

รายงานวิจัย

อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นสำหรับลดภาระการใช้

ไฟฟ้าในโรงผลิตน้ำจืดบนเกาะสีชัง

Renewable Generating Device from Wave
Energy for Reducible Load of Koh Si-Chang
Freshwater Plants

โดย
รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ
รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

งบประมาณเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานวิจัย

อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นสำหรับลดภาระการใช้
ไฟฟ้าในโรงผลิตน้ำจืดบนเกาะสีชัง

Renewable Generating Device from Wave
Energy for Reducible Load of Koh Si-Chang
Freshwater Plants

โดย

รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

งบประมาณเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12696870

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์และการออกแบบอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล ซึ่งจากปัญหาการขาดแคลนพลังงานที่มีอยู่ในขณะนี้ พลังงานสะอาดหรือพลังงานหมุนเวียนจึงได้รับความสนใจมากขึ้น อาทิเช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ ชีวมภาพ รวมถึงพลังงานคลื่นทะเลเป็นพลังงานจากธรรมชาติที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด พลังงานดังกล่าวสามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยใช้เทคนิคการดึงพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นทะเลชนิดอยู่กับที่ เนื่องจากราคาอุปกรณ์รวมทั้งการซ่อมบำรุงที่น้อย และสะดวกกว่าแบบชนิดลอยอยู่กลางทะเล สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ถูกนำมาใช้ทดสอบที่โรงผลิตน้ำจืดบนเกาะสีชัง เพื่อช่วยลดต้นทุนค่าไฟฟ้าบางส่วน ซึ่งจะช่วยให้การผลิตน้ำจืดทำได้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

รูปแบบเทคนิคที่นำเสนอในโครงการนี้จะแปลงพลังงานโดยใช้วัตถุที่ลอยน้ำ เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อคลื่นทะเลได้ โดยวัตถุลอยน้ำนั้นจะถูกดันให้ลอยขึ้นและลงตามลักษณะของคลื่นทะเล แล้วต่อแกนไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งถูกยึดไว้กับที่ ในส่วนของการเชื่อมต่อนั้นจะเชื่อมต่อกันด้วยเพลลาที่สามารถขบกับเฟืองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ในขณะที่วัตถุลอยน้ำนั้นถูกคลื่นซัด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกยึดไว้จะถูกดูดให้หมุนไปและกลับตามลักษณะของคลื่นที่มากระทบ ส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้ พลังงานที่ผลิตได้จะสามารถผลิตได้ตลอดเวลาที่คลื่นกระทบกับตัววัตถุลอยน้ำ โดยพลังงานไฟฟ้าจะถูกปรับปรุงคุณภาพให้สามารถใช้งานได้ ก่อนที่จะจ่ายให้กับโหลดที่เชื่อมต่ออยู่

Abstract

This report presents analysis and design of generating electrical energy from Ocean Tidal Energy. Nowadays lacking energy is the most important problem so clean energy or renewable energy become more interesting for example wind, solar, biomass and also include Ocean Tidal Energy which comes from nature and unlimited source. The Ocean Tidal Energy can generate electrical energy which use fixed draw energy technique because of cheaper equipment and less maintenances than floating on the sea. This research is testing at freshwater plant in Koh Si Chang for reduce cost of generating energy and improve performance of freshwater producing.

The technique in this report is transformation energy from floating object so it can response to ocean tidal. The floating object is pushed up and down depending on ocean tidal and then tide core of it with fixed generator. In case of connection, it connects with shaft and gear. When floating object moves, Generator is pulled and moves following by characteristics of wave form; accordingly, it can generate electrical energy. The energy can be produced all the time as long as floating object is moved. The electrical energy will be adjusted performance before it transfers to loads.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้ เป็นรายงานการวิจัยเสนอการวิเคราะห์และออกแบบอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล ซึ่งเป็นรายวิจัยปีแรก เนื่องจากเป็นโครงการวิจัยต่อเนื่อง 2 ปี ในปีแรกสามารถที่จะทำการทดสอบความเป็นไปได้ของงานวิจัย ที่ให้เอาต์พุตออกมาในระดับหนึ่งที่น่าพอใจ ในส่วนของงานวิจัยในฉบับที่ 2 ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 จะให้รายละเอียดรายงานวิจัยที่มีความสมบูรณ์มากขึ้น ตลอดจนรายละเอียดการทำพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นพลังงานร่วมของงานวิจัยชิ้นนี้ด้วย

รายงานวิจัยนี้จะไม่สำเร็จลงได้ ถ้าไม่มี นักศึกษาปริญญาเอก นายภูมิ ห้วยแข่งรอด และนายชาติชาย โสบุญ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งเป็นผู้มีส่วนร่วมกับงานวิจัยในครั้งนี้อย่างมาก ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ
สมยศ เกียรติวินิชวิล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญตาราง.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	1
1.2 ขอบเขตของการดำเนินงาน.....	2
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การศึกษาคลื่นทะเล.....	8
2.2 แรงลอยตัว.....	12
2.3 เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง.....	13
2.4 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ (Electromotive Force).....	15
2.5 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ได้จากแปรงถ่าน.....	17
2.6 ไดโอด (Diode).....	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	21
3.1 สมมติฐานและข้อควรคำนึงถึง.....	21
3.2 พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการออกแบบ.....	21
3.3 การคำนวณ.....	21
3.4 การออกแบบเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล.....	22
3.5 การออกแบบทวนลอย.....	25
3.6 การออกแบบการควบคุมขั้วไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะกลับทางหมุน.....	27
3.7 แบตเตอรี่.....	29
3.8 Charge Controller.....	29
3.9 โหลดที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.10 การสร้างชิ้นส่วน.....	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและสถานที่จริง	45
4.1 ตรวจสอบเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าต้นแบบด้วยพลังงานคลื่นทะเลก่อนทดสอบ	45
4.2 การเตรียมอุปกรณ์ในการทดสอบ	45
4.3 วิธีการทดลอง	48
4.4 ผลการทดลอง.....	50
4.4.1 การทดลองในห้องปฏิบัติการ	51
4.4.2 ผลการทดลองในสถานที่บริเวณชายฝั่ง.....	58
4.5 สรุปผลการทดลอง.....	66
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	67
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	67
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารอ้างอิง.....	69



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โมเดลของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าจากคลื่นมหาสมุทรรูปแบบต่างๆ	5
2.2 ระบบของเทคนิคที่จะใช้ในโครงการ	6
2.3 อุปกรณ์แปลงผันพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าแบบ Single	7
2.4 อุปกรณ์แปลงผันพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าแบบระบบ	7
2.5 แผนที่ความกดอากาศที่ก่อให้เกิดลม	9
2.6 ลักษณะของคลื่นน้ำที่เป็นรูปคลื่นชายน์	9
2.7 ลักษณะคลื่น Sea	11
2.8 ลักษณะคลื่น Swell	11
2.9 ลักษณะคลื่นทะเลชายฝั่ง	11
2.10 โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง	13
2.11 โครงสร้างจริงของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง	14
2.12 ขดลวดที่พันบนแกนเหล็กและวางรอบตัวสเตเตอร์	14
2.13 การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการเคลื่อนที่	16
2.14 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่และกฎมือขวาของเฟลมมิ่ง	16
2.15 ลักษณะสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ได้จากแปร่งถ่านที่ตำแหน่งมุม θ ต่างๆ	17
2.16 สัญลักษณ์ของไดโอด และ รูปร่างลักษณะของไดโอดที่ใช้ทั่วไป	18
2.17 การจ่ายไบอัสเบื้องต้นให้ไดโอด	19
3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล	22
3.2 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลส่วนบน	23
3.3 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลส่วนหน้า	23
3.4 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลส่วนข้าง	24
3.5 การขับเฟืองของทუნลอย	24
3.6 ทุนลอย	25
3.7 มุมรับแรงปะทะ	26
3.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของทุนลอย	27
3.9 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	27
3.10 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ไดโอด	28
3.11 การทำงานของวงจรบริดจ์ขณะจ่ายไบอัสตรงให้กับ D2 , D4	28
3.12 การทำงานของวงจรบริดจ์ขณะจ่ายไบอัสตรงให้กับ D1 , D3	29
3.13 การใช้งานของ Charge Controller	30
3.14 เตรียมวัสดุที่ใช้ทำชุดโครงเครื่อง	31
3.15 ตัดเหล็กกล่องและเชื่อมเหล็กชุดโครงเครื่อง	31
3.16 ชุดโครงเครื่องที่เชื่อมเสร็จแล้ว	32
3.17 ทาสีโครงเสร็จเรียบร้อยแล้ว	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.18 เตรียมวัสดุทำหุ่นลอย.....	33
3.19 แสดงการตัดเหล็กทำหุ่นลอย.....	34
3.20 ตัดเหล็กฉากและเชื่อมโครงหุ่นลอย.....	34
3.21 โครงหุ่นลอยที่เสร็จแล้ว.....	34
3.22 แสดงการตัดโคมเพื่อนำไปบรรจุในโครงหุ่นลอย.....	35
3.23 นำโคมที่ตัดไปบรรจุในโครงหุ่นลอยเรียบร้อยแล้ว.....	35
3.24 หุ่นลอยหุ้มด้วยผ้าใบหนังเสร็จเรียบร้อยแล้ว.....	36
3.25 แสดงการทำสีแผ่นที่ยึดหุ่นลอยกับโครง.....	36
3.26 เจาะและขันน็อตเข้ากับแขนของโครง.....	37
3.27 แสดงการขันน็อตแขนเข้ากับหุ่นลอย.....	37
3.28 ยึดแขนของหุ่นลอยเสร็จเรียบร้อยแล้ว.....	38
3.29 แสดงการยึดแขนของหุ่นลอยติดกับโครง.....	38
3.30 ยึดแขนของหุ่นลอยติดกับโครงเสร็จเรียบร้อยแล้ว.....	39
3.31 แสดงการยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดกับโครง.....	39
3.32 แสดงการยึดล้อล้อสะพานเฟืองและเพลลาเฟือง.....	40
3.33 ยึดล้อล้อสะพานเฟือง เพลลาเฟืองและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดกับโครงเสร็จเรียบร้อยแล้ว.....	40
3.34 เตรียมอุปกรณ์ทำตู้ควบคุม.....	41
3.35 แสดงการยึดชุดชาร์จ แบตเตอรี่และวงจรบริดจ์ไดโอด.....	41
3.36 ยึดชุดชาร์จ แบตเตอรี่และวงจรบริดจ์ไดโอดเข้ากับตู้ควบคุมเสร็จเรียบร้อยแล้ว.....	42
3.37 ติดตั้งตู้ควบคุมเสร็จเรียบร้อยแล้ว.....	42
3.38 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่งที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว (ด้านหน้า).....	43
3.39 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่งที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว (ด้านข้าง).....	43
3.40 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่งที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว (มุมสามมิติ).....	44
4.1 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่งที่พร้อมจะทดลอง.....	45
4.2 ชุดเก็บประจุไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ.....	46
4.3 ชุดโคมนีออน เซ็ททรอนิกส์ DC 12 V 10 W ที่ใช้ในการทดสอบ.....	46
4.4 สถานที่ที่จะทดลองเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล.....	47
4.5 มัลติมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้า.....	47
4.6 แอมมิเตอร์แบบเข็ม.....	48
4.7 ชุดวงจรบริดจ์ไดโอดและชาร์จประจุไฟฟ้าต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	49
4.8 แสดงการติดตั้งเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่ง.....	49

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 แสดงการจับเวลาเพื่อบันทึกผลการทดลอง.....	50
4.10 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น.....	52
4.11 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าในขณะทุ่นเคลื่อนที่ลง.....	52
4.12 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับระยะเวลาการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ ขึ้น,ลง.....	53
4.13 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น.....	54
4.14 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง.....	55
4.15 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ากับระยะเวลาการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ ขึ้น,ลง.....	56
4.16 การเปรียบเทียบระหว่างความเร็วรอบกับระยะเวลาการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย.....	57
4.17 การเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย.....	58
4.18 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับระยะเวลาการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ ขึ้น,ลง.....	60
4.19 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ากับระยะเวลาการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ ขึ้น,ลงและขึ้นลง.....	62
4.20 ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	64
4.21 ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า.....	65
4.22 ประสิทธิภาพของระบบ.....	66

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน.....	3
4.1 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลด	51
4.2 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นแบบมีโหลด 10 w.....	53
4.3 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ลงแบบมีโหลด 10 W.....	54
4.4 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงแบบมีโหลด 10 W.....	55
4.5 แสดงการบันทึกผลการทดลองหาความเร็วรอบ.....	56
4.6 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ของหุ่นลอย.....	57
4.7 จำนวนลูกคลื่นเฉลี่ยที่ทำการวัดในเวลาต่างๆ.....	59
4.8 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลดในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ ขึ้นและในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ลง ที่สถานที่จริง ในวันที่ 9 มิถุนายน 2557.....	59
4.9 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลดในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ ขึ้นลง ที่สถานที่จริง ในวันที่ 9 มิถุนายน 2557.....	60
4.10 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลดในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น ที่สถานที่จริง ในวันที่ 9 มิถุนายน 2557	61
4.11 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลดในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ลง ที่สถานที่บางแสน จังหวัดชลบุรี ในวันที่ 9 มิถุนายน 2557	61
4.12 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลดในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ ขึ้นลง ที่สถานที่จริง ในวันที่ 9 มิถุนายน 2557.....	62
4.13 แสดงการบันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	63
4.14 แสดงการบันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพของวงจรบริดจ์ไดโอด.....	64
4.15 แสดงการบันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบ	65

บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนพลังงานที่มีอยู่ในขณะนี้ พลังงานสะอาดหรือพลังงานหมุนเวียนจึงได้รับความสนใจมากขึ้น อาทิเช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ ชีวมวล รวมถึงพลังงานคลื่นทะเล (Ocean Tidal Energy) ซึ่งเป็นพลังงานจากธรรมชาติที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด พลังงานดังกล่าวสามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้ รูปแบบอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการแปลงพลังงานจากคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ อุปกรณ์ผลิตพลังงานชนิดอยู่กับที่ (Fixed) และอุปกรณ์ผลิตพลังงานชนิดลอยอยู่บนผิวน้ำมหาสมุทร (Floating) สำหรับในเทคนิคที่จะนำมาใช้ในเกาะสีชังนั้น จะใช้เทคนิคการดึงพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นทะเลชนิดอยู่กับที่ เนื่องจากราคาอุปกรณ์รวมทั้งการซ่อมบำรุงที่น้อยและสะดวกกว่าแบบชนิดลอยอยู่กลางทะเล

เกาะสีชังและอีกหลายเกาะนั้นมีการจ่ายไฟฟ้าจากเคเบิลใต้น้ำ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการจ่ายไฟฟ้าจากเคเบิลใต้น้ำจะสามารถทำได้และพอเพียง แต่ระบบดังกล่าวยังมีความเสี่ยงหลายประการในด้านเสถียรภาพ อาทิเช่น เมื่อตอนต้นปีนี้มีข่าวว่าเคเบิลใต้น้ำที่เกาะสีชังขาดเนื่องจากอุบัติเหตุจากการเดินเรือ เป็นต้น ดังนั้นการพยายามใช้ศักยภาพของพลังงานหมุนเวียนในเกาะ จึงสามารถช่วยทำให้เกิดเสถียรภาพมากขึ้นรวมถึงการประหยัดพลังงานในเกาะไปพร้อมกัน นอกจากนี้ น้ำจืด ซึ่งถือว่าเป็นน้ำดื่มหลักบนเกาะนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง มีแผนพัฒนาและโครงการหลายโครงการสนใจในการผลิตน้ำจืดบนเกาะแห่งนี้ อย่างไรก็ตาม ต้นทุนเนื่องจากกระแสไฟฟ้านับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการผลิตน้ำจืด หากสามารถลดต้นทุนดังกล่าวได้จะทำให้การผลิตน้ำจืดทำได้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

รูปแบบเทคนิคที่นำเสนอในโครงการนี้จะแปลงพลังงานโดยใช้วัตถุที่ลอยน้ำ เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อคลื่นทะเลได้ โดยวัตถุลอยน้ำนั้นจะถูกดันให้ลอยขึ้นและลงตามลักษณะของคลื่นทะเล แล้วต่อแกนไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งถูกยึดไว้กับที่ ในส่วนของการเชื่อมต่อนั้นจะเชื่อมต่อกันด้วยเพลลาที่สามารถขบกับเฟืองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ในขณะที่วัตถุลอยน้ำนั้นถูกคลื่นซัด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกยึดไว้จะถูกดูดให้หมุนไปและกลับตามลักษณะของคลื่นที่มากระทบ ส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้ พลังงานที่ผลิตได้จะสามารถผลิตได้ตลอดเวลาที่คลื่นกระทบกับตัววัตถุลอยน้ำ โดยพลังงานไฟฟ้าจะถูกปรับปรุงคุณภาพให้สามารถใช้งานได้ ก่อนที่จะจ่ายให้กับโหลดที่เชื่อมต่ออยู่

1.1 วัตถุประสงค์

- 1.1.1 เพื่อผลิตอุปกรณ์ต้นแบบที่แปลงพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กได้ โดยติดตั้งที่เกาะสีชัง ช่วยลดภาระการใช้ไฟฟ้าของโรงผลิตน้ำจืด

- 1.1.2 เพื่อให้พลังงานที่ถูกสร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นการประชาสัมพันธ์ความสามารถของบุคลากรของสถาบันฯ
- 1.1.3 เพื่อศึกษาลักษณะของเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่งและลักษณะการผลิตไฟฟ้าตามลักษณะของคลื่นที่บริเวณชายฝั่งเกาะสีชัง

1.2 ขอบเขตของการดำเนินงาน

- 1.2.1 สร้างอุปกรณ์ต้นแบบของการแปลงพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กได้และสามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.2.2 สามารถผลิตไฟฟ้าเพื่อช่วยลดภาระค่าไฟฟ้าบางส่วนให้กับโรงผลิตน้ำจืดของเกาะสีชังได้

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.3.1 ตรวจสอบความเป็นไปได้ในศักยภาพพลังงาน ออกแบบโครงสร้างและตัวระบบ
- 1.3.2 ออกแบบและพัฒนาต้นแบบ
- 1.3.3 รวบรวมระบบและตรวจสอบระบบ

กิจกรรม	2556			2557								
	ไตรมาสที่1			ไตรมาสที่2		ไตรมาสที่3		ไตรมาสที่4				
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
<u>แผนงาน</u>												
1.ตรวจสอบความเป็นไปได้ในศักยภาพพลังงาน ออกแบบโครงสร้างและตัวระบบ												
2.พัฒนาต้นแบบ												
3.รวบรวมระบบและตรวจสอบระบบ												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- 1.4.1 เรียนรู้หลักการทำงานและพัฒนาเครื่องต้นแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล
- 1.4.2 เครื่องต้นแบบสามารถนำไปประยุกต์ช่วยลดภาระค่าไฟฟ้าบางส่วนให้กับโรงผลิตน้ำจืดได้
- 1.4.3 จัดอบรมความรู้การใช้พลังงานให้กับชุมชนจำนวน 1 ครั้ง
- 1.4.4 เพื่อพัฒนางานวิจัยให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้านพลังงานให้กับหน่วยงานภาครัฐ - ภาคเอกชน และบุคคลทั่วไปที่สนใจการลดใช้พลังงานและลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

จากวิกฤตการณ์การขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานทดแทนที่ใช้ในปัจจุบันทั่วโลกจึงมีความตื่นตัวในการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ ได้แก่ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ ไฮโดรเจน และพลังงานชีวมวล เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายและมีแนวโน้มที่จะมีการใช้เพิ่มสูงขึ้นในอนาคตอันใกล้ เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นพลังงานสะอาดไม่มีพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นพลังงานที่สามารถหาใช้ได้ง่าย

นอกจากพลังงานแสงอาทิตย์แล้วประเทศไทยอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมแก่การนำพลังงานคลื่นน้ำมาใช้ เนื่องจากมีสภาพภูมิประเทศทั้งทางภาคตะวันออก และภาคใต้เป็นลักษณะชายฝั่ง นอกจากนี้คลื่นนั้นยังเกิดขึ้นตลอดเวลารวมทั้งเป็นพลังงานที่มีอยู่ไม่จำกัด ดังนั้นพลังงานคลื่นจึงมีความน่าสนใจที่นำมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า สำหรับเทคนิคที่ถูกเลือกมาใช้มีหลากหลายประเภทแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ ประเภทผลิตพลังงานจากอุปกรณ์ผลิตพลังงานชนิดอยู่กับที่ (Fixed) (เช่น Oscillating Water Column และ Overtopping Devices) และประเภทผลิตพลังงานจากอุปกรณ์ผลิตพลังงานชนิดลอยอยู่บนผิวมหาสมุทร (Floating) (เช่น Attenuator, Point Absorber และ Oscillating Surge Converter) โดยเทคนิคที่นำเสนอจะใช้อุปกรณ์ผลิตพลังงานชนิดอยู่กับที่ (Fixed) ซึ่งมีข้อดีที่คลื่นลอยกลางมหาสมุทร (Floating) เพราะอุปกรณ์ที่ใช้จะต้องทนต่อสภาพการกัดกร่อนได้ดีเนื่องจากระบบทั้งหมดจะอยู่กลางทะเล การนำพลังงานมาใช้จะต้องใช้สายไฟที่มากกว่ารวมทั้งการซ่อมบำรุงที่ยุ่งยากกว่า ดังนั้นเทคนิคที่นำเสนอจึงที่ความเหมาะสมกว่าเทคนิคการผลิตกระแสไฟฟ้าชนิดลอยอยู่กลางทะเล ตัวอย่างของคลื่นน้ำและชุดกำเนิดพลังงานจากคลื่นแบบต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.1



Oscillating Water Column



Overtopping Devices

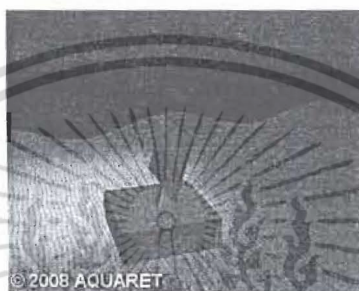
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Attenuator



Point Absorber



Oscillating Surge Converter

รูปที่ 2.1 โมเดลของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าจากคลื่นมหาสมุทรรูปแบบต่างๆ

พลังงานจากคลื่น (Wave Energy) เป็นผลจากการสมดุลระหว่างพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ในของไหล และพลังงาน รวมก็คือผลรวมของพลังงานทั้งสอง สามารถคำนวณและวิเคราะห์ได้จากสมการที่ 1, 2 และ 3

$$KE + PE = \rho \iiint_V \left(\frac{1}{2} V^2 + gy \right) d\gamma \quad (2.1)$$

ถ้าพิจารณาขอบเขตในแนวตั้งตั้งแต่ผิวน้ำถึงก้นทะเลจะได้

$$E = \rho \int_{-h}^{\eta} \left(\frac{1}{2} V^2 + gy \right) dy = \frac{1}{2} \rho \int_{-h}^{\eta} V^2 dy + \frac{1}{2} \rho g (\eta^2 - h^2) \quad (2.2)$$

พลังงานจลน์

พลังงานศักย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

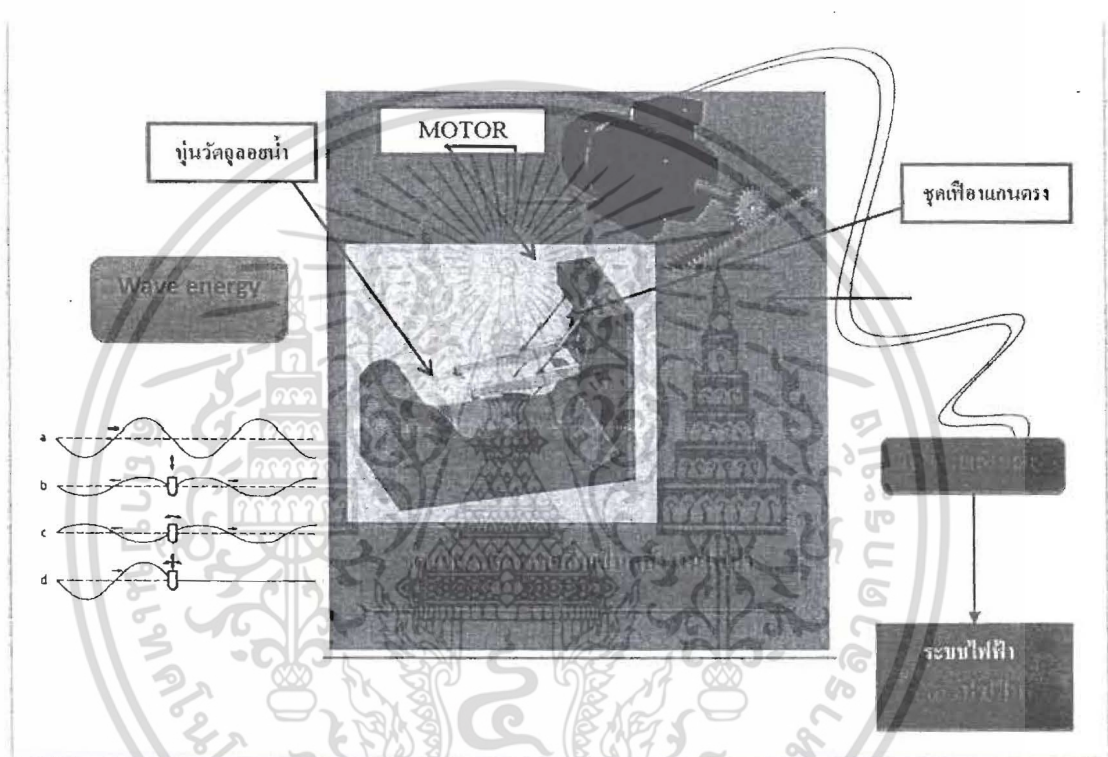
สำหรับกรณีคลื่นเล็กๆ Energy density จะเป็นสัดส่วนกำลังสองของความสูงคลื่น A จะได้

$$E = \frac{1}{4} \rho g A^2 + \frac{1}{2} \rho g A^2 \cos^2(kx - \omega t) \quad (2.3)$$

พลังงานจลน์

พลังงานศักย์

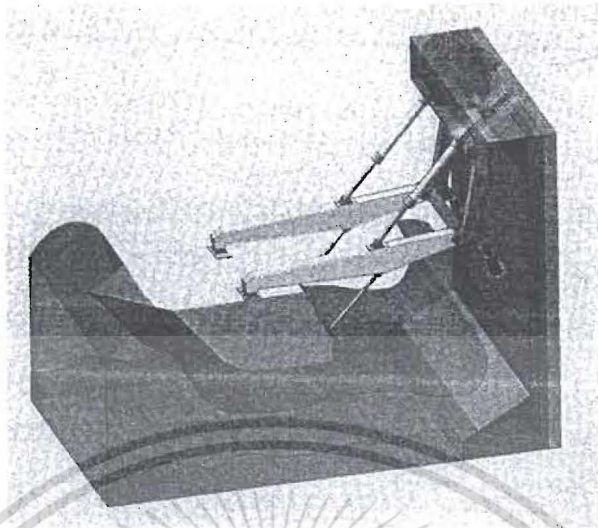
ตัวอย่างหลักการ/วิธีการทำงานของในโครงการ



รูปที่ 2.2 ระบบของเทคนิคที่จะใช้ในโครงการ

ระบบที่นำเสนอประกอบด้วย ชุดอุปกรณ์ลอยน้ำ แกนจับยึดอุปกรณ์กับฐาน เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชุดเพื่องานตรง อินเวอร์เตอร์แปลงผันพลังงานไฟฟ้า โดยระบบจะเริ่มทำงานเมื่อมีคลื่นทะเลมากระทบกับอุปกรณ์หุ่นลอยน้ำที่เชื่อมต่อกับชุดเพื่องานตรงซึ่งพลังงานจากคลื่นทะเลจะถูกส่งผ่านจากพลังงานคลื่นสู่พลังงานกล โดยชุดเพื่องานตรงจะซบกับเฟืองของแกนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งพลังงานทางกลที่ได้รับจากคลื่นจะส่งผ่านและแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่ออุปกรณ์ลอยน้ำเกิดการเลื่อนขึ้นเลื่อนลงเนื่องจากคลื่นทะเล ส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดการหมุนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วส่งต่อไปยังชุดอินเวอร์เตอร์เพื่อเพิ่มคุณภาพสัญญาณทางไฟฟ้า แล้วส่งเข้าสู่ระบบไฟฟ้าหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์แปลงผันพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าแบบ Single



รูปที่ 2.4 อุปกรณ์แปลงผันพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าแบบระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

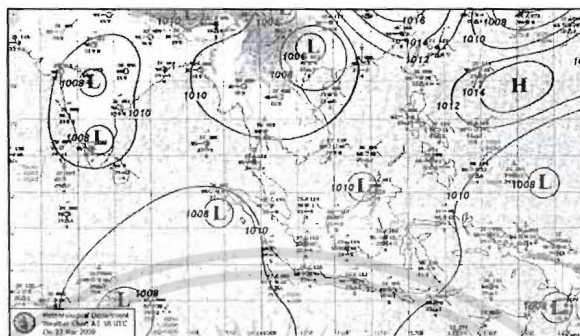
2.1 พลังงานคลื่นทะเล

คลื่นเป็นพลังงานที่มีอยู่ตามธรรมชาติในทะเล คลื่นสามารถกำเนิดได้จากทั้งลม การเปลี่ยนแปลงความกดอากาศ หรือแม้แต่เรือที่แล่นยังสามารถก่อให้เกิดคลื่น บางครั้งเรายังถือว่าน้ำขึ้นน้ำลงก็เป็นคลื่นชนิดหนึ่งที่มีคาบเวลาคคลื่นหลายชั่วโมง แต่ลมเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดคลื่นขึ้นในระดับผิวน้ำทะเลซึ่งมีความหนืด (viscosity) เมื่อถูกลมพัดผ่านผิวน้ำ “จะยึด” ออกตามแรงลมแล้วจะ “หด” ตัวกลับเพื่อรักษาสมดุลด้วยแรงตึงผิว (surface tension) ทั้งนี้ น้ำก็มีลักษณะคล้ายวัตถุยืดหยุ่นอ่อนๆ (elastic membrane) โดยการยึดและหดเนื่องจากแรงตึงผิวทำให้น้ำผิวน้ำโค้งขึ้นและโค้งลง (undulate) เกิดคลื่นขนาดเล็กขึ้นในที่สุด (ripples or wavelets) คลื่นขนาดเล็กๆ เหล่านี้จะปรากฏให้เห็นเมื่อมีลมพัดเท่านั้นถ้าลมหยุดพัดคลื่นเหล่านี้จะสลายตัวเกือบทันทีพุดในอีกแง่หนึ่งว่าเป็นคลื่นที่มีอายุสั้นต่อมาเมื่อมีลมพัดต่อเนื่องกันเป็นเวลานานพอสมควรคลื่นเหล่านี้จะค่อยๆ ขยายโตขึ้นเพราะผิวน้ำที่ “ขรุขระ” เนื่องจากมีคลื่นขนาดเล็กๆ ทำให้เกิดพื้นที่ผิวในส่วนที่จะรับลมเพิ่มขึ้น (ส่วนนูน) คลื่นที่ขยายโตขึ้นมีชื่อใหม่ว่าคลื่น Sea หมายถึงคลื่นที่ยังอยู่ในบริเวณที่มีลมพัดมีความยาวคลื่นสั้นและยอดคลื่นเตี้ย ผิวน้ำในตอนนี้นับสนุนววยและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาในระยะไกลเราจึงมักเห็นผิวน้ำมีลักษณะเป็นหลุมเนินเหลี่ยมคล้าย “เพชร” เหตุที่ปรากฏเช่นนี้เพราะว่าโดยธรรมชาติลมพัดด้วยความเร็วและมีทิศทางที่ไม่แน่นอนในช่วงเวลาหนึ่งความเร็วและทิศทางอาจเปลี่ยนแปลงหลายตลบนอกจากนี้ในบางครั้งลมยังเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนเวียนซ้ายเวียนขวาแล้วแต่กรณีคลื่นขนาดเล็กอาจซ่อนอยู่ในคลื่นขนาดใหญ่กว่าคลื่นที่มีความเร็วกว่าจะเคลื่อนที่ทับคลื่นที่ช้ากว่า คลื่นชนกันสลายตัวบางส่วนทำให้ส่วนที่เหลือมีทรวดทรงไม่สมประกอบ ฯลฯ

ต่อมาคลื่น Sea ซึ่งมีหลายขนาดและมีความเร็วต่างกันจะค่อยๆ ปรากฏทรวดทรงให้เห็นชัดขึ้นกล่าวคือพวกที่มีความเร็วมากกว่าจะวิ่งล้ำหน้าพวกที่เคลื่อนที่ช้ากว่านับว่าเป็นการแยกคลื่นหลายชนิดซึ่งเกิดพร้อมกันออกจากกันตามธรรมชาติ คลื่นที่แยกออกจากกันแล้วจะมียอดคลื่น (crest) และท้องคลื่น (trough) ตื้นกว่าเดิมเรียกคลื่นในตอนนี้อาคลื่นไตน้ำ (swell) หมายถึงคลื่นที่เกิดขึ้นนอกเขตลมพัดยอดคลื่นเตี้ยมนกลมกว่าเดิมเล็กน้อย โดยธรรมชาติของคลื่นคลื่นที่ค่อยๆ โตขึ้นในขณะที่มีลมพัดจะได้รับพลังงานจากลมเพิ่มขึ้นคลื่นจึงค่อยๆ มีความเร็วเพิ่มขึ้นในตอนแรกคลื่นเคลื่อนที่ช้ากว่าลม ต่อมาจะเท่ากับลมและในที่สุดจะเร็วกว่าลมด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเคลื่อนที่ออกนอกเขตที่มีลมพัดได้ในธรรมชาติจึงเห็นคลื่นเคลื่อนที่นำหน้าลมหรือเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งได้อย่างอิสระโดยไม่มีลมพัดเลยจึงอาจเรียกคลื่นไตน้ำ (swell) ว่าเป็น free waves ในบริเวณที่มีคลื่นไตน้ำ (swell) ผิวน้ำทะเลจะลดความสับสนและขรุขระมากเริ่มมองเห็นคลื่นเคลื่อนที่อย่างเป็นระบบคลื่นหลายขนาดและด้วยความเร็วต่างๆ กันจะเคลื่อนที่ตามหลังกันเป็นขบวน (wave train) หรือเป็นกลุ่มมีลักษณะเฉพาะ (system) คลื่นที่นำหน้าอาจรวมตัวเมื่อเข้าเขตที่มีความตื้นเช่น เกาะไตน้ำ สันทรายไตน้ำ ฯลฯ ในขณะที่คลื่นอายุน้อยจากแถวหลังจะวิ่งติดตามคลื่นแถวหน้า โดยลักษณะนี้เราจะเห็นคลื่นตลอดเวลา

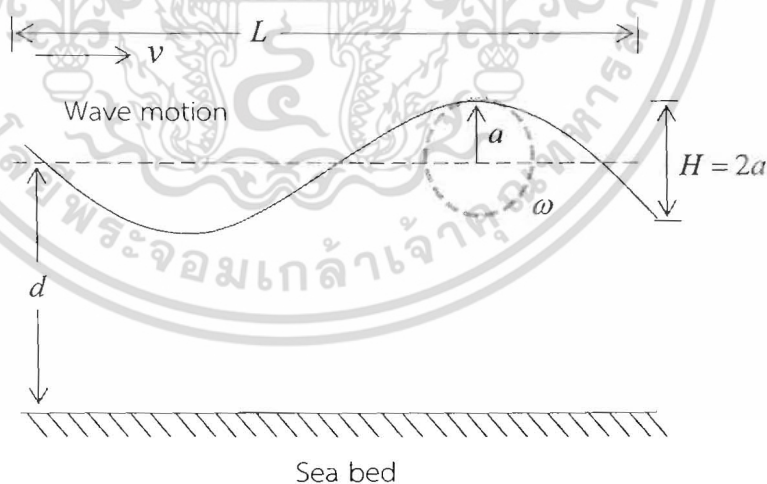
คลื่นที่เป็นที่สนใจของวิศวกรรมชายฝั่ง คือคลื่นที่เกิดจากลมหรือที่เรียกว่า Wind-generated wave หรือ gravity wave เพราะคลื่นประเภทนี้มีพลังงานคลื่นมากที่สุด Gravity wave มักมีความสูงไม่เกิน 10 เมตรและมีคาบคลื่นไม่เกิน 30 วินาที สาเหตุที่เราเรียกคลื่นจากลมว่า Gravity wave ก็เนื่องจากคลื่นประเภทนี้เกิดจากลมและแรงโน้มถ่วง ลมที่พัดเหนือ น้ำจะพยายามยกผิวน้ำให้สูงขึ้น แต่ขณะเดียวกันแรงโน้มถ่วงของโลกจะพยายามดึงผิวน้ำลงมา หากแรงลมสามารถเอาชนะแรงโน้มถ่วงได้ ความสูงคลื่นจะเพิ่มขึ้น และความสูงคลื่นจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง ที่แรงลมและ

แรงโน้มถ่วงสมดุลกัน ลมที่พัดเหนือผิวน้ำจะส่งถ่ายพลังงานไปให้น้ำ และก่อให้เกิดคลื่น ความกดอากาศที่แตกต่างกันเหนือมหาสมุทรจะทำให้เกิดลมพัด ดังรูปที่ 2.5 ขนาดความสูงของคลื่นที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับความเร็วลม (Wind speed) ช่วงเวลาที่ลมพัด (Wind duration) และระยะทางเหนือผิวน้ำที่ลมพัดผ่าน (Fetch length)



รูปที่ 2.5 แผนที่ความกดอากาศที่ก่อให้เกิดลม[1]

คลื่นเหนือมหาสมุทรส่วนมากแล้วจะมีคาบคลื่นระหว่าง 3 ถึง 25 วินาที เราเรียกคลื่นชนิดนี้ว่า Gravity waves การวิเคราะห์คลื่นมีความจำเป็นสำหรับทุกๆโครงการที่ตั้งอยู่ใกล้ฝั่ง เนื่องจากคลื่นจะกำหนดแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง อย่างไรก็ตามคลื่นทะเลในความเป็นจริงนั้นไม่มีสมการใดสามารถอธิบายได้อย่างแม่นยำ วิศวกรชายฝั่งจึงจำเป็นต้องกำหนดรูปแบบคลื่นอย่างง่ายเพื่อพยายามที่จะอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ โดยเราจะกำหนดให้คลื่นมีลักษณะเป็นรูป Sine และมีลักษณะ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะของคลื่นน้ำที่เป็นรูปคลื่นไซน์

เมื่อ	v	คือ ความเร็วของคลื่นเฉลี่ย (m/sec)
	a	คือ ความสูงของคลื่นเฉลี่ย (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- L คือ ความยาวของคลื่น (m)
 ω คือ ความถี่เชิงมุมของคลื่น (rad/sec)
 H คือ ความสูงของคลื่น (m)
 d คือ ความลึกระหว่างพื้นทะเลกับผิวน้ำ (m)

มวลของน้ำในคลื่นต่อหน่วยความยาวของหน้าคลื่นเหนือระดับน้ำทะเลมีค่า

$$m = \rho \left(\frac{L}{2} \right) \left(\frac{a}{\sqrt{2}} \right) \quad (2.4)$$

พลังงานศักย์ของคลื่นมีค่า

$$\begin{aligned}
 E_p &= \rho \left(\frac{L}{2} \right) \left(\frac{a}{\sqrt{2}} \right) g \left(\frac{a}{\sqrt{2}} \right) \\
 &= \frac{\rho L a^2 g}{4}
 \end{aligned} \quad (2.5)$$

กำลังของคลื่นมีค่า

$$P = \frac{\rho L a^2 g}{4T} \quad (2.6)$$

เมื่อ T คือเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ จะได้ความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์กับ T ดังสมการที่ (2.4)

$$L = \frac{T^2 g}{2\pi} \quad (2.7)$$

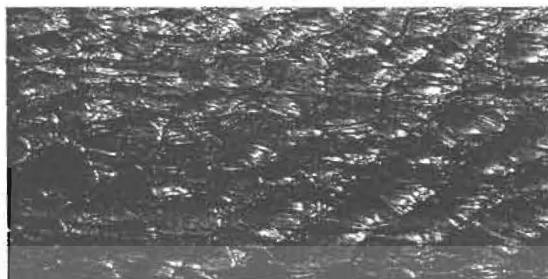
แทนสมการที่ (2.4) ใน (2.3)

$$P = \frac{\rho g^2 a^2 T}{8\pi} \quad (2.8)$$

- เมื่อ E_p คือ พลังงานศักย์ของคลื่น (J/m)
 P คือ กำลังของคลื่น (W/m)

เราสามารถแบ่งคลื่นออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ คลื่น Sea และคลื่น Swell ซึ่งคลื่น Sea จะหมายถึงคลื่นที่เกิดจากลมที่พัดเหนือพื้นที่ ลักษณะของคลื่น Sea จะมีความสูงและคาบที่น้ำสับสน

สันคลื่นจะสั้นๆและแตกห่างกัน เมื่อคลื่นที่เกิดขึ้นได้เคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิด คลื่นที่มีความยาวมากกว่าจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าคลื่นที่มีความยาวน้อยกว่าทำให้เกิดการจัดกลุ่ม ดังรูปที่ 2.7

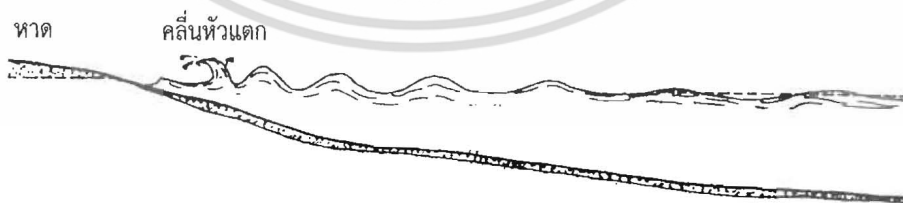


รูปที่ 2.7 ลักษณะคลื่น Sea[1]

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่มาจากกระยะไกลจะเรียกว่าคลื่น Swell เราจะสังเกตได้ว่าคลื่น Swell มีสันคลื่นยาวชัดเจนและมีทิศทางเคลื่อนที่หลักเพียงทิศเดียว (Unidirectional) คลื่นที่เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่กำเนิดจะสูญเสียพลังงานไปบ้าง เนื่องจากแรงเสียดทานของอนุภาคน้ำ แรงเสียดทานจากพื้นทะเล แรงเสียดทานกับอากาศด้านบน ทำให้คลื่น Swell จะมีลักษณะที่มีความยาวคลื่นยาวกว่าแต่มีความสูงน้อยกว่าคลื่น Sea ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะคลื่น Swell[1]



รูปที่ 2.9 ลักษณะคลื่นทะเลชายฝั่ง[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นทะเลชายฝั่งเกิดจากคลื่น Swell ที่เคลื่อนที่เข้าใกล้ชายฝั่ง เมื่อเข้าใกล้ชายฝั่งมากขึ้น แรงเสียดทานของพื้นทะเลจะมีมากขึ้นทำให้มวลน้ำที่บริเวณผิวน้ำเคลื่อนที่เร็วกว่ามวลน้ำบริเวณท้องคลื่น จึงเป็นผลให้คลื่นยกตัวสูงขึ้นจนไม่สามารถรักษาสมดุลได้ ผิวหน้าของคลื่นก็จะแตกออก เราเรียกว่า “คลื่นหัวแตก” (Breaker) เราจะสังเกตเห็นได้เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้ามากระทบฝั่ง น้ำจะแตกซำเป็นฟองกลายเป็นฟองคลื่นบนหาด ดังรูปที่ 2.9

2.1.3 ความหนาแน่นของน้ำทะเล

น้ำทะเลเป็นของเหลวที่ได้จากทะเลหรือมหาสมุทรโดยทั่วไปมหาสมุทรทั่วโลกมีความเค็ม (salinity) ประมาณ 3.5% หรือ 35 ส่วนต่อพันส่วนนั้นหมายความว่าในน้ำทะเลทุกๆ 1 กิโลกรัม จะพบเกลืออยู่ 35 กรัม (ส่วนมากจะพบในรูปของไอออนโซเดียมคลอไรด์ (Na⁺,Cl⁻) ความหนาแน่นเฉลี่ยที่ผิวน้ำของมหาสมุทรรอยู่ที่ 1.025 กรัมต่อมิลลิเมตร น้ำทะเลมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำจืด (น้ำจืดมีความหนาแน่นสูงสุดที่ 1.000 กรัมต่อมิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส) เพราะน้ำทะเลมีความหนักของเกลือและ Electrostriction (ไฟฟ้าที่ไม่นำกระแส แต่อยู่ในเรื่องของสนามไฟฟ้า) จุดเยือกแข็งของน้ำทะเลอยู่ที่อุณหภูมิ -2 องศาเซลเซียสหรือ 28.4 องศาฟาเรนไฮต์ ในน้ำทะเลที่มีความเข้มข้น 35 ส่วนต่อพันส่วน (35 ppt) [1]

2.2 แรงลอยตัว

การยกวัตถุที่จมในของเหลว จะมีน้ำหนักเบากว่าการยกวัตถุชิ้นนั้นในอากาศ ทั้งนี้เพราะของเหลวจะมีแรงลอยตัวกระทำขึ้นผ่านจุดศูนย์กลางของวัตถุ ซึ่งหลักการพื้นฐานของการลอยตัวนี้ อาร์คิมิดีส(Archimedes) นักคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ชาวกรีกได้เป็นผู้ค้นพบมีใจความดังนี้ “วัตถุที่จมอยู่ในของเหลวทั้งก้อนหรือบางส่วนก็ตาม ของไหลจะส่งแรงลอยตัวในแนวตั้งกระทำในทิศทางขึ้นต่อวัตถุ ซึ่งแรงลอยตัวของของไหลนี้มีค่าเท่ากับน้ำหนักของของไหลที่ถูกวัตถุนั้นแทนที่” [2]

แรงลอยตัว (Buoyancy Force) เป็นแรงที่ของเหลวกระทำต่อวัตถุที่จมอยู่ในของเหลว ถูกเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ “ F_B ” มีหน่วยเป็น (N) จากหลักการของอาร์คิมิดีสสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$F_B = \rho Vg \quad (2.9)$$

ความหนาแน่น หมายถึง ปริมาณมวลสารของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร สัญลักษณ์ที่ใช้แทนความหนาแน่น คือ ρ

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.10)$$

เมื่อ F_B คือ แรงลอยตัวที่กระทำต่อวัตถุ (N)
 ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m³)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

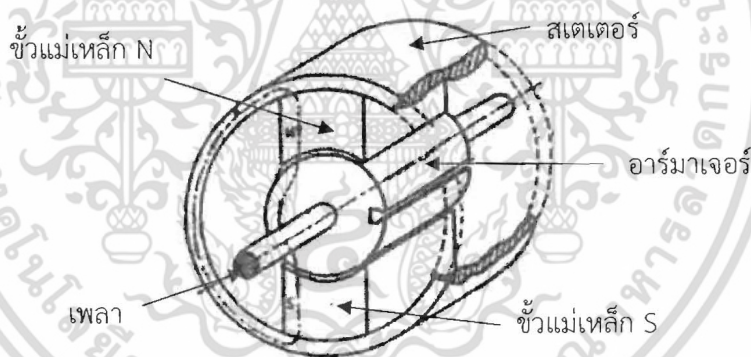
m	คือ มวลของของไหล (kg)
V	คือ ปริมาตรของของไหล (m^3)
V_d	คือ ปริมาตรของวัตถุส่วนที่จมในของไหล (m^3)
g	คือ ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลก มีค่าเท่ากับ $9.81 (m/s^2)$

2.3 เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องกลไฟฟ้ารุ่นแรกๆที่ใช้งานมาอย่างยาวนาน เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงสามารถทำงานได้สองแบบ คือ ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งปัจจุบันนิยมได้มีการนำเอามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไปใช้งานในงานอุตสาหกรรมเพราะควบคุมความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์ได้ง่าย เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใย โพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้น

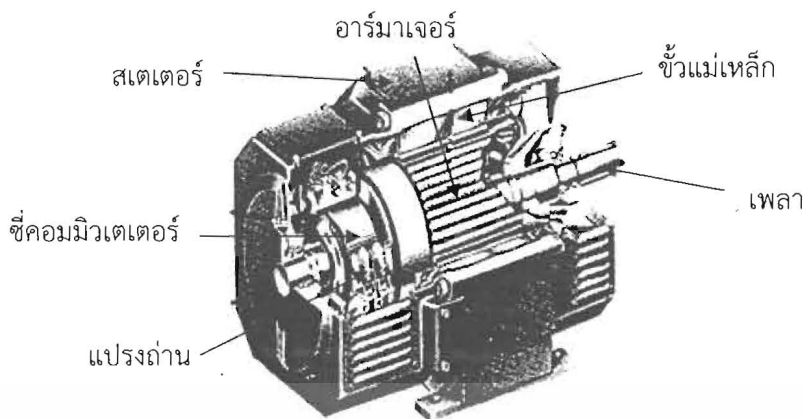
2.3.1 โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

พิจารณาในรูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบหลักๆของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงที่ประกอบด้วยส่วนนิ่งหรือสเตเตอร์ (Stator) เป็นโครงสร้างภายนอกของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงที่ยึดกับขั้วแม่เหล็กเหนือ (N Field Pole) และขั้วแม่เหล็กใต้ (S Field Pole) ทำหน้าที่ส่งเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือสู่ขั้วใต้และที่สำคัญมากอีกส่วนคือส่วนหมุน (Armature) ในส่วนนี้ภายในจะพันขดลวดกรณีที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าจะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Generator)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 โครงสร้างจริงของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง[3]

2.3.2 สเตเตอร์ (Stator)

สเตเตอร์ (Stator) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ทำด้วยสารเฟอร์โรแมกเนติก มีขั้วแม่เหล็กและแปรงถ่านติดตั้งอยู่ดังรูปที่ 2.11 ส่วนสเตเตอร์ทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของขั้วแม่เหล็กโดยจะกำหนดแนวทางของสนามแม่เหล็กให้อยู่ภายในเครื่องจักรจากขั้วแม่เหล็กขั้วหนึ่งผ่านช่องอากาศไปยังโรเตอร์และผ่านช่องอากาศไปยังขั้วแม่เหล็กอีกขั้วหนึ่งโดยครบวงจรปิดที่ส่วนสเตเตอร์ดังรูปที่ 2.11

2.3.3 ขั้วแม่เหล็ก (Filed Pole)

ขั้วแม่เหล็กทำด้วยสารเฟอร์โรแมกเนติก เป็นส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็กที่ได้มาจากการกระตุ้นที่ขดลวดสนาม (Field winding) ซึ่งพันอยู่บนแม่เหล็กดังรูปที่ 2.12 ลักษณะการเกิดขั้วแม่เหล็กที่เป็นขั้ว N หรือขั้ว S จะสามารถกำหนดได้จากทิศทางของกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดสนาม ขั้วแม่เหล็กจะต้องมีจำนวนเป็นเลขคู่เสมอ (หนึ่งคู่ขั้วจะประกอบด้วยขั้ว N และขั้ว S)



รูปที่ 2.12 ขดลวดที่พันบนแกนเหล็กและวางรอบตัวสเตเตอร์[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 โรเตอร์(Rotor)

โรเตอร์ (Rotor) หรือเรียกว่าอาร์มาเจอร์ (Armature) เป็นส่วนที่เคลื่อนที่หมุนทำด้วยสารเฟอร์โรแมกเนติก มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกและเป็นส่วนหนึ่งของวงจรมแม่เหล็ก ส่วนโรเตอร์จะมีขดลวดตัวนำความยาว l หลายๆคู่ซึ่งเรียกว่าขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature winding) วางอยู่ตามแนวความยาวโดยบรรจุไว้ในช่องสล๊อต (Slot) ดังรูปที่ 2.11 เมื่อโรเตอร์หมุนไปขดลวดตัวนำจะมีลักษณะวางตั้งฉากกับแนวสนามแม่เหล็กเสมอ จะเห็นได้ว่าขดลวดอาร์มาเจอร์จะเป็นส่วนที่เกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้า-กล ที่โรเตอร์จะมีส่วนที่ยื่นออกมาเรียกว่าเพลลา (shaft) ส่วนนี้มีไว้เพื่อรับหรือจ่ายพลังงานกลดังรูปที่ 2.12

2.3.5 วงแหวนแยก (Split-ring)

วงแหวนแยก (Split-ring) หรือเรียกว่าซีคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงจะติดตั้งอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งของโรเตอร์มีลักษณะโครงสร้างเป็นชิ้นส่วนเล็กๆวางอยู่รอบโรเตอร์สำหรับเป็นจุดเชื่อมต่อกับปลายของขดลวดอาร์มาเจอร์ วงแหวนเหล่านี้จะสัมผัสกับแปรงถ่านตลอดเวลาขณะที่ใช้งานอยู่เพื่อรับหรือจ่ายพลังงานไฟฟ้าดังรูปที่ 2.12

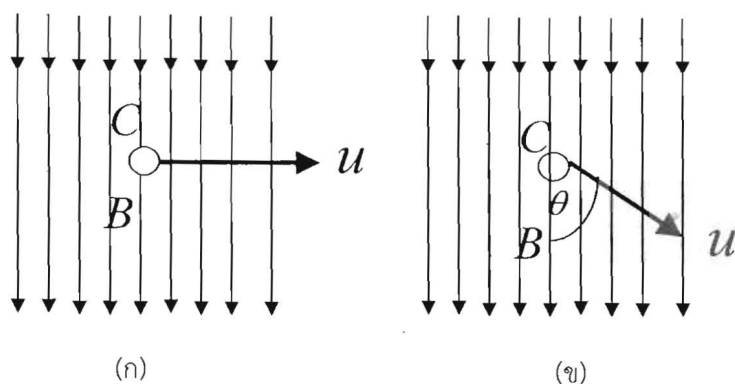
2.3.6 แปรงถ่าน (Brushes)

แปรงถ่าน (Brushes) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ทำด้วยผงถ่านคาร์บอน (Carbon graphite) ซึ่งต้องมีคุณสมบัติที่สึกกร่อนง่ายกว่าทองแดงเนื่องจากเวลาใช้งานจะสัมผัสอยู่กับวงแหวนแยกส่วนนี้ใช้สำหรับเป็นจุดเชื่อมต่อกับขดลวดอาร์มาเจอร์กับขดลวดไฟฟ้าภายนอกดังรูปที่ 2.12

2.4 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ (Electromotive Force)

เมื่อบางส่วนแม่เหล็กได้รับการกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสสลับจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นซึ่งถ้าเป็นในกรณีที่ลวดตัวนำหรือขดลวดไม่มีการเคลื่อนที่และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องขดลวดมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่ากระแส การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในลักษณะนี้เรียกว่าการเหนี่ยวนำแบบอยู่กับที่ (Statically induced) ซึ่งใช้อธิบายการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตามแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถเกิดขึ้นได้ในอีกลักษณะหนึ่งคือ เกิดจากการที่สนามแม่เหล็ก มีสภาพอยู่กับที่และลวดตัวนำมีการเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กซึ่งเรียกว่าการเหนี่ยวนำแบบเคลื่อนที่ (Dynamically induced) ซึ่งใช้อธิบายการทำงานของเครื่องจักรไฟฟ้าหมุน เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ดังนี้ เมื่อกำหนดให้ลวดตัวนำ C มีความยาว l เมตรวางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กที่มีการกระจายสม่ำเสมอ (Uniform) ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก B Tesla ดังรูปที่ 2.13 (ก)

เมื่อลวดตัวนำ C เคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก B ในแนวตั้งฉากในทิศทาง u กำหนดให้เคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง dx ในเวลา dt จะเห็นได้ว่าลวดตัวนำได้เคลื่อนที่ไปในพื้นที่เท่ากับ $l dx$ และมีการตัดเส้นแรงแม่เหล็กจำนวน $l dx \times B$ Wb ในเวลา dt ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวลวดตัวนำ ดังนั้นจะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ e หน่วยเป็น V ขึ้นที่ลวดตัวนำเรียกชื่อว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ (Electromotive Force)



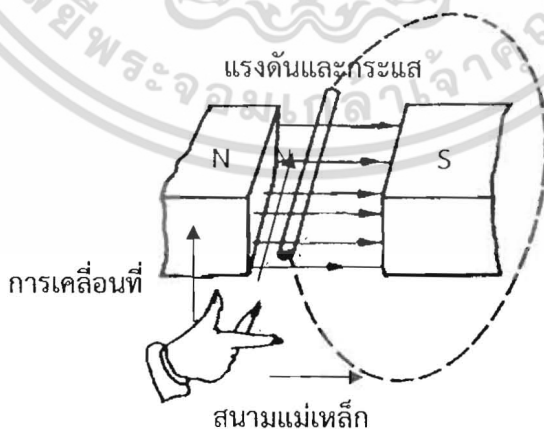
รูปที่ 2.13 การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการเคลื่อนที่[3]

$$e = \frac{Bl dx}{dt} = Bl \frac{dx}{dt} = Blu \tag{2.11}$$

เมื่อ u เป็นความเร็ว (Velocity) หน่วยเป็น meter/second และถ้าลวดตัวนำ C เคลื่อนที่ทำมุม θ กับแนวสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 2.13 (ข) ค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ

$$e = Blu \sin \theta \tag{2.12}$$

- เมื่อ
- e คือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V)
 - l คือ ความยาวลวดตัวนำ (m)
 - B คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Wb/m^2)
 - u คือ ความเร็ว (m/s)
 - θ คือ มุมระหว่างความเร็วของลวดตัวนำกับสนามแม่เหล็ก

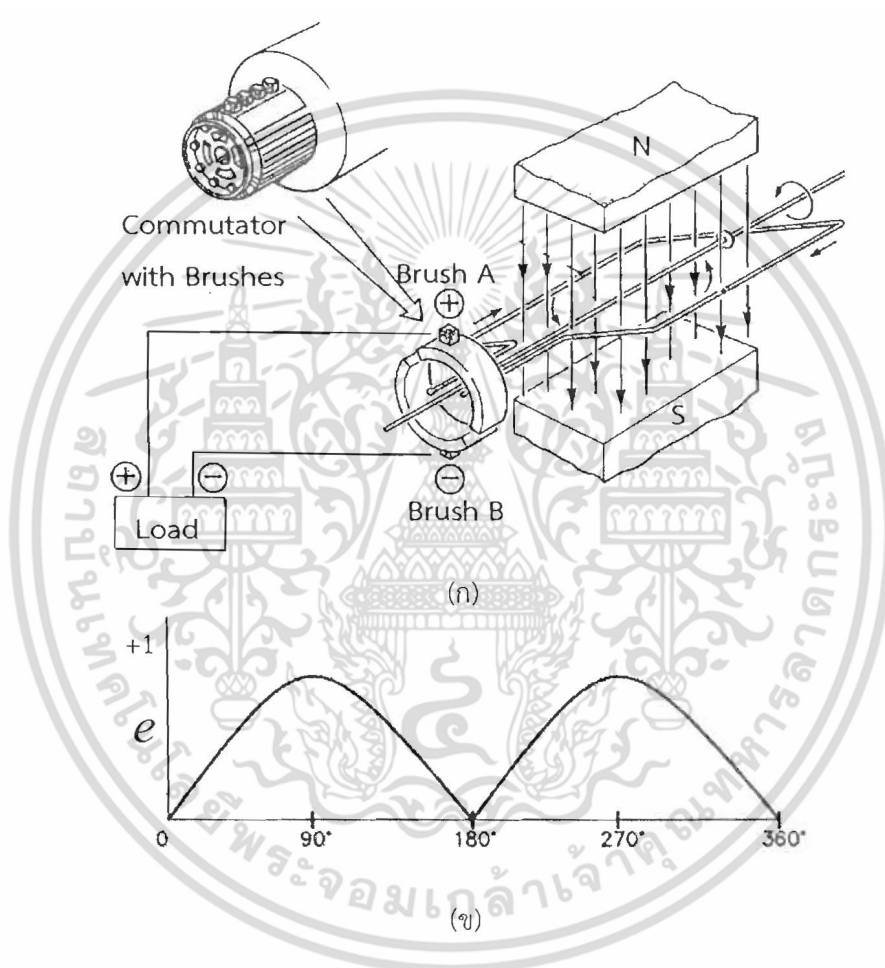


รูปที่ 2.14 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่และกฎมือขวาของเฟลมมิ่ง[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการดังกล่าวข้างต้นการเกิดค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ e สามารถแสดงด้วยโครงสร้างดังรูปที่ 2.14 และกำหนดได้โดยการใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง (Fleming's Right-hand rule) ดังรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่าถ้าลวดตัวนำมีการเคลื่อนที่ในแนวขนาน $\theta = 0^\circ$ กับแนวสนามแม่เหล็กจะไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ดังนั้นหลักการนี้สามารถนำไปอธิบายการทำงานของเครื่องจักรไฟฟ้าหมุนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนรูปพลังงานกลในรูปความเร็ว u เป็นพลังงานไฟฟ้าในรูปของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ e โดยมีสนามแม่เหล็ก B เป็นกลาง

2.5 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ได้จากแปรงถ่าน



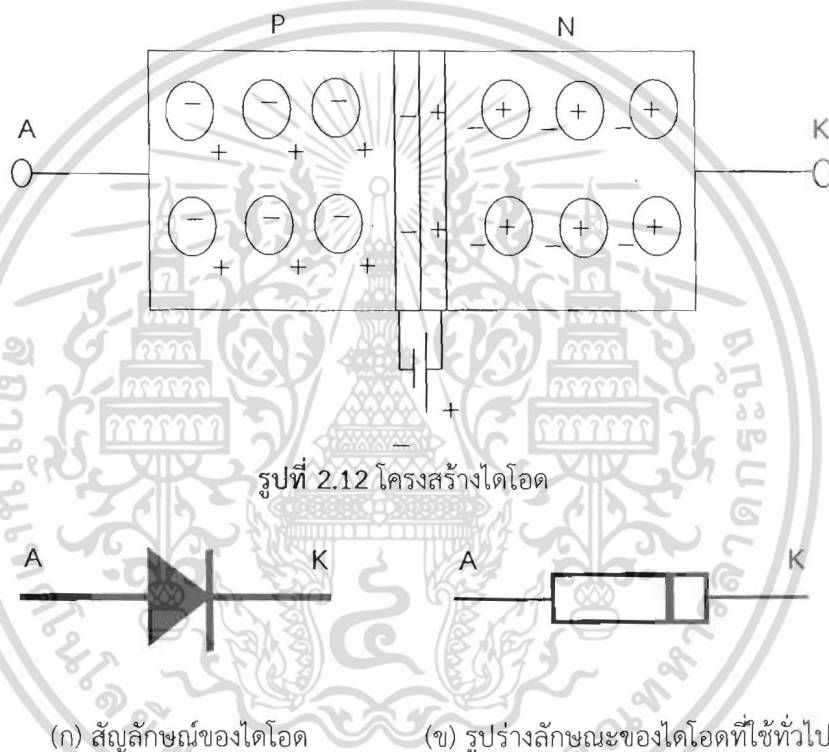
รูปที่ 2.15 ลักษณะสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ได้จากแปรงถ่านที่ตำแหน่งมุม θ ต่างๆ[3]

ในกรณีที่เครื่องจักรทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อต้องการให้ได้สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (กระแสมีทิศทางเดียว) เพื่อจ่ายให้กับวงจรไฟฟ้าภายนอกจะสามารถกระทำได้โดยการเพิ่มส่วนประกอบที่เรียกว่าส่วน วงแหวนแยกและส่วนแปรงถ่านดังรูปที่ 2.15 (ก) จากรูปจะเห็นได้ว่าลวดตัวนำแต่ละตัวจะเชื่อมต่ออยู่วงแหวนแต่ละชั้น (วงแหวน 2 ชั้นแยกจากกัน) และจะมีแปรงถ่านจำนวน 2 ชั้นวางอยู่กับที่ โครงสร้างลักษณะนี้เป็นการกำหนดให้แปรงถ่านแต่ละชั้นจะเลือก

สัมพันธ์เฉพาะวงแหวนที่กำหนดให้เท่านั้น นั่นคือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ได้จะมีทิศทางเดิมเสมอซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแปรปรวนทั้งสองขึ้นจะมีลักษณะเป็นสัญญาณเพียงทิศทางเดียวดังรูปที่ 2.15 (ข) ในกรณีนี้แปรปรวนด้านบน (ขั้วบวก) จะมีศักย์แรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าแปรปรวนด้านล่าง (ขั้วลบ) เสมอทำให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากแปรปรวนทั้งสอง [3]

2.6 ไดโอด(Diode)

ไดโอดเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งทำจากสารกึ่งตัวนำประเภท P และสารกึ่งตัวนำประเภท N โดยด้าน P เป็นแอโนด (Anode) ด้าน N เป็นแคโทด (Cathode) ดังนั้นไดโอดจึงมีขาใช้ 2 ขา คือ แอโนด (Anode) ใช้ตัวย่อว่า A และแคโทด (Cathode) ใช้ตัวย่อว่า K

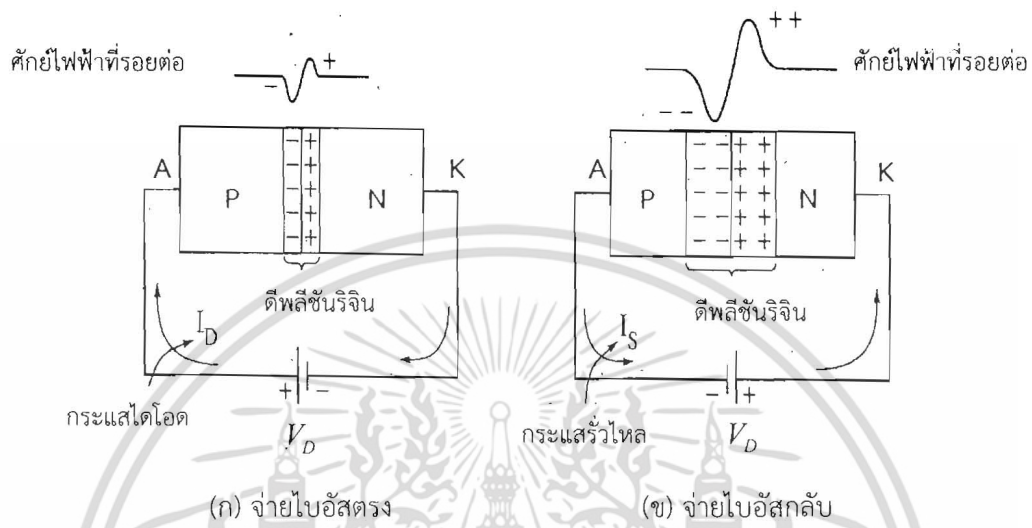


รูปที่ 2.16 สัญลักษณ์ของไดโอด และ รูปร่างลักษณะของไดโอดที่ใช้ทั่วไป

2.6.1 คุณสมบัติของไดโอด

ไดโอดถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกสารกึ่งตัวนำตัวแรกที่ถูกผลิตขึ้นมาใช้งานจัดเป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญในระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยต้องเข้าไปเกี่ยวข้องกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ตั้งแต่วงจรขนาดเล็กมีอุปกรณ์ไม่กี่ตัว ไปจนถึงวงจรมีอุปกรณ์จำนวนมากเป็นร้อยเป็นพันตัว เป็นเพราะว่าคุณสมบัติในการทำงานของตัวไดโอดทำงานได้ง่ายใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ได้ดี โดยระบบการต่อวงจร การจ่ายแรงดันไบอัส และการทำงานสวดกรวดเร็ว ด้วยหลักการทำงานพื้นฐานของไดโอดถือว่าไดโอดเป็นสวิตช์ชนิดหนึ่ง ตรงกับความต้องการในการใช้งานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์เกือบทั้งหมด ทำให้ไดโอดถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วไป

การทำงานของไดโอดขึ้นอยู่กับสภาวะการจ่ายแรงดันไบอัสให้ตัวไดโอด สภาวะการจ่ายแรงดันไบอัสให้ตัวไดโอดแบ่งได้เป็น 2 สภาวะคือ สภาวะไบอัสตรง (forward bias) เป็นสภาวะจ่ายแรงดันไบอัสถูกขั้วให้ตัวไดโอด ทำให้ไดโอดทำงานนำกระแส และสภาวะไบอัสกลับ (reverse bias) เป็นสภาวะจ่ายแรงดันไบอัสกลับขั้วให้ตัวไดโอด ทำให้ไดโอดไม่ทำงานหยุดนำกระแส ลักษณะไบอัสเบื้องต้น ดังรูปที่ 2.16

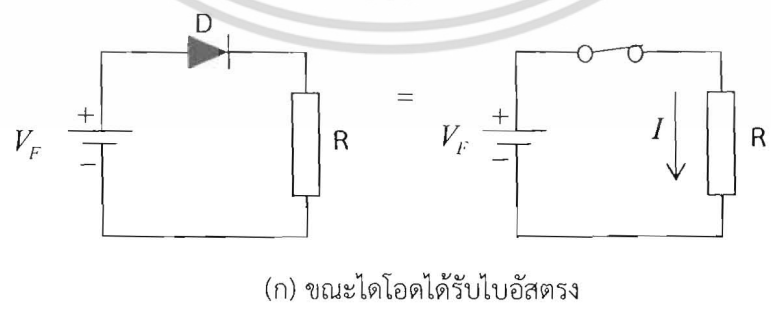


รูปที่ 2.17 การจ่ายไบอัสเบื้องต้นให้ไดโอด[4]

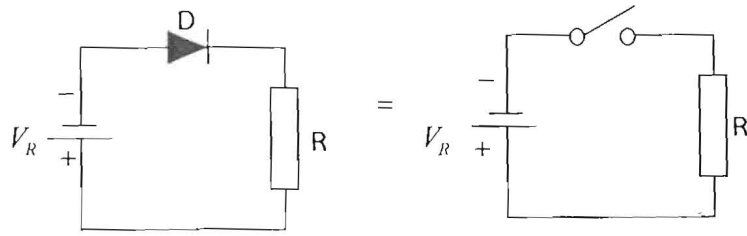
2.6.2 ไดโอดทางอุดมคติ

ไดโอดทางอุดมคติ (ideal diode) เป็นไดโอดที่นึกคิดขึ้นมาในคุณสมบัติการทำงาน โดยเปรียบไดโอดเหมือนสวิตช์ไฟฟ้าตัวหนึ่ง ทำงานเป็นสวิตช์ตามการจ่ายไบอัสให้ตัวไดโอด ขณะจ่ายไบอัสตรงไดโอดนำกระแส เหมือนกับสวิตช์ที่อยู่ในสภาวะต่อวงจร (ON) และขณะจ่ายไบอัสกลับ ไดโอดไม่นำกระแส

การวิเคราะห์วงจรไดโอดในลักษณะนี้เปรียบไดโอดเหมือนสวิตช์จริง ไดโอดสวิตช์ต่อวงจร (ON) เมื่อได้รับไบอัสตรง และไดโอดสวิตช์ตัดวงจร (OFF) เมื่อได้รับไบอัสกลับลักษณะวงจรแสดง ดังรูปที่ 2.18 [4]



(ก) ขณะไดโอดได้รับไบอัสตรง



(ข) ขณะไดโอดได้รับไบอัสกลับ

รูปที่ 2.18 ไดโอดเป็นสวิตช์ในอุดมคติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

คลื่นทะเลเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งของพลังงานหมุนเวียน คลื่นทะเลส่วนใหญ่เกิดจากลม โดยที่สามารถสังเกตเห็นการเคลื่อนที่ของคลื่นผิวน้ำทะเลได้แทบตลอดเวลาตามชายฝั่งทะเลหรือแม้แต่ในทะเลลึกก็ยังมีคลื่นผิวน้ำนี้ การนำพลังงานของคลื่นทะเลชายฝั่งมาผลิตไฟฟ้านั้นอาศัยความไม่สม่ำเสมอของผิวน้ำที่เกิดจากลมเป็นส่วนใหญ่โดยออกแบบทุ่นลอยให้เคลื่อนที่ตามระลอกคลื่นน้ำนี้ การเคลื่อนที่ของทุ่นลอยนี้จะอาศัยหลักการแรงลอยตัว เป็นตัวยกทุ่นลอยให้เคลื่อนที่ตามคลื่นทะเล จากนั้นนำการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยนี้ไปขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้าโดยผ่านสะพานเฟืองและเฟืองที่มีการออกแบบไว้พลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายต่อไป

3.1 สมมุติฐานและข้อควรคำนึงถึง

- คลื่นทะเลชายฝั่งมีความสูงน้อย
- แรงลอยตัวขึ้นอยู่กับขนาดของทุ่นลอย
- การเคลื่อนที่ขึ้นของทุ่นลอยจะอาศัยแรงลอยตัว
- การเคลื่อนที่ลงของทุ่นลอยจะอาศัยน้ำหนักของทุ่นลอย

3.2 พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการออกแบบ

- แรงดัน 24 V
- กำลังไฟฟ้า 36 W
- ความเร็วรอบ 900 rpm

3.3 การคำนวณ

ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นอยู่กับความสูงและความเร็วของคลื่นทะเลที่เข้ามาปะทะทุ่นลอย สามารถหาความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้จากสมการต่อไปนี้

$$N = i \times \frac{30h}{\pi r t} \quad (3.1)$$

เมื่อ	N	คือ ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (rpm)
	h	คือ ความสูงของการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (m)
	r	คือ รัศมีของเฟืองเพลลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (m)
	t	คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (sec)
	i	คือ อัตราทด

$$i = \frac{\text{เฟืองฟันของเฟืองขับ}}{\text{เฟืองฟันของเฟืองขับ}} \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ของทุ่นลอยจะอาศัยหลักการแรงลอยตัวในการยกทุ่นลอยให้เคลื่อนที่ขึ้นสามารถหาแรงลอยตัวได้จากสมการที่ (2.6) และการเคลื่อนที่ลงของทุ่นลอยจะอาศัยแรงเนื่องจากน้ำหนักของตัวทุ่นเอง สามารถหาแรงเนื่องจากน้ำหนักของทุ่นลอยได้จากสมการต่อไปนี้

$$F = mg \quad (3.3)$$

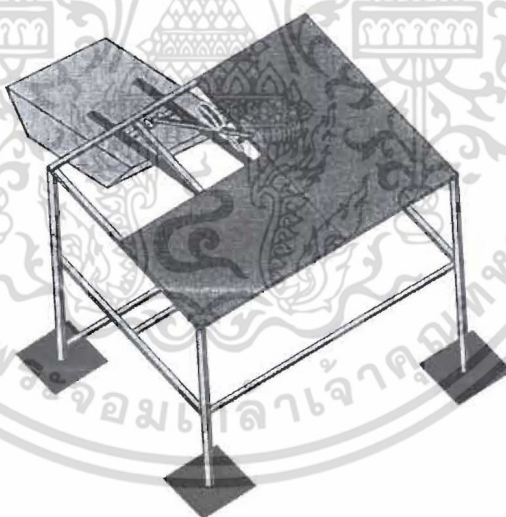
เมื่อ F คือ แรงของวัตถุเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (N)
 m คือ มวลของวัตถุ (kg)
 g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมีค่าเท่ากับ $9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยเกิดจากแรงกระทำต่อตัวทุ่น ดังนั้นจะเกิดกำลังทางกลขึ้นซึ่งกำลังทางกลหาได้จากสมการต่อไปนี้ [5]

$$P = \frac{F \times S}{t} \quad (3.4)$$

เมื่อ P คือ กำลังทางกลของทุ่นลอย (W)
 S คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (s)

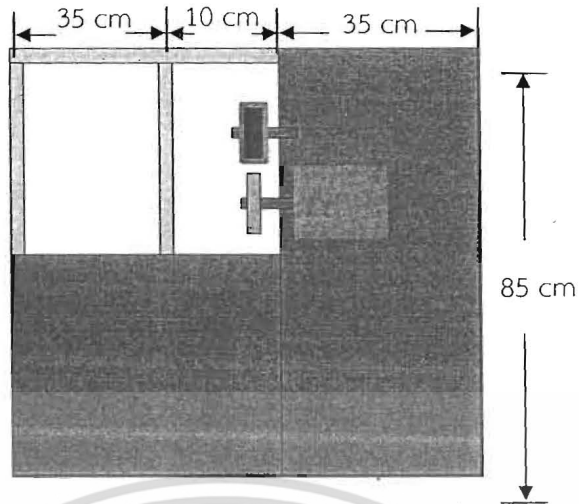
3.4 การออกแบบเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล



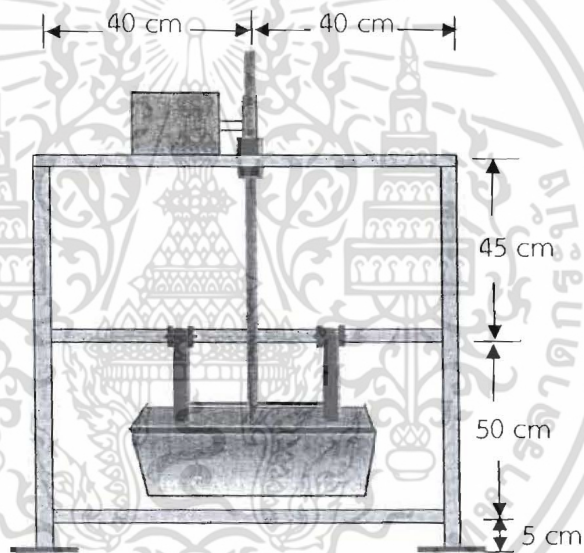
รูปที่ 3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล

จากรูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยคลื่นทะเลทำจากเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมทาสีเพื่อป้องกันการเกิดสนิมใช้เหล็กกล่องขนาด $25 \times 25 \text{ mm}$ มีมิติความกว้าง 80 cm ความยาว 80 cm ความสูง 100 cm โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

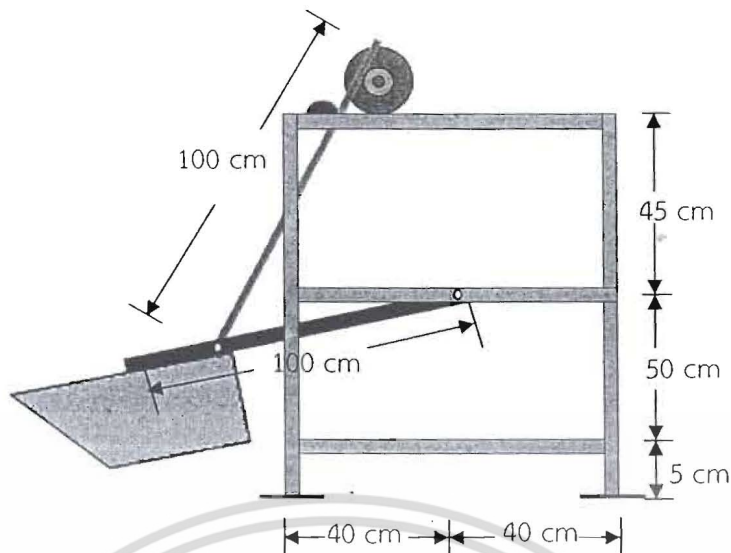


รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลส่วนบน



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลส่วนหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลส่วนข้าง

จากรูปที่ 3.4 โดยออกแบบให้เฟืองเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเฟืองตรงทำจากเหล็กมีรัศมีเท่ากับ 0.75 cm 16 ซี่ฟันหรือใกล้เคียง มีข้อดีคือแข็งแรง ทนทานหาซื้อได้ง่าย

3.4.1 หลักการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล

จากการออกแบบเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยคลื่นทะเลนี้ใช้ติดตั้งบริเวณชายฝั่งทะเลจากรูปที่ 3.1 ให้ทุ่นลอยสัมผัสกับคลื่นทะเลโดยตรง เมื่อเกิดคลื่นทะเลขึ้นทุ่นลอยนี้จะเคลื่อนที่ตามระลอกคลื่นนี้ โดยการเคลื่อนที่ขึ้นนี้จะใช้หลักการแรงลอยตัวเป็นตัวผลักดันทุ่นลอย และการเคลื่อนที่ลงจะใช้แรงเนื่องจากน้ำหนักของทุ่นลอยเอง พลังงานที่ได้จะเป็นพลังกลไปขับเคลื่อนเฟืองที่เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยผ่านสะพานเฟือง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนพลังงานกลที่ได้เป็นพลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การขับเฟืองของทุ่นลอย

จากรูปที่ 3.5 โดยออกแบบให้เฟืองเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเฟืองตรงมีรัศมี r เท่ากับ 0.008 m จากสมมติฐานคลื่นมีความสูงเท่ากับ 0.2 m ความเร็วคลื่นทะเลมีค่าเท่ากับ 2

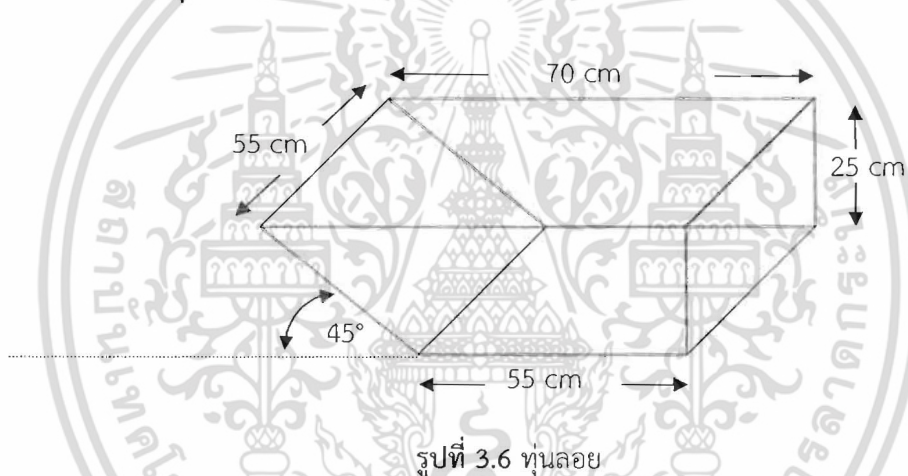
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วินาทีต่อลูกคลื่น และให้ระยะเคลื่อนที่ขึ้นของทุ่นลอย h มีค่าเท่ากับ 0.16 m ดังนั้นเวลา t ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยมีค่าเท่ากับ 1 วินาที สามารถหาความเร็วของเฟืองเพลลาได้จากสมการต่อไปน้ จากสมการที่ (3.1)

$$\begin{aligned} N &= i \times \frac{30h}{\pi r t} \\ &= \frac{60}{16} \times \frac{30 \times 0.16}{\pi \times 0.008 \times 1} \\ &= 716 \text{ rpm} \end{aligned}$$

ดังนั้นความเร็วของเฟืองเพลลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้จากการออกจะมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.5 การออกแบบทุ่นลอย



รูปที่ 3.6 ทุ่นลอย

จากรูปที่ 3.6 โครงสร้างของทุ่นลอยทำจากวัสดุเหล็กฉากภายในจะเป็นโฟมลอยน้ำ แล้วหุ้มด้วยผ้าใบหนัง ซึ่งทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำทะเลและมีมิติความกว้าง 55 cm ความยาว 70 cm และความสูง 25 cm โดยมีน้ำหนัก 15 kg ด้านหน้าทำมุม 45° เพื่อรับแรงปะทะของคลื่นทะเลดังรูปที่ 3.6 แรงลอยตัวมากที่สุดของทุ่นลอย โดยคิดจากปริมาตรทั้งหมดของทุ่นลอย

$$V = \frac{1}{2} \times (L_1 + L_2) \times h_1 \times h_2 \quad (3.5)$$

เมื่อ V คือปริมาตรของทุ่นลอย (m^3)
 L_1 คือความยาวของส่วนที่หนึ่งของด้านขนาน (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- L_2 คือความยาวของส่วนที่สองของด้านขนาน (m)
 h_1 คือความสูงของระหว่าง L_1 และ L_2 (m)
 h_2 คือความลึกของท่อนลอย (m)

หาปริมาตรของท่อนลอยโดย L_1 มีค่าเท่ากับ 70 cm L_2 มีค่าเท่ากับ 55 cm h_1 มีค่าเท่ากับ 25 cm และ h_2 มีค่าเท่ากับ 55 cm
 จากสมการที่ (3.5)

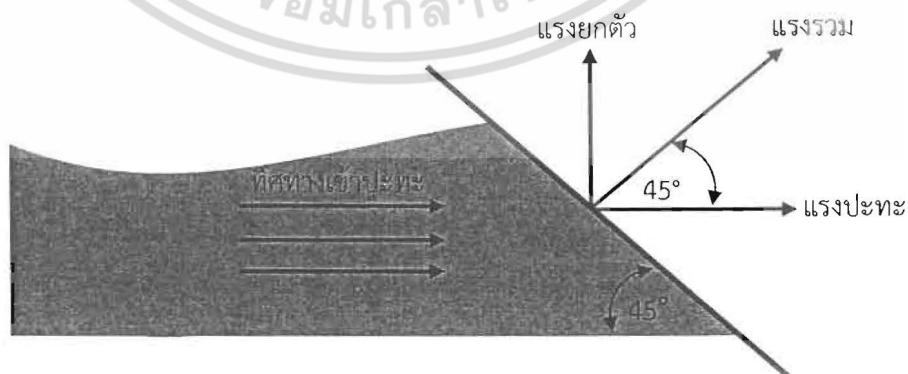
$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} \times (L_1 + L_2) \times h_1 \times h_2 \\ &= \frac{1}{2} \times (0.7 + 0.55) \times 0.25 \times 0.55 \\ &= 85.94 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

หาแรงเนื่องจากน้ำหนักของท่อนลอยโดยน้ำหนัก m เท่ากับ 15 kg หาได้จากสมการต่อไปนี้เป็น
 จากสมการที่ (3.3)

$$\begin{aligned} F &= mg \\ &= 15 \times 9.81 \\ &= 147.15 \text{ N} \end{aligned}$$

หาแรงลอยตัวของท่อนลอยโดย ρ มีค่าเท่ากับ $1,024 \text{ kg/m}^3$ และ g มีค่าเท่ากับ $9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$
 จากสมการที่ (2.4)

$$\begin{aligned} F_B &= \rho V g \\ &= 1,024 \times 85.94 \times 10^{-3} \times 9.81 \\ &= 863.31 \text{ N} \end{aligned}$$



รูปที่ 3.7 มุมรับแรงปะทะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากคลื่นชายฝั่งทะเลมีคาบเวลามากกว่าความสูงของคลื่นมากดังนั้นความชันของคลื่นชายฝั่งทะเลจึงน้อยการออกแบบให้ด้านหน้าทุ่นลอยมีมุม 45° นั้นเพื่อลดแรงปะทะโดยตรงให้น้อยที่สุดยิ่งมุมน้อยลงแรงปะทะโดยตรงก็จะยิ่งน้อยตามไปด้วยแต่ถ้าออกแบบมุมให้น้อยไปกว่า 45° อาจจะทำให้ส่วนหน้าของทุ่นลอยหนักเกินไปเป็นผลให้ด้านหน้าจมได้ เมื่อเกิดคลื่นเข้ามาปะทะจะทำให้มวลน้ำของคลื่นบางส่วนกระจายขึ้นไปกดไม่ให้ทุ่นลอยเคลื่อนที่ได้เต็มประสิทธิภาพ

3.5.1 หลักการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย

ทุ่นลอยจะอาศัยหลักการของแรงลอยตัวเป็นตัวทำให้ทุ่นลอยเคลื่อนที่ได้คือเมื่อเกิดความไม่สม่ำเสมอของผิวน้ำหรือการเกิดของคลื่นทะเลทุ่นลอยจะอาศัยการยกตัวของคลื่นน้ำนี้ในการผลักหรือยักตัวของทุ่นลอยในการเคลื่อนที่ซึ่งจะเคลื่อนที่ตามคลื่นทะเลนี้



รูปที่ 3.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย

จากรูปที่ 3.8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยจะเป็นการเคลื่อนที่ในแนวตั้งซึ่งจะเคลื่อนที่ตามระลอกคลื่นที่เข้ามาปะทะเมื่อความสูงของคลื่นน้ำมากพอที่จะทำให้เกิดแรงลอยตัวที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับแรงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องการในการขับเคลื่อนก็สามารถขับเคลื่อนทุ่นลอยให้เคลื่อนที่ตามระลอกคลื่นได้

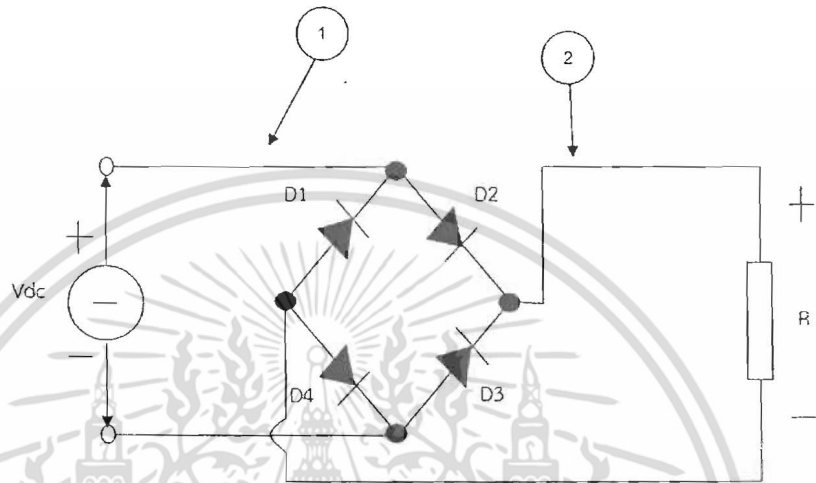
3.6 การออกแบบการควบคุมขั้วไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะกลับทางหมุน



รูปที่ 3.9 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

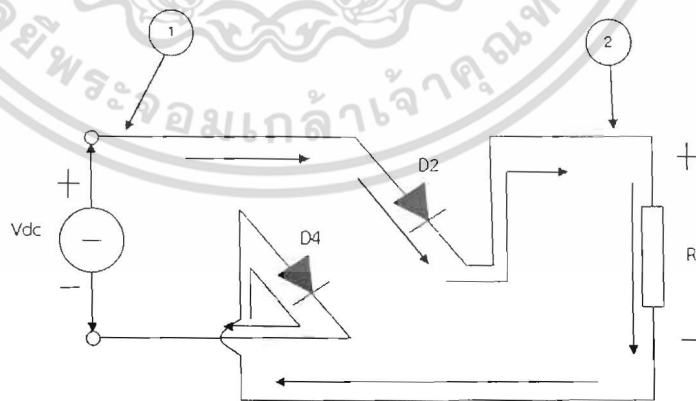
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยออกแบบให้หมุนทำงานทั้งการเคลื่อนที่ขึ้นและลง ซึ่งออกแบบให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงหมุนตามเข็มนาฬิกาและหมุนทวนแล้วได้งานเพื่อลดกำลังสูญเสียเนื่องจากอุปกรณ์กึ่งทิศทางหมุนและลดจำนวนอุปกรณ์ลงการกลับทางหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงนั้นทำให้ขั้วไฟฟ้ากลับขั้วไปด้วยจึงใช้วงจรถับกระแสเข้ามาควบคุมขั้วไฟฟ้าให้คงที่ดังรูปที่ 3.10 กำลังไฟฟ้าที่ออกจากวงจรถับกระแสจะมีขั้วไฟฟ้าคงที่ แล้วนำไปเข้าสู่ชุดชาร์จแล้วชาร์จลง Battery ต่อไป



รูปที่ 3.10 วงจรถับกระแสแบบบริดจ์ไดโอด

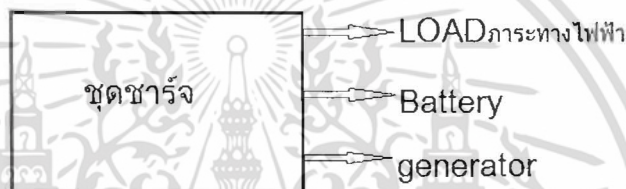
จากรูปที่ 3.10 วงจรถับกระแสแบบบริดจ์ไดโอดการทำงานจะเหมือนวงจรถับกระแสแบบบริดจ์ไดโอดที่เรียงไฟกระแสสลับให้เป็นไฟกระแสตรงต่างๆไปโดยเราจะอาศัยคุณสมบัติของไดโอดที่นำกระแสเพียงทิศทางเดียวมาต่อเป็นวงจรถับกระแสเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหนดมีขั้วคงที่ตลอดเวลา



รูปที่ 3.11 การทำงานของวงจรถับกระแสขณะจ่ายไปอิสระให้กับ D2 , D4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Charge Controller หรือเครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า ทำหน้าที่ควบคุมการชาร์จไฟจากการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ เมื่อชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่จนเต็มแล้วจะตัดหรือยกเลิกการชาร์จ เพราะหากพยายามชาร์จแบตเตอรี่ที่มีกระแสไฟเต็มแล้วจะทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้หน้าที่ของ Charge Controller อีกอย่างหนึ่งคือคอยควบคุมกำลังไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการชาร์จแบตเตอรี่การมี Charge Controller นี้จะทำให้การชาร์จเข้าและจ่ายไฟออกจากแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพสูงสุดและทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานนานเท่าที่จะนานได้นอกจากนี้ Charge Controller ยังคอยควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า DC ที่ต่อที่ของ LOAD ให้ทำงานตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ เช่น โปรแกรมให้จ่ายกระแสไฟฟ้าไปที่ หลอด LED 12 V ให้ทำงาน 10 ชั่วโมง หลังการผลิตไฟฟ้าจากหุ่นลอยเป็นต้นจากนั้นก็คอยเช็คค่า กระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่มีเพียงพอต่อการทำงานตามโปรแกรมหรือไม่ ถ้าช่วงที่อุปกรณ์ไฟฟ้านั้นยังทำงานอยู่แต่กระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่ขณะนั้นอ่อนหรือกำลังจะหมด Charge Controller จะตัดกระแสไฟฟ้าไม่ให้จ่ายไปที่ LOAD นั้นเพื่อเป็นการป้องกันแบตเตอรี่เสื่อมเร็วและป้องกัน LOAD จำพวกมอเตอร์ไม่ให้ไหม้เพราะกำลังไฟฟ้าที่อ่อน



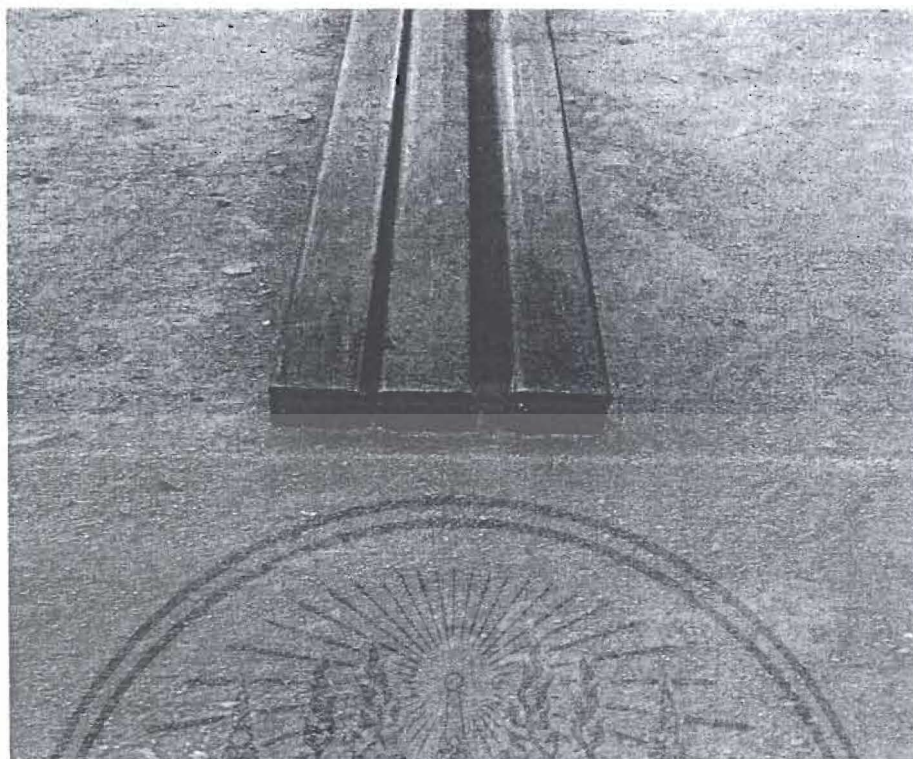
รูปที่ 3.13 การใช้งานของ Charge Controller

3.9 โหลดที่ใช้ในการทดลอง

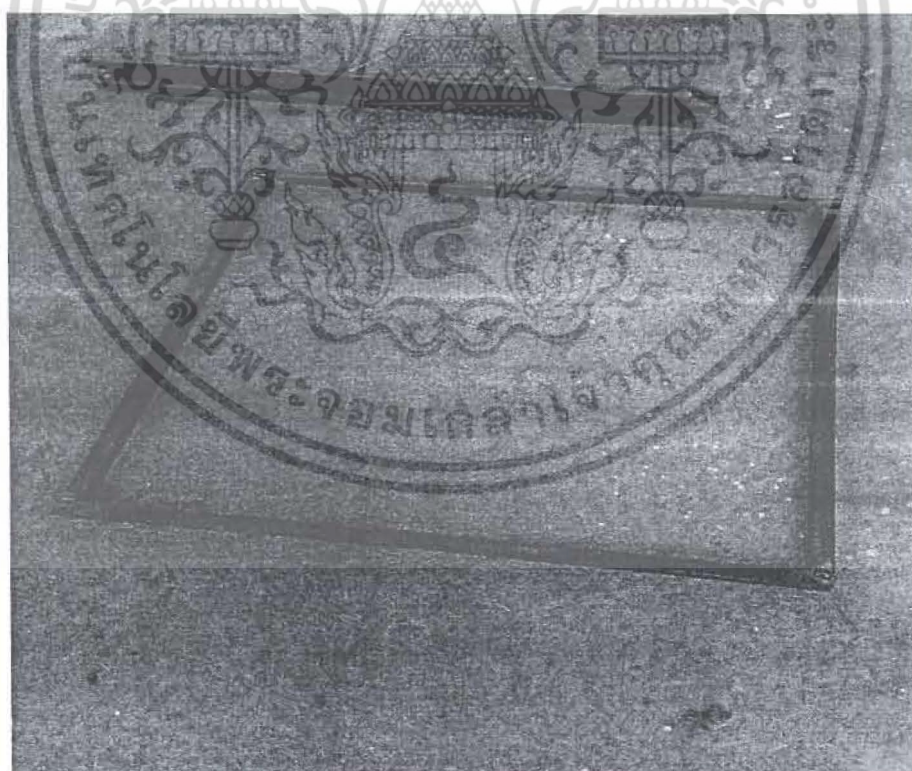
จากพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้มีขนาด 24V 36W โหลดที่ใช้ในการทดลองจะเป็นหลอดไฟ 12V 10W เพื่อความเหมาะสมต่อขนาดกำลังไฟฟ้าที่เครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยคลื่นทะเลสามารถผลิตได้

3.10 การสร้างชิ้นส่วน

หลังจากที่คณะผู้จัดทำได้ดำเนินการออกแบบพร้อมคำนวณหาค่าต่างๆที่จำเป็นจนสามารถกำหนดขนาดของชิ้นส่วน ตลอดจนการเลือกใช้กลไกและอุปกรณ์ต่างๆแล้วจึงได้ดำเนินการจัดสร้างชิ้นส่วนต่างๆและประกอบรวมกันตามลำดับ ดังเช่น

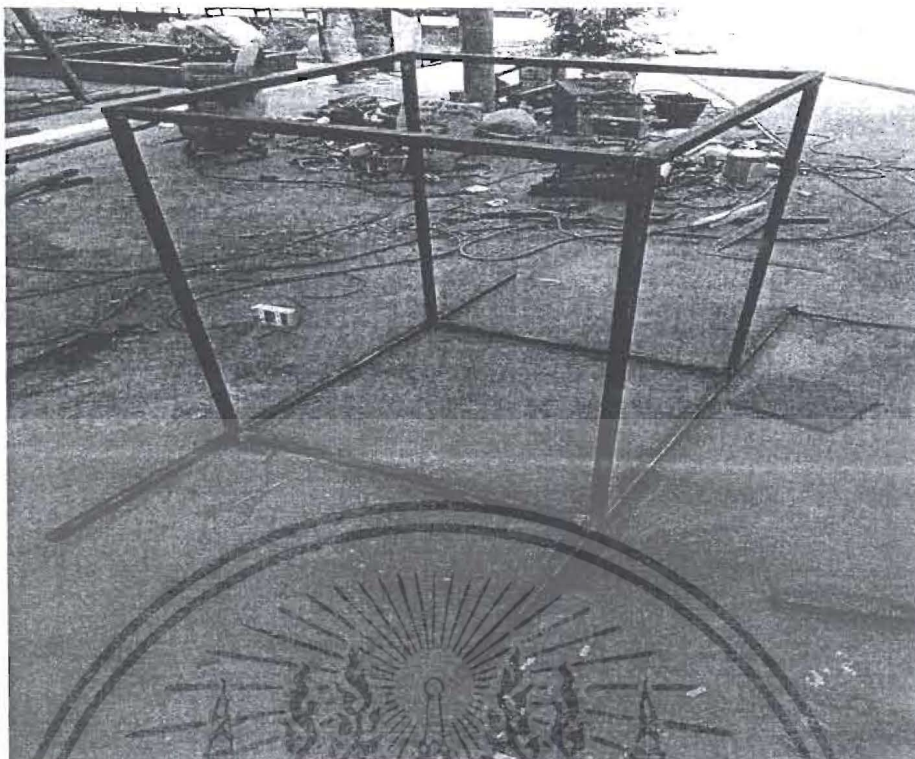


รูปที่ 3.14 เตรียมวัสดุที่ใช้ทำชุดโครงเครื่อง

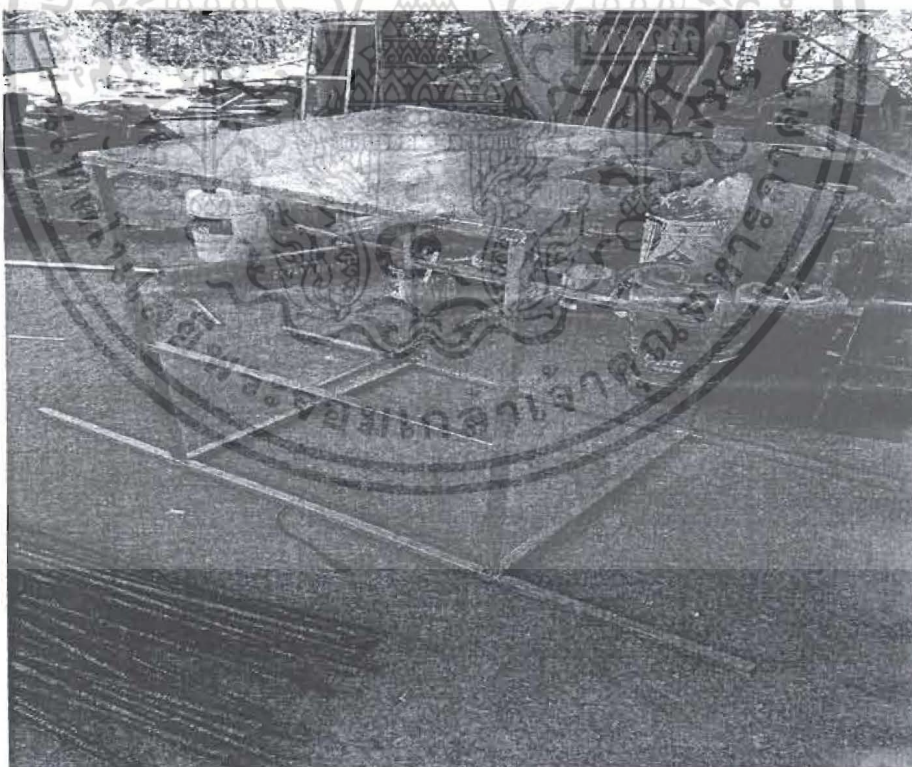


รูปที่ 3.15 ตัดเหล็กกล่องและเชื่อมเหล็กชุดโครงเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

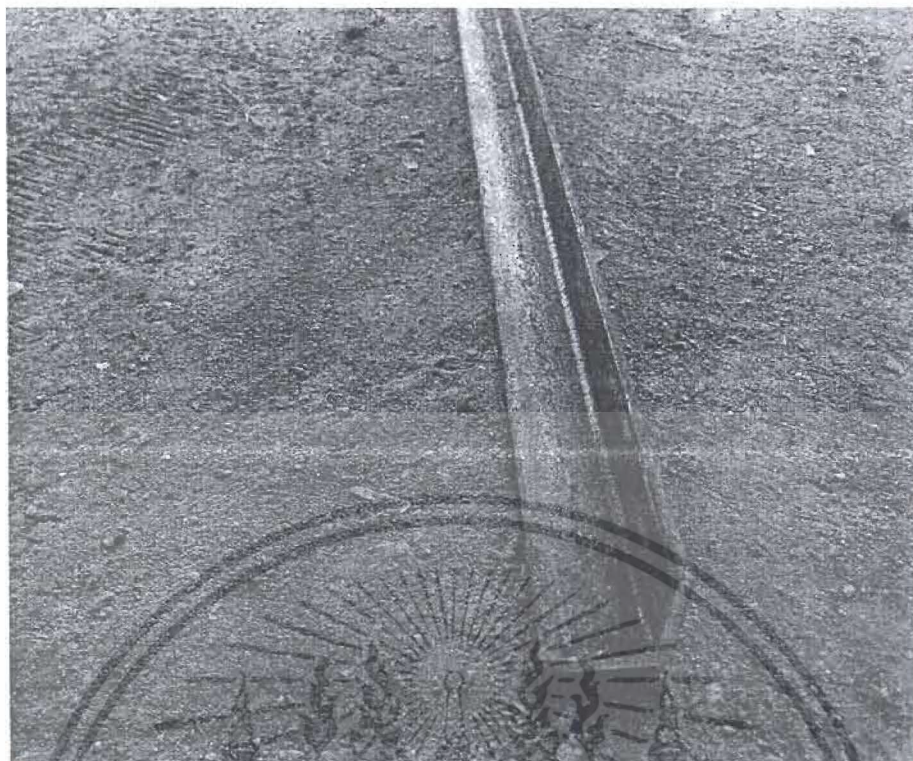


รูปที่ 3.16 ชุดโครงเครื่องที่เชื่อมเสร็จแล้ว

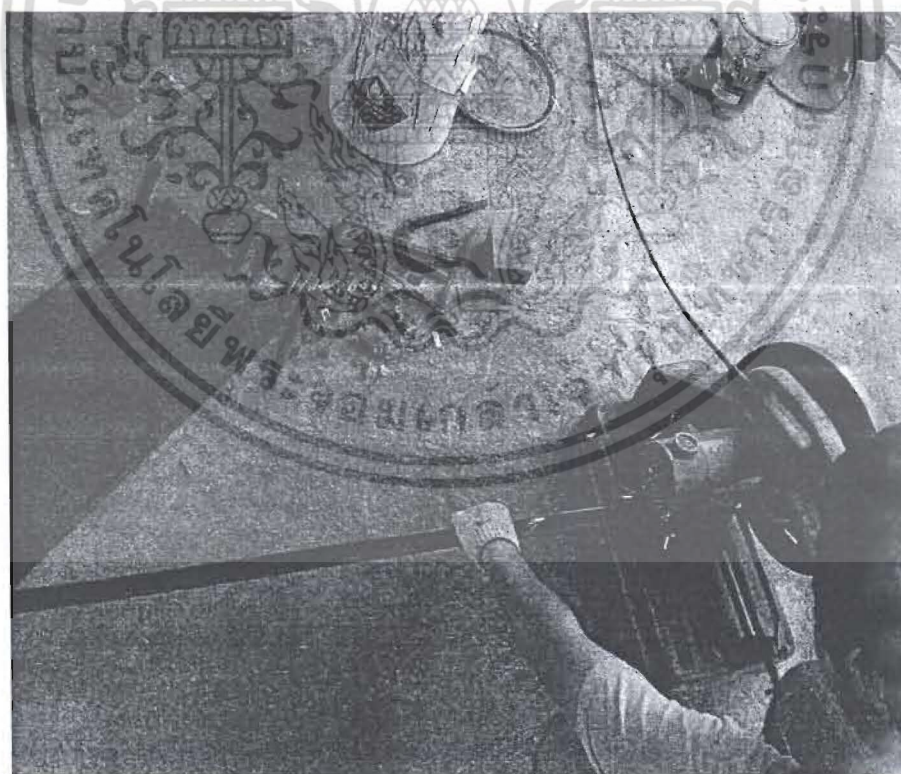


รูปที่ 3.17 ทาสีโครงเสร็จเรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

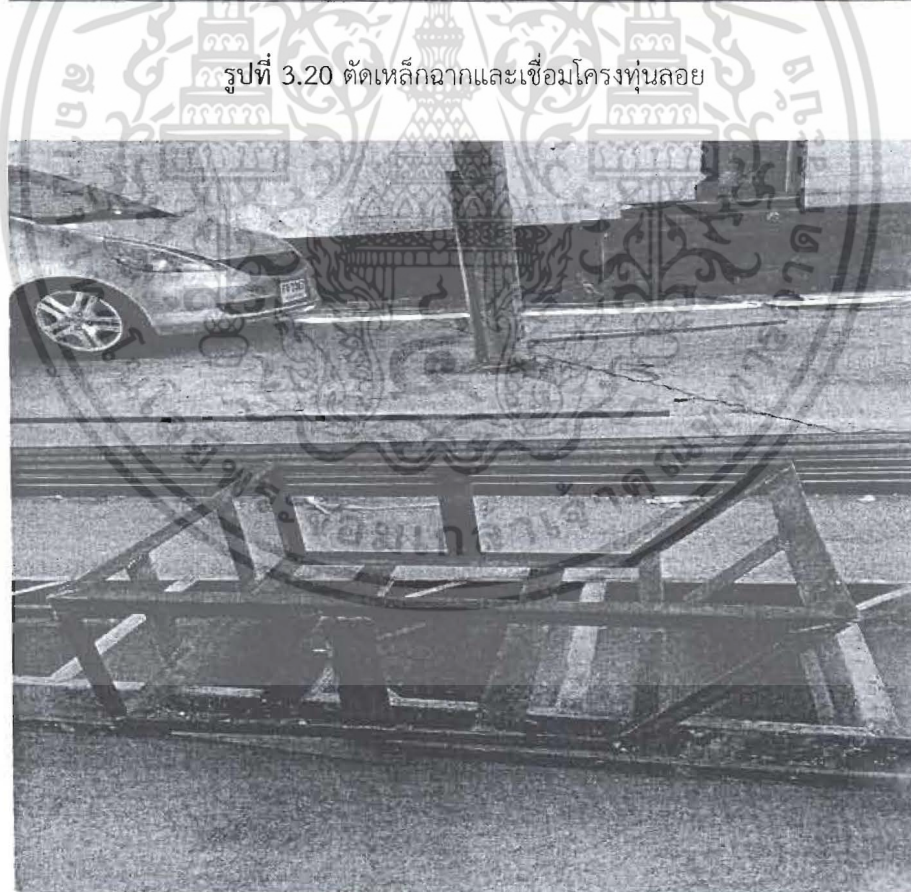
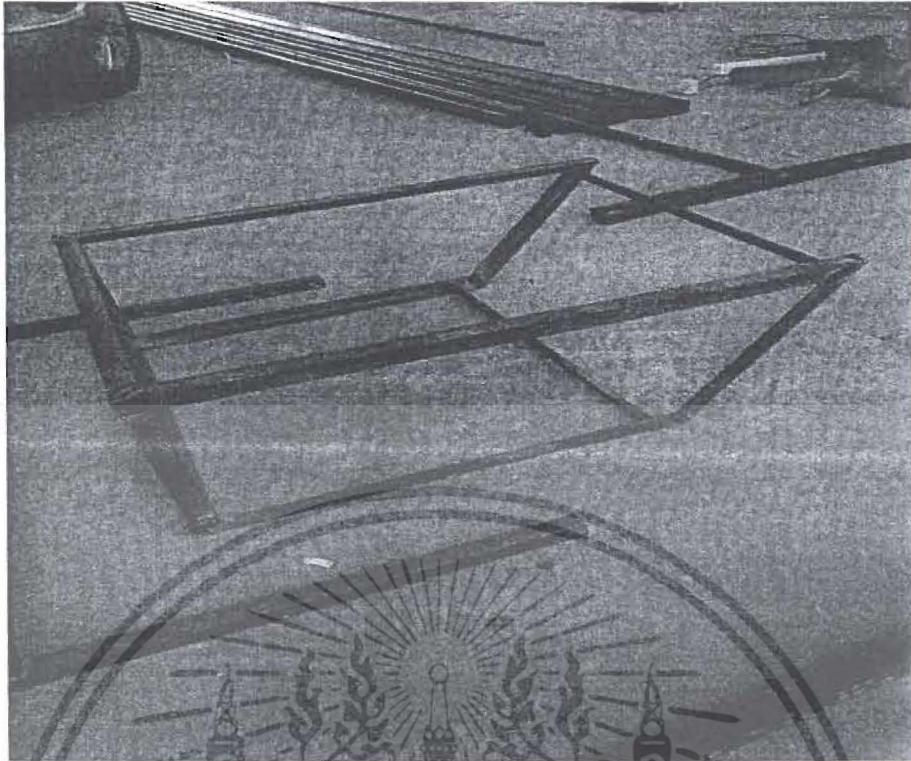


รูปที่ 3.18 เตรียมวัสดุทำหุ่นลอย



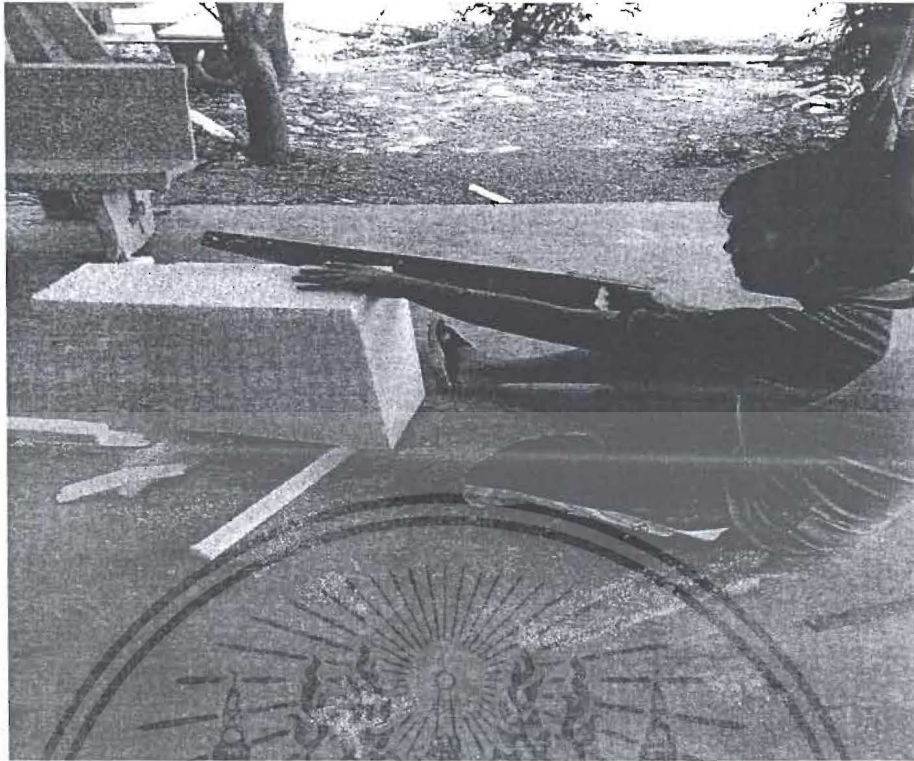
รูปที่ 3.19 แสดงการตัดเหล็กทำหุ่นลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

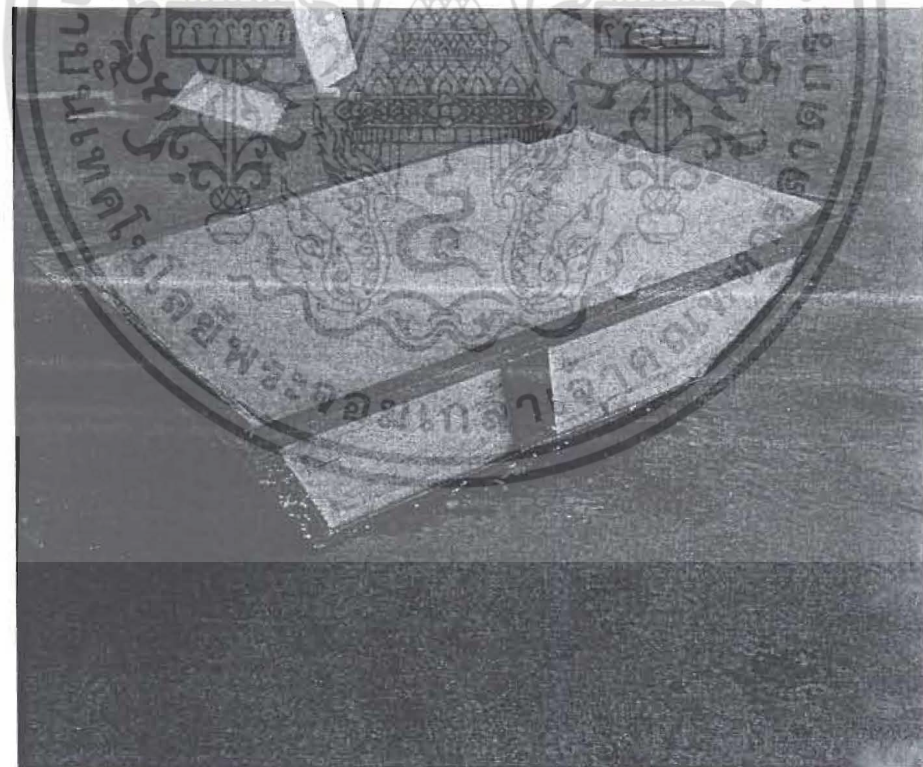


รูปที่ 3.21 โครงท่อนลอยที่เสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

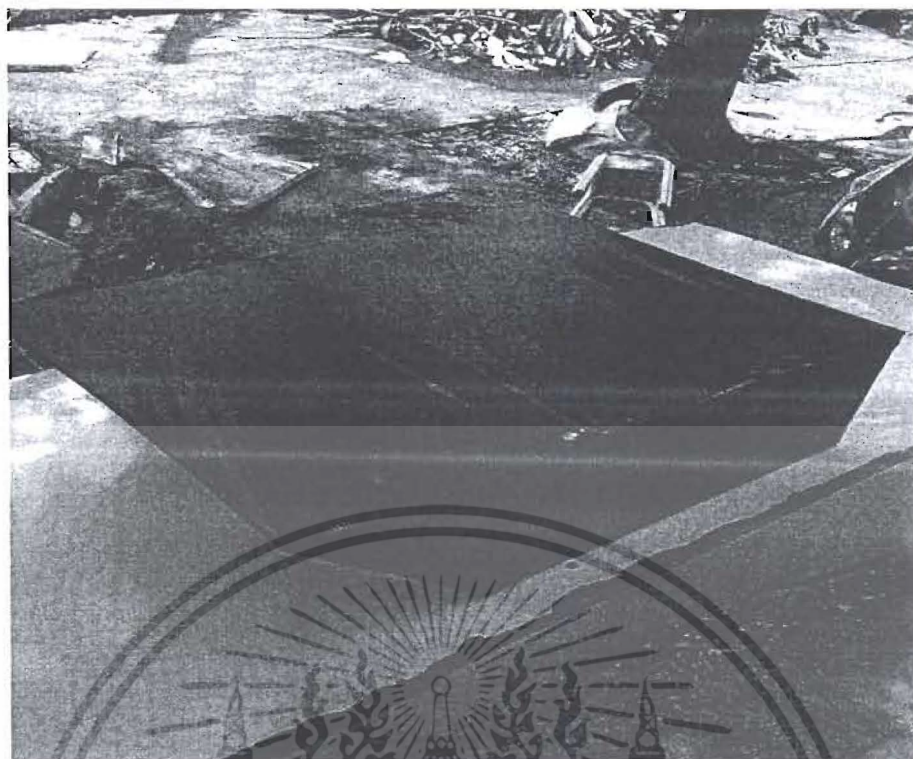


รูปที่ 3.22 แสดงการตัดโฟมเพื่อนำไปบรรจุในโครงท่อนลอย

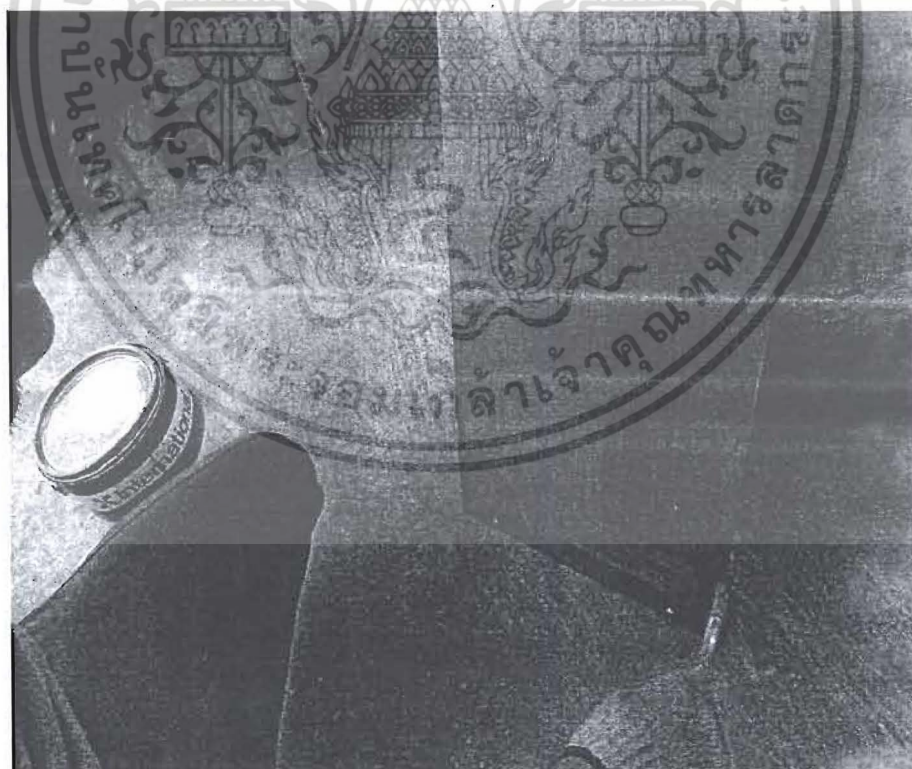


รูปที่ 3.23 นำโฟมที่ตัดไปบรรจุในโครงท่อนลอยเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

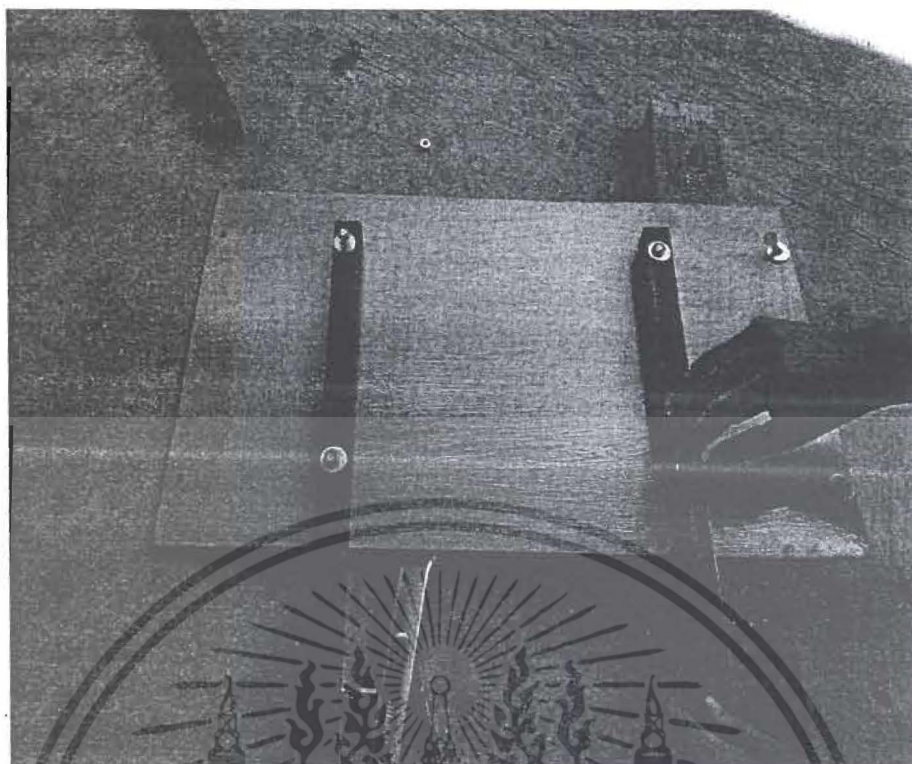


รูปที่ 3.24 ทุนลอยห่มด้วยผ้าใบหนังเสร็จเรียบร้อย

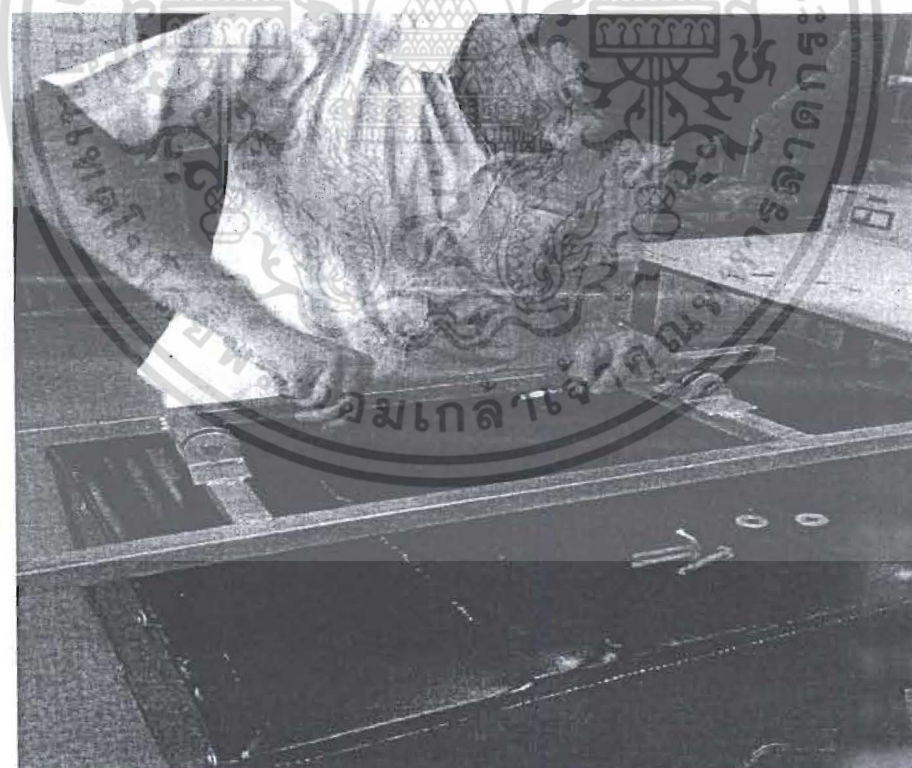


รูปที่ 3.25 แสดงการทาสีแผ่นที่ยึดทุนลอยกับโครง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

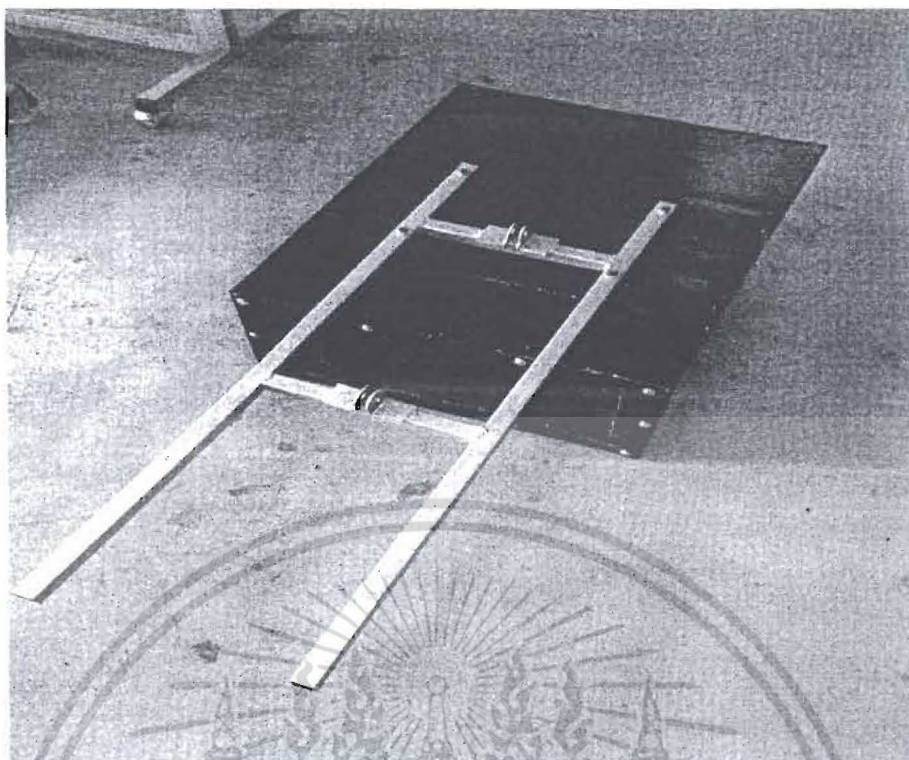


รูปที่ 3.26 เจาะและขันน็อตเข้ากับแกนของโครง



รูปที่ 3.27 แสดงการขันน็อตแกนเข้ากับท่อนลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

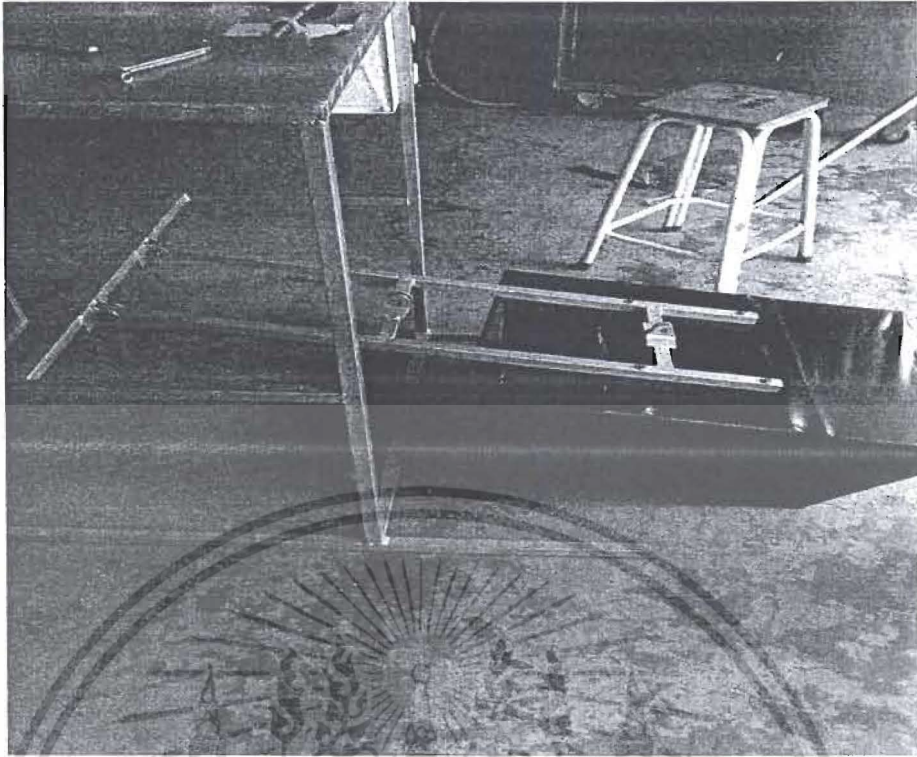


รูปที่ 3.28 ยึดแขนของหุ่นลอยเสร็จเรียบร้อยแล้ว

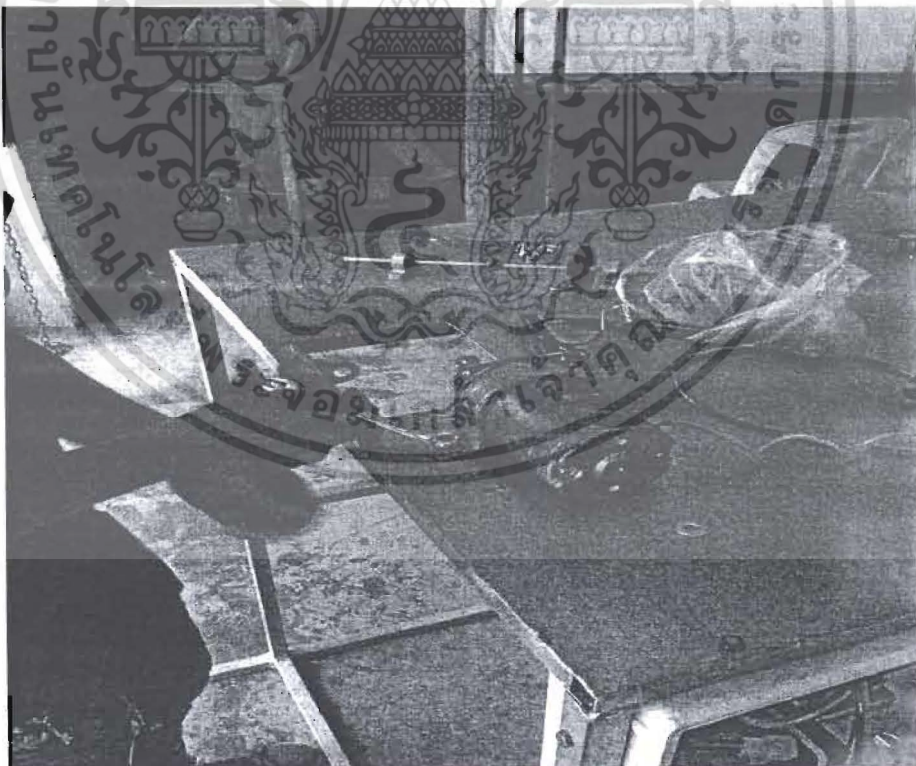


รูปที่ 3.29 แสดงการยึดแขนของหุ่นลอยติดกับโครง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

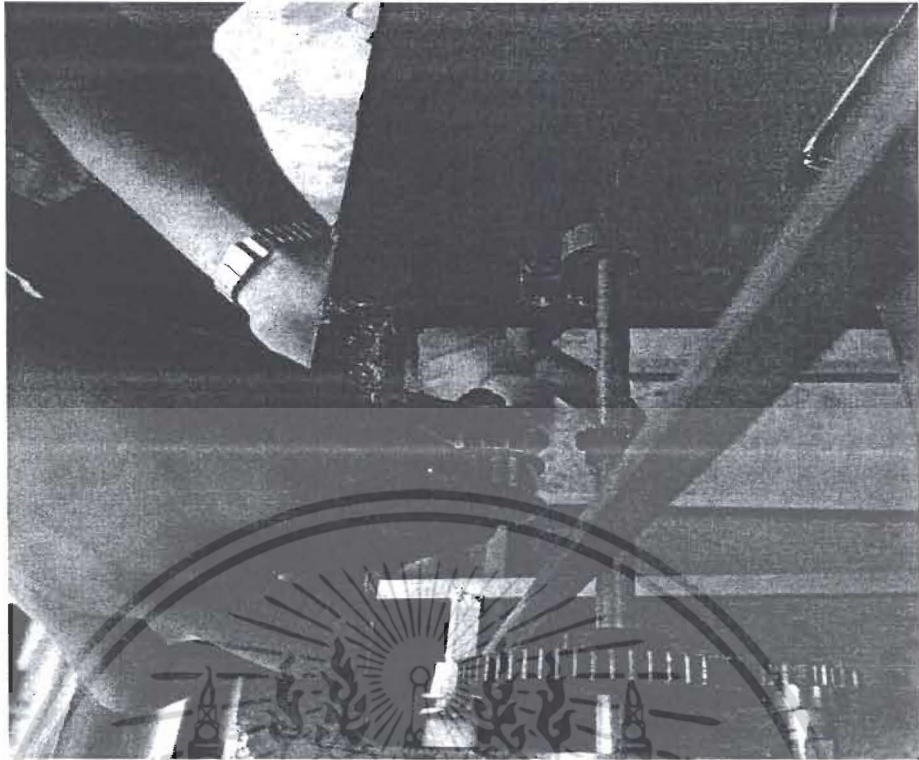


รูปที่ 3.30 ยึดแขนของหุ่นลอยติดกับโครงเสร็จเรียบร้อยแล้ว

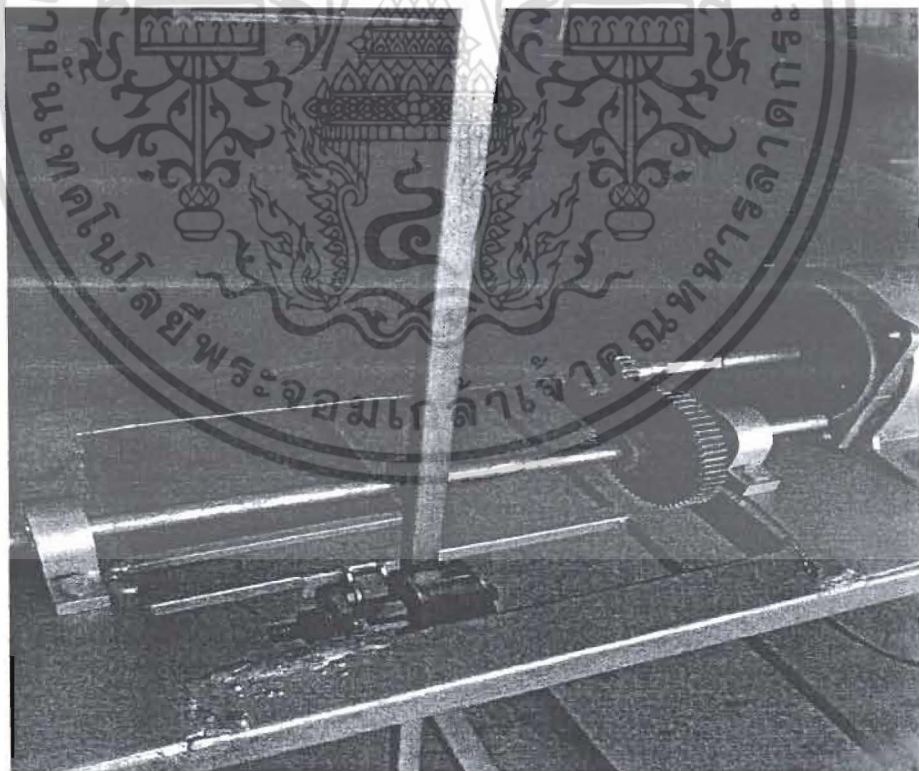


รูปที่ 3.31 แสดงการยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดกับโครง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

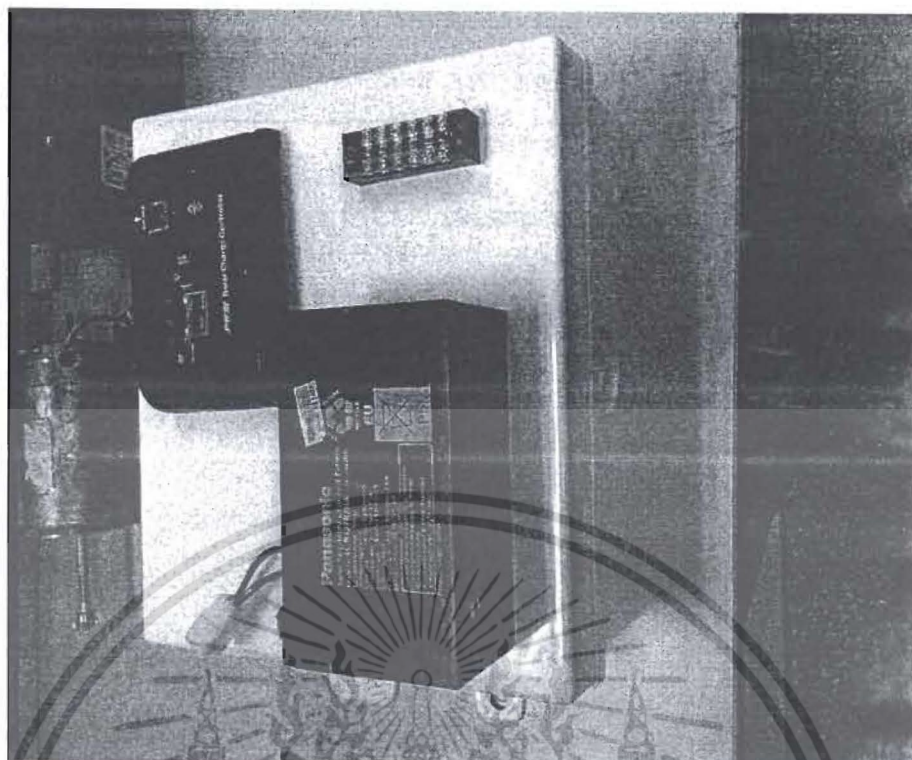


รูปที่ 3.32 แสดงการยึดล้อลึงคสะพานเฟืองและเพลลาเฟือง

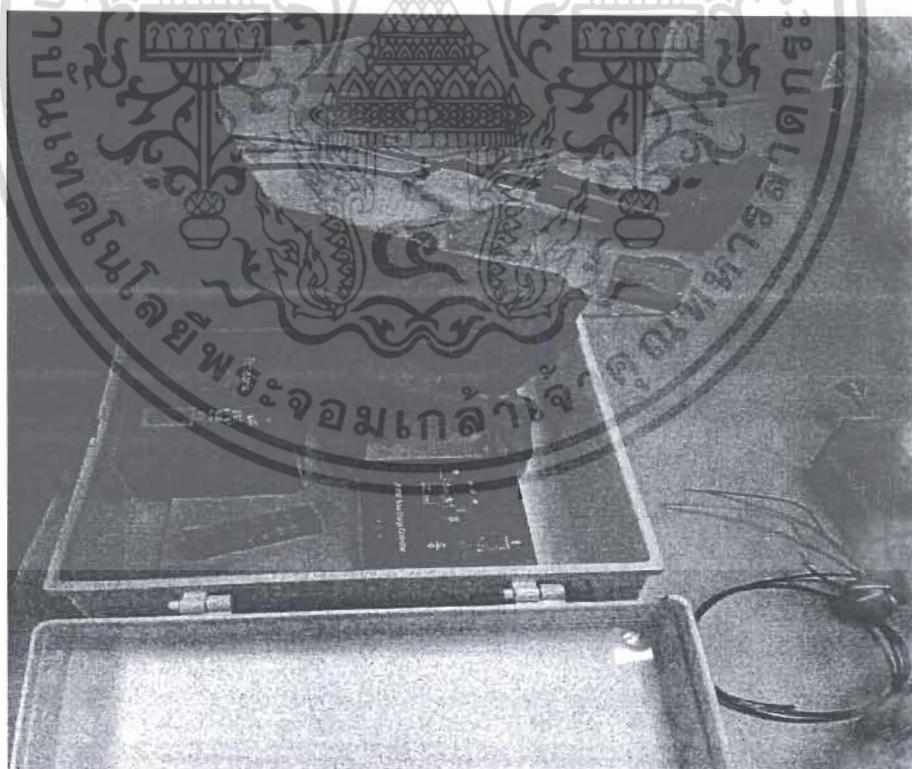


รูปที่ 3.33 ยึดล้อลึงคสะพานเฟือง เพลลาเฟืองและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดกับโครงสร้างเรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

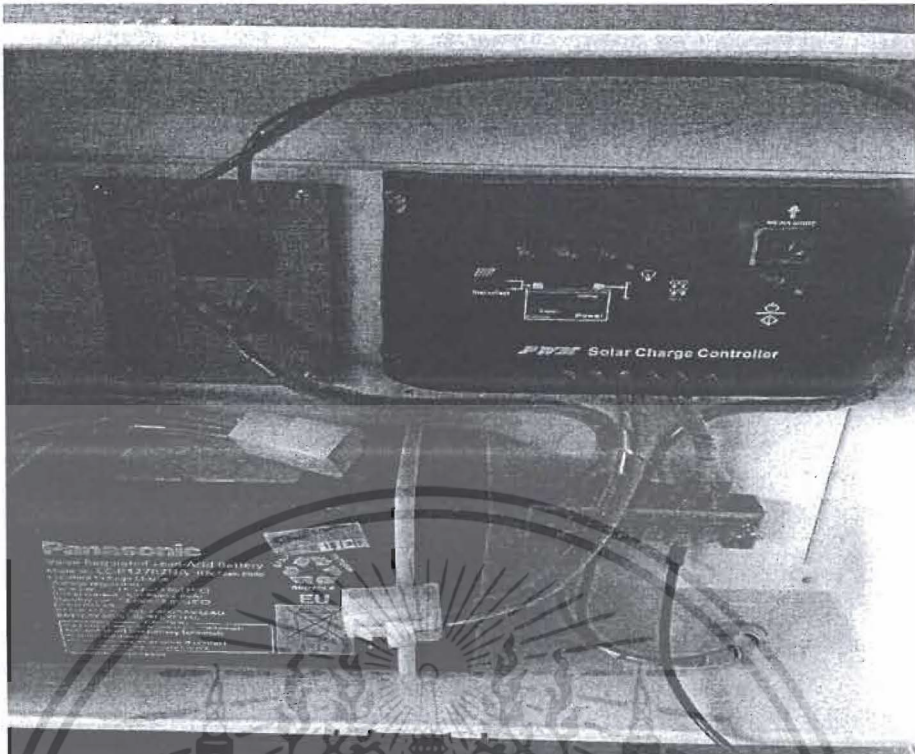


รูปที่ 3.34 เตรียมอุปกรณ์ทำตู้ควบคุม

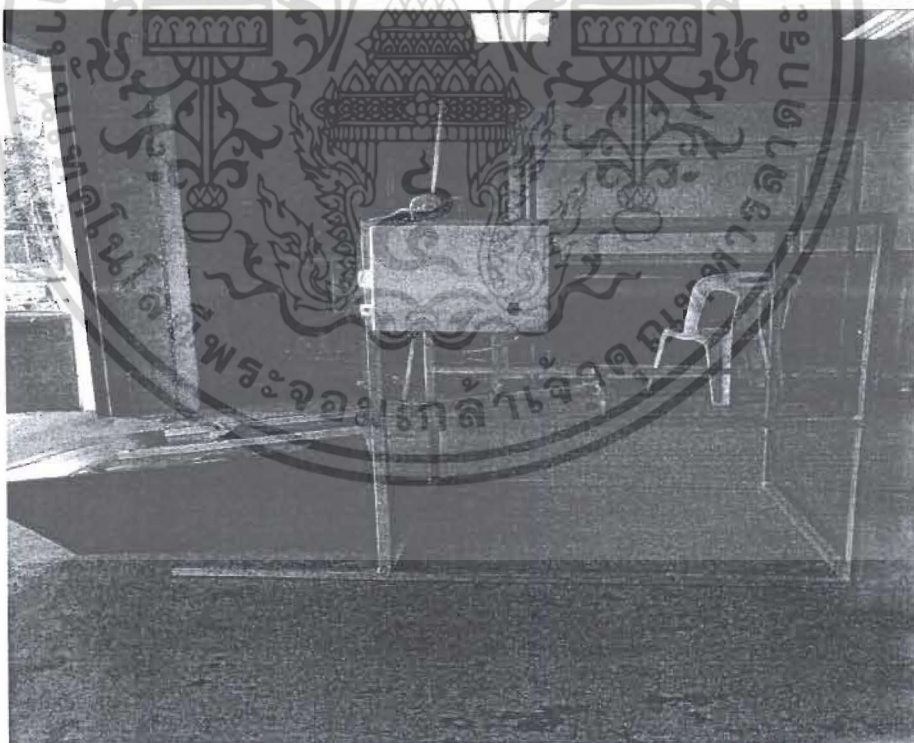


รูปที่ 3.35 แสดงการยึดชุดชาร์จ แบตเตอรี่และวงจรบริดจ์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

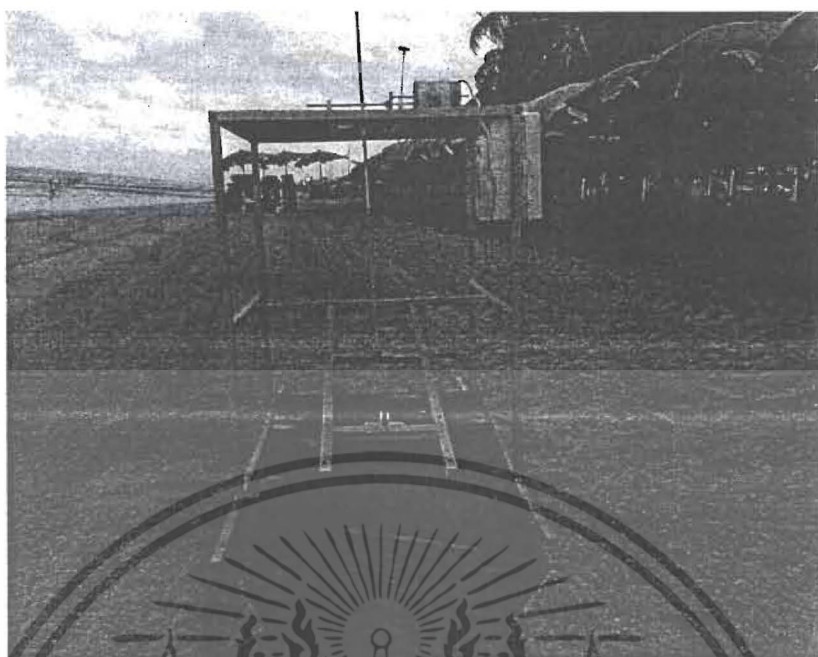


รูปที่ 3.36 ยึดชุดชาร์จ แบตเตอรี่และวงจรบริดจ์ไดโอดเข้ากับตู้ควบคุมเสร็จเรียบร้อย



รูปที่ 3.37 ติดตั้งตู้ควบคุมเสร็จเรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

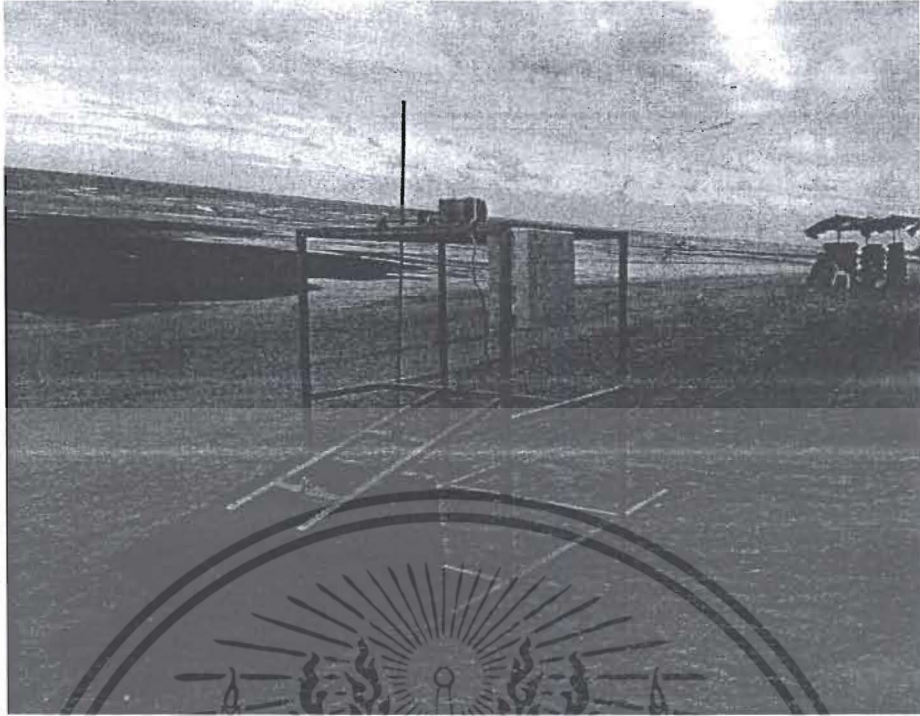


รูปที่ 3.38 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่งที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว (ด้านหน้า)



รูปที่ 3.39 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่งที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว (ด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.40 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่งที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว (มุ่มสามมิติ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและสถานที่จริง

เอกสารที่ใช้ประกอบการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะและพฤติกรรมของคลื่นทะเล ทั้ง ความสูงและความเร็วของคลื่น สำรองโดยใช้แหล่งอ้างอิงข้อมูลจากกรมอุทกศาสตร์ โดยข้อมูลที่ได้นั้น นำมาประกอบการออกแบบเครื่องแปลงพลังงานคลื่นทะเลเป็นไฟฟ้า และนำไปใช้ในการออกแบบทุ่น และอัตราทดความเร็วรอบเพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อได้ข้อมูลของพลังงานคลื่นทะเล แล้ว จะดำเนินการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าโดยการออกแบบโครงสร้างของเครื่องผลิตไฟฟ้าจากพลังงาน คลื่นทะเลชายฝั่ง แล้วทำการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบกลไกที่ใช้ในการขับให้ได้กำลังไฟฟ้า สูงสุด ข้อมูลที่ได้นำไปใช้ในการออกแบบทุ่น จากนั้นจะทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อติดตั้ง เสร็จแล้วจึงเก็บข้อมูลของคลื่นและพลังงานที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่างๆ

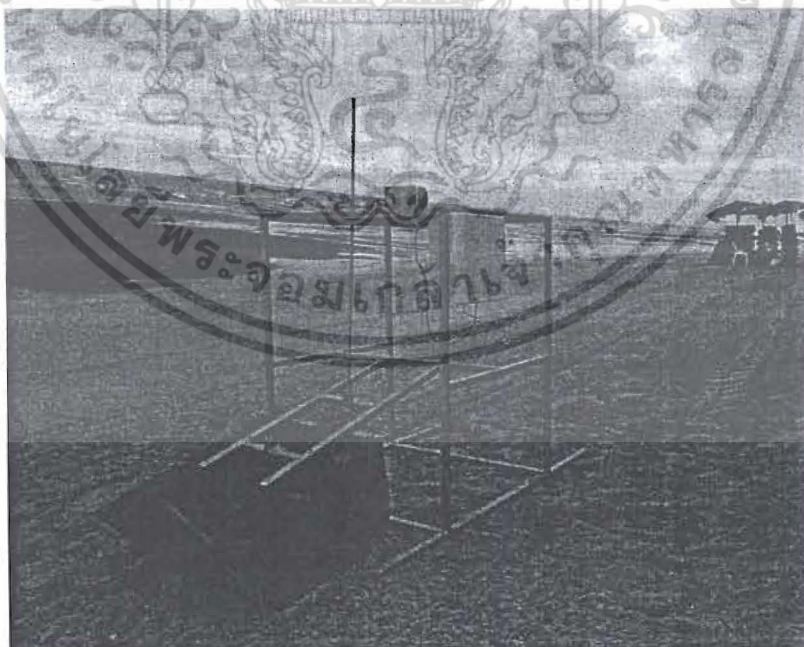
4.1 ตรวจสอบเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าต้นแบบด้วยพลังงานคลื่นทะเลก่อนทดสอบ

4.1.1 ตรวจสอบและทำความสะอาดเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลติดตั้ง บริเวณชายฝั่งให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

4.1.2 ตรวจสอบความสมบูรณ์ของทุ่นลอย, ชุดเฟืองรับและส่งกำลัง, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรง และตรวจสอบระบบประจุไฟฟ้า

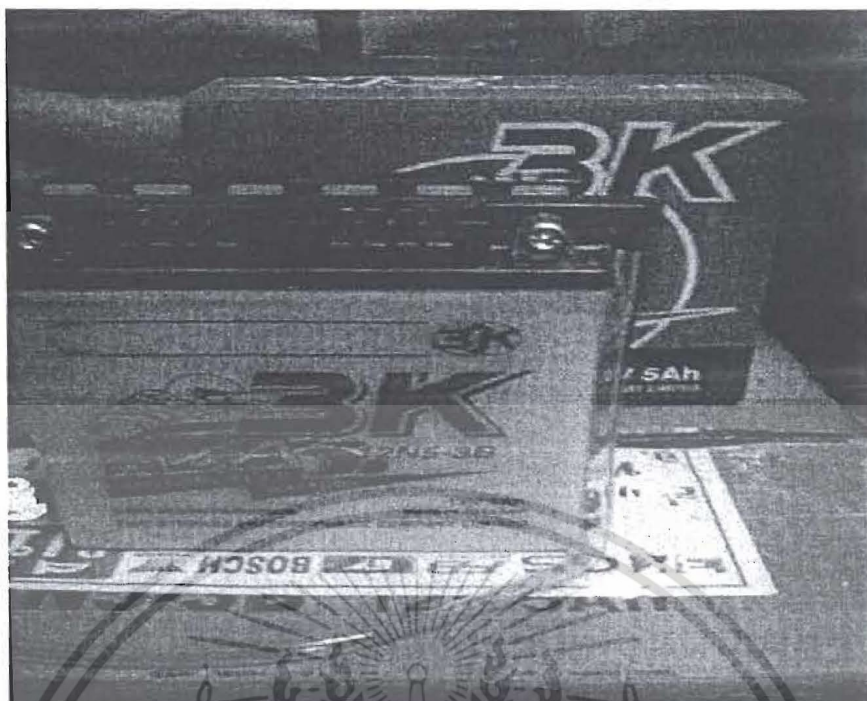
4.2 การเตรียมอุปกรณ์ในการทดสอบ

ในการทดสอบจะเตรียมชุดเก็บประจุไฟฟ้าและหลอดไฟฟ้า 12 โวลต์ สำหรับจะทำการ ทดลองวัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.1 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่งที่พร้อมจะทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

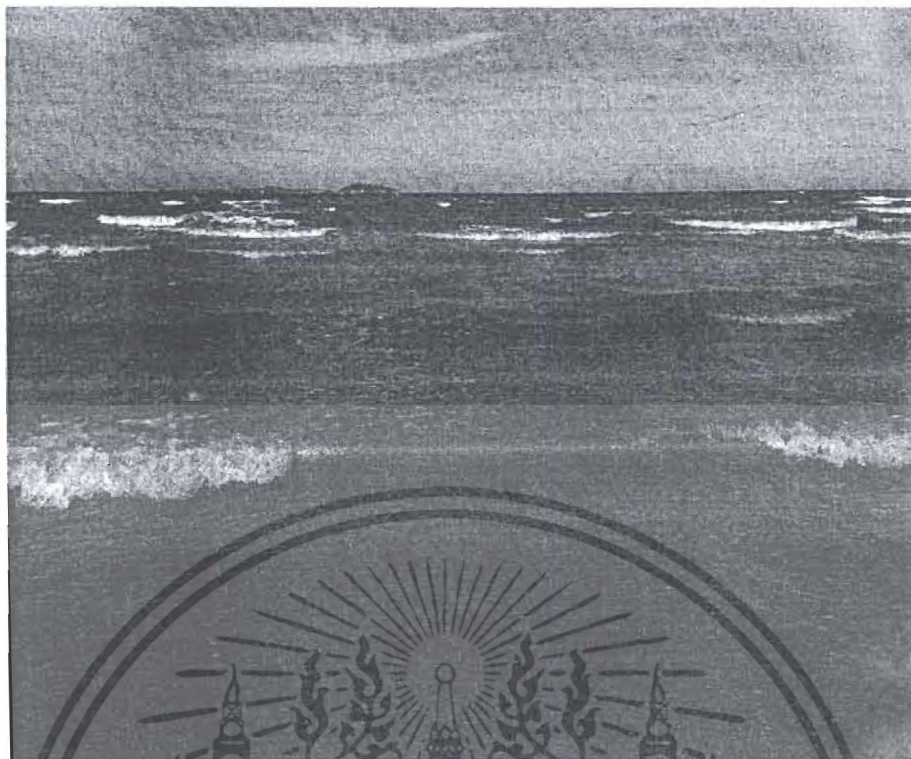


รูปที่ 4.2 ชุดเก็บประจุไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 4.3 ชุดคอมมิวนิชั่น เซ็ททรอนิกส์ DC 12 V 10 W ที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

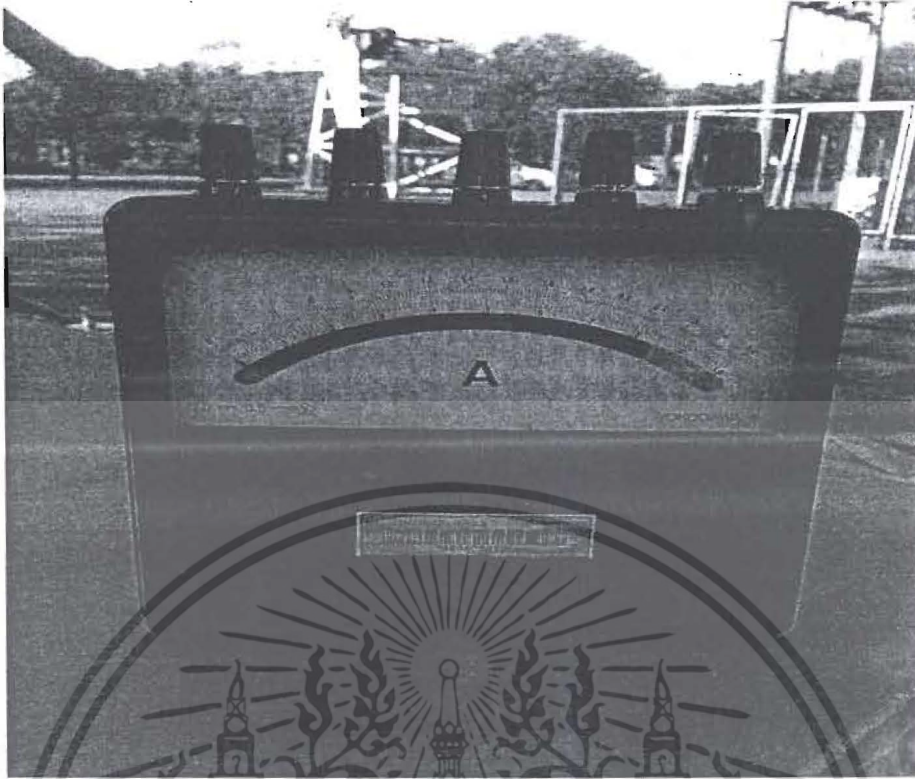


รูปที่ 4.4 สถานที่ที่จะทดลองเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล



รูปที่ 4.5 มัลติมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

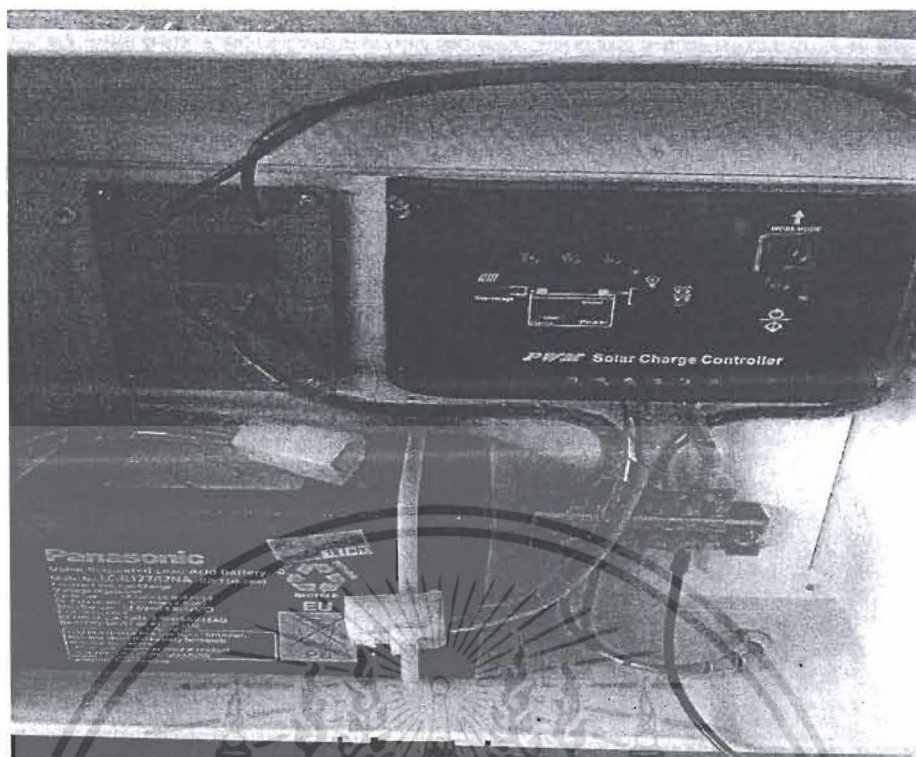


รูปที่ 4.6 แอมมิเตอร์แบบเข็ม

4.3 วิธีการทดลอง

- 4.3.1 ตรวจสอบชิ้นส่วนทุกชิ้นให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
- 4.3.2 นำชุดรักษาแรงดันไฟฟ้าและชาร์จ์ประจุไฟฟ้ามาต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- 4.3.3 ทำการติดตั้งเครื่องบริเวณชายฝั่งที่โล่ง
- 4.3.4 วัดความสูงคลื่นทะเล
- 4.3.5 จับเวลาและวัดค่าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และชุดเก็บประจุไฟฟ้า
- 4.3.6 บันทึกผลการทดลอง
- 4.3.7 นำค่าที่ได้จากการทดลองมาพล็อตกราฟ
- 4.3.8 สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

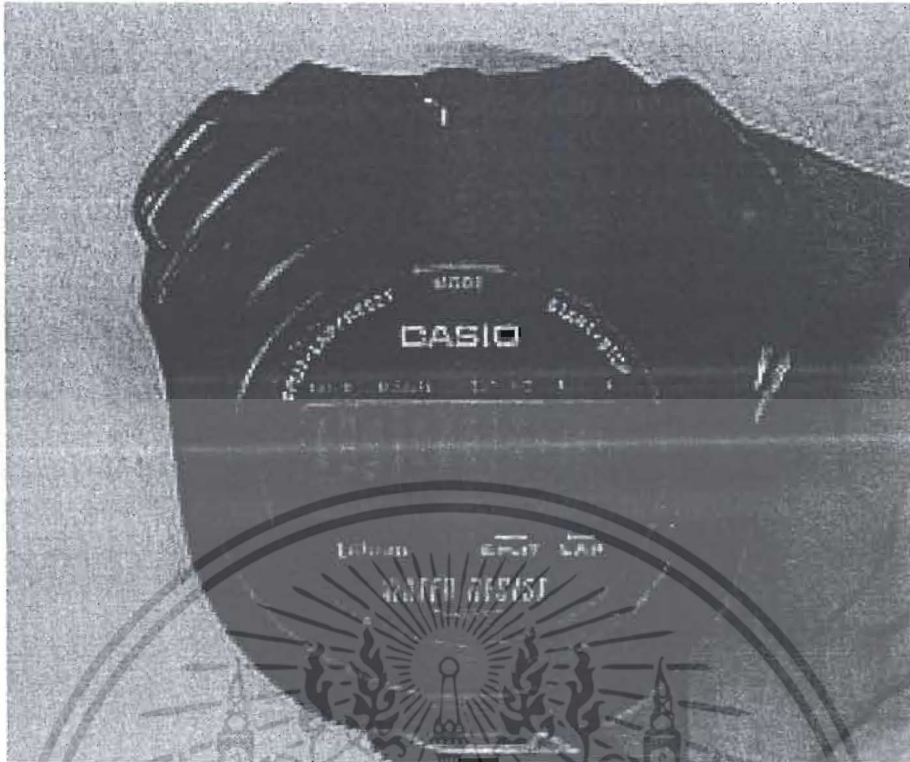


รูปที่ 4.7 ชุดวงจรบริดจ์ไดโอดและชาร์จประจุไฟฟ้าต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 4.8 แสดงการติดตั้งเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงการจับเวลาเพื่อบันทึกผลการทดลอง

4.4 ผลการทดลอง

ผลการดำเนินการทดลองครั้งนี้เพื่อทำการศึกษาค่าการเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่ง ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงคือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความสูงของคลื่น เวลาการเครื่องที่ของท่อนลอย และหาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทะเล โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

การทดลอง โดยการวัดความสูงของคลื่น กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ส่วนกำลังกำลังไฟฟ้า กำลังทางกล และประสิทธิภาพนั้นหาจากการคำนวณจากสมการที่ (3.1) - (3.6)

$$N = i \times \frac{30h}{\pi r t}$$

$$P_{mechanic} = \frac{F \times h}{t}$$

$$P_{electric} = VI \quad (4.1)$$

$$Efficiency = \frac{P_{electric}}{P_{mechanic}} \times 100 \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ V คือแรงดันไฟฟ้า (V)
 I คือกระแสไฟฟ้า (A)

4.4.1 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการทดลองแบบไม่มีโหลดและมีโหลด โดยใช้ทดลองที่ระดับความสูง (h) 10 ถึง 40 cm ชั้นละ 10,20,30 และ 40 cm ตามลำดับโดยให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อโหลด หลอดไฟฟ้าขนาด 12 V 10 W จำนวน ทำการต่อขนานโดยมีสวิตช์ควบคุมการปิด-เปิด จากนั้นทำการวัดค่าเวลาในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า แล้วนำมาคำนวณหาค่ากำลังทางกล กำลังไฟฟ้า ความเร็วรอบ และประสิทธิภาพของระบบ จากสมการที่ (3.3),(4.1),(4.2) และ (4.3)

(1) การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลด

ทำการยกทุ่นลอย 10 ถึง 40 cm ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย 1 วินาที โดยวัดแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น แรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง และแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลง ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.1

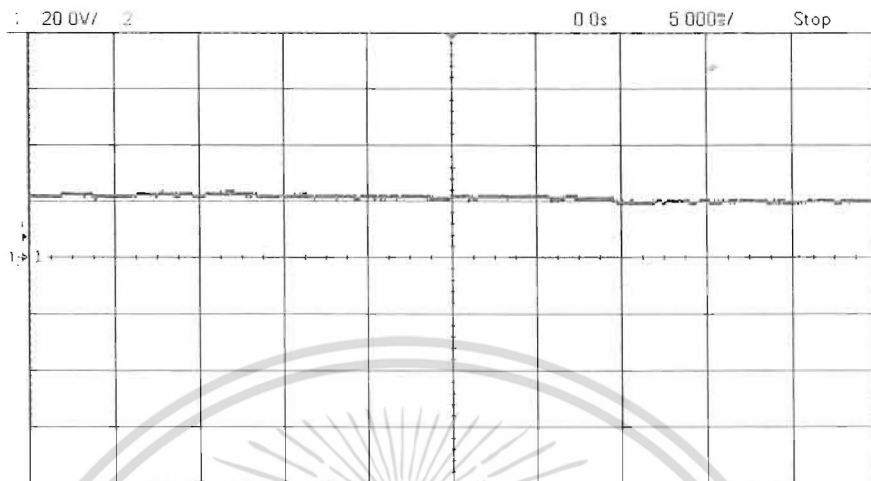
ตารางที่ 4.1 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลด

ผลการทดลองแบบไม่มีโหลด			
ระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (cm)	แรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น (V)	แรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง (V)	แรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลง (V) (20,40,60และ80 cm)
10	7	7	8
20	10	10	11.5
30	13	13	16
40	20	20	22

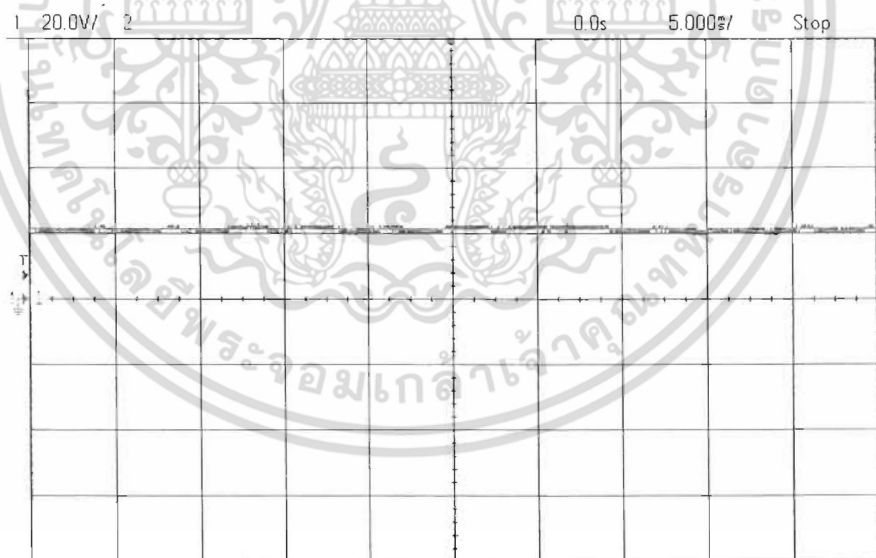
จากผลการทดลอง ในขณะที่ยกทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น ที่ 10 ถึง 40 cm ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย 1 วินาที เมื่อทุ่นลอยเคลื่อนที่ลงจะได้แรงดันไฟฟ้าเท่ากับในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น แรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงจะได้แรงดันไฟฟ้ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นและแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง เพราะแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงนั้นจะเป็นการเคลื่อนที่ที่ต่อเนื่อง จึงทำให้แรงดันไฟฟ้านั้นมากกว่า ผลของแรงดันไฟฟ้านั้นจะมากขึ้น ขึ้นอยู่กับระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย ยิ่งเคลื่อนที่มากและใช้เวลาในการเคลื่อนที่น้อยก็จะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 ได้ทำการทดลองยกหุ่นลอยขึ้นที่ความสูง 40 cm จับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย 1 วินาที จะได้แรงดันไฟฟ้า(DC_{Avg}) 21.879 V



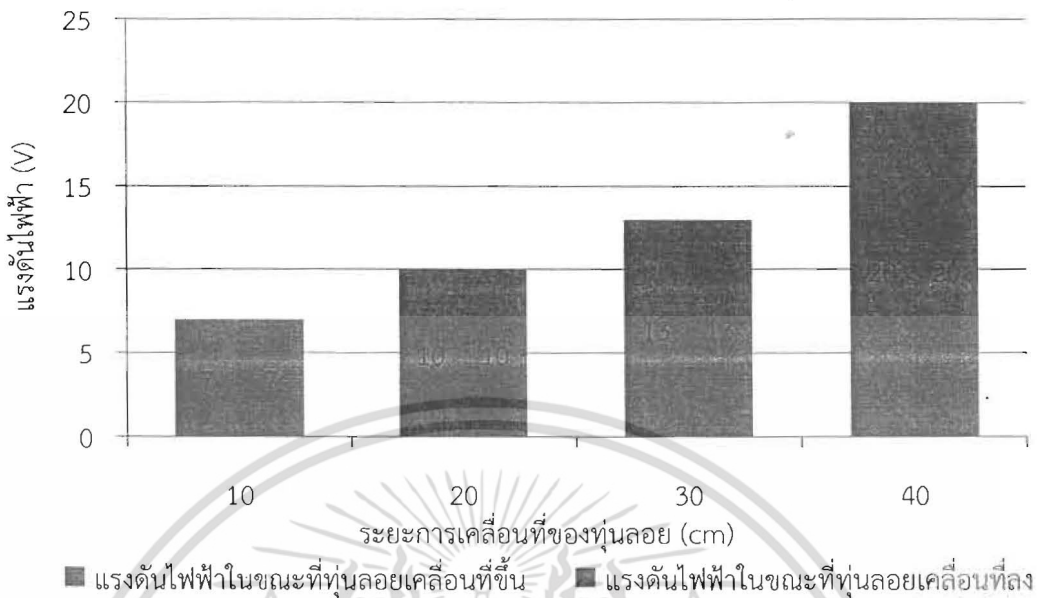
รูปที่ 4.10 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น
จากรูปที่ 4.11 ได้ทำการทดลองให้หุ่นลอยเคลื่อนที่ลง 40 cm ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย 1 วินาที จะได้แรงดันไฟฟ้า(DC_{Avg}) 21.558 V



รูปที่ 4.11 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าในขณะที่หุ่นเคลื่อนที่ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.1 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับระยะการเคลื่อนที่ของขุ้ลลอยในขณะที่ขุ้ลลอยเคลื่อนที่ขึ้น,ลง

(2) การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมีโพลต

ทำการต่อโพลต ขนาด 10 w เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและทำการต่อขนาบโดยมีสวิตช์ควบคุมการปิด-เปิด แล้วทำการยกขุ้ลลอย ในระยะการเคลื่อนที่ 10 ถึง 40 cm ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 1 วินาที วัด แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และ คำนวณหา กำลังไฟฟ้า จากสมการที่ (4.1) ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.2 และ 4.3 แล้วนำผลการทดลองไปสร้างกราฟ

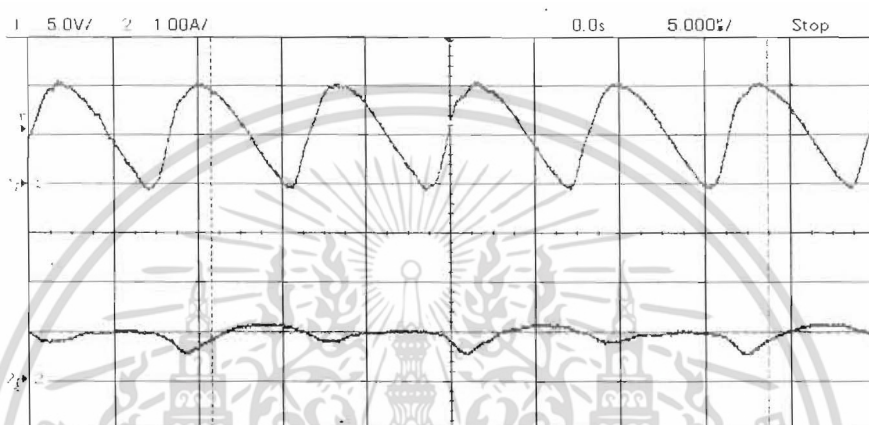
ตารางที่ 4.2 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่ขุ้ลลอยเคลื่อนที่ขึ้นแบบมีโพลต 10 w

ผลการทดสอบในขณะที่ขุ้ลลอยเคลื่อนที่ขึ้นมีโพลต			
ระยะการเคลื่อนที่ของขุ้ลลอย (cm)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (w)
10	3	0.2	0.6
20	3.75	0.38	1.425
30	4	0.8	3.2
40	5.5	1.3	7.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 ในระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยขณะเคลื่อนที่ขึ้น ได้ทำการยกหุ่นลอยขึ้น ที่ 10 ถึง 40 cm ตามลำดับ ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 1 วินาที จะได้กำลังไฟฟ้าต่ำสุดที่ 0.6 w และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 7.15 w กำลังไฟฟ้านั้นจะมากขึ้นตามระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย ยิ่งหุ่นลอยเคลื่อนที่มากขึ้นและใช้เวลาเคลื่อนที่น้อย กำลังไฟฟ้านั้นจะมากขึ้น

จากรูปที่ 4.13 ได้ทำการทดลองยกหุ่นลอยขึ้นที่ 40 cm ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย 1 วินาที จะได้แรงดันไฟฟ้า(DC_{AVG}) 5.54 V กระแสไฟฟ้า 910 mA



รูปที่ 4.13 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น

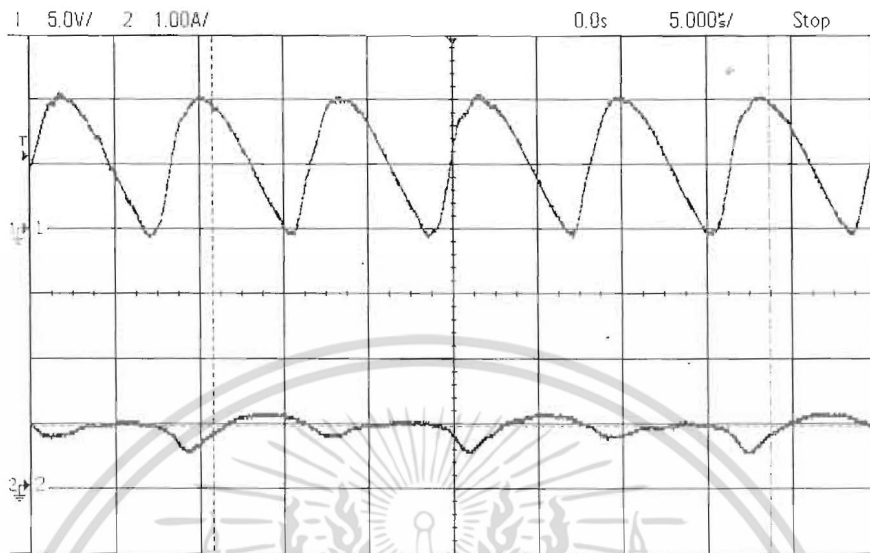
ตารางที่ 4.3 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ลงแบบมีโหลด 10 W

ผลการทดลองในขณะที่หุ่นเคลื่อนที่ลงมีโหลด			
ระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย (cm)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (w)
10	3.75	0.2	0.75
20	3.9	0.42	1.638
30	4.4	0.9	3.96
40	5.5	1.3	7.15

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 ในระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยขณะเคลื่อนที่ลง ได้ทำการปล่อยหุ่นลอยลง ที่ 10 ถึง 40 cm ตามลำดับ ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 1 วินาที จะได้กำลังไฟฟ้าต่ำสุดที่ 0.75 w และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 7.15 w กำลังไฟฟ้านั้นจะมากขึ้นตามระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย ยิ่งหุ่นลอยเคลื่อนที่มากขึ้นและใช้เวลาเคลื่อนที่น้อย กำลังไฟฟ้านั้นจะมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 ได้ทำการทดลองยกหุ่นลอยลงที่ 40 cm ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย 1 วินาที จะได้แรงดันไฟฟ้า(DC_{Ave}) 5.57 V กระแสไฟฟ้า 920 mA



รูปที่ 4.14 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ลง

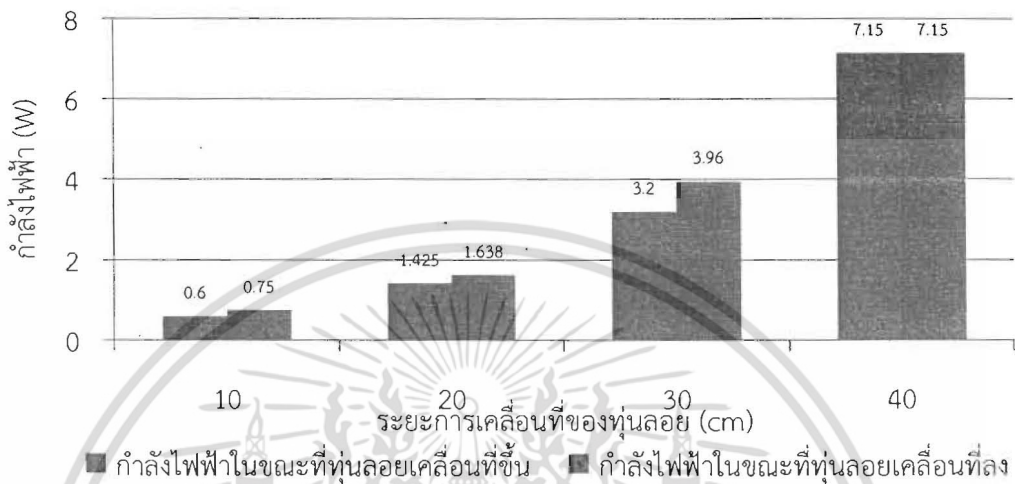
ตารางที่ 4.4 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงแบบมีโหลด 10 W

ผลการทดลองในขณะที่หุ่นเคลื่อนที่ขึ้นลงมีโหลด			
ระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย (cm)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (w)
10	4	0.3	1.2
20	4.6	0.6	2.76
30	5	1	5
40	6	1.4	8.4

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.4 ในระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยขณะเคลื่อนที่ขึ้นลง ได้ทำการยกหุ่นลอยขึ้นลง ที่ 10 ถึง 40 cm ตามลำดับ ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 2 วินาที จะได้กำลังไฟฟ้าต่ำสุดที่ 1.2 w และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 8.4 w กำลังไฟฟ้านั้นจะมากขึ้นตามระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย ยิ่งหุ่นลอยเคลื่อนที่มากขึ้นและใช้เวลาในการเคลื่อนที่น้อย กำลังไฟฟ้านั้นจะมากขึ้น เหตุผลที่ได้กำลังไฟฟ้าในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงมากกว่าในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นและในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ลงนั้น เพราะ ในขณะที่หุ่นลอย

เคลื่อนที่ขึ้นลงนั้นจะเป็นการเคลื่อนที่ที่ต่อเนื่องจึงทำให้กำลังไฟฟ้ามากกว่า ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นและทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง

นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 นำมาพล็อตกราฟเพื่อทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ากับระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ากับระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย
ในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น,ลง

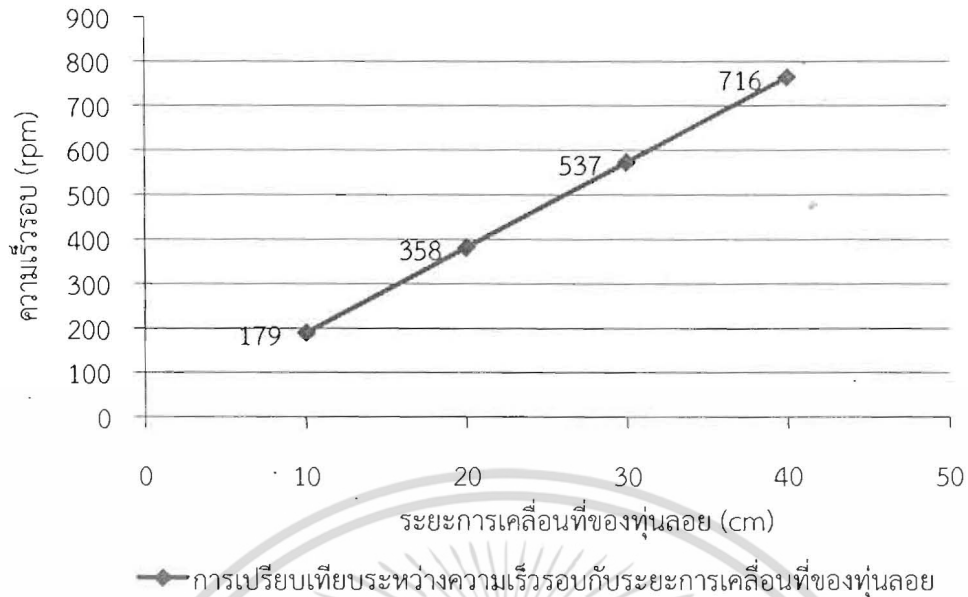
(3) การทดลองหาความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ทำการทดลองโดยยกทุ่นลอยในระยะการเคลื่อนที่ 10 ถึง 40 cm โดยใช้เวลา 1 วินาที และทำการวัด ระยะการเคลื่อนที่ของสะพานเฟือง แล้วนำมาคำนวณความเร็วรอบ หาได้จากสมการที่ (3.1) ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงการบันทึกผลการทดลองหาความเร็วรอบ

ผลการทดลองหาความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า			
ระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (cm)	ระยะการเคลื่อนที่ของสะพานเฟือง (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (sec)	ความเร็วรอบ (rpm)
10	4	1	179
20	8	1	358
30	12	1	537
40	16	1	716

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 ผลของความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยและเวลาในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.5 มาพล็อตกราฟ ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบระหว่างความเร็วรอบกับระยะการเคลื่อนที่ของตุ้มน้อย

(4) การทดลองเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของตุ้มน้อย

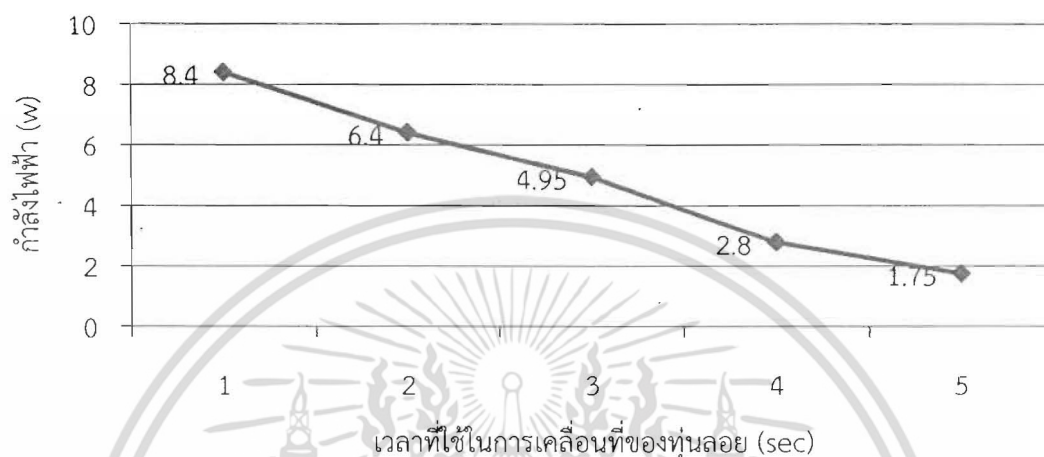
การทดลองโดยยกตุ้มน้อยที่ 40 cm และใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของตุ้มน้อยที่ 1 ถึง 5 วินาที แล้วทำการวัดค่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และคำนวณหา กำลังไฟฟ้าจากสมการที่ (4.1) ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของตุ้มน้อย

ผลการทดลองการเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของตุ้มน้อย				
ระยะการเคลื่อนที่ของตุ้มน้อย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของตุ้มน้อย(sec)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (w)
80	1	6	1.4	8.4
	2	5	1.28	6.4
	3	4.5	1.1	4.95
	4	4	0.7	2.8
	5	3.5	0.5	1.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.6 เมื่อยกหุ่นลอยที่ 40 cm โดยใช้เวลา 1 ถึง 5 วินาทีตามลำดับ จะได้กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน นำผลการทดลองจากตารางที่ 4.6 มาพล็อตกราฟดังรูปที่ 4.17 จากกราฟจะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้านั้นจะมากขึ้นอยู่กับระยะเวลาเคลื่อนที่ของหุ่นลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย

4.4.2 ผลการทดลองในสถานที่บริเวณชายฝั่ง

การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการทดลองแบบไม่มีโหลดและมีโหลด วันที่ 9 มิถุนายน 2557 ซึ่งในวันที่ทำการทดลองคลื่นทะเลนั้นมี ความสูงอยู่ที่ (h) 10 ถึง 40 cm ชั้นละ 10,20,30 และ 40 cm ตามลำดับโดยให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อโหลด หลอดไฟฟ้าขนาด 12 V 10 W จำนวน ทำการต่อขนานโดยมีสวิตช์ควบคุมการปิด-เปิดจากนั้นทำการวัดค่าเวลาในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า แล้วนำมาคำนวณหาค่ากำลังทางกล กำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของระบบ จากสมการที่ (3.3),(4.1) และ (4.2) โดยมีผลการทดลองดังนี้

(1) เก็บผลความสูงคลื่นทะเลในสถานที่เก็บผลทดลอง

ได้ทำการวัดความสูงของคลื่นทะเลในสถานที่เก็บผลการ โดยทำการวัดในระหว่างเวลา 09.00 น. ถึง เวลา 17.00 น. ในวันที่ 9 มิถุนายน 2557 มีผลการทดลองในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 จำนวนลูกคลื่นเฉลี่ยที่ทำการวัดในเวลาต่างๆ

จำนวนลูกคลื่นเฉลี่ยที่ทำการวัดในเวลาต่างๆ				
เวลา	คลื่นทะเลสูง 10 cm (ลูก/นาที)	คลื่นทะเลสูง 20 cm (ลูก/นาที)	คลื่นทะเลสูง 30 cm (ลูก/นาที)	คลื่นทะเลสูง 40 cm (ลูก/นาที)
09.00-10.00น.	12	15	12	4
10.00-11.00น.	11	14	12	5
11.00-12.00น.	12	16	13	6
13.00-14.00น.	13	18	16	4
14.00-15.00น.	15	19	16	7
15.00-16.00น.	13	21	17	8
16.00-17.00น.	10	23	18	7
17.00-18.00น.	8	25	20	9

จากผลในตารางที่ 4.7 พบว่า ที่เวลา 09.00 น. ที่ความสูง 10 cm คลื่นทะเลมาจำนวน 12 ลูก/นาที ที่ความสูง 20 คลื่นทะเลมาจำนวน 15 ลูก/นาที ที่ความสูง 30 คลื่นทะเลมาจำนวน 12 ลูก/นาที และที่ความสูง 40 คลื่นทะเลมาจำนวน 4 ลูก/นาที ที่เวลา 11.00 น. ที่ความสูง 10 cm คลื่นทะเลมาจำนวน 11 ลูก/นาที ที่ความสูง 20 คลื่นทะเลมาจำนวน 14 ลูก/นาที ที่ความสูง 30 คลื่นทะเลมาจำนวน 12 ลูก/นาที และที่ความสูง 40 คลื่นทะเลมาจำนวน 5 ลูก/นาที

ดังนั้นในทุกๆ 1 ชั่วโมง ความสูงของคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย และความเร็วลมนั้นมีผลโดยตรงกับความสูงคลื่นทะเลและความถี่ของลูกคลื่น ยิ่งความเร็วลมมีค่ามาก คลื่นทะเลและความถี่ของลูกคลื่นก็จะมีค่าสูงมากขึ้นเช่นกัน

(2) ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโพล ในสถานที่จริง

ความสูงของคลื่นในวันที่ทำการทดลองอยู่ที่ 10 ถึง 40 cm ตามลำดับ ทำการวัดแรงดันไฟฟ้า ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.8 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโพลในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นและในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง วันที่ 9 มิถุนายน 2557

ผลการทดลองแบบไม่มีโพล				
ระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยในขณะขึ้น (s)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยในขณะลง (s)	แรงดันไฟฟ้าในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น (V)	แรงดันไฟฟ้าในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง (V)
10	0.44	0.39	11	12
20	0.64	0.58	15	18
30	0.77	0.66	21	23
40	0.84	0.75	25	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

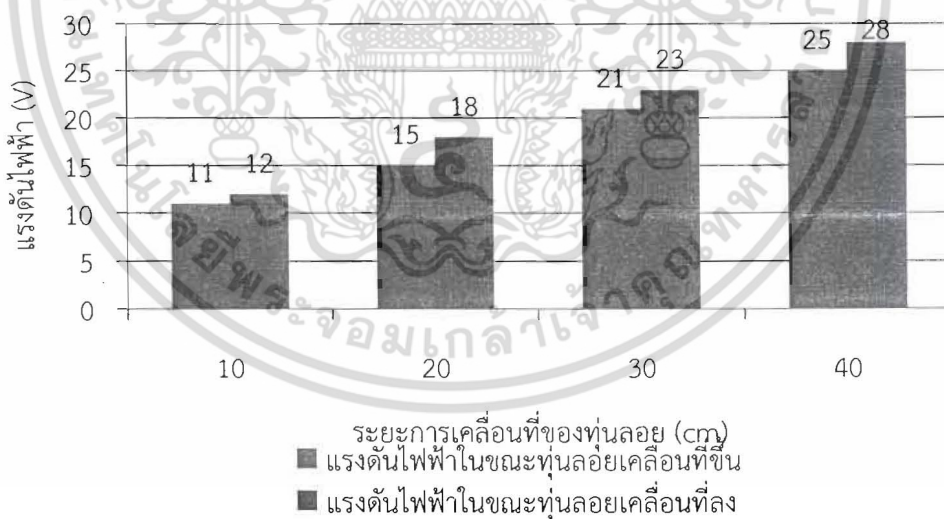
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.8 พบว่า ผลของแรงดันไฟฟ้านั้น จะขึ้นอยู่กับ ระยะการเคลื่อนที่ของตุ้มนลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของตุ้มนลอย ยิ่งตุ้มนลอยเคลื่อนที่มากและใช้เวลาในการเคลื่อนที่เร็วขึ้น ก็จะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้ามากขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 4.9 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลดในขณะตุ้มนลอยเคลื่อนที่ขึ้นลง วันที่ 9 มิถุนายน 2557

ผลการทดลองแบบไม่มีโหลด		
ระยะการเคลื่อนที่ของตุ้มนลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของตุ้มนลอยในขณะขึ้นลง (s)	แรงดันไฟฟ้าในขณะตุ้มนลอยเคลื่อนที่ขึ้นลง (V)
10	0.85	12.5
20	1.18	21
30	1.35	28
40	1.49	30

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 พบว่า ผลของแรงดันไฟฟ้านั้น จะขึ้นอยู่กับ ระยะการเคลื่อนที่ของตุ้มนลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของตุ้มนลอย ยิ่งตุ้มนลอยเคลื่อนที่มากและใช้เวลาในการเคลื่อนที่เร็วขึ้น ก็จะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้ามากขึ้นเช่นกัน

นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.8 มาพล็อตกราฟเพื่อเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับระยะการเคลื่อนที่ของตุ้มนลอย ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับระยะการเคลื่อนที่ของตุ้มนลอยในขณะตุ้มนลอยเคลื่อนที่ขึ้น,ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมีโพลต ในสถานที่จริง

ทำการต่อโพลตขนาด 10 w ความสูงของคลื่นในวันที่ทำการทดลองอยู่ที่ 10 ถึง 40 cm ตามลำดับ โดยจับเวลาในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย และวัดค่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า จากสมการที่ (4.1) ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.10, 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.10 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมีโพลตในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น วันที่ 9 มิถุนายน 2557

ผลการทดลองแบบมีโพลตขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น				
ระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (s)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (w)
10	0.57	3	0.35	1.05
20	0.78	5	0.65	3.25
30	0.92	7.8	0.74	5.77
40	0.95	9	0.92	8.3

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.10 พบว่า ผลของกำลังไฟฟ้านั้น จะขึ้นอยู่กับ ระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย ยิ่งทุ่นลอยเคลื่อนที่มากและใช้เวลาในการเคลื่อนที่เร็วขึ้น ก็จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้ามามากขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 4.11 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมีโพลตในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง วันที่ 9 มิถุนายน 2557

ผลการทดลองแบบมีโพลตขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง				
ระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (s)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (w)
10	0.51	4	0.5	2
20	0.62	5.5	1	5.5
30	0.71	6	1.2	7.2
40	0.82	8	1.2	9.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

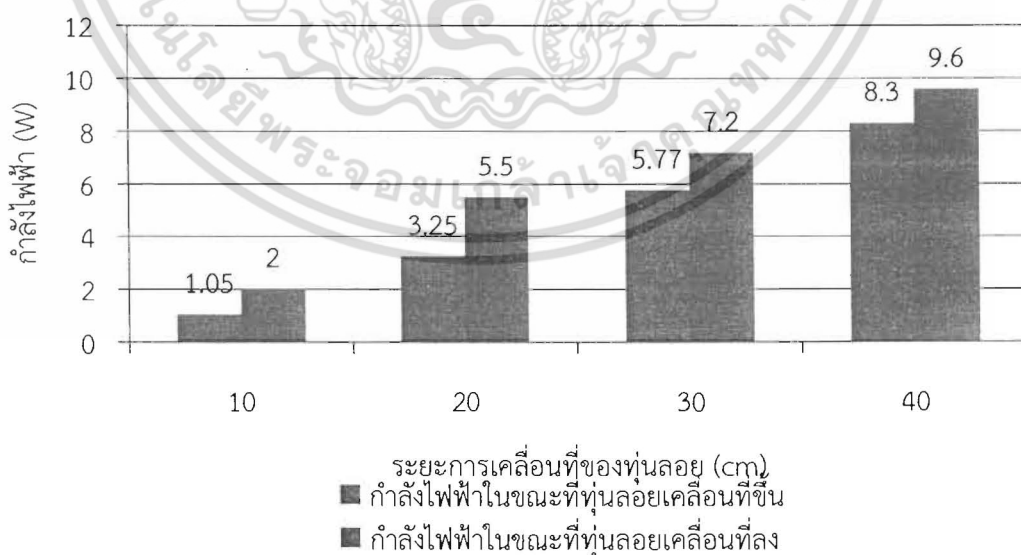
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.11 พบว่า ผลของกำลังไฟฟ้านั้น จะขึ้นอยู่กับ ระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย ยิ่งทุ่นลอยเคลื่อนที่มากและใช้เวลาในการเคลื่อนที่เร็วขึ้น ก็จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 4.12 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมีโพลตในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลง วันที่ 9 มิถุนายน 2557

ผลการทดลองแบบมีโพลตขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลง				
ระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (s)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (w)
10	1	4	0.55	2.2
20	1.38	5.7	0.9	5.13
30	1.62	6.5	1.05	6.82
40	1.77	8	1.2	9.6

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.12 พบว่า ผลของกำลังไฟฟ้านั้น จะขึ้นอยู่กับ ระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย ยิ่งทุ่นลอยเคลื่อนที่มากและใช้เวลาในการเคลื่อนที่เร็วขึ้น ก็จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นเช่นกัน

นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 นำมาพล็อตกราฟเพื่อทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ากับระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ากับระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย
ในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น,ลงและขึ้นลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) ผลการทดลองการชาร์จประจุไฟฟ้า

จากการทดลองพบว่า การชาร์จประจุไฟฟ้า เครื่องชาร์จประจุจะเริ่มทำการชาร์จที่ความสูงคลื่น ตั้งแต่ 40 cm ขึ้นไปซึ่งคลื่นสูง 40 cm จะสามารถทำให้หุ่นลอยเคลื่อนที่ 35 ถึง 40 cm จากการทดลองพบว่า เมื่อหุ่นลอยเคลื่อนที่ได้ 35 cm มีค่าเท่ากับความสูงคลื่นประมาณ 40 cm ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย ในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น 0.75 วินาที และในขณะที่หุ่นลอยเคลื่อนที่ลง 0.70 วินาที ชุดชาร์จถึงจะเริ่มชาร์จประจุ ดังนั้นจากการทดลองจะได้แรงดัน 13 V และการแอส 0.5 A ทำให้ ชุดชาร์จเริ่ม ชาร์จประจุ ถ้าคลื่นมีความต่อเนื่อง จะทำให้ชาร์จเข้าแบตเตอรี่ เต็มภายในเวลา 14 ชม. ด้วยกระแส 0.5 A เพราะแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลอง ชาร์จประจุที่ 7.2 Ah เต็มภายใน 1 ชม.

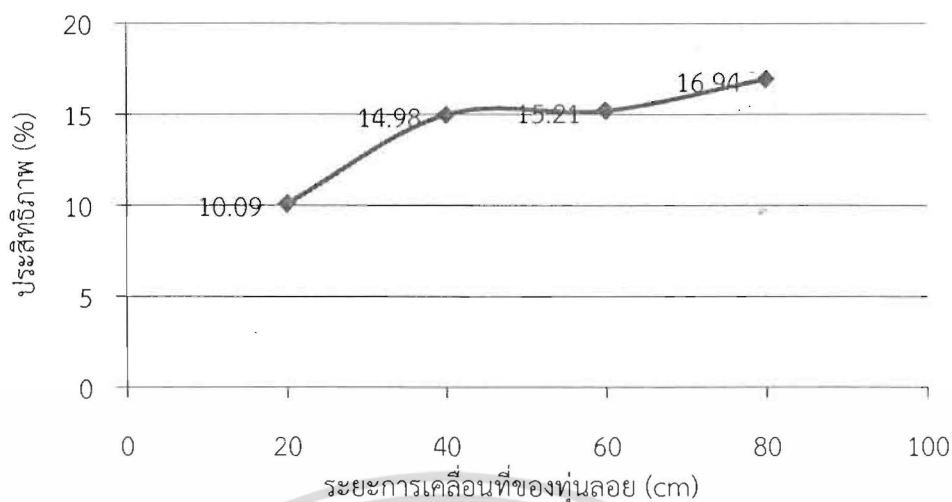
(5) การทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การต่อโหลดขนาด 10 w ความสูงของคลื่นในวันที่ทำการทดลองอยู่ที่ 10 ถึง 40 cm ตามลำดับ จับเวลาในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย และคำนวณหา กำลังทางกล กำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และประสิทธิภาพ หาได้จากสมการ (3.1),(3.3),(4.1) และ (4.2) ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงการบันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า				
ระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยขึ้นลง (s)	กำลังทางกล (w)	กำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (w)	ประสิทธิภาพ (%)
20	1	29.43	2.97	10.09
40	1.38	42.65	6.39	14.98
60	1.62	54.5	8.29	15.21
80	1.77	66.58	11.28	16.94

ผลจากตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพจะเปลี่ยนแปลงตามระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย ยิ่งหุ่นลอยเคลื่อนที่มากขึ้น ประสิทธิภาพจะสูงด้วยเช่นกันนำผลจากตารางที่ 4.13 มาพล็อตกราฟ ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

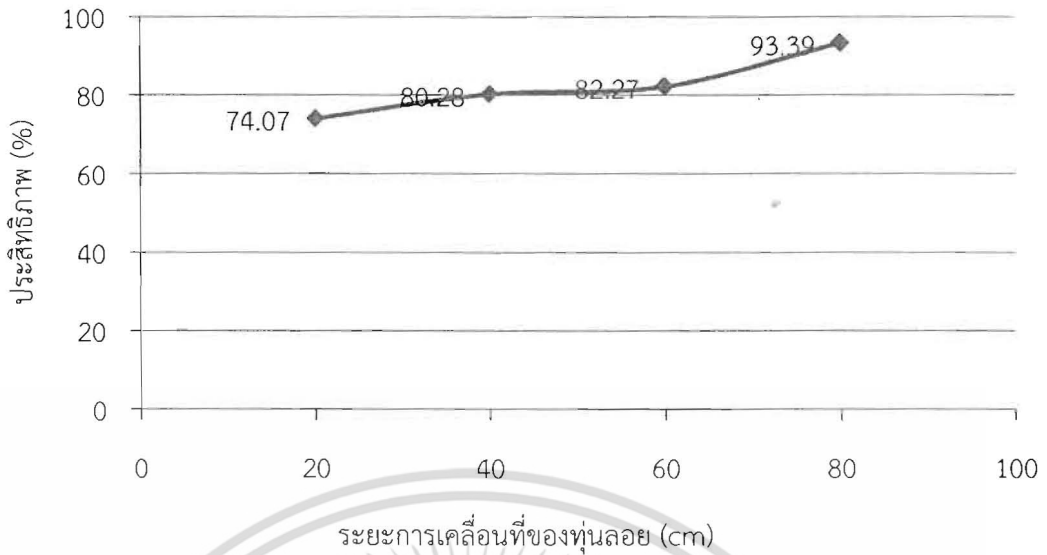
(6) การทดลองหาประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า

การต่อโหลดขนาด 10 w ความสูงของคลื่นในวันที่ทำการทดลองอยู่ที่ 10 ถึง 40 cm ตามลำดับ จับเวลาในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย และคำนวณหา กำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่โหลด และประสิทธิภาพ หาได้จากสมการ (4.1) และ (4.2) ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงการบันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า

ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า				
ระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยขึ้นลง (s)	กำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (w)	กำลังไฟฟ้าที่โหลด (w)	ประสิทธิภาพ (%)
20	1	2.97	2.2	74.07
40	1.38	6.39	5.13	80.28
60	1.62	8.29	6.82	82.27
80	1.77	11.28	9.6	93.39

ผลจากตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพจะเปลี่ยนแปลงตามระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย ยิ่งทุ่นลอยเคลื่อนที่มากขึ้น ประสิทธิภาพจะสูงด้วยเช่นกันนำผลจากตารางที่ 4.14 มาพล็อตกราฟ ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า

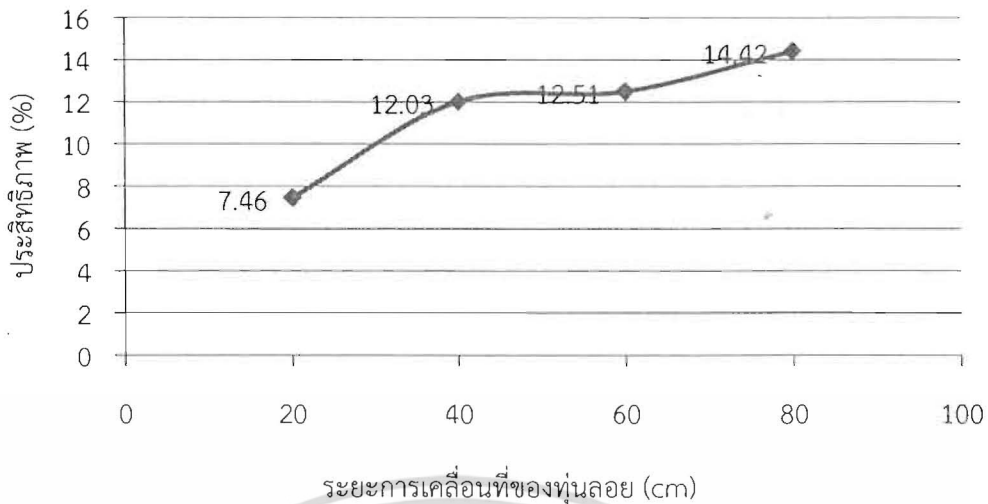
(7) การทดลองหาประสิทธิภาพของระบบ

การต่อโหลดขนาด 10 w ความสูงของคลื่นในวันที่ทำการทดลองอยู่ที่ 10 ถึง 40 cm ตามลำดับ จับเวลาในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย และคำนวณหา กำลังทางกล กำลังไฟฟ้าที่ โหลด และประสิทธิภาพ หาได้จากสมการ (3.3),(4.1) และ (4.2) ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.15 แสดงการบันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบ

ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบ				
ระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยขึ้นลง (s)	กำลังทางกล (w)	กำลังไฟฟ้าที่โหลด (w)	ประสิทธิภาพ (%)
20	1	29.43	2.2	7.46
40	1.38	42.65	5.13	12.03
60	1.62	54.5	6.82	12.51
80	1.77	66.58	9.6	14.42

ผลจากตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพจะเปลี่ยนแปลงตามระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย ยิ่งหุ่นลอยเคลื่อนที่มากขึ้น ประสิทธิภาพจะสูงขึ้นเช่นกัน นำผลจากตารางที่ 4.15 มาพล็อตกราฟ ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพของระบบ

4.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ ทดลองยกท่อนลอยที่ความสูง 10 ถึง 40 cm ตามลำดับ ใช้เวลา 1 วินาที ในขณะที่ไม่มีโหลด แรงดันไฟฟ้าในขณะที่ท่อนลอยเคลื่อนที่ขึ้นจะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ท่อนเคลื่อนลง แรงดันไฟฟ้าในขณะที่ท่อนลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงนั้นแรงดันจะได้มากกว่าเพราะ มีความต่อเนื่อง ผลของแรงดันไฟฟ้านั้นจะมากขึ้นอยู่กับระยะการเคลื่อนที่ของท่อนลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของท่อนลอย แรงดันไฟฟ้าในขณะที่ไม่มีโหลดสูงสุดคือ 22 V การทดลองในขณะที่มีโหลดนั้น ได้กำลังไฟสูงสุดคือ 7.5 W ยิ่งท่อนลอยเคลื่อนที่มากขึ้นและใช้เวลาในการเคลื่อนที่เร็วขึ้น ก็จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้ามักด้วยเช่นกัน

จากผลการทดลอง ความสูงของคลื่นในวันที่ทำการทดลองอยู่ที่ 10 ถึง 40 cm ตามลำดับ ขณะไม่มีโหลด ได้แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 28 V ขณะมีโหลด ได้กำลังไฟสูงสุด 9.6 W การชาร์จประจุไฟฟ้านั้นจะชาร์จได้ เมื่อท่อนเคลื่อนที่ตั้งแต่ 40 cm ขึ้นไปซึ่งคลื่นสูง 40 cm จะสามารถทำให้ท่อนลอยเคลื่อนที่ 35 ถึง 40 cm จากการทดลองพบว่า เมื่อท่อนลอยเคลื่อนที่ได้ 35 cm มีค่าเท่ากับ ความสูงคลื่นประมาณ 40 cm ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของท่อนลอย ในขณะที่ท่อนลอยเคลื่อนที่ขึ้น 0.75 วินาที และในขณะที่ท่อนลอยเคลื่อนที่ลง 0.70 วินาที ชุดชาร์จจึงจะเริ่มชาร์จประจุ ดังนั้นจากการทดลองจะได้แรงดัน 13 V และการแส 0.5 A ทำให้ ชุดชาร์จเริ่ม ชาร์จประจุ ถ้าคลื่นมีความต่อเนื่อง จะทำให้ชาร์จเข้า แบตเตอรี่ เต็มภายในเวลา 14 ชม. ด้วยกระแส 0.5 A เพราะแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลอง ชาร์จประจุที่ 7.2 Ah เต็มภายใน 1 ชม.

ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สูงสุดที่ 16.94 % ประสิทธิภาพของวงจรบริดจ์ ไดโอด สูงสุดที่ 93.39 % และประสิทธิภาพของระบบ สูงสุดที่ 14.42 % ประสิทธิภาพนั้นจะมากขึ้นอยู่กับระยะการเคลื่อนที่ของท่อนลอย ผลการวิจัยไม่สามารถนำไปอ้างอิงได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากผลการวิจัยการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่งในห้องทดลองแบบไม่มีโพลต์นั้นได้ทำการทดลองที่ระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยตั้งแต่ 10 cm ถึง 40 cm (อ้างอิงข้อมูลความสูงคลื่นกรมอุทกศาสตร์) โดยที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นและทุ่นลอยเคลื่อนที่ลงค่าแรงดันไฟฟ้าของทั้งสองสภาวะมีค่าใกล้เคียงกันแต่จะแตกต่างกับสภาวะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงในสภาวะเดียวกันค่าแรงดันไฟฟ้าจะมากกว่าสภาวะการเคลื่อนที่สภาวะใดสภาวะหนึ่ง ซึ่งการเคลื่อนที่ขึ้นและลงนั้นเป็นสภาวะการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องค่าแรงดันไฟฟ้าจึงได้มากกว่าการเคลื่อนที่สภาวะใดสภาวะหนึ่ง และทุกๆระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย หากทุ่นลอยมีระยะการเคลื่อนที่ที่สูงขึ้นค่าแรงดันไฟฟ้าก็จะสูงขึ้นตามระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยและจากการทดลองชนิดมีโพลต์ ได้ทำการทดลองระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยตั้งแต่ 10 cm ถึง 40 cm เช่นกัน โดยผลที่ได้จากการทดลองเมื่อทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นและทุ่นลอยเคลื่อนที่ลงได้ค่าแรงดันไฟฟ้าของทั้งสองสภาวะนี้จะใกล้เคียงกันและจะแตกต่างกับสภาวะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงในสภาวะเดียวกันซึ่งค่าแรงดันของการเคลื่อนที่ในลักษณะที่เป็นการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องค่าแรงดันจะได้มากกว่า ยิ่งทุ่นลอยมีระยะการเคลื่อนที่ที่สูงและมีการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง ก็จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่สูงมากขึ้นด้วย

จากการวิจัยนี้ได้ไปทำการทดลองที่ชายฝั่งทะเลจริง ซึ่งตามทฤษฎีในห้องทดลองนั้นสามารถใช้ได้จริงในการทดลองที่ทะเลจริงแบบไม่มีโพลต์ ในสภาวะการเคลื่อนที่ขึ้นและการเคลื่อนที่ลงของทุ่นลอยจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกันกับการทดลองในห้องทดลองและเมื่อมีการเคลื่อนที่ของทุ่นขึ้นและลงนั้นจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่มากกว่าสภาวะใดสภาวะหนึ่ง เนื่องมาจากการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องของทุ่นลอยตามความสูงของคลื่นทะเล

ในการทดลองแบบมีโพลต์ในทะเลจริงนั้น ค่าแรงดันในสภาวะการเคลื่อนที่ขึ้นและในสภาวะการเคลื่อนที่ลงของทุ่นลอยจะมีค่าใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันมากแต่จะแตกต่างกับสภาวะการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในสภาวะเดียวกันจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่มากกว่าและกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่า เนื่องมาจากการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องยังมีระยะการเคลื่อนที่ที่มากขึ้นก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงมากขึ้นและกระแสไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าก็สูงมากขึ้นเช่นกัน เมื่อทำการทดลองการผลิตไฟฟ้าแล้วจึงได้ทำการต่อเข้าแบตเตอรี่โดยการต่อผ่าน chargecontroller (ชุดชาร์จ) ชุดชาร์จจะเริ่มทำการชาร์จประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ในระยะที่คลื่นทะเลสูงประมาณ 40 cm ซึ่งทุ่นลอยจะมีระยะการเคลื่อนที่ 35 ถึง 40 cm จากการทดลองพบว่าเมื่อทุ่นลอยเคลื่อนที่ได้ 35 cm มีความสูงของคลื่นทะเลประมาณ 40 cm ในช่วงสภาวะที่ทุ่นลอยขึ้นใช้เวลา 0.75 sec และในสภาวะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ลงใช้เวลา 0.70 sec ชุด

ชาร์จิ้งเริ่มชาร์จประจุ ถ้าหุ่นลอยมีการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องจะทำให้การชาร์จแบตเตอรี่ได้เต็ม ประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่งทำให้ทราบถึงปัญหาต่างๆ ที่ต้องปรับปรุงและพัฒนาให้เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพมากขึ้น อาทิเช่น ควรออกแบบชุดกลไกและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เหมาะสมกับทะเลประเทศไทยและขนาดของเครื่องผลิตไฟฟ้าควรต้องคำนึงถึงการขนย้ายและเคลื่อนที่สะดวกเมื่อเกิดลมมรสุมหรือน้ำขึ้น-น้ำลง รวมทั้งการพัฒนาาระบบผลิตกระแสไฟฟ้าให้มีขนาดเล็กและเพิ่มจำนวนเครื่องจะช่วยเพิ่มพิภักการผลิตกระแสไฟฟ้าให้ช่วยจ่ายเข้าระบบได้มากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พงษ์ศักดิ์ เสริมสาธณสวัสดิ์. วิศวกรรมชายฝั่งทะเล : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
- [2] อภิชาติ สร้อยระย้า. กลศาสตร์ของไหล, กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ , 2551.
- [3] ปุณยภัทร ภูมิภาค. เครื่องจักรไฟฟ้า 1, กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร , 2555.
- [4] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาธาธิ์เรศรุฐ. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ.พรินติง. 2547.
- [5] ศรีธน วรศักดิ์โยธิน. ฟิสิกส์ 1, มหาวิทยาลัยขอนแก่น , สำนักพิมพ์สกายบุ๊กส์ , 2546.
- [6] กฤษฎา พรหมแก้ว, “การศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากคลื่นชายฝั่งทะเล,” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2556.
- [7] Shek, J.K.H., “Power conversion for wave energy applications,” *International Conference 5th IET Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2010)*, pp. 1-6, April 2010.
- [8] Muetze, A. “Ocean Wave Energy Conversion - A Survey,” *The proceedings of the IEEE 41st IAS Industry Applications Annual Meeting. Conference*, vol. 3, pp. 1410-1417, Oct. 2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้