจารณา 6 node บนสามเหลี่ยมในรูปที่ 3.29 สำหรับ node Pi มี Degree of freedom *Ni=n (Pi)* และ basis function $\emptyset_{\square}$ แสดงดังนี้

$$\emptyset(x,y) = \sum N_i(x,y)\emptyset_i \quad (3.4)$$

โดยที่ $\emptyset$ คือความเร็ว *u* และ *v*

N_i คือ *Interpolation function* ซึ่งขึ้นอยู่กับ *function of area* L_i ซึ่งแสดงดังนี้

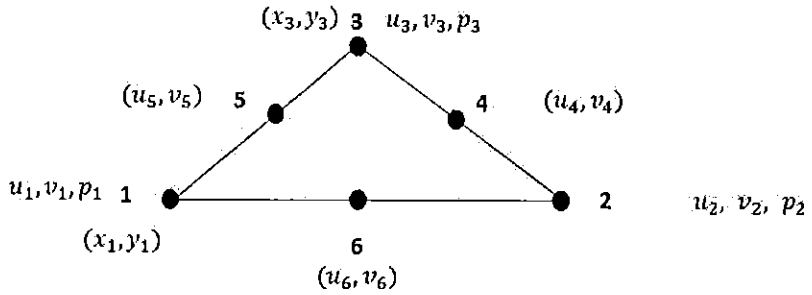
$$N_1 = L_i^2 - L_1(L_2 + L_3) \quad N_4 = 4(L_2L_3)$$
$$N_2 = L_2^2 - L_2(L_3 + L_1) \quad N_5 = 4(L_2L_3)$$
$$N_3 = L_3^2 - L_3(L_1 + L_2) \quad N_6 = 4(L_2L_3)$$

โดยที่ $L_i = \frac{1}{2A}(a_i + b_i x + c_i y)$

$$a_1 = x_2y_3 - x_3y_2 \quad b_1 = y_2 - y_3 \;\; c_1 = x_3 - x_2$$
$$a_2 = x_3y_1 - x_1y_3 \;\; b_2 = y_3 - y_1 \;\; c_2 = x_1 - x_3$$
$$a_3 = x_1y_2 - x_2y_1 \; b_3 = y_1 - y_2 \;\; c_3 = x_2 - x_1$$

และ $A = \frac{1}{2}[x_2(y_3 - y_1) + x_1(y_2 - y_3) + x_3(y_1 - y_2)]$

โดยที่ *A* คือ พื้นที่ของแต่ละเอลิเมนต์



รูปที่ 3.29 การแสดงโหนดและตัวแปรตามองค์ประกอบ Lagrange

สำหรับการกระจายความดันเอลิเมนต์จะทำบนสามจุดที่มุมของสามเหลี่ยม(จุด *1, 2* และ *3* ในรูปที่ 3.29) *basis function* สามารถแสดงได้ดังนี้

$$p = H_j p_j$$

โดยที่ $j = 1, 2, 3$

และ H_j คือ *Interpolation function* ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$H_1 = L_1 \quad H_2 = L_2 \quad H_3 = L_3$$

เมื่อประยุกต์สมการเหล่านี้กับสมการอนุรักษ์มวล, x-โมเมนต์ตัมและ y-โมเมนต์ตัมได้เป็น

$$\int H_i \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right) dA = 0 \tag{3.5}$$

$$\int N_i \left[\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y}\right) - \left(2\mu\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y}\right)\right] dA = 0 \tag{3.6}$$

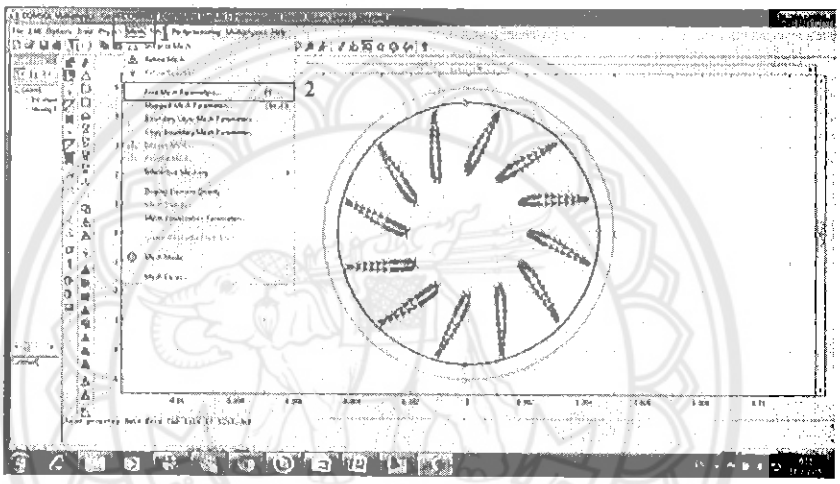
$$\int N_i \left[\rho\left(u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y}\right) - \left(2\mu\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} - \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \mu\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y}\right)\right] dA = 0 \tag{3.7}$$

เมื่อใส่เงื่อนไขขอบเขตเรียบร้อยแล้วจะใช้อัลกอริทึม PARDISO เป็นอัลกอริทึมในการวิเคราะห์สำหรับแบบจำลองที่ไม่สมมาตรนี้ โดยมุ่งหาความเร็วของแต่ละจุดบนของคอมเพรสเซอร์

3.6.3 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม COMSOL ในการคำนวณ

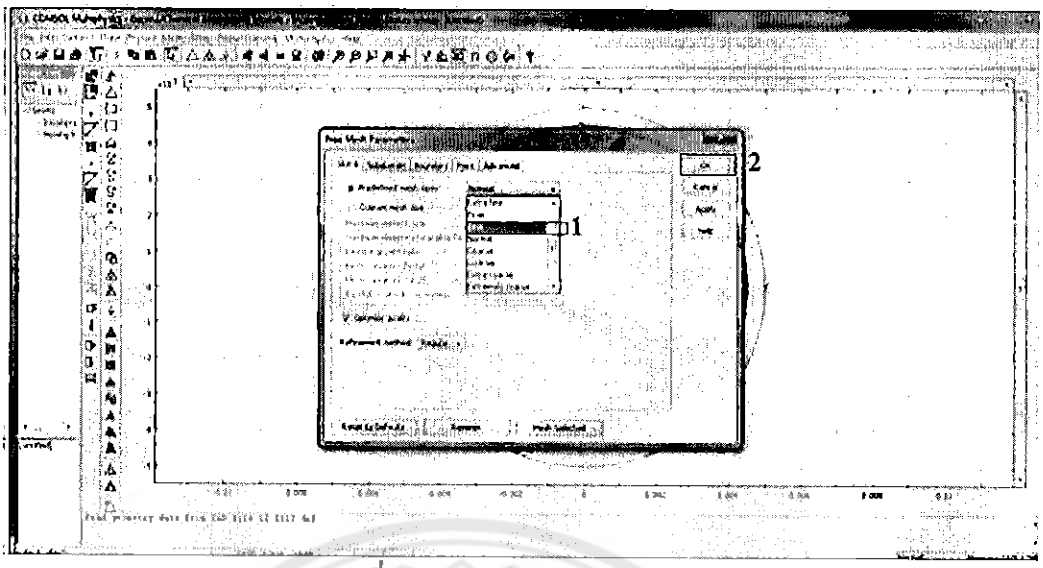
จากการกำหนดการไหลของชุดใบพัดเสร็จ จากนั้นโดยการสร้าง Mesh สามเหลี่ยม กำหนดการคำนวณระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับสนามการไหล แล้วทำการช่วงเวลาในการไหล โดยใส่เงื่อนไขขอบเขตเรียบร้อยแล้วจะใช้อัลกอริทึม PARDISO เป็นอัลกอริทึมในการวิเคราะห์สำหรับแบบจำลองที่ไม่สมมาตรนี้

1. เริ่มจากสร้างโครงร่างตาข่ายของสามเหลี่ยมให้กับแบบจำลองเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การไหลโดยเลือก Mesh >> Free Mesh Parameter (เป็นโหมดการสร้าง mesh แบบขนาดไม่คงที่) ดังแสดงในรูปที่ 3.30



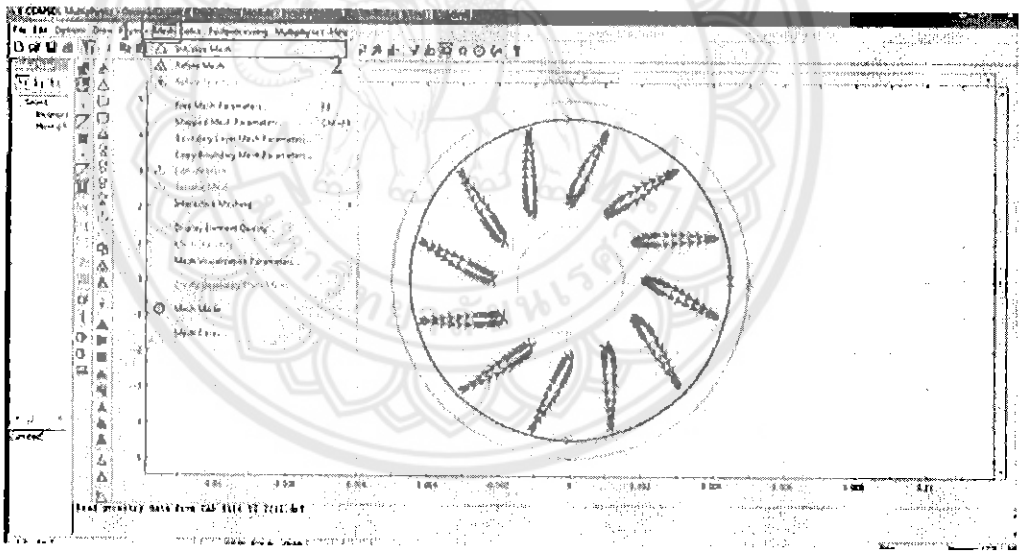
รูปที่ 3.30 การกำหนด Mesh

2. ทำการเลือกชนิด mesh โดยจะปรากฏหน้าต่าง Free Mesh Parameter >> Predefined mesh size: เลือก Fine >> OK เป็นการกำหนดความละเอียดอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.31



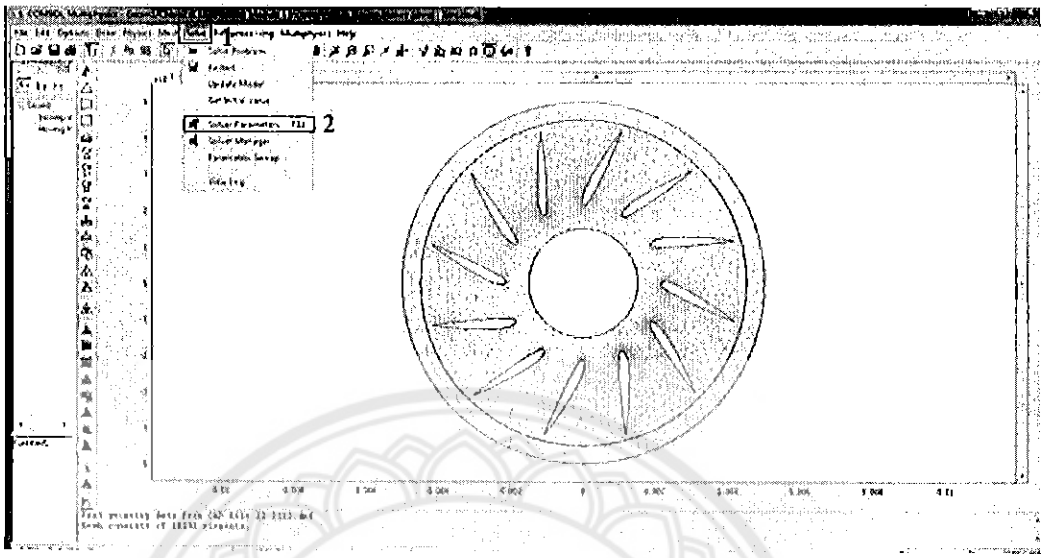
รูปที่ 3.31 การกำหนดชนิด Mesh

3. ทำการสร้าง Mesh โดยเลือก Mesh >> Initialize Mesh ดังแสดงในรูปที่ 3.32



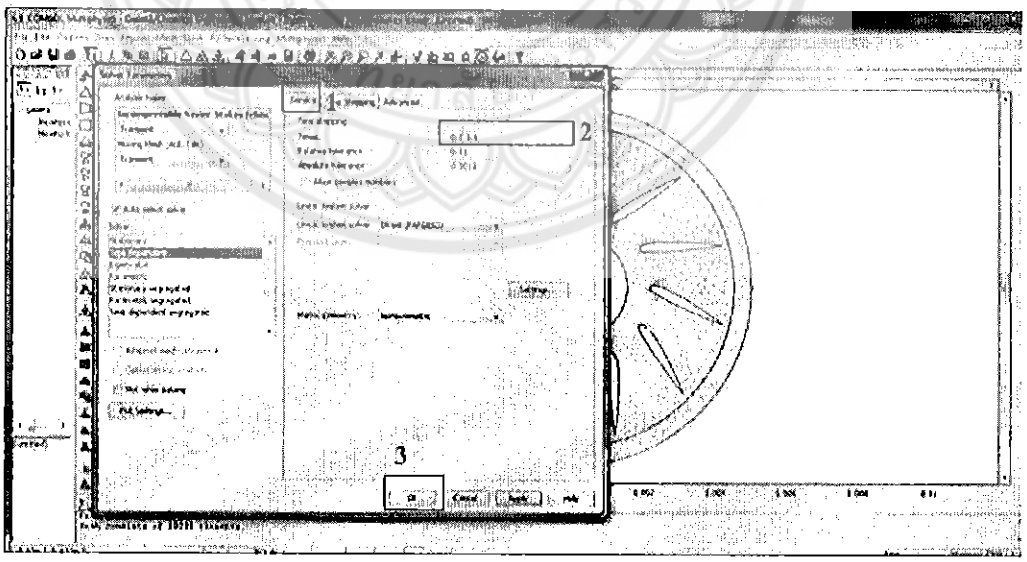
รูปที่ 3.32 วิธีการสร้าง Mesh สามเหลี่ยม

4. เตรียมการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆสำหรับการวิเคราะห์การไหลของของไหลผ่านแบบจำลองโดยเลือก Solve >> Solve Parameter ดังแสดงในรูปที่ 3.33



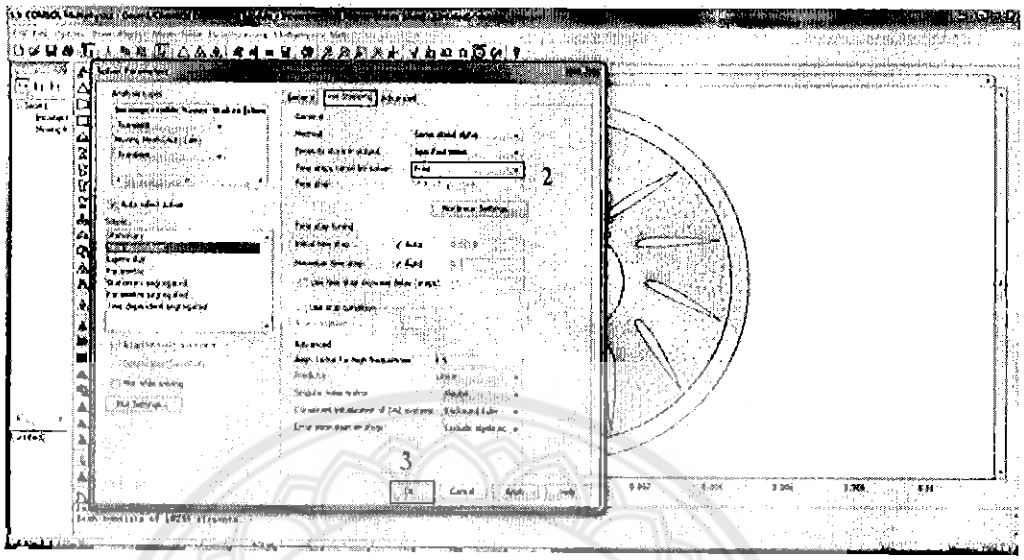
รูปที่ 3.33 การวิเคราะห์การไหล

5. จะปรากฏหน้าต่าง Solve Parameter ขึ้นมา การกำหนดเวลาการวิเคราะห์โดยคลิก General >> ช่อง Times: เปลี่ยนเวลาเป็น Times: 0:0.5:5 (หมายถึง เริ่มวิเคราะห์จากที่เวลา 0 โดยเพิ่มทีละ 0.5 จนถึง 5 วินาที) >> Apply ดังแสดงในรูปที่ 3.34



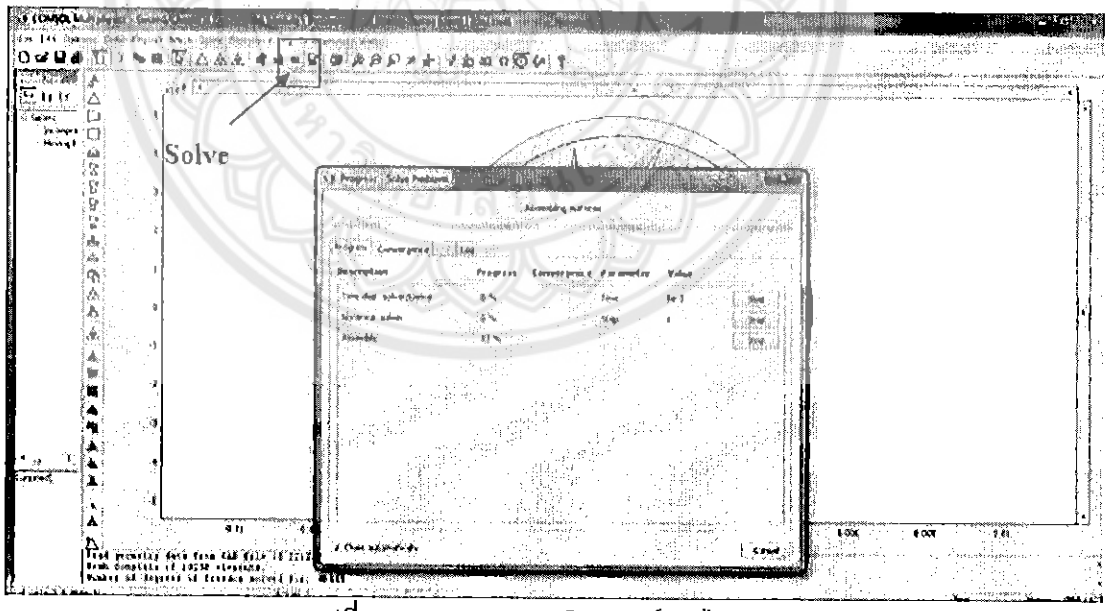
รูปที่ 3.34 การตั้งเวลา (Time step) ในการวิเคราะห์ผล

6. การเลือกระบบใน Time Stepping โดยคลิก Time Stepping >> Time Steps taken by solve เลือก Free (เป็นการให้อิสระกับขั้นตอนในการ solve) >> OK ดังแสดงในรูปที่ 3.35



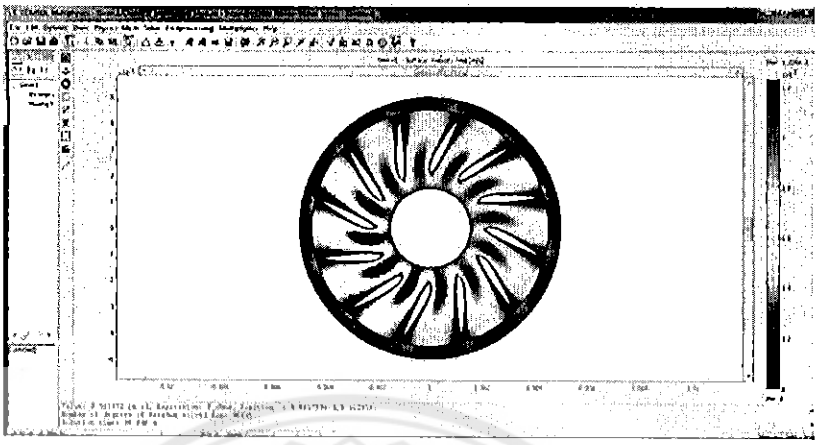
รูปที่ 3.35 การเลือกระบบ free ใน Time stepping

7. เริ่มต้นแก้ปัญหาโดยคลิก Solve ดังแสดงในรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 การ Solve (วิเคราะห์การไหล)

8. ผลการวิเคราะห์การไหลสามารถแสดงในรูปแบบค่าต่างๆได้ทั้งนี้ในรูปที่ 3.37 เป็นการแสดงค่าที่อยู่ในรูปของความเร็วโดยใช้ลักษณะของสีเป็นการบอกความเร็วที่จุดต่างๆของแบบจำลอง

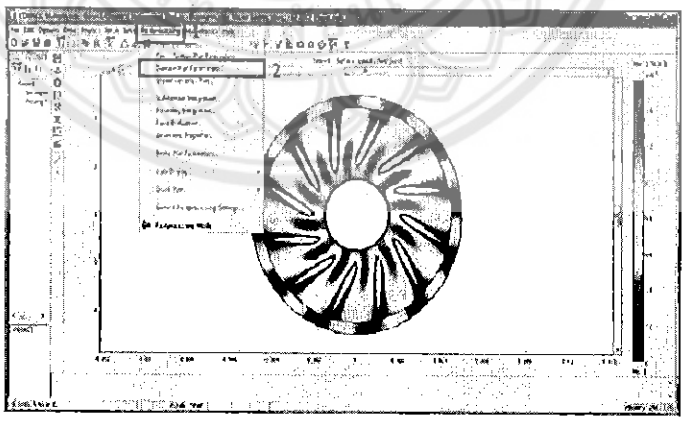


รูปที่ 3.37 Solve (วิเคราะห์การไหล) เสร็จสิ้น

3.6.4 ขั้นตอนการดึงข้อมูลจากโปรแกรม COMSOL มาคำนวณ

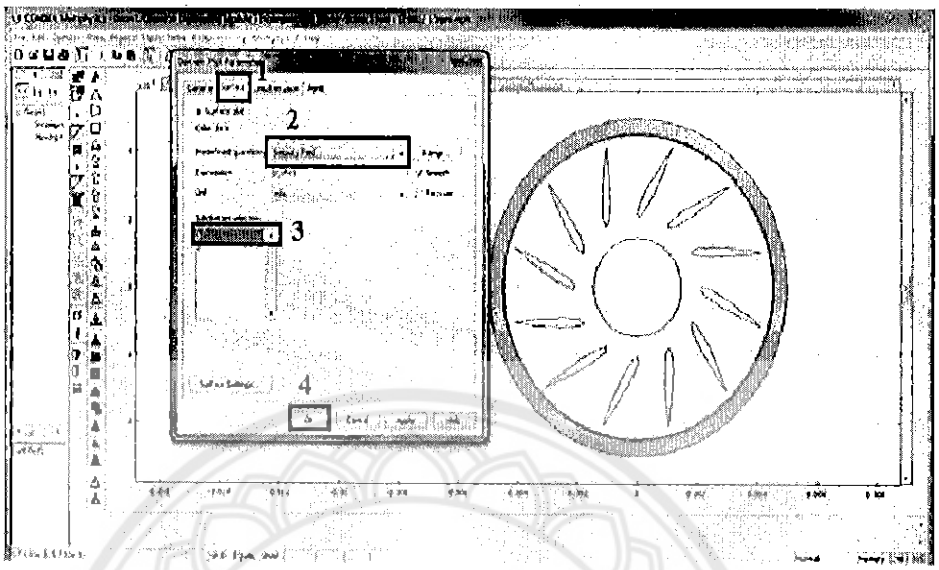
เมื่อการวิเคราะห์การไหลเสร็จสิ้น จากนั้นก็เป็นการนำข้อมูลที่ได้ออกจากโปรแกรม COM SOL เพื่อนำไปยังโปรแกรม Microsoft Office Excel แล้วทำการเฉลี่ยข้อมูล ก็จะได้ความเร็วเฉลี่ยในแต่ละ Model เพื่อจะนำไปคำนวณต่อไป

1.ทำการดึงข้อมูลจากโปรแกรม COM SOL โดยเลือก Postprocessing>>Domain Plot Parameters...ดังรูปที่ 3.38



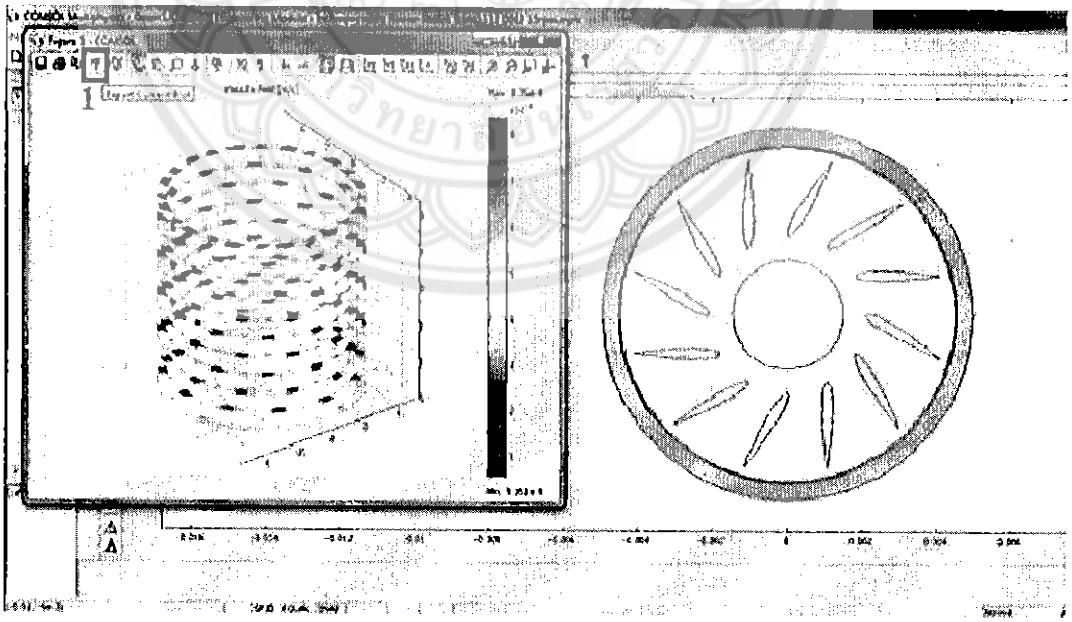
รูปที่ 3.38 วิธีการดึงข้อมูลจากโปรแกรมCOM SOL

2. ทำการเลือกพื้นผิวที่ต้องการดึงข้อมูล โดย surface>>velocity field>>เลือกส่วนที่ 1 >>OK ดังรูป 3.39



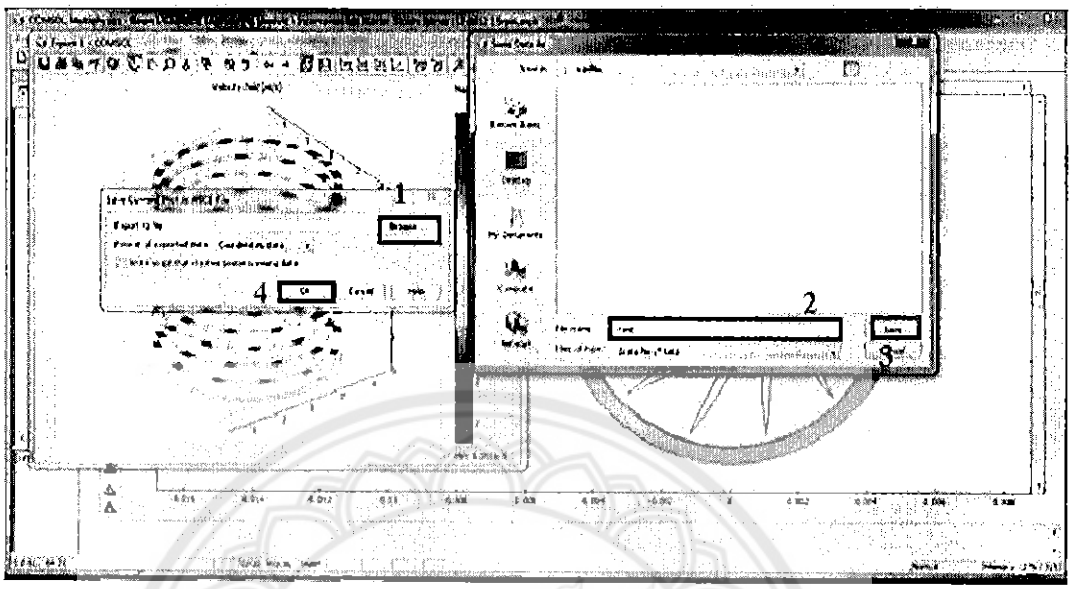
รูปที่ 3.39 วิธีการเลือกดึงข้อมูลที่ผิวด้วนนอก

3. จากนั้นทำการนำข้อมูลออกจากโปรแกรม โดยการเลือก Export Current Plot ดังรูป 3.40



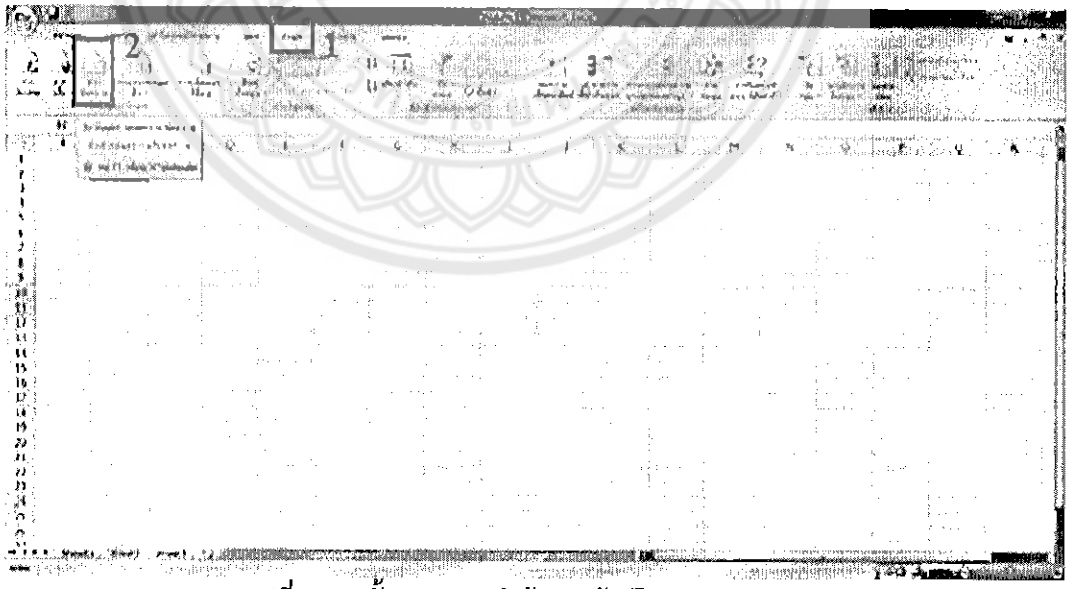
รูปที่ 3.40 การนำข้อมูลออกจากโปรแกรม

4.ทำการบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์ Notepad.txt โดยเลือก Browse...>>file name เพื่อตั้งชื่อไฟล์ที่จะบันทึก สกุล .txt >>Save>>OK ดังรูป 3.41



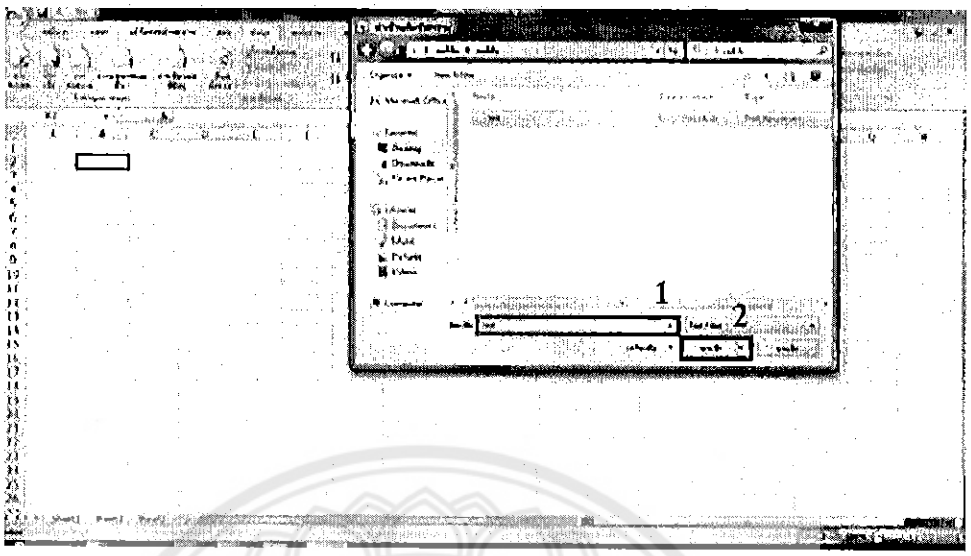
รูปที่ 3.41 การเก็บข้อมูลให้อยู่ในNotepad สกุลไฟล์ .txt

5. เปิดโปรแกรม Microsoft Office Excel เลือก ข้อมูล>>จากข้อความ เพื่อเปิดไฟล์ Notepad.txt ที่บันทึกไว้ ดังรูป 3.42



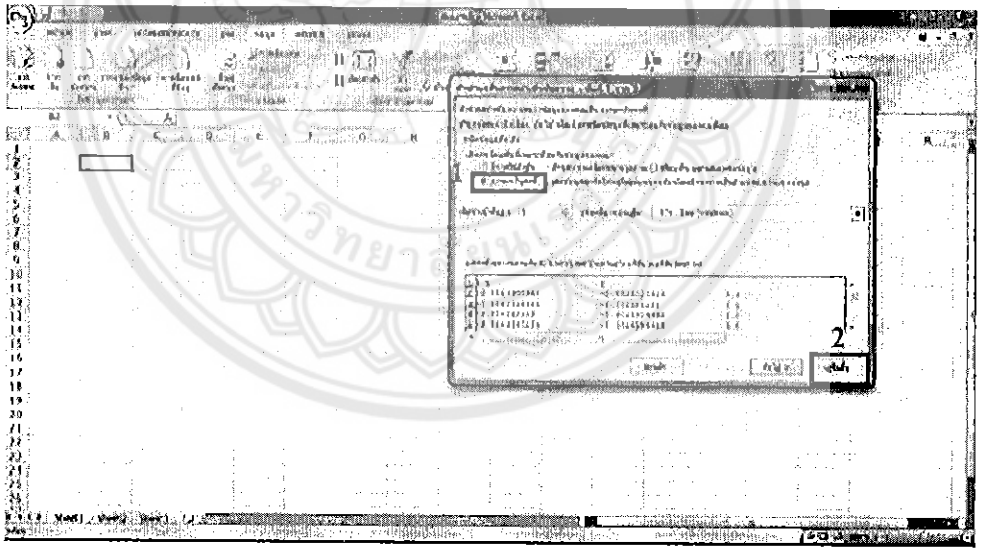
รูปที่ 3.42 ขั้นตอนการนำข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม Excel

6. นำไฟล์ Notepad.txt ที่บันทึกไว้ >>นำเข้า ดังรูป 3.43



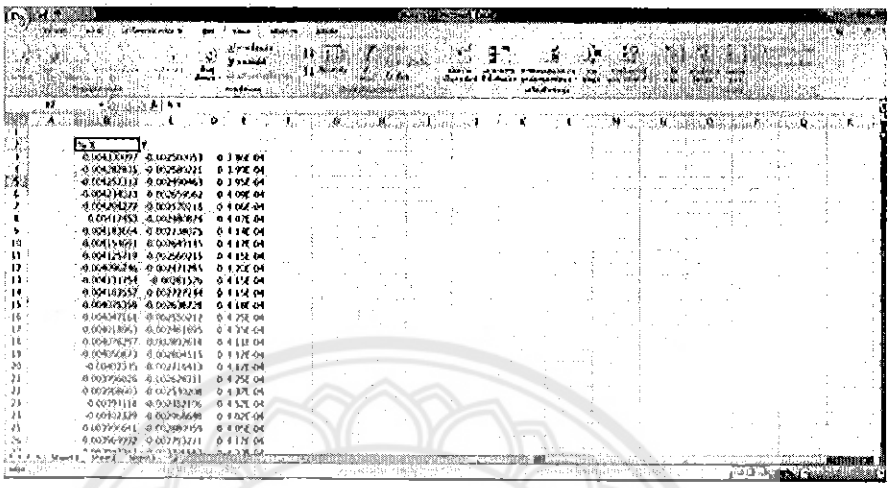
รูปที่ 3.43 การนำ Notepad เข้าโปรแกรม Microsoft Office Excel

7. ทำการกำหนดการวางของช่องข้อมูลที่ ความกว้างคงที่>>เสร็จสิ้น ดังรูป 3.44



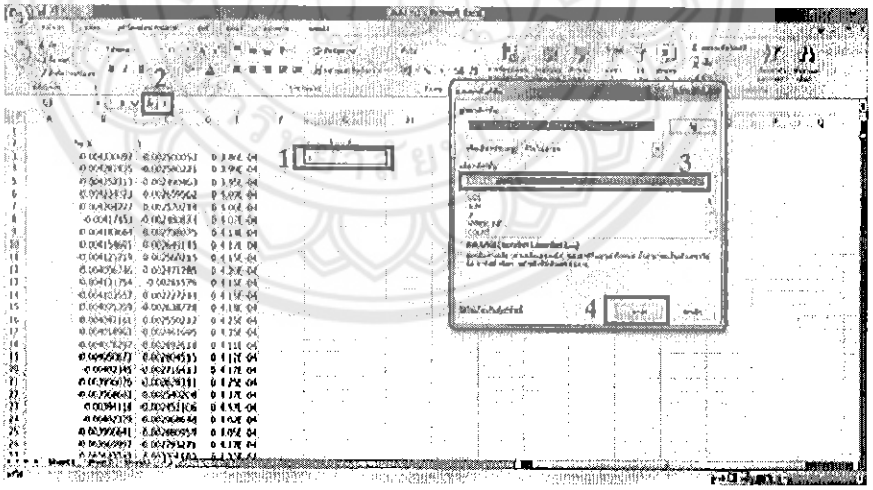
รูปที่ 3.44 การจัดวางช่องข้อมูลในโปรแกรม Excel

8. การนำข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม Excel เสร็จสิ้น โดยที่ช่อง X,Y เป็นการบอกตำแหน่งต่างๆ ของชุดใบพัดคอมเพรสเซอร์ ช่องที่ 3 คือ ช่วงเวลา(time step) ช่องที่ 4 เป็นความเร็ว ณ จุด X,Y ดังรูป 3.45



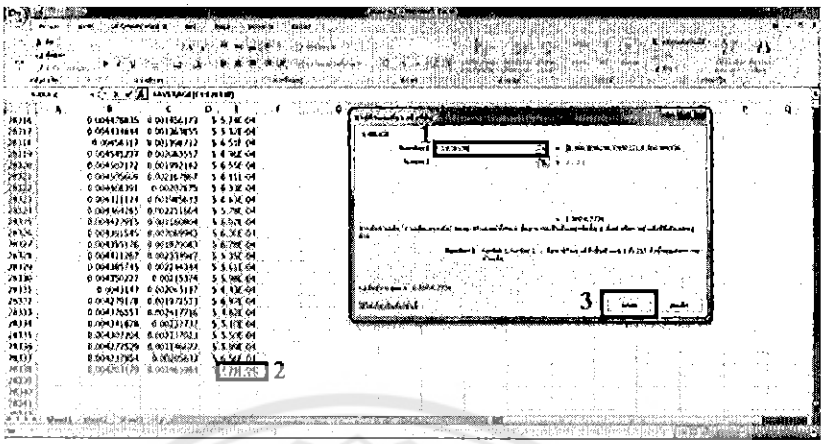
รูปที่ 3.45 การนำไฟล์ Notepad เข้าสู่โปรแกรม Excel เสร็จสิ้น

9. ทำการเฉลี่ยความเร็ว โดยเลือก เลือกช่องที่จะวาง>>เลือกฟังก์ชั่น>>AVERAGE>>ตกลง ดังรูป 4.46



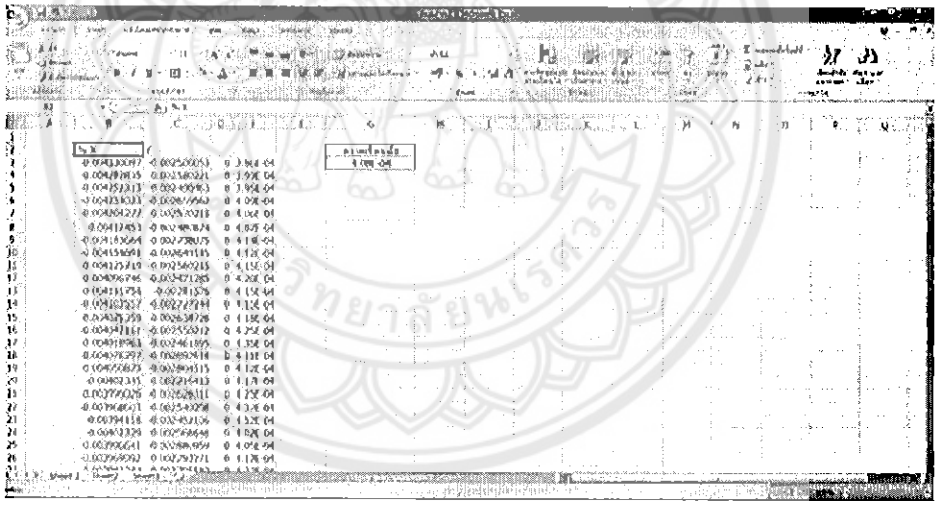
รูปที่ 3.46 การคำนวณหาค่าเฉลี่ยความเร็ว

10. ทำการเลือกข้อมูล โดยเลือก ช่องแรกของข้อมูลและช่องสุดท้าย (ช่องแรก: ช่องสุดท้าย)>>ตกลง ดังรูป 3.47



รูปที่ 3.47 การข้อมูลในการคำนวณหาค่าเฉลี่ย

11. ได้ผลการเฉลี่ยความเร็วของชุดคอมเพรสเซอร์ที่ทางออก ดังรูป 3.48



รูปที่ 3.48 ค่าเฉลี่ยความเร็วของ Model

3.7 การคำนวณค่าอัตราส่วนความดันที่ได้จากคอมเพรสเซอร์

หลังจากที่เราที่เราดึงข้อมูลออกจากโปรแกรม COMSOL แล้วมาคำนวณเพื่อหาค่าอัตราส่วนความดันของคอมเพรสเซอร์ สามารถคำนวณดังนี้

1. จากการวิเคราะห์ผลของโปรแกรม COMSOL เราได้ค่าความเร็วในการไหลที่ทางออกของ NACA ที่ทางออก (v_{f_2}) ออกมาเพื่อใช้ในการคำนวณ ยกตัวอย่าง ที่ NACA 0012 ที่ 12 .ใบพัด ที่มุม $\beta_2 = 60$ องศา ได้ความเร็วการไหลที่ทางออก (v_{f_2}) = 0.00046114 m/s
2. จากสมการ 2.11 จะได้ $\dot{m} = \rho(2\pi r_1)b_1 v_{f_1} = \rho(2\pi r_2)b_2 v_{f_2}$เพื่อหาอัตราในการไหลเชิงมวลของคอมเพรสเซอร์ โดยที่ $\pi = 3.14159$, $r_2 = 20\ mm$ และ b=5 mm ก็จะได้
   $\dot{m} = 3.4769x10^{-7}\ kg/m^3$
3. จากสมการ $u_2 = \omega r = \frac{2\pi rN}{60}$ เพื่อหาความเร็วใบพัดของคอมเพรสเซอร์
   $u_2 = 0.02801\ m/s$
4. จากสมการ $v_{w2} = u_2 - v_{f2}cot\alpha_2$ เพื่อหาความเร็วการหมุนวน โดยกำหนด มุม $\alpha_2 = 30$ องศา จะได้ $v_{w2} = 0.028008\ m/s$
5. จากสมการ $v_2 = \frac{v_{w2}}{cos\alpha_2}$ เพื่อหาความเร็วสมบูรณ์ $v_2 = 0.03234\ m/s$
6. จากสมการ $v_{r2} = \sqrt{v_2^2 + u_2^2 - 2u_2 v_2 cos\ \alpha_2}$ เพื่อหาความเร็วสัมพัทธ์
   $v_{r2} = 0.01617\ m/s$
7. เมื่อได้ความเร็วต่างแล้ว ต่อจากนั้น ก็จะหา อัตราส่วนความดันของคอมเพรสเซอร์ จากสมการ $\frac{p_{03}}{p_{01}} = \left[1 + \frac{(\gamma-1)\eta_c U_2^2 v_{r2} tan\beta_2}{a_{01}^2}\right]^{\gamma/(\gamma-1)}$ โดยที่ $a_{01}^2 = \gamma R T_{01}$

   กำหนด $\gamma = 1.4$, R= 287 J/kg·K , $T_{01} = 293\ K$ และ η_c=0.7
   จะได้ $\frac{p_{03}}{p_{01}} = 1.0000000022$

บทที่ 4

ผลและวิเคราะห์ผลการคำนวณ

ในบทนี้ก่อนทำการทดสอบจะต้องมีการกำหนดค่าสภาวะเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขตก่อน และหลังจากนั้นจะทำการสร้างแบบจำลองคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋ว และแบ่งเอลิเมนต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ โดยดูลักษณะของการเคลื่อนที่ของกังหันในคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋ว และจะหาความเร็วที่ทางออก เพื่อนำไปวิเคราะห์ให้ได้อัตราส่วนความดัน

4.1 การกำหนดค่าเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขต

ค่าคงที่และสมบัติของของไหลที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ความหนาแน่นของอากาศ ความหนืดของอากาศ ความเร็วรอบของกังหันและความเร็วของของไหล ซึ่งแสดงตามตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ค่าคงที่และสมบัติของอากาศที่ใช้ในการคำนวณ

ความหนาแน่นของอากาศ	1.2	kg/m^3
ความหนืดของอากาศ	0.0000018	$Pa \times s$
ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์	15	rpm
ความเร็วของของไหล	0.00125	m/s

ลักษณะการไหลของอากาศในคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋วนั้น โดยที่อากาศจะไหลเข้าที่เส้นรอบวงด้านใน และไหลออกที่เส้นรอบวงด้านนอก รายละเอียดการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นแสดงดังตาราง 4.1

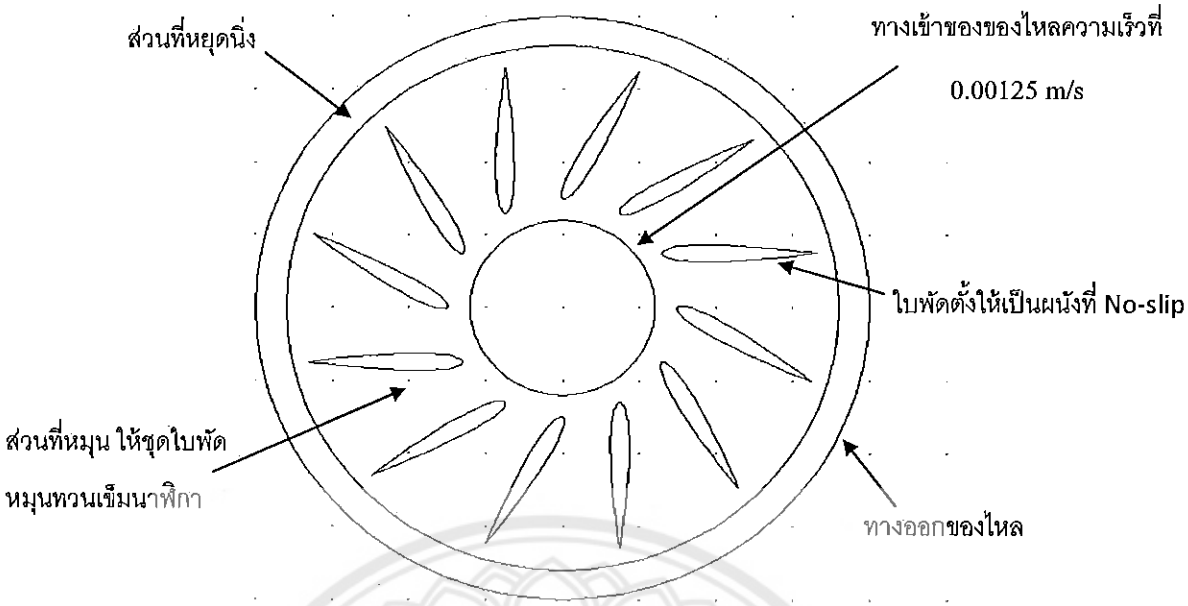
1.ให้วงกลมในสุดเป็นทางเข้าของอากาศ ความเร็วในการไหลเท่ากับ 0.00125 m/s (Re = 2,000)

2. ให้วงนอกเป็นทางออกของอากาศเป็นแบบอิสระ

3. ชุดใบพัด เป็นของแข็ง (ผนัง) และชั้นชิดผิวมีความเร็วเท่าศูนย์ (no-slip)

4. กำหนดความเร็วรอบให้ชุดใบพัดและกำหนดวงแหวนรอบนอกและให้เป็นชิ้นส่วนหยุดนิ่ง

5.ในกรณีที่แบบจำลองคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋วที่สร้างขึ้น เพื่อใช้ในวิเคราะห์การไหล จะไม่มีส่วนที่เป็น Casing เนื่องจากเราพิจารณาเฉพาะส่วนใบพัดของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งเมื่อนำมาใช้วิเคราะห์อาจจะทำให้อัตราส่วนความดันน้อย



รูปที่ 4.1 การกำหนดค่าเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขต

ตารางที่ 4.2 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองที่จะใช้ โดยทดสอบชนิดของใบพัด 4 แบบ ด้วยการเปลี่ยนความโค้งแต่ให้ความหนาของใบพัดคงที่ที่ จำนวนใบพัด 12, 18 และ 24 ใบ และมุมที่ทางออกใบพัด 50-70 องศา และรูปที่ 4.2 แสดงการวัดมุมทางเข้าและทางออกใบพัด

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการทดลอง

ชนิดของใบพัด	NACA 0012, NACA 2212, NACA 4412, NACA 6212
จำนวนใบพัด	12,18,24
มุมที่ทางออกใบพัด	50,60,70
ความยาวใบพัด(chord)	12 mm

4.2 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากหัวข้อนี้ เราจะพิจารณาผลกระทบต่างๆ ในรายละเอียดที่มีต่ออัตราส่วนความดันของคอมเพรสเซอร์ ได้แก่ มุมที่ทางออกของใบพัด ความโค้งของใบพัด และจำนวนของใบพัด ผลกระทบที่มีต่ออัตราส่วนความดันมีดังต่อไปนี้ (1) มุมที่ทางออกของใบพัด เราได้ศึกษามุมที่ทางออกของใบพัดอยู่ 3 มุมได้แก่ 50, 60 และ 70 องศา (2) จำนวนของใบพัด ที่ทำการศึกษา 12,18 และ 24 ใบพัด (3) แบบของใบพัด 4 ชนิด คือ NACA 0012, NACA 2212, NACA 4212 และ NACA 6212 (4).ลักษณะความโค้งของใบพัดที่มีผลต่ออัตราส่วนความดัน ได้ผลดังนี้

4.2.1 ผลของมุมที่ทางออกจากใบพัด

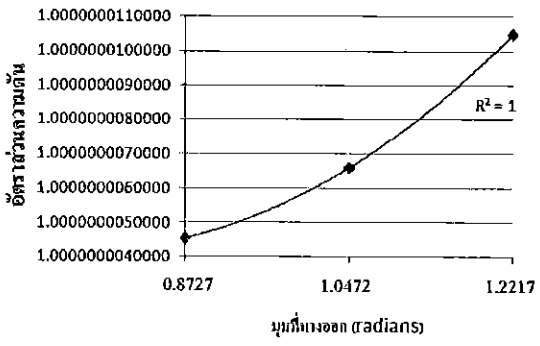
ในการศึกษานี้เราใช้มุมทางออก 50, 60 และ 70 องศา จากรูปที่ 4.2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความดันกับมุมที่ทางออกของใบพัด พบว่าเมื่อมุมทางออกมีค่ามากขึ้น จะได้อัตราส่วนความดันที่มากขึ้นตาม ได้ความสัมพันธ์ในลักษณะของสมการโพลิโนเมียลอันดับที่ 2 ให้ค่า R^2=1 ดังสมการ

$$r = (9x10^{-12})\beta_2^{\,2} - (8x10^{-10})\beta_2 + 1 \qquad (4.1)$$

เมื่อ r คือ อัตราส่วนความดัน

β_2 คือ มุมที่ทางออกของใบพัด (Radians)

ทั้งนี้สามารถอธิบายได้คือ การออกแบบให้ใบพัดทำงานที่อัตราส่วนความดันสูงจะต้องออกแบบให้สามเหลี่ยมความเร็วที่ทางออกเป็นสามเหลี่ยมมุมฉากซึ่งก็คือความเร็วสัมบูรณ์ที่ทางออกใบพัดมีทิศทางตามแนวรัศมี พิจารณารูปที่ 2.5 ที่มุมทางออกของใบพัดเป็นβ_2 และความเร็วv_{f2} คงที่ จะได้เวกเตอร์ความเร็วขอบใบพัดเป็น u_2 แต่เมื่อมุมทางออกใบพัดลดลงเป็นมุมβ_2' จะได้เวกเตอร์ความเร็วขอบใบพัดเป็น u_2'ซึ่งมีค่ามากกว่า u_2 นั่นหมายความว่ามุมมีผลโดยตรงกับความเร็วขอบใบพัดซึ่งความเร็วขอบใบพัดนี้บ่งบอกถึงความเร็วรอบในการทำงานจากความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.19 จะพบว่า ความเร็วขอบใบพัดมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นต่อกันจึงทำให้กราฟของอัตราส่วนความดันกับมุมทางออกมีลักษณะดังสมการที่ (4.1)



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมทางออกของใบพัดต่ออัตราส่วนความดัน
ชนิดใบพัด NACA0012 ที่ 24 ใบพัด

4.2.2 ผลของจำนวนใบพัด

ในการศึกษานี้เราใช้จำนวนใบพัด 12, 18 และ 24 ใบพัด กำหนดให้มุมที่ทางออกที่ 70 องศา จากรูปที่ 4.3 แสดงอัตราส่วนความดันต่อจำนวนใบพัดต่างๆ พบว่า เมื่อจำนวนใบพัดมากขึ้น จะได้อัตราส่วนความดันที่มากขึ้นตาม ได้ความสัมพันธ์ในลักษณะของสมการโพลิโนเมียลอันดับที่ 2 ให้ค่า R^2=1 ดังแสดงในสมการ

NACA 0012 : $r = -(1x10^{-13})n^2 + (5x10^{-12})n + 1$

NACA 2212 : $r = -(1x10^{-13})n^2 + (5x10^{-12})n + 1$ (4.2)

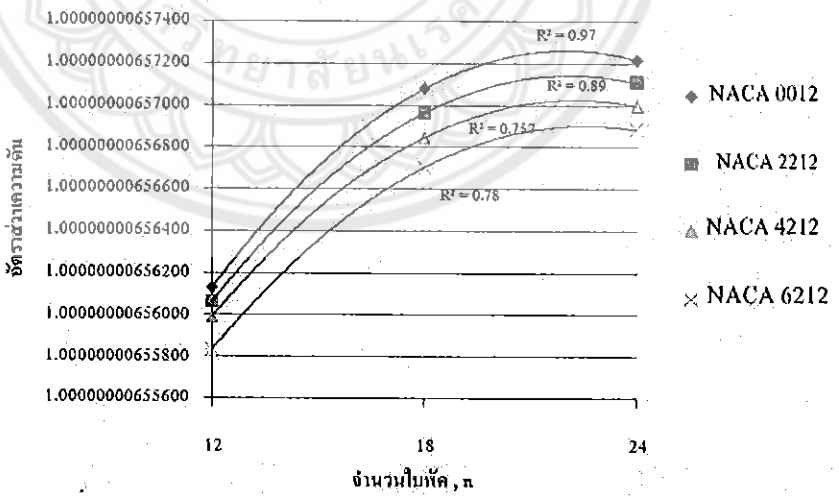
NACA 4212 : $r = -(1x10^{-13})n^2 + (5x10^{-12})n + 1$

NACA 6212 : $r = -(1x10^{-13})n^2 + (5x10^{-12})n + 1$

เมื่อ r คือ อัตราส่วนความดัน

n คือ จำนวนของใบพัด

สำหรับทุกใบพัด ซึ่งกราฟที่ได้แสดงให้เห็นว่าที่ NACA 0012 ให้ค่าอัตราส่วนความดันมากที่สุด ที่ NACA 2212 NACA 4212 และ NACA 6212 ให้ค่ารองลงมาตามลำดับ จากสมการที่ 2.19 กล่าวคือ ความเร็วขาออก (V_f) จะแปรผกผันกับความดัน (P) เนื่องจากค่าความเร็วขาออกที่ได้ของ NACA 0012 ที่ 24 ใบพัด มีค่าน้อยที่สุด เพราะว่า ใบพัดมีความโค้งน้อย ทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลน้อย ซึ่งส่งผลให้ความเร็วระหว่างช่องการไหลที่ใบพัดน้อยตาม จึงทำให้ได้อัตราส่วนความดันมากจึงทำให้ได้ค่าความดันมากที่สุด และค่า NACA อื่นๆน้อยลงตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความดันต่อจำนวนใบพัดที่มุม 70 องศา

4.2.3 ผลของความเร็วรอบ

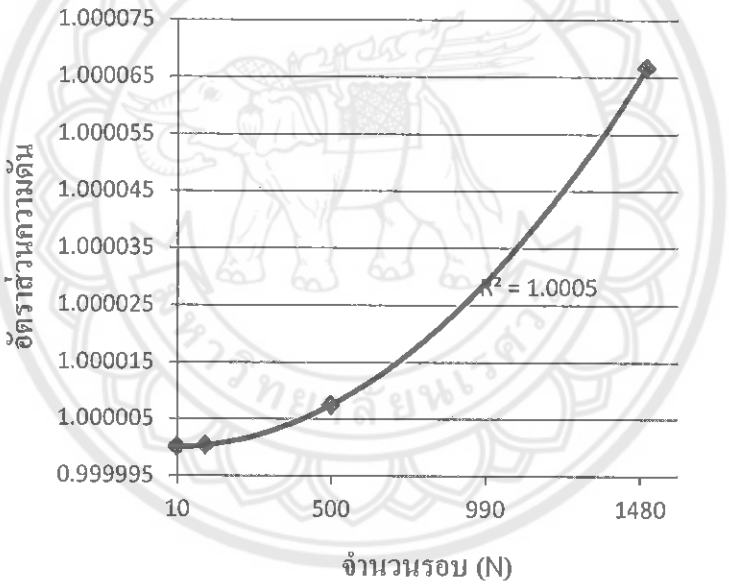
ในการศึกษานี้เราใช้ความเร็วรอบ 10 100 และ 1000 rpm กำหนดให้ชนิดใบพัด NACA 0012 มุมที่ทางออกที่ 70 องศาจากรูปที่ 4.4 เมื่อความเร็วรอบมากขึ้น จะได้อัตราส่วนความดันที่มากขึ้นตาม ได้ความสัมพันธ์ในลักษณะของสมการโพลิโนเมียลอันดับที่ 2 ให้ค่า R^2=1 ดังสมการ

$$r = (3x10^{-11})N^2 - (4x10^{-12})N + 1 \quad (4.3)$$

เมื่อ r คือ อัตราส่วนความดัน

N คือ ความเร็วรอบ (rpm)

อธิบายได้คือความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์มีผลต่ออัตราส่วนความดัน เมื่อมีความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราส่วนความดันเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งจะได้ว่าความเร็วรอบแปรผันโดยตรงกับอัตราส่วนความดัน$\left(\frac{P_{02}}{P_{01}} \propto N\right)$



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นมีผลต่ออัตราส่วนความดันที่ NACA 0012

4.2.4 ผลของความโค้งของใบพัด

ในการศึกษานี้เราใช้ความโค้งของ NACA 0012 โค้ง 0 mm, NACA 2212 โค้ง 0.024 mm, NACA 4212 โค้ง 0.048 mm และ NACA 6212 โค้ง 0.072 mm กำหนดให้ความเร็วรอบคงที่ที่ 15 rpm จากรูปที่ 4.5 เมื่อความโค้งของใบพัดเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้อัตราส่วนความดันลดลง ได้ความสัมพันธ์ในลักษณะของสมการโพลิโนเมียลอันดับที่ 2 ให้ค่า R^2=1 ดังแสดงในสมการ

12 ใบพัด : $r = (4x10^{10})h^2 - (1x10^{11})h + 1$

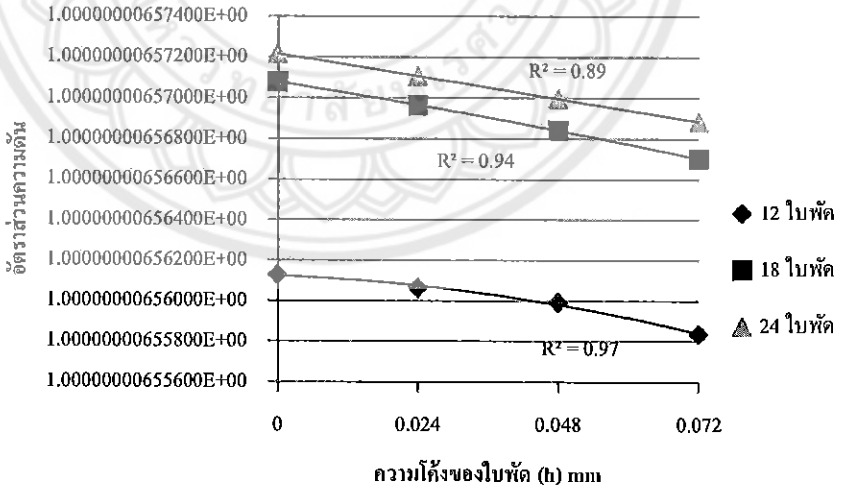
18 ใบพัด : $r = (2x10^{11})h^2 - (5x10^{11})h + 1$ (4.4)

24 ใบพัด : $r = (2x10^{11})h^2 - (5x10^{11})h + 1$

เมื่อ r คือ อัตราส่วนความดัน

h คือ ความโค้งของใบพัด (mm)

สำหรับทุกความโค้ง อธิบายได้คือ เมื่อเพิ่มความโค้งของใบพัดมากขึ้น จะส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลมากขึ้น จึงทำให้ได้ความเร็วที่ทางออกมาก ส่งผลให้อัตราส่วนความดันน้อย จากนั้น จำนวนใบพัดที่ใช้ทดลอง มีจำนวนดังต่อไปนี้ 12,18 และ 24 ใบพัด จำนวนใบพัด 24 ใบพัดให้อัตราส่วนความดันมากที่สุด เป็นผลมาจาก เมื่อเพิ่มจำนวนใบพัดช่องว่างระหว่างใบพัดจะลดลง ทำให้ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างใบพัดกับของไหล จึงได้ค่าความเร็วที่ทางออกน้อย จึงมีค่าให้ได้อัตราส่วนความดันที่สูง



รูปที่ 4.5 ความโค้งของใบพัดของ NACA ต่าง ๆ ต่ออัตราส่วนความดัน โดยที่กำหนดให้ความเร็วรอบคงที่ ที่ 15 rpm

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาระเบียบวิธีเชิงตัวเลขใน 2 มิติ ของคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋ว ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาด 40 มิลลิเมตร โดยศึกษาผลกระทบของรูปทรงของใบพัด จำนวนใบพัด จำนวนรอบ และที่มุมทางออกของใบพัด ที่มีผลต่ออัตราส่วนความดันของคอมเพรสเซอร์ พบว่า

5.1 ผลของอัตราส่วนความดันของคอมเพรสเซอร์

1 มุมที่ทำให้อัตราส่วนความดันมากที่สุด ที่ระหว่างมุม 50,60 และ 70 องศา พบว่า ที่มุม 70 องศา ให้ค่าอัตราส่วนความดันมากที่สุด รองลงมา คือ 60 และ 50 องศา หากพิจารณาที่สามเหลี่ยมความเร็วแล้ว ถ้ามุมทางออกมากจะให้ค่าความเร็วที่น้อย จึงได้อัตราส่วนความดันที่มาก ความเร็วของคอมเพรสเซอร์มีผลต่ออัตราส่วนความดัน

2 จากการทดสอบจำนวนใบพัด 12, 18 และ 24 ใบพัด พบว่า จำนวนใบพัด 24 ใบให้อัตราส่วนความดันสูง เพราะว่าที่จำนวนใบพัด 24 ใบ มีช่องระหว่างใบพัดที่แคบจึงทำให้ได้ความเร็วเฉลี่ยน้อย จึงทำให้ได้อัตราส่วนความดันของคอมเพรสเซอร์แปรผกผันกับความเร็ว $\left(\frac{P_{03}}{P_{01}} \propto \frac{1}{v}\right)$

3 เมื่อมีความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราส่วนความดันเพิ่มขึ้นเช่นกัน เพราะเมื่อเพิ่มความเร็วรอบ จะทำให้ความเร็วที่ปลายใบพัด U_2 เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราส่วนความดันเพิ่ม ซึ่งจะได้ว่าความเร็วรอบแปรผันโดยตรงกับอัตราส่วนความดัน $\left(\frac{P_{03}}{P_{01}} \propto N\right)$

4 ใบพัดที่มีความโค้งน้อยจะได้อัตราส่วนความดันสูง เพราะว่าไม่มีการการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหล จึงทำให้ได้ความเร็วที่ทางออกน้อย จึงได้อัตราส่วนความดันมาก

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

หลังจากได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋ว พบว่า อัตราส่วนความดันที่ได้จากแบบจำลองคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋วนั้น มีค่าน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองที่นำมาใช้วิเคราะห์ ไม่มีส่วนของ Casing จึงทำให้สูญเสียความดันที่ได้จากการอัดอากาศ ซึ่งหากต้องการให้ได้อัตราส่วนความดันที่มากขึ้น อาจสร้างแบบจำลองคอมเพรสเซอร์ขนาดจิ๋ว ที่มี Casing เพื่อเก็บความดันที่ได้จากการอัด

เอกสารอ้างอิง

[1] Mizuki S. (2007)," Development of Compressor for Ultra Micro Gas Turbine", Journal of Thermal Science Vol.16, No.1 19-27.

[2] Ribaud Y. (2003)," Internal Heat Mixing and External Heat Losses in an Ultra Micro Turbine", Proceedings International Gas Turbine Congress 2003 Tokyo, November 2-7, 2003. IGTC2003Tokyo OS-109.

[3] Matsura, K. Kato, C. (2003),"Prototyping of Small-sized Two-dimensional Radial Turbines ", Proceedings of the International Gas Turbine Congress 2003 Tokyo November 2-7, 2003.

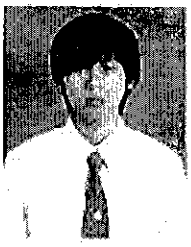
[4] Gaydamaka, I.V. และคณะ (2003)," Some Aerodynamic Performances of Small Size Compressor and Turbine Stages", Proceedings of the International Gas Turbine Congress 2003 Tokyo November 2-7, 2003

[5] Van den Braembussche ,R.A. Işlek ,A.A. Alsalihi, Z. (2003)," Aerothermal Optimization of Micro-gasturbine Compressor Including Heat Transfer", Proceedings of the International Gas Turbine Congress 2003 Tokyo November 2-7, 2003

[6] Ishihama, M. และคณะ (2003)," Structural Analysis of Rotating Parts of an Ultra-micro Gas Turbine",Proceedings of the International Gas Turbine Congress 2003 Tokyo November 2-7, 2003

[7] Douglas, J.F. Gasiorek, J.M. & Swaffield, J.A. หนังสือ Fluid Mechanics

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน



ชื่อ นายวัชรพล เคลือกาบ
ภูมิลำเนา 7 หมู่ 3 ต. หนองจิก อ. คีรีมาศ
จ. สุโขทัย

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนคีรีมาศพิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

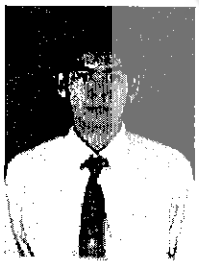
E-mail: watcharaphon.meng51@gmail.com

ชื่อ นายอนุพงศ์ ต๊ะบุญเรือง
ภูมิลำเนา 36/2 หมู่ 3 ต. เมืองยาว อ.ห้างฉัตร จ. ลำปาง

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเขลางค์นคร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: anupong_js@hotmail.com



ชื่อ นายอภิชาติ อินยา
ภูมิลำเนา 14 ม.5 ต.ศรีคีรีมาศ อ.คีรีมาศ จ.สุโขทัย

ประวัติการศึกษา

จบระดับมัธยมศึกษาจากกโรงเรียนสุโขทัยวิทยาคม
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: apichat_inya@hotmail.com