

การออกแบบส่วนของกังหันในเครื่องยนต์กังหันแก๊สขนาดเล็ก
A DESIGN OF TURBINE SECTION IN A SMALL GAS TURBINE



นายกิตติศักดิ์ ไชยธำมาษฐ์
นายปิยะวัฒน์ มณีภาณุพงษ์
นายปิยะพงษ์ มีศิริ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การออกแบบส่วนของกังหันในเครื่องยนต์กังหันแก๊สขนาดเล็ก

A DESIGN OF TURBINE SECTION IN A SMALL GAS TURBINE

นายกิตติภักดิ์ โอสถานนท์

นายปิยวัฒน์ มุณีกาญจน์

นายปิยะพงษ์ มีศิริ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2556
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A DESIGN OF TURBINE SECTION IN A SMALL GAS TURBINE

KITTIPAT OSATHANOND

PIYAWAT MUNEEKARN

PIYAPONG MEESIRI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 2013 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบส่วนของกังหันในเครื่องยนต์กังหันแก๊สขนาดเล็ก

A DESIGN OF TURBINE SECTION IN A SMALL GAS TURBINE

ผู้จัดทำ

1. นาย กิตติภักดิ์ โอสถานนท์ รหัสประจำตัว 53010120
2. นาย ปิยวัฒน์ มุณีกาญจน์ รหัสประจำตัว 53010993
3. นาย ปิยะพงษ์ มีศิริ รหัสประจำตัว 53010996

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.จาร์วัตร เจริญสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบส่วนของกังหันในเครื่องยนต์กังหันแก๊สขนาดเล็ก

นายกิตติภัต โอสถานนท์ 53010120

นายปิยะวัฒน์ มณีกาญจน์ 53010993

นายปิยะพงษ์ มีศิริ 53010996

รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการออกแบบและพัฒนากังหันแก๊สขนาดเล็กเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ทฤษฎีเครื่องจักรกังหันถูกนำมาใช้ในการออกแบบส่วนกังหัน ภายใต้เงื่อนไขการทำงานของวัฏจักรเครื่องยนต์ กังหันก๊าซที่พิกัดกำลัง 60 Kw ซึ่งต้องการกำลังจาก turbine 174 Kw ทำการกำหนดเงื่อนไขในระดับจำเพาะเจาะจง เพื่อนำไปใช้กำหนดชนิด ขนาด และมิติต่างๆ ของกังหัน ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ในอนาคต ศึกษาหลักการคำนวณขนาดของใบกังหัน อัตราส่วนความดัน การเลือกประเภทของกังหันแล้วทำการวาดแบบลงในโปรแกรมทางด้านงานเขียนแบบขั้นต่อไปคือนำไปจำลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในโปรแกรม ANSYS การออกแบบได้มีการเปลี่ยนรูปทรงของใบกังหันให้รองรับกับช่องทางไหลของอากาศ โดยมีเงื่อนไขในการออกแบบ คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง = 0.0157 Kg/s อัตราการไหลของอากาศ = 0.3919 Kg/s ความดันขาเข้า = 543,660 Pa ความดันขาออก = 112,580 Pa อุณหภูมิขาเข้า = 1273.15 K อุณหภูมิขาออก = 904 K จากผลการจำลองเราได้กำลังเพียง 76 Kw รวมถึงประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก 92% เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องขนาดของกังหัน ทำให้ช่องการไหลสั้น ส่งผลให้ความดันตกน้อยและผลิตกำลังได้จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A DESIGN OF TURBINE SECTION IN A SMALL GAS TURBINE

Kittipat Osathanond 53010120

Piyawat Muneekarn 53010993

Piyapong Meesiri 53010996

Assoc.Prof. Dr.Jaruwat Charoensuk Advisor

Year 2556

ABSTRACT

This project involves the design and development for small gas turbine for electrical generation. The theory of turbo machine is applied to turbine design. Currently, the operation cycle of gas turbine engine at 60 Kilowatts is defined thus require the power from turbine at 174 Kilowatts. The detailed operating condition is used to determine the type, size and dimension of turbine prototype. This prototype will be used in the future. Then model is drawn using the drawing program and converted into mesh for simulation with ANSYS program. The blade shape was calibrated to be compatible with predefined air flow aiming to maximize isentropic efficiency. The inlet/outlet conditions are: Mass flow rate fuel = 0.0157 Kg/s, Mass flow rate air = 0.3919Kg/s , Pressure in = 543,660 Pa, Pressure out = 112,580 Pa, Temperature in= 1273.15 K, Temperature out= 904 K. From the simulation, the power of 76 Kilowatts was obtained with isentropic efficiency is 92%. Because the dimension of turbine is limited. It causing limited length of flow channel size and pressure drop, thus effecting the power generation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและร่วมมือจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน ได้แก่ รศ.ดร.จรรุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ เอาใจใส่ ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือเสมอมา รวมทั้งชี้แนะข้อผิดพลาดแล้วนำไปแก้ไขปรับปรุงจนสำเร็จจุลวงได้ และต้องขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนในกลุ่ม ที่มีส่วนช่วยเหลือกันในการทำปริญญานิพนธ์นี้ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์รวมถึงสถานที่ที่ใช้ทำโครงการนี้ และขอบคุณ คุณจิตตฤณ นิมิตรเพิ่มพูน ที่ช่วยเหลือด้านการทำโมเดลสามมิติ และอาจารย์นรินทร์ ธรรมรักษ์วัฒนะ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมในการเอื้อเพื่อเรื่องเครื่อง Megabot ในการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายกิตติภักดิ์ โอสถานนท์

นายปิยวัฒน์ มุณีกาญจน์

นายปิยะพงษ์ มีศิริ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญกราฟ.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	2
บทที่ 2 ประวัติของกังหันแก๊ส.....	4
2.1 ประวัติและความเป็นมาของกังหันแก๊ส.....	4
2.2 การพัฒนาในช่วงปี 1930-1940	5
2.3 การพัฒนาในช่วงปี 1940-1945.....	5
2.4 การพัฒนาในช่วงปี 1945-1960.....	6
2.5 การพัฒนาในช่วงปี 1970-ปัจจุบัน.....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 ทฤษฎีกังหันแก๊สเบื้องต้น.....	9
3.1 เบริตันไซเคิล.....	9
3.1.1 แผนภาพ P-v diagram และ T-s diagram ของ Brayton cycle.....	9
3.1.2 งาน.....	10
3.1.3 การถ่ายเทความร้อน.....	11
3.1.4 ประสิทธิภาพทางความร้อน.....	11
3.2 สมการออยเลอร์.....	11
3.3 ประสิทธิภาพของกังหัน.....	12
3.3.1 ประสิทธิภาพโดยรวม.....	12
3.3.2 ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก.....	13
บทที่ 4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ Axial Turbine.....	14
4.1 Meridional flow path.....	15
4.2 แผนภูมิความเร็ว (Velocity diagram).....	16
4.3 แผนภาพโมลิเยต์ (Mollier diagram).....	18
4.4 ตัวแปรพารามิเตอร์ในการออกแบบกังหัน.....	19
4.4.1 Design Flow Coefficient.....	19
4.4.2 Stage Reaction.....	19
4.5 Degree of reaction.....	20
4.5.1 0% reaction.....	20
4.5.2 100% reaction.....	21

สารบัญ (ต่อ)

4.5.3 50% reaction.....	22
บทที่ 5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ Radial Turbine.....	23
5.1 ชนิดของ Inward-flow radial turbine.....	23
5.2 Thermodynamics of the 90 deg IFR(inward flow radial) turbine.....	24
5.3 พื้นฐานการออกแบบ rotor.....	26
บทที่ 6 ขั้นตอนวิธีการออกแบบและผลการออกแบบ.....	27
6.1การออกแบบในส่วนของ Axial Turbine (เทอมที่ 1)	27
6.1.1 การสูมตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ.....	28
6.1.2 การคำนวณออกแบบกังหัน.....	28
6.2 การออกแบบในส่วนของ Radial Turbine (เทอมที่ 2).....	35
6.2.1 เงื่อนไขในการออกแบบ.....	37
6.2.2 การคำนวณ.....	38
6.2.3 ขั้นตอนวิธีการออกแบบ.....	41
6.2.4 ผลการ Simulation จากโปรแกรม ANSYS.....	46
บทที่ 7 การทำโมเดล 3 มิติ.....	61
บทที่ 8 สรุปผลการออกแบบและข้อเสนอแนะ.....	66
8.1 สรุปผลการออกแบบ.....	66
8.2 ข้อเสนอแนะ.....	68
บรรณานุกรม.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

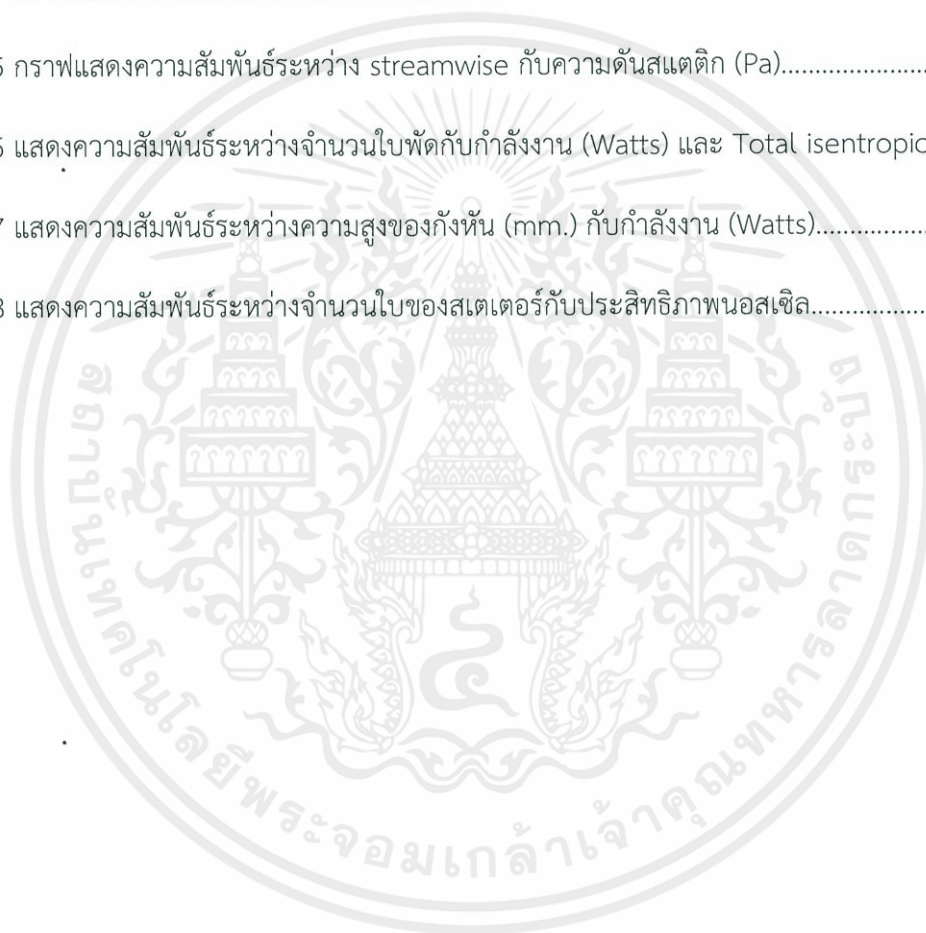
สารบัญตาราง

ตารางที่ 6.1	แสดงค่าอุณหภูมิและความดันที่แต่ละสเตจ.....	31
ตารางที่ 6.2	แสดงงานของสเตจ 1 ถึง สเตจ 3.....	32
ตารางที่ 6.3	แสดงค่าความเร็วสัมบูรณ์ที่ทางเข้าโรเตอร์ ความเร็วสัมพัทธ์ที่ทางเข้าโรเตอร์ ความเร็วใบพัดและมุมของใบพัดของโรเตอร์ขาเข้า.....	41
ตารางที่ 6.4	ตารางแสดงค่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางเข้า กำลังงาน อัตราส่วนความดัน ความเร็วสัมพัทธ์ที่ทางเข้า ความเร็วสัมพัทธ์ที่ทางออก.....	48
ตารางที่ 6.5	การเปลี่ยนแปลงของกำลังงาน และประสิทธิภาพแบบ total isentropic ของกังหัน.....	54
ตารางที่ 6.6	แสดงค่าความสูงของกังหัน กำลังงานและประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก.....	56
ตารางที่ 6.7	แสดงค่าของความสูงใบพัดที่ทางออก กำลังงานและประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก.....	57
ตารางที่ 6.8	แสดงค่าจำนวนใบของสเตเตอร์และมุมของทางเข้าใบโรเตอร์.....	59
ตารางที่ 8.1	แสดงค่าที่เหมาะสมที่เลือกจากการ Simulation กรณีต่างๆ รวมถึงค่ากำลัง และ ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญกราฟ

กราฟที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Flow coefficient กับ ความสูงของใบพัดที่ stage.....	35
กราฟที่ 6.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความเร็วสัมพัทธ์ที่ผ่านตัวใบโรเตอร์.....	47
กราฟที่ 6.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความดันในขณะที่ผ่านตัวใบโรเตอร์.....	48
กราฟที่ 6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง streamwise กับ mach relative number.....	51
กราฟที่ 6.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง streamwise กับความดันสถิติก (Pa).....	53
กราฟที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพัดกับกำลังงาน (Watts) และ Total isentropic.....	54
กราฟที่ 6.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกังหัน (mm.) กับกำลังงาน (Watts).....	56
กราฟที่ 6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบของสเตเตอร์กับประสิทธิภาพนอสเซลล์.....	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 2.7 โปรแกรม ANSYS ในการ CFD.....	8
รูปที่ 3.1 แผนภาพ P-v diagram และ T-s diagram.....	9
รูปที่ 3.2 แผนภาพ วัฏจักรของกระบวนการที่ 1-4.....	10
รูปที่ 3.3 Control volume สำหรับลักษณะทั่วไปของ Turbomachine.....	12
รูปที่ 4.1 Axial Turbine.....	14
รูปที่ 4.2 ช่องทางการไหลข้างในตัวกังหันที่ขนานกับแกนของการหมุนแกน Z (z-axis).....	15
รูปที่ 4.3 แสดงส่วนของสเตเตอร์และโรเตอร์.....	16
รูปที่ 4.4 แผนภูมิความเร็วของแต่ละสเตจที่ประกอบไปด้วย 1 สเตเตอร์และ 1 โรเตอร์.....	17
รูปที่ 4.5 แผนภาพโมลียต์สำหรับ Axial Turbine.....	18
รูปที่ 4.6 0% reaction.....	21
รูปที่ 4.7 100% reaction.....	21
รูปที่ 4.8 50% reaction.....	22
รูปที่ 5.1 Radial turbine.....	23
รูปที่ 5.2 แบบภาพและแผนผังความเร็วสำหรับกังหันชนิด IFR.....	23
รูปที่ 5.3 แผนภาพโมลียต์สำหรับกังหันชนิด 90 deg IFR (ที่จุดออกแบบ).....	24
รูปที่ 5.4 แสดง Control volume สำหรับลักษณะทั่วไปของ Turbomachine.....	25
รูปที่ 6.1.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการออกแบบของ Axial Turbine.....	27
รูปที่ 6.1.2 ขั้นตอนที่ 1 การสุ่มตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ.....	28
รูปที่ 6.1.3 ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณและออกแบบกังหัน.....	29
รูปที่ 6.1.4 การแบ่งช่วงแต่ละสเตจของความดันและอุณหภูมิ.....	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 6.1.5 การแบ่งแสดงของกังหันออกเป็น 3 สเตจ.....	31
รูปที่ 6.1.6 กระบวนการ Random parameter ในการตรวจสอบค่าคำตอบ.....	34
รูปที่ 6.2.1 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นของการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรในการ simulation.....	36
รูปที่ 6.2.2 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นของการออกแบบ.....	37
รูปที่ 6.2.3 แสดงค่าเงื่อนไขขั้นต้นในการออกแบบ.....	37
รูปที่ 6.2.4 แสดงค่าส่วนประกอบต่างๆของกังหันแก๊ส.....	38
รูปที่ 6.2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องทางเข้ากับขนาดของตัวใบพัดที่เลขมีคัมเบอร์ต่างๆ.....	39
รูปที่ 6.2.6 รูปกังหันในโปรแกรม Blade gen.....	42
รูปที่ 6.2.7 รูปกังหันในโปรแกรม Blade gen (อีกด้าน).....	42
รูปที่ 6.2.8 กังหันในขณะทำการ meshing.....	43
รูปที่ 6.2.9 หมุนทางด้านขวา (meshing).....	43
รูปที่ 6.2.10 ด้านหน้า (meshing).....	44
รูปที่ 6.2.11 ส่วนฐานรองรับของกังหันขณะทำในโปรแกรม UG.....	44
รูปที่ 6.2.12 ส่วนของกังหันขณะทำในโปรแกรม UG.....	45
รูปที่ 6.2.13 ส่วนของกังหันเมื่อประกอบเข้ากับฐานรองรับ.....	45
รูปที่ 6.3.1 sim เส้นผ่านศูนย์กลาง 240 mm.....	46
รูปที่ 6.3.2 sim เส้นผ่านศูนย์กลาง 220 mm.....	46
รูปที่ 6.3.3 sim เส้นผ่านศูนย์กลาง 200 mm.....	46
รูปที่ 6.3.4 sim เส้นผ่านศูนย์กลาง 180 mm.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 6.3.5 sim เส้นผ่านศูนย์กลาง 160 mm.....	47
รูปที่ 6.3.7 sim ใช้ 11 ใบพัด.....	49
รูปที่ 6.3.8 sim ใช้ 12 ใบพัด.....	49
รูปที่ 6.3.9 sim ใช้ 13 ใบพัด.....	49
รูปที่ 6.3.10 sim ใช้ 14 ใบพัด.....	49
รูปที่ 6.3.11 sim ใช้ 15 ใบพัด.....	50
รูปที่ 6.3.12 sim ใช้ 16 ใบพัด.....	50
รูปที่ 6.3.13 sim ใช้ 17 ใบพัด.....	50
รูปที่ 6.3.14 sim ใช้ 18 ใบพัด.....	50
รูปที่ 6.3.15 sim ใช้ 19 ใบพัด.....	50
รูปที่ 6.3.16 sim ใช้ 11 ใบพัด.....	51
รูปที่ 6.3.17 sim ใช้ 12 ใบพัด.....	51
รูปที่ 6.3.18 sim ใช้ 13 ใบพัด.....	52
รูปที่ 6.3.19 sim ใช้ 14 ใบพัด.....	52
รูปที่ 6.3.20 sim ใช้ 15 ใบพัด.....	52
รูปที่ 6.3.21 sim ใช้ 16 ใบพัด.....	52
รูปที่ 6.3.22 sim ใช้ 17 ใบพัด.....	52
รูปที่ 6.3.23 sim ใช้ 18 ใบพัด.....	52
รูปที่ 6.3.24 sim ใช้ 19 ใบพัด.....	53
รูปที่ 6.3.25 sim แสดงกังหัน 19 ใบ ที่บริเวณทางออกที่ใบพัดเบียดกันมาก.....	55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 6.3.26 sim แสดงความสูงของกัณฑ์.....	55
รูปที่ 6.3.27 sim แสดงความสูงของใบพัดที่ทางออก.....	57
รูปที่ 6.3.28 sim ความสูงของใบพัดที่ทางออก 10 mm.....	57
รูปที่ 6.3.29 sim ความสูงของใบพัดที่ทางออก 12.5 mm.....	57
รูปที่ 6.3.30 sim ความสูงของใบพัดที่ทางออก 15 mm.....	58
รูปที่ 6.3.31 sim ความสูงของใบพัดที่ทางออก 17.5 mm.....	58
รูปที่ 6.3.32 sim ความสูงของใบพัดที่ทางออก 20 mm.....	58
รูปที่ 6.3.33 sim ใบสแตเตอร์ 14 ใบ.....	59
รูปที่ 6.3.34 sim ใบสแตเตอร์ 15 ใบ.....	59
รูปที่ 6.3.35 sim ใบสแตเตอร์ 16 ใบ.....	59
รูปที่ 6.3.36 sim ใบสแตเตอร์ 17 ใบ.....	59
รูปที่ 6.3.37 sim ใบสแตเตอร์ 18 ใบ.....	60
รูปที่ 7.1 เครื่อง Makerbot ที่ใช้ในการทำขึ้นรูปสามมิติ.....	61
รูปที่ 7.2 ส่วนกัณฑ์.....	61
รูปที่ 7.3 ส่วนฐานรองรับ.....	62
รูปที่ 7.4 ส่วนฝาครอบกัณฑ์.....	62
รูปที่ 7.5 ส่วนสแตเตอร์.....	63
รูปที่ 7.6 ขนาดจริงของโรเตอร์ก่อนทำการย่อสัดส่วนขนาด.....	63
รูปที่ 7.7 ขนาดโรเตอร์หลังทำการย่อสัดส่วนขนาดลง 50%.....	64
รูปที่ 7.8 ขนาดจริงของสแตเตอร์ก่อนทำการย่อสัดส่วนขนาด.....	64

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่ 7.9 ขนาดสเตเตอร์หลังทำการย่อสัดส่วนขนาดลง 50%.....	64
รูปที่ 7.10 ส่วนของกังหันประกอบกับส่วนของฐานรองรับและสเตเตอร์.....	65
รูปที่ 7.11 ส่วนของกังหันประกอบกับส่วนของฐานรองรับและสเตเตอร์.....	65
รูปที่ 8.1 ขนาดของกังหันที่ออกแบบได้.....	67
รูปที่ 8.2 รูปทรงของกังหันที่ได้จากการออกแบบ.....	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันมนุษย์เราได้มีการประดิษฐ์คิดค้นสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆมากมาย เราได้ใช้วิทยาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์มาประยุกต์สร้างเครื่องยนต์ เครื่องจักรต่างๆเพื่อใช้ทุนแรง ใช้เป็นยานพาหนะ ใช้เป็นเครื่องยนต์เพื่อขับเคลื่อนยานพาหนะด้วย เครื่องยนต์ชนิดหนึ่งที่มีบทบาทอย่างมากในการใช้เป็นตัวขับเคลื่อนยานพาหนะให้เคลื่อนที่ไปนั่นก็คือเครื่องยนต์กังหันแก๊ส (Gas Turbine) นั่นเอง

เครื่องยนต์กังหันแก๊สผลิตขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1914 จากการประยุกต์หลักการของกังหันไอน้ำ (Steam turbine) หลังจากศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา กังหันแก๊สได้เป็นที่สนใจในการนำมาใช้เป็นเครื่องยนต์ขับเคลื่อนเครื่องจักร มีการศึกษาหลักการงานและพัฒนากันอย่างแพร่หลาย [1]

การทำงานของเครื่องกังหันแก๊สคล้ายกับกังหันไอน้ำโดยกังหันไอน้ำจะใช้พลังงาน จากไอน้ำเป็นตัวขับเคลื่อนแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานกลขณะที่ไอน้ำวิ่งผ่านใบพัดพร้อมกับขยายตัวเป็นช่วง ๆ จนเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) ส่วนกังหันแก๊สนั้น ตัวที่ขับเคลื่อนจะเป็นแก๊สร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ แล้วส่งเข้าตัวกังหัน จะทำให้เกิดการขยายตัวของแก๊สแล้วเกิดพลังงานกลขับเคลื่อนกังหัน [2] ส่วนพลังงานความร้อนที่เหลือจากไอเสียที่ออกมาจากกังหันจะถูกนำเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(heat recovery) เพื่ออุ่นอากาศที่ออกมาจากเครื่องอัด(compressor) ก่อนที่จะเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์มากขึ้น ปัจจุบันนี้กังหันแก๊สถูกใช้อย่างกว้างขวางในการนำมาขับเคลื่อนเครื่องบิน เรือดำน้ำ รวมถึงการนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วย จะเห็นได้ว่ากังหันแก๊สเป็นที่นิยมใช้กันมากจึงได้มีหลักการออกแบบกังหันแก๊สเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันแก๊สให้ดีขึ้นให้สอดคล้องกับการใช้งานในแต่ละกรณี

ปัจจุบันนี้พลังงานจากชีวมวล (Bio mass) ได้ นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้นทั้งเป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ หรือเครื่องยนต์ต่างๆ เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นพลังงานที่มีราคาถูก หาได้ง่าย จึงนำมาใช้กับเครื่องยนต์ต่างๆ รวมทั้งกังหันแก๊สด้วย ดังนั้นทำให้มีแนวคิดที่จะสร้างเครื่องยนต์ที่ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมนั่นคือ กังหันแก๊สที่สามารถใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยมีแก๊สชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังมีแนวคิดพัฒนาเครื่องยนต์กังหันแก๊สให้มีขนาดเล็กลงเพื่อสะดวกในการใช้งาน เคลื่อนย้าย หรือใช้ในพื้นที่จำกัด รวมทั้งให้รองรับกับเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อการประหยัดพลังงาน [5]

แนวคิดของโครงการนี้ได้ศึกษารูปแบบของกังหัน Capstone [6] กับกังหัน Saturn [7] ที่มีการไหลของอากาศเข้าในแนวรัศมี ไหลออกในแนวแกน (Radial Turbine) [3] จะมีข้อจำกัดในเรื่องของการถ่ายเทพลังงานและอัตราการไหลที่ผ่าน Radial Turbine ต่ำ เนื่องจากการออกแบบนั้นเราต้องการที่จะให้พลังงานความร้อนของแก๊สที่ออกมาจากห้องเผาไหม้มาขับใบพัดเพื่อให้ได้ความเร็วรอบที่ต้องการ กังหันชนิดที่กล่าวมาข้างต้นจึงไม่เหมาะในการนำมาใช้เป็น Micro Turbine (กังหันขนาดเล็ก) จึงได้ศึกษารูปทรงแบบ Axial Turbine [1] แต่พบว่าทิศทางของไอเสียที่ออกมาตามแนวแกนไม่เหมาะสมในการทำให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat recovery) [2] ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงมีรัศมีเพลายาว ขนาดในแนวแกนกว้าง

นอกจากนี้เนื่องจากเพลายาวจึงมีปัญหาในเรื่องของความไม่สมดุล จึงเป็นที่มาของการออกแบบใบกังหัน เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานโดยแบบกังหันจะยึดหลักการคล้ายกับเครื่องยนต์ Turbo Prop [2] นั่นคือพลังงานส่วนใหญ่ที่ได้จะไม่เน้นในการสร้างแรงขับเคลื่อนแต่จะเน้นในการนำพลังงานที่ได้ไปหมุนแกนเพลลาเพื่อขับเคลื่อนเทอร์โบเรเตอร์กำเนิดกระแสไฟฟ้า ส่วนแบบของกังหันจะใช้แบบกังหันแนวรัศมี (radial type) เนื่องจากมีค่าอัตราการไหลที่ใช้ในการผลิตกำลังงานต่ำกว่าถ้าเทียบกับกังหันในแนวแกน (axial type) ที่เท่ากันและให้ค่าอัตราส่วนความดันที่สูงกว่าเป็นหลัก รวมถึงแกนเพลลาที่ไม่ยาวและมีขนาดตามแนวแกนไม่กว้างมากซึ่งจะส่งผลต่อเสถียรภาพที่ดีจึงเหมาะสมสำหรับใช้เป็นแบบของกังหันแก๊สขนาดเล็กในโครงการนี้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบส่วนของกังหันให้สอดคล้องกับเงื่อนไขของตัวแปรพารามิเตอร์คือ อุณหภูมิขาเข้า, เส้นผ่านศูนย์กลางของกังหันที่ไม่เกิน 50 ซม. และเพลลา 4 ซม. โดยการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปร เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์, จำนวนใบพัดของกังหัน, ความสูงของกังหัน เป็นต้น เพื่อการออกแบบให้ได้กำลังงานและค่าประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกที่มากขึ้น
2. เพื่อสร้างโมเดลสามมิติของกังหัน ที่ได้ทำการออกแบบเพื่อเป็นต้นแบบในการสร้างกังหันแก๊สขนาดเล็ก
3. เพื่อให้สามารถทราบแนวคิดในการออกแบบกังหันในการดึงพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวล

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้จะเกี่ยวข้องกับการศึกษาออกแบบส่วนของกังหันสำหรับเครื่องยนต์กังหันแก๊สที่มีขนาดเล็ก โดยทำการศึกษากังหันทั้ง 2 ชนิดคือ Axial turbine และ Radial turbine ออกแบบกังหันแล้วนำไปทำการ Simulation ในโปรแกรม ANSYS ทั้งนี้เพื่อศึกษาอัตราการไหลของมวล, ความดัน, ความเร็ว, อุณหภูมิ และความหนาแน่น โดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรพารามิเตอร์ต่างๆที่จะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังงานและค่าประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก เช่น รวมทั้งการสร้างโมเดลสามมิติเพื่อเป็นต้นแบบ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. จากการได้ออกแบบได้ทราบว่าอัตราส่วนความมีค่าน้อยและพบว่าไม่สามารถผลิตงานตามเงื่อนไขที่กำหนดเอาไว้ จากการศึกษาพบว่าปัญหาเกิดขึ้นเนื่องจากความดันสแตกเนชั่นที่จุดทางออกมีค่ามาก พลังงานที่เกิดจากการขยายตัวของแก๊สไม่มากพอที่จะให้เกิดแรงขับดันในตัวกังหัน และอัตราการไหลของตัวใบพัดนั้นมีค่าต่ำ ทำให้ปริมาตรในตัวใบพัดมีช่องว่างก่อให้เกิดการไหลวน (recirculation) ทั้งนี้เราจึงจำเป็นต้องลดความหนาของใบพัดลงเพื่อลดปัญหาดังกล่าว แต่นั่นก็ทำให้พื้นที่อากาศสัมผัสกับตัวใบลดลงเช่นกัน ทำให้การส่งถ่ายแรงจากอากาศลดลงตามไปด้วย
2. ได้แบบของกังหันสำหรับกังหันแก๊สขนาดเล็กเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการสร้างเพื่อใช้งานได้จริงในอนาคต ซึ่งแบบของกังหันนี้มีประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก 92% และให้กำลัง 76 กิโลวัตต์
3. ได้แนวคิดในการออกแบบกังหันในการดึงพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวล
4. ได้ทราบถึงตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกและกำลังงานของกังหัน

5. ได้เรียนรู้การใช้โปรแกรม ANSYS ในการ Simulation เพื่อการศึกษาประสิทธิภาพของกังหันแก๊ส ได้เรียนรู้โปรแกรม Blade gen,Solid work,UG ในการออกแบบรวมถึงได้เรียนรู้กระบวนการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ ในการสร้างโมเดล

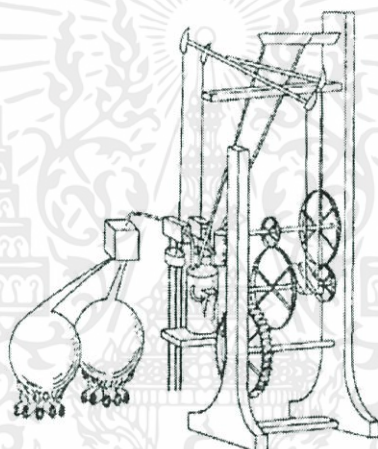


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติของกังหันแก๊ส

2.1 ประวัติและความเป็นมาของกังหันแก๊ส

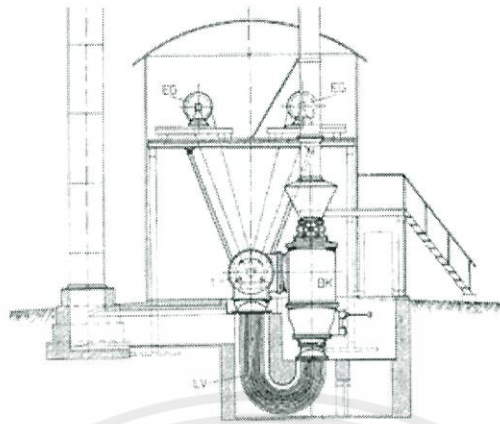
กังหันแก๊สมีวิวัฒนาการมาจากกังหันไอน้ำ โดยกังหันแก๊สทำงานโดยอาศัยการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงให้เป็นไปเป็นรูปของกำลังงานที่มีประโยชน์ กังหันแก๊สเบื้องต้นประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์ ห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) และกังหัน (Turbine) ได้เริ่มพัฒนาอย่างจริงจังเมื่อปี 1791 โดย John Barber ซึ่งได้รับการจดสิทธิบัตรเป็นครั้งแรก แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์แน่ชัดว่ากังหันของ Barber ทำงานได้จริงหรือไม่ ส่วนลิขสิทธิ์กังหันแก๊สอันแรกของอเมริกาคือของ Charles G. Curtis ในปี 1895



รูปที่ 2.1 กังหันแก๊สของ Barber

ต่อมาการพัฒนาที่สำคัญเมื่อ Stolze ได้ผลิตกังหันแก๊สโดยการออกแบบประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์ไหลตามแกนแบบหลายชั้น (Multi-stage axial flow compressor) และกังหันปฏิกิริยาแบบหลายชั้นบนเพลลาเดียวกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และห้องเผาไหม้ กังหันแก๊สของ Stolze เป็นกังหันแก๊สเครื่องแรก que ทำงานได้จริงๆ ในปี 1904 แต่ได้ประสิทธิภาพต่ำมาก คือได้เพียง 3 % เท่านั้น แต่การพัฒนาของ Stolze ถือเป็นรากฐานของการพัฒนากังหันแก๊สในยุคต่อไป

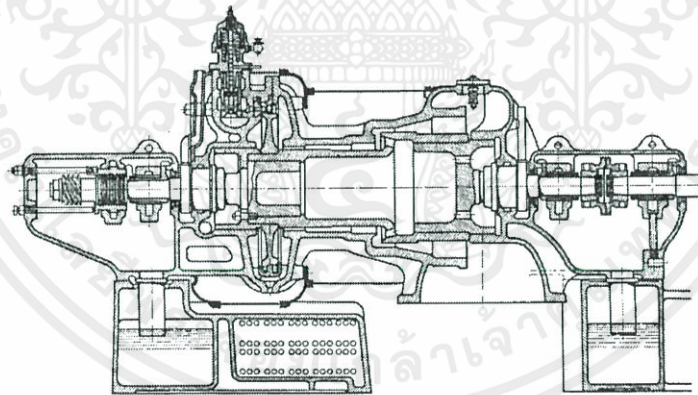
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กังหันแก๊สของ Stolze

2.2 การพัฒนาในช่วงปี 1930-1940

ในช่วงนี้มีการผลิตกังหันแก๊สเพื่อใช้เป็นต้นกำลังครั้งแรก โดย Brown Boveri ซึ่งยังขยายไปถึงการนำไปใช้ขับเคลื่อนเครื่องบินโดยรัฐบาลอังกฤษและรัฐบาลเยอรมัน รวมถึงนำกังหันแก๊สมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นครั้งแรก สังเกตได้ว่ากังหันแก๊สของ Boveri มีเพลลาที่มีลักษณะกลวงเพื่อลดมวลและใช้ Journal Bearing ซึ่งแนวคิดนี้จะนำไปใช้ได้ในการออกแบบในโครงการปริญญานิพนธ์นี้

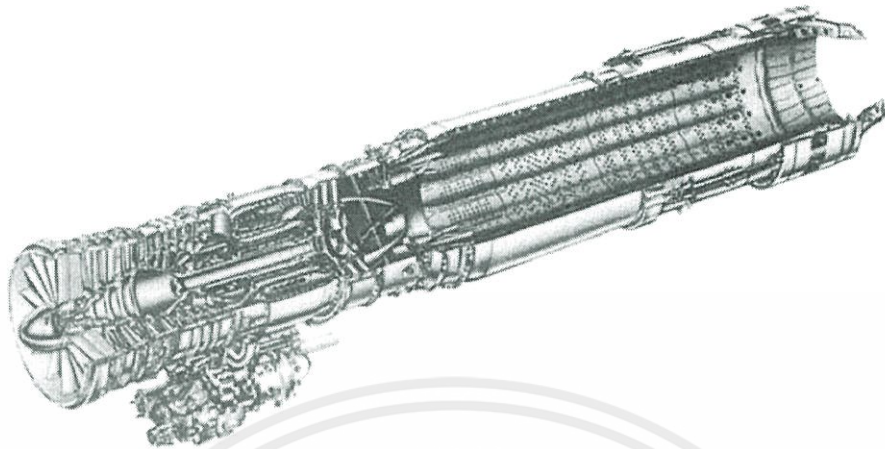


รูปที่ 2.3 กังหันแก๊สของ Boveri

2.3 การพัฒนาในช่วงปี 1940-1945

ในช่วงนี้มีการสร้างและพัฒนาเครื่องยนต์ turbojet ที่ใช้การอัดอากาศแบบ axial-flow โดยเครื่องยนต์ turbojet ได้ถูกนำมาใช้ในอากาศยานเพื่อการพาณิชย์อย่างเต็มรูปแบบ

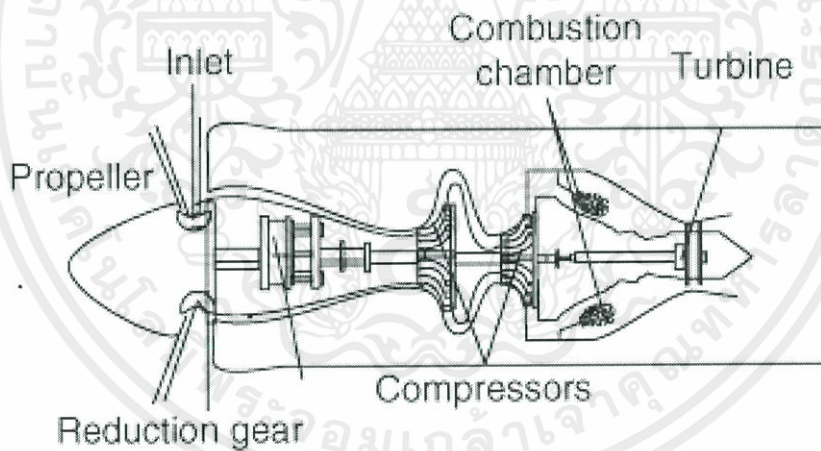
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ภาพเครื่องยนต์ Turbojet

2.4 การพัฒนาในช่วงปี 1945-1960

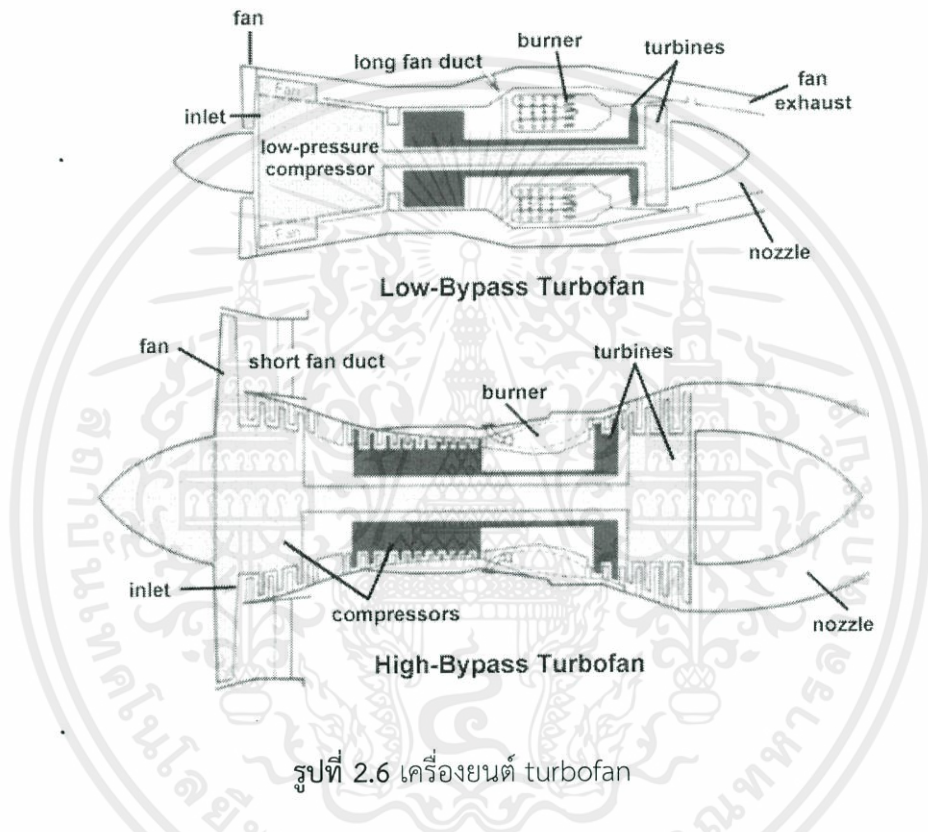
ในช่วงนี้บริษัทต่างๆจำนวนมากได้ให้ความสนใจในการผลิตกังหันแก๊สและไอน้ำเพื่อการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มีการวิจัย ออกแบบ และพัฒนาเกิดขึ้นมากมาย ที่สำคัญคือการเกิดของเครื่องยนต์ turboprop เนื่องจากต้องการพัฒนาให้แรงขับที่สูงในขณะที่ความเร็วต่ำโดยการเพิ่มอัตราเร่งของมวลอากาศ



รูปที่ 2.5 เครื่องยนต์ Turboprop

ต่อมาในปี 1960 มีการพัฒนาประสิทธิภาพของกังหันแก๊สโดยเพิ่มคุณภาพของเครื่องสำหรับการใช้งานได้ทนนาน เนื่องจากอุณหภูมิตรงทางเข้าของกังหันแก๊สนั้นสูงมากจึงมีการปรับปรุงเทคนิคการหล่อเย็นใน turbine จึงเป็นการกำเนิดของเครื่องยนต์ turbofan ขึ้น turbofan แตกต่างจาก turbojet คือ กังหันขนาดใหญ่ (fan) ซึ่งเช่นเดียวกับชุดอัดอากาศ (compressor) คือได้รับกำลังขับเคลื่อนจากชุดกังหันกังหันส่วนท้าย (turbine) ออกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการไหลของอากาศเมื่อเข้าสู่ตัวเครื่องยนต์ จะมีอากาศบางส่วนที่ไม่ไหลผ่าน (bypass) ชุด แก๊สเจเนอเรเตอร์ (compressor, combustor, turbine) แต่จะไหลผ่านช่องทางที่แยกต่างหาก ข้ามชุด แก๊สเจเนอเรเตอร์ไป เข้าสู่หัวฉีด (nozzle) อากาศที่ bypass มา นี้จะมีความเร็วที่ต่ำกว่า แต่มีมวลมากกว่า อากาศที่ไหลผ่านชุดเจเนอเรเตอร์ เนื่องจากมวลที่มากกว่านี้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมที่มากขึ้น ทำให้เกิดแรงขับ (thrust) ที่มากขึ้น ทำให้เครื่องยนต์แบบ turbofan มีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องยนต์แบบ turbojet

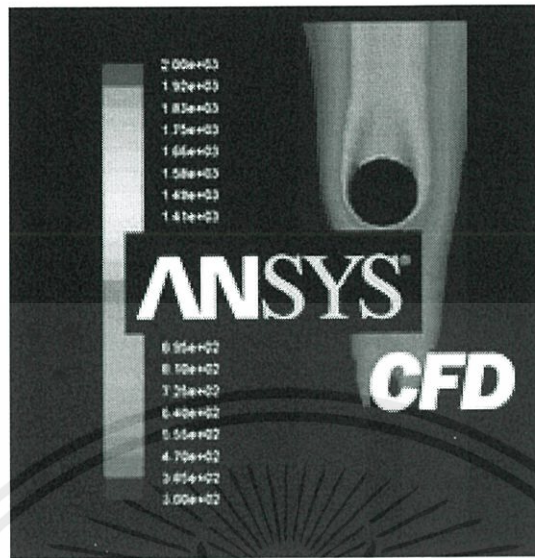


รูปที่ 2.6 เครื่องยนต์ turbofan

2.5 การพัฒนาตั้งแต่ปี 1970-ปัจจุบัน

เครื่องยนต์กังหันแก๊สได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นยานพาหนะ เช่น เครื่องบิน, รถยนต์ ในโรงงานอุตสาหกรรมและการผลิตกระแสไฟฟ้า การพัฒนาที่เกิดขึ้นจะเป็นการพัฒนาเพื่อลดต้นทุนของการผลิต ลดการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง รวมถึงราคาที่เหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับการประหยัดทรัพยากร รวมถึงการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น เช่น การสร้าง Microturbine หรือกังหันแก๊สขนาดเล็ก รวมทั้งการมีสามารถผลิตกังหันแก๊สให้สามารถใช้แก๊สชีวมวล เป็นต้น และได้มีการพัฒนาเครื่องมือในการคำนวณออกแบบ รวมถึงวิธีการทางด้านเทคนิค Computational Fluid Dynamic (CFD) ทำให้การออกแบบมีความแม่นยำมากขึ้น มีการคิดค้นโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับ CFD ขึ้นเช่น โปรแกรม ANSYS เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โปรแกรม ANSYS ในการ CFD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

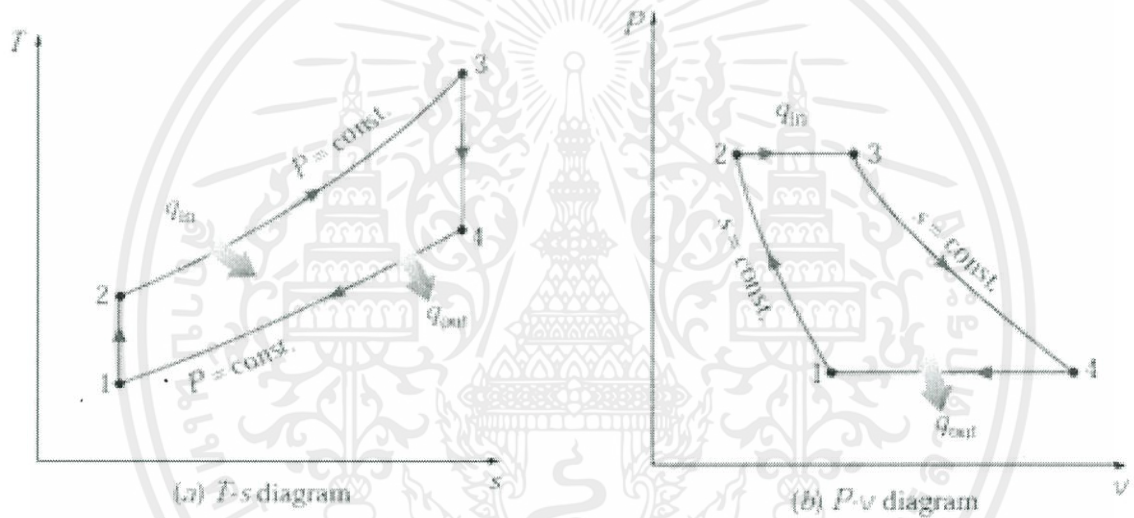
บทที่ 3 ทฤษฎีกังหันแก๊สเบื้องต้น

ทฤษฎีทางกังหันแก๊สที่เรานำมาใช้ในการคำนวณได้แก่

3.1 เบรตันไซเคิล (Brayton cycle)

เป็นวัฏจักรพื้นฐานที่ใช้แก๊สร้อน เช่น วัฏจักรกังหันแก๊ส เป็นต้น

3.1.1 แผนภาพ P-v diagram และ T-s diagram ของ Brayton cycle



รูปที่ 3.1 แผนภาพ P-v diagram และ T-s diagram

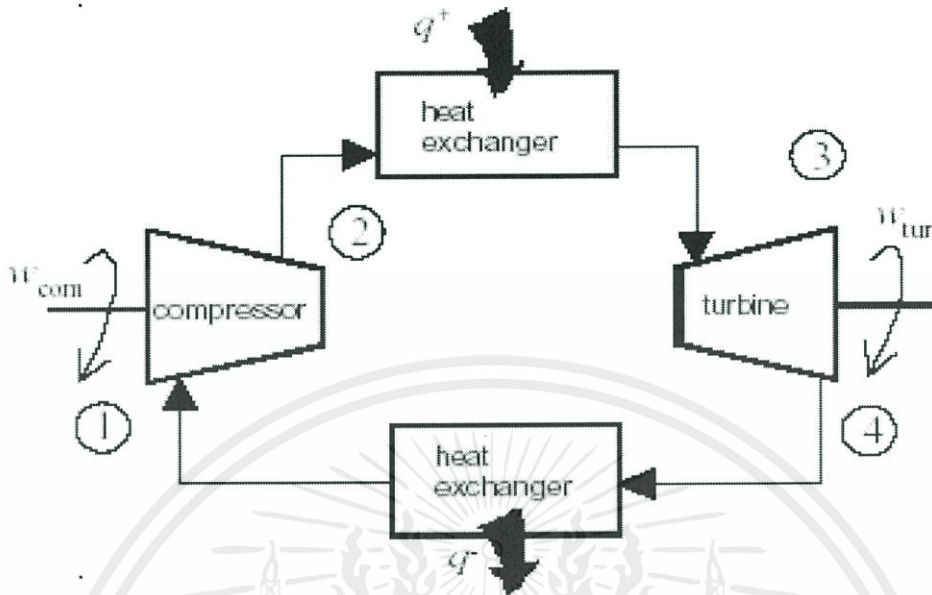
กระบวนการที่ 1-2 Isentropic compression in the compressor.

กระบวนการที่ 2-3 Heat Addition at a constant pressure.

กระบวนการที่ 3-4 Isentropic expansion in a turbine.

กระบวนการที่ 4-1 Heat Rejection at a constant pressure.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนภาพ วัฏจักรของกระบวนการที่ 1-4

จากกระบวนการเหล่านี้ กระบวนการที่เรานำมาใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับกังหันก็คือ กระบวนการที่ 3 นั่นเอง
เราจะหางานได้จากสูตร

$$W = mc\Delta T \tag{3.1}$$

W = งาน (J)

C = ค่าความจุความร้อนจำเพาะ $\left(\frac{kJ}{kg \cdot K} \right)$

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิ (K)

สำหรับงานและความร้อนที่เกี่ยวข้องกับ Brayton cycle จะสามารถหาได้ดังนี้

3.1.2 งาน

$$\dot{W}_{compressor} = \dot{m}(h_1 - h_2) \tag{3.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาค \dot{m} งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่า $\dot{W}_{compressor}$ = กำลังงานของคอมเพรสเซอร์ (kW) และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{m} = \text{อัตราการไหลของมวล} \left(\frac{kg}{s} \right)$$

$$(h_1 - h_2) = \text{ผลต่างของเอนทัลปีระหว่างสภาวะที่ 1 และสภาวะที่ 2} \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

$$h = \text{เอนทัลปี} \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

$$\frac{\dot{W}_{turbine}}{\dot{m}} = (h_3 - h_4) \quad (3.3)$$

$$\dot{W}_{turbine} = \text{กำลังงานของกังหัน} (kW)$$

$$(h_3 - h_4) = \text{ผลต่างของเอนทัลปีระหว่างสภาวะที่ 3 และสภาวะที่ 4} \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

3.1.3 การถ่ายเทความร้อน

$$\frac{\dot{Q}_m}{\dot{m}} = (h_3 - h_2) \quad (3.4)$$

$$\frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} = (h_4 - h_1) \quad (3.5)$$

$$\dot{Q}_m = \text{อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ระบบ} (kW)$$

$$(h_3 - h_2) = \text{ผลต่างของเอนทัลปีระหว่างสภาวะที่ 3 และสภาวะที่ 2} \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

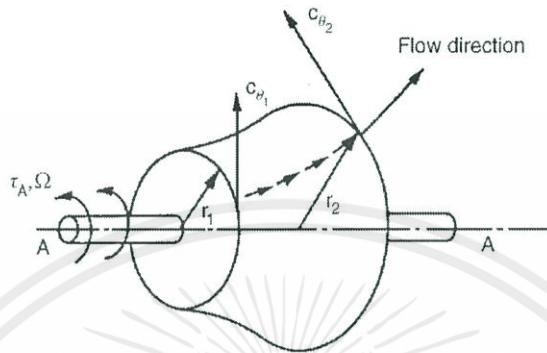
3.1.4 ประสิทธิภาพทางความร้อน

$$\eta = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2} \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สมการออยเลอร์ (The Euler Work Equation)

เป็นสมการพลังงานที่แสดงถึงการถ่ายเทของโมเมนตัม กำลังงานและงานจำเพาะของเพลลา (specific shaft work)



รูปที่ 3.3 Control volume สำหรับลักษณะทั่วไปของ Turbo machine

จากรูปที่ 3.3 ค่า r คือระยะทางจากจุดกึ่งกลางวงกลมลากขึ้นไปตั้งฉากกับเส้นรอบวง ค่า c_{θ} คือความเร็วในแนวที่ตั้งฉากกับทั้งแนวแกนและ radius vector (r) สำหรับกังหันแล้วเราจะหาค่าความสัมพันธ์ในรูปของงานจำเพาะได้จากสมการ

$$\Delta W_t = \frac{\dot{W}_t}{\dot{m}} = U_1 c_{\theta 1} - U_2 c_{\theta 2} > 0 \quad (3.7)$$

ΔW_t = การเปลี่ยนแปลงงานของกังหัน $\left(\frac{kJ}{kg} \right)$

U_1 = ความเร็วของใบพัดที่จุดอ้างอิงที่ 1 $\left(\frac{rad \cdot m}{s} \right)$

U_2 = ความเร็วของใบพัดที่จุดอ้างอิงที่ 2 $\left(\frac{rad \cdot m}{s} \right)$

สมการนี้เรียกว่า Euler's turbine equation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ประสิทธิภาพของกังหัน (Turbine efficiency)

3.3.1 ประสิทธิภาพของกังหัน (Turbine efficiency)

$$\eta_{turbine} = \frac{\text{พลังงานกล (หรือกำลังเชิงกล) ที่ได้}}{\text{พลังงานกล (หรือกำลังเชิงกล) ที่ลดลงของของไหล}} = \frac{\dot{W}_{shaft,out}}{|\Delta \dot{E}_{mech,fluid}|} \quad (3.8)$$

โดยที่ $|\Delta \dot{E}_{mech,fluid}| = \dot{E}_{mech,in} - \dot{E}_{mech,out}$ คือ อัตราการลดลงของพลังงานกลของของไหล

3.3.2 ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกของกังหัน η_t (isentropic efficiency)

$$\eta_T = \frac{w_a}{w_s} \quad (3.9)$$

โดยที่ $w_a =$ งานจริงที่ได้จากกังหัน $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

$w_s =$ งานไอเซนโทรปิกที่ได้จากกังหัน $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ Axial Turbine

เราได้ศึกษากังหันประเภทนี้ในตอนที่ 1 ที่เรียกว่าเป็น Axial Turbine หรือกังหันแก๊สที่มีความดันแก๊สไหลตามแนวแกนจะมีลักษณะของตัวกลางที่ไหลผ่านจะไหลเข้าแนวแกนและออกในแนวแกน ซึ่งทำให้กังหันมีอัตราการไหล (mass flow rate) ค่อนข้างสูง ความเร็วของตัวกลางที่ไหลตรงทางออกก็สูงตามไปด้วย ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากลักษณะรูปร่างของใบพัดมีลักษณะของช่องทางการไหลที่สะดวกในการเคลื่อนที่ (blade to blade passage) และมีความสามารถในการแปลงพลังงานความร้อนที่อยู่ในรูปของพลังงานจลน์ค่าทำให้กังหันที่เป็นแบบ axial มีหลายเสตจในการออกแบบเพื่อที่จะสกัดพลังความร้อนให้เป็นพลังงานที่ใช้ในการหมุนใบพัดให้มากที่สุด



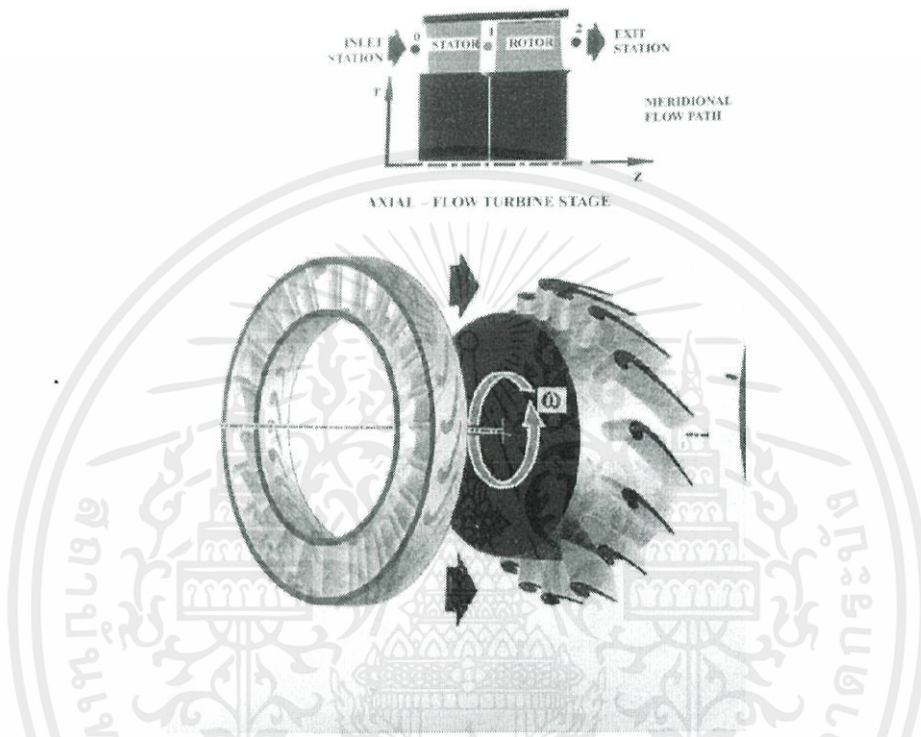
รูปที่ 4.1 Axial Turbine

ในการออกแบบและคำนวณมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 Meridional flow path

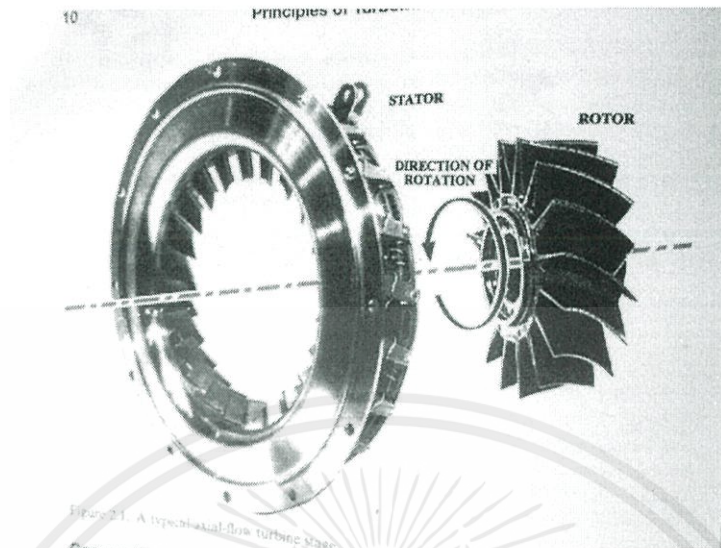
คือใช้พิกัดทรงกระบอกเพื่อสังเกตมุมที่ฉายเข้าไปทางด้านข้าง เขียนอยู่ในรูปของแกน z-r จากรูปด้านล่าง เป็นการใช้ระบุมิติทางของการไหล รวมถึงกำหนดแนวแกนของการไหล



รูปที่ 4.2 ช่องทางการไหลข้างในตัวกังหันที่ขนานกับแกนของการหมุนแกน Z (z-axis)

ในตัวของกังหันแบบแนวแกน โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยส่วนที่อยู่หนึ่ง “vane” เรียกอีกอย่างว่า สเตเตอร์และส่วนที่หมุนก็คือ โรเตอร์ตามรูปที่ 4.3 ตัวกลาง(อากาศ) ไหลผ่านในตัวสเตเตอร์ก่อนเข้าตัวโรเตอร์ พิจารณาว่าไม่มีงานใดๆมากระทำพลังงานที่อยู่ในรูปของพลังงานความร้อนจากห้องเผาไหม้ที่ประกอบไปด้วย พลังงานจลน์จากการไหลและพลังงานความร้อน(เอนทัลปี) จึงมีค่าคงที่ ทั้งนี้ใบพัดสเตเตอร์ควรออกแบบช่องทางการไหล (vane to vane passage) ให้ลู่เข้าเพื่อเพิ่มพลังงานจลน์ในการปะทะตัวโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงส่วนของสเตเตอร์และโรเตอร์

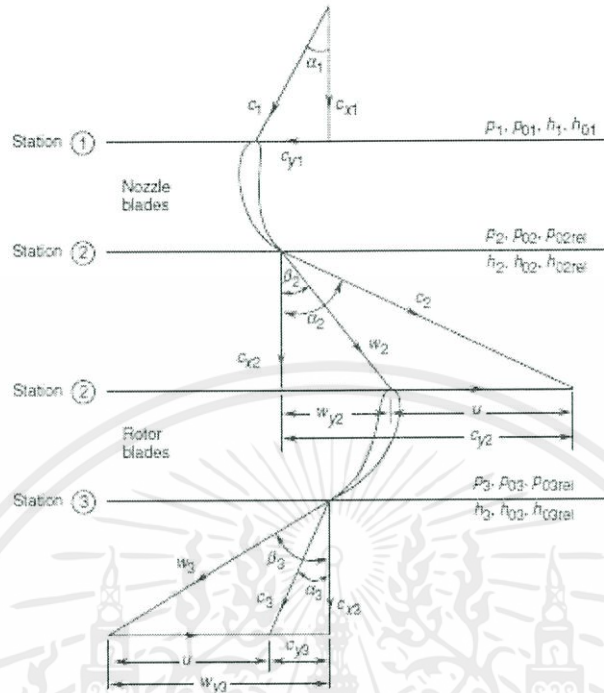
4.2 แผนภูมิความเร็ว (Velocity diagram)

เราใช้แผนภูมิความเร็วเพื่อการคำนวณหาความเร็วต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกังหัน ทิศทางของเวกเตอร์ความเร็วที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะการไหลที่ผ่านตัวใบพัด เป็นผลรวมของความเร็วสัมพัทธ์เทียบกับความเร็วใบพัดกับความเร็วใบพัดจะได้ความเร็วสมบูรณ์ หรือสามารถเขียนได้

$$\vec{C} = \vec{W} + \vec{U}$$

(4.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แผนภูมิความเร็วของแต่ละสเตจที่ประกอบไปด้วย 1 สเตเตอร์และ 1 โรเตอร์

โดย

\vec{C} = ความเร็วสัมบูรณ์ที่ออกมาจากใบพัด $\left(\frac{m}{s}\right)$

\vec{W} = ความเร็วสัมพัทธ์เทียบกับความเร็วใบพัด $\left(\frac{m}{s}\right)$

\vec{U} = ความเร็วใบพัด เขียนในรูปผลคูณของความเร็วรอบกับรัศมี = $2\pi rN$

N = ความเร็วรอบ (rpm)

r = รัศมี (m)

α_1 = มุมทางเข้านอสเซลล์ (°)

α_2 = มุมทางออกนอสเซลล์ (°)

β_2 = มุมการไหลสัมพัทธ์ทางเข้าโรเตอร์ (°)

β_3 = มุมการไหลสัมพัทธ์ทางออกโรเตอร์ (°)

*ข้อสังเกต

1. $C_2 > C_1$ ความเร็วที่ไหลออกจากรนอสเซลล์ย่อมมากกว่าความเร็วไหลเข้า

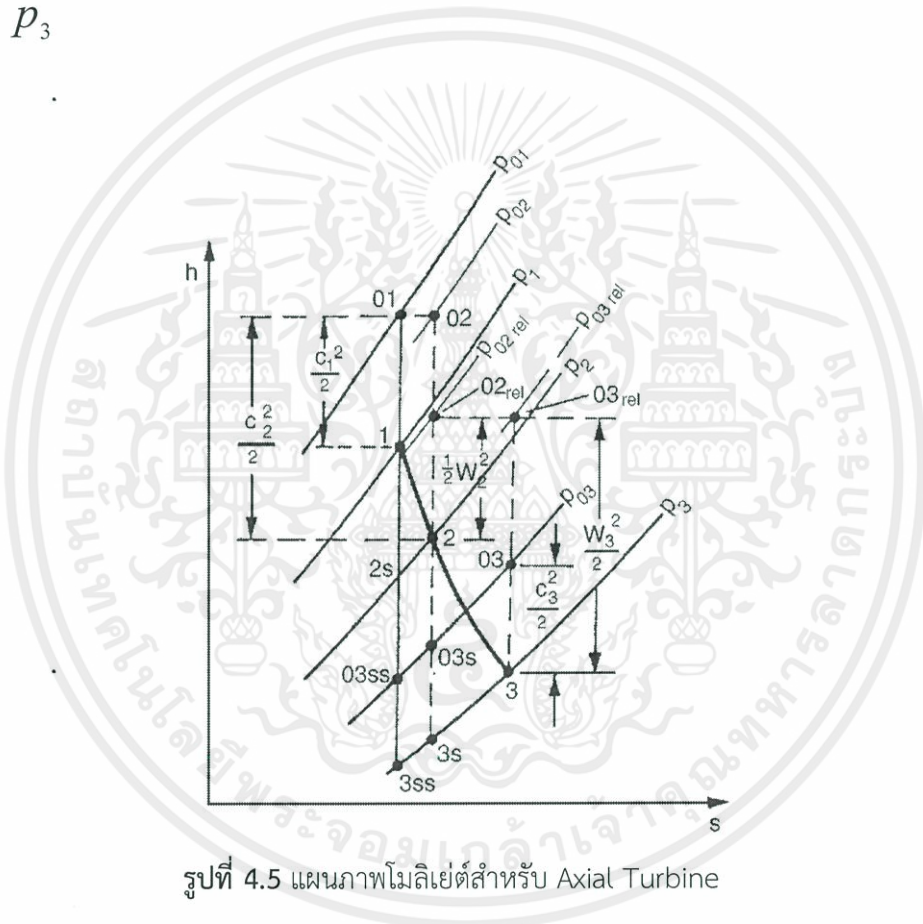
2. $W_3 > W_2$ ช่องทางการไหลในโรเตอร์มีลักษณะลู่เข้าหรือประพุดิตัวเป็นแบบนอสเซลล์

3. ทิศทางและขนาดของเวกเตอร์ความเร็วสัมพัทธ์ให้พิจารณาตัวใบโรเตอร์เป็นหลักเพราะมีผลโดยตรงอย่างยิ่ง ทั้งช่องทางการไหล (blade to blade) ลักษณะรูปร่างของใบพัดการบิดโค้งงอ (blade metal angle) เป็นต้น

4. ความเร็วสัมพัทธ์เป็นตัวแปรสำคัญในการพิจารณาลักษณะทางกายภาพต่างๆที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ เช่น boundary layers ความเร็วอาจจะเท่ากับความเร็วเสียงที่ช่องทางการไหลบริเวณคอขวด (choking area)

4.3 แผนภาพโมลิเยต์ (Mollier diagram)

แผนภาพโมลิเยต์ แสดงให้เห็น การเปลี่ยนแปลงสถานะภายในสเตจของกังหันรวมถึงผลจากกระบวนการย้อนกลับไม่ได้ จากรูปที่ 4.3 ตลอดบริเวณของนอสเซลล์ จะมีการเปลี่ยนสถานะจากจุดสถานะที่ 1 ไป 2 และความดันสถิตจะลดลงจาก P_1 ไปเป็น P_2 ในบริเวณโรเตอร์ความเสียดทานสัมบูรณ์จะลดลงจาก P_2 ไปเป็น P_3



รูปที่ 4.5 แผนภาพโมลิเยต์สำหรับ Axial Turbine

1. พิจารณาที่เส้นโค้งกราฟ 1-2 ตัดเส้นโค้งความดันที่ P_1 และ P_2 ขยายตัวผ่านสเตจซึ่งถ้าโยงเส้นขึ้นไปในแต่ละสเตจขนานกับแกน T (เอนโทรปีคงที่) จะเป็นจุดที่เรียกว่า คุณสมบัติรวม (total properties) หรือรวมของพจน์พลังงานจลน์แล้วนั่นเอง สังเกตเห็นว่า total temperature มีค่าคงที่เนื่องจากสมมติให้ไม่มีงานถ่ายเทพลังงานความร้อนจากภายนอก (อะเดียบาติก) แต่ความดันรวมมีค่าลดลงเนื่องจากการเสียดสีของการไหลภายใน

2. พิจารณาเส้นกราฟ 2-3 ตัดเส้นโค้งความดันที่ P_2 และ P_3 ขยายตัวผ่านโรเตอร์ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วน นั่นคือการคำนวณคุณสมบัติรวมของเวกเตอร์ความเร็วสัมพัทธ์ (relative total properties) และคุณสมบัติรวมของ

ความเร็วสมบูรณ์ (total properties) เมื่อวิเคราะห์เส้นกราฟของแต่ละส่วนจะพบว่า total relative temperature มีค่าคงที่เนื่องจากการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากภายนอกเมื่อเทียบกับใบพัด ส่วน total relative pressure ลดลงเนื่องจากการเสียดสีภายในการไหล

4.4 ตัวแปรพารามิเตอร์ในการออกแบบกังหัน (Turbine Stage Design Parameters)

4.4.1 Design Flow Coefficient (ϕ) คือสัดส่วนของ meridional flow velocity กับ ความเร็วของใบกังหัน เราใช้เพื่อหาค่าความเร็วของใบกังหัน

$$\phi = \frac{c_m}{U} \quad (4.2)$$

โดย c_m = meridional flow velocity $\left(\frac{rad}{s}\right)$

U = ความเร็วของใบกังหัน $\left(\frac{m}{s}\right)$

ส่วนใน axial flow turbine จะเป็น

$$\phi = \frac{c_x}{U} \quad (4.3)$$

โดย c_x = ความเร็วในแนวแกน x $\left(\frac{m}{s}\right)$

4.4.2 Stage Reaction (R) คือสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงของ static enthalpy ในโรเตอร์ต่อการเปลี่ยนแปลงของ static enthalpy ระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์จะได้ว่า เราใช้ค่า R เพื่อคำนวณหามุมทางออกของโรเตอร์

$$R = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_1 - h_3)} \quad (4.4)$$

โดย $(h_2 - h_3)$ = การเปลี่ยนแปลงของ static enthalpy ในโรเตอร์ $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

เอกสารนี้ $(h_1 - h_3)$ = การเปลี่ยนแปลงของ static enthalpy ระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$ โดย โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 Degree of reaction

เป็นสัดส่วนของความดันสถิตที่ลดลงในโรเตอร์กับความดันสถิตที่ลดลงทั้งสเตจ (โรเตอร์รวมกับสเตเตอร์) ตัวแปรนี้มีความสำคัญในการวิเคราะห์ตัวใบพัด และสามารถเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของทิศทางการไหลที่ไหลผ่านตัวโรเตอร์ ตัวแปร reaction สามารถเขียนให้อยู่ในรูปพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันออกไปจาก

$$R = \frac{\text{Static pressure drop in rotor}}{\text{Static pressure drop in stage}} \quad (4.5)$$

$$R = \frac{\text{isentropic enthalpy change in rotor}}{\text{isentropic enthalpy change in stage}} \quad (4.6)$$

เราสามารถเขียน reaction ให้อยู่ในพจน์ของความเร็วได้ดังนี้

$$R = \frac{w_2^2 - w_1^2}{(w_2^2 - w_1^2) + (v_2^2 - v_1^2)} \quad (4.7)$$

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปของ flow coefficient และมุมสมบรูณ์ มุมสัมผัสที่ทางเข้าทางออกได้ดังนี้

$$R = \frac{\phi}{2} (\tan\beta_2 - \tan\beta_1) \quad (4.8)$$

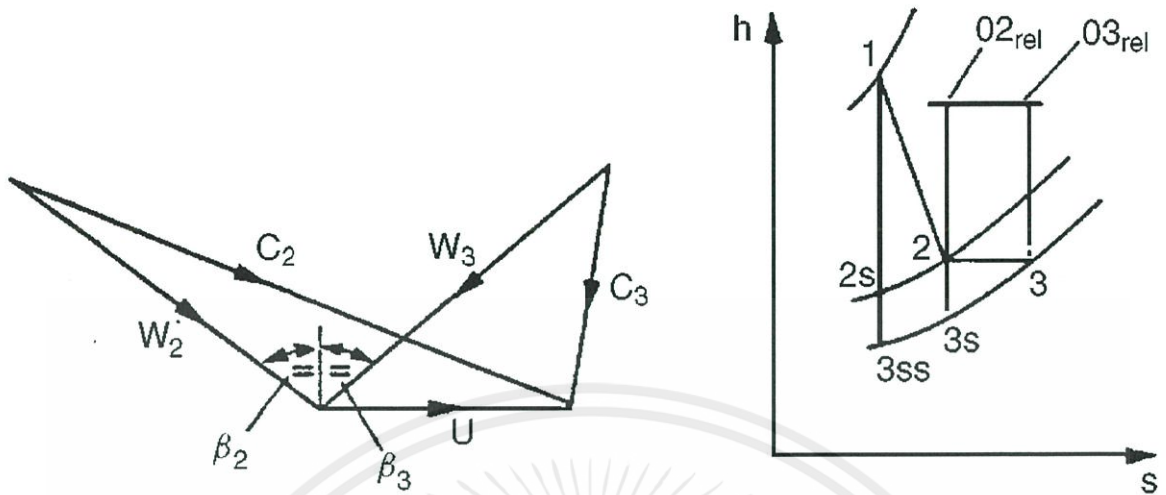
$$R = \frac{1}{2} + \frac{\phi}{2} (\tan\beta_2 - \tan\alpha_1) \quad (4.9)$$

4.5.1 0% reaction

ในกรณีของ 0% reaction ความดันหรือเอนทัลปีที่ลดลงใน rotor น้อยกว่า stator จากสมการได้ว่า

$$\alpha_1 > \beta_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 0% reaction

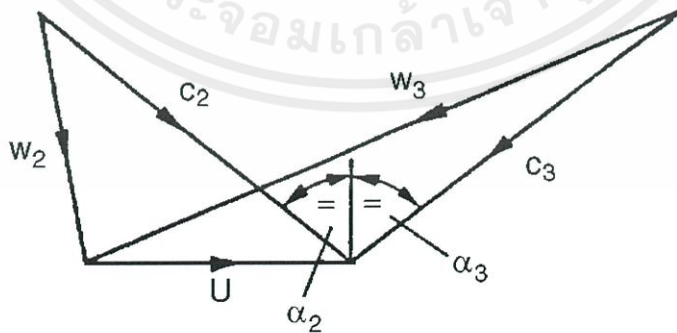
เมื่อสังเกตจากรูปพบว่าความเร็วของกระแสที่ไหลผ่านตัวใบพัดมีค่าคงที่ ($W_2=W_3$) นั่นก็เท่ากับว่า rotor มีหน้าที่เพียงอย่างเดียวคือเปลี่ยนทิศกระแสการไหลเท่านั้นเอง

4.5.2 100% reaction

ในกรณีของ 100% reaction ความดันหรือเอ็นทัลปีที่ลดลงในโรเตอร์มีค่าสูงกว่าสเตเตอร์

$$\alpha_1 < \beta_2$$

จากรูปจะเห็นว่าความเร็วที่ไหลผ่านตัวผ่านใบมีค่ามากขึ้น ($W_3 > W_2$) แต่ความเร็วสมบูรณ์ที่ทางออกเมื่อเทียบกับทางเข้ากลับมีค่ามากขึ้น นั่นก็หมายความว่าในตัวใบพัดไม่สามารถถ่ายเทพลังงานจลน์เพื่อสร้างแรงดันให้กับตัวใบได้เลย พลังงานจลน์ที่ทางออกจึงมีค่าสูง



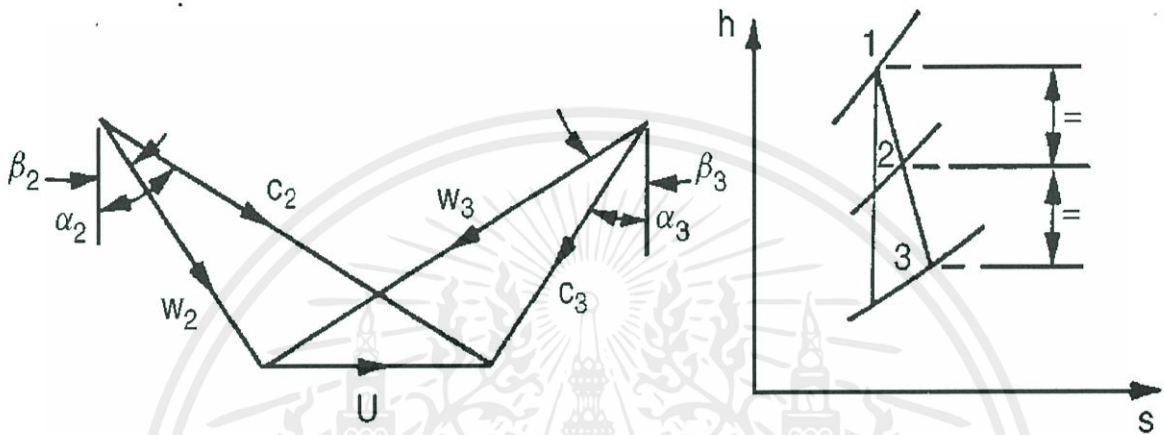
รูปที่ 4.7 100% reaction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้แบบเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 50% reaction

และสุดท้ายเป็นค่าที่นักออกแบบมักจะเลือกใช้ นั่นก็คือกรณีของ 50 % reaction ที่ความดันหรือเอ็นทัลปีลดลงในตัวโรเตอร์มีค่าเท่ากับสเตเตอร์จากสมการด้านบนจะได้ว่า

$$\alpha_2 = \beta_3$$



รูปที่ 4.8 50% reaction

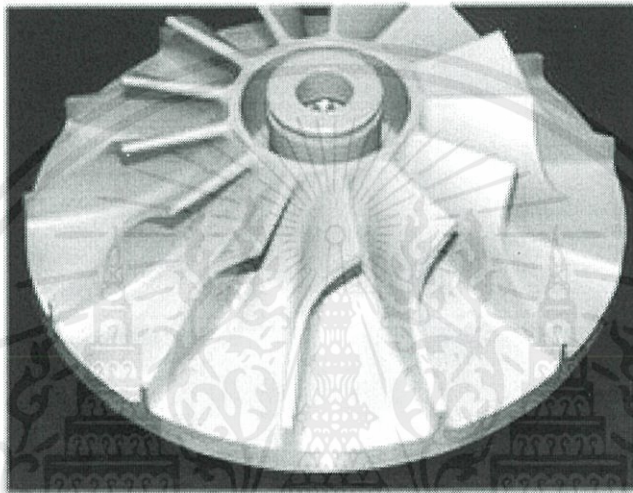
จากรูปพบว่าความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านตัวผ่านใบมีค่ามากขึ้น ($W_3 > W_2$) นั่นก็เท่ากับว่าในขณะที่กระแสการไหลมีการขยายตัวในใบพัด(สร้างงาน) ความเร็วสมบูรณ์ที่ทางออกก็ควรมีค่าลดลง สำหรับผลการออกแบบโดยใช้ Axial Turbine นั้นได้แสดงไว้ในบทที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ Radial Turbine

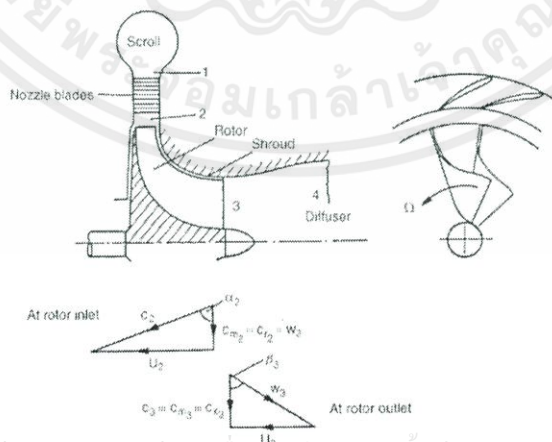
กังหันชนิดนี้จะต่างกับแบบกังหันในแนวแกนตรงที่ลักษณะที่ตัวกลางที่ไหลผ่าน (Radial Flow Gas Turbine) โดยของไหลจะไหลในแนวรัศมีของใบโรเตอร์เข้าสู่เพลานั่นก็ไหลออกในทิศแนวแกน



รูปที่ 5.1 Radial turbine

5.1 Inward-flow radial turbine (IFR)

ในกังหันชนิดนี้พลังงานจะมีการถ่ายเทจากของไหลไปสู่โรเตอร์โดยรัศมีจากใหญ่ไปเล็ก สำหรับการผลิตงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังอาจมีข้อผิดพลาดหรือการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา กรุณาตรวจสอบทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.2 แบบภาพและแผนผังความเร็วสำหรับกังหันชนิด IFR

กังหันชนิดนี้มุมใบกังหัน ที่ทางเข้าคือ 0 องศาในแกนรัศมีใบกังหันของโรเตอร์นั้นจะต้องออกแบบให้มีความแข็งแรงเพื่อรับกับแรงดันแก๊สที่ออกจากห้องเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงและความเค้นที่สูงซึ่งเกิดจากแรงเหวี่ยงการไหลให้ใบพัดมีการหมุน จากนั้นมีความเร่งของกระแสการไหลในตัวใบและออกในแนวแกนที่ไม่มีการไหลควง (swirl flow) รอบๆแกนใบแต่จะมีการไหลออกตรงๆทำมุม 0 องศา ซึ่งของไหลจะถ่ายเทกำลังงานให้กับใบพัดได้สูงสุด

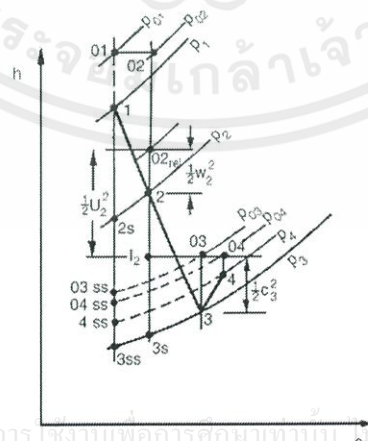
จากรูปที่ 5.2 สามเหลี่ยมความเร็วแสดงถึงทิศการไหล ให้พิจารณาที่ทางเข้าตัวใบโรเตอร์หลังจากที่ออกจากตัวสเตเตอร์แล้วประกอบไปด้วยความเร็วสัมผัส w_2 ทำมุม β_2 ที่เท่ากับ 0 องศาและความเร็วของใบพัด U_2 โดยทิศปะทะของอากาศหรือความเร็วสัมบูรณ์นั้นทำให้เกิดการหมุนของใบซึ่งทำมุม α_2 และกำหนดให้ไม่มีการเลี้ยวเบนของไหล (incidence angle = 0) จากนั้นความเร็วสัมผัสก็เพิ่มขึ้นเนื่องจากช่องการไหลที่เล็กลงที่ w_3 ทำมุมส่วนทิศกับการหมุนที่ β_3 ดังแสดงในรูปที่ทางออกของโรเตอร์ตรงจุดนี้ความเร็วสัมบูรณ์จะลดลงเป็น c_3 และมีทิศในแนวแกน ($\alpha_3 = 0$) โครงร่างของสามเหลี่ยมความเร็วนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการออกแบบกังหัน

5.2 เทอร์โมไดนามิกส์ของกังหันแก๊สที่มีความดันแก๊สไหลออกตามแนวรัศมี (Thermodynamics of the 90 deg IFR (inward flow radial) turbine)

ในกระบวนการขยายตัวแบบอะเดียบาติก สำหรับกังหันนั้นประกอบด้วยสเตเตอร์และผ่านเข้าสู่ตัวโรเตอร์ ที่เป็นผลมาจากการถ่ายเทของพลังงานจากศูนย์กลางซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 5.1 แสดงไว้ในแผนภาพโมลิเยต์ (รูปที่ 5.3)

ที่สเตเตอร์นั้นค่าเอนทัลปีสแตกเนชันนั้นคงที่ $h_{01} = h_{02}$ (ไม่มีการป้อนงานใดๆเข้าสู่ระบบ) ดังนั้น static enthalpy drop คือ

$$h_1 - h_2 = \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) \tag{5.1}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ขออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 5.3 แผนภาพโมลิเยต์สำหรับกังหันชนิด 90 deg IFR (ที่จุดออกแบบ)

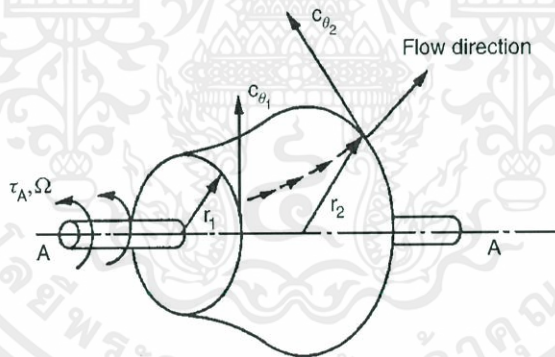
นั่นก็คือ ผลต่างของพลังงานจลน์ที่ทางเข้าและทางออกของสเตเตอร์นั่นเอง
 ในการวิเคราะห์จุดอ้างอิงจุด 2 (ดังรูปที่ 5.3) นำมาใช้ที่ช่องรัศมี r_2 ของโรเตอร์ ที่มีความเร็วปลายใบพัด (blade tip speed) $U_2 = \Omega r_2$ เข้าสู่ตัวโรเตอร์มีพลังงานจลน์ค่าๆหนึ่งจากนั้นก็ถ่ายเทสู่ใบโรเตอร์ให้เกิดการหมุนจึงมีผลทำให้ค่าเอนทัลปีลดลง จนมาถึงสเตตเจนชั้นเอนทัลปี ณ จุดที่ 3 จะได้สมการของงานคือ

$$\Delta w = h_{01} - h_{03} \quad (5.2)$$

หรือสามารถเขียนให้อยู่ในรูป ผลคูณของความเร็วยุโรปัดกับความเร็วกาศทิศแทนเจนต์ จากสมการอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมในหนึ่งหน่วยเวลา

$$T = m \frac{d}{dt} (rc_\theta) \quad (5.3)$$

โดย ค่า r ระยะห่างในแนวรัศมีจากจุดศูนย์กลางของมวล(จุดที่แรงมากระทำ)
 ค่า c_θ ความเร็วของอากาศในแนวแทนเจนต์(ทิศสัมผัสเส้นรอบวงตั้งฉากกับรัศมี)
 พิจารณาปริมาตรควบคุมซึ่งได้อธิบายโมเมนตัมที่ทำให้ให้เกิดโมเมนตัมเพื่อสร้างทอร์กขึ้นภายในระบบปิดจากรูปข้างล่าง



รูปที่ 5.4 แสดง Control volume สำหรับลักษณะทั่วไปของ Turbomachine

โดยที่ค่า $c_{\theta 1}$ เป็นความเร็วของไหลที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุมที่รัศมี r_1
 และค่า $c_{\theta 2}$ เป็นความเร็วของไหลที่ไหลออกจากปริมาตรควบคุมที่รัศมี r_2 ซึ่งจะได้สมการทอร์กนี้ว่า

$$T = \dot{m}(r_2 c_{\theta 2} - r_1 c_{\theta 1}) \quad (5.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ทอร์กที่เกิดขึ้นจากของไหลที่มากกระทำจะเท่ากับอัตราการถ่ายเทโมเมนตัมในหนึ่งหน่วยเวลาที่อยู่ในปริมาตร
 ควบคุมนั่นเองซึ่งเราจะเรียกสมการนี้ว่า Euler's turbine equation

ต่อไป ณ จุดที่ 3 ไปจุดที่ 4 การไหลที่ผ่านตัวดิฟฟิวเซอร์เราจะถือว่าไม่มีการบ่อนงานเข้าสู่ระบบดังนั้น

$$h_{03} = h_{04} \quad (5.7)$$

แต่ผลที่ได้ คือ การเพิ่มขึ้นของสแตติกเอนทัลปี(static enthalpy) เนื่องจากการกระจายตัวของความเร็วที่มีค่าลดลงเมื่อพื้นที่ของดิฟฟิวเซอร์มีการขยายตัว

5.3 Basic design of rotor

จากสมการ 5.2 เมื่อเราให้ $h_{01} = h_{02}$ เราจะได้

$$\Delta w = h_{02} - h_{03} = h_2 - h_3 - \frac{1}{2}(c_2^2 - c_3^2) \quad (5.4)$$

เขียนให้อยู่ในพจน์ของความเร็วใบพัดและความเร็วสัมผัสเราจะได้

$$\Delta w = \frac{1}{2}[(U_2^2 - U_3^2) - (w_2^2 - w_3^2) + (c_2^2 - c_3^2)] \quad (5.5)$$

จากสมการ ของไหลผ่านตัวโรเตอร์จากรัศมีใหญ่ไปรัศมีเล็กดังนั้นเทอมพลังงานจลน์ความเร็วใบพัดจึงมีค่าเป็นบวก สำหรับเทอมที่ 2 เพื่อให้เทอมนี้มีค่าเป็นบวก ควรจะมีค่า $w_3 > w_2$ หรือกล่าวในอีกแง่หนึ่งว่ามีการเร่งความเร็วสัมผัสจากต้นใบจนถึงปลายใบในเทอมที่ 3 เป็นพลังงานจลน์ของความเร็วสมบูรณ เพื่อให้เทอมนี้เป็นบวก ควรจะมีค่า $c_2 > c_3$ นั่นก็แสดงให้เห็นว่าพลังงานจลน์ที่ลดลงเนื่องจากการถ่ายเทพลังงานเพื่อสร้างแรงดันให้กับตัวใบพัดโรเตอร์นั่นเอง

สำหรับรายละเอียดในการคำนวณรวมถึงสมการที่ใช้ในการออกแบบจะอยู่ในบทถัดไปต่อจากนี้

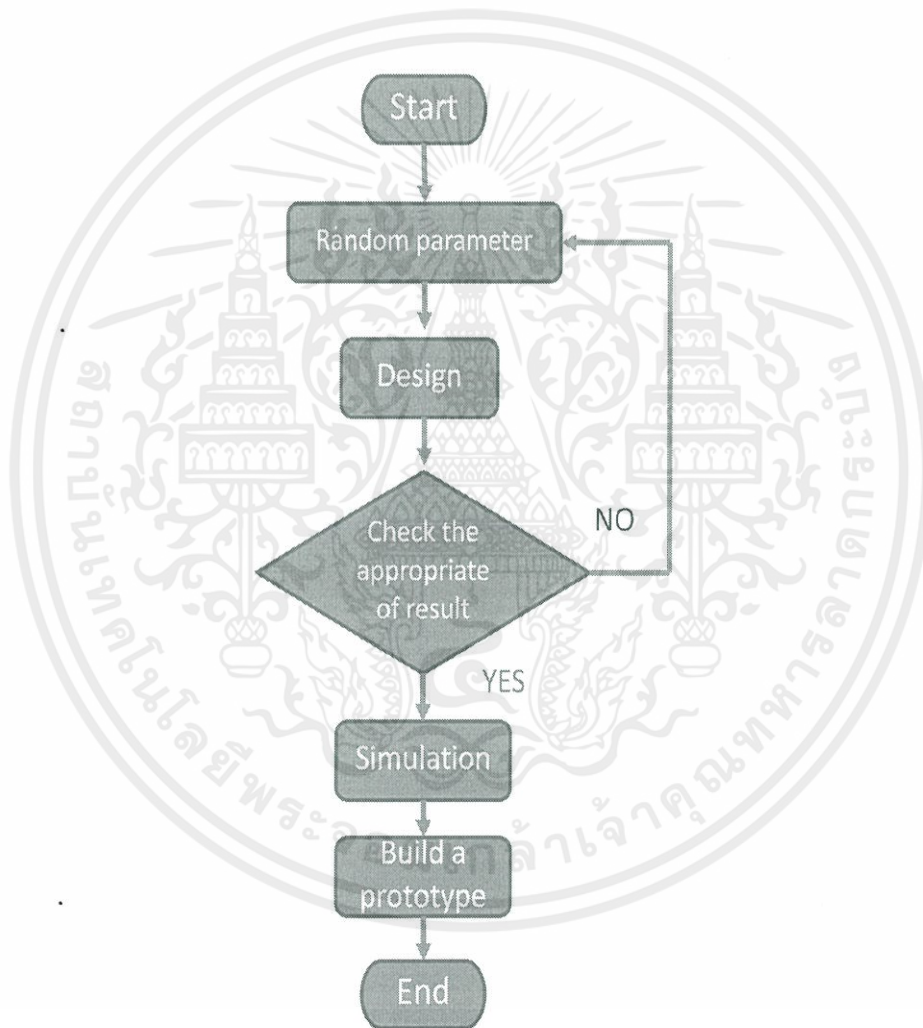
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ขั้นตอนวิธีการออกแบบและผลการออกแบบ

6.1 การออกแบบในส่วนของ Axial Turbine (เทอมที่ 1)

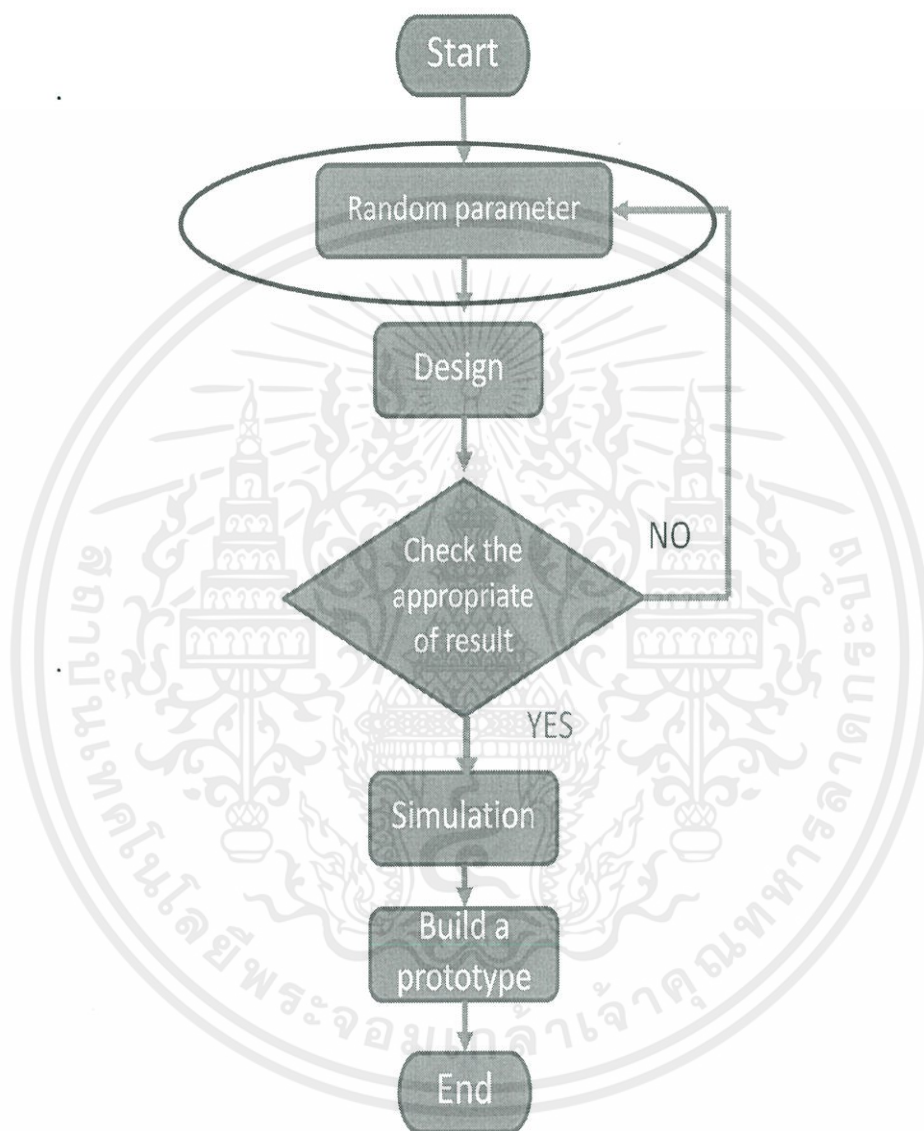
เราได้ใช้แบบของ Axial Turbine ในการออกแบบศึกษาในภาคการศึกษาที่ 1 การคำนวณออกแบบสำหรับรูปแบบกังหันแบบไหลตามแนวแกน (axial turbine) มีขั้นตอนการออกแบบดังนี้



รูปที่ 6.1.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการออกแบบของ Axial Turbine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้ในเชิงพาณิชย์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ผู้อื่นใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่าวิธีใดก็ตาม โดยเริ่มจากขั้นตอนที่แสดงดังนี้นี้เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

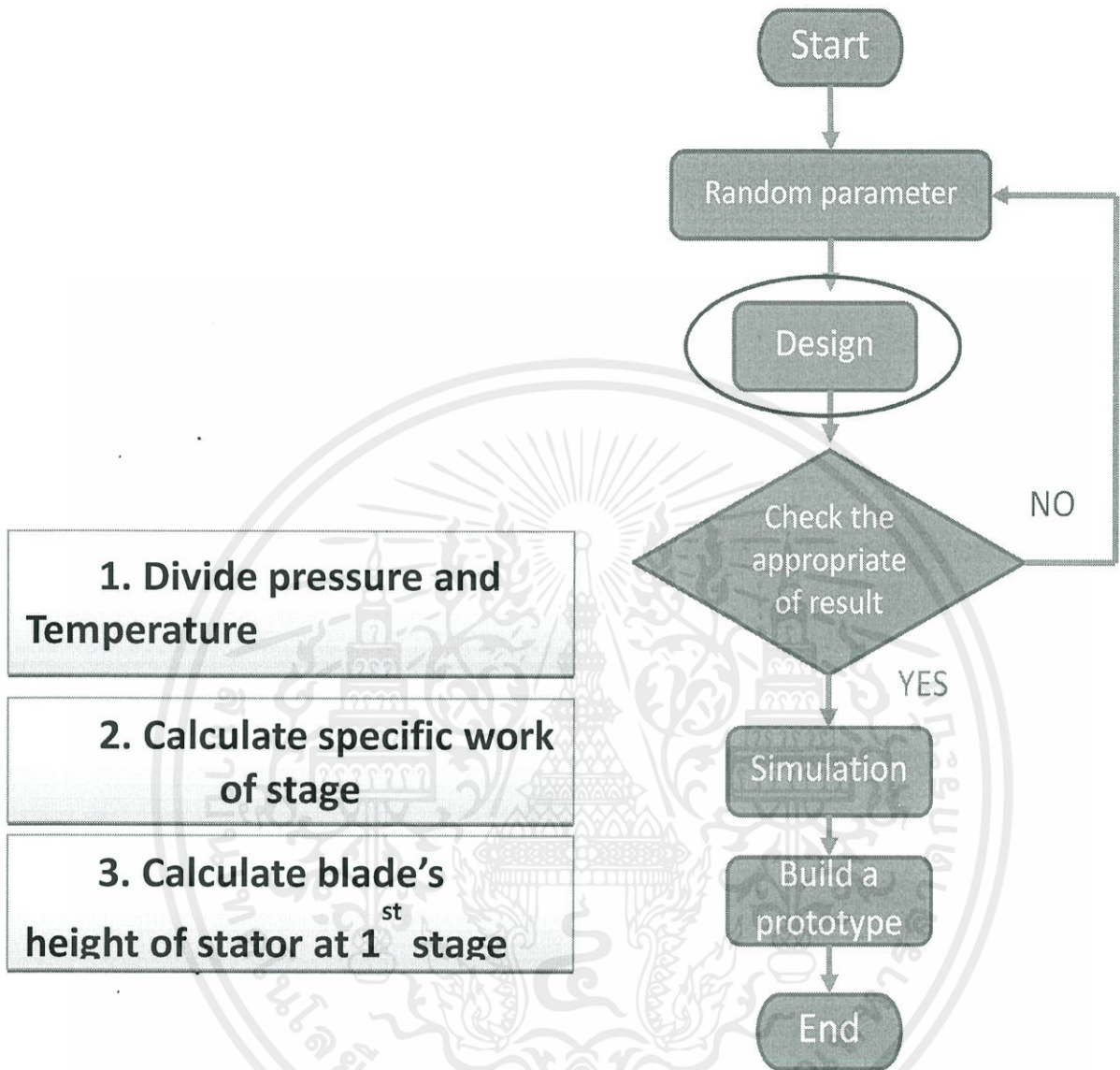
6.1.1 การสุ่มตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ ทั้งนี้ได้แก่ จำนวนชั้นของกังหัน (stage) ซึ่งกำหนดจำนวนชั้นของกังหันไว้คือ 3 (3 stage) , Flow coefficient (ϕ) ซึ่งกำหนดไว้คือ 0.65, รัศมีเฉลี่ยของกังหัน ซึ่งกำหนดไว้คือ 0.1 เมตร, มุมของความเร็วสัมบูรณ์ขณะเข้าปะทะตัวกังหัน (α_0) ซึ่งกำหนดไว้คือ 0 องศา



รูปที่ 6.1.2 ขั้นตอนที่ 1 การสุ่มตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ

6.1.2 การคำนวณออกแบบกังหัน

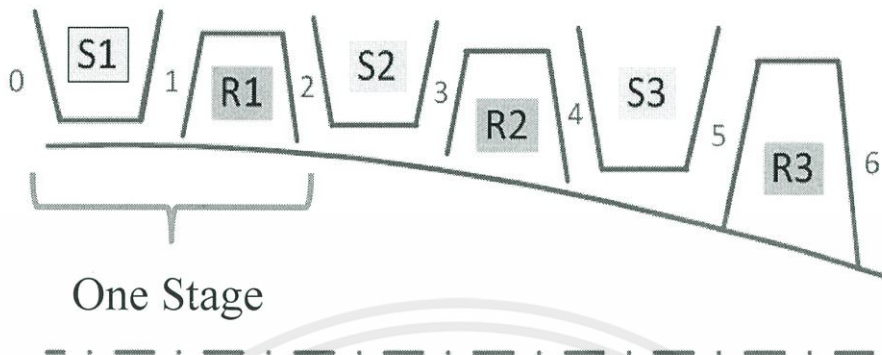
ซึ่งในการออกแบบนี้จะทำการคำนวณ ความดันและอุณหภูมิที่แต่ละstage ของกังหัน งานที่ได้จากกังหันแต่ละstage ความสูงของใบพัดที่ stage แรกของกังหัน
 เอกสารฉบับอื่นเอกสารที่ส่งไปให้หรือมีการแก้ไขเพิ่มเติมเพื่อกรอกรหัสเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1.3 ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณและออกแบบกังหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.2.1. การคำนวณ ความดันและอุณหภูมิที่แต่ละ stage



รูปที่ 6.1.4 การแบ่งช่วงแต่ละ stage ของความดันและอุณหภูมิ

การคำนวณความดันและอุณหภูมิที่แต่ละ stage นั้น เริ่มแรกเราจะใช้สมการดังนี้

$$h_{tt \text{ stage}} = \sqrt[3]{h_{\text{turb.}}} \quad (6.1)$$

โดยที่ $h_{\text{turb.}} = 0.8$ จะได้ว่า

$$h_{tt \text{ stage}} = \sqrt[3]{0.8}$$

$$h_{tt \text{ stage}} = 0.93$$

จากนั้นทำการหาค่าความดันของแต่ละstage โดยใช้สมการ

$$P_{r \text{ stage}} = \sqrt[3]{P_r} \quad (6.2)$$

โดยที่ $P_r = \frac{543660 \text{ Pa}}{112580 \text{ Pa}}$ ซึ่งเป็นอัตราส่วนความดันระหว่างทางเข้าและทางออกของกังหัน ซึ่งมาการ

ข้อกำหนดขั้นต้นของการออกแบบ ซึ่งจากการคำนวณจะได้ว่า $P_r \text{ stage} = 1.69$

จากนั้นทำการหาค่า ความดันที่ทางออกของกังหันที่stage แรกโดยใช้สมการดังนี้

$$\frac{P_{t2}}{P_{t0}} = P_{r \text{ stage}} \quad (6.3)$$

โดยที่ $P_{t0} = 543660 \text{ Pa}$. และจากการคำนวณจะได้ว่า $P_{t2} = 319800 \text{ Pa}$.

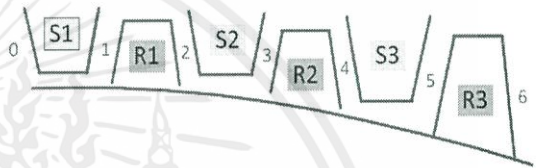
จากนั้นทำการคำนวณอุณหภูมิที่ทางออกของกังหันที่stage แรกโดยใช้สมการดังนี้

$$h_{tt \text{ stage}} = \frac{\left(1 - \frac{T_{t2}}{T_{t0}}\right)}{\left(1 - \frac{P_{t2}}{P_{t0}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad (6.4)$$

ซึ่งจากการคำนวณได้ว่า $T_{t2} = 1127.09 \text{ K}$

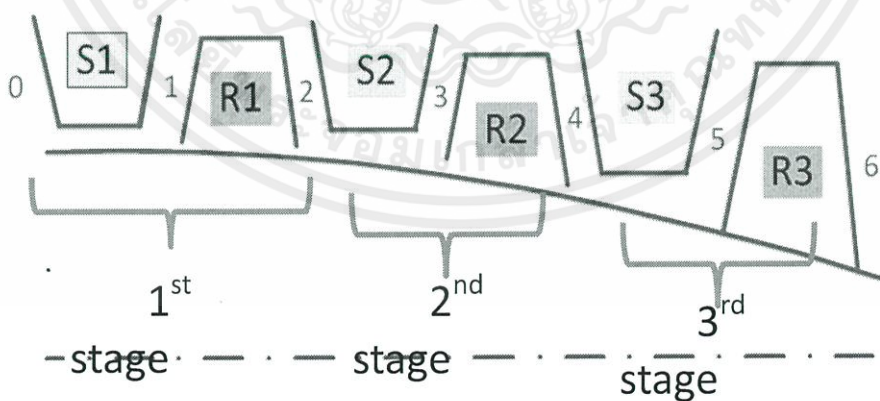
ในการคำนวณอุณหภูมิและความดัน ณ stage ที่ 2 และ 3 จะใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณข้างต้น ซึ่งจากการคำนวณ เราได้ข้อสรุปดังนี้

	Temperature (K)	Pressure (Pa)
point0	1273.15	543660
point2	1127.09	319800
point4	997.78	188118
point6	883.31	110658



ตารางที่ 6.1 แสดงค่าอุณหภูมิและความดันที่แต่ละสแตจ

6.1.2.2. การคำนวณงานที่ได้จากกังหันแต่ละstage



รูปที่ 6.1.5 การแบ่ง stage ของกังหันออกเป็น 3 stage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

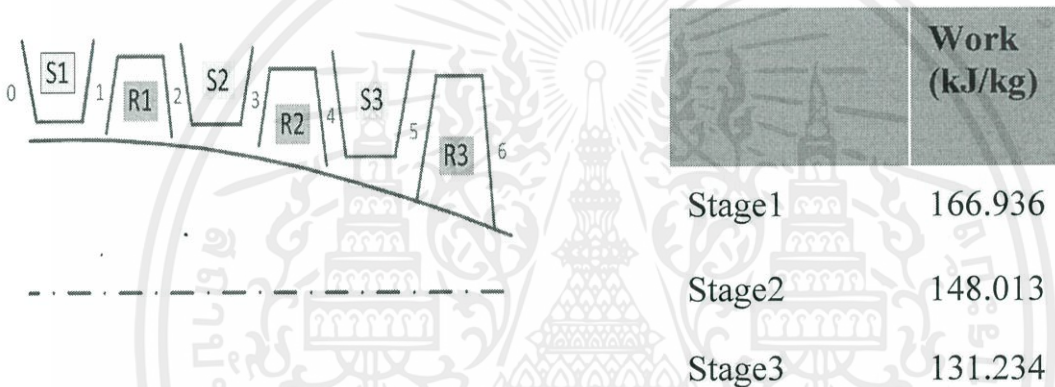
หลังจากที่ได้คำนวณหาความดันและอุณหภูมิของแต่ละ stage จากหัวข้อ 2.1 เราจำนำอุณหภูมิที่คำนวณได้มาใช้หางานของแต่ละ stage แรกโดยใช้สมการดังนี้

$$\Delta w = c_p(T_{t0} - T_{t2}) \quad (6.5)$$

เมื่อ $T_{t0} = 1273.15 \text{ K}$, $T_{t2} = 1127.09 \text{ K}$ และ $c_p = 1.156 \text{ kJ/kg K}$

จากการคำนวณจะได้ว่า $\Delta w = 166.936 \text{ kJ/kg}$

ซึ่งในการคำนวณงานที่ได้จากกังหัน ณ stage ที่ 2 และ 3 จะใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณข้างต้น ซึ่งจากการคำนวณ เราได้ข้อสรุปดังนี้



ตารางที่ 6.2 แสดงงานของสเตจ 1 ถึง สเตจ 3

6.1.2.3. การคำนวณความสูงของใบพัดที่ stage แรกของกังหัน

การคำนวณความสูงของใบพัดที่ stage แรกของกังหันนั้นเราเริ่มต้นการคำนวณหาความเร็ววิกฤตเสียงที่ทางเข้ากังหัน (c_{cr0}) โดยใช้สมการดังนี้

$$c_{cr0} = \sqrt{\frac{2\gamma RT_{t0}}{\gamma + 1}} \quad (6.6)$$

โดยที่ $T_{t0} = 1273.15 \text{ K}$, $R = 287 \text{ J/kg K}$

ซึ่งจากการคำนวณ จะได้ว่า $c_{cr0} = 645.9 \text{ m/s}$

จากนั้นทำการคำนวณหาความเร็วที่ทางเข้ากังหันจากสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi = \frac{c_0}{U} \quad (6.7)$$

โดยที่ $\phi = 0.65$ (ตามที่ได้สุ่มเลือกขั้นต้น)

U (ความเร็วของใบพัดกังหัน) = $2\pi rN$ เมื่อ $N = 30000$ rpm. และ $r = 0.1$ m (ตามที่ได้สุ่มเลือกขั้นต้น)

ซึ่งจากการคำนวณ จะได้ว่า $c_0 = 204.1$ m/s

จากนั้นทำการคำนวณ Mach Critical number ของความเร็วทางเข้ากังหันโดยใช้สมการดังนี้

$$M_{cr0} = \frac{c_0}{C_{cr0}} \quad (6.8)$$

ซึ่งจากการคำนวณ จะได้ว่า $M_{cr0} = 0.32$

จากนั้นทำการคำนวณความสูงของใบพัดที่ stage แรกของกังหันโดยใช้สมการดังนี้

$$h_0 = \frac{\dot{m}}{2\pi r_m \rho_0 c_0} \quad (6.9)$$

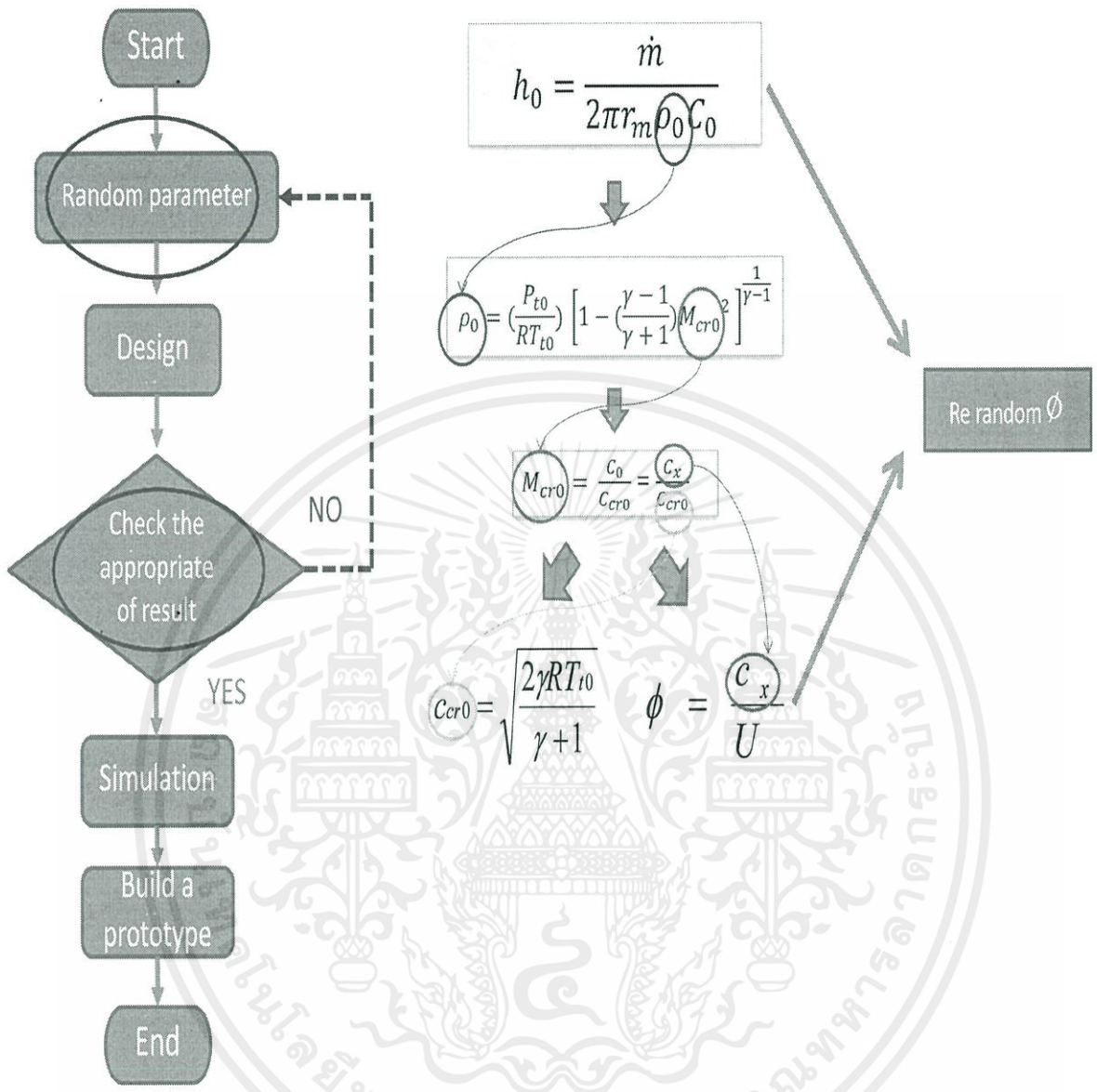
โดยที่

$$\rho_0 = \left(\frac{P_{t0}}{RT_{t0}} \right) \left[1 - \left(\frac{\gamma-1}{\gamma+1} \right) M_{cr0}^2 \right]^{\frac{1}{\gamma-1}} \quad (6.10)$$

$$\begin{array}{lll} \text{เมื่อ } P_{t0} = 543660 \text{ Pa} & M_{cr0} = 0.32 & C_0 = 204.1 \text{ m/s} \\ T_{t0} = 1273.15 \text{ K} & r_m = 0.1 \text{ m.} & \dot{m} = 0.4076 \text{ kg/s} \end{array}$$

ซึ่งจากการคำนวณ จะได้ว่า $h_0 = 0.00074$ m. ซึ่งมีค่าน้อยมากสำหรับความสูงโดยทั่วไปของกังหันแก๊ส และไม่สามารถนำไปสร้างเป็นต้นแบบได้ และการจากเชื่อมโยงความสัมพันธ์พบว่าความสูงของกังหันขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรหลายตัวความดัน (P_{t0}) อุณหภูมิ (T_{t0}) อัตราการไหลเชิงมวล (\dot{m}) แต่ตัวแปรดังกล่าวไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้เพราะเป็นข้อจำกัดในการออกแบบ ดังนั้นเราจึงสุ่มเลือกตัวแปร Flow coefficient ใหม่ในการคำนวณความสูงของใบพัดที่ stage แรกของกังหัน

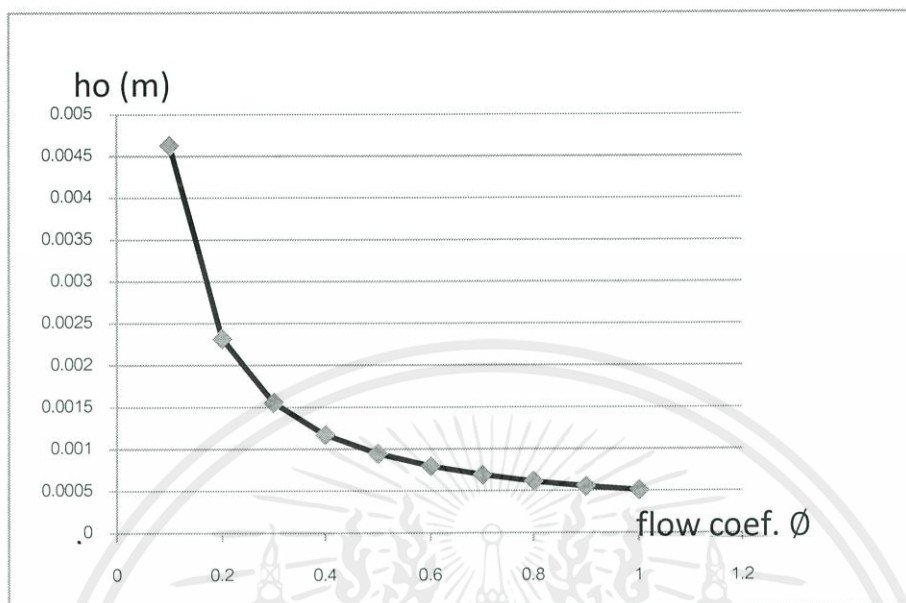
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1.6 กระบวนการ Random parameter ในการตรวจสอบค่าคำตอบ

ดังนั้นเราจึงทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Flow coefficient กับ ความสูงของใบพัดที่ stage แรกของกังหันเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงดังกราฟที่ 6.1 และหาความสูงที่เหมาะสมที่สามารถผลิตกังหันขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



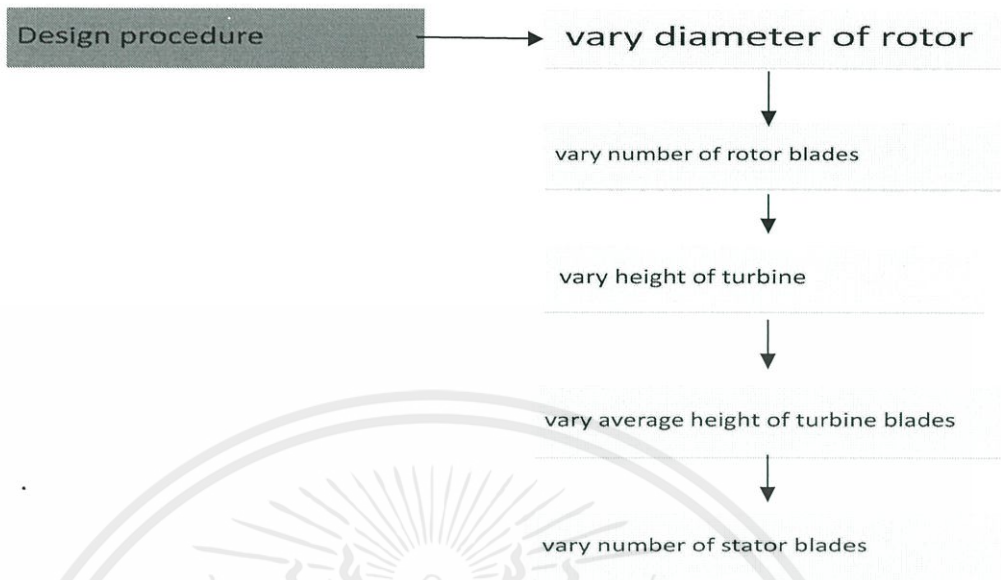
กราฟที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Flow coefficient กับ ความสูงของใบพัดที่ stage

จากกราฟความสัมพันธ์พบว่า ความสูงของใบพัดที่ stage แรกของกังหัน จะเพิ่มขึ้นเมื่อ Flow coefficient มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งความสูงที่สามารถผลิตได้นั้นจะทำให้ค่า Flow coefficient มีค่าน้อยกว่า 0.2 แนนอน ซึ่งจากสมการ $\phi = \frac{C_0}{U}$ จะเห็นว่าเมื่อ Flow coefficient มีค่าน้อย ความเร็วใบพัดของกังหัน U จะมีค่ามาก และจากสมการ $U = 2\pi rN$ จะเห็นได้ว่าเมื่อ ความเร็วใบพัดของกังหันเพิ่ม จะทำให้ รัศมีของกังหัน(r)เพิ่มตามซึ่งมีผลเสียคือสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการผลิต และลักษณะของกังหันแบบไหลตามแนวแกน นั้น จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการผลิตมากกว่ากังหันแบบไหลตามแนวรัศมี ดังนั้นเราจึงหันไปให้ความสนใจในการเลือกใช้กังหันแบบไหลตามแนวรัศมีมาใช้ในการออกแบบครั้งนี้แทน

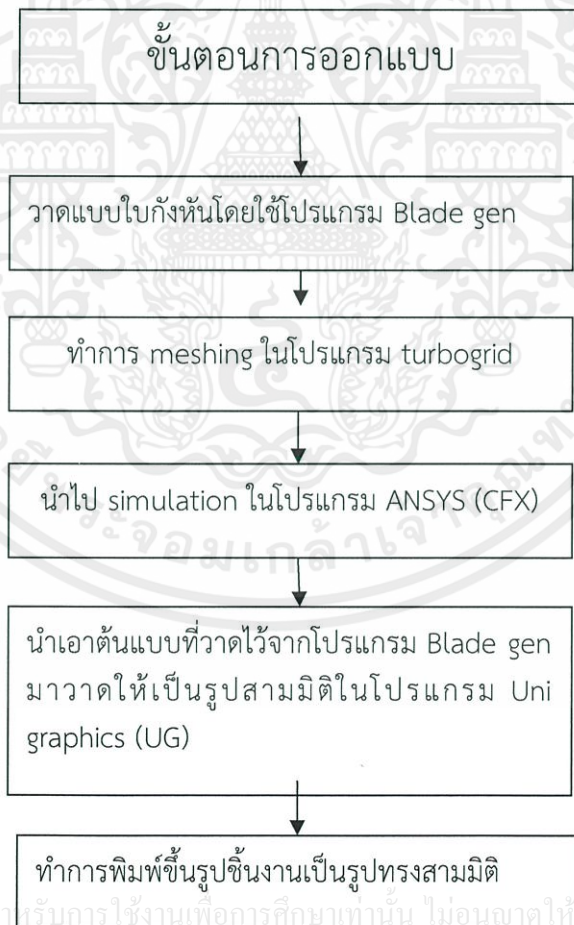
6.2 การออกแบบในส่วนของ Radial Turbine (เทอมที่ 2)

หลังจากเทอมที่ 1 การออกแบบโดยใช้ Axial Turbine ดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 6.1 นั้นได้พบปัญหาที่ทำให้ไม่สามารถใช้แบบ Axial Turbine ในการออกแบบได้ ดังนั้นจึงได้เปลี่ยนมาโดยใช้ Radial Turbine แทนโดยมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2.1 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นตอนของการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรในการ simulation



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามรูปที่ 6.2.2 แผนภูมิแสดงลำดับขั้นตอนของการออกแบบสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.1 เงื่อนไขในการออกแบบ

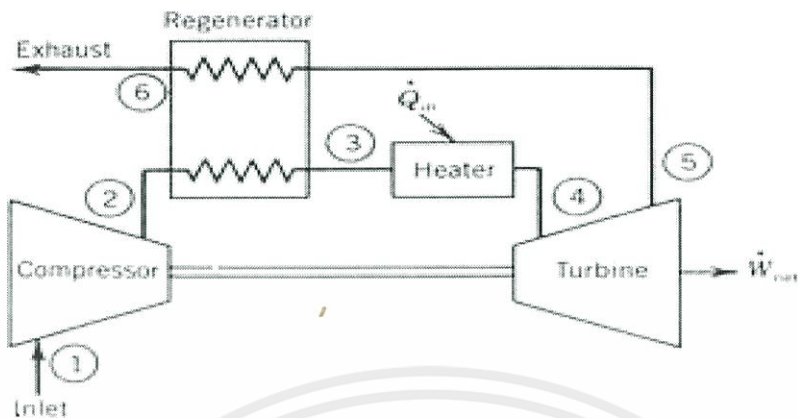
6.2.1.1 ข้อกำหนดเบื้องต้นในการออกแบบ

เงื่อนไขนี้ได้มาจากนายชวลิต กานต์ภักดี นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับส่วนคอมเพรสเซอร์

Initial Design (Brayton Cycle with Heat Recovery)					
Assume		Optimum Thermal Efficiency			
Compressor efficiency	$(\eta_c) = 0.8$	Thermal efficiency $(\eta_{th}) = 25.244$			
Combustion efficiency	$(\eta_{comb}) = 0.97$	Pressure ratio $(r_p) = 6.624$			
Turbine efficiency	$(\eta_t) = 0.8$	$T_4 = 1273.15 \text{ K}$			
Electric generator efficiency	$(\eta_{gen}) = 0.95$	$(A/F)_{real} = 24.9835$			
Effectiveness heat recovery	$(\epsilon) = 0.6$	$\dot{m}_{air} = 0.3919 \text{ kg/s}$			
$\Delta P_{comb} = 0.9$		$\dot{m}_{fuel} = 0.0157 \text{ kg/s}$			
$\Delta P_{R,c} = 0.9$					
$\Delta P_{R,h} = 0.9$					
ΔP_f (Pressure drop factor) = 0.729					
LHV = $18.4 \times 10^3 \text{ kJ/kg}$; (CO ₂ =60% , LPG =40%)					
Electrical Power = 60000 Watts					
		Temperature (K)	Pressure (Pa)		
		T1	306.65	P1	101325
		T2	581.2368	P2	671180
		T3	774.9769	P3	604060
		T4	1273.15	P4	543660
		T5	904.137	P5	112580
		T6	718.311	P6	101325

รูปที่ 6.2.3 แสดงค่าเงื่อนไขขั้นต้นในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2.4 แสดงค่าส่วนประกอบต่างๆของกังหันแก๊ส

6.2.1.2 ข้อจำกัดในการออกแบบ

1. อุณหภูมิขาเข้า 1273.15 K
2. เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของกังหันไม่เกิน 50 cm.
3. เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเพลลา 4 cm.

6.2.1.3 เป้าหมายในการออกแบบ

1. ประสิทธิภาพ ของกังหันไม่ต่ำกว่า 80%
2. ความเร็วรอบประมาณ 30000 rpm.
3. กำลังงานสุทธิของกังหัน 174 kW.

6.2.2 การคำนวณ

ในบทนี้เราจะทำการคำนวณออกแบบขนาดของกังหัน มุมทางเข้าของใบโรเตอร์มุมทางออกของสเตเตอร์เพื่อให้สามารถสร้างกำลังและประสิทธิภาพได้ตามเงื่อนไขของการออกแบบ

เราเริ่มต้นด้วยการใช้สมการความต่อเนื่อง

$$\frac{\dot{m}\sqrt{T_{t1}}}{P_{t1}A_1} = \sqrt{\frac{2\gamma}{(\gamma+1)R}} M_{cr1} \left[1 - \left(\frac{\gamma-1}{\gamma+1} \right) M_{cr1}^2 \right]^{\frac{1}{\gamma-1}} \quad (6.11)$$

เมื่อ \dot{m} คือ mass flow rate inlet = 0.4076 kg/s

T_{t1} คือ Total inlet temperature = 1273.15 K

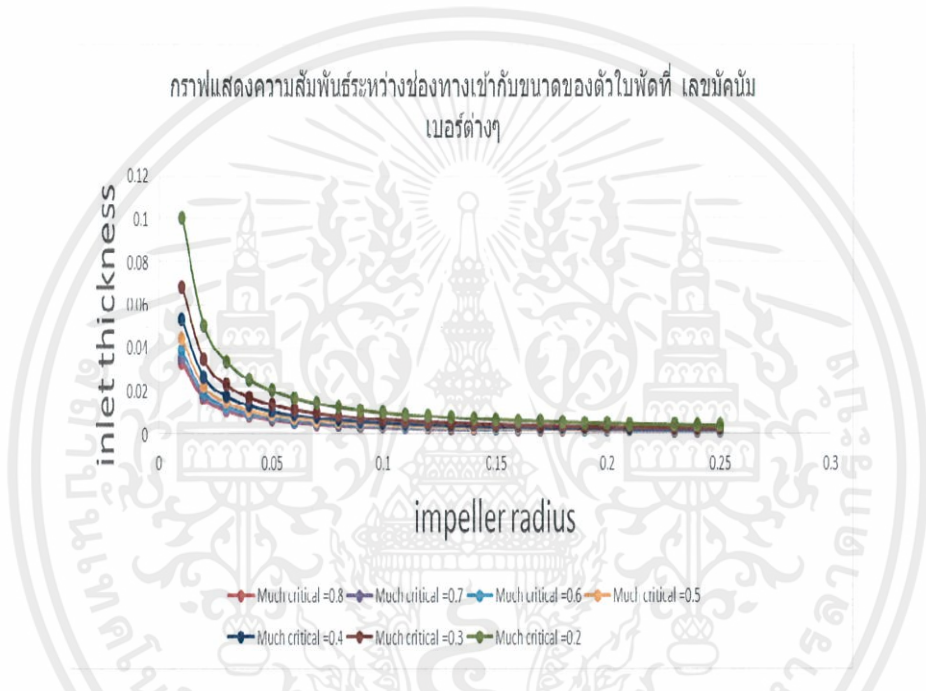
M_{cr1} คือ Mach critical number inlet

เอก P_{t1} คือ Total inlet pressure = 543660 Pa เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A_1 คือ พื้นที่ การไหล ณ ทางออกของสเตเตอร์ซึ่ง $= 2\pi r b \cos \alpha$ เมื่อ r คือ รัศมีของโรเตอร์ (m.) α คือมุมใบที่ทางออกของโรเตอร์ (degree) และ b คือ ความกว้างของช่องทางเข้าของกังหัน

โดยจะทำการพล็อตกราฟโดยการเปลี่ยนตัวแปร M_{cr1} จาก 0.9 ถึง 0.2 และ r จาก 0.25 m. ถึง 0.01m. โดยเราจะใช้สมการความต่อเนื่องนี้คำนวณระหว่างจุดเชื่อมต่อของสเตเตอร์และโรเตอร์เพื่อหาค่า b (ความกว้างของช่องทางเข้าของกังหัน) ซึ่งจะกำหนดให้ α (มุมใบที่ทางออกของโรเตอร์) คือ 70 องศาทำมุมกับเส้นศูนย์กลาง ซึ่งสาเหตุที่ใช้ 70 องศาเพราะเป็นมุมที่ใช้กันส่วนใหญ่ในการผลิตสเตเตอร์ของ radial turbine



รูปที่ 6.2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องทางเข้ากับขนาดของตัวใบพัดที่เลขมัคมันน์เบอ์ต่างๆ

จากกราฟในภาพที่ 6.2.5 เมื่อเราให้ M_{cr1} คงที่ เราจะพบว่ารัศมีจะแปรผกผันกับความกว้างของช่องทางเข้าของกังหันหรือ $r \propto \frac{1}{b}$ ทั้งนี้ทั้งนั้นเพื่อสามารถในไปต่อยอดได้จริงนั้น จึงกำหนดให้ b มีความกว้างอย่างน้อยที่สุด 0.005 m. เพื่อที่จะสามารถสร้างได้

ดังนั้นจึงเลือกโรเตอร์มีรัศมีคือ 0.06 m. ที่ $M_{cr1} = 0.7$ เพราะ ณ ตำแหน่งนี้จะให้ความกว้างของช่องทางเข้า $b = 0.0058$ m. ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการความต่อเนื่องข้างต้น และเราสามารถคำนวณความเร็วสัมพันธ์ที่ทางเข้าโรเตอร์ได้จากสมการ

$$V_1 = M_{cr1} V_{cr1} \quad (6.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกร ใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ M_{cr1} คือ Mach critical number inlet
 V_1 คือ ความเร็วสัมบูรณ์ที่ทางเข้าrotor (m/s)
 V_{cr1} คือ Critical velocity inlet (m/s)

$$\text{โดยที่ } V_{cr1} = \sqrt{\frac{2\gamma RT_{t1}}{\gamma+1}}$$

$$\text{และ } V_{r1} = V_1 \cos\alpha$$

$$\text{จะได้ว่า } V_{\theta 1} = V_1 \sin\alpha \quad (6.13)$$

เมื่อ V_{r1} คือ ความเร็วสัมบูรณ์ในแนวรัศมี (m/s)
 $V_{\theta 1}$ คือ ความเร็วสัมบูรณ์ในแนวเส้นสัมผัส (m/s)
 คำนวณความเร็วใบพัดจากสมการ

$$U = \frac{2\pi r N}{60} \quad (6.14)$$

เมื่อ r คือ รัศมีของโรเตอร์ (m.)
 N คือ ความเร็วรอบใบพัด = 30000 rpm
 คำนวณความเร็วสัมพัทธ์ที่ทางเข้าโรเตอร์ได้จากสมการ

$$W_{\theta 1} = V_{\theta 1} - U \quad (6.15)$$

และ $W_{r1} = V_{r1}$ จะได้ว่า

$$W_1 = \sqrt{w_{r1}^2 + w_{\theta 1}^2} \quad (6.16)$$

$$\beta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{W_{\theta 1}}{W_{r1}}\right) \quad (6.17)$$

เมื่อ W_{r1} คือ ความเร็วสัมพัทธ์ในแนวรัศมี (m/s)

$W_{\theta 1}$ คือ ความเร็วสัมพัทธ์ในแนวเส้นสัมผัส (m/s)

W_1 คือ ความเร็วสัมพัทธ์ทางเข้าโรเตอร์ (m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

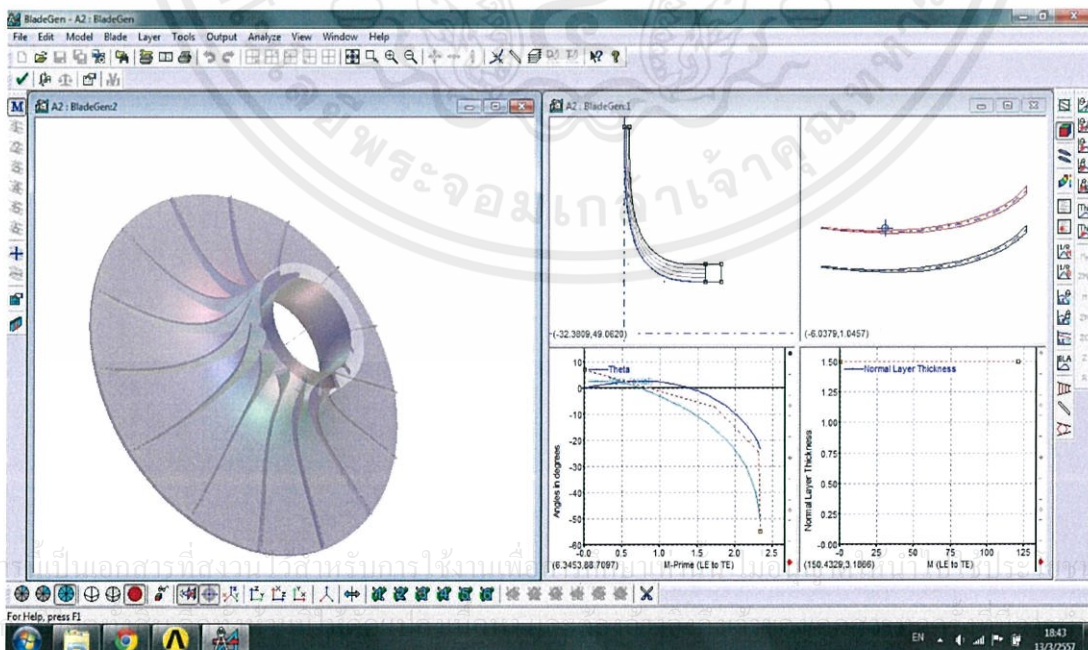
ความเร็วสัมบูรณ์ที่ทางเข้าโรเตอร์ (V_1)	452.11 m/s
ความเร็วสัมพัทธ์ทางเข้าโรเตอร์ (W_1)	282.43 m/s
ความเร็วใบพัด (U)	188.5 m/s
มุมใบพัดของโรเตอร์ขาเข้า (degree)	56.8 degree

ตารางที่ 6.3 แสดงค่าความเร็วสัมบูรณ์ที่ทางเข้าโรเตอร์ ความเร็วสัมพัทธ์ที่ทางเข้าโรเตอร์ ความเร็วใบพัด และมุมของใบพัดของโรเตอร์ขาเข้า

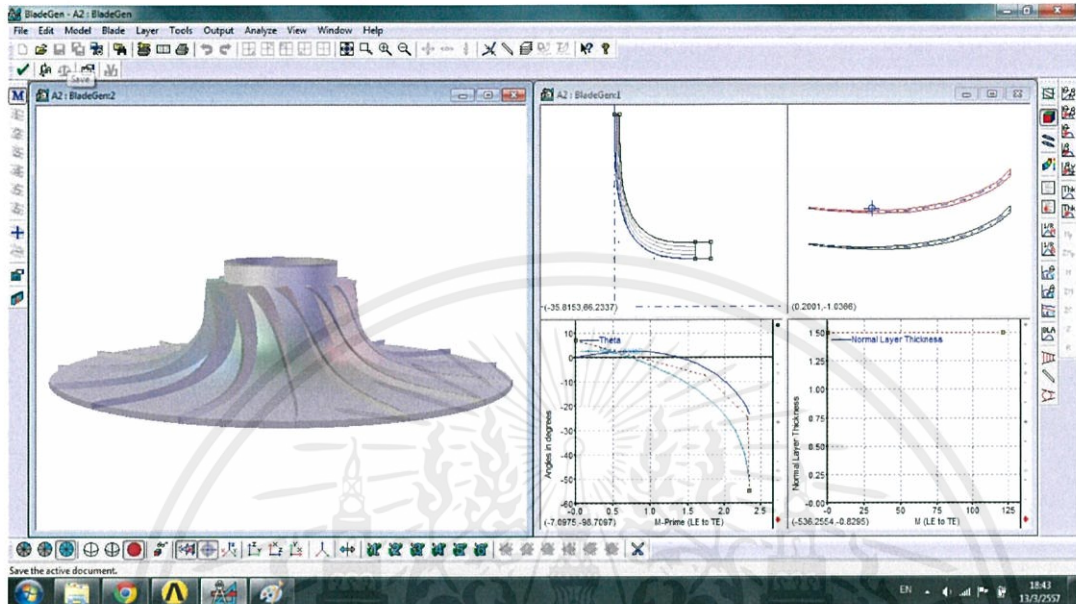
6.2.3 ขั้นตอนวิธีการออกแบบ

สำหรับวิธีการออกแบบในโครงการนี้ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. วาดแบบใบกังหันโดยใช้โปรแกรม Blade gen เพื่อออกแบบรูปทรงของใบกังหันขึ้นมา



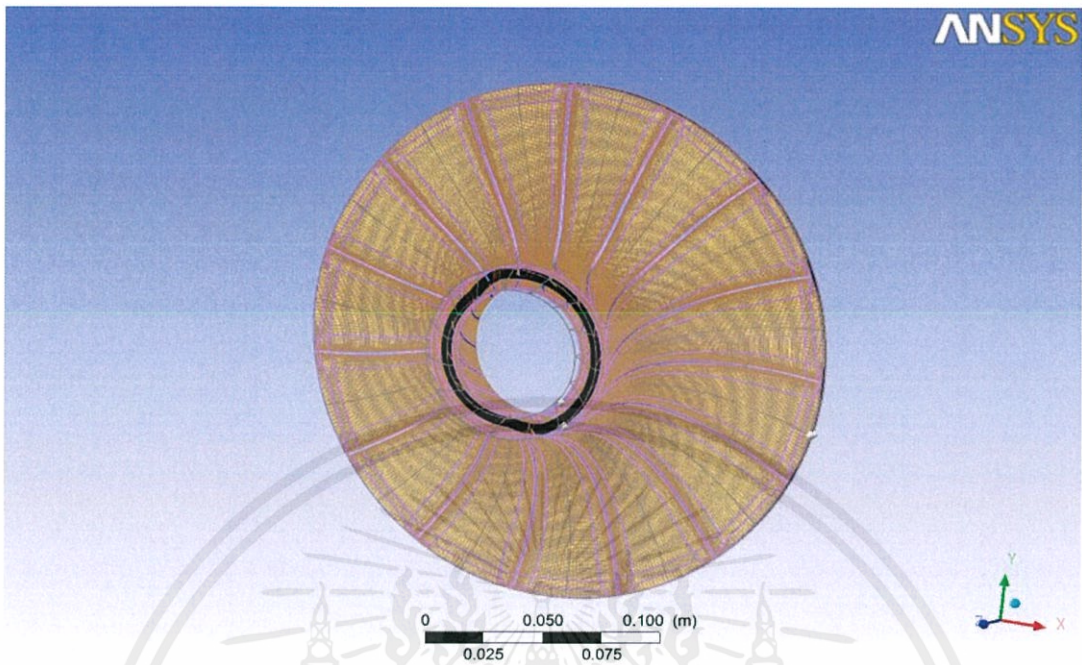
รูปที่ 6.2.6 รูปก้งหนในโปรแกรม Blade gen



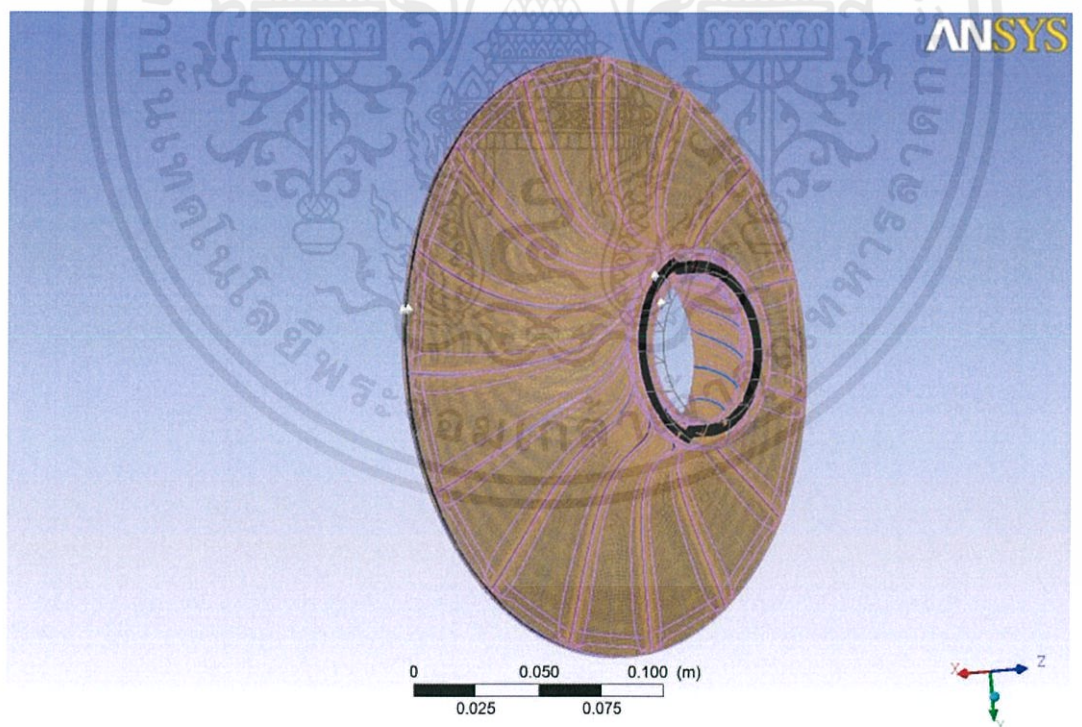
รูปที่ 6.2.7 รูปก้งหนในโปรแกรม Blade gen (อีกด้าน)

- หลังจากที่ได้รูปแบบของก้งหนที่ต้องการแล้วก็จะนำไปทำการ meshing ในโปรแกรม turbogrid (การ meshing คือการแบ่งอากาศออกเป็นส่วนย่อยหลายๆส่วน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

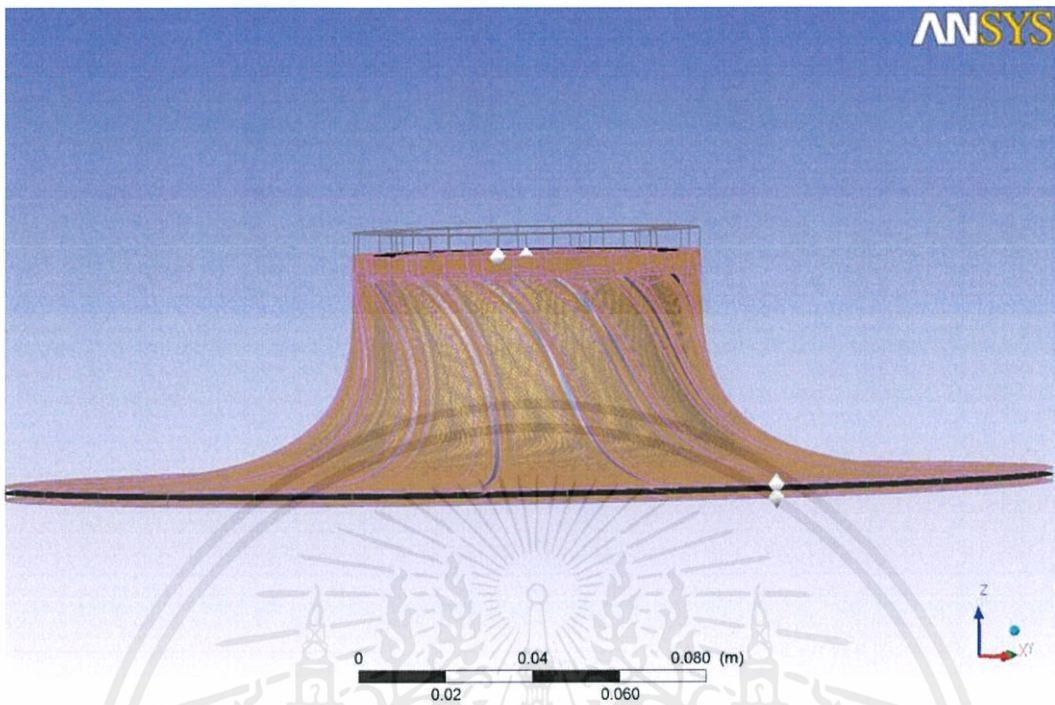


รูปที่ 6.2.8 กังหันในขณะทำการ meshing



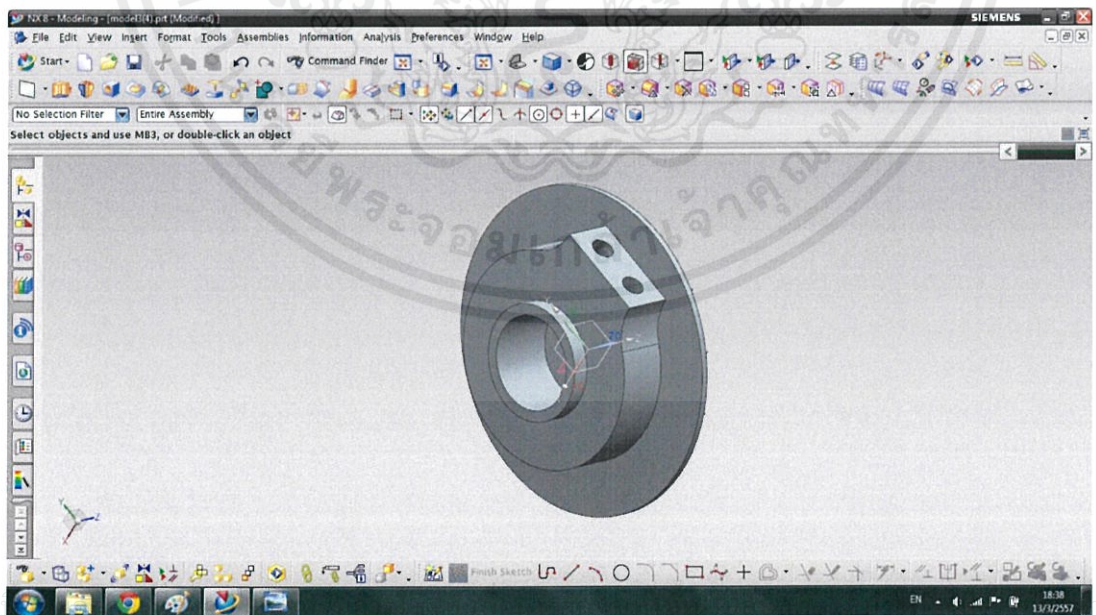
รูปที่ 6.2.9 หมุนทางด้านขวา (meshing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



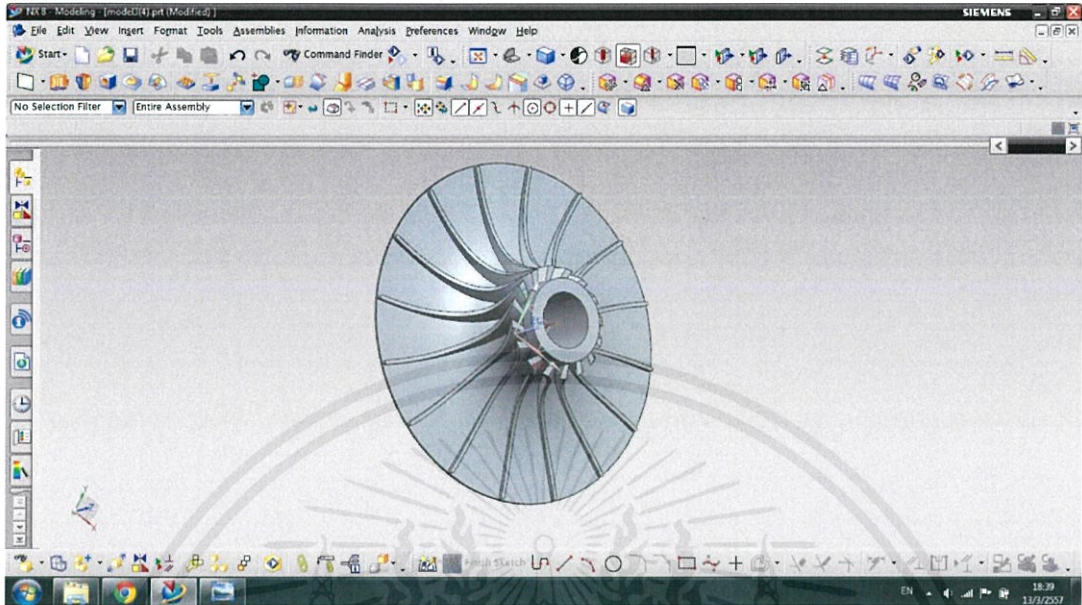
รูปที่ 6.2.10 ด้านหน้า (meshing)

3. นำไป simulation ในโปรแกรม ANSYS (CFX) เพื่อดูค่าต่างๆที่เราต้องการศึกษาเช่น ประสิทธิภาพ ความดัน ความเร็ว อุณหภูมิ กำลังงาน เป็นต้น สำหรับในส่วนนี้จะกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 6.2 ต่อไป
4. เมื่อได้ผลที่ต้องการแล้ว เราจะนำเอาต้นแบบที่วาดไว้จากโปรแกรม Blade gen มาวาดให้เป็นรูปสามมิติในโปรแกรม Uni graphics (UG)

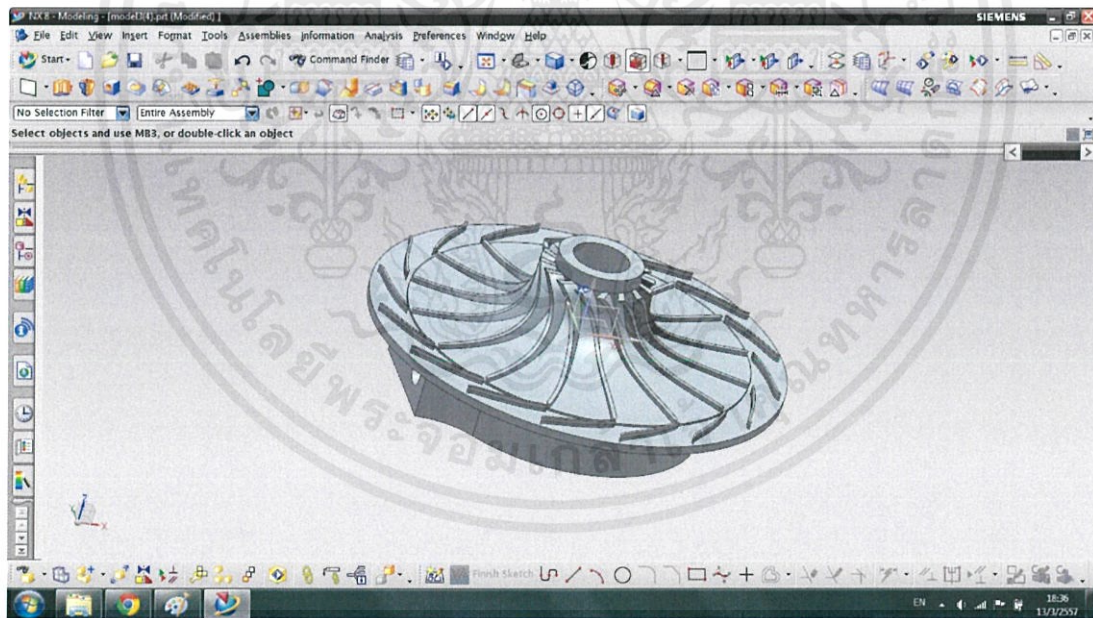


รูปที่ 6.2.11 ส่วนฐานรองรับของกังหันขณะทำในโปรแกรม UG

นอกจากนี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทางหนึ่งมีเหตุผลบางประการ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2.12 ส่วนของกังหันขณะทำในโปรแกรม UG



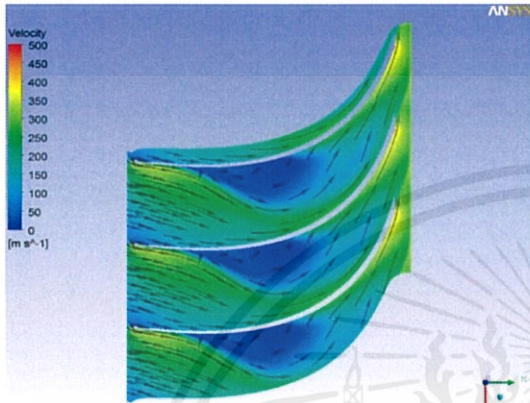
รูปที่ 6.2.13 ส่วนของกังหันเมื่อประกอบเข้ากับฐานรองรับ

5. ทำการพิมพ์ชิ้นรูปชิ้นงานเป็นรูปทรงสามมิติโดยใช้เครื่องพิมพ์ Makerbot ในการสร้างชิ้นงาน สำหรับส่วนนี้จะกล่าวต่อไปในบทที่ 7
- ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

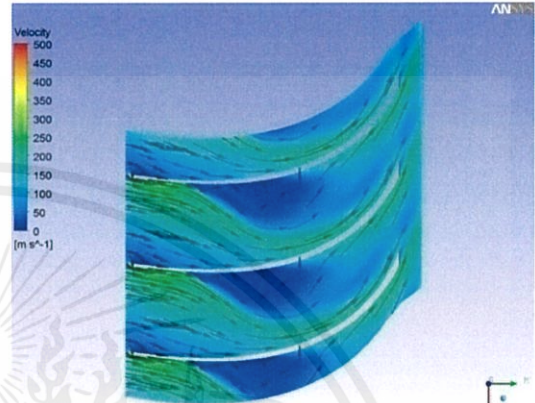
6.2.4 ผลการ Simulation จากโปรแกรม ANSYS

6.2.4.1 Simulation โดยการปรับเปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์

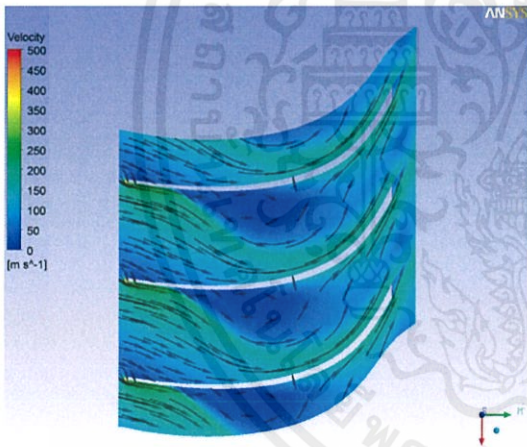
ในเงื่อนไขแรกที่เราจะทำการศึกษานี้ เราได้ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์มาเป็นตัวแปรที่เราปรับเปลี่ยนในขั้นแรก



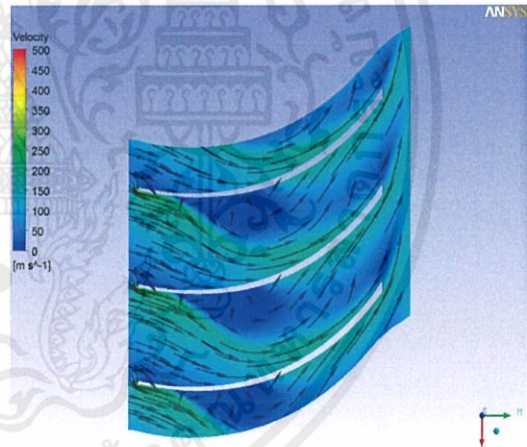
รูปที่ 6.3.1 เส้นผ่านศูนย์กลาง 240 mm.



รูปที่ 6.3.2 เส้นผ่านศูนย์กลาง 220 mm.

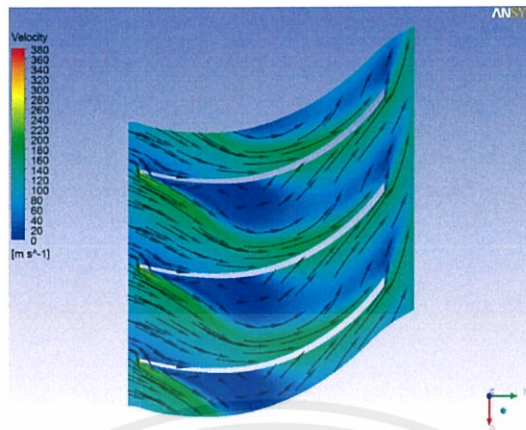


รูปที่ 6.3.3 เส้นผ่านศูนย์กลาง 200 mm.

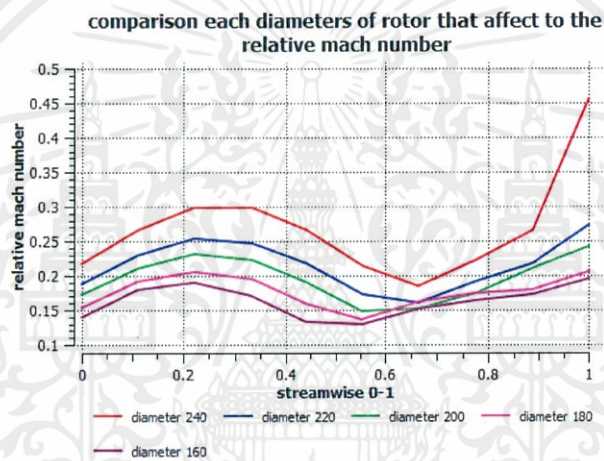


รูปที่ 6.3.4 เส้นผ่านศูนย์กลาง 180 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



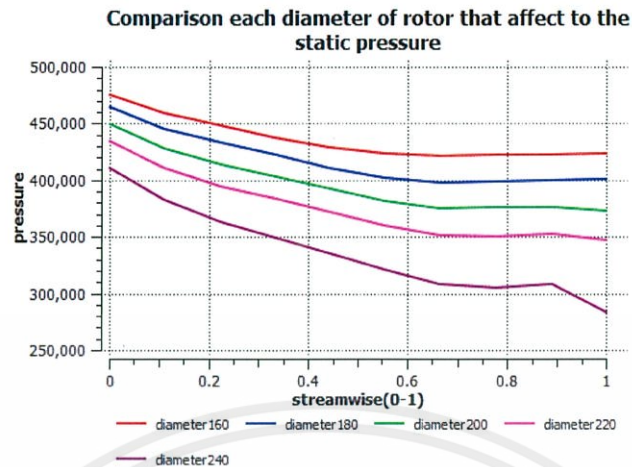
รูปที่ 6.3.5 เส้นผ่านศูนย์กลาง 160 mm.



กราฟที่ 6.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความเร็วสัมพัทธ์ที่ผ่านตัวใบโรเตอร์

จากรูปกราฟที่ 6.2 ด้านบน แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของความเร็วสัมพัทธ์ที่ผ่านตัวใบโรเตอร์ที่เพิ่มขึ้นจนถึง ส่วนปลายของใบ (streamwise 0.6) ที่ลดลงเนื่องจากความเร็วเฉลี่ยที่คำนวณออกมาควรจะมีค่ามากขึ้นเนื่องจากลักษณะของใบที่พื้นที่ลู่แคบลง แต่เป็นเพราะเกิดการไหลวนของอากาศที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของการบิดมุมของใบโรเตอร์ส่วนรูปด้านบนแสดงให้เห็นถึงทิศของการไหลที่ชัดเจนจะเห็นว่าเมื่อเข้าใกล้ความโค้งของตัวใบเราก็จะเห็นลักษณะของการไหลที่วนกลับสวนทิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความดันในขณะที่ผ่านตัวใบโรเตอร์

จากรูปกราฟที่ 6.3 ความดันมีแนวโน้มลดลงจากต้นใบจนถึงปลายใบในขณะที่เพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นเพราะความเร็วเชิงเส้นและความเร็วของอากาศที่เข้าสู่ตัวโรเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ความดันตกเมื่อสรุปผลเป็นตารางแล้วพบว่าที่งานมากที่สุดเส้นผ่านศูนย์กลางจะมีค่า 240 mm. และให้อัตราส่วนความดันสูงที่สุด

เมื่อเทียบการไหลวนภายในตัวใบของ 240 mm. กับ 160 mm. พบว่าขนาดของการไหลวนลามไปถึงจุดทางออกมีค่าน้อยกว่า(รูปที่ 6.3.1 รูปที่ 6.3.5) แต่เมื่อมองขนาด 160 mm. ผลที่เกิดขึ้นของการไหลวนทำให้การคำนวณของค่าความเร็วเฉลี่ยที่ทางออกลดลงมาก และการบีบพื้นที่ให้เล็กลงก็ไม่เพียงพอที่จะให้ความเร็วที่สูงพอที่จะออกมาจากตัวใบจึงทำให้ความดันของอากาศที่ทางออกสูง อัตราส่วนความดันต่ำ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.4

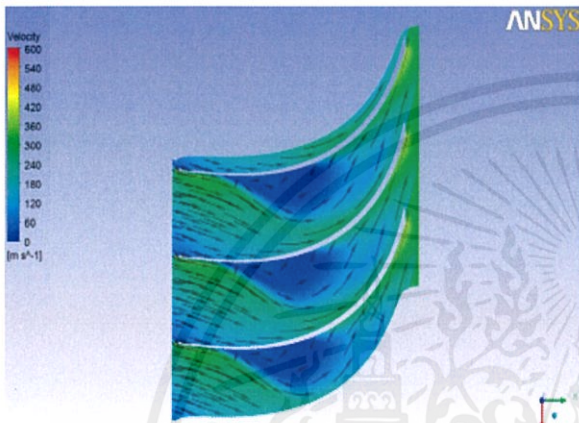
ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางเข้า (mm.)	กำลังงาน (kw)	อัตราส่วนความดัน	ความเร็วสัมพัทธ์ที่ทางเข้า(m/s)	ความเร็วสัมพัทธ์ที่ทางออก(m/s)
160	31.576	1.26	98	134
180	38.274	1.34	107	141
200	47.027	1.43	119	164
220	55.138	1.53	131	184
240	73.696	1.81	148	299

ตารางที่ 6.4 ตารางแสดงค่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางเข้า กำลังงาน อัตราส่วนความดัน ความเร็วสัมพัทธ์ที่ทางเข้า ความเร็วสัมพัทธ์ที่ทางออก

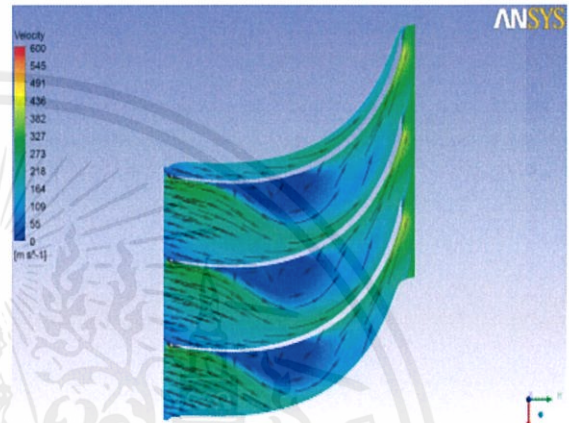
6.2.4.2 Simulation โดยการปรับเปลี่ยนจำนวนใบพัดของกังหัน

เมื่อเราได้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของกังหันคือ 240 mm. แล้ว ในขั้นต่อไปเราจะทำการเลือกจำนวนของใบพัดที่เหมาะสมสำหรับกังหัน โดยเราจะทำการเปลี่ยนจำนวนใบพัดจาก 11 ใบไปจนถึง 20 ใบพัด ซึ่งมีผลดังนี้

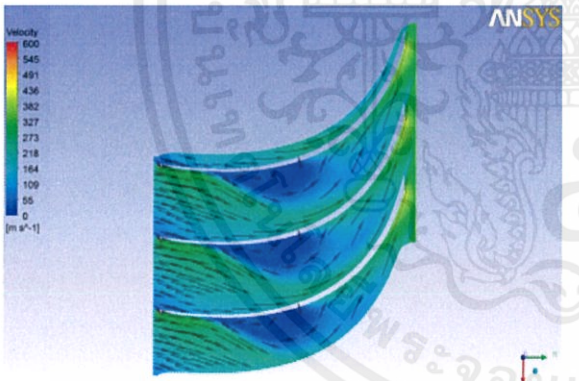
การเปลี่ยนแปลงความเร็วสัมพัทธ์ในช่องทางการไหล (ที่ span 50%)



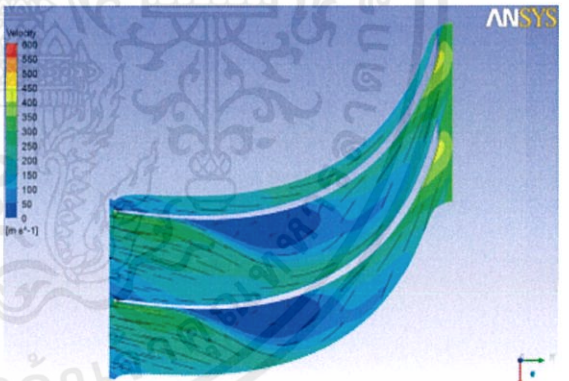
รูปที่ 6.3.7 ใช้ 11 ใบพัด



รูปที่ 6.3.8 ใช้ 12 ใบพัด

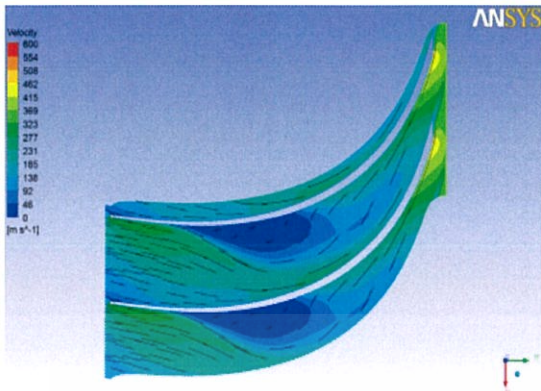


รูปที่ 6.3.9 ใช้ 13 ใบพัด

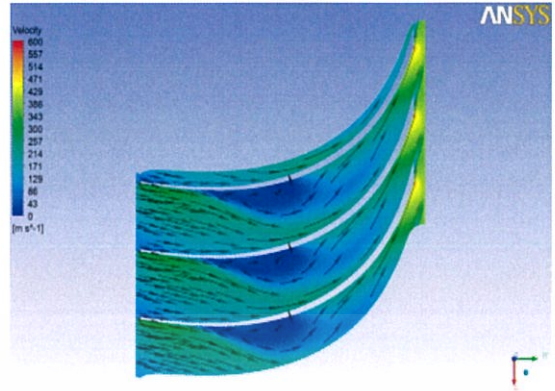


รูปที่ 6.3.10 ใช้ 14 ใบพัด

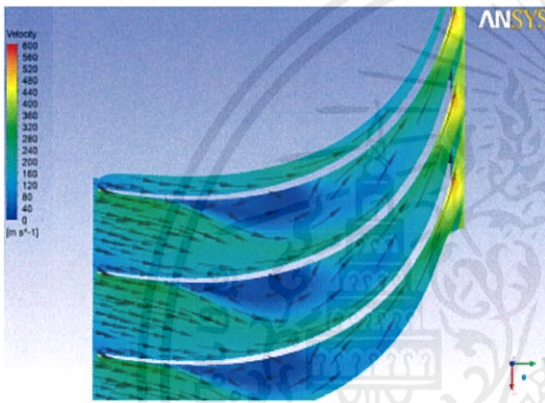
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



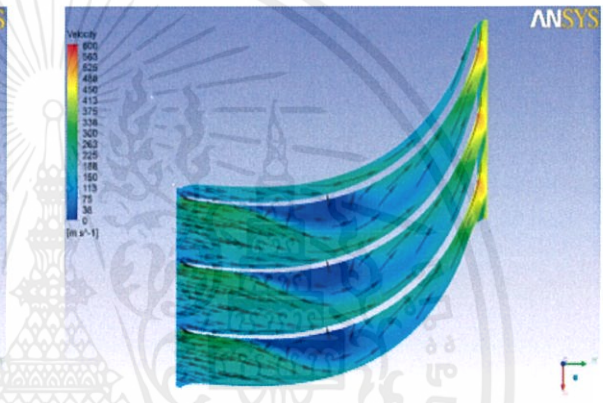
รูปที่ 6.3.11 ใช้ 15 ใบพัด



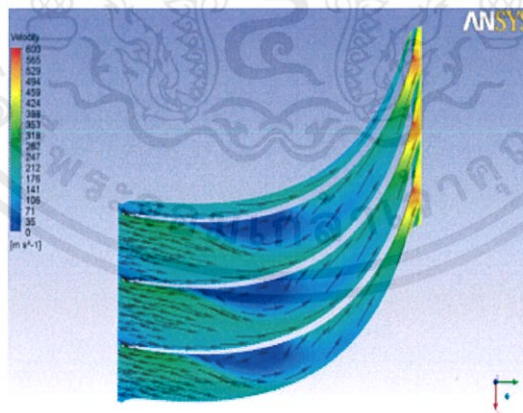
รูปที่ 6.3.12 ใช้ 16 ใบพัด



รูปที่ 6.3.13 ใช้ 17 ใบพัด

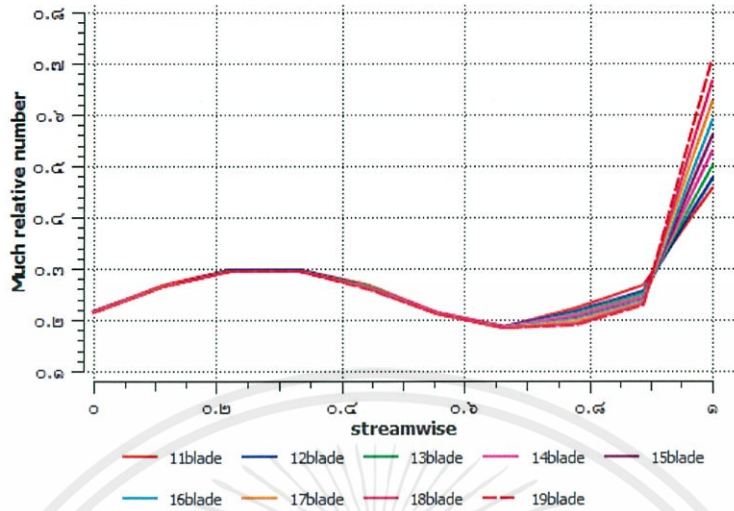


รูปที่ 6.3.14 ใช้ 18 ใบพัด



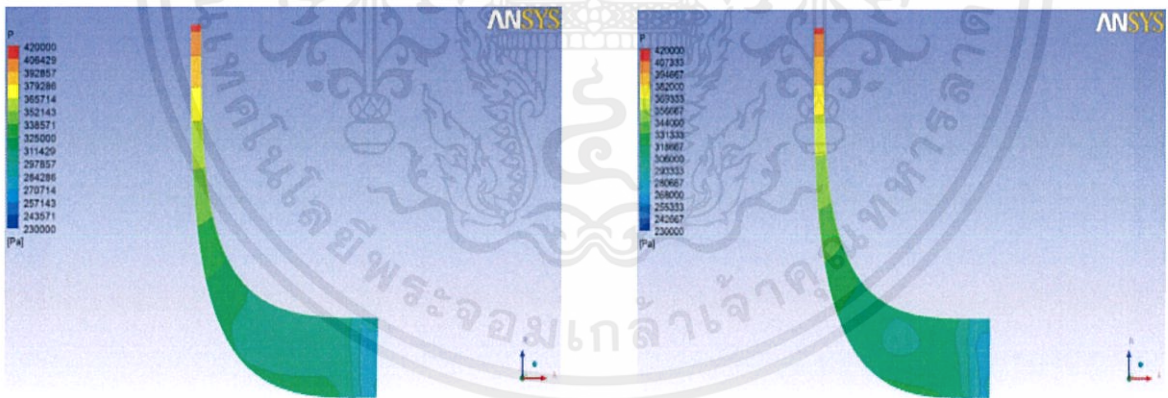
รูปที่ 6.3.15 ใช้ 19 ใบพัด

หมายเหตุกั้นที่จำนวนใบพัด 20 ใบ ไม่สามารถทำการ simulation ได้เนื่องจากช่องทางการไหลที่เอียงหักงอเล็กน้อยที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง streamwise กับ mach relative number

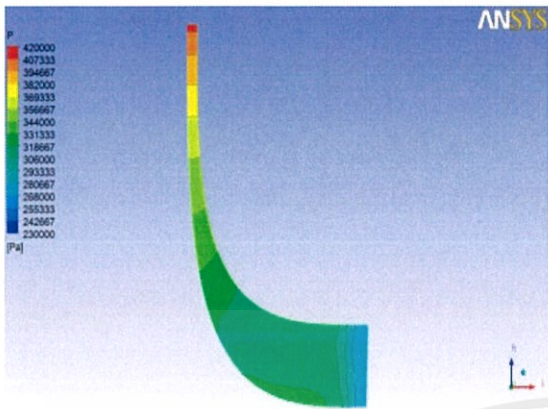
จากรูปเรขาคณิตที่ได้ว่า เมื่อเพิ่มจำนวนใบพัดมากขึ้น จะทำให้ช่องทางการไหลแคบลง ซึ่งจะทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศน้อยลง เป็นผลทำให้ความเร็วสัมพัทธ์ที่ทางออกเพิ่มขึ้นและการที่เราเพิ่มจำนวนใบมากขึ้นก็ยิ่งทำให้ความเร็วสัมพัทธ์ที่ทางออกเพิ่มขึ้นไปอีก เนื่องจากพื้นที่การไหลที่ทางออกแคบลงด้วยการเปลี่ยนแปลงความดันสถิตในช่องการไหล



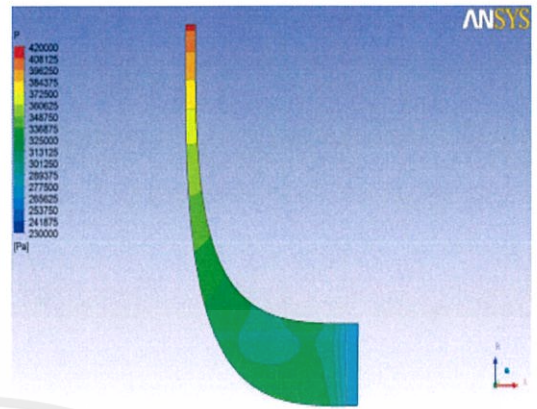
รูปที่ 6.3.16 ใช้ 11 ใบพัด

รูปที่ 6.3.17 ใช้ 12 ใบพัด

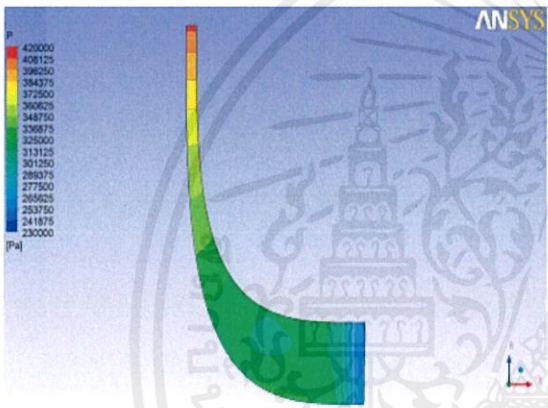
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



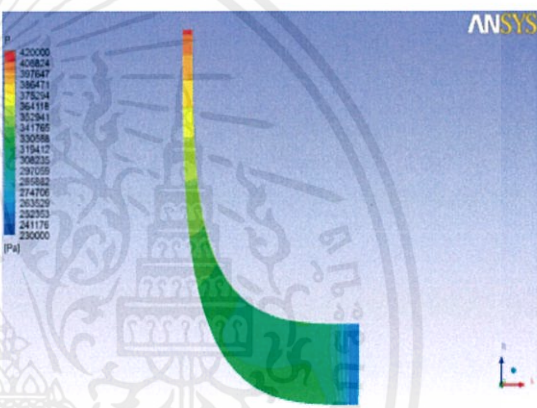
รูปที่ 6.3.18 ใช้ 13 ใบพัด



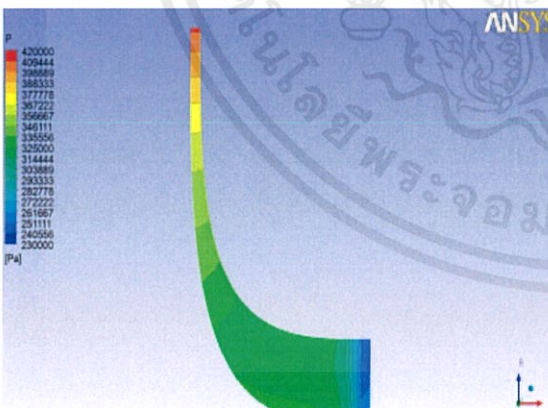
รูปที่ 6.3.19 ใช้ 14 ใบพัด



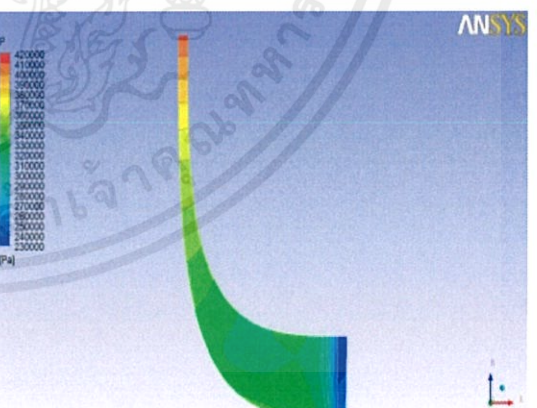
รูปที่ 6.3.20 ใช้ 15 ใบพัด



รูปที่ 6.3.21 ใช้ 16 ใบพัด

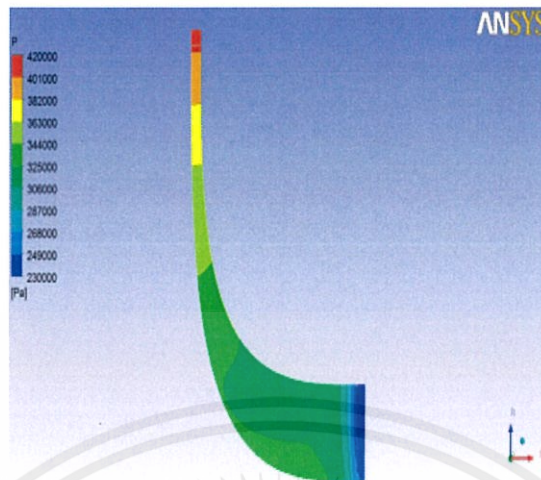


รูปที่ 6.3.22 ใช้ 17 ใบพัด

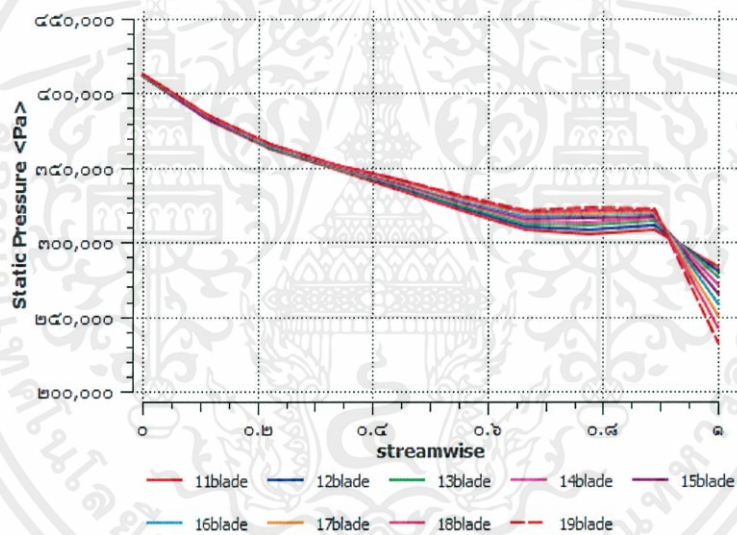


รูปที่ 6.3.23 ใช้ 18 ใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3.24 ใช้ 19 ใบพัด



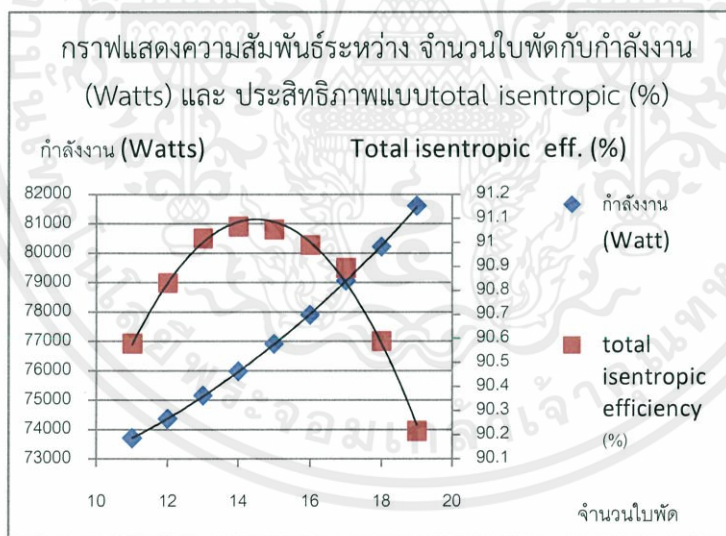
กราฟที่ 6.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง streamwise กับความดันสถิติก (Pa)

จากกราฟที่ 6.5 เราวิเคราะห์ได้ว่า เมื่อจำนวนใบพัดมากขึ้นจะทำให้กังหันมีพื้นที่สัมผัสกับอากาศที่ไหลผ่านมากขึ้น ซึ่งการที่พื้นที่สัมผัสเยอะจะทำให้อากาศถ่ายเทความดันส่งต่อให้ใบพัดได้มากขึ้น จึงทำให้ความดันลดลงมากตามจำนวนใบพัดที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนใบพัด	กำลังงาน (Watts)	total isentropic efficiency (%)
11	73696.6	90.5792
12	74360.8	90.8308
13	75143.9	91.0160
14	75981.2	91.0652
15	76902.1	91.0533
16	77891.4	90.9880
17	79050.4	90.8925
18	80211.7	90.5880
19	81599.9	90.2149

ตารางที่ 6.5 การเปลี่ยนแปลงของกำลังงาน และประสิทธิภาพแบบ total isentropic ของกังหัน

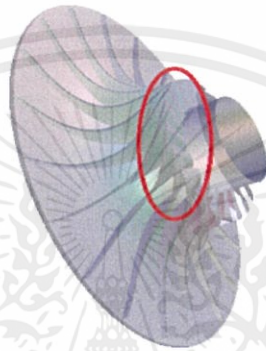


กราฟที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบพัดกับกำลังงาน (Watts) และ Total isentropic

จากกราฟที่ 6.6 เราจะได้ว่าประสิทธิภาพของกังหันสูงสุดคือ 91.0652% ที่ 14 ใบพัด โดยได้งาน 75981.2 Watts และกำลังงานสูงสุดของกังหันคือ 81599.9 Watts โดยได้ประสิทธิภาพ 90.2149% โดยเราสามารถวิเคราะห์ได้ว่าการกำลังงานเพิ่มขึ้นตามจำนวนใบพัดนั้น เนื่องมาจากพื้นที่สัมผัสที่เพิ่มขึ้นตามใบพัดนั่นเอง ซึ่งจะทำให้อากาศถ่ายเทกำลังงานสู่ใบพัดได้เพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น เมื่อพื้นที่สัมผัสเพิ่มขึ้นก็ย่อมเกิด

แรงเสียดทานเนื่องจากการไหลเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพของกังหันลดลง แต่ถ้าจำนวนใบน้อยก็จะทำให้พื้นที่สัมผัสลดลงซึ่งก็จะทำให้ประสิทธิภาพลดลงเช่นเดียวกันเพราะว่าสามารถผลิตงานจากการไหลได้น้อยลง

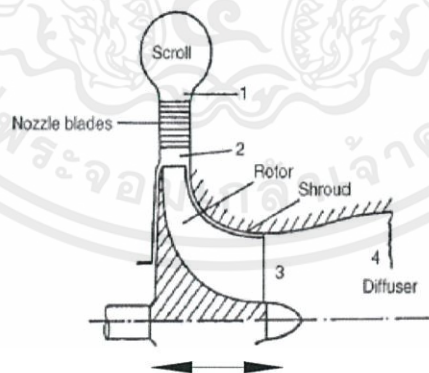
โดยจากกราฟเราถ้าเราเลือกใช้จำนวนใบพัด 19 ใบซึ่งให้งานสูงสุดนั้น จะทำให้เกิดความเสี่ยงในการสร้างต้นแบบใบพัดจะชิดกันมากที่ทางออก ดังนั้นจึงเป็นการเสี่ยงที่จะไม่สามารถผลิตได้ เราจึงทำการเลือกใบพัด 15 ใบเพราะว่า เป็นจุดที่ให้ประสิทธิภาพสูงรองลงมาจาก 14 ใบไม่มาก แต่ให้กำลังงานได้มากกว่า 14 ใบ



รูปที่ 6.3.25 แสดงกังหัน 19 ใบ ที่บริเวณทางออกที่ใบพัดเบียดกันมาก

6.2.4.3 Simulation โดยการปรับเปลี่ยนความสูงของกังหัน

เมื่อเราเลือกจำนวนใบพัดคือ 15 ใบ ขั้นตอนต่อไปคือทำการ เลือกขนาดความสูงของกังหัน โดยจะทำการเปลี่ยนขนาดตั้งแต่ความยาว 40mm ถึง 70mm.



ความสูง
ของกังหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 6.3.26 แสดงความสูงของกังหัน กรุณาให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูงของ กังหัน (mm.)	กำลังงาน (Watts)	total isentropic efficiency (%)
40	75985.1	92.0349
50	76902.1	91.0533
60	74247.0	90.1152
70	73259.2	90.3161

ตารางที่ 6.6 แสดงค่าความสูงของกังหัน กำลังงานและประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก

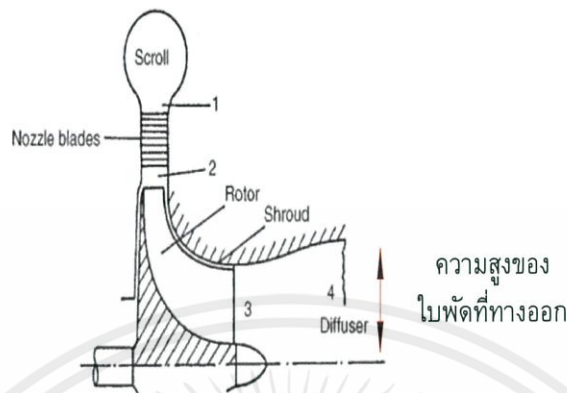


กราฟที่ 6.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของกังหัน (mm.) กับกำลังงาน (Watts)

จากกราฟที่ 6.7 จะเห็นว่าเราที่ความสูง 50mm. นั้นจะให้กำลังงานออกมามากที่สุดคือ 76902.1Watts ที่ประสิทธิภาพ 91.0533% ต่ำกว่าที่ความสูง 40mm. ซึ่งมีประสิทธิภาพ 92.0349 อยู่ประมาณ 1 % แต่ได้กำลังงานสูงกว่ากันประมาณ 10 Kilowatts. ดังนั้นจึงเลือกใช้ความสูงที่ 50mm. ในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.4.4 Simulation โดยการปรับเปลี่ยนความสูงของใบพัดที่ทางออก

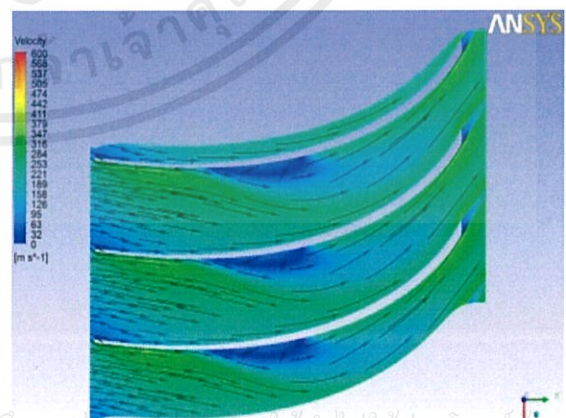
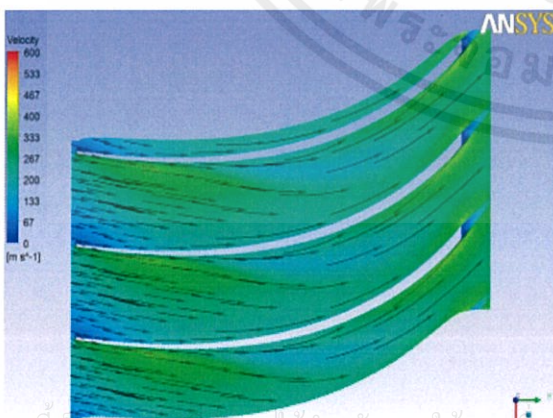


รูปที่ 6.3.27 แสดงความสูงของใบพัดที่ทางออก

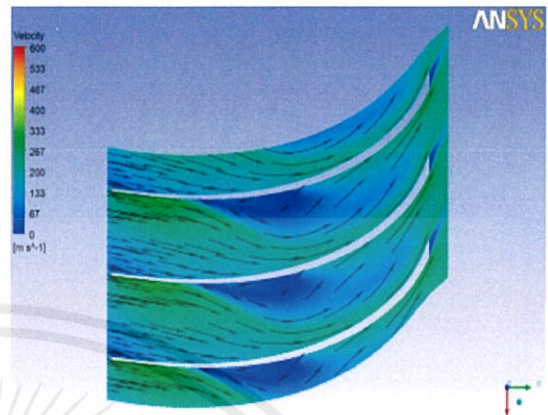
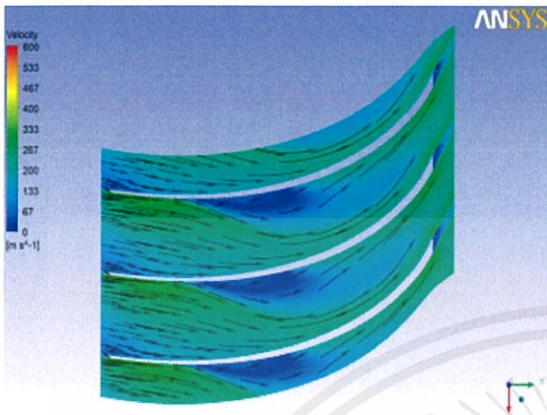
เมื่อเราเลือกความสูงของใบพัด 50 mm. ในการออกแบบ ขั้นตอนต่อไปคือการ เลือกขนาดความสูงของใบพัดที่ทางออก โดยจะทำการเลือกขนาดตั้งแต่ 10mm. ถึง 20 mm.

ความสูงของใบพัดที่ทางออก (mm.)	กำลังงาน (Watts)	total isentropic efficiency (%)
10	67948.5	93.1680
12.5	68314.7	92.5068
15	67405.8	92.6647
17.5	67051.6	92.7090
20	76902.1	91.0533

ตารางที่ 6.7 แสดงค่าของความสูงใบพัดที่ทางออก กำลังงานและประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก

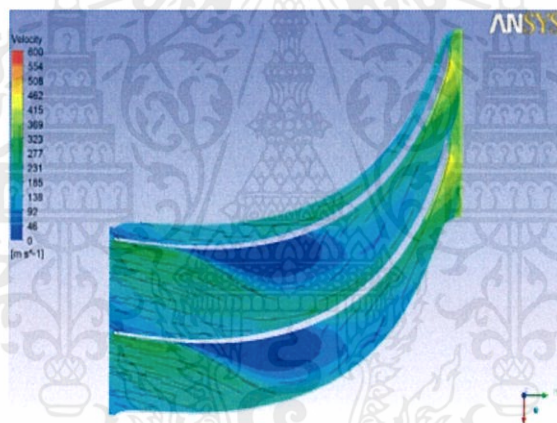


รูปที่ 6.3.28 ความสูงของใบพัดที่ทางออก 10 mm. รูปที่ 6.3.29 ความสูงของใบพัดที่ทางออก 12.5 mm.



รูปที่ 6.3.30 ความสูงของใบพัดที่ทางออก 15 mm.

รูปที่ 6.3.31 ความสูงของใบพัดที่ทางออก 17.5 mm.



รูปที่ 6.3.32 ความสูงของใบพัดที่ทางออก 20 mm.

จากรูปเรขาคณิตที่ได้ว่าเมื่อ ความสูงของใบพัดที่ทางออกลดลง จะมีผลทำให้เกิดการไหลวนในช่องทางการไหลลดน้อยลง ซึ่งเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่กำลังงานจะลดลงเพราะเนื่องมาจากพื้นที่สัมผัสอากาศของใบพัดลดลงเมื่อเราลดขนาดของความสูงที่ทางออกลง ซึ่งจากการวิเคราะห์นั้นเราจะทำการเลือกขนาดความสูงที่ทางออกของใบพัดเป็น 10 mm. เพราะว่ามีประสิทธิภาพสูงสุด ถึงแม้ว่ากำลังงานจะน้อยที่สุดก็ตาม แต่เราสามารถเพิ่มกำลังงานให้มากกว่า 67948.5 Watts ที่ความสูง 10 mm. ได้ โดยการปรับเปลี่ยนขนาดของมุมใบพัดที่ทางออกให้เหมาะสมแทน ในภายภาคหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.4.5 การออกแบบใบในส่วนของสเตเตอร์

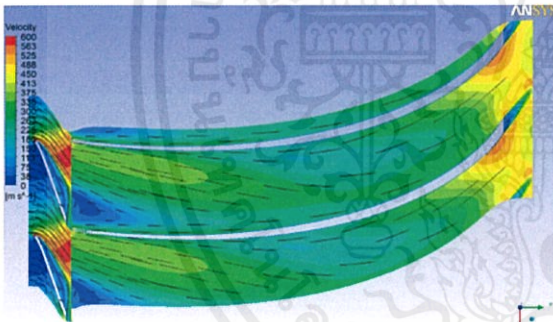
ลักษณะของใบสเตเตอร์ หรือโกด์เวนนั้นหลักๆคือเป็นตัวนำกระแสการไหลของอากาศที่ออกจากห้องไหม้ ในแนวแกนรัศมี และบังคับทิศการไหลให้ชนกับตัวใบโรเตอร์ 70 องศา โดยจะทำการปรับเปลี่ยนขนาดจำนวนใบ คือ

จำนวนใบ(Number of blades)	14,15,16,17,18
มุมของทางเข้าใบโรเตอร์(inlet rotor blade angle)	0 degrees

ตารางที่ 6.8 แสดงค่าจำนวนใบของสเตเตอร์และมุมของทางเข้าใบโรเตอร์

6.2.4.6 Simulation โดยการเปลี่ยนจำนวนใบสเตเตอร์

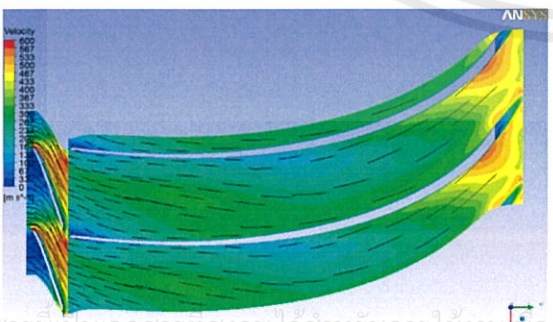
อิทธิพลที่เกิดขึ้นของจำนวนใบของสเตเตอร์มีผลต่อค่าประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกและทิศทางของกระแสการไหลตรงทางออกของตัวใบ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของสนามความเร็วที่ผ่านตัวใบ และการลดลงของความดันของอากาศอีกด้วย การวิเคราะห์ผลกระทบของจำนวนใบพัด โดยกำหนดจำนวนใบตั้งแต่ 14-18 ใบ และวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้น



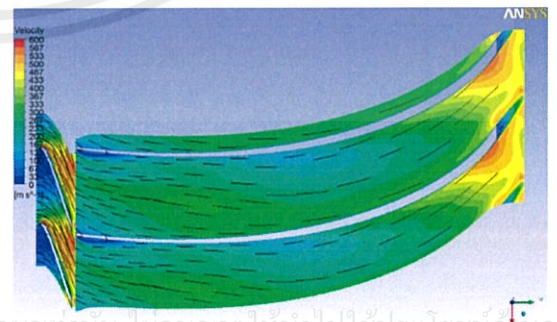
รูปที่ 6.3.33 ใบสเตเตอร์ 14 ใบ



รูปที่ 6.3.34 ใบสเตเตอร์ 15 ใบ

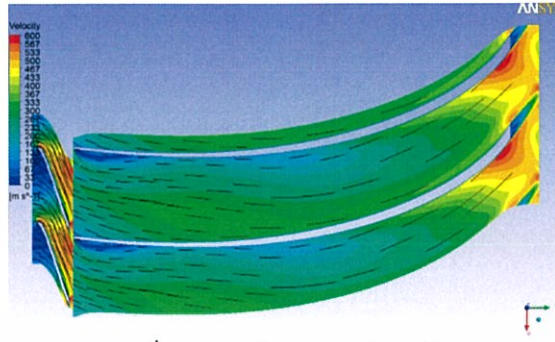


รูปที่ 6.3.35 ใบสเตเตอร์ 16 ใบ

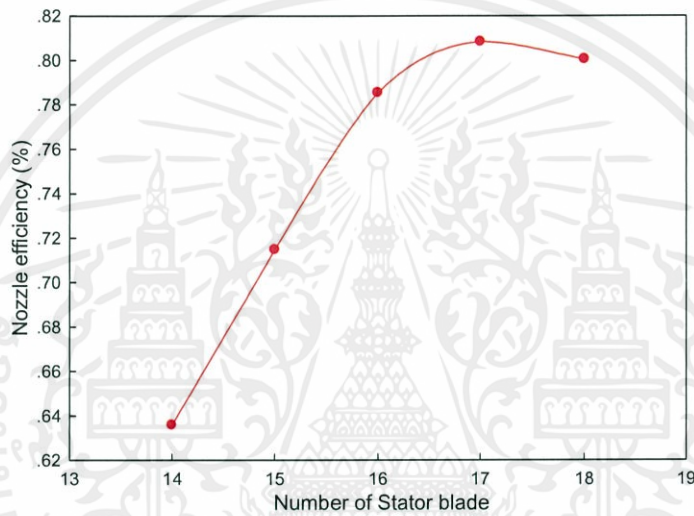


รูปที่ 6.3.36 ใบสเตเตอร์ 17 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3.37 ใบสเตเตอร์ 18 ใบ



กราฟที่ 6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนใบของสเตเตอร์กับประสิทธิภาพนอสเซล

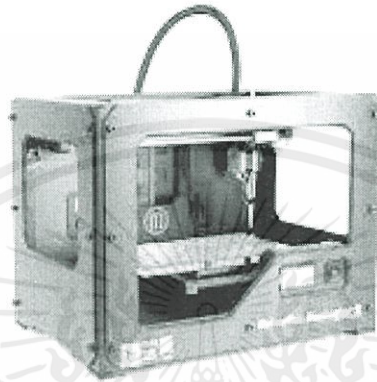
จากผลการจำลองที่แสดงให้เห็นถึงการกระจายความเร็วพบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนใบมากขึ้นสามารถบังคับทิศทางการไหลได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับจำนวนใบที่น้อยกว่าและการไหลนั้นมีเสถียรภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

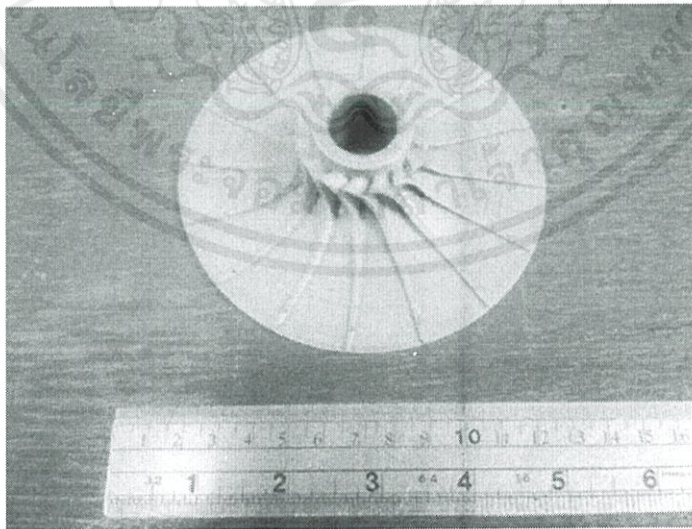
การทำโมเดล 3 มิติ (3D Printing)

หลังจากที่เราได้แบบของกังหันตามที่ต้องการแล้วเราก็จะมาสร้างตัวต้นแบบ 3D ขึ้นมาโดยใช้การขึ้นรูป 3 มิติ (3D-Printing) โดยใช้วัสดุคือพลาสติก



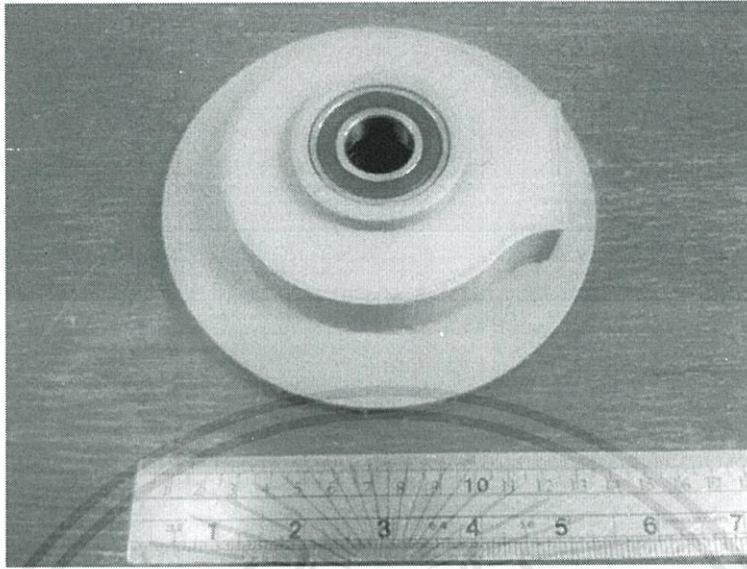
รูปที่ 7.1 เครื่อง Makerbot ที่ใช้ในการทำขึ้นรูปสามมิติ

เครื่องที่ใช้ในการทำขึ้นรูปสามมิติคือเครื่อง Makerbot 3D scan Replicator 2x โดยเราจะอาศัยแบบที่ได้จากโปรแกรม UG มาใช้ในการเขียนโค้ดเพื่อส่งเครื่องพิมพ์ตามแบบที่เราต้องการ ซึ่งโมเดลที่เราทำการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติมีทั้งหมด 4 ชิ้นส่วน ได้แก่ 1.ส่วนกังหัน 2.ส่วนฐานรองรับ 3.ส่วนฝาครอบ 4.ส่วนสแตเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7.2 ส่วนกังหัน

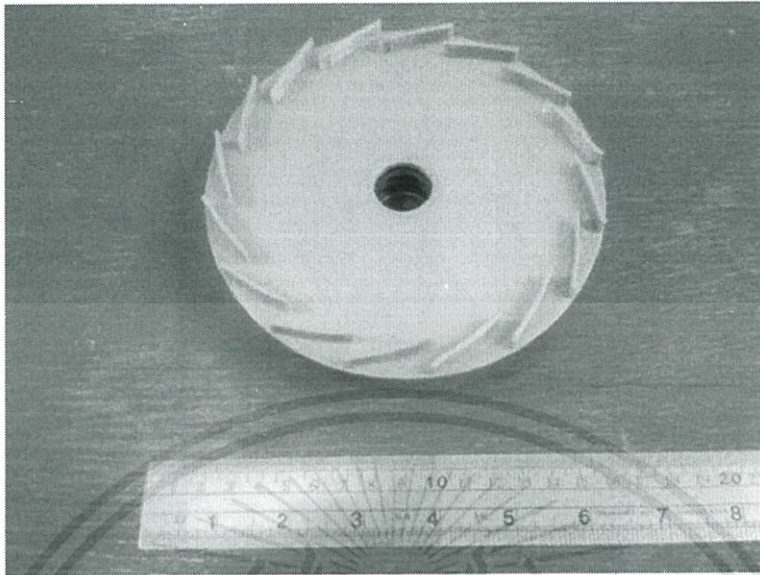


รูปที่ 7.3 ส่วนฐานรองรับ



รูปที่ 7.4 ส่วนฝาครอบกึ่งหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



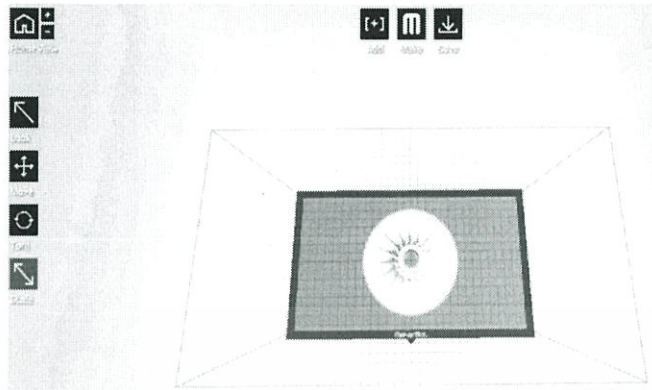
รูปที่ 7.5 ส่วนสเตเตอร์

ในการผลิตเราได้ทำการย่อสัดส่วนขนาด (scale down) หรือย่อขนาดลงไป 50% อันเนื่องมาจากข้อจำกัดในการผลิตอันเนื่องมาจากขนาดของเครื่อง Megabot ที่เล็กเกินกว่าจะผลิตตามขนาดจริงได้จึงทำการย่อขนาดเพื่อให้สามารถผลิตได้

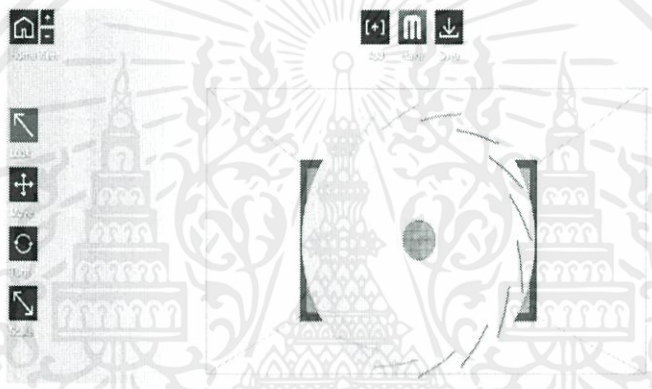


รูปที่ 7.6 ขนาดจริงของโรเตอร์ก่อนทำการย่อสัดส่วนขนาด

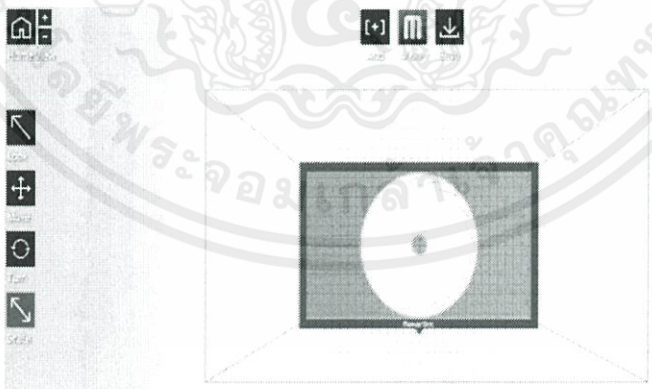
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.7 ขนาดโรเตอร์หลังทำการย่อสัดส่วนขนาดลง 50%

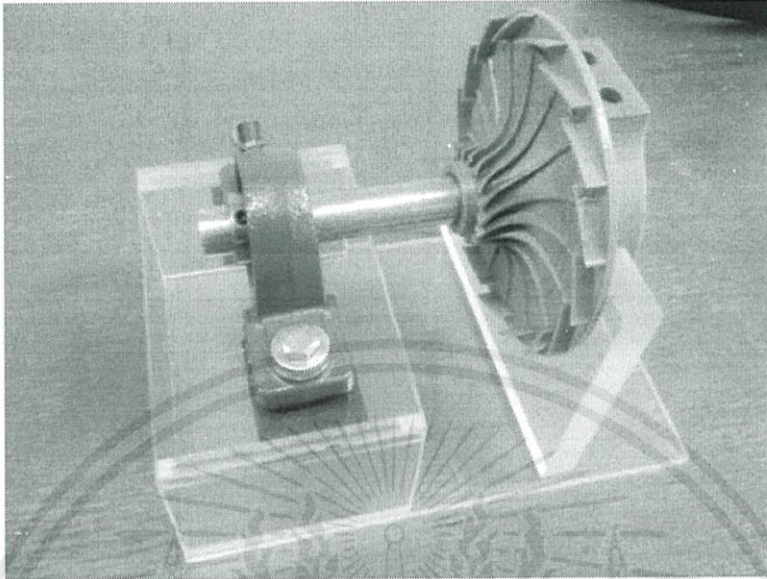


รูปที่ 7.8 ขนาดจริงของสเตเตอร์ก่อนทำการย่อสัดส่วนขนาด

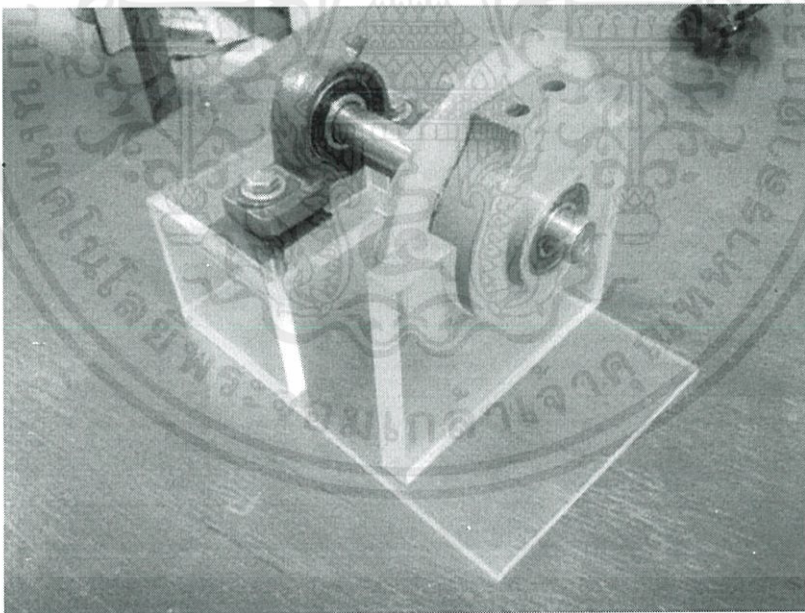


รูปที่ 7.9 ขนาดสเตเตอร์หลังทำการย่อสัดส่วนขนาดลง 50%

เอกสารนี้ หลังจากนั้นก็เราก็ได้ทำแท่นวางจากวัสดุอะครีลิก และได้ใส่แปรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm. เพื่อ
ไม่ เป็นการจำลองการหมุนของกังหันนี้ ดังรูปที่ 7.10 และ 7.11 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.10 ส่วนของกังหันประกอบกับส่วนของฐานรองรับและสเตเตอร์



รูปที่ 7.11 ส่วนของกังหันประกอบกับส่วนของฐานรองรับและสเตเตอร์

เอกสารนี้ก็มีโมเดลนี้จะเป็นตัวต้นแบบสำหรับการผลิตในอนาคตต่อไปนั้น ไม่นานญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

สรุปผลการออกแบบและข้อเสนอนแนะ

8.1 สรุปผลการออกแบบ

จากผลการออกแบบเราจะได้ว่าแบบที่เราต้องการจากการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆในแต่ละกรณีที่เราได้ปรับเปลี่ยนจากบทที่ 6 ซึ่งเราก็ได้ใช้ค่าหรือจำนวนที่ทำให้กำลังงานและประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกที่ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ยังได้เลือกค่าที่ได้คำนึงถึงความเป็นไปได้แล้วว่าสามารถทำการผลิตได้ ไม่ใช่คำนึงถึงเรื่องของกำลังงานและประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกเพียงอย่างเดียว เราจะได้ว่า

Rotor Diameter	240 millimeter
Number of Rotor Blade	15 blade
Height of turbine	50 millimeter
Height of turbine blade	10 millimeter
Number of Stator blade	16 blade
Power	77.4 Kilowatts.
Isentropic eff.	80.02 %

ตารางที่ 8.1 แสดงค่าที่เหมาะสมที่เลือกจากการ Simulation กรณีต่างๆ รวมถึงค่ากำลัง และประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก

สรุปได้ว่า

-เส้นผ่านศูนย์กลางของโรเตอร์ 240 mm.

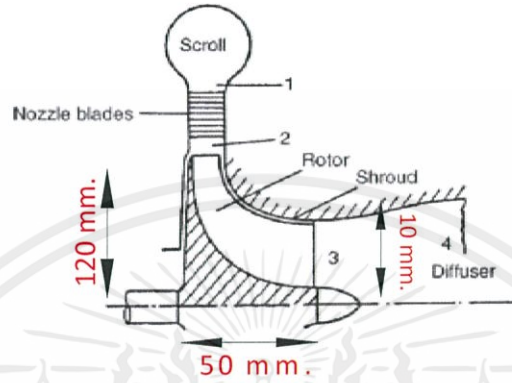
-จำนวนใบพัดคือ 15 ใบพัด

-ความสูงของกังหัน 50 mm.

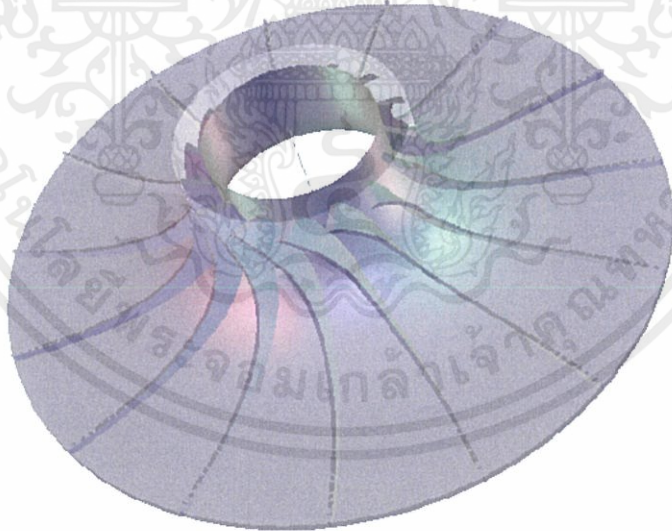
-และความสูงของใบกังหัน คือ 10 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปทรงของกังหันที่ได้จากการออกแบบจะเป็นดังรูปที่ 8.2
- กำลังที่ได้ 77.6 kw
- ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก 80.02 %



รูปที่ 8.1 ขนาดของกังหันที่ออกแบบได้



รูปที่ 8.2 รูปทรงของกังหันที่ได้จากการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการออกแบบเราไม่สามารถที่จะผลิตงานและอัตราส่วนความดันได้ตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้คือ 174 กิโลวัตต์ และอัตราส่วนความดันคือ 4 ตามเงื่อนไขของอัตราการไหลที่เท่ากับ 0.4076 Kg/s และยังพบอีกด้วยว่าพลังงานจลน์ที่ทางออกมีค่าสูง ดังนั้นข้อเสนอแนะคือ

1. อัตราการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงควรจะมีค่ามากกว่านี้ เพื่อให้ได้กำลังงานที่มากขึ้น
2. ถ้าเราไม่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการไหลได้ ให้เพิ่มจำนวนสเตจโดยนำพลังงานจากสเตจแรกนำกลับมาใช้ในสเตจต่อไป
3. การออกแบบรูปทรงใบพัดควรจะออกแบบให้มีการรับการถ่ายเทโมเมนตัมของอากาศให้ได้มากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] William W. Bathie (1996). *Fundamentals of Gas Turbines, 2nd Edition*, John Wiley & Sons, New York.
- [2] Dixon, S. L. (1974). *Fluid mechanics, thermodynamics of turbomachinery*. sixth edition, Oxford, New York,, Pergamon Press.(Dixon 1974)
- [3] Peng, W. W. (2007). *Fundamental of Turbomachinery*, First edition, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- [4] Waszkiewics, S.D., Tierney, M.J. and Scott, H.S. (2009). Development of coated, annular fins for adsorption chillers, *Applied Thermal Engineering*, vol. 29(11-12), August 2009, pp. 2222 – 2227.
- [5] Hur, K.B., Rhim, S.K., Park, J.K. *Mechanical characteristics evaluation of biogas micro turbine power systems*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22 (2009) 1003–1009.
- [6] Oil-Free Turbomachinery research. *NASA PS304 Lubricant Tested in World's First Commercial Oil-Free Gas Turbine*, <http://www.grc.nasa.gov/WWW/RT/RT2002/5000/5960weaver.html>, access on 7/08/2013.
- [7] Solar Turbine A Caterpillar Company. *Saturn 20 Gas Turbine Generator Set*, www.mysolar.cat.com/cda/files/126893/7/ds20gs.pdf, access on 7/08/2013.
- [8] Euler's Turbomachinery Equations. *By Jack D. Mattingly From Elements of Propulsion: Gas Turbines and Rockets*. <http://www.globalspec.com/reference/28331/203279/9-2-euler-s-turbomachinery-equations>, access on 15/09/2013.
- [9] Baskharone, Erian A. (2006). *Principles of Turbomachinery in air-breathing engines, First edition*, Cambridge University Press, Cambridge.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้