

การศึกษาและพัฒนาระบบทดเกียร์อัตโนมัติชนิดส่งกำลังต่อเนื่อง
แปรผันสำหรับกังหันอัตราเร็วลมต่ำ
STUDY AND DEVELOPMENT OF CONTINUOUS VARIABLE
TRANSMISSION BASED AUTOMATIC GEAR-SHIFTING
SYSTEM FOR LOW WIND SPEED TURBINE



เกษศิริินทร์ จันทร์กลับ
จุฬามาศ โคตรตา
พิชญภา สันตินรนนท์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การศึกษาและพัฒนาระบบทดเกียร์อัตโนมัติชนิดส่งกำลังต่อเนื่อง
แปรผันสำหรับกังหันอัตราเร็วลมต่ำ

STUDY AND DEVELOPMENT OF CONTINUOUS VARIABLE
TRANSMISSION BASED AUTOMATIC GEAR-SHIFTING
SYSTEM FOR LOW WIND SPEED TURBINE



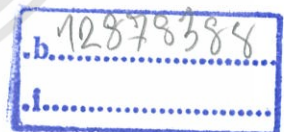
T148969

เกษศิริรินทร์ จันทรักลับ
จุฑามาศ โคตรตา
พิชญภา สันตินรนนท์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

148969

10 S.ค. 2560



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

STUDY AND DEVELOPMENT OF CONTINUOUS VARIABLE
TRANSMISSION BASED AUTOMATIC GEAR-SHIFTING SYSTEM
FOR LOW WIND SPEED TURBINE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIRMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การศึกษาและพัฒนาระบบทดเกียร์อัตโนมัติชนิดส่งกำลังต่อเนื่องแปร
ผันสำหรับกังหันอัตราเร็วลมต่ำ

Study and Development of Continuous Variable

Transmission Based Automatic Gear-Shifting System for
Low Wind Speed Turbine.

ชื่อนักศึกษา

นางสาวเกษศิริรินทร์ จันทร์กลับ

รหัสนักศึกษา 55051457

นางสาวจุฑามาศ โคตรตา

รหัสนักศึกษา 55051475

นางสาวพิชญาภา สันตินรนนท์

รหัสนักศึกษา 55051565

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์


ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.อนุพงศ์ สรงประภา

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการ
พิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ.จรรยารัตน์ แต่งตั้ง ประธานกรรมการ	
อ.ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์ กรรมการ	
ดร.ภาณุพล ไชลนกระโทก กรรมการ	
รศ.อนุพงศ์ สรงประภา อาจารย์ที่ปรึกษาและกรรมการ	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาและพัฒนาระบบทดเกียร์อัตโนมัติชนิดส่งกำลังต่อเนื่องแปรผันสำหรับกังหันอัตราเร็วลมต่ำ	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเกษศิรินทร์ จันทร์กลับ	รหัสนักศึกษา 55051457
	นางสาวจุฑามาศ โคตรตา	รหัสนักศึกษา 55051475
	นางสาวพิชญภา สันตินรนนท์	รหัสนักศึกษา 55051565
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.อนุพงศ์ สรงประภา	

บทคัดย่อ

ได้ทำการพัฒนาสร้างระบบส่งกำลังต่อเนื่องซีวีทีชนิดโครงสร้างสายพานคล้อยกรวยคู่ เพื่อประยุกต์ใช้กับชุดกังหันลมแกนนอนชนิด 3 ใบพัดมาตรฐานขนาดรัศมี 1.395 เมตร โดยมีกลไกอัตโนมัติของล้อแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในการเปลี่ยนอัตราทดเกียร์ตามอัตราเร็วการหมุนจาก 1:2 ไปเป็น 2:1 ค่าทอร์กที่ใช้ในการเอาชนะความเสียดทานทำให้ใบกังหันเริ่มขยับเปลี่ยนแปลงจาก ค่า 2.05นิวตันเมตร ในกรณีสวนกังหันอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 16.75 นิวตันเมตร เมื่อผนวกชุดส่งกำลัง ซึ่งจะต้องมีการปรับแต่งให้มีค่าลดลงต่อไป

คำสำคัญ : ระบบทดเกียร์อัตโนมัติ
ระบบส่งกำลังต่อเนื่องแปรผัน
กังหันลมอัตราเร็วลมต่ำ

Title	Study and Development of Continuous Variable Transmission Based Automatic Gear-Shifting System for Low Wind Speed Turbine.	
Students	Miss Ketsirin Chanklab	Student ID 55051457
	Miss Jutamas Koatta	Student ID 55051475
	Miss Phitchayapha Santinoranon	Student ID 55051565
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2015	
Advisor	Assoc.Prof. Anupong Songprapa	

ABSTRACT

A Continuous Variable Transmission (CVT) system has been develop for allowing Smooth automatically change of gear ratio of standard 1.395 m radius three-blade horizontal axis wind turbine from 1:2 to 2:1. Mesh twin-cones structure has bees used in conjunction with the flywheel governor mechanism. Starting torque value of the machine increase from 2.05 N.m for stand-alone blade to 16.75 N.m for the all-installed unit. Future works have to be done to reduce this valve .

Keywords : Continuously Variable transmission System Based Automatic (CVT) .
Gear - Shifting System
Low Wind Speed Turbine

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยเนื่องมาจากได้รับการช่วยเหลือและสนับสนุน โดย รองศาสตราจารย์ อนุพงศ์ สรงประภา เป็นผู้ให้โอกาสแก่นักศึกษาได้เริ่มจัดทำโครงการพิเศษนี้ เพื่อให้ผู้จัดทำได้ค้นหาศักยภาพของตนเอง ให้คำแนะนำปรึกษาด้านวิชาการและแนวทางการแก้ไขปัญหา ให้คณะผู้จัดทำได้นำมาประยุกต์ใช้กับการทำโครงการพิเศษนี้ได้อย่างดี

ขอขอบคุณ ท่านนาวาเอก อนุสรณ์ ยังคัมภีร์ ผู้อำนวยการกองวิจัยและพัฒนา ให้โอกาสและเอื้อเฟื้อสถานที่ทำงาน พร้อมทั้งอุปกรณ์และบุคลากรที่มีคุณภาพในการช่วยจัดทำพร้อมทั้งแนวทางการสร้างงานนำไปสู่การพัฒนาโครงการพิเศษเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ อาจารย์สาโรจน์ ชูอำไพ อาจารย์จรินทร์ โพธิ์ไชยะ และอาจารย์ประจำตี๊กซ่อมสร้าง คณะวิทยาศาสตร์ ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนในส่วนของสถานที่ปฏิบัติงานและเครื่องมือที่ในการทำโครงการพิเศษและเป็นที่ปรึกษาพร้อมทั้งให้กำลังใจที่ติดตลอดมา ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการทำโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ นาย นฤชา อมรดิษฐ์ เป็นส่วนสำคัญให้ความร่วมมือในการสร้างและสอนผู้ปฏิบัติให้เรียนรู้ถึงการทำงานโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงและสอนให้ผู้ปฏิบัติรู้ถึงคำว่าใจผู้ปฏิบัติงานเป็นส่วนสำคัญในการดำเนินงาน

ขอขอบคุณ นาย ปิยะพลฤกษ์ จักรวาลทรัพย์ คอยให้คำปรึกษาเรื่องการออกแบบระบบเกียร์อัตโนมัติแบบซีวีทีและสอนเทคนิคการกลึงที่ถูกต้อง เป็นส่วนช่วยผู้จัดทำในการสร้างชิ้นส่วนอุปกรณ์และร่วมหาแนวทางแก้ไข เป็นส่วนสำคัญในการทำโครงการพิเศษนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ทุกท่านที่เมตตาตั้งแต่การศึกษาคณะบังคับจนถึงปัจจุบัน ตลอดจน กราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่คอยให้คำปรึกษา เป็นทุนทรัพย์และคอยเป็นแรงผลักดันให้คณะผู้จัดทำมีกำลังใจในการทำโครงการพิเศษซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการศึกษาและการทำงานพิเศษนี้

นางสาว เกษศิริทร์	จันทร์กล้า
นางสาว จุฑามาศ	โคตรตา
นางสาว พิษญาภา	สันตินรนนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ระยะเวลาและขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พลังงานลม	3
2.1.1 ลม	3
2.1.2 ลมสำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศไทย	4
2.2 เกียร์รถยนต์	6
2.2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของชุดเกียร์ (Transmission)	6
2.2.2 ระบบเกียร์ธรรมดา(Manual Transmission)	13
2.2.3 ระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่อง (Continuously variable transmission)	17
2.3 กังหันลม	21
2.3.1 หลักการทำงานของกังหันลม	21
2.3.2 ประเภทของกังหันลม	22
2.3.3 ส่วนประกอบของกังหันลม	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 อุปกรณ์	26
3.1.1 ระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่	26
3.1.2 กังหันลม	38
3.1.3 ชุดส่งกำลังจากกังหันลมมายังระบบเกียร์ซีวีที	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.4 รวมทั้งระบบ	45
3.2 ขั้นตอนและลักษณะการทำงาน	48
3.3 การทดลอง	49
3.3.1 อุปกรณ์การทดลอง	49
3.3.2 วิธีการทดลอง	52
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	
4.1 ค่าทอร์กของกังหันลมที่ความเร็วลมค่าต่าง ๆ	58
4.2 อัตราทดของชุดส่งกำลัง	59
4.2.1 อัตราการทดรอบของระบบโซ่ส่งกำลัง	59
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพอัตราการทดของระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่	60
4.3.1 ค่าระยะการหมุนของกรวยและอัตราการทดของระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่	60
4.4 ความสูงของFly Wheel(cm)เทียบกับความเร็วรอบ(rpm)	73
4.5 ตำแหน่งสายพานเทียบกับความสูงของ Fly Wheel	80
4.6 ตำแหน่งสายพานขึ้นกับความเร็วรอบ	81
4.6.1 ทำการ calibrate เซ็นเซอร์ตำแหน่ง เพื่อให้แสดงค่าตำแหน่งสายพานเป็น เซนติเมตร	81
4.6.2 วัดหาจุดทำงานของระบบการเปลี่ยนเกียร์แบบอัตโนมัติ ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ใน ด้านขาขึ้น และขาลง	82
4.7 ทอร์กที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ของระบบต่าง ๆ	94
4.7.1 ทอร์กกังหันเริ่มหมุน	94
4.7.2 ทอร์กใบกังหัน และโซ่	94
4.7.3 เกียร์ซีวีที	95
4.7.4 เกียร์ซีวีที และระบบเปลี่ยนอัตราการทดแบบอัตโนมัติ	95
4.7.5 ทอร์กใบกังหัน โซ่ และเกียร์ซีวีที	96
4.7.6 ทอร์กใบกังหัน โซ่ และเกียร์ซีวีที(ปัจจัยด้านแรงดึงที่มีผล)	96
4.7.7 ทอร์กใบกังหัน โซ่ เกียร์ซีวีที และระบบเปลี่ยนอัตราการทดแบบอัตโนมัติ	97

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	98
5.2 ข้อเสนอแนะ	99
เอกสารอ้างอิง	100
ประวัติผู้เขียน	101

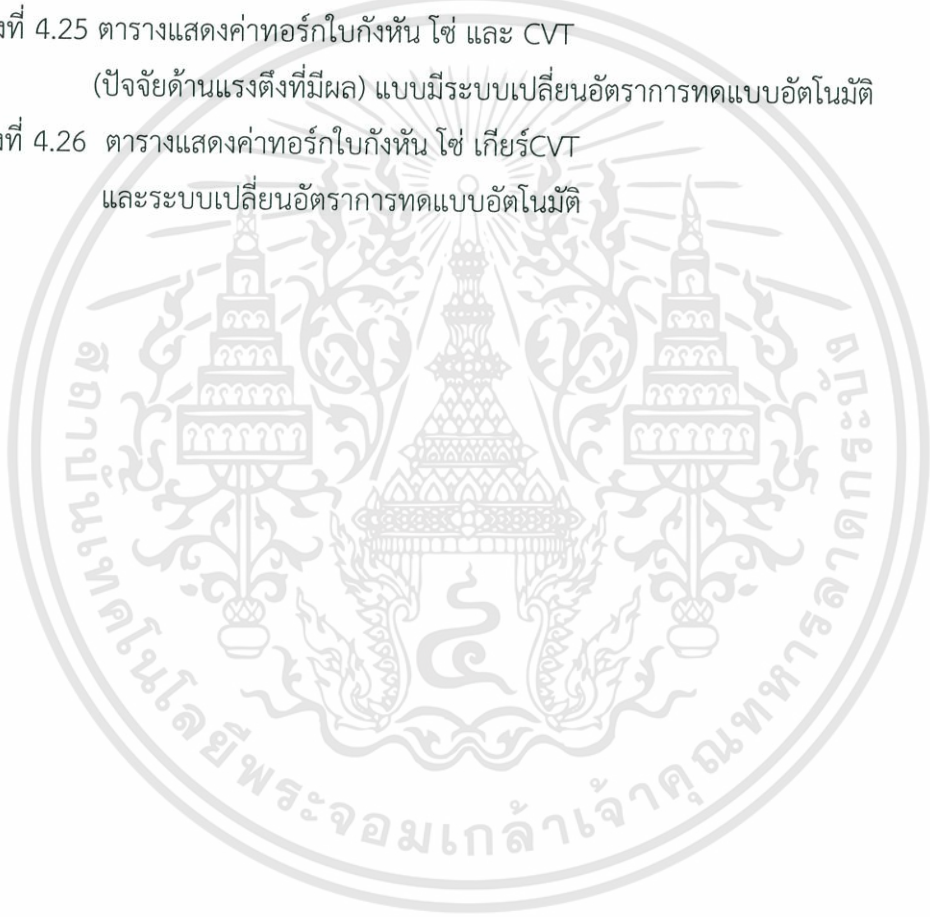


สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและขั้นตอนการดำเนินงาน	2
ตารางที่ 4.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกัณฑ์(N-m)กับอัตราเร็วลม(m/s)	58
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าอัตราการทรอบของระบบโซ่ส่งกำลังจากการคำนวณ	59
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าอัตราการทรอบของระบบโซ่ส่งกำลังจากการทดลอง	60
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าอัตราทดของเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่จากการคำนวณโดยใช้sensor	60
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงอัตราการทรอบระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 0 cm	62
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงอัตราการทรอบระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 3 cm	63
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงอัตราการทรอบระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 6 cm	64
ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงอัตราการทรอบระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 9 cm	65
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงอัตราการทรอบระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 12 cm	66
ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงอัตราการทรอบระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 15 cm	67
ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงอัตราการทรอบระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 18 cm	68
ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงอัตราการทรอบระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 21 cm	69
ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงอัตราการทรอบระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 24 cm	70
ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงอัตราการทรอบระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 27 cm	71
ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงอัตราการทรอบระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพานต่างๆจากการทดลอง	72
ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงค่าตำแหน่งการเลื่อนสายพานเทียบกับความสูงของปลอกFly Wheel	73
ตารางที่ 4.17 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วรอบกับตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)ในด้านขาขึ้น	80
ตารางที่ 4.18 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วรอบกับตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)ในด้านขาลง	82
ตารางที่ 4.19 ตารางแสดงค่าทอร์กกัณฑ์เริ่มหมุน	88
ตารางที่ 4.20 ตารางแสดงค่าทอร์กไบกัณฑ์ และโซ่	94

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.21 ตารางแสดงค่าทอร์กที่กระทำต่อเกียร์ซีวีทีที่ทำให้เริ่มหมุน	95
ตารางที่ 4.22 ตารางแสดงค่าทอร์กที่กระทำระหว่างเกียร์ซีวีที และระบบเปลี่ยนอัตราทดแบบอัตโนมัติ	95
ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงค่าทอร์กที่กระทำระหว่างเกียร์ซีวีทีใบก้านและโซ่	96
ตารางที่ 4.24 ตารางแสดงค่าทอร์กที่กระทำระหว่างใบก้าน โซ่ และเกียร์ (ปัจจัยด้านแรงตึงที่มีผล) แบบไม่มีระบบเปลี่ยนอัตราทดแบบอัตโนมัติ	96
ตารางที่ 4.25 ตารางแสดงค่าทอร์กใบก้าน โซ่ และ CVT (ปัจจัยด้านแรงตึงที่มีผล) แบบมีระบบเปลี่ยนอัตราทดแบบอัตโนมัติ	97
ตารางที่ 4.26 ตารางแสดงค่าทอร์กใบก้าน โซ่ เกียร์CVT และระบบเปลี่ยนอัตราทดแบบอัตโนมัติ	97



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดลม	4
รูปที่ 2.2 ทิศทางลมมรสุม	5
รูปที่ 2.3 ลมบกลมทะเล	5
รูปที่ 2.4 ลมภูเขาและลมหุบเขา	6
รูปที่ 2.5 แสดงตำแหน่งของเพลลาต่าง ๆ	7
รูปที่ 2.6 เฟืองตรง (Spur gear)	8
รูปที่ 2.7 เฟืองสะพาน (Rack Gears)	8
รูปที่ 2.8 เฟืองวงแหวน (Internal Gear, Ring Gear)	9
รูปที่ 2.9 เฟืองดอกจอก (Bevel Gear)	9
รูปที่ 2.10 เฟืองตัวหนอน (Worm Gears)	10
รูปที่ 2.11 ระบบเฟืองอย่างง่าย	11
รูปที่ 2.12 การขบกันของชุดเฟือง	12
รูปที่ 2.13 แสดงกลไกและทิศทางการทำงานในแต่ละเกียร์	16
รูปที่ 2.14 การทำงานของชุดกลไกขณะเริ่มออกตัว	18
รูปที่ 2.15 การทำงานของชุดกลไกที่ความเร็วสูง	19
รูปที่ 2.16 ลักษณะของความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ	21
รูปที่ 2.17 แผนภูมิแสดงกำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบต่างๆ	22
รูปที่ 2.18 กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง	23
รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบของกังหันลมผลิตไฟฟ้า	24
รูปที่ 3.1 ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบฐานเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่	26
รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายฐานเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่	27
รูปที่ 3.3 ภาพฉายรายละเอียดการออกแบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่	28
รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่	28
รูปที่ 3.5 ตลับลูกปืนตุ้กตา ชนิด UCP	29
รูปที่ 3.6 ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบรางเลื่อนสายพาน	30
รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายรางเลื่อนสายพาน	30
รูปที่ 3.8 สายพานส่งกำลัง BANDO STS S8M 1200	31
รูปที่ 3.9 ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบระบบดึงสายพานให้ตึง	31
รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายระบบดึงสายพานให้ตึง	32
รูปที่ 3.11 ระบบขับเคลื่อนสายพาน	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.12 เฟืองโซ่เบอร์	33
รูปที่ 3.13 โซ่เบอร์ 25	33
รูปที่ 3.14 ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบ Change Systems	34
รูปที่ 3.15 ภาพถ่ายของระบบ Change Systems	34
รูปที่ 3.16 ระบบขับเคลื่อน Change Systems ขึ้น-ลง	34
รูปที่ 3.17 แกนเพลลา Fly Wheel	35
รูปที่ 3.18 เฟืองดอกจอก	35
รูปที่ 3.19 ข้อพับ Fly Wheel	36
รูปที่ 3.20 ลูกปืนตุ๊กตา ชนิด UCFL	36
รูปที่ 3.21 แกนเพลลาส่งกำลัง	37
รูปที่ 3.22 คัปปลิ่ง	37
รูปที่ 3.23 ระบบกึ่งหันลม	38
รูปที่ 3.24 เพลลาแกนหมุนกึ่งหัน	39
รูปที่ 3.25 ฉายรายละเอียดของการออกแบบเสา กึ่งหันลม	39
รูปที่ 3.26 ภาพถ่ายเสา กึ่งหันลม	40
รูปที่ 3.27 ฉายรายละเอียดของการออกแบบใบ กึ่งหันลม	41
รูปที่ 3.28 ภาพถ่ายใบพัด กึ่งหันลม ใบไฟเบอร์กลาส	41
รูปที่ 3.29 ฐานยึด กิ่งหันและเกียร์ซีวีทีกรวยคู่	42
รูปที่ 3.30 ชุดส่งกำลังจาก กิ่งหันลมมายังระบบเกียร์ซีวีที	43
รูปที่ 3.31 เฟืองโซ่	44
รูปที่ 3.32 โซ่เบอร์ 40	44
รูปที่ 3.33 ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบระบบ กิ่งหันลม	46
รูปที่ 3.34 ภาพถ่ายของระบบ กิ่งหันลม	47
รูปที่ 3.35 ไดอะแกรมอธิบายการทำงานของระบบ	48
รูปที่ 3.36 เครื่องวัดลม ANEMOMETER	49
รูปที่ 3.37 เซ็นเซอร์วัดแรงดึง	49
รูปที่ 3.38 อินฟาเรด เซ็นเซอร์สวิตช์	50
รูปที่ 3.39 คอนโทรเลอร์	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.40 เซ็นเซอร์ตรวจจับระยะทางแบบอินฟราเรด	51
รูปที่ 3.41 มอเตอร์DC28V 175rpm รุ่นGMXCO134	51
รูปที่ 3.42 การทดสอบประสิทธิภาพของใบกังหันลมที่อัตราเร็วลมต่าง ๆ	52
รูปที่ 3.43 การทดสอบประสิทธิภาพอัตราการผลิตของระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่	53
รูปที่ 3.44 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งสายพานเทียบกับความสูงของ Fly	54
รูปที่ 3.45 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งสายพานกับความเร็วรอบ	55
รูปที่ 3.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง(cm)กับInput sensor(V) หน่วย	56
รูปที่ 3.47 ทดลองวัดอัตราเร็วเริ่มทำงานของระบบทดเกียร์แบบอัตโนมัติ	56
รูปที่ 3.48 การทดสอบวัดค่าทอร์กทอร์กที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ของระบบต่าง ๆ	57
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกังหัน(N-m) กับ อัตราเร็วลม(m/s)	59
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm) กับอัตราการผลิต	61
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตกับตำแหน่งสายพาน(cm) จากการทดลอง	72
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของปลอกFly Wheel(cm) กับอัตราเร็วรอบ(rpm)	79
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของปลอกFly Wheel(cm) กับตำแหน่งการเลื่อนสายพาน (cm)	80
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างOutput(V)กับระยะทาง(cm)	81
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว(รอบ/นาที) กับตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)(ด้านขาขึ้น)	87
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว(รอบ/นาที) กับตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)(ด้านขาลง)	93

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่องของอุตสาหกรรมยานยนต์ทำให้เกิดการพัฒนาของระบบส่งกำลังหนึ่งในนวัตกรรมที่เกิดขึ้นก็คือระบบการส่งกำลังที่มีการเปลี่ยนอัตราทดแบบอัตโนมัติ ต่อเนื่องหรือที่เรียกว่าระบบเกียร์ซีวีทีจึงได้มีแนวคิดที่จะประยุกต์ระบบเกียร์ซีวีทีมาใช้ในเทคโนโลยีอื่น ๆ เช่น กรณีของกังหันลมสำหรับอัตราเร็วลมต่ำที่ไม่มีการพัฒนาอย่างยาวนานมีเพียงแต่การปรับรูปร่างหรือขนาดเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าอีกทั้งระบบเกียร์ในกังหันเหล่านั้นยังมีอัตราทดที่คงที่ทำให้เกิดข้อเสียโดยถ้าหากอัตราทดต่ำ จะเริ่มทำงานได้ที่อัตราเร็วลมน้อยแต่ได้พลังงานน้อย และการทดในอัตราทดที่สูงทำให้เริ่มทำงานได้ยากแต่ได้พลังงานที่มาก จึงได้พัฒนาระบบเกียร์ซีวีทีที่มีการเปลี่ยนอัตราทดได้เองมาใช้ทำให้กังหันลมมีการทำงานได้ที่อัตราเร็วลมต่ำเหมือนกังหันลมที่อัตราทดต่ำ และเมื่ออัตราเร็วลมมากขึ้นจะเปลี่ยนอัตราทดทำให้ได้พลังงานมากเหมือนกับกังหันลมที่มีอัตราทดสูงทั้งหมดเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เป็นการนำเกียร์อัตโนมัติแบบซีวีทีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในรถยนต์มาประยุกต์ใช้ในระบบกังหันอัตราเร็วลมต่ำ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาออกแบบและประกอบระบบเกียร์ CVT (continuously variable transmission)
- 2) ออกแบบและประกอบกังหันแบบแกนนอน 3 ใบพัด
- 3) ศึกษาออกแบบและประกอบระบบเปลี่ยนเกียร์อัตโนมัติแบบกลไกล้อเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Flywheel Governor)
- 4) ทดสอบการทำงานของระบบ

1.4 ระยะเวลาและขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและขั้นตอนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	ระยะเวลา										
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
1.ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	←→										
2.ออกแบบและสร้างกังหันลมและระบบซีวีที				←→							
3.ศึกษาระบบเปลี่ยนเกียร์อัตโนมัติ							←→				
4.วัดประสิทธิภาพการเก็บพลังงานของระบบ							←→				
5.วิเคราะห์ผล								←→			
6.สรุปผลการทดลอง									←→		

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) การประยุกต์ใช้เกียร์ระบบซีวีที (CVT) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลม เป็นเทคโนโลยีที่จะทำให้กังหันลมสามารถทำงานได้ในสภาพลมต่ำ
- 2) เป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดลดการพึ่งพาพลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงาน

2.1 พลังงานลม

ลมเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดจากอิทธิพลของดวงอาทิตย์และแรงเนื่องจาก การหมุนของโลก โดยผิวของโลกในแต่ละส่วนได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน ทำให้มวลอากาศที่มีอุณหภูมิสูงมีความหนาแน่นลดลง จึงเบาและลอยขึ้นสู่เบื้องบนทำให้บริเวณนั้นเกิดเป็นหย่อมความกดอากาศต่ำ ส่วนมวลอากาศบริเวณใกล้เคียงเป็นหย่อมความกดอากาศสูงที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และมีความหนาแน่นมากกว่าจึงเคลื่อนเข้ามาแทนที่ด้วยผลต่างของความกดอากาศ ปัจจัยดังกล่าวเป็นผลให้มวลอากาศเกิดการเคลื่อนที่ซึ่งเรียกว่า ลม

2.1.1 ลม

ลมเกิดจากอากาศที่เคลื่อนที่ ดังนี้

1. ในพื้นที่สองแห่งที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ เมื่อที่หนึ่งอากาศได้รับความร้อนอากาศจะขยายตัวทำให้ความหนาแน่นของอากาศลดลงอากาศจึงลอยตัวขึ้น อากาศเย็นในอีกพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และมีความหนาแน่นของอากาศมากกว่าในบริเวณใกล้เคียงจะเคลื่อนเข้ามาแทนที่ทำให้เกิดลม

2. ความแตกต่างของความกดอากาศ เมื่ออากาศได้รับความร้อนจะมีความกดอากาศต่ำความหนาแน่นลดลงทำให้อากาศลอยตัวสูงขึ้น อากาศเย็นที่มีความหนาแน่นมากกว่าและมีความกดอากาศสูงกว่าจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำทำให้เกิดลม

การวัดค่าลมมี 2 ปัจจัยที่ควรวัด คือ ทิศทางลมและอัตราเร็วลม สำหรับทิศทางลมอาจเรียกชื่อตามทิศต่าง ๆ ของเข็มทิศหรือเรียกเป็นองศาจากทิศเหนือ ปัจจุบันการวัดทิศทางลมนิยมวัดตามเข็มทิศและวัดเป็นองศา สามารถวัดได้โดยใช้ศรลม (wind vane) แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 (ก) ส่วนอัตราเร็วลมที่วัด คือ อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศที่มีพลังงานจลน์ทำให้เกิดแรงกระทำต่อวัตถุใดๆ ที่ปะทะลมได้ และแรงในรูปความดันเป็นสัดส่วนกับความเร็วมยกกำลังสอง สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ 2.1

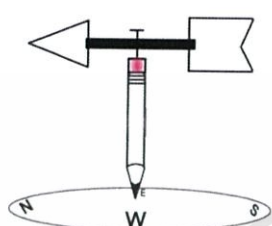
$$P = 0.5\rho u^2 \quad (2.1)$$

เมื่อ P คือ ความดันที่เกิดจากการกระทำของลม (N/m^2)

u คือ อัตราเร็วลม (m/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

เครื่องมือที่ใช้วัดอัตราเร็วลม เรียกว่า แอนนิโมมิเตอร์ (Anemometer) ซึ่งแบบที่นิยมใช้กันมาก คือ แบบลูกถ้วย ซึ่งประกอบด้วยลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกลม 3 หรือ 4 ใบ ติดอยู่กับเพลานในแนวตั้ง แสดงได้ดังรูปที่ 2.1(ข) โดยอัตราที่ลูกถ้วยหมุนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราเร็วลม สามารถอ่านความเร็วลมได้จากหน้าปัดแสดงผลหรือส่งไปยังเครื่องบันทึกข้อมูล



(ก) ครลม



(ข) แอนนิโมมิเตอร์แบบลูกถ้วย



(ค) แอโรเวน

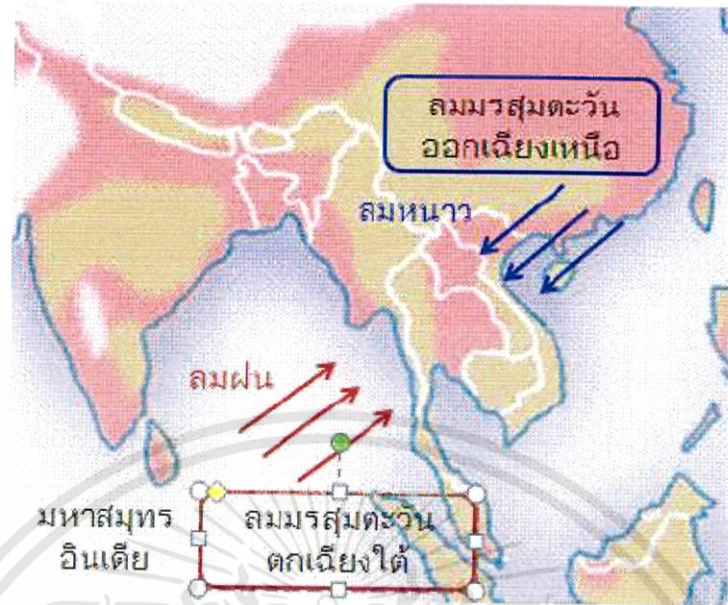
รูปที่ 2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดลม (ที่มา : www.neutron.rmutphysics.com)

นอกจากนั้น ยังมีเครื่องมือที่สามารถวัดได้ทั้งทิศทางลมและอัตราเร็วลม เรียกว่า แอโรเวน (aerovane) เป็นชุดที่รวมแอนนิโมมิเตอร์และครลมเข้าด้วยกัน เครื่องวัดนี้ใช้ใบพัด 3 ใบวัดอัตราเร็วลม โดยใบพัดหมุนเป็นอัตราส่วนกับอัตราเร็วลมและมีหางเสืออยู่ในแนวตั้งช่วยให้ใบพัดหันเข้าหาลม แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 (ค) โดยครลมนอกจากจะทำหน้าที่บอกทิศทางลมแล้วยังช่วยทำให้แกนของใบพัดชี้เข้าหาทิศทางลม ทั้งแอนนิโมมิเตอร์และครลมจะเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้วัดลมควรตั้งอยู่ในที่โล่งที่ลมพัดไหลได้สะดวกและควรอยู่สูงกว่าหลังคาไม่มีต้นไม้บังทิศทางลม ในทางปฏิบัตินั้นเครื่องวัดลมจะถูกติดตั้งไว้ในระดับความสูงที่แตกต่างกัน แต่อัตราเร็วลมจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวัดลมจะเป็นอัตราเร็วลม ณ ความสูงที่ทำกรวัดเท่านั้น

2.1.2 ลมสำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศไทย

1. ลมมรสุม หมายถึง ลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางกับการเปลี่ยนฤดู คือ ฤดูร้อนจะพัดอยู่ในทิศทางหนึ่งและจะพัดเปลี่ยนทิศทางในทางตรงกันข้ามในฤดูหนาว ในประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมทั้ง 2 ฤดู คือ ในฤดูฝนประมาณต้นเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคมได้รับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และต่อมาเป็นช่วงฤดูหนาวประมาณปลายเดือนตุลาคมถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์ ลมจะเปลี่ยนทิศเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแสดงดังรูปที่ 2.2

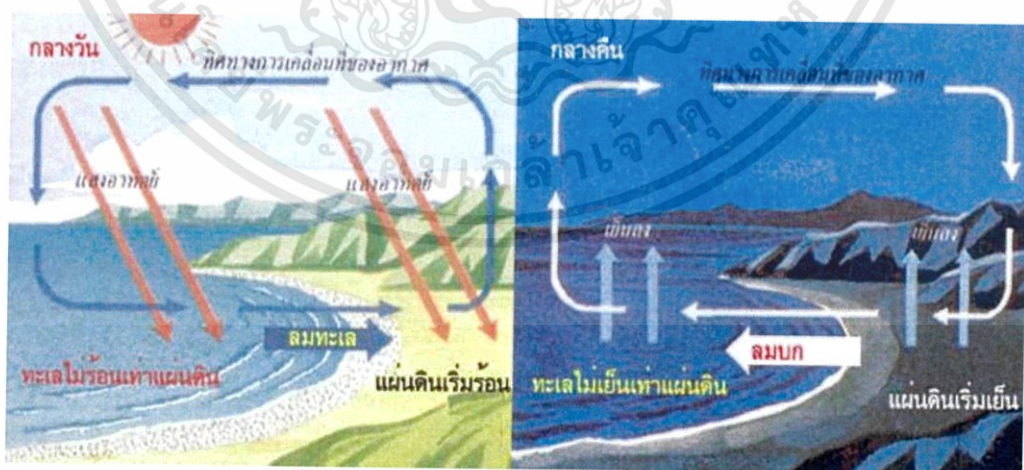


รูปที่ 2.2 ทิศทางลมมรสุม

(ที่มา : http://ksn-watbangpatunnok.blogspot.com/2012_08_01_archive.html)

2. ลมประจำถิ่น เป็นลมที่เกิดขึ้นภายในท้องถิ่นเนื่องจากอิทธิพลของภูมิประเทศและความเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศ แบ่งแยกออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

(1) ลมบกและลมทะเล คือ ลมประจำถิ่นซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศระหว่างทะเลกับแผ่นดิน แสดงได้ดังรูปที่ 2.3

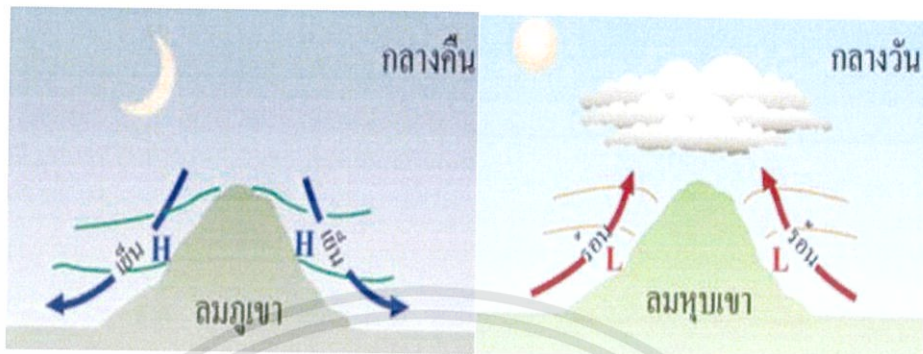


รูปที่ 2.3 ลมบกลมทะเล

(ที่มา : <https://sites.google.com/site/wwwindwindcom/assignments>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ลมภูเขาและลมหุบเขาเป็นลมประจำถิ่นอีกชนิดหนึ่ง เกิดขึ้นประจำวันเช่นเดียวกับลมบกและลมทะเลซึ่งเกิดขึ้นเองจากความแตกต่างของความกดอากาศ แสดงได้ดังรูปที่ 2.4



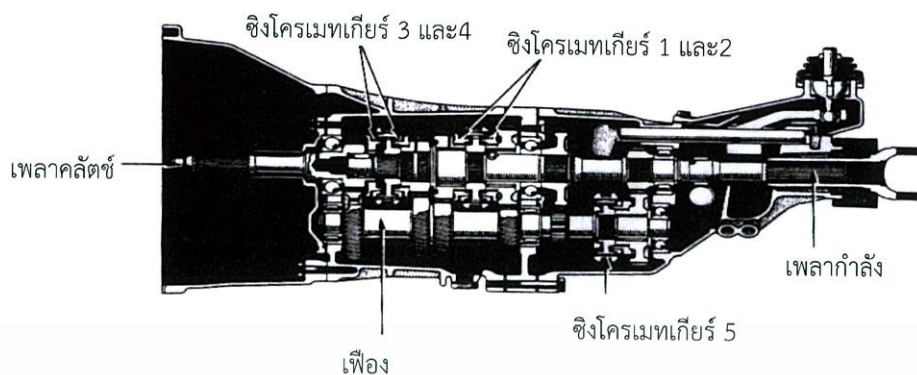
รูปที่ 2.4 ลมภูเขาและลมหุบเขา (ที่มา : <https://pattaratawai.wordpress.com>)

2.2 เกียร์รถยนต์

2.2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของชุดเกียร์ (Transmission)

2.2.1.1 เฟลา (Shaft) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของชุดเกียร์ แบ่งออกได้ดังนี้

1. ชุดเพลาคลัตช์ (Clutch Shaft) เป็นเพลาที่รับกำลังงานจากเครื่องยนต์ส่งกำลังเข้าไปให้กับเฟืองของเพลาคลัตช์ส่งกำลังต่อไปยังเฟืองของเพลารอง
2. ชุดเพลารอง (Counter Shaft) เป็นเพลาที่มีเฟืองเกียร์ติดอยู่ในเพลาเดียวกันทำหน้าที่ช่วยชุดเฟืองเพลาหลักถ่ายทอดอัตราทดในแต่ละความเร็วตามขนาดของเฟืองเกียร์ต่างๆ เพลารองยังมีเพลาเกียร์ถอยหลังมาต่ออยู่กับเฟืองถอยหลัง
3. ชุดเพลากำลังหรือเพลาหลัก (Main Gear) เป็นเพลาที่ทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ ปรับ เปลี่ยนอัตราทด และส่งกำลังออกไปยังล้อ โดยผ่านเพลากลาง (อยู่นอกชุดเฟืองส่งกำลัง) และเฟืองท้าย
4. ชุดเฟืองถอยหลัง (Reverse Gear) มีเพียงหน้าที่เดียวคือ กลับทิศทางการหมุนที่ชุดเฟืองหลัก ส่งมาให้หมุนย้อนทาง เพื่อใช้สำหรับการถอยหลัง



รูปที่ 2.5 แสดงตำแหน่งของเพลาดังกล่าว (ที่มา : www.tatc.ac.th/files)

2.2.1.2 แรงบิด

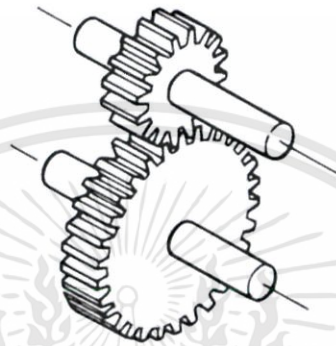
แรงบิด (Torque) หมายถึง ความพยายามในการบิดหรือหมุน เป็นแรงพยายามที่จะเอาชนะการหมุน เช่นการที่เอามือบิดลูกบิดเปิดประตูนี้ก็ใช่ ส่วนในทางเครื่องยนต์ แรงบิดก็คือ แรงที่เกิดขึ้นเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงในจังหวะของการจุดระเบิด ก้านสูบก็จะไปดันข้อเหวี่ยงให้เกิดการหมุนเป็นการจ่ายแรงบิดเพลาช้อเหวี่ยง ซึ่งแรงที่ใช้ในการหมุนเพลาช้อเหวี่ยงนี้ เรียกว่าแรงบิด ดังนั้นแรงผลักดันบนลูกสูบยิ่งมากเท่าไร แรงบิดที่จะได้รับก็จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น และความดันจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงยิ่งสูงเท่าไร จำนวนแรงบิดที่เครื่องยนต์สร้างขึ้นก็จะยิ่งมากขึ้นตามจำนวน ส่วนค่าของแรงบิดที่ใช้กันมีหน่วยเป็น นิวตัน/เมตร, กรัม/เมตร ส่วนการแปรค่านิวตันเป็นกิโลกรัมมันต้องเทียบด้วย $0.98 \text{ นิวตัน} = 1 \text{ กิโลกรัม}$

2.2.1.3 เฟือง

เฟือง (Gear) เป็นเครื่องกลที่ทำงานโดยการหมุน เป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว คาดว่าตั้งแต่ยุคที่มนุษย์เริ่มมีอารยธรรมและคิดประดิษฐ์เครื่องมือเครื่องใช้ขึ้นมา เฟืองก็เป็นชิ้นส่วนหนึ่งที่ถูกมนุษย์ทำขึ้นมา โดยเริ่มต้นที่เฟืองไม้ในยุคโบราณ แต่สำหรับเฟืองสมัยใหม่นั้นเพิ่งมีการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงลักษณะดังที่เห็นเมื่อไม่กี่ร้อยกว่าปีที่ผ่านมานี้ เฟืองทำขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้สำหรับการส่งกำลังในลักษณะของแรงบิด (Torque) โดยการหมุนของตัวเฟืองที่มีฟันอยู่ในแนวรัศมี โดยการส่งกำลังจะสามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีฟันเฟืองตั้งแต่สองตัวขึ้นไป

2.2.1.3.1 ประเภทของเฟือง (Type of gear)

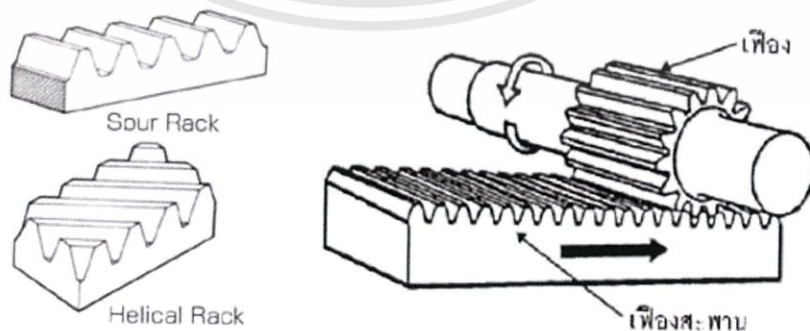
- เฟืองตรง (Spur Gears)



รูปที่ 2.6 เฟืองตรง (Spur gear) (ที่มา : <https://sites.google.com>)

เป็นเฟืองที่มีใช้งานกันมากที่สุดในบรรดาเฟืองชนิดต่างๆ จะลักษณะเฉพาะคือฟันของเฟืองจะเป็นแนวขนานไปกับรูเพลลา โดยเฟืองตรงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเฟืองขนานกับเพลลา (Parallel-shaft Gear) เฟืองตรงเป็นเฟืองที่มีโครงสร้างง่ายและไม่สลับซับซ้อน โดยถ้าเฟืองตรงสองตัวขบกันเรียกว่าเฟืองพีเนียน (Pinion Gears) โดยทั่วไปแล้วเฟืองตรงที่ใช้ส่งกำลังแต่ละคู่จะมีขนาดของฟันเฟืองหรือโมดูล (Module, m) เท่าๆกัน หมุนด้วยความเร็วเชิงเส้นที่เท่ากันแต่การได้เปรียบเชิงกลที่เกิดขึ้นจะเกิดจากจำนวนฟันที่ต่างกัน (อัตราทด, Ratio) ของเฟืองแต่ละตัว เฟืองตรงส่วนมากจะนำมาใช้ในระบบส่งกำลัง (Transmission Component)

- เฟืองสะพาน (Rack Gears)

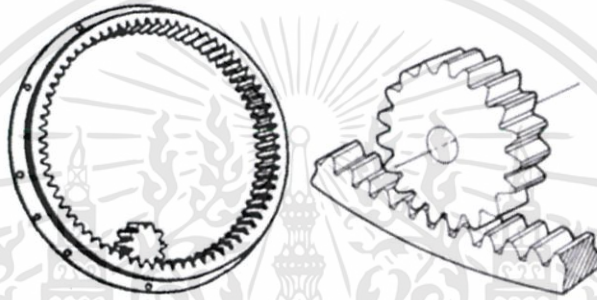


รูปที่ 2.7 เฟืองสะพาน (Rack Gears) (ที่มา : <https://sites.google.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหนึ่งชุดของเฟืองสะพานนั้นประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนที่เป็นเฟือง (Gear) ตัวขับซึ่งส่วนมากแล้วจะเป็นเฟืองตรง (Spur Gear) แต่ในบางอุปกรณ์อาจเป็นเฟืองเฉียงก็มี และมีส่วนที่เป็นเฟืองสะพาน (Rack) ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งยาวตรงและมีฟันเฟืองอยู่ด้านบนขนบอยู่กับส่วนที่เป็นฟันเฟือง (Gear) หน้าที่ของเฟืองสะพานคือใช้ในการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ จากการเคลื่อนที่ในลักษณะการหมุนหรือการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา

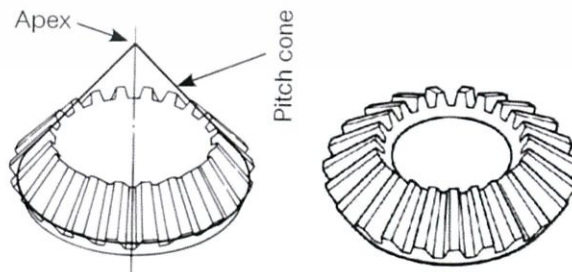
- เฟืองวงแหวน (Internal Gear, Ring Gear)



รูปที่2.8 เฟืองวงแหวน (Internal Gear, Ring Gear) (ที่มา : <https://sites.google.com>)

เฟืองวงแหวนเป็นเฟืองตรงอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีลักษณะเหมือนกับเฟืองตรง แต่ฟันเฟืองจะอยู่ด้านในของวงกลมต้องใช้คู่กับเฟืองขนาดเล็กกว่าที่ขบอยู่ด้านในดังรูปที่4 เฟืองวงแหวนจะใช้งานในลักษณะที่ต้องการให้เฟืองขับและเฟืองตามทำงานหรือหมุนในทิศทางเดียวกัน สำหรับอัตราทดนั้นสามารถออกแบบให้มากหรือน้อยได้โดยขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองตัวนอก (Ring) และเฟืองตัวใน (Pinion) ดังรูปที่4 โดยที่ถ้าหากเฟืองตัวในเล็กกว่าเฟืองตัวนอกมากอัตราทดก็จะมากและถ้าหากเฟืองตัวในมีขนาดใกล้เคียงกับเฟืองตัวนอกอัตราทดก็จะน้อย โดยปกติของเฟืองวงแหวนแล้วเฟืองตัวเล็ก (Pinion Gear) ที่อยู่ด้านในจะทำหน้าที่เป็นตัวขับ

- เฟืองดอกจอก (Bevel Gear)



รูปที่2.9 เฟืองดอกจอก (Bevel Gear) (ที่มา : <https://sites.google.com>)

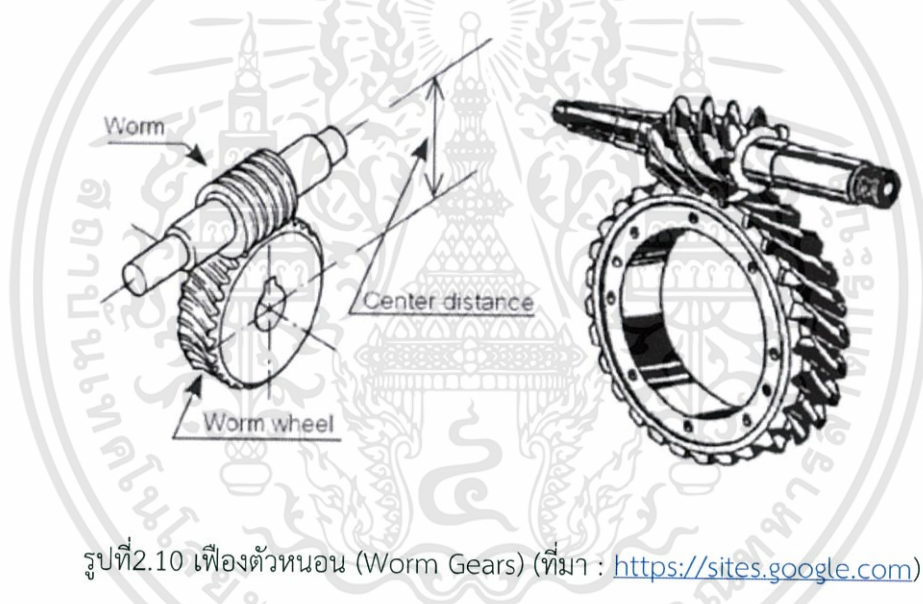
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟืองดอกจอกจะมีรูปทรงคล้ายกับกรวยมีทั้งแบบเฟืองตรง (Straight Bevel Gear) และแบบเฟืองเฉียง (Spiral Bevel Gear) เฟืองดอกจอกจะเป็นเฟืองสองตัวที่ขบกันในลักษณะแนวเพลลา (Shaft) ของเพลลาทั้งคู่จะตั้งฉากหรือตัดกัน (Intersect) ส่วนมากแล้วเพลลาของเฟืองทั้งคู่จะตั้งฉากกันเป็นมุม 90 องศา

- เฟืองเกลียวสกรู (Screw Gears or Spiral Gears)

มีลักษณะเป็นเฟืองเฉียงหรือเฟืองเกลียวใช้ส่งกำลังระหว่างเพลลาที่ทำมุมกัน 90 องศา การใช้งานมักนิยมใช้ในระบบเฟืองส่งกำลังของรถยนต์ และเครื่องจักรในจุดที่ต้องการเปลี่ยนมุมการส่งกำลัง

- เฟืองตัวหนอน (Worm Gears)

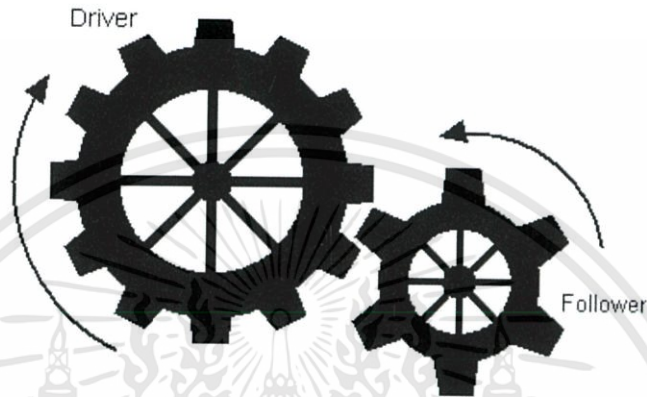


รูปที่ 2.10 เฟืองตัวหนอน (Worm Gears) (ที่มา : <https://sites.google.com>)

เป็นชุดเฟืองที่ประกอบด้วยเกลียวตัวหนอน (Worm) ซึ่งมีลักษณะของเกลียวที่วางอยู่บนก้านเกลียวตัวหนอน (Shank) เหมือนลักษณะของสกรูและเฟือง (Worm Wheel) ซึ่งมีลักษณะเป็นล้อเฟืองคล้ายๆกับเฟืองเฉียง (Helical Gear) แต่จะต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงสันฟันเฟืองจะมีลักษณะเว้าเพื่อให้อัปกับกับความโค้งของเกลียวตัวหนอนดังรูปที่ 6

แนวเพลลาขับ (Worm Shaft) และเพลลาตาม (Worm Wheel Shaft) ของเฟืองตัวหนอนจะทำมุมกันที่มุมฉาก 90 องศา การทำงานของเฟืองตัวหนอนจะเงียบและมีแรงสั่นสะเทือนเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากการส่งถ่ายกำลังจากเฟืองขับไปยังเฟืองตามนั้นการส่งถ่ายกำลังจะเป็นไปในลักษณะของการลื่นไถล (Sliding)

2.2.1.3.2 ระบบเฟืองอย่างง่าย



รูปที่ 2.11 ระบบเฟืองอย่างง่าย (ที่มา : <https://sites.google.com>)

ระบบเฟืองอย่างง่าย นั้นคือการเชื่อมต่อกันโดยตรงระหว่างเฟืองสองตัวเฟืองตัวส่งกำลังเป็นตัวขับให้เฟืองตัวตามหมุนตาม พื้นของเฟืองถูกออกแบบให้ส่งถ่ายกำลังไปยังเฟืองอีกตัวได้โดยไม่เกิดการลื่นไถล ซึ่งความเร็ว ณ จุดสัมผัสของวงกลมพิตช์ (Pitch circles) มีค่าเท่ากันซึ่งจะได้ว่า

$$v = \omega_A r_A = \omega_B r_B \quad (2.1)$$

ซึ่ง r_A คือรัศมีของเฟืองตัวขับที่เชื่อมต่อกับเฟืองตัวตามซึ่งมีรัศมี r_B

จากสมการที่(2.1) พื้นของเฟืองเป็นสัดส่วนโดยตรงกับรัศมีของวงกลมพิตช์ หมายความว่า อัตราส่วนของรัศมีและอัตราส่วนของพื้นเฟืองมีความสัมพันธ์กันคือ

$$\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{r_B}{r_A} = \frac{N_B}{N_A} \quad (2.2)$$

เมื่อ N_A คือ จำนวนฟันเฟืองตัวขับ

N_B คือ จำนวนฟันเฟืองตัวตาม

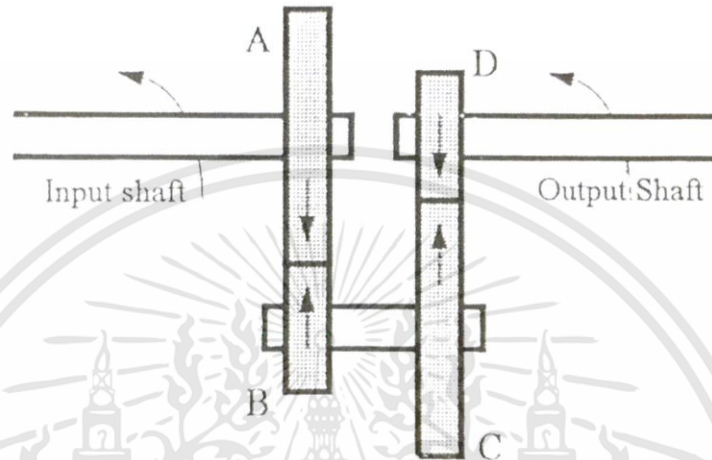
จากสมการที่(2.1) และ(2.2)เราสามารถแสดงอัตราทดเกียร์ของการเชื่อมต่อระหว่างเฟืองสองตัวได้โดย

$$R = \frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{N_B}{N_A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการนี้แสดงให้เห็นว่าถ้าหากจำนวนฟันของเฟืองตัวตามมีจำนวนมากกว่าจำนวนฟันของเฟืองตัวขับ เฟืองตัวขับจะหมุนเร็วกว่าเฟืองตัวตาม

2.2.1.4 อัตราการทดเกียร์



รูปที่ 2.12 การขับเคลื่อนของชุดเฟือง

(ที่มา : ธนิตไกร กองแก้ว.ปริญญาโท (วศ.บ.วิศวกรรมเครื่องกล) ระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่อง สำหรับรถจักรยานยนต์ศึกษา.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2554.)

การขับเคลื่อนของเกียร์ต่างๆ ในห้องเกียร์ทำให้อัตราเร็วรอบและแรงบิดของเพลาเข้า (Input shaft) และเพลาออก (Output shaft) มีค่าแตกต่างกัน รูปแบบง่ายๆของการขับเคลื่อนของเฟืองแสดงไว้ดังรูป เฟือง A อยู่บนเพลาของห้องเกียร์ เฟือง A ขับเคลื่อนเฟือง B ซึ่งอยู่บนเพลาตามมีเฟือง C ซึ่งหมุนไปพร้อมเฟือง B เฟือง C บนเพลาตามขับเคลื่อนเฟือง D ซึ่งอยู่บนเพลาออก เพลาออกจะถ่ายทอดกำลังต่อไปยังชุดเฟืองท้ายจนกระทั่งถึงล้อขับเคลื่อน

จากรูปจะเห็นว่าเฟือง A และ C เป็นเฟืองขับ เฟือง B และ D เป็นเฟืองตาม (เฟืองถูกขับ) อัตราทดทั้งหมดจาก A ถึง D คำนวณได้ดังนี้

$$\text{อัตราทดเฟือง} = \frac{\text{ผลคูณของจำนวนฟันของเฟืองตาม}}{\text{ผลคูณของจำนวนฟันของเฟืองขับ}} \quad (2.3)$$

2.2.1.5 อัตราส่วนแรงบิด

อัตราส่วนแรงบิดของการทดเฟืองสามารถหาได้ดังนี้

$$\text{อัตราส่วนแรงบิด} = \frac{\text{แรงบิดส่งออก}}{\text{แรงบิดป้อนเข้า}} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงบิดบนเพลาของเฟืองที่ขบกันจะเป็นส่วนกลับกับอัตราเร็วรอบของการหมุน หรืออาจกล่าวได้ว่าเมื่ออัตราเร็วรอบลดลง แรงบิดจะเพิ่มขึ้น แรงบิดที่สูงขึ้นนี้สำหรับการไต่ขึ้นทางชันหรือการออกตัวของรถยนต์

ถ้าประสิทธิภาพการถ่ายทอตกกำลังเท่ากับ 100% จะได้ว่า

$$\text{แรงบิดป้อนเข้า} \times \text{อัตราเร็วรอบป้อนเข้า} = \text{แรงบิดส่งออก} \times \text{อัตราเร็วรอบส่งออก} \quad (2.5)$$

$$\text{หรือ} = \frac{\text{แรงบิดส่งออก}}{\text{อัตราเร็วป้อนเข้า}} = \frac{\text{แรงบิดป้อนเข้า}}{\text{อัตราเร็วรอบส่งออก}} \quad (2.6)$$

หรืออาจกล่าวได้ว่า

$$\text{อัตราส่วนแรงบิด} = \text{อัตราส่วนอัตราเร็ว} = \text{อัตราทดเฟือง}$$

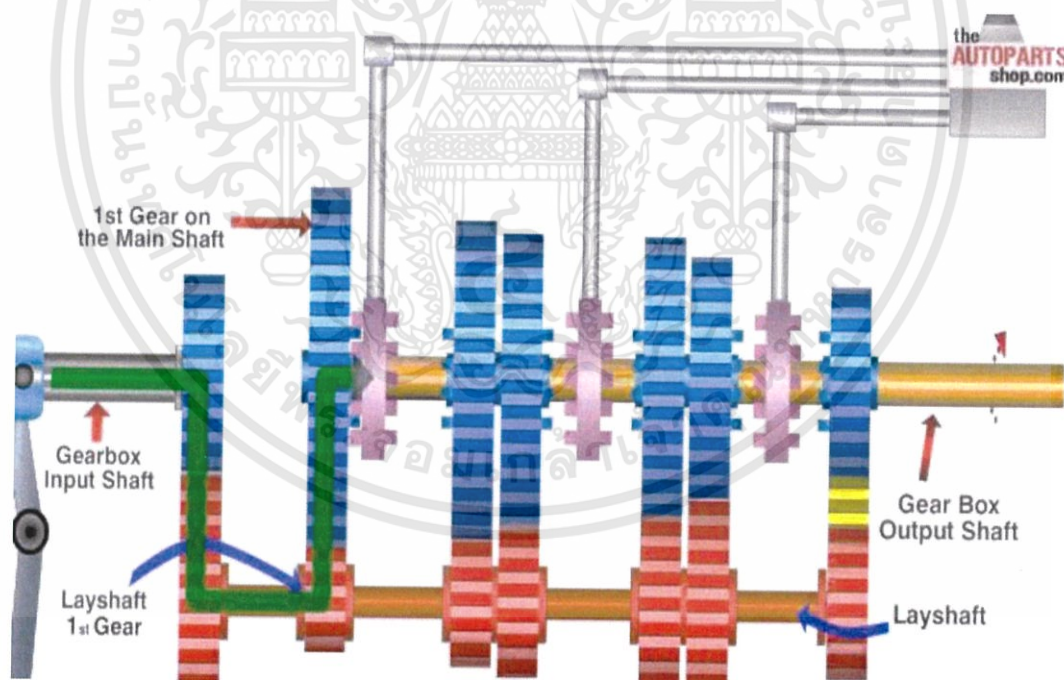
2.2.2 ระบบเกียร์ธรรมดา (Manual Transmission)

สำหรับระบบเกียร์ธรรมดาในปัจจุบัน ในเมืองไทยรถส่วนใหญ่ไม่ค่อยนิยมใช้เกียร์ธรรมดากันแล้ว เนื่องจากแนวโน้มความนิยมในปัจจุบันที่เน้นไปที่การขับขี่ในเมืองมากขึ้น ไม่ค่อยเหมาะกับการขับขี่รถเกียร์ธรรมดาเท่าไรนัก ระบบเกียร์มีใช้ทั้ง 5 และ 6 จังหวะ ตามการออกแบบและการใช้งานที่เหมาะสมกับรถรุ่นนั้นๆ โดยเกียร์ธรรมดาก็มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการของคนใช้รถที่ชอบขับรถแรงและเร็วแต่ก็ยังคงต้องการความสะดวกสบายในการใช้งาน ถึงแม้ว่าเกียร์ธรรมดาจะตอบสนองผู้ใช้ในเรื่องของพลังกำลังได้ดีกว่าเกียร์อัตโนมัติ แต่ข้อด้อยของเกียร์ธรรมดา ก็คือการเสียเวลาในการเปลี่ยนเกียร์จากเกียร์หนึ่งไปยังอีกเกียร์หนึ่ง และถ้าเกียร์ไม่ได้อยู่ในตำแหน่งเกียร์ว่างจะทำให้รถเกิดการพุ่งไปข้างหน้าหรือถอยหลังอย่างฉับพลัน ก่อให้เกิดอันตรายได้

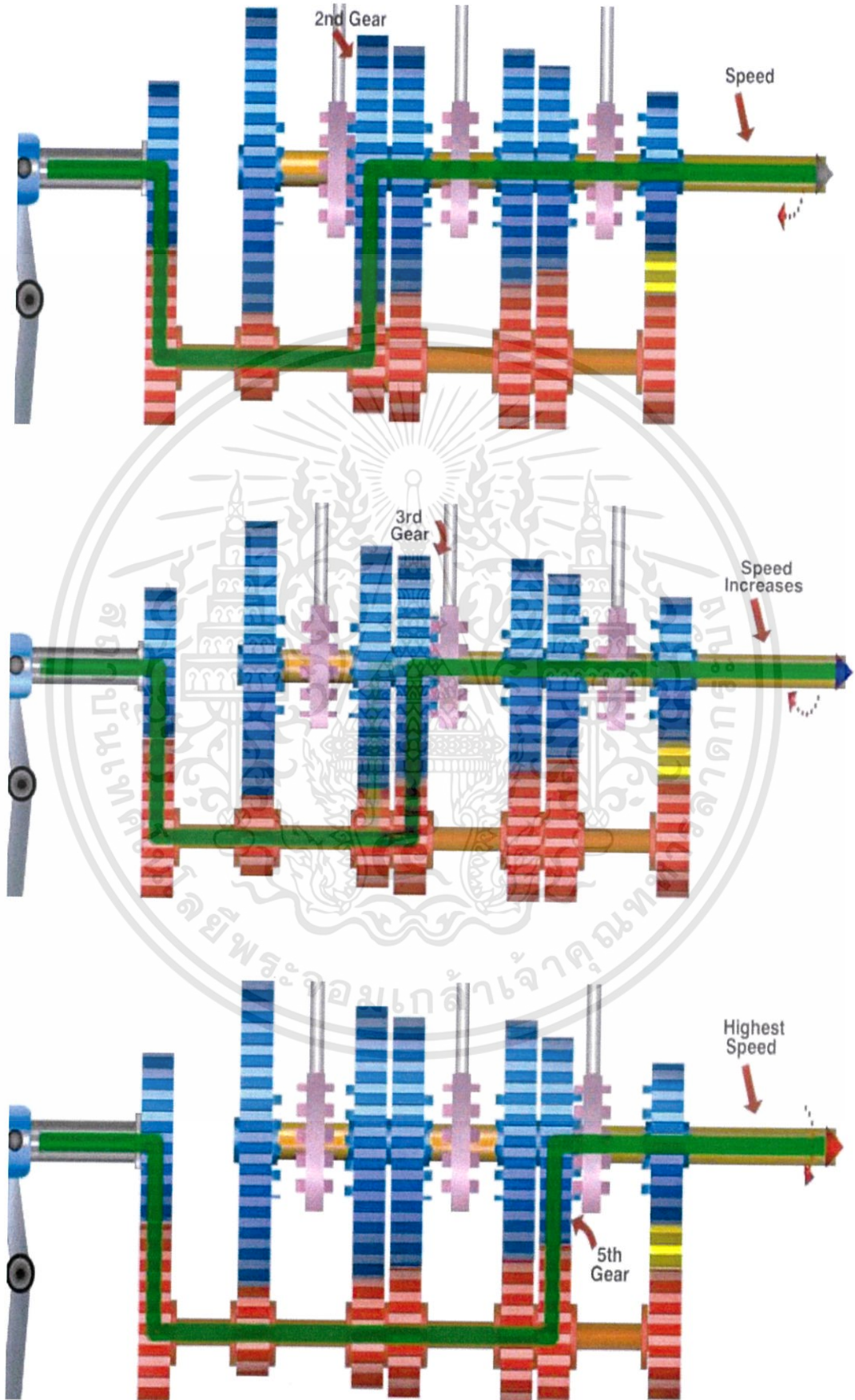
2.2.2.1 หลักการทำงานของระบบเกียร์ธรรมดา (Manual Transmission)

หลักการทำงานของเกียร์ธรรมดา (Manual Transmission) นั้นเริ่มที่เหยียบแป้นคลัตช์เพื่อตัดกำลังขับจากเครื่องยนต์ ดังนั้นในห้องชุดเฟืองจึงไม่มีแรงมากระทำที่เฟืองทุกชุดเป็นจังหวะที่เราโยกคันบังคับไปที่ตำแหน่ง เกียร์ (1) ในชุดเฟืองเพลาหลักนั้นเป็นเฟืองที่มีอัตราทดสูงสุด (มีจำนวนฟันมากที่สุดเพื่อให้ได้แรงขับ หรือ แรงบิดมากๆ สำหรับการเคลื่อนที่ในครั้งแรก) จะขบกับเฟืองเพลาของระบบคลัตช์จากนั้นแรงขับนี้ก็จะส่งผ่านไปยังชุดเฟืองเพลารองและวนขึ้นไปยังชุดเฟืองเพลาหลักอีกครั้งที่ด้านท้าย เมื่อปล่อยคลัตช์ให้จับกับล้อช่วยแรงของเครื่องยนต์ เพลาต่างๆก็จะเริ่มหมุนและแรงบิดที่เกิดขึ้นก็จะถูกส่งถ่ายไปตามลำดับ ต่อมาเมื่อรถเริ่มแล่นได้ความเร็วพอสมควร ซึ่งรอบเครื่องยนต์จะสูงเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ จนไม่อาจเพิ่มความเร็วไปได้มากกว่านี้ จำเป็นที่จะต้องปรับเปลี่ยนอัตราทดในชุดเฟืองส่งกำลัง เพื่อเพิ่มความเร็วให้รถเรา จึงเหยียบคลัตช์อีกครั้งเพื่อตัดกำลังของ

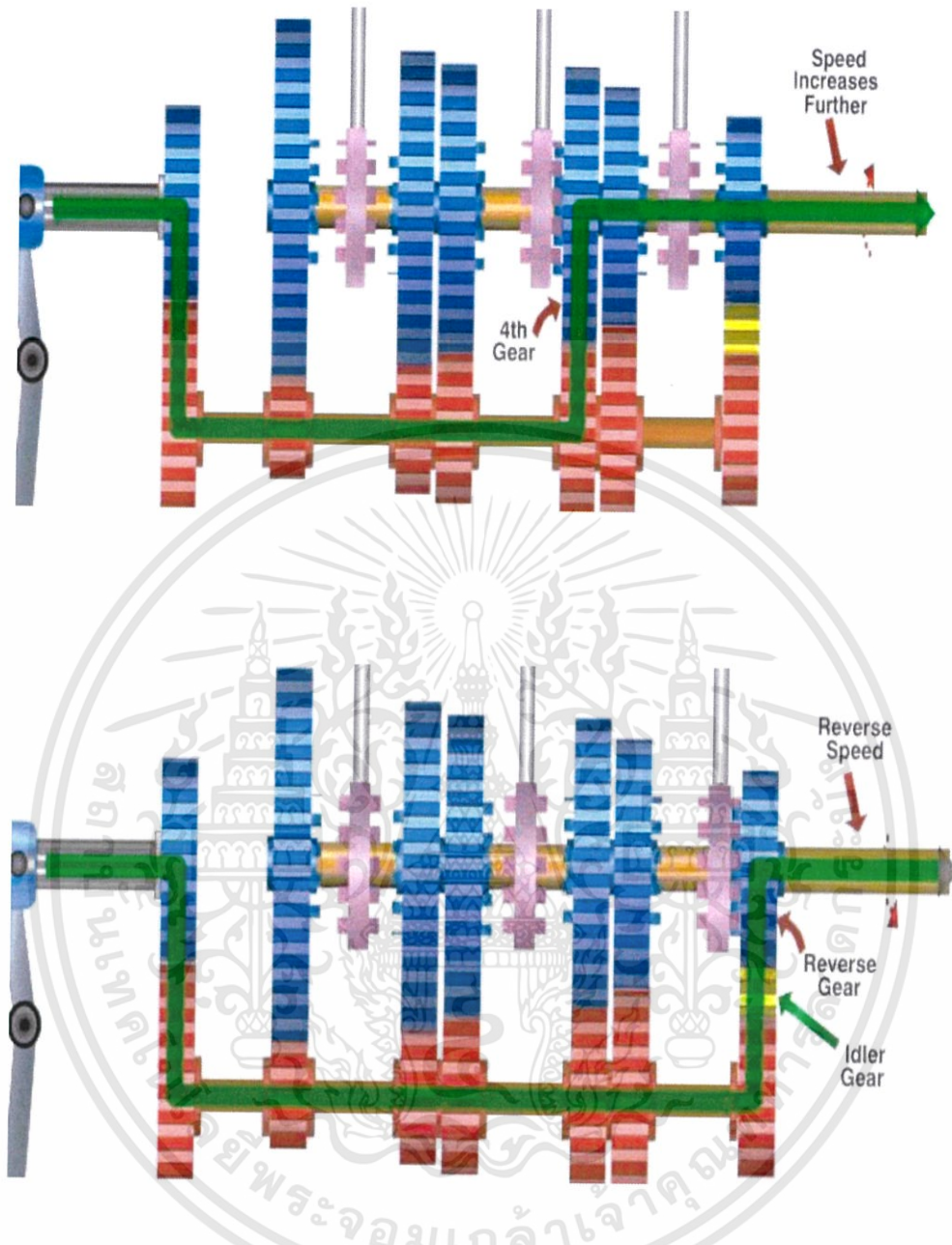
เครื่องยนต์ แต่ในครั้งนี้อาจมีผลต่างจากครั้งแรกเพราะเฟืองต่างๆ ในห้องเฟืองยังคงหมุนต่อไปเรื่อยๆ ตามแรงเฉื่อยที่ได้รับจากล้อ แทนจากเครื่องยนต์ตั้งนั้น ในชุดเฟืองเพลาลูกจึงมีอุปกรณ์อีกชิ้นหนึ่งที่ช่วยให้ระบบสามารถปรับเปลี่ยนเฟืองได้ในขณะที่มันหมุน อุปกรณ์นั้นก็คือชุดเฟืองความฝืดหรือ Synchronesh Gears ชุดเฟืองความฝืดนี้สร้างจากทองเหลือง(วัสดุเดียวกับที่ใช้ในผ้าคลัตช์บางชนิด) ซึ่งมันจะอยู่ระหว่างกลางของเฟืองเพลาลูก 2 เฟือง เมื่อเราโยกคันบังคับไปที่ตำแหน่งเกียร์ (2) เฟืองของตำแหน่งเกียร์ (1) จะถูกปลดออก จากนั้นกลไกนี้จะไปเลื่อนเฟืองของเกียร์ (2) ที่อยู่ด้านหลังให้เข้ามาพบกับเฟืองตัวต่อไป ซึ่งต้องอาศัยแหวนความฝืดนี้ค่อยๆปรับความเร็วให้เท่ากันทั้ง 2 เฟืองก่อน เฟืองเกียร์ (2) จึงจะเข้าไปขบกับชุดเฟืองเพื่อรับกำลังจากชุดเฟืองเพลารองได้อีกครั้ง จากนั้นการส่งถ่ายแรงขับจะมีลักษณะเดียวกับครั้งแรกทุกประการ ชุดเฟืองความฝืดนี้จะมีอยู่ที่ชุดเฟืองเกียร์ (2) (3) (4) และ (5) เท่านั้น ส่วนเกียร์ (1) และ เกียร์ถอยหลัง ไม่จำเป็นต้องใช้เฟืองความฝืดให้การทำงาน เพราะเฟืองต่างๆ ในห้องชุดเฟืองจะหยุดนิ่งในขณะที่ใช้งาน เกียร์ (1) หรือเกียร์ถอยหลัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงกลไกและทิศทางการทำงานในแต่ละเกียร์
 (ที่มา : <https://www.youtube.com/watch?v=QPauJfA1KsY>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่อง (Continuously variable transmission)

2.2.3.1 ประวัติความเป็นมา

ลีโอนาร์โด ดา วินชี ได้คิดค้นใช้ระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่องกับยานยนต์ ในปี 1930 เจเนรอล มอเตอร์ (General motor) ได้เริ่มพัฒนาระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่อง อย่างเต็มรูปแบบ และมีการทดสอบอย่างจริงจังแต่สุดท้าย เจเนรอล มอเตอร์ ได้หันกลับมาใช้ระบบเกียร์อัตโนมัติแบบเป็นขั้นลำดับ เนื่องจากระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่องมีต้นทุนสูงและในปี 1960 เจเนรอล มอเตอร์ ได้ทำการวิจัยระบบส่งกำลังแบบแปรผันอีกครั้งแต่ก็ยังไม่ดำเนินการผลิตมีเพียงบริษัทเดียวที่ใช้ระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่องคือ บริติช ผู้ผลิตรถยนต์ขนาดเล็กภายใต้ยี่ห้อ ออสติน แต่ช่วงหลังก็เริ่มลดลงเนื่องจากต้นทุนที่สูงและผู้บริโภคยังไม่มีความเชื่อมั่นในประสิทธิภาพ การส่งแรงบิดของระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่อง โดยมีหลายบริษัทที่ใช้ระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่อง ประเภทแถบยางและแบบกรวยเพื่อลดต้นทุน เช่นบริษัท ดาฟ ประเทศ ฮอลแลนด์ ได้พัฒนาขึ้นในปี 1958 โดยใช้กับเครื่องยนต์ 0.6 ลิตร แต่ก็เจอปัญหาเรื่องเสียงรบกวนและหยุดการผลิตไปในที่สุด ความล้มเหลวในช่วงแรกทำให้ผู้ผลิตรถยนต์เกือบทุกรายหลีกเลี่ยงการใช้ระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่อง จนกระทั่งรัฐบาลสหรัฐอเมริกาหันมาให้ความสำคัญในเรื่องการประหยัดเชื้อเพลิงและลดมลพิษทำให้ระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่องถูกนำมาพัฒนาและใช้กับรถยนต์หลายรุ่นจนถึงปัจจุบัน

2.2.3.2 ลักษณะของระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่อง

ให้การเปลี่ยนเกียร์ด้วยความนุ่มนวลที่สุดเพราะการทำงานที่ปราศจากการสะดุดในช่วงรอบเครื่องยนต์ในขณะที่มีการเปลี่ยนเกียร์โดยไม่เกิดอาการรอบเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลงขึ้น-ลง การเปลี่ยนเกียร์จึงเป็นไปอย่างต่อเนื่อง พูลเลย์ (Pulley) ซึ่งประกอบด้วยจานทรงกรวยตั้ง 2 จาน พูลเลย์ชุดที่หนึ่ง เรียกว่า พูลเลย์ขับ (Drive Pulley) ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนอัตราทดเกียร์และถ่ายทอดกำลังขับเคลื่อนไปยังพูลเลย์ (Pulley) ตัวที่สองเรียกว่าพูลเลย์ถูกขับ (Driven Pulley) ซึ่งจะแปรผันกำลังขับเคลื่อนตามพูลเลย์ชุดแรกและส่งกำลังทั้งหมดไปยังชุดเฟืองท้าย การส่งผ่านกำลังระหว่างพูลเลย์ชุดที่หนึ่งกับชุดที่สองจะใช้สายพานเป็นตัวเชื่อม พูลเลย์ทั้งสองชุดนี้จะมีคุณสมบัติพิเศษสามารถที่จะปรับขนาดความโตของเส้นผ่านศูนย์กลางให้เล็กหรือใหญ่ได้ตลอดเวลาด้วยการเคลื่อนที่เข้า-ออกของจานทรงกรวยตั้ง ทำให้อัตราการทดเกียร์นั้นเปลี่ยนแปลงไปได้ตลอดจึงเป็นการลดการสูญเสียในช่วงการเปลี่ยนแปลงเกียร์ได้ดีกว่าของเฟืองเกียร์ในแบบเก่า ระบบสมัยใหม่สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงขนาดของพูลเลย์ทั้งสองชุดให้มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอัตราทดเกียร์ในแต่ละครั้งได้ราบรื่นและรวดเร็ว ให้ความประหยัดจากการที่ระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่องสามารถปรับเปลี่ยนกำลังขับหรือปรับเปลี่ยนเกียร์ได้อย่างต่อเนื่อง โดยรอบเครื่องยนต์และเกียร์จะไม่ตกลงไป

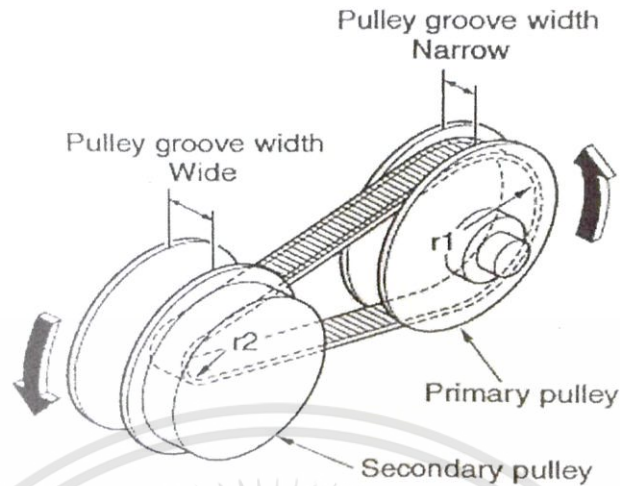
ตามจังหวะการเปลี่ยนเกียร์ในแต่ละครั้งทำให้ไม่สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในการที่จะเร่งรอบเครื่องยนต์ขึ้นไปอยู่ในรอบที่ดีที่สุด

2.2.3.3 การทำงานของชุดกลไกในการเปลี่ยนอัตราทดของระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่อง



รูปที่ 2.14 การทำงานของชุดกลไกขณะเริ่มออกตัว
(ที่มา : ธนิตไกร กองแก้ว,ปริญญาานิพนธ์ (วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล)).ระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่อง สำหรับรถจักรยานยนต์ศึกษา.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง2554)

ในขณะที่เริ่มออกงานทรงกรวยตันของชุดพูลเลย์ขับ (Drive Pulley) จะเคลื่อนที่ออกจากกัน เพื่อให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ขับมีขนาดเล็ก ส่วนงานของชุดพูลเลย์ถูกขับ (Driven Pulley) จะเคลื่อนที่เข้าหากันทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์มีขนาดใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 10 ลักษณะนี้จะทำให้ได้แรงบิดสูงเพื่อใช้ในการออกตัว



รูปที่ 2.15 การทำงานของชุดกลไกที่ความเร็วสูง
(ที่มา : ธนิตไกร กองแก้ว.ปริญญาโท (วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล)).ระบบส่งกำลังแบบ
แปรผันต่อเนื่อง สำหรับรถสูตรนักศึกษา.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง.2554.)

ในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องการความเร็วที่สูงขึ้นชุดพูลเลย์ตัวขับเคลื่อนจะขยายเส้นผ่านศูนย์กลางให้
มีขนาดใหญ่ขึ้นโดยการเคลื่อนที่เข้าหากันของจานทรงกรวยต้นและพูลเลย์ถูกขับเคลื่อนก็จะมีขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลางเล็กลงไปโดยการเคลื่อนที่ออกจากกันของจานซึ่งจะทำให้ได้ความเร็วสูง ดังแสดงในรูปที่ 11

2.2.3.4 ชนิดของระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่อง

2.2.3.4.1 ระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่องแบบลูกกลิ้ง (Extroid CVT)

ระบบนี้ประกอบด้วยแผ่นและลูกกลิ้ง ลูกกลิ้งเป็นตัวส่งกำลังระหว่างแผ่นโดยแผ่นทั้งสองจะมีด้านหนึ่ง
ที่มีรูปร่างคล้ายกรวยและเปลี่ยนแปลงอัตราทดโดยการให้ลูกกลิ้งเคลื่อนที่เข้าออก

2.2.3.4.2 ระบบส่งกำลังแปรผันต่อเนื่องแบบ แมกเนติก (Magnetic CVT)

เป็นระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่องที่ใช้การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กโดยเราสามารถปรับ
สนามแม่เหล็กแล้วให้อิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมอัตราทดเกียร์

2.2.3.4.3 ระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่องแบบไฮดรอสแตติก (Hydrostatic CVT)

ระบบนี้ใช้ปั๊มที่สามารถปรับการเคลื่อนที่ได้ (Variable displacement pump) และไฮดรอลิกส์
มอเตอร์ ส่งผ่านกำลังโดยใช้น้ำมันไฮดรอลิกส์ โดยทั่วไประบบนี้สามารถส่งแรงบิดได้มากแต่เป็นมลพิษ
มีราคาแพง ส่วนข้อดีก็คือสามารถติดไฮดรอลิกส์มอเตอร์ไว้ที่คัมล้อได้เลยทำให้ระบบช่วงล่างมีความ
ยืดหยุ่นมากขึ้นและยังสามารถลดแรงเสียดทานในเพลลาได้อีกด้วย

2.2.3.5 การส่งกำลังด้วยโซ่และสายพาน

สายพานมีหน้าที่ส่งกำลังจากเพลานึงไปยังอีกเพลานึงเช่นเดียวกับเฟืองแต่สายพานมีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือ อ่อนตัวได้ (Flexible) รับแรงกระตุกและแรงสั่นได้ดีกว่าเฟือง เสียงเบากว่า แต่ก็มีข้อเสียคืออัตราทดไม่แน่นอนเนื่องจากการไถลตัวของสายพาน (Flip) และไม่สามารถรับอัตราทดที่สูงได้ การส่งกำลังด้วยสายพานทำได้โดยติดตั้งวงล้อสายพาน (Pulley) ตั้งแต่สองอันขึ้นไป ซึ่งแรงในแนวสัมผัสจะถูกส่งถ่ายจากวงล้อสายพานขับไปยังวงล้อสายพานตาม โดยอาศัยความเสียดทานระหว่างสายพานและวงล้อสายพาน นอกจากนี้แล้วยังมีสายพานฟัน (Timing belt) ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับสายพานแบนแต่ที่สายพานจะฟันเพื่อใช้ขบกับวงล้อสายพานแบบเฟืองทำให้ไม่มีการลื่นไถล ส่วนโซ่นั้นมีหน้าที่ส่งกำลังจากเพลานึงไปยังอีกเพลานึง เช่นเดียวกับเฟืองและสายพาน ในการส่งกำลังโซ่จะคล้องอยู่รอบเฟืองโซ่ (Sprocket) ตั้งแต่สองอันขึ้นไป เฟืองโซ่เป็นล้อที่มีฟันรูปพิเศษเพื่อรับกับร่องของโซ่ในการขับด้วยโซ่นั้นข้อโซ่นั้นจับขบกับฟันของเฟืองโซ่จึงไม่มีการลื่นไถลทำให้การส่งกำลังมีอัตราทดคงที่เช่นเดียวกับการขับด้วยเฟืองแต่การติดตั้งไม่ต้องเที่ยงตรงเท่ากับเฟืองจึงเป็นที่นิยมมาก แต่ก็มีข้อเสียคือมีเสียงดังการติดตั้งโซ่โดยปกตินิยมติดตั้งให้แนวจุดศูนย์กลางของเฟืองโซ่ทั้งคู่อยู่ในแนวระดับหรือทำมุมแนวระดับไม่เกิน 60 องศาและจะต้องให้ด้านล่างเป็นด้านหย่อนไม่นิยมการติดตั้งให้แนวศูนย์กลางของเฟืองโซ่ทั้งคู่อยู่ในแนวตั้งหรือด้านบนเป็นด้านหย่อนเนื่องจากโซ่มันจะหลุดจากจานโซ่ได้ง่ายเมื่อโซ่เกิดการยืดเพียงเล็กน้อย ระบบกลไกที่ประกอบด้วยจานโซ่สองอันและเชื่อมต่อกันด้วยโซ่ หรือ วงล้อสายพาน สองอันแล้วเชื่อมต่อกันด้วยสายพาน ถูกออกแบบมาเพื่อให้เกิดข้อดีในการได้เปรียบเชิงกลในระบบส่งกำลังความเร็วของโซ่หรือสายพาน มีค่าเหมือนกัน

การได้เปรียบเชิงกลของการขับเคลื่อนด้วยสายพานที่มีฟัน (Timing belt) หรือโซ่ ด้วยเฟืองโซ่ป้อนเข้า ที่มีจำนวนฟัน N_A กับเฟืองโซ่ออกที่มีจำนวนฟัน N_B สามารถคำนวณได้จาก

$$M.A. = \frac{T_B}{T_A} = \frac{N_B}{N_A} \quad (2.7)$$

ส่วนการได้เปรียบเชิงกลของ friction belt หาได้จาก

$$M.A. = \frac{T_B}{T_A} = \frac{r_B}{r_A} \quad (2.8)$$

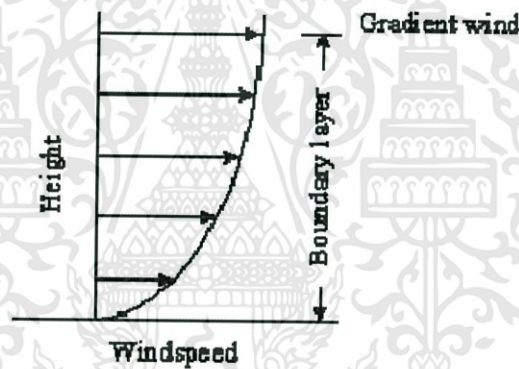
เมื่อ T_A = แรงบิดป้อนเข้า, T_B = แรงบิดส่งออก

r_A = รัศมีของวงล้อสายพานป้อนเข้า, r_B = รัศมีของวงล้อสายพานส่งออก

2.3 กังหันลม

2.3.1 หลักการทำงานของกังหันลม

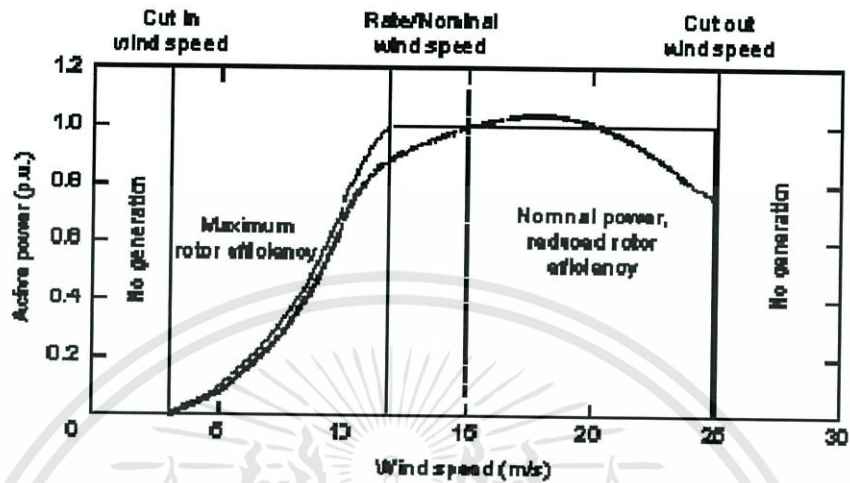
ลมที่เกิดขึ้นที่ถูกใช้ประโยชน์จากส่วนที่อยู่ใกล้ผิวโลกหรือที่เรียกว่า ลมผิวพื้น (Surface Winds) หมายถึง ลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกที่ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน เป็นบริเวณที่มีการผสมผสานของอากาศกับอนุภาคอื่นๆ และมีแรงเสียดทานในระดับต่ำ โดยเริ่มต้นที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไปแรงเสียดทานจะลดลง ทำให้อัตราเร็วลมเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.16 จนกระทั่งที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตรเกือบไม่มีแรงเสียดทาน อัตราเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศเช่นเดียวกันกับทิศทางของลม ประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมนั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้งสองนี้ที่อัตราเร็วลมเท่าๆ กัน แต่มีทิศทางลมที่แตกต่างกันเมื่อลมเคลื่อนที่พุ่งเข้าหาแกนหมุนของกังหันลมแล้วจะส่งผลต่อแรงบิดของกังหันลมเป็นอย่างมาก ผลคือแรงลัพธ์ที่ออกมาจากกังหันลมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยเบื้องต้นที่เป็นตัวกำหนดในการใช้พลังงานลม คือ อัตราเร็วและทิศทางของลมนั่นเอง



รูปที่ 2.16 ลักษณะของอัตราเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ (ที่มา : <http://raanz.org.nz/>)

พลังงานที่ได้จากกังหันลมจะขึ้นอยู่กับอัตราเร็วลมแต่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ที่อัตราเร็วลมต่ำกว่า ช่วงที่กังหันลมเริ่มทำงาน เรียกว่า ช่วงขีดเริ่มอัตราเร็วลม (cut in wind speed) เช่น ในช่วงอัตราเร็วลม 1-3 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะยังไม่ทำงานจึงยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ เมื่ออัตราเร็วลมถึงช่วงที่กังหันลมเริ่มทำงาน เช่น ที่อัตราเร็วลมระหว่าง 2.5-5 เมตรต่อวินาทีกังหันลมจะเริ่มผลิตไฟฟ้าออกมา และที่อัตราเร็วลมช่วงประมาณ 12-15 เมตรต่อวินาที เป็นช่วงที่เรียกว่า ช่วงอัตราเร็วลมปกติหรือความเร็วพิกัด (nominal หรือ rate wind speed) เป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตัวเอง ช่วงที่อัตราเร็วลมได้ระดับไปสู่ช่วงการทำงานของกังหันลมด้วยประสิทธิภาพสูงสุด (maximum rotoefficiency) แสดงในรูปที่ 2.17 ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วของปลายใบพัดกับอัตราเร็วลม (tip speed ratio) และในช่วงเลยขีดสิ้นสุดอัตราเร็ว

ลม (cut out wind speed) เป็นช่วงที่ความเร็วลมสูงกว่า 25 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะถูกบังคับให้หยุดทำงานเนื่องจากความเร็วลมสูงเกินไปซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกลไกของกังหันลมได้



รูปที่ 2.17 แผนภูมิแสดงกำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบต่างๆ
(ที่มา : Siegfried, H. (1998). Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems.
London : John Wiley & Sons.)

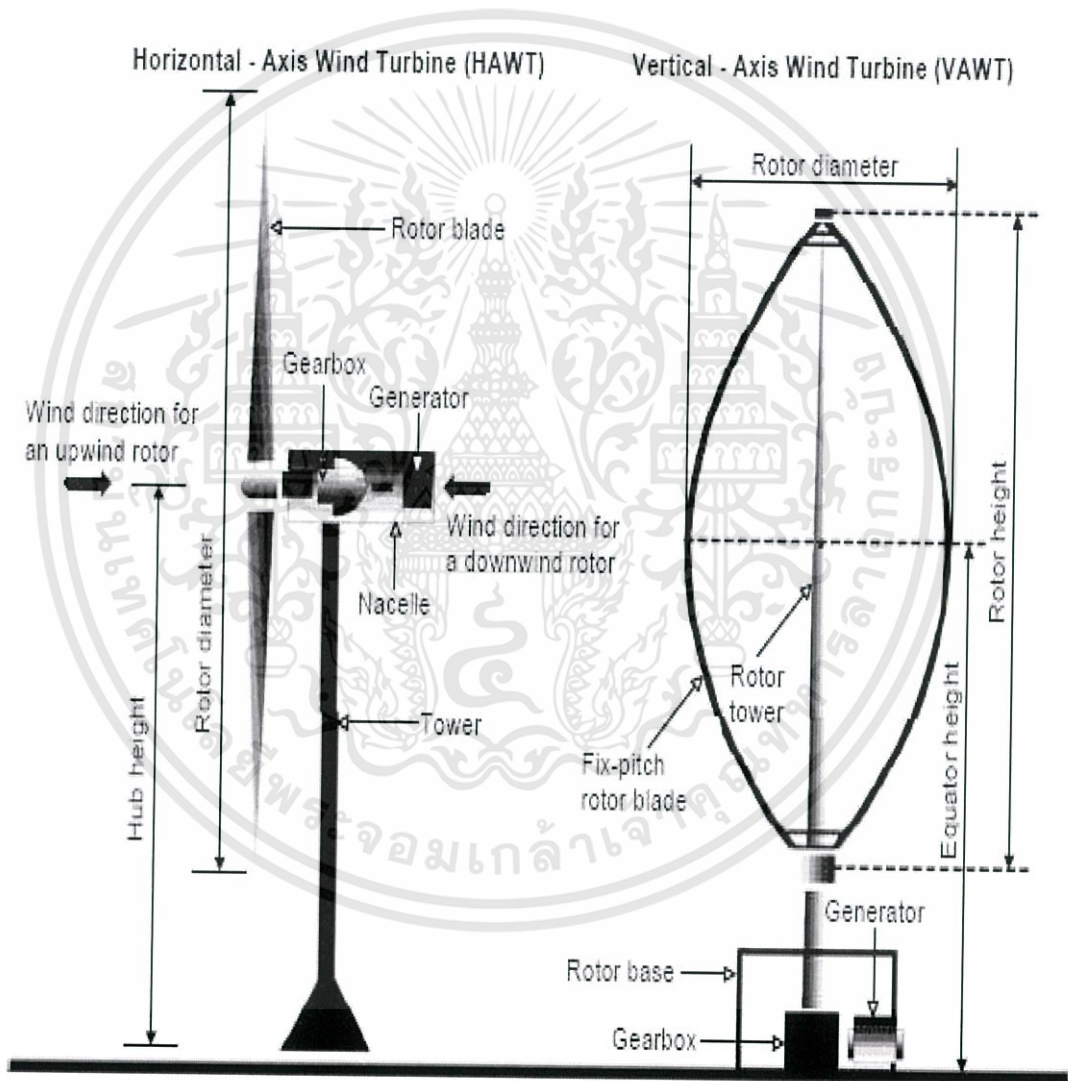
สำหรับหลักการทั่วไปในการนำพลังงานลมมาใช้คือ เมื่อมีลมพัดมาปะทะกับใบพัดของกังหันลม กังหันลมจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมที่อยู่ในรูปของพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานกล โดยการหมุนของใบพัดแรงจากการหมุนของใบพัดนี้จะถูกส่งผ่านแกนหมุนทำให้เฟืองเกียร์ที่ติดอยู่กับแกนหมุนเกิดการหมุนตามไปด้วย พลังงานกลที่ได้จากการหมุนของเฟืองเกียร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้ตามความต้องการ เช่นในกรณีที่ต้องการใช้กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าจะต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไปซึ่งเมื่อเฟืองเกียร์ของกังหันลมเกิดการหมุนจะไปขับเคลื่อนให้แกนหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนตามไปด้วย ด้วยหลักการนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ ส่วนในกรณีของการใช้กังหันลมในการสูบน้ำหรือสีข้าวสามารถนำเอาพลังงานกลจากการหมุนของเฟืองเกียร์นี้ไปประยุกต์ใช้ได้โดยตรง

2.3.2 ประเภทของกังหันลม

กังหันลมโดยทั่วไปจะมีรูปแบบพื้นฐานหลักๆ คล้ายๆ กัน แต่อาจแตกต่างกันบ้างในส่วนจากรายละเอียด ดังนั้นการแบ่งประเภทของกังหันลมมักจะยึดเอาลักษณะการวางตัวของแกนเพลลาของกังหันลมเป็นหลัก ซึ่งประเภทหลักๆ ของกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอนและกังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวตั้ง

(1) กังหันลมแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine - HAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของกระแสลม โดยมีใบพัดตั้งฉากรับแรงลม เช่น กังหันลมพรอเพลเลอร์ เป็นต้น กังหันลมแกนนอนรูปแบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.18

(2) กังหันลมแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine - VAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของกระแสลม ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง มี 2 แบบหลักๆ คือ กังหันลมแดร์เรียส(Darrieus) ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศสและกังหันลมซาโวเนียส (Savonius) ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในประเทศฟินแลนด์ กังหันลมแกนตั้งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานต่ำกว่า มีข้อจำกัดในการขยายให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและปัญหาแรงลมที่ไม่สมดุลกระทำกับชุดใบพัด การพัฒนาจึงอยู่ในวงจำกัดและมีความไม่ต่อเนื่อง ปัจจุบันมีการใช้งานกังหันลมแกนตั้งน้อยมาก



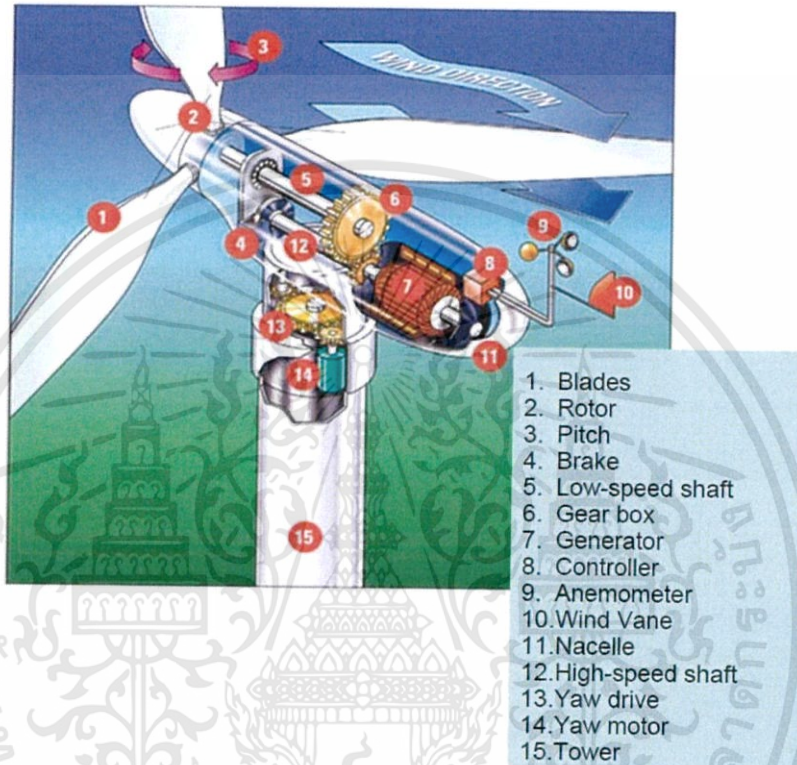
รูปที่ 2.18 กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง

(ที่มา:Energy Information Administration. (2004e). Wind Energy. [On-line]. Available: http://www.eia.doe.gov/wind_tech/energy.html. (2004f). Wind Farm. [On-line]. Available: <http://www.eia>.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ส่วนประกอบของกังหันลม

ส่วนประกอบหลักๆ ของกังหันลมผลิตไฟฟ้าโดยทั่วไปจะประกอบด้วยอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

(ที่มา : <http://www.powerhousekids.com> / June, 2006.)

กังหันลมในรูปที่ 2.19 ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- (1) ใบพัด (Blade) เป็นตัวรับพลังงานลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลโดยขับเคลื่อนเพลากลมหุน (rotor) ของใบพัด โดยใบพัดสามารถปรับทิศทางการรับลมได้
- (2) โรเตอร์ (Rotor) เป็นเพลากลมหุนซึ่งประกอบด้วยใบพัด และคุม (hub) ยึดติดเป็นชุดเดียวกัน
- (3) ส่วนปรับมุม (Pitch) เป็นการปรับมุมบิดของใบพัดด้วยอุปกรณ์ ควบคุมเพื่อควบคุมการหมุนของโรเตอร์ เมื่อมีลมพัด ทำให้หมุนเร็วหรือช้าได้
- (4) เบรก (Brake) เป็นเบรกสำหรับหยุดการหมุนของโรเตอร์ในสภาวะฉุกเฉินมีลักษณะเป็นแบบจานกลม มีทั้งแบบใช้กลไกไฟฟ้า และไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) เพลาอัตราเร็วต่ำ (Low-speed shaft) เป็นเพลาของโรเตอร์จะหมุนด้วยอัตราเร็วต่ำประมาณ 30-60 rpm

(6) ชุดเกียร์ (Gear box) จะต่อระหว่างเพลาของโรเตอร์ที่หมุนด้วยอัตราเร็วต่ำกับเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่หมุนด้วยความเร็วสูง โดยจะช่วยเพิ่มความเร็วรอบจาก 30-60 rpm ไปเป็น 1,200-1,300 rpm

(7) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลที่ถูกส่งมาจากเพลาแกนหมุนของใบพัดเป็นพลังงานไฟฟ้า

(8) อุปกรณ์ควบคุม (Controller) เป็นตัวควบคุมการทำงานของวัตต์อัตราเร็วลม

(9) เครื่องวัดอัตราเร็วลม (Anemometer) เป็นตัววัดอัตราเร็วลมและส่งผ่านข้อมูลไปยังอุปกรณ์ควบคุม (10) เครื่องวัดทิศทางลม (Wind vane) เป็นตัววัดทิศทางลมและช่วยให้ตัวขับเคลื่อนทิศทาง (yaw drive) ปรับทิศทางของกังหันลมให้หันไปทางที่เหมาะสมกับทิศทางลม ระบบเบรกเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการหยุดหมุนของใบพัดและเพลาแกนหมุนของกังหันลม

(11) เรือนกังหันลม (Nacelle) เป็นส่วนเรือนสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ เช่น ระบบเกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบเบรก และระบบควบคุม

(12) เพลาอัตราเร็วสูง (High-speed shaft) เป็นเพลาที่มีอัตราเร็วรอบสูง เป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

(13) ตัวขับเคลื่อนทิศทาง (Yaw drive) ตัวขับเคลื่อนทิศทางเป็นอุปกรณ์ปรับทิศทางของกังหันเมื่อทิศทางลมเปลี่ยนแปลง ซึ่งใช้สำหรับกังหันแบบทิศทางลมอยู่ทางด้านหน้า (upwind turbines) ส่วนกังหันแบบทิศทางลมอยู่ทางด้านหลัง (downwind turbines) ไม่จำเป็นต้องใช้ เนื่องจากสามารถหมุนตามลมได้เอง

(14) มอเตอร์ขับเคลื่อนทิศทาง (Yaw motor) เป็นมอเตอร์ต้นกำลังของตัวขับเคลื่อนทิศทาง

(15) หอคอย (Tower) มีลักษณะเป็นเสาหรือท่อขนาดใหญ่เป็นส่วนที่แบกรับอุปกรณ์ทั้งหมดที่อยู่ข้างบนมักทำจากท่อเหล็กหรือโครงเหล็ก เนื่องจากอัตราอัตราลมจะเพิ่มขึ้นตามความสูง ดังนั้นหอคอยยิ่งสูงก็จะยิ่งได้พลังงานพลังลมมากขึ้น

นอกจากนี้ยังต้องมีระบบไฮดรอลิก (hydraulic system) ที่จะช่วยในการชะลอการหมุนและการหยุดหมุนของใบพัด ระบบระบายความร้อน (cooling system) มีไว้สำหรับการระบายความร้อนจากการทำงานของระบบซึ่งเกิดความร้อนจากการทำงานอย่างต่อเนื่อง และมีชุดเครื่องมือสำหรับการวัดอัตราเร็วลม (anemometer) เพื่อวัดและเก็บข้อมูลอัตราเร็วลมซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่กับชุดแผงทาง (vane) ในการนำกังหันลมผลิตไฟฟ้ามาใช้ จำเป็นต้องคำนึงถึงความไม่สม่ำเสมอของอัตราเร็วลมที่แปรผันตามธรรมชาติ ขณะที่ความต้องการใช้พลังงานนั้นมีอยู่เสมอจึงต้องมีตัวกักเก็บพลังงานเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงหรือใช้แหล่งพลังงานอื่นที่เชื่อถือได้เป็นแหล่งสำรอง (Backup) หรือใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้จะเป็นการออกแบบระบบเกียร์อัตโนมัติซีวีทีเพื่อมาประยุกต์ใช้กับกังหันลมที่มีอัตราเร็วลมไม่มากพอที่จะขับเคลื่อนภาระงานเชิงกลหรือไฟฟ้า โดยใช้หลักการการทดเกียร์และเปลี่ยนเกียร์ของระบบเกียร์อัตโนมัติซีวีทีทำให้มีแรงเพิ่มขึ้นที่จะขับเคลื่อนภาระงานเชิงกลหรือไฟฟ้า และลดการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานทำให้กังหันลมสามารถหมุนได้แม้จะมีอัตราเร็วลมต่ำ

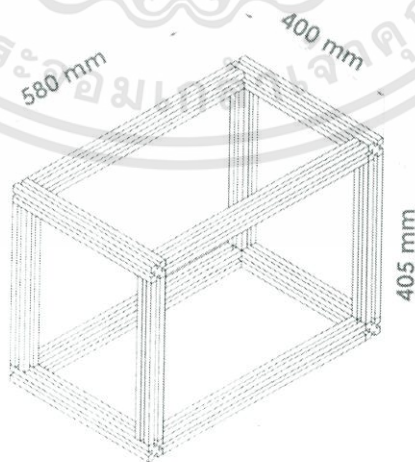
3.1 อุปกรณ์

แบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่และชุดกลไกล้อเหวี่ยงเปลี่ยนเกียร์อัตโนมัติ ส่วนที่สองเป็นกังหันลมแกนนอนแบบสามใบพัดและส่วนที่สามเป็นชุดส่งกำลังจากกังหันลมไปยังระบบเกียร์ซีวีที

3.1.1 ระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่และชุดกลไกล้อเหวี่ยงเปลี่ยนเกียร์อัตโนมัติ
ส่วนประกอบของระบบเกียร์ซีวีที

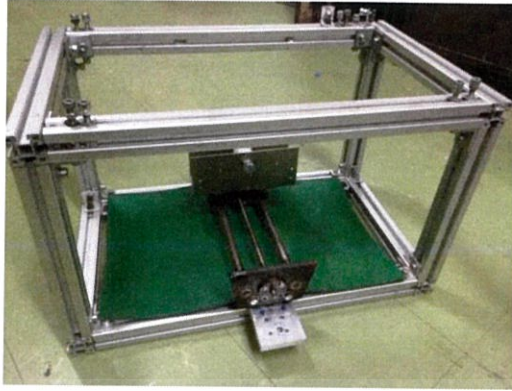
3.1.1.1 ฐานเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่

ฐานเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ทำขึ้นจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 400 มิลลิเมตร ยาว 580 มิลลิเมตร สูง 405 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.1 ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบฐานเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

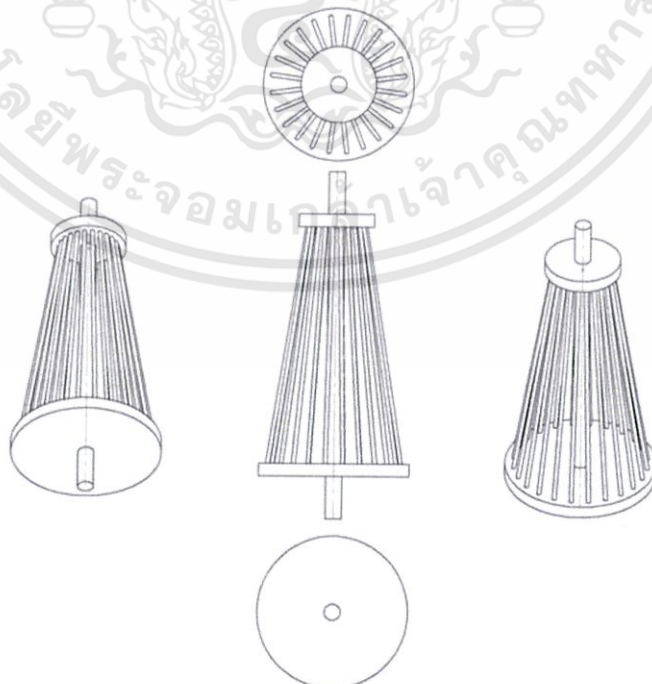


รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายฐานเกียร์ซีวีทีกรวยคู่

3.1.1.2 เกียร์ซีวีทีกรวยคู่

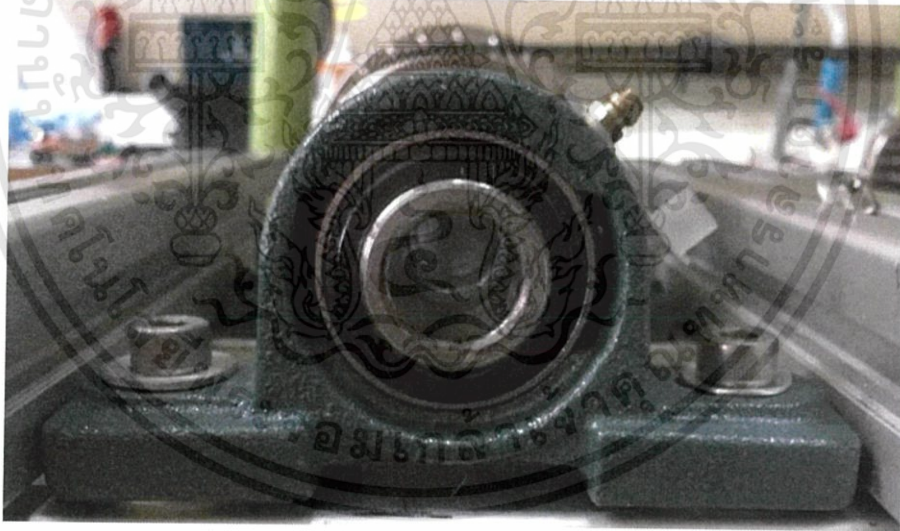
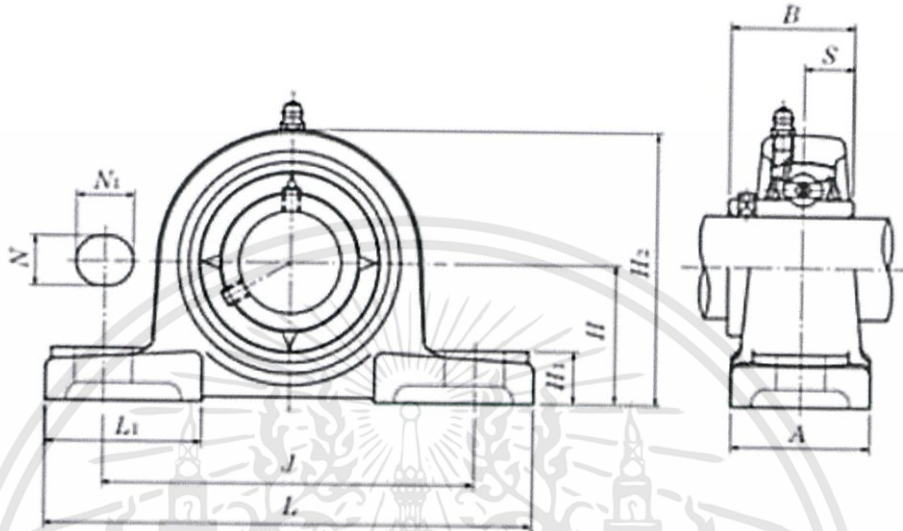
เกียร์ซีวีทีกรวยคู่ได้ทำการออกแบบมาจากวัสดุเหล็ก (Steel Materials) รูปทรงกรวยหน้าตัด ลักษณะเกียร์ซีวีทีกรวยคู่จะแบ่งเป็น

1. แกนเพลากลาง จะมีขนาดเส้นรอบวงของแกนเพล่า 19 มิลลิเมตร ยาว 420 มิลลิเมตร
2. หน้าแปลนเล็ก มีรัศมี 90 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร
3. หน้าแปลนใหญ่ มีรัศมี 180 มิลลิเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร
4. แกนเพล่าข้าง มีขนาดเส้นรอบวง 4.7 มิลลิเมตร ยาว 303.59 มิลลิเมตร มีลักษณะแกนเล็ก เพื่อที่จะเข้าได้กับร่องฟันของสายพานเพื่อลดการสิ้นเปลือง และมีน้ำหนักเบากว่าทรงกรวยตัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

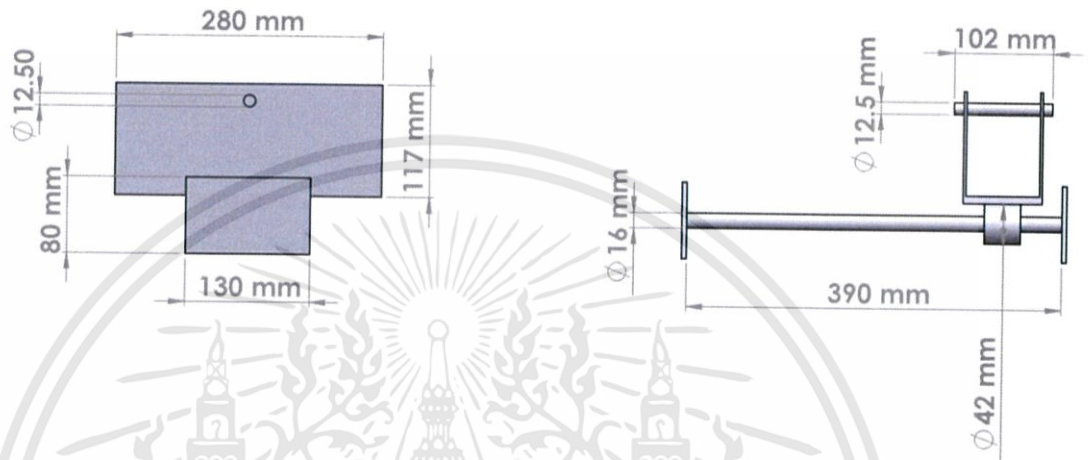
3.1.1.3 ตลับลูกปืนตึกตา ชนิด UCP จำนวน 6 ชั้น สำหรับยึดแกนเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร ยาว 127 มิลลิเมตร สูง 65 มิลลิเมตร



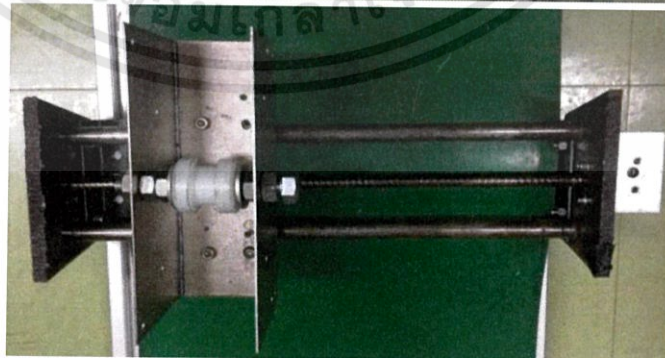
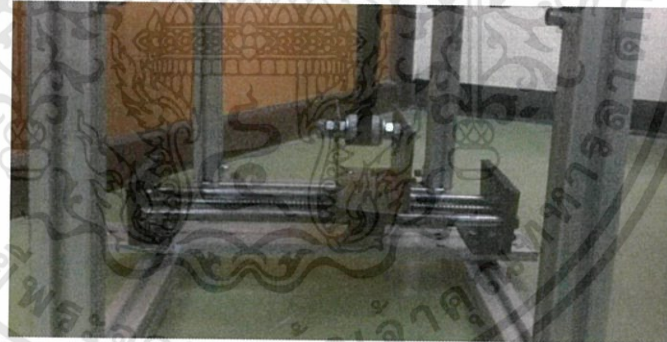
รูปที่ 3.5 ตลับลูกปืนตึกตา ชนิด UCP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.4 รางเลื่อนสายพาน วัสดุทำขึ้นจากเหล็กยาว 390 มิลลิเมตร เลื่อนโดยลูกปืนด้านล่าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก 42 มิลลิเมตร ก่องด้านบนสำหรับใช้ยึดระบบดึงสายพานให้ตึงมีขนาด กว้าง 82 มิลลิเมตร ยาว 280 มิลลิเมตร สูง 117 มิลลิเมตร รูเพลลาสำหรับใส่แกนยึดระบบดึงสายพานให้ตึงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 มิลลิเมตร



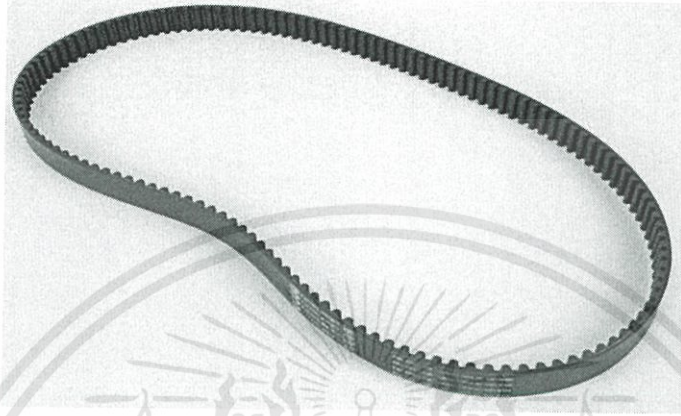
รูปที่ 3.6 ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบรางเลื่อนสายพาน



รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายรางเลื่อนสายพาน

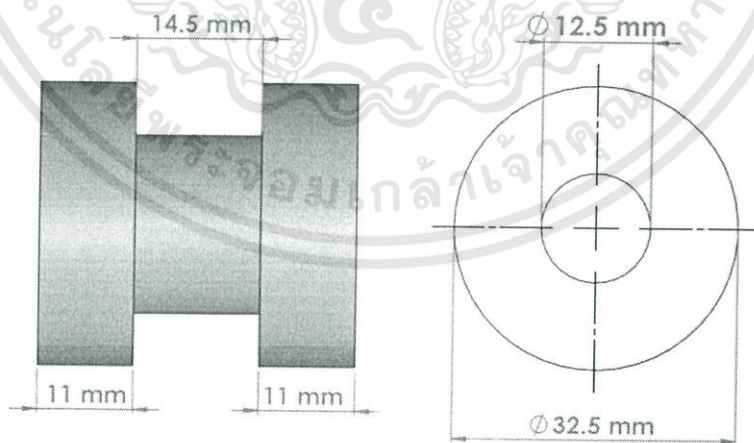
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.5 สายพานส่งกำลัง BANDO STS S8M 1200



รูปที่ 3.8 สายพานส่งกำลัง BANDO STS S8M 1200

3.1.1.6 ระบบดึงสายพานให้ตึง ออกแบบมาจากพลาสติกไนลอนสูง 36.5 มิลลิเมตร ร่องลึก 6 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 32.50 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางรูใน 12.5 มิลลิเมตร



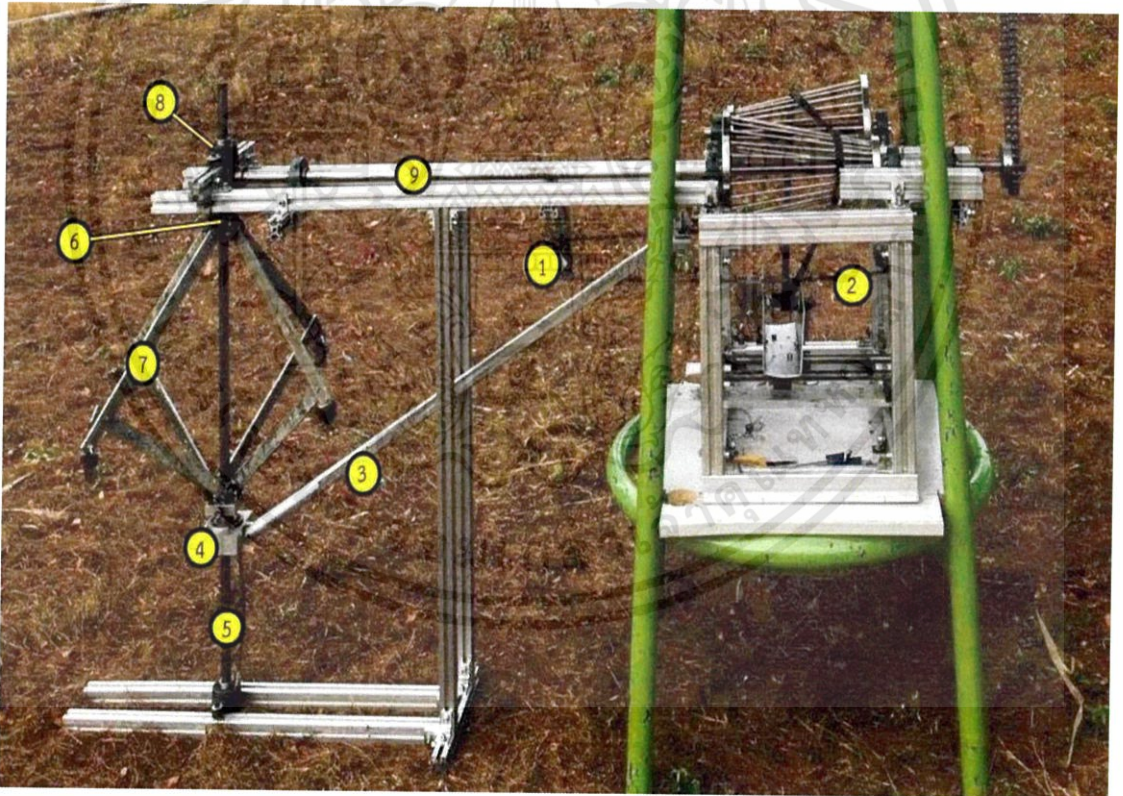
รูปที่ 3.9 ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบระบบดึงสายพานให้ตึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายระบบดิ่งสายพานให้ตั้ง

3.1.1.7 ชุดกลไกล้อเหยียงเปลี่ยนเกียร์อัตโนมัติ ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบขับเคลื่อนสายพาน



รูปที่ 3.11 ระบบขับเคลื่อนสายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 1 เฟืองโซ่ 2 ชั้น เส้นผ่านศูนย์กลาง 62.5 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตรขนาด
แกนเพลลา 8 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.12 เฟืองโซ่

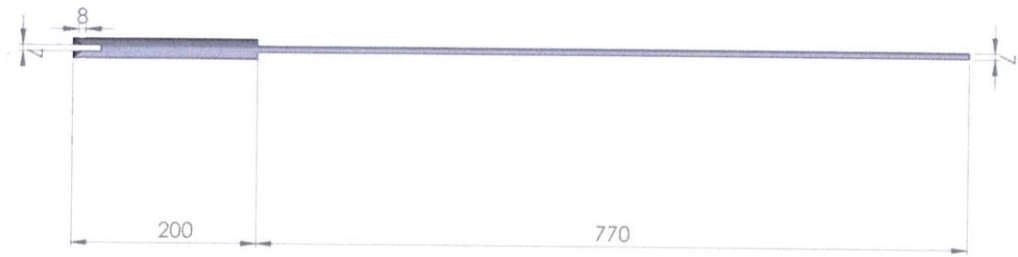
หมายเลข 2 โซ่เบอร์ 25 ยาว 1,500 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.13 โซ่เบอร์ 25

หมายเลข 3 Change Systems ทำจากอะลูมิเนียม ยาว 970 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

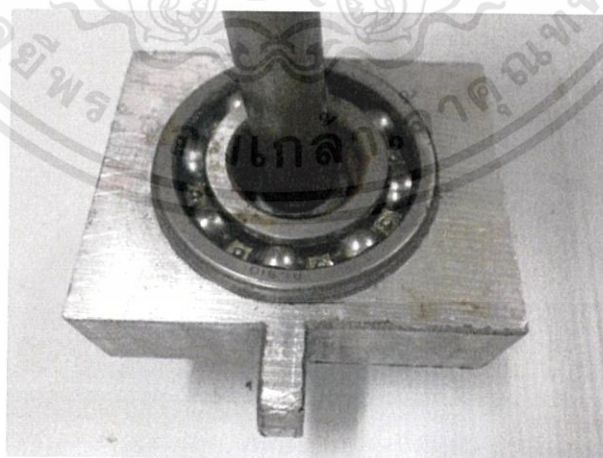


รูปที่ 3.14 ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบ Change Systems



รูปที่ 3.15 ภาพถ่ายของระบบ Change Systems

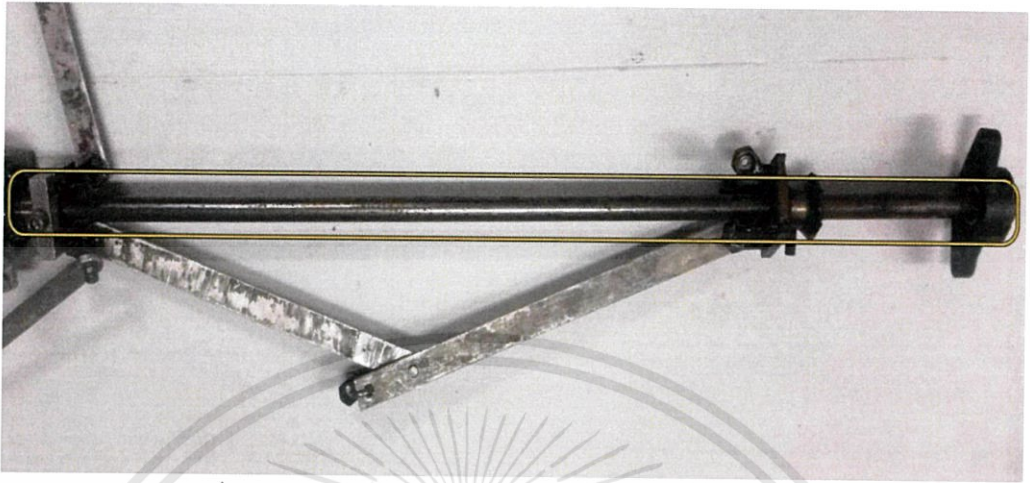
หมายเลข 4 ระบบขับเคลื่อน Change Systems ขึ้น-ลง ทำจากอะลูมิเนียมสีเหลี่ยมพื้นผ้า กว้าง 80 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร หนา 30 มิลลิเมตร ฝังด้วยตลับลูกปืนเม็ดกลมร่องลึกแถว เดียว (Single Row Deep Groove Ball Bearings) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก 70 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางรอบใน 32 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.16 ระบบขับเคลื่อน Change Systems ขึ้น-ลง

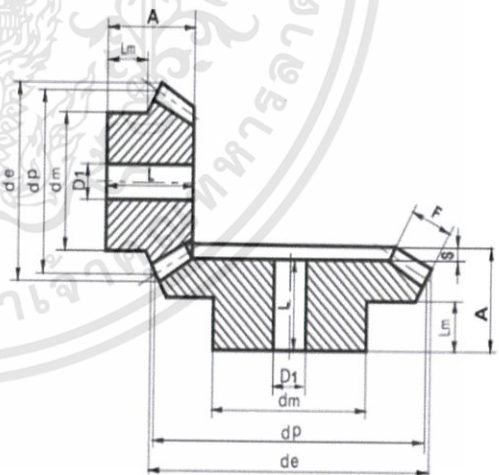
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 5 แกนเพลลา Fly Wheel ทำจากเหล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.17 แกนเพลลา Fly Wheel

หมายเลข 6 เฟืองดอกจอกขนาด 15ฟัน d_e 42 มิลลิเมตร, F 14 มิลลิเมตร, A 30 มิลลิเมตร, d_m 30 มิลลิเมตร, D_1 19 มิลลิเมตร, L_m 15 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.18 เฟืองดอกจอก

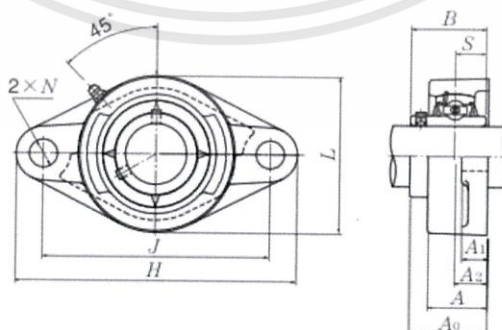
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 7 ข้อพับ Fly Wheel ทำจากอลูมิเนียม ยาว 670 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.19 ข้อพับ Fly Wheel

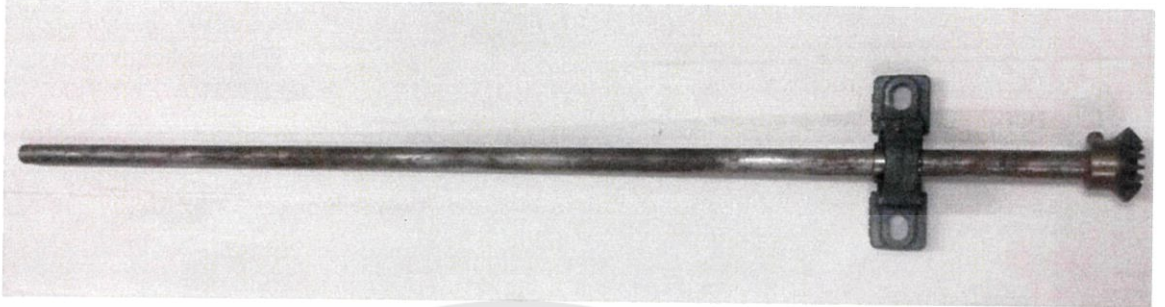
หมายเลข 8 ลูกปืนตุ๊กตา ชนิด UCFL 2 ตัว ขนาด 19 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.20 ลูกปืนตุ๊กตา ชนิด UCFL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 9 แกนเพลาส่งกำลังทำจากเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตร ยาว 940 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.21 แกนเพลาส่งกำลัง

3.1.1.9 คัปปลิ่ง (Coupling) ใช้สำหรับต่อความยาวของแกนกลางเกียร์ซีวีทีที่รวบคู่

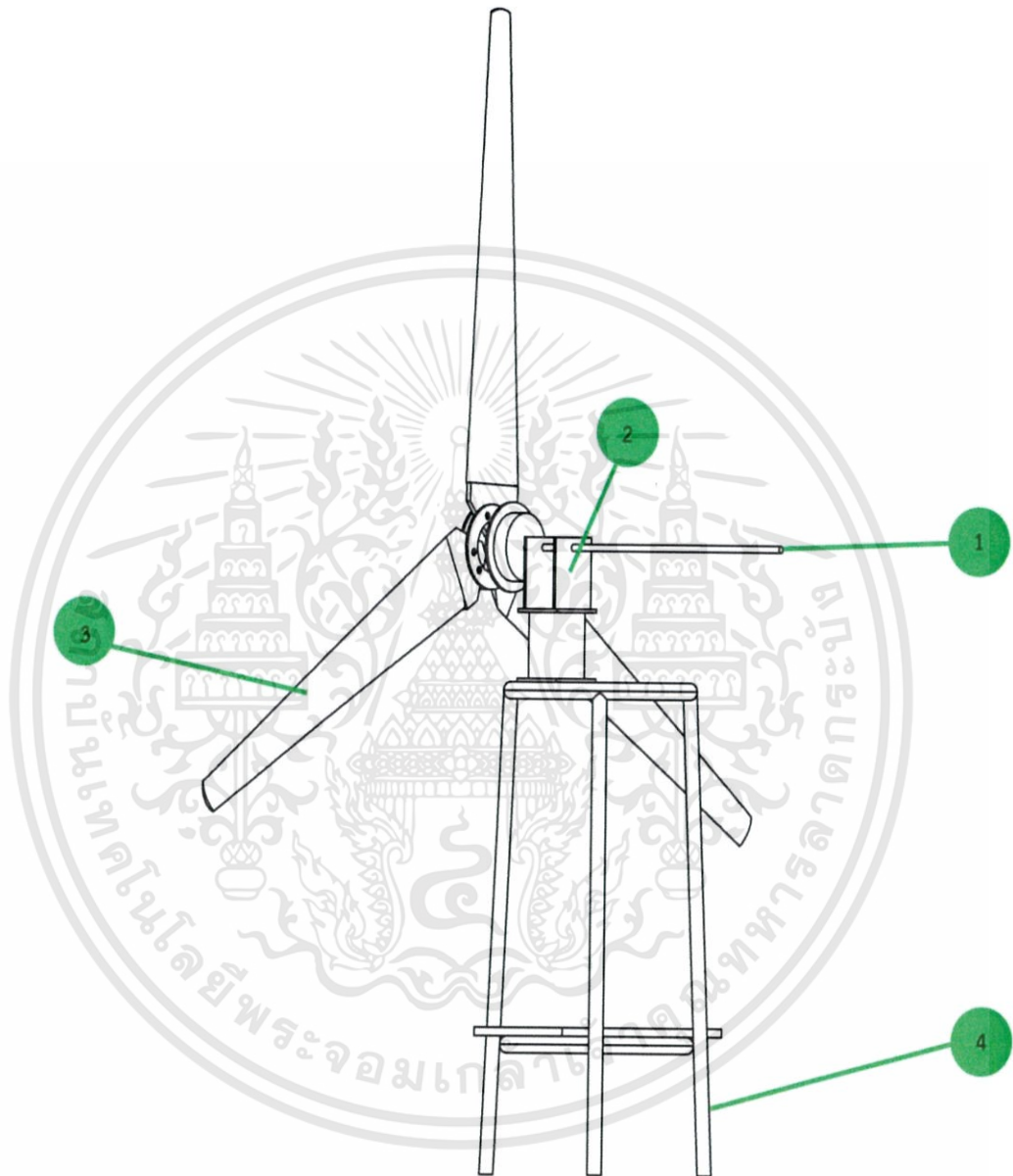


รูปที่ 3.22 คัปปลิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 กังหันลมแกนนอนแบบสามใบพัด

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของกังหันลมแกนนอนแบบสามใบพัด



รูปที่ 3.23 ระบบกังหันลม

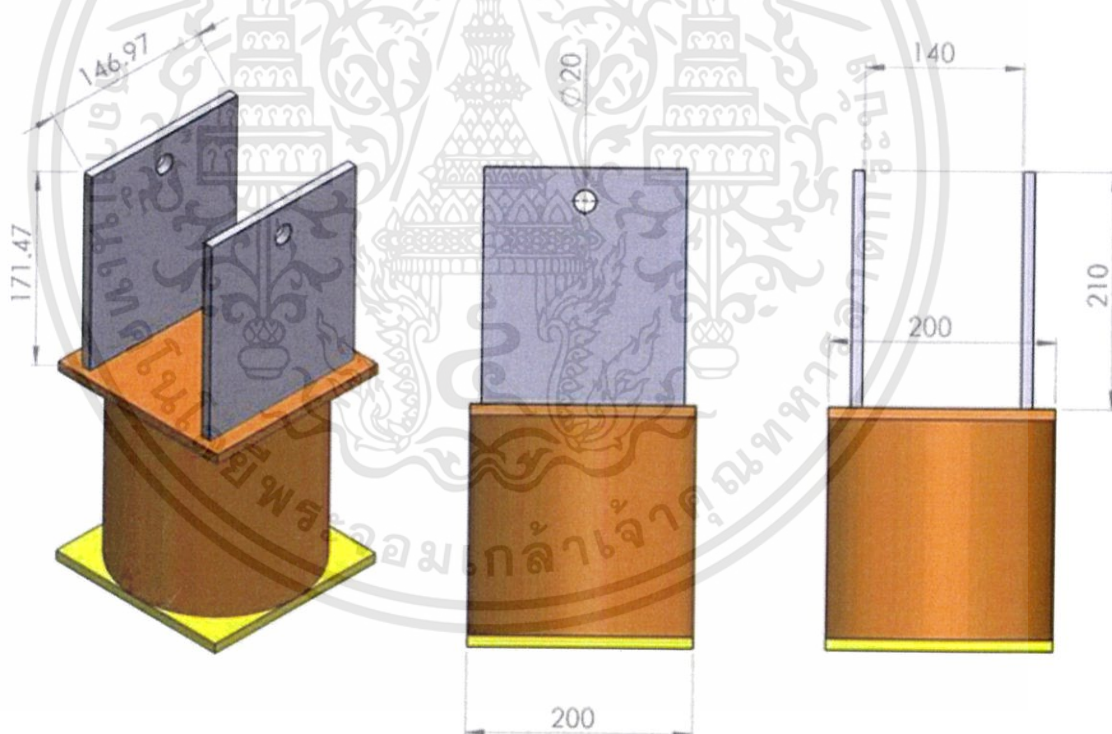
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนที่ 1 เพลาลเหล็กแกนหมุนกึ่งหัน ยาว 1,390 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.24 เพลาลเหล็กแกนหมุนกึ่งหัน

- ส่วนที่ 2 เสากังหันลมทำด้วยเหล็กกล้าหมุนรอบตัวเอง โดยมีความ สูง 425 มิลลิเมตร



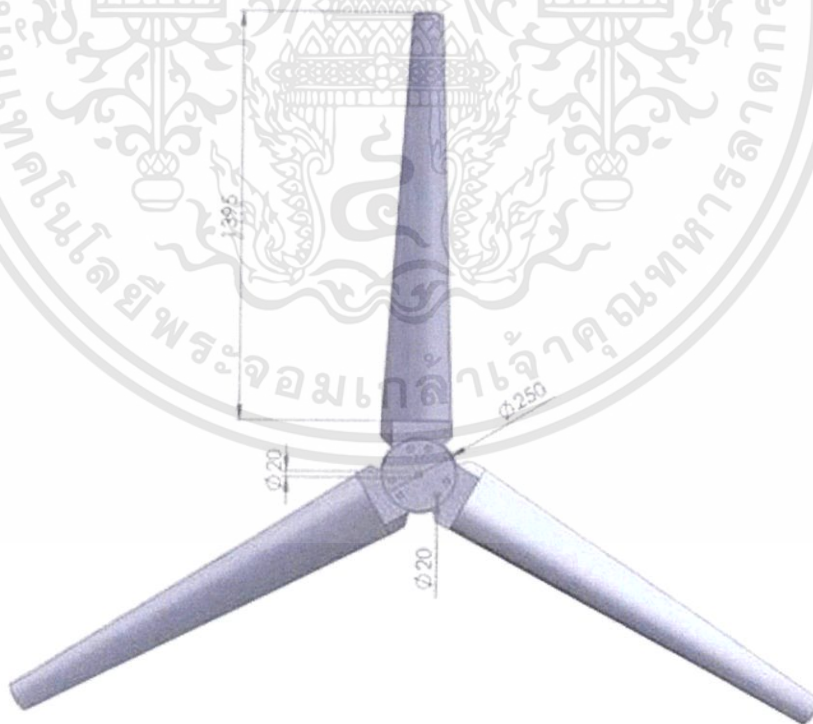
รูปที่ 3.25 ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบเสากังหันลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 ภาพถ่ายเสากังหันลม

ส่วนที่ 3 ไบพัดกังหันลมทำด้วยไบไฟเบอร์กลาส ยาว 1,395 มิลลิเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.27 ฉายรายละเอียดของการออกแบบใบกึ่งหินลม

รูปที่ 3.28 ภาพถ่ายใบพัดกึ่งหินลมใบไฟเบอร์กลาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนที่4 ฐานโครงเหล็กยึดกังหันและชุดเกียร์ซีวีที สูง 1,730 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 690 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.29 ฐานยึดกังหันและเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ชุดส่งกำลังจากกังหันลมมายังระบบเกียร์ชีวิตที่ ส่วนประกอบของชุดส่งกำลัง

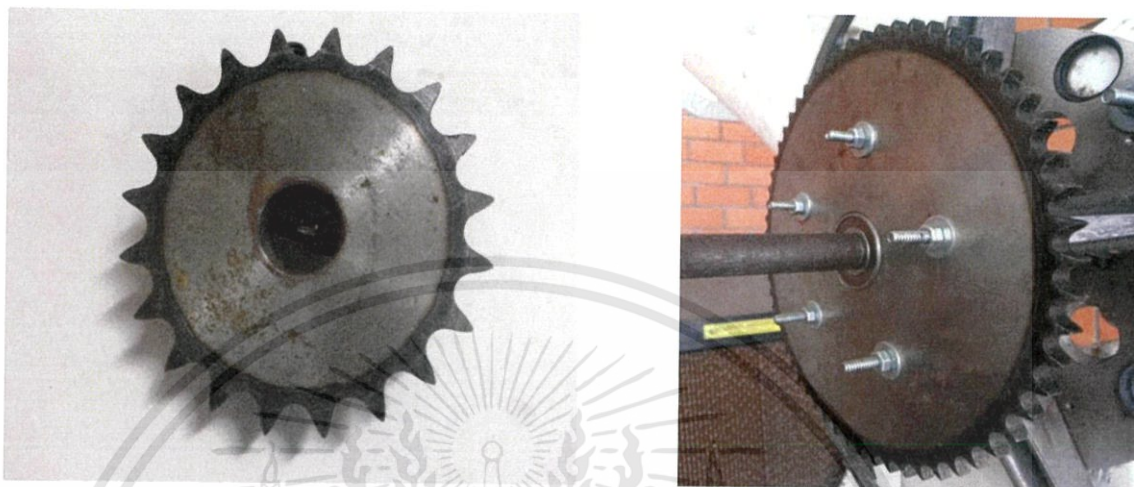


รูปที่ 3.30 ชุดส่งกำลังจากกังหันลมมายังระบบเกียร์ชีวิตที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดส่งกำลังประกอบไปด้วย

3.1.3.1 เฟืองโซ่ 2 ชั้น เส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร เส้นรอบวงรูปเพลลา 20 มิลลิเมตร
เส้นรอบวงรูปรีดเพลลา 5 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.31 เฟืองโซ่

3.1.3.2 โซ่เบอร์ 40 ยาว 2,000 มิลลิเมตร



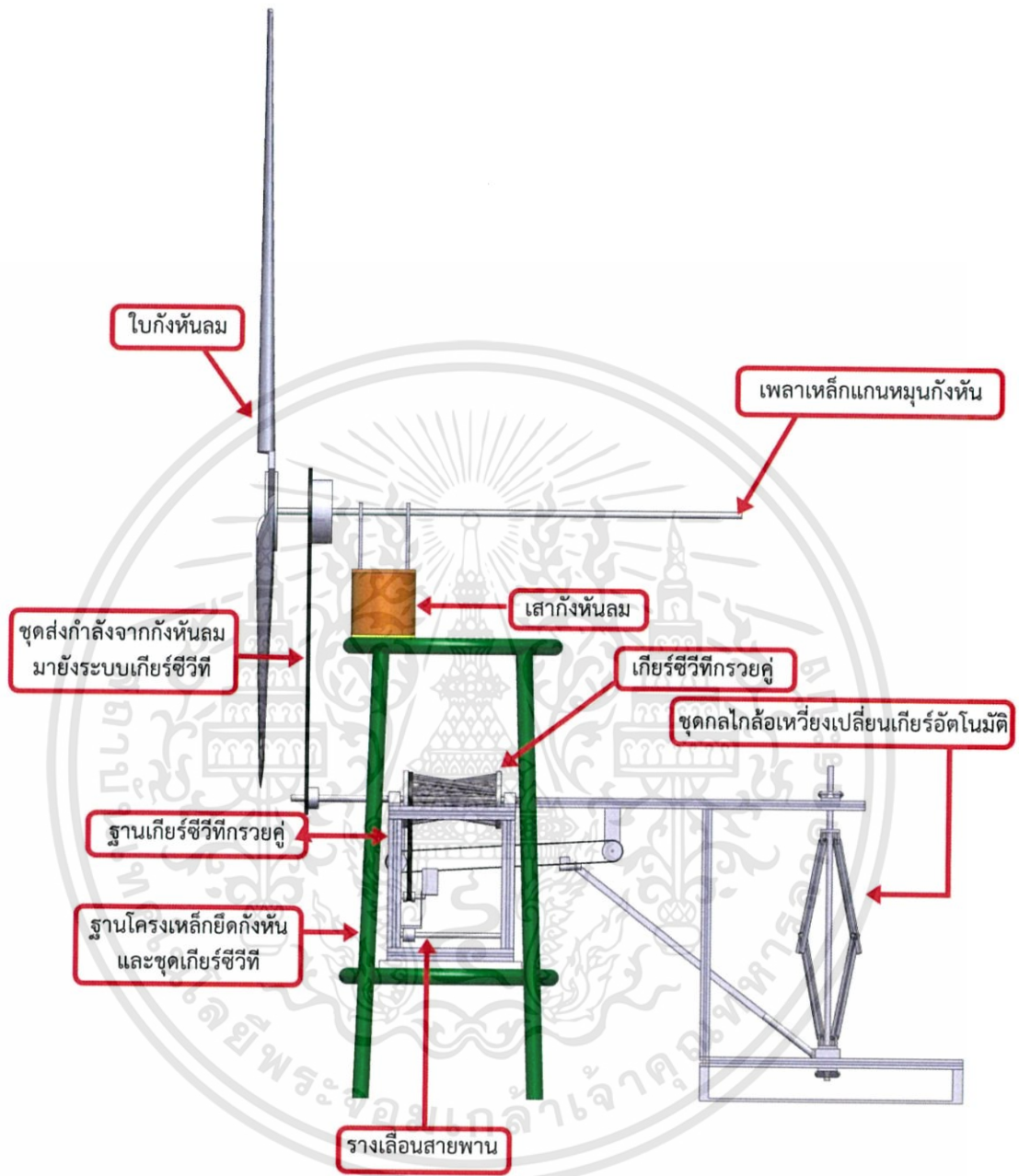
รูปที่ 3.32 โซ่เบอร์ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ระบบโดยรวม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 ภาพฉายรายละเอียดของการออกแบบระบบกังหันลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

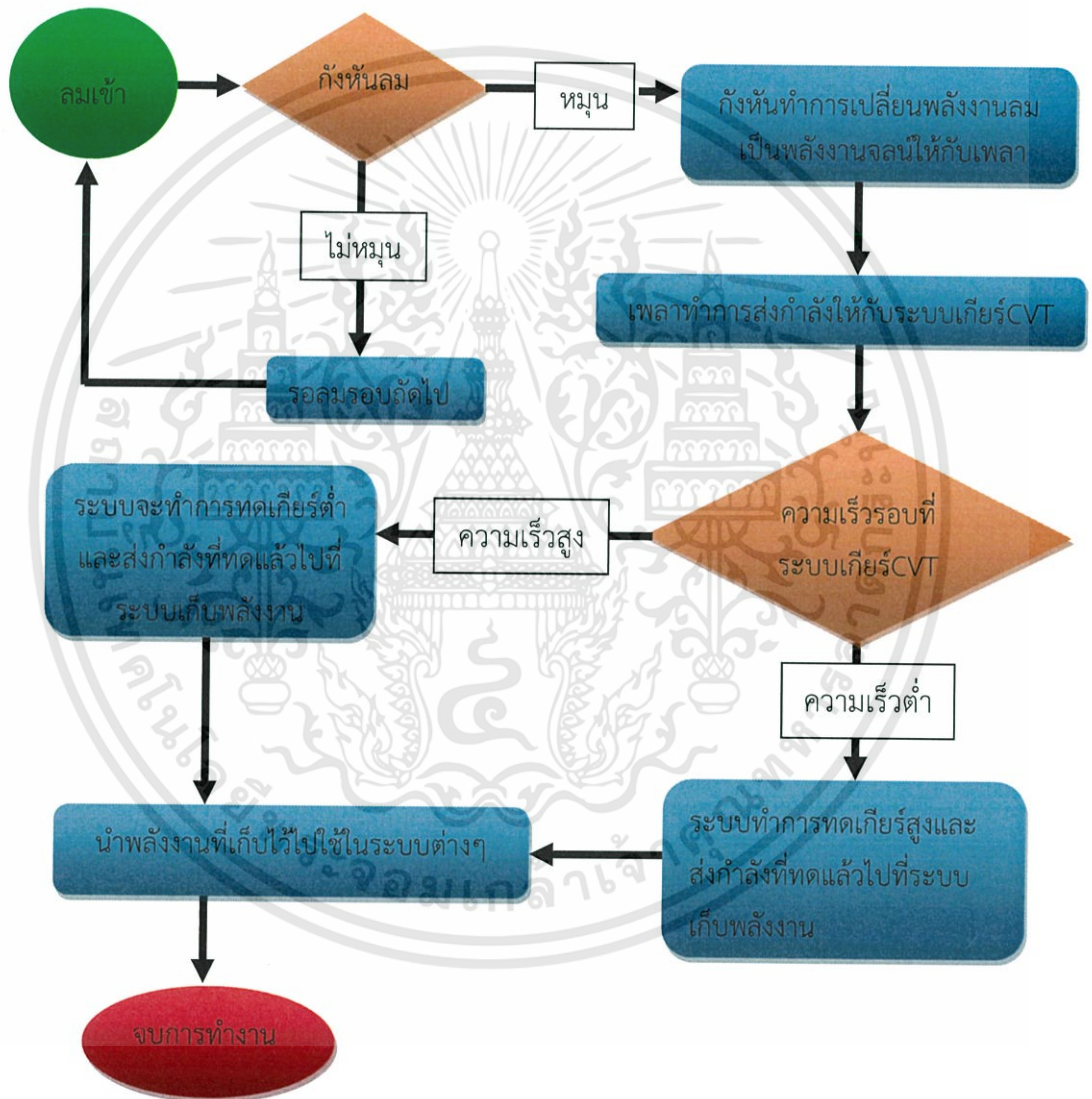


รูปที่ 3.34 ภาพถ่ายของระบบกังหันลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนและลักษณะการทำงาน

เมื่อมีลมพัดจะเป็นการเริ่มทำงานของระบบถ้าลมมากพอที่ทำให้กังหันลมหมุนพลังงานลมจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ผ่านชุดส่งกำลังมายังแกนของระบบซีวีทีที่กรวยคู่ในขณะที่อัตราเร็วลมต่ำระบบซีวีทีที่กรวยคู่จะทดรอบสูงเมื่ออัตราเร็วลมมากพอที่ทำให้ระบบขับเคลื่อนสายพานอัตโนมัติเริ่มทำงานและสายพานจะถูกเปลี่ยนเกียร์ให้ระบบซีวีทีที่กรวยคู่ทดรอบต่ำ โดยระบบขับเคลื่อนสายพานจะทำงานตามอัตราเร็วลม



รูปที่3.35 ไดอะแกรมอธิบายการทำงาน of ระบบ

3.3 การทดลอง

3.3.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

- ใช้เครื่องวัดลม ANEMOMETER ของบริษัท Prokit's Professional Tool Solution รุ่น MT-4615 ซึ่งสามารถวัดอัตราเร็วลมได้ในช่วง ตั้งแต่ 0.8 ถึง 40 เมตรต่อวินาทีซึ่งจะแสดงผลบนหน้าจอดิจิทัลโดยนำไปใช้ในการวัดอัตราเร็วลมในการทดลอง



รูปที่ 3.36 เครื่องวัดลม ANEMOMETER รุ่น MT-4615

- ใช้เซ็นเซอร์วัดแรงดึงรุ่น TR-7716 ช่วงในการวัด Max50Kg ใช้เพื่อวัดทอร์กเริ่มต้นของการทำให้เกิด การหมุนในสภาวะต่าง ๆ



รูปที่ 3.37 เซ็นเซอร์วัดแรงดึง รุ่น TR-7716

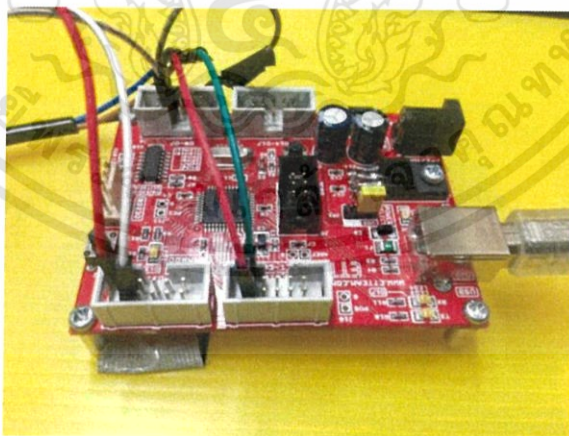
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อินฟราเรดเซ็นเซอร์สวิตช์ รุ่น E18-D80MK-N ใช้เพื่อวัดอัตราเร็วรอบการหมุน ซึ่งอัตราการเคลื่อนผ่านตัดแสงของซี่กรวยนำไปสู่การทราบค่า



รูปที่ 3.38 อินฟราเรดเซ็นเซอร์สวิตช์ รุ่น GP2Y0A21YK

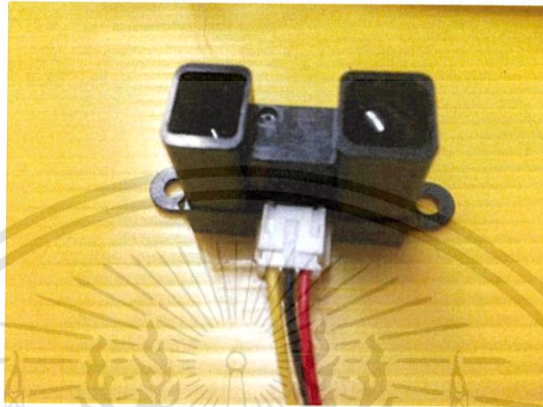
- คอนโทรลเลอร์ รุ่น ET-BASE AVR EASY32U4 ใช้ควบคุมการอ่านค่าจากหัววัดอินฟราเรด และทำการประมวลผลแสดงอัตราเร็วรอบ



รูปที่ 3.39 คอนโทรลเลอร์รุ่น ET-BASE AVR EASY32U4

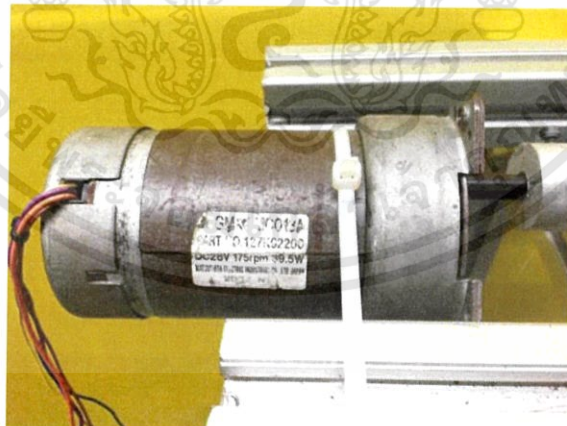
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เซ็นเซอร์ตรวจจับระยะทางแบบอินฟราเรด รุ่นSHARP GP2Y0A21YK ใช้วัดความสูงของตำแหน่งปลอก fly wheel ของแกนเพลลาซึ่งถูกดันขึ้นด้วยแรงเหวี่ยงของ fly wheel



รูปที่ 3.40 เซ็นเซอร์ตรวจจับระยะทางแบบอินฟราเรดรุ่นSHARP GP2Y0A21YK

- มอเตอร์DC28V 175rpm รุ่นGMXCO134 ใช้ขับเคลื่อนและควบคุมอัตราการหมุนของระบบเพื่อทดสอบตัวแปรต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ



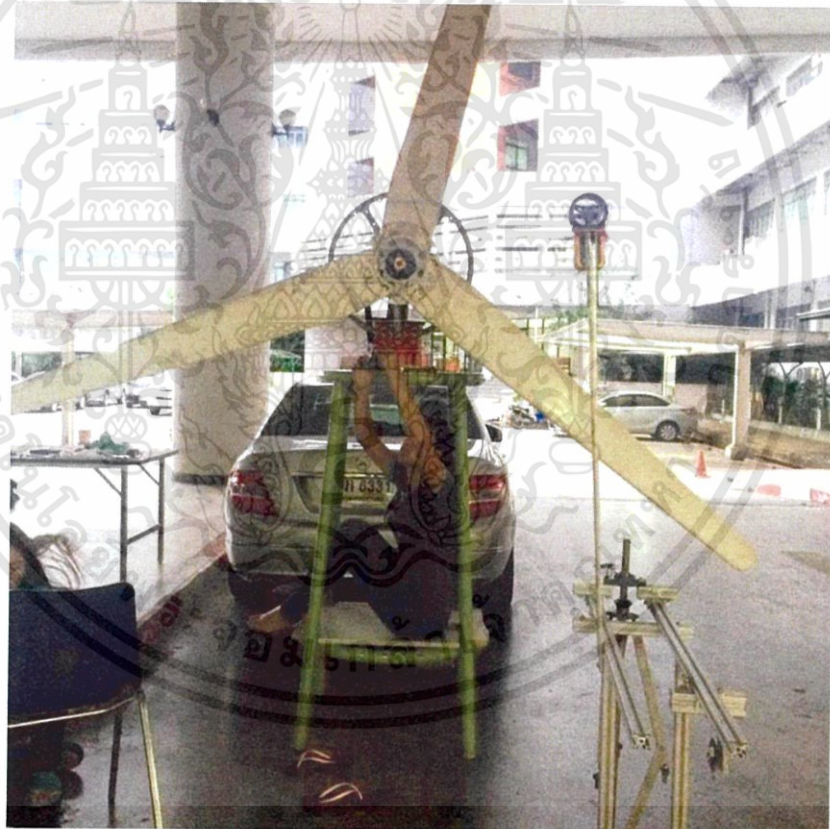
รูปที่ 3.41 มอเตอร์DC28V 175rpm รุ่นGMXCO134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 วิธีการทดลอง

3.3.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพของใบกังหันลมที่อัตราเร็วลมต่าง ๆ ในภาคสนาม ขณะยังไม่มีการต่อกับชุดส่งกำลัง

1. นำชุดกังหันมาวัดระยะที่จะใช้เซ็นเซอร์วัดแรงดึง ณ.ตำแหน่งปลายใบพัดเข้าไปจุดศูนย์กลาง 149 cm ตั้งเซ็นเซอร์วัดแรงและดึงให้ตั้งฉากกับพื้น
2. จัดเครื่องวัดลม ANEMOMETER ให้อยู่ตรงกับจุดกึ่งกลางของกังหัน
3. เมื่อกังหันเริ่มหมุนให้อ่านค่าแรงดึงกังหันจากเครื่องเซ็นเซอร์วัดแรงดึงและอ่านค่าอัตราเร็วลมจากเครื่องวัดลม ANEMOMETER
4. นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กและอัตราเร็วลม



รูปที่ 3.42 การทดสอบประสิทธิภาพของใบกังหันลมที่อัตราเร็วลมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 การทดสอบอัตราทดของชุดส่งกำลัง

1. ติดตั้งอินฟาเรดเซ็นเซอร์สวิตช์เพื่อใช้นับรอบการหมุนของกรวย
2. ใช้มือช่วยในการออกแรงการหมุนของใบพัดและนับจำนวนรอบของกรวยจากเซ็นเซอร์
3. คำนวณห้อัตราการทดของระบบโซ่ที่วัดได้เทียบกับการคำนวณ

3.3.2.3 การทดสอบประสิทธิภาพอัตราทดของระบบเกียร์ซีวีทีกรวยคู่

1. ติดตั้งมอเตอร์ควบคุมรอบของการหมุนและยึดอินฟาเรดเซ็นเซอร์สวิตช์เพื่อใช้วัดอัตราเร็วและนับรอบการหมุนของ CVT กรวยคู่ทั้ง 2 ด้าน
 2. ทำการเปลี่ยนระยะสายพานไปที่ละ 3 เซนติเมตร โดยเริ่มจากตำแหน่ง 0 คือตำแหน่งเริ่มต้นและทำการปรับไปยังตำแหน่ง 3,6,9,12,15,18,21,24 และ 27 เซนติเมตร โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการบันทึกการหมุนของ CVT กรวยคู่ทั้ง 2 ด้าน
 3. นำข้อมูลรอบการหมุนที่ตำแหน่งสายพานต่างๆ มีค่านวนห้อัตราการทดของ CVT กรวยคู่ที่ตำแหน่งสายพานต่าง ๆ ที่วัดได้จริงและทำการเทียบค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่คำนวณได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนเท่าใด
- หมายเหตุ จากการเก็บผลการทดลองภาคสนามเนื่องจากไม่สามารถควบคุมอัตราเร็วลมได้ทำให้การเก็บผลการทดลองควบคุมได้ยาก



รูปที่ 3.43 การทดสอบประสิทธิภาพอัตราทดของระบบเกียร์ซีวีทีกรวยคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.4 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของ Fly Wheel เทียบกับอัตราเร็วรอบ

1. ติดตั้งอินฟาเรดเซ็นเซอร์สวิตช์เพื่อใช้นับรอบการหมุนของ Fly Wheel
2. ติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับระยะทางแบบอินฟราเรดเพื่อวัดความสูงของ Fly Wheel
3. วัดค่าความสูงของ Fly Wheel ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

3.3.2.5 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งสายพานเทียบกับความสูงของ Fly Wheel

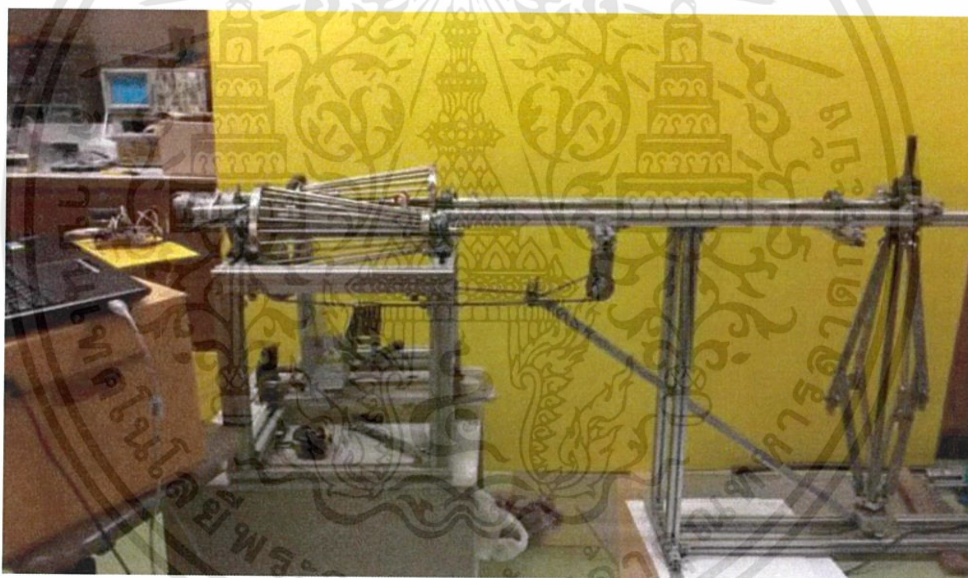
1. ทำการยกเปลี่ยนระยะปลอก Fly Wheel ไปทีละ 3 เซนติเมตร โดยเริ่มจากตำแหน่ง 0 คือตำแหน่งเริ่มต้นและทำการปรับไปยังตำแหน่ง 3,6,9,12,15,18,21,24 และ 27 เซนติเมตร
2. วัดตำแหน่งการเลื่อนไปตามแนวแกนกรวยคู่ของสายพานที่ความสูงต่าง ๆ ของ Fly wheel



รูปที่ 3.44 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งสายพานเทียบกับความสูงของ Fly

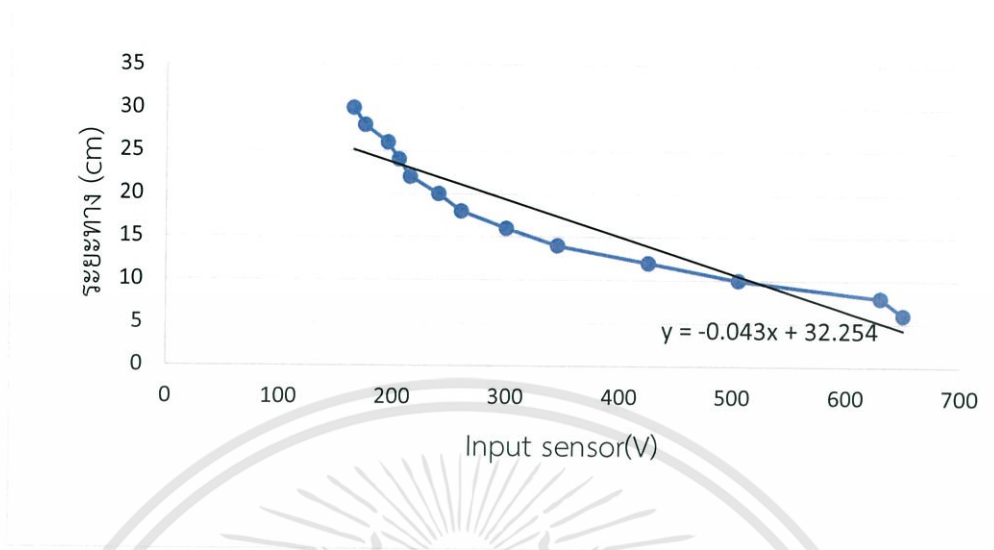
3.3.2.6 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งสายพานกับความเร็วรอบ

1. ติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อวัดตำแหน่งของส่วนประกอบการเลื่อนสายพาน
2. ทำการ calibrate เซ็นเซอร์ตำแหน่ง เพื่อให้แสดงค่าตำแหน่งสายพานเป็นเซนติเมตรแสดงดังรูปที่ 3.42
3. ต่อมอเตอร์ DC เข้ากรวยซีวีที่ด้าน input เพื่อจำลองการหมุนของใบพัด
4. ปรับเพิ่มอัตราเร็วรอบของมอเตอร์ DC เพื่อหาอัตราเร็วรอบที่ระบบทดเกียร์อัตโนมัติเริ่มยกตัวทำงาน
5. วัดความเร็รรอบของกรวยด้าน Input ที่ทำการต่อเข้ากับระบบทดเกียร์อัตโนมัติ พร้อมกับ การวัดตำแหน่งการเลื่อนของสายพานที่อัตราเร็วรอบต่าง ๆ
6. หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วรอบ ด้าน Input กับตำแหน่งการเลื่อนของสายพานจากระบบเกียร์อัตโนมัติ

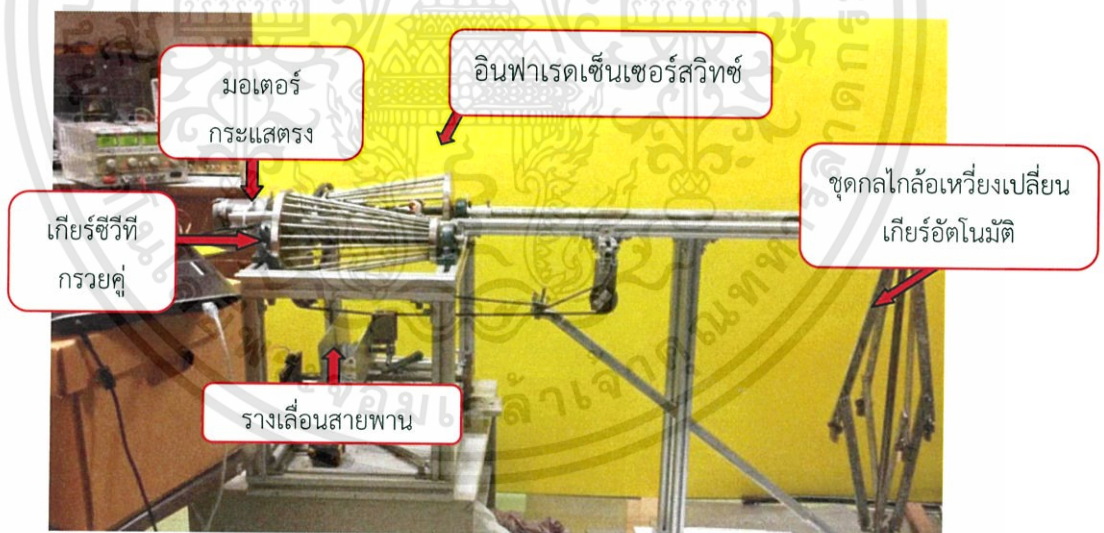


รูปที่ 3.45 การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งสายพานกับความเร็รรอบ

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง(cm)กับsensor



รูปที่ 3.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง(cm) กับ Input sensor(V) หน่วย



รูปที่ 3.47 ทดลองวัดอัตราเร็วเริ่มทำงานของระบบทดเกียร์แบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.7 การทดสอบวัดค่าทอร์กทอร์กที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ของระบบต่าง ๆ

3.3.2.7.1 วัดค่าทอร์กที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ของใบกังหันลม โดยลำพังยังไม่ต่อชุดโซ่ส่งกำลัง

3.3.2.7.2 วัดค่าทอร์กที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ของใบกังหันลม และโซ่

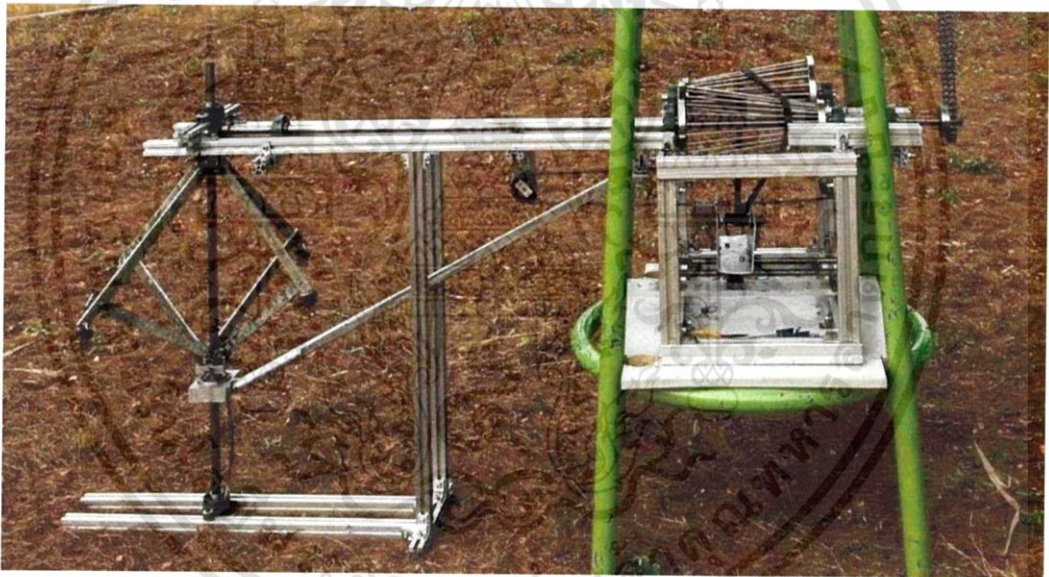
3.3.2.7.3 วัดค่าทอร์กที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ของชุดซีวีทีกรวยคู่โดยลำพัง

3.3.2.7.4 วัดค่าทอร์กที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ของชุดซีวีทีกรวยคู่และระบบเปลี่ยนอัตราทดแบบอัตโนมัติ

3.3.2.7.5 วัดค่าทอร์กที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ของใบกังหันลม โซ่ และชุดซีวีทีกรวยคู่

3.3.2.7.6 ทดสอบปัจจัยด้านแรงดึงของสายพานที่มีผลกับทอร์กที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ชุดซีวีทีกรวยคู่

3.3.2.7.7 วัดค่าทอร์กที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ของใบกังหันลม โซ่ ชุดซีวีทีกรวยคู่ และระบบเปลี่ยนอัตราทดแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3.48 การทดสอบวัดค่าทอร์กที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ของระบบต่าง ๆ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

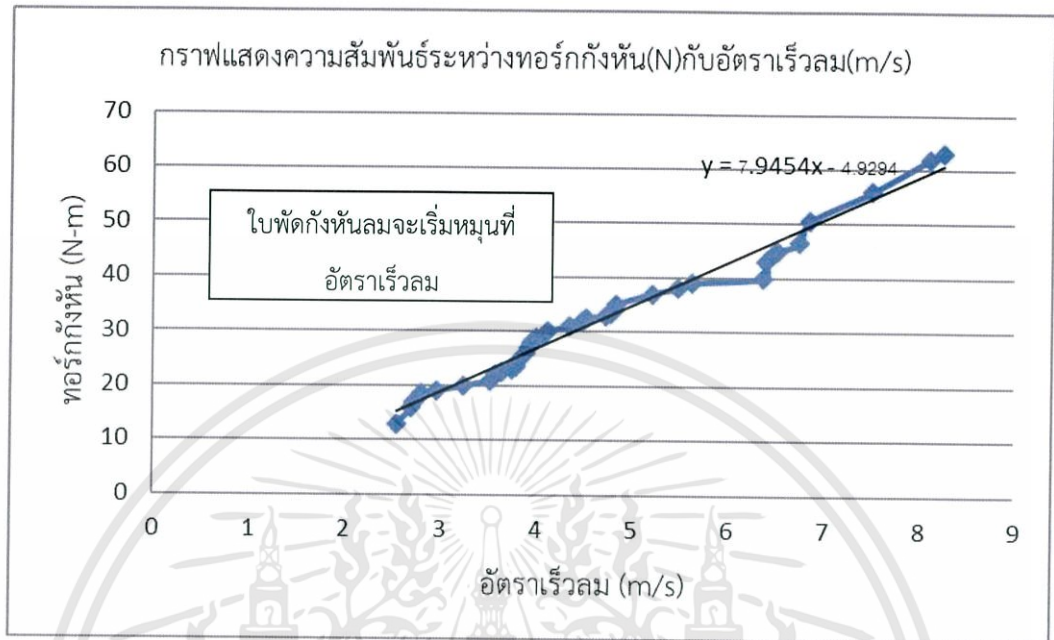
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ แบ่งออกเป็น 7 ตอน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ค่าทอร์กที่กระทำต่อกังหันลมที่อัตราเร็วลมค่าต่าง ๆ

ตารางที่ 4.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกังหัน(N-m)กับอัตราเร็วลม(m/s)

ทอร์กกังหัน(N-m)	อัตราเร็วลม(m/s)	ทอร์กกังหัน(N-m)	อัตราเร็วลม(m/s)
13.00	2.54	29.50	4.08
16.00	2.69	30.00	4.12
17.00	2.72	31.00	4.35
17.50	2.75	32.00	4.48
18.50	2.80	32.50	4.52
19.00	2.95	33.00	4.72
20.00	3.24	34.00	4.77
21.00	3.52	35.00	4.81
22.00	3.57	37.00	4.83
22.50	3.64	38.00	5.20
23.00	3.74	39.00	5.47
23.50	3.78	40.00	5.62
24.00	3.79	43.00	6.37
25.00	3.82	44.50	6.40
26.00	3.89	46.50	6.48
27.00	3.92	46.50	6.52
27.50	3.94	50.50	6.85
28.00	3.95	56.00	7.50
28.50	3.99	62.00	8.10
29.00	4.00	63.00	8.25

เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกัณฑ์(N-m) กับ อัตราเร็วลม(m/s) แสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกัณฑ์(N-m) กับ อัตราเร็วลม(m/s)

จากกราฟพบว่าใบพัดกัณฑ์ลมจะเริ่มหมุนที่อัตราเร็วลม 2.54 เมตร/วินาที และทอร์กของกัณฑ์จะเพิ่มขึ้นตามอัตราเร็วลม ตามแนวโน้มของสมการเส้นตรง $y = 7.0027x - 1.8711$

4.2 อัตราทดของชุดส่งกำลัง

4.2.1 อัตราการทดรอบของระบบโซ่ส่งกำลัง

4.2.1.1 ตารางแสดงค่าอัตราการทดรอบของระบบโซ่ส่งกำลังจากการคำนวณ

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าอัตราการทดรอบของระบบโซ่ส่งกำลังจากการคำนวณ

เฟืองด้านใบกัณฑ์ลม (ฟัน)	เฟืองด้านกรวย CVT ด้าน Input(ฟัน)	อัตราการทดระหว่าง CVT กับกัณฑ์ลม
60	20	3 : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.2 ตารางแสดงค่าอัตราการทรอบของระบบโซ่ส่งกำลังจากการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าอัตราการทรอบของระบบโซ่ส่งกำลังจากการทดลอง

รอบกัณฑ์	รอบของกรวยซีวีที ด้าน Input(รอบ)	อัตราทด(เท่า)
1	2.98	2.98
2	6.02	3.01
3	9.21	3.07
4	11.98	3.98
5	15.60	4.01
	ค่าเฉลี่ย	3.41

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพอัตราการทดของระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการเลื่อนของสายพานกับอัตราทด

4.3.1.1 ตารางแสดงค่าอัตราทดของเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่จากการการคำนวณโดยใช้sensor

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าอัตราทดของเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่จากการคำนวณโดยใช้sensor

ที่ตำแหน่งสายพาน (cm)	Input (รอบ/นาที)	Output (รอบ/นาที)	Ratio
0	24.0	51.0	0.4
3	27.0	48.0	0.5
6	29.5	45.0	0.6
9	33.0	42.0	0.7
12	36.0	39.0	0.9
15	39.0	35.7	1.0
18	42.0	33.0	1.2
21	45.0	30.0	1.5
24	48.0	26.7	1.7
27	51.5	23.5	2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)กับอัตราการทดจากการคำนวณ แสดงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)กับอัตราการทด

4.3.1.2 อัตราทดของเกียร์ซีวีทีจากการทดลอง ที่ตำแหน่งสายพาน 0(cm) - 27(cm)

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงอัตราทดระบบเกียร์ซีวีทีที่รวมคู่ที่ระยะสายพาน 0 cm

ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน 0(cm)			
Input (รอบ/นาที)	Output (รอบ/นาที)	Ratio	Average
0.71	0.46	0.6	0.5
0.75	0.46	0.6	
0.79	0.50	0.6	
0.92	0.54	0.5	
1.00	0.58	0.5	
1.08	0.63	0.5	
1.17	0.67	0.5	
1.29	0.75	0.5	
1.42	0.83	0.5	
1.58	0.92	0.5	
1.71	1.00	0.5	
1.83	1.04	0.5	
1.92	1.08	0.5	
2.00	1.12	0.5	
2.13	1.21	0.5	
2.25	1.25	0.5	
2.38	1.33	0.5	
2.50	1.42	0.5	
2.67	1.46	0.5	
2.79	1.54	0.5	
2.88	1.58	0.5	
3.00	1.67	0.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงอัตราการผลิตระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 3 cm

ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน 3 (cm)			
Input (รอบ/นาที)	Output (รอบ/นาที)	Ratio	Average
2.38	1.58	0.6	0.6
2.5	1.63	0.6	
2.67	1.75	0.6	
2.79	1.83	0.6	
2.92	1.92	0.6	
3.00	1.96	0.6	
3.08	2.00	0.6	
3.17	2.08	0.6	
3.29	2.13	0.6	
3.38	2.17	0.6	
3.46	2.25	0.6	
3.58	2.29	0.6	
3.71	2.38	0.6	
3.83	2.46	0.6	
3.96	2.54	0.6	
4.08	2.63	0.6	
4.25	2.71	0.6	
4.38	2.79	0.6	
4.50	2.92	0.6	
4.63	2.96	0.6	
4.75	3.04	0.6	
4.88	3.13	0.6	
5.00	3.21	0.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงอัตราการทรบระบบเกียร์ซีวีทีที่รยคู่ที่ระยะสายพาน 6 cm

ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน 6(cm)			
Input (รอบ/นาทื)	Output (รอบ/นาทื)	Ratio	Average
4.04	2.96	0.7	0.7
4.21	3.08	0.7	
4.33	3.17	0.7	
4.46	3.25	0.7	
4.58	3.33	0.7	
4.71	3.46	0.7	
4.83	3.54	0.7	
4.92	3.58	0.7	
4.96	3.63	0.7	
5.04	3.67	0.7	
5.13	3.75	0.7	
5.25	3.83	0.7	
5.38	3.92	0.7	
5.46	4.00	0.7	
5.54	4.04	0.7	
5.63	4.13	0.7	
5.67	4.13	0.7	
5.67	4.17	0.7	
5.67	4.17	0.7	
5.67	4.17	0.7	
5.71	4.17	0.7	
5.71	4.17	0.7	
5.71	4.17	0.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงอัตราการผลิตระบบเกียร์ซีวีทีที่รวมคู่ที่ระยะสายพาน 9 cm

ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน 9(cm)			
Input (รอบ/นาที)	Output (รอบ/นาที)	Ratio	Average
2.58	2.08	0.8	0.8
2.67	2.17	0.8	
2.79	2.25	0.8	
2.92	2.38	0.8	
3.08	2.50	0.8	
3.21	2.63	0.8	
3.33	2.71	0.8	
3.38	2.79	0.8	
3.42	2.79	0.8	
3.46	2.83	0.8	
3.50	2.88	0.8	
3.58	2.92	0.8	
3.67	3.00	0.8	
3.79	3.08	0.8	
3.88	3.17	0.8	
3.96	3.25	0.8	
4.08	3.33	0.8	
4.21	3.46	0.8	
4.33	3.58	0.8	
4.50	3.71	0.8	
4.63	3.83	0.8	
4.75	3.92	0.8	
4.83	4.00	0.8	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงอัตราการทำงานระบบเกียรติวีวีทีกรวยคู่ที่ระยะสายพาน 12 cm

ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน 12(cm)			
Input (รอบ/นาที)	Output (รอบ/นาที)	Ratio	Average
0.37	0.37	1.0	1.0
0.54	0.54	1.0	
0.71	0.71	1.0	
0.83	0.83	1.0	
0.96	0.96	1.0	
1.12	1.12	1.0	
1.29	1.29	1.0	
1.46	1.5	1.0	
1.67	1.67	1.0	
1.83	1.83	1.0	
2.00	2.00	1.0	
2.17	2.21	1.0	
2.38	2.38	1.0	
2.54	2.54	1.0	
2.67	2.67	1.0	
2.79	2.83	1.0	
2.96	2.96	1.0	
3.13	3.17	1.0	
3.33	3.33	1.0	
3.54	3.54	1.0	
1.01	3.75	1.0	
3.92	3.92	1.0	
4.08	4.08	1.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงอัตราการทรบระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 15 cm

ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน 15(cm)			
Input (รอบ/นาที)	Output (รอบ/นาที)	Ratio	Average
0.33	0.33	1.0	1.1
0.46	0.50	1.0	
0.58	0.63	1.0	
0.71	0.79	1.1	
0.88	0.96	1.0	
1.00	1.08	1.0	
1.12	1.25	1.1	
1.25	1.37	1.0	
1.37	1.54	1.1	
1.54	1.71	1.1	
1.67	1.88	1.1	
1.79	2.00	1.1	
1.96	2.17	1.1	
2.08	2.29	1.1	
2.21	2.46	1.1	
2.33	2.58	1.1	
2.46	2.75	1.1	
2.58	2.92	1.1	
2.79	3.08	1.1	
2.96	3.33	1.1	
3.17	3.54	1.1	
3.33	3.75	1.1	
3.46	3.92	1.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงอัตราการทดระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 18 cm

ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน 18(cm)			
Input (รอบ/นาที)	Output (รอบ/นาที)	Ratio	Average
0.17	0.25	1.4	1.2
0.33	0.42	1.2	
0.46	0.63	1.3	
0.63	0.83	1.3	
0.79	1.08	1.3	
1.00	1.29	1.2	
1.12	1.50	1.3	
1.29	1.71	1.3	
1.46	1.88	1.2	
1.63	2.08	1.2	
1.79	2.33	1.3	
1.92	2.54	1.3	
2.08	2.71	1.3	
2.21	2.92	1.3	
2.38	3.08	1.2	
2.54	3.29	1.2	
2.67	3.50	1.3	
2.75	3.58	1.3	
2.83	3.67	1.2	
2.88	3.75	1.3	
2.92	3.79	1.2	
2.96	3.88	1.3	
3.08	4.00	1.2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงอัตราการทดระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 21 cm

ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน 21(cm)			
Input (รอบ/นาที)	Output (รอบ/นาที)	Ratio	Average
0.92	1.33	1.4	1.5
1.04	1.50	1.4	
1.12	1.67	1.4	
1.21	1.79	1.5	
1.29	1.96	1.5	
1.42	2.08	1.5	
1.54	2.25	1.5	
1.67	2.46	1.5	
1.83	2.71	1.4	
1.96	2.92	1.5	
2.08	3.08	1.5	
2.17	3.25	1.5	
2.29	3.46	1.5	
2.46	3.67	1.5	
2.58	3.88	1.5	
2.75	4.08	1.5	
2.88	4.33	1.5	
3.00	4.54	1.5	
3.13	4.75	1.5	
3.25	4.92	1.5	
3.42	5.17	1.5	
3.58	5.42	1.5	
3.75	5.67	1.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงอัตราการทรบระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 24 cm

ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน 24(cm)			
Input (รอบ/นาที)	Output (รอบ/นาที)	Ratio	Average
0.25	0.37	1.4	1.7
0.33	0.58	1.7	
0.46	0.79	1.7	
0.63	1.00	1.5	
0.75	1.25	1.6	
0.88	1.5	1.7	
0.96	1.67	1.7	
1.08	1.83	1.6	
1.17	2.00	1.7	
1.25	2.21	1.7	
1.37	2.38	1.7	
1.46	2.5	1.7	
1.54	2.67	1.7	
1.67	2.88	1.7	
1.79	3.08	1.7	
1.88	3.29	1.7	
2.00	3.46	1.7	
2.08	3.63	1.7	
2.17	3.79	1.7	
2.25	3.96	1.7	
2.38	4.17	1.7	
2.50	4.38	1.7	
2.63	4.58	1.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงอัตราการทรบระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพาน 27 cm

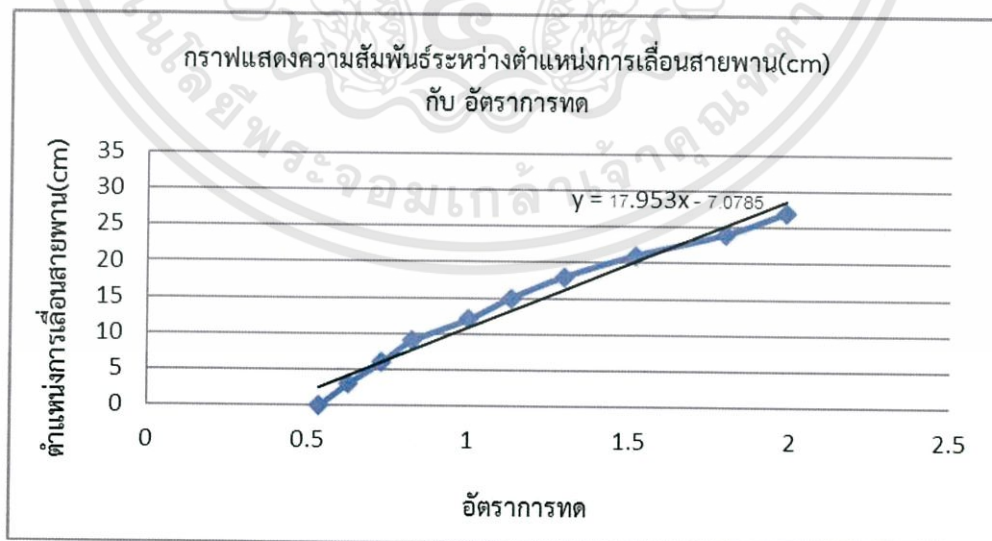
ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน 27(cm)			
Input (รอบ/นาที)	Output (รอบ/นาที)	Ratio	Average
0.12	0.25	2.0	1.9
0.21	0.37	1.7	
0.29	0.54	1.8	
0.37	0.71	1.9	
0.5	0.92	1.8	
0.58	1.17	2.0	
0.75	1.42	1.8	
0.83	1.67	2.0	
0.96	1.88	1.9	
1.04	2	1.9	
1.08	2.13	1.9	
1.17	2.29	1.9	
1.25	2.46	1.9	
1.37	2.67	1.9	
1.5	2.92	1.9	
1.63	3.21	1.9	
1.75	3.46	1.9	
1.83	3.67	2.0	
1.96	3.83	1.9	
2	3.96	1.9	
2.08	4.13	1.9	
2.17	4.29	1.9	
2.25	4.5	2.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงอัตราการทรบระบบเกียร์ซีวีทีที่กรวยคู่ที่ระยะสายพานต่างๆ
จากการทดลอง

ระยะของสายพาน (cm)	ค่าเฉลี่ยของอัตราการทรบ ของระบบ(Input/Output)
0	0.53
3	0.63
6	0.73
9	0.83
12	1.00
15	1.13
18	1.29
21	1.52
24	1.80
27	1.98

เขียนกราฟรูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm) กับ
อัตราการทรบจากการทดลอง แสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทรบกับตำแหน่งสายพาน(cm)จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ความสูงของปลอก Fly Wheel(cm)เทียบกับอัตราเร็วรอบ(rpm)

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของปลอก Fly Wheel(cm) เทียบกับอัตราเร็วรอบ(rpm)

อัตราเร็วรอบ(rpm)	ความสูงของปลอก Fly Wheel(cm)
8.82	7.48
8.86	7.51
8.95	7.59
8.95	7.59
9.03	7.66
9.08	7.70
9.08	7.71
9.12	7.74
9.12	7.74
9.16	7.78
9.21	7.82
9.25	7.86
9.29	7.89
9.38	7.97
9.42	8.01
9.46	8.04
9.46	8.04
9.46	8.04
9.55	8.12
9.55	8.12
9.55	8.12
9.55	8.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร็วรอบ(rpm)	ความสูงของปลอก Fly Wheel(cm)
9.64	8.19
9.64	8.19
9.64	8.19
9.64	8.19
9.64	8.19
9.64	8.19
9.64	8.19
9.64	8.19
9.64	8.19
9.64	8.19
9.64	8.19
9.64	8.19
9.64	8.19
9.64	8.19
9.68	8.23
9.68	8.23
9.68	8.23
9.68	8.23
9.68	8.23
9.68	8.23
9.68	8.23
9.68	8.23
9.72	8.27
9.72	8.27
9.72	8.27
9.72	8.27
9.72	8.27
9.72	8.27
9.72	8.27
9.72	8.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร็วรอบ(rpm)	ความสูงของปลอก Fly Wheel(cm)
9.85	8.38
9.85	8.38
9.85	8.38
9.85	8.38
9.85	8.38
9.85	8.38
9.85	8.38
9.85	8.38
9.85	8.38
9.85	8.38
9.85	8.38
9.85	8.38
9.85	8.38
9.85	8.38
9.89	8.42
9.89	8.42
10.28	8.76
10.50	8.95
10.54	8.99
10.80	9.21
12.26	10.49
14.15	12.14
14.28	12.26
15.61	13.42
16.09	13.84
16.64	14.32
17.38	14.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร็วรอบ(rpm)	ความสูงของปลอก Fly Wheel(cm)
17.72	15.27
18.62	16.05
19.31	16.66
20.04	17.29
20.17	17.41
20.99	18.13
21.25	18.35
21.63	18.69
21.80	18.83
21.98	18.99
22.19	19.18
22.32	19.29
22.36	19.32
22.49	19.44
22.79	19.70
22.79	19.70
23.01	19.89
23.14	20.01
23.18	20.04
23.27	20.12
23.31	20.16
23.35	20.19
23.35	20.19
23.34	20.19
23.40	20.23

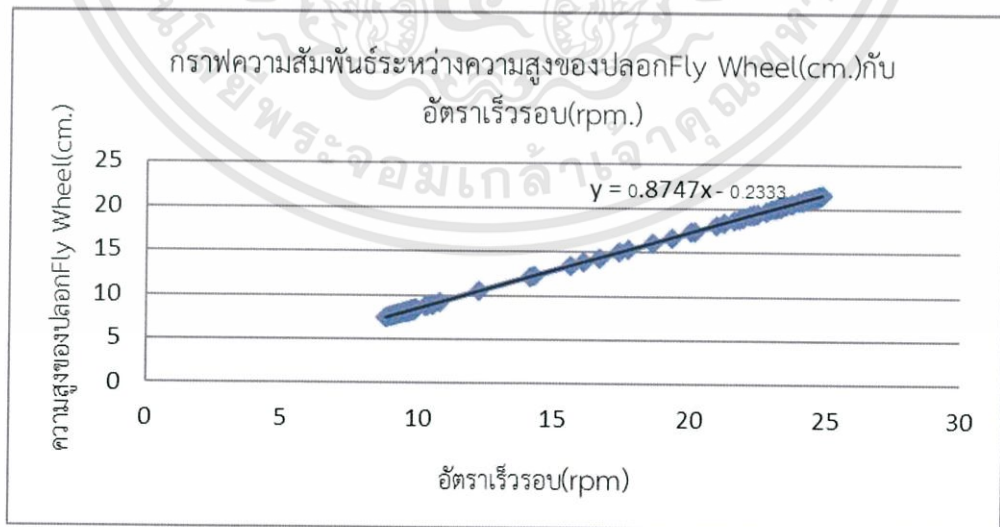
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร็วรอบ(rpm)	ความสูงของปลอก Fly Wheel(cm)
23.4	20.23
23.4	20.23
23.53	20.35
23.7	20.49
23.74	20.53
24.00	20.75
24.13	20.87
24.17	20.90
24.21	20.94
24.21	20.94
24.21	20.94
24.26	20.98
24.30	21.02
24.39	21.10
24.39	21.10
24.43	21.13
24.47	21.17
24.47	21.17
24.51	21.20
24.56	21.24
24.56	21.24
24.56	21.24
24.56	21.24
24.56	21.24
24.56	21.24
24.60	21.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร็วรอบ(rpm)	ความสูงของปลอก Fly Wheel(cm)
24.60	21.28
24.60	21.28
24.64	21.31
24.64	21.31
24.69	21.36
24.69	21.36
24.73	21.39
24.73	21.39
24.73	21.39
24.77	21.43
24.77	21.43

เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของปลอก Fly Wheel(cm) กับอัตราเร็วรอบ(rpm) จากการทดลอง แสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของปลอก Fly Wheel(cm) กับอัตราเร็วรอบ(rpm)

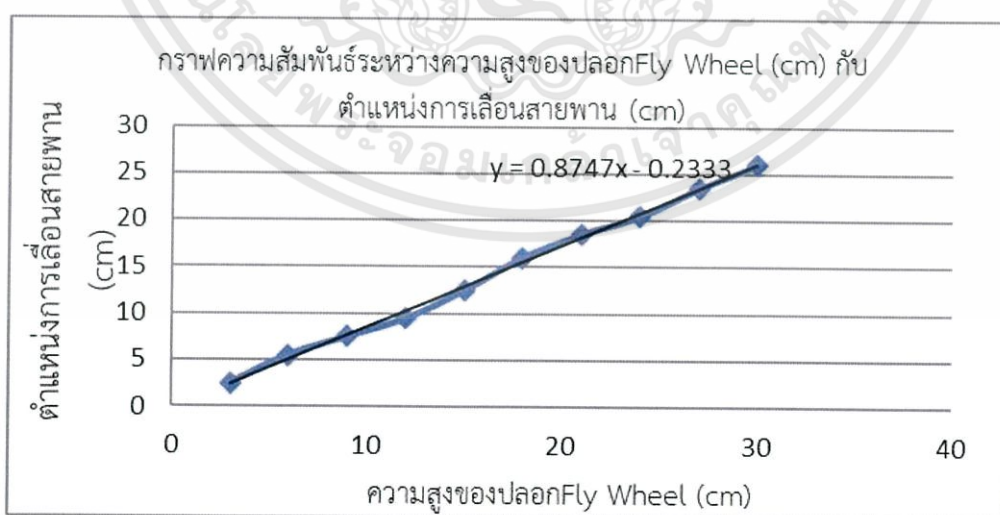
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ตำแหน่งการเลื่อนสายพานเทียบกับความสูงของปลอก Fly Wheel

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงค่าตำแหน่งการเลื่อนสายพานเทียบกับความสูงของปลอก Fly Wheel

ระดับปลอกของFly Wheel (cm)	สายพาน (cm)
0	0
3	2.5
6	5.5
9	7.5
12	9.5
15	12.5
18	16
21	18.5
24	20.5
27	23.5
30	26

เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการเลื่อนสายพานความสูงของปลอก Fly Wheel (cm) กับ อัตราเร็วรอบ(rpm) จากการทดลอง แสดงได้ดังรูปที่ 4.5

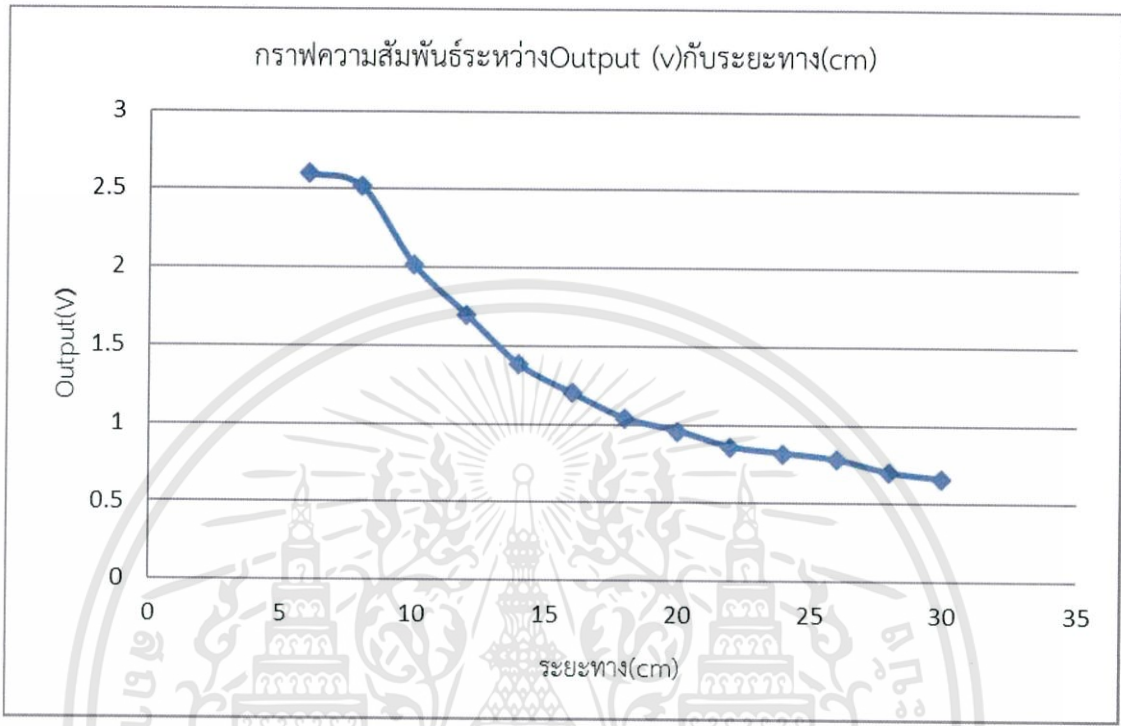


รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของปลอก Fly Wheel (cm) กับตำแหน่งการเลื่อนสายพาน (cm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ตำแหน่งสายพานขึ้นกับอัตราเร็วรอบ

4.6.1 ทำการ calibrate เพื่อให้แสดงค่าตำแหน่งสายพานเป็นเซนติเมตร ได้ดังรูปที่4.6



รูปที่4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Output(V)กับระยะทาง(cm)

4.6.2 วัดหาจุดทำงานของระบบการเปลี่ยนเกียร์แบบอัตโนมัติที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ในด้านขาขึ้นและขาลง

4.6.2.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วรอบ กับ ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)ใน ด้านขาขึ้น

ตารางที่ 4.17 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วรอบ กับ ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)ใน ด้านขาขึ้น

อัตราเร็วรอบ(รอบ/นาที)	ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)
0.04	8.82
6.90	8.86
6.90	8.95
6.90	8.95
6.90	9.03
6.90	9.08
6.90	9.08
6.90	9.12
6.90	9.12
6.90	9.16
6.90	9.21
6.90	9.25
6.90	9.29
6.90	9.38
6.90	9.42
6.90	9.46
6.90	9.46
6.90	9.46
6.90	9.55
6.90	9.55
6.90	9.59
6.90	9.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร็วรอบ(รอบ/นาที)	ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)
11.90	9.64
11.90	9.64
12.35	9.64
12.99	9.64
12.99	9.68
15.63	9.68
15.63	9.68
15.87	9.68
17.54	9.68
17.86	9.68
18.18	9.68
18.52	9.72
18.52	9.72
18.87	9.72
18.87	9.72
19.61	9.72
19.61	9.72
20.00	9.72
20.41	9.72
22.22	9.72
23.26	9.77
23.26	9.77
25.00	9.77
25.00	9.77
25.64	9.77
26.32	9.77
26.32	9.77
26.32	9.77
27.03	9.77
27.78	9.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร็วรอบ(รอบ/นาที)	ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)
29.41	9.81
29.41	9.81
29.41	9.81
29.41	9.81
29.41	9.81
30.3	9.81
30.3	9.81
31.25	9.81
31.25	9.81
31.25	9.85
31.25	9.85
34.48	9.85
34.48	9.85
37.04	9.85
37.04	9.85
38.46	9.85
40.00	9.85
40.00	9.89
40.00	9.89
41.67	10.28
41.67	10.32
43.48	10.50
43.48	10.54
43.48	10.80
43.48	12.26
45.45	14.15
45.45	14.28
45.45	15.61
45.45	16.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

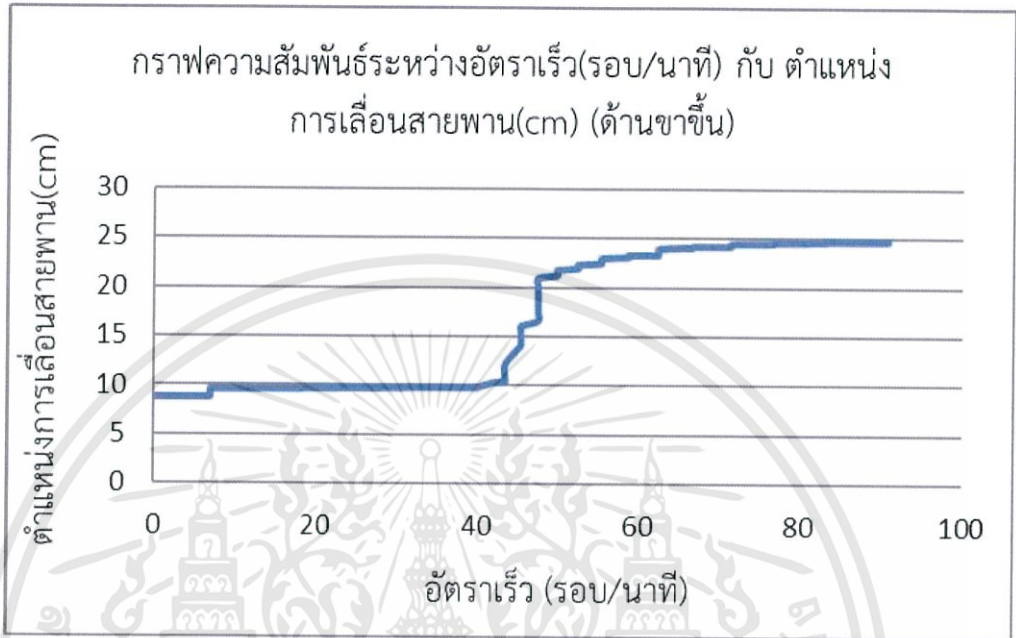
อัตราเร็วรอบ(รอบ/นาที)	ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)
47.62	16.64
47.62	17.38
47.62	17.72
47.62	18.62
47.62	19.31
47.62	20.04
47.62	20.17
47.62	20.99
50.00	21.25
50.00	21.63
50.00	21.80
52.63	21.98
52.63	22.19
52.63	22.32
52.63	22.36
55.56	22.49
55.56	22.49
55.56	22.79
55.56	23.01
58.82	23.14
58.82	23.18
58.82	23.27
58.82	23.31
58.82	23.35
62.50	23.35
62.50	23.35
62.50	23.4
62.50	23.4
62.50	24.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร็วรอบ(รอบ/นาที)	ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)
66.67	24.13
66.67	24.17
66.67	24.21
66.67	24.21
71.43	24.21
71.43	24.26
71.43	24.3
71.43	24.39
71.43	24.43
71.43	24.47
71.43	24.47
71.43	24.51
76.92	24.56
76.92	24.56
76.92	24.60
76.92	24.60
76.92	24.60
76.92	24.64
76.92	24.64
83.33	24.69
83.33	24.69
83.33	24.73
83.33	24.73
83.33	24.73
83.33	24.77
83.33	24.77
83.33	24.77
90.91	24.77
90.91	24.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว(รอบ/นาที) กับ ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm) (ด้านขาขึ้น) แสดงได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว(รอบ/นาที) กับ ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm) (ด้านขาขึ้น)

4.6.2.2 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วรอบ กับ ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm) ใน
ด้านขาลง

ตารางที่ 4.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วรอบ กับ ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)ในด้าน
ขาลง

อัตราเร็วรอบ(รอบ/นาที)	ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm.)
11.90	9.64
11.90	9.64
12.35	9.64
12.99	9.64
15.63	9.68
17.54	9.68
17.86	9.68
18.52	9.72
18.87	9.72
18.87	9.72
19.61	9.72
19.61	9.72
20.00	9.72
20.41	9.72
22.22	9.72
23.26	9.77
23.26	9.77
25.00	9.77
25.64	9.77
26.32	9.77
27.03	9.77
27.78	9.77
28.57	9.81
28.57	9.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

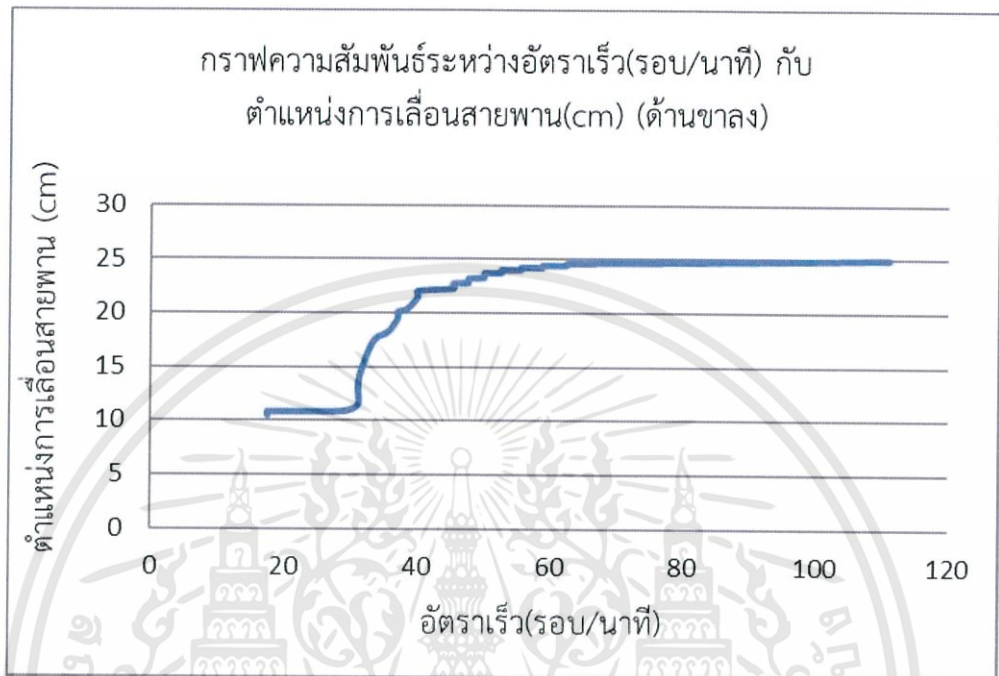
อัตราเร็วรอบ(รอบ/นาที)	ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)
31.25	11.06
31.25	11.66
33.33	13.81
35.71	17.29
37.04	18.28
37.04	19.57
38.46	20.09
40.00	20.39
40.00	21.46
40.00	21.72
41.67	22.06
45.45	22.15
45.45	22.28
45.45	22.32
47.62	22.79
47.62	22.79
47.62	22.88
47.62	23.01
47.62	23.18
50.00	23.53
50.00	23.70
52.63	23.74
52.63	23.74
52.63	23.87
52.63	23.87
52.63	23.96
52.63	23.96
52.63	24.00
52.63	24.04
52.63	24.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร็วรอบ(รอบ/นาที)	ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm)
52.63	24.04
55.56	24.04
55.56	24.04
55.56	24.08
55.56	24.08
55.56	24.08
55.56	24.13
55.56	24.17
55.56	24.21
55.56	24.21
58.82	24.26
58.82	24.26
58.82	24.39
58.82	24.39
58.82	24.43
58.82	24.47
62.50	24.47
62.50	24.47
62.50	24.51
62.50	24.51
62.50	24.56
62.50	24.60
62.50	24.60
62.50	24.64
62.50	24.64
62.50	24.64
62.50	24.64
62.50	24.64
66.67	24.64
66.67	24.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว(รอบ/นาที) กับ ตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm) (ด้านขาลง) แสดงได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็ว(รอบ/นาที)กับตำแหน่งการเลื่อนสายพาน(cm) (ด้านขาลง)

4.7 ทอร์กที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ของแต่ละระบบ

4.7.1 ค่าทอร์กที่ทำให้กังหันเริ่มหมุน

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าทอร์กกังหันเริ่มหมุน

ครั้งที่	ทอร์ก(N-m)
1	2.10
2	2.07
3	2.00
4	2.08
5	2.02
AVERAGEA	2.05

4.7.2 ค่าทอร์กที่กระทำระหว่างใบกังหันและโซ่

ผลการทดลองของทอร์กที่กระทำระหว่างใบกังหันและโซ่เป็นดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าทอร์กใบกังหัน และโซ่

ครั้งที่	ทอร์ก(N-m)
1	4.09
2	4.12
3	4.10
4	4.06
5	4.07
AVERAGEA	4.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3 ค่าทอร์กที่กระทำต่อเกียร์ชีวิตที่ทำให้เริ่มหมุน

ผลการทดลองของทอร์กที่กระทำต่อเกียร์ชีวิตที่ทำให้ก้านเริ่มหมุนเป็นดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าทอร์กที่กระทำต่อเกียร์ชีวิตที่ทำให้เริ่มหมุน

ครั้งที่	ทอร์ก(N-m)
1	7.90
2	8.09
3	8.20
4	7.85
5	8.10
AVERAGEA	8.02

4.7.4 ค่าทอร์กที่กระทำระหว่างเกียร์ชีวิตและระบบเปลี่ยนอัตราทดแบบอัตโนมัติ

ผลการทดลองของทอร์กที่กระทำระหว่างเกียร์ชีวิตและระบบเปลี่ยนอัตราทดแบบ

อัตโนมัติเป็นดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงค่าทอร์กที่กระทำระหว่างเกียร์ชีวิตและระบบเปลี่ยนอัตราทดแบบอัตโนมัติ

ครั้งที่	ทอร์ก(N-m)
1	11.8
2	11.7
3	11.37
4	11.71
5	11.86
AVERAGEA	11.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.5 ค่าทอร์กที่กระทำระหว่างเกียร์ชีวิตีไบกัณฑ์และโซ่

ผลการทดลองของค่าทอร์กที่กระทำระหว่างเกียร์ชีวิตีไบกัณฑ์และโซ่เป็นดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงค่าทอร์กที่กระทำระหว่างเกียร์ชีวิตีไบกัณฑ์และโซ่

ครั้งที่	ทอร์ก(N-m)
1	13.1
2	12.2
3	12.95
4	13.05
5	12.9
AVERAGEA	12.84

4.7.6 ค่าทอร์กที่กระทำระหว่างไบกัณฑ์ โซ่ และเกียร์ชีวิตี (ปัจจัยด้านแรงดึงที่มีผล)

4.7.6.1 แบบไม่มีระบบเปลี่ยนอัตราทดแบบอัตโนมัติ

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงค่าทอร์กที่กระทำระหว่างไบกัณฑ์ โซ่ และเกียร์ (ปัจจัยด้านแรงดึงที่มีผล) แบบไม่มีระบบเปลี่ยนอัตราทดแบบอัตโนมัติ

อัตราทด	ระยะห่างระหว่างกรวย 19 (cm)	ระยะห่างระหว่างกรวย 19.25 (cm)	ระยะห่างระหว่างกรวย 19.5 (cm)
รอบต่ำ (0.5:1)	10.54	13.36	16.06
รอบกลาง (1:1)	13.82	17.44	22.66
รอบสูง (2:1)	18.56	24.58	30.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.6.2 แบบมีเปลี่ยนอัตราการผลิตแบบอัตโนมัติ

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงค่าทอร์กใบกังหัน โซ่ และ CVT (ปัจจัยต้านแรงดึงที่มีผล) แบบมีระบบเปลี่ยนอัตราการผลิตแบบอัตโนมัติ

อัตราทด	ระยะห่างระหว่างกรวย 19 (cm.)	ระยะห่างระหว่างกรวย 19.25 (cm.)	ระยะห่างระหว่างกรวย 19.5 (cm.)
รอบต่ำ (0.5:1)	15.5	19.34	23.4
รอบกลาง (1:1)	19.34	24.22	29.64
รอบสูง (2:1)	25.06	31.46	37.14

4.7.7 ค่าทอร์กใบกังหัน โซ่ เกียร์ซีวีที และระบบเปลี่ยนอัตราการผลิตแบบอัตโนมัติ

ผลการทดลองของค่าทอร์กใบกังหัน โซ่ เกียร์ซีวีที และระบบเปลี่ยนอัตราการผลิตแบบอัตโนมัติเป็นดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงค่าทอร์กใบกังหัน โซ่ เกียร์ CVT และระบบเปลี่ยนอัตราการผลิตแบบอัตโนมัติ

ครั้งที่	ทอร์ก(N-m)
1	17.1
2	16.35
3	16.75
4	16.61
5	16.87
AVERAGEA	16.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

จากการทดสอบการทำงานของระบบต่างๆจะแบ่งเป็น 7 ส่วน ส่วนแรกคือทดสอบระบบต่างๆ ที่ได้สร้างขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วย ใบกังหัน ระบบโซ่ส่งกำลังโดยจะส่งกำลังจากใบกังหัน ทดรอบ 1: 3 ไปยัง ระบบเกียร์ซีวีทีแบบกรวยคู่ ซึ่งมีอัตราทดระหว่าง 1:2 ถึง 2:1 ตามตำแหน่งเลื่อนของสายพานที่ถูกกำหนดจาก ระบบการเปลี่ยนอัตราทดแบบอัตโนมัติขึ้นอยู่กับอัตราเร็วรอบของกังหัน โดยจะมีอัตราเร็วรอบในการเริ่มทำงานของระบบเปลี่ยนอัตราทดแบบอัตโนมัติอยู่ที่ 40 รอบต่อนาที และเลื่อนตำแหน่งของสายพานไปสู่ที่อัตราเร็ว 60 รอบต่อนาที

ในการทดสอบส่วนที่ 2 เป็นการทดสอบเพื่อหาทอร์กในการเริ่มทำงานของระบบต่างๆ เริ่มจากกังหันลมที่มีทอร์กเริ่มทำงานอยู่ที่ 4.11 N และเมื่อเพิ่มระบบต่างเข้าไป ได้แก่ระบบโซ่ ระบบเกียร์ CVT และระบบเปลี่ยนอัตราทดแบบอัตโนมัติ จะส่งผลให้กังหันมีทอร์กที่เริ่มทำงานเพิ่มขึ้นเป็น 8.18 N 25.7 N และ 33.5 N

จากค่าทอร์กเริ่มทำงานเมื่อประกอบทุกระบบเข้าด้วยกันแล้ว จะสามารถคำนวณหาอัตราเร็วลมที่ทำให้กังหันลมเริ่มทำงานได้จากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กของกังหันลมกับความเร็วลม ซึ่งได้จากการทดลอง โดยจะได้อัตราเร็วลม เริ่มต้นการทำงานของกังหันลมระบบนี้เป็น 4.51 m/s

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมทั้งระบบพบว่าสามารถทำงานได้อย่างดี ซึ่งเห็นได้จากผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งเลื่อนของสายพานกับความเร็วรอบ แต่ระบบยังคงขาดเสถียรภาพในการทำงานเนื่องจากระบบยังคงมีความผิดพลาดจากระบบที่ได้เพิ่มเข้าไป อีกทั้งน้ำหนักของระบบเปลี่ยนสายพานอัตโนมัติยังคงไม่สัมพันธ์กับแรงกระทำที่เกิดจากการยกตัวของปลอก Fly Wheel

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ไบกังหันลมที่ใช้เป็นไบกังลมอัตราเร็วลมสูงควรมีการออกแบบไบกังหันลมให้เหมาะสมกับอัตราเร็วลมต่ำและจำนวนใบให้เหมาะสมแต่เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่สูงในการทำใบพัดกังหัน
2. การเก็บข้อมูลภาคสนามบริเวณช่องลมลานจอดรถใต้อาคารพระจอมเกล้ามีพื้นที่ที่จำกัดทำให้ลมที่มาปะทะกับไบกังหันได้ไม่เต็มใบจึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของกังหันลม
3. การเก็บข้อมูลบริเวณชายทะเลมีโอกาสไปเพียง2ครั้งในแต่ละครั้งมีลมที่ไม่พอต่อการทำงานของระบบและแรงลมที่ไม่ต่อเนื่องทำให้ได้ผลไม่ตามต้องการ
4. ระบบเชิงกลจำนวนมากมีผลเกิดความผิดในระบบทำให้ผลที่ได้ไม่เป็นตามที่ต้องการ



เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนิตไกร กองแก้ว.ปริญญาานิพนธ์ (วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล)ระบบส่งกำลังแบบแปรผันต่อเนื่อง สำหรับรถสูตรนักศึกษา.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2554.
- [2] Automotive Basics. (2554). How Car Transmission System Works.
สืบค้นจาก. <https://www.youtube.com/watch?v=QPauJfA1KsY>
- [3] กองบรรณาธิการเช็คราคา ดอทคอม. (2556).ระบบส่งกำลังรถยนต์และระบบขับเคลื่อน
สืบค้นจาก. <http://www.checkraka.com/knowledge>
- [4] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2546ก). พลังงานลม.
สืบค้นจาก. http://www.dede.go.th/dede/renew/wind_p.htm.
- [5] นิพนธ์ เกตุจ้อย , อชิตพล ศศิธรานูวัฒน์. (2547, กรกฎาคม-ธันวาคม).“เทคโนโลยีพลังงานลม”
วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร. 12(2) . 57-73.
- [6] AZsolarcenter. (2004). Wind Technology.
สืบค้นจาก. <http://www.azsolarcenter.com/imagesetsseries01.html>.
- [7] Energy Information Administration. (2004e). Wind Energy.
สืบค้นจาก. http://www.eia.doe.gov/wind_tech/energy.html.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นางสาว เกษศิริรินทร์ จันทร์กลั้ว
เกิดเมื่อ	วันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2536
ภูมิลำเนา	จังหวัดปราจีนบุรี
ประวัติการศึกษา	ปี พ.ศ. 2554 จบการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายจาก โรงเรียนปราจีนกัลยาณี ปี พ.ศ. 2555 เข้ารับการศึกษาอุดมศึกษา หลักสูตรฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ - พลังงานทางเลือก คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ชื่อผู้เขียน	นางสาว จุฑามาศ โคตรตา
เกิดเมื่อ	วันที่ 14 ธันวาคม พ.ศ. 2536
ภูมิลำเนา	จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
ประวัติการศึกษา	ปี พ.ศ. 2554 จบการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายจาก โรงเรียนราชวินิตมัธยม ปี พ.ศ. 2555 เข้ารับการศึกษาอุดมศึกษา หลักสูตรฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ - โพลีเมตเทอริเอิลทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ชื่อผู้เขียน	นางสาว พิษณุภา สันตินรนนท์
เกิดเมื่อ	วันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2536
ภูมิลำเนา	จังหวัดอุดรธานี
ประวัติการศึกษา	ปี พ.ศ. 2554 จบการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายจาก โรงเรียนอุดรดิตต์ดรุณี ปี พ.ศ. 2555 เข้ารับการศึกษาอุดมศึกษา หลักสูตรฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ - เครื่องมือวัด คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้