

ต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น
A PROTOTYPE OF WAVE ENERGY GENERATOR

โดย

จิระวัฒน์	เพ็งภัตรา
เจตพัฒน์	ทองใหม่
นุชา	มนตรี
รัชชานนท์	นาสุวรรณ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น
A PROTOTYPE OF WAVE ENERGY GENERATOR

โดย

จิระวัฒน์	เพ็งภัตรา
เจตพัฒน์	ทองใหม่
นุชา	มนตรี
รัชชานนท์	มาสุวรรณ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

A PROTOTYPE OF WAVE ENERGY GENERATOR

Jirawat	Pengpattra
Jatapat	Tongmai
Nucha	Montri
Ratchanon	Masuwan

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
THE DEGREE OF BACHELOR IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

ปีการศึกษา 2556

ต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น
(A PROTOTYPE OF WAVE ENERGY GENERATOR)

โดย

จิระวัฒน์	เพ็งภัตรา
เจตพัฒน์	ทองใหม่
นุชา	มนตรี
รัชชานนท์	มาสุวรรณ

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

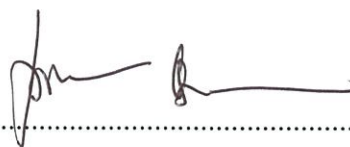
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

ผู้จัดทำ

1. นาย จิระวัฒน์ เฟื่องภัตรา
2. นาย เจตพัฒน์ ทองใหม่
3. นาย นุชา มนตรี
4. นาย รัชชานนท์ มาสุวรรณ



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว)

ต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

นาย จิระวัฒน์ เพ็งภัตรา

นาย เจตพัฒน์ ทองใหม่

นาย นุชา มนตรี

นาย รัชชานนท์ มาสุวรรณ

ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เป็นรายงานผลการออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องแปลงพลังงานจากคลื่นน้ำเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากกฎของไมเคิล ฟาราเดย์ ที่กล่าวว่าสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของขดลวดก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น โดยพลังงานกลที่เกิดจากทวนลอยน้ำที่ติดตั้งเข้ากับระบบทางกลที่ใช้ระบบเฟืองทางเดียว ซึ่งจะแปลงพลังงานคลื่นน้ำในทิศ ขึ้น-ลง ให้เป็นพลังงานในการหมุน เพื่อไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งนี้ยังได้มีการออกแบบขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และยังสามารถวางแผนนำไปติดตั้งในสถานที่จริง เพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ดีขึ้นต่อไป

A PROTOTYPE OF WAVE ENERGY GENERATOR

Mr. Jirawat Pengpattra

Mr. Jatapat Tongmai

Mr. Nucha Montri

Mr. Ratchanon Masuwan

Asst.Prof.Dr.Chow Chompoo-Inwai Supervisor

Year 2012

ABSTRACT

This paper presents a design and construction of a prototype of a machine that enabling conversion of wave energy to electrical energy by moving of permanent magnets across the induction coils product electrical current according to Faraday's law of electromotive force induction method. The mechanical power is form buoy floater that installed with mechanical system use free wheel gear system to transfer a movement in up-down direction to rotational direction for drive a generator. In order that a design for selecting properly generator that installed with the mechanical system can generated the most power output and this project is going to install the prototype at a real place e.g. a small harbor for measuring and collecting information to make a static and develop for future using.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่องต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานงานคลื่นสามารถประสบความสำเร็จได้ เนื่องจากการตั้งใจด้วยความวิริยะอุตสาหะ และได้รับการสนับสนุนจากบุคคลทั้งหลาย ซึ่งเป็นการสนับสนุนทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้ซาบซึ้งเป็นอย่างมาก จึงขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ดังกล่าว

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์ ชมภูอินทร์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้คอยให้คำปรึกษา แนะนำ ข้อคิดเห็น และติดตามดูแลเอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณห้องศูนย์วิจัยและวิศวกรรมส่องสว่าง (Energy System and illumination Research Center : ESIRC) ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ตลอดการทำปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณรุ่นพี่ในห้องศูนย์วิจัยและวิศวกรรมส่องสว่าง (Energy System and illumination Research Center : ESIRC) ที่ได้แนะนำการทำปริญญาานิพนธ์ อีกทั้งให้คำแนะนำและคอยให้กำลังใจเสมอมา

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่อุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุนในทางด้านการศึกษา จนสามารถทำปริญญาานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสิ้น

นาย จิระวัฒน์ เพ็งภัตรา

นาย เจตพัฒน์ ทองใหม่

นาย นุชา มนตรี

นาย รัชชานนท์ มาสุวรรณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 คลื่น.....	4
2.1.1 การจำแนกคลื่นในมหาสมุทร.....	5
2.1.2 ลักษณะของคลื่น.....	6
2.2 เทคโนโลยีและอุปกรณ์ในการผลิตพลังงาน.....	9
2.2.1 Oscillating Water Column (OWC).....	9
2.2.2 Tapered channel.....	9
2.2.3 Pelamis.....	10
2.2.4 Salter Duck.....	11
2.2.5 Wave Dragon.....	11
2.2.6 Archimedes Wave Swing.....	12
2.2.7 Mighty whale.....	12
2.2.8 Power Buoy	13

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.9 Aqua buoy	13
2.2.10 McCabe Wave Pump.....	14
2.3 ทฤษฎีเฟือง (Gear Terminology).....	14
2.3.1 รายละเอียดของฟัน (Tooth Proportions).....	15
2.3.2 คำจำกัดความต่าง ๆ ของเฟือง	16
2.4 ทฤษฎีการเหนี่ยวนำ Electromotive force ในขดลวดของ Michael Faraday	20
2.5 สมบัติทางกายภาพของแม่เหล็กถาวร.....	21
2.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	23
2.6.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก	24
2.6.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน	26
2.6.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม.....	26
2.6.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบผสม.....	27
2.6.5 โวลต์เตจเรกกูเรชั่นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....	27
2.6.6 ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....	28
2.7 แรงลอยตัวและหลักการของอาร์คิมิดีส.....	28
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น	31
3.1 ส่วนประกอบทางกล	32
3.1.1 ระบบเฟืองขับ.....	32
3.1.1.1 เฟืองขับระบบ	33
3.1.1.2 ลูกปืน.....	33
3.1.1.3 เฟืองวางขับที่ใช้ในการรับการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง	34
3.1.1.4 แกนขับ.....	34
3.1.1.5 เฟืองตุ้กตา.....	35
3.1.2 ระบบเฟืองเพิ่มรอบ	35
3.1.3 โฟมที่ใช้เป็นทุ่นลอย.....	37
3.2 ส่วนประกอบระบบทางไฟฟ้า.....	40
3.3 ต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น	41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง	42
4.1 วงจรทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	42
4.2 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบเปิดวงจร (Open Circuit Test).....	44
4.3 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงกับภาระทางไฟฟ้า	46
4.4 ผลการทดลองต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นในสถานที่ติดตั้งจริง	50
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	58
5.1 สรุปผลการทดลอง	58
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไข	59
เอกสารอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก ก การคำนวณเฟืองเพิ่มรอบและค่าแรงบิดของแกน	62
ภาคผนวก ข ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	66
ภาคผนวก ค ตารางเทียบความเร็วรอบ	68
ภาคผนวก ง ตารางราคาของ	71
ภาคผนวก จ บทความทางวิชาการ.....	74
ประวัติผู้เขียน	79

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆของคลื่น	4
รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของอนุภาคผิวน้ำน้ำทะเลแบบ orbital motion	5
รูปที่ 2.3 คลื่นน้ำลึก	7
รูปที่ 2.4 คลื่นน้ำตื้น.....	7
รูปที่ 2.5 Transitional wave.....	8
รูปที่ 2.6 Oscillating water column.....	9
รูปที่ 2.7 TAPCHAN	10
รูปที่ 2.8 Pelamis	10
รูปที่ 2.9 Salter Duck.....	11
รูปที่ 2.10 Wave dragon	11
รูปที่ 2.11 AWS	12
รูปที่ 2.12 Mighty whale	12
รูปที่ 2.13 Power buoy	13
รูปที่ 2.14 Aqua buoy	13
รูปที่ 2.15 McCabe Wave Pump	14
รูปที่ 2.16 รายละเอียดของเฟือง.....	14
รูปที่ 2.17 Circular Pitch	15
รูปที่ 2.18 เปรียบเทียบฟันเฟืองขนาดโมดูลต่าง ๆ	15
รูปที่ 2.19 คำจำกัดความของเฟือง.....	17
รูปที่ 2.20 Single Stage Gear Train.....	18
รูปที่ 2.21 Single Stage with Idle Gear Train	19
รูปที่ 2.22 Single Stage with Idle Gear Train	19
รูปที่ 2.23 ปรัชญาการเหนี่ยวนำกระแสจากสนามแม่เหล็ก	20
รูปที่ 2.24 การจัดเรียงตัวของโมเมนต์สปินแม่เหล็กในวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic ก่อนการ Magnetization.....	22
รูปที่ 2.25 การจัดเรียงตัวของโมเมนต์สปินแม่เหล็กในวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic หลังการ Magnetization.....	22
รูปที่ 2.26 สนามแม่เหล็กรอบแม่เหล็กถาวร.....	23
รูปที่ 2.27 รูปคลื่นแรงดันจากการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	24

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.28 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เปรียบเทียบกับไฟฟ้ากระแสสลับ.....	24
รูปที่ 2.29 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก	25
รูปที่ 2.30 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน	26
รูปที่ 2.31 กราฟความสัมพันธ์ E_A กับ I_f	26
รูปที่ 2.32 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม.....	27
รูปที่ 2.33 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม.....	27
รูปที่ 2.34 เวกเตอร์แรงต่าง ๆ ที่กระทำกับวัตถุที่จมในของไหล	29
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน.....	31
รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบหลักของต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	32
รูปที่ 3.3 ลูกปืนและเฟืองที่ได้ทำการออกแบบจากโปรแกรม Solidworks.....	32
รูปที่ 3.4 ระบบทางกลที่ออกแบบจากโปรแกรม Solidworks.....	33
รูปที่ 3.5 เฟืองขับและลูกปืนที่ประกอบเข้ากันแล้ว	34
รูปที่ 3.6 เฟืองรางที่ใช้รับการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง	34
รูปที่ 3.7 แกนขับทางกลขนาด 4 หุน	34
รูปที่ 3.8 เฟืองตุ๊กตา	35
รูปที่ 3.9 เฟืองขับขนาด 15,30,60 และ 110 ซี่.....	36
รูปที่ 3.10 แกนขับทางกลขนาด 2.5 หุน.....	36
รูปที่ 3.11 เฟืองตุ๊กตา ขนาด 2.5 หุน.....	36
รูปที่ 3.12 ระบบเฟืองขับและเฟืองเพิ่มรอบที่นำมาประกอบกันแล้ว	37
รูปที่ 3.13 หุ่นลอยน้ำจากโฟมชนิด 1.5 ปอนด์.....	39
รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและรัศมีในระบบเฟืองเพิ่มรอบ.....	40
รูปที่ 3.15 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 28 วัตต์, 140 โวลต์ , 8 ขั้ว, 1500 rpm.....	41
รูปที่ 3.16 ต้นแบบเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น (1) ระบบเฟืองขับและเฟืองทดรอบ (2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (3) หุ่นลอย	41
รูปที่ 4.1 วงจรการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงกับโหลดที่ทดสอบ.....	42
รูปที่ 4.2 ไดอะแกรมของวงจรการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบเปิดวงจร (Open Circuit Test).....	44
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการทดลอง Open Circuit test	45
รูปที่ 4.4 ไดอะแกรมของวงจรการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงกับโหลด.....	46

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5	กราฟแสดงผลการทดลองโดยใช้หลอดไฟขนาด 12V 10W	48
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงผลการทดลองโดยใช้หลอดไฟขนาด 12V 25W	49
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงผลการทดลองโดยใช้ตัวต้านทานขนาด 33 โอห์ม 10W	49
รูปที่ 4.8	การทดสอบต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น	50
รูปที่ 4.9(a)	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความเร็วแกนขับ ของหลอดตัวต้านทาน 33 โอห์ม	54
รูปที่ 4.9(b)	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและกำลังไฟฟ้า ของต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (OutputPower Generator) ของหลอดตัวต้านทาน 33 โอห์ม.....	54
รูปที่ 4.10(a)	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความเร็วแกนขับ ของหลอดหลอดเผาไส้ 10 วัตต์	55
รูปที่ 4.10(b)	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและกำลังทาง ไฟฟ้าของต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (OutputPower Generator) ของหลอดหลอดเผาไส้ 10 วัตต์	55
รูปที่ 4.11(a)	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความเร็วแกนขับ ของหลอดหลอดเผาไส้ 25 วัตต์	56
รูปที่ 4.11(b)	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและกำลังทาง ไฟฟ้าของต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Output Generator) ของหลอดหลอดเผาไส้ 25 วัตต์.....	56
รูปที่ ก.1	ระบบเฟืองเพิ่มรอบที่ได้มีการออกแบบ	63
รูปที่ ข.1	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	67
รูปที่ ข.2	กราฟแสดงผลการทดลอง Open Circuit test	67

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	แผนการดำเนินโครงการ.....	2
ตารางที่ 2.1	ความยาวคลื่น และแรงก่อดำของคลื่น ที่สำคัญของคลื่นในมหาสมุทร.....	6
ตารางที่ 3.1	แสดงความหนาแน่นของพลาสติกแต่ละชนิด.....	38
ตารางที่ 3.2	แสดงความหนาแน่นของของแข็งและของเหลวแต่ละชนิด.....	38
ตารางที่ 4.1	อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง	43
ตารางที่ 4.2	ผลการทดลอง Open Circuit test.....	45
ตารางที่ 4.3	ผลการทดลองโดยใช้หลอดไฟขนาด 12V 10W.....	47
ตารางที่ 4.4	ผลการทดลองโดยใช้หลอดไฟขนาด 12V 25W.....	47
ตารางที่ 4.5	ผลการทดลองโดยใช้ตัวต้านทานขนาด 33 โอห์ม 10W.....	48
ตารางที่ 4.6	บันทึกผลค่าของโหนดตัวต้านทาน 33 โอห์ม	51
ตารางที่ 4.7	บันทึกผลค่าของโหนดหลอดเผาไส้ 10 วัตต์.....	52
ตารางที่ 4.8	บันทึกผลค่าของโหนดหลอดเผาไส้ 25 วัตต์.....	53
ตารางที่ ค.1	ความสัมพันธ์ความเร็วรอบกับระยะชักขึ้น-ลง และเวลาที่แกนใช้ในการชักขึ้น-ลง	69
ตารางที่ ง.1	ความสัมพันธ์ความเร็วรอบกับระยะชักขึ้น-ลง และเวลาที่แกนใช้ในการชักขึ้น-ลง	72

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งที่มีค่าเป็นอย่างมากในการดำเนินชีวิตรวมถึงพลังงานไฟฟ้า ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าได้มาจากเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเหล่านี้ มีอยู่อย่างจำกัด เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันสำเร็จรูป และน้ำมันดิบ โดยในแต่ละปีนั้นมีความต้องการพลังงานเพิ่มมากยิ่งขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลก รวมถึงความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างมากในแต่ละวัน ดังนั้นการใช้เชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัดมาผลิตกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อปริมาณของเชื้อเพลิงซึ่งอาจไม่เพียงพอในอนาคตได้ ในปัจจุบันได้มีการศึกษาหาพลังงานทางเลือกอื่น ๆ มาใช้งานในการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล พลังงานชีวภาพ พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานน้ำ ซึ่งพลังงานเหล่านี้ล้วนแล้วแต่สามารถนำมาใช้ทดแทนการใช้งานเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังเป็นพลังงานที่สะอาด และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ

พลังงานคลื่นน้ำเป็นพลังงานหมุนเวียนอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งอยู่ในรูปพลังงานจลน์ของของไหลที่สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยประเทศไทยมีชายฝั่งทะเล และทำเรือเป็นจำนวนมาก ซึ่งเหมาะสำหรับการติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ พลังงานคลื่นน้ำสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา และมีปริมาณที่ไม่จำกัด ดังนั้นการเลือกใช้พลังงานจากคลื่นน้ำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในประเทศไทย การผลิตกระแสไฟฟ้าจากคลื่นน้ำช่วยลดปัญหาด้านพลังงานไฟฟ้าในประเทศได้

คณะผู้จัดทำจึงมีแนวความคิดในการศึกษา ออกแบบ และผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำในรูปแบบของหุ่นลอย โดยมีการรับแรงในแนวขึ้น - ลงของคลื่นน้ำ และเปลี่ยนเป็นแรงในการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยจะมีการเก็บข้อมูลของคลื่นน้ำมาวิเคราะห์เพื่อออกแบบระบบที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าให้มีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพ เพื่อเกิดประโยชน์สูงสุดต่อความมั่นคงทางพลังงานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิเคราะห์ความเป็นไปได้เกี่ยวกับพลังงานคลื่นน้ำใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า
2. เพื่อออกแบบ และผลิตอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ
3. เพื่อนำพลังงานจากคลื่นน้ำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
4. เพื่อวิเคราะห์หาความเหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าของชิ้นงานที่สร้างขึ้น และหาแนวทางในการพัฒนา

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทราบแนวทางที่เป็นไปได้ในการนำทฤษฎี และหลักการด้านพลังงานคลื่นน้ำที่สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้
2. ทราบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากพลังงานคลื่นน้ำ
3. เป็นการนำพลังงานทางเลือกมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
4. เป็นแนวทางในการศึกษาต่อในการนำชิ้นงานไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

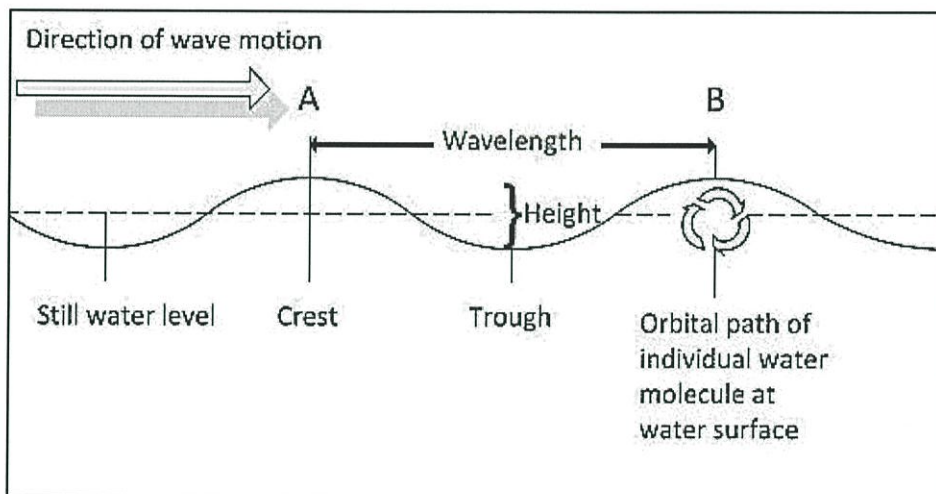
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คลื่น

คลื่นในมหาสมุทรเป็นคลื่นแบบหนึ่งซึ่งเกิดจากการเคลื่อนตัวของพลังงานผ่านตัวกลาง ไม่ว่าจะเป็น ของแข็ง ของเหลวหรือ ก๊าซ เมื่อพลังงานเคลื่อนตัวผ่านตัวกลางจะทำให้ตัวกลางเกิดการเคลื่อนตัวในรูปแบบเฉพาะ บางครั้งอาจจะเป็นการกระเพื่อมทำให้เห็นว่าลักษณะผิวน้ำตัวกลางยกตัว เป็นสันขึ้นไป สำหรับคลื่นในมหาสมุทรนั้น พลังงานจะเคลื่อนตัวไปเท่ากับความเร็วของคลื่น แต่น้ำไม่ได้เคลื่อนตัวไปด้วย

คลื่นที่เราเห็นกันอยู่โดยทั่วไปจะเกิดจากการพัดพาของลมผ่านผิวน้ำ แต่ยังมีคลื่น อื่น หลายแบบ ที่เกิดขึ้นจากแรงอื่น ๆ เช่นคลื่นที่เกิดจากการสั่นสะเทือนใต้พิภพอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา หรือน้ำขึ้นน้ำลง เป็นต้น

เมื่อพิจารณาคลื่นบริเวณหน้าผิวน้ำพบว่าประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.1



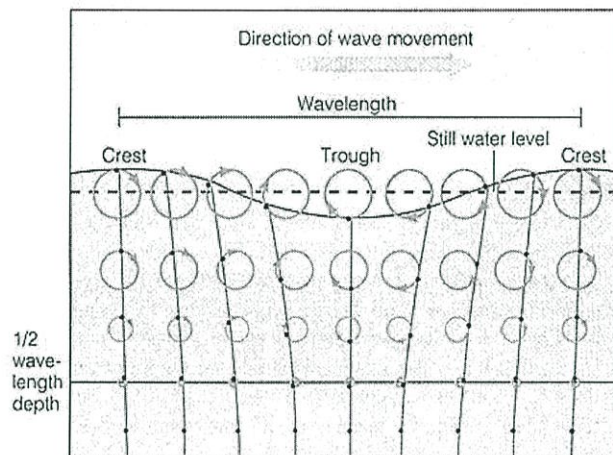
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆของคลื่น [2]

- 1) ยอดคลื่น (crest) คือ ส่วนที่สูงที่สุดของคลื่น
- 2) ท้องคลื่น (trough) คือ ส่วนต่ำลงไปเป็นแอ่งระหว่างยอดคลื่นสองยอด
- 3) ความสูงของคลื่น (wave height, H) คือระยะทางในแนวตั้งระหว่างยอดคลื่นและท้องคลื่นที่อยู่ติดกัน
- 4) ความกว้างของคลื่น (amplitude, a) คือ ครึ่งหนึ่งของความสูงของคลื่น ซึ่งแสดงให้เห็นระยะทางไกลสุดที่น้ำเคลื่อนที่จากตำแหน่งสมดุลซึ่งจัดเป็นระดับน้ำนิ่ง
- 5) ความยาวคลื่น (wave length, L) คือระยะทางตามแนวระนาบจากยอดคลื่นหนึ่งไปยังยอดคลื่นถัดไป หรือจากท้องคลื่นหนึ่งไปยังท้องคลื่นถัดไป
- 6) คาบของคลื่น (wave period, T) คือ เวลาที่ยอดคลื่นหรือท้องคลื่นที่อยู่ติดกันใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านจุดคงที่จุดหนึ่งมักใช้เวลาเป็นวินาทีเป็นค่าที่วัดหาได้ง่าย เป็นประโยชน์ในการจำแนกชนิดของคลื่น
- 7) อัตราส่วนระหว่าง H/L เรียกว่า wave steepness

เนื่องจากคาบของเวลาคือเวลาในการเคลื่อนที่ของคลื่นลูกหนึ่ง ถ้าเราทราบถึง ความยาวคลื่น และคาบเราจะสามารถคำนวณความเร็วในการเคลื่อนที่ตัวได้ จาก สมการ

$$\text{speed}(S) = L/T \quad (2.1)$$

ปัจจัยอีกตัวหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นและความเร็วในการเคลื่อนที่ ตัวของคลื่นคือ ความถี่ (f) ซึ่งก็คือจำนวนของคลื่นที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งในหนึ่งหน่วยเวลาซึ่งจะเท่ากับ $1/T$ การเคลื่อนที่เป็นวงบริเวณผิวน้ำน้ำทะเลจะทำให้น้ำด้านล่างเคลื่อนตัวเป็น วงด้วย เช่นกันดังแสดงไว้ใน รูปที่ 2.2 แต่จะเห็นได้ว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของวงจะค่อย ๆ เล็กลงตามระดับความ ลึก โดยทั่วไปคลื่นบริเวณผิวน้ำน้ำจะส่งผลต่อมวลน้ำที่ความลึกถึงครึ่งหนึ่งของ ความยาว คลื่น เท่านั้น ซึ่งหมายความว่า ที่ความลึกมากกว่าครึ่ง หนึ่งของความยาวคลื่นมวลน้ำจะ ไม่ได้รับ พลังงานหรืออิทธิพลใด ๆ จากคลื่น บริเวณผิวน้ำน้ำ ตัวอย่างเช่น นักดำน้ำที่ดำน้ำที่ ความลึก 20 เมตร จะไม่สามารถทราบได้ว่ามีคลื่นที่มี ความยาวคลื่น 30 เมตร อยู่บริเวณผิวน้ำ น้ำเป็นต้น



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของอนุภาคผิวน้ำน้ำทะเลแบบ orbital motion [2]

2.1.1 การจำแนกคลื่นในมหาสมุทร ใช้เกณฑ์ในการแบ่งได้เป็น 3 แบบคือ

1) แรงก่อดันของคลื่น (Disturbing force) หมายถึง พลังงานหรือแรงที่ทำให้คลื่นก่อดันขึ้น ซึ่งได้แก่แรงลม หรือพายุ แรงสั่นสะเทือนจากปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยาใต้พื้นท้องมหาสมุทร หรือ แรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางของแรงดึงดูดระหว่างโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ ร่วมกับผลจากการ หมุนของโลก

2) แรงกลับคืนของคลื่น (Restoring force) หมายถึงแรงที่พยายามทำให้ผิวน้ำน้ำกลับคืนสู่สภาวะปกติ ถ้า แรงนี้มีค่าสูงจะทำให้ผิวน้ำน้ำทะเลเรียบได้เร็วแรงกลับคืนของคลื่นสำหรับ คลื่นที่มีความยาวคลื่น น้อยมาก ๆ คือน้อยกว่า 1.73 ซม (capillary wave) คือแรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลของน้ำ (cohesion) หรือแรงดึงผิว capillary wave นี้คือคลื่นชนิดแรกที่ก่อดันขึ้นหลังจาก ได้รับแรงลมที่พัดผ่านผิวน้ำน้ำของ ขบวนการเกิดคลื่นที่เกิดจากลม (wind wave) ส่วนคลื่นใด ๆ ที่ มีความยาวคลื่น มากกว่า 1.73 ซม แรงกลับคืนของคลื่นก็คือแรงโน้มถ่วงของโลก เปรียบเทียบได้กับการเคลื่อน ตัวขึ้นลงของสปริงเมื่อเราดึงแล้วปล่อยมัน ในแนวตั้ง แรงที่เคลื่อนที่ขึ้นคือโมเมนตัม ส่วน

แรงที่ทำให้สปริงเคลื่อนตัวลงคือแรงโน้มถ่วงของโลกนั่นเอง (gravity wave) และเนื่องจากการเคลื่อนที่เป็นวงของคลื่น โดยทั่วไปถือว่าเกือบจะไม่มีแรงเสียดทานเลยจึงทำให้ คลื่นแรงโน้มถ่วงสามารถเคลื่อนที่ไปได้ ไกล ๆ บนผิวน้ำในมหาสมุทร

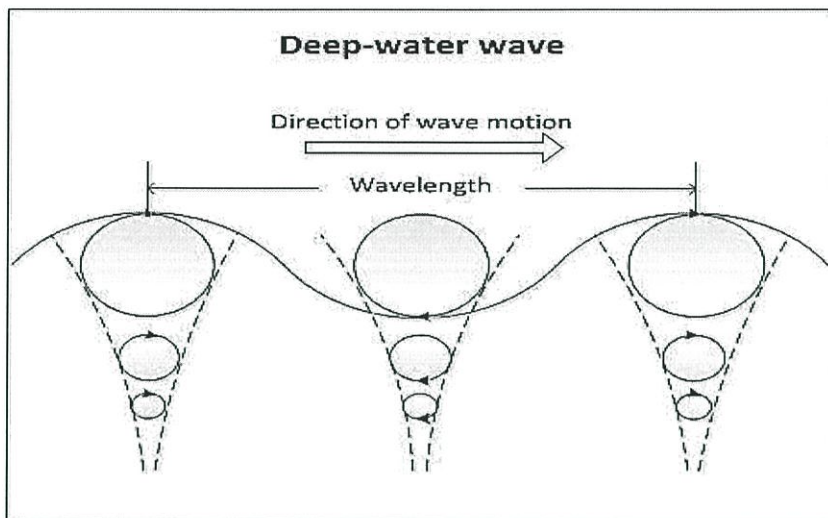
3) ความยาวคลื่น (Wave length) เป็นวิธีในการวัดขนาดของคลื่นได้โดยตรง ตารางที่ 2.1 แสดงการจำแนกคลื่นชนิดต่าง ๆ ตามความยาวคลื่นจากแรงที่ก่อให้เกิดคลื่น

ตารางที่ 2.1 ความยาวคลื่น และแรงก่อดำของคลื่น ที่สำคัญของคลื่นในมหาสมุทร [2]

Wave type	Typical wavelength	Disturbing force
Wind wave Seiche	60-50 m (200-500 ft.) Large variable ; a fraction of base in size	Wind over ocean Change in atmospheric pressure, storm surge, tsunami
Seismic sea wave (tsunami)	200 km (125mi)	Faulting of seafloor, volcanic eruption, landslide
Tide	½ circumference of Earth	Gravitational attraction, rotation of Earth

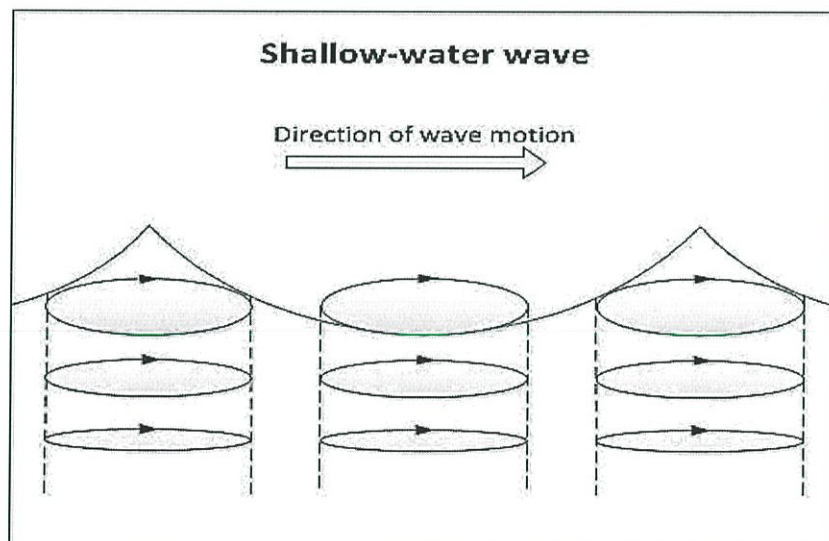
2.1.2 ลักษณะของคลื่น ลักษณะของคลื่นโดยทั่ว ๆ ไปบริเวณผิวน้ำในมหาสมุทร จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ ระหว่างความยาวคลื่นและความลึก โดยความยาวคลื่นจะเป็นตัวกำหนดขนาดวงของการเคลื่อนตัวของ โมเลกุลของน้ำภายในคลื่น ส่วนความลึกจะเป็นตัวกำหนดรูปร่างของคลื่น โดยลักษณะของคลื่นจะมี 3 แบบคือ

1) คลื่นน้ำลึก (Deep-water wave) คลื่นแบบนี้จะวงของคลื่นจะมีรูปร่างเป็นวงกลมเมื่อคลื่นเดินทางในบริเวณที่ มีความลึกมากกว่า ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น โดยชั้นน้ำด้านล่างต่ำลงไปจากระดับนี้ จะไม่ได้รับผลใด ๆ จากการเดินทางของคลื่น จากภาพที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าวงกลมที่เกิดจากการหมุนของ โมเลกุลของน้ำจะค่อย ๆ เล็กลง ตามระดับความลึก ตัวอย่าง เช่นคลื่นที่เกิดจากลม (wind wave) ที่มีความยาวคลื่น 20 เมตรจะเป็นคลื่นน้ำลึก เมื่อมันเดินทางผ่านบริเวณที่มีความลึกมากกว่า 10 เมตร



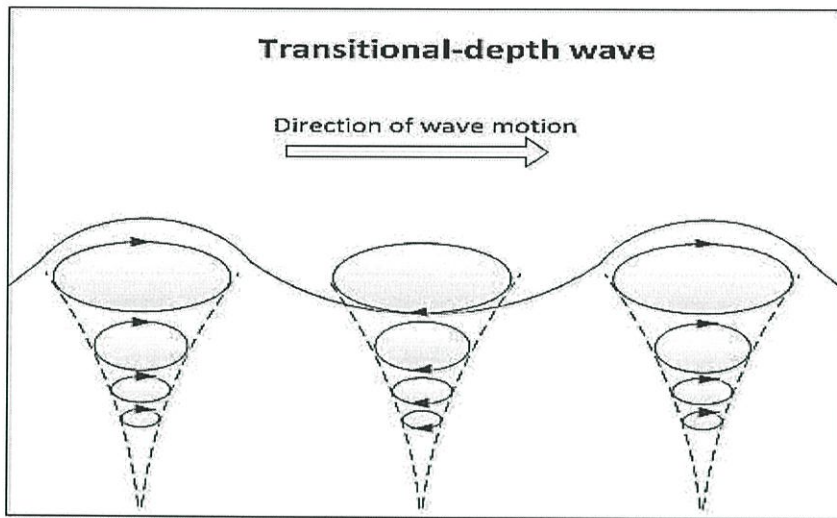
รูปที่ 2.3 คลื่นน้ำลึก [2]

2) คลื่นน้ำตื้น (*Shallow-water wave*) เมื่อคลื่นที่เกิดจากลม (*wind wave*) เดินทางมาที่ตื้นเช่นใกล้ชายฝั่ง ที่ความลึกน้อยกว่า $\frac{1}{20}$ ของความยาวคลื่น วงของคลื่น จะค่อย ๆ แบนลงเรื่อย ๆ แต่จะมีขนาดเท่าเดิมจนกระทั่ง เมื่อถึงพื้นทะเล น้ำจะไม่หมุนเป็นวงแต่จะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเท่านั้น คลื่นที่มีความยาวคลื่น 20 เมตรจะเป็นคลื่นน้ำตื้น เมื่อมันเดินทางมาถึงบริเวณที่มีความลึกน้อยกว่า 1 เมตร (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 คลื่นน้ำตื้น [2]

3) คลื่นส่งผ่าน (*Transitional waves*) เมื่อคลื่นเดินทางมาถึงบริเวณที่มีความลึกกว่า $\frac{1}{20}$ ใน ความยาวคลื่น แต่น้อยกว่า ครึ่งหนึ่ง ของความยาวคลื่น ลักษณะวงและขนาดของคลื่นจะเล็กลงเรื่อย ๆ คลื่นที่มีความยาว คลื่น 20 เมตรจะเป็น transitional wave เมื่อเดินทางมาถึงความลึกระหว่าง 10 เมตร ถึง 1 เมตร (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 Transitional wave [2]

โดยทั่วไป คลื่นที่มีความยาวคลื่นมากเท่าใดก็จะมีความเร็วในการเคลื่อนตัว หรือการส่งผ่านพลังงานระหว่างอนุภาคของน้ำมากขึ้นเท่านั้น สำหรับคลื่นน้ำลึกใด ๆ จะมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$V = L/T \quad (2.2)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วในการเคลื่อนตัวของคลื่น

L คือ ความยาวคลื่น

T คือ คาบเวลา

ในธรรมชาติเราจะวัดความเร็วของคลื่นได้ยาก แต่เราสามารถวัดคาบเวลาของคลื่นได้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นเราจึงหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นได้จากสมการ

$$v \text{ (หน่วยเป็นเมตรต่อวินาที)} = 1.56T \text{ มาจาก } gt / 2\pi$$

สำหรับความเร็วในการเคลื่อนตัวของคลื่นน้ำตื้นนั้นจะหาได้จากความสัมพันธ์ตามสมการ

$$V = \sqrt{gd} \text{ หรือ } V = 3.1\sqrt{d} \quad (2.3)$$

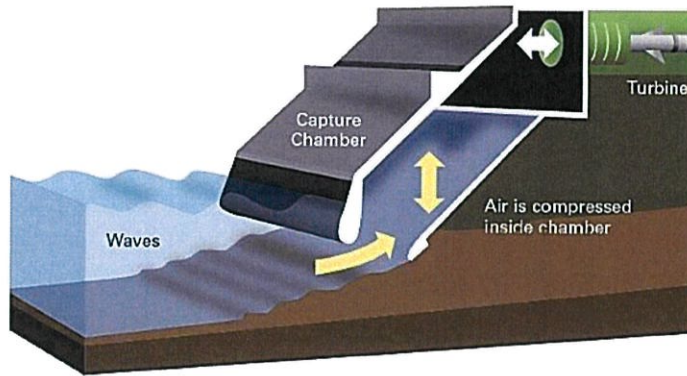
เมื่อ V คือ ความเร็วในการเคลื่อนตัวของคลื่นมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

d คือ ความลึกของน้ำมีหน่วยเป็นเมตร

2.2 เทคโนโลยีและอุปกรณ์ในการผลิตพลังงาน

2.2.1 Oscillating Water Column (OWC) เป็นอุปกรณ์ที่มีความนิยมมากในการศึกษาและพัฒนาของอุปกรณ์บนชายฝั่งเป็นโครงสร้างที่ล้อมรอบมีบางส่วนที่จมน้ำ สร้างจากคอนกรีตขนาดใหญ่ มีผนังแนวกัน เป็นการใช้พลังงานจลน์และพลังงานศักย์จากมหาสมุทร สามารถเข้าถึงได้ง่ายกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนอกชายฝั่ง ต้นทุนการสร้างมักจะใช้ไปกับแนวผนังกันเป็นส่วนใหญ่

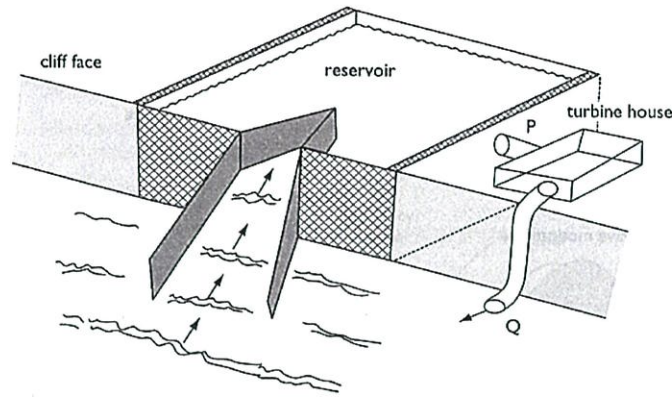


รูปที่ 2.6 oscillating water column [3]

มีการทำงานเป็น 2 ขั้นตอน คือ เมื่อคลื่นเดินทางเข้ามาในคอลัมน์ แรงดันอากาศภายในคอลัมน์จะดันอากาศผ่านช่องทางปิดไปยังกังหัน และความดันภายในคอลัมน์จะเพิ่มขึ้น เมื่อคลื่นถอยกลับ อากาศก็จะไหลกลับผ่านกังหันออกมาเนื่องจากความดันอากาศด้านที่ติดกับทะเลลดลง

ระบบนี้ให้กำลังสูงสุด 500 กิโลวัตต์ รองรับความหนาแน่นคลื่นเฉลี่ยต่อปีระหว่าง 15 ถึง 25 กิโลวัตต์ต่อเมตร ซึ่งระบบนี้จะเหมาะสมกับบริเวณที่มีพลังงานคลื่นรุนแรงมาก เช่น เขื่อนแนวป้องกันชายฝั่ง กำแพงอ่าว รูปแบบการกำเนิดพลังงานนี้เหมาะสมกับการผลิตเข้าสู่สายส่ง

2.2.2 Tapered channel หมายถึง ช่องเรียวแหลมหรือช่องน้ำเปียดอกแบบ มีลักษณะเป็นสิ่งก่อสร้างล้อมรอบด้วยคอนกรีตสูง ประกอบด้วยช่องเรียวแหลม ซึ่งทำให้น้ำไหลผ่านไปอย่างเอียงเก็บน้ำได้ สร้างอยู่บนหน้าผา การที่ทำให้ช่องแคบเนื่องจากคลื่นที่มีแอมพลิจูดเพิ่มขึ้น (คลื่นสูงขึ้น) เคลื่อนไปยังหน้าผาซึ่งในที่สุดน้ำก็จะล้นข้ามผ่านช่องและเข้าไปในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะอยู่สูงจากระดับน้ำทะเล พลังงานจลน์ของการเคลื่อนที่ของคลื่นถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานศักย์เท่ากับน้ำที่อยู่ในอ่างเก็บน้ำ น้ำที่เก็บไว้จะไหลลงไปสู่กังหัน



รูปที่ 2.7 TAPCHAN [4]

ระบบ tapchan ไม่เหมาะกับบริเวณที่ชายฝั่งเสียทั้งหมด ควรจะเป็นบริเวณที่มีคลื่นสม่ำเสมอและมีพลังงานคลื่นเฉลี่ยที่ดี และมีช่วงน้ำขึ้นน้ำลงน้อยกว่า 1 เมตร เช่น น้ำลึกใกล้ชายฝั่ง และมีบริเวณสำหรับสร้างอ่างเก็บน้ำ

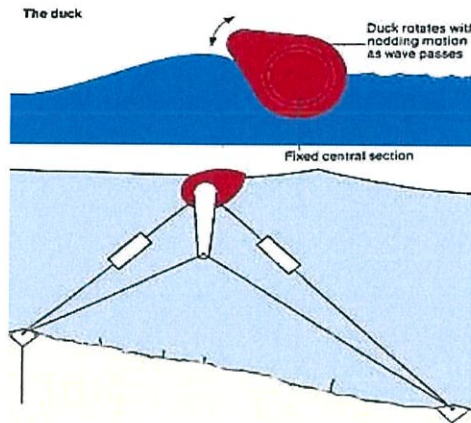
2.2.3 Pelamis ติดตั้งอยู่ในสภาพกึ่งจมน้ำ มีลักษณะเป็นโครงสร้างที่เชื่อมกันเป็นข้อต่อประกอบขึ้นเป็นส่วนเชื่อมต่อรูปทรงกระบอกโดยบานพับรอยต่อ การเคลื่อนที่ของจุดข้อต่อโดยแรงไฮดรอลิก ซึ่งเป็นปั้มน้ำมันความดันสูงไปสู่มอเตอร์ไฮดรอลิกผ่านหม้อแบตเตอรี่เก็บกระแสไฟฟ้ามอเตอร์ไฮดรอลิกถูกขับเพื่อกำเนิดไฟฟ้า หลังจากข้อต่อทั้งหมดส่งให้กับสายเคเบิลเดี่ยวใต้พื้นทะเลหลาย ๆ เครื่องสามารถเชื่อมต่อด้วยกันและเชื่อมกับชายฝั่ง โดยการส่งพลังไฟฟ้าไปโดยสายเคเบิลเดี่ยวใต้ทะเล ประสิทธิภาพของพลังที่จะได้ขึ้นอยู่กับการจัดเรียงข้อต่อต่าง ๆ ให้เข้ากับคลื่นในทะเล



รูปที่ 2.8 Pelamis [5]

อุปกรณ์นี้ยึดตำแหน่งโดยเสาจอด เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำตึงหรือหย่อนเครื่องต้นแบบขนาดใหญ่ 750 กิโลวัตต์ มีความยาว 120 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เมตร ประกอบด้วย 3 ชั้นส่วนต่อกัน ในอัตราตัวละ 250 กิโลวัตต์ ในแต่ละส่วนจะประกอบด้วยระบบกำเนิดไฟฟ้าไฮดรอลิกสมบูรณ์แบบ

2.2.4 Salter Duck เป็นอุปกรณ์ลอยน้ำใช้การเคลื่อนที่แบบหมุนเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้า มีลักษณะคล้ายกับเปิดลอยน้ำดำขึ้นต่ำลงและยึดติดกับพื้นทะเล เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่าน duck จะหมุนเฉพาะหัวเลี้ยวหัวต่อตรงกลาง การที่เกิดการเคลื่อนที่แบบหมุนเพราะของเหลวภายใน duck เคลื่อนที่จึงนำมาใช้กำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 2.9 Salter Duck [6]

2.2.5 Wave Dragon เป็นอุปกรณ์ที่อยู่เหนือกว่าน้ำทะเลซึ่งทำให้คลื่นมหาสมุทรยกตัวสูงขึ้นไปยังอ่างเก็บน้ำเหนือระดับน้ำทะเล โดยน้ำที่ถูกปล่อยออกไปสู่กังหันเป็นการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้า wave dragon สร้างอย่างเรียบง่ายมาก ๆ และมีเพียงกังหันที่เป็นส่วนเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการทำงานนอกชายฝั่งภายใต้คลื่นแรงระดับสูงสุดและสภาวะอากาศที่เลวร้าย wave dragon ติดตั้งในบริเวณน้ำลึก(มากกว่า 25 เมตร และจะดีถ้ามากกว่า 40 เมตร) ซึ่งกลายเป็นข้อได้เปรียบจากการที่สกัดคลื่นก่อนที่คลื่นจะสูญเสียพลังงานไปจากการเคลื่อนที่เข้ามาถึงฝั่ง อุปกรณ์นี้ลอยน้ำอยู่นิ่งไม่เคลื่อนไหว ประโยชน์อันเรียบง่ายจากพลังงานศักย์ในน้ำที่สั้น น้ำที่ถูกเก็บไว้ชั่วคราวอยู่ในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ที่สร้างไว้ด้านบน ก่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างระดับน้ำพื้นผิวกับระดับน้ำบนอ่างเก็บน้ำ จะทำให้น้ำไหลออกจากอ่างเก็บน้ำไปสู่กังหันหลาย ๆ ตัว ซึ่งเป็นการกำเนิดไฟฟ้าแบบเดียวกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ(เขื่อน)หลาย ๆ ตัว



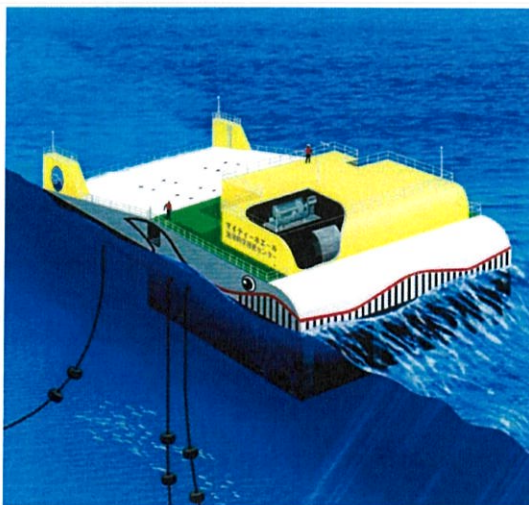
รูปที่ 2.10 wave dragon [7]

2.2.6 Archimedes Wave Swing กำเนิดไฟฟ้าโดยพลังงานจากการม้วนตัวเป็นลูกคลื่น มีการเชื่อมต่อห้องอากาศระหว่างทรงกระบอกสองอัน ทรงกระบอกอันล่างยึดกับส่วนล่างสุด ในระหว่างทรงกระบอกอันบน เรียกว่า “ตัวลอย” เคลื่อนที่ขึ้น-ลงภายใต้อิทธิพลของคลื่น ในขณะเดียวกันแม่เหล็กซึ่งถูกยึดเข้ากับทรงกระบอกอันบนเคลื่อนที่ตามขดลวด ผลที่เกิดขึ้นเป็นการเคลื่อนของตัวลอยและมีแรงดึงกลับกำเนิดเป็นพลังงานไฟฟ้าขึ้น แม่เหล็กและขดลวดเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงเส้น ภายใน AWS บรรจุด้วยอากาศซึ่งถือว่าเป็นส่วนสำคัญในระบบนี้ เมื่อทรงกระบอกอันบนเคลื่อนที่ต่ำลง อากาศภายในเป็นความดัน เมื่อทรงกระบอกอันบนเคลื่อนที่กลับขึ้นไปจะเกิดเป็นแรงหักล้าง ถ้าปริมาณอากาศมีอยู่อย่างเหมาะสมก็จะทำให้การเคลื่อนที่ของทรงกระบอกได้ผลที่ดี



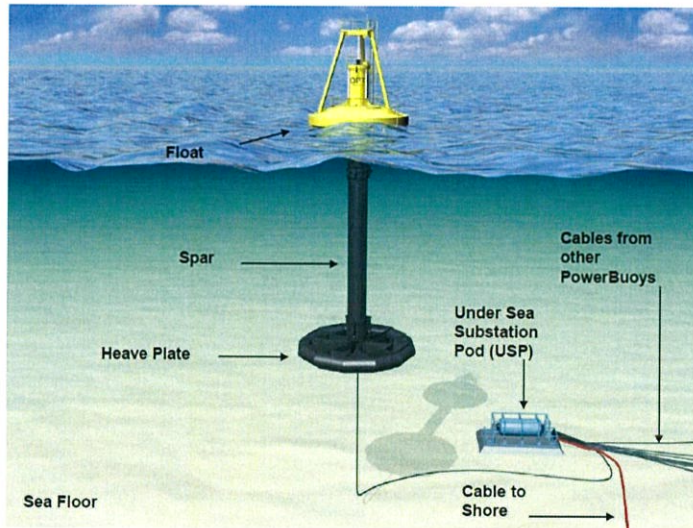
รูปที่ 2.11 AWS [8]

2.2.7 Mighty whale มีขนาดยาว 50 เมตร กว้าง 30 เมตร ลึก 12 เมตร ให้กำลังที่ 110 กิโลวัตต์ ทำงานในน้ำลึก ประกอบด้วยระบบ oscillating water column โดยใช้ช่องอากาศ 3 ช่องสำหรับการเปลี่ยนพลังงานคลื่นไปเป็นพลังลมอากาศซึ่งเป็นผลมาจากการขึ้นลงของน้ำภายในช่องทำให้อากาศไหลผ่านเข้าไปที่กังหัน กังหันขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 ตัว ให้ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แรงดันขาออกที่ 200 โวลต์



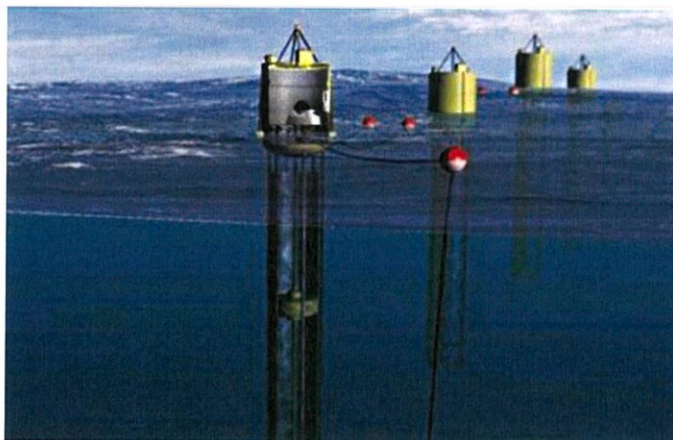
รูปที่ 2.12 Mighty whale [9]

2.2.8 Power Buoy ประกอบไปด้วยทุ่นลอยน้ำที่มีการสกัดและเปลี่ยนรูปพลังงานคลื่นโดยใช้พลังงานกลไปขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้า การเพิ่มและลดลงของคลื่นนอกฝั่งทำให้ทุ่นเคลื่อนที่ขึ้นลงอย่างอิสระ ได้ไฟฟ้ากระแสสลับออกมาแล้วเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง และส่งผ่านสายไฟเคเบิลใต้น้ำ Power buoy ภายในยังมีเซนเซอร์แสดงผลการทำงานอย่างต่อเนื่องภายใต้สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป มีการติดตั้งในลักษณะของสถานีพลังงานคลื่นประกอบด้วยทุ่นหลาย ๆ ตัวส่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้ผ่านสายไฟใต้น้ำ ให้กำลัง 10 เมกะวัตต์ต่อสถานี ในแต่ละสถานีใช้พื้นที่มหาสมุทรประมาณ 10 ไร่



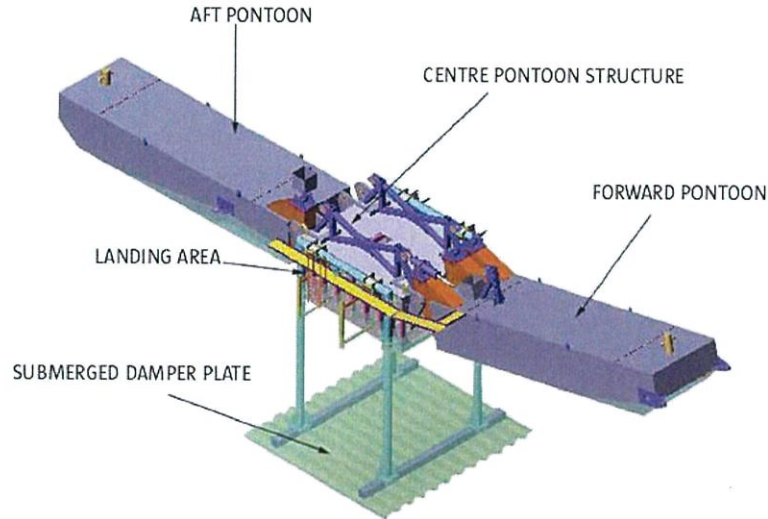
รูปที่ 2.13 power buoy [10]

2.2.9 Aqua buoy คล้ายกับ Power buoy แต่ Aqua buoy เป็นลักษณะของปั๊มท่อยาวใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความดันภายในท่อยาว ความกดอากาศของน้ำจะไล่อากาศไหลไปรวมกันที่ก้นหั่นเพื่อกำเนิดไฟฟ้า และส่งผ่านพลังงานโดยใช้สายไฟใต้น้ำ ทำงานในน้ำลึก 150-250 ฟิต ผูกโยงอยู่นอกชายฝั่งเมื่อรวมกันเป็นโรงไฟฟ้าสามารถผลิตพลังได้ 100 กิโลวัตต์ ถึง 100 เมกะวัตต์



รูปที่ 2.14 aqua buoy [11]

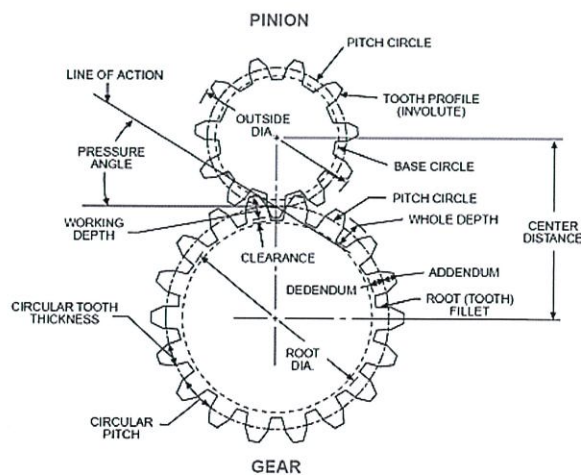
2.2.10 McCabe Wave Pump เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย โปะะเหล็ก 3 ชั้นวางตั้งฉากกัน ซึ่งวางขวางกับแนวลำคลื่นสามารถพับไปมาเมื่อคลื่นวิ่งเข้ามากระทบ โดยบานพับจะมีปั๊มไฮดรอลิค ติดตั้งอยู่ แรงที่ได้รับจากคลื่นปั๊มไฮดรอลิคจะส่งไปขับยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ออกแบบให้สามารถเคลื่อนย้ายได้เพื่อนำไปผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ต่าง ๆ



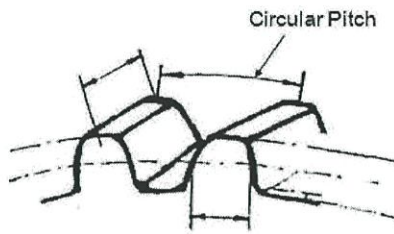
รูปที่ 2.15 McCabe Wave Pump [12]

2.3 ทฤษฎีเฟือง (Gear Terminology)

การทำงานที่เกี่ยวข้องกับเฟืองจำเป็นต้องเข้าใจและเรียนรู้ ที่มาที่ไปของคำและคำศัพท์ต่าง ๆ ที่ใช้กับเฟืองและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ความสูงด้านครีงบน (Addendum) ของฟัน ความสูงด้านครีบล่าง (Dedendum) ของเฟือง ความหนาของเฟือง (Depth) ระยะเผื่อ (Clearance) มุมกด (Pressure Angle) และอื่น ๆ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดตามลำดับต่อไป เพื่อความเข้าใจที่ดีและสามารถสื่อสารถึงรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับเฟืองได้ดียิ่ง (ให้ดูรูปที่ 2.16 และรูปที่ 2.17) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ



รูปที่ 2.16 รายละเอียดของเฟือง [15]



รูปที่ 2.17 Circular Pitch [15]

2.3.1 รายละเอียดของฟัน (Tooth Proportions) ขนาดของฟันนี้มีการวัดเป็น 2 ระบบ คือ ระบบเมตริก (Metric) และ ระบบอังกฤษ ในระบบเมตริกนั้นจะวัดขนาดเป็นมิลลิเมตร เราเรียกเฟืองระบบนี้ว่า เฟืองโมดูล (Module) ขนาดของโมดูลเฟือง จะมีค่าซึ่งกำหนดไว้เป็นมาตรฐาน ส่วนระบบอังกฤษจะวัดขนาดเป็นนิ้ว เรียกเฟืองระบบนี้ว่า เฟืองดีพี (DP=Diameter Pitch) ฉะนั้น การซื้อหาและใช้งานเฟือง หรือผลิตเฟืองนั้นต้องทราบลักษณะรูปร่างของเฟืองและระบบของเฟือง เสียก่อนว่า ใช้ชนิดไหน และรูปร่างเป็นอย่างไร

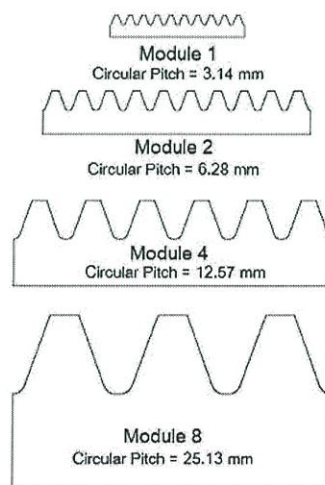
ระบบเมตริกหรือเฟืองโมดูล (Module, M) เฟืองระบบเมตริกหรือเฟืองเมตริกเป็น เฟืองที่ใช้หน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร โดยเรียกขนาดความโตของเฟืองว่าโมดูล (Module, m) ดังสมการ โมดูล

$$m = \frac{c_p}{\pi} \quad (2.3)$$

$$\text{Circular Pitch} \quad c_p = m\pi \quad (2.4)$$

เมื่อ c_p คือ Circular Pitch หรือระยะห่างจากฟันถึงฟันของเฟือง, mm

π คือ ค่าคงที่ 3.14



รูปที่ 2.18 เปรียบเทียบฟันเฟืองขนาดโมดูลต่าง ๆ [15]

ระบบอังกฤษหรือเฟือง DP (Diametral Pitch, DP) เป็นเฟืองที่มีหน่วยวัดเป็นหน่วยอังกฤษหรือเฟืองดีพี (DP Gear) คือหน่วยวัดที่เป็นนิ้วโดยที่ Diametral Pitch หมายถึงจำนวนฟันของเฟืองที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว เป็นที่นิยมใช้ในอเมริกาและประเทศอังกฤษ โดยเป็นไปดั่งสมการ

$$DP = \frac{N}{PD} \quad (2.5)$$

เมื่อ DP คือ ขนาดของเฟือง, ฟัน/เส้นผ่าศูนย์กลาง, นิ้ว

N คือ จำนวนฟันที่อยู่บนเฟือง

PD คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของเฟือง, นิ้ว

เช่น เฟืองตัวหนึ่งมี $DP = 48$ หมายความว่าเฟืองตัวนั้นมีฟันเฟือง 48 ฟันที่เส้นผ่าศูนย์กลางของเฟืองขนาด 1 นิ้ว

2.3.2 คำจำกัดความต่าง ๆ ของเฟือง ก่อนที่เราจะกล่าวถึงเรื่องละเอียดกว่านี้ของเฟือง ก่อนอื่นเราต้องมาทำความรู้จักคำจำกัดความหรือคำนิยามต่าง ๆ ของเฟืองเสียก่อน เพื่อให้ผู้อ่านจะได้มองภาพออกถึงสิ่งที่ผู้เขียนจะนำเสนอต่อไป โดยที่คำนิยามสองคำที่ผู้เขียนได้นำเสนอไปแล้วคือ คำว่า โมดูล (Module, M) และคำว่า Diametral Pitch, DP Circular Pitch, p คือความยาวเชิงเส้นที่วัดระยะห่างระหว่างเฟืองแต่ละตัว (ดูรูปที่ 2.18 ประกอบ) โดยอ้างอิงระดับของเส้นวงกลมพิต (Pitch Circle) โดยวัดจากฟันหนึ่งถึงอีกฟันหนึ่งของเฟืองดั่งสมการ

$$p = \frac{\pi d}{z} \quad (2.6)$$

และ $p = \pi m \quad (2.7)$

โดยที่

p คือ ระยะพิต, mm

m คือโมดูลของเฟือง

z คือจำนวนฟันของเฟือง

โมดูลจะบอกขนาดของฟันเฟือง

- Base Diameter คือเส้นผ่าศูนย์กลางที่วัดจากฐานของเฟือง

- Backlash คือ ระยะห่างระหว่างฟันของเฟืองขับและเฟืองตาม ซึ่งมีผลต่อการทำงานของเฟือง เช่นหากระยะห่างของเฟืองมากเกินไปก็อาจทำให้เกิดการกระแทกที่รุนแรง หรือหากชิดเกินไปก็จะทำให้เฟืองเกิดความร้อนและอาจไหม้ได้

- ระยะห่างระหว่างเฟือง (Center Distance) คือระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของเฟืองสองตัวที่ขบกัน

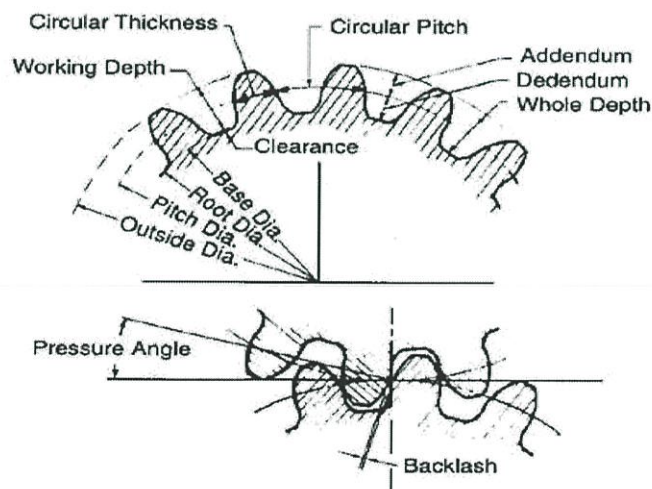
- ความหนาของฟันเฟือง (Circular Thickness) คือความหนาของฟันเฟืองตรงเส้นวงกลมพิต

- เส้นผ่าศูนย์กลางนอก (Outside Diameter) คือเส้นผ่าศูนย์กลางของเฟืองที่วัดจากปลายฟันของเฟือง

- มุมอัดหรือมุมกด (Pressure Angle) คือมุมที่ฟันของเฟืองขบกัน โดยมุมดังกล่าวเป็นมุมแทนเจน (Tangent) ที่วัดจากเส้นขนานระหว่างเฟืองสองตัวกับมุมที่ฟันเฟืองขบกัน ดังรูปด้านล่างของรูปที่ 2.19 ซึ่งโดยปกติแล้วรูปทรงของฟันเฟืองจะมีลักษณะที่ปลายเฟืองจะแหลมอยู่ระหว่าง ร่องเฟือง และเมื่อเฟืองทำงานจะเกิดการอัดกันระหว่างฟันเฟืองตามทิศทางเพื่อกดให้เฟืองอีกตัวหนึ่งหมุนตาม ตามทิศทางการหมุนของเฟืองตรง (Spur Gear)

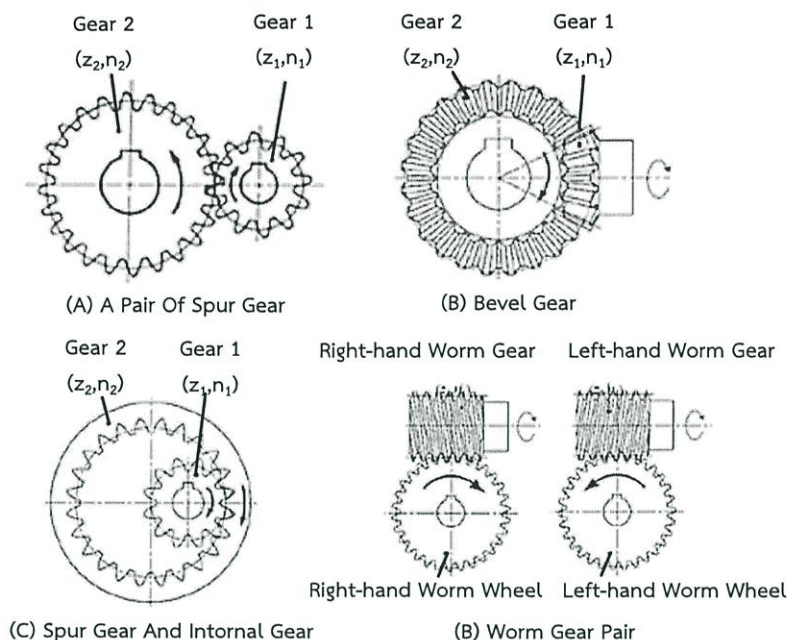
ในรูปที่ 2.19 คือตัวอย่างของเฟืองที่อธิบายเรื่อง Pressure Angle ให้เข้าใจง่ายที่สุด โดยเมื่อเรามองฟันเฟืองทรงแหลมสองตัวที่ขบกัน เฟืองทั้งสองตัวจะมีมุม Tangent ร่วมกันที่เส้นวงกลมพิตและปลายของฟันเฟืองอีกตัวหนึ่ง เรียกมุม Tangent ดังกล่าวว่ามุมกด (Pressure Angle) คือมุมที่ฟันเฟืองทั้งสองตัวสัมผัสกันในระหว่างการหมุน

โดยทั่วไปมุมกด (Pressure Angle) จะมีขนาดตั้งแต่ 14.5° , 20° และ 25° ตามมาตรฐานของ ANSI หรือมาตรฐานเฟืองอื่น ๆ แต่เฟืองส่วนมากจะมีมุมกดอยู่ที่ 20° แต่สำหรับเฟืองที่ใช้งานกับภาระ (Load) ที่สูง และต้องการความแข็งแรงเป็นพิเศษจะมีมุมกด (Pressure Angle) อยู่ที่ 25° นอกจากนั้นสำหรับเฟืองที่รับภาระไม่มากและต้องการการหมุนที่นุ่มนวลจะมีมุม กด (Pressure Angle) อยู่ที่ 14.50



รูปที่ 2.19 คำจำกัดความของเฟือง [15]

โดยสรุปก็คือเฟืองที่มีมุมกด (Pressure Angle) มากจะเป็นเฟืองที่ฟันมีขนาดใหญ่ และมีความแข็งแรงทนทาน ส่วนเฟืองที่มีมุมกดน้อยจะเป็นเฟืองที่ฟันมีขนาดเล็กรับภาระน้อยและต้องการ ความนุ่มนวลในการหมุน



รูปที่ 2.20 Single Stage Gear Train [15]

อัตราทดของเฟือง (Gear Ratio, Mesh Ratio, m_G)

อัตราทดของชุดเฟืองเดี่ยว (Single Stage Gear Train) คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนของฟันที่อยู่บนเฟืองคู่หนึ่ง ๆ ที่ขบกัน (Meshing) อยู่โดยอัตราทดของเฟืองคือ

$$m_G = \frac{N_G}{N_p} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.8)$$

เมื่อ m_G คือ อัตราทดของเฟืองที่ขบกัน (Mesh Ratio)

N_G , Z_2 คือ จำนวนฟันบนเฟืองตัวตาม (Teeth on Gear or Following), ฟัน

N_p , Z_1 คือ จำนวนฟันบนเฟืองตัวขับ (Teeth on Pinion or Driving), ฟัน

n_1 คือ ความเร็วรอบในการหมุนของเฟืองตาม, rpm

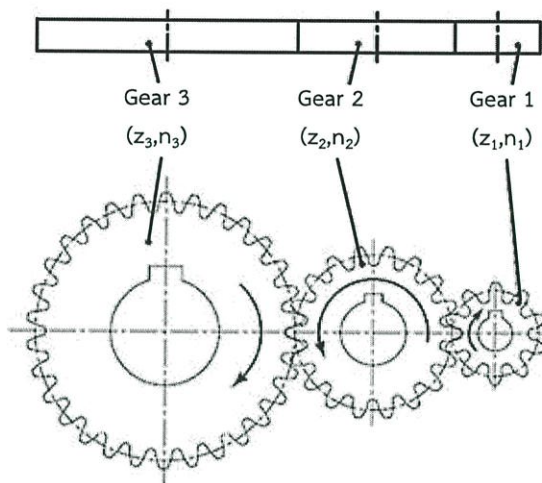
n_2 คือ ความเร็วรอบในการหมุนของเฟืองขับ, rpm

สำหรับอัตราทดของเฟืองระดับเดียวที่มีเฟืองสะพาน (Idle Gear) คั่นกลางเหมือนรูปที่ 2.21 อัตราทอก็จะเป็นดังสมการ

$$m_G = \frac{N_G}{N_p} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{Z_3}{Z_1} \quad (2.9)$$

จะเห็นว่าในกรณีที่เป็นการทดรอบของเฟืองระดับเดียวที่มีเฟืองสะพานคั่นกลาง อัตราทดของเฟืองจะไม่ขึ้นอยู่กับเฟืองสะพาน แต่อัตราทอดจะขึ้นอยู่กับเฟืองขับและเฟืองตามตัว

สุดท้ายเท่านั้น เพราะเฟืองสะพานทำหน้าที่แค่ส่งถ่ายกำลังและเปลี่ยนทิศทางการหมุนเท่านั้นเอง ดังนั้นอัตราทดจึงคิดเหมือนสมการที่ (2.9) ได้โดยตัดเฟืองสะพานออก

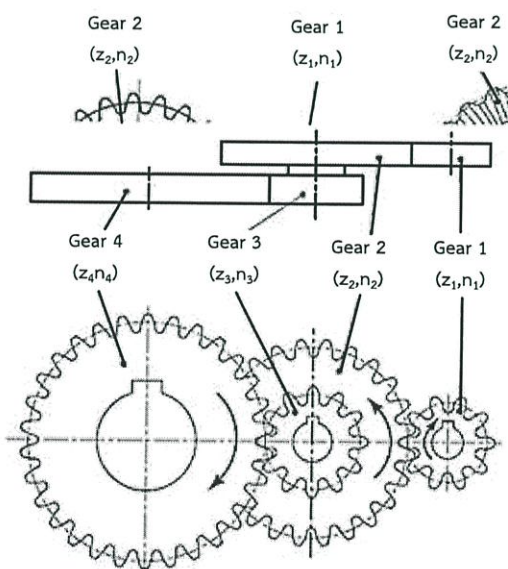


รูปที่ 2.21 Single Stage with Idle Gear Train [15]

อัตราทดของชุดเฟืองคู่ (Two Stage Gear Train) คือความอัตราส่วนระหว่างจำนวนของฟันเฟืองที่มีเฟืองสองชุดดังรูปที่ 2.23 หรือเฟืองสี่ตัวบนเพลาสี่เพลอัตราทดของเฟืองคู่คือ

$$m_G = \frac{z_2}{z_1} \times \frac{z_4}{z_3} = \frac{n_1}{n_2} \times \frac{n_3}{n_4} \quad (2.10)$$

จากรูปที่ 2.23 เราจะเห็นว่าชุดเฟืองคู่ต่างจากชุดเฟืองเดี่ยวตรงที่ ชุดเฟืองคู่มีตรงเพลากลางจะมี 2 เฟืองอยู่บนเพลากลางเดียวกันซึ่งตรงนี้เองที่จะทำให้อัตราทดของชุดเฟืองเปลี่ยนไปมากหรือน้อยตามจำนวนฟันที่แตกต่างระหว่างเฟืองตัวที่ 2 และเฟืองตัวที่ 3 สำหรับชุดเฟืองที่มีชุดเฟืองมากกว่าสองชุดก็ใช้สมการการคำนวณคล้ายกับสมการที่ (2.10)



รูปที่ 2.22 Single Stage with Idle Gear Train [15]

ตัวอย่างการคำนวณอัตราทดของชุดเฟืองคู่

จากตัวอย่างในรูปที่ 2.23 เฟืองตัวที่ 1 มี 10 ฟัน ($z_1 = 10$) เฟืองตัวที่ 2 มี 24 ฟัน ($z_2 = 24$) เฟืองตัวที่ 3 มี 12 ฟัน ($z_3 = 12$) ซึ่งเฟลาตัวที่ 3 อยู่บนเพลลาเดียวกับเฟืองตัวที่ 2 และหมุนด้วยความเร็วรอบที่เท่ากัน เฟืองตัวที่ 4 ซึ่งเป็นเฟืองตัวสุดท้ายมี 30 ฟัน ($z_4 = 30$)

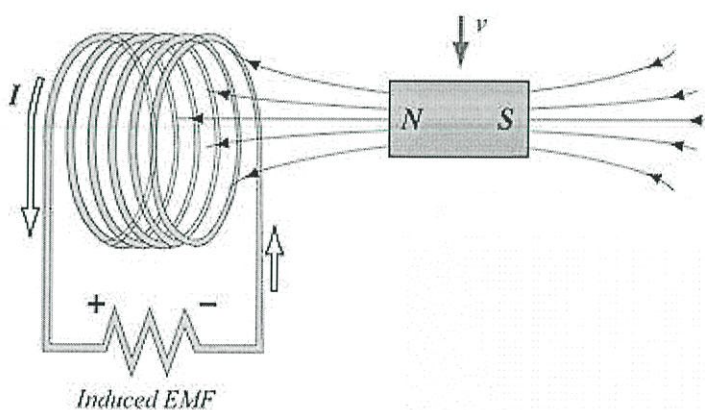
ในการคำนวณเราจะเห็นว่าอัตราทดของเฟืองชุดนี้จะมี 2 ชุดคือชุดแรกระหว่างเฟืองตัวที่ 1 และเฟืองตัวที่ 2 ส่วนชุดที่ 2 ระหว่างเฟืองตัวที่ 3 และเฟืองตัวที่ 4

2.4 ทฤษฎีการเหนี่ยวนำ Electromotive force ในขดลวดของ Michael Faraday

Michael Faraday ได้กล่าวไว้ว่าเมื่อมีสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มข้นของสนามที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาตัดผ่านหน้าตัดของขดลวดเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า Electromotive force (EMF) ซึ่งทำให้ electron ในเส้นลวดเคลื่อนที่ตามทิศทางของกฎมือขวา เมื่อนำโหนดมาต่อเข้ากับปลายขดลวดทั้งสองก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าในวงจร โดยที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อมปลายของเส้นลวดดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์ทางสมการเชิงคณิตศาสตร์ดังนี้

$$V_{emf} = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.11)$$

เมื่อ	V_{emf}	คือแรงเคลื่อนไฟฟ้า Electromotive force (EMF)
	N	คือจำนวนรอบของขดลวดหรืออาจจะหมายถึงความถึงจำนวนขั้วของแม่เหล็กก็ได้
	ϕ	คือฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดผ่านหน้าตัดของขดลวด
	t	คือระยะเวลาระหว่างเกิดการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก



รูปที่ 2.23 ปรากฏการณ์การเหนี่ยวนำกระแสจากสนามแม่เหล็ก [13]

ค่า N ในสมการที่ (2.11) อาจจะเป็นค่าของจำนวนรอบของขดลวดคูณกับค่าจำนวนขั้วของแม่เหล็กหรือค่าใดค่าหนึ่งของที่กล่าวมาก็ได้ ซึ่งในส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบเป็นหลัก ส่วนเครื่องหมายลบนั้นแสดงให้เห็นว่าทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในเส้นลวดมีทิศทางตรงข้ามกับกฎมือขวา เมื่อเราทำการหาที่มาของแรงเคลื่อน V_{emf} ต่อจะพบว่า

$$\phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int B dA \cos \theta = B \cos \theta \int dA = BA \cos \theta \quad (2.12)$$

โดยที่	ϕ	เป็นค่าฟลักซ์แม่เหล็ก หรือจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อพื้นที่หน้าตัดใดๆ
	\vec{B}	เป็นค่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กซึ่งมีค่าเท่ากับ $\mu(\vec{H} + \vec{M})$
	A	เป็นค่าพื้นที่หน้าตัดของบริเวณที่เราสนใจจะพิจารณาค่าสนามแม่เหล็ก
เมื่อ	\vec{H}	เป็นค่าสนามภายนอกแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก
	\vec{M}	เป็นค่าสนามภายในแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก
	μ	เป็นค่าความยอมให้สนามแม่เหล็กผ่านได้ในวัสดุใดๆ

มุม θ เป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก \vec{B} กับเวกเตอร์ของพื้นที่หน้าตัด A ถ้าขนาดของพื้นที่หน้าตัด A ของขดลวด และมุม θ มีค่าคงที่

ดังนั้น

$$V_{emf} = -N \frac{dB \cdot A \cos \theta}{dt} \quad (2.13)$$

จากสถานะจริงการจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำหนดให้ A และ θ มีค่าคงที่จะได้ว่า

$$V_{emf} = -NA \cos \theta \frac{dB}{dt} \quad (2.14)$$

ในการออกแบบนั้นเราจะพยายามบังคับให้มุม θ มีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์สุดท้ายสำหรับ V_{emf} เป็น

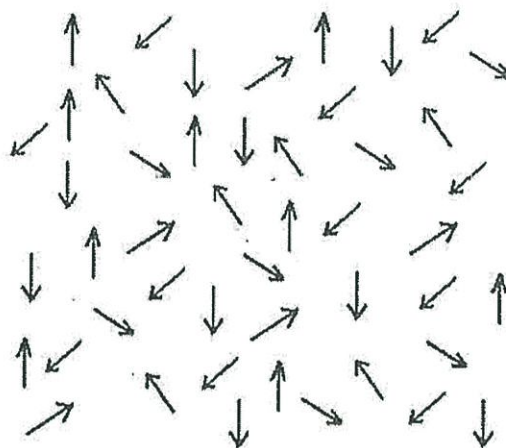
$$V_{emf} = -NA \frac{dB}{dt} \quad (2.15)$$

จากสมการที่ (2.15) จะพบว่าจำนวนรอบของขดลวด N และพื้นที่หน้าตัดของขดลวด A ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เทอมที่มีผลให้เกิด V_{emf} ก็คือเทอมของ $\frac{dB}{dt}$ ซึ่งจำนวนขั้วของแม่เหล็กที่มากก็จะทำให้ช่วงเวลาที่สนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวดน้อยลงมีผลทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก $\frac{d\phi}{dt}$ มีค่าเพิ่มขึ้น รวมถึงความเร็วของการเคลื่อนที่ของทุ่นด้วย

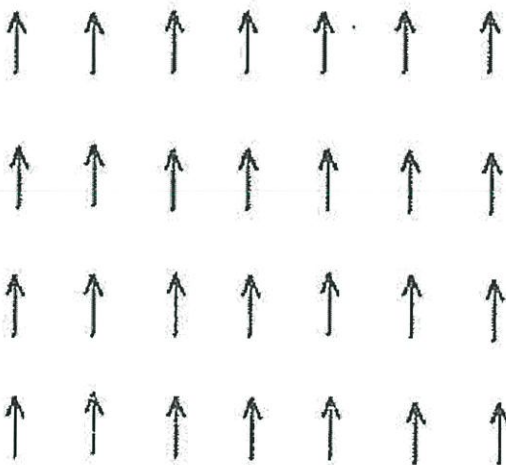
2.5 สมบัติทางกายภาพของแม่เหล็กถาวร

เนื่องจากวัสดุแม่เหล็กที่ใช้เป็นแม่เหล็กถาวรมันเป็นวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic ในอะตอมของวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic จะประกอบไปด้วยโมเมนต์สปิน

แม่เหล็ก (Spin magnetic moment) ที่การจัดเรียงตัวไปในทิศทางต่างๆ กันดังรูปที่ 2.25 แต่เมื่อได้รับการเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กภายนอก (Magnetized) โมเมนต์สปินแม่เหล็กดังกล่าวภายในเนื้อวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic นั้นก็จะมีการจัดเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันดังรูปที่ 2.26 การจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบนี้จะยังคงสภาพอยู่ต่อไปแม้ว่าจะนำสนามแม่เหล็กจากภายนอกที่ใส่ให้กับวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic ออกไปแล้วก็ตาม แต่สภาพโมเมนต์สปินแม่เหล็กที่เป็นระเบียบดังกล่าวก็สามารถทำลายได้ด้วยการทำให้อะตอมในวัสดุดังกล่าวสั่นอย่างรุนแรง เช่น การเผาหรือการทุบตีอย่างรุนแรง

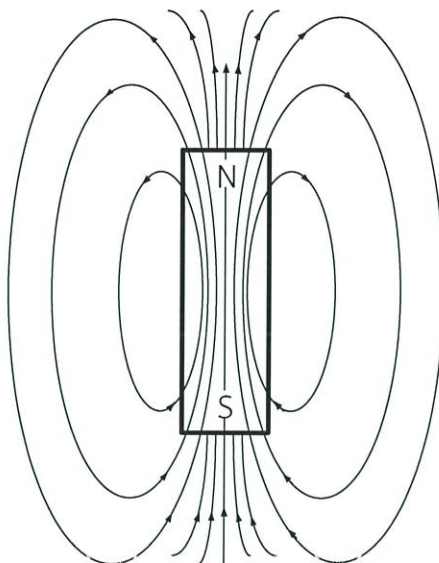


รูปที่ 2.24 การจัดเรียงตัวของโมเมนต์สปินแม่เหล็กในวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic ก่อนการ Magnetization [17]



รูปที่ 2.25 การจัดเรียงตัวของโมเมนต์สปินแม่เหล็กในวัสดุแม่เหล็กชนิด Ferromagnetic หลังการ Magnetization [17]

ปกติแล้วแม่เหล็กถาวรแต่ละชิ้นที่มีสภาพความเป็นแม่เหล็กจะมีขั้วในตัวแม่เหล็กถาวรเอง 2 ขั้ว คือขั้วเหนือ N และขั้วใต้ S โดยที่เส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.26 สนามแม่เหล็กกรอบแม่เหล็กถาวร [17]

โดยที่ความสัมพันธ์การลดทอนความเข้มของสนามแม่เหล็กตามระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดกับตำแหน่งที่ทำการวัดตั้งสมการที่ (2.16)

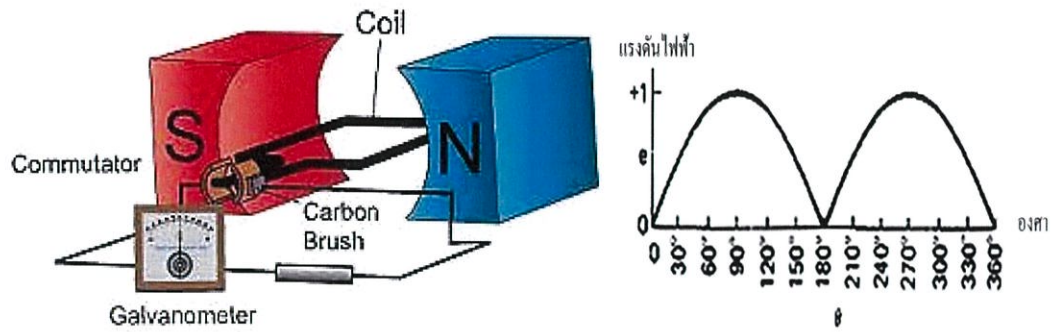
$$\vec{B} = \frac{\mu \vec{B}_0}{r^2} \quad (2.16)$$

โดยที่	\vec{B}	คือค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งใดๆ
	μ	คือค่าความยอมให้สนามแม่เหล็กผ่านได้ในวัสดุใดๆ
	\vec{B}_0	คือค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผิวของแหล่งกำเนิด
	r	คือระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดกับตำแหน่งที่ทำการวัด

2.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นการนำเอาเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงมา ทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยนำกำลังกลมาขับเคลื่อนที่เพลลาของเครื่องกล สรุปหลักการของเครื่องกำเนิดคือการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า

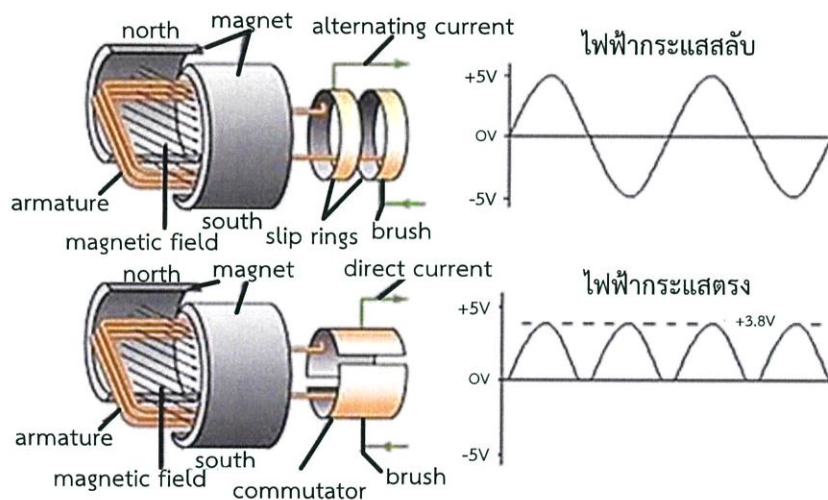
และในรูปที่ 2.30(ก) แสดงการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อทำการหมุนเครื่องกลไฟฟ้าจากตำแหน่ง 0 องศา ถึงตำแหน่ง 360 องศา จะได้แรงดันไฟฟ้าในซีกบวกดังรูปที่ 2.30(ข) และความแตกต่างระหว่างการกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ที่จุดที่ต่อไฟฟ้าออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ถ้าใช้ Slip ring จะได้ไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ถ้าใช้ Brush(แปรงถ่าน) จะได้ไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ 2.28



(ก) การหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

(ข) รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 2.27 รูปคลื่นแรงดันจากการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง [14]



รูปที่ 2.28 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เปรียบเทียบกับไฟฟ้ากระแสสลับ [14]

จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งตามลักษณะการต่อได้ 4 ลักษณะดังนี้

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก (Separately Excited DC Generator)
2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt DC Generator)
3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC Generator)
4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound DC Generator)

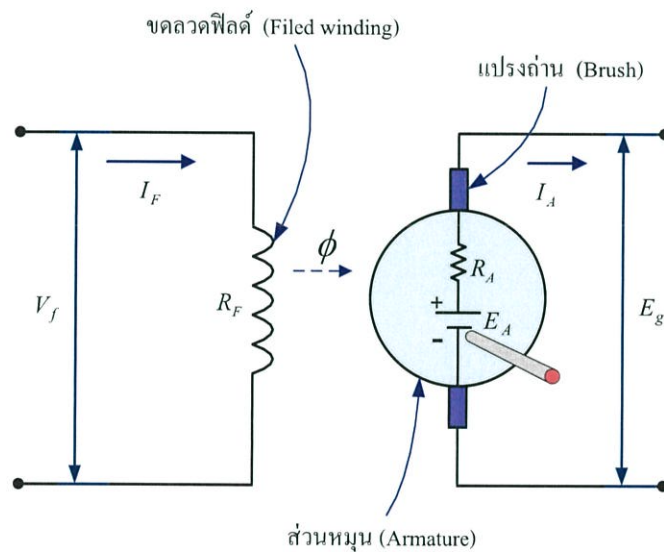
2.6.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดนี้ขดลวดที่อยู่ในส่วนหนึ่ง จะทำหน้าที่สร้างสนาม แม่เหล็กกับขดลวดอาร์เมเจอร์ทำหน้าที่สร้างแรงดันไฟฟ้าจะแยกออกจากกัน แสดงลักษณะวงจรดังรูปที่ 2.30 ในส่วนของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กจะต้องมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอกมาป้อนให้กับขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่ไปสร้างให้เกิดแรงแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นที่อาร์เมเจอร์

เมื่อพิจารณาในส่วนของอาร์เมเจอร์ เมื่อใช้กฎของแรงดันเคอร์ซอพฟ์ และสามารถเขียนแรงดันไฟฟ้าในวงจรอาร์เมเจอร์ได้ดังสมการที่ (2.17) และแรงดันที่ส่งออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดนี้จะเป็นไปตามสมการ (2.18)

$$E_A = E_g + I_A R_A \quad (2.17)$$

$$E_g = E_A - I_A R_A \quad (2.18)$$

เมื่อทำการพิจารณาสมการแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจากสมการที่ (2.18) พบว่า แรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันที่จ่ายออกจากอาร์เมเจอร์เสมอ เพราะแรงดันส่วนหนึ่งจะไปตกคร่อมที่ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์

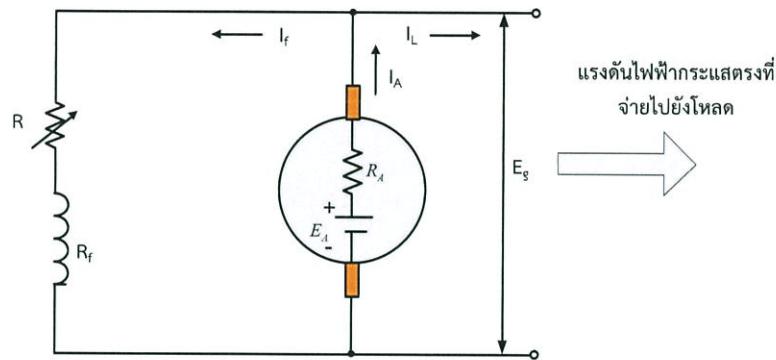


รูปที่ 2.29 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก [14]

ในการคำนวณหาคุณลักษณะดังรูปที่ 2.30 แสดงวงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก และมีค่าตัวแปรต่างของวงจรดังนี้

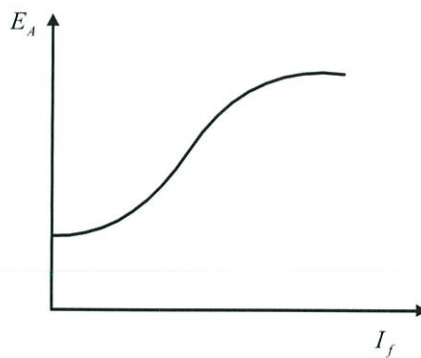
- เมื่อ
- V_f = แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดฟิลด์
 - E_g = แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลด
 - E_A = แรงดันไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์
 - I_f = กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดฟิลด์หรือกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก
 - I_A = กระแสไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์
 - R_f = ค่าความต้านทานของขดลวดฟิลด์
 - R_A = ค่าความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์
 - ϕ = เส้นแรงแม่เหล็ก

2.6.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายแรงดันจากภายนอกป้อนให้กับขดลวดฟิลด์ แต่จะใช้อำนาจแม่เหล็กที่เหลือในแกนเหล็ก (Residual Magnetic Flux) ภายในตัวของเครื่องกำเนิดเอง และแสดงวงจรสมมูล (Equivalent Circuit) ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.30 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน [14]

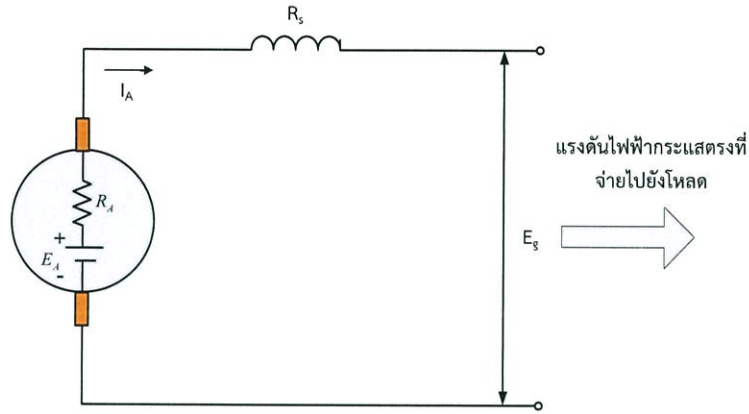
พิจารณารูปที่ 2.32 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าสร้างสนามแม่เหล็ก I_f กับแรงดันไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์ E_A เมื่ออาร์เมเจอร์เริ่มหมุนและยังไม่ต่อโหลด แรงดันไฟฟ้าอาร์เมเจอร์ที่เกิดขึ้น (Voltage Build-up) จะขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก I_f และค่าความต้านทาน R จะเป็นตัวจำกัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ชั่ว E_g ให้ได้ตามต้องการ



รูปที่ 2.31 กราฟความสัมพันธ์ E_A กับ I_f [14]

แรงดันไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานจากการหาตามกฎแรงดันไฟฟ้าเคอร์ชอฟฟ์แสดงดังเหมือนกับสมการที่ (2.18)

2.6.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่กำเนิดไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก แต่จะใช้อำนาจแม่เหล็กที่เหลือภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคล้ายกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน และแสดงวงจรไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมแสดงวงจรดังรูปที่ 2.33

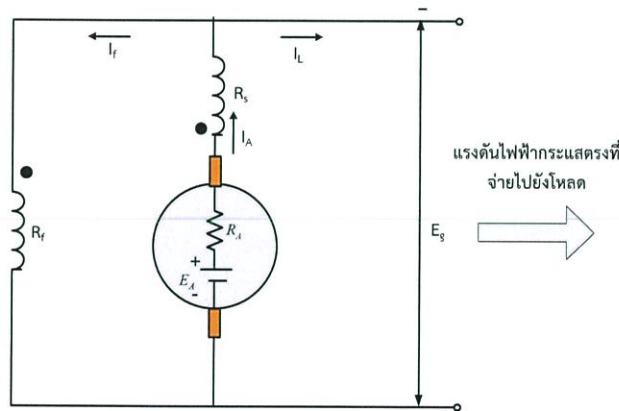


รูปที่ 2.32 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม [14]

สมการแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมเมื่อหาจากกฎแรงดันไฟฟ้าเคอร์ชอฟฟ์แสดงดังสมการที่ (2.19)

$$E_g = E_A - I_A (R_A + R_s) \quad (2.19)$$

2.6.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบผสม เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดนี้เป็นการรวมกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขนานกับอนุกรมและแสดงวงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบผสมดังรูปที่ 2.34 สมการแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหมือนกับสมการที่ (2.19)



รูปที่ 2.33 วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม [14]

2.6.5 โวลต์เตจเรกกูเรชันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายแรงดันให้กับโหลด แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดจะลดลง เมื่อกระแสไฟฟ้าสร้างสนามแม่เหล็ก I_f คงที่ และเมื่อทำการปรับกระแส I_f จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นการปรับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดในขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลงเรียกว่าโวลต์เตจเรกกูเรชัน (Voltage Regulation) หรือการคุมค่าแรงดัน แสดงดังสมการที่ (2.20)

$$\% \text{ Voltage Regulation} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\% \quad (2.20)$$

เมื่อ V_{NL} = แรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดหรือมีค่าเท่ากับแรงดันอาร์เมเจอร์ E_A
 V_{FL} = แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดขณะที่จ่ายโหลด

2.6.6 ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ถ้าทราบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จะทำให้สามารถหาขนาดของเครื่องต้นกำลังมาหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้ โดยทั่วไปขนาดของเครื่องต้นกำลังที่จะนำมาหมุนจะต้องมีค่ามากกว่า 1.5 เท่าของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดการหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดสามารถหาค่าได้ดังสมการที่ (2.21)

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{loss}} \times 100\% \quad (2.21)$$

เมื่อ P_o = กำลังไฟฟ้าด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
 P_{loss} = กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

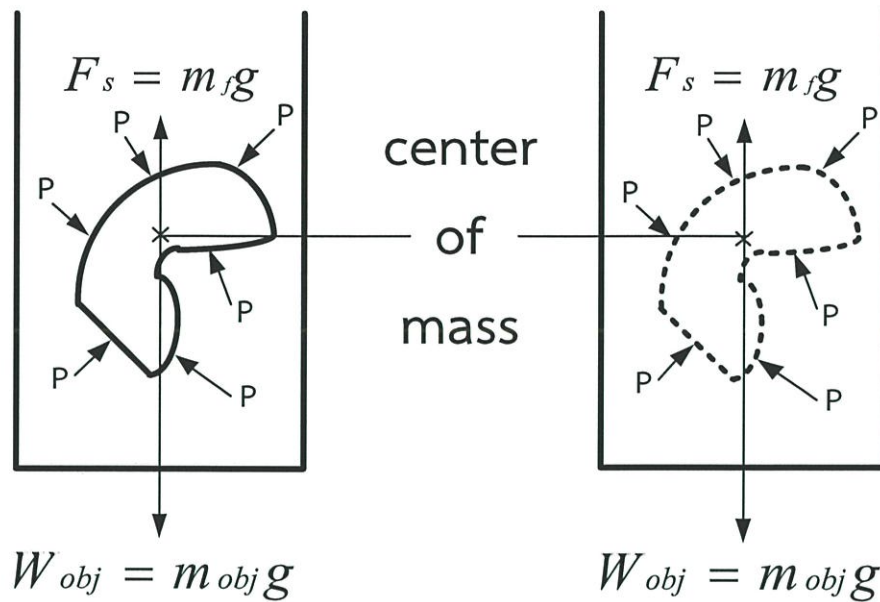
กำลังไฟฟ้าสูญเสียประกอบด้วย

1. กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก
2. กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ขดลวดอาร์เมเจอร์
3. กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แกนเหล็ก
4. กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

2.7 แรงลอยตัวและหลักการของอาร์คิมิดีส

ในการออกแบบทุ่นลอยเพื่อรับพลังงานกลจากคลื่นน้ำทะเลที่มีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดตลอดเวลาสำหรับการส่งพลังงานกลให้กับชุดเกียร์แม่เหล็กของเครื่องแปลงพลังงานกลจากคลื่นน้ำเป็นพลังงานไฟฟ้า ในเบื้องต้นจะทำการพิจารณาที่แรงลอยตัวเป็นหลัก เนื่องจากขนาดของชุดเกียร์แม่เหล็กจะสัมพันธ์กับขนาดของทุ่นลอยโดยตรง รวมถึงแรงกระทำต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับระบบก็จะต้องทำการวิเคราะห์จากส่วนของแรงลอยตัวเป็นอันดับแรก ส่วนความเสถียรภาพของการลอยตัวจะเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับรูปร่างของทุ่นซึ่งก็มีผลต่อการรับพลังงานจากคลื่นน้ำเช่นกัน

แรงลอยตัวคือแรงพยุงที่ของไหลกระทำกับวัตถุในทิศทางที่ตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วง เมื่อวัตถุถูกของไหลล้อมรอบ หลักการของ Archimedes มีว่าวัตถุที่จมอยู่ในของไหลทั้งหมด หรือแม้แต่เพียงบางส่วน นั้นจะมีแรงพยุงจากความดันของของไหลมาพยุงวัตถุเอาไว้เช่นกันโดยแรงพยุงดังกล่าวจะมีขนาดเท่ากับน้ำหนักของของไหลที่มีปริมาตรเท่ากับส่วนที่วัตถุจมอยู่ ซึ่งจะสังเกตได้จากรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.34 เวกเตอร์แรงต่าง ๆ ที่กระทำกับวัตถุที่จมในของไหล [17]

หลักการที่สำคัญคือไม่ว่าวัตถุแต่ละชิ้นจะมีน้ำหนักหรือความหนาแน่นเท่าใด ถ้าปริมาตรของวัตถุที่จมอยู่ในของไหลมีปริมาตรเท่ากัน แรงที่ของไหลออกแรงพยุงวัตถุจะมีค่าเท่ากัน โดยสามารถอธิบายเป็นสมการได้ว่า

ในกรณีที่วัตถุจมทั้งหมดและลอยอยู่กลางของไหลสมการการเคลื่อนที่ที่จุดศูนย์กลางมวลจะเป็นดังนี้

$$\sum \vec{F}_Y = 0 \rightarrow F_B - W_{obj} = 0 \rightarrow F_B = W_{obj} \quad (2.22)$$

เมื่อ $\sum \vec{F}_Y$ ผลรวมแรงในแนวแกน Y
 \vec{F}_B แรงที่ของไหลออกแรงพยุงวัตถุที่จมอยู่
 \vec{W}_{obj} แรงที่เกิดจากน้ำหนักของวัตถุ

โดยที่
$$\vec{F}_B = m_f \vec{g} \quad (2.23)$$

และ
$$\vec{W}_{obj} = m_{obj} \vec{g} \quad (2.24)$$

เมื่อ m_f คือมวลของของไหล
 m_{obj} คือมวลของวัตถุ
 \vec{g} คือค่านิจแรงโน้มถ่วง

ส่วนในกรณีที่วัตถุจมอยู่บางส่วนนั้น เนื่องจากความดันที่ของไหลกระทำที่ด้านล่างของวัตถุมีมากกว่าที่ด้านบน สมการผลรวมแรงลอยตัวจึงเป็น

$$\sum \vec{F}_{liquid} = \vec{B} = \vec{F}_{bot} - \vec{F}_{top} \quad (2.25)$$

จาก
$$\vec{F} = \vec{P}A \quad (2.26)$$

ดังนั้น
$$\vec{F}_B = \vec{P}_{bot}A - \vec{P}_{top}A = \Delta\vec{P}A = \rho_f \vec{g}hA \quad (2.27)$$

$$\vec{F}_B = \rho_f \vec{g}V \quad (2.28)$$

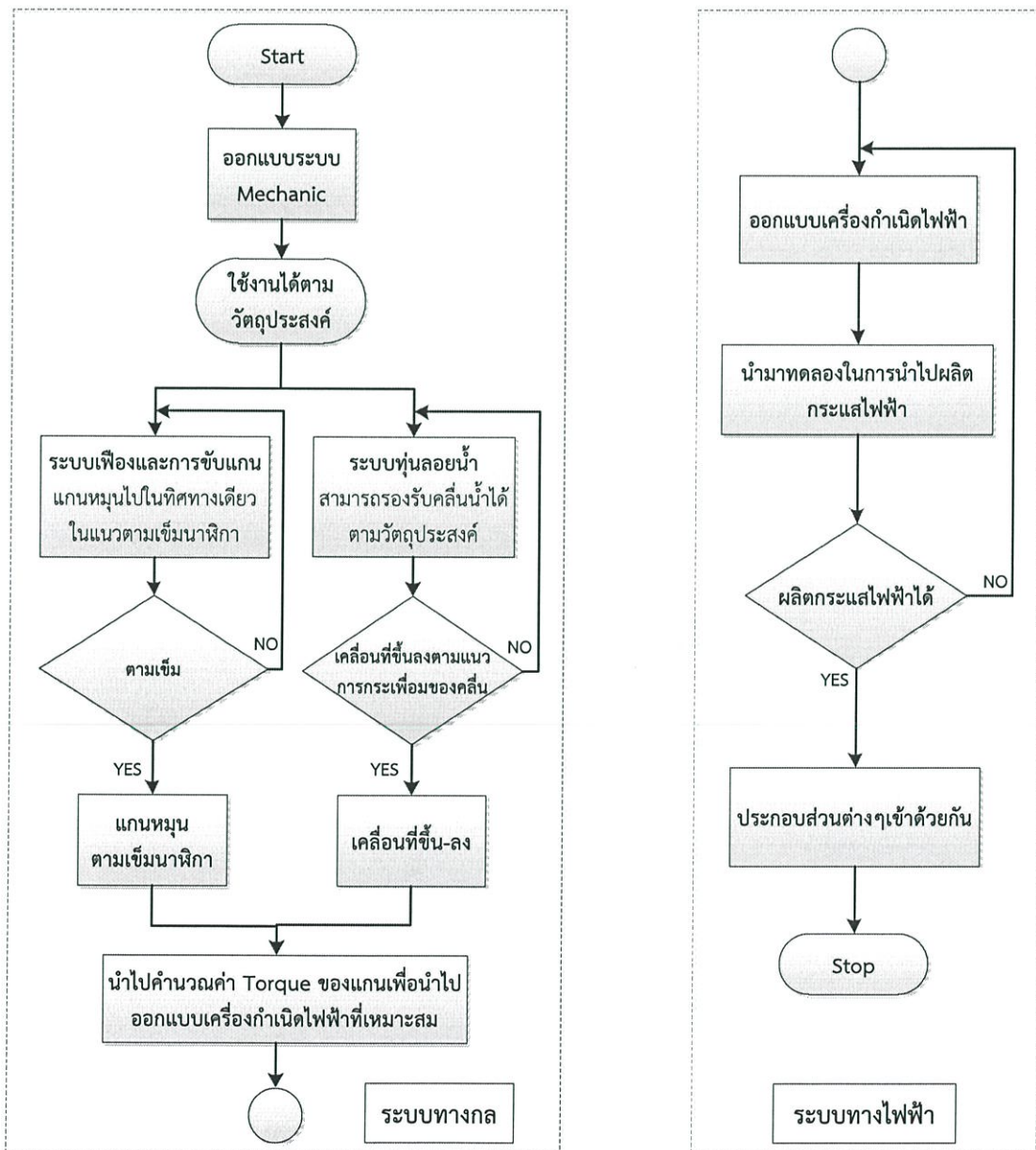
เมื่อ	\vec{P}	คือความดันที่ของไหลกระทำกับวัตถุ
	A	คือพื้นที่หน้าตัดของวัตถุ
	ρ_f	คือความหนาแน่นเชิงมวลของของไหล
	h	คือความสูงของวัตถุ
	V	คือปริมาตรของของไหลที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุ

เมื่อนำหลักการของ Archimedes มาประยุกต์ใช้กับการออกแบบหุ่นช่วยพยุงแม่เหล็กจะพบว่าน้ำหนักของ Electromagnetic gearbox รวมกับตัวหุ่นเองแล้วต้องมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับส่วนที่หุ่นจมน้ำอยู่ ซึ่งการเลือกวัสดุที่ใช้ทำหุ่นที่เหมาะสมก็คือวัสดุที่มีความหนาแน่นเชิงมวลต่ำๆเป็นหลัก ส่วนรูปทรงนั้นต้องมีการศึกษาทางด้านพลศาสตร์ของไหล (Fluid dynamic) ต่อไป เพื่อให้หุ่นที่ออกแบบสามารถถ่ายเทพลังงานจากแอมพลิฟายด์ของคลื่นมาเป็นแรงในการยก Electromagnetic gearbox ให้ได้มากที่สุด

บทที่ 3

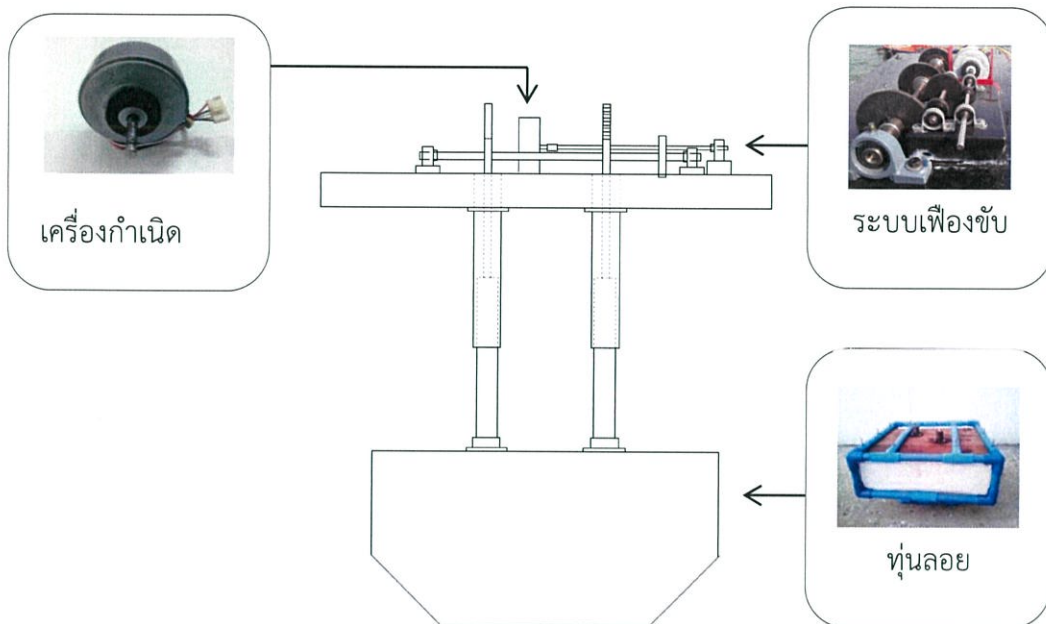
การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

ต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น คือ การนำพลังงานจลน์จากคลื่นน้ำมาแปลงเป็นพลังงานกลเพื่อนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยการออกแบบแบ่งออกได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนของระบบทางกล ซึ่งแปลงพลังงานจากคลื่นมาเป็นพลังงานการหมุนแกนของต้นกำลัง (prime mover) และส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นส่วนที่จะนำไปต่อกับตัวต้นกำลังเพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีแผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงานดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน

จากแผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงานสามารถออกแบบต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น ซึ่งแบ่งออกได้เป็น ระบบทางกล ได้แก่ ชุดเฟืองขับเคลื่อนทางเดียว ชุดเฟืองทรอบ ทุ่นลอย และระบบทางไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.2

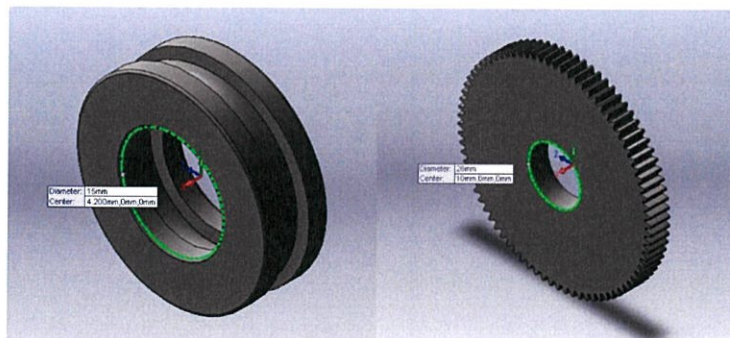


รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบหลักของต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

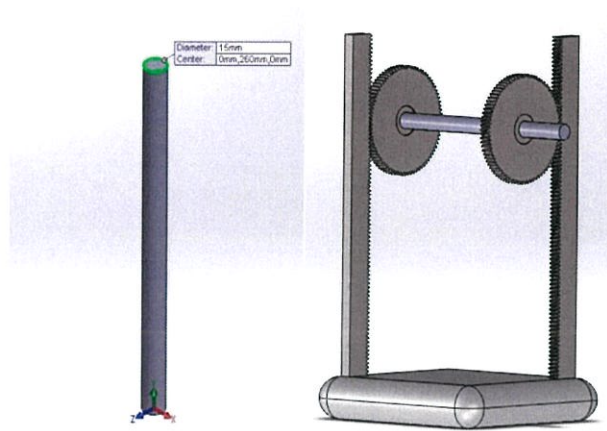
3.1 ส่วนประกอบทางกล

ส่วนประกอบทางกลเป็นการออกแบบระบบทางกลที่นำมาใช้ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์จากคลื่นน้ำเป็นพลังงานกลเพื่อนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

3.1.1 ระบบเฟืองขับ แปลงการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงมาเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุน โดยใช้เฟืองทางเดียว (one-directional gear) 2 ตัวต่อสลับด้านกัน เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานได้ทั้งการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง อีกทั้งยังทำให้แกนขับหมุนไปในทิศทางเดียว สำหรับการออกแบบระบบเฟืองขับ และเฟืองเพิ่มรอบที่นำมาขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสม และให้เกิดศักยภาพสูงสุดนั้น ได้มีการใช้โปรแกรม Solidworks ในการออกแบบ และจำลองระบบ ซึ่งได้มีการออกแบบเฟือง ลูกป็น และแกนในการขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทางกลนี้ดังรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 ลูกป็นและเฟืองที่ได้ทำการออกแบบจากโปรแกรม Solidworks



รูปที่ 3.4 ระบบทางกลที่ออกแบบจากโปรแกรม Solidworks

เมื่อมีการออกแบบระบบจากโปรแกรม Solidworks แล้วทำการเลือกอุปกรณ์ โดยการออกแบบระบบทั้งหมดได้มีการเลือกอุปกรณ์ต่างๆโดยพิจารณาดังต่อไปนี้

3.1.1.1 เฟืองขับระบบ

ประกอบด้วยเฟืองขับ 100 ซี	2	ตัว
ความหนาของฟันเฟือง (Circular Thickness)	6	มิลลิเมตร
เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของเฟือง (Outside Diameter)	102	มิลลิเมตร
มุมอัดหรือมุมกด (Pressure Angle)	20	องศา
ค่า Modulus ของเฟือง		

$$m = \frac{c_p}{\pi} \quad (3.1)$$

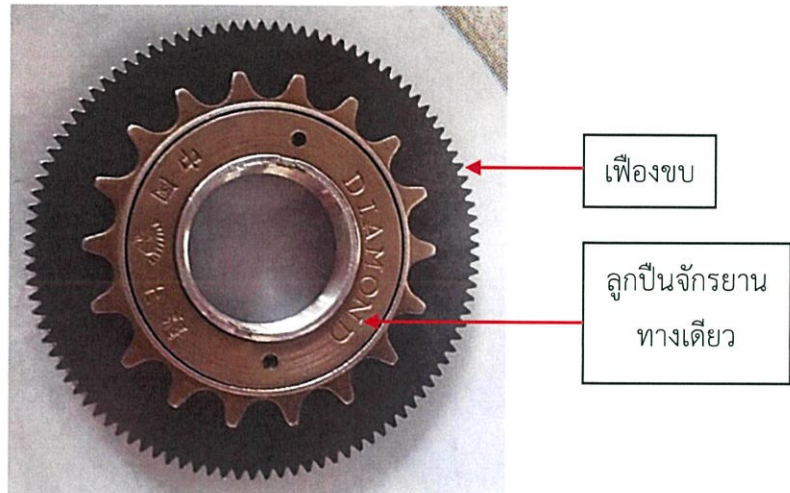
$$m = \frac{3.20}{\pi}$$

$$m = 1.0$$

เมื่อ c_p คือ Circular Pitch โดยเฟืองที่ใช้มีค่าเป็น	3.20	มิลลิเมตร
π คือ ค่าคงที่ 3.14		

3.1.1.2 ลูกปืน

ลูกปืนทางเดียวแบบบอลแบริงส์	2	ตัว
เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน(d)	34	มิลลิเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก(D)	72	มิลลิเมตร
ความหนา(T)	13	มิลลิเมตร



รูปที่ 3.5 เฟืองขับและลูกปืนที่ประกอบเข้ากันแล้ว

3.1.1.3 เฟืองวางขับที่ใช้ในการรับการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง

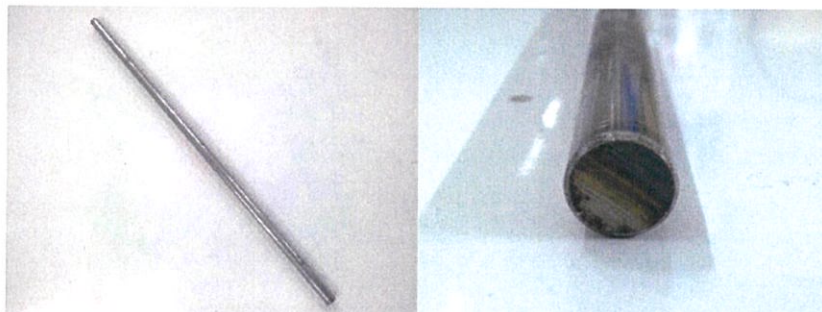
เฟืองวาง	2	ตัว
ความยาวของเฟืองวาง	50	เซนติเมตร



รูปที่ 3.6 เฟืองวางที่ใช้รับการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง

3.1.1.4 แกนขับ

ความยาวของแกนขับ	50	เซนติเมตร
ขนาดของแกนขับ	4	หุน

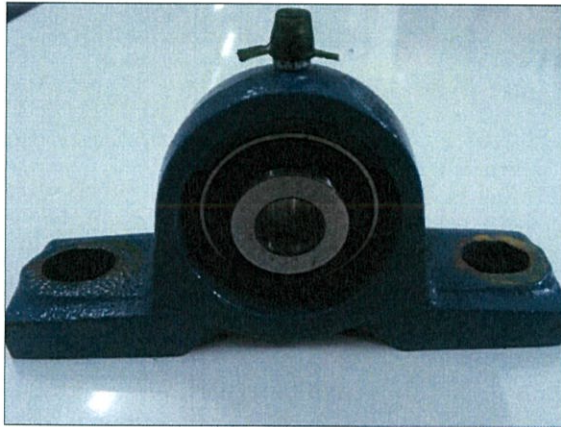


รูปที่ 3.7 แกนขับทางกลขนาด 4 หุน

3.1.1.5 เฟืองตึกตา

แกนของเฟืองตึกตาขนาด

4 หุน



รูปที่ 3.8 เฟืองตึกตา

3.1.2 ระบบเฟืองเพิ่มรอบ เป็นการเพิ่มรอบให้กับการหมุนของระบบเฟืองขับเพื่อทำให้มีรอบเพิ่มขึ้นเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบทางกลสามารถทำงานได้จริง จึงได้มีการสร้างแบบจำลองทางกลขึ้นจริง ซึ่งจะพิสูจน์ระบบขับเคลื่อนที่แกนจะต้องหมุนไปในทิศทางเดียว โดยแปลงพลังงานจากการเคลื่อนที่ ขึ้น-ลง ของคลื่นน้ำ และได้มีการคำนวณค่าอัตราการเพิ่มรอบซึ่งจะทำการทดลองโดยออกแบบให้มีการเพิ่มรอบ 14 รอบซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{สมการการเพิ่มรอบ} \quad \frac{\omega_n}{\omega_1} = \frac{T_1}{T_2} \times \frac{T_3}{T_4} \times \dots \times \frac{T_{n-1}}{T_n} \quad (3.2)$$

โดย ω คือ ความเร็วรอบของเฟือง
 T คือ จำนวนซี่ของเฟือง
 n คือ ลำดับของเฟืองเริ่มจาก 1

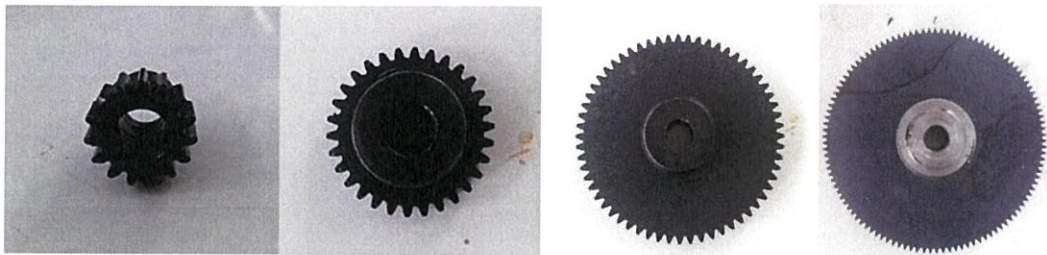
จากการที่ใช้เฟืองทดทั้งหมด 4 ตัว จะได้ $T_1 = 110$, $T_2 = 30$, $T_3 = 60$, $T_4 = 15$
 แทนค่าลงในสมการ (3.2) จะได้

$$\frac{\omega_4}{\omega_1} = \frac{110}{30} \times \frac{60}{15}$$

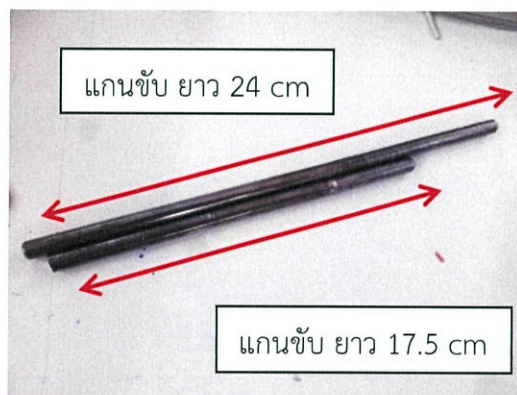
$$\frac{\omega_4}{\omega_1} = \frac{14.67}{1}$$

เมื่อได้ค่าการเพิ่มรอบแล้วก็นำมาออกแบบและเลือกซื้ออุปกรณ์ เพื่อนำไปประกอบเป็นระบบเฟืองเพิ่มรอบโดยมีอุปกรณ์ดังนี้

- | | | |
|--|-----------|-----------|
| 1.) เฟืองขับ 15 ซี่ 1 ตัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง | 12 | มิลลิเมตร |
| 2.) เฟืองขับ 30 ซี่ 1 ตัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง | 32 | มิลลิเมตร |
| 3.) เฟืองขับ 60 ซี่ 1 ตัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง | 62 | มิลลิเมตร |
| 4.) เฟืองขับ 110 ซี่ 1 ตัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง | 112 | มิลลิเมตร |
| 5.) แกนขับ 2 แกนขนาด 2.5 หุนยาว | 17.5 , 24 | เซนติเมตร |
| 6.) เฟืองตุ้กตา 4 ตัว ขนาด | 2.5 | หุน |



รูปที่ 3.9 เฟืองขับขนาด 15,30,60 และ 110 ซี่



รูปที่ 3.10 แกนขับทางกลขนาด 2.5 หุน



รูปที่ 3.11 เฟืองตุ้กตา ขนาด 2.5 หุน

เมื่อได้เลือกอุปกรณ์แล้วผู้ออกแบบได้มีการประกอบและติดตั้งเพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบเพิ่มรอบมีการใช้งานได้จริง ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ระบบเฟืองขับและเฟืองเพิ่มรอบที่นำมาประกอบกันแล้ว

3.1.3 โฟมที่ใช้เป็นทุ่นลอย มีการรับพลังงานกลจากคลื่นน้ำที่มีการเคลื่อนที่ในแนว-ขึ้นลงมาใช้เพื่อต่อเข้ากับแกนขับทางตรงเพื่อนำมาต่อกับระบบ

การเลือกทุ่นลอย สำหรับออกแบบทุ่นลอยให้มีความเหมาะสมและมีศักยภาพในการติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบ และได้มีการศึกษาค่าแรงลอยตัวของวัตถุแต่ละชนิด เช่น โฟม พลาสติก โดยนำค่าพารามิเตอร์ของวัตถุแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกับกัน แล้วทำการเลือกวัตถุ พร้อมทั้งหาขนาดที่เหมาะสมเพื่อที่จะนำมาติดตั้งในระบบ

จากทฤษฎีของแรงลอยตัว ถ้าความหนาแน่นของวัตถุน้อยกว่า ความหนาแน่นของของเหลว ซึ่งในที่นี้คือน้ำ วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง โดยการเคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของเหลว และวัตถุ

$$\vec{F}_B = m_f \vec{g} \quad (3.3)$$

$$\vec{F}_B = \vec{W}_{obj} \quad (3.4)$$

$$\vec{W}_{obj} = m_{obj} \vec{g} \quad (3.5)$$

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.6)$$

จากสมการ (3.3) และ (3.4) จะเห็นได้ว่าแรงลัพธ์ที่จะทำให้วัตถุลอยตัวได้นั้นต้องมาจากแรง \vec{F}_B ที่มากกว่าแรง \vec{W}_{obj} มาก ๆ เพราะยิ่งมากจะทำให้แรงลอยตัวมากขึ้น ซึ่งหากจะให้

\bar{W}_{obj} มีค่าน้อยมวลวัตถุที่ใส่ลงไปใต้น้ำก็ควรจะมีค่าที่น้อย และค่าความหนาแน่นของวัตถุ (ρ) ก็ควรมีค่าน้อยด้วยเช่นกัน

เมื่อทราบความสัมพันธ์ระหว่างแรงลอยตัวและความหนาแน่นของวัตถุ (ρ) แล้วก็ได้มีการเลือกวัสดุที่จะนำไปทำเป็นหุ่นลอยโดยได้มีการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของวัสดุที่สนใจสองชนิดคือ พลาสติกพีพี (PP Plastic) และโฟม ซึ่งเห็นได้ว่าโฟมมีค่าความหนาแน่นที่น้อยกว่า ดังแสดงการเปรียบเทียบในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ซึ่งทำให้เห็นว่าโฟมมีมวลที่น้อยกว่าหากเทียบกับพลาสติกพีพี ที่ปริมาตรเท่ากัน เพราะฉะนั้นจึงได้มีการเลือกใช้โฟมเพื่อนำมาทำเป็นหุ่นลอยต่อไป

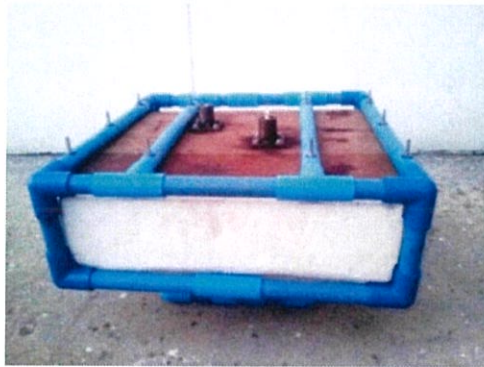
ตารางที่ 3.1 แสดงความหนาแน่นของพลาสติกแต่ละชนิด [16]

ชนิดของพลาสติก	ความหนาแน่น(กก./ลบ.ม.)	ผลที่ได้
PET	1550	มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ผลคือจมน้ำ
PVC	1300	มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ผลคือจมน้ำ
PS	1047	มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ผลคือจมน้ำ
น้ำ	1000	
HDPE	953	มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ผลคือลอยน้ำ
LDPE	924	มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ผลคือลอยน้ำ
PP	900	มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ผลคือลอยน้ำ

ตารางที่ 3.2 แสดงความหนาแน่นของของแข็งและของเหลวแต่ละชนิด [16]

สาร	ความหนาแน่น (kg/m ³)	สาร	ความหนาแน่น (kg/m ³)
ของแข็ง		ของเหลว	
ออสเมียม	22.5×10^3	ปรอท	13.6×10^3
ทอง	19.3×10^3	น้ำทะเล	1.024×10^3
ยูเรเนียม	18.7×10^3	น้ำ (4 °C)	1.00×10^3
ตะกั่ว	11.3×10^3	เอทิลแอลกอฮอล์	0.79×10^3
เงิน	10.5×10^3	น้ำมันเบนซิน	0.68×10^3
ทองแดง	8.9×10^3	แก๊ส	
ทองเหลือง	8.6×10^3		
เหล็ก	7.86×10^3	ออกซิเจน	1.429
อลูมิเนียม	2.7×10^3	อากาศ	1.292
แมกนีเซียม	1.74×10^3	ไนโตรเจน	1.251
แก้ว	$(2.4-2.8) \times 10^3$	ฮีเลียม	0.179
น้ำแข็ง	0.917×10^3	ไฮโดรเจน	0.090
โฟม	0.1×10^3		

โพนี่เลือกใช้ทำทุ่นลอยใช้ขนาด 60x60x40 เซนติเมตร (กว้างxยาวxสูง) เป็นโพนี่ชนิด 1.5 ปอนด์



รูปที่ 3.13 ทุ่นลอยน้ำจากโพนี่ชนิด 1.5 ปอนด์

โดยเมื่อมีการชั่งน้ำหนักรวมกับแกนเหล็ก และแผ่นไม้รวมกัน มีน้ำหนัก 16.435 กิโลกรัม คิดเป็นแรงกดจากสมการ (3.5) มีค่าเป็น 161.171 นิวตัน

เมื่อนำค่าแรงกดมาเทียบกับแรงลอยตัวของทุ่นลอยกับน้ำหนักที่ได้จากสมการ (3.3) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1446.042 นิวตัน ได้แรงลัพธ์สูงสุดที่ทุ่นลอยสามารถรับน้ำหนักได้เป็นแรงในทิศขึ้นเป็น $1446.042 - 161.171$ เท่ากับ 1284.871 นิวตัน

เพื่อหาค่าแรงบิดของตัวต้นกำลังที่นำไปขับเคลื่อนระบบ จากแรงกดที่คำนวณได้ทำให้สามารถหาค่าแรงบิดจากสมการดังนี้

$$T_p = r \times F \quad (3.5)$$

เมื่อ T_p คือ แรงบิดในการขับ

r คือ รัศมีของเฟืองขับ มีค่าเท่ากับ 0.051

F คือ แรงกดจากทุ่นลอย มีค่าเท่ากับ 161.171 นิวตัน

$$T_p = 0.051 \times 161.171 \quad \text{นิวตัน-เมตร}$$

$$T_p = 8.22 \quad \text{นิวตัน-เมตร}$$

เนื่องจากการเพิ่มรอบให้กับเฟืองขับเพราะฉะนั้นค่าแรงบิดที่ได้มีค่าลดลงตามจำนวนรอบที่ทดเพิ่มขึ้นซึ่งสามารถแสดงระบบเพิ่มรอบได้ดังรูปที่ 3.13 และได้มีการคำนวณหาค่าแรงบิดที่เกิดจากการเพิ่มรอบแล้วได้ดังนี้

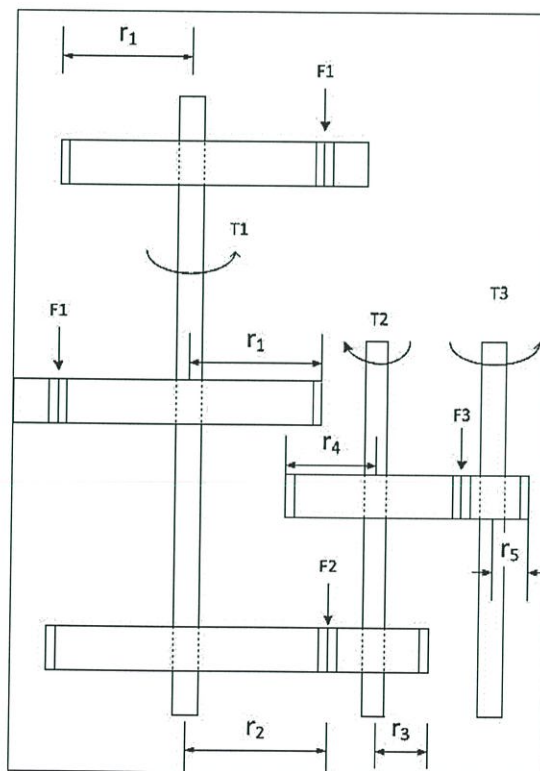
$$T_3 = \frac{r_3 r_5}{r_2 r_4} \times T_1 \quad (3.6)$$

โดย	T_1 แรงบิดของแกนแรก	= 8.22 นิวตัน-เมตร
	T_3 แรงบิดของแกนสุดท้าย	
	r_2 รัศมีเฟือง 110 ซี่	= 0.056 เมตร
	r_3 รัศมีเฟือง 30 ซี่	= 0.016 เมตร
	r_4 รัศมีเฟือง 60 ซี่	= 0.031 เมตร
	r_5 รัศมีเฟือง 15 ซี่	= 0.006 เมตร

จะได้
$$T_3 = \frac{0.016 \times 0.006}{0.056 \times 0.031} \times 8.22$$

ดังนั้น
$$T_{p,new} = T_3 = 0.45 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

จากค่า T_p ที่คำนวณได้ทำให้ทราบค่าแรงบิดของแกนที่จะนำไปต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งมีค่า 0.45 นิวตัน-เมตร และค่าที่ได้สามารถนำไปเลือกขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมได้



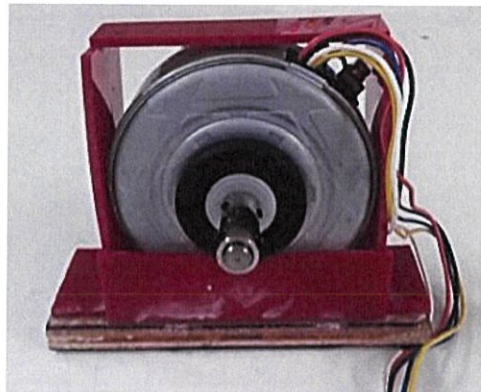
รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและรัศมีในระบบเฟืองเพิ่มรอบ

3.2 ส่วนประกอบระบบทางไฟฟ้า

จากระบบทางกลได้มีการคำนวณค่าแรงบิดของต้นกำลัง T_p (0.45 นิวตัน-เมตร) และนำค่าแรงบิดที่ได้ไปเลือกหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่เหมาะสม โดยไม่คิดความสูญเสียทางกล ได้ว่า $T_p = T_e$ โดยพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ดังนี้

1. Rated power
2. Rated voltage
3. Rated current
4. Number of pole

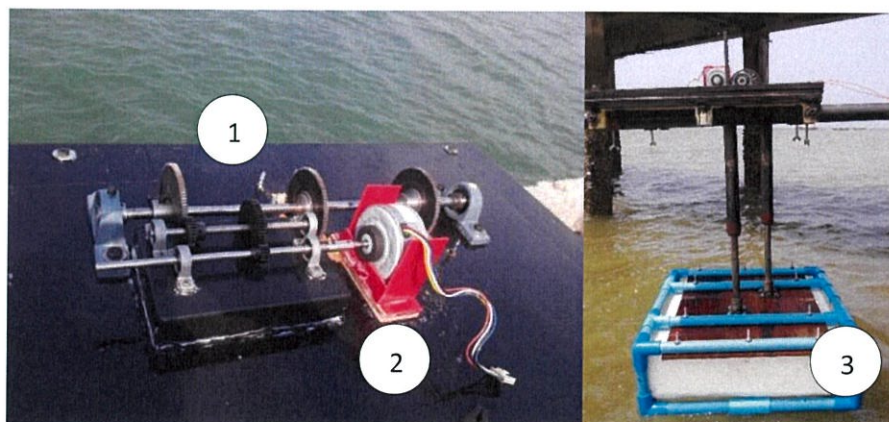
โดยได้นำพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้มา นำมาวิเคราะห์เพื่อเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสม ในการทดลองได้เลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวเล็กขนาด 28 วัตต์ 140 โวลต์ จำนวน 8 ขั้ว และมีความเร็วรอบ 1500 rpm เนื่องจากเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังทางไฟฟ้าไม่สูงมาก และเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งจะใช้กับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือก เช่นพลังงานลม และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้อยู่ในระยยะที่ต้นแบบเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นสามารถผลิตออกมาได้



รูปที่ 3.15 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 28 วัตต์, 140 โวลต์ , 8 ขั้ว, 1500 rpm

3.3 ต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

จากการออกแบบและเลือกอุปกรณ์เพื่อนำมาสร้างส่วนต่างๆของต้นแบบเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นแล้ว ได้มีการนำอุปกรณ์ต่างๆมาประกอบกันเพื่อแสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ และพร้อมที่จะนำไปทดสอบเพื่อบันทึกข้อมูล และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป การประกอบกันแล้วสามารถแสดงให้เห็นดังรูป 3.14



รูปที่ 3.16 ต้นแบบเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น (1) ระบบเฟืองขับและเฟืองทดรอบ (2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (3) ฟันลอย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

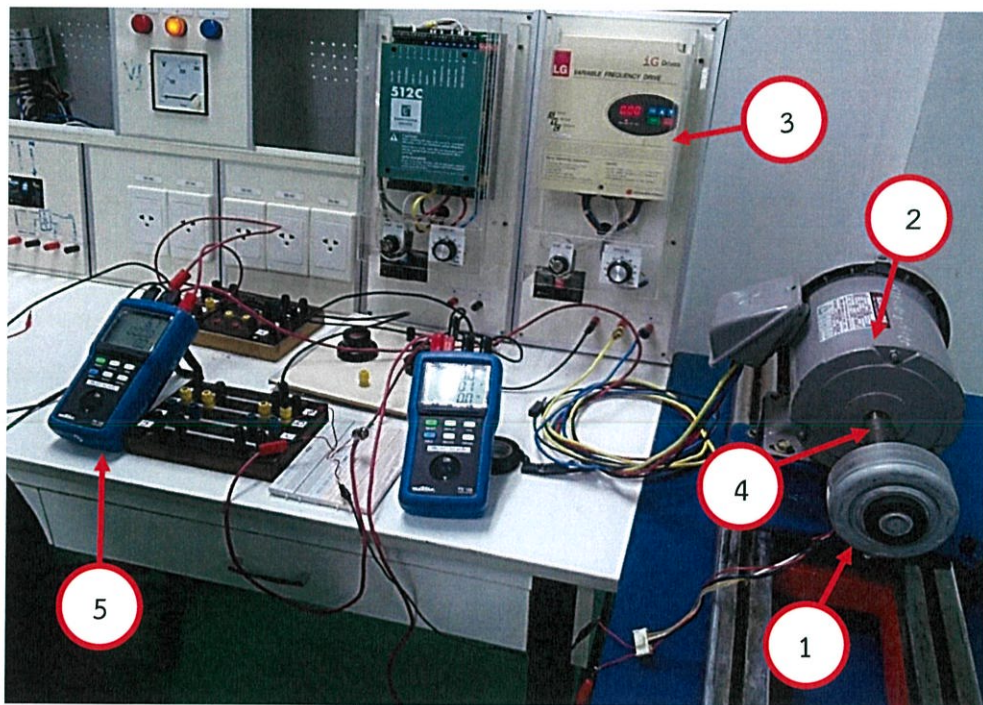
การทดสอบหาพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งการทดสอบเป็น 2 กรณี ดังนี้

1. การทดสอบเปิดวงจร (Open Circuit)
2. การทดสอบกับโหลด

โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส (Induction Motor) ต่อกับแกนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีอินเวอร์เตอร์สามเฟส (Three-phase Inverter) ในการควบคุมความเร็วรอบ ส่วนด้านวงจรการวัดจะต่อเครื่องมือวัดเพาเวอร์มิเตอร์ เพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงสามารถผลิตได้

4.1 วงจรทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จากการออกแบบการทดลองได้มีการนำไปทดลองในห้องทดลองโดยมีการต่อวงจรการทดลองดังรูปที่ 4.4 และมีรายชื่ออุปกรณ์ที่ใช้ทดลองดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงกับโหลดที่ทดสอบ

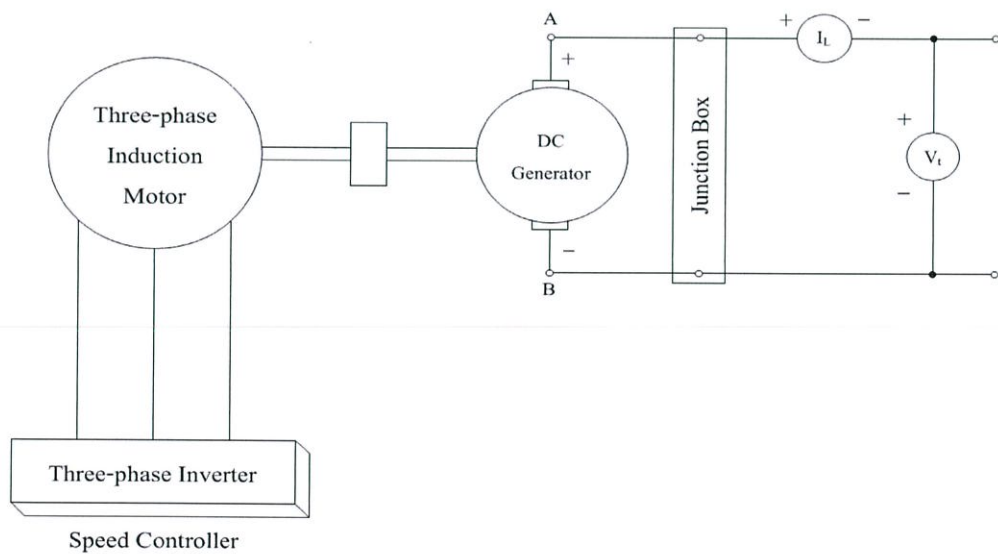
ตารางที่ 4.1 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

ลำดับที่	อุปกรณ์	คำอธิบาย
1.	 <p data-bbox="566 562 894 648">เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - จะนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมาทดสอบหาค่าองค์ประกอบ - เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 28 W ,140V ,8 P ,1500 rpm
2.	 <p data-bbox="545 1073 936 1159">มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส (Three-Phase Induction Motor)</p>	<p>ใช้ต่อร่วมกับข้อต่อเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อที่จะใช้หมุนแกนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีพิกัดดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> - Input Source: 380 V 50Hz,1HP - ความเร็วรอบสูงสุด (Maximum rpm):1400 rpm
3.	 <p data-bbox="586 1554 871 1640">อินเวอร์เตอร์สามเฟส (Three-Phase Inverter)</p>	<p>ใช้ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้หลักการควบคุมความถี่ของ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อต้องการให้แรงบิด (Torque) คงที่ทุกๆ ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป</p>
4.	 <p data-bbox="586 1942 848 1985">ข้อต่อเพลลา (Coupling)</p>	<p>เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างมอเตอร์กระแสสลับสามเฟสและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง</p>

5.	 <p>เพาเวอร์มิเตอร์ (Power Meter)</p>	ใช้ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรง
6.	 <p>เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)</p>	ใช้วัดความเร็วรอบแกนเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรง

4.2 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบเปิดวงจร (Open Circuit Test)

การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มีวัตถุประสงค์เพื่อดูประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและวัดขนาดพิกัดตามที่กำหนดไว้ โดยการทดสอบแบบเปิดวงจรเพื่อหาค่าพิกัดของแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

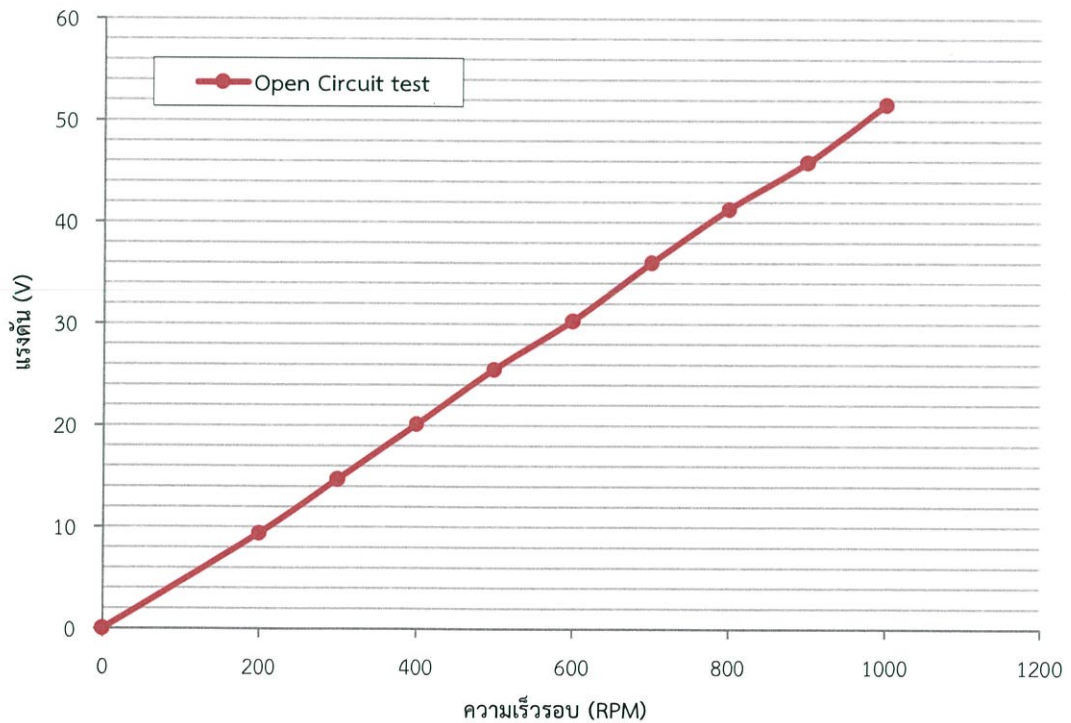


รูปที่ 4.2 ไดอะแกรมของวงจรการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบเปิดวงจร (Open Circuit Test)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลอง Open Circuit test

f(Hz)	Rpm	Open Circuit
		V
0	0	0
6.5	200	9.4
10.0	300	14.7
13.5	400	20.1
17.0	500	25.5
20.0	600	30.3
23.5	700	36.0
27.0	800	41.3
30.0	900	45.9
33.5	1000	51.6

จากผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.2 สามารถนำมาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันไฟฟ้าในกรณีของการทดลองแบบเปิดวงจร ดังแสดงในรูปที่ 4.3

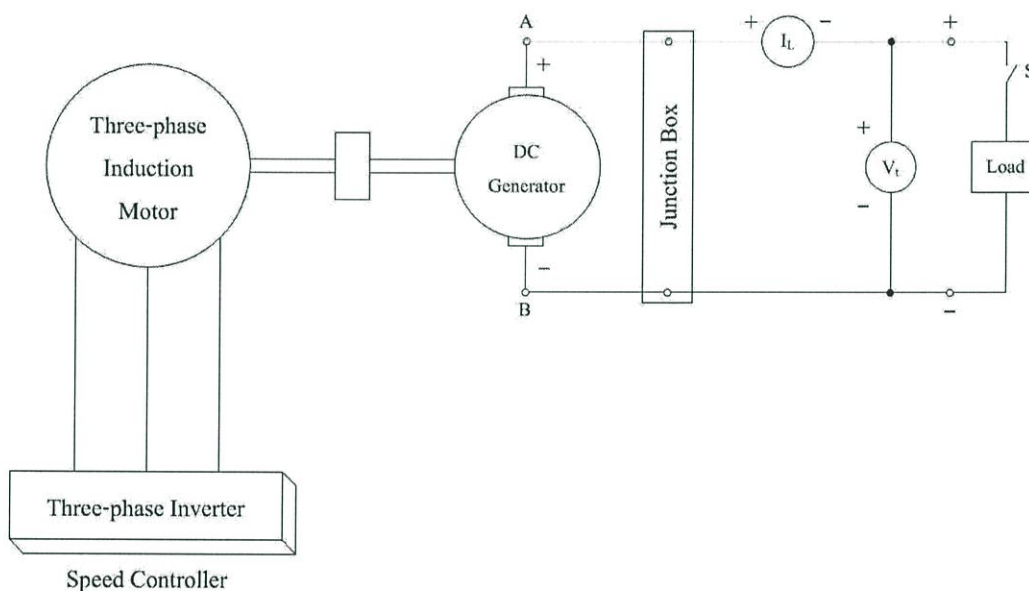


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการทดลอง Open Circuit test

จากการทดลองแบบเปิดวงจร (open circuit test) พบว่าที่ความเร็วรอบต่างๆ ค่าของแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าค่าแรงดันมีค่าสูงขึ้นตามความเร็วรอบที่สูงขึ้น โดยได้ปรับความถี่ไปจนถึงค่าความเร็วที่ 1000 รอบต่อนาที ได้ค่าแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 51.6 โวลต์ จากการทดลองทำให้รู้ค่าพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้เลือกมาใช้

4.3 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงกับภาระทางไฟฟ้า

ทดสอบกับโหลดซึ่งจะใช้เป็นโหลด 3 ชนิด คือ หลอดเพาไส้ (Incandescent Lamp) ขนาด 10 วัตต์ หลอดเพาไส้ (Incandescent Lamp) ขนาด 25 วัตต์ และตัวต้านทาน 33 โอห์ม



รูปที่ 4.4 ไดอะแกรมของวงจรการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงกับโหลด

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองโดยใช้หลอดไฟขนาด 12V 10W

RPM	Input			Output		
	V(V)	I(A)	P(W)	V(V)	I(A)	P(W)
0	0	0	0	0	0	0
200	115.0	4.800	190.0	0.8	0.178	0.1
300	120.0	3.600	124.0	2.0	0.275	0.6
400	125.9	2.780	75.4	3.3	0.356	1.2
500	129.0	2.200	51.0	4.6	0.429	2.0
600	136.0	2.090	39.5	5.8	0.485	2.8
700	138.6	1.845	36.8	7.3	0.546	3.8
800	144.0	1.650	31.0	8.6	0.593	5.1
900	149.0	1.640	26.9	9.7	0.632	6.3
1000	155.0	1.510	39.2	10.9	0.671	7.3

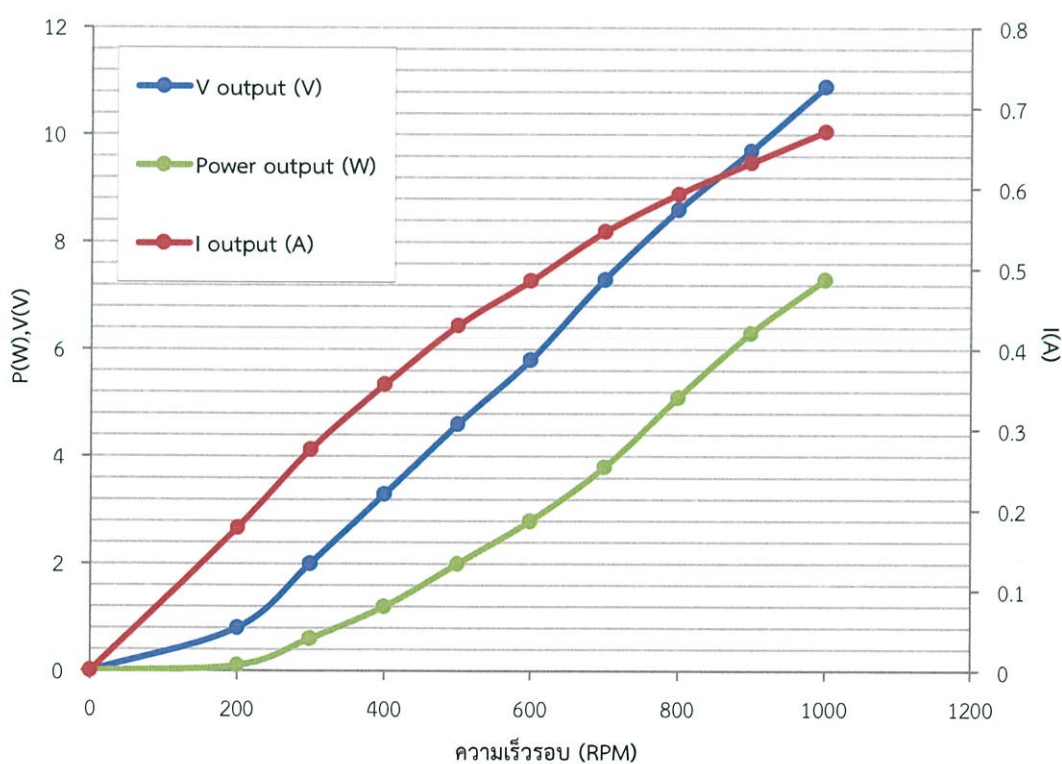
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองโดยใช้หลอดไฟขนาด 12V 25W

RPM	Input			Output		
	V(V)	I(A)	P(W)	V(V)	I(A)	P(W)
0	0	0	0	0	0	0
200	115.0	4.800	190.0	0.4	0.181	0.1
300	120.0	3.600	124.0	0.6	0.310	0.2
400	125.9	2.780	75.4	1.0	0.403	0.4
500	129.0	2.200	51.0	1.3	0.492	0.6
600	136.0	2.090	39.5	1.6	0.580	0.9
700	138.6	1.845	36.8	2.0	0.620	1.3
800	144.0	1.650	31.0	2.5	0.670	1.7
900	149.0	1.640	26.9	2.8	0.716	2.0
1000	155.0	1.510	39.2	3.2	0.758	2.4

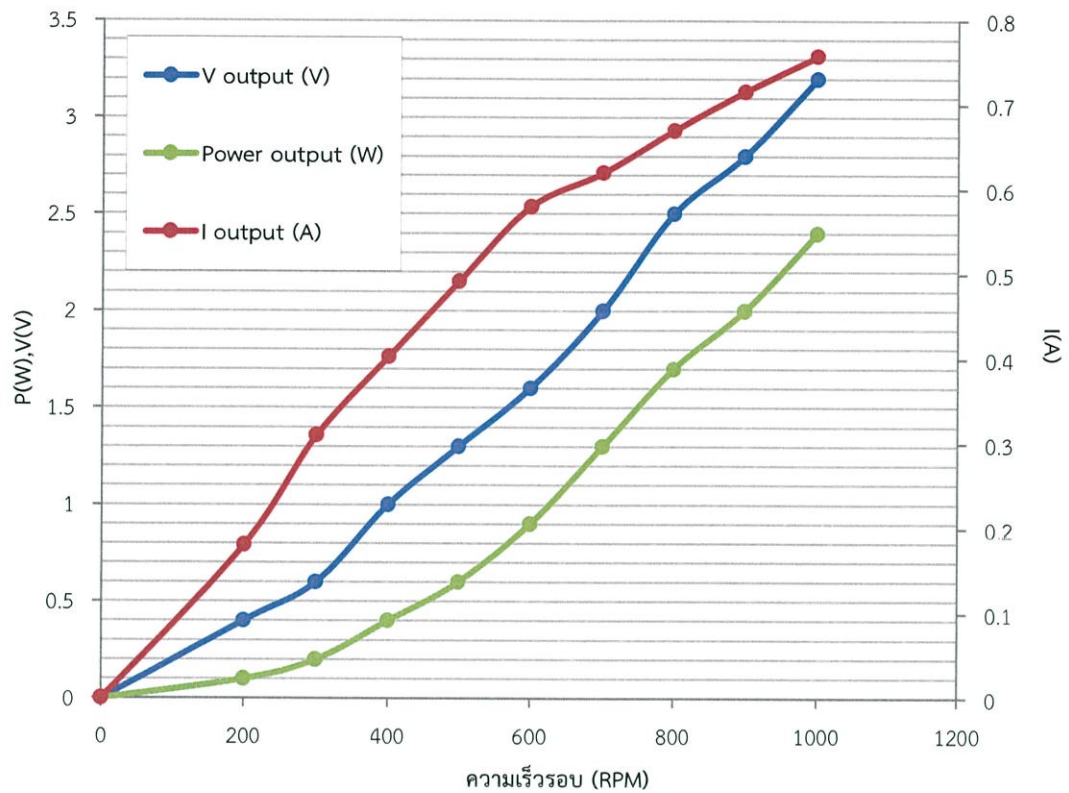
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองโดยใช้ตัวต้านทานขนาด 33Ω 10W

RPM	Input			Output		
	V(V)	I(A)	P(W)	V(V)	I(A)	P(W)
0	0	0	0	0	0	0
200	115.0	4.700	189.9	3.5	0.105	0.4
300	119.8	3.600	121.4	5.8	0.172	1.0
400	123.8	2.820	68.3	7.9	0.241	1.9
500	126.4	2.250	49.8	10.0	0.302	3.0
600	134.4	1.973	33.0	11.7	0.355	4.2
700	140.0	1.800	35.4	13.4	0.412	5.5
800	144.4	1.678	32.8	15.2	0.463	7.0
900	150.4	1.600	28.6	16.7	0.508	8.4
1000	155.4	1.545	27.3	18.2	0.551	10.0

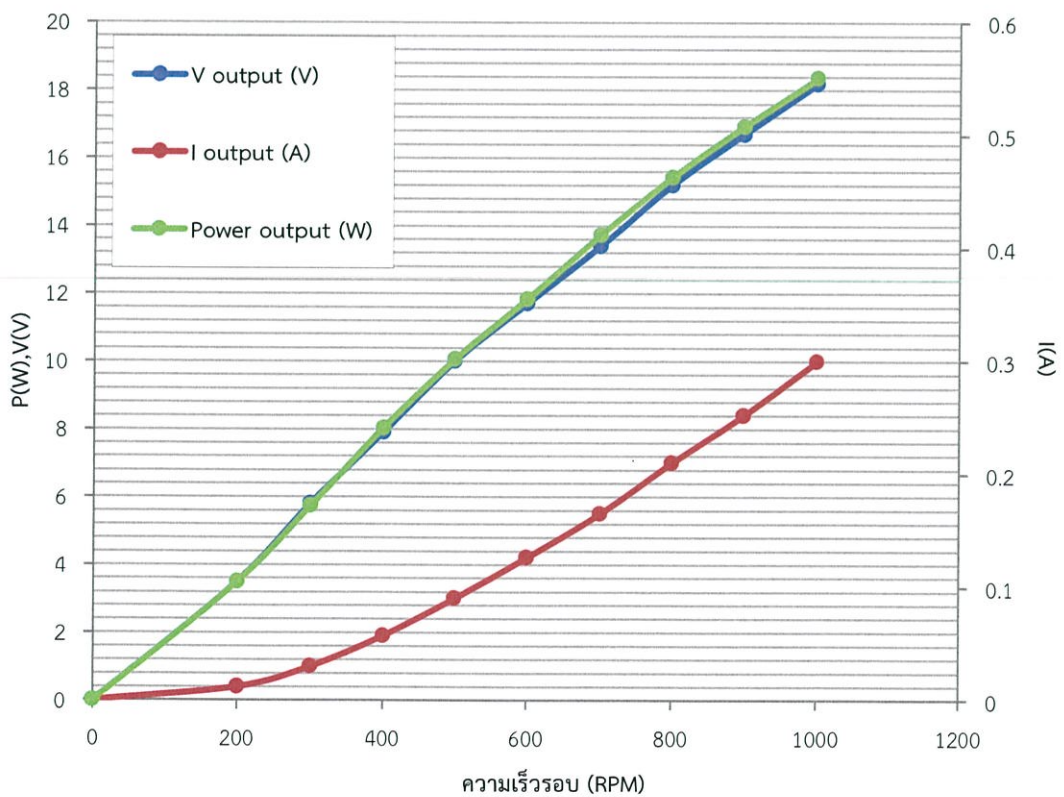
จากผลการทดลองเมื่อต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับภาระทางไฟฟ้าของโหลดแต่ละชนิด ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3 ,4.4 และ 4.5 สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดันไฟฟ้า ,กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.5 ,4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดลองโดยใช้โหลดไฟขนาด 12V 10W



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการทดลองโดยใช้หลอดไฟขนาด 12V 25W



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการทดลองโดยใช้ตัวต้านทานขนาด 33Ω 10W

การทดลองกับโหลด 3 ชนิดที่ต่างกัน พบว่าโหลดแต่ละชนิดให้กระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าและกำลังทางไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เมื่อนำโหลดความต้านทาน 33 โอห์มมาเปรียบเทียบกับโหลดหลอดไฟเผาไส้ 10 วัตต์ พบว่า โหลดความต้านทานได้แรงดันไฟฟ้าและกำลังทางไฟฟ้าที่สูงกว่า แต่ได้กระแสไฟฟ้าที่ต่ำกว่าหลอดไฟเผาไส้ 10 วัตต์ และเมื่อเปรียบเทียบโหลดหลอดไฟเผาไส้ 10 วัตต์ มาเปรียบเทียบกับโหลดหลอดไฟเผาไส้ 25 วัตต์ พบว่า หลอดไฟเผาไส้ 10 วัตต์ให้แรงดันไฟฟ้าและกำลังทางไฟฟ้าที่สูงกว่า แต่ให้กระแสไฟฟ้าที่ต่ำกว่าหลอดไฟเผาไส้ 25 วัตต์ ซึ่งสอดคล้องกับกราฟที่แสดงไว้ ซึ่งค่าที่ได้มีการนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจากต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสถานที่จริง

4.4 ผลการทดลองต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นในสถานที่ติดตั้งจริง

การทดสอบต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ โดยได้มีการไปติดตั้งบนสะพานปลาบริเวณหาดบางพระ จังหวัดชลบุรี ดังได้แสดงในรูปที่ 4.8 สามารถเก็บบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ ซึ่งได้เก็บค่าออกมาได้ดังตารางที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 และสามารถนำข้อมูลที่บันทึกได้มาเขียนกราฟได้ดังต่อไปนี้ รูปที่ 4.9(a) ,4.10(a) และ 4.11(a) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และความเร็วแกนขับ รูปที่ 4.9(b) ,4.10(b) และ4.11(b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและกำลังไฟฟ้าของต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Output Power Generator) ของโหลด



รูปที่ 4.8 การทดสอบต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

ตารางที่ 4.6 บันทึกผลค่าของโหลตตัวต้านทาน 33 โอห์ม

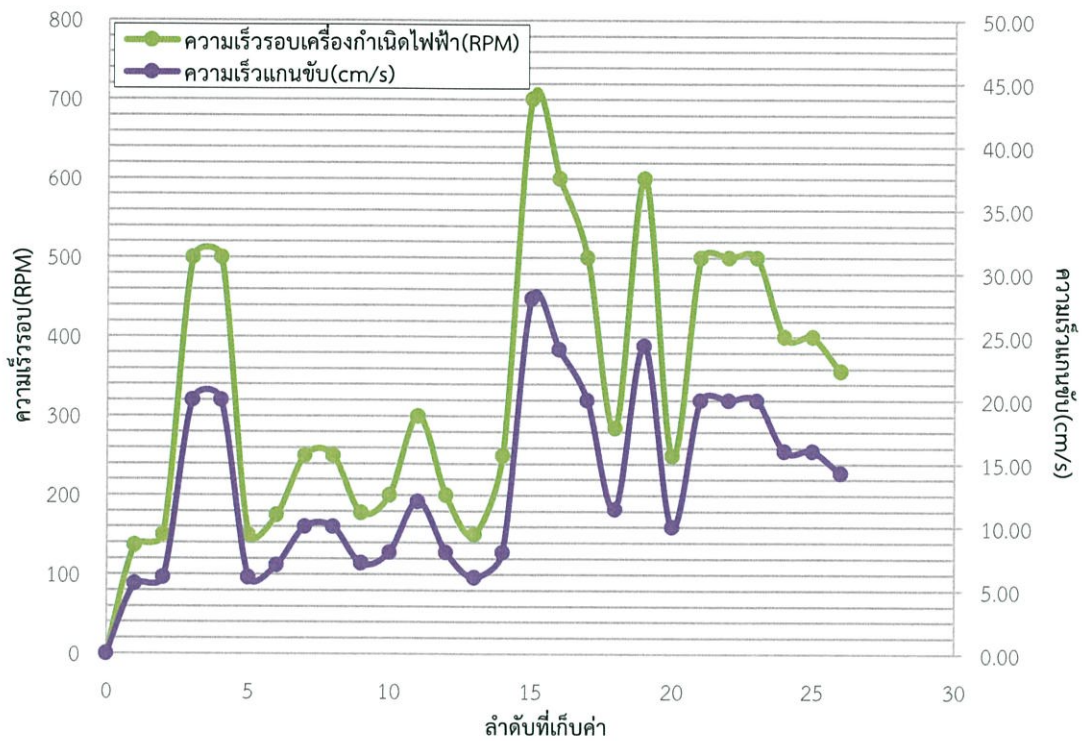
โหลตความต้านทาน 33Ω 10W					
ลำดับที่ เก็บค่า	ระยะชักขึ้น-ลง (cm)	Δt (s)	ความเร็วรอบ (rpm)	กำลัง(W)	ความเร็วแกนชัก (cm/s)
0	0	0	0	0	0.00
1	11	2	137	0.2	5.50
2	6	1	150	0.3	6.00
3	10	0.5	500	2.8	20.00
4	14	0.7	500	3	20.00
5	6	1	150	0.3	6.00
6	7	1	175	0.3	7.00
7	5	0.5	250	0.7	10.00
8	5	0.5	250	0.7	10.00
9	5	0.7	178	0.4	7.14
10	8	1	200	0.4	8.00
11	6	0.5	300	1	12.00
12	4	0.5	200	0.4	8.00
13	6	1	150	0.3	6.00
14	4	0.5	250	0.7	8.00
15	14	0.5	700	5.5	28.00
16	12	0.5	600	4.2	24.00
17	10	0.5	500	3	20.00
18	8	0.7	285	0.9	11.43
19	17	0.7	600	4	24.29
20	10	1	250	0.7	10.00
21	10	0.5	500	2.9	20.00
22	10	0.5	500	3	20.00
23	10	0.5	500	2.8	20.00
24	8	0.5	400	1.9	16.00
25	8	0.5	400	1.9	16.00
26	10	0.7	357	1.7	14.29

ตารางที่ 4.7 บันทึกผลค่าของโหลดหลุดเผาไส้ 10 วัตต์

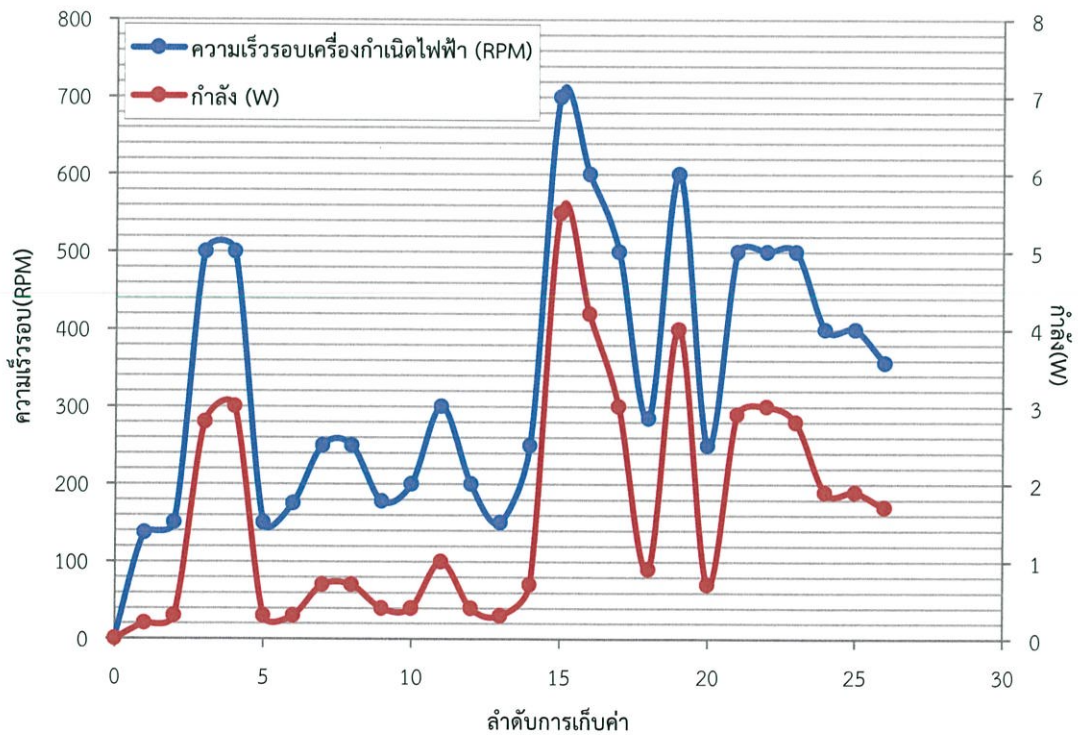
โหลดหลุดเผาไส้ 10 วัตต์					
ลำดับที่ เก็บค่า	ระยะชักขึ้น-ลง (cm)	Δt (s)	ความเร็วรอบ (rpm)	กำลัง(W)	ความเร็วแกนชัก (cm/s)
0	0	0	0	0	0.00
1	10	1.5	166	0	6.67
2	4	0.5	200	0.1	8.00
3	10	0.5	500	2	20.00
4	8	0.5	400	1	16.00
5	8	0.5	400	1.2	16.00
6	5	0.7	178	0.1	7.14
7	5	0.5	250	0.4	10.00
8	4	0.5	200	0.1	8.00
9	4	0.5	200	0.1	8.00
10	10	0.5	500	2	20.00
11	14	1.5	233	0.2	9.33
12	10	1.5	166	0.1	6.67
13	4	1	100	0	4.00
14	4	1	100	0	4.00
15	13	0.5	650	3.3	26.00
16	17	0.5	850	5.5	34.00
17	20	0.7	714	3.8	28.57
18	15	0.5	750	4	30.00
19	14	1.5	233	0.1	9.33
20	10	0.5	500	1.9	20.00
21	10	0.7	357	0.9	14.29
22	13	0.5	650	3.3	26.00
23	8	0.5	400	1.2	16.00
24	7	1	175	0.1	7.00
25	15	0.7	535	2.4	21.43
26	18	0.7	643	3.2	25.71

ตารางที่ 4.8 บันทึกผลค่าของโหลดตลอดเผาไส้ 25 วัตต์

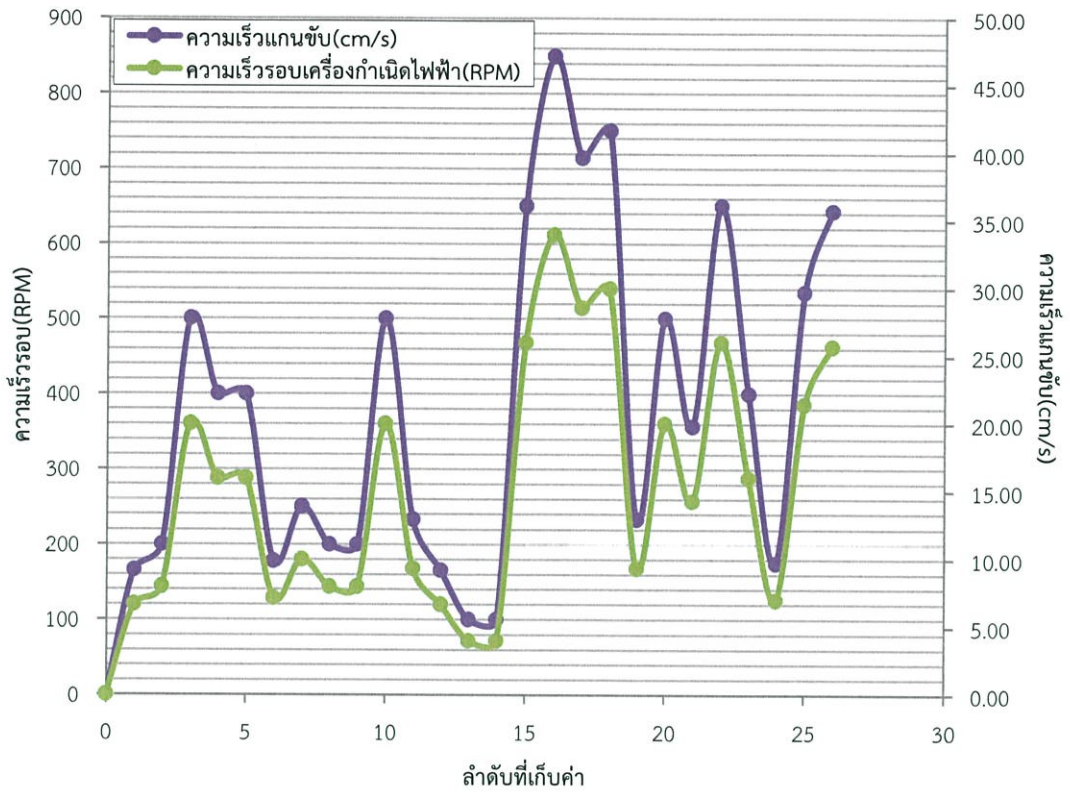
โหลดตลอดเผาไส้ 25 วัตต์					
ลำดับที่ เก็บค่า	ระยะชักขึ้น-ลง (cm)	Δt (s)	ความเร็วรอบ (rpm)	กำลัง(W)	ความเร็วแกนชัก (cm/s)
0	0	0	0	0	0.00
1	16	1	400	0.4	16.00
2	12	0.7	428	0.5	17.14
3	20	0.7	714	1.3	28.57
4	10	0.5	500	0.6	20.00
5	5	0.5	250	0.1	10.00
6	5	0.5	250	0.1	10.00
7	10	0.5	500	0.6	20.00
8	12	1	300	0.2	12.00
9	10	0.5	500	0.6	20.00
10	10	0.5	500	0.6	20.00
11	8	0.5	400	0.4	16.00
12	7	0.5	350	0.3	14.00
13	7	0.5	350	0.3	14.00
14	8	0.5	400	0.4	16.00
15	10	0.5	500	0.6	20.00
16	18	0.7	643	1	25.71
17	12	0.5	600	0.9	24.00
18	12	0.5	600	0.9	24.00
19	10	0.5	500	0.6	20.00
20	15	0.7	535	0.7	21.43
21	10	1	250	0.2	10.00
22	12	0.7	428	0.4	17.14
23	18	0.7	643	1	25.71
24	14	0.5	700	1.3	28.00
25	12	1	300	0.2	12.00
26	15	1.2	312	0.3	12.50



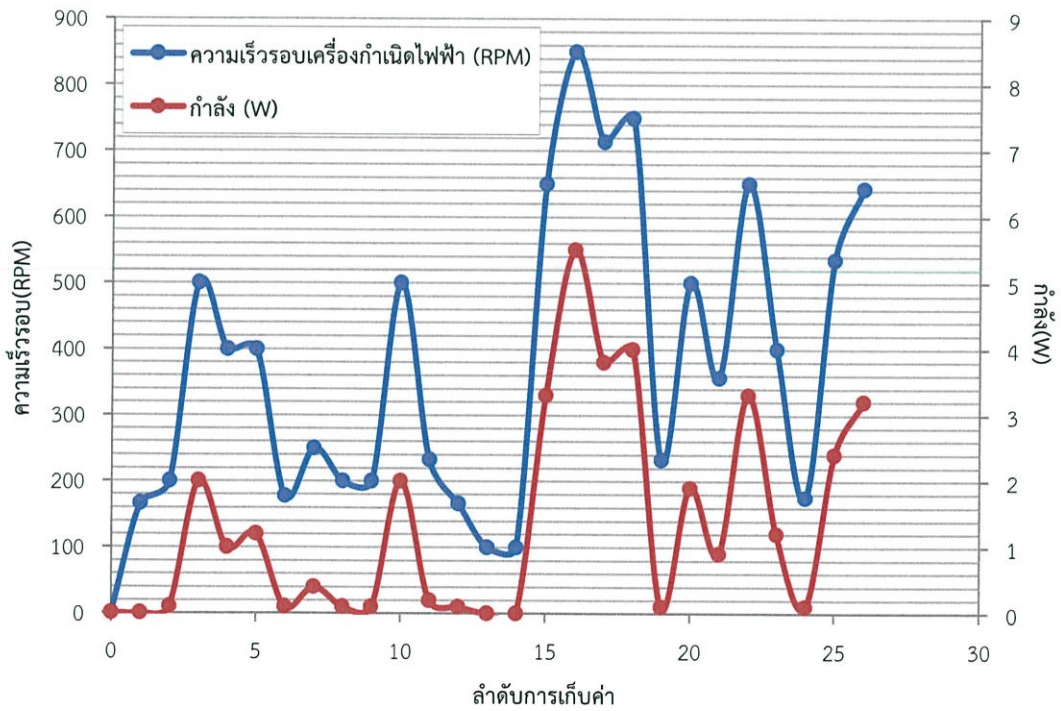
รูปที่ 4.9(a) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความเร็วแกนขับของโหลดตัวต้านทาน 33 โอห์ม



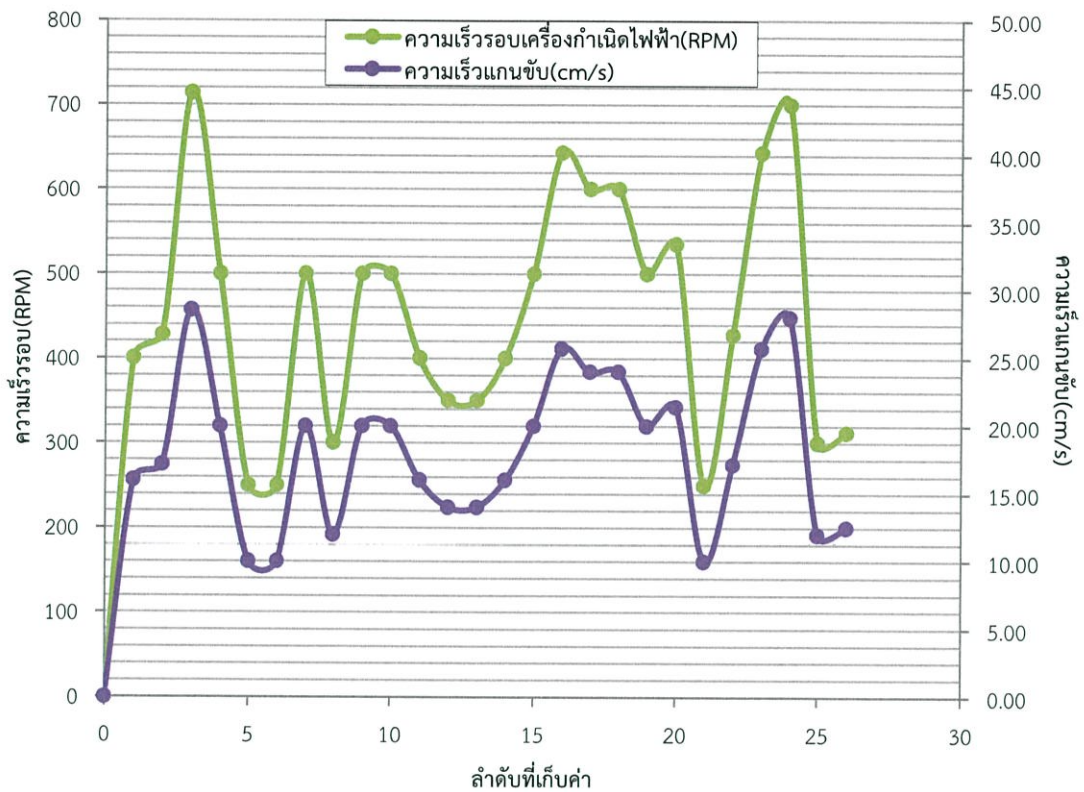
รูปที่ 4.9(b) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและกำลังไฟฟ้าของต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Output Power Generator) ของโหลดตัวต้านทาน 33 โอห์ม



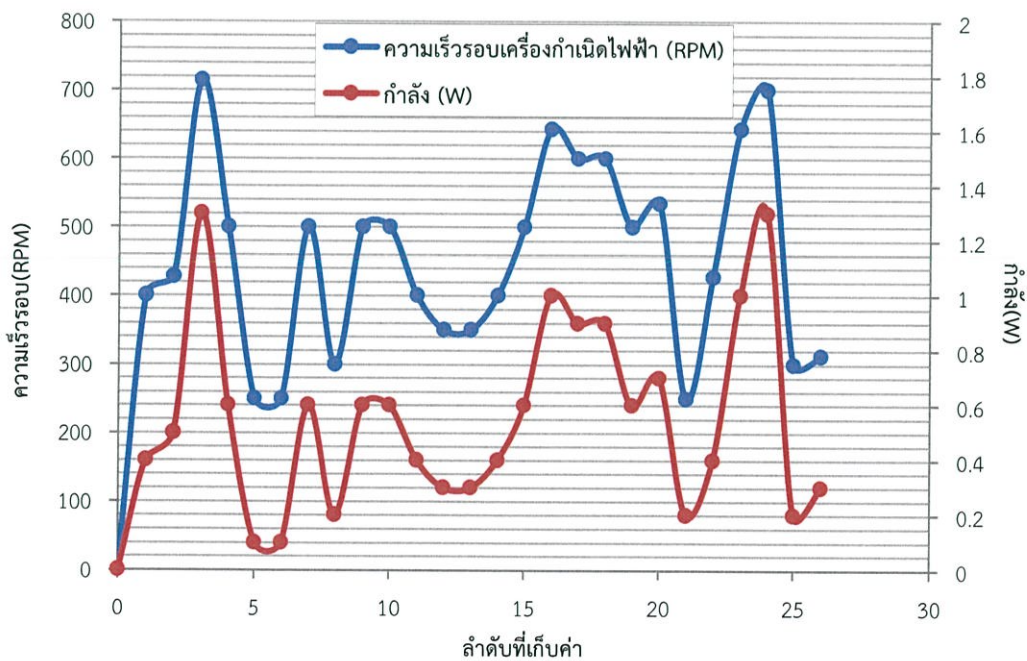
รูปที่ 4.10(a) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความเร็วแกนขับของโพลดลวดเผาไส้ 10 วัตต์



รูปที่ 4.10(b) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและกำลังทางไฟฟ้าของต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Output Power Generator) ของโพลดลวดเผาไส้ 10 วัตต์



รูปที่ 4.11(a) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความเร็วแกนขับของโหลดหลอดเผาไส้ 25 วัตต์



รูปที่ 4.11(b) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและกำลังทางไฟฟ้าของต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Output Generator) ของโหลดหลอดเผาไส้ 25 วัตต์

จากการทดลองได้มีการเก็บบันทึกค่าระยะชักขึ้น-ลง ของเฟืองราง และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในหนึ่งครั้ง โดยค่าทั้งสองสามารถนำมาคิดเป็นความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในหนึ่งครั้งและได้มีการไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับความเร็วรอบ พบว่าค่าความเร็วรอบนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วของการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ถ้าความเร็วมากความเร็วรอบของแกนขับมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย โดยแสดงให้เห็นดังกราฟว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน สอดคล้องกับเวลาที่แกนเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในหนึ่งรอบได้มีการเก็บบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าเช่นกัน โดยเลือกใช้โหลดตามที่ได้มีการทดลองในห้องทดลอง คือ โหลดตัวต้านทาน 33 โอห์ม , โหลดหลอดไฟเผาไส้ 10 วัตต์ และโหลดหลอดไฟเผาไส้ 25 วัตต์ ซึ่งผลที่ได้คือความเร็วรอบมีผลต่อกำลังไฟฟ้าของโหลดแต่ละชนิด ถ้าความเร็วรอบมาก กำลังไฟฟ้าที่ออกมา ก็มีค่ามากขึ้น แต่ค่ากำลังไฟฟ้ามีผลมาจากโหลดที่เลือกใช้ และมีค่าจากมากไปน้อยในโหลดความต้านทาน 33 โอห์ม , โหลดหลอดไฟเผาไส้ 10 วัตต์ และโหลดหลอดไฟเผาไส้ 25 วัตต์ ที่ความเร็วรอบเท่ากันตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำนั้นสิ่งที่เป็นที่สุดคือหลักการทำงานของเครื่องต้นแบบที่ต้องแปลงพลังงานกลจากคลื่นน้ำให้ออกมาเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการแปลงการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ของคลื่นให้เป็นการเคลื่อนที่แบบหมุนทางเดียวเพื่อไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นการสร้าง และออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ เป็นสิ่งสำคัญในการแสดงให้เห็นว่า สามารถแปลงพลังงานได้จริงตามที่ได้วางออกแบบไว้ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วย ชุดเฟืองขับ, ชุดเฟืองทดรอบ, ท่อนลอย ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จะแปลงพลังกลจากคลื่นออกมาให้เกิดแรงในการหมุน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่จะแปลงพลังงานกลที่ได้รับมาจากคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

จากการทดสอบเครื่องต้นแบบทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วรอบของแกนขั้วนั้น แบ่งออกได้เป็นสองปัจจัยหลักๆ คือ ปัจจัยภายนอก ซึ่งประกอบด้วยระยะชักขึ้น-ลงของเฟืองตรงซึ่งแปรผันตามความเร็วรอบและค่าเวลาที่คลื่นทำให้แกนชักขึ้น-ลง ถ้าเวลาน้อยจะส่งผลให้ความเร็วรอบมาก แสดงให้เห็นว่าเวลาแปรผกผันกับความเร็วรอบปัจจัยภายใน ซึ่งประกอบด้วย การออกแบบเฟืองขับที่นำมาต่อเข้ากับชุดเฟืองเพิ่มรอบ กล่าวคือยิ่งรัศมีของเฟืองขับมีค่าน้อยความเร็วรอบของแกนขั้วจะมีค่าน้อยตาม แสดงว่าสองตัวแปรนี้เป็นปฏิภาคผกผันกัน และอัตราทดรอบของชุดเฟืองทดรอบซึ่งจะแปรผันตามความเร็วรอบ ซึ่งปัจจัยภายในทั้งสองเป็นค่าที่ได้จากการออกแบบ จึงต้องมีการพิจารณาออกแบบค่าให้มีความเหมาะสม ส่วนค่าปัจจัยภายนอกที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นปัจจัยที่มีผลมาจากลักษณะของคลื่นในแต่ละที่ที่มีความแตกต่างกัน จากความสัมพันธ์ของปัจจัยหลักทั้งสองนี้สามารถนำมาเขียนสมการความสัมพันธ์ได้เป็น

$$N = \frac{60 \times \left(\frac{X}{2\pi R} \right) \times m_G}{t}$$

- โดย N คือ ความเร็วรอบของแกนขั้ว (รอบต่อนาที)
 X คือระยะชักขึ้นลงของเฟืองวาง (เซนติเมตร)
 R คือรัศมีของเฟืองขับที่ต่อเข้ากับชุดเฟืองทด (เซนติเมตร)
 t คือเวลาที่คลื่นทำให้แกนชักขึ้น-ลง (วินาที)
 m_G คือ อัตราทดของเฟืองที่ขบกัน (Mesh Ratio)

ความเร็วรอบ(เมตรต่อนาที) ที่ได้ส่งผลต่อกำลังทางไฟฟ้าที่ผลิตออกมา ยิ่งความเร็วรอบมากก็จะทำให้ได้กำลังไฟฟ้ามากตามไปด้วย ซึ่งพิสูจน์ได้จากการทดลองซึ่งใช้หลอดแตกต่างกัน 3 ค่า คือ ความต้านทาน 33 โอห์ม, หลอดเผาไส้(incandescent lamp) 12 โวลต์ 10 วัตต์, หลอดเผาไส้(incandescent lamp) 12 โวลต์ 25 วัตต์ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สรุปได้ว่ายิ่งความเร็วรอบของแกนขั้วเพิ่มจะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และได้มีการเปรียบเทียบที่ความเร็วรอบ

ของแกนขับเท่ากัน โหลดทั้งสามชนิดมีแนวโน้มของกำลังกับความเร็วยุโรปรอบสัมพันธ์กัน โดยค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดตัวด้านทาน 33 โอห์ม ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ส่วนหลอดเผาไส้(incandescent lamp) 12 โวลต์ 10 วัตต์, หลอดเผาไส้(incandescent lamp) 12 โวลต์ 25 วัตต์ มีค่ากำลังไฟฟาลดลงมาตามลำดับ จากแนวโน้มดังกล่าวทำให้ทราบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้ออกแบบมานั้นมีค่าขึ้นอยู่กับโหลด ไม่เพียงแต่ความเร็วรอบเท่านั้น โหลดที่มีความต้านทานน้อย และกินกระแสมาก จะส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกมามีค่ามาก ทั้งนี้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นยังมีผลมาจากการเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่นำมาต่อกับชุดขับเคลื่อนทางกลที่ได้มีการออกแบบมาด้วย

ต้นแบบเครื่องกำเนิดกระแสฟ้าจากพลังงานคลื่นที่ได้ทำการออกแบบ และสร้างขึ้นมานี้สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ตามวัตถุประสงค์ และเพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น หากต้องการผลิตเครื่องที่มีขนาดใหญ่กว่านี้ก็สามารถนำต้นแบบนี้ไปพัฒนาต่อในอนาคตได้โดยต้องปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบขับ และเฟืองเพิ่มรอบโดยใช้หลักการแกนขับหมุนทางเดียวตามที่ได้มีการออกแบบ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถเป็นพื้นฐานความรู้เพื่อนำไปพัฒนาอุปกรณ์โดยใช้หลักการเดียวกับโครงงานนี้ ทำให้เกิดการต่อยอดองค์ความรู้ต่อไปเพื่อพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อประเทศอย่างสูงสุด

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไข

1. ความเร็วแกนขับขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอก คือ คลื่นน้ำทะเล ซึ่งเกิดจากการขึ้น-ลงของน้ำทะเล ซึ่งไม่อาจควบคุมได้ ดังนั้นจึงควรศึกษาและวางแผนการทดลองให้ดี ก่อนที่จะนำไปทดลองจริง
2. การยึดข้อต่อเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่แน่นทำให้เกิดการเหวี่ยงของแกนเพลลาและเกิดการสั่น ซึ่งจะส่งผลเสียต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
3. การสร้างระบบเฟืองควรจะมีการจัดวางในตำแหน่งที่ถูกต้องแม่นยำ เพราะจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบได้
4. การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ต้องคำนึงถึงลักษณะในการติดตั้งให้เหมาะกับบริเวณที่ติดตั้งเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด
5. วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาสร้างชิ้นงานควรคำนึงถึงการคงทนแข็งแรงและการเกิดสนิม ดังนั้นจึงไม่ควรใช้วัสดุที่ทำมาจากเหล็ก หรือถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ควรนำมาผ่านกระบวนการป้องกันการเกิดสนิมให้ดี
6. การเลือกพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรมีความเหมาะสมกับระบบทางกลเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

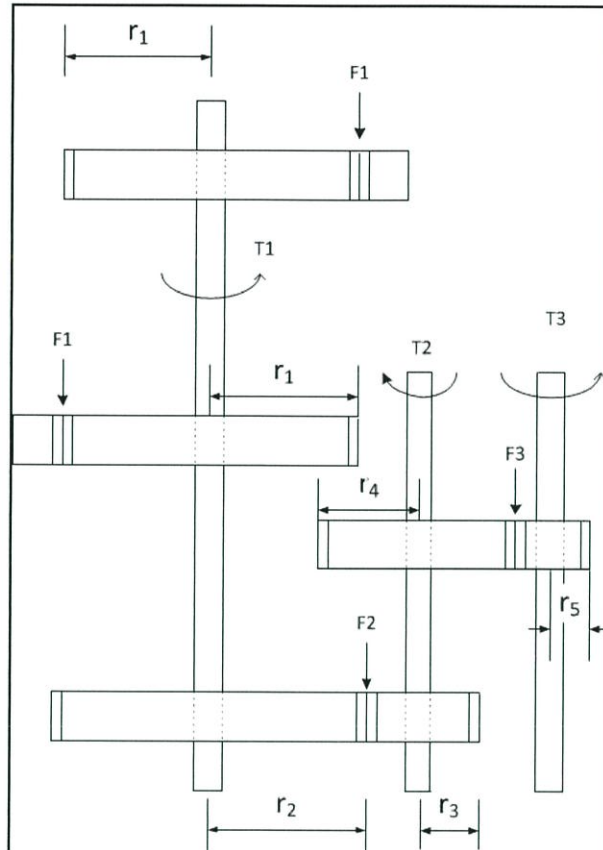
เอกสารอ้างอิง

- [1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Wave power](http://en.wikipedia.org/wiki/Wave_power).
- [2] http://www.agri.kmitl.ac.th/elearning/courseware/aquatic/_6.html
- [3] www.sciencebuddies.org
- [4] <http://people.bath.ac.uk/mh391/WavePower/tapchan.html>
- [5] <http://ilovemyarchitect.com/tag/polamis>
- [6] <http://www.marketoracle.co.uk/Article1018.html>
- [7] <http://www.shareabrainwave.net/2007/05/03/wave-dragon>
- [8] <http://www.see.murdoch.edu.au/resources/info/Tech/wave>
- [9] <http://www.dpenergy.com/information/wave.html>
- [10] <http://jagadees.wordpress.com/2010/04/24/powerbuoy>
- [11] <http://inhabitat.com/wave-energy-aquabuoy-20-wave-power-generator>
- [12] <http://www.dpenergy.com/information/wave.html>
- [13] <http://www.wikipremed.com/01physicscards.php?card=758>
- [14] <http://www.mmv.ac.th/supphapong/sci%20617.htm>
- [15] <http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=13678§ion=9>
- [16] <http://www.thaiplastic2012.com/news/323416>
- [17] Magdy F. Iskander. Electromagnetic field and wave. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice Hall. 1992, ISBN 0-13-249442-6.
- [18] Michael E. McCormick. Ocean engineering wave mechanics. United State of America : John wiley and Sons, Inc. 1973 ,ISBN 0-471-581771.
- [19] นคร ภู่อรรถภรณ์, “พลังงานจากคลื่นน้ำ”, ปรินญาณีพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต, ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.
- [20] พิชิต ล้ำยอง, เครื่องจักรกลไฟฟ้า, พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ :มีน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2554.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การคำนวณเพื่อเพิ่มรอบและค่าแรงบิดของแกน

การคำนวณเฟืองเพิ่มรอบ และค่าแรงบิดของแกน



รูปที่ ก.1 ระบบเฟืองเพิ่มรอบที่ได้มีการออกแบบ

การคำนวณเฟืองเพิ่มรอบ

จากสมการ

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{T_1}{T_2}, \frac{\omega_4}{\omega_3} = \frac{T_3}{T_4} \quad (\text{ก.1})$$

เมื่อ ω = ความเร็วรอบ

T = จำนวนซี่ของเฟือง

จากการออกแบบ $T_1 = 110$

$$T_2 = 30$$

$$T_3 = 60$$

$$T_4 = 15$$

จะได้ $\frac{\omega_2}{\omega_4} \times \frac{\omega_4}{\omega_3} = \frac{T_1}{T_2} \times \frac{T_3}{T_4} \quad ; \omega_2 = \omega_3$

$$\frac{\omega_4}{\omega_1} = \frac{T_1}{T_2} \times \frac{T_3}{T_4}$$

$$\frac{\omega_4}{\omega_1} = \frac{110}{30} \times \frac{60}{15}$$

$$\frac{\omega_4}{\omega_1} = \frac{14.67}{1}$$

แสดงว่าระบบเฟืองรอบที่ได้ออกแบบมีความสามารถเฟืองรอบได้ 14.67 เท่า

การคำนวณแรงบิด

จากสมการ

$$T_1 = F_1 r_1 \quad (\text{ก.2})$$

$$T_1 = F_2 r_2 \quad (\text{ก.3})$$

$$F_1 r_1 = F_2 r_2$$

$$F_1 r_1 = F_2 r_2 \quad (\text{ก.4})$$

$$T_2 = F_2 r_3 \quad (\text{ก.5})$$

$$(\text{ก.4}) \text{ แทนใน } (\text{ก.5}) \quad T_2 = \frac{F_1 r_1}{r_2} r_3 \quad (\text{ก.6})$$

$$F_3 = \frac{T_2}{r_4} \quad (\text{ก.7})$$

$$T_3 = F_3 r_5 \quad (\text{ก.8})$$

$$(\text{ก.6}) \text{ แทนใน } (\text{ก.8}) \quad T_3 = \frac{F_2 r_3}{r_4} r_5 \quad (\text{ก.9})$$

$$(\text{ก.3}) \text{ แทนใน } (\text{ก.9}) \quad T_3 = \frac{T_1 r_3}{r_2 r_4} r_5 \quad (\text{ก.10})$$

$$\text{จัดรูปจะได้} \quad T_3 = \frac{r_3 r_5}{r_2 r_4} T_1$$

โดย	T_1 แรงบิดของแกนแรก	= 8.22 นิวตัน-เมตร
	T_3 แรงบิดของแกนสุดท้าย	
	r_2 รัศมีเฟือง 110 ซี่	= 0.056 เมตร
	r_3 รัศมีเฟือง 30 ซี่	= 0.016 เมตร
	r_4 รัศมีเฟือง 60 ซี่	= 0.031 เมตร
	r_5 รัศมีเฟือง 15 ซี่	= 0.006 เมตร

จะได้

$$T_3 = \frac{0.016 \times 0.006}{0.056 \times 0.031} \times 8.22$$

ดังนั้น

$$T_{p.new} = T_3 = 0.45 \text{ นิวตัน-เมตร}$$

ภาคผนวก ข
ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ ข.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

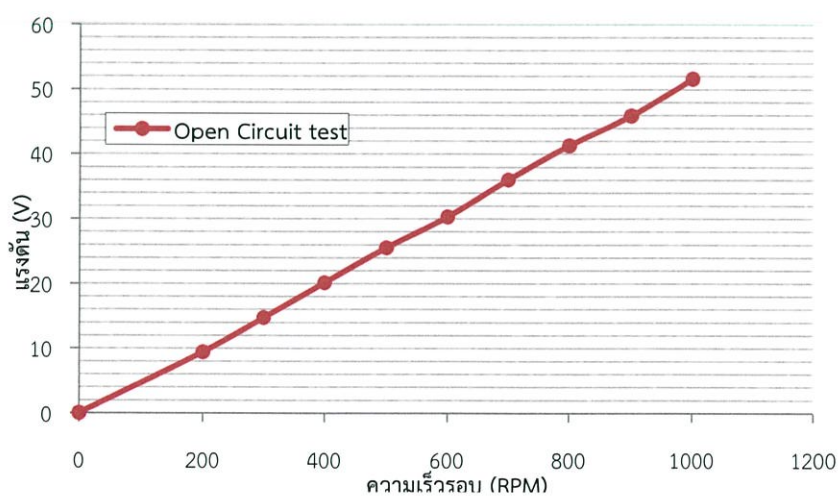
DC กำเนิด: vdc- 28w

แรงดันoutput: 0- 140vdc

เดินสายรายละเอียด:

- ดำ : 0vdc
- แดง : 12-140vdc
- สีเหลือง : 12vdc
- ขาว : ไม่มี
- สีฟ้า : ไม่มี

เมื่อนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาทดลองในห้องทดลองทำให้ทราบถึง แรงดันและ กระแสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวนี้สามารถผลิตออกมาได้



รูปที่ ข.2กราฟแสดงผลการทดลอง Open Circuit test

ภาคผนวก ค
ตารางเทียบความเร็วรอบ

ตารางการเปรียบเทียบรอบ

จากสมการความสัมพันธ์ความเร็วรอบกับระยะขึ้น-ลง และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง จะได้สมการดังนี้

$$N = \frac{60 \times \left(\frac{X}{2\pi R} \right) \times m_G}{t} \quad (\text{ค.1})$$

โดย N = ความเร็วรอบของแกนขับ (รอบต่อนาที)
 X = ระยะชักขึ้นลงของเฟืองวาง (เซนติเมตร)
 R = รัศมีของเฟืองขับที่ต่อขับที่ต่อเข้ากับชุดเฟืองทด (เซนติเมตร)
 t = เวลาที่เคลื่อนทำให้แกนชักขึ้น-ลง (วินาที)
 m_G = อัตราการทดรอบของเฟือง

และสามารถแสดงออกมาเป็นตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ความสัมพันธ์ความเร็วรอบกับระยะชักขึ้น-ลง และเวลาที่แกนใช้ในการชักขึ้น-ลง

ระยะชัก ขึ้น-ลง (cm)	รอบเฟืองใหญ่(รอบ)	รอบเฟืองเล็ก (รอบ)	ความเร็วรอบ (rpm)เมื่อเวลา 0.5 s	ความเร็วรอบ (rpm)เมื่อเวลา 0.7 s	ความเร็วรอบ (rpm)เมื่อเวลา 1.0 s	ความเร็วรอบ (rpm)เมื่อเวลา 1.2 s	ความเร็วรอบ (rpm)เมื่อเวลา 1.5 s	ความเร็วรอบ (rpm)เมื่อเวลา 1.7 s
4	0.113681578	1.667329809	200.0795771	142.9139836	100.0397886	83.36649046	66.69319237	58.84693444
5	0.142101972	2.084162262	250.0994714	178.6424796	125.0497357	104.2081131	83.36649046	73.55866805
6	0.170522367	2.500994714	300.1193657	214.3709755	150.0596828	125.0497357	100.0397886	88.27040166
7	0.198942761	2.917827166	350.1392599	250.0994714	175.06963	145.8913583	116.7130866	102.9821353
8	0.227363156	3.334659618	400.1591542	285.8279673	200.0795771	166.7329809	133.3863847	117.6938689
9	0.25578355	3.751492071	450.1790485	321.5564632	225.0895242	187.5746035	150.0596828	132.4056025
10	0.284203945	4.168324523	500.1989428	357.2849591	250.0994714	208.4162262	166.7329809	147.1173361
11	0.312624339	4.585156975	550.218837	393.013455	275.1094185	229.2578488	183.406279	161.8290697
12	0.341044734	5.001989428	600.2387313	428.7419509	300.1193657	250.0994714	200.0795771	176.5408033
13	0.369465128	5.41882188	650.2586256	464.4704468	325.1293128	270.941094	216.7528752	191.2525369
14	0.397885523	5.835654332	700.2785199	500.1989428	350.1392599	291.7827166	233.4261733	205.9642705
15	0.426305917	6.252486785	750.2984141	535.9274387	375.1492071	312.6243392	250.0994714	220.6760042
16	0.454726312	6.669319237	800.3183084	571.6559346	400.1591542	333.4659618	266.7727695	235.3877378
17	0.483146706	7.086151689	850.3382027	607.3844305	425.1691013	354.3075845	283.4460676	250.0994714
18	0.511567101	7.502984141	900.358097	643.1129264	450.1790485	375.1492071	300.1193657	264.811205
19	0.539987495	7.919816594	950.3779912	678.8414223	475.1889956	395.9908297	316.7926637	279.5229386
20	0.56840789	8.336649046	1000.397886	714.5699182	500.1989428	416.8324523	333.4659618	294.2346722
21	0.596828284	8.753481498	1050.41778	750.2984141	525.2088899	437.6740749	350.1392599	308.9464058

ระยะชัก ขึ้น-ลง (cm)	รอบเพื่องใหญ่(รอบ)	รอบเพื่องเล็ก (รอบ)	ความเร็วรอบ (rpm)เมื่อเวลา 0.5 s	ความเร็วรอบ (rpm)เมื่อเวลา 0.7 s	ความเร็วรอบ (rpm)เมื่อเวลา 1.0 s	ความเร็วรอบ (rpm)เมื่อเวลา 1.2 s	ความเร็วรอบ (rpm)เมื่อเวลา 1.5 s	ความเร็วรอบ (rpm)เมื่อเวลา 1.7 s
22	0.625248678	9.170313951	1100.437674	786.0269101	550.218837	458.5156975	366.812558	323.6581394
23	0.653669073	9.587146403	1150.457568	821.755406	575.2287842	479.3573201	383.4858561	338.369873
24	0.682089467	10.00397886	1200.477463	857.4839019	600.2387313	500.1989428	400.1591542	353.0816067
25	0.710509862	10.42081131	1250.497357	893.2123978	625.2486785	521.0405654	416.8324523	367.7933403
26	0.738930256	10.83764376	1300.517251	928.9408937	650.2586256	541.882188	433.5057504	382.5050739
27	0.767350651	11.25447621	1350.537145	964.6693896	675.2685727	562.7238106	450.1790485	397.2168075
28	0.795771045	11.67130866	1400.55704	1000.397886	700.2785199	583.5654332	466.8523466	411.9285411
29	0.82419144	12.08814112	1450.576934	1036.126381	725.288467	604.4070558	483.5256447	426.6402747
30	0.852611834	12.50497357	1500.596828	1071.854877	750.2984141	625.2486785	500.1989428	441.3520083
31	0.881032229	12.92180602	1550.616723	1107.583373	775.3083613	646.0903011	516.8722409	456.0637419
32	0.909452623	13.33863847	1600.636617	1143.311869	800.3183084	666.9319237	533.5455389	470.7754755
33	0.937873018	13.75547093	1650.656511	1179.040365	825.3282556	687.7735463	550.218837	485.4872092
34	0.966293412	14.17230338	1700.676405	1214.768861	850.3382027	708.6151689	566.8921351	500.1989428
35	0.994713807	14.58913583	1750.6963	1250.497357	875.3481498	729.4567915	583.5654332	514.9106764
36	1.023134201	15.00596828	1800.716194	1286.225853	900.358097	750.2984141	600.2387313	529.62241
37	1.051554596	15.42280074	1850.736088	1321.954349	925.3680441	771.1400368	616.9120294	544.3341436
38	1.07997499	15.83963319	1900.755982	1357.682845	950.3779912	791.9816594	633.5853275	559.0458772
39	1.108395385	16.25646564	1950.775877	1393.411341	975.3879384	812.823282	650.2586256	573.7576108
40	1.136815779	16.67329809	2000.795771	1429.139836	1000.397886	833.6649046	666.9319237	588.4693444

ภาคผนวก ง
ตารางราคาของ

ตารางที่ ง.1 ความสัมพันธ์ความเร็วรอบกับระยะชักขึ้น-ลง และเวลาที่แกนใช้ในการชักขึ้น-ลง

No.	Devices	Where to buy	Price (Baht)	Contact No.
1.	เฟืองขบ 110 ซี่	หจก.มานะจักรกล คลองถม	450.00	02-223-6203
2.	เฟืองขบ100 ซี่	หจก.มานะจักรกล คลองถม	400.00	02-223-6203
3.	เฟืองขบ60 ซี่	หจก.มานะจักรกล คลองถม	300.00	02-223-6203
4.	เฟืองขบ30 ซี่	หจก.มานะจักรกล คลองถม	250.00	02-223-6203
5.	เฟืองขบ 15 ซี่	แสงตะวัน บ้านหม้อหม้อปลาซ่า	180.00	02-623-8889
6.	เพลขนาด 4 หุน	คลองถม	100.00	-
7.	เพลขนาด 2.5 หุน	แสงตะวัน บ้านหม้อหม้อปลาซ่า	50.00	02-623-8889
8.	ข้อต่อเหลา 2.5 หุน	แสงตะวัน บ้านหม้อหม้อปลาซ่า	50.00	02-623-8889
9.	ลูกปืนจักรยานทางเดียว	คลองถม	240.00	-
10.	ลูกปืนทางตรง	คลองถม	180.00	-
11.	ลูกปืนตุ๊กตา	แสงตะวัน บ้านหม้อหม้อปลาซ่า	400.00	02-623-8889
12.	กาวตะปู	คลองถม	150.00	-
13.	สเปรย์จาระบี	บ้านหม้อ	115.00	-
14.	สเปรย์กันสนิม	บ้านหม้อ	120.00	-
15.	สกรูหัวหกเหลี่ยม	แยกเจ้าคุณฯ	40.00	-
16.	สกรูหัวจม	แยกเจ้าคุณฯ	50.00	-
17.	สกรูปลายสว่าน	แยกเจ้าคุณฯ	20.00	-
18.	สกรูหัวแฉก	แยกเจ้าคุณฯ	20.00	-
19.	หัวน็อต	แยกเจ้าคุณฯ	40.00	-
20.	แหวนอีแปะ	แยกเจ้าคุณฯ	20.00	-
21.	ไม้อัด	ร้านไม้มือสอง แยกเจ้าคุณฯ	400.00	-
22.	ไม้แข็ง	ร้านไม้มือสอง แยกเจ้าคุณฯ	200.00	-

23.	แท่งเหล็กตัน	โรงกลึงวิจเจอร์ญ	400.00	02-738-6359
24.	เหล็กเส้นหนา	โรงกลึงวิจเจอร์ญ	1,000.00	02-738-6359
25.	กาวร้อน	7-11	30.00	-
26.	แผ่นอะคริลิก	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ประเสริฐวิทยาสเตชั่นเนอรี่	180.00	02-326-9317
27.	กาวEpoxy	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ประเสริฐวิทยาสเตชั่นเนอรี่	130.00	02-326-9317
28.	สายไฟ	ร้านอิเล็กทรอนิกส์ ตรงข้ามตึก 12 ชั้น	100.00	-
29.	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	แสงตะวัน บ้านหม้อหม้อปลาซ่า	700.00	02-623-8889
30.	โฟม1.5 ปอนด์/ft ²	บริษัทปิยะกิจ โฟมสยาม จำกัด	674.00	02-755-3293
31.	Epoxy เคลือบโฟม	หจก.เวอร์ซูว์ เวนเจอร์	637.00	02-538-3709
32.	หลอดไฟ LED	คลองถม	140.00	-
33.	ท่อแบน 2"x1"x2.3	บริษัท นานาสตีล จำกัด	308.00	02-737-2717
34.	ท่อไอเสียd1.3/4"x1.5	บริษัท นานาสตีล จำกัด	324.00	02-737-2717
35.	ท่อ PVC	แยกเจ้าคุณฯ	400.00	-
36.	กาวติดท่อ	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ประเสริฐวิทยาสเตชั่นเนอรี่	30.00	02-326-9317
37.	สีสเปรย์	ร้านอิศรัตน์	250.00	-
38.	สีน้ำมัน	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ประเสริฐวิทยาสเตชั่นเนอรี่	50.00	02-326-9317

ภาคผนวก จ
บทความทางวิชาการ

ต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

A PROTOTYPE OF WAVE ENERGY GENERATOR

จิระวัฒน์ เฟื่องภัทรา เจตพัฒน์ ทองใหม่ นุชามนตรี รัชชานนท์ มาสุวรรณ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย คลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษา ออกแบบ และผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำในรูปแบบของทุ่นลอย โดยมีการรับแรงในแนวขึ้น – ลงของคลื่นน้ำ และเปลี่ยนเป็นแรงในการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะมีการเก็บข้อมูลของคลื่นน้ำมาวิเคราะห์เพื่อออกแบบระบบที่จะใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าให้มีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพ เพื่อเกิดประโยชน์สูงสุดทางด้านพลังงานต่อไป

คำสำคัญ: เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, พลังงานคลื่นน้ำ

Abstract

This paper presents design and construction of wave energy generator by using a movement of buoy floater. It receive force in linear direction and change this force to drive the generator by moving of permanent magnets across the induction coils product electrical current according to Faraday's law of electromotive force induction method and Analyze the wave data from the record to design the system which use to produce the effective electric current to make a static and develop for future using.

Key: generator, wave energy

1. บทนำ

พลังงานคลื่นน้ำเป็นพลังงานหมุนเวียนอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งอยู่ในรูปพลังงานจลน์ของของไหลที่สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยประเทศไทยมีชายฝั่งทะเล และทำเรือเป็นจำนวนมาก ซึ่งเหมาะสำหรับการติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ พลังงานคลื่นน้ำสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา และมีปริมาณที่ไม่จำกัด ดังนั้นการเลือกพลังงานจากคลื่นน้ำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในประเทศไทย การผลิตกระแสไฟฟ้าจากคลื่นน้ำจะช่วยลดปัญหาด้านพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยได้

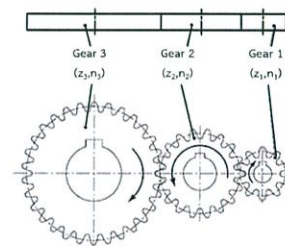
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คลื่น

คลื่น ในมหาสมุทรเป็นคลื่นแบบหนึ่งซึ่งเกิดจากการเคลื่อนตัวของพลังงานผ่าน ตัวกลาง ไม่ว่าจะ เป็น ของแข็ง ของเหลวหรือ ก๊าซ

2.2 ทฤษฎีเฟือง (Gear Terminology)

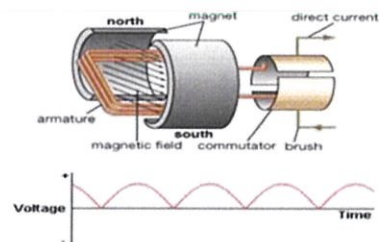
ขนาดของเฟืองมีการวัดเป็น 2 ระบบ คือ ระบบเมตริก และระบบอังกฤษ ในระบบเมตริกนั้นจะวัดขนาดเป็นมิลลิเมตร เรียกว่า เฟืองโมดูล ส่วนระบบอังกฤษจะวัดขนาดเป็นนิ้ว เรียกว่าเฟืองดีพี



รูปที่ 1 เฟืองขบ

2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator)

หลักการของเครื่องกำเนิด คือ การแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยขดลวดตัวนำหมุนตัดสนามแม่เหล็ก ซึ่งวางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กและสามารถหมุนได้ โดยมีต้นกำลังงานกลมาขับ เมื่อขดลวดนี้ตัดผ่านสนามแม่เหล็กทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับเกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ เมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับไหลมาถึงซี่คอมมิวเตเตอร์ (commutator) ไฟฟ้ากระแสสลับนี้ถูกเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง และไหลออกสู่วงจรภายนอกโดยผ่านแปรงถ่าน (brushes)



รูปที่ 2 DC Generator

2.4 แรงลอยตัวและหลักการของอาร์คิมิดีส

แรงลอยตัวคือแรงพยุงที่ของไหลกระทำกับวัตถุในทิศทางที่ตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วงเมื่อวัตถุถูกของไหลล้อมรอบ หลักการของ Archimedes มีว่าวัตถุที่จมอยู่ในของไหลทั้งหมด หรือแม้แต่เพียงบางส่วน นั้นจะมีแรงพยุงจากความดันของของไหลมาพยุงวัตถุเอาไว้เช่นกัน โดยแรงพยุงดังกล่าวจะมีขนาดเท่ากับน้ำหนักของของไหลที่มีปริมาตรเท่ากับส่วนที่วัตถุจมอยู่

3. การออกแบบและสร้างต้นแบบต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

3.1 ส่วนประกอบหลักของต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานคลื่น

- ระบบทางกล ได้แก่ ชุดเฟืองขับเคลื่อนทางเดียว ชุดเฟืองเพิ่มรอบ ท่อนลอย
- ระบบทางไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

3.2 หลักการทำงานของเครื่องต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานคลื่น

แปลงพลังงานจลน์จากคลื่นน้ำที่มีการเคลื่อนที่ในแนวนอน-ลง

โดยใช้ระบบทางกลที่ออกแบบมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า

3.3 การออกแบบระบบเฟืองขับ และเฟืองเพิ่มรอบ

มีการออกแบบระบบเฟืองขับ, ลูกปืน, เฟืองวางขับที่ใช้ในการรับการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง, เฟืองขับขนาดใหญ่, แกนขับ, เฟืองคู่กัด และระบบเฟืองเพิ่มรอบ เมื่อได้เลือกอุปกรณ์แล้วผู้ออกแบบได้มีการประกอบและติดตั้งเพื่อแสดงให้เห็นว่าระบบเพิ่มรอบมีการใช้งานได้จริง

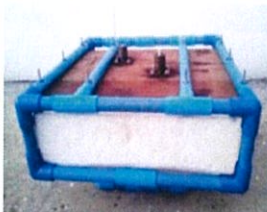


รูปที่ 3 ระบบเฟืองเพิ่มรอบ

3.4 การเลือกท่อนลอย

จากทฤษฎีของแรงลอยตัว เมื่อทราบความสัมพันธ์ระหว่างแรงลอยตัวและความหนาแน่นของวัตถุ(ρ) แล้วก็ได้มีการเลือกโฟมนำไปทำเป็นท่อนลอย เพราะโฟมมีความหนาแน่นที่น้อยกว่าวัสดุอื่น

โฟมที่เลือกใช้ทำท่อนลอยจะใช้ขนาด 60x60x40 เซนติเมตร (กว้างxยาวxสูง) เป็นโฟมชนิดความหนาแน่น 1.5 ปอนด์ต่อ ตร.นิ้ว



รูปที่ 4 ท่อนลอยน้ำจากโฟมชนิด 1.5 ปอนด์

เพื่อหาค่าแรงบิดของตัวต้นกำลังที่จะนำไปขับเคลื่อนระบบ จากแรงกดที่คำนวณได้ทำให้สามารถหาค่าแรงบิดจากสมการดังนี้

$$T_p = r \times F \quad (3.5)$$

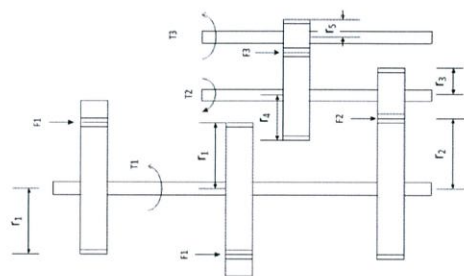
- เมื่อ
- T_p แรงบิดในการขับ
 - r รัศมีของเฟืองขับ
 - F แรงกดจากท่อนลอย

เนื่องจากการเพิ่มรอบให้กับเฟืองขับเพราะฉะนั้นค่าแรงบิดที่ได้จะมีค่าลดลงตามจำนวนรอบที่ทดเพิ่มขึ้น และได้มีการคำนวณหาค่าแรงบิดที่เกิดจากการเพิ่มรอบแล้วได้ดังนี้

$$T_3 = (r_3 r_5) / (r_2 r_4) \times T_1 \quad (3.6)$$

- โดย
- T_1 แรงบิดของแกนแรก
 - T_3 แรงบิดของแกนสุดท้าย
 - r_2 รัศมีเฟือง 110 ซี่
 - r_3 รัศมีเฟือง 30 ซี่
 - r_4 รัศมีเฟือง 60 ซี่
 - r_5 รัศมีเฟือง 15 ซี่

จากค่า T_p ที่คำนวณออกมาได้ทำให้เราทราบค่าแรงบิดของแกนที่จะนำไปต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และค่าที่ได้สามารถนำไปเลือกขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมได้



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและรัศมีในระบบเฟืองเพิ่มรอบ

3.5 การออกแบบและเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากระบบทางกลได้มีการคำนวณค่าแรงบิดของต้นกำลัง T_p และจะนำค่าแรงบิดที่ได้ไปเลือกหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่เหมาะสม โดยจะไม่คิดความสูญเสียทางกลจะได้ว่า $T_p = T_c$

ในการทดลองได้เลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวเล็กขนาด 28 วัตต์ 140 โวลต์ จำนวน 8 ขั้ว และมีความเร็วรอบ 1500 rpm เนื่องจากเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังทางไฟฟ้าไม่สูงมาก และเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งจะใช้กับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือก เช่น พลังงานลม และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้



รูปที่ 6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 28 วัตต์, 140 โวลต์, 8 ขั้ว, 1500 rpm

3.6 การประกอบและสร้างต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

จากการออกแบบและเลือกอุปกรณ์เพื่อนำมาสร้างส่วนต่างๆของต้นแบบเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นแล้ว ได้มีการนำอุปกรณ์ต่างๆมาประกอบกันเพื่อแสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ และพร้อมที่จะนำไปทดสอบเพื่อบันทึกข้อมูล และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 7 ต้นแบบเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

3.7 การหาสถานที่ทดลองเพื่อบันทึก และเก็บข้อมูล

เพื่อทดลองระบบสามารถทำงานได้ จึงจำเป็นต้องไปทดสอบกับสถานที่จริง เพื่อที่จะนำค่าที่บันทึกได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองในห้องทดลอง และประเมินถึงศักยภาพของพลังงานคลื่นที่จุดติดตั้ง ดังนั้นจึงเลือกสะพานปลาที่หาดบางพระ จังหวัดชลบุรี เนื่องจากมีระยะคลื่นที่เหมาะสมในการติดตั้ง คืออยู่ที่ประมาณ 15-50 เซนติเมตร และง่ายต่อการติดตั้งเพราะมีสะพานปูนยื่นเข้าไปในทะเล ดังนั้นจึงเลือกบริเวณนี้เป็นสถานที่ทดสอบ

4. ผลการทดลอง

4.1 วงจรการทดสอบหาพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

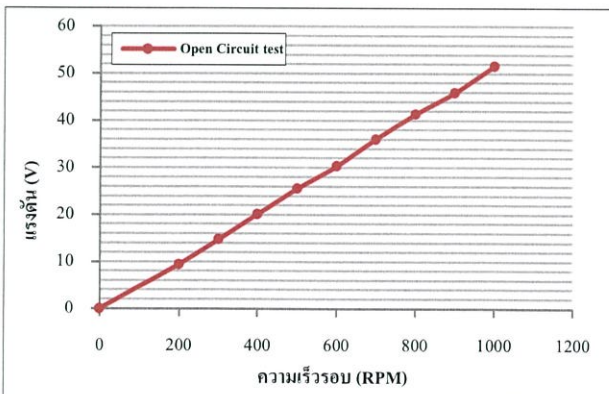
ในการทดสอบหาพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณีดังนี้

1. การทดสอบเปิดวงจร (Open Circuit)
2. การทดสอบกับโหลด

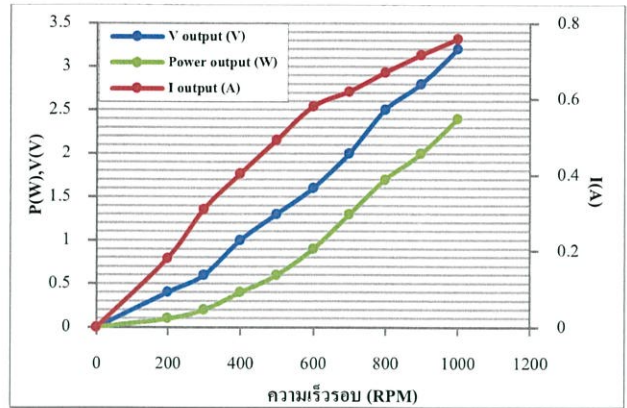
4.2 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบหาพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator)
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส (Three-Phase Induction Motor)
- อินเวอร์เตอร์สามเฟส (Three-Phase Inverter)
- ข้อต่อเพลลา (Coupling)
- เพาเวอร์มิเตอร์ (Power meter)
- เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)

4.3 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 8 กราฟแสดงผลการทดลอง Open Circuit test



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการทดลองโดยใช้โหลดไฟขนาด 12V 10W

จากการทดลอง Open Circuit test พบว่าที่ความเร็วรอบต่างๆค่าของแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าค่าแรงดันจะมีค่าสูงขึ้นตามความเร็วรอบที่สูงขึ้น ซึ่งการทดลองทำให้รู้ค่าพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้เลือกมาต่อกับระบบทางกล

การทดลองกับโหลด 3 ชนิดที่ต่างกัน ซึ่งมีโหลดตัวต้านทานขนาด 33 โอห์ม 10 วัตต์ โหลดไฟขนาด 12 โวลต์ 10 วัตต์ และโหลดไฟขนาด 12 โวลต์ 25 วัตต์ พบว่าโหลดแต่ละชนิดจะให้กระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าและกำลังทางไฟฟ้าที่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกัน ตามกราฟแสดงผลการทดลองโดยใช้โหลดไฟขนาด 12V 10W ดังรูปที่ 10 นั่นคือ เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังเพิ่มขึ้น

4.4 การทดสอบต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

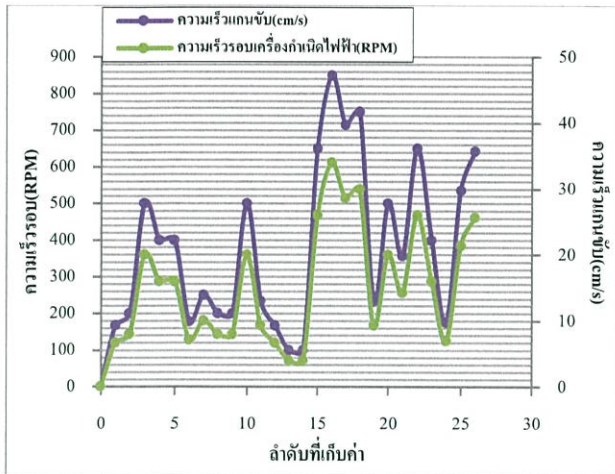
ในการทดสอบจะใช้พลังงานกลจากคลื่นน้ำทะเลมาแปลงให้เป็นพลังงานในการขับระบบเพื่อไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีหุ่นลอยน้ำทำจากโฟมเป็นตัวตอบสนองต่อการขึ้นลงของคลื่นน้ำทะเล ส่วนวงจรการวัดจะใช้เพาเวอร์มิเตอร์ในการวัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและกำลังทางไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานคลื่น



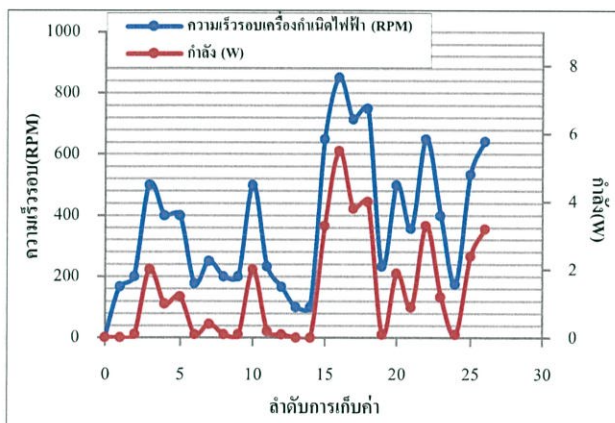
รูปที่ 4.10 การทดสอบต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

4.5 ผลการทดลองในสถานที่จริง

ได้มีการทดลองต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นที่สะพานปลาบริเวณหาดบางพระ จังหวัดชลบุรี ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความเร็วแกนขับ ของโพลดลอคเผาไส้ 10 วัตต์



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรงและกำลังทางไฟฟ้าของต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Output Power Generator) ของโพลดลอคเผาไส้ 10 วัตต์

จากการทดลองได้มีการเก็บบันทึกค่าระยะชักขึ้น-ลง ของเฟืองวาง และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในหนึ่งครั้ง โดยค่าทั้งสองสามารถนำมาคิดเป็นความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ในหนึ่งครั้ง และได้มีการไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับความเร็วรอบ พบว่าค่าความเร็วรอบนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วของการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ถ้าความเร็วมากความเร็วรอบของแกนขับก็จะมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย โดยแสดงให้เห็นดังกราฟว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน สอดคล้องกับเวลาที่แกนเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ในหนึ่งรอบที่ได้มีการเก็บบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าเช่นกัน โดยเลือกใช้โพลดลอคเผาไส้ที่มีการทดลองในห้องทดลอง ซึ่งผลที่ได้คือความเร็วรอบมีผลต่อกำลังไฟฟ้าของโพลดแต่ละชนิด ถ้าความเร็วรอบมาก ก็จะได้กำลังไฟฟ้าออกมามากเช่นกัน แต่ค่ากำลังไฟฟ้ามีผลมาจากโพลดที่เลือกใช้และจะมีค่ามากขึ้นในโพลดความต้านทาน 33 โอห์ม , โพลดลอคเผาไส้ 10 วัตต์ และโพลดลอคเผาไส้ 25 วัตต์ ที่ความเร็วรอบเท่ากันตามลำดับ

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบเครื่องต้นแบบทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วรอบของแกนขับนั้น แบ่งออกได้เป็น 2 ปัจจัยหลักๆ คือ ปัจจัยภายนอก ซึ่งประกอบด้วย ระยะชักขึ้น-ลง ของเฟืองตรง ซึ่งแปรผันตามความเร็วรอบ และค่าเวลาที่คลื่นทำให้แกนชักขึ้น-ลง และปัจจัยภายใน ซึ่งประกอบด้วย การออกแบบเฟืองขับที่นำมาต่อเข้ากับชุดเฟืองเพิ่มรอบ และทำให้รู้ว่าความเร็วรอบของตัวต้นกำลังมีผลต่อค่ากำลังไฟฟ้า ซึ่งจะแปรผันตามกัน

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ความเร็วแกนขับขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอก คือ คลื่นน้ำทะเล ซึ่งเกิดจากการขึ้น-ลงของน้ำทะเล ซึ่งไม่อาจควบคุมได้ ดังนั้นจึงควรศึกษาและวางแผนการทดลองให้ดีกว่าที่จะนำไปทดลองจริง

6.2 การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ต้องคำนึงถึงลักษณะในการติดตั้งให้เหมาะสมกับบริเวณที่ติดตั้งเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

6.3 การเลือกฟัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรมีความเหมาะสมกับระบบทางกลเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

7. กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ หากได้รับการสนับสนุน คำปรึกษาจาก ผศ.ดร.เชาว์ ชมพูอินทิว อาจารย์ที่ปรึกษา และขอขอบคุณรุ่นพี่ในห้องศูนย์วิจัยและวิศวกรรมส่องสว่าง (ESIRC) ที่คอยสละเวลาให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์เป็นอย่างมาก ในปริญญานิพนธ์เรื่องนี้ จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Wave_power.
- [2] <http://www.dpenergy.com/information/wave.html>
- [3] www.sciencebuddies.org
- [4] <http://www.wikipremed.com/01physicscards.php?card=758>
- [5] Magdy F. Iskander. Electromagnetic field and wave. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice Hall, 1992, ISBN 0-13-249442-6.

ประวัติผู้เขียน



นายจิระวัฒน์ เพ็งภัตตรา ชื่อเล่น ปิง รหัสนักศึกษา 53010225
เกิดวันที่ 17 ธันวาคม พุทธศักราช 2534
ที่อยู่ : 151/1 ม.4 ต.โหมต อ.ตะโหมต จ.พัทลุง 93160
โทรศัพท์ : 092-4940104
E-mail : jirawatpengpattra@gmail.com



นายเจตพัฒน์ ทองใหม่ ชื่อเล่น แบงก์ รหัสนักศึกษา 53010252
เกิดวันที่ 23 กรกฎาคม พุทธศักราช 2534
ที่อยู่ : 140 ม.1 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทรศัพท์ : 081-4937054
E-mail : jatapat.tongmai@gmail.com



นายนุชา มนตรี ชื่อเล่น ต๋อง รหัสนักศึกษา 53010871
เกิดวันที่ 1 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2535
ที่อยู่ : 21/28 ม.2 ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300
โทรศัพท์ : 086-1929558
E-mail : nuchamontri@hotmail.com



นายรัชชานนท์ มาสุวรรณ ชื่อเล่น ตี๋ รหัสนักศึกษา 53011343
เกิดวันที่ 23 พฤศจิกายน พุทธศักราช 2534
ที่อยู่ : 64/45 ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300
โทรศัพท์ : 082-0284193
E-mail : denim447@gmail.com