



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากที่น้ำบนอาคารสูง

HYDRO WATER TURBINE GENERATOR WATER

นายศิริชัย ธรรมารักษ์วัฒนะ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากกองทุนวิจัย สจล. ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากที่น้ำบนอาคารสูง

HYDRO WATER TURBINE GENERATOR WATER

นายศิริชัย ธรรมารักษ์วัฒนะ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากกองทุนวิจัย สจล. ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการวิจัย (ภาษาไทย) “โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากท่อน้ำบน
อาคารสูง”

(ภาษาอังกฤษ) “HYDRO WATER TUBINE GENERATOR WATER”

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย กองทุนวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
(KRFE015909)

ประจำปีงบประมาณ 2560 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 479,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 2 ปี ตั้งแต่ 15 มกราคม 2560 ถึง 15 มกราคม 2562

ชื่อผู้วิจัย (ภาษาไทย)

นายสิริชัย ธรรมารักษ์วัฒนะ

(ภาษาอังกฤษ)

Mr.Sirichai Tammaruckwattana

หน่วยงานที่รับผิดชอบงานวิจัย และที่อยู่

แผนก/ภาควิชา วิศวกรรมการวัดและควบคุม กอง/คณะ คณะวิศวกรรมศาสตร์

กรม/มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กระทรวง/ทบวง กระทรวงศึกษาธิการ

ที่อยู่ ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

โทรศัพท์ 02-739-0758 โทรสาร 02-739-0758

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบ การสร้างกังหันน้ำตลอดจนระบบควบคุมและแบบจำลองระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากท่อน้ำบนอาคารสูง เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนากังหันน้ำ โดยระบบที่สร้างขึ้นประกอบด้วยกังหันน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ Data Acquisition ปัมป์น้ำ สเต็ปดาวน์คอนเวอร์เตอร์ และวาล์วควบคุม โดยกังหันน้ำทำหน้าที่รับน้ำเพื่อทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานโดยอินเวอร์เตอร์ จะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงผ่านสเต็ปดาวน์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อที่จะเก็บไฟฟ้าที่ผลิตได้ไว้ในแบตเตอรี่ โดยค่าแรงดันที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะส่งค่าไปที่ Data Acquisition และแสดงผลผ่านโปรแกรม LabVIEW นอกจากนี้ยังใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุมวาล์วควบคุมให้เปิดปิดตามต้องการ ขั้นตอนในการสร้างระบบการผลิตไฟฟ้าและกังหันน้ำสามารถแบ่งการดำเนินงานออกเป็นห้าขั้นตอน ขั้นที่หนึ่งคือการกำหนดเงื่อนไขของกระบวนการ โดยจะกำหนดกระบวนการต่างๆ ในระบบอย่างชัดเจนเพื่อที่จะใช้ประกอบการออกแบบต่อไป ขั้นที่สองคือ การเลือกอุปกรณ์ที่ใช้งานภายในระบบ ขั้นที่สามคือ ออกแบบโครงสร้างของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบสรุปวิจัยนี้ในทางที่ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่สี่คือ การทำโครงสร้างและติดตั้งอุปกรณ์ ขั้นที่ห้าคือการออกแบบกังหันด้วยโปรแกรม SketchUp ขั้นต่อมาเป็นการออกแบบโปรแกรมสำหรับติดต่อกับผู้ใช้งาน รวมถึงการแสดงผลของค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ด้วยโปรแกรม LabVIEW ขั้นสุดท้ายเป็นการทดสอบการใช้น้ำที่ออกแบบมาใช้ผลิตไฟฟ้าเพื่อแสดงถึงประสิทธิภาพในการใช้ผลิตไฟฟ้า

คำสำคัญ : พลังงานทดแทน, พลังงานน้ำ, กังหันน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: HYDRO WATER TUBINE GENERATOR WATER

Researcher: Asst.Dr.Sirichai Tammaruckwattana

Faculty: Faculty of Engineering

Department: Instrumentation and control Engineering

ABSTRACT

This research presents the experimental of hydropower plant generator system (HPGS). The HPGS using LabView which simulate the actual flow rates control system is investigated, the plant model consists of a permanent magnet synchronous generator, diode bridge rectifier circuit and Inverter control system. The Inverter control is used for current and voltage control is the power converter. The controller configured by the function in LabVIEW. In addition, solenoid valve control are also installed to monitoring the flow rate of water. Also, the generator torque characteristic using the obtained parameters is calculated. The HPGS using LabVIEW can operate is clarified by comparing with the HPGS using Pelton method and the HPGS using standard method.

Keywords—inverter control system, LabVIEW, hydropower

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบคุณในความช่วยเหลือเป็นอย่างมากรทั้งทางด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนคำแนะนำและข้อมูลต่างๆจากบุคคลต่อไปนี้

1. ศ.ดร.วันชัย ธีรจุฑา ที่ช่วยให้คำปรึกษาและเอื้อเฟื้อเครื่องมือปรี้นแบบสามมิติ
2. ผศ.ดร.วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า ที่ช่วยให้คำปรึกษา
3. ดร.อภินิย ฤกษ์รัตน์ ที่ช่วยให้คำปรึกษาและเอื้อเฟื้อข้อมูลสำหรับเขียนรายงานโครงการวิจัย
4. นายกฤษดากร หน่อเรื่อน และนายอิรภัทร สันเต๊ะ ที่ช่วยเหลือในการทดลองและเก็บข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก กองทุนวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KRFE015909) จากแหล่งทุนเงินกองทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 งบประมาณที่ได้รับการจัดสรรทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้ 479,000 บาท

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำโครงการวิจัยครั้งนี้

สิริชัย ธรรมารักษ์วัฒน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.5 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความรู้เกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ	3
2.1.1 ความหมายของไฟฟ้าพลังน้ำ	3
2.1.2 ประเทศไทยกับการใช้พลังงานน้ำ	4
2.1.3 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	4
2.1.4 รูปแบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ	5
2.1.5 ผลกระทบจากการใช้พลังงานน้ำ	8
2.1.5.1 ข้อดีของการใช้พลังงานน้ำ	8
2.1.5.2 ข้อเสียของการใช้พลังงานน้ำ	9
2.2 ทฤษฎีการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ	9
2.2.1 หลักการทำงานของการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ	9
2.3 กังหันน้ำ	12
2.3.1 ความหมายของกังหันน้ำ	12
2.3.2 ประเภทของกังหันน้ำ	12
2.3.2.1 กังหันน้ำแบบแรงกระทบ (Impulse Turbine)	12
2.3.2.2 กังหันน้ำแบบแรงสะท้อน (Reaction Turbine)	20
2.3.3 การใช้งานของกังหันน้ำแต่ละประเภท	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 โปรแกรมต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบ	26
2.4.1 โปรแกรม Microsoft Visio	26
2.4.2 โปรแกรม Repetier-Host	27
2.4.3 โปรแกรม SketchUp	28
2.4.4 โปรแกรม LabVIEW 2014	29
บทที่ 3 ขั้นตอนการทำโครงการ	30
3.1 กล่าวนำ	30
3.2 การกำหนดเงื่อนไขของกระบวนการ	30
3.2.1 โครงสร้างของระบบโดยรวม	30
3.2.2 กระบวนการของระบบ	31
3.3 การเลือกอุปกรณ์ที่ใช้งานภายในระบบ	31
3.3.1 การเลือกปั้มน้ำ	31
3.3.2 การเลือกวาล์วควบคุม	32
3.3.3 การเลือกตัวควบคุม	33
3.3.4 การเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	34
3.3.5 การเลือก Diode Rectifier	35
3.3.6 การเลือกแบตเตอรี่	36
3.3.7 การเลือกสแต็ปดาวน์ คอนเวอร์เตอร์	37
3.3.8 การเลือกกังหันน้ำ	38
3.4 ออกแบบโครงสร้างของระบบ	38
3.5 การทำโครงสร้างและติดตั้งอุปกรณ์	39
3.6 ออกแบบกังหันน้ำ	43
3.6.1 ขั้นตอนการเริ่มต้นใช้โปรแกรม	43
3.6.2 ทำการออกแบบกังหันน้ำแบบ Standard	44
3.6.3 ทำการออกแบบกังหันน้ำแบบ Curve	51
3.6.4 ทำการออกแบบกังหันน้ำแบบ Pelton	58
3.7 ทำการพิมพ์ 3D กังหันน้ำ	61
3.7.1 แปลงสกุลไฟล์ skp เป็น STL	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.8 สร้างโปรแกรมสำหรับแสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW 2014	65
3.8.1 ขั้นตอนการเริ่มใช้โปรแกรม	65
3.8.2 ออกแบบโปรแกรม LabVIEW 2014	67
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	70
4.1 ผลของการออกแบบกังหันน้ำ	70
4.2 ผลการทดสอบ	72
4.2.1 กังหันน้ำแบบ Pelton	72
4.2.2 กังหันน้ำแบบ Standard	74
4.2.3 กังหันน้ำแบบ Curve	76
4.3 สรุปผลการทดสอบ	78
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	80
5.1 บทวิจารณ์และสรุปผลการดำเนินงาน	80
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข	81
5.3 ข้อเสนอแนะ	81
เอกสารอ้างอิง	82
ภาคผนวก	83
ภาคผนวก ก การพิมพ์โมเดล 3D ของกังหันน้ำ	84
ภาคผนวก ข การติดตั้งกังหันน้ำในระบบ	85
ภาคผนวก ค สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย	88
ประวัตินักวิจัย	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กราฟแสดงประเทศที่ผลิตไฟฟ้าพลังน้ำที่สูงสุด 5 อันดับ	3
2.2 โรงไฟฟ้าแบบอ่างเก็บน้ำ	6
2.3 โรงไฟฟ้าแบบ Run-of-the-river	7
2.4 โรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ	8
2.5 กระบวนการไหลของน้ำในระบบผลิตไฟฟ้าแบบสูบกลับ	9
2.6 กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ	10
2.7 ภาพแสดงส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้า	12
2.8 การกระทบของลำของไหล	13
2.9 การกระทบของลำของไหลบนใบพัดโค้ง 180 องศา	14
2.10 ภาพด้านบนของแฉกใบพัดอิมพัลซ์บนวงล้อ	15
2.11 ไดอะแกรมความเร็วของใบกังหันและสามเหลี่ยมความเร็วของกังหัน	16
2.12 กังหันน้ำแบบแรงกึ่ง	18
2.13 กังหันน้ำแบบเพลตัน	19
2.14 กังหันน้ำแบบเทอร์โก	20
2.15 กังหันแรงปฏิกิริยาสามสโตจ แสดงความดันและความเร็วสัมพันธ์ของไอน้ำ	20
2.16 หลักการทำงานของกังหันปฏิกิริยา	21
2.17 แผนภาพความเร็วของกังหันปฏิกิริยาสองสโตจ	21
2.18 กังหันน้ำแบบฟรานซิส	24
2.19 กังหันน้ำแบบเดเรียซ	24
2.20 กังหันน้ำแบบคาปลาน	25
2.21 แผนผังแสดงการออกแบบกังหันน้ำ และพลังงานที่เกิดขึ้น	25
2.22 ไอคอนของโปรแกรม Microsoft Visio	26
2.23 หน้าต่างของโปรแกรม Microsoft Visio	26
2.24 ไอคอนของโปรแกรม Repetier-Host	27
2.25 หน้าต่างของโปรแกรม Repetier-Host	27
2.26 ไอคอนของโปรแกรม SketchUp	28
2.27 หน้าต่างของโปรแกรม SketchUp	28
2.28 ไอคอนของโปรแกรม LabVIEW 2014	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 หน้าต่างของโปรแกรม LabVIEW 2014	29
3.1 กระบวนการของระบบ	30
3.2 ปั๊มน้ำ 1100GPH SEAFLO BILGE PUMP	32
3.3 วาล์วควบคุม 2W250-25	33
3.4 Data Acquisition NI USB 6008	34
3.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า SGN006	35
3.6 Diode Rectifier	36
3.7 Battery 12V 5Ah	36
3.8 Step-down Converter 86V-12V	37
3.9 โครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ	38
3.10 เหล็กฉาก	39
3.11 โครงสร้างเหล็กฉาก	40
3.12 โครงสร้างเหล็กฉากและตู้อะคริลิก	41
3.13 โมเดลสำหรับทดสอบกึ่งहनน้ำ	42
3.14 ไอคอนโปรแกรม SketchUp	43
3.15 หน้าแรกของโปรแกรม SketchUp	43
3.16 หน้าต่างโปรแกรม SketchUp	44
3.17 เครื่องมือ “Circle”	44
3.18 การสร้างวงกลมในโปรแกรม SketchUp	45
3.19 สร้างวงกลม	45
3.20 ลบส่วนกลางของวงกลม	46
3.21 กำหนดขอบของใบกัทัน	46
3.22 ลากเส้นใบพัด	47
3.23 วัดองศา	47
3.24 วัดองศาจนครบรอบวงกลม	48
3.25 กำหนดความหนาใบพัด	48
3.26 กำหนดความหนาใบพัดจนครบ	49
3.27 ลากเส้นใบพัด	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.28 ลบเส้นขอบออก	50
3.29 ดึงแกนกลางขึ้น	50
3.30 กังหันน้ำแบบ Standard	51
3.31 สร้างแกนกลาง	51
3.32 กำหนดขอบของกังหัน	52
3.33 ลากเส้น	52
3.34 วัตถุ	53
3.35 สร้าง Guide Point	53
3.36 สร้างวงกลมเพื่อวาดส่วนของใบพัด	54
3.37 ลบเส้นที่ไม่ใช้	54
3.38 สร้างวงกลม	55
3.39 สร้าง Guide Point	55
3.40 สร้างความหนาของใบพัด	56
3.41 ลบเส้นที่ไม่ใช้	56
3.42 ดึงแกนกลางขึ้น	57
3.43 กังหันน้ำแบบ Curve	57
3.44 หน้าต่างในเมนู “File”	58
3.45 หน้าต่างใน Function “3D Warehouse”	58
3.46 ค้นหาโมเดลใน 3D Warehouse	59
3.47 Model “Pelton Wheel”	59
3.48 Terms of Use and General Model License Agreement	60
3.49 กังหันน้ำแบบ Pelton	60
3.50 หน้าต่างในเมนู “Window”	61
3.51 หน้าต่างใน “Extension Warehouse”	61
3.52 Extension “Sketchup STL”	62
3.53 Extension “Sketchup STL”	62
3.54 Function “Export STL..”	63
3.55 การ Export ไฟล์สกุล STL	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.56	64
3.57	65
3.58	65
3.59	66
3.60	66
3.61	67
3.62	67
3.63	68
3.64	68
3.65	69
4.1	70
4.2	71
4.3	71
4.4	72
4.5	72
4.6	73
4.7	73
4.8	74
4.9	74
4.10	75
4.11	75
4.12	76
4.13	76
4.14	77
4.15	77
4.16	78
4.17	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงหน่วยการผลิตสูงสุดของโรงไฟฟ้าน้ำแบบสูบกลับ	11
3.1 Water Pump Specification	32
3.2 Control Valve Specification	33
3.3 Data Acquisition Specification	34
3.4 Generator Specification	35
3.5 Battery Specification	37
3.6 Step-down Converter Specification	37
4.1 ตารางแสดงแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง	79



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันบ้านที่อยู่อาศัยในเขตกรุงเทพมหานครจะเป็นแบบอาคารสูง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า คอนโดฯหนึ่งตึกจะมีห้องพักอาศัยประมาณ 1200 ห้องขึ้นไป จากข้อมูลการใช้น้ำประปาในเขตกรุงเทพมหานครนั้นใช้ปริมาณน้ำเฉลี่ย 200 ลิตร/คน/วัน และแนวโน้มมีการขยายตัวของประชากรในเขตกรุงเทพมหานครเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับความต้องการในการใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนที่มากขึ้น ส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนไฟฟ้าจึงต้องมีการนำเอาไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดผลิตกระแสไฟฟ้าจากท่อน้ำบนอาคารสูง จากข้อมูลที่เราทราบว่าคน 1 คนใช้น้ำเฉลี่ย 200 ลิตร/วัน ทำให้เกิดแนวความคิดโดยผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำที่คนเราต้องเข้าไปในแต่ละวันขึ้น โดยพลังงานทางเลือกนี้จึงมีความสำคัญในการใช้ผลิตกระแสไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น เพราะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่น้อยกว่า และยังเป็นการลงทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาและสำรวจพลังงานต่างที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะสามารถใช้พลังงานเหล่านี้ได้อย่างเหมาะสมและผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งการผลิตกระแสไฟฟ้าจากท่อน้ำบนอาคารสูงนั้น ถือว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถจะผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากน้ำในท่อน้ำบนอาคารสูง อีกทั้งยังทำให้เกิดมลพิษน้อย

จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงเกิดเป็นความสนใจที่จะทำการศึกษาและวิเคราะห์ เพื่อที่จะสามารถสร้างแบบจำลองขึ้นมาทดสอบผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยการศึกษาและออกแบบกังหันน้ำสำหรับการทดสอบเพื่อให้ได้รูปแบบของกังหันน้ำ ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. ออกแบบระบบควบคุมการผลิตกระแสไฟฟ้าในท่อน้ำอาคารสูง
2. การออกแบบกังหันน้ำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาแบบของกังหันน้ำ
2. สร้างเครื่องต้นแบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำในท่อน้ำอาคารสูง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากน้ำในท่อน้ำอาคารสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สามารถเปรียบเทียบรูปแบบใบกังหันน้ำแบบต่างๆที่ผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำในท่อนอาคารสูงได้อย่างเหมาะสม

1.5 รายละเอียดของโครงการวิจัย

เนื้อหาที่จะกล่าวในโครงการวิจัยฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท กับอีก 2 ภาคผนวก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึงปัญหาและที่มาของโครงการวิจัย วัตถุประสงค์ของการทำโครงการวิจัย ขอบเขตของโครงการงาน ขั้นตอนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและรายละเอียดของโครงการวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎี หลักการ อุปกรณ์ และความรู้ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

บทที่ 5 ผลสรุปและข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก ก การติดตั้งระบบกังหันน้ำ

ภาคผนวก ข แบบพิมพ์โมเดล 3 มิติ ของกังหันน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

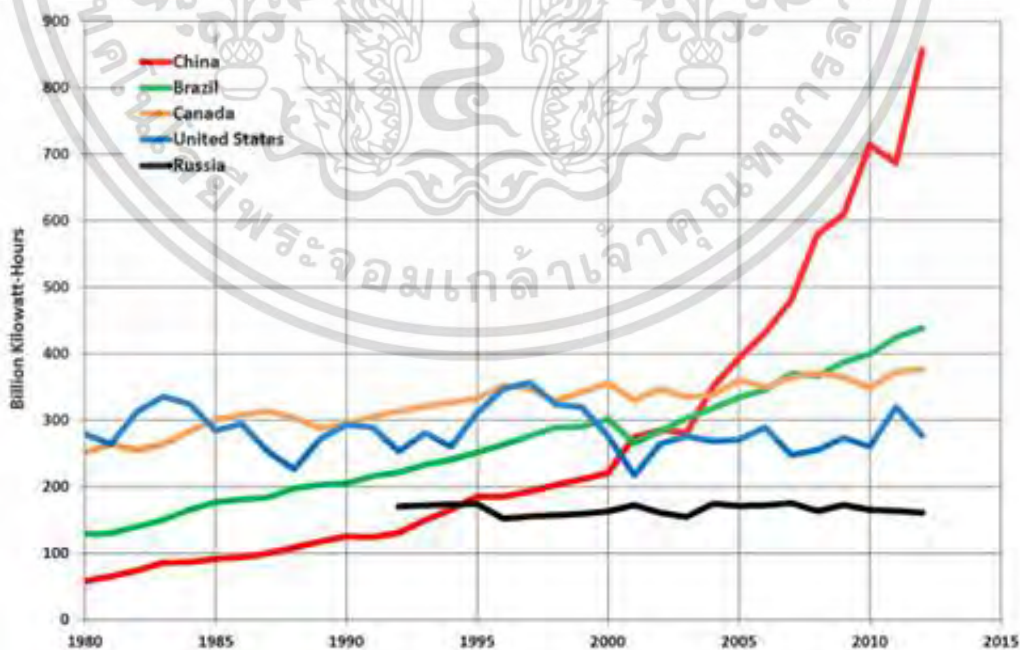
2.1 ความรู้เกี่ยวกับการผลิตกระแสไฟฟ้า

2.1.1 ความหมายของไฟฟ้าพลังน้ำ

ไฟฟ้าพลังน้ำคือ พลังงานจากน้ำ น้ำที่กำลังไหลเต็มไปด้วยพลังงานธรรมชาติมหาศาล ไม่ว่าจะ เป็นน้ำจากแม่น้ำที่กำลังไหลหรือคลื่นในมหาสมุทร ลองนึกถึงพลังการทำลายเมื่อแม่น้ำทำให้ชายฝั่ง พังท้อให้เกิดน้ำท่วม หรือคลื่นสูงที่ทำลายชายฝั่งตื้นๆ คุณก็จะสามารถนึกภาพพลังงานมหาศาลได้

พลังงานนี้สามารถควบคุมและเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้ ไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเป็นแหล่ง พลังงานหมุนเวียน เพราะน้ำเพิ่มขึ้นใหม่ตลอดเวลาผ่านทางวัฏจักรของน้ำในโลก ระบบวัฏจักรของน้ำ ต้องอาศัยแหล่งน้ำไหลที่ถาวร เช่น ลำธารหรือแม่น้ำ น้ำไม่เหมือนพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ตรงที่สามารถผลิตพลังงานได้อย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง

ใน ค.ศ. 2003 ไฟฟ้า 16% ของโลกผลิตขึ้นโดยโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ไฟฟ้าพลังน้ำควบคุมพลังงาน ของน้ำที่ไหลจากสูงลงต่ำ (เช่น น้ำที่ไหลต้นน้ำลงไปปลายน้ำ) ยิ่งปริมาณน้ำไหลจากที่สูงมากเท่าใด น้ำยิ่งไหลเร็วขึ้นเท่านั้น ทำให้ยิ่งผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้นเท่านั้น โดยตารางแสดงประเทศที่ใช้น้ำในการ ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด 5 ประเทศ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำที่สูงที่สุด 5 ประเทศ

https://en.wikipedia.org/wiki/Hydroelectricity#/media/File:Top_5_Hydropower-Producing_Countries.png

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานน้ำเป็นที่สนใจของประเทศใหญ่ๆ ในหลายๆ ประเทศ เพราะเป็นพลังงานที่ไม่ต้องลงทุนมาก และไม่สร้างแก๊สเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของโลกร้อน

แต่เขื่อนพลังน้ำขนาดใหญ่ทำลายระบบนิเวศได้ ควรพิจารณาความต้องการน้ำของชุมชน ชาวไร่ชาวนา และระบบนิเวศที่อยู่ปลายน้ำ นอกจากนี้โครงการพลังน้ำอาจเชื่อถือไม่ได้ในช่วงแห้งแล้งยาวนานและฤดูที่อากาศแห้งซึ่งทำให้แม่น้ำแห้งผากหรือน้ำลดลง

2.1.2 ประเทศไทยกับการใช้พลังงานน้ำ

ประเทศไทยมีปริมาณน้ำที่สามารถใช้หมุนเวียนภายในประเทศค่อนข้างน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ ดังนั้นศักยภาพของพลังงานน้ำของประเทศไทยถือว่าอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ปริมาณน้ำจะอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ แต่การใช้พลังงานจากน้ำก็ไม่ได้เป็นการสิ้นเปลืองน้ำ เพราะการนำน้ำมาผลิตไฟฟ้าไม่ได้ทำให้น้ำที่ใช้ในการผลิตนั้นหายไป แต่สามารถนำมาใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้

ในปัจจุบันประเทศไทยใช้ไฟฟ้าจากการผลิตด้วยพลังงานน้ำประมาณร้อยละ 5-6 ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั่วประเทศ พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานน้ำเป็นเพียงแหล่งผลิตไฟฟ้าเสริมเท่านั้น เพื่อเพิ่มพลังการผลิตให้กับระบบไฟฟ้ารวมของประเทศ ซึ่งมีส่วนช่วยอย่างมากในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าสูง (Peak Load) เพราะโรงไฟฟ้าพลังน้ำนั้นมีข้อดีอยู่ที่สามารถเดินเครื่องได้รวดเร็ว และสามารถที่จะอยู่หยุดกระบวนกรได้ตามต้องการ ซึ่งต่างจากโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงในการผลิตทั่วไปที่ต้องใช้เวลาในการเริ่มหรือหยุดกระบวนกร โดยปัจจุบันมีโรงไฟฟ้าพลังน้ำอยู่ 20 แห่ง ที่อยู่ในความรับผิดชอบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งมีกำลังผลิตรวมทั้งสิ้นประมาณ 2.9 กิกะวัตต์

2.1.3 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

ไฟฟ้าที่เกิดจากพลังน้ำ โดยใช้พลังงานจลน์ของน้ำซึ่งเกิดจากการปล่อยน้ำจากที่สูงหรือการไหลของน้ำ หรือการขึ้น-ลงของคลื่น ไปหมุนกังหันน้ำ (Turbine) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยพลังงานที่ได้จากไฟฟ้าพลังน้ำนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ความแตกต่างของระดับน้ำ และประสิทธิภาพของกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและพลังงานจากพลังน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.1)

$$P = \rho h r g k \quad (2.1)$$

- เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้าศักยภาพ (w)
 ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)
 h คือ ความสูงของน้ำ (m)
 r คือ อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s^2)
 g คือ แรงโน้มถ่วง (m/s^2)
 k คือ ประสิทธิภาพรวมของกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าแล้ว ควรต้องทำความรู้จัก Plant Factor ซึ่งหมายถึง สัดส่วนของพลังงานที่ผลิตได้ในเวลาหนึ่งต่อพลังงานที่คาดว่าจะผลิตได้เต็มตามศักยภาพ ในช่วงเวลาทั้งหมด โดยปกติทั่วไปค่า Plant Factor จะต่ำกว่า 1 หรือต่ำกว่า 100% ทั้งนี้เนื่องจากการปิดโรงไฟฟ้าเพื่อซ่อมและบำรุงรักษาประจำปี นอกจากนี้ยังผันแปรตามปัจจัยอื่นๆ อีก อาทิเช่น ความมากน้อยของปริมาณน้ำ (แหล่งเชื้อเพลิง) และการออกแบบ หากออกแบบโรงไฟฟ้าพลังน้ำให้เดินเครื่องเป็นระยะเวลาที่ยาวขึ้น ค่า Plant Factor ย่อมสูงกว่าโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่มีระยะเวลาเดินเครื่องที่สั้นกว่า

โดยปกติทั่วไป หากโรงไฟฟ้าพลังน้ำมีข้อจำกัดด้านปริมาณน้ำ โรงไฟฟ้าพลังน้ำนั้น จะผลิตไฟฟ้าเพื่อตอบสนองเฉพาะในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด เพราะเป็นช่วงเวลาที่ให้ค่าตอบแทนสูงสุด

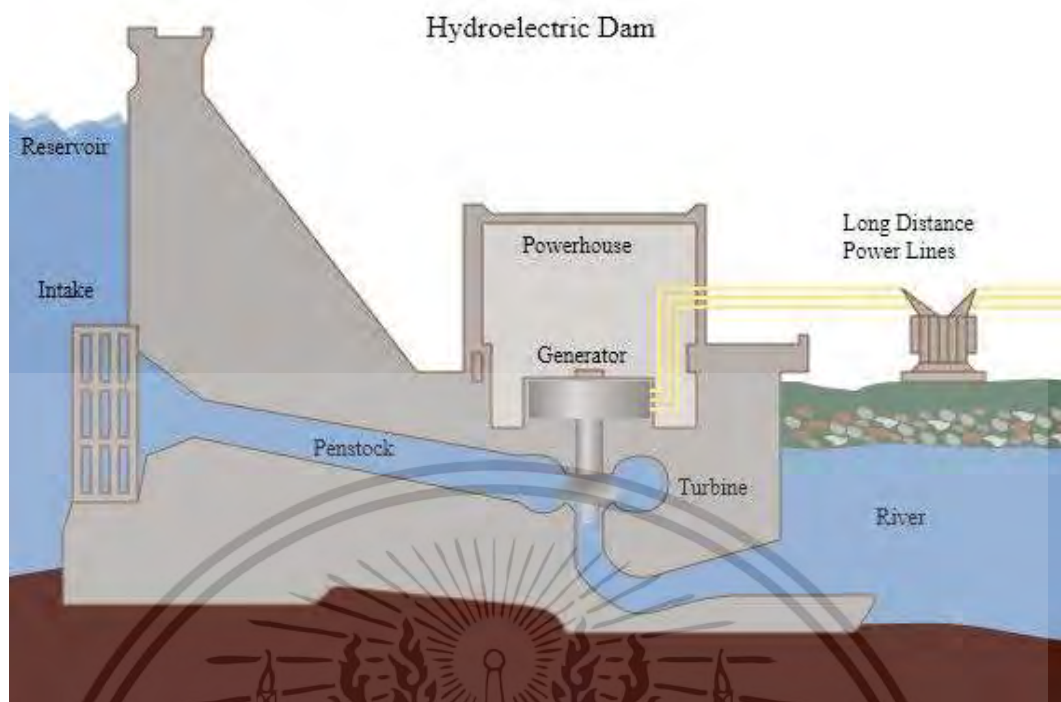
2.1.4 รูปแบบการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ

2.1.4.1. ไฟฟ้าพลังน้ำจากอ่างเก็บน้ำ

อ่างเก็บน้ำจะทำหน้าที่รวบรวมและเก็บกักน้ำ เมื่อปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำลงสู่ที่ต่ำโดยแรงดึงดูดของโลก พลังน้ำที่เกิดจากการไหลจะหมุนกังหันน้ำ (Turbine) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในกรณีที่อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ จะทำให้สามารถบริหารจัดการน้ำได้สะดวก ดังนั้นในเชิงเศรษฐศาสตร์หรือธุรกิจแล้ว โรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทนี้ มักผลิตไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง ซึ่งเป็นช่วงที่ให้ค่าตอบแทนสูง

ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังน้ำจากอ่างเก็บน้ำจะผันแปรตามปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ และความแตกต่างระหว่างระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำและระดับน้ำที่ปล่อย (ด้านท้ายน้ำ)

โดยทั่วไปโครงการไฟฟ้าพลังน้ำส่วนใหญ่จะเป็นในรูปแบบของไฟฟ้าพลังน้ำจากอ่างเก็บน้ำ ในประเทศไทยก็เช่นเดียวกัน เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนภูมิพล (แม่น้ำปิง จังหวัดตาก) โรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนสิริกิติ์ (แม่น้ำน่าน จังหวัดอุตรดิตถ์) และโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ (แม่น้ำแควใหญ่ จังหวัดกาญจนบุรี) เป็นต้น ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โรงไฟฟ้าแบบอ่างเก็บน้ำ

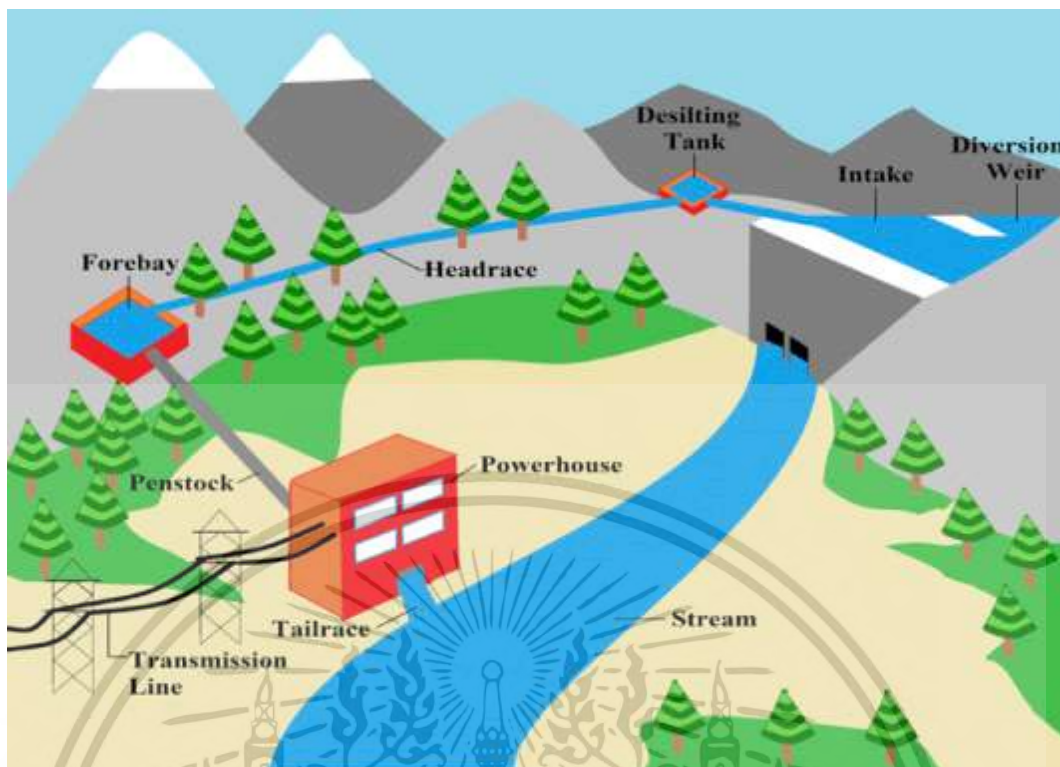
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/57/Hydroelectric_dam.svg>

2.1.4.2.2. ไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river

โรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทนี้ เป็นรูปแบบที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำเป็นองค์ประกอบ จึงไม่มีการบริหารจัดการน้ำ ดังนั้นโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river จะทำงานตลอดเวลาตามปริมาณน้ำที่ไหลในแม่น้ำ เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river มักสร้างอยู่ในบริเวณพื้นที่ค่อนข้างราบ และมีอาคารสำหรับทดน้ำให้สูงขึ้น ด้วยข้อจำกัดด้านภูมิประเทศ ทำให้ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำที่ทดขึ้น กับระดับที่ปล่อยทางด้านท้ายน้ำมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้นปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river จึงผันแปรตามปริมาณน้ำเป็นสำคัญ

โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river มักก่อสร้างในบริเวณที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างมาก และมีน้ำไหลตลอดปี แต่มีภูมิประเทศไม่เหมาะสมที่จะก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ โรงไฟฟ้าประเภทนี้ในประเทศไทย ได้แก่ โรงไฟฟ้าเขื่อนปากมูล (แม่น้ำมูล จังหวัดอุบลราชธานี) ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



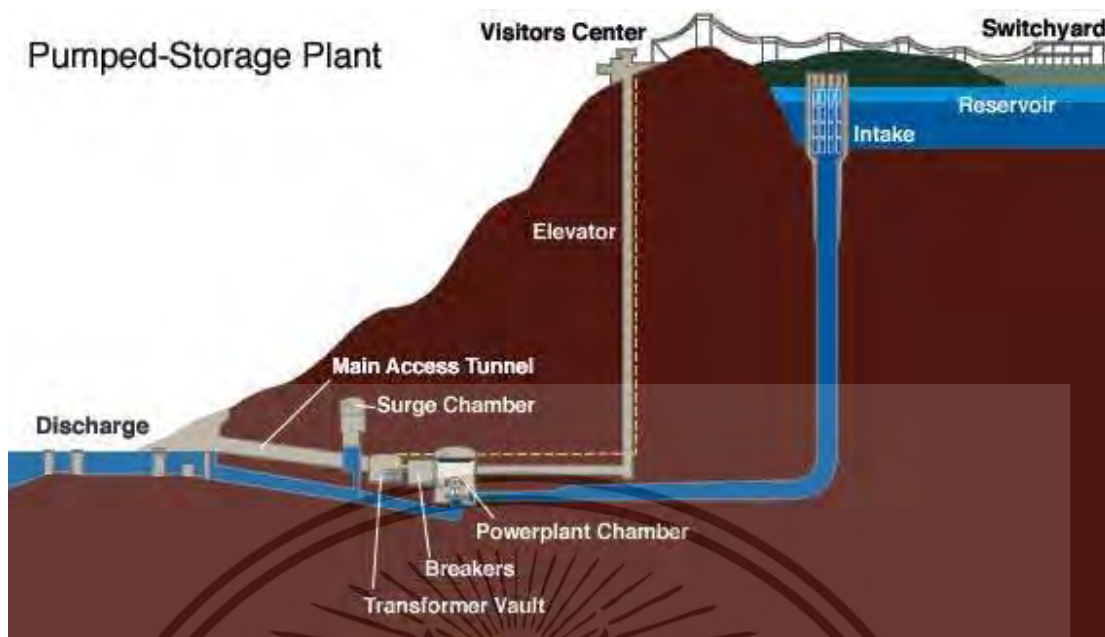
รูปที่ 2.3 โรงไฟฟ้าแบบ Run-of-the-river

<<http://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0960148116302166-gr1.jpg>>

2.1.4.3. ไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ

เป็นรูปแบบการผลิตไฟฟ้าที่ตอบสนองช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด โดยการถ่ายเทน้ำระหว่างอ่างเก็บน้ำที่มีระดับแตกต่างกัน ในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าน้อย ปริมาณไฟฟ้าส่วนเกินในระบบจะถูกนำมาใช้ในการสูบน้ำไปยังอ่างเก็บน้ำที่อยู่สูงกว่า เมื่อถึงช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก น้ำจะถูกปล่อยกลับลงมายังอ่างเก็บน้ำที่อยู่ต่ำกว่าและผลิตไฟฟ้า ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จึงผันแปรตามปริมาณน้ำ และความแตกต่างของระดับน้ำของอ่างเก็บน้ำทั้งสอง ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ

<https://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage_hydroelectricity#/media/File:Pumpstor_racoon_mtn.jpg>

2.1.5 ผลกระทบจากการใช้พลังงานน้ำ

2.1.5.1 ข้อดีของการใช้พลังงานน้ำ

1. น้ำมีวัฏจักรเป็นธรรมชาติ ดังนั้นเมื่อใช้พลังงานน้ำแล้วน้ำที่ถูกใช้แล้วจะถูกปล่อยกลับสู่ธรรมชาติ จะระเหยเมื่อได้รับความร้อน และจะตกลงเป็นน้ำฝนหมุนเวียนกลับมาทำให้พลังงานน้ำไม่มีสิ้นสุด
2. การใช้พลังงานจากน้ำเป็นการใช้เฉพาะส่วนที่อยู่ในรูปพลังงาน ซึ่งไม่ทำให้เสียเนื้อมวลสาร ดังนั้นเมื่อใช้พลังงานไปแล้ว น้ำก็ยังคงเหลืออยู่และมีปริมาณกับคุณภาพที่คงเดิม สามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้อีกมากมาย
3. การสร้างเขื่อนเป็นการกักเก็บน้ำเอาไว้ใช้ในเวลาที่ฝนแล้ง ทำให้ได้แหล่งน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้เพิ่มโอกาสในการประกอบอาชีพต่างๆ ได้ หรือเป็นสถานที่ท่องเที่ยวเพื่อพักผ่อนได้อีกด้วย
4. ระบบของพลังงานน้ำเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถดำเนินการผลิตไฟฟ้าได้รวดเร็ว และสามารถควบคุมได้ง่าย ทำให้การผลิตและการใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
5. อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการของระบบพลังงานน้ำส่วนใหญ่จะมีความทนทานสูง มีอายุการใช้งานนาน
6. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ในการใช้พลังงานน้ำค่อนข้างต่ำเพราะไม่ต้องสิ้นเปลืองค่าเชื้อเพลิง และเนื่องจากไม่มีการปล่อยมลพิษจึงไม่จ่ายค่ากำจัดมลพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

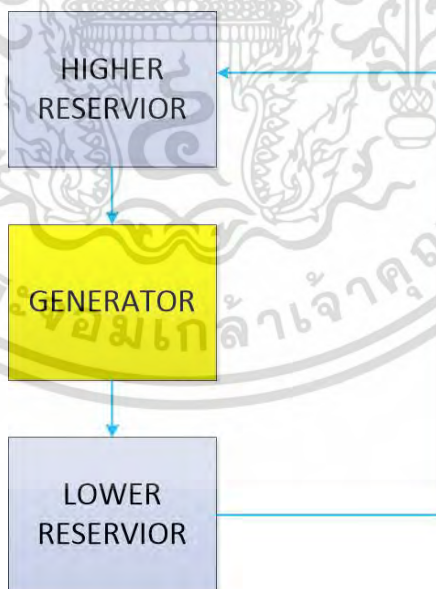
2.1.5.2 ข้อเสียของการใช้พลังงานน้ำ

1. ในการสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บน้ำ จะต้องสูญเสียพื้นที่ป่าไม้เป็นบริเวณกว้าง ซึ่งเป็นการทำลายระบบนิเวศวิทยาอย่างรุนแรง
2. ต้องใช้เงินลงทุนสูงในการสร้างเขื่อน เพื่อให้ได้ลักษณะภูมิประเทศที่เหมาะสม
3. เนื่องจากแหล่งพลังงานน้ำส่วนใหญ่อยู่ในที่ห่างไกลชุมชนจึงมักเกิดปัญหาในเรื่องการจัดหาบุคลากรไปปฏิบัติงาน
4. ในบางโอกาสอาจเกิดปัญหาจากสถานะของน้ำฝนที่ตกลงสู่แหล่งกักเก็บน้ำ มักมีความไม่แน่นอนทำให้เกิดผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าได้
5. การที่แหล่งพลังงานน้ำอยู่ห่างไกลจากชุมชน ทำให้ต้องลงทุนในเรื่องของสายส่งไฟฟ้า และจะเกิดการสูญเสียพลังงานในสายส่งด้วย

2.2 ทฤษฎีการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังน้ำ

2.2.1 หลักการทำงานของการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ

โรงไฟฟ้าแบบนี้ถูกสร้างขึ้นบนพื้นฐานความคิดในการจัดการกระแสไฟฟ้าส่วนเกิน เพราะโดยปกติการใช้ไฟฟ้าในช่วงกลางคืนที่ค่อนข้างต่ำแล้วจะมีการใช้ไฟฟ้างดลง แต่กำลังการผลิตไฟฟ้ายังคงเท่าเดิม ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า



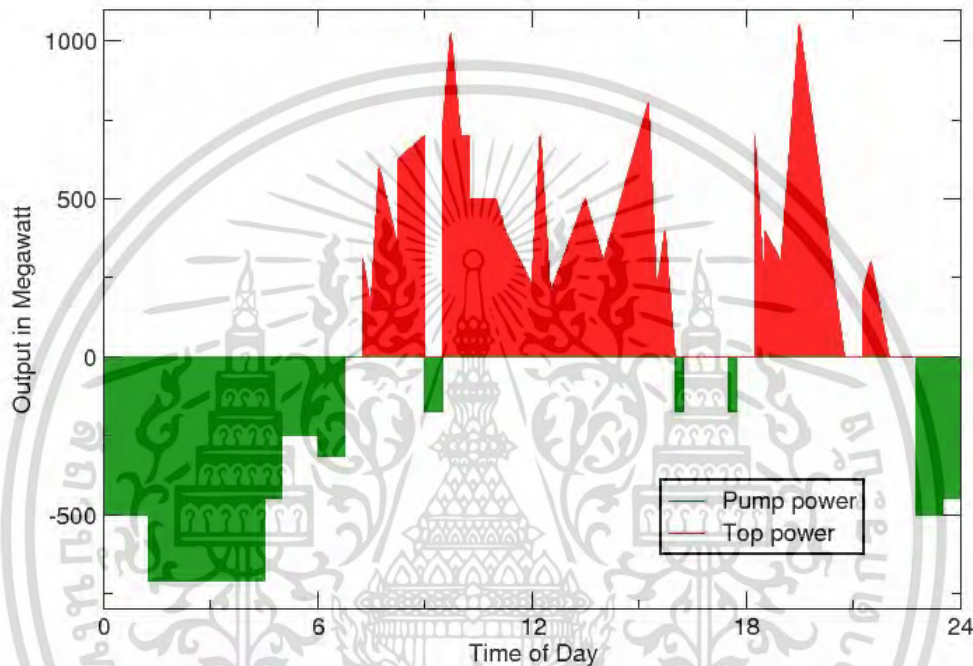
รูปที่ 2.5 กระบวนการไหลของน้ำในระบบผลิตไฟฟ้าแบบสูบกลับ

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบน้ำกลับเป็นโรงไฟฟ้าที่มีอ่างเก็บน้ำสองส่วนคือ อ่างเก็บน้ำส่วนบน (Upper Reservoir) และอ่างเก็บน้ำส่วนล่าง (Lower Reservoir) น้ำจะถูกปล่อยจากอ่างเก็บน้ำบนลงสู่อ่างเก็บน้ำล่างในช่วงกลางวันเพื่อผลิตไฟฟ้า และจะถูกสูบกลับขึ้นสู่อ่างเก็บน้ำบนในช่วงกลางคืนเพื่อประหยัดต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนบนลงมาเพื่อหมุนกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อต้องการผลิตไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และในช่วงที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำหรือน้อยลง จะใช้ไฟฟ้าที่เหลือจ่ายให้กับปั๊มน้ำขนาดใหญ่ที่ติดตั้งอยู่ในอ่างเก็บน้ำส่วนล่าง เพื่อสูบน้ำจากอ่างเก็บน้ำส่วนล่างนี้กลับขึ้นไปเก็บไว้ที่อ่างเก็บน้ำส่วนบนเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าต่อไป

กราฟด้านล่างแสดงถึงการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับในหนึ่งวัน โดยสีแดงแสดงถึงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ และสีเขียวแสดงถึงกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสูบน้ำกลับขึ้นไป ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ

<https://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage_hydroelectricity#/media/File:Pumpspeicherkraftwerk_engl.png>

จะเห็นว่าจากกราฟช่วงเวลาที่โรงไฟฟ้าทำการสูบน้ำกลับจะเป็นช่วง 24.00 น. – 06.00 น. เพราะช่วงเวลานี้เป็นเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด จึงเหมาะแก่การสูบน้ำกลับขึ้นไปเพื่อเตรียมที่จะผลิตไฟฟ้าในเวลา 06.00 น. – 24.00 น. ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในปัจจุบันมีหลายประเทศที่สร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับขนาดใหญ่ขึ้นมากมายดังแสดงในตารางด้านล่าง

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงหน่วยการผลิตสูงสุดของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ

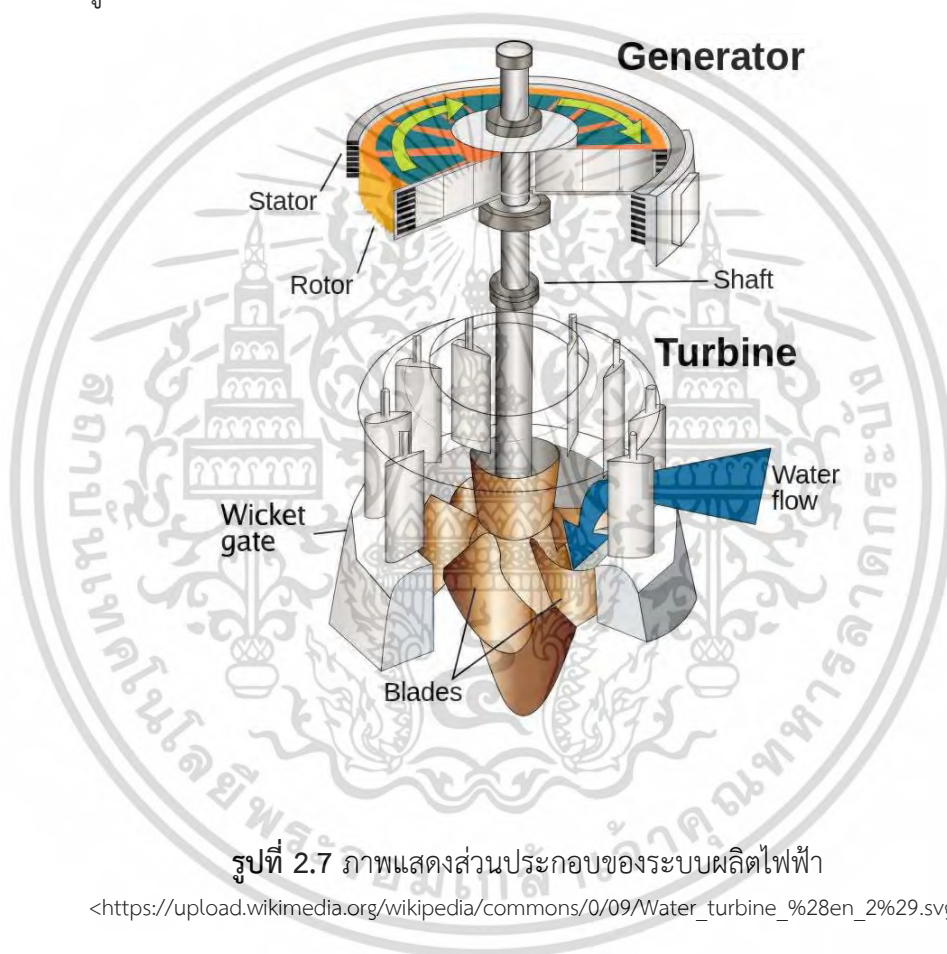
โรงไฟฟ้า	ประเทศ	ความจุ (MW)
โรงไฟฟ้า Bath County	สหรัฐอเมริกา	3,003
โรงไฟฟ้า Guangdong	จีน	2,400
โรงไฟฟ้า Huizhou	จีน	2,400
โรงไฟฟ้า Okutataragi	ญี่ปุ่น	1,932
โรงไฟฟ้า Ludington	สหรัฐอเมริกา	1,872

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กังหันน้ำ

2.3.1 ความหมายของกังหันน้ำ

กังหันน้ำ เป็นเครื่องจักรกลในการเปลี่ยนพลังงานของการไหลของน้ำ หรือการตกของน้ำไปสู่พลังงานรูปอื่น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาพลังงานน้ำ ในยุคกลางกังหันน้ำถูกใช้เป็นเครื่องมือในโรงงานอุตสาหกรรมในหลายประเภททั่วโลกในลักษณะเดียวกับกังหันลม ตัวอย่างของโรงงานที่ใช้กังหันน้ำ ได้แก่ โรงโม่แป้ง รวมถึงโรงงานกระดาษ กังหันน้ำประกอบไปด้วยวงล้อไม้หรือเหล็ก และใบกังหันที่จัดเรียงในแนวรอบของวงล้อนั้น โดยทั่วไปวงล้อจะวางในแนวตั้งในลักษณะขวางกับทางไหลของน้ำ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ภาพแสดงส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้า

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/09/Water_turbine_%28en_2%29.svg

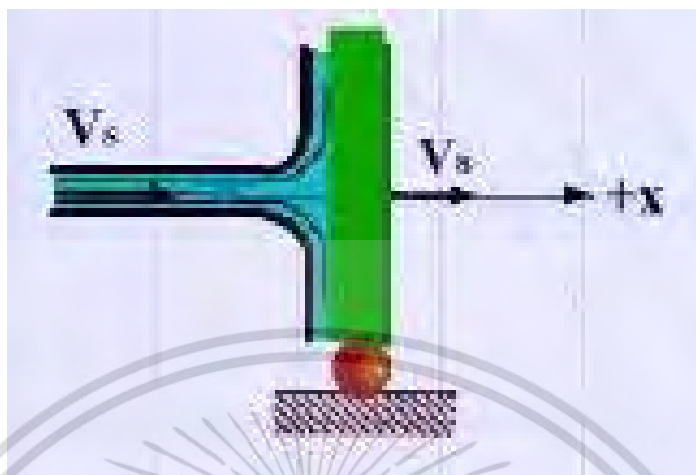
2.3.2 ประเภทของกังหันน้ำ

2.3.2.1 กังหันน้ำแบบแรงกระแทก (Impulse Turbine)

กังหันน้ำแบบแรงกระแทกเป็นกังหันที่หมุน โดยอาศัยแรงฉุดของน้ำจากท่อส่งน้ำที่รับน้ำจากที่สูง หรือหัวน้ำสูง ไหลลงมาตามท่อที่ลดขนาดลงมายังหัวฉุดกระแทกถึงหันไม่หมุน และต่อแกนกับเครื่องกำเนิดผลิตไฟฟ้าออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาศัยหลักการของการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม ซึ่งแรงที่กระทำกับใบกังหันคือ แรงผลึก โดยพิจารณาแรงสูงสุดหรือแรงลัพท์ ตามแกน x ดังรูปที่ 2.8 แผ่นเรียบ (Flat Plate)



รูปที่ 2.8 การกระทบของลำของไหล

จากรูปที่ 2.8 คือ แผ่นเรียบที่อยู่กับที่ สามารถเขียนสมการอยู่ในรูปของการ เปลี่ยนแปลงโมเมนตัมได้ ดังสมการที่ (2.2)

$$F = m'(V_S - V_B) \quad (2.2)$$

เมื่อ F คือ แรงกระทำ (N)

m' คือ อัตราการไหลเชิงมวลของลำของไหล (kg/s)

V_S คือ ความเร็วในแนวแรง (m/s)

V_B คือ ความเร็วในแนวเรียบ (m/s)

กำลังงานของแผ่นเรียบหาได้โดยสมการที่ (2.3)

$$W' = FV_B = m' V_B (V_S - V_B) \quad (2.3)$$

ประสิทธิภาพแผ่นเรียบหาได้โดยสมการที่ (2.4)

$$\eta_{plate} = 2 \left[\frac{V_B}{V_S} - \left(\frac{V_B}{V_S} \right)^2 \right] \quad (2.4)$$

ความเร็วแผ่นเรียบที่เหมาะสมหาได้โดยสมการที่ (2.5)

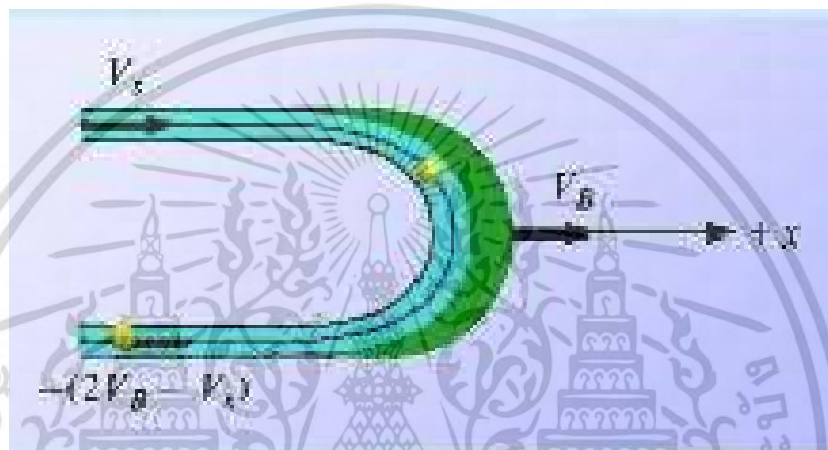
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_B = V_{B,opt} = \frac{V_S}{2} \quad (2.5)$$

กำลังงานสูงสุดหาได้โดยสมการที่ (2.6)

$$W_{max} = m \cdot \frac{V_S^2}{4} \quad (2.6)$$

แผ่นโค้ง (Curved Plate)



รูปที่ 2.9 การกระทบของลำของไหลบนใบพัดโค้ง 180 องศา
ใบวิ่ง (Moving Blade), จากรูปที่ 2.9 ความเร็วสัมบูรณ์ของลำของไหลที่ออกเท่ากับ

$$F = m \cdot (V_S - (2V_B - V_S)) \quad (2.7)$$

โดยที่

$$V_B - (V_S - V_B) = (2V_B - V_S) \quad (2.8)$$

จะได้

$$W = FV_B = 2m \cdot V_B(V_S - V_B) \quad (2.9)$$

เมื่อ V_B คือ ความเร็วใบกังหัน (m/s)

W คือ กำลัง (W)

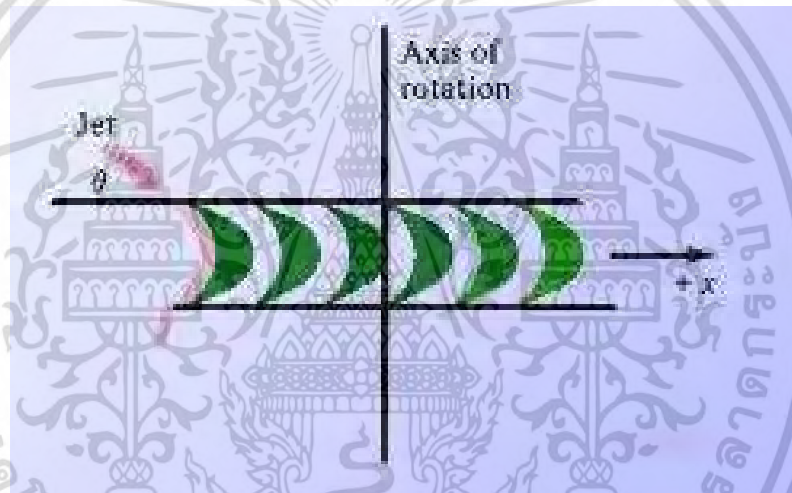
ประสิทธิภาพของใบกังหันหาได้จากสมการที่ (2.10)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\eta_b = \frac{2m \cdot V_B(V_B - V_B)}{\frac{1}{2}m \cdot V_S^2} = \left[\frac{V_B}{V_S} - \left(\frac{V_B}{V_S} \right)^2 \right] \quad (2.10)$$

กำลังงานสูงสุดหาได้จากสมการที่ (2.11)

$$W_{max} = \frac{1}{2} m \cdot V_S^2 = \frac{m \cdot V_S^2}{2} \quad (2.11)$$

โดยที่ V คือ ความเร็วของใบกังหัน ซึ่งจะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วลำไอน้ำ ไตอะแกรมของความเร็ว เป็นการนำเวกเตอร์ของความเร็วรวมเข้าด้วยกันดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ภาพด้านบนของแฉกใบพัดอิมพัลซ์บนวงล้อ

ใช้สำหรับหาหรือกำลังจากใบพัดกังหัน ซึ่งอยู่ในทิศทางการเคลื่อนที่ จากสมการโมเมนตัม นั้นจะพบว่า กำลังได้จากอัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัม และโมเมนตัมมีค่าเท่ากับมวลคูณกับความเร็ว เมื่อมวลหรืออัตราไหลคงที่ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมสามารถวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงเวกเตอร์ของความเร็วได้โดยตรง

เมื่อ V_{S1} คือ ความเร็วสัมบูรณ์ของของไหลออกจากหัวฉีด (Nozzle)

V_{S2} คือ ความเร็วสัมบูรณ์ของของไหลออกจากใบพัด

V_B คือ ความเร็วของใบพัด

V_{r1} คือ ความเร็วสัมพัทธ์ของของไหลเข้าใบพัด

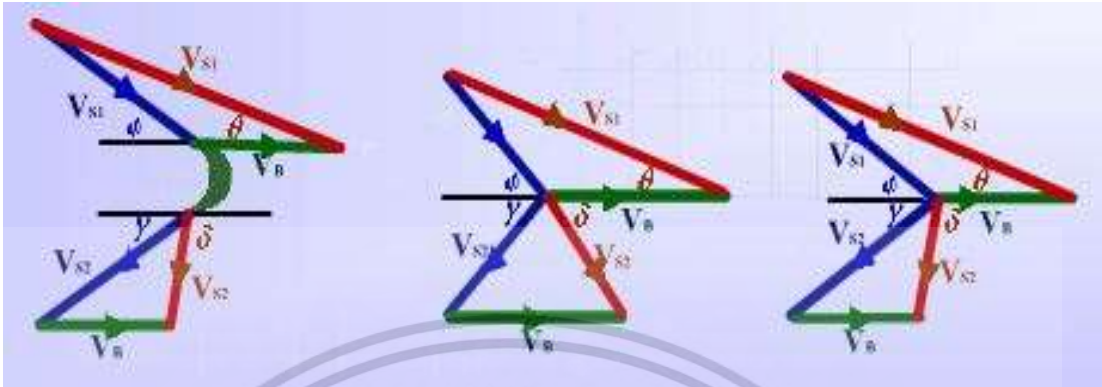
V_{r2} คือ ความเร็วสัมพัทธ์ของของไหลออกจากใบพัด

θ คือ มุมหัวฉีด

\emptyset คือ มุมใบพัดเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

γ คือ มุมใบพัดขาออก
 δ คือ มุมของไหลขาออก



รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมความเร็วของใบกังหันและสามเหลี่ยมความเร็วของกังหัน

หลักการอิมพัลซ์-โมเมนตัม หากำลังที่เกิดขึ้นได้จากสมการที่ (2.12) และสมการที่ (2.13)

$$F = m \cdot (V_{S1} \cos \theta - V_{S2} \cos \delta) \quad (2.12)$$

หรือ

$$F = m \cdot (V_{r1} \cos \phi - V_{r2} \cos \gamma) \quad (2.13)$$

เมื่อ $\gamma < 90^\circ$

และ V_w คือ ความเร็วไอ้ในทิศทางเดียวกับการหมุน

V_w คือ ความเร็วไอ้ในทิศทางเดียวกับการหมุนขาเข้า

V_w คือ ความเร็วไอ้ในทิศทางเดียวกับการหมุนขาออก

ความเร็วไอ้ในทิศทางเดียวกับการหมุนกำลังหาได้จากสมการที่ (2.14)

$$W = m \cdot V_B (V_{S1} \cos \theta - V_{S2} \cos \delta) \quad (2.14)$$

ประสิทธิภาพของกังหันหาได้จากสมการที่ (2.15)

$$\eta_b = 2 \left[\left(\frac{V_B}{V_{S1}} \right) \cos \theta - \left(\frac{V_B}{V_{S1}} \right) \left(\frac{V_{S2}}{V_{S1}} \right) \cos \delta \right] \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ใช้ใบกังหัน 180° ถ้าไม่มีแรงเสียดทาน (Friction) การขยายตัว (Expansion) และการหดตัว (Contraction) ความเร็วสัมพัทธ์ที่ออกจากใบกังหันในทิศทางตรงกันข้ามกับตอน (เข้า-ออก) ความเร็วสัมบูรณ์ของของไหลออกจากใบกังหัน ในแกน x ดังในสมการที่ (2.16)

$$V_{S2} \cos \delta = V_B - (V_{S1} \cos \theta - V_B) \quad (2.16)$$

ประสิทธิภาพใบกังหันสูงสุดหาได้จากสมการที่ (2.17)

$$\eta_{b,max} = (\cos \theta)^2 \quad (2.17)$$

ถ้าไม่มีการถ่ายเทความร้อน และพลังงานศักย์คงที่ จะได้ว่างานได้จากการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปี (Enthalpy) และพลังงานจลน์ ดังในสมการที่ (2.18)

$$W' = m' \left[(h_1 - h_2) + \frac{1}{2} (V_{S1}^2 - V_{S2}^2) \right] \quad (2.18)$$

เมื่อ h_1 และ h_2 คือ เอนทัลปีของไอน้ำที่เข้าและออกจากกังหัน (kJ/kg)
 m' คือ อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำที่เข้าและออกจากกังหัน (kJ/s)
 V_{S1}, V_{S2} คือ ความเร็วสัมบูรณ์ของของไหลที่ออกจากหัวฉีด (m/s)

การเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปี หาได้จากการเปลี่ยนแปลงของความเร็วสัมพัทธ์ขณะวิ่งในใบพัด ซึ่งเอนทัลปีจะเปลี่ยนไป ทำให้ความเร็วสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ถ้าไม่มีการขยายตัวค่าปริมาตรจำเพาะยังคงเดิมความเร็วสัมพัทธ์ก็ยังคงเท่าเดิมดังในสมการที่ (2.19)

$$h_1 - h_2 = \frac{V_{r2}^2 - V_{r1}^2}{2} \quad (2.19)$$

เมื่อรวมสองสมการเข้าด้วยกัน ได้สมการทั่วไปของกังหันจากสมการที่ (2.20)

$$W' = \frac{m'}{2} [(V_{S1}^2 - V_{S2}^2) - (V_{r1}^2 - V_{r2}^2)] \quad (2.20)$$

เมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีและความเร็วสัมพัทธ์จากสมการที่ (2.21)

$$V_{r2} = V_{r1} \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$W_{pure,impulse} = \frac{\dot{m}}{2} (V_{S1}^2 - V_{S2}^2) \quad (2.22)$$

ในกรณีมีแรงเสียดทาน นิยมแสดงผลของแรงเสียดทานอยู่ในรูปสัมประสิทธิ์ความเร็ว ดังสมการที่ (2.23)

$$k_v = \frac{V_{r2}}{V_{r1}} \quad (2.23)$$

ประสิทธิภาพขั้น (Stage Efficiency) เป็นค่าประสิทธิภาพรวมของแต่ละขั้นของกังหัน ที่ประกอบด้วย หัวฉีด และใบพัด อย่างละชุด ดังในสมการที่ (2.24)

$$\eta_{\Delta H} = \frac{W'}{\Delta H_S} = \frac{W'}{m \cdot \Delta h_S} \quad (2.24)$$

กังหันน้ำแบบแรงกระแทกแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. กังหันแบงกี (Banki Turbine)

กังหันน้ำประเภทนี้เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำต่ำ (Low Head) และต้องการกำลังผลิตค่อนข้างน้อย ซึ่งปัจจุบันไม่นิยมใช้แล้ว ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 กังหันน้ำแบบแบงกี

<<http://portfolio.entplex.org/imgs/pieces/turbine/01.jpg>>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กังหันเพลตัน (Pelton Turbine)

กังหันน้ำชนิดนี้ ถูกออกแบบโดยใช้ถ้วยรับน้ำซึ่งติดอยู่ในวงล้อภายในตัวกังหันเป็นแบบถ้วยคู่ และสามารถใช้กับลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดมากกว่า 1 ช่อง โดยอาจมีจำนวนถึง 4 ช่องก็ได้ ซึ่งจะทำให้รับกำลังเพิ่มขึ้นในขณะที่ขนาดของกังหันน้ำเท่าเดิม โดยทั่วไปกังหันน้ำนี้เหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งน้ำที่มีระดับของหัวน้ำสูง (High Head) ซึ่งสูงกว่า 250 เมตร หรืออาจน้อยกว่าก็ได้ในกรณีที่เป็นระบบเล็ก การทำให้กังหันน้ำชนิดนี้หมุนอาจใช้ความเร็วของลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดที่ไม่ต้องมีความเร็วสูงนัก โดยประสิทธิภาพของกังหันน้ำชนิดนี้จะดีที่สุด เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการหมุนของวงล้อถ้วยเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วของลำน้ำที่ฉีดเข้าไป ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กังหันน้ำแบบเพลตัน

<<http://www.jaypee-hew.com/product-line/turbine-runner-hvo-coating/>>

3. กังหันเทอร์โก (Turgo Turbine)

เป็นกังหันน้ำที่ถูกพัฒนาขึ้นจากกังหันน้ำแบบเพลตัน เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1920 โดยภายในตัวกังหันน้ำนี้ใช้ถ้วยรับน้ำแบบเดี่ยวและค่อนข้างตั้งแทนถ้วยรับน้ำแบบคู่ในกังหันน้ำแบบเพลตัน กังหันน้ำประเภทนี้เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำาระดับความสูงปานกลาง (Medium Head) เพราะสามารถใช้กับลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดซึ่งมีความเร็วไม่มากนัก และมีความสามารถในการรับปริมาณน้ำได้มากกว่ากังหันน้ำแบบเพลตัน โดยประสิทธิภาพของกังหันน้ำจะดีที่สุดเมื่อความเร็วของการหมุนของวงล้อถ้วยเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วของลำน้ำที่ฉีดเข้าไปเหมือนกับกรณีของกังหันน้ำแบบเพลตัน ดังรูปที่ 2.14

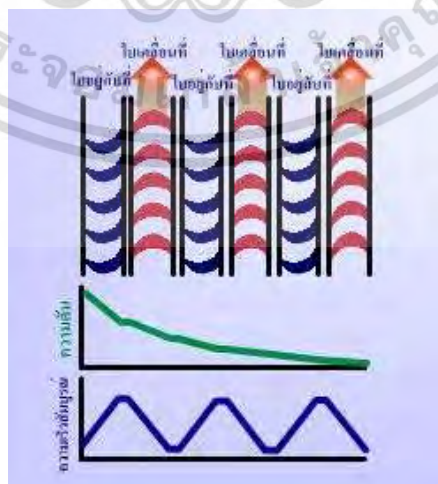


รูปที่ 2.14 กังหันน้ำแบบเทอร์โก

<http://ffden-2.phys.uaf.edu/webproj/212_spring_2015/Jason_Hendrichs/Physics%20Project/Hydrover-Runner-and-Arbor-Face-Up-01-1024x617.jpg>

2.3.2.2 กังหันน้ำแบบแรงสะท้อน (Reaction Turbine)

ผู้ที่ประดิษฐ์กังหันปฏิกริยาคนแรกคือ C. A. Parsons ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ประกอบเป็นสามสเตจ ใบพัดตรงถูกออกแบบให้พื้นที่หน้าตัดทางไหลเป็นหัวฉีก (Nozzles) จึงมีหัวฉีกตามเส้นรอบวงโดยรอบ (ต่างจากกังหันอิมพัลส์ที่ติดตั้งหัวฉีกเพียงบางส่วนเท่านั้น) ใบพัดของกังหันปฏิกริยาจะมีรูปร่างแตกต่างจากกังหันอิมพัลส์อย่างเห็นได้ชัดคือ จะมีรูปร่างไม่สมมาตร และรูปแบบเดียวกับใบพัดตรงเพราะต้องทำหน้าที่เป็นหัวฉีกด้วย แต่เส้นโค้งกลับด้านกันในรูปที่ 2.15 แสดงให้เห็นว่าการลดความดันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งขณะผ่านใบพัดตรงและใบพัดเคลื่อนที่ และความเร็วสัมบูรณ์ของไอน้ำที่เปลี่ยนแปลงจะเหมือนกันทุกสเตจ



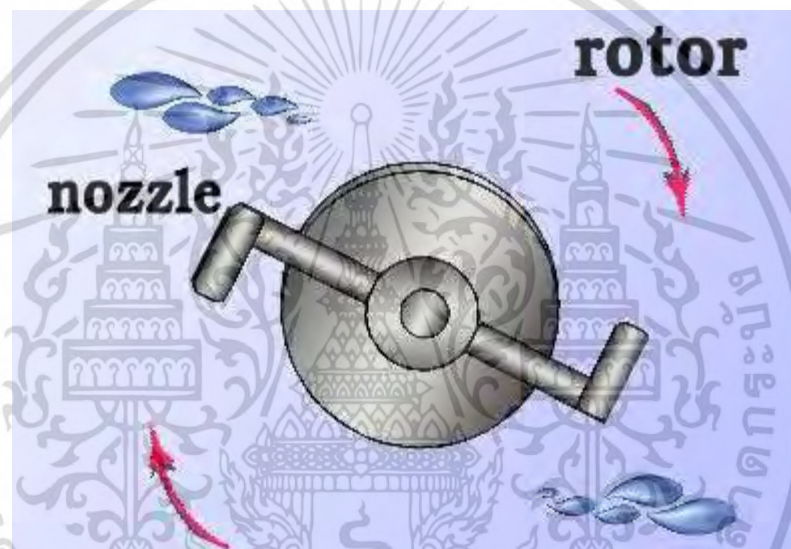
รูปที่ 2.15 กังหันแรงปฏิกริยาสามสเตจ แสดงความดันและความเร็วสัมบูรณ์ของไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

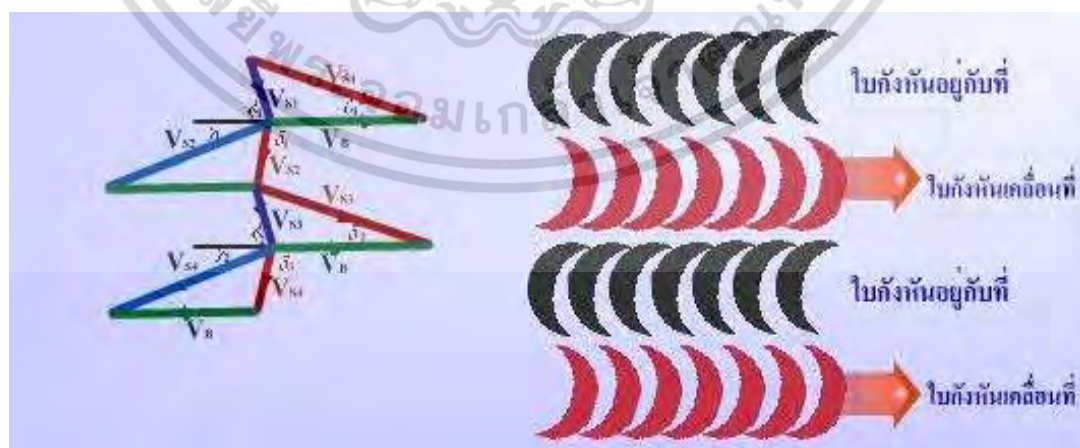
หลักการการทำงานของกังหันแบบนี้เป็นไปตามกฎข้อที่สามของนิวตันที่ว่า “เมื่อมีแรงกระทำต้องมีแรงต้านที่มีขนาดเท่ากับแรงกระทำที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงกระทำนั้นเกิดขึ้น” หัวฉีดจรวด หัวรถน้ำหย้าแบบหมุน และกังหันเป็นอุปกรณ์ที่มีของไหลพุ่งออกด้วยความเร็วสูง ของไหลเริ่มจากความเร็วเป็นศูนย์ทำให้เกิดแรง F ในทิศทางการเคลื่อนที่ตามสมการที่ (2.25)

$$F = m \cdot V \quad (2.25)$$

พร้อมกันทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาในทิศตรงกันข้าม ตามกฎข้อที่สามของนิวตัน ทำให้อุปกรณ์นั้นๆ พยายามเคลื่อนที่ในทิศตรงกันข้ามกับลำของไหลอุปกรณ์เหล่านี้ มีการเปลี่ยนแปลงความดันในรูปเอนทาลปีที่ลดลงไปเป็นความเร็ว ดังรูปที่ (2.16)



รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของกังหันปฏิกิริยา



รูปที่ 2.17 แผนภาพความเร็วของกังหันปฏิกิริยาสองสเตจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.17 เป็นแผนภาพความเร็วของกังหันปฏิบัติการสองสเตจ การสร้างหรือออกแบบแผนภาพทำได้โดยหา Δh ต่อสเตจ ซึ่งจะต้องนำเอนทาลปีรวมของกังหันหารด้วยจำนวนสเตจ ในการแบ่งค่า Δh แต่ละสเตจจะต้องจำว่า แต่ละชั้นของใบกังหันที่อยู่กับที่เป็น Δh_f และใบกังหันที่เคลื่อนที่ Δh_m จากรูปที่ 2.15 เป็นการทำงาน 2 ชั้นแสดงว่าใบกังหัน 2 ส่วนที่อยู่กับที่ ดังนั้น Δh ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กันจากนั้นหา V_{S1} จาก Δh_f และ V_B หาได้จาก $V_{S1} \cos \theta$ จากนั้นก็หา V_{r1}

ข้อสังเกต

1. γ มีค่าใกล้เคียงกับ θ
2. ในกรณีที่ใบกังหันแรงผลักดันจะมีค่าเท่ากับสมการที่ (2.26)

$$V_B = \frac{V_{S1} \cos \theta}{2} \quad (2.26)$$

ดังนั้นจะได้เวกเตอร์ความเร็วสัมพัทธ์ V_{r1} ของสามเหลี่ยมรูปแรกเอนทาลปีส่วน Δh_m ลดลงในใบพัดเคลื่อนที่ เป็นผลให้ความเร็วสัมพัทธ์ของไอน้ำเพิ่มขึ้นจาก V_{r1} เป็น V_{r2} เมื่อใช้ V_B เท่ากันสามารถเขียนเวกเตอร์ความเร็วสามเหลี่ยมรูปที่สองได้ พร้อมกับได้ค่า V_{S2} ที่จะไหลเข้าสเตจถัดไป โดยหัวฉีดจะทำความเร็วเพิ่มเป็น V_{S3} เป็นเช่นนี้ต่อไป ดังนั้น

$$\Delta h_f = \frac{V_{S3}^2 - V_{S2}^2}{2} \quad (2.27)$$

$$\Delta h_n = \frac{V_{S4}^2 - V_{S3}^2}{2} \quad (2.28)$$

งานของกังหันแรงปฏิบัติการหาได้จากหลักการอิมพัลซ์ โมเมนตัม หรือกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของใบพัดกังหันในแกน $+x$ นั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วสัมพัทธ์ V_{r1} และ V_{r2} ในทิศทางนั้นสรุปในทั่วไปว่าในสเตจ ดังสมการที่ (2.29)

$$F = m \cdot (V_{r1} \cos \phi + V_{r2} \cos \gamma) \quad (2.29)$$

โดยที่

$$V_{r1} \cos \phi = V_{S1} \cos \theta - V_B \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ค่าจากสมการที่ (2.31)

$$F = m \cdot (V_{s1} \cos \theta - V_B + V_{r2} \cos \gamma) \quad (2.31)$$

ส่วนกำลังงานหาได้จากสมการที่ (2.32)

$$W' = m \cdot V_B (V_{s1} \cos \theta - V_B + V_{r2} \cos \gamma) \quad (2.32)$$

เมื่อคิดต่อมวลสามารถหาได้จากสมการที่ (2.33)

$$w' = V_B (V_{s1} \cos \theta - V_B + V_{r2} \cos \gamma) \quad (2.33)$$

กังหันน้ำแบบแรงกระทำแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. กังหันฟรานซิส (Francis Turbine)

กังหันน้ำชนิดนี้เป็นกังหันน้ำที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะสามารถใช้กับแหล่งน้ำที่มีระดับความสูงของหัวน้ำตั้งแต่ 2 ถึงกว่า 300 เมตร หลักการทำงานของกังหันน้ำแบบฟรานซิสคือ น้ำที่ถูกส่งเข้ามาจากท่อส่งน้ำจะไหลเข้าสู่ท่อกันหอยที่ประกอบอยู่รอบๆ ตัวกังหัน ท่อกันหอยจะแทรกตัวผ่านลื่นน้ำน้ำเข้า (Guide Vane) เพื่อเข้าสู่ตัวกังหันน้ำทำให้วงล้อของกังหันน้ำเกิดการหมุนได้ ลื่นน้ำน้ำเข้าสามารถปรับแต่งมุมให้ปิดหรือเปิดได้มากน้อยตามความต้องการ ทำหน้าที่คล้ายหัวฉีดของกังหันน้ำแบบเพลตัน น้ำซึ่งถ่ายพลังงานจลน์ให้กับใบพัดกังหันน้ำแล้วจะไหลลงสู่ท่อรับน้ำที่อยู่ด้านล่างต่อไป กังหันน้ำแบบฟรานซิสมีทั้งแบบแกนตั้งและแกนนอน ซึ่งการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและขนาดของโรงไฟฟ้าแต่โดยทั่วไปจะนิยมใช้แบบแกนตั้งมากกว่า ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 กังหันน้ำแบบฟรานซิส

<<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/88/8a/de/888adecf3a31d97113390f5faf43eee8--francis-turbine-renewable-energy.jpg>>

2. กังหันเดเรียซ (Deriaz Turbine)

เป็นกังหันน้ำที่มีลักษณะทั่วไปคล้ายกับกังหันน้ำเคปแลนแต่ต่างกันในส่วนองรูปแบบของใบพัด ซึ่งคล้ายกับใบพัดของกังหันน้ำฟรานซิส กังหันน้ำชนิดนี้จะใช้แรงดันน้ำที่เกิดจากการไหลของน้ำในทิศทางทแยงมุมกับแกนของกังหันน้ำ และการประยุกต์ใช้จะเหมาะกับแหล่งน้ำที่มีระดับน้ำความสูงของหัวน้ำสูงๆ ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 กังหันน้ำแบบเดเรียซ

<https://www.geppert.at/sites/default/files/produkt/diagonallaufgrad_freigestellt_komprimiert.png>

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นชอบในการดำเนินการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กังหันคาปลาน (Kaplan Turbine)

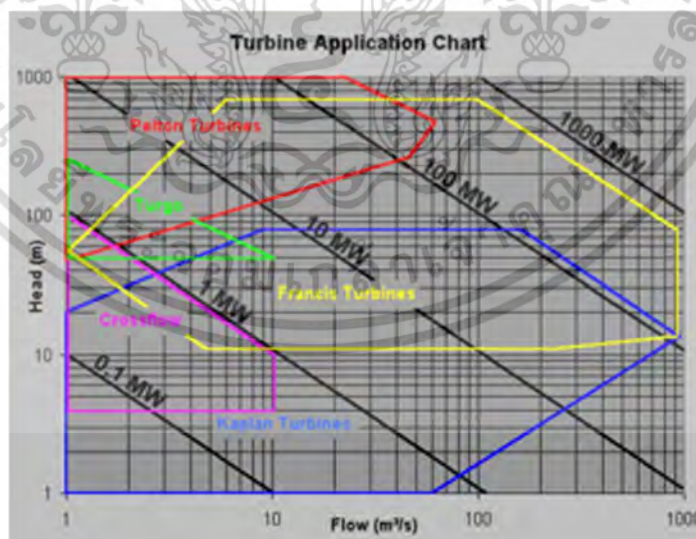
เป็นกังหันน้ำที่มีลักษณะเหมือนใบพัด เหมาะกับแหล่งน้ำที่มีระดับความสูงของหัวน้ำต่ำตั้งแต่ 1 ถึง 70 เมตร และมีหลักการทำงานโดยน้ำจะไหลผ่านใบพัดในทิศทางขนานกับแกนของกังหันน้ำโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมความเร็วในการหมุนของกังหันน้ำได้ ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 กังหันน้ำแบบคาปลาน

<<https://mehrshidniroo.com/wp-content/uploads/2017/04/turbine-kaplan-01-1-2.jpg>>

2.3.3 การใช้งานของกังหันน้ำแต่ละประเภท



รูปที่ 2.21 แผนผังแสดงการออกแบบกังหันน้ำ และพลังงานที่เกิดขึ้น

<https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%AB%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3#/media/File:Water_Turbine_Chart.png>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟด้านบนแสดงให้เห็นถึงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของกังหันน้ำแต่ละประเภทที่หัวน้ำต่างๆ ซึ่งใช้ในการพิจารณาในการเลือกใช้นิชนิดของกังหันน้ำให้เหมาะสมกับแต่ละความสูงของหัวน้ำ

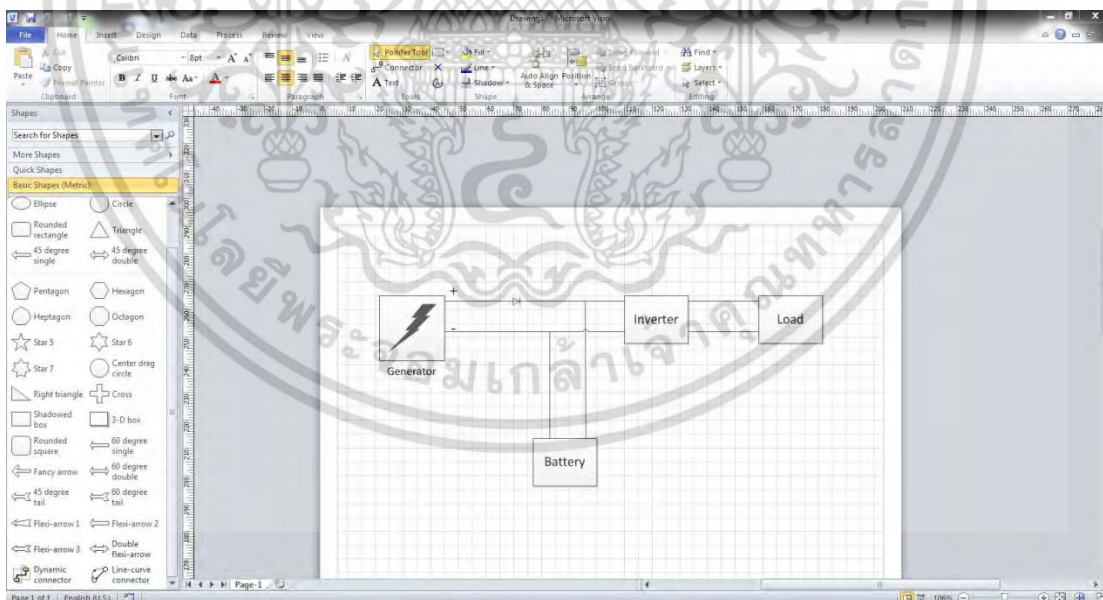
2.4 โปรแกรมต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบ

2.4.1 โปรแกรม Microsoft Visio



รูปที่ 2.22 ไอคอนของโปรแกรม Microsoft Visio

โปรแกรม Visio เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการออกแบบวงจรไฟฟ้าของระบบซึ่งใช้งานง่ายและสะดวก ช่วยให้มองเห็นภาพรวมของระบบได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 2.23 หน้าต่างของโปรแกรม Microsoft Visio

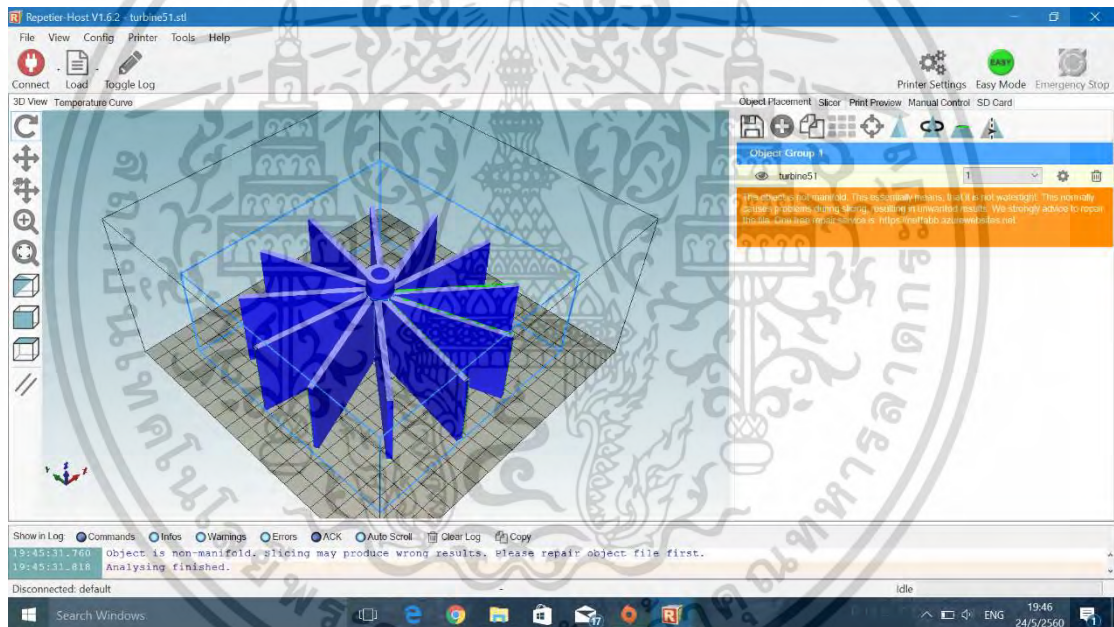
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 โปรแกรม Repetier-Host



รูปที่ 2.24 ไอคอนของโปรแกรม Repetier-Host

โปรแกรม Repetier-Host เป็นโปรแกรมที่ใช้ติดต่อกับการเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer) โดยสามารถอ่านไฟล์สกุล STL แล้วแสดงภาพ 3 มิติให้เห็นก่อนทำการเริ่มพิมพ์งาน



รูปที่ 2.25 หน้าต่างของโปรแกรม Repetier-Host

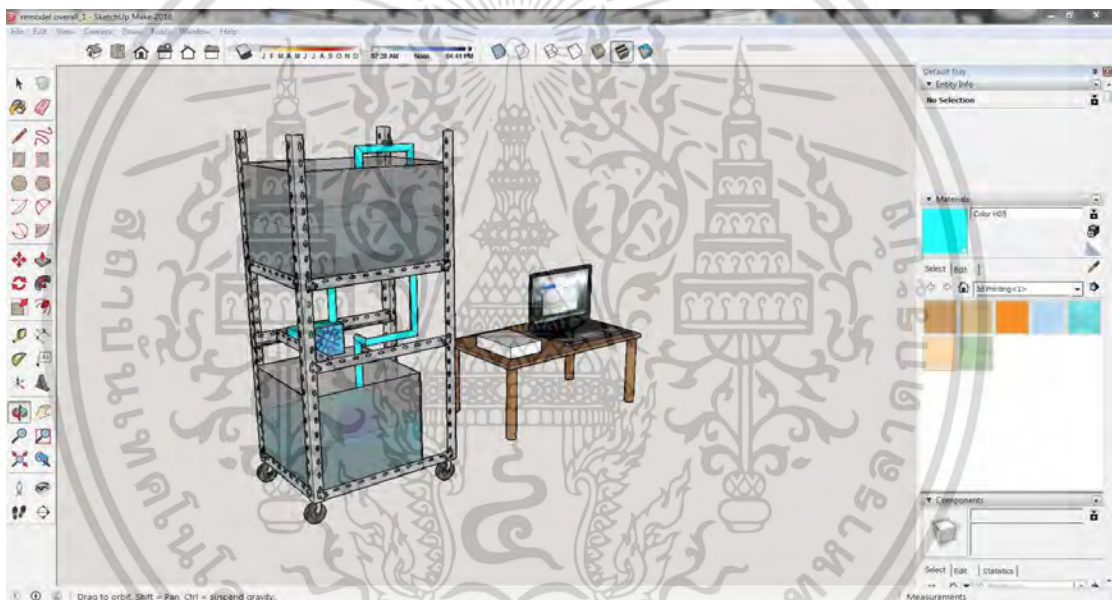
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 โปรแกรม SketchUp



รูปที่ 2.26 ไอคอนของโปรแกรม SketchUp

โปรแกรม SketchUp เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบโมเดล 3 มิติที่ใช้งานง่าย



รูปที่ 2.27 หน้าต่างของโปรแกรม SketchUp

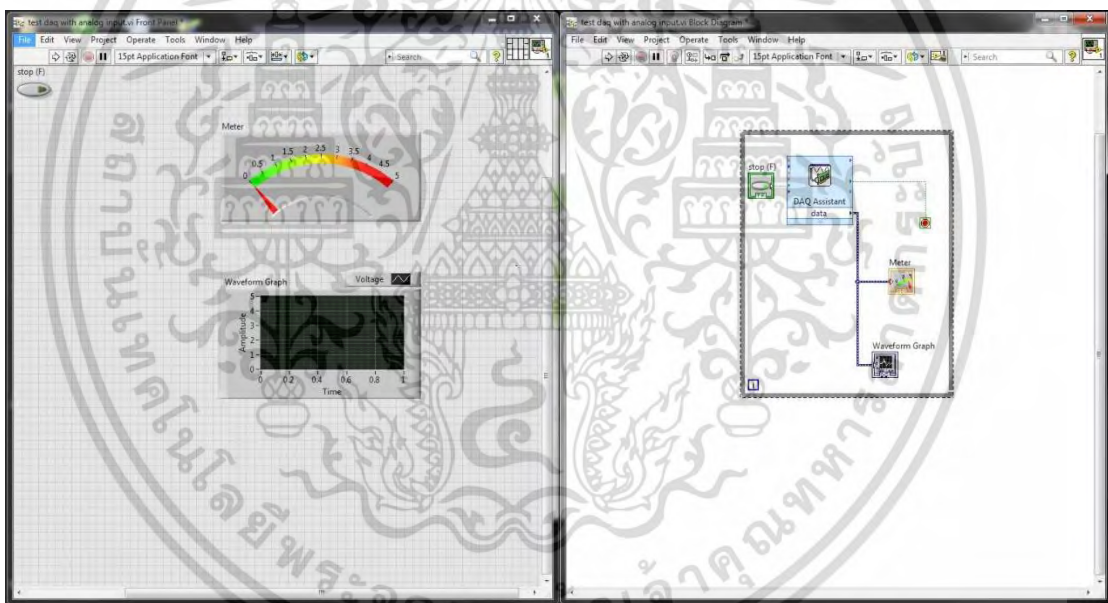
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 โปรแกรม LabVIEW 2014



รูปที่ 2.28 ไอคอนของโปรแกรม LabVIEW 2014

LabVIEW 2014 เป็นโปรแกรมที่ใช้ติดต่อกับ DAQ (Data Acquisition) ใช้งานเป็น Monitor หรือในการควบคุมการวัดค่าต่างๆ โดยมีตัวเซนเซอร์รับสัญญาณเข้ามา โดยเอาต์พุตที่ได้จากเซนเซอร์เหล่านี้จะมีค่าเป็นแรงดันหรือกระแสซึ่ง LabVIEW แล้วบันทึกค่าเป็นไฟล์ข้อมูลได้



รูปที่ 2.29 หน้าต่างของโปรแกรม LabVIEW 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

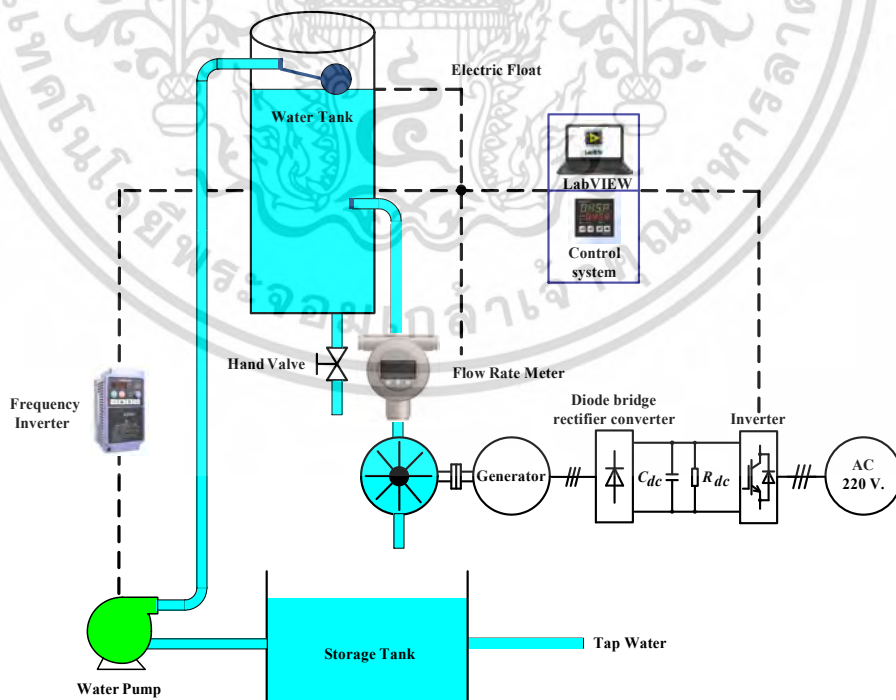
3.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบ และขั้นตอนการสร้างโมเดลของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากท่อน้ำบนอาคารสูง และการออกแบบกังหันน้ำสำหรับทดสอบ โดยมีการอธิบายในส่วนของกระบวนการ การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ เช่น การคำนวณและเลือกอุปกรณ์สำหรับใช้งานภายในระบบ การคำนวณความยาวของท่อที่ใช้ และการออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์ เช่น การสร้างโปรแกรมสำหรับแสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW

3.2 การกำหนดเงื่อนไขของกระบวนการ

3.2.1 โครงสร้างของระบบโดยรวม

จากรูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของระบบที่ต้องการนำมาสร้างเป็นโมเดล ซึ่งประกอบด้วย ถังสำหรับกักเก็บน้ำในการใช้สำหรับปั่นกังหัน (Reservoir) วาล์วควบคุม (Control Valve) กังหันน้ำ (Turbine) ปั๊มน้ำ (Pump) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) แบตเตอรี่ (Battery) สเต็ปดาวน์ คอนเวอร์เตอร์ (Step-down Converter) AC/DC อินเวอร์เตอร์ (AC to DC Inverter) DAQ (Data Acquisition) หน้าจอแสดงผลผ่านโปรแกรม LabVIEW (Monitor)



รูปที่ 3.1 กระบวนการของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 กระบวนการของระบบ

จากรูปที่ 3.1 แสดงแบบจำลองระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากท่อน้ำบนอาคารสูงให้เห็นกระบวนการ โดยเริ่มจากเมื่อมีผู้ใช้น้ำในอาคารน้ำจะไหลผ่าน Flow rate meter น้ำไหลผ่านกั้นที่น้ำที่เชื่อมอยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะถูกแปลงจากไฟกระแสสลับไปเป็นไฟกระแสตรงด้วยวงจร (Diode bridge rectifier converter) ไฟฟ้ากระแสตรงเชื่อมต่อด้วย (Dc link) ไปยังอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เพื่อแปลงกระแสไฟตรงไปเป็นกระแสไฟสลับ กล่าวคือ อินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่การควบคุมการแปลงพลังงาน และรักษาระดับแรงดันของตัวควบคุม Dc link ส่งผ่านเข้าสายส่ง ทั้งยังมีบอร์ดควบคุมการดำเนินงานที่เชื่อมต่อกับโปรแกรม LabVIEW คอยตรวจสอบสถานะสัญญาณผ่านหน้าจocomพิวเตอร์

3.3 การเลือกอุปกรณ์ที่ใช้งานภายในระบบ

โดยอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในระบบมีดังนี้

1. Storage Tank
2. Water Tank
3. Water Pump
4. Frequency Inverter
5. Electric Float
6. Flow Rate Meter
7. PMSG (Generator)
8. Diode bridge Rectifier Converter Circuit
9. Dc link
10. Inverter
11. Transformer
12. Control Board and LabVIEW

3.3.1 การเลือกปั๊มน้ำ

ในการเลือกปั๊มน้ำมาใช้งานในระบบสิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาในการเลือกใช้มีดังนี้

1. แรงดันไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับปั๊มน้ำ
2. อัตราการสูบน้ำ
3. ชนิดของปั๊มน้ำ

โดยปั๊มน้ำที่ทำการเลือกใช้คือ ปั๊มน้ำ 1100GPH SEAFLO BILGE PUMP ดังรูปที่ 3.2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ปั๊มน้ำ 1100GPH SEAFLO BILGE PUMP

ตารางที่ 3.1 Water Pump Specification

Specification	
Outlet Dimension	29mm
Type	Inland and Coastal Boats
Voltage	12V DC
Flow Rate	1100GPH/4100LPH
Material	Thermoplastic
Protection	Anti-Airlock and Ignition Protected

3.3.2 การเลือกวาล์วควบคุม

ในการเลือกวาล์วควบคุมมาใช้งานในระบบสิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาในการเลือกใช้มีดังนี้

1. กระแสที่ต้องจ่ายให้กับวาล์วควบคุมเพื่อสั่งการ
2. อัตราการไหลของน้ำเมื่อเปิดวาล์วควบคุมเต็มที่

โดยวาล์วควบคุมที่ทำการเลือกใช้คือ

วาล์วควบคุม 2-WAY DIRECT ACTING SOLENOIDVALVES 2W250-25 ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วาล์วควบคุม 2W250-25

ตารางที่ 3.2 Control Valve Specification

Specification	
Model	2W250-25
Operation	Direct Acting
Acting Type	Normally Closed
Orifice Size (mm)	25
Port Size	1"
Operating Pressure	Air: 0-1.0Mpa, Water: 0-0.7Mpa, Oil: 0.9Mpa
Max. Pressure Resistance	1.0Mpa
Operating Temperature	NBR for -5 to 80 °C and VITON for -5 to 150C°
Voltage Range	±10%

3.3.3 การเลือกตัวควบคุม

ในการเลือกตัวควบคุมมาใช้งานในระบบสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในการเลือกใช้มีดังนี้

1. สามารถรับอินพุต/เอาต์พุตได้
2. สามารถทำงานกับโปรแกรม LabVIEW ได้

โดยตัวควบคุมที่ทำการเลือกใช้คือ DAQ (Data Acquisition) NI USB-6008 ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 Data Acquisition NI USB 6008

ตารางที่ 3.3 Data Acquisition Specification

Specification	
Product Family	Multifunction DAQ
Measurement Type	Voltage
Analog Input	
Single-Ended Channels	8
Differential Channels	4
Maximum Voltage Range	
Range	-10 V - 10 V
Digital I / O	12
Logic Levels	TTL
Digital Input : Maximum Voltage Range	0 V - 5 V
Digital Output : Maximum Voltage Range	0 V - 5 V

3.3.4 การเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาใช้ในระบบสิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาในการเลือกใช้มีดังนี้

1. แรงบิดที่ทำให้เกิดกระแส
2. พลังงานสูงสุดที่สามารถผลิตได้

โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำการเลือกใช้คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า SGN006 ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า SGN006

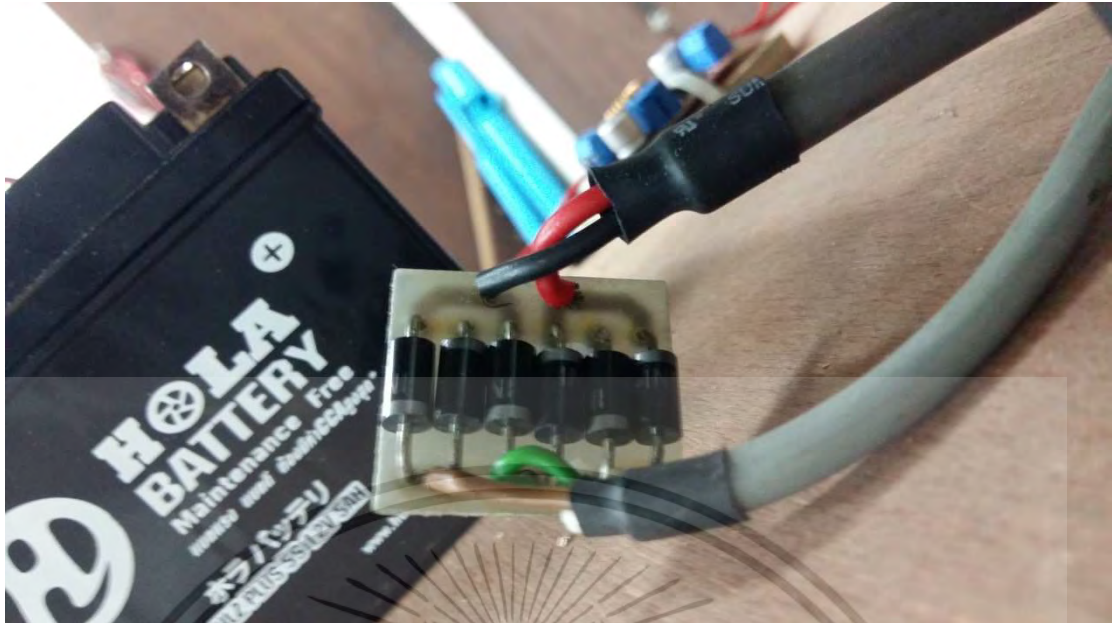
ตารางที่ 3.4 Generator Specification

Specification	
Generator	PMSG
Shaft (mm)	11
Max. Watts	200W
Max. rpm	600rpm
Inverter	AC to DC

3.3.5 การเลือก Diode Rectifier

โดย Diode Rectifier จะมีหน้าที่ในการแปลงกระแสสลับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เป็นกระแสตรงเพื่อใช้ชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งประกอบด้วยไดโอดจำนวน 6 ตัว ดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 Diode Rectifier

3.3.6 การเลือกแบตเตอรี่

ในการเลือกแบตเตอรี่มาใช้งานในระบบสิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาในการเลือกใช้มีดังนี้

1. แรงดันไฟฟ้าที่สามารถจ่ายให้โหลดทั้งหมดของระบบสามารถทำงานได้
2. ความจุไฟฟ้า

โดยแบตเตอรี่ที่เลือกใช้คือ Battery 12V 5Ah ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 Battery 12V 5Ah

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 3.7 Battery 12V 5Ah
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 Battery Specification

Specification	
Voltage	12V
Ampere	5 Ah
Cycle Use	14.4-15.0V
Standby Use	13.5-13.8V
Initial Current	1.65A

3.3.7 การเลือกสแต็ปดาวน์ คอนเวอร์เตอร์

ในการเลือกสแต็ปดาวน์ คอนเวอร์เตอร์มาใช้งานในระบบสิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาในการเลือกใช้คือ สามารถแปลงไฟให้สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้

โดยสแต็ปดาวน์ คอนเวอร์เตอร์ ที่เลือกใช้คือ Step-down Converter 86V-12V ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 Step-down Converter 86V-12V

ตารางที่ 3.6 Step-down Converter Specification

Specification	
Voltage Input	24V-86V DC
Voltage Output	13.8 VDC

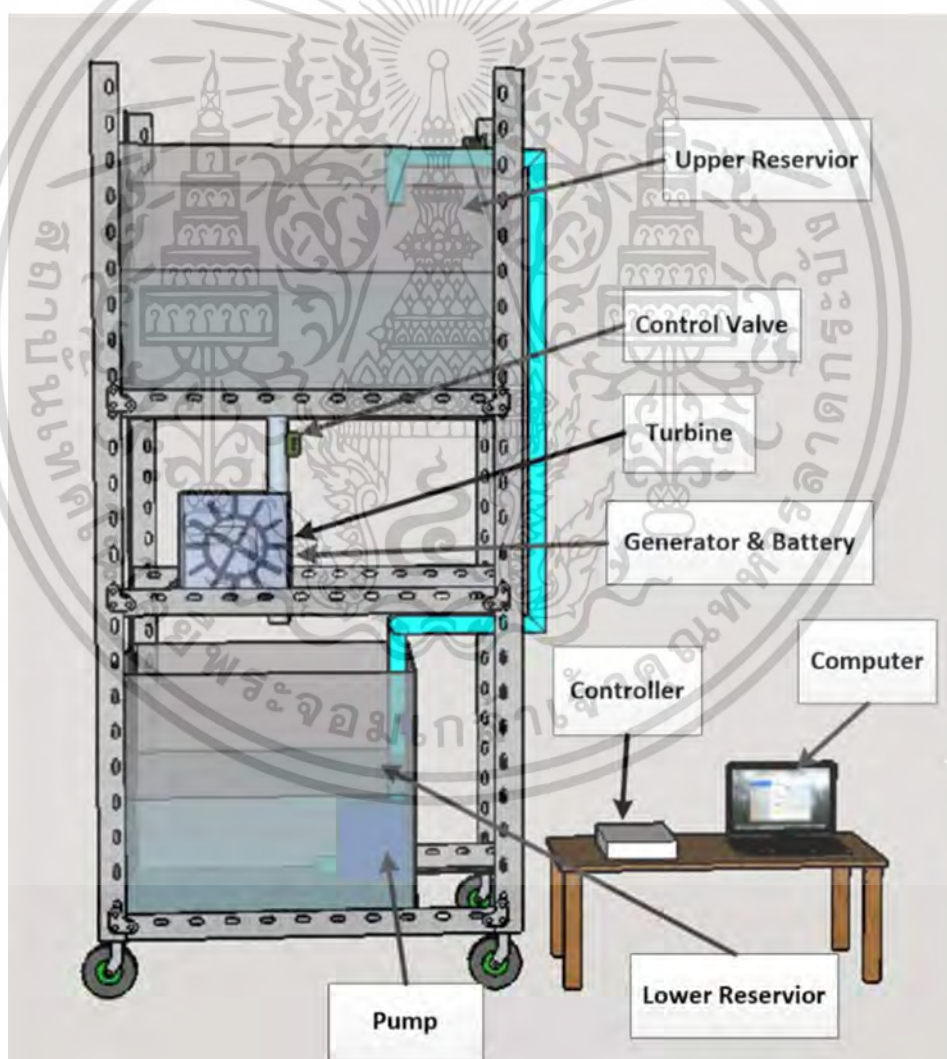
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.8 การเลือกกังหันน้ำ

ในการเลือกกังหันน้ำมาใช้ทดสอบผลิตไฟฟ้าในระบบ ได้ตัดสินใจทดสอบ 3 แบบ โดยจากการศึกษาและค้นคว้าพบว่า กังหันน้ำที่นิยมใช้ในการผลิตไฟฟ้ากันทั่วไปคือ กังหันน้ำแบบ Pelton จึงเหมาะสำหรับนำมาทดสอบร่วมกับกังหันน้ำที่กำลังจะออกแบบขึ้นมา ซึ่งในส่วนของขั้นตอนการออกแบบจะกล่าวในหัวข้อที่ 3.6

3.4 ออกแบบโครงสร้างของระบบ

โดยจะเป็นการออกแบบโครงสร้างภายนอกตามหลักการของการผลิตไฟฟ้าแบบสูบกลับ ซึ่งทำการออกแบบตามกระบวนการทำงานของระบบ โดยนำอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะใช้ในระบมมาวางตามตำแหน่งเพื่อให้มองเห็นภาพรวมของโมเดล ดังรูปที่ 3.9

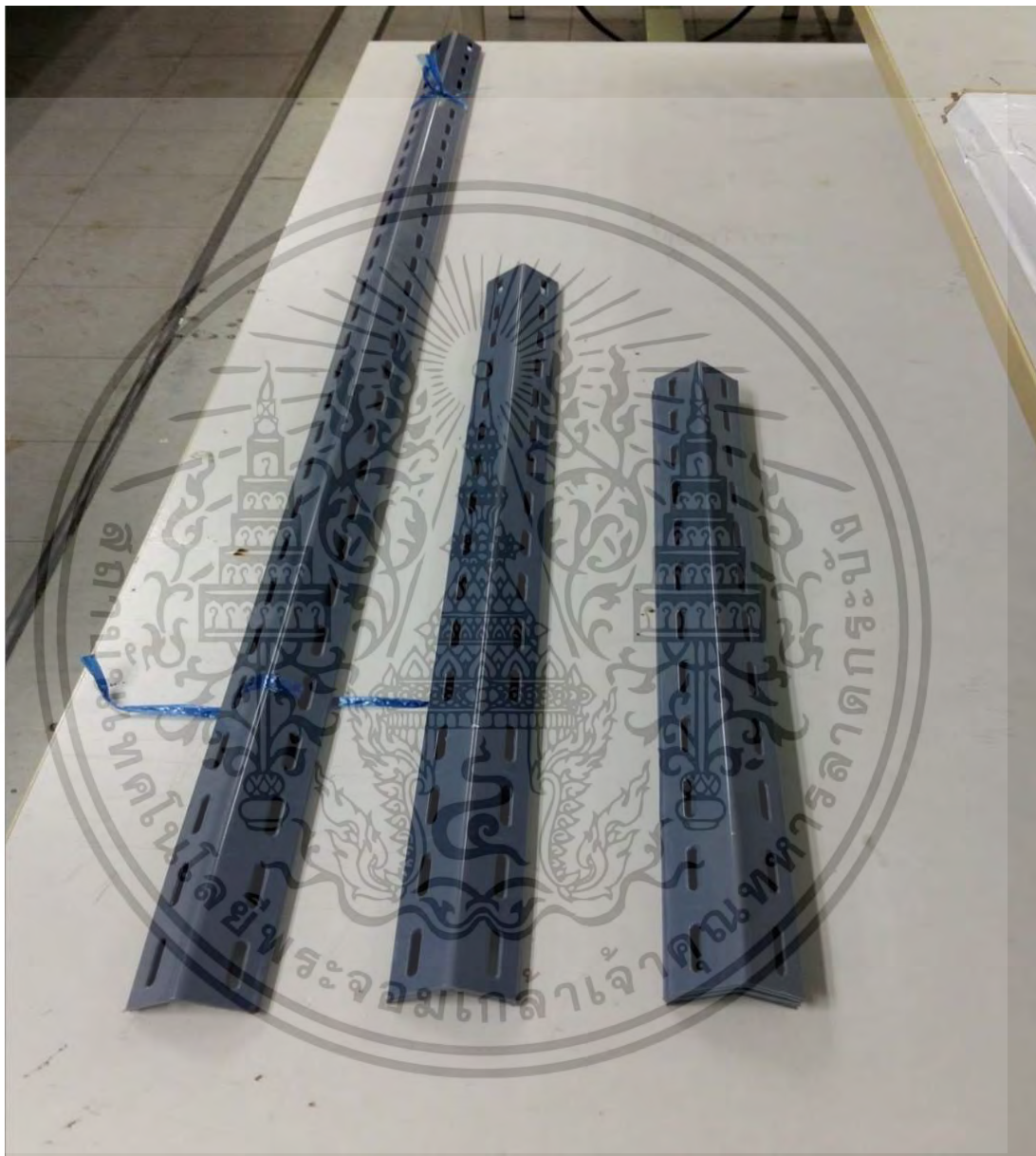


รูปที่ 3.9 โครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การทำโครงสร้างและติดตั้งอุปกรณ์

1. เตรียมเหล็กฉากสำหรับทำโครงสร้าง โดยมีขนาด 180 เซนติเมตร สำหรับทำเป็นโครงเสา และขนาด 80 เซนติเมตร กับ 60 เซนติเมตร สำหรับด้านกว้างและยาว เพื่อใช้ในการวางตู้เก็บน้ำและอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 เหล็กฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการประกอบเหล็กฉาก ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 โครงสร้างเหล็กฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำตู้อะคริลิกมาวาง ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 โครงสร้างเหล็กฉากและตู้อะคริลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ต่อท่อและติดตั้งอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 โมเดลสำหรับทดสอบกังหันน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ออกแบบกังหันน้ำ

สำหรับการออกแบบกังหันน้ำจะใช้โปรแกรม SketchUp ในการออกแบบ โดยจากการศึกษาได้ทำการเลือกไว้ 3 แบบ โดยนำแบบที่ใช้กันทั่วไปมา 1 แบบคือ แบบ Pelton และออกแบบเอง 2 แบบคือ แบบ Standard และแบบ Curve โดยมีขั้นตอนการออกแบบในโปรแกรมดังนี้

3.6.1 ขั้นตอนการเริ่มต้นใช้โปรแกรม

1. เปิดโปรแกรม SketchUp ดังรูปที่ 3.14



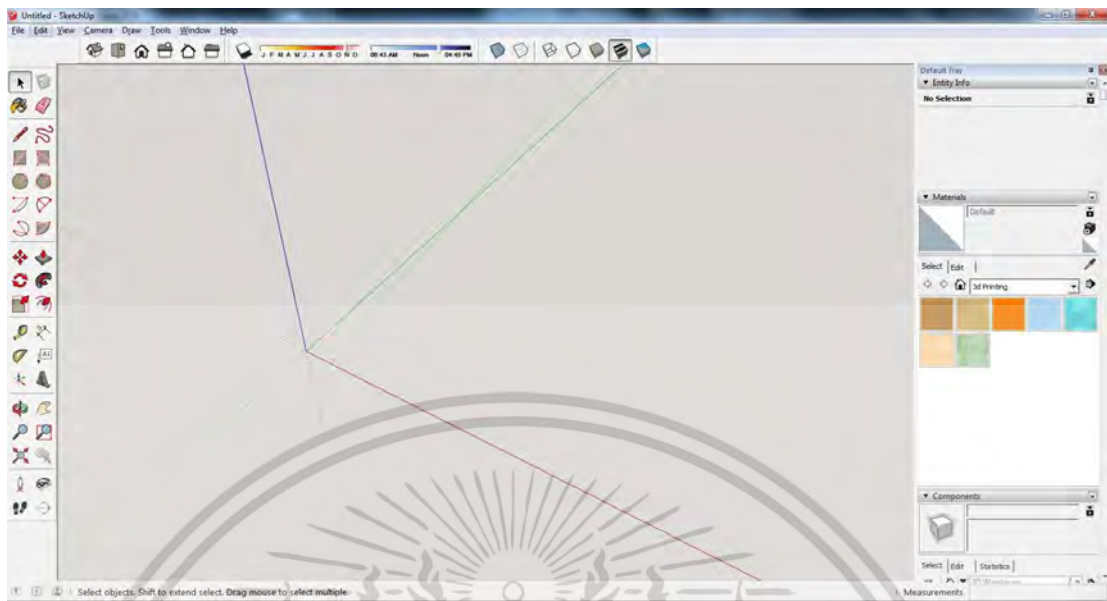
รูปที่ 3.14 ไอคอนโปรแกรม SketchUp

2. เลือก “Start using SketchUp” ดังรูปที่ 3.15

รูปที่ 3.15 หน้าแรกของโปรแกรม SketchUp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

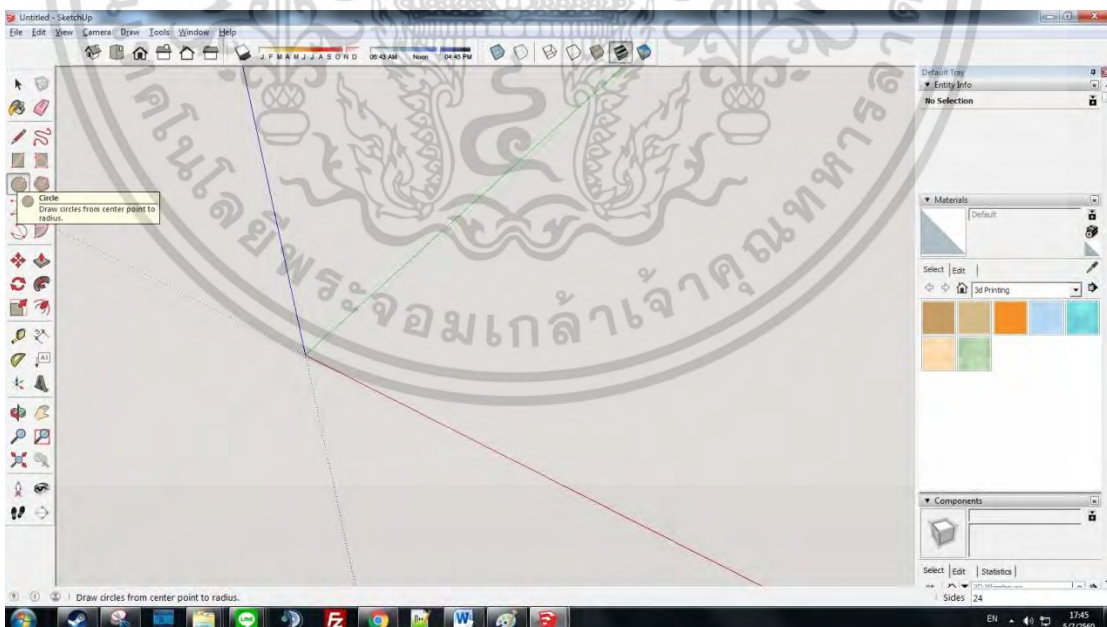
3. ภาพแสดงหน้าต่างของโปรแกรม SketchUp ซึ่งพร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 หน้าต่างโปรแกรม SketchUp

3.6.2 ทำการออกแบบก้นน้ำแบบ Standard

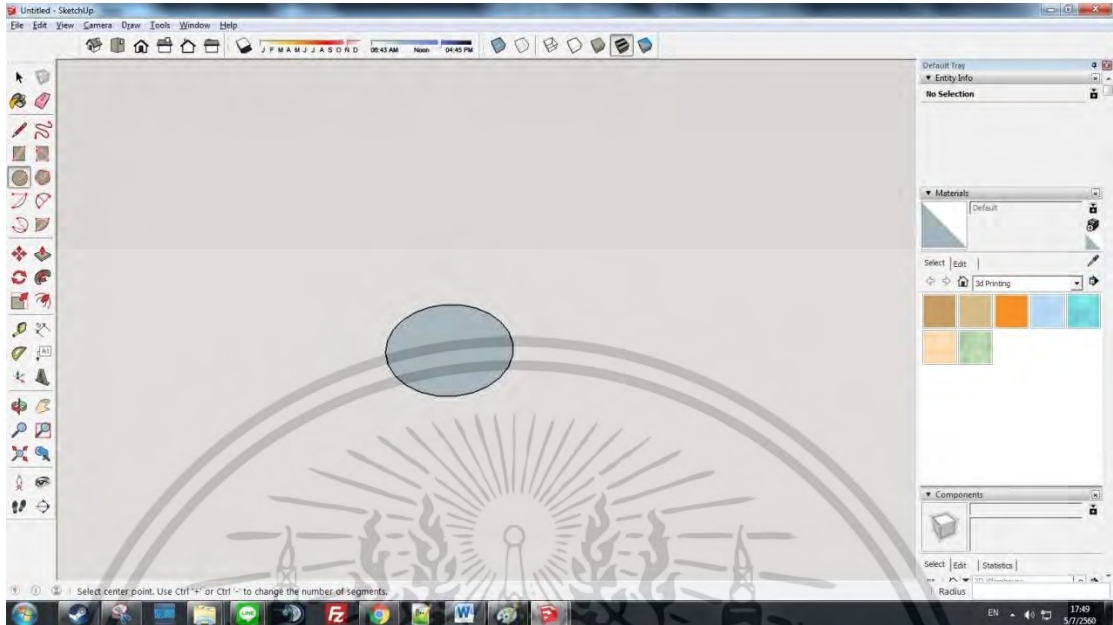
1. เริ่มจากการสร้างแกนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร โดยเลือกเครื่องมือ “Circle” ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 เครื่องมือ “Circle”

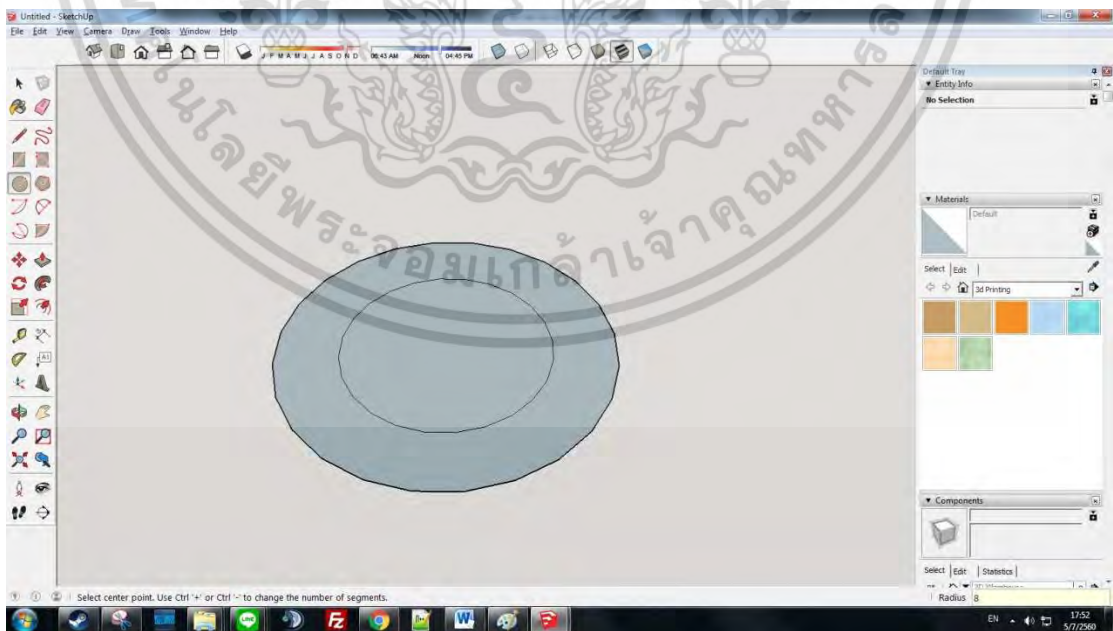
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กำหนด รัศมี ของวงกลม โดยพิมพ์เลข 5 ซึ่งหมายความว่า มีรัศมี 5 มิลลิเมตร แล้วจากนั้นกด “Enter” ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การสร้างวงกลมในโปรแกรม SketchUp

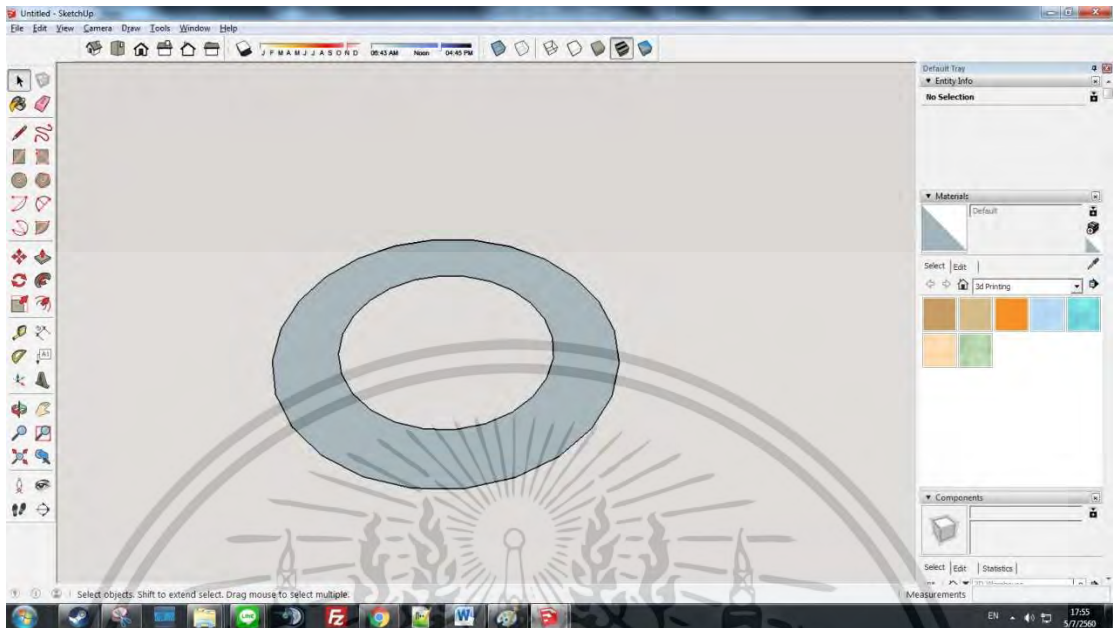
3. สร้างวงกลมอีก 1 วง โดยใช้จุดศูนย์กลางร่วมกัน โดยกำหนดรัศมีเป็น 8 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 สร้างวงกลม

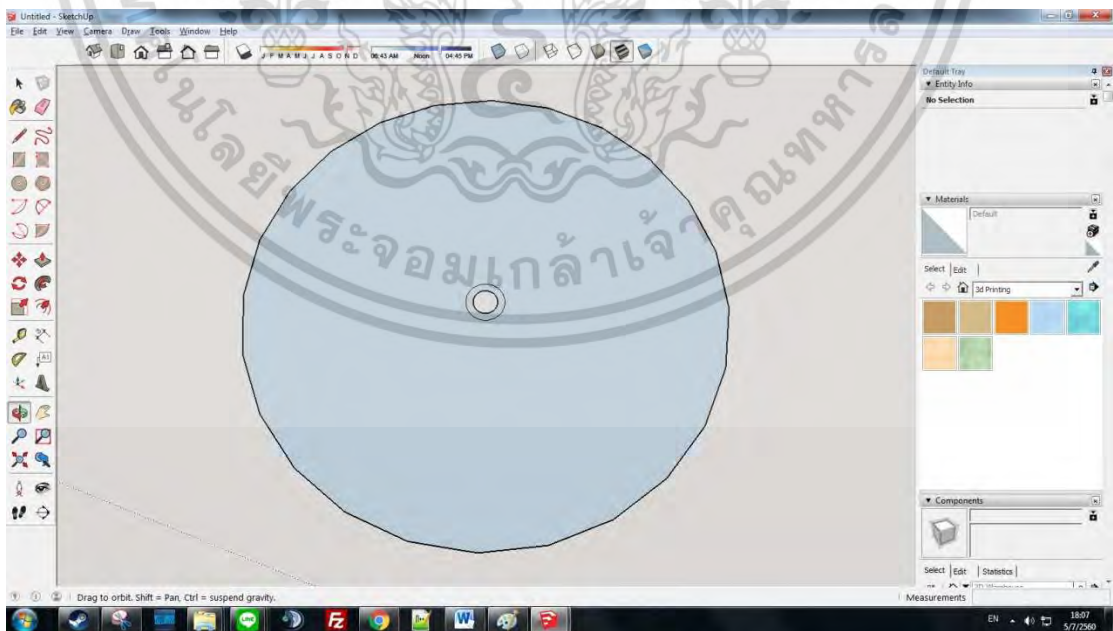
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ลบวงกลมตรงกลาง โดยใช้เครื่องมือ “Select” แล้วคลิกที่วงกลมตรงกลางแล้วจากนั้นกดปุ่ม “Delete” ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ลบส่วนกลางของวงกลม

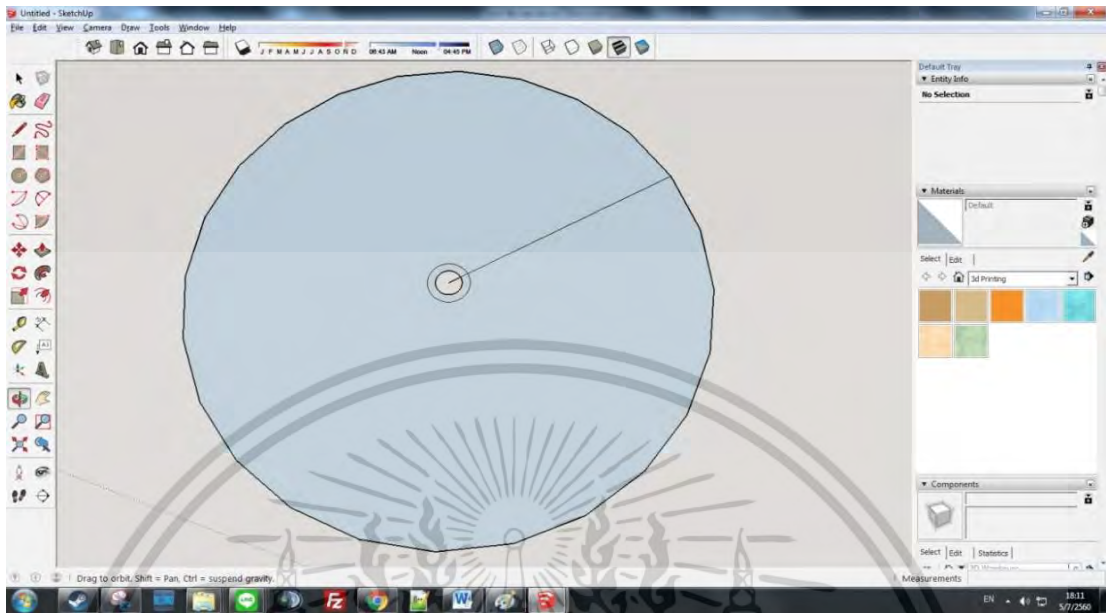
5. ทำการสร้างใบพัด โดยใช้เครื่องมือ “Circle” ซึ่งใช้จุดศูนย์กลางร่วมกับวงกลมเดิม และกำหนดรัศมีเท่ากับ 98.5 มิลลิเมตร เพื่อให้ง่ายต่อการกำหนดความยาวของใบพัด ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 กำหนดขอบของใบกังหัน

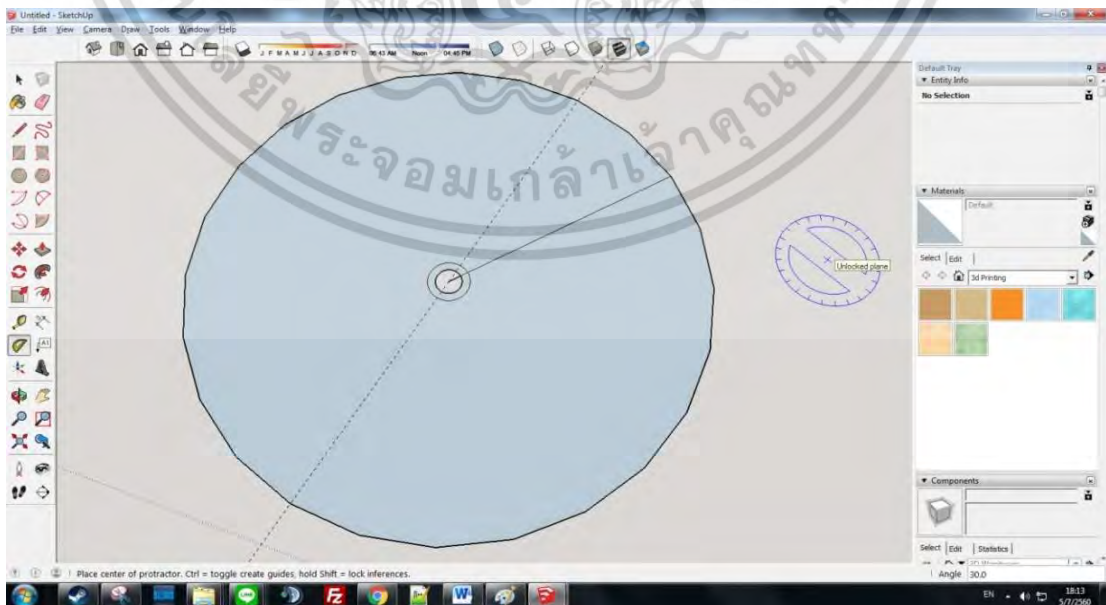
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ใช้เครื่องมือ “Line” ลากเส้นจากจุดศูนย์กลางวงกลมออกมาถึงเส้นขอบของวงกลมใหญ่ ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ลากเส้นใบพัด

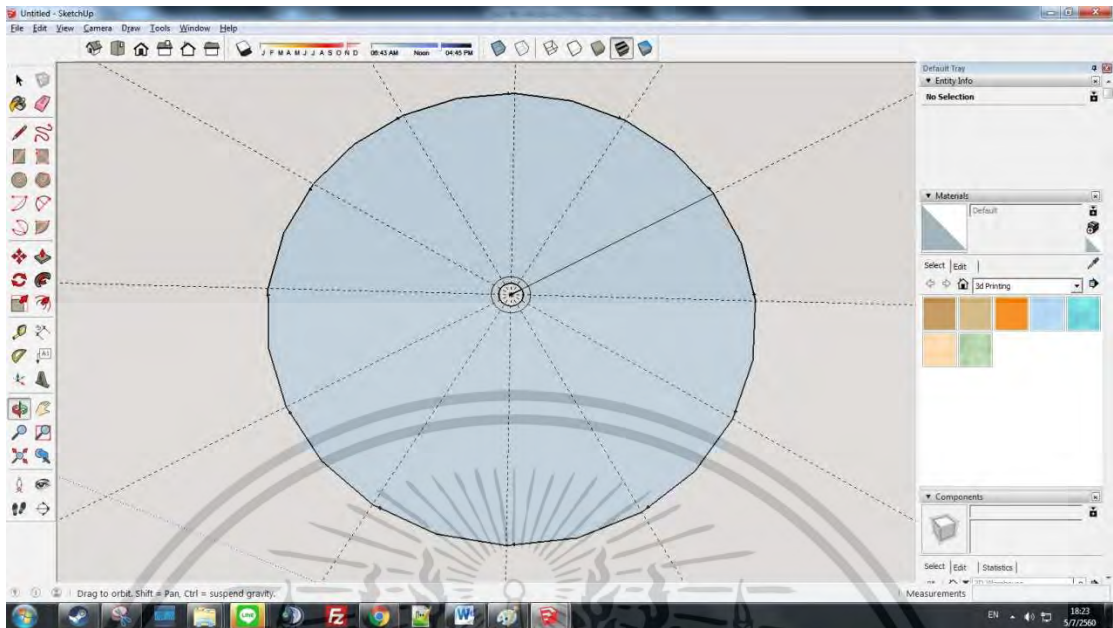
7. ใช้เครื่องมือการวัด “Protractor” เพื่อสร้าง Guide Line โดยวัดขนาดมุมให้ได้ระยะห่างของใบพัดแต่ละใบเท่ากับ 30 องศา โดยการคลิกที่จุดศูนย์กลางของวงกลมเพื่อกำหนดจุดศูนย์กลาง แล้วจากนั้นคลิกที่เส้นตรงที่สร้างในข้อ 6 และกำหนดขนาดของมุมโดยพิมพ์ 30 ซึ่งหมายถึง 30 องศา ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 วัดองศา

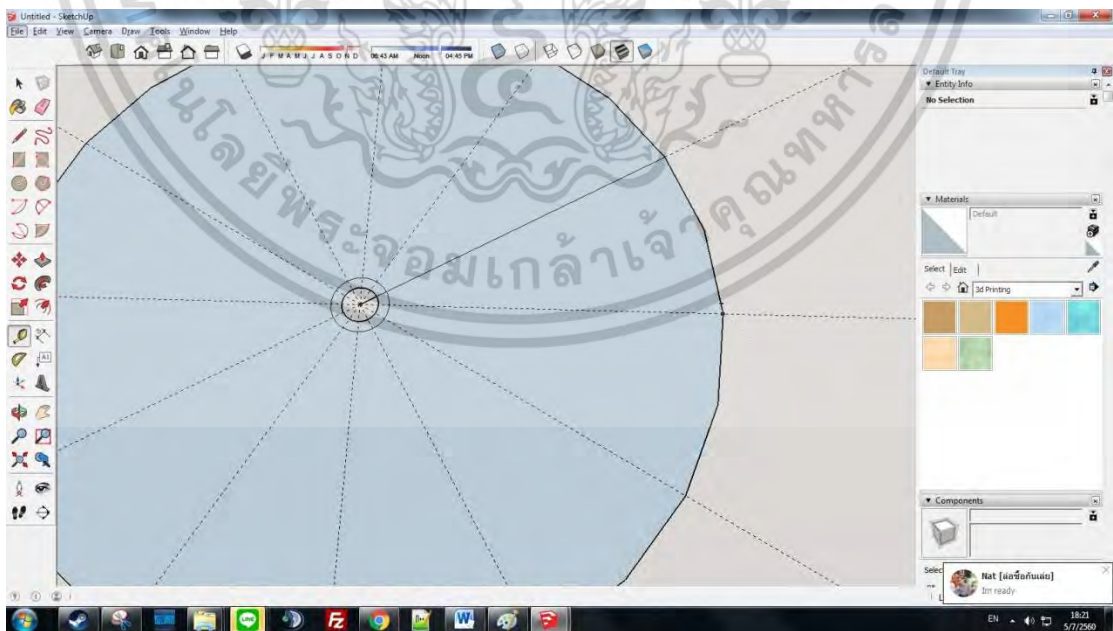
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำซ้ำแบบข้อ 7 ให้รอบวงกลม ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 วัตถุทรงจันทรครบวงกลม

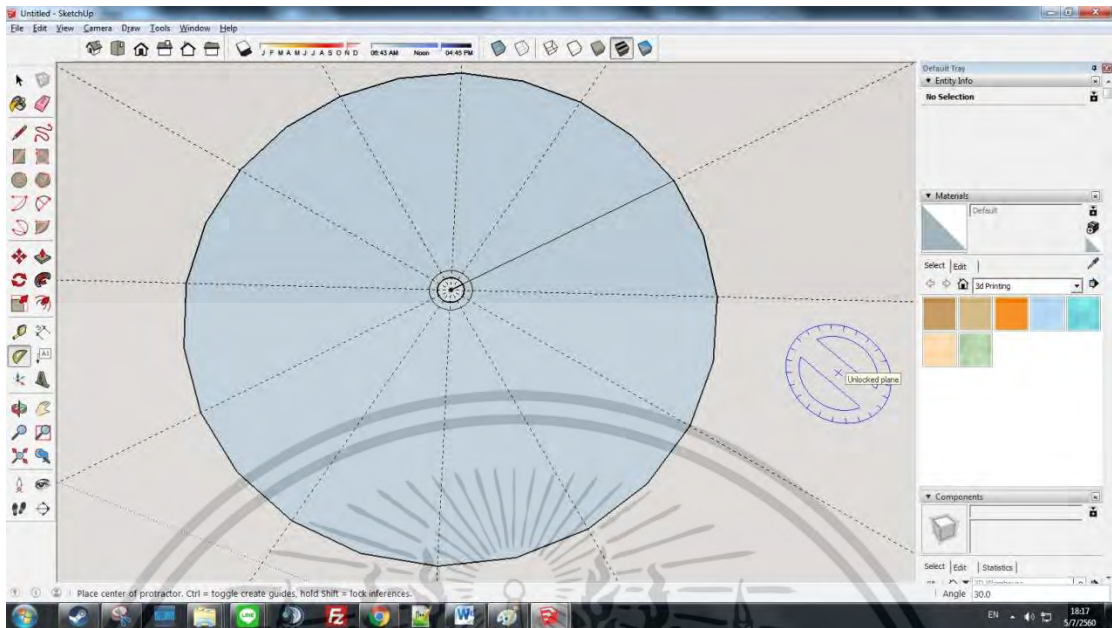
9. ใช้เครื่องมือ “Tape Measure Tool” จุดตัดของขอบวงกลมรอบนอก โดยลากไปทางเส้นขอบของวงกลม โดยกำหนดขนาดความยาวเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ซึ่งก็คือความหนาของใบพัด ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 กำหนดความหนาใบพัด

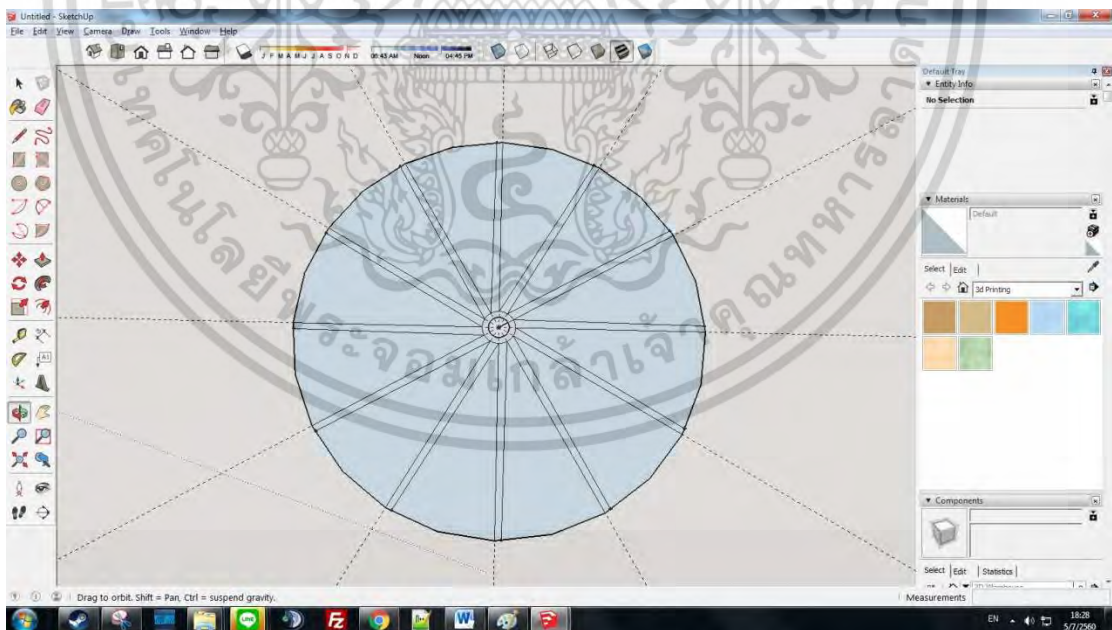
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ทำซ้ำแบบข้อ 9 จนครบทุกจุดตัด ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 กำหนดความหนาใบพัดจนครบ

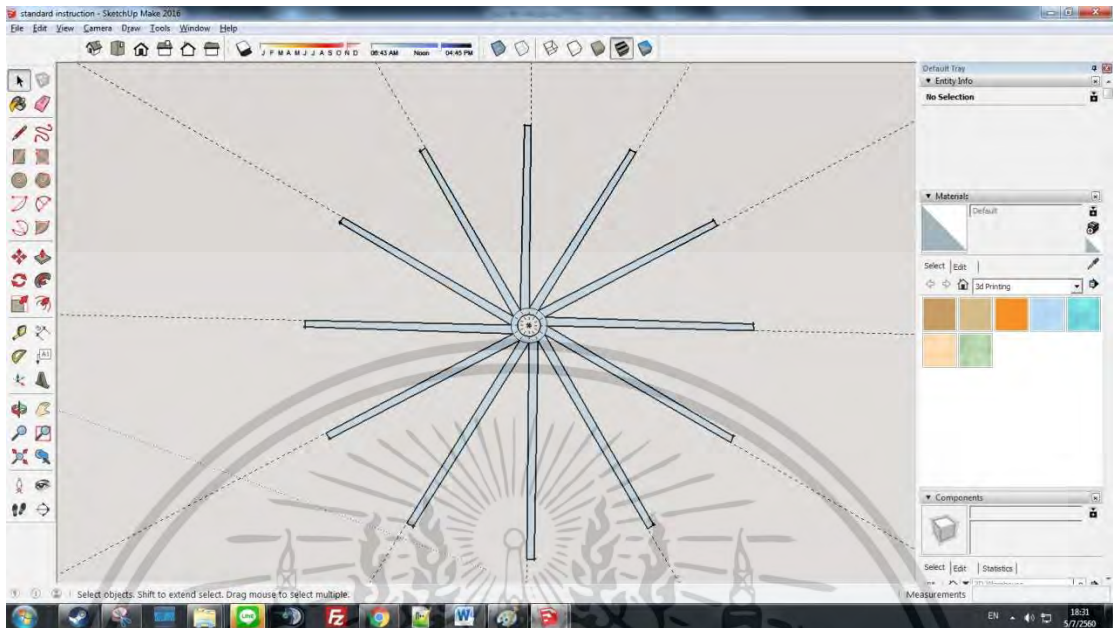
11. ใช้เครื่องมือ “Line” ลากเส้นโดยอาศัยจุดที่ทำการวัดไว้จนได้เป็นใบพัด ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 ลากเส้นใบพัด

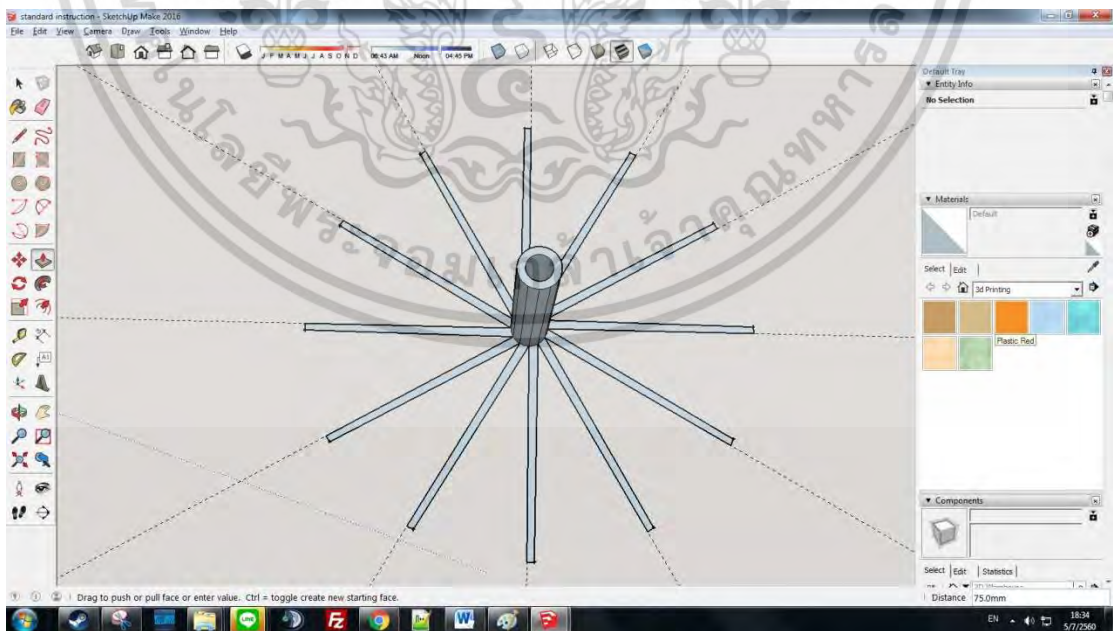
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ใช้เครื่องมือ “Select” เพื่อเลือกเส้นที่ไม่จำเป็นออก โดยคลิกแล้วกดปุ่ม “Delete” ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 ลบเส้นขอบออก

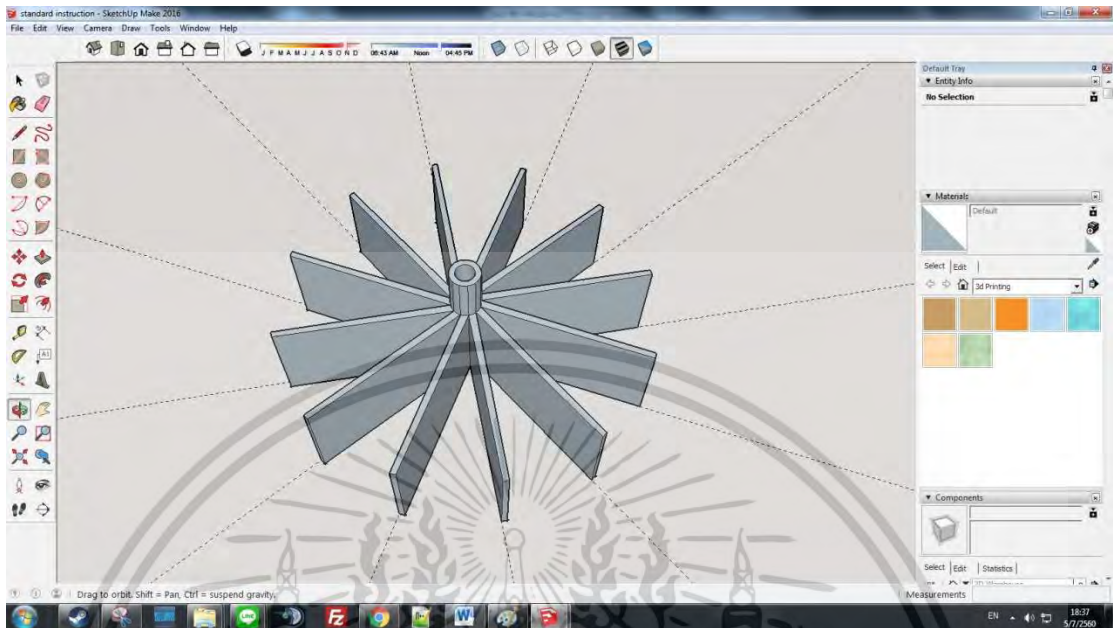
13. ใช้เครื่องมือ “Push/Pull” เพื่อดึงงานให้เป็น 3 มิติ เริ่มจากวงกลมแกน โดยคลิกที่พื้นผิวของวงกลมแล้วลากเมาส์ขึ้น โดยกำหนดขนาดความสูงเท่ากับ 75 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 ดึงแกนกลางขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

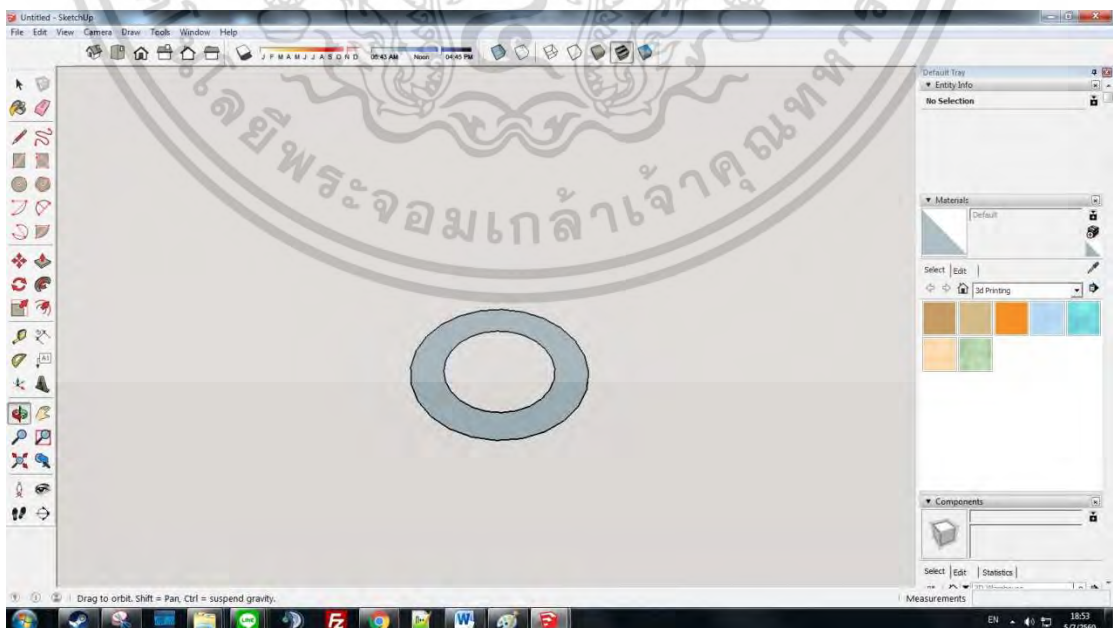
14. ใช้เครื่องมือ “Push/Pull” เพื่อดึงใบพัดแต่ละใบขึ้น โดยกำหนดขนาดความสูงเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 กังหันน้ำแบบ Standard

3.6.3 ทำการออกแบบกังหันน้ำแบบ Curve

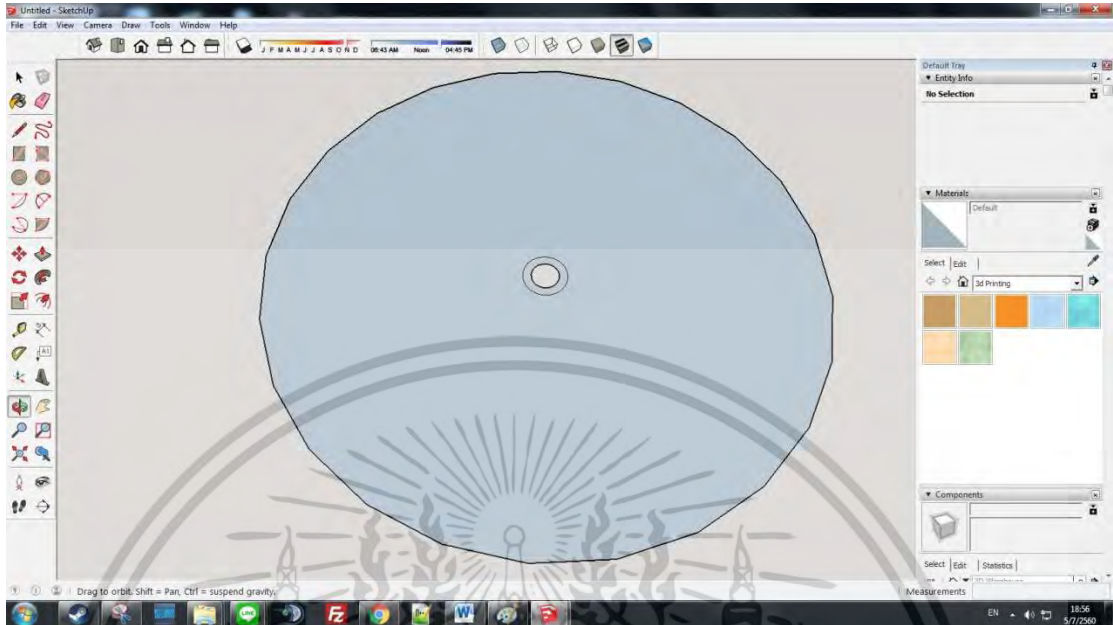
1. ใช้เครื่องมือ “Circle” เพื่อสร้างแกนขึ้นมา โดยมีรัศมี 5 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 สร้างแกนกลาง

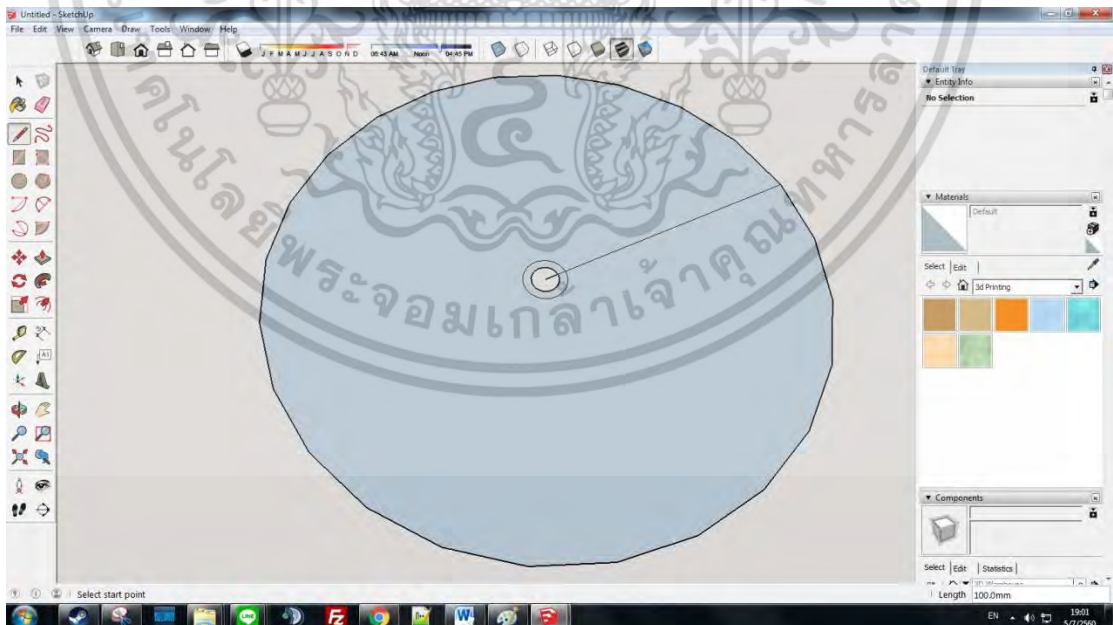
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใช้เครื่องมือ “Circle” เพื่อกำหนดขอบนอกของใบพัด โดยมีรัศมี 100 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 กำหนดขอบของกังหัน

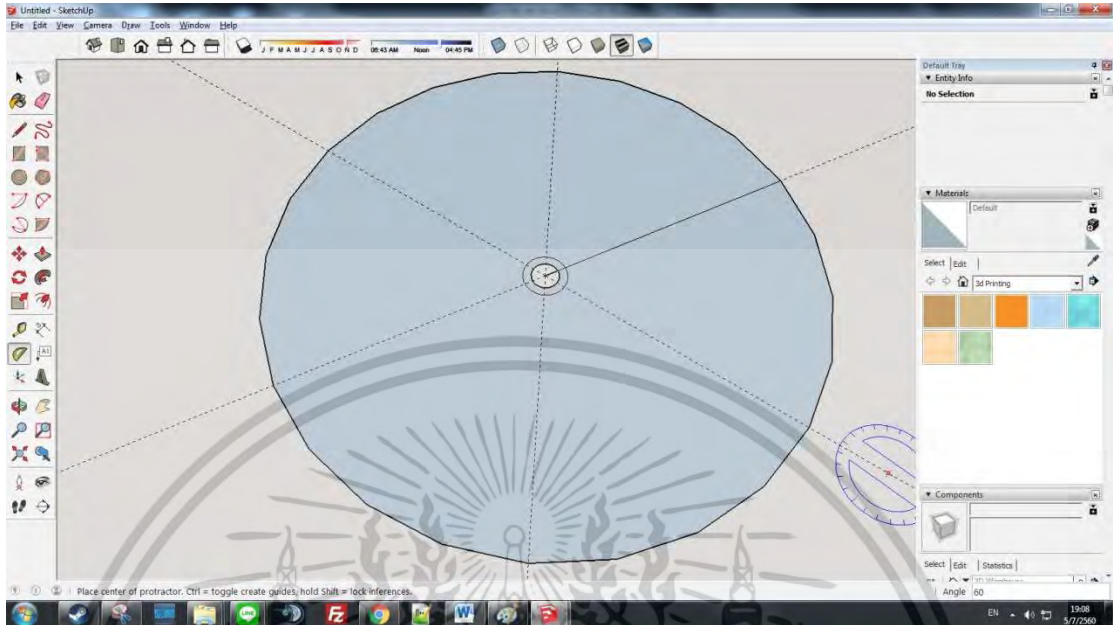
3. ใช้เครื่องมือ “Line” ลากเส้นจากจุดศูนย์กลางมาถึงเส้นขอบนอก ดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 ลากเส้น

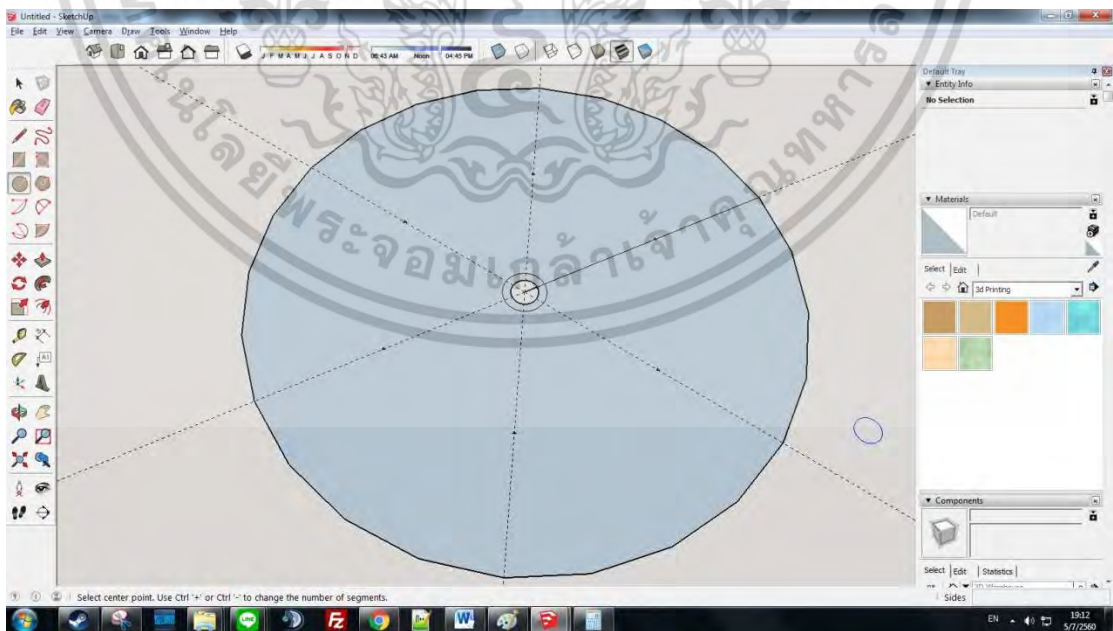
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้เครื่องมือ “Protractor” เพื่อสร้าง Guide Line โดยทำมุมกับเส้นที่สร้างในข้อ 3 กว้าง 60 องศา ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 วัดองศา

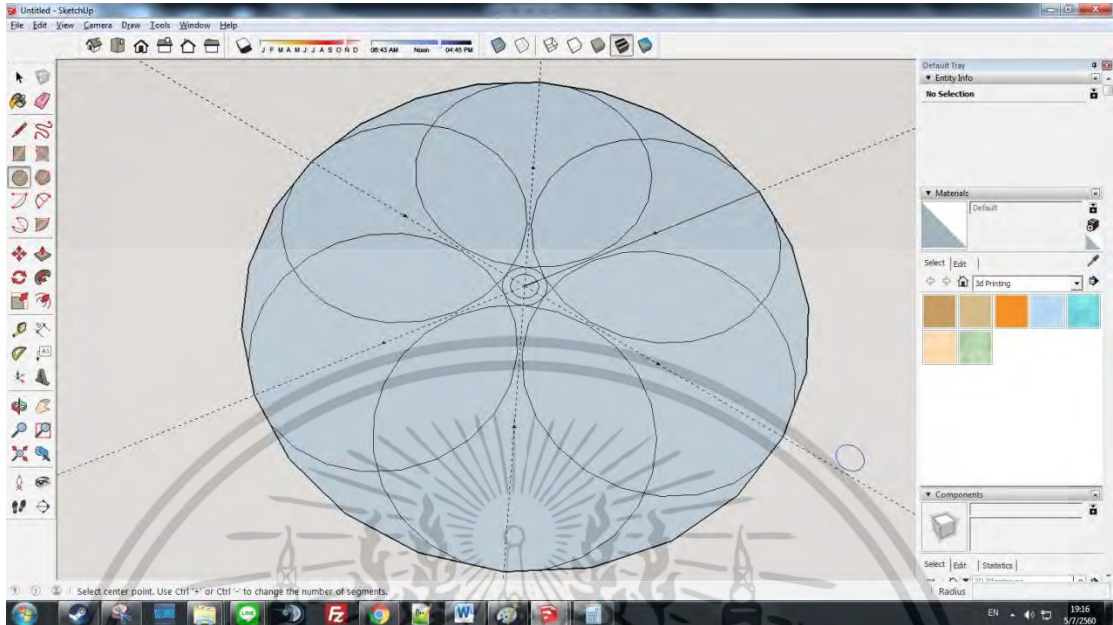
5. ใช้เครื่องมือ “Tape Measure Tool” เพื่อสร้าง Guide Point โดยวัดจากจุดศูนย์กลางวงกลมมาตามเส้น Guide Line โดยกำหนดความยาวเท่ากับ 54 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 สร้าง Guide Point

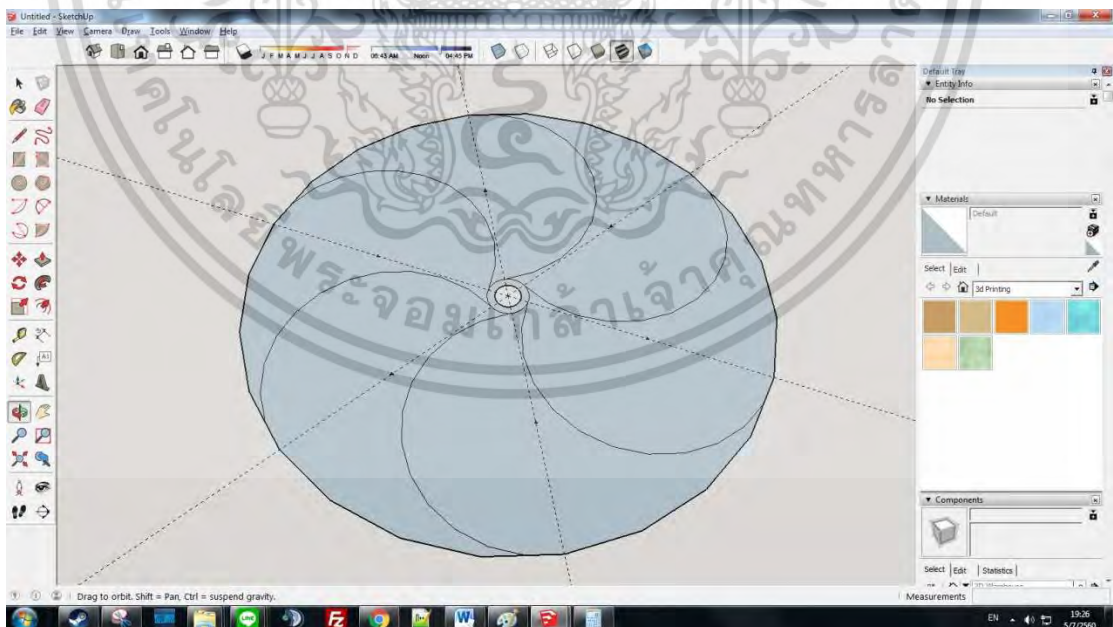
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ใช้เครื่องมือ “Circle” สร้างวงกลมโดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ Guide Point ที่สร้างในข้อ 5 โดยลากให้มีรัศมีถึงจุดรอบนอกของวงกลม ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 สร้างวงกลมเพื่อวาดส่วนของใบพัด

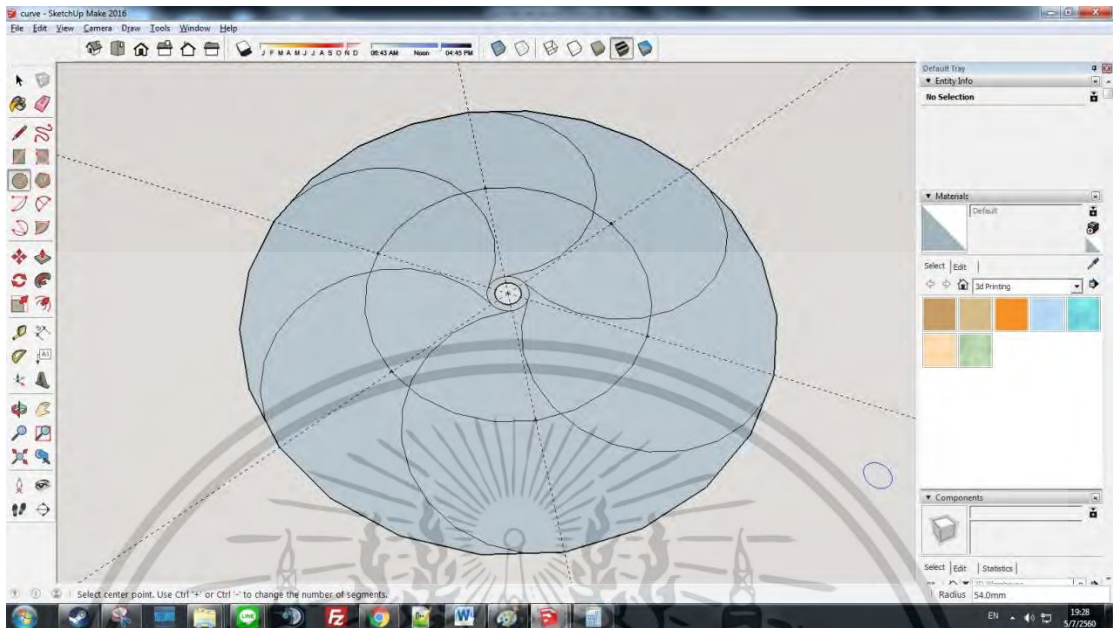
7. ใช้เครื่องมือ “Select” เพื่อให้ลบเส้นที่ไม่จำเป็นออก ดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 ลบเส้นที่ไม่ใช้

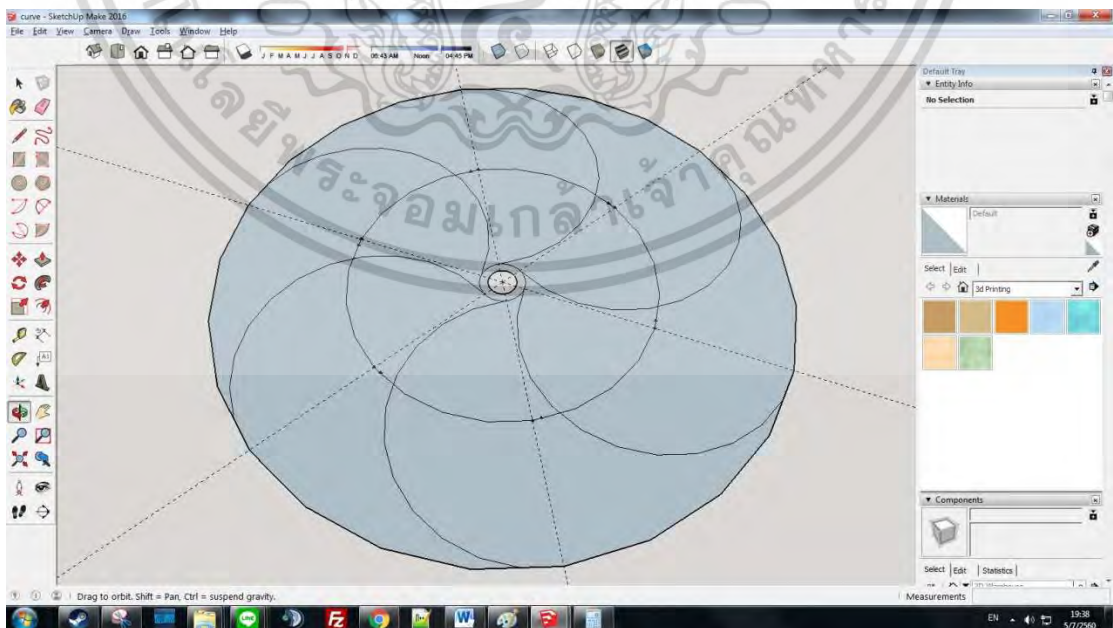
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ใช้เครื่องมือ “Circle” โดยใช้จุดศูนย์กลางที่แกนกลางแล้วลากรัศมีให้ถึงจุด Guide Point ที่สร้างไว้ในข้อ 5 ดังรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.38 สร้างวงกลม

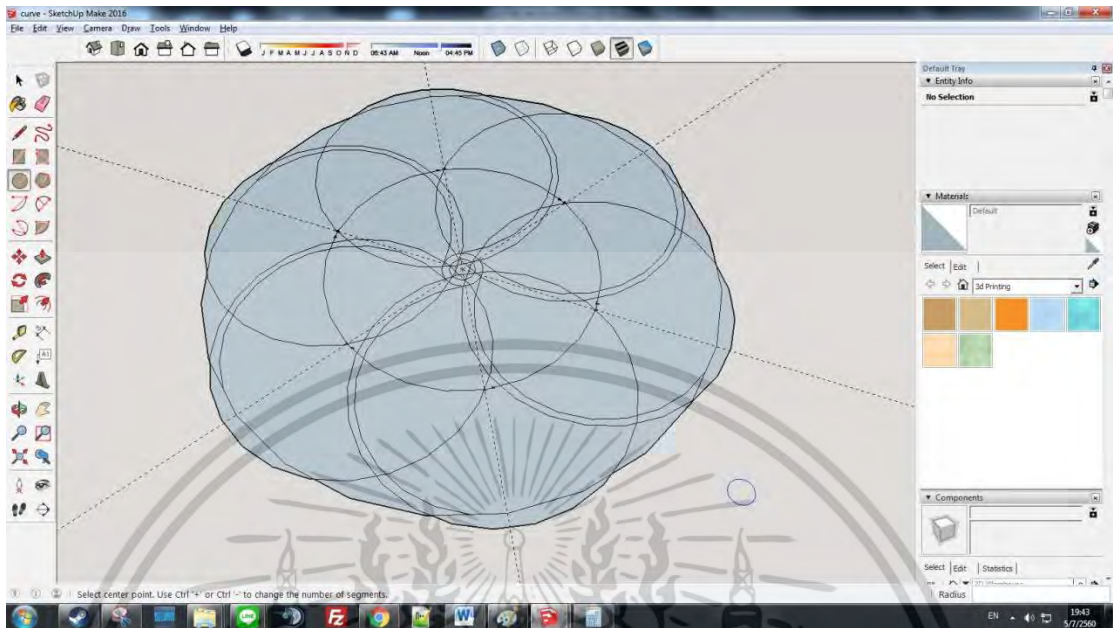
9. ใช้เครื่องมือ “Tape Measure Tool” เพื่อสร้าง Guide Point โดยวัดความยาวจากจุด Guide Point ที่สร้างในข้อ 5 ไปตามเส้นวงกลมที่สร้างในข้อ 8 เป็นความยาว 3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 สร้าง Guide Point

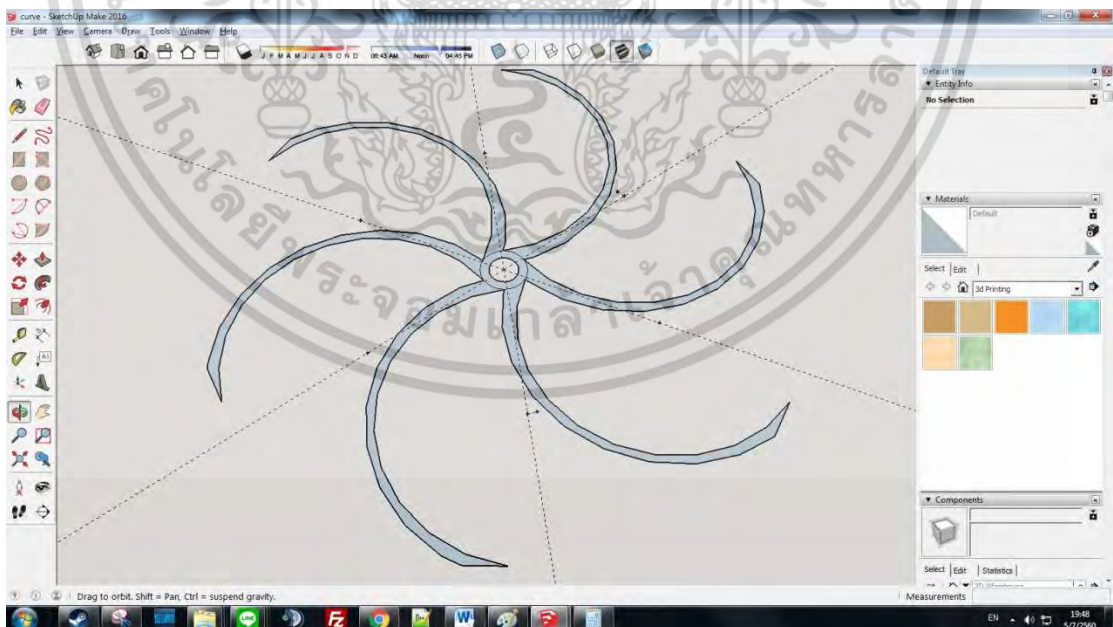
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ใช้เครื่องมือ “Circle” โดยใช้จุดศูนย์กลางที่ Guide Point ที่สร้างในข้อ 9 โดยกำหนดรัศมีเท่ากับ 51.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 สร้างความหนาของใบพัด

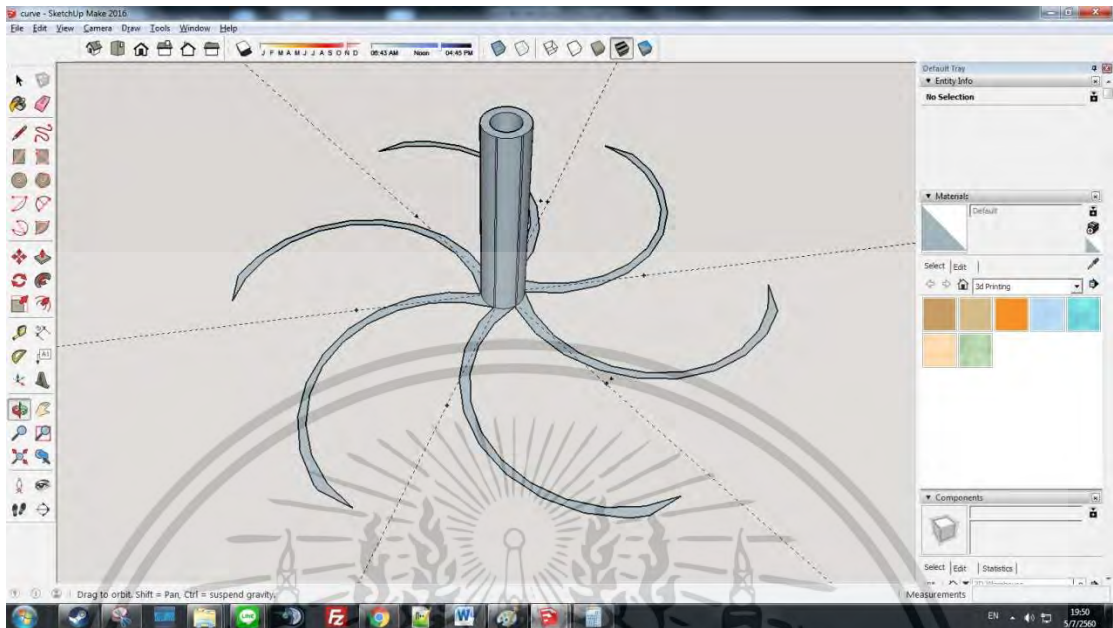
11. ใช้เครื่องมือ “Select” เพื่อลบเส้นที่ไม่ต้องการออก ดังรูปที่ 3.41



รูปที่ 3.41 ลบเส้นที่ไม่ใช้

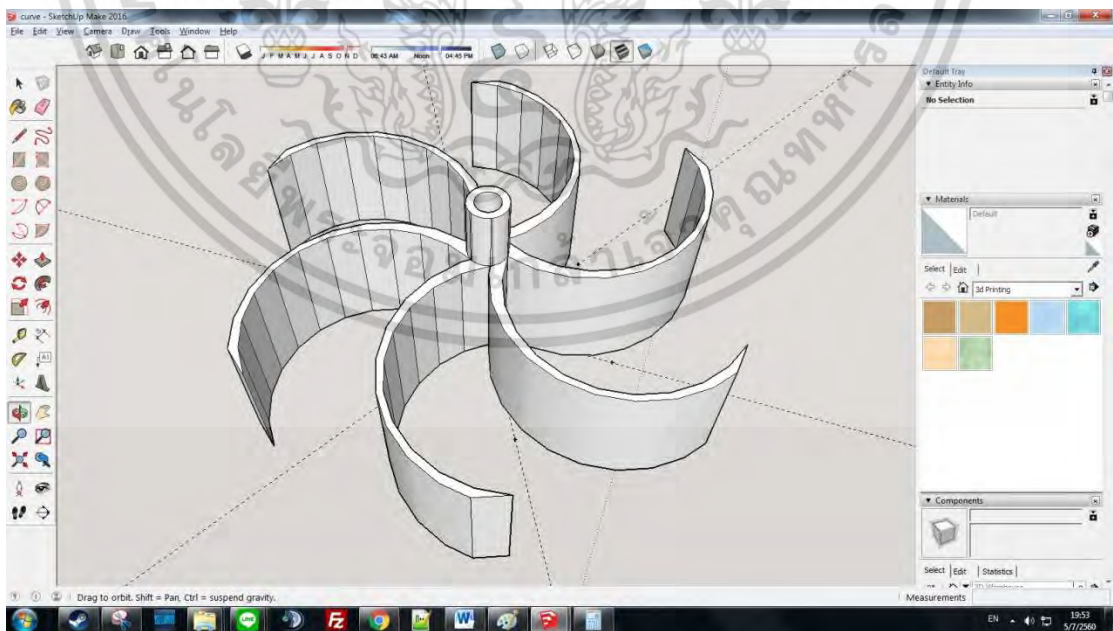
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ใช้เครื่องมือ “Push/Pull” เพื่อดึงแกนวงกลมขึ้นมา โดยกำหนดขนาดความสูงเท่ากับ 75 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 ดึงแกนกลางขึ้น

13. ใช้เครื่องมือ “Push/Pull” เพื่อดึงใบพัดขึ้นมาโดยกำหนดขนาดความสูงเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ทั้ง 6 ใบ ดังรูปที่ 3.43



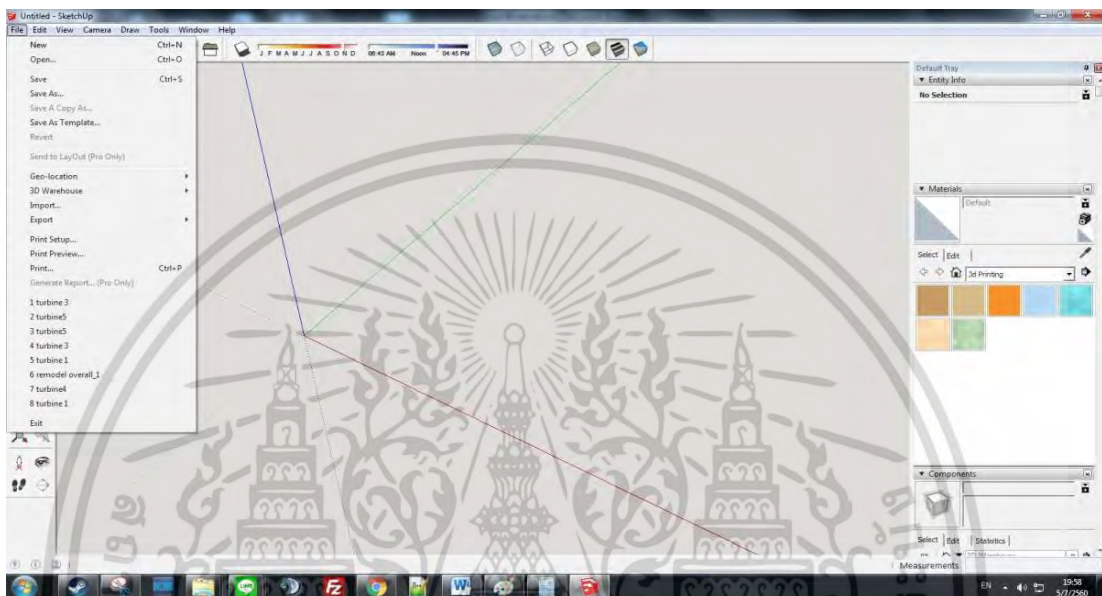
รูปที่ 3.43 กังหันน้ำแบบ Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.4 ทำการออกแบบกังหันน้ำแบบ Pelton

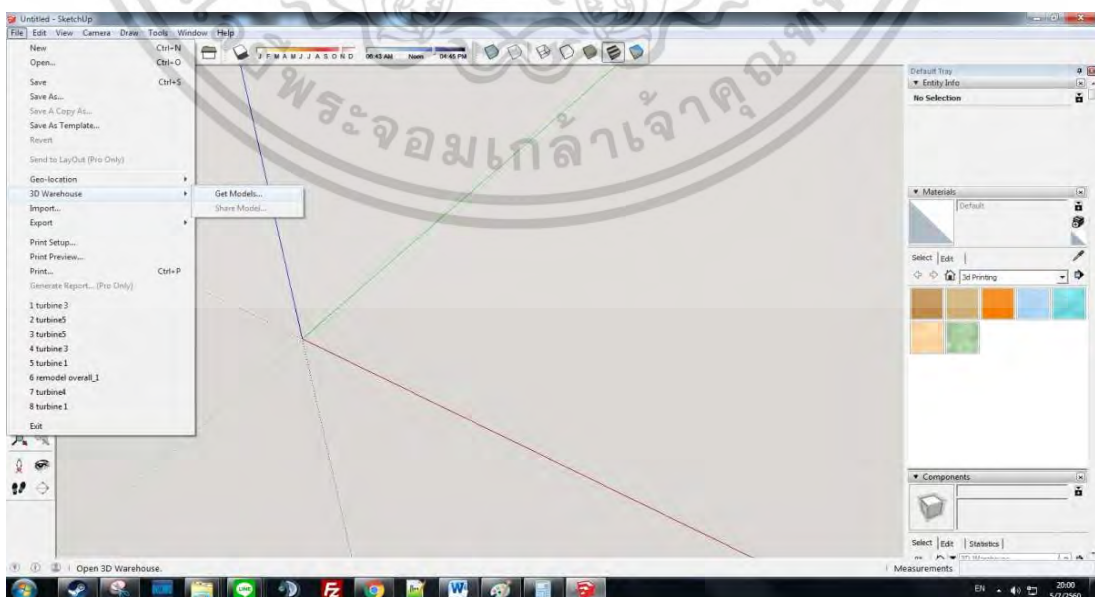
เนื่องจากกังหันน้ำแบบ Pelton เป็นกังหันที่มีการใช้โดยทั่วไป และโปรแกรม SketchUp สามารถที่จะดาวน์โหลดแบบที่ผู้อื่นได้ทำการออกแบบไว้แล้วได้จาก Function “3D Warehouse”

1. ไปที่ Tab เครื่องมือด้านบนแล้วเลือก “File” ดังรูปที่ 3.44



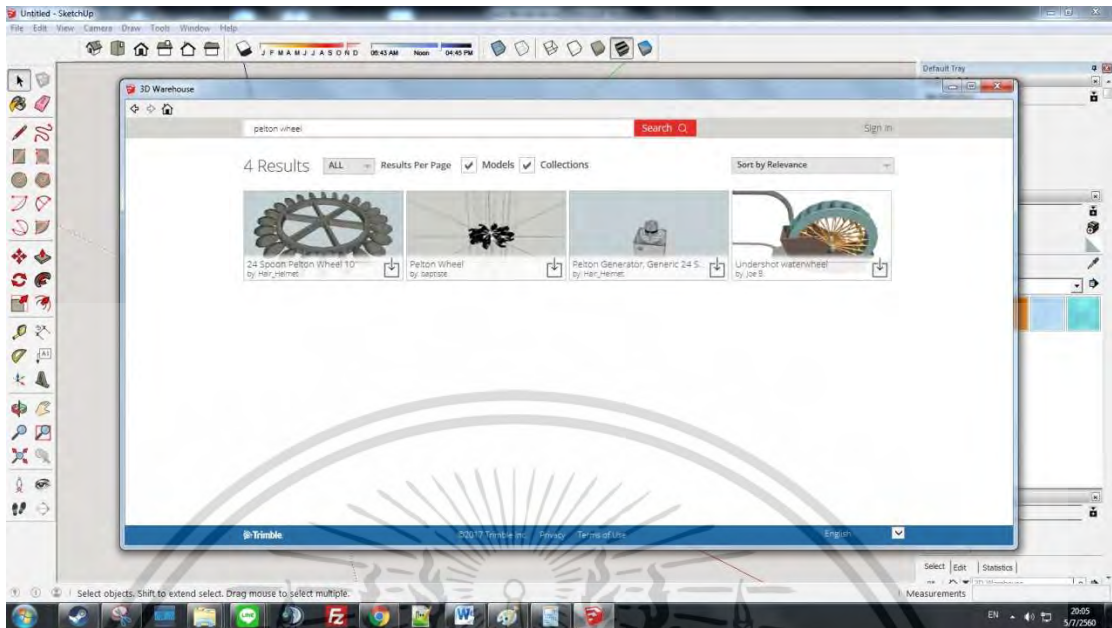
รูปที่ 3.44 หน้าต่างในเมนู “File”

2. คลิกเมาส์ไปที่ “3D Warehouse” แล้วจากนั้นเลือก “Get Models...” ดังรูปที่ 3.45



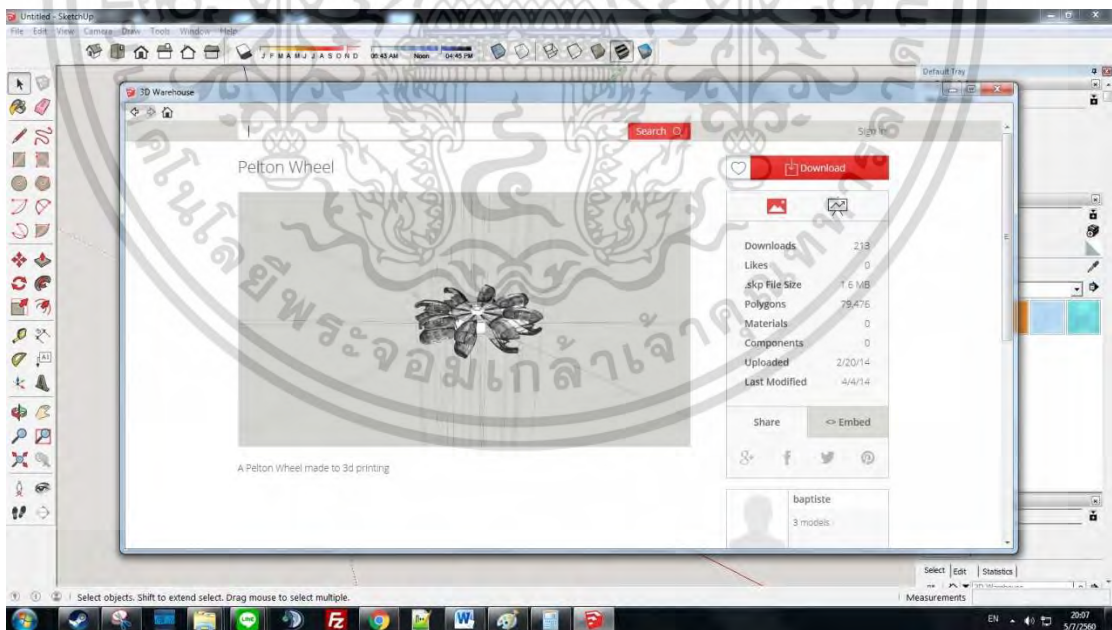
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.45 หน้าต่างใน Function “3D Warehouse” ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ให้พิมพ์คำว่า “Pelton Wheel” ในช่อง “Search” แล้วกด “Enter” ดังรูปที่ 3.46



รูปที่ 3.46 ค้นหาโมเดลใน 3D Warehouse

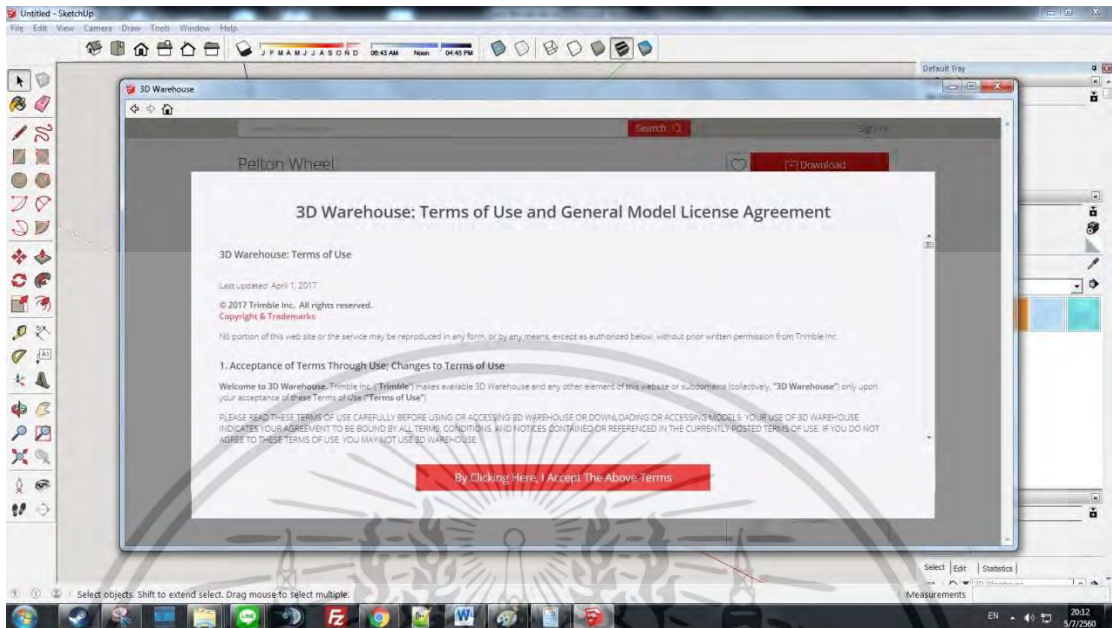
4. คลิก Models ที่ชื่อว่า “Pelton Wheel” ดังรูปที่ 3.47



รูปที่ 3.47 Model “Pelton Wheel”

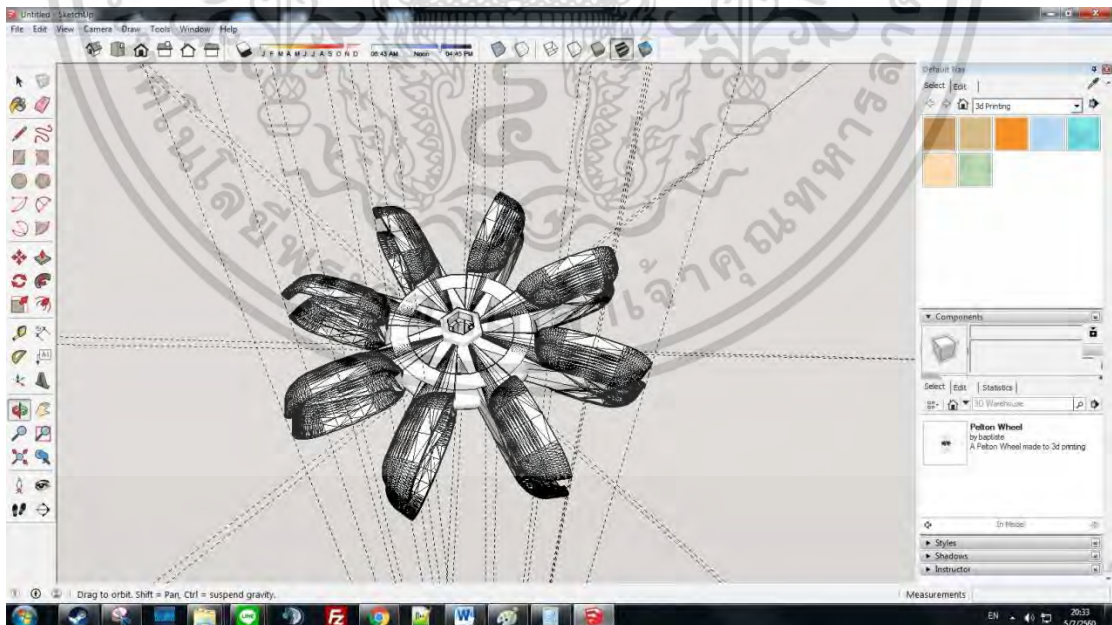
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. คลิก “Download” แล้วคลิกที่ “By Click Here, I Accept The Above Terms” ดังรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 Terms of Use and General Model License Agreement

6. เมื่อดำเนินโหลดเสร็จเรียบร้อยแล้วจะได้ ดังรูปที่ 3.49



รูปที่ 3.49 กังหันน้ำแบบ Pelton

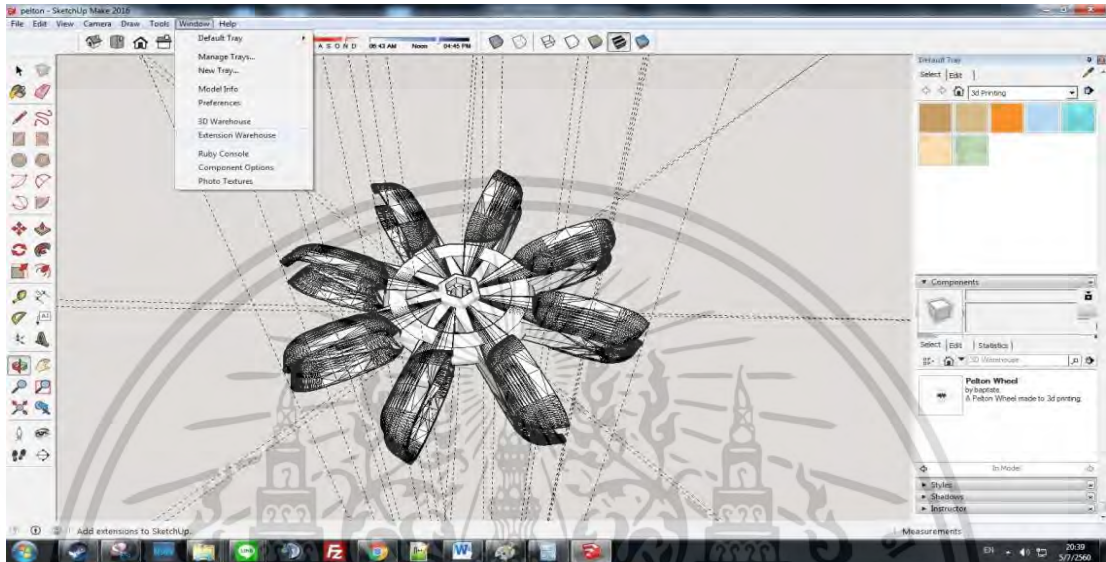
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ทำการพิมพ์ 3D กังหันน้ำ

3.7.1 แปลงสกุลไฟล์ skp เป็น STL

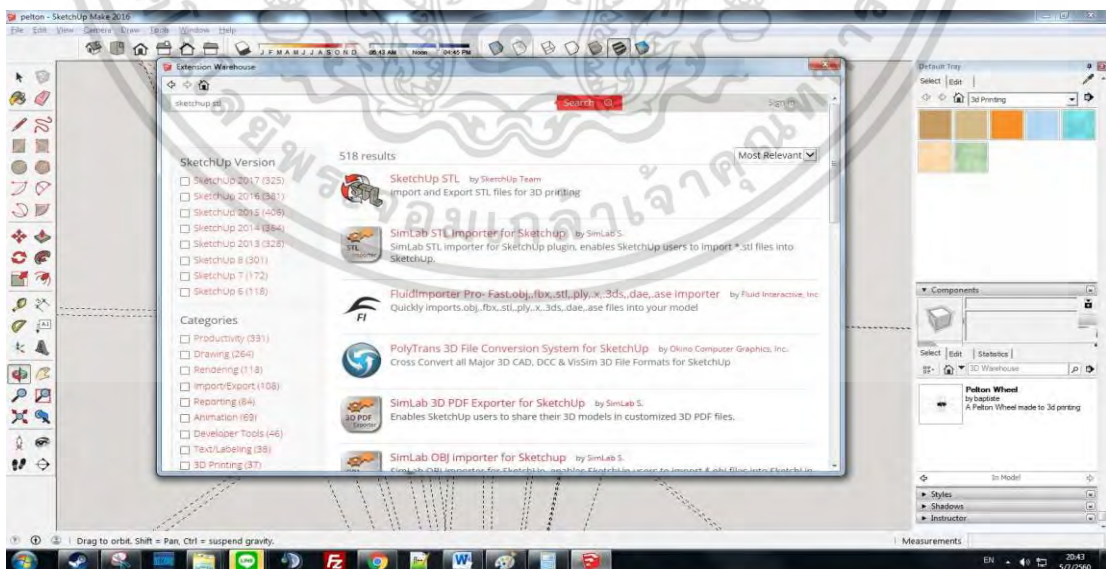
ในการปริ้น 3D จำเป็นจะต้องใช้ไฟล์สกุล STL ซึ่งในจะต้องทำการแปลงก่อนจะนำไปใช้พิมพ์

1. เลือก Tap เมนูด้านบน ซี่เมาส์ที่ “Window” แล้วจากนั้นคลิกที่ “Extension Warehouse” ดังรูปที่ 3.50



รูปที่ 3.50 หน้าต่างในเมนู “Window”

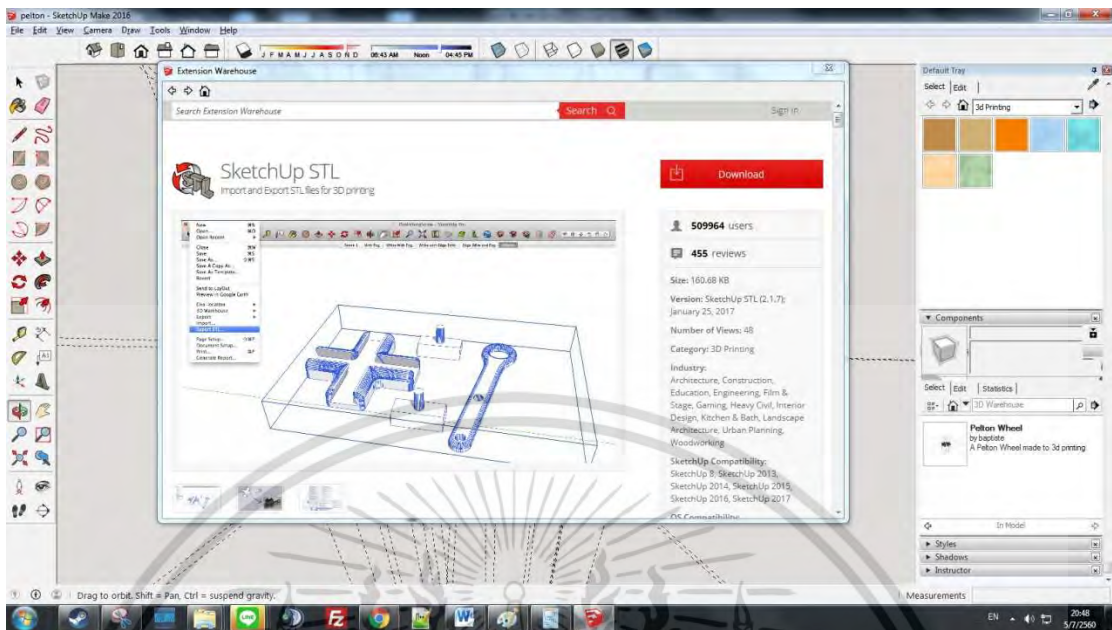
2. ให้พิมพ์คำว่า “SketchUp STL” ในช่อง “Search” ดังรูปที่ 3.51



รูปที่ 3.51 หน้าต่างใน “Extension Warehouse”

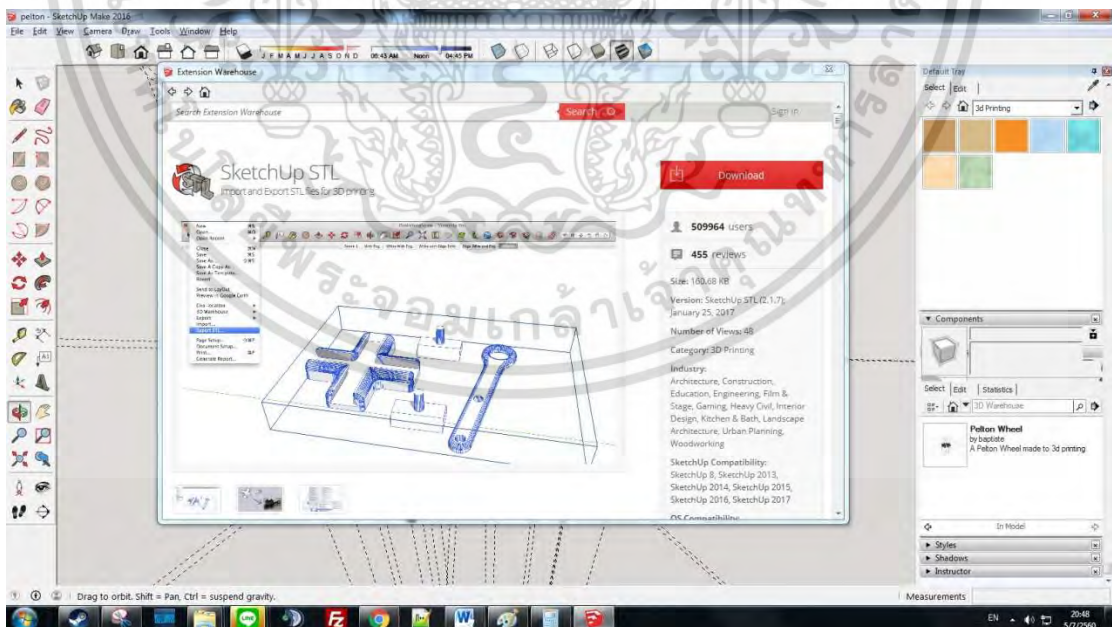
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือก Extension ที่ชื่อว่า “SketchUp STL” แล้วคลิก “Download” ดังรูปที่ 3.52



รูปที่ 3.52 Extension “Sketchup STL”

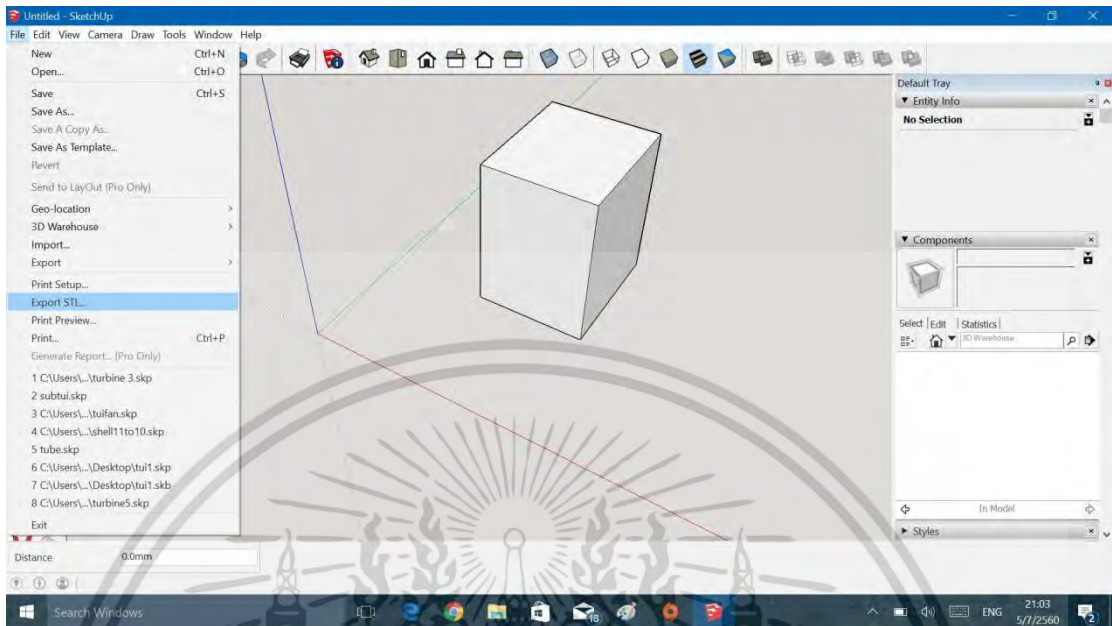
4. โปรแกรมจะให้เราทำการ Login โดยเราสามารถใส่ Gmail ในการ Login ได้ เมื่อทำการดาวน์โหลดแล้ว จะกลับมาที่หน้าต่างเก่า ดังรูปที่ 3.53



รูปที่ 3.53 Extension “Sketchup STL”

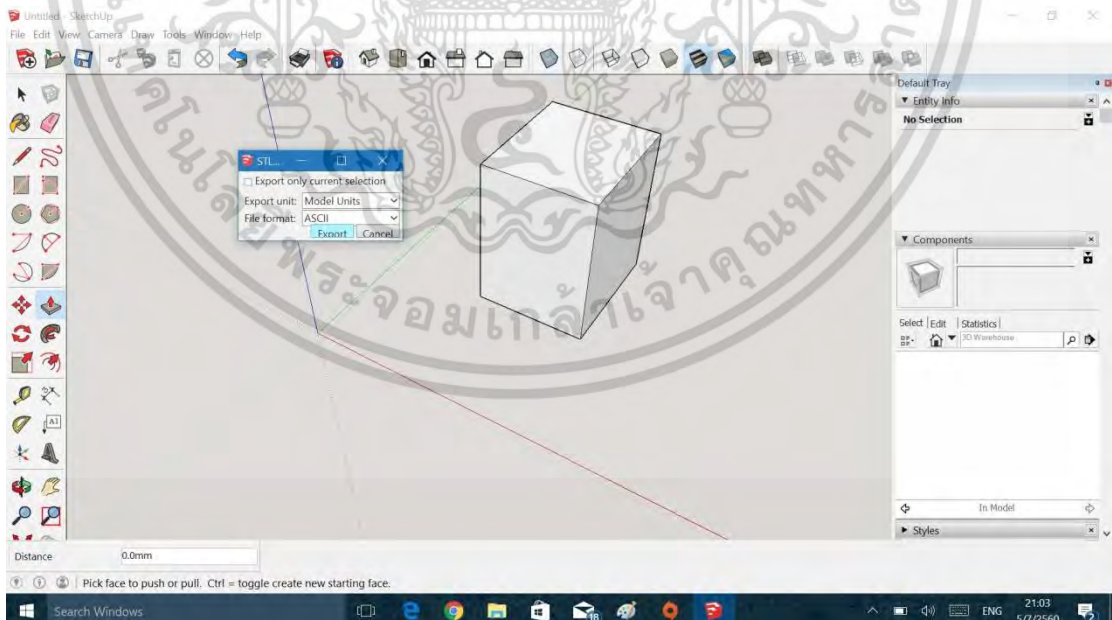
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ให้ปิดหน้าต่าง “Extension Warehouse” และคลิกที่ “File” ที่เมนูด้านบน แล้วจากนั้นเลือก “Export STL...” ดังรูปที่ 3.54



รูปที่ 3.54 Function “Export STL..”

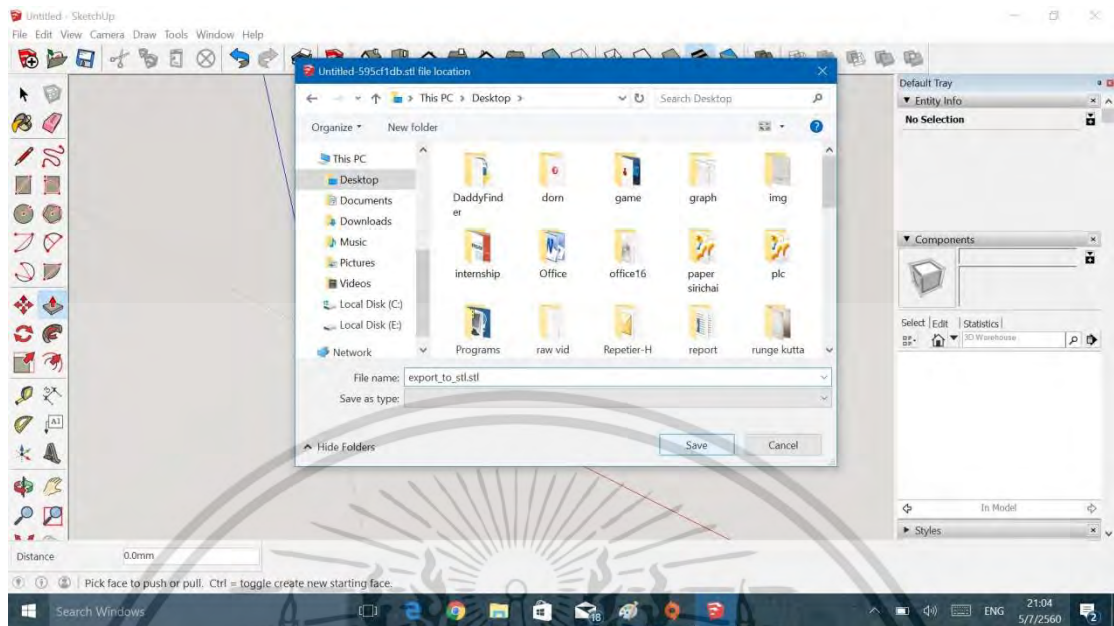
6. จะมีหน้าต่างเล็กๆ ขึ้นมา ให้คลิกที่ “Export” ดังรูปที่ 3.55



รูปที่ 3.55 การ Export ไฟล์สกุล STL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. โปรแกรมจะให้เลือกที่อยู่ของไฟล์สกุล STL ที่กำลังจะแปลง ดังรูปที่ 3.56



รูปที่ 3.56 ทำการเซฟไฟล์ STL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 สร้างโปรแกรมสำหรับแสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW 2014

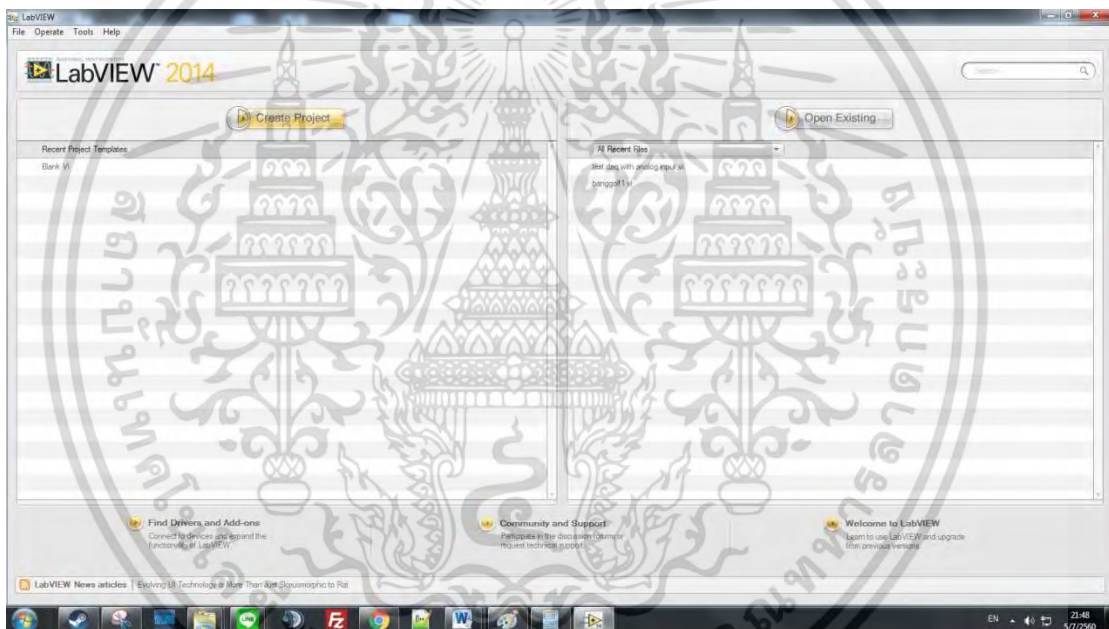
3.8.1 ขั้นตอนการเริ่มใช้โปรแกรม

1. เปิดโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 3.57



รูปที่ 3.57 ไอคอนโปรแกรม LabVIEW 2014

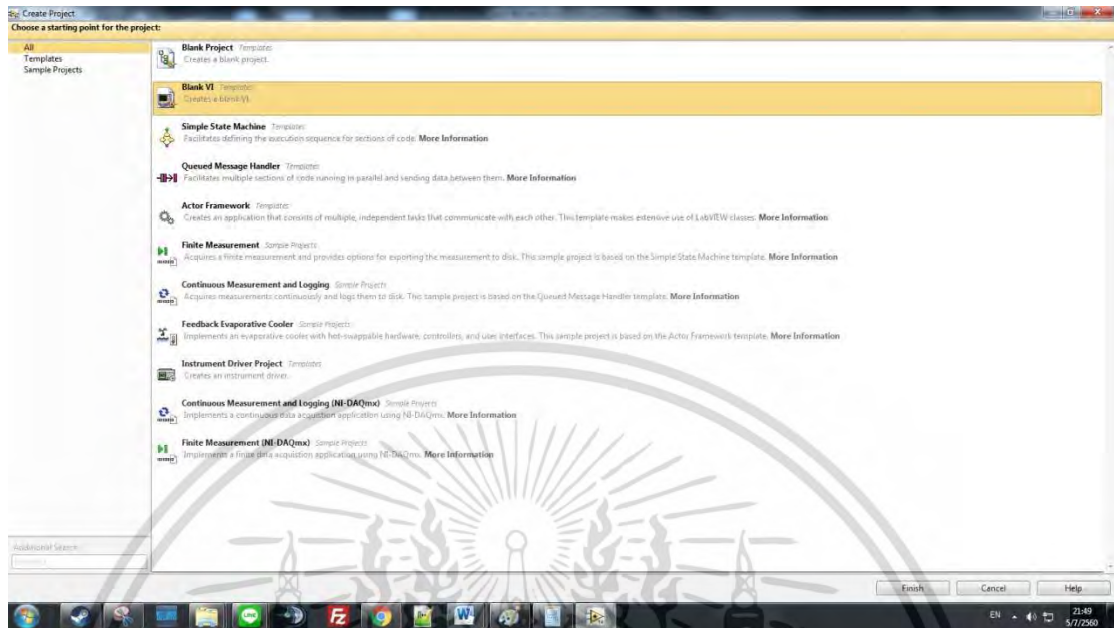
2. คลิก “Create Project” ดังรูปที่ 3.58



รูปที่ 3.58 หน้าแรกของโปรแกรม LabVIEW

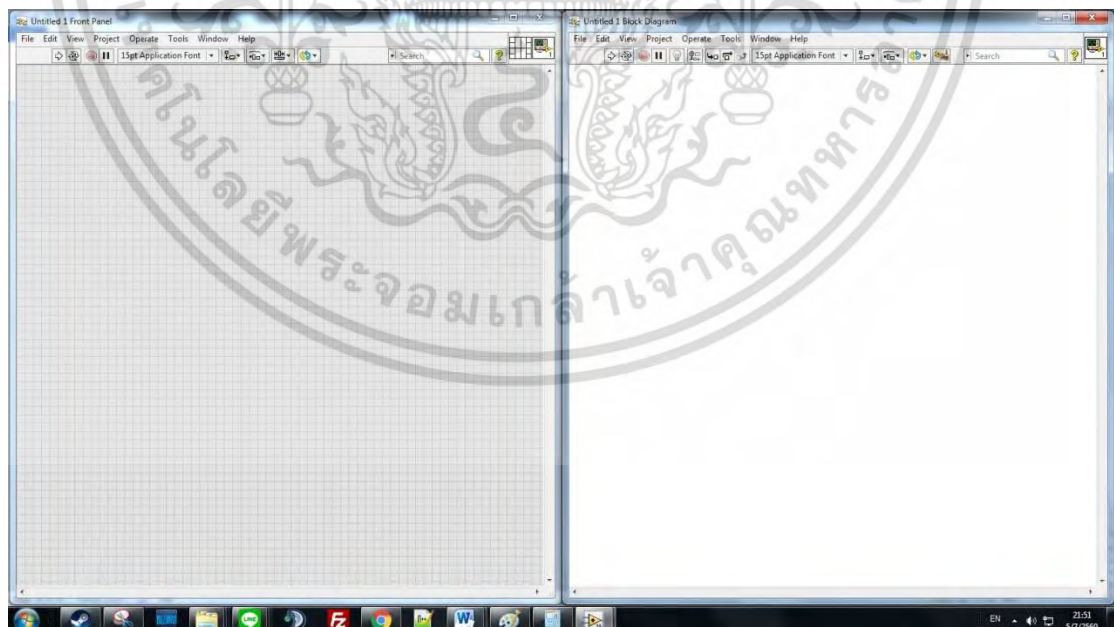
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือก “Blank VI” แล้วจากนั้นคลิกที่ “Finish” ดังรูปที่ 3.59



รูปที่ 3.59 สร้างโปรเจ็ค “Blank VI”

3. จะปรากฏ 2 หน้าต่างขึ้นมา ให้กด Ctrl+T เพื่อให้หน้าต่างทั้งแบ่งครึ่งเท่ากัน เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน ดังรูปที่ 3.60

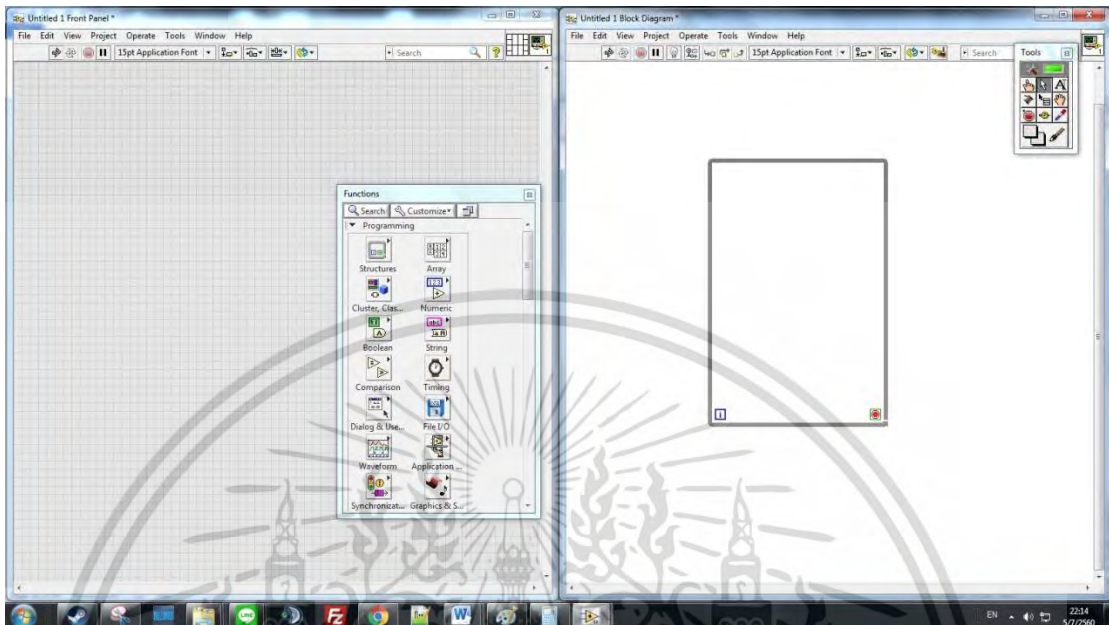


รูปที่ 3.60 Front Panel และ Back Panel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

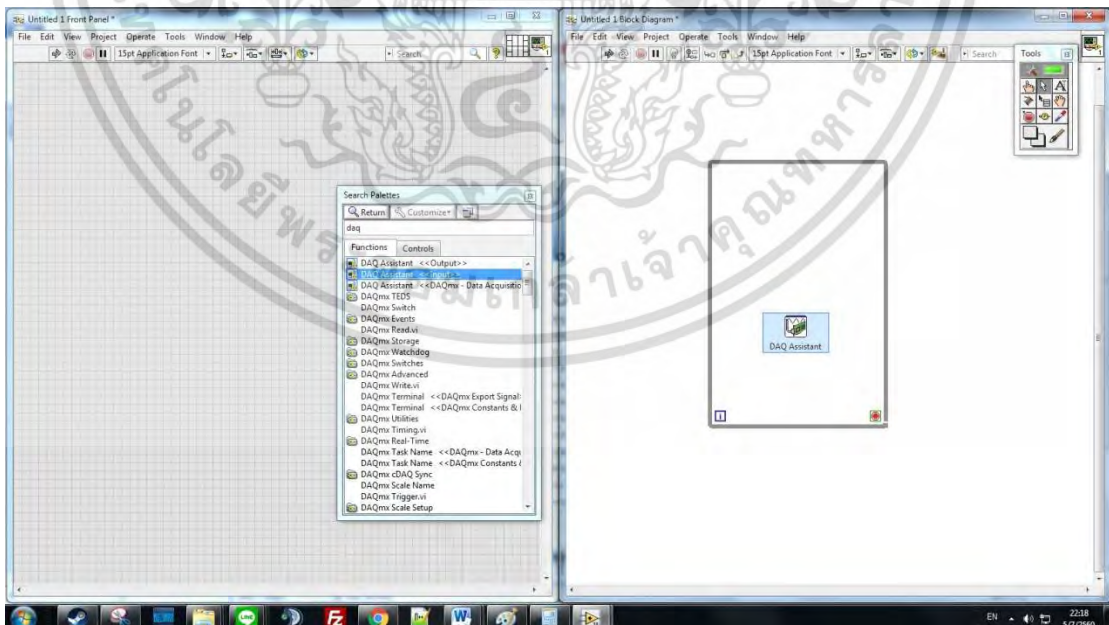
3.8.2 ออกแบบโปรแกรม LabVIEW 2014

1. ไปที่ส่วน Back Panel ใส่ While Loop เข้าไป เพื่อให้โปรแกรมรันต่อเนื่อง ดังรูปที่ 3.61



รูปที่ 3.61 ใส่ While Loop

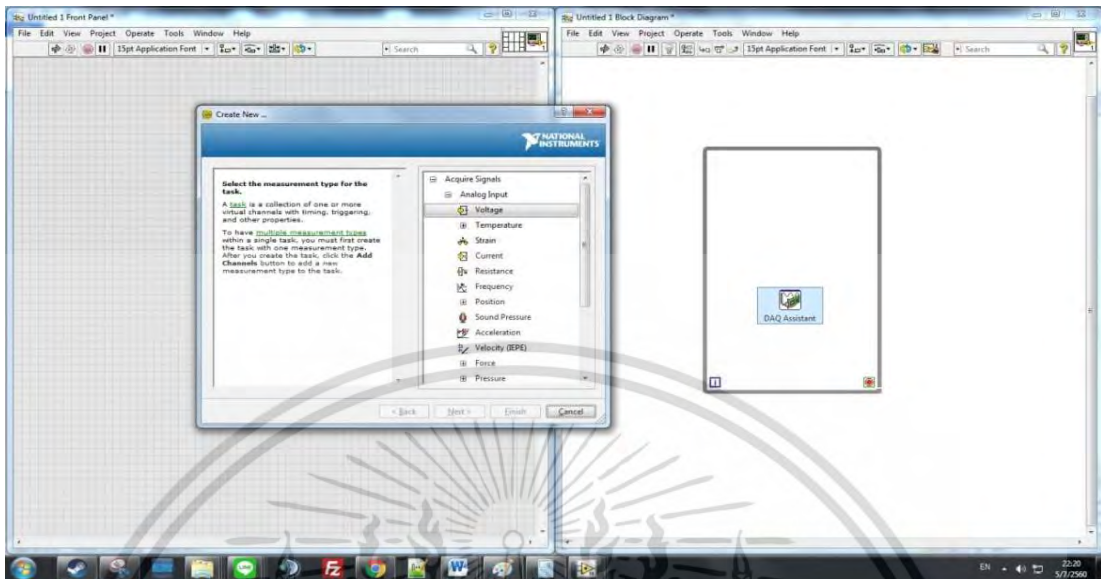
2. ใส่ DAQ Assistance <<input>> เข้าไปใน While Loop ดังรูปที่ 3.62



รูปที่ 3.62 ใส่ DAQ Assistance

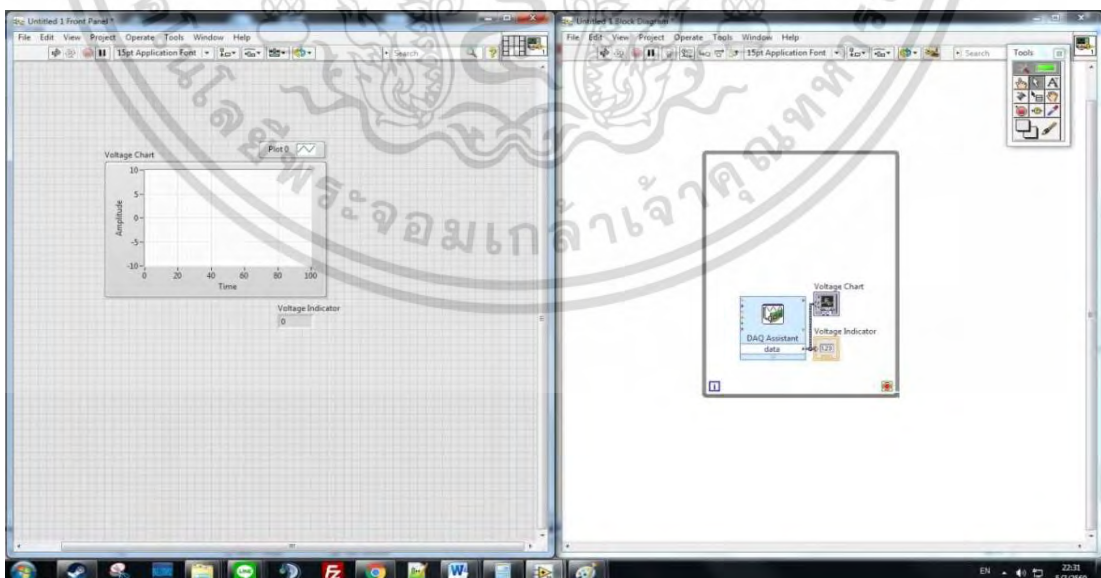
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จากนั้นตั้งค่า DAQ Assistance โดยเลือก Acquire Signals > Analog Input > Voltage ดังรูปที่ 3.63



รูปที่ 3.63 ตั้งค่า DAQ Assistance

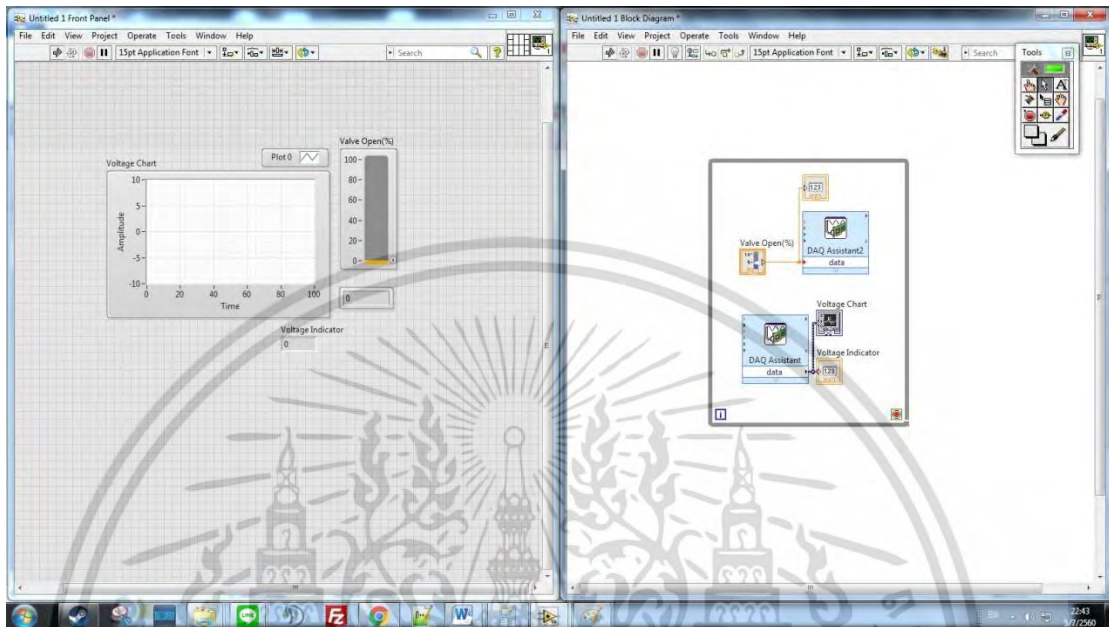
4. ไปที่ส่วน Front Panel ใส่ Waveform Graph และ Numeric Indicator และไปที่ Back Panel จากนั้นทำการเชื่อมโยง DAQ Assistance ไปยัง Waveform Graph และ Numeric Indicator เพื่อให้ค่าอินพุตจาก DAQ แสดงผลผ่าน กราฟและอินดิเคเตอร์ ดังรูปที่ 3.64



รูปที่ 3.64 ใส่กราฟและอินดิเคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ไปที่ Back Panel ใส่ DAQ Assistance <<Output>> และที่ Front Panel ใส่ Vertical Pointer Slide และ Numeric Indicator จากนั้นเชื่อมโยง DAQ Assistance เข้ากับ Vertical Pointer Slide และ Numeric Indicator เพื่อใช้ควบคุมวาล์วควบคุมให้เปิดตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.65 ส่วนการควบคุมในโปรแกรม LabVIEW 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

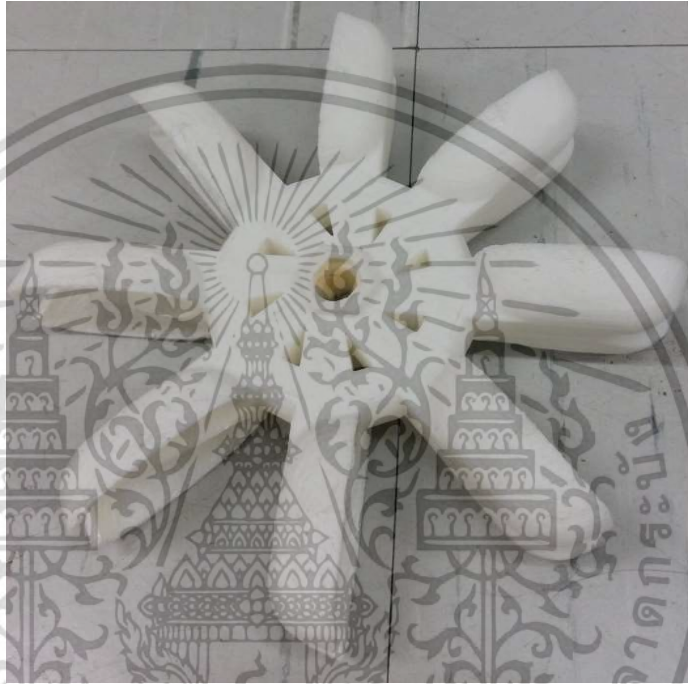
บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลของการออกแบบกังหันน้ำ

ได้ทำการออกแบบกังหันน้ำเพื่อใช้ในการทดสอบไว้ 3 รูปแบบดังนี้

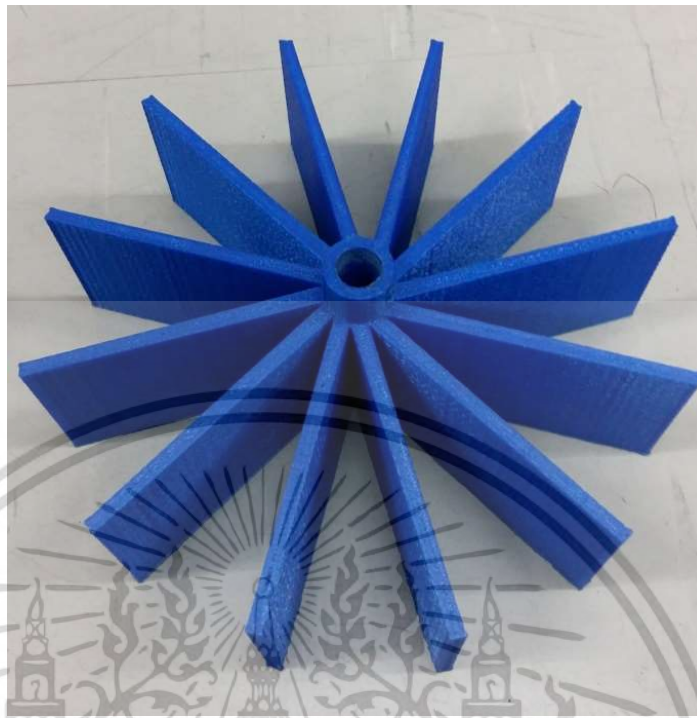
1. กังหันน้ำแบบ Pelton



รูปที่ 4.1 กังหันน้ำแบบ Pelton

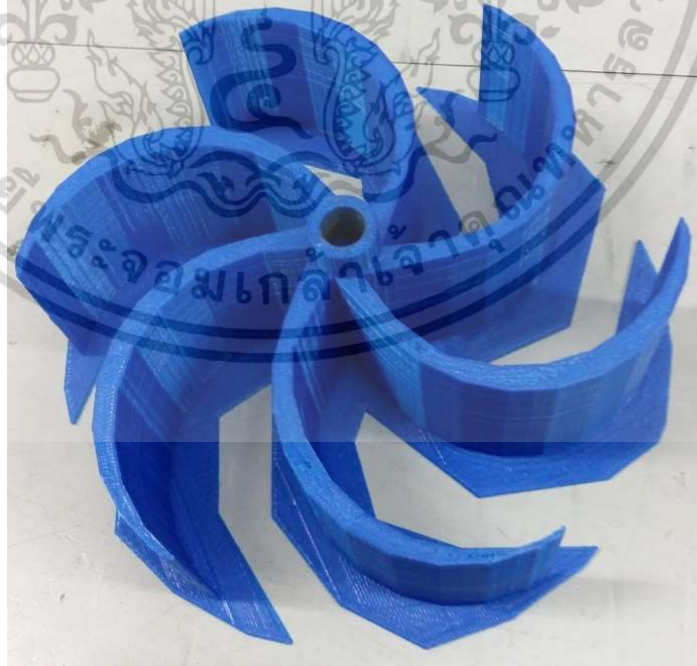
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กังหันน้ำแบบ Standard



รูปที่ 4.2 กังหันน้ำแบบ Standard

3. กังหันน้ำแบบ Curve



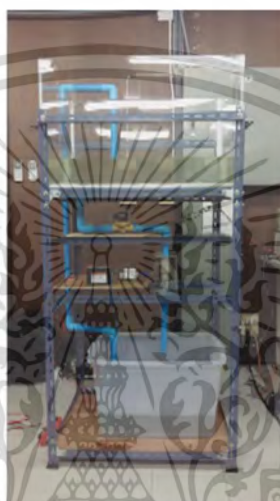
รูปที่ 4.3 กังหันน้ำแบบ Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

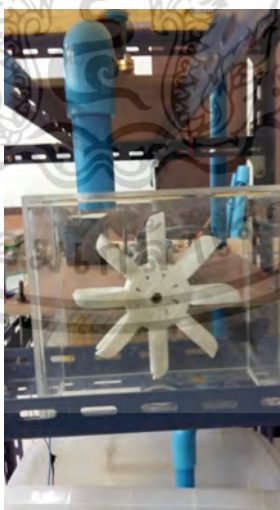
4.2 ผลการทดสอบ

จากการทดสอบประสิทธิภาพกังหันทั้ง 3 แบบ ที่ได้ทำการปรับ 3D ซึ่งในการทดสอบจะทดสอบ โดยเปิดวาล์วควบคุม 2 แบบคือ เปิด 15% และเปิด 100% ซึ่งค่าที่ทำการบันทึกคือ แรงดันไฟฟ้าที่ได้ จาก Generator โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการเก็บค่า และบันทึกลงในโปรแกรม Microsoft Excel

4.2.1 กังหันน้ำแบบ Pelton

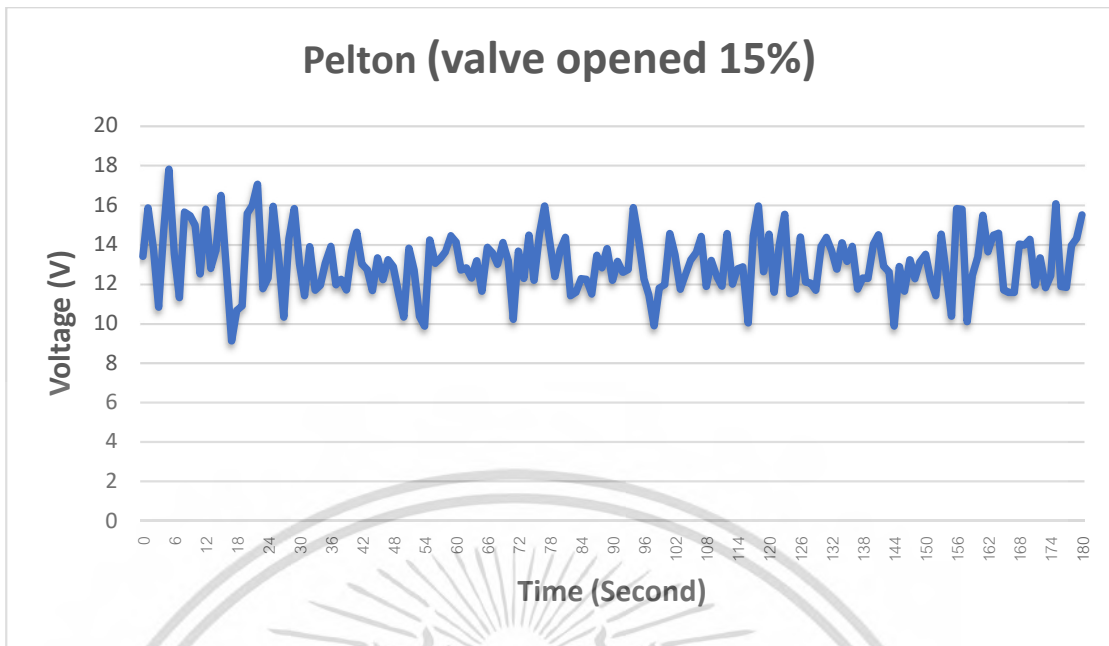


รูปที่ 4.4 การทดสอบประสิทธิภาพกังหันน้ำแบบ Pelton

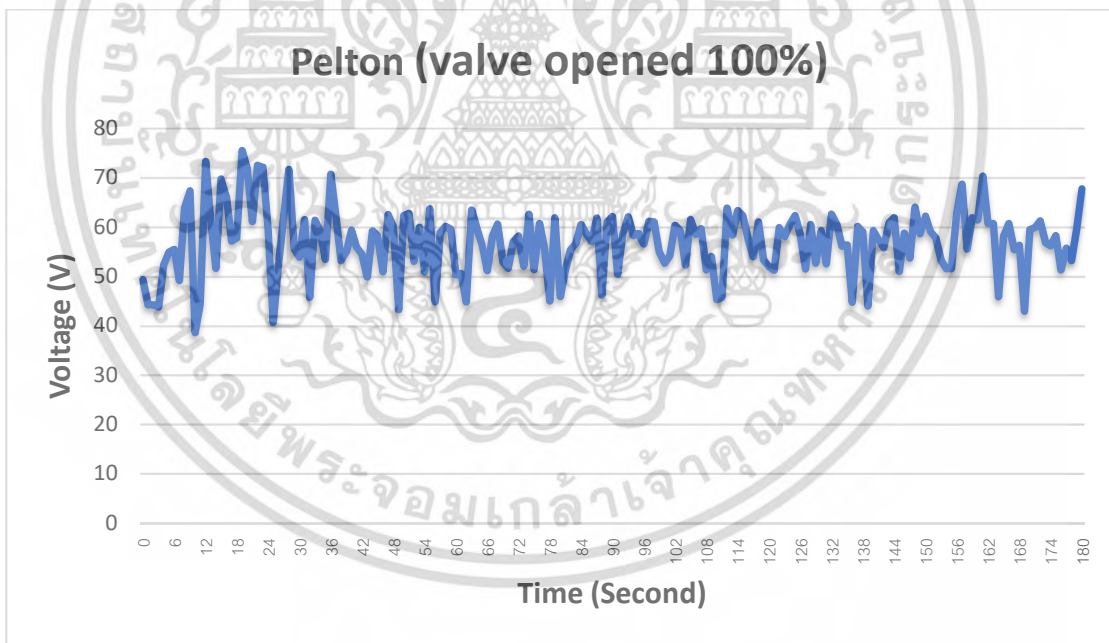


รูปที่ 4.5 กังหันน้ำแบบ Pelton

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงแรงดันที่ผลิตได้โดยใช้กังหันน้ำแบบ Pelton และเปิดวาล์ว 15%



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงแรงดันที่ผลิตได้โดยใช้กังหันน้ำแบบ Pelton และเปิดวาล์ว 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 กังหันน้ำแบบ Standard

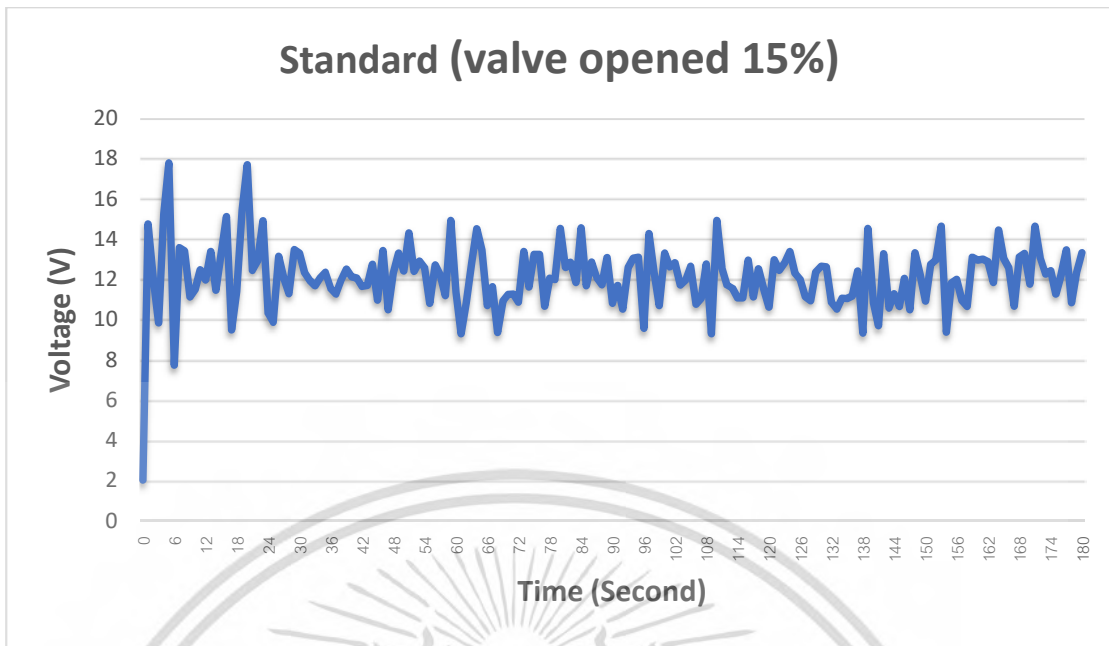


รูปที่ 4.8 การทดสอบประสิทธิภาพกังหันน้ำแบบ Standard

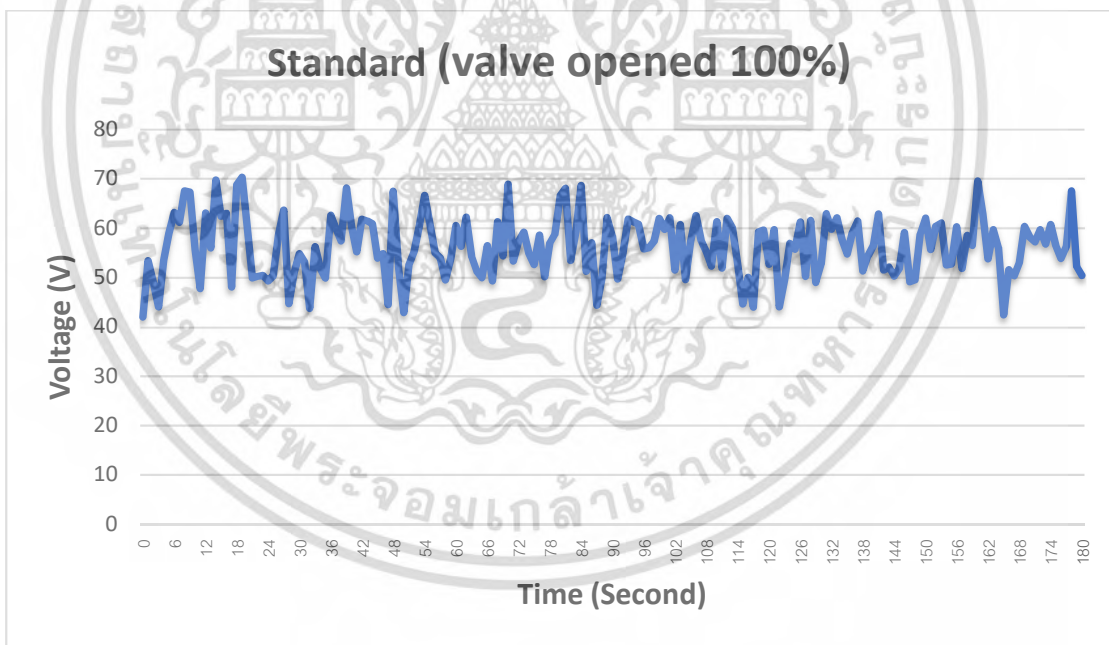


รูปที่ 4.9 กังหันน้ำแบบ Standard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



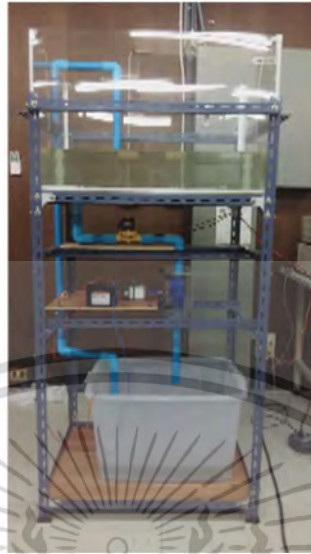
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงแรงดันที่ผลิตได้โดยใช้กังหันน้ำแบบ Standard และเปิดวาล์ว 15%



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงแรงดันที่ผลิตได้โดยใช้กังหันน้ำแบบ Standard และเปิดวาล์ว 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 กังหันน้ำแบบ Curve

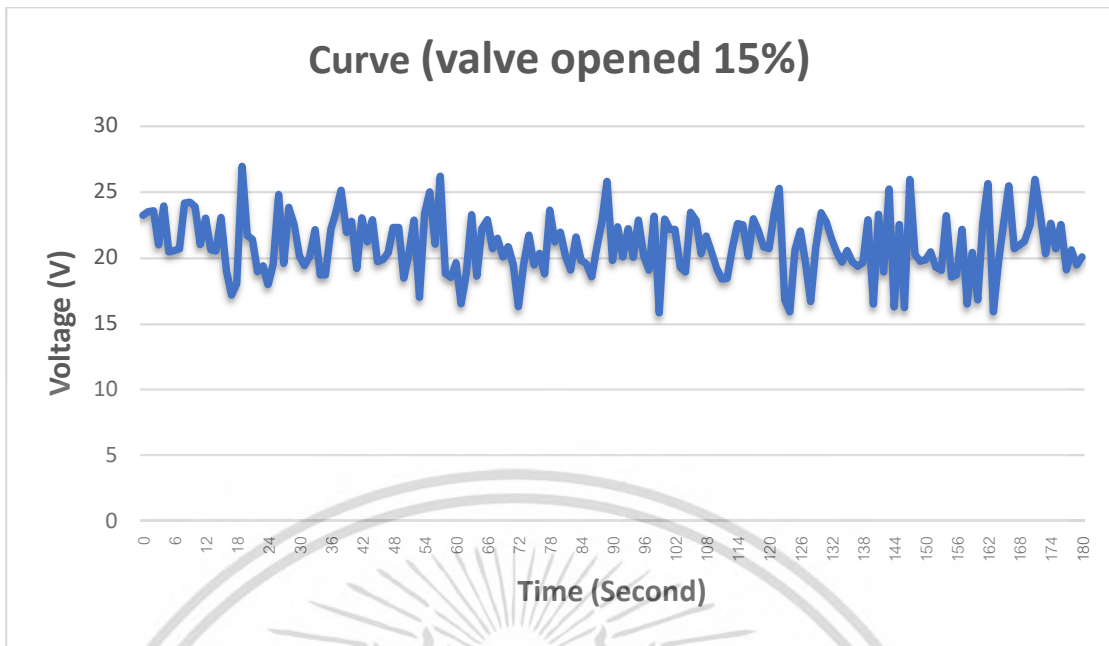


รูปที่ 4.12 การทดสอบประสิทธิภาพกังหันน้ำแบบ Curve

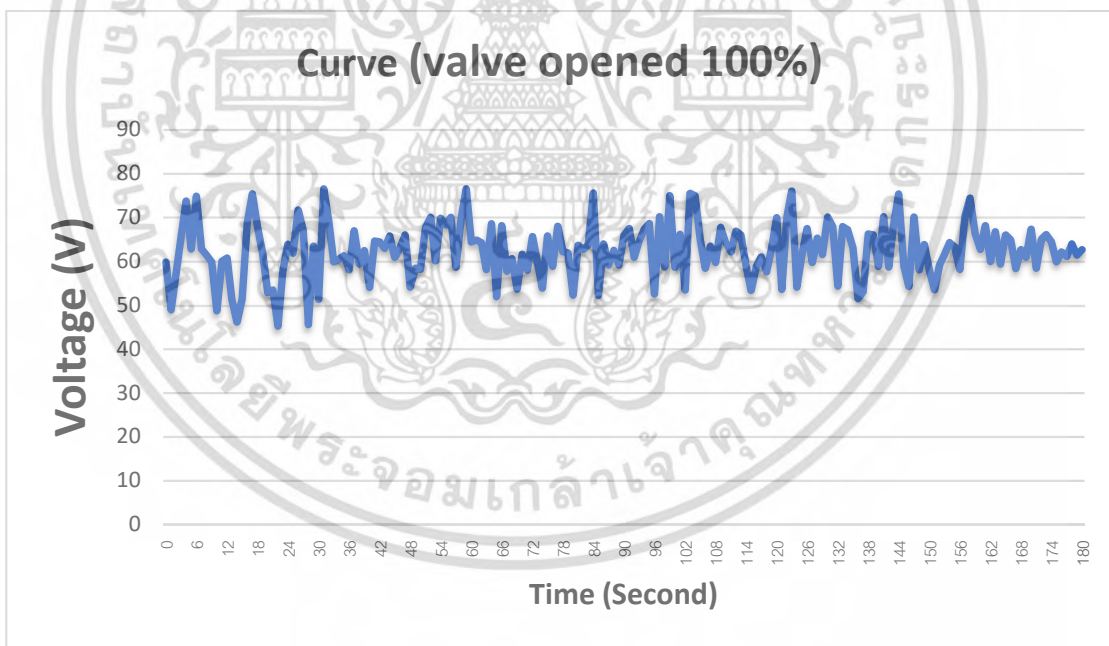


รูปที่ 4.13 กังหันน้ำแบบ Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



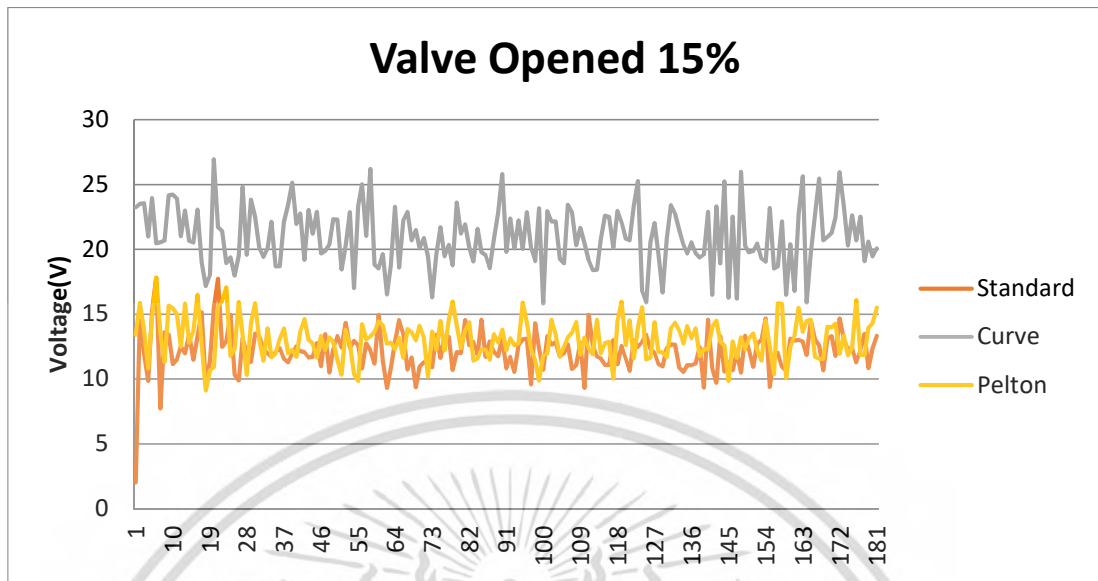
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงแรงดันที่ผลิตได้โดยใช้กังหันน้ำแบบ Curve และเปิดวาล์ว 15%



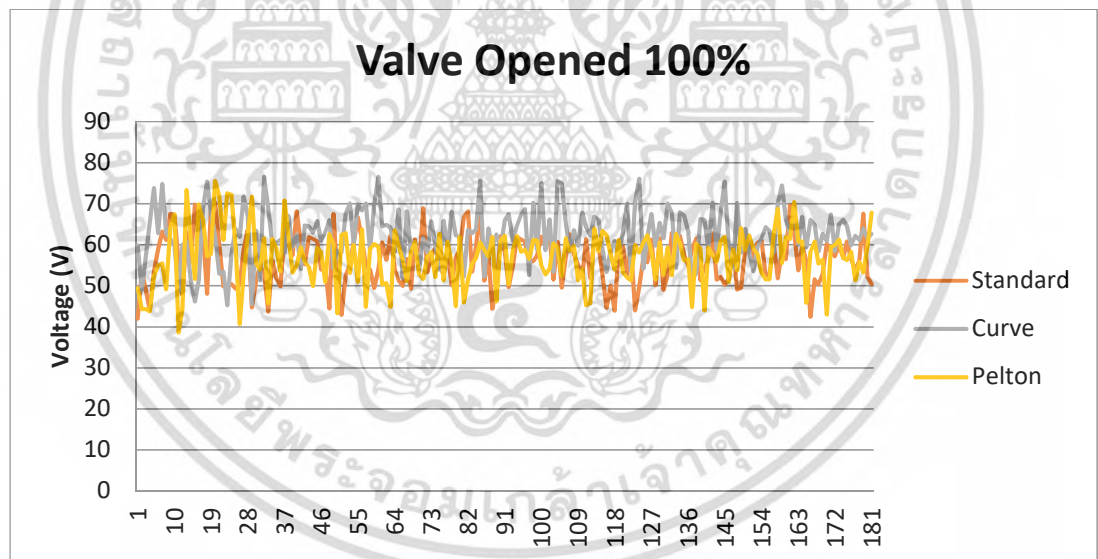
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงแรงดันที่ผลิตได้โดยใช้กังหันน้ำแบบ Curve และเปิดวาล์ว 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงแรงดันที่ผลิตได้โดยใช้กังหันน้ำทั้ง 3 แบบโดยเปิดวาล์ว 15%



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงแรงดันที่ผลิตได้โดยใช้กังหันน้ำทั้ง 3 แบบโดยเปิดวาล์ว 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบ

Turbine type	Flow rate meter (%)	Power (W)
Pelton	15	13.102
	100	57.053
Standard	15	12.161
	100	56.324
Curve	15	20.954
	100	62.544



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 บทวิจารณ์และสรุปผลการดำเนินงาน

โครงการวิจัยนี้นำเสนอถึงการออกแบบ และจำลองสร้างเครื่องต้นแบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากท่อน้ำบนอาคารสูง สำหรับใช้ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยมีการเปรียบเทียบกังหันน้ำที่ได้ทำการออกแบบขึ้นและกังหันน้ำที่ใช้กันทั่วไป เพื่อเป็นการศึกษาและวิเคราะห์เพื่อพัฒนากังหันน้ำให้มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในอนาคต และเป็นการเผยแพร่ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากท่อน้ำบนอาคารสูง ที่ยังไม่เป็นที่แพร่หลายในประเทศ และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในผลิตกระแสไฟฟ้า

การดำเนินงานของโครงการงานเรื่องการออกแบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากท่อน้ำบนอาคารสูง เพื่อใช้ในการทดสอบกังหันน้ำจากโปรแกรม SketchUp จากนั้นก็ประกอบโมเดลจนเสร็จสมบูรณ์ และทำการออกแบบใบกังหันน้ำและพิมพ์ด้วย 3D-printer โดยใช้โปรแกรม Repetier-host ในการสั่งงานเครื่อง 3D-printer เมื่อได้พิมพ์กังหันน้ำทุกชนิดเสร็จสมบูรณ์จึงเริ่มทำการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้แสดงในบทที่ 4 ซึ่งให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ต่างกันของใบกังหันน้ำทั้ง 3 แบบที่ใช้ในการทดสอบ โดยวัดจากค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าที่กังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งได้ทำการทดสอบใน 2 ลักษณะคือ ให้น้ำไหลที่ 15% และให้น้ำไหลที่ 100% เพื่อวัดประสิทธิภาพของกังหันน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้า เมื่อได้รับปริมาณอัตราการไหลของน้ำในระดับต่างๆ ซึ่งจากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่ากังหันน้ำที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ดีที่สุด คือ กังหันน้ำแบบ Curve รองลงมาคือกังหันน้ำแบบ Pelton และ Standard ตามลำดับ และน้ำไหลที่ 100% กังหันน้ำทั้ง 3 แบบ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในใกล้เคียงกัน ถึงแม้กังหันน้ำแบบ Curve จะผลิตไฟฟ้าได้ดีกว่าเล็กน้อยก็ตาม

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

1. การติดตั้งจริงบนอาคารพักอาศัยต้องได้รับอนุญาตจากทางนิติในอาคารพักอาศัยนั้นๆ
2. ต้องให้ความรู้และชี้แจงประโยชน์ของระบบที่นำเสนอว่ามีอย่างไรในที่ประชุมลูกบ้านอาคารพักอาศัย

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ต้องให้ความรู้และตลอดจนเอกสารกระบวนการทำงานของระบบที่นำเสนอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] การศึกษาพลังงานทางเลือก
Boyle, G.(1996). Renewable Energy Power for a Sustainable Future. New York :
Oxford
- [3] ระบบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river
http://energyeducation.ca/encyclopedia/Run-of-the-river_systems
- [4] การศึกษาไฟฟ้าพลังน้ำ
<https://en.wikipedia.org/wiki/Hydropower>
- [5] ระบบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ
https://en.wikipedia.org/wiki/Pumped-storage_hydroelectricity
- [6] การศึกษาเกี่ยวกับไฟฟ้าพลังน้ำ
<http://www.greenpeace.org/seasia/th/campaigns/climate-and-energy/solutions/hydroelectric/>
- [7] การศึกษาเกี่ยวกับกังหันน้ำ
https://en.wikipedia.org/wiki/Water_turbine
- [8] การศึกษาทฤษฎีการคำนวณพลังงานที่จะผลิตได้จากกังหันน้ำ
http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Steam_turbine_and_Gas_turbine/frame/chapter1/lesson5.htm
- [9] การศึกษากังหันน้ำแบบเบงกาลีหรือ cross flow
https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow_turbine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

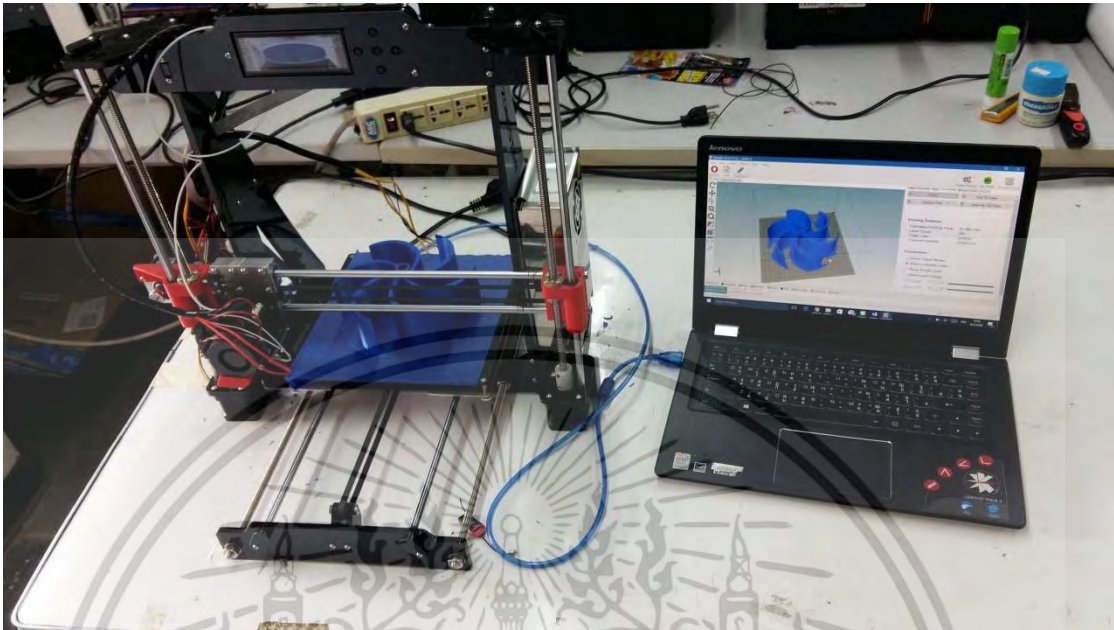


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

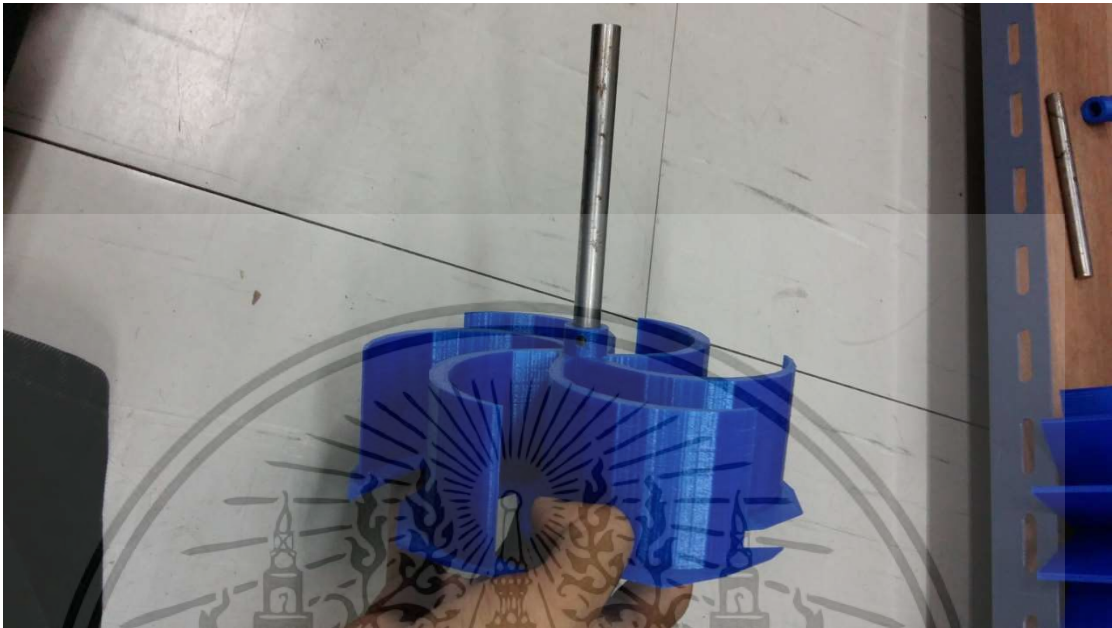
การพิมพ์โมเดล 3D ของกังหันน้ำ



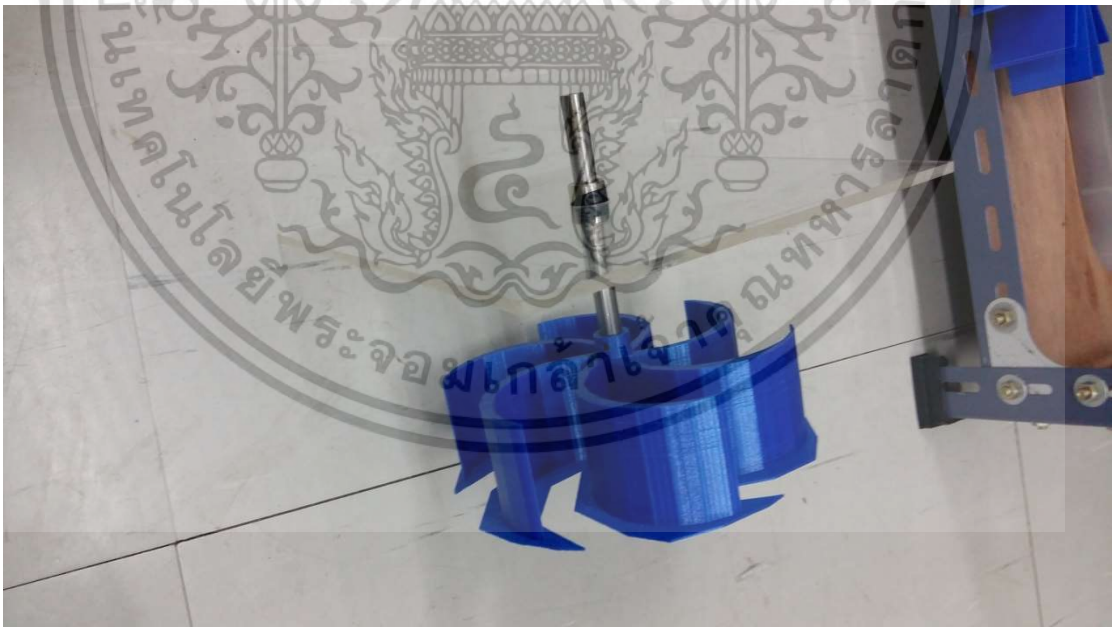
รูปที่ 1ก การพิมพ์ 3D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
การติดตั้งกังหันน้ำในระบบ

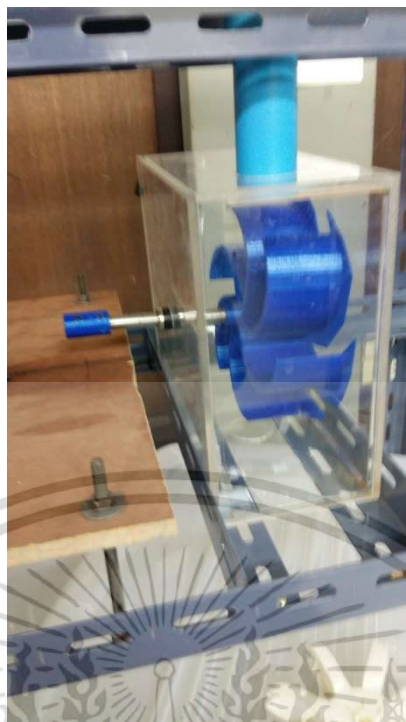


รูปที่ 1ข การติดตั้งกังหันน้ำ 1

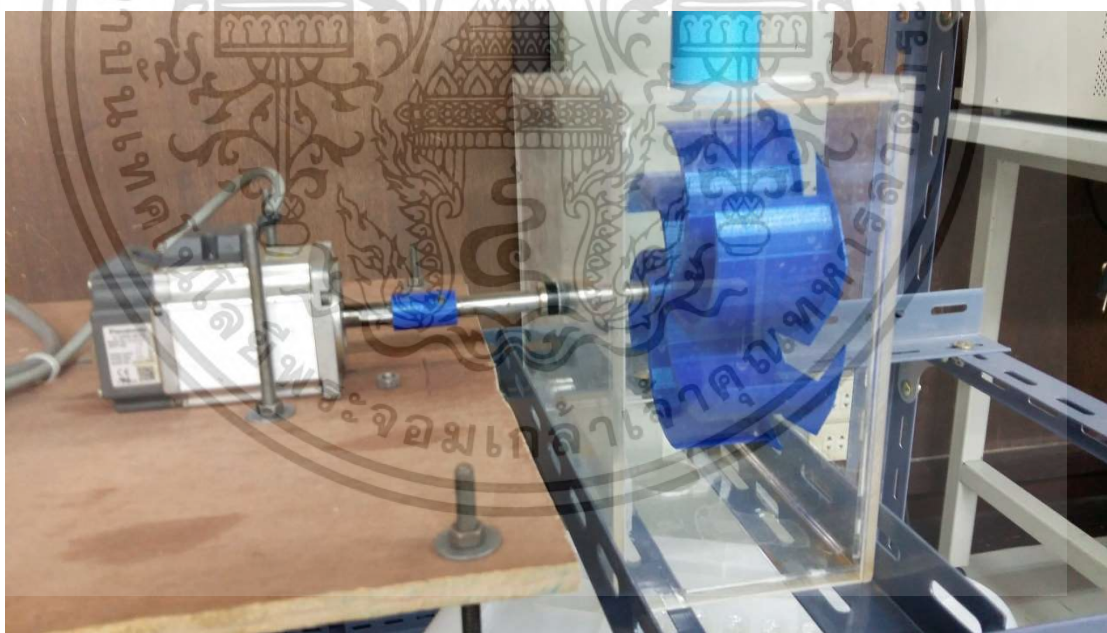


รูปที่ 2ข การติดตั้งกังหันน้ำ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

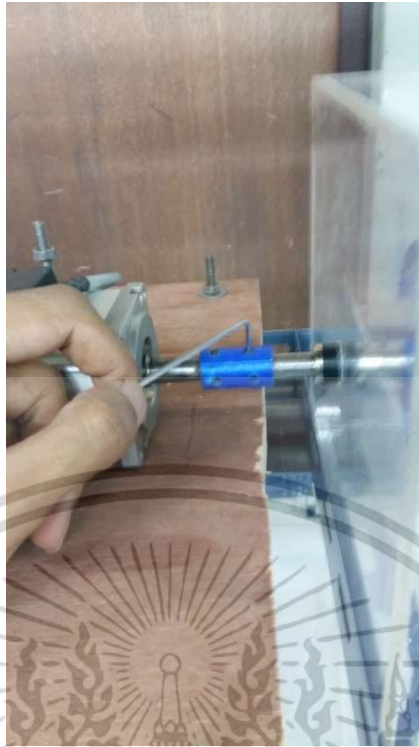


รูปที่ 3ข การติดตั้งกังหันน้ำ 3



รูปที่ 4ข การติดตั้งกังหันน้ำ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5ข การติดตั้งก้านน้ำ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกการรับ-จ่ายเงิน โครงการวิจัย สัญญาเลขที่ KREF015909 ตั้งแต่วันที่ 15 มกราคม 2560 ถึงวันที่ 15 มกราคม 2562

แหล่งทุน: กองทุนวิจัย สจล.

ชื่อโครงการ : โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากท่อน้ำบนอาคารสูง

ชื่อหัวหน้าโครงการ สิริชัย ธรรมารักษ์วัฒนะ

ว/ด/ป	รายการ	เลขที่อ้างอิง	รายการรับ - จ่าย			รายรับ	รายจ่าย					รวม รายจ่าย	
			รับ	จ่าย	คงเหลือ		ดอกเบี้ยรับ	งบดำเนินงาน			งบลงทุน		
								ค่าจ้างชั่วคราว	ค่าตอบแทน	ค่าใช้สอย			ค่าวัสดุ
	งบประมาณที่ได้รับการอนุมัติ (ตามแผน)		479,000.00										-
	จำนวนเงินที่ได้รับ (งวดที่ 1 = 47.5%)		227,525.00										
	จำนวนเงินที่ได้รับ (งวดที่ 2 = 47.5%)		227,525.00										
	จำนวนเงินที่ได้รับ (งวดที่ 3 = 5%)												
	หัก ค่าใช้จ่าย (ครั้งที่ 1, 2)			455,050.00					-	455,472.68	-	-	455,472.68
	งบประมาณคงเหลือ		455,050.00			0.00							
	รายละเอียดค่าใช้จ่าย												
ครั้งที่ 1, 2													
16 ก.ย. 61	บริษัท ดีเอิร์ธ อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด	IV1809001								40,000.00			40,000.00
27 มี.ค. 61	บริษัท ดีเอิร์ธ อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด	IV1803002								35,580.00			35,580.00
10 มี.ค. 61	บริษัท ดีเอิร์ธ อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด	IV1803001								29,760.00			29,760.00
23 ก.พ. 61	บริษัท ดีเอิร์ธ อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด	IV1806001								39,330.00			39,330.00
5 ก.พ. 61	บริษัท ภาชูปูป่า คอร์ปอเรชั่น จำกัด	1								706.20			706.20
17 ม.ค. 61	บริษัท ดีเอิร์ธ อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด	IV1805001								37,160.00			37,160.00
12 ม.ค. 61	ประกิต แอนด์ เซอคิท	14188								107.00			107.00
24 ก.ย. 60	ร้านเหมียวอิเล็กทรอนิกส์	32								64.20			64.20
14 ก.ย. 60	บริษัท ดีเอิร์ธ อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด	1709002								34,700.00			34,700.00
2 ก.ย. 60	บริษัท ดีเอิร์ธ อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด	1709001								36,460.00			36,460.00

บันทึกการรับ-จ่ายเงิน โครงการวิจัย สัญญาเลขที่ KREF015909 ตั้งแต่วันที่ 15 มกราคม 2560 ถึงวันที่ 15 ,มกราคม 2562

แหล่งทุน: กองทุนวิจัย สจล.

ชื่อโครงการ : โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากท่อน้ำบนอาคารสูง

ชื่อหัวหน้าโครงการ นาย สิริชัย ธรรมารักษ์วัฒนะ

ว/ด/ป	รายการ	เลขที่อ้างอิง	รายการรับ - จ่าย			รายจ่าย				รวม รายจ่าย	
			รับ	จ่าย	คงเหลือ	ดอกเบียร์รับ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน			งบลงทุน
9 ก.ย. 60	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ประเสริฐวิทยาสเตชันเนอร์	9938							371.00		371.00
29 ส.ค. 60	บริษัท เอส.เค. อีเลคตริกเทรตติ้ง จำกัด	2171							2,257.70		2,257.70
23 ส.ค. 60	บริษัท สมาร์ทคอม เซอร์วิส จำกัด	189441							50,001.10		50,001.10
21 ส.ค. 60	บริษัท ดีเอิร์ธ อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด	1708002							65,000.00		65,000.00
15 ส.ค. 60	บริษัท ดีเอิร์ธ อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด	IV1708003							50,001.10		50,001.10
15 ส.ค. 60	บริษัท สมาร์ทคอม เซอร์วิส จำกัด	189400							50,001.10		50,001.10
15 ส.ค. 60	บริษัท ไชแมคซีตี จำกัด	1052694							320.00		320.00
24 เม.ย. 60	บริษัท แอดวานซ์ เอ็มเบ็ดเด็ด โซลูชัน จำกัด	1700001167							167.00		167.00
22 เม.ย. 60	บริษัท ชัยถาวรเจริญกิจ จำกัด	4504							218.28		218.28
19 เม.ย. 60	บริษัท แอดวานซ์ เอ็มเบ็ดเด็ด โซลูชัน จำกัด	1700001061							143.00		143.00
5 เม.ย. 60	บริษัท แสงตะวัน	18633							2,086.50		2,086.50
1 เม.ย. 60	บริษัท ญัฐกิจเมคคาทรอนิกส์ จำกัด	INV2017040006							107.00		107.00
20 ก.พ. 60	บริษัท ชัยถาวรเจริญกิจ จำกัด	3798							476.15		476.15
7 ก.พ. 60	บริษัท พลวัตร ออโตเมชั่น จำกัด	IV0149							1,490.00		1,490.00
4 ก.พ. 60	บริษัท ชัยถาวรเจริญกิจ จำกัด	3598							321.00		321.00
4 ก.พ. 60	บริษัท ชัยถาวรเจริญกิจ จำกัด	3595							369.15		369.15
3 ก.พ. 60	บริษัท ชัยถาวรเจริญกิจ จำกัด	3585							909.50		909.50
5 ม.ค. 60	บริษัท ชูส คอร์ป จำกัด	IV60-010002							2,033.00		2,033.00
15 พ.ย. 59	บริษัท สมคิดค้าไม้ จำกัด	1244							1,091.40		1,091.40
2 พ.ย. 59	บริษัท ชูส คอร์ป จำกัด	IV59-110001							631.30		631.30

บันทึกการรับ-จ่ายเงิน โครงการวิจัย สัญญาเลขที่ KREF015909 ตั้งแต่วันที่ 15 มกราคม 2560 ถึงวันที่ 15 ,มกราคม 2562

แหล่งทุน: กองทุนวิจัย สจล.

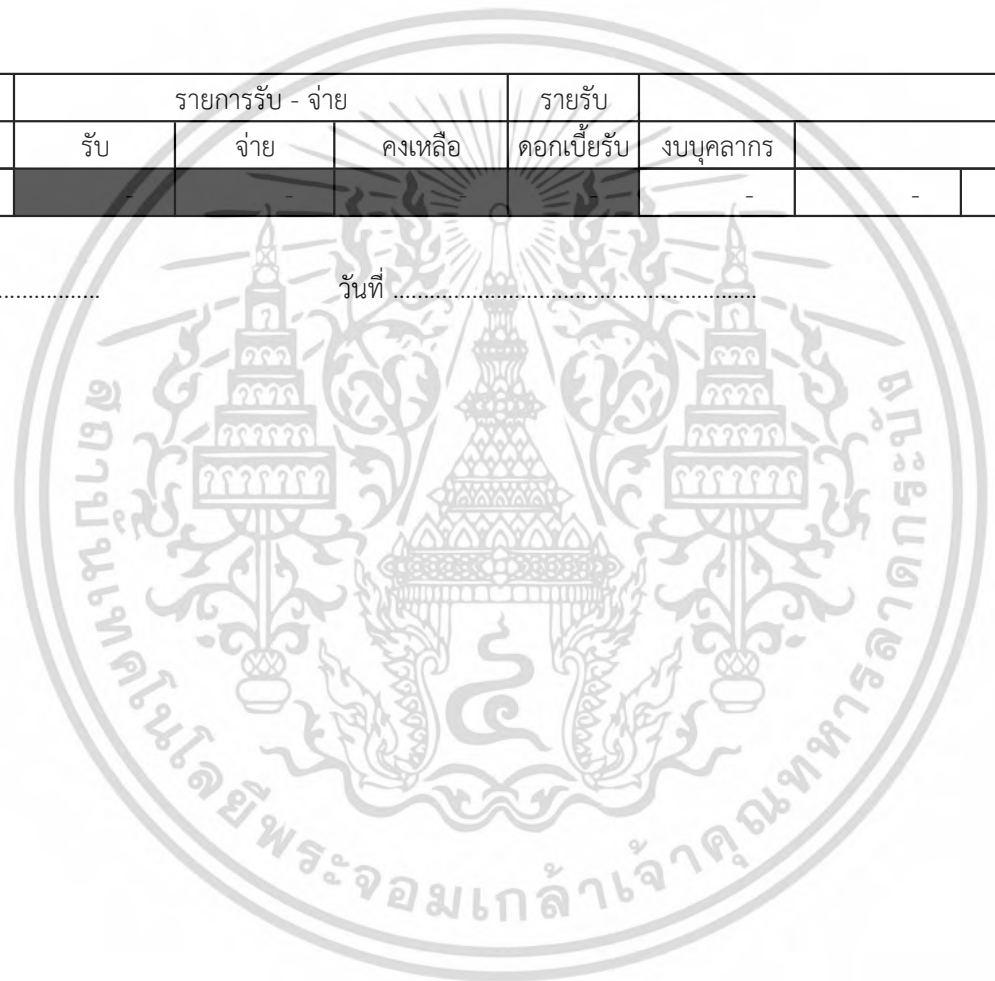
ชื่อโครงการ : โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากท่อน้ำบนอาคารสูง

ชื่อหัวหน้าโครงการ นาย สิริชัย ธรรมารักษ์วัฒนะ

ว/ด/ป	รายการ	เลขที่อ้างอิง	รายการรับ - จ่าย			รายการจ่าย					รวม รายการจ่าย		
			รับ	จ่าย	คงเหลือ	ดอกเบี่ยรับ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน		งบลงทุน			
	รวมครั้งที่ 1, 2			-			-	-	-	481,862.68	-	-	481,862.68

ลงชื่อหัวหน้าโครงการ

วันที่



ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติคณะผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) นาย สิริชัย ธรรมารักษ์วัฒนะ
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Sirichai Tammaruckwattana

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

หน่วยงานที่สังกัดและที่อยู่ติดต่อได้สะดวก

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์ 02-739-0758 โทรสาร 02-739-0758
E-mail : ktsirichai@hotmail.com, sirichai.th@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

วุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถานศึกษา
Doctor of Engineering (Material Science and Production Engineering)	2557	Fukuoka Institute of Technology, Japan
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วศ.ม. (วิศวกรรมการวัดคุม)	2548	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง
อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต อส.บ. (เทคโนโลยีโทรคมนาคม)	2544	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง, ระบบควบคุม, การสื่อสารไร้สาย, และการเขียนโปรแกรมจำลองระบบการทำงาน, converter, Inverter, และ สายส่งไฟฟ้า.

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยและงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ :
ระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัยหรือชุดโครงการวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละเรื่อง เป็นต้น

โครงการวิจัย

1. โครงการ “การพัฒนาระบบสร้างภาพตัดขวางภายในวัตถุด้วยแสงสำหรับประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม”
สถานภาพในการทำวิจัย “หัวหน้าโครงการวิจัย”
งบประมาณแผ่นดิน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2553
2. โครงการ “ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากท่อน้ำบนอาคารสูง”
สถานภาพในการทำวิจัย “หัวหน้าโครงการวิจัย”
งบประมาณสถาบันฯ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2560
3. โครงการ “อุโมงค์ลมจำลองเพื่อทดสอบกังหันลมด้วยความเร็วลมที่ปรับค่าได้ตามพื้นที่ของประเทศไทย”
สถานภาพในการทำวิจัย “หัวหน้าโครงการวิจัย”
งบประมาณเงินรายได้คณะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2560

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อเรื่อง ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และสถานภาพในการทำวิจัย

- [1] International Conference on Control and Robotics Engineering, (ICCRE 2018) pp. 160-164 “Integration of WirelessHART devices into mitsubishi PLC for plant monitoring”
- [2] International Conference on Control and Robotics Engineering, (ICCRE 2018) pp. 160-164 “Hydropower plant generator system”
- [3] Procedia Computer Science 111, pp. 406-412, (ICRED 2017) “Interconnection Inverter Control System of PMSG Wind Power Generation”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [4] International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2016)
“Modeling and Simulation of Wind Power Generation System Using Diode Bridge Rectification Circuit for Converter”
- [5] IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 2015 “Wind turbine emulator based on blade element momentum theory for variable-speed wind power generation system”
- [6] International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists (IMECS2016)
“Modeling and Simulation of Wind Power Generation System Using AC to AC Converter”
- [7] International Conference on Renewable Energy and Development (ICRED2016)
“Interconnection Inverter Control System of PMSG Wind Power Generation”



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้