



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2558

อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นสำหรับลดภาระการใช้ไฟฟ้า
ในโรงผลิตน้ำจืดบนเกาะสีชัง

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

รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวณิชเลิศ

รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กันยายน 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2558

อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นสำหรับลดภาระการใช้ไฟฟ้า
ในโรงผลิตน้ำจืดบนเกาะสีชัง

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

รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่.....
เลขทะเบียน 145925
รับเดือนปี 11 เดือน 2560

กันยายน 2558

b. 00272844
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2558

อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นสำหรับลดภาระการใช้ไฟฟ้า
ในโรงผลิตน้ำจืดบนเกาะสีชัง

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

รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สนับสนุนโดย เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้จะไม่สำเร็จล่วงไปด้วยดี ถ้าไม่ได้รับการสนับสนุนจากทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 และท่าน ศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ อดีตคณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ (ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรักษาการแทนอธิการบดี) และท่าน นายกสภาสถาบันฯ ที่ได้คิดช่วยเหลือในการลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าของโรงงานผลิตน้ำจืดบนเกาะสีชัง เพื่อช่วยเหลือชาวบ้านบนเกาะสีชัง ที่ต้องจ่ายค่าไฟฟ้าแพง

โครงการวิจัยนี้ต้องขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาเอก นายภูมิ คงห้วยรอบ และนักศึกษาปริญญาโท นายชาติชาย โสบุญ และนักศึกษาปริญญาตรี ที่ช่วยเหลือต่าง ๆ ตลอดจนการจัดทำข้อมูลให้กับคณะวิจัย และผู้ที่ไม่ได้เอ่ยนาม ณ ที่นี้ด้วย

โครงการวิจัยนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ต้องกราบขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

แหล่งเงิน เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์

ประจำปีงบประมาณ 2558

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2557 ถึง กันยายน 2558

รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ หัวหน้าโครงการ

รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล ผู้ร่วมวิจัย

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้เป็นการศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นทะเลใกล้ชายฝั่งโดยมีขนาดของเครื่องผลิตไฟฟ้ามีขนาดความกว้าง 40cm ยาว 60cm สูง 60cm ด้านหน้ามีท่อนลอยขึ้นลงตามความสูงของคลื่นขนาด กว้าง 30cm ยาว 45cm สูง 15cm และมีชุดกลไกเพื่อปรับความเร็วรอบเพื่อผลิตไฟฟ้าในการพัฒนาจะทำการทดลองในห้องปฏิบัติการและดำเนินการปรับปรุงแก้ไขก่อนที่จะนำเครื่องผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทะเลไปทดลองในสถานที่จริง โดยทำการต่อโหลดขนาด 10 W จำนวน 2 หลอดเพื่อวัดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ จากโครงการนี้พบว่าเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าจะเริ่มทำงานเมื่อคลื่นมีความสูงตั้งแต่ 5cm ถึง 25cm โดยที่คลื่นในอ่าวไทยมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 30cm เครื่องผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทะเลที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเมื่อคาบเวลาของคลื่นเท่ากับ 4 วินาทีต่อลูก ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากห้องทดลองและในการทดลองเครื่องผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทะเลในสถานที่ทดลองจริงอยู่ที่ 13.6W ขณะรับโหลด 13.8W ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามเมื่อกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงน้อย จึงจำเป็นต้องออกแบบการทดลองโดยใช้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ช่วย เพื่อให้จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : พลังงานคลื่น พลังงานทดแทน เกาะสีชัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Researcher: Assoc. Prof.Dr. Anuwat Jangwanitlert
Assoc.Prof.Dr. Somyot Kaitwanidvilai

Faculty: Engineering Department: Electrical Engineering

ABSTRACT

This research proposes the development of coast wave's power generation. The Design of machine is 40 cm. wide, 60 cm. long, and 60 cm. high. The Buoy floats up and down following to the height of sea wave. The front side of machine is 30 cm wide, 45 cm long, and 15 cm high. Also, the cog can adjust the speed in order to generate electricity. The system development was done in the laboratory first and after that the system can be adjusted and developed in the field test. The test will be done on load 10 Watts. The experimental result found that the generator can start to generate electricity when the sea wave has a height from 5 cm. to 25 cm.. In addition, the average height of Thailand gulf is 30 cm. The efficiency of system can measure from the wave period which has 4 seconds per cycle and this can produce the maximum electric power obtained from laboratory. The highest electric power is 13.6 Watts while the load received is at 13.8 Watts.

However, when the electric power is produced small, the solar cell energy is needed to help some more energy and to distribute load.

Keywords : Wave Energy , Renewable Energy, Koh Si-Chang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	I
บทคัดย่อ.....	II
Abstract.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	1
1.2 ขอบเขตของการดำเนินงาน.....	1
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 คลื่นทะเล.....	4
2.2 วัฏจักรของน้ำ.....	5
2.3 กำลังและพลังงานของน้ำ.....	7
2.4 พลังงานน้ำ.....	9
2.5 ประเภทของพลังงานน้ำ.....	10
2.6 แรงลอยตัว.....	17
2.7 เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง.....	18
2.8 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่.....	20
2.9 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ได้จากแปลงถ่าน.....	22
บทที่ 3 การออกแบบ.....	23
3.1 สมมติฐานและข้อควรคำนึง.....	23
3.2 พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการออกแบบ.....	23
3.3 การคำนวณ.....	23
3.4 การออกแบบเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล.....	24
3.5 อุปกรณ์บนตัวเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยคลื่นทะเล.....	28
3.6 การออกแบบทุ่นลอย.....	28
3.7 การออกแบบการควบคุมขั้วไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	31
3.8 โหลดที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.9 การสร้างชิ้นงาน.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	43
4.1 การเตรียมเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าก่อนการทดสอบ	43
4.2 การเตรียมอุปกรณ์ในการทดสอบ	43
4.3 ขั้นตอนการทดลอง	45
4.4 ผลการวิจัย	46
4.5 สรุปผลการทดลอง	66
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	67
5.1 สรุปผล	67
5.1 ข้อเสนอแนะ	68
บทที่ 6 โครงการเพิ่มเติมจากงานวิจัยพลังงานคลื่น	69
6.1 หลักการและเหตุผลของโครงการวิจัย	69
6.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	70
6.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	70
6.4 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	70
6.5 ระยะเวลาดำเนินโครงการ	74
6.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย	74
6.7 ระเบียบวิธีวิจัย	74
6.8 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย	74
บทที่ 7 คลื่นเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic)	76
7.1 บทนำ	76
7.2 อินเวอร์เตอร์	86
7.3 พาวเวอร์มอสเฟต (Power MOSFET)	89
7.4 ชุดขับสำหรับพาวเวอร์มอสเฟต	93
7.5 วงจรสแนบเบอร์(Snubber)	94
7.6 วงจรกรอง	95
บทที่ 8 ระบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและสังเกต (P&O)	97
8.1 บทนำ	97
8.2 ระบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการเพิ่มค่าความนำโดยใช้ค่าอัตราการผลิต คูณอินเด็กแตกต่างกัน (Multiple step size Incremental conductance)	97
บทที่ 9 แบบจำลอง	100
9.1 การสร้างแบบจำลองกราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 10 ผลการทดลอง และ สรุป	102
10.1 บทนำ	102
10.2 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	102
10.3 ไมโครอินเวอร์เตอร์ที่ใช้งานจริง (Micro inverter Power one 250W) และCDD monitoring	105
10.4 การติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์และไมโครอินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบกริด การไฟฟ้าบริเวณสถานีสูบน้ำเค็มการประปาเทศบาลตำบลเกาะสีชัง	107
เอกสารอ้างอิง	110
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่กำลังรอการเผยแพร่ในการประชุมวิชาการ	111



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การดำเนินงานของงานวิจัย	2
3.1 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในสภาวะ no load	31
3.2 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในสภาวะมีโหลด	32
4.1 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลด	47
4.2 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่ท่อนลอยเคลื่อนที่ขึ้นแบบมีโหลด 10W	49
4.3 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่ท่อนลอยเคลื่อนที่ลงแบบมีโหลด 10 W	50
4.4 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่ท่อนลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงแบบมีโหลด 10 W	51
4.5 บันทึกผลการทดลองหาความเร็วรอบของ generator ตัวที่ 1	52
4.6 บันทึกผลการทดลองหาความเร็วรอบของ generator ตัวที่ 2	53
4.7 บันทึกผลการทดลองการเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ของท่อนลอย	54
4.8 จำนวนลูกคลื่นเฉลี่ยที่ทำการวัดในเวลาต่างๆ	59
4.9 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลดในขณะที่ท่อนลอยเคลื่อนที่ขึ้นและในขณะ ท่อนลอยเคลื่อนที่ลงสถานที่บางแสน จังหวัดชลบุรี ในวันที่ 29 มีนาคม 2558	60
4.10 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลดในขณะที่ท่อนลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงสถานที่ บางแสน จังหวัดชลบุรี ในวันที่ 29 มีนาคม 2558	60
4.11 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมีโหลดในขณะที่ท่อนลอยเคลื่อนที่ขึ้นสถานที่ บางแสน จังหวัดชลบุรี ในวันที่ 29 มีนาคม 2558	61
4.12 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมีโหลดในขณะที่ท่อนลอยเคลื่อนที่ลงสถานที่ บางแสน จังหวัดชลบุรี ในวันที่ 29 มีนาคม 2558	62
4.13 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมีโหลดในขณะที่ท่อนลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงสถานที่ บางแสน จังหวัดชลบุรี ในวันที่ 29 มีนาคม 2558	62
4.14 บันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	63
4.15 บันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า	64
4.16 บันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบ	65
6.1 แผนดำเนินงานโครงการวิจัย	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แผนที่ความกดอากาศที่ก่อให้เกิดลม [1]	5
2.2 วัฏจักรของน้ำและการประยุกต์ใช้พลังงานจากน้ำ [1]	6
2.3 ลักษณะการใช้พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง [3]	11
2.4 การหาค่าพลังงานน้ำขึ้นน้ำลง[3]	11
2.5 ลักษณะของคลื่นน้ำที่เป็นรูปคลื่นไซน์ [3]	13
2.6 ลักษณะของคลื่นน้ำที่เป็นรูปคลื่นไซน์	15
2.7 ลักษณะคลื่น Sea	16
2.8 ลักษณะคลื่น Swell [1]	17
2.9 ลักษณะคลื่นทะเลชายฝั่ง [1]	17
2.10 โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง [2]	18
2.11 โครงสร้างจริงของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง [2]	19
2.12 ขดลวดที่พันบนแกนเหล็กและวางรอบตัวสเตเตอร์ [2]	19
2.12 การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการเคลื่อนที่ [2]	21
2.14 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่และกฎมือขวาของเฟลมมิง [2]	21
2.15 ลักษณะสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ได้จากแปรงถ่านที่ตำแหน่งมุม θ ต่างๆ [2]	22
3.1 ชุดกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล	25
3.2 โครงสร้างของชุดกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลส่วนบน	25
3.3 โครงสร้างของชุดกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลส่วนหน้า	25
3.4 โครงสร้างของชุดกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลส่วนข้าง	26
3.5 ชุดขับเคลื่อนและการทดเกียร์	26
3.6 แบบจำลองโครงสร้างชิ้นงานและอุปกรณ์ต่างๆ	28
3.7 ทุ่นลอย	28
3.8 มุมรับแรงปะทะ	30
3.9 ลักษณะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย	30
3.10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง [4]	31
3.11 การเตรียมวัสดุที่ใช้ทำเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า	33
3.12 เหล็กที่เชื่อมแล้วพร้อมมาประกอบ	33
3.13 ชุดโครงที่เชื่อมแล้วเสร็จ	34
3.14 การพันสีฝุ่น	34
3.15 การทำสีเสร็จเรียบร้อยแล้ว	35
3.16 การติดตั้งแกนทุ่นลอยของเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยคลื่นทะเล	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.17 การติดตั้งชุดกลไกเฟือง	36
3.18 ชุดกลไกเฟืองติดตั้งเสร็จเรียบร้อย	36
3.19 แสดงการยึดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดกับโครง	37
3.20 แสดงการยึดเฟืองจักรยานเข้ากับโครง	37
3.21 แสดงการยึดแกนของทუნลอย	38
3.22 แสดงการจับยึดทუნลอย	38
3.23 แสดงการจับยึดสะพานเฟือง	39
3.24 เตรียมอุปกรณ์ทำตู้ควบคุม	39
3.25 แสดงการยึดชุดขาร์จและแบตเตอรี่	40
3.26 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยคลื่นที่สร้างเสร็จเรียบร้อย (ด้านข้าง)	40
3.27 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยคลื่นที่สร้างเสร็จเรียบร้อย (ด้านหน้า)	41
3.28 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยคลื่นที่สร้างเสร็จเรียบร้อย (ด้าน 3 มิติ)	41
3.29 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยคลื่นที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแบบ 4 ตัว (ด้าน 3 มิติ)	42
4.1 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำกระเพื่อมใกล้ชายฝั่ง	43
4.2 สถานที่ที่จะทดลองเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล	44
4.3 มัลติมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้า	44
4.4 แอมมิเตอร์แบบเข็ม	44
4.5 แสดงการติดตั้งเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่ง	45
4.6 แสดงการจับเวลาเพื่อบันทึกผลการทดลอง	45
4.7 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าในขณะทუნเคลื่อนที่ขึ้น	47
4.8 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าในขณะทუნเคลื่อนที่ลง	48
4.9 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับระยะเวลาเคลื่อนที่ของทუნลอยในขณะทუნลอยเคลื่อนที่ขึ้น,ลง	48
4.10 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะทუნลอยเคลื่อนที่ขึ้น	49
4.11 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะทუნลอยเคลื่อนที่ลง	50
4.12 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ากับระยะเวลาเคลื่อนที่ของทუნลอยในขณะทუნลอยเคลื่อนที่ขึ้น,ลง	51
4.13 การเปรียบเทียบระหว่างความเร็วรอบกับระยะเวลาเคลื่อนที่ของทუნลอย	52
4.14 การเปรียบเทียบระหว่างความเร็วรอบกับระยะเวลาเคลื่อนที่ของทუნลอย	53
4.15 การเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทუნลอย	54
4.16 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่ 1 ขณะมีไหลดที่ความสูง 5 cm	55
4.17 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่ 1 ขณะไม่มีไหลดที่ความสูง 5 cm	55
4.18 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่ 1 ขณะมีไหลดที่ความสูง 10 cm	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.19 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่1 ขณะไม่มีโหลดที่ความสูง 10 cm	56
4.20 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่2 แบบมีโหลดที่ความสูง 5 cm	57
4.21 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่2 ขณะไม่มีโหลดที่ความสูง 5 cm	57
4.22 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่2 ขณะมีโหลดที่ความสูง 10 cm	58
4.23 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่2 ขณะไม่มีโหลดที่ความสูง 10 cm	58
4.24 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับระยะเวลาเคลื่อนที่ของหุ่นลอยในขณะหุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น,ลง	61
4.25 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ากับระยะเวลาเคลื่อนที่ของหุ่นลอยในขณะหุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น,ลงและขึ้นลง	63
4.26 ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	64
4.27 ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า	65
4.28 ประสิทธิภาพของระบบ	66
6.1 โมเดลของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าจากคลื่นมหาสมุทรรูปแบบต่างด	71
6.2 ระบบของเทคนิคที่จะใช้ในโครงการ	72
6.3 อุปกรณ์แปลงผันพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าแบบ Single	73
6.4 อุปกรณ์แปลงผันพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าแบบระบบ	73
7.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ [16]	77
7.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งพลังงานไฟฟ้า [16]	78
7.3 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว [17]	79
7.4 เซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกโพลี [18]	79
7.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน [19]	80
7.6 การทำงานเซลล์แสงอาทิตย์	81
7.7 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์โดยต่อเข้ากับโหลด	82
7.8 กราฟคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	83
7.9 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเมื่อความเข้มแสงจากมากไปน้อย	84
7.10 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	85
7.11 บล็อกไดอะแกรมอินเวอร์เตอร์	86
7.12 เอช-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์	87
7.13 สวิตช์ S1 และ S3 ทำงาน	88
7.14 สวิตช์ S2 และ S3 ทำงาน	88
7.15 กราฟแสดงแรงดันของ เอช-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
7.16 การไบแอสมอสเฟต (ก) P-Channel (ข) N-Channel	89
7.17 ความสัมพันธ์ของแรงดัน V_G กับกระแส I_D ในย่านการทำงานของมอสเฟต [8]	93
7.18 วงจรขับเกตสวิตช์โดยใช้ Pulse Transformer	94
7.19 วงจรขับเกตสวิตช์โดยใช้ Opto Coupler	94
7.20 (ก) RC Snubber (ข) RC Snubber ใส่อินดักเตอร์เพิ่มเข้าไปช่วยลด di/dt	95
7.21 T Type Low Pass Filter	96
7.22 Pi Type Low Pass Filter	96
7.23 วงจรกรองในอินเวอร์เตอร์	96
8.1 แผนผังการทำงาน (Flow chart) ของเทคนิคการรบกวนและสังเกต (P&O)	98
8.8 แผนผังการทำงาน (Flow chart) ของเทคนิคการเพิ่มค่าความนำโดยใช้ค่าอัตราการผลิต มอดูเลชันอินเด็กแตกต่างกัน (Multiple step size Incremental conductance)	99
9.1 วงจรทดสอบหาคูณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink	100
9.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและแรงดันที่แต่ละความเข้มแสง	101
9.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่แต่ละความเข้มแสง	101
10.1 แบบจำลองสัญญาณพัลส์สวิตมอดูเลท แบบยูนิโพลาร์	102
10.2 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ความถี่สัญญาณไซน์ 50 Hz	103
10.3 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ความถี่สัญญาณไซน์ 40 Hz	103
10.4 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ความถี่สัญญาณไซน์ 30 Hz	103
10.5 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ความถี่สัญญาณไซน์ 20 Hz	104
10.6 กราฟสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันเอาต์พุต (ก) $m_a = 1$ (ข) $m_a = 0.8$ (ค) $m_a = 0.6$ (ง) $m_a = 0.4$	104
10.7 Micro-inverter 250W และ CDD monitoring system	105
10.8 ไดอะแกรมการทำงานและการเชื่อมต่อของ Micro-inverter	106
10.9 ค่าประสิทธิภาพการทำงานของ Micro-inverter	106
10.10 รูปแบบการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้าสู่ระบบกริดและส่งข้อมูลของอินเวอร์เตอร์ เข้าสู่ระบบอินเทอร์เน็ต	107
10.11 ไดอะแกรมการเชื่อมต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบกริดการไฟฟ้า	108
10.12 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบเชื่อมต่อกริดด้วยไมโครอินเวอร์เตอร์	109
10.13 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 1.5 กิโลวัตต์บริเวณสถานีสูบน้ำเกาะสี่ซัง	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากสถานการณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในปัจจุบันมีความต้องเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศ จึงทำให้ต้องหาแหล่งพลังงานใหม่มาทดแทนการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น การศึกษาและวิจัยหาแหล่งพลังงานทดแทนใหม่ๆที่เหมาะสมกับประเทศ จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูง เนื่องจากไม่มีผลกระทบต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยไม่ต้องคำนึงถึงการนำเข้าเชื้อเพลิงจากประเทศเพื่อนบ้าน ซึ่งมีความไม่แน่นอนในหลายๆปัจจัยต่างๆ ดังนั้นพลังงานคลื่นทะเลจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะเป็นพลังงานทดแทนแบบหนึ่งที่มีเริ่มมีการศึกษาและวิจัยภายในประเทศ

ทะเลมีแหล่งพลังงานคลื่นที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จำนวนมหาศาล เพียงแต่คลื่นที่มีในบ้านเรามีขนาดเล็กและไม่แน่นอน ซึ่งขึ้นอยู่กับแรงลมที่พัดผ่าน ดังนั้นในการจะนำพลังงานคลื่นมาใช้จึงต้องอาศัยพื้นที่ซึ่งต้องมีบริเวณกว้างและใหญ่มาก นั่นหมายถึงถึงจำนวนเงินที่จะนำมาลงทุนนั้นต้องมากตามไปด้วยเช่นกัน การใช้คลื่นทะเลมาเพื่อผลิตไฟฟ้านั้นถ้าจะให้ได้ผลดีจะต้องอยู่ในโซนที่มียอดคลื่นที่สูง และมีความเร็วมากซึ่งบริเวณนั้นจะต้องมีความเร็วลมด้วยซึ่งในประเทศไทยความสูงของคลื่นยังไม่สูงมากนัก ดังนั้นถ้าจะนำมาผลิตหรือใช้อย่างจริงจังจึงประสิทธิภาพที่ได้ยังคงต่ำและไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

การศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้เกี่ยวกับการใช้พลังงานทดแทนคือพลังงานจากธรรมชาติในปัจจุบันที่นิยมใช้งานกันมากคือ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากลมก็ยังไม่ค่อยนิยม แต่พลังงานทดแทนที่จะค้นคว้าในครั้งนี้คือ พลังงานคลื่นจากทะเลซึ่งการค้นคว้าครั้งนี้ใช้ชื่อว่า การศึกษาการผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยพลังงานน้ำกระเพื่อมใกล้ชายฝั่ง การค้นคว้านี้ต้องศึกษาหลายด้านไม่ว่าจะเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นนอกแบบโครงสร้างของเครื่องทดลองการออกแบบระบบกลไกการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความเหมาะสมในการผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก

1.1 วัตถุประสงค์

- เข้าใจและอธิบายลักษณะคลื่นน้ำบริเวณชายฝั่ง
- เข้าใจและอธิบายเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยพลังงานน้ำกระเพื่อมได้
- เข้าใจและอธิบายพฤติกรรมระหว่างแรงดันและกระแสเมื่อต่อชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายชุดได้
- เข้าใจและอธิบายการผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยพลังงานน้ำกระเพื่อมในกรณีที่ต่อตรงเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้

1.2 ขอบเขตของการดำเนินงาน

- ศึกษาลักษณะคลื่นน้ำบริเวณแนวชายฝั่ง
 - ศึกษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นน้ำบริเวณแนวชายฝั่ง
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ออกแบบและจัดสร้างระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก ด้วยพลังงานคลื่นน้ำกระเพื่อมในกรณี ที่ต่อตรงเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- สร้างระบบผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยพลังงานคลื่นน้ำกระเพื่อมไม่เกิน 4 ชุด
- สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า 12 V 20 W

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- ศึกษาลักษณะของคลื่นทะเลที่กระทบชายฝั่ง
- ศึกษาออกแบบโมเดลเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่ง เพื่อใช้ในการผลิต กระแสไฟฟ้า.
- ศึกษาเลือกใช้อุปกรณ์ในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่น ทะเล

ตารางการที่ 1.1 การดำเนินงานของงานวิจัย

แผนงานในแต่ละสัปดาห์	ต.ธ.-พ.ย.				ธ.ค.-ม.ค.				ก.พ.-มี.ค.				เม.ย.-พ.ค.			
	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7	1	3	5	7
1. รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของคลื่นที่กระทบชายฝั่ง																
2. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับคลื่นทะเลบริเวณอ่าวไทย																
3. ศึกษาและออกแบบโครงสร้างของเครื่องผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นชายฝั่งทะเล																
4. ศึกษาเลือกใช้อุปกรณ์กักเก็บพลังงานไฟฟ้า																
5. ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล																

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการที่ 1.1 การดำเนินงานการวิจัย (ต่อ)

แผนงานในแต่ละสัปดาห์	มี.ย.				ก.ค.				ส.ค.				ก.ย.			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. สํารวจสถานที่ปฏิบัติงานจริงเพื่อศึกษาลักษณะของคลื่น	■	■	■	■												
2. สร้างและทดสอบหุ่นลอย					■	■	■	■								
3. สร้างและทดสอบเครื่องผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำกระเพื่อม									■	■	■	■				
4. ทำการสรุปและประเมินผลที่ได้													■	■	■	■
5. จัดทำรายงาน													■	■	■	■

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้ความรู้ด้านการสร้างพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่น
- การแก้ปัญหาหน้างาน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ
- พัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนมาเป็นให้เป็นประโยชน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 คลื่นทะเล

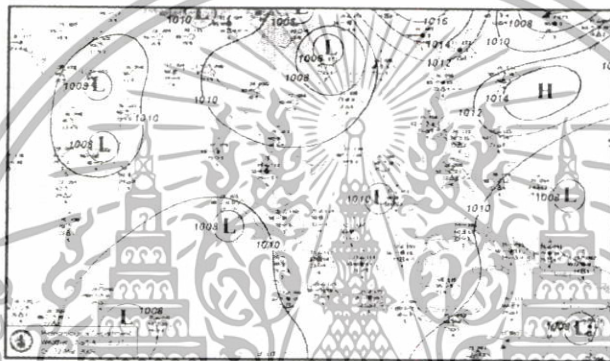
คลื่นเป็นสิ่งที่มียู่ตามธรรมชาติในทะเล คลื่นสามารถกำเนิดได้จากลม แผ่นดินไหว หรือแม้แต่เรือที่แล่นยังสามารถก่อให้เกิดคลื่น บางครั้งเรายังถือว่าน้ำขึ้นน้ำลงก็เป็นคลื่นชนิดหนึ่งที่มีคาบเวลาคคลื่นหลายชั่วโมง แต่ลมเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดคลื่นขึ้นในระดับผิวน้ำทะเล ซึ่งมีความหนืด (viscosity) เมื่อถูกลมพัดผ่านผิวน้ำ“จะยัด” ออกตามแรงลมแล้วจะ “หด” ตัวกลับเพื่อรักษาสมดุลด้วยแรงตึงผิว surface tension ทั้งนี้ น้ำก็มีลักษณะคล้ายวัตถุยืดหยุ่นอ่อนๆ elastic membrane โดยการยัดและหดเนื่องจากแรงดังกล่าวทำให้น้ำผิวน้ำโค้งขึ้นและโค้งลง undulate เกิดคลื่นขนาดเล็กขึ้นในที่สุด ripples or wavelets คลื่นขนาดเล็กๆ เหล่านี้จะปรากฏให้เห็นเมื่อมีลมพัดเท่านั้นถ้าลมหยุดพัดคลื่นเหล่านี้จะสลายตัวเกือบทันทีพูดในอีกแง่หนึ่งว่าเป็นคลื่นที่มีอายุสั้น ต่อมาเมื่อมีลมพัดต่อเนื่องกันเป็นเวลานานพอสมควรคลื่นเหล่านี้จะค่อยๆ ขยายโตขึ้นเพราะผิวน้ำที่“ขรุขระ” เนื่องจากมีคลื่นขนาดเล็กๆ ทำให้เกิดพื้นที่ผิวในส่วนที่จะรับลมเพิ่มขึ้น (ส่วนนูน) คลื่นที่ขยายโตขึ้นมีชื่อใหม่ว่าคลื่น Sea หมายถึง คลื่นที่ยังอยู่ในบริเวณที่มีลมพัดมีความยาวคลื่นสั้นและยอดคลื่นเตี้ย ผิวน้ำในตอนนี้นับสนุ่นววยและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาในระยะไกลเราจึงมักเห็นผิวน้ำมีลักษณะเป็นหลมเนินเหลี่ยมคล้าย “เพชร” เหตุที่ปรากฏเช่นนี้เพราะว่าโดยธรรมชาติลมพัดด้วยความเร็วและมีทิศทางที่ไม่แน่นอนในช่วงเวลาหนึ่ง ความเร็วและทิศทางอาจเปลี่ยนแปลงหลายดลบนนอกจากนี้ในบางครั้งลมยังเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนเวียนซ้ายเวียนขวาแล้วแต่กรณี คลื่นขนาดเล็กอาจซ่อนอยู่ในคลื่นขนาดใหญ่กว่าคลื่นที่มีความเร็วกว่าจะเคลื่อนที่ทับคลื่นที่ช้ากว่า คลื่นชนกันสลายตัวบางส่วนทำให้ส่วนที่เหลือมีทรวดทรงไม่สมประกอบ ฯลฯ

ต่อมาคลื่น Sea ซึ่งมีหลายขนาดและมีความเร็วต่างกันจะค่อยๆ ปรากฏทรวดทรงให้เห็นชัดขึ้น กล่าวคือพวกที่มีความเร็วมากกว่าจะวิ่งล้ำหน้าพวกที่เคลื่อนที่ช้ากว่านับว่าเป็นการแยกคลื่นหลายชนิดซึ่งเกิดพร้อมกันออกจากกันตามธรรมชาติ คลื่นที่แยกออกจากกันแล้วจะมียอดคลื่น crest และท้องคลื่น trough ตื้นกว่าเดิมเรียกคลื่นในตอนนี้น้ำคลื่นได้นำ swell หมายถึงคลื่นที่เกิดขึ้นนอกเขตลมพัดยอดคลื่นเตี้ยมนกลมกว่าเดิมเล็กน้อยโดยธรรมชาติของคลื่น คลื่นที่ค่อยๆ โตขึ้นในขณะที่มีลมพัดจะได้รับพลังงานจากลมเพิ่มขึ้น คลื่นจึงค่อยๆ มีความเร็วเพิ่มขึ้นในตอนแรกคลื่นเคลื่อนที่ช้ากว่าลม ต่อมาจะเท่ากับลมและในที่สุดจะเร็วกว่าลม ด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเคลื่อนที่ออกนอกเขตที่มีลมพัดได้ในธรรมชาติจึงเห็นคลื่นเคลื่อนที่นำหน้าลมหรือเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งได้อย่างอิสระโดยไม่มีลมพัดเลยจึงอาจเรียกคลื่นได้นำ swell ว่าเป็น free waves ในบริเวณที่มีคลื่นได้นำ ผิวน้ำทะเลจะลดความสับสนและขรุขระมากเริ่มมองเห็นคลื่นเคลื่อนที่อย่างเป็นระบบคลื่นหลายขนาดและด้วยความเร็วต่างๆ กันจะเคลื่อนที่ตามหลังกันเป็นขบวน wave train หรือเป็นกลุ่มมีลักษณะเฉพาะ system คลื่นที่นำหน้าอาจรวมตัวเมื่อเข้าเขตที่มีความตื้นเช่น เกาะใต้น้ำสันทรายใต้น้ำ ฯลฯ ในขณะที่คลื่นอายุน้อยจากแถวหลังจะวิ่งติดตามคลื่นแถวหน้าโดยลักษณะนี้เราจะเห็นคลื่นตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นที่เป็นที่สนใจของวิศวกรรมชายฝั่ง คือคลื่นที่เกิดจากลมหรือที่เรียกว่า Wind-generated wave หรือ gravity wave เพราะคลื่นประเภทนี้มีพลังงานคลื่นมากที่สุด Gravity wave มักมีความสูงไม่เกิน 10 เมตรและมีคาบคลื่นไม่เกิน 30 วินาที สาเหตุที่เราเรียกคลื่นจากลมว่า Gravity wave ก็เนื่องจากคลื่นประเภทนี้เกิดจากลมและแรงโน้มถ่วง ลมที่พัดเหนือน้ำจะพยายามยกผิวน้ำให้สูงขึ้น แต่ขณะเดียวกันแรงโน้มถ่วงของโลกจะพยายามดึงผิวน้ำลงมา หากแรงลมสามารถเอาชนะแรงโน้มถ่วงได้ ความสูงคลื่นจะเพิ่มขึ้น และความสูงคลื่นจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง ที่แรงลมและแรงโน้มถ่วงสมดุลกัน ลมที่พัดเหนือผิวน้ำจะส่งถ่ายพลังงานไปให้น้ำ และก่อให้เกิดคลื่น ความกดอากาศที่แตกต่างกันเหนือมหาสมุทรจะทำให้เกิดลมพัด ดังรูปที่ 2.1 ขนาดความสูงของคลื่นที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับความเร็วลม Wind speed ช่วงเวลาที่ลมพัด Wind duration และระยะทางเหนือผิวน้ำที่ลมพัดผ่าน Fetch length



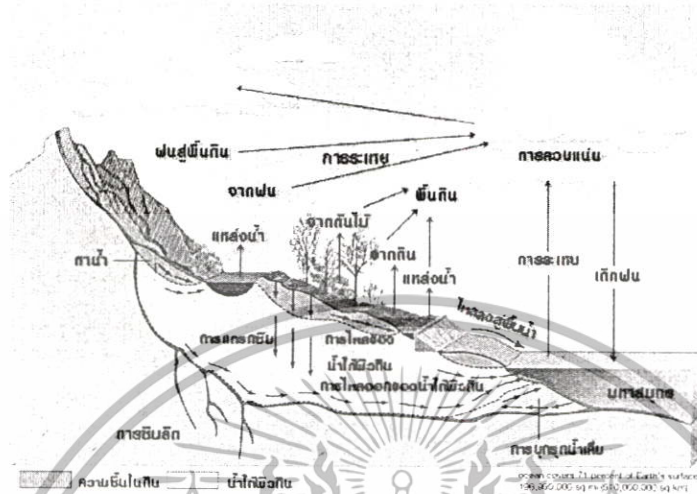
รูปที่ 2.1 แผนที่ความกดอากาศที่ก่อให้เกิดลม [1]

2.2 วัฏจักรของน้ำ

โลกมีบริเวณที่เป็นมหาสมุทรประกอบอยู่ถึง 3 ใน 4 ส่วน พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนเป็นวัฏจักรของน้ำขึ้น จากปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งมายังโลก $140,000 \times 1,012$ วัตต์ หรือ 140,000 เทราวัตต์ พลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 40,000 เทราวัตต์ หรือประมาณร้อยละ 23 ของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด ถูกใช้ในการเกิดวัฏจักรของน้ำเมื่อน้ำบนโลกได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ จะทำให้น้ำบนผิวโลกตามแหล่งต่างๆ ทั้งในห้วย หนอง คลอง บึง ทะเล และมหาสมุทร ระเหยกลายเป็นไอน้ำและลอยขึ้นไปในอากาศ เมื่อไอน้ำลอยสู่เบื้องบนแล้ว จะได้รับความเย็นและกลั่นตัวกลายเป็นละอองน้ำเล็กๆ ลอยจับตัวกันเป็นกลุ่มเมฆ เมื่อจับตัวกันมากขึ้นและกระทบความเย็นจะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำตกลงสู่พื้นโลก และจะเกิดกระบวนการเช่นนี้ซ้ำแล้วซ้ำเล่าเป็นวัฏจักรหมุนเวียนต่อเนื่องกันตลอดเวลา เรียกว่า วัฏจักรธรรมชาติของน้ำ ซึ่งทำให้มีน้ำเกิดขึ้นบนผิวโลกอย่างสม่ำเสมอ น้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นโลก บางส่วนอาจตกลงในแหล่งกักเก็บธรรมชาติที่อยู่บนที่สูง หรือตกลงมาในแหล่งกักเก็บที่มนุษย์สร้างขึ้นเช่น ฝาย เขื่อน เป็นต้น แหล่งกักเก็บน้ำเหล่านี้จะเป็นแหล่งสะสมพลังงานของน้ำในรูปของพลังงานศักย์ ซึ่งถ้าเป็นแหล่งกักเก็บที่อยู่บนที่สูงน้ำจะไหลลงสู่พื้นด้านล่างเป็นลักษณะของน้ำตกจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงานตามธรรมชาติ โดยพลังงานศักย์จะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ซึ่งมนุษย์สามารถนำเอาพลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นนี้ไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยหลักการนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มนุษย์จึงได้สร้างแหล่งกักเก็บน้ำดังกล่าวเพื่อใช้พลังงานจากน้ำไปผลิตกระแสไฟฟ้าวัฏจักรของน้ำและตัวอย่างการประยุกต์ใช้พลังงานจากน้ำในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วัฏจักรของน้ำและการประยุกต์ใช้พลังงานจากน้ำ [1]

วัฏจักรของน้ำ คือ การเกิดและการหมุนเวียนของน้ำที่อยู่ในโลกนั่นเอง การหมุนเวียนของน้ำเป็น Cycle อาจเริ่มนับได้จากมหาสมุทร เมื่อน้ำระเหยจาก มหาสมุทรไปสู่บรรยากาศ เป็นไอน้ำแล้ว ความแปรปรวน ของลมฟ้าอากาศจะทำให้เกิด ฝนตกลงสู่ผิวโลก ในทะเลบ้าง บนผิวดินบ้าง น้ำฝนที่ ตกบนดินก็จะเกิดการสูญเสียดูดซึม ลงดินเสียเป็นส่วนใหญ่ และด้วยเหตุอื่นบ้างเล็กน้อย เช่น ระเหย ชั่งในที่ลุ่ม พืชดูดไปใช้ ส่วนที่เหลือก็จะไหลลงแม่น้ำลำธารออกทะเล ส่วนที่ซึมลงดินนั้นก็ ค่อย ๆ ซึมออกสู่แม่น้ำลำธาร และไหลออกทะเลไปเช่นกัน แต่อาจช้ากว่ามากซึ่งจะเห็นได้ว่าสุดท้าย น้ำจะระเหยกลายเป็นไอน้ำสู่บรรยากาศ วัฏจักรของน้ำจึงไม่มีเริ่มต้นไม่มีที่สิ้นสุด หมุนเวียนอยู่เช่นนี้ ตลอดเวลา ปริมาณในชั้นตอนต่างๆ นั้นอาจผันแปรมากน้อยได้เสมอ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่ควบคุม ในชั้นตอนเหล่านั้น

ความชื้นในบรรยากาศ (Atmospheric Moisture) ความชื้นทุกชนิดที่มนุษย์เกี่ยวข้องกับอยู่ โดยทางปฏิบัติ สันนิษฐานว่าเริ่มต้นมาจากความชื้นในบรรยากาศ ที่เป็นจุดเริ่มต้น ที่จะสะดวกในการ ตามหาเส้นทางวัฏจักรของน้ำให้ครบวงจรความชื้นในบรรยากาศ เพราะกระบวนการระเหยจากดิน หรือผิวดิน เมฆและหมอกเกิดขึ้นโดยการกลั่นตัวของไอน้ำที่เกาะตัวบนอนุภาคเล็กๆ ในบรรยากาศ เช่น อนุภาคของเกลือหรือฝุ่น

หยาดน้ำฟ้า (Precipitation) เมื่อไอน้ำในอากาศถูกความเย็นทำให้เกิดการกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำเล็ก ๆ เมื่อรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ พวกมัน ก็จะตกลงมาในรูปของ "ฝน" ถ้าเม็ดฝนนั้นตกผ่านโซน ต่างๆ ของอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ก็จะกลายเป็นลูกเห็บ ถ้าการกลั่นตัวนั้นเกิดขึ้นในที่ซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งมันก็จะก่อตัวเป็นหิมะถ้าการกลั่นตัวของน้ำ เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตรงบนผิวพื้นที่เย็นกว่าอากาศ ก็จะเกิดเป็นไอน้ำค้ำแข็ง ขึ้นอยู่กับว่า อุณหภูมิของพื้นผิวนั้นสูงหรือต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

การซึมลงดิน (Infiltration) ฝนหรือหิมะที่ละลายในตอนแรกมีแนวโน้มที่จะเพิ่มความชื้นให้กับผิวดินก่อน จากนั้นก็จะเคลื่อนเข้าสู่ช่องว่าง ที่มีอยู่ในเนื้อดิน กระบวนการนี้เรียกว่าการซึมน้ำผ่านผิวดิน (Infiltration) สัตว์ส่วนต่าง ๆ ของน้ำก็จะถูกจัดการต่างกันไป ตามลักษณะช่องเปิดของผิวดิน อุณหภูมิ รวมถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในดินก่อนหน้านั้นแล้ว ถ้าหากผิวดินจับตัวแข็ง หรืออิมน้ำอยู่ก่อนแล้ว มันก็จะรับน้ำใหม่เข้าไปเพิ่มได้เพียงเล็กน้อยน้ำทั้งหมดก็จะถูกดูดซึม บางส่วนจะไหลซึมลงไป เป็นส่วนของน้ำใต้ดิน บางส่วนถูกพืชดูดไปใช้ประโยชน์แล้วคายระเหย คินสู่บรรยากาศ บางส่วนถูกบังคับให้ระเหย ไปด้วย แรงยึดเหนี่ยว (Capillary) ของช่องว่างในดิน ในภูมิประเทศที่มีความลาดเท และชั้นผิวดินบาง น้ำที่ถูกดูดซึม อาจไหลย้อนสู่ผิวดินได้ โดยการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เรียกว่าน้ำไหลใต้ผิวดิน (Sub-surface runoff)

การไหลของน้ำบนผิวดิน (Surface Runoff) เมื่อน้ำฝนที่ตกลงมามีมากเกินไปจนจะไหลซึมลงดินได้หมด ก็จะกลายเป็นน้ำท่า หน้าที่ดินหรือน้ำท่า เมื่อมันไหลไปเติมพื้นที่เป็นแอ่งลุ่มต่ำจนเต็มแล้ว มันก็จะไหลไปบนผิวดินต่อไป จนไปบรรจบกับระบบร่องน้ำในที่สุด แล้วก็ไหลตามเส้นทางของลำน้ำ จนกระทั่งลงสู่มหาสมุทร หรือแหล่งน้ำ ในแผ่นดินบางแห่งในระหว่างทางมันก็จะสูญเสียไปด้วยการระเหยสู่บรรยากาศ และการไหลซึมลงตามขอบตลิ่งและท้องน้ำ ซึ่งในส่วนนี้อาจจะเป็นไปได้ ตั้งแต่ 0 ไปจนถึง 100 % ของจำนวนทั้งหมด

การระเหย (Evaporation) น้ำในสถานะของเหลว เมื่อถูกความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์หรือแหล่งอื่นจะเปลี่ยนไปสู่สถานะก๊าซหรือเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "การระเหย"

การคายน้ำของพืช (Transpiration) หน้าที่พื้นฐานอย่างหนึ่งในกระบวนการดำเนินชีวิตของพืช ก็คือการนำเอาน้ำจากในดินผ่านเข้ามาทางระบบราก ใช้ประโยชน์ในการสร้างความเจริญเติบโตและการดำรงชีพ น้ำจะถูกปล่อยคืนสู่บรรยากาศ ทางรูพรุน ที่ปากใบในรูปของไอน้ำ กระบวนการคินความชื้นของดินให้แก่บรรยากาศนี้เรียกว่า การคายน้ำ (transpiration) ปริมาณของหยดน้ำฟ้าที่กลับคืนสู่บรรยากาศนี้จะมากน้อยต่างกันไปตามลักษณะของพืชและความชื้นที่มีอยู่บริเวณระบบรากของมัน โดยตรงบนผิวพื้นที่เย็นกว่าอากาศ ก็จะเกิดเป็นไอน้ำค้ำแข็ง ขึ้นอยู่กับว่า อุณหภูมิของพื้นผิวนั้นสูงหรือต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

2.3 กำลังและพลังงานของน้ำ

การประยุกต์ใช้พลังงานจากน้ำที่อยู่ในแหล่งกักเก็บที่อยู่สูงอย่างเช่น น้ำตก หรือเขื่อน ซึ่งน้ำสะสมพลังงานอยู่ในรูปของพลังงานศักย์นั้น สามารถคำนวณได้โดยสูตร

$$E_p = mgH \quad (2.1)$$

โดยที่ E_p คือ พลังงานศักย์ของน้ำ (J)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- M คือ มวลของน้ำ (kg)
- g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (มีค่าคงที่ 9.81 m/s^2 หรืออาจใช้ค่าประมาณ 10 m/s^2)
- H คือ ความสูงในแนวตั้งของแหล่งน้ำเหนือระดับอ้างอิง (m)

จากสมการการคำนวณค่าพลังงานศักย์ของน้ำ (2.1) ถ้าต้องการคำนวณหาค่าพลังงานศักย์ของน้ำที่มีอยู่ทั่วโลกเพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า โดยประมาณว่าจากแหล่งน้ำทั้งหมดบนโลกมีประมาณ 1,017 กิโลกรัม และค่าเฉลี่ยความสูงของแหล่งน้ำทั้งหลายอยู่สูงเหนือระดับน้ำทะเล 800 เมตร จะได้ว่าค่าพลังงานจากน้ำประมาณ $8 \times 1,020$ จูล หรือประมาณ 200,000 เทราวัตต์ ชั่วโมงต่อปี ซึ่งมีค่าประมาณ 2 เท่าของพลังงานต่อปีที่บริโภคกันทั่วโลก

บางครั้งอาจมีการใช้ปริมาณอีกประเภทหนึ่งเพื่ออธิบายค่าพลังงาน เนื่องจากพลังงานที่ได้จากน้ำนั้นเป็นลักษณะของพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาอย่างต่อเนื่องเช่น พลังงานจากน้ำตกหรือพลังงานที่เกิดจากการปล่อยน้ำของเขื่อน จึงมักใช้อธิบายเป็นค่าพลังงานต่อหน่วยเวลาที่เรียกว่า กำลัง (power) ซึ่งกำลังของน้ำที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำ (flow rate) เป็นกิโลกรัมต่อวินาที หรือโดยทั่วไปมักใช้เป็น ปริมาตรการไหล (volume flow) เป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

จากสมการ (2.1) ถ้าเปลี่ยนค่าพลังงานให้อยู่ในรูปของกำลัง หรือค่าพลังงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา จะได้ว่ากำลังของน้ำขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีมวล 1,000 กิโลกรัม จะมีค่าเท่ากับ

$$P = (1000 \times g) \times 10H \quad (2.2)$$

โดยที่ P คือ กำลัง วัตต์ (W)
 Q คือ ปริมาตรการไหล ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3/s)

หรือถ้าต้องการทำให้หน่วยของกำลังเป็น กิโลวัตต์ (kW) สมการ (2.2) จะได้เป็น

$$P = 10QH \quad (2.3)$$

ซึ่งจะต้องมีการบังคับน้ำให้พุ่งเป็นลำเพื่อฉีดเข้าไปที่กังหัน สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงนอกจากระดับความสูงของระดับน้ำแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงความเร็วของน้ำ (water speed) และอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

พิจารณาจากการอนุรักษ์พลังงาน (energy conservation) จะได้ว่าน้ำเมื่อตกลงมาพลังงานศักย์ของน้ำจะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ทั้งหมด ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$E_p = E_k \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$mgH = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.5)$$

$$v^2 = 2gH \quad (2.6)$$

ความเร็วของน้ำหาค่าได้จากสมการ

$$v = \sqrt{20H} \quad (2.7)$$

พิจารณาการไหลของลำน้ำที่พุ่งผ่านพื้นที่หน้าตัด A ด้วยความเร็ว v จะได้ปริมาตรของการไหลของน้ำ

$$Q = Av \quad (2.8)$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่าสมการ (2.7) ใน (2.8) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรการไหล พื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ และระดับความสูง คือ

$$Q = A \times \sqrt{20H} \quad (2.9)$$

ปริมาตรการไหลของน้ำจะแปรผันโดยตรงกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ และระดับความสูงของแหล่งน้ำ

2.4 พลังงานน้ำ

น้ำเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติและหมุนเวียนให้ใช้อย่างไม่มีวันหมด น้ำถือเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งมนุษย์ใช้ประโยชน์จากน้ำทั้งการบริโภคและอุปโภคนอกจากนี้ยังใช้น้ำเป็นแหล่งพลังงานในการผลิตไฟฟ้าเพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ พลังงานที่ได้จากน้ำเป็นพลังงานสะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ จึงทำให้ทั่วโลกมีการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเมื่อเปรียบเทียบกับ การบริโภคพลังงานทั้งโลกแล้ว การบริโภคพลังงานจากน้ำมีประมาณร้อยละ 3 เท่านั้น สาเหตุอาจเกิดจากความแตกต่างของลักษณะทางภูมิศาสตร์ของแต่ละพื้นที่ ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการสร้างเป็นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ การใช้พลังงานจากน้ำหากไม่ใช่น้ำจากแหล่งธรรมชาติแล้วอาจเกิดผลกระทบในเรื่องของสิ่งแวดล้อมอื่นได้ เช่น การสร้างเขื่อน ซึ่งจะต้องเสียพื้นที่ป่าไม้และส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาต่อพื้นที่บริเวณนั้นเป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ประเภทของพลังงานน้ำ

มนุษย์ใช้พลังงานจากน้ำจากแหล่งต่างๆ ในรูปแบบที่แตกต่างกัน แต่มีวัตถุประสงค์หลักเหมือนกันคือการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นการแบ่งประเภทของพลังงานน้ำในที่นี้จะแบ่งตามลักษณะและรูปแบบการเกิดพลังงานจากน้ำ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

2.5.1 พลังงานน้ำตกหรือพลังงานน้ำจากเขื่อน

ไม่มีใครทราบแน่ชัดว่า การประดิษฐ์วงล้อน้ำ (water wheel) เพื่อนำเอาพลังงานจากน้ำมาใช้ประโยชน์นั้นเกิดขึ้นครั้งแรกตั้งแต่เมื่อใด แต่การใช้พลังงานน้ำสำหรับการท่อน้ำหรือการชลประทานมีมานานกว่า 5,000 ปีแล้ว และวิวัฒนาการต่อมาของการใช้พลังงานน้ำคือการนำพลังงานน้ำมาเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานกลเพื่อใช้ในการโม่แป้งและสูบน้ำ แต่ในปัจจุบันถูกใช้สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า พลังงานที่ได้รับจากน้ำตกหรือพลังงานน้ำจากเขื่อน (hydro energy) เป็นพลังงานที่เกิดจากการเปลี่ยนพลังงานศักย์ของน้ำซึ่งอยู่ในแหล่งที่อยู่สูงกว่าระดับอ้างอิงให้กลายเป็นพลังงานจลน์ ในรูปแบบของน้ำที่ตกลงจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำตามธรรมชาติด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยถ้าเป็นการไหลตกลงมาของน้ำจากแหล่งธรรมชาติจะเรียกว่าเป็นพลังงานน้ำตก และถ้าเป็นน้ำที่ตกลงมาจากแหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้นหรือดัดแปลงสภาพธรรมชาติ เพื่อกักเก็บน้ำในลักษณะของเขื่อนเรียกว่า เป็นพลังงานน้ำจากเขื่อน เช่น น้ำตกที่เกิดจากการสร้างเขื่อนกั้นน้ำ น้ำตกจากทะเลสาบบนเทือกเขา ลงสู่หุบเขา กระแสน้ำในแม่น้ำที่ไหลตกหน้าผา เป็นต้น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำอาศัยการเปลี่ยนรูปของพลังงานจลน์จากการไหลเชี่ยวของน้ำในแม่น้ำ หรือการตกจากที่สูงของน้ำตกไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยผ่านกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานน้ำที่ได้จะขึ้นอยู่กับความสูงของน้ำและอัตราการไหลของน้ำที่ถูกปล่อยออกมา ดังนั้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานน้ำจึงจำเป็นต้องเลือกบริเวณที่เหมาะสม ทำให้การลงทุนสร้างเขื่อนต้องใช้งบประมาณค่อนข้างมาก แต่อย่างไรก็ตาม ผลจากการสำรวจ พบว่าทั่วโลกยังนำพลังงานจากน้ำมาผลิตกระแสไฟฟ้าน้อยกว่าการใช้แหล่งพลังงานทดแทนจากประเภทอื่น

จากการสำรวจพบว่าทั่วโลกมีการใช้พลังงานจากน้ำเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าเมื่อปี ค.ศ. 2002 รวมกำลังการผลิตประมาณ 740 จิกะวัตต์ ซึ่งข้อมูลนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนไปบ้างเล็กน้อย เพราะมีการกระจายของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็กไปตามแหล่งต่างๆ หรือเป็นของเอกชน จึงอาจทำให้ขาดข้อมูลในส่วนนี้ไป อย่างไรก็ตามพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่ทั่วโลกซึ่งได้จากการผลิตจากพลังงานน้ำ คิดเป็นประมาณร้อยละ 25 เท่านั้น ซึ่งถือว่ายังค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณการบริโภคพลังงานไฟฟ้าทั่วโลก โดยจากข้อมูลเมื่อปี ค.ศ. 2003 พบว่า 5 ประเทศอันดับแรก ที่มีการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานน้ำมากที่สุดของโลกได้แก่ บราซิลร้อยละ 11.6 แคนาดาร้อยละ 11.5 จีนร้อยละ 10.8 สหรัฐอเมริการ้อยละ 10.2 และรัสเซียร้อยละ 6.0

นอกจากนี้ยังมีการใช้พลังงานน้ำอีกรูปแบบหนึ่ง โดยอาศัยพลังงานจลน์ของกระแสน้ำที่ไหลเชี่ยว เนื่องจากกระแสน้ำที่มีความเร็วมากพลังงานที่ได้จะมากตามไปด้วย พลังงานจากกระแสน้ำนี้สามารถนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า ในปัจจุบันแหล่งน้ำที่มีลักษณะอย่างนี้มีไม่มากเพราะแหล่งน้ำที่มีลักษณะนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อนข้างหายาก ที่มีอยู่เช่น ที่แม่น้ำฟลอริดาในสหรัฐอเมริกา มีการติดตั้งกังหันน้ำจำนวน 200 ตัว เพื่อ
 ดักทางไหลของน้ำ ทำให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 1,000 เมกะวัตต์

2.5.2 พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง

การขึ้นลงของน้ำเป็นธรรมชาติที่เกิดขึ้นทุกวันตลอดเวลา เป็นธรรมชาติที่มนุษย์สามารถทำนาย
 ได้ค่อนข้างแม่นยำทั้งในมิติของเวลาและศักยภาพของพลังงานที่พึงได้ การขึ้นลงของน้ำเกิดจากอิทธิพล
 ของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์จากการเคลื่อนที่ของโลก และดวงจันทร์ส่วนดวงอาทิตย์มีผลเพียง
 เล็กน้อยเท่านั้น รูปแบบของการประยุกต์ใช้พลังงานจากการขึ้นลงของน้ำ ดังในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะการใช้พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง [3]

รูปที่ 2.4 การหาค่าพลังงานน้ำขึ้นน้ำลง [3]

การหาค่าพลังงานจากน้ำขึ้นน้ำลงสามารถหาได้ดังนี้ จากรูปที่ 2.4 ถ้าให้ R เป็นความแตกต่าง
 ระหว่างระดับความสูงของน้ำในแอ่งทั้งสองและ A เป็นพื้นที่ผิวหน้าของแอ่งน้ำ จะได้ว่า

$$\text{ปริมาณน้ำขึ้นน้ำลง} = AR \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าน้ำมีความหนาแน่นเป็น ρ จะได้ว่า

$$\text{มวลของน้ำที่ขึ้นลง} = AR\rho \quad (2.11)$$

นั่นคือแรงที่เกิดจากการถ่ายเทน้ำจากแอ่งหนึ่งไปสู่อีกแอ่งหนึ่ง F มีค่าเป็น

$$F = AR\rho g \quad (2.12)$$

พลังงานที่เกิดขึ้นสามารถหาค่าได้จากงานในการถ่ายเทน้ำ

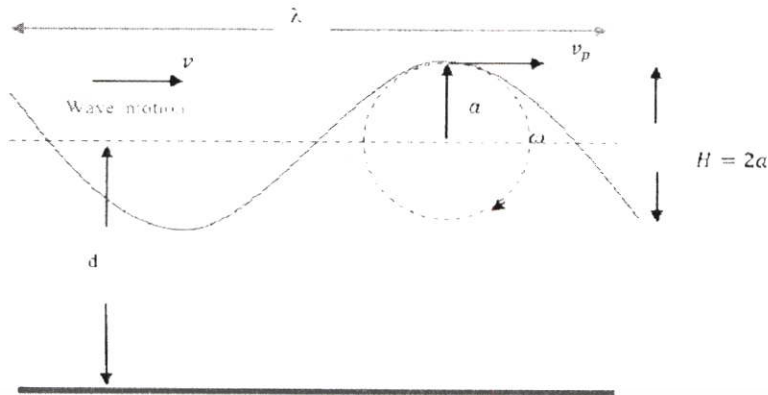
$$E = AR\rho g \frac{P}{2} = \rho g AR^2 \quad (2.13)$$

สำหรับหลักการทั่วไปในการเปลี่ยนพลังงานน้ำขึ้นน้ำลงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยความแตกต่างระหว่างระดับความสูงของน้ำในแหล่ง 2 แหล่งที่เชื่อมต่อกัน โดยแหล่งหนึ่งจะมีลักษณะเหมือนเป็นอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นในขณะที่น้ำขึ้น น้ำจะไหลเข้าไปสู่อ่างเก็บน้ำนี้และเมื่อน้ำลง น้ำจะไหลออกจากอ่างเก็บน้ำนี้ การไหลเข้าและไหลออกของน้ำจากอ่างเก็บน้ำจะถูกบังคับให้ไหลผ่านกังหันน้ำที่ต่อเชื่อมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อกังหันน้ำได้รับแรงดันจากน้ำจะเกิดการหมุนและทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าออกมาได้ ซึ่งมีหลักการคล้ายกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานน้ำตก แต่ที่แตกต่างกันคือลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำ อย่างไรก็ตามพลังงานที่ได้จากการขึ้นลงของน้ำนี้ จะไม่ค่อยสม่ำเสมอและมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากในช่วงการขึ้นลงของน้ำ ดังนั้นการออกแบบระบบเพื่อให้สามารถควบคุมอัตราการไหลเข้าออกในอ่างเก็บน้ำจึงต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมซึ่งจะช่วยทำให้ได้พลังงานจากพลังงานน้ำขึ้นน้ำลงสม่ำเสมอขึ้น

2.5.3 พลังงานคลื่น

คลื่น (wave) เป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการที่มีลมพัดผ่านพื้นผิวของทะเลหรือมหาสมุทร ดังนั้นขนาดของคลื่นที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านบริเวณนั้น การเคลื่อนที่ของคลื่นจะมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (sinusoidal wave) ซึ่งมีปริมาณพื้นฐานทางฟิสิกส์ที่ควรรู้คือ ความยาวคลื่น (wavelength, λ) ความถี่ของคลื่น (frequency, f) ความเร็วของคลื่น (velocity, v) และความสูงของคลื่น (amplitude, a) ดังรูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์และการคำนวณปริมาณต่างๆ เกี่ยวกับคลื่น มีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ลักษณะของคลื่นน้ำที่เป็นรูปคลื่นไซน์ [3]

ความสัมพันธ์ของปริมาณต่างๆ ของคลื่น สามารถหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$v = \lambda f \quad (2.14)$$

ถ้าให้ T คือ คาบ ซึ่งเป็นส่วนกลับกับความถี่ นั่นคือ สมการ $f = \frac{1}{T}$ สามารถเขียนได้ เป็น

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2.15)$$

ค่าความถี่เชิงมุม (angular frequency, ω) ของคลื่น สามารถหาได้จาก

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (2.16)$$

กรณีที่ความสูงของคลื่น มีค่ามากกว่าความลึกของทะเลลึกๆ ค่าความยาวคลื่นจะสามารถหาได้จาก

$$\lambda = \frac{2\pi g}{\omega^2} \quad (2.17)$$

จากสมการ (2.16) และ (2.17) จะได้ว่า

$$T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}} \quad (2.18)$$

เมื่อพิจารณาจากสมการ (2.14)-(2.18) จะได้ว่า ค่าความเร็วของผิวคลื่น สามารถเขียนได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \frac{\omega \lambda}{2\pi} = \frac{gT}{2\pi} = g \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi g}} \quad (2.19)$$

ค่าพลังงานของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นจูลต่อเมตร (J/m) ซึ่งเกิดจากผลรวมของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของคลื่น สามารถหาได้จาก

$$W = \frac{\rho g H^2}{g} \quad (2.20)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)
 H คือ ระยะความสูงจากท้องคลื่นถึงสันคลื่น $= 2a$

ดังนั้นพลังงานของคลื่นที่มีความยาวคลื่น λ จะมีค่าเป็น

$$W = \frac{\rho g H^2}{g} \quad (2.21)$$

จากสมการ (2.16), (2.17) และ (2.21) จะได้ค่าพลังงานรวมต่อหนึ่งหน่วยคลื่นเป็น

$$W = \frac{\pi \rho g^3 H^2}{4\omega^2}$$

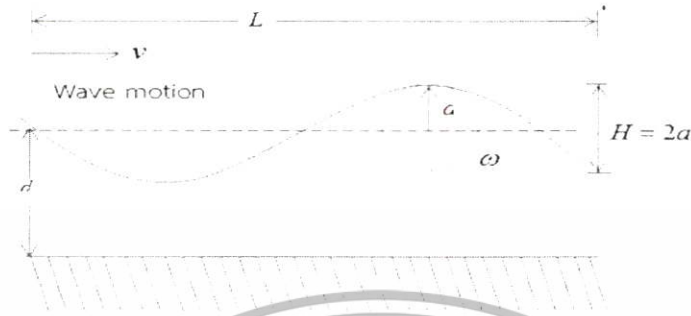
หรือ

$$W = \frac{1}{16\pi} \rho g^3 H^2 T^2 \quad (2.22)$$

ค่าพลังงานของคลื่นจะขึ้นอยู่กับความเร็วของคลื่นและขนาดความสูงของคลื่น โดยการประมาณการจากทฤษฎีสามารถกล่าวได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นในบริเวณชายฝั่งยาว 100 กิโลเมตรสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 2,000 เมกะวัตต์ โดยเป็นการประเมินค่าพลังงานที่จะได้จากคลื่นเฉพาะแถบชายฝั่งส่วนนอกชายฝั่งออกไปการใช้พลังงานคลื่นเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าทำได้ค่อนข้างยากเพราะถึงแม้ในเขตทะเลลึกจะมีพลังงานคลื่นมหาศาล แต่การนำเอาพลังงานคลื่นในบริเวณดังกล่าวมาใช้ประโยชน์จะต้องมีการสร้างสถานีเพื่อผลิตไฟฟ้ากลางทะเลลึกซึ่งเป็นงานที่มีความยุ่งยากและซับซ้อนมากและต้องใช้ทุนอย่างมหาศาล

คลื่นเหนือมหาสมุทรส่วนมากแล้วจะมีคาบคลื่นระหว่าง 3 ถึง 25 วินาที เราเรียกคลื่นชนิดนี้ว่า Gravity waves การวิเคราะห์คลื่นมีความจำเป็นสำหรับทุกๆโครงการที่ตั้งอยู่ใกล้ฝั่ง เนื่องจากคลื่นจะกำหนดแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง อย่างไรก็ตามคลื่นทะเลในความเป็นจริงนั้นไม่มีสมการใดสามารถอธิบายได้อย่างแม่นยำ วิศวกรชายฝั่งจึงจำเป็นต้องกำหนดรูปแบบคลื่นอย่างง่ายเพื่อพยายามที่จะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ โดยเราจะกำหนดให้คลื่นมีลักษณะเป็นรูป Sine และมีลักษณะ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะของคลื่นน้ำที่เป็นรูปคลื่นไซน์

โดยที่

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

มวลของน้ำในคลื่นต่อหน่วยความยาวของหน้าคลื่นเห็นในระดับน้ำทะเลมีค่า

$$E = \rho \left(\frac{L}{2} \right) \left(\frac{a}{\sqrt{2}} \right)^2 \quad (2.23)$$

พลังงานศักย์ของคลื่นมีค่า

$$E_p = \rho \left(\frac{L}{2} \right) \left(\frac{a}{\sqrt{2}} \right) g \left(\frac{a}{\sqrt{2}} \right)$$

$$= \frac{\rho L a^2 g}{4} \quad (2.24)$$

กำลังของคลื่นมีค่า

$$P = \frac{\rho L a^2 g}{4T} \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ T คือเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ จะให้ความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์กับ T ดังสมการที่ (2.26)

$$L = \frac{T^2 g}{2\pi} \quad (2.26)$$

แทนสมการที่ (2.25) ใน (2.26)

$$P = \frac{\rho g^2 a^2 T}{8\pi} \quad (2.27)$$

โดยที่ E_p คือ พลังงานศักย์ของคลื่น (J/m)
 P คือ กำลังของคลื่น (W/m)

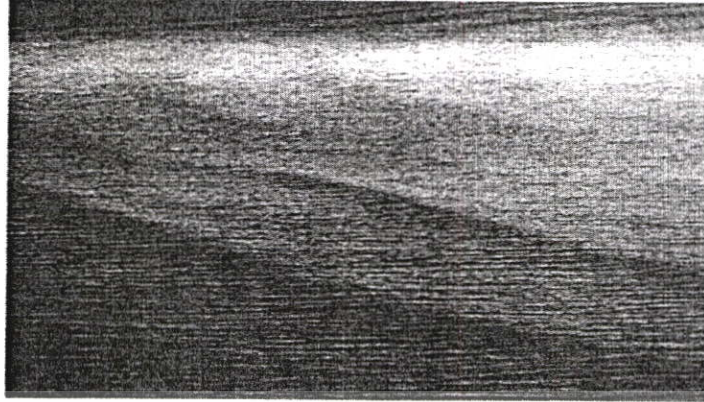
เราสามารถแบ่งคลื่นออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ คลื่น Sea และคลื่น Swell ซึ่งคลื่น Sea จะหมายถึงคลื่นที่เกิดจากลมที่พัดเหนือพื้นที่ ลักษณะของคลื่น Sea จะมีความสูงและคาบที่น่ายับสน สันคลื่นจะสั้นๆ และแตกห่างกัน เมื่อคลื่นที่เกิดขึ้นได้เคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิด คลื่นที่มีความยาวมากกว่าจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าคลื่นที่มีความยาวน้อยกว่าทำให้เกิดการจับกลุ่ม ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะคลื่น Sea

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่มาจากกระยะไกลจะเรียกว่าคลื่น Swell เราจะสังเกตเห็นว่าคลื่น Swell มีสันคลื่นยาวชัดเจนและมีทิศทางเคลื่อนที่หลักเพียงทิศเดียว (Unidirectional) คลื่นที่เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่กำเนิดจะสูญเสียพลังงานไปบ้าง เนื่องจากแรงเสียดทานของอนุภาคน้ำ แรงเสียดทานจากพื้นทะเล แรงเสียดทานกับอากาศด้านบน ทำให้คลื่น Swell จะมีลักษณะที่มีความยาวคลื่นมากกว่าแต่มีความสูงน้อยกว่าคลื่น Sea ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ลักษณะคลื่น Swell [1]



รูปที่ 2.9 ลักษณะคลื่นทะเลชายฝั่ง [1]

คลื่นทะเลชายฝั่งเกิดจากคลื่น Swell ที่เคลื่อนที่เข้าใกล้ชายฝั่ง เมื่อเข้าใกล้ชายฝั่งมากขึ้น แรงเสียดทานของพื้นทะเลจะมีมากขึ้นทำให้มวลน้ำที่บริเวณผิวน้ำเคลื่อนที่เร็วกว่ามวลน้ำบริเวณท้องคลื่น จึงเป็นผลให้คลื่นยกตัวสูงขึ้นจนไม่สามารถรักษาสสมดุลได้ ผิวน้ำของคลื่นก็จะแตกออก เราเรียกว่า “คลื่นหัวแตก” (Breaker) เราจะสังเกตเห็นได้เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้ามากระทบฝั่ง น้ำจะแตกซ่าเป็นฟอง กลายเป็นฟองคลื่นบนหาด ดังรูปที่ 2.9

2.6 แรงลอยตัว

การยกวัตถุที่จมในของเหลว จะมีน้ำหนักเบากว่าการยกวัตถุชิ้นนั้นในอากาศ ทั้งนี้เพราะของเหลวจะมีแรงลอยตัวกระทำขึ้นผ่านจุดศูนย์ถ่วงของวัตถุ ซึ่งหลักการพื้นฐานของการลอยตัวนี้ อาร์คิมิดีส(Archimedes) นักคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ชาวกรีกได้เป็นผู้ค้นพบมีใจความดังนี้ “วัตถุที่จมอยู่ในของเหลวทั้งก้อนหรือบางส่วนก็ตาม ของไหลจะส่งแรงลอยตัวในแนวตั้งกระทำในทิศทางขึ้นต่อวัตถุ ซึ่งแรงลอยตัวของของไหลนี้มีค่าเท่ากับน้ำหนักของของไหลที่ถูกวัตถุนั้นแทนที่”

แรงลอยตัว (Buoyancy Force) เป็นแรงที่ของเหลวกระทำต่อวัตถุที่จมอยู่ในของเหลวถูกเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ “ F_b ” มีหน่วยเป็น (N)

จากหลักการของอาร์คิมิดีสสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำรายงานหรือการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (2:28) การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่น หมายถึง ปริมาณมวลสารของสสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร สัญลักษณ์ที่ใช้แทนความหนาแน่น คือ ρ

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.29)$$

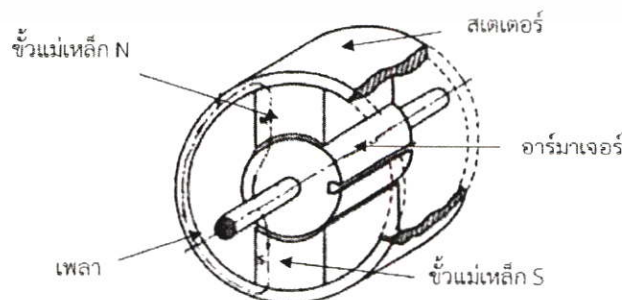
โดยที่	F_g	คือ แรงลอยตัวที่กระทำต่อวัตถุ (N)
	ρ	คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
	m	คือ มวลของของไหล (kg)
	V	คือ ปริมาตรของของไหล (m^3)
	V_d	คือ ปริมาตรของวัตถุส่วนที่จมในของไหล (m^3)
	g	คือ ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลก มีค่าเท่ากับ $9.81 (m/s^2)$

2.7 เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องกลไฟฟ้ารุ่นแรกๆ ที่ใช้งานมาอย่างยาวนาน เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงสามารถทำงานได้สองแบบ คือ ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งปัจจุบันได้นิยมนำเอามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไปใช้งานในงานอุตสาหกรรมเพราะควบคุมความเร็วกับแรงบิดของมอเตอร์ได้ง่าย เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้่าเป็นต้น

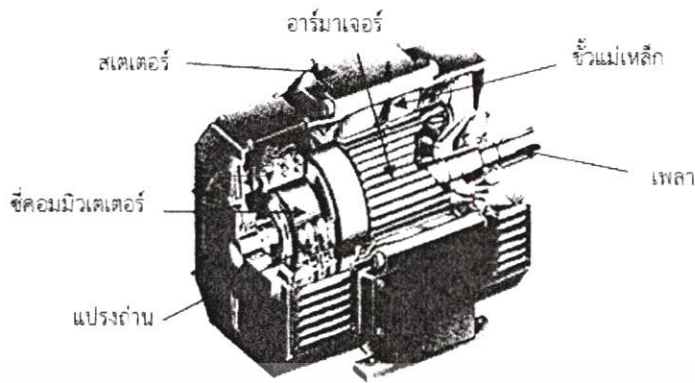
2.7.1 โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

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



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



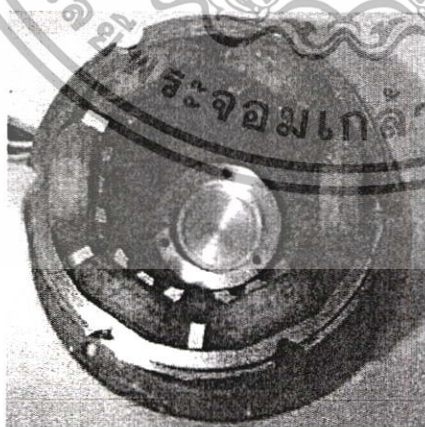
รูปที่ 2.11 โครงสร้างจริงของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง [2]

2.7.2 สเตเตอร์(Stator)

สเตเตอร์(Stator) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ทำด้วยสารเฟอร์โรแมกเนติก มีขั้วแม่เหล็กและแปรงถ่านติดตั้งอยู่ดังรูปที่ 2.11 ส่วนสเตเตอร์ทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของวงจรมแม่เหล็กโดยจะกำหนดแนวทางของสนามแม่เหล็กให้อยู่ภายในเครื่องจักรจากขั้วแม่เหล็กขั้วหนึ่งผ่านช่องอากาศไปยังโรเตอร์และผ่านช่องอากาศไปยังขั้วแม่เหล็กอีกขั้วหนึ่งโดยครบวงจรรอบปิดที่ส่วนสเตเตอร์ดังรูปที่ 2.10

2.7.3 ขั้วแม่เหล็ก (Filed Pole)

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



รูปที่ 2.12 ขดลวดที่พันบนแกนเหล็กและวางรอบตัวสเตเตอร์ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 โรเตอร์(Rotor)

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

2.7.5 วงแหวนแยก(Split-ring)

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

2.7.6 แปรงถ่าน(Brushes)

แปรงถ่าน (Brushes) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ทำด้วยผงถ่านคาร์บอน (Carbon graphite) ซึ่งต้องมีคุณสมบัติที่สึกกร่อนง่ายกว่าทองแดงเนื่องจากเวลาใช้งานจะสัมผัสอยู่กับวงแหวนแยกส่วนนี้ใช้สำหรับเป็นจุดเชื่อมต่อดวงจรไฟฟ้าระหว่างขดลวดอาร์มาเจอร์กับวงจรไฟฟ้าภายนอกดังรูปที่ 2.11

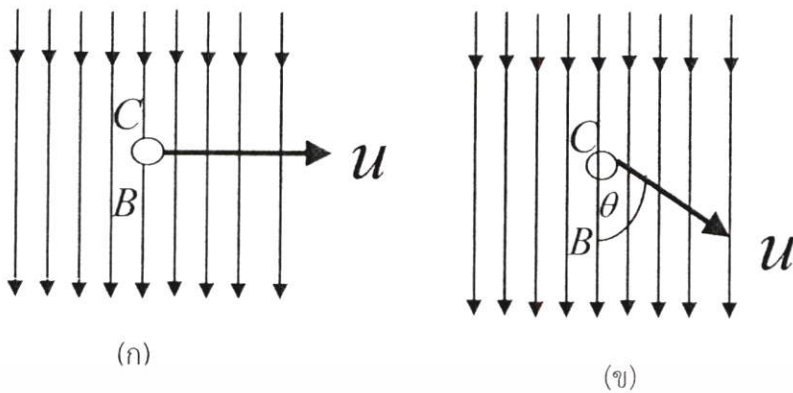
2.8 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่(Electromotive Force)

เมื่อบางจรมแม่เหล็กได้รับการกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสสลับจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น ซึ่งถ้าเป็นในกรณีที่ลวดตัวนำหรือขดลวดไม่มีการเคลื่อนที่และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องขดลวดมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่ากระแส 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 ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวข้องลวดตัวนำ ดังนั้นจะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ e หน่วยเป็น V ขึ้นที่ลวดตัวนำเรียกชื่อค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ (Electromotive Force)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการเคลื่อนที่ [2]

$$e = \frac{Bl dx}{dt} = Bl \frac{dx}{dt} = Blu \quad (2.30)$$

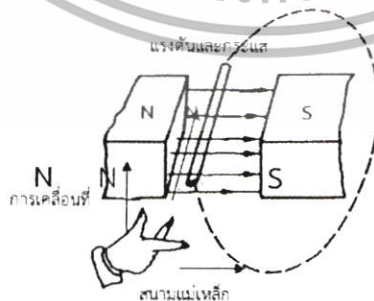
เมื่อ u เป็นความเร็ว (Velocity) หน่วยเป็น meter/second และถ้าลวดตัวนำ C เคลื่อนที่ทำมุม θ กับแนวสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 2.9 (ข) ค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ

$$e = Blu \sin \theta \quad (2.31)$$

โดยที่

e
 l
 B
 u
 θ

คือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V)
คือ ความยาวลวดตัวนำ (m)
คือ ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Wb/m^2)
คือ ความเร็ว (m/s)
คือ มุมระหว่างความเร็วของลวดตัวนำกับสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.14 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากการเคลื่อนที่และกฎมือขวาของเฟลมมิ่ง [2]

จากหลักการดังกล่าวข้างต้นการเกิดค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ e สามารถแสดงด้วยโครงสร้างดังรูปที่ 2.14 และกำหนดได้โดยการใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง (Fleming's Right-hand rule) ดังรูปที่ 2.14 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูอาจารย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักเรียนเห็นใบใช้ประโยชน์จากการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 จะเห็นได้ว่าถ้าลวดตัวนำมีการเคลื่อนที่ในแนวขนาน $\theta = 0^\circ$ กับแนวสนามแม่เหล็กจะไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ดังนั้นหลักการนี้สามารถนำไปอธิบายการทำงานของเครื่องจักรไฟฟ้าหมุนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนรูปพลังงานกลในรูปความเร็ว ω เป็นพลังงานไฟฟ้าในรูปของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ e โดยมีสนามแม่เหล็ก B เป็นกลาง

2.9 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ได้จากแปรงถ่าน



รูปที่ 2.15 ลักษณะสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ได้จากแปรงถ่านที่ตำแหน่งมุม θ ต่างๆ [2]

ในกรณีที่เครื่องจักรทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อต้องการให้ได้สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (กระแสมีทิศทางเดียว) เพื่อจ่ายให้กับวงจรไฟฟ้าภายนอกจะสามารถกระทำได้โดยการเพิ่มส่วนประกอบที่เรียกว่าส่วนวงแหวนแยกและส่วนแปรงถ่านดังรูปที่ 2.15(ก) จากรูปจะเห็นได้ว่าลวดตัวนำแต่ละตัวจะเชื่อมต่ออยู่วงแหวนแต่ละชั้น (วงแหวน 2 ชั้นแยกจากกัน) และจะมีแปรงถ่านจำนวน 2 ชั้นวางอยู่กับที่ โครงสร้างลักษณะนี้เป็นการกำหนดให้แปรงถ่านแต่ละชั้นจะเลือกสัมผัสเฉพาะวงแหวนที่กำหนดให้เท่านั้น นั่นคือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ได้จะมีทิศทางเดิมเสมอซึ่งจะเห็นได้ว่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแปรงถ่านทั้งสองชั้นจะมีลักษณะเป็นสัญญาณเพียงทิศทางเดียวดังรูปที่ 2.15(ข) ในกรณีนี้แปรงถ่านด้านบน (ขั้วบวก) จะมีศักย์แรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าแปรงถ่านด้านล่าง (ขั้วลบ) เสมอทำให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากแปรงถ่านทั้งสอง[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

คลื่นทะเลเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งที่ไม่มีความผันผวน คลื่นทะเลส่วนใหญ่เกิดจากลมซึ่งเราสามารถเห็นการเคลื่อนที่ของคลื่นผิวน้ำทะเลได้แทบจะตลอดเวลาตามชายฝั่งทะเลหรือแม้แต่ในทะเลลึกก็ยังมีคลื่นผิวน้ำ การนำพลังงานของการกระเพื่อมของคลื่นทะเลชายฝั่งมาผลิตกระแสไฟฟ้านั้นเราจะอาศัยความไม่สม่ำเสมอของผิวน้ำที่เกิดจากลมเป็นส่วนใหญ่โดยการออกแบบท่อนลอยให้เคลื่อนที่ตามระลอกคลื่นน้ำนี้ การเคลื่อนที่ของท่อนลอยนี้จะอาศัยหลักการแรงลอยตัว เป็นตัวยกท่อนลอยให้เคลื่อนที่ตามคลื่นทะเลจากนั้นนำการเคลื่อนที่ของท่อนลอยนี้ไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยผ่านสะพานเฟืองและเฟืองที่มีการออกแบบไว้ซึ่งพลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายต่อไป

3.1 สมมุติฐานและข้อควรคำนึงถึง

- คลื่นทะเลชายฝั่งมีความสูงน้อย
- แรงลอยตัวขึ้นอยู่กับขนาดของท่อนลอยและน้ำหนักของท่อน
- การเคลื่อนที่ขึ้นของท่อนลอยจะอาศัยแรงลอยตัว
- การเคลื่อนที่ในทิศลงของท่อนลอยจะอาศัยน้ำหนักของท่อนลอยเป็นตัวกดลง

3.2 พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการออกแบบ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งานในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยคลื่นน้ำกระเพื่อมใกล้ชายฝั่ง ควรใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่มีความเร็วรอบต่ำเนื่องจากความเร็วของคลื่นเมื่อเข้าปะทะแรงที่เกิดขึ้นนั้นมีความไม่ต่อเนื่องและไม่มีเสถียรภาพแต่เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่รอบต่ำกำลังสูงนั้นหาได้ยากและมีราคาสูง จึงทำให้ต้องเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่รอบสูงกว่าเพื่อใช้ในการศึกษาและทำการทดลองจึงได้เลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด

- แรงดัน 140 V
- กำลังไฟฟ้า 28W
- ความเร็วรอบ 2760rpm

3.3 การคำนวณ

ความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นอยู่กับความสูงและความเร็วของคลื่นทะเลที่เข้ามาปะทะท่อนลอย สามารถหาความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้จากสมการต่อไปนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

การเคลื่อนที่ของทุ่นลอยจะอาศัยหลักการแรงลอยตัวในการยกทุ่นลอยให้เคลื่อนที่ขึ้น สามารถหาแรงลอยตัวได้จากสมการที่ (2.28) และการเคลื่อนที่ลงของทุ่นลอยจะอาศัยแรงเนื่องจากน้ำหนักของตัวทุ่นเอง สามารถหาแรงเนื่องจากน้ำหนักของทุ่นลอยได้จากสมการต่อไปนี้

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

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

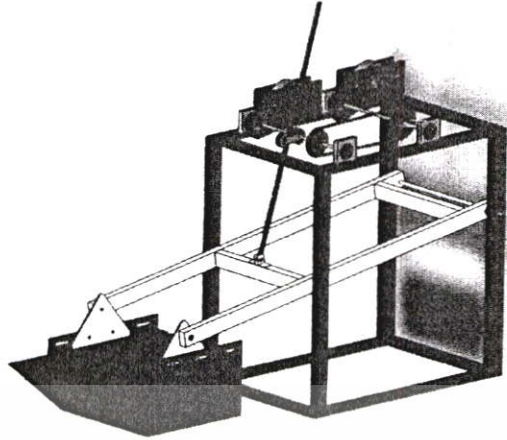
เนื่องจากการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยเกิดจากแรงกระทำต่อตัวทุ่น ดังนั้นจะเกิดกำลังทางกลขึ้น ซึ่งกำลังทางกลหาได้จากสมการต่อไปนี้

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

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

3.4 การออกแบบเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล

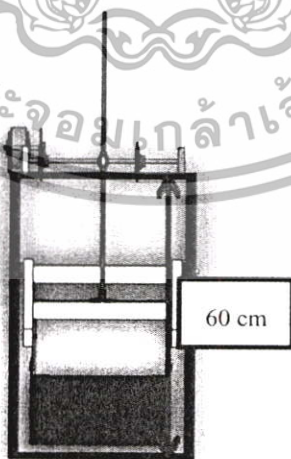
จากรูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าทำจากเหล็กกล่องไม้ขีดขนาด $50 \times 25 \text{ mm}$ มีขนาด กว้าง 40 cm ยาว 60 cm และสูง 60 cm ป้องกันการเกิดสนิมด้วยการล้างคราบน้ำมันออก จากนั้นนำไปอบให้แห้งและทำการพ่นสีฝุ่นและนำไปอบด้วยอุณหภูมิที่ 250 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.1 ชุดกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล

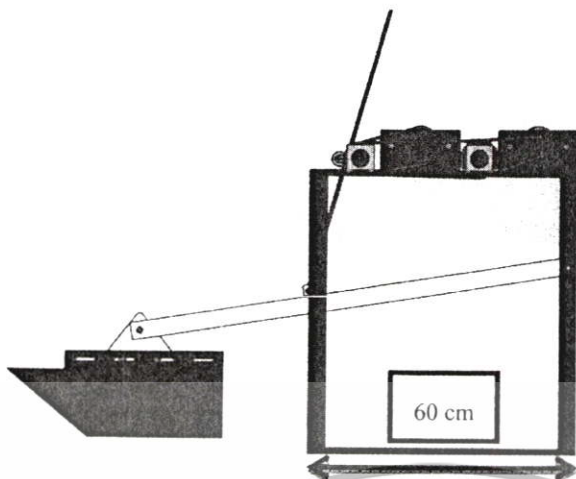


รูปที่ 3.2 โครงสร้างของชุดกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลส่วนบน



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของชุดกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลส่วนหน้า

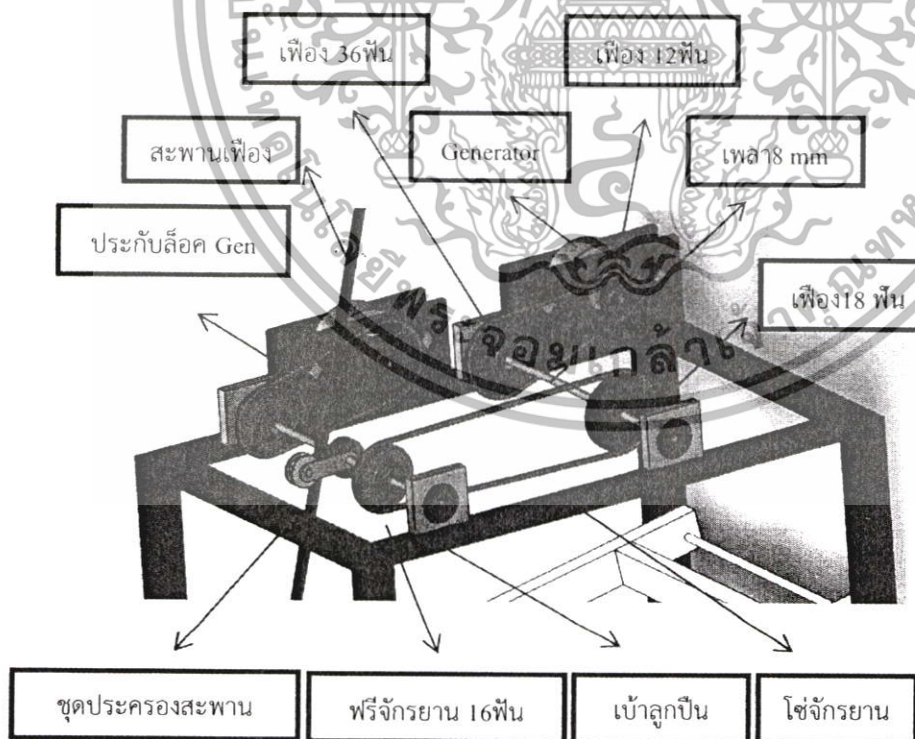
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของชุดกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลส่วนข้าง

จากรูปที่ 3.4 โดยออกแบบให้เฟืองเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเฟืองตรงทำจากเหล็กมีรัศมีเท่ากับ 0.008 cm 16 ซี่ฟันหรือใกล้เคียง มีข้อดีคือแข็งแรง ทนทานหาซื้อได้ง่าย

3.4.1 หลักการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล



รูปที่ 3.5 ชุดขับเคลื่อนและการทดเกียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการออกแบบเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยคลื่นทะเลนี้ใช้ติดตั้งบริเวณชายฝั่งทะเลจากรูปที่ 3.1 ให้ทุ่นลอยสัมผัสกับคลื่นทะเลโดยตรง เมื่อเกิดคลื่นทะเลขึ้นทุ่นลอยนี้จะเคลื่อนที่ตามระลอกคลื่นนี้ โดยการเคลื่อนที่ขึ้นนี้จะใช้หลักการแรงลอยตัวเป็นตัวผลักดันทุ่นลอย และการเคลื่อนที่ลงจะใช้แรงเนื่องจากน้ำหนักของทุ่นลอยเองและการกดของแขนทุ่นลอย พลังงานที่ได้จะเป็นพลังงานไปขับเคลื่อนเฟืองที่เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยผ่านสะพานเฟือง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนพลังงานกลที่ได้เป็นพลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.5

จากรูปที่ 3.5 โดยออกแบบให้เฟืองเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเฟืองตรงมีรัศมี r เท่ากับ 0.008 m จากสมมติฐานคลื่นมีความสูงเท่ากับ 0.2 m ความเร็วคลื่นทะเลมีค่าเท่ากับ 2 วินาทีต่อลูกคลื่น และให้ระยะเคลื่อนที่ขึ้นของทุ่นลอย h มีค่าเท่ากับ 0.15m ดังนั้นเวลา t ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยมีค่าเท่ากับ 1 วินาที สามารถหาความเร็วของเฟืองเพลลาได้จากสมการต่อไปนี้

จากสมการที่ (3.1)

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \frac{30h}{\pi r} \\
 &= \frac{18}{18} \times \frac{30 \times 0.15}{\pi \times 0.008 \times 1} \\
 &= 180 \text{ rpm} \\
 N_2 &= \frac{30h}{\pi r} \\
 &= \frac{36}{12} \times \frac{30 \times 0.15}{\pi \times 0.008 \times 1} \\
 &= 540 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

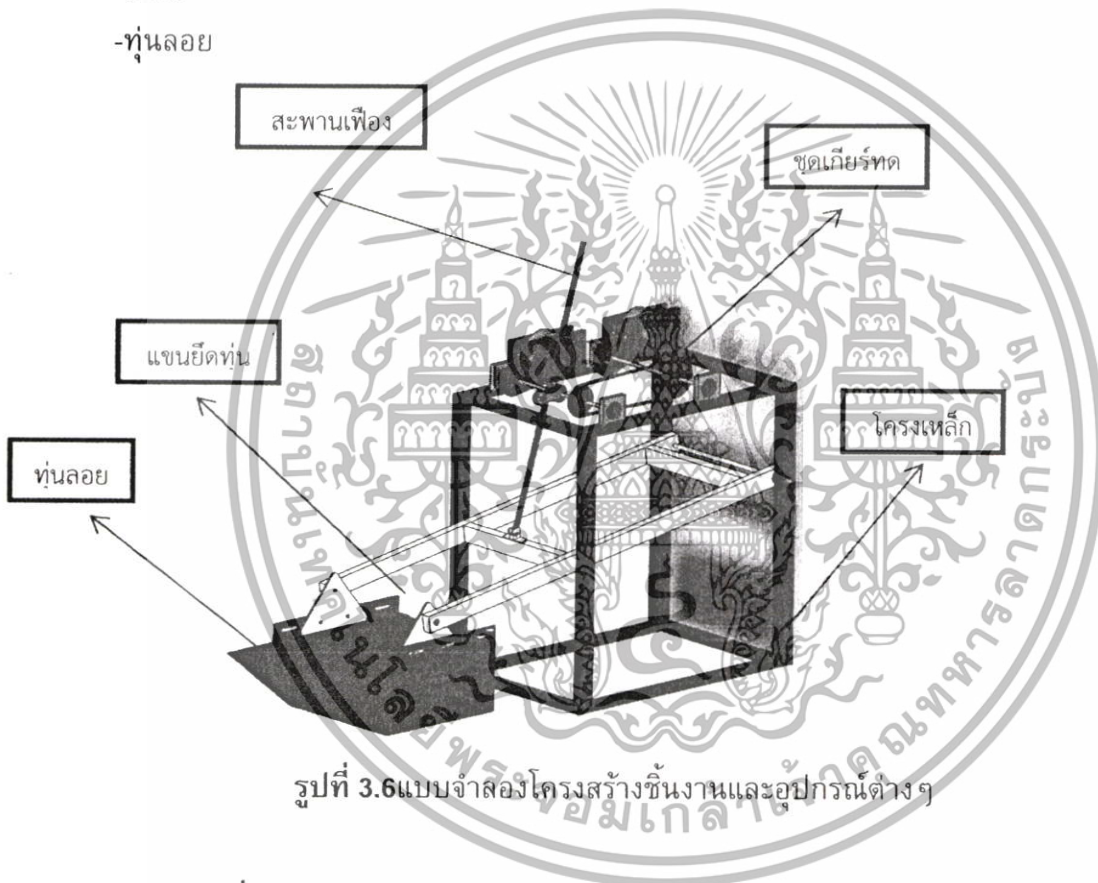
ดังนั้นความเร็วของเฟืองเพลลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้จากการออกแบบจะมีค่าใกล้เคียงกับ ความเร็วพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

อัตราการทดเฟือง มีด้วยกัน 2 ชุดหลักๆด้วยกัน โดยชุดแรกนี้เป็นชุดต้นกำลังซึ่งจะรับแรงจากคลื่นโดยส่งผ่านมาทางสะพานเฟืองซึ่งในเพลลาชุดแรกนี้จะประกอบไปด้วยเฟืองขับและเฟืองฟรีจักรยาน หลักการทำงานคือเมื่อคลื่นทะเลมาปะทะกับตัวทุ่นจะทำให้ทุ่นลอยตัวขึ้นซึ่งการลอยตัวของทุ่นนี้จะทำให้สะพานเฟืองยกขึ้นและไปชนกับเฟืองขับที่มีตัวฟรีจักรยานอยู่ซึ่งจะเห็นได้ว่าเรามีตัวฟรีจักรยาน 2 ตัว ตัวฟรีทางด้านซ้ายนั้นจะทำงานในช่วงที่ทุ่นมีการลอยตัวส่วนตัวทางด้านขวาจะใช้ส่งกำลังไปยังเพลลาชุดที่ 2 ซึ่งในเพลลาชุดที่ 2 นี้จะไปต่อเข้ากับ generator ตัวที่ 2 ซึ่งจะทำงานตอนทุ่นตก

3.5 อุปกรณ์บนตัวเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยคลื่นทะเล

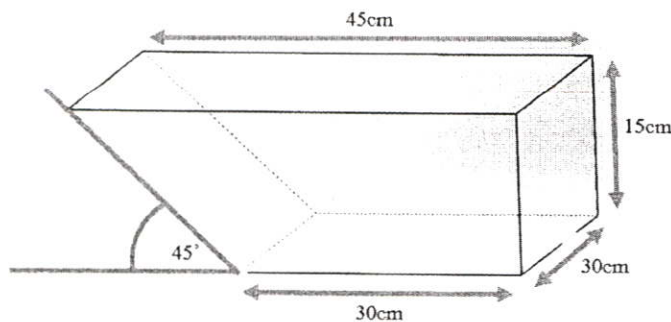
โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากคลื่นทะเลประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักๆ 6 ชิ้นส่วน ดังรูปที่ 3.6 แบบจำลองโครงสร้างของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยพลังงานน้ำกระเพื่อมใกล้ชายฝั่งและอุปกรณ์ต่างๆ

- โครงเหล็ก
- แขนจับตุ้ม
- ชุดเกียร์ทด
- สะพาน
- เฟือง
- ตุ้มลอย



รูปที่ 3.6 แบบจำลองโครงสร้างชิ้นงานและอุปกรณ์ต่างๆ

3.6 การออกแบบตุ้มลอย



รูปที่ 3.7 ตุ้มลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.7 โครงสร้างของท่อนลอยทำจากแผ่นฉาบเรียบแล้วพับขึ้นรูปเป็นท่อนลอยซึ่งทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำทะเลมีมิติความกว้าง 30cm ความยาว 45cm และความสูง 15cm โดยมีน้ำหนัก 1.6kg ด้านหน้าทำมุม 45° เพื่อรับแรงปะทะของคลื่นทะเลดังรูปที่ 3.6 แรงลอยตัวมากที่สุดของท่อนลอยโดยคิดจากปริมาตรทั้งหมดของท่อนลอย

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

- โดยที่
- V คือ ปริมาตรของท่อนลอย (m^3)
 - L_1 คือ ความยาวของส่วนที่หนึ่งของด้านขนาน (m)
 - L_2 คือ ความยาวของส่วนที่สองของด้านขนาน (m)
 - h_1 คือ ความสูงของระหว่าง L_1 และ L_2 (m)
 - h_2 คือ ความลึกของท่อนลอย (m)

หาปริมาตรของท่อนลอยโดย L_1 มีค่าเท่ากับ 45cm L_2 มีค่าเท่ากับ 30cm h_1 มีค่าเท่ากับ 15cm และ h_2 มีค่า 30 cm

จากสมการที่ (3.5)

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} \times (L_1 + L_2) \times h_1 \times h_2 \\ &= \frac{1}{2} \times (0.45 + 0.30) \times 0.15 \times 0.30 \\ &= 1.68 \times 10^{-2} m^3 \end{aligned}$$

หาแรงเนื่องจากน้ำหนักของท่อนลอยโดยน้ำหนัก m เท่ากับ 1.6kg หาได้จากสมการต่อไปนี้

จากสมการที่ (3.3)

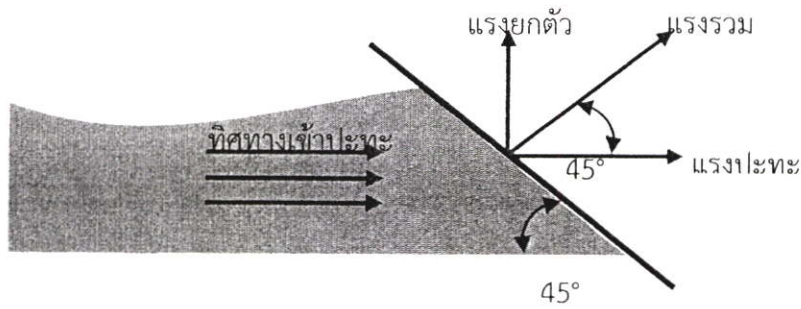
$$\begin{aligned} F &= mg \\ &= 1.6 \times 9.81 \\ &= 15.696 N \end{aligned}$$

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

จากสมการที่ (2.8)

$$\begin{aligned} F_B &= \rho V g \\ &= 1024 \times 1.68 \times 10^{-2} \times 9.81 \\ &= 168.76 N \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 มุมรับแรงปะทะ

เนื่องจากคลื่นชายฝั่งทะเลมีคาบเวลามากกว่าความสูงของคลื่นมากดังนั้นความชันของคลื่นชายฝั่งทะเลจึงน้อยการออกแบบให้ด้านหน้าทุ่นลอยมีมุม 45° นั้น เพื่อลดแรงปะทะโดยตรงให้น้อยที่สุด ยิ่งมุมน้อยลงแรงปะทะโดยตรงก็จะยิ่งน้อยตามไปด้วยแต่ถ้าออกแบบมุมให้น้อยไปกว่า 45° อาจจะทำให้ส่วนหน้าของทุ่นลอยหนักเกินไปเป็นผลให้ด้านหน้าจมได้ เมื่อเกิดคลื่นเข้ามาปะทะจะทำให้มวลน้ำของคลื่นบางส่วนกระจายขึ้นไปกอดไม่ให้ทุ่นลอยเคลื่อนที่ได้เต็มประสิทธิภาพ

3.6.1 หลักการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย

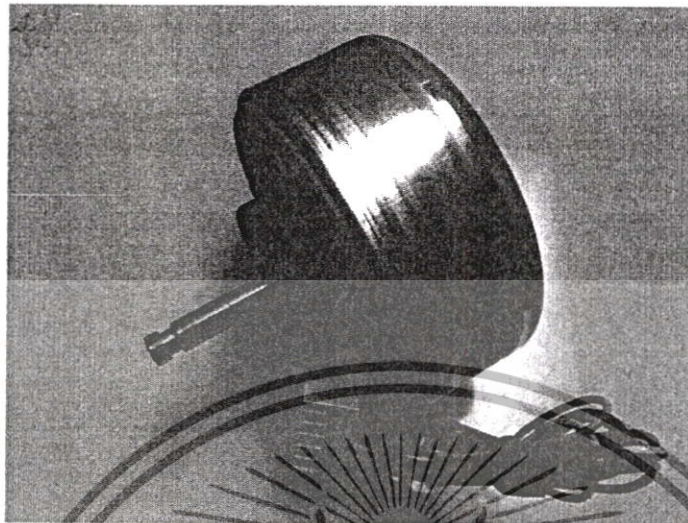
ทุ่นลอยจะอาศัยหลักการของแรงลอยตัวเป็นตัวทำให้ทุ่นลอยเคลื่อนที่ได้คือเมื่อเกิดความไม่สม่ำเสมอของผิวน้ำหรือการเกิดของคลื่นทะเลทุ่นลอยจะอาศัยการยกตัวของคลื่นน้ำนี้ในการผลักหรือยกตัวของทุ่นลอยในการเคลื่อนที่ซึ่งจะเคลื่อนที่ตามคลื่นทะเลนั้น



รูปที่ 3.9 ลักษณะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย

จากรูปที่ 3.9 ลักษณะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยจะเป็นการเคลื่อนที่ในแนวตั้งซึ่งจะเคลื่อนที่ตามระลอกคลื่นที่เข้ามาปะทะ เมื่อความสูงของคลื่นน้ำมากพอที่จะทำให้เกิดแรงลอยตัวที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับแรงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องการในการขับเคลื่อนก็จะสามารถยกทุ่นลอยให้เคลื่อนที่ตามระลอกคลื่นได้

3.7 การออกแบบการควบคุมขั้วไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง [4]

ในที่นี้ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยออกแบบให้หุนลอยทำงานทั้งการเคลื่อนที่ขึ้นและลง ซึ่งออกแบบให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงตัวที่ 1 หมุนตามเข็มนาฬิกาและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 2 หมุนทวนเข็มนาฬิกาแล้วได้งานเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากอุปกรณ์เชิงกลที่ทางหมุนและลดจำนวนอุปกรณ์ลงดังรูปที่ 3.10 กำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคงที่ แล้วนำไปเข้าสู่ตัวชาร์จแล้วชาร์จลง Battery ต่อไป

ตารางที่ 3.1 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในสภาวะ no load

แรงดันไฟฟ้าของ motor (volt)	แรงดันไฟฟ้าของ generator (volt)	ความเร็วรอบ(rpm)
2	12	250
4	29	560
6	47	880
8	60	1200
10	74	1500
12	104	2000
14	110	2300
16	133	2600
17	140	2760

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในสภาวะมีโหลด

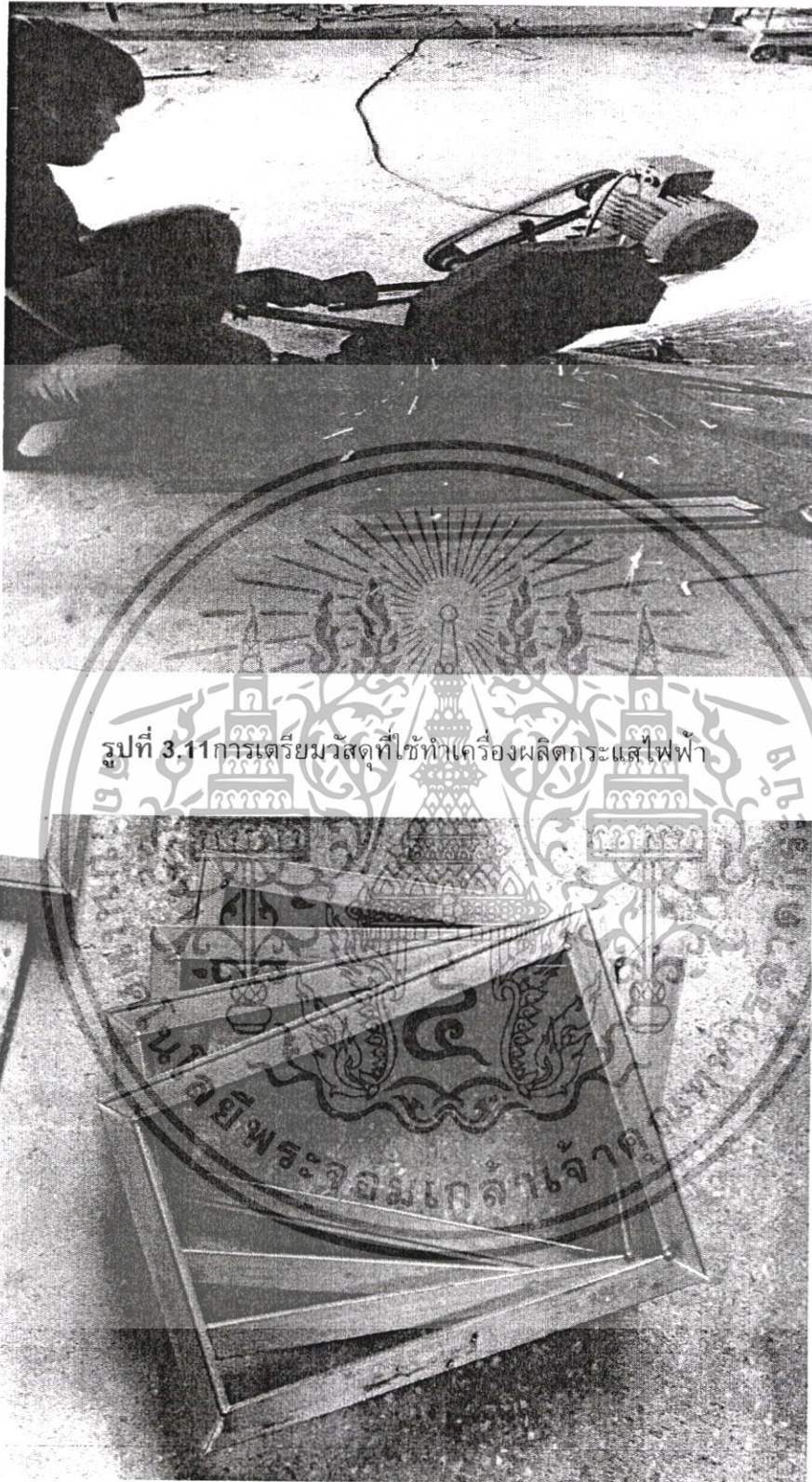
Motor		Generator		
ความเร็วรอบของมอเตอร์(rpm)	แรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์(volt)	แรงดันไฟฟ้า(volt)	กระแสไฟฟ้า (Amp)	กำลังไฟฟ้า(Watt)
100	22	1.3	0.244	0.317
200	28.5	1.69	0.28	0.473
300	33.35	2.75	0.4	1.1
400	36.5	3.14	0.51	1.61
500	38.8	4.00	0.77	3.08
600	41.8	4.84	0.86	4.16
700	41.8	4.9	0.86	4.21
800	41.8	4.9	0.86	4.21
900	41.8	4.9	0.86	4.21
1000	44.5	5.00	0.98	4.9
1100	48.2	5.5	1.1	6.05
1200	50.2	6.00	1.2	7.2
1300	57.8	9.7	1.3	12.61
1400	62.75	10.34	1.3	13.42

3.8 โหลดที่ใช้ในการทดลอง

จากพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้มีขนาด 140V 28 W โหลดที่ใช้ในการทดลองจะเป็นหลอดไฟ 12V 10W เพื่อความเหมาะสมต่อขนาดกำลังไฟฟ้าที่เครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยน้ำกระเพื่อมใกล้ชายฝั่งที่สามารถผลิตได้

3.9 การสร้างชิ้นงาน

หลังจากที่คณะผู้จัดทำโครงการปริญญาโทได้ดำเนินการออกแบบพร้อมคำนวณหาค่าต่างๆที่จำเป็น จนสามารถกำหนดขนาดของชิ้นงานตลอดจนการเลือกใช้กลไกและอุปกรณ์ต่างๆได้จึงได้ดำเนินการสร้างชิ้นส่วนต่างๆและประกอบรวมกันตามลำดับ ดังเช่น



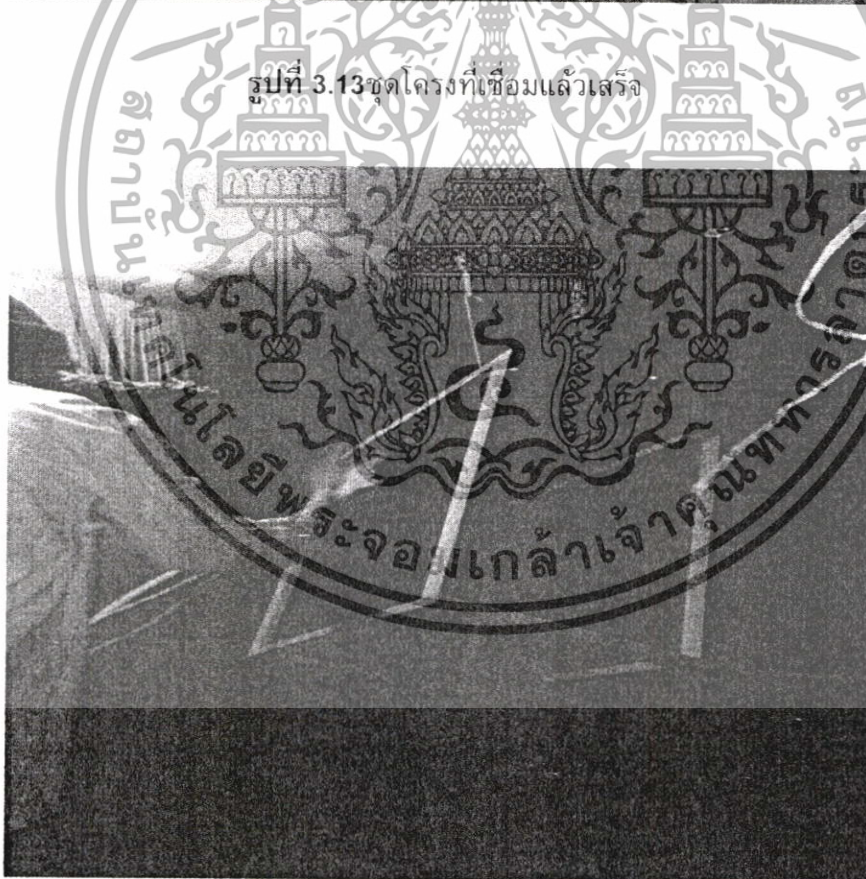
รูปที่ 3.11 การเตรียมวัสดุที่ใช้ทำเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า

รูปที่ 3.12 เหล็กที่เชื่อมแล้วพร้อมมาประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

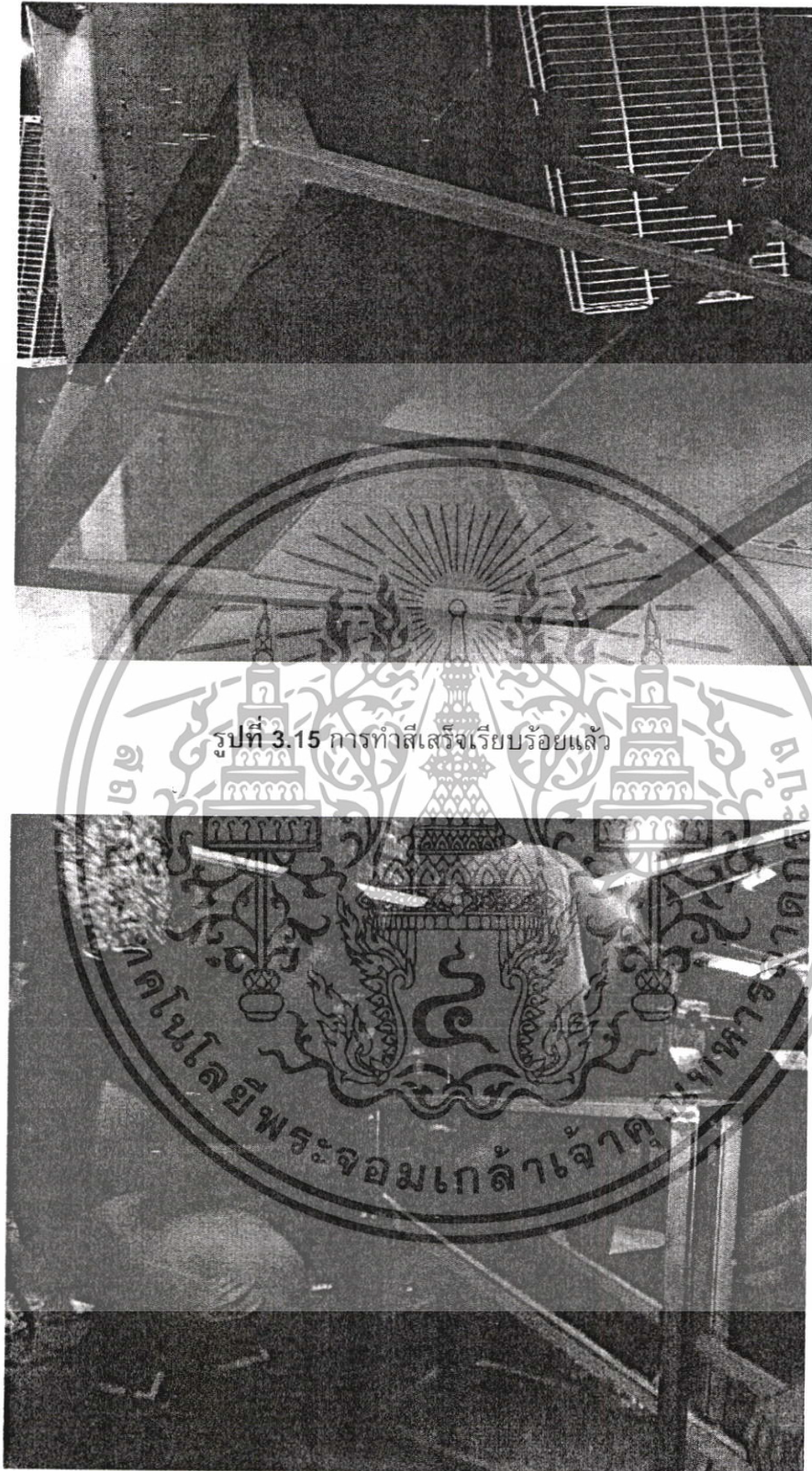


รูปที่ 3.13 ชุดโครงที่เชื่อมแล้วเสร็จ



รูปที่ 3.14 การพ่นสีฝุ่น

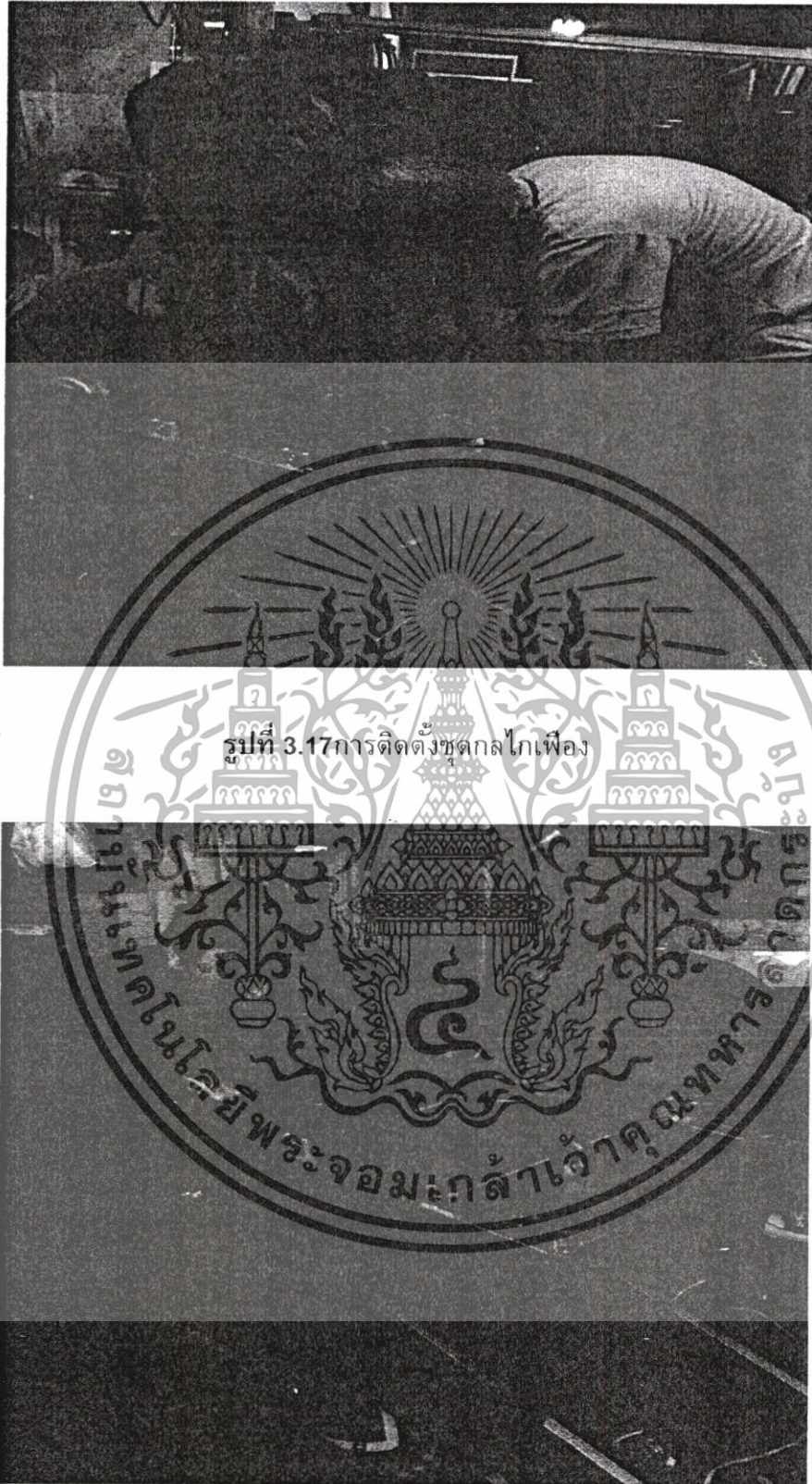
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 การทำสี่เหลี่ยมเรียบร้อยแล้ว

รูปที่ 3.16 การติดตั้งแขนหุ่นลอยของเครื่องผลิตไฟฟ้าด้วยคลื่นทะเล

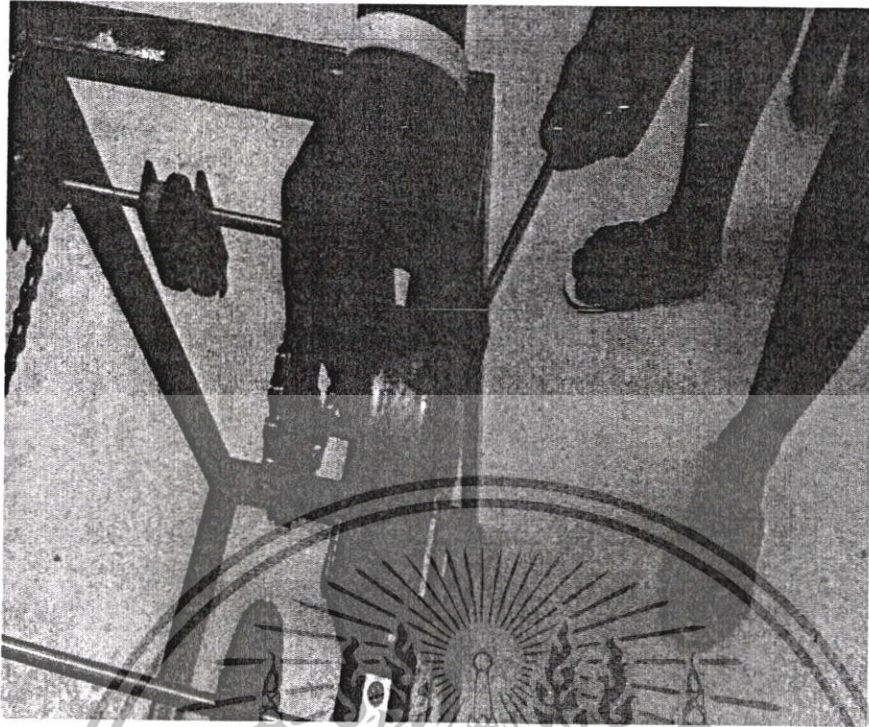
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



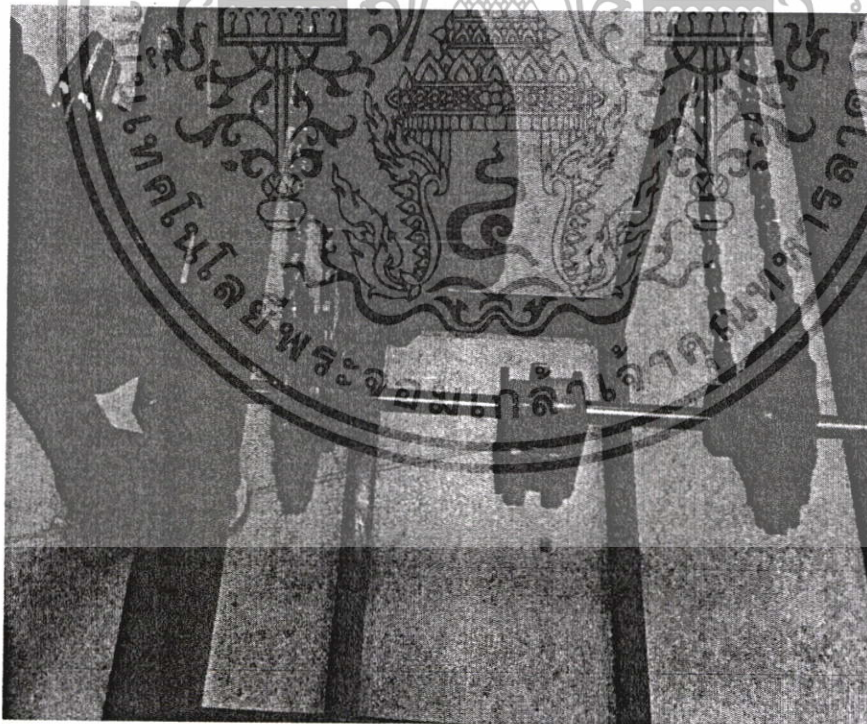
รูปที่ 3.17 การติดตั้งชุดกลไกเฟือง

รูปที่ 3.18 ชุดกลไกเฟืองติดตั้งเสร็จเรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แสดงการยึดเครื่องทำเน็ตไฟฟ้าติดกับโครง



รูปที่ 3.20 แสดงการยึดเฟืองจักรยานเข้ากับโครง

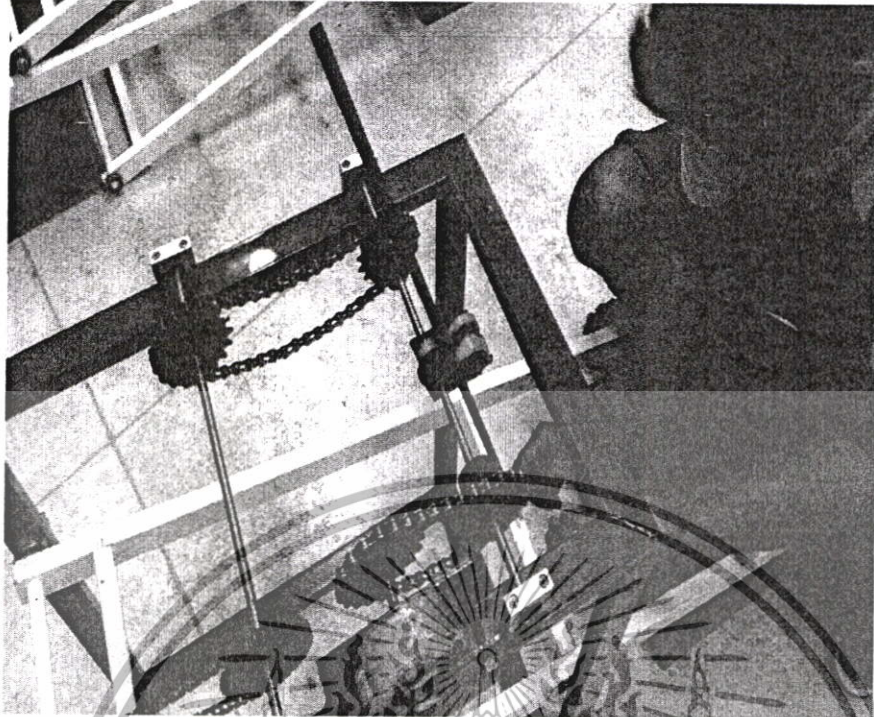
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



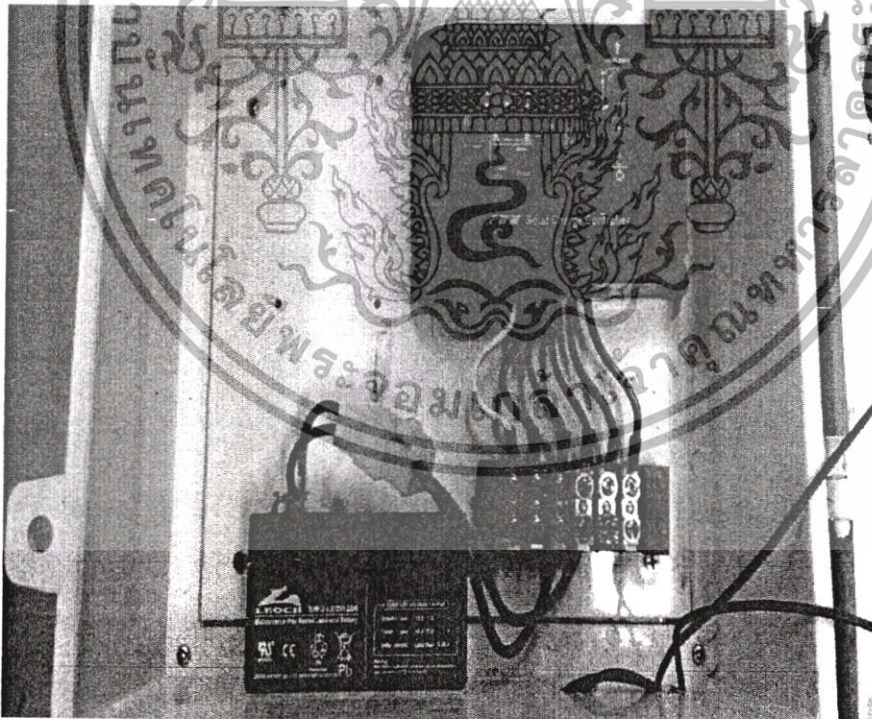
รูปที่ 3.21 แสดงการยึดแขนของทุ่นลอย

รูปที่ 3.22 แสดงการจับยึดทุ่นลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

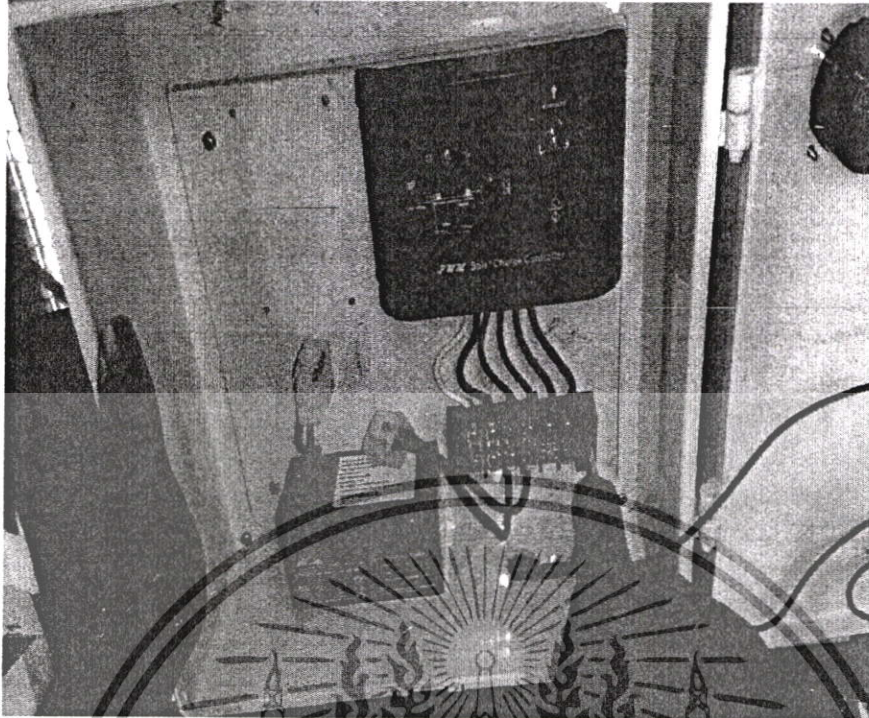


รูปที่ 3.23 แสดงการจับยึดสะพานเฟือง

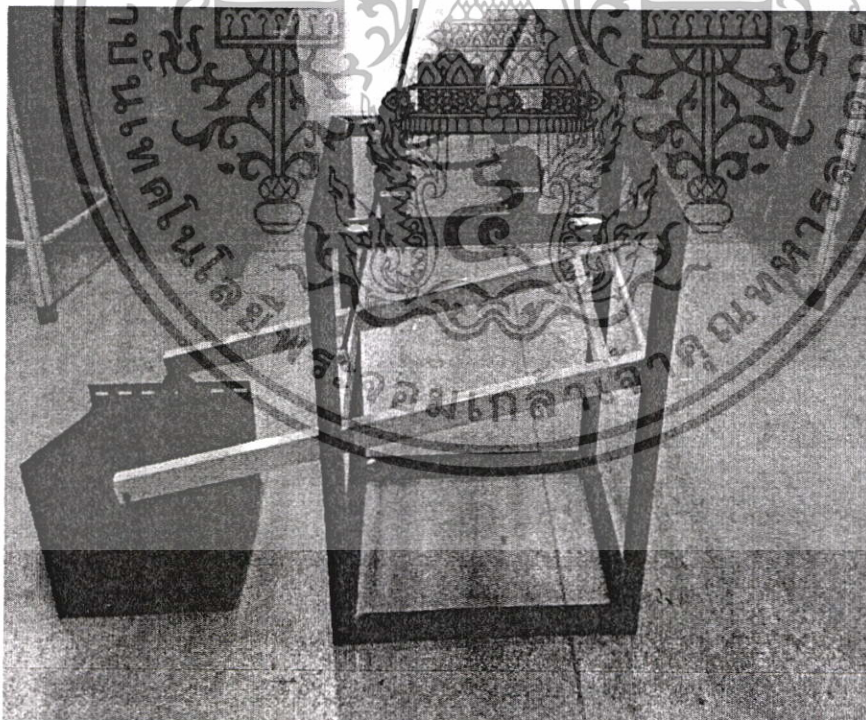


รูปที่ 3.24 เตรียมอุปกรณ์ทำตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

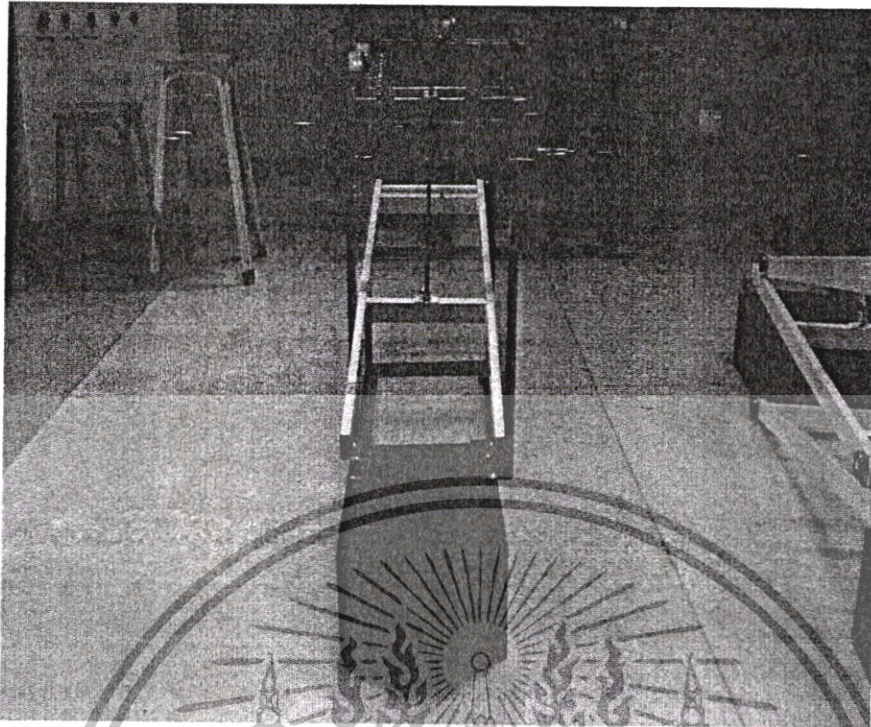


รูปที่ 3.25 แสดงการยัดชุดขั้วกริ่งและแบตเตอรี่

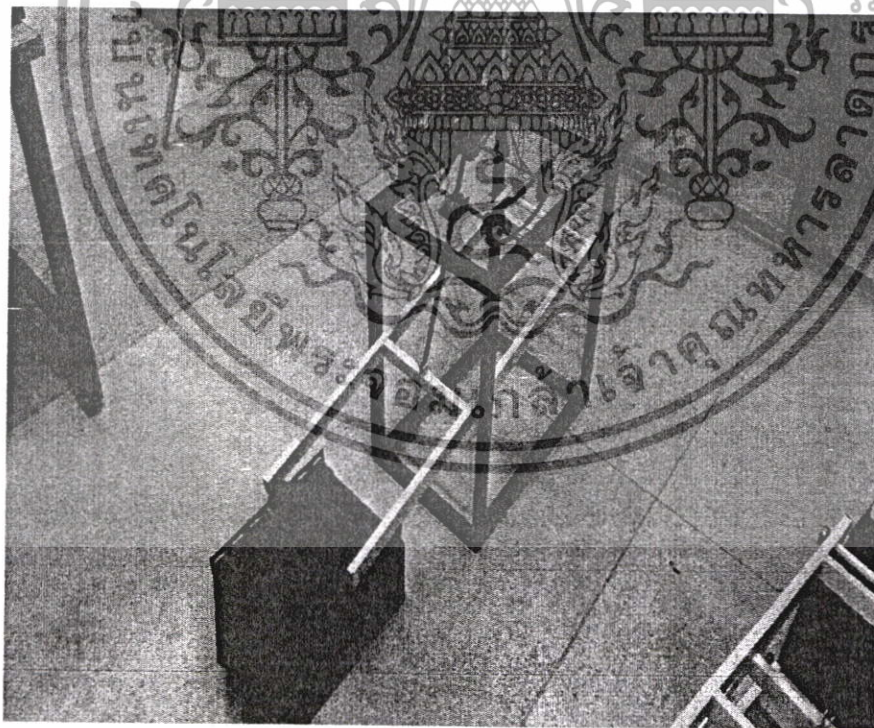


รูปที่ 3.26 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยคลื่นที่สร้างเสร็จเรียบร้อย (ด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

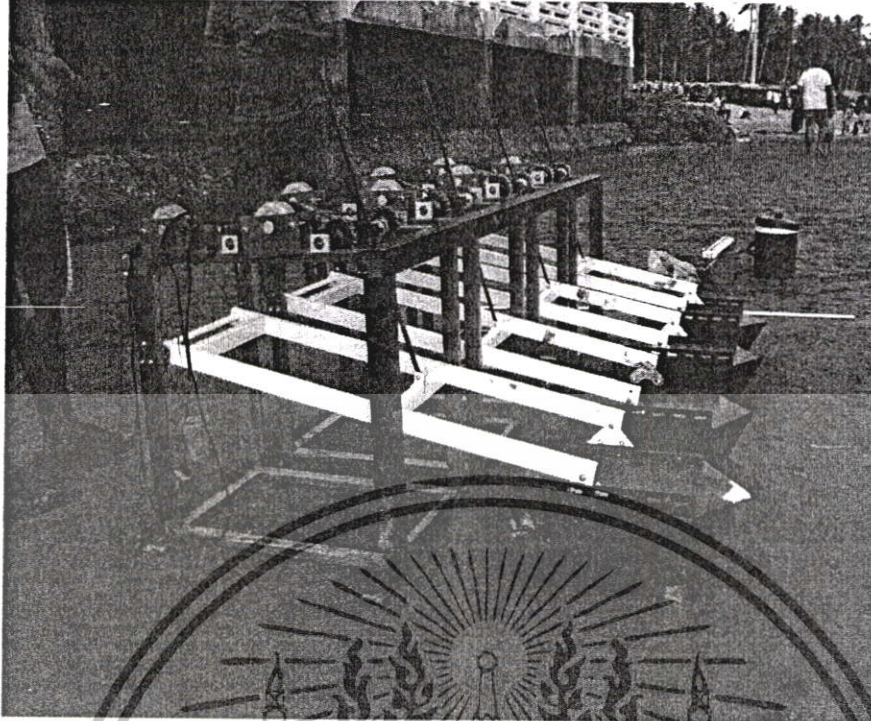


รูปที่ 3.27 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยคลื่นที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว (ด้านหน้า)



รูปที่ 3.28 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยคลื่นที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว (ด้าน 3 มิติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยคลื่นที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแบบ 4 ตัว (ตัวน 3 มิติ)

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

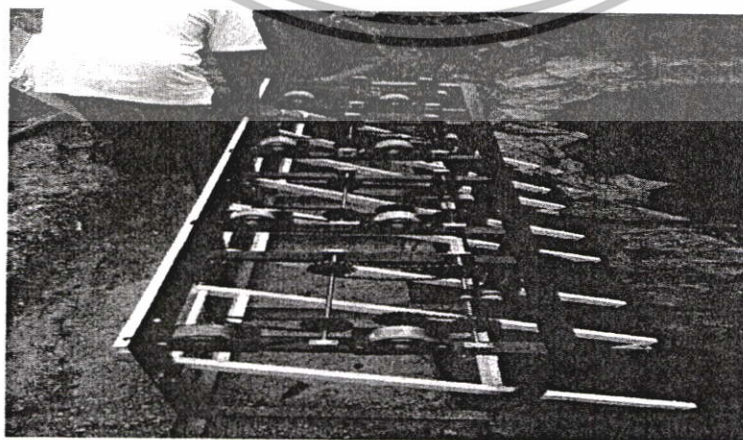
การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับพลังงานคลื่นทะเลและหาข้อมูลเกี่ยวกับคลื่นทะเลเพื่อให้ได้ข้อมูลความสูงของคลื่นความเร็วของคลื่นโดยการสำรวจในครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลจากกรมอุทกศาสตร์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจพลังงานคลื่นทะเลจะนำไปใช้ในการออกแบบท่อนและอัตราทดความเร็วรอบเพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อได้ข้อมูลของพลังงานคลื่นทะเลแล้วจะดำเนินพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าโดยการออกแบบโครงสร้างของเครื่องผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทะเลชายฝั่ง แล้วทำการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบกลไกที่ใช้ในการขับให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดข้อมูลที่ได้นำไปใช้ในการออกแบบท่อน จากนั้นจะทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อติดตั้งเสร็จแล้วจึงเก็บข้อมูลของคลื่นและพลังงานที่ผลิตได้ในช่วงเวลาต่างๆ ต่อไป

4.1 การเตรียมเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำกระเพื่อมใกล้ชายฝั่งก่อนการทดสอบ

- ตรวจสอบและทำความสะอาดเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำกระเพื่อมใกล้ชายฝั่งบริเวณชายฝั่งให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
- ตรวจสอบท่อนลอย
- ตรวจสอบชุดเพื่องรับและส่งกำลัง
- ตรวจสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- ตรวจสอบระบบเก็บประจุไฟฟ้า

4.2 การเตรียมอุปกรณ์ในการทดสอบ

ในการทดสอบโครงการวิจัยจะเตรียมชุดเก็บประจุไฟฟ้าและหลอดไฟฟ้า 12 โวลต์ จำนวน 2 หลอด สำหรับจะทำการทดลองวัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป คณะผู้จัดทำโครงการวิจัยได้ดำเนินการจัดเตรียมก่อนการทดลองดังนี้



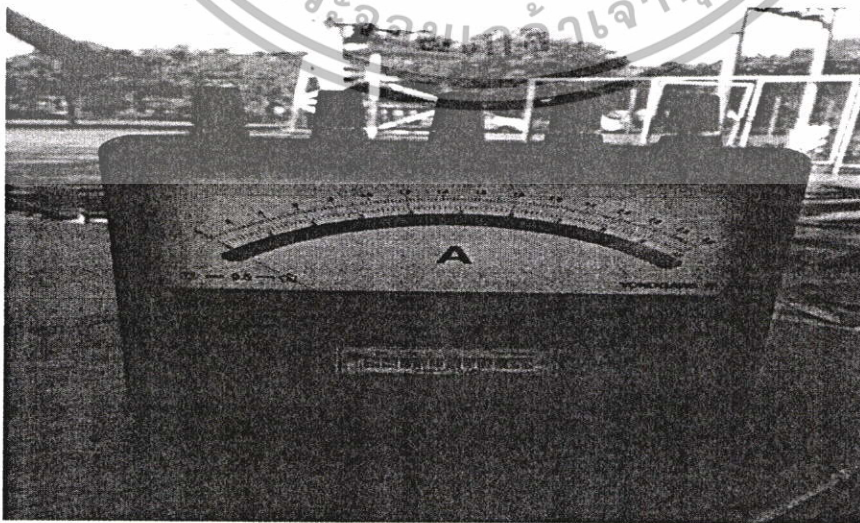
รูปที่ 4.1 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำกระเพื่อมใกล้ชายฝั่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 สถานที่ที่จะทดลองเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล



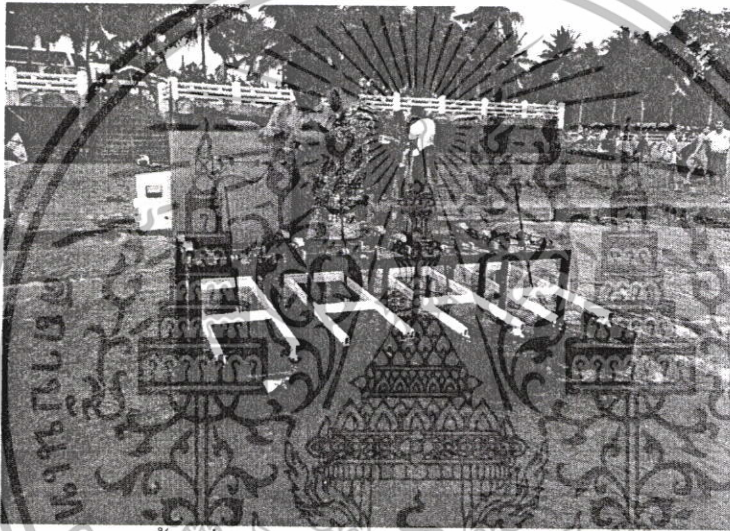
รูปที่ 4.3 มัลติมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ขั้นตอนการทดลอง

- 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 สรุปผลการทดลองทั้งหมด



รูปที่ 4.5 แสดงการติดตั้งเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่ง



รูปที่ 4.6 แสดงการจับเวลาเพื่อบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้เพื่อทำการศึกษาการเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเล ติดตั้งบริเวณชายฝั่ง ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงคือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความสูงของคลื่น เวลาการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย และหาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทะเล โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

การทดลอง โดยการวัดความสูงของคลื่น กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ส่วนกำลังกำลังไฟฟ้า กำลังทางกล และประสิทธิภาพนั้นหาจากการคำนวณจากสมการที่ (3.1)(3.3)

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

$P_{electric}$

$P_{mechanic}$

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

$$= VI$$

(4.1)

Efficiency

$$= \frac{P_{electric}}{P_{mechanic}} \times 100$$

(4.2)

เมื่อ

V

คือแรงดันไฟฟ้า (V)

I

คือกระแสไฟฟ้า (A)

4.4.1 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการทดลองแบบไม่มีโหลดและมีโหลด โดยใช้ทดลองที่ระดับความสูง (h) 5 ถึง 25cm ชั้นละ 5,10,15,20 และ 25cm ตามลำดับโดยให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อโหลดหลอดไฟฟ้าขนาด 12 V 10 W จำนวน 2 หลอด ทำการต่อขนานโดยมีสวิตช์ควบคุมการปิด-เปิด จากนั้นทำการวัดค่าเวลาในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า แล้วนำมาคำนวณหาค่ากำลังทางกล กำลังไฟฟ้า ความเร็วรอบ และประสิทธิภาพของระบบ จากสมการที่ (3.3),(4.1),(4.2) และ (4.3)

- การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลด

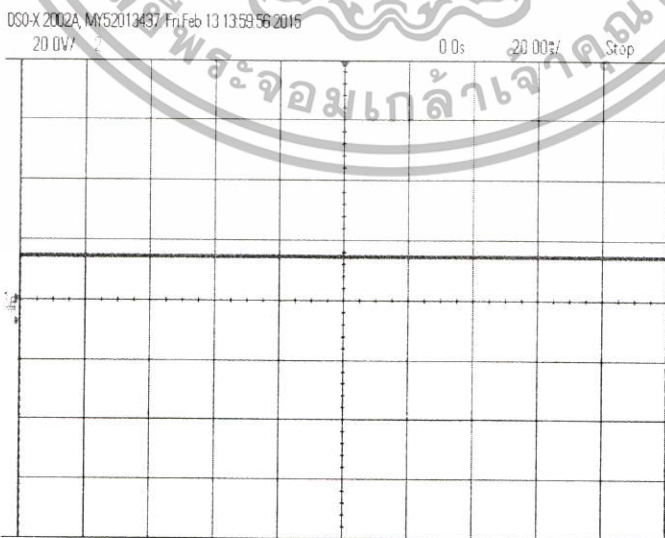
ทำการยกทุ่นลอย 5 ถึง 25cm ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย 1 วินาทีโดยวัดแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น แรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง และแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลง ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงการบันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลด

ผลการทดลองแบบไม่มีโหลด			
ระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (cm)	แรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น (V)	แรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง (V)	แรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลง (V)
5	12.5	24	28.5
10	16.2	35.03	34.8
15	20.4	44.2	39.17
20	23	52.3	51
25	29	56.04	54.7

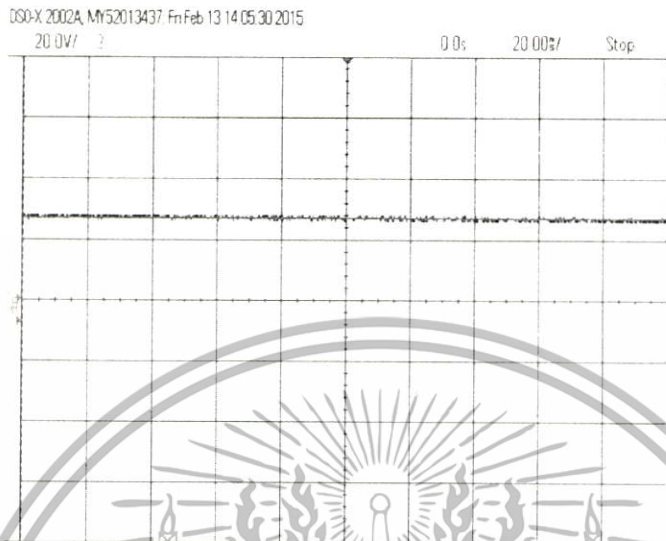
จากผลการทดลอง ในขณะที่ยกทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น ที่ 5 ถึง 25cm ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย 1 วินาที เมื่อทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นจะได้แรงดันไฟฟ้าน้อยกว่าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง แรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงจะได้แรงดันไฟฟ้ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นและแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง เพราะแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงนั้นจะเป็นการเคลื่อนที่ที่ต่อเนื่อง จึงทำให้แรงดันไฟฟ้านั้นมากกว่า ผลของแรงดันไฟฟ้านั้นจะมากขึ้น ขึ้นอยู่กับระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย ยิ่งเคลื่อนที่มากและใช้เวลาในการเคลื่อนที่น้อยก็จะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น

จากรูปที่ 4.7 ได้ทำการทดลองยกทุ่นลอยขึ้นที่ความสูง 25cm จับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย 1 วินาที จะได้แรงดันไฟฟ้า(DC_{Avg}) 14.475 V



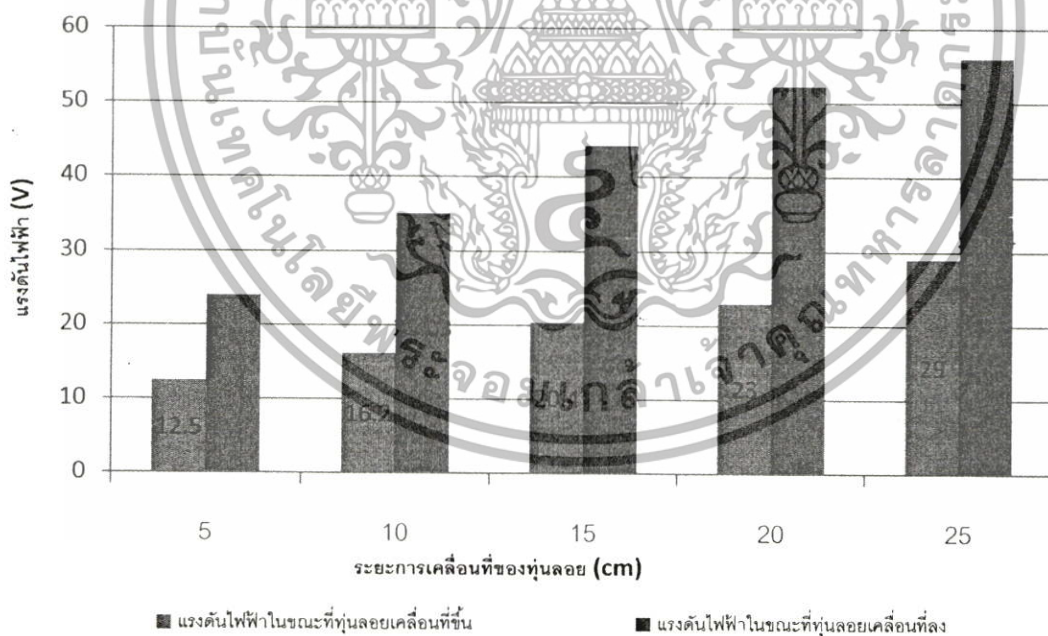
รูปที่ 4.7 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นเคลื่อนที่ขึ้น

จากรูปที่ 4.8 ได้ทำการทดลองให้ทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง 25cm ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย 1 วินาที จะได้แรงดันไฟฟ้า(DC_{Avg})26.837V



รูปที่ 4.8 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าในขณะทุ่นเคลื่อนที่ลง

นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.1 มาพล็อตกราฟดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยในขณะทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น,ลง

-การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมีโหลด

ทำการต่อโหลด ขนาด 10 Wเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและทำการต่อขานานโดยมีสวิตช์ควบคุมการปิด-เปิด แล้วทำการยกทุ่นลอย ในระยะการเคลื่อนที่ 5 ถึง 25cm ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

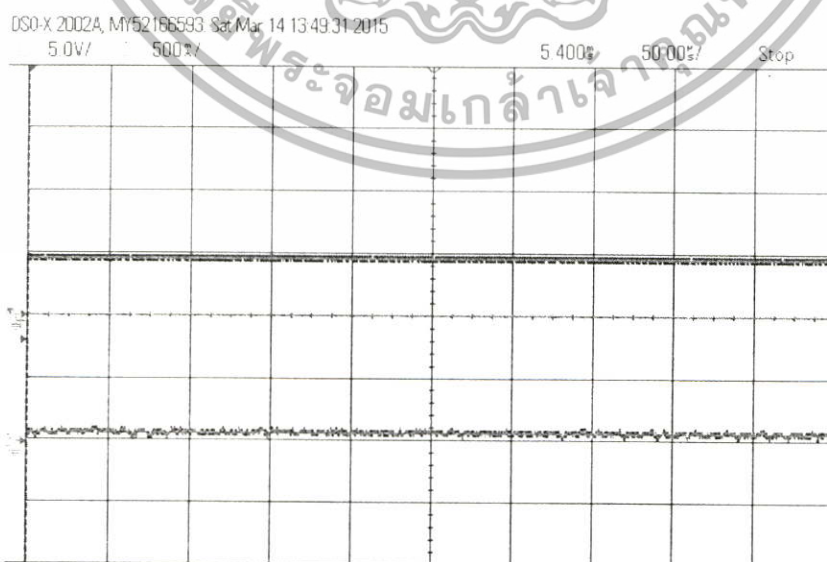
เคลื่อนที่ 1 วินาที วัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และ คำนวณหา กำลังไฟฟ้า จากสมการที่ (4.1) ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.2 และ 4.3 แล้วนำผลการทดลองไปพล็อตกราฟ

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นแบบมีโหลด 10W

ผลการทดสอบในขณะที่ทุ่นเคลื่อนที่ขึ้นมีโหลด			
ระยะการเคลื่อนที่ของ ทุ่นลอย (cm)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
5	5.7	0.026	0.148
10	6	0.1	0.6
15	7	0.15	1.05
20	8.3	0.253	2.099
25	8.5	0.340	2.89

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 ในระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยขณะเคลื่อนที่ขึ้น ได้ทำการยกทุ่นลอยขึ้น ที่ 5 ถึง 25cm ตามลำดับ ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 1 วินาที จะได้กำลังไฟฟ้าต่ำสุดที่ 0.148W และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 2.89 W กำลังไฟฟ้านั้นจะมากขึ้นตามระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย ยิ่งทุ่นลอยเคลื่อนที่มากขึ้นและใช้เวลาเคลื่อนที่น้อย กำลังไฟฟ้านั้นจะมากขึ้น

จากรูปที่ 4.10 ได้ทำการทดลองยกทุ่นลอยขึ้นที่ 25cm ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย 1 วินาที จะได้แรงดันไฟฟ้า(DC_{Avg}) 8.5 V กระแสไฟฟ้า 340mA



รูปที่ 4.10 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น

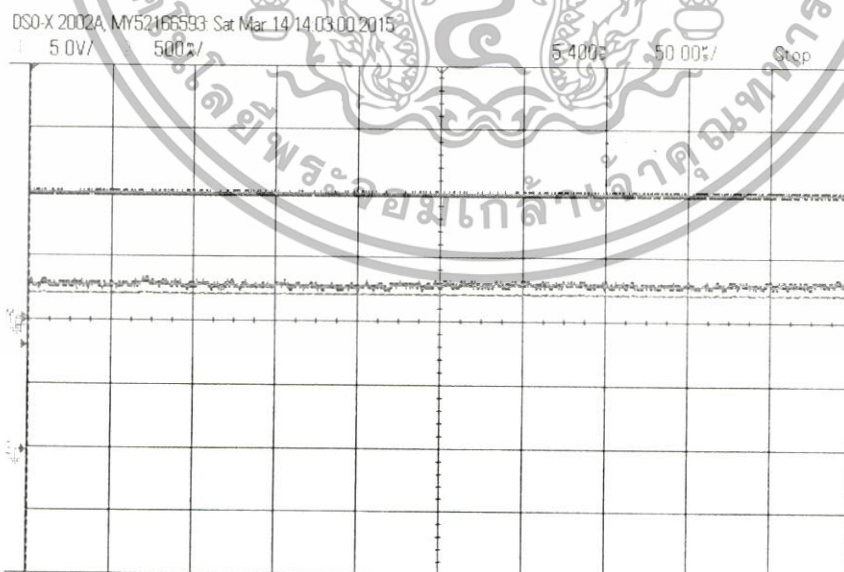
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ลงแบบมีโหลด 10 W

ผลการทดลองในขณะที่ทุ่นเคลื่อนที่ลงแบบมีโหลด			
ระยะการเคลื่อนที่ของ ทุ่นลอย (cm)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
5	8.3	0.229	1.9
10	8.9	0.639	5.68
15	9.05	0.699	6.32
20	10.05	1.3	13.06
25	10.2	1.36	13.8

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 ในระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยขณะเคลื่อนที่ลง ได้ทำการปล่อยทุ่นลอยลง ที่ 5 ถึง 25cm ตามลำดับ ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 1 วินาที จะได้กำลังไฟฟ้าต่ำสุดที่ 1.9W และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 13.8 W กำลังไฟฟ้านั้นจะมากขึ้นตามระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย ยิ่งทุ่นลอยเคลื่อนที่มากขึ้นและใช้เวลาเคลื่อนที่น้อย กำลังไฟฟ้านั้นจะมากขึ้น

จากรูปที่ 4.10 ได้ทำการทดลองยกทุ่นลอยลงที่ 25cm ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย 1 วินาที จะได้แรงดันไฟฟ้า(DC_{Avg}) 10.2 V กระแสไฟฟ้า 1.36 A



รูปที่ 4.11 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง

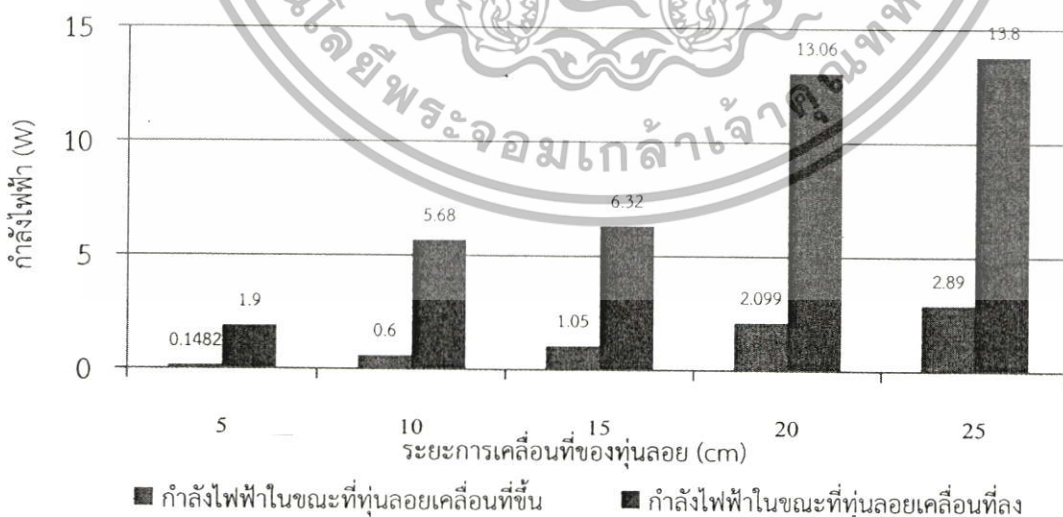
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงแบบมีโหนด 10 W

ผลการทดลองในขณะที่ทุ่นเคลื่อนที่ขึ้นลงมีโหนด			
ระยะการเคลื่อนที่ของ ทุ่นลอย (cm)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
5	7	0.081	0.056
10	7.9	0.178	1.406
15	9.12	0.740	1.748
20	9.6	1.04	9.98
25	9.8	1.2	11.76

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.4 ในระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยขณะเคลื่อนที่ขึ้นลง ได้ทำการยกทุ่นลอยขึ้นลง ที่ 5 ถึง 25cm ตามลำดับ ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 2 วินาที จะได้กำลังไฟฟ้าต่ำสุดที่ 0.056W และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 11.76 W กำลังไฟฟ้านั้นจะมากขึ้นตามระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย ยิ่งทุ่นลอยเคลื่อนที่มากขึ้นและใช้เวลาในการเคลื่อนที่น้อย กำลังไฟฟ้านั้นจะมากขึ้น เหตุผลที่ได้กำลังไฟฟ้าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงมากกว่าในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นและในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ลงนั้น เพราะ ในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงนั้นจะเป็นการเคลื่อนที่ที่ต่อเนื่องจึงทำให้กำลังไฟฟ้ามากกว่า ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นและทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง

นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 นำมาพล็อตกราฟเพื่อทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ากับระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ากับระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยในขณะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น,ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

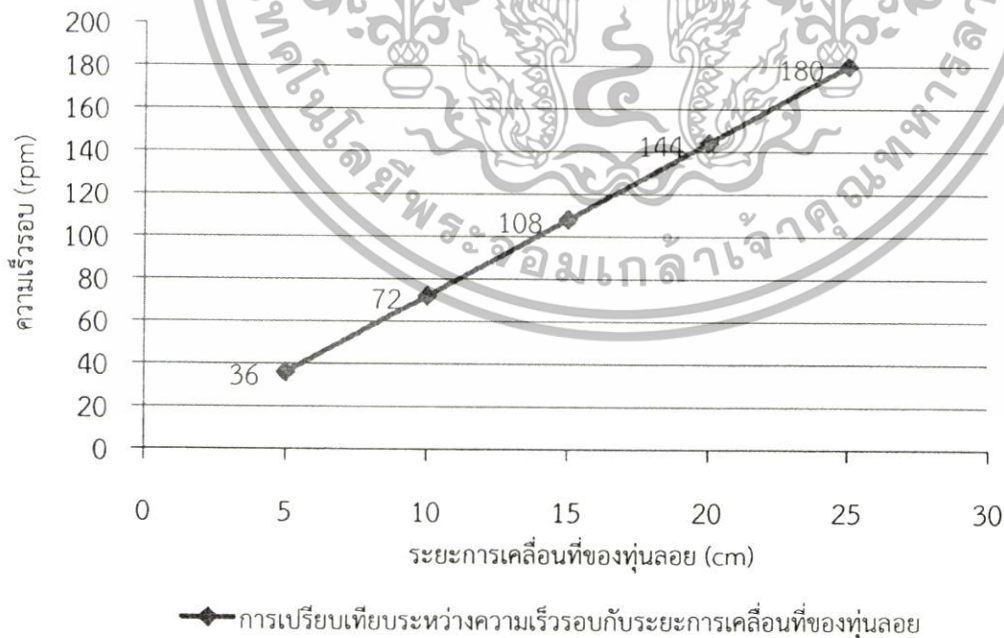
- การทดลองหาความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ทำการทดลองโดยยกทุ่นลอยในระยะเวลาเคลื่อนที่ 5 ถึง 25cm โดยใช้เวลา 1 วินาที และทำการวัด ระยะเวลาเคลื่อนที่ของสะพานเฟือง แล้วนำมาคำนวณความเร็วรอบ หาได้จากสมการที่ (3.1) ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 บันทึกผลการทดลองหาความเร็วรอบของ generator ตัวที่ 1

ผลการทดลองหาความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า			
ระยะเวลาเคลื่อนที่ของ ทุ่นลอย (cm)	ระยะเวลาเคลื่อนที่ของ สะพานเฟือง (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ของทุ่นลอย (sec)	ความเร็วรอบ (rpm)
5	3	1	36
10	6	1	72
15	9	1	108
20	12	1	144
25	15	1	180

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 ผลของความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาเคลื่อนที่ของทุ่นลอยและเวลาในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.5 มาพล็อตกราฟ ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบระหว่างความเร็วรอบกับระยะเวลาเคลื่อนที่ของทุ่นลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 บันทึกผลการทดลองหาความเร็วรอบของ generator ตัวที่ 2

ผลการทดลองหาความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า			
ระยะการเคลื่อนที่ของ ท่อนลอย (cm)	ระยะการเคลื่อนที่ของ สะพานเฟือง (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ของท่อนลอย (sec)	ความเร็วรอบ (rpm)
5	3	1	108
10	6	1	216
15	9	1	324
20	12	1	432
25	15	1	540

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.6 ผลของความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับระยะการเคลื่อนที่ของท่อนลอยและเวลาในการเคลื่อนที่ของท่อนลอย นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.6 มาพล็อตกราฟ ดังรูปที่ 4.14



◆ การเปรียบเทียบระหว่างความเร็วรอบกับระยะการเคลื่อนที่ของท่อนลอย

รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบระหว่างความเร็วรอบกับระยะการเคลื่อนที่ของท่อนลอย

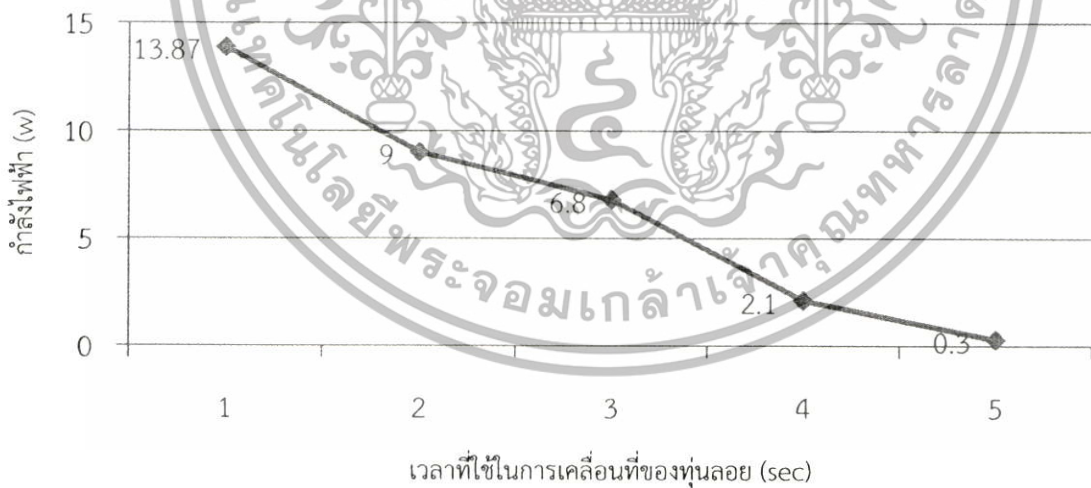
-การทดลองการเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของท่อนลอย การทดลองโดยยกท่อนลอยที่ 25cm และใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของท่อนลอยที่ 1 ถึง 5 วินาที แล้วทำการวัดค่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และคำนวณหา กำลังไฟฟ้าจากสมการที่ (4.1) ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 บันทึกผลการทดลองการเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของ
 ทุ่นลอย

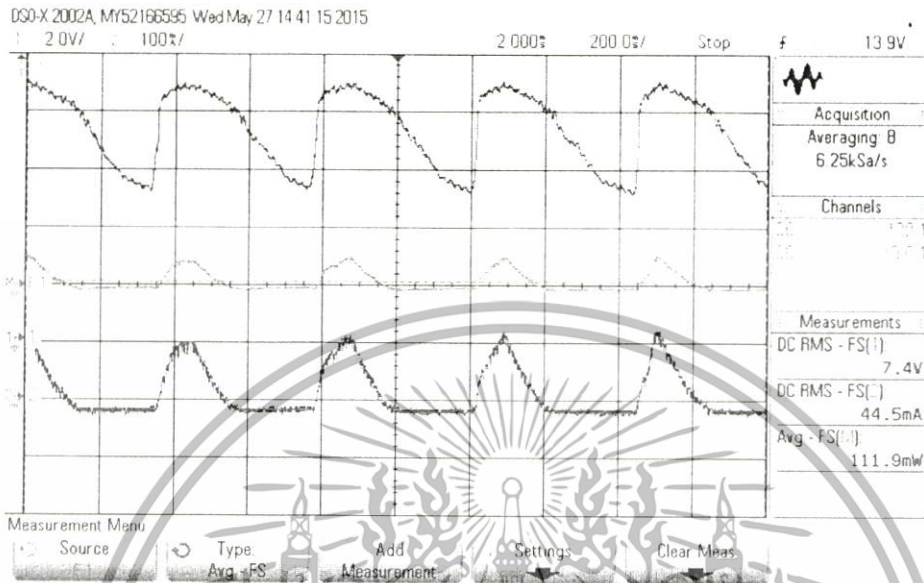
ผลการทดลองการเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย				
ระยะการเคลื่อนที่ ของทุ่นลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการ เคลื่อนที่ของทุ่น ลอย(sec)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (w)
50	1	10.2	1.36	13.87
	2	9	1	9
	3	8.2	0.83	6.8
	4	5	0.42	2.1
	5	4	0.075	0.3

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.7 เมื่อยกทุ่นลอยที่ 25cm โดยใช้เวลา 1 ถึง 5 วินาที ตามลำดับ
 จะได้กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน นำผลการทดลองจากตารางที่ 4.7 มาพล็อตกราฟดังรูปที่ 4.18 จากกราฟ
 จะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้านั้นจะมากขึ้นอยู่กับระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่
 ของทุ่นลอย

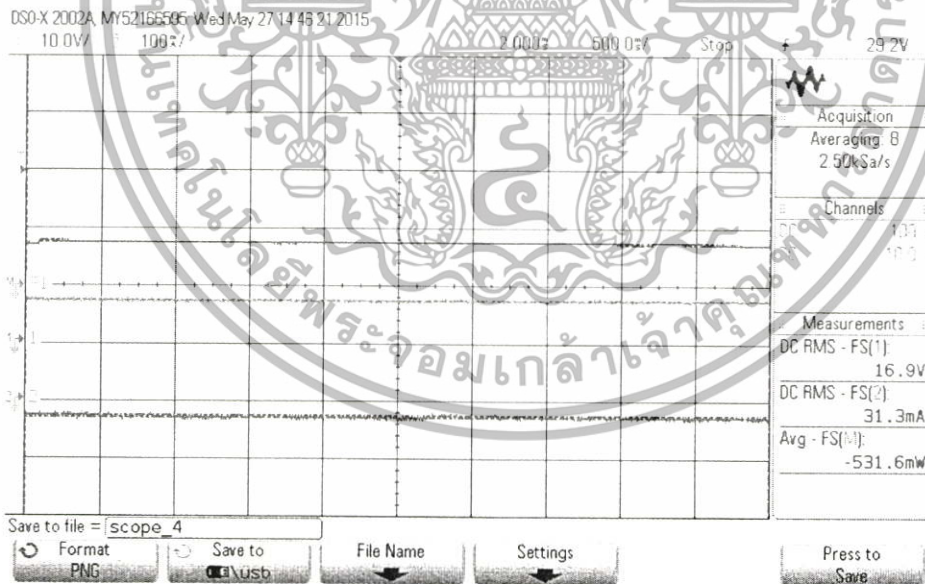


รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย

4.4.2 กราฟการทดสอบในห้องปฏิบัติการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำกระเพื่อม
ใกล้ชายฝั่งขณะมีไหลและไม่มีไหลแบบต่อเนื่องที่ความสูง 5 cm และ 10 cm

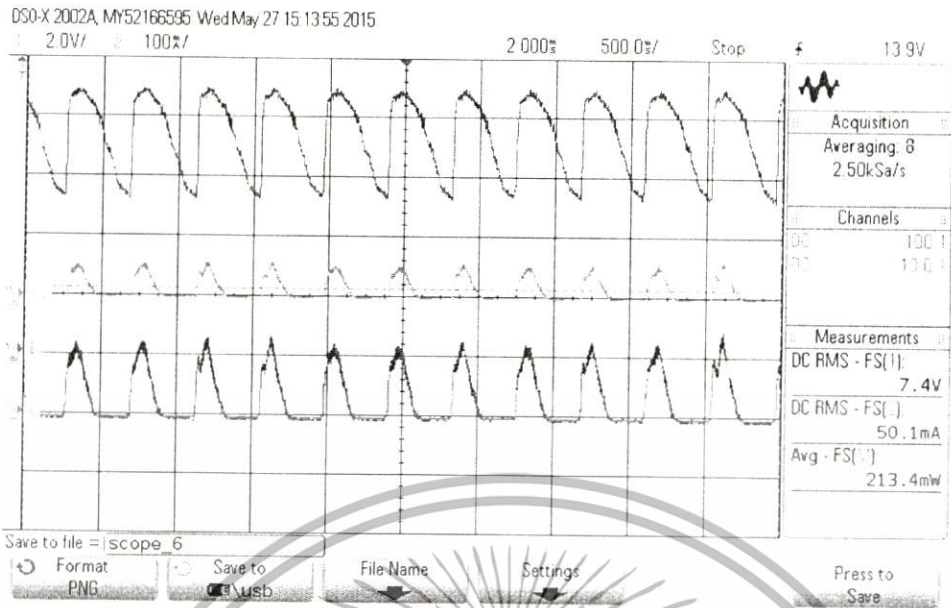


รูปที่ 4.16 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่ 1 ขณะมีไหลที่ความสูง 5 cm

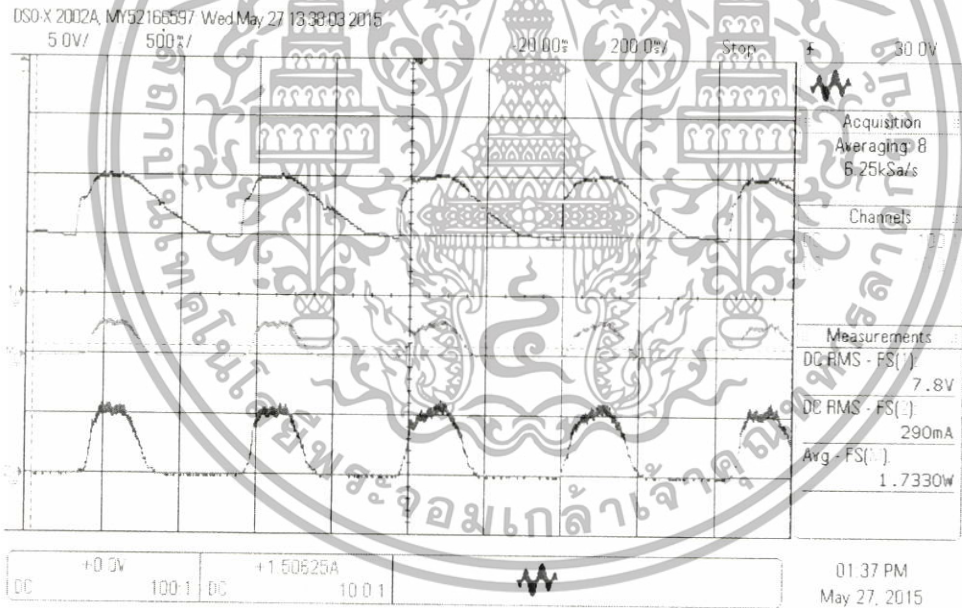


รูปที่ 4.17 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่ 1 ขณะไม่มีไหลที่ความสูง 5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

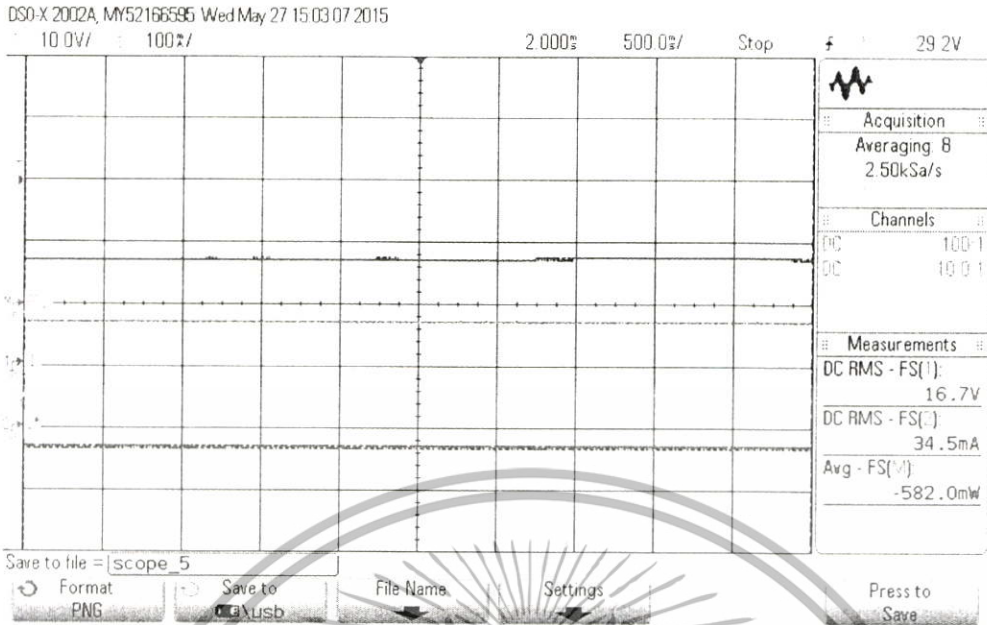


รูปที่ 4.18 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่ 1 ขณะมีโหลดที่มีความสูง 10 cm

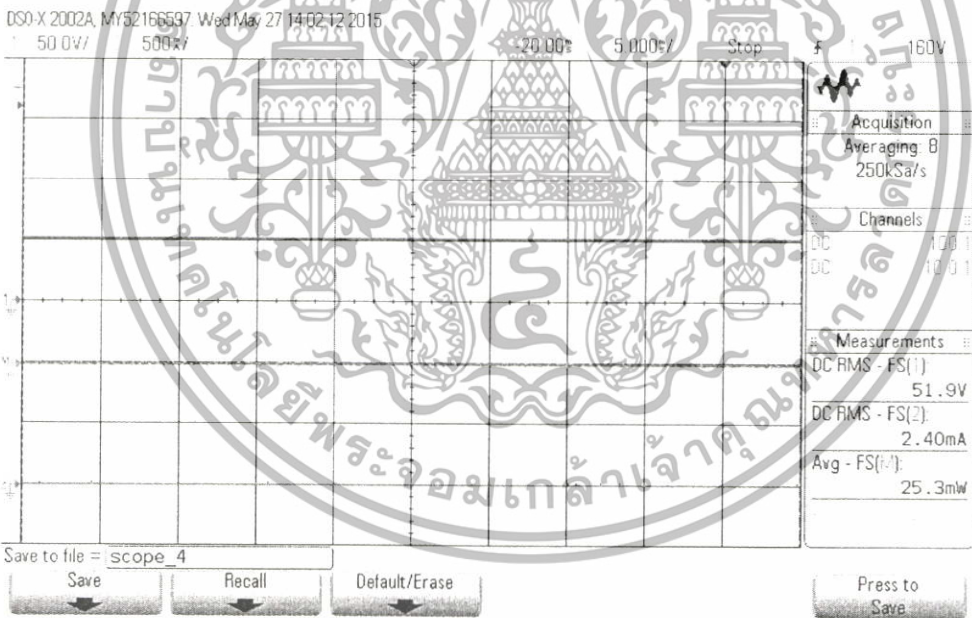


รูปที่ 4.19 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่ 1 ขณะไม่มีโหลดที่มีความสูง 10 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

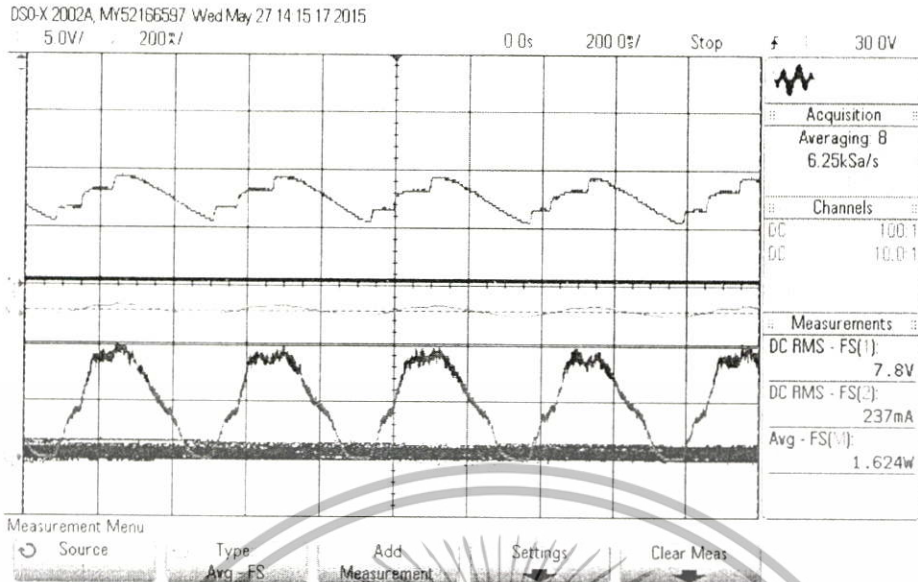


รูปที่ 4.20 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่ 2 แบบมีโหลดที่ความสูง 5 cm



รูปที่ 4.21 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่ 2 ขณะไม่มีโหลดที่ความสูง 5 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่ 2 ขณะมีโหลดที่มีความสูง 10 cm



รูปที่ 4.23 กราฟการทำงานของ generator ตัวที่ 2 ขณะไม่มีโหลดที่มีความสูง 10 cm

4.4.2 ผลการทดลองในสถานที่บางแสน

การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการทดลองแบบไม่มีโหลดและมีโหลด ในสถานที่ บางแสน จังหวัดชลบุรี ในวันที่ 29 มีนาคม 2558 ซึ่งในวันที่ทำการทดลองคลื่นทะเลนั้นมีความสูงอยู่ที่ (h) 5 ถึง 30cm ชั้นละ 5,10,15,20 และ 25cm ตามลำดับโดยให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อโหลด หลอดไฟฟ้าขนาด 12 V 10 W จำนวน 2 หลอด ทำการต่อชานโดยมีสวิตช์ควบคุมการปิด-เปิดจากนั้นทำการวัดค่าเวลาใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนที่ของทุ่นลอย กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า แล้วนำมาคำนวณหาค่ากำลังทางกล กำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของระบบ จากสมการที่ (3.3),(4.1) และ (4.2) โดยมีผลการทดลองดังนี้

- เก็บผลความสูงคลื่นทะเลในสถานที่เก็บผลทดลอง

ได้ทำการวัดความสูงของคลื่นทะเลในสถานที่เก็บผลการทดลอง คือ บางแสน จังหวัดชลบุรี โดยทำการวัดในระหว่างเวลา 09.00 น. ถึง เวลา 17.00 น. ในวันที่ 29 มีนาคม 2558 มีผลการทดลองในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.8 จำนวนลูกคลื่นเฉลี่ยที่ทำการวัดในเวลาต่างๆ

เวลา	จำนวนลูกคลื่นเฉลี่ยที่ทำการวัดในเวลาต่างๆ				
	คลื่นทะเลสูง 5cm (ลูก/นาที)	คลื่นทะเลสูง 10cm (ลูก/นาที)	คลื่นทะเลสูง 15cm (ลูก/นาที)	คลื่นทะเลสูง 20cm (ลูก/นาที)	คลื่นทะเลสูง 25cm (ลูก/นาที)
09.00-10.00น.	12	15	12	4	4
10.00-11.00น.	11	14	12	5	5
11.00-12.00น.	12	16	13	6	4
13.00-14.00น.	13	18	16	4	3
14.00-15.00น.	15	19	16	7	5
15.00-16.00น.	13	21	17	8	7
16.00-17.00น.	10	23	18	7	9
17.00-18.00น.	8	25	20	9	12

จากผลในตารางที่ 4.7 พบว่า ที่เวลา 09.00 น. ที่ความสูง 5 cm คลื่นทะเลมาจำนวน 12 ลูก/นาที ที่ความสูง 10 cm คลื่นทะเลมาจำนวน 15 ลูก/นาที ที่ความสูง 15 คลื่นทะเลมาจำนวน 12 ลูก/นาที ที่ความสูง 20 คลื่นทะเลมาจำนวน 4 ลูก/นาที และที่ความสูง 25 cm คลื่นทะเลมาจำนวน 4 ลูก/นาที ที่เวลา 14.00 น. ที่ความสูง 5 cm คลื่นทะเลมาจำนวน 15 ลูก/นาที ที่ความสูง 10 cm คลื่นทะเลมาจำนวน 19 ลูก/นาที ที่ความสูง 15 cm คลื่นทะเลมาจำนวน 16 ลูก/นาที ที่ความสูง 20 cm คลื่นทะเลมาจำนวน 7 ลูก/นาทีและที่ความสูง 25 cm คลื่นทะเลมาจำนวน 5 ลูก/นาที

ดังนั้นในทุกๆ 1 ชั่วโมง ความสูงของคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย และความเร็วลมนั้นมีผลโดยตรงกับความสูงคลื่นทะเลและความถี่ของลูกคลื่น ยิ่งความเร็วลมมีค่ามาก คลื่นทะเลและความถี่ของลูกคลื่นก็จะมีค่าสูงมากขึ้นเช่นกัน

- ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลด ในสถานที่บางแสน

ความสูงของคลื่นในวันที่ทำการทดลองอยู่ที่ 5 ถึง 30 cm ตามลำดับ ทำการวัดแรงดันไฟฟ้า ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.9 และ 4.10 ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลดในขณะท่อนลอยเคลื่อนที่ขึ้นและในขณะท่อนลอยเคลื่อนที่ลงสถานที่บางแสน จังหวัดชลบุรี ในวันที่ 29 มีนาคม 2558

ผลการทดลองแบบไม่มีโหลด				
ระยะการเคลื่อนที่ของท่อนลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของท่อนลอยในขณะขึ้น (s)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของท่อนลอยในขณะลง (s)	แรงดันไฟฟ้าในขณะท่อนลอยเคลื่อนที่ขึ้น (V)	แรงดันไฟฟ้าในขณะท่อนลอยเคลื่อนที่ลง (V)
5	0.44	0.39	10	14
10	0.64	0.58	15	16
15	0.77	0.66	21	22
20	0.84	0.75	25	25
25	0.92	0.84	27	30

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.9 พบว่า ผลของแรงดันไฟฟ้านั้น จะขึ้นอยู่กับ ระยะการเคลื่อนที่ของท่อนลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของท่อนลอย ยิ่งท่อนลอยเคลื่อนที่มากและใช้เวลาในการเคลื่อนที่เร็วขึ้น ก็จะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้ามากขึ้นเช่นกัน

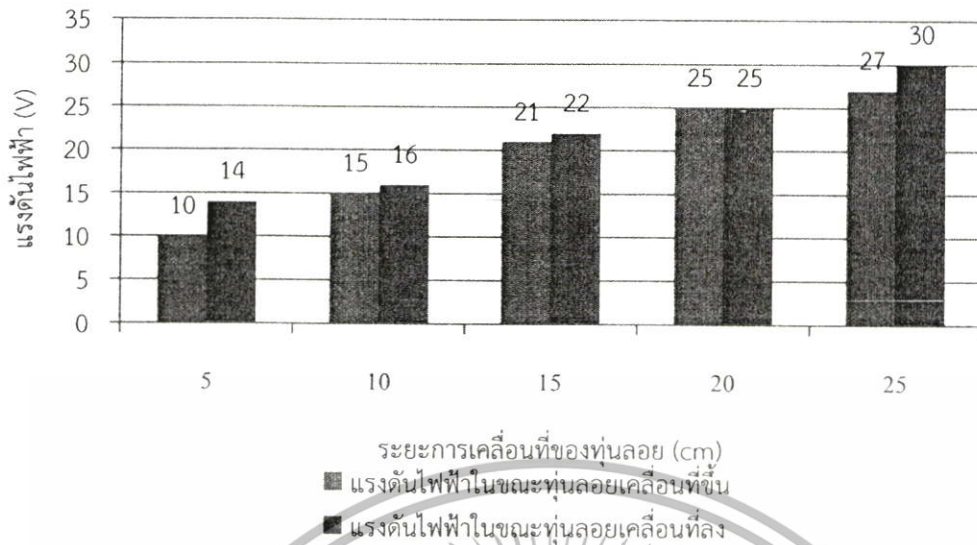
ตารางที่ 4.10 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีโหลดในขณะท่อนลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงสถานที่บางแสน จังหวัดชลบุรี ในวันที่ 29 มีนาคม 2558

ผลการทดลองแบบไม่มีโหลด		
ระยะการเคลื่อนที่ของท่อนลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของท่อนลอยในขณะขึ้นลง (s)	แรงดันไฟฟ้าในขณะท่อนลอยเคลื่อนที่ขึ้นลง (V)
5	0.85	14
10	1.18	18.5
15	1.35	20
20	1.49	25
25	1.62	31

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.10 พบว่า ผลของแรงดันไฟฟ้านั้น จะขึ้นอยู่กับ ระยะการเคลื่อนที่ของท่อนลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของท่อนลอย ยิ่งท่อนลอยเคลื่อนที่มากและใช้เวลาในการเคลื่อนที่เร็วขึ้น ก็จะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้ามากขึ้นเช่นกัน

นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.9 มาพล็อตกราฟเพื่อเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับระยะการเคลื่อนที่ของท่อนลอยดังรูปที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับระยะการเคลื่อนที่ของขดลวดในขณะที่ขดลวดเคลื่อนที่ขึ้น,ลง

- ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมีไหลด ในสถานที่บางแสน

ทำการต่อไหลดขนาด 10 w จำนวน 2 หลอดความสูงของคลื่นในวันที่ทำการทดลองอยู่ที่ 5 ถึง 25cm ตามลำดับ โดยจับเวลาในการเคลื่อนที่ของขดลวด และวัดค่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าพหุคูณกำลังไฟฟ้า จากสมการที่ (4.1) ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.11, 4.12 และ 4.13

ตารางที่ 4.11 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมีไหลดในขณะที่ขดลวดเคลื่อนที่ขึ้นสถานที่บางแสน จังหวัดชลบุรี ในวันที่ 29 มีนาคม 2558

ผลการทดลองแบบมีไหลดขณะขดลวดเคลื่อนที่ขึ้น				
ระยะการเคลื่อนที่ของขดลวด (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของขดลวด (s)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (w)
5	0.57	3.4	0.33	1.12
10	0.78	5.2	0.64	3.32
15	0.92	7.8	0.74	5.78
20	0.95	9.6	0.94	9.1
25	1	10.2	1.1	11.2

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.11 พบว่า ผลของกำลังไฟฟ้านั้น จะขึ้นอยู่กับ ระยะการเคลื่อนที่ของขดลวดและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของขดลวด ยิ่งขดลวดเคลื่อนที่มากและใช้เวลาในการเคลื่อนที่เร็วขึ้น ก็จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมีโพลตในขณะท่อนลอยเคลื่อนที่ลงสถานที่บางแสน จังหวัดชลบุรี ในวันที่ 29 มีนาคม 2558

ผลการทดลองแบบมีโพลตขณะท่อนลอยเคลื่อนที่ลง				
ระยะการเคลื่อนที่ของท่อนลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของท่อนลอย (s)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (w)
5	0.51	4.2	0.5	2.1
10	0.62	5.5	0.8	4.4
15	0.71	6	1	6
20	0.82	8.6	1.2	10.3
25	0.92	12.4	1.3	16.1

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.12 พบว่า ผลของกำลังไฟฟ้านั้น จะขึ้นอยู่กับ ระยะการเคลื่อนที่ของท่อนลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของท่อนลอย ยิ่งท่อนลอยเคลื่อนที่มากและใช้เวลาในการเคลื่อนที่เร็วขึ้น ก็จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นเช่นกัน

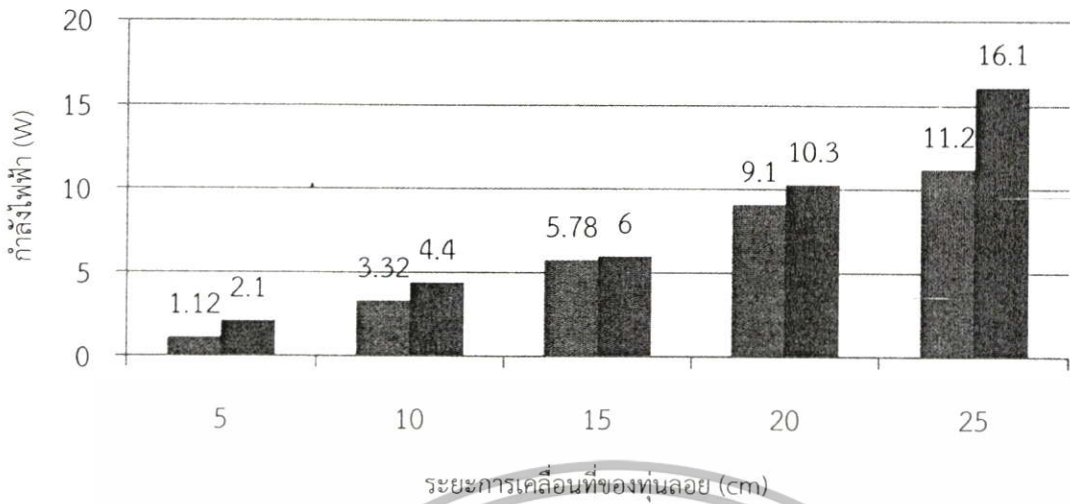
ตารางที่ 4.13 บันทึกผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมีโพลตในขณะท่อนลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงสถานที่บางแสน จังหวัดชลบุรี ในวันที่ 29 มีนาคม 2558

ผลการทดลองแบบมีโพลตขณะท่อนลอยเคลื่อนที่ขึ้นลง				
ระยะการเคลื่อนที่ของท่อนลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของท่อนลอย (s)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (w)
5	1	4	0.55	2.2
10	1.38	5.7	0.9	5.13
15	1.62	6.8	1.05	7.14
20	1.77	8.3	1.2	9.96
25	1.92	11.4	1.2	13.68

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.13 พบว่า ผลของกำลังไฟฟ้านั้น จะขึ้นอยู่กับ ระยะการเคลื่อนที่ของท่อนลอยและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของท่อนลอย ยิ่งท่อนลอยเคลื่อนที่มากและใช้เวลาในการเคลื่อนที่เร็วขึ้น ก็จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นเช่นกัน

นำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.11 และ 4.12 นำมาพล็อตกราฟเพื่อทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ากับระยะการเคลื่อนที่ของท่อนลอย ดังรูปที่ 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้ากับระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยในขณะหุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้น,ลงและขึ้นลง

- การทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การต่อโหลดขนาด 10 W จำนวน 2 โหลดต่อความสูงของคลื่นในวินาทีทำการทดลองอยู่ที่ 5 ถึง 25cm ตามลำดับ จับเวลาในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย และคำนวณหา กำลังทางกล กำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และประสิทธิภาพ หาได้จากสมการ (3.1),(3.3),(4.1) และ (4.2) ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.14

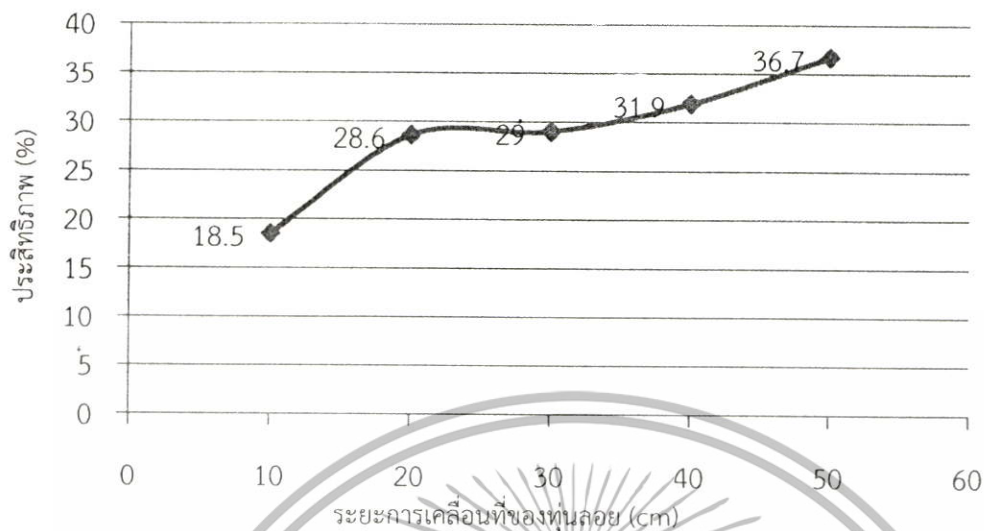
ตารางที่ 4.14 บันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า				
ระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยขึ้นลง (s)	กำลังทางกล (W)	กำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (W)	ประสิทธิภาพ (%)
10	1	15.6	2.89	18.5
20	1.38	22.7	6.49	28.6
30	1.62	29	8.39	29
40	1.77	35.4	11.27	31.9
50	1.92	40	14.68	36.7

ผลจากตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพจะเปลี่ยนแปลงตามระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย ยิ่งหุ่นลอยเคลื่อนที่มากขึ้น ประสิทธิภาพจะสูงด้วยเช่นกันนำผลจากตารางที่ 4.14 มาพล็อตกราฟ ดังรูปที่

4.26 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- การทดลองหาประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า

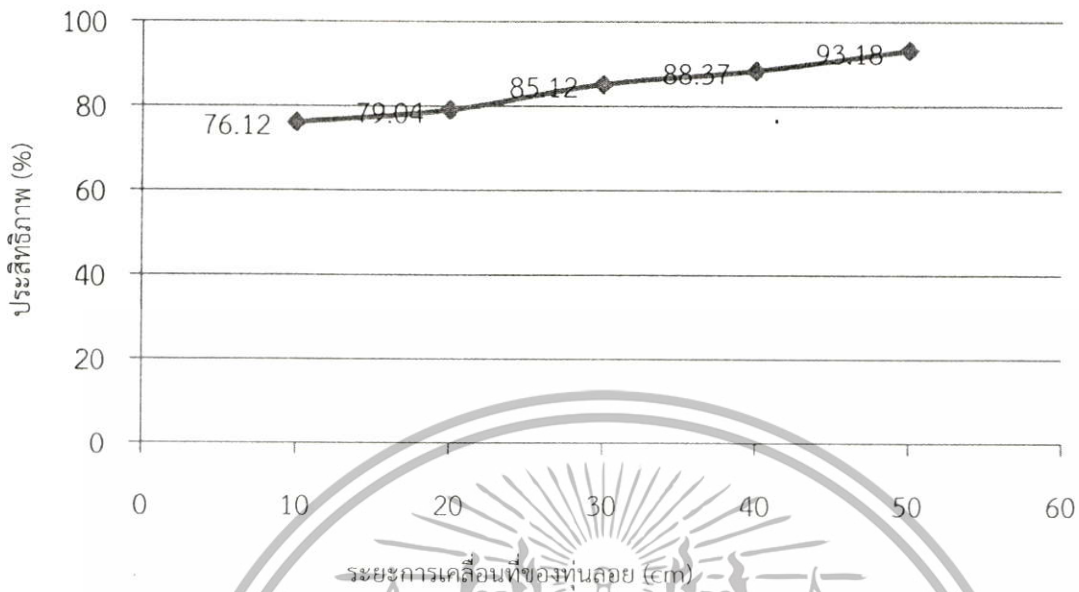
การต่อโหลดขนาด 10 W จำนวน 2 หลอด ความสูงของคลื่นในวันทำการทดลองอยู่ที่ 5 ถึง 25 cm ตามลำดับ จับเวลาในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย และคำนวณหา กำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่โหลด และประสิทธิภาพ หาได้จากสมการ (4.1) และ (4.2) ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 บันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า

ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า				
ระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยขึ้นลง (s)	กำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าที่โหลด (W)	ประสิทธิภาพ (%)
10	1	2.89	2.2	76.12
20	1.38	6.49	5.13	79.04
30	1.62	8.39	7.14	85.12
40	1.77	11.27	9.96	88.37
50	1.92	14.68	13.68	93.18

ผลจากตารางที่ 4.15 ประสิทธิภาพจะเปลี่ยนแปลงตามระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย ยิ่งทุ่นลอยเคลื่อนที่มากขึ้น ประสิทธิภาพจะสูงด้วยเช่นกัน นำผลจากตารางที่ 4.15 มาพล็อตกราฟ ดังรูปที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า

- การทดลองหาประสิทธิภาพของระบบ

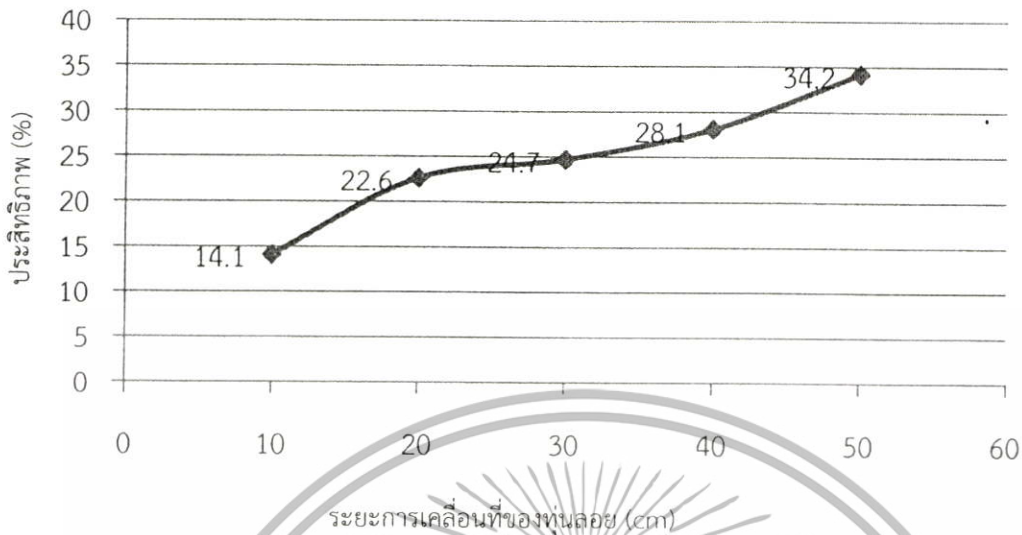
การต่อโหลดขนาด 10 W จำนวน 2 หลอด ความสูงของคลื่นในวินาทีทำการทดลองอยู่ที่ 5 ถึง 25cm ตามลำดับ จับเวลาในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย และคำนวณหา กำลังทางกล กำลังไฟฟ้าที่โหลด และประสิทธิภาพ หาได้จากสมการ (3.3), (4.1) และ (4.2) ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 บันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบ

ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบ				
ระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย (cm)	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยขึ้นลง (s)	กำลังทางกล (W)	กำลังไฟฟ้าที่โหลด (W)	ประสิทธิภาพ (%)
5	1	15.6	2.2	14.1
10	1.38	22.7	5.13	22.6
15	1.62	29	7.14	24.7
20	1.77	35.4	9.96	28.1
25	1.92	40	13.68	34.2

ผลจากตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพจะเปลี่ยนแปลงตามระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย ยิ่งทุ่นลอยเคลื่อนที่มากขึ้น ประสิทธิภาพจะสูงด้วยเช่นกัน นำผลจากตารางที่ 4.16 มาพล็อตกราฟ ดังรูปที่

4.28 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพของระบบ

4.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ ทดลองยกหลอดลอยที่ ความสูง 5 ถึง 25cm ตามลำดับ ใช้เวลา 1 วินาที ในขณะที่ไม่มีโหลด แรงดันไฟฟ้าในขณะที่หลอด เคลื่อนที่ขึ้นจะน้อยกว่าขณะที่หลอดเคลื่อนที่ลง แรงดันไฟฟ้าในขณะที่หลอดเคลื่อนที่ขึ้นลงนั้นแรงดันจะ ได้มากกว่าเพราะ มีความต่อเนื่องผลของแรงดันไฟฟ้านั้นจะมากขึ้นอยู่กับระยะการเคลื่อนที่ของหลอด และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหลอดแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ไม่มีโหลดสูงสุดคือ 56.04V การทดลอง ในขณะที่มีโหลดนั้น ได้กำลังไฟฟ้สูงสุดคือ 13.8W ยิ่งหลอดเคลื่อนที่มากขึ้นและใช้เวลาในการเคลื่อนที่ เร็วขึ้น ก็จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้มากด้วยเช่นกัน

การทดลองในสถานที่บางแสน ความสูงของคลื่นในวันที่ทำการทดลองอยู่ที่ 5 ถึง 25cm ตามลำดับ ขณะไม่มีโหลด ได้แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 31V ขณะมีโหลด ได้กำลังไฟฟ้สูงสุด 13.68W ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สูงสุดที่ 36.7 % ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้ สูงสุดที่ 93.18 % และประสิทธิภาพของระบบ สูงสุดที่ 34.2% ประสิทธิภาพนั้นจะมากขึ้นอยู่กับระยะการเคลื่อนที่ของ หลอด ผลการวิจัยไม่สามารถนำไปอ้างอิงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผล

ผลการวิจัยการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายในท้องทดลอง จากผลการทดลองเครื่องผลิตไฟฟ้าแบบไม่มีไหลด้นั้นได้ทำการทดลองระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยตั้งแต่ 5cm ถึง 25cm ผลที่ได้คือจากการทดลองเมื่อทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นและทุ่นลอยเคลื่อนที่ลงค่าแรงดันไฟฟ้าของทั้งสองสภาวะมีค่าใกล้เคียงกันแต่จะแตกต่างกับสภาวะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงในสภาวะเดียวกันค่าแรงดันไฟฟ้าจะมากกว่าสภาวะการเคลื่อนที่สภาวะใดสภาวะหนึ่ง ซึ่งการเคลื่อนที่ขึ้นและลงนั้นเป็นสภาวะการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องค่าแรงดันไฟฟ้าจึงได้มากกว่าการเคลื่อนที่สภาวะใดสภาวะหนึ่ง และทุกๆระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอย ยิ่งทุ่นลอยมีระยะการเคลื่อนที่ที่สูงขึ้นค่าแรงดันไฟฟ้าก็จะสูงขึ้นตามระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยและจากผลการทดลองแบบมีไหลด้นั้นได้ทำการทดลองระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นลอยตั้งแต่ 5cm ถึง 25cm ผลที่ได้คือ จากการทดลองเมื่อทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นและทุ่นลอยเคลื่อนที่ลง ค่าแรงดันไฟฟ้าของทั้งสองสภาวะนี้จะใกล้เคียงกันและจะแตกต่างกับสภาวะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ขึ้นลงในสภาวะเดียวกันซึ่งค่าแรงดันของการเคลื่อนที่ในลักษณะที่เป็นการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องค่าแรงดันจะได้มากกว่า ยิ่งทุ่นลอยมีระยะการเคลื่อนที่ที่สูงและมีการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง ก็จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่สูงมากขึ้นด้วย

จากการวิจัยนี้ได้ไปทำการทดลองที่ทะเลจริง ซึ่งตามทฤษฎีในท้องทดลองนั้นสามารถใช้ได้จริงในการทดลองที่ทะเลจริงแบบไม่มีไหลด้นั้น ในสภาวะการเคลื่อนที่ขึ้นและการเคลื่อนที่ลงของทุ่นลอยจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกันเหมือนในการทดสอบในท้องทดลองและในสภาวะเดียวคือขึ้นลงนั้นจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่มากกว่าสภาวะใดสภาวะหนึ่งเนื่องมาจากการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องของทุ่นลอยและระยะความสูงของคลื่นทะเล

ในการทดลองแบบมีไหลด้นั้น ค่าแรงดันในสภาวะการเคลื่อนที่ขึ้นและในสภาวะการเคลื่อนที่ลงของทุ่นลอยจะมีค่าใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันมากแต่จะแตกต่างกับสภาวะการเคลื่อนที่ขึ้นลงในสภาวะเดียวกันจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่มากกว่าและกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่า เนื่องมาจากการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องยังมีระยะการเคลื่อนที่ที่มากขึ้นก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงมากขึ้นและกระแสไฟฟ้ากับกำลังไฟฟ้าก็สูงมากขึ้นเช่นกัน เมื่อทำการทดลองการผลิตไฟฟ้าแล้วจึงได้ทำการต่อเข้าแบตเตอรี่โดยการต่อผ่าน charge controller (ชุดชาร์จ) ชุดชาร์จจะเริ่มทำการชาร์จประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ในระยะที่คลื่นทะเลสูงประมาณ 30 cm ซึ่งทุ่นลอยจะมีระยะการเคลื่อนที่ 15 ถึง 25cm จากการทดลองพบว่าเมื่อทุ่นลอยเคลื่อนที่ได้ 25 cm มีความสูงของคลื่นทะเลประมาณ 30 cm ในช่วงสภาวะที่ทุ่นลอยขึ้นใช้เวลา 0.75 sec และในสภาวะที่ทุ่นลอยเคลื่อนที่ลงใช้เวลา 0.70 sec ชุดชาร์จจึงเริ่มชาร์จประจุ ถ้าทุ่นลอยมีการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องจะทำให้การชาร์จแบตเตอรี่ได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากคลื่นทะเลติดตั้งบริเวณชายฝั่งทำให้ทราบถึงปัญหาต่างๆที่ต้องปรับปรุงและพัฒนาให้เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นควรออกแบบชุดกลไกและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เหมาะสมกับทะเลประเทศไทยและขนาดของเครื่องผลิตไฟฟ้าควรต้องคำนึงถึงการขนย้ายและเคลื่อนที่สะดวกเมื่อเกิดลมมรสุมหรือน้ำขึ้นน้ำลงและต้องทนต่อความเป็นกรดของน้ำทะเลด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

โครงการเพิ่มเติมจากงานวิจัยพลังงานคลื่น

6.1 หลักการและเหตุผลของโครงการวิจัย

เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนพลังงานที่มีอยู่ในขณะนี้ พลังงานสะอาดหรือพลังงานหมุนเวียน จึงได้รับความสนใจมากขึ้น อาทิเช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ ชีวภาพ รวมถึงพลังงานคลื่นทะเล (Ocean Tidal Energy) ซึ่งเป็นพลังงานจากธรรมชาติที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด พลังงานดังกล่าวสามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้ รูปแบบอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการแปลงพลังงานจากคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ อุปกรณ์ผลิตพลังงานชนิดอยู่กับที่ (Fixed) และอุปกรณ์ผลิตพลังงานชนิดลอยอยู่บนผิวมหาสมุทร (Floating) สำหรับในเทคนิคที่จะนำมาใช้ในเกาะสีชังนั้น จะใช้เทคนิคการดึงพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นทะเลชนิดอยู่กับที่ เนื่องจากราคาอุปกรณ์รวมทั้งการซ่อมบำรุงที่น้อยและสะดวกกว่าแบบชนิดลอยอยู่กลางทะเล

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

รูปแบบเทคนิคที่นำเสนอในโครงการนี้จะแปลงพลังงานโดยใช้วัตถุที่ลอยน้ำ เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อคลื่นทะเลได้ โดยวัตถุลอยน้ำนั้นจะถูกดันให้ลอยขึ้นและลงตามลักษณะของคลื่นทะเล แล้วต่อแกนไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งถูกยึดไว้กับที่ ในส่วนของการเชื่อมต่อนั้นจะเชื่อมต่อกันด้วยเพลลาที่สามารถขบกับเฟืองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ในขณะที่วัตถุลอยน้ำนั้นถูกคลื่นซัด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกยึดไว้จะถูกจุดให้หมุนไปและกลับตามลักษณะของคลื่นที่มากระทบ ส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้ พลังงานที่ผลิตได้จะสามารถผลิตได้ตลอดเวลาที่คลื่นกระทบกับตัววัตถุลอยน้ำ โดยพลังงานไฟฟ้าจะถูกปรับปรุงคุณภาพให้สามารถใช้งานได้ ก่อนที่จะจ่ายให้กับโหลดที่เชื่อมต่ออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

6.2.1 สามารถสร้างอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กได้ โดยติดตั้งที่เกาะสีชัง ช่วยลดภาระการใช้ไฟฟ้าของโรงผลิตน้ำจืด

6.2.2 พลังงานที่ถูกรวบรวมขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นการประชาสัมพันธ์ความสามารถของบุคลากรของสถาบันฯ

6.2.3 จากปัญหาที่ได้กล่าวมาทั้งสิ้นจนถึงบทสรุปที่ 5 จึงดำเนินการพิจารณาเพิ่มเติมโครงการเดิมพลังงานคลื่น เพิ่มในส่วนของพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อช่วยให้กำลังงานไฟฟ้าที่ต้องการมากขึ้น

6.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

สร้างอุปกรณ์ต้นแบบของการแปลงพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กได้ และเพิ่มเติมโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ และสามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

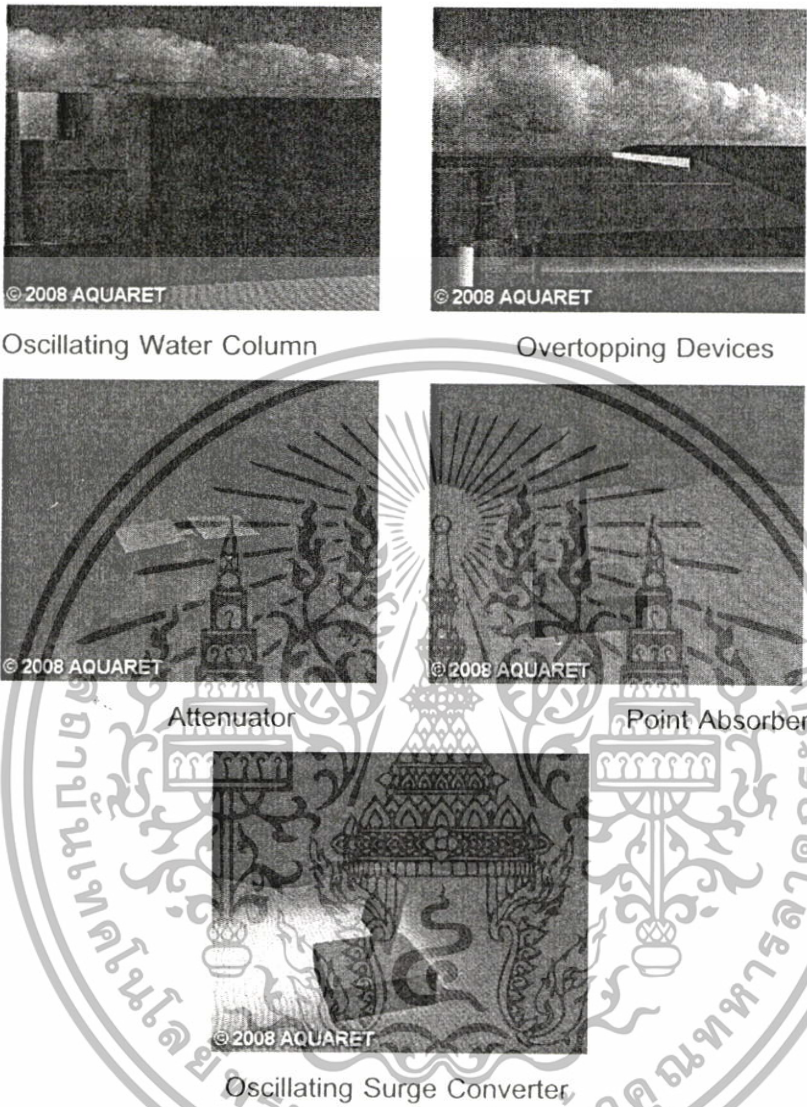
6.4 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

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

นอกจากพลังงานแสงอาทิตย์แล้วประเทศไทยอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมแก่การนำพลังงานคลื่นน้ำมาใช้ เนื่องจากมีสภาพภูมิประเทศทั้งทางภาคตะวันออก และภาคใต้เป็นลักษณะชายฝั่ง นอกจากนี้คลื่นนั้นยังเกิดขึ้นตลอดเวลารวมทั้งเป็นพลังงานที่มีอยู่ไม่จำกัด ดังนั้นพลังงานคลื่นจึงมีความน่าสนใจที่นำมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า สำหรับเทคนิคที่ถูกเลือกมาใช้มีหลากหลายประเภทแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ ประเภทผลิตพลังงานจากอุปกรณ์ผลิตพลังงานชนิดอยู่กับที่ (Fixed) (เช่น Oscillating Water Column และ Overtopping Devices) และประเภทผลิตพลังงานจากอุปกรณ์ผลิตพลังงานชนิดลอยอยู่บนผิวมหาสมุทร (Floating) (เช่น Attenuator, Point Absorber และ Oscillating Surge Converter) โดยเทคนิคที่น่าเสนอจะใช้อุปกรณ์ผลิตพลังงานชนิดอยู่กับที่ (Fixed) ซึ่งมีข้อดีกว่าชนิดลอยกลางมหาสมุทร (Floating) เพราะอุปกรณ์ที่ใช้จะต้องทนต่อสภาพการกัดกร่อนได้ดีเนื่องจากระบบทั้งหมดจะอยู่กลางทะเล การนำพลังงานมาใช้จะต้องใช้สายไฟที่มากกว่า รวมทั้งการซ่อมบำรุงที่ยุ่งยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่า ดังนั้นเทคนิคที่นำเสนอจึงที่ความเหมาะสมกว่าเทคนิคการผลิตกระแสไฟฟ้าชนิดลอยอยู่กลางทะเล ตัวอย่างของคลื่นน้ำและชุดกำเนิดพลังงานจากคลื่นแบบต่างๆแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 โมเดลของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าจากคลื่นมหาสมุทรรูปแบบต่างๆ

ทฤษฎี

พลังงานจากคลื่น (Wave Energy) เป็นผลจากการสมดุลระหว่างพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ในของไหล และพลังงาน รวมก็คือผลรวมของพลังงานทั้งสอง สามารถคำนวณและวิเคราะห์ได้จากสมการที่ (6.1) – (6.3)

$$KE + PE = \rho \iiint_V \left(\frac{1}{2} V^2 + gy \right) dy \tag{6.1}$$

ถ้าพิจารณาขอบเขตในแนวตั้งตั้งแต่ผิวน้ำถึงก้นทะเลจะได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = \rho \int_{-h}^{\eta} \left(\frac{1}{2} V^2 + gy \right) dy = \frac{1}{2} \rho \int_{-h}^{\eta} V^2 dy + \frac{1}{2} \rho g (\eta^2 - h^2) \quad (6.2)$$

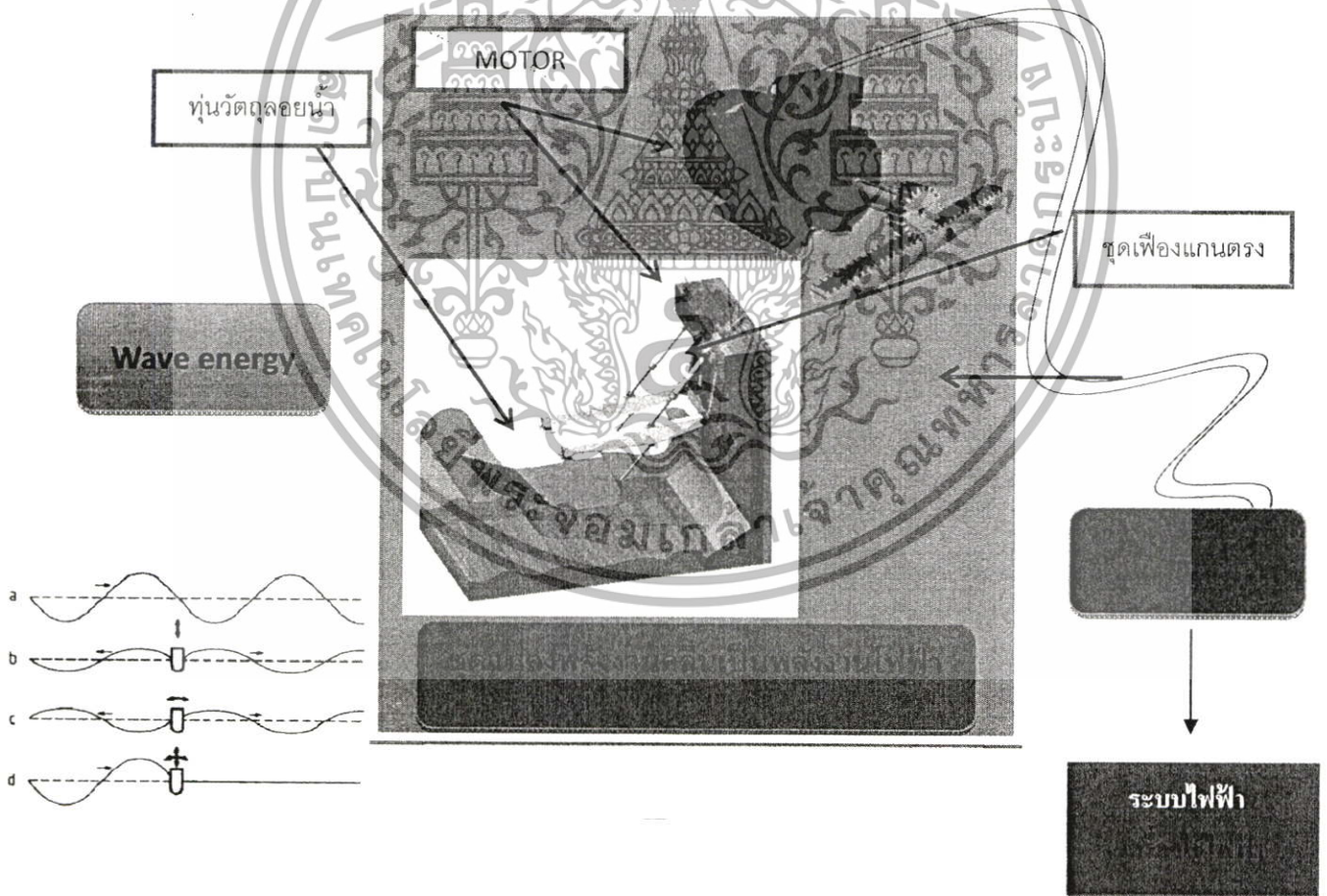
พลังงานจลน์ พลังงานศักย์

สำหรับกรณีคลื่นเล็กๆ Energy density จะเป็นสัดส่วนกำลังสองของความสูงคลื่น A จะได้

$$E = \frac{1}{4} \rho g A^2 + \frac{1}{2} \rho g A^2 \cos^2(kx - \omega t) \quad (6.3)$$

พลังงานจลน์ พลังงานศักย์

ตัวอย่างหลักการ/วิธีการทำงานของในโครงการ



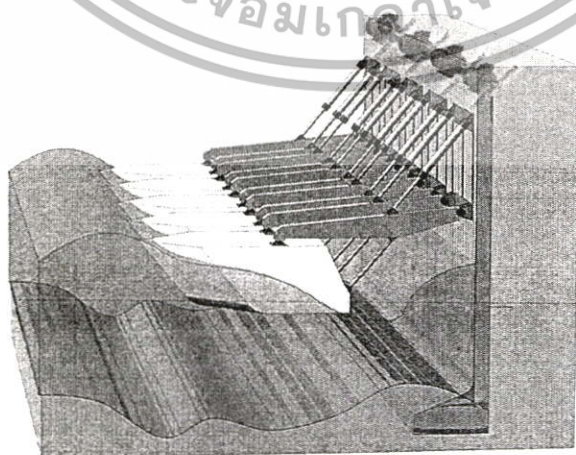
รูปที่ 6.2 ระบบของเทคนิคที่จะใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบที่นำเสนอประกอบด้วย ชุดอุปกรณ์ลอยน้ำ แกนจับยึดอุปกรณ์กับฐาน เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชุดเฟืองแกนตรง อินเวอร์เตอร์แปลงผันพลังงานไฟฟ้า โดยระบบจะเริ่มทำงานเมื่อมีคลื่นทะเลมากระทบกับอุปกรณ์ที่ลอยน้ำที่เชื่อมต่อกับชุดเฟืองแกนตรงซึ่งพลังงานจากคลื่นทะเลจะถูกส่งผ่านจากพลังงานคลื่นสู่พลังงานกล โดยชุดเฟืองแกนตรงจะขบกับเฟืองของแกนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งพลังงานทางกลที่ได้รับจากคลื่นจะส่งผ่านและแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่ออุปกรณ์ลอยน้ำเกิดการเลื่อนขึ้นเลื่อนลงเนื่องจากคลื่นทะเล ส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดการหมุนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วส่งต่อไปยังชุดอินเวอร์เตอร์เพื่อเพิ่มคุณภาพสัญญาณทางไฟฟ้า แล้วส่งเข้าสู่ระบบไฟฟ้าหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อไป



รูปที่ 6.3 อุปกรณ์แปลงผันพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าแบบ Single



รูปที่ 6.4 อุปกรณ์แปลงผันพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าแบบระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนไว้เพื่อวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 ระยะเวลาดำเนินโครงการ

ตุลาคม 2557 ถึง กันยายน 2558

6.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัย

- 6.6.1 สามารถสร้างอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กได้
- 6.6.2 ประชาชนมีความเข้าใจการใช้พลังงานหมุนเวียน
- 6.6.3 ลดภาระการใช้จ่ายค่าไฟฟ้าของโรงผลิตน้ำจืด

6.7 ระเบียบวิธีวิจัย

6.7.1 ประเมินความเป็นไปได้ในการนำพลังงานคลื่นมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า โดยประเมินจากการคำนวณด้วยสูตรการยกตัวของหน้าคลื่นซึ่งมีองค์ประกอบของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ และใช้ทฤษฎีเครื่องจักรกลไฟฟ้าในการออกแบบอุปกรณ์แปลงผันพลังงานกลเป็นไฟฟ้า รวมทั้งนำทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์กำลังในการออกแบบตัวควบคุมการแปลงผันรูปแบบพลังงานที่ได้จากอุปกรณ์ทางกลที่ผลิตขึ้นให้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับระบบของโรงผลิตน้ำจืด

6.7.2 จัดอบรมความรู้ด้านพลังงานหมุนเวียนทั้งทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ ลม รวมทั้งพลังงานคลื่น ให้ชาวบ้านได้รับรู้มากขึ้น รวมทั้งยกตัวอย่างการนำพลังงานคลื่นมาใช้ร่วมกับโรงผลิตน้ำจืดที่ทางสถาบันได้ทำการวิจัยให้ชาวบ้านได้รับรู้และทำความเข้าใจ รวมทั้งรู้และรักใช้พลังงานอย่างประหยัด

6.7.3 ตรวจวัดพลังงานที่ได้รับจากคลื่นเก็บเป็นข้อมูลระยะยาวเพื่อวิเคราะห์ถึงเสถียรภาพของระบบ รวมทั้งคำนวณค่าไฟฟ้าที่ลดลงในแต่ละเดือน และวางแผนการเพิ่มปริมาณการลดใช้พลังงานให้มากขึ้นต่อไป

6.8 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย (ให้ระบุขั้นตอนอย่างละเอียด)

- 6.8.1 ตรวจสอบความเป็นไปได้ในศักยภาพพลังงาน ออกแบบโครงร่างและตัวระบบ
- 6.8.2 ออกแบบและพัฒนาต้นแบบ
- 6.8.3 รวมระบบและตรวจสอบระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 แผนดำเนินงานโครงการวิจัย

กิจกรรม	2557			2558								
	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. ตรวจสอบความเป็นไปได้ในศักยภาพพลังงานออกแบบโครงร่างและตัวระบบ												
2. พัฒนาต้นแบบ												
3. รวมระบบ												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic)

7.1 บทนำ

เซลล์แสงอาทิตย์ หรือเซลล์ Photovoltaic ซึ่งล้วนมีที่มาจากคำว่า Photovoltaic โดยแยกออกเป็นคำว่า Photo ซึ่งหมายถึง แสง และ Volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึง กระบวนการผลิตจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1839 แต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1954 จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ และได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับดาวเทียมในอวกาศ เมื่อ ปี ค.ศ. 1959 ดังนั้น สรุปได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน (Silicon) แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide) อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide) แคดเมียม เทลลูไรด์ (Cadmium Telluride) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองข้างของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ได้จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งสามารถนำไปต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรง หรือนำมาผ่านคอนเวอร์เตอร์เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อนำไปใช้งานได้ต่อไป

พลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ เป็นพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย และมีอยู่อย่างไม่จำกัด ไม่ว่าจะนำไปใช้เกี่ยวกับวิธีพื้นบ้านหรือวิธีทางวิทยาศาสตร์ก็ตาม แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งได้นำพลังงานแสงไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) สามารถดึงพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ได้โดยตรง และสามารถเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าจากแสงได้ในรูปของแบตเตอรี่เพื่อใช้งานในด้านต่างๆ เช่น ใช้เปิดไฟในตอนกลางคืน สำหรับบ้านพักอาศัยที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง เป็นต้น จะเห็นว่าปัจจุบันนี้คนส่วนใหญ่หันมาให้ความสนใจพลังงานทางด้านนี้มากขึ้น เนื่องจากมีความสะอาด บริสุทธิ์ ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม และในเชิงพาณิชย์จะสามารถช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้ แต่มีข้อเสียในเรื่องของต้นทุนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาสูงและมีน้ำหนักมาก ทำให้นักวิจัยต่างๆ มีความต้องการที่จะพัฒนาเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ในหลายๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านการดึงพลังงานไปใช้ให้ได้มากที่สุด หรือด้านของวัสดุที่ใช้ทำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีต้นทุนที่ต่ำลง เป็นต้น

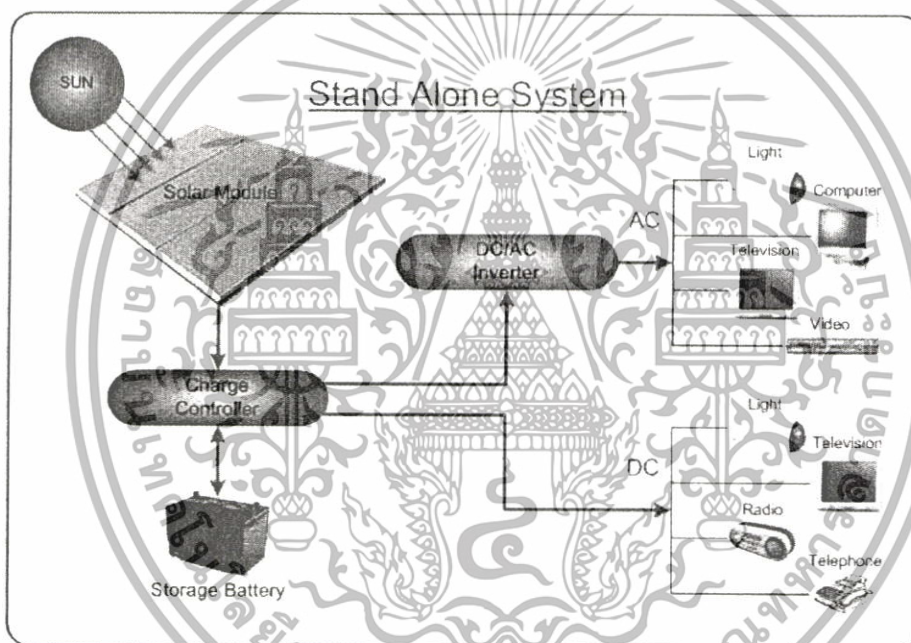
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์และการประยุกต์ใช้งาน

ในปัจจุบันนั้นเซลล์แสงอาทิตย์มีการประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้านโดยแบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (stand alone solar systems) และระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่ง (grid-connected solar systems)

โดยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระในระบบประเภทนี้สามารถพบเห็นได้ตามสถานที่ต่างๆ เช่น สัญญาณไฟจราจรพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องบำบัดน้ำเสียพลังงานแสงอาทิตย์ หรือให้เซลล์แสงอาทิตย์ชาร์จไฟฟ้าเก็บไว้ในแบตเตอรี่แล้วจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ซึ่งจะมีข้อดีคือไม่ต้องจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์นั้นๆ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าใช้เองได้ ดังรูปที่

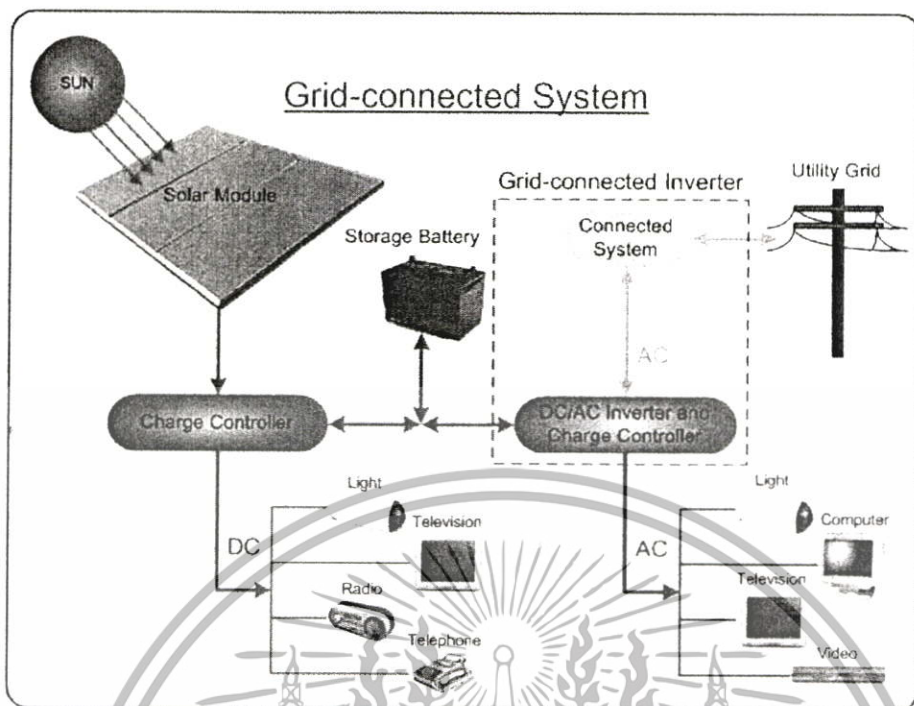
7.1



รูปที่ 7.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ

ในส่วนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกนำมาแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้วยอินเวอร์เตอร์ เพื่อจ่ายให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า และหากระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ต้องการ พลังงานไฟฟ้าที่เหลือก็จะถูกขายคืนให้การไฟฟ้าได้ ดังรูปที่ 7.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



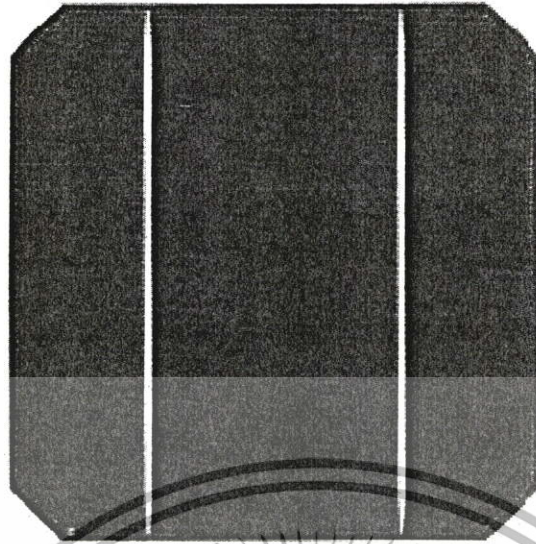
รูปที่ 7.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่อเชื่อมระบบสายส่งพลังงานไฟฟ้า

7.1.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาและใช้งานในปัจจุบันนั้น แทบทั้งหมดทำจากธาตุ silicon ซึ่งเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับสองบนโลกรองจากออกซิเจน โดยสิ่งที่เห็นรอบตัว เช่น ทรายตามชายหาด หินต่างๆ ล้วนมีซิลิคอนเป็นส่วนประกอบหลักๆ นั่นคือ เป็นธาตุที่มีมากมายเหลือใช้ (การนำมาทำให้บริสุทธิ์ใช้งานได้ ต้องมีเทคนิคและใช้พลังงาน รวมถึงต้องมีค่าใช้จ่าย) ซิลิคอนเป็นวัสดุที่ใช่มาก ในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำในปัจจุบัน ซึ่งเรียกได้ว่าเป็นเมล็ดข้าวสารของอุตสาหกรรมเลยก็ว่าได้ โทรานซิสเตอร์, ไอซี (Integrated Circuit : IC) และวงจรรวมเอเอสซี (Large Scale Integration : LSI) โดยส่วนใหญ่แล้วมักสร้างจากซิลิคอนทั้งสิ้น ซึ่งในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ในแง่ของวัตถุดิบ ได้มีอุตสาหกรรมรองรับอยู่แล้ว โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนแบ่งตามโครงสร้างได้ 3 แบบคือ

7.1.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single crystalline silicon solar cell : c-Si) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก ซิลิคอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง สามารถถลุงได้จากหินและทราย โดยนิยมใช้ธาตุซิลิคอนในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์ ไอซี และเซลล์แสงอาทิตย์ เทคโนโลยี c-Si ได้รับความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นิยมใช้งานในพื้นที่เฉพาะได้แก่ ในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นหลัก

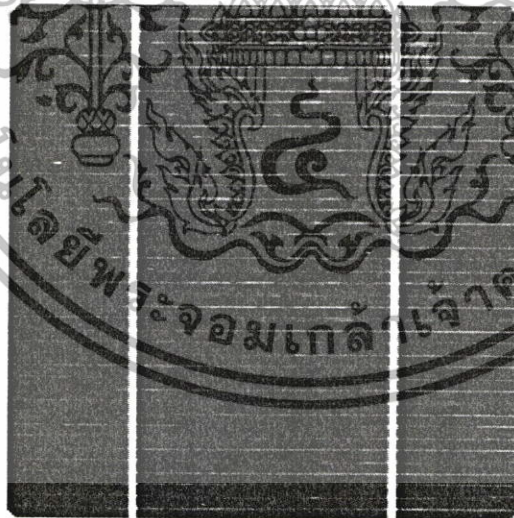
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.3 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว

7.1.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิคอน (Polycrystalline silicon solar cell: p-Si)

เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกโพลีได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยวซิลิคอนโดยทำให้ลดต้นทุนให้ต่ำกว่าถึงร้อยละ 10 อย่างไรก็ตาม เทคนิค p-Si ได้รับความนิยมและใช้งานอย่างแพร่หลายเช่นกัน



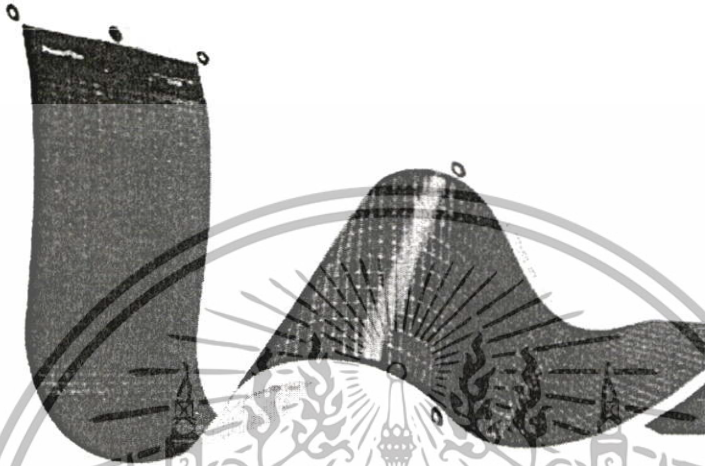
รูปที่ 7.4 เซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกโพลี

7.1.2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (amorphous silicon solar cell: a-Si)

ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) นานักเบามาก และประสิทธิภาพเพียง 5-10% เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิคอนเช่นกัน แต่จะไม่ใช่ผลึก แต่ผลของสารอะมอร์ฟัสจะทำให้เกิด

เอทิล เป็น เอทิล สาร ที่ แสง รังสี ที่ กระทบ ต่อ เซลล์ จะ เป็น พลังงาน ที่ มี ประสิทธิภาพ ในการ ค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นฟิล์มบางของซิลิกอน ซึ่งมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา การผลิตทำได้ง่าย และข้อดีของ a-Si ไม่เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น



รูปที่ 7.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิกอน

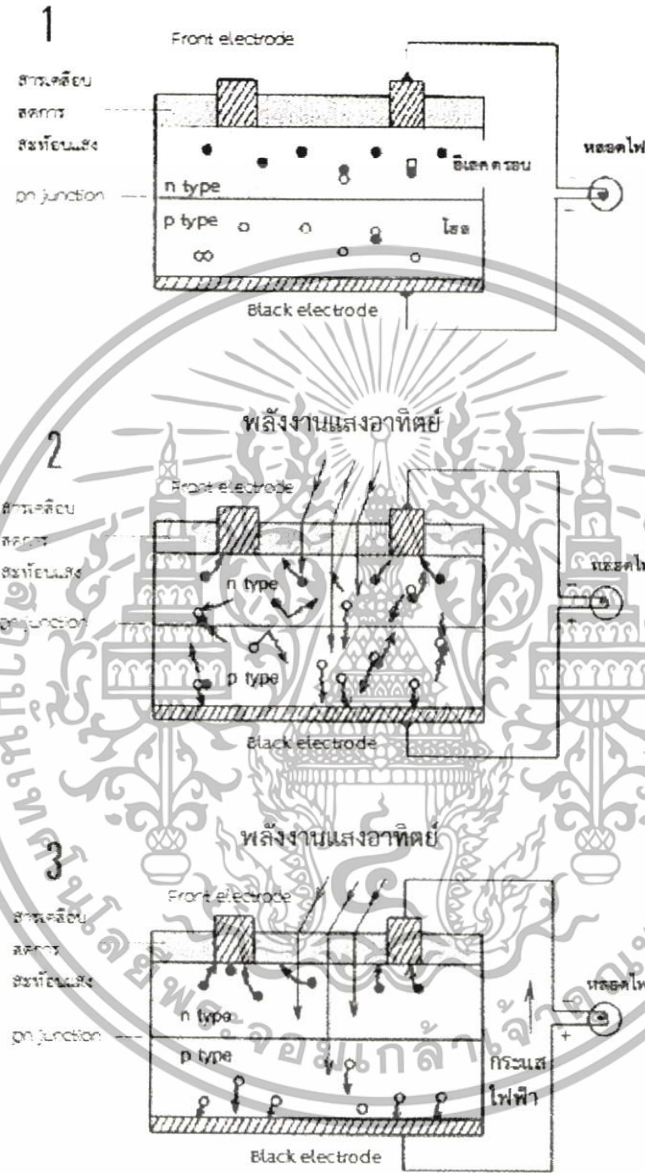
7.1.3 คุณสมบัติและหลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

1. n type ซิลิกอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้อุปโภคด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ n type ซิลิกอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้อุปโภคด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิกอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย pn junction จึงทำให้เกิดเป็น เซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n type ซิลิกอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้ให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p type ซิลิกอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p type ซิลิกอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล

2. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน



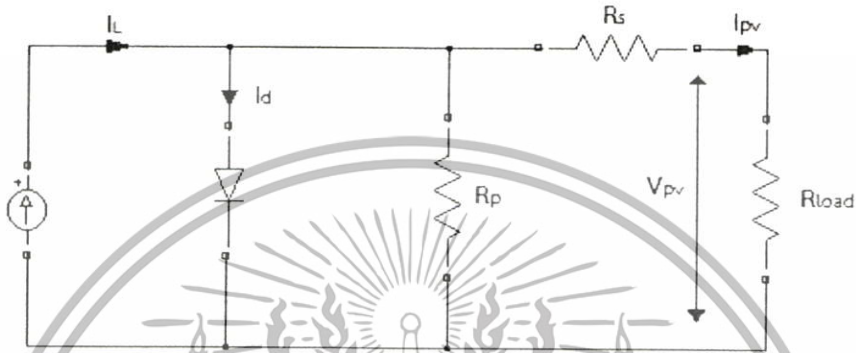
รูปที่ 7.6 การทำงานเซลล์แสงอาทิตย์

7.1.4 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตมาจากวัสดุสารกึ่งตัวนำเหมือนกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป โครงสร้างของวัสดุสารกึ่งตัวนำของเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะรอยต่อพี-เอ็น (P-N Junction) เหมือนไดโอด ดังนั้นคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติจึงสามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลประกอบด้วย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าขนานกับไดโอดได้ดังรูปที่ 7.7 ซึ่งปริมาณกระแส I_{SC} นี้กำเนิดมาจากปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกที่มีความเข้มข้นของแสงค่าหนึ่ง ซึ่งสามารถแทนได้ด้วยแหล่งจ่ายกระแสคงที่ ส่วนไดโอดจะแสดงถึงคุณลักษณะของสารกึ่งตัวนำที่เป็นรอยต่อพี-เอ็น ดังนั้นค่ากระแสจ่ายออกจึงสามารถอธิบายได้ด้วยความแตกต่างของกระแส I_{SC} ที่กำเนิดจากแสงอาทิตย์กับกระแสของไดโอดแสดงในสมการที่ 7.1



รูปที่ 7.7 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์โดยต่อเข้ากับโหลด

จากรูปที่ 7.7 เป็นรูปวงจรสมมูลซึ่งแสดงรายละเอียดภายในเซลล์แสงอาทิตย์ โดย R_s คือความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ R_p คือ ความต้านทานขนาน โดยที่ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงออกมาในรูปของสมการได้ดังนี้

$$I_{pv} = I_L - I_d [\exp(V_{pv}/V_T) - 1] \quad (7.1)$$

$$V_{pv} = V_T \ln[(I_L - I_{pv})/I_d + 1] \quad (7.2)$$

ตัวแปรต่างๆในสมการสำหรับคำนวณหากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีความหมายดังนี้

I_{pv} คือ กระแสที่ได้เมื่อแผงโซลาร์เซลล์ได้รับแสง (แอมป์)

I_d คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (แอมป์)

I_L คือ กระแสเออร์ทพุท (แอมป์)

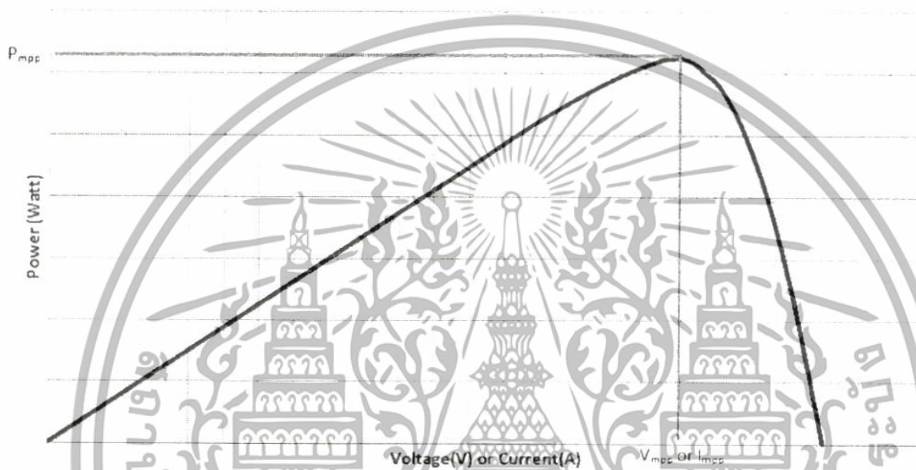
V_{pv} คือ แรงดันที่ได้เมื่อแผง PV ได้รับแสง (โวลต์)

V_T คือ แรงดันที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเท่ากับ $(nK_B T)/q$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- K_B คือ ค่าคงที่ของโบลท์มาน
- T คือ อุณหภูมิ
- n คือ ideality factor
- q คือ ประจุอิเล็กตรอน (คูลอมบ์)

จากความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าใน I-V Curve



รูปที่ 7.8 กราฟคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อทำการปรับค่าความต้านทานที่ต่อตรงเข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่จุดทำงานต่างๆ จะได้กราฟของกำลังไฟฟ้าซึ่งพล็อตระหว่างแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าก็จะได้ลักษณะเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 7.8 และจะพบว่าจุดที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่จุด V_{mpp} กับจุด I_{mpp}

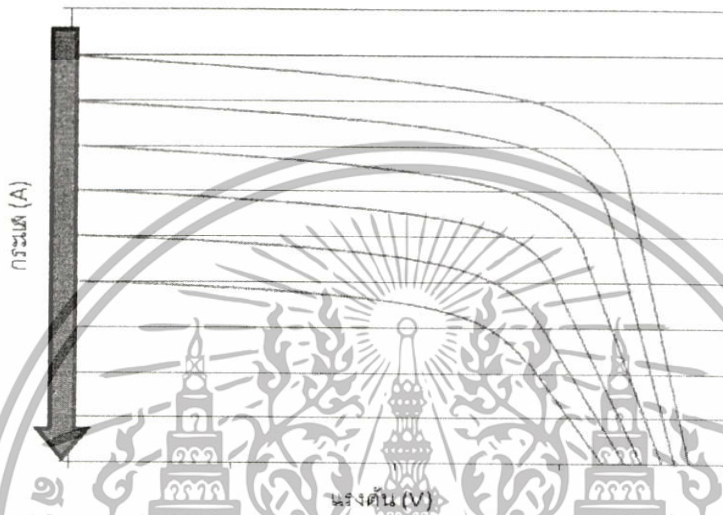
ผลคูณของกระแสและแรงดันที่จุดพลังงานสูงสุดจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชันของกราฟ คือ ถ้ากราฟมีความชันมากลักษณะกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมมาก ผลคูณของกระแสและแรงดันก็จะมีค่ามากตามไปด้วย การที่กราฟของเซลล์แสงอาทิตย์มีความชันแตกต่างกันนั้นเป็นผลมาจากความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์นั้นมีความแตกต่างกัน จากกราฟคุณสมบัติของเซลล์นี้จะมีค่าหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าเซลล์สามารถจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติมากเท่าใด ค่านี้จะเรียกว่าค่า ฟิลแฟคเตอร์ (FF: Fill Factor) ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งคิดมาจากอัตราส่วนต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.5 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

- ความเข้มแสง

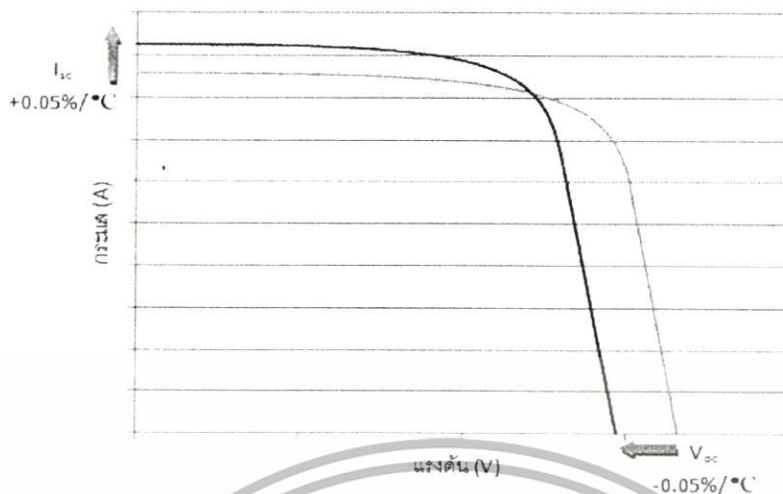
ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณ จำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้



รูปที่ 7.9 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเมื่อความเข้มแสงจากมากไปน้อย

ความเข้มของกระแสไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรหรือ 1,000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (air mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศา กับพื้นโลกความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรหรือ 750 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง ดังรูปที่ 7.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.10 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

- อุณหภูมิ

อุณหภูมิกระแสไฟฟ้าจะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (open circuit voltage หรือ V_{oc}) ที่ 21 โวลต์ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสก็หมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสจะเท่ากับ 21 โวลต์ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5$ องศาเซลเซียส) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ V_{oc} จะลดลง 0.525 โวลต์ ($21 \text{ โวลต์} \times 2.5\%$) เหลือเพียง 20.475 โวลต์ ($21 \text{ โวลต์} - 0.525 \text{ โวลต์}$) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย ดังรูปที่ 7.10

จากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น ก่อนที่ผู้ที่จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่น แผงชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,200 วัตต์ต่อตารางเมตร ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส แล้ว จะพบว่าแผงที่ระบุว่าให้กำลังไฟฟ้า 80 วัตต์ จะให้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่า จากสาเหตุดังกล่าว ผู้ที่จะใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จำนวนเซลล์

โดยปกติเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 โวลต์/เซลล์ การต่อเซลล์แสงอาทิตย์จะต่อเป็นอนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้น โดยจะมีผลต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์น้อยมาก

- พื้นที่เซลล์

เซลล์ที่มีพื้นที่ในการรับแสงมากส่งผลต่อการเพิ่มค่าของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรให้มากขึ้น

- ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ผลึกเดี่ยว (Crystalline) จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงกว่าเซลล์แบบแผ่นบาง (Thin-film cells) แต่แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับมีค่าต่ำกว่า

7.2 อินเวอร์เตอร์

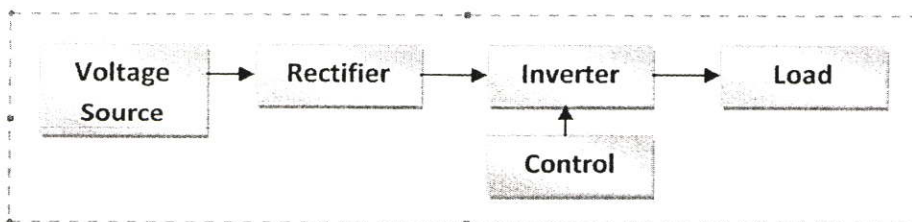
อินเวอร์เตอร์ คือ อุปกรณ์แปลงแรงดันอินพุตไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นแรงดันเอาต์พุตไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ที่มีขนาดและความถี่ตามต้องการ สามารถนำไปใช้ได้กับระบบแหล่งจ่ายไฟสลับสำรอง ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ รวมทั้งเชื่อมต่อกับระบบกริดการไฟฟ้า เป็นต้น

7.2.1 ประเภทของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ อินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส (Single Phase Inverter) และอินเวอร์เตอร์สามเฟส (Three Phase Inverter) นอกจากนี้อินเวอร์เตอร์ยังสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างและการนำไปใช้งานได้ 2 ประเภทคือ อินเวอร์เตอร์แบบป้อนกระแส (Current Source Inverters) และอินเวอร์เตอร์แบบป้อนแรงดัน (Voltage Source Inverters) ซึ่งแบ่งได้เป็น Square-wave inverters, Pulse-width-modulated (PWM) inverters และ Functional requirements of grid-connected inverters

7.2.2 เอช-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์ (H-Bridge Inverter)

เอช-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์ (H-Bridge Inverter) หรือ ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ (Full Bridge Inverter) คือ อินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่มีแรงดันเอาต์พุตเต็มลูกคลื่น



รูปที่ 7.11 บล็อกไดอะแกรมอินเวอร์เตอร์

บล็อกไดอะแกรมของ เอช-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์ แสดงดังรูปที่ 7.11 ซึ่งประกอบด้วย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) Rectifier circuit

วงจร Rectifier หรือวงจรเรียงกระแส ทำหน้าที่แปลงผันหรือเปลี่ยนแรงดันจากไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรประกอบด้วย Power Diode 4 ตัว ในกรณีที่อินพุตเป็นแบบเฟสเดียว สำหรับอินเวอร์เตอร์บางประเภทจะใช้ SCR ทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแสซึ่งสามารถควบคุมระดับแรงดันในวงจร DC Link ได้

2.) DC Link

DC Link หรือวงจรเชื่อมโยงทางดีซี คือวงจรเชื่อมโยงระหว่างวงจรเรียงกระแสและวงจรอินเวอร์เตอร์ ประกอบด้วยตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ พักักแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 400 โวลต์ สำหรับแรงดันอินพุต 1 เฟส ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสให้เรียบยิ่งขึ้น และทำหน้าที่ลดการกระเพื่อมของกระแสได้

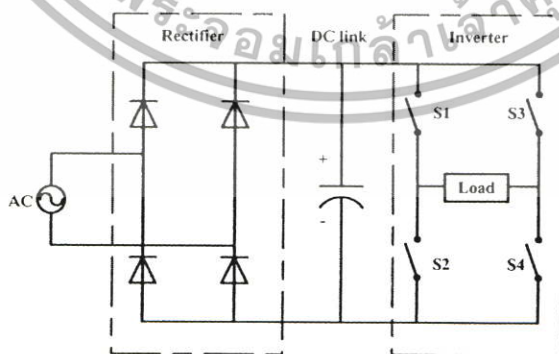
3.) Inverter Circuit

วงจรอินเวอร์เตอร์ คือส่วนที่ทำหน้าที่แปลงผันจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ผ่านการกรองจากวงจร DC link เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบด้วยอุปกรณ์สวิตช์ เช่น ทรานซิสเตอร์ ไอจีบีที (IGBT) และมอสเฟต (MOSFET) 4 สวิตช์ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

4.) Control Circuit

วงจรควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ โดยอาศัยเทคนิคพัลส์วิดมอดูเลชัน (Pulse Width Modulation: PWM)

หลักการทำงานของ เอช-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์

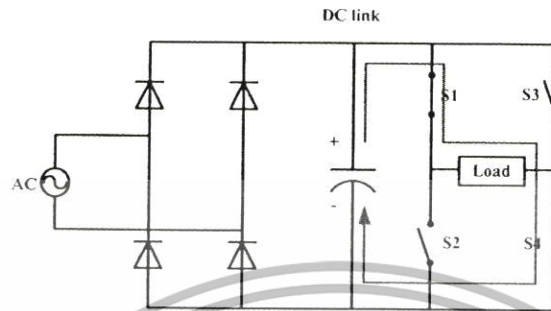


รูปที่ 7.12 เอช-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 7.13 การทำงานของ เอช-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์ เป็นการทำงานของสวิตช์ (S1, S2, S3, S4) โดยสวิตช์ S1, S3 และสวิตช์ S2, S4 จะสลับกันทำงานทีละคู่ นั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) สวิตช์ S1 และ S4 ทำงาน

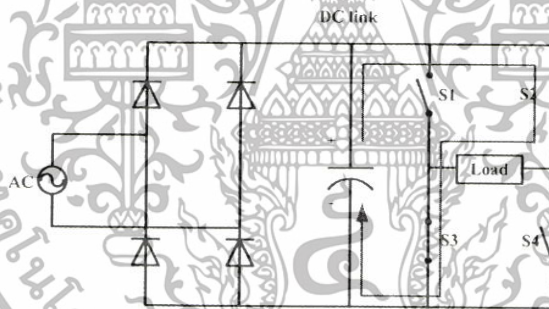
เมื่อสวิตช์ S1, S4 ทำงาน สวิตช์ S2, S3 จะไม่ทำงาน ทิศทางของกระแสจะไหลดังรูปที่ 2.8 และแรงดันที่ตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับ $+V_s$



รูปที่ 7.13 สวิตช์ S1 และ S3 ทำงาน

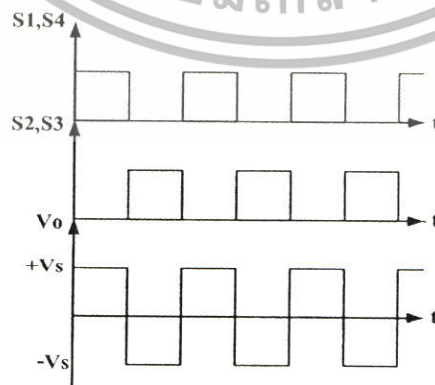
2.) สวิตช์ S2 และ S3 ทำงาน

เมื่อสวิตช์ S2, S3 ทำงาน สวิตช์ S1, S4 จะไม่ทำงาน ทิศทางของกระแสจะไหลดังรูปที่ 7.14 และแรงดันที่ตกคร่อมโหลดมีค่าเท่ากับ $-V_s$



รูปที่ 7.14 สวิตช์ S2 และ S3 ทำงาน

กราฟแรงดันของ เอช-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์ แสดงดังรูปที่ 7.15



รูปที่ 7.15 กราฟแสดงแรงดันของ เอช-บริดจ์ อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 พาวเวอร์มอสเฟต (Power MOSFET)

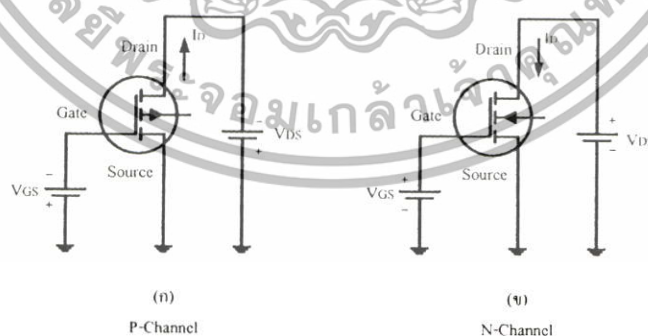
MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่นำมาใช้ในการสวิตซ์ซึ่ง การนำมอสเฟตไปใช้งานและการทำให้มอสเฟตสามารถทำงานหรือสามารถนำกระแสได้นั้น ต้องทำการกำหนดค่าของแรงดันให้มีค่าที่เหมาะสมกับลักษณะโครงสร้างของมอสเฟตนั้นๆ เรียกว่า การไบแอส (Bias) ให้กับอุปกรณ์มอสเฟต โดยการไบแอสอุปกรณ์มอสเฟตนั้นคือการป้อนแรงดันให้กับขาเกต (G : Gate) เพื่อใช้ในการควบคุมการไหลของกระแส มอสเฟตแบ่งตามชนิดการทำงานได้ 2 ชนิด คือ ชนิดเอ็นฮานซ์เมนต์ (Enhancement MOSFET) และชนิดดีพลีชัน (Depletion MOSFET) ซึ่งแต่ละชนิดสามารถแบ่งตามโครงสร้างชนิดสารกึ่งตัวนำได้ 2 ชนิด ดังรูปที่ 7.16 ได้แก่

ก. มอสเฟต (MOSFET) ชนิด P-Channel

ถ้ากำหนดค่าของแรงดันที่ขาเกตเป็น $+V_{GS}$ ขาเดรนและขาซอร์สจะไม่มีกระแสไหลผ่าน แต่ถ้ากำหนดค่าของแรงดันที่ขาเกตเป็น $-V_{GS}$ ขาเดรนและขาซอร์สจะมีกระแสไหลผ่าน นั่นคือมอสเฟตชนิด P-Channel ต้องไบแอสด้วยแรงดัน $-V_{GS}$ มอสเฟตชนิด P-Channel นั้นมีความต้านทานภายในสูงทำให้เกิดกำลังสูญเสียภายในสูงตามไปด้วย

ข. มอสเฟต (MOSFET) ชนิด N-Channel

หากกำหนดค่าของแรงดันที่ขาเกตเป็น $-V_{GS}$ ขาเดรนและขาซอร์สจะไม่มีกระแสไหลผ่าน ถ้ากำหนดค่าของแรงดันที่ขาเกตเป็น $+V_{GS}$ มากพอ ขาเดรนและขาซอร์ส จะมีกระแสไหลผ่าน มอสเฟตชนิด N-Channel นั้นมีความต้านทานภายในต่ำจึงทำให้กำลังสูญเสียภายในต่ำ



รูปที่ 7.16 การไบแอสมอสเฟต (ก) P-Channel (ข) N-Channel

โดยทั่วไปคุณลักษณะของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการสวิตซ์ซึ่งจะต้องมีการเปลี่ยนสถานะช่วงเริ่มนำกระแสและช่วงเริ่มหยุดนำกระแสที่เร็ว (มีผลต่อความถี่ในการสวิตซ์ซึ่ง) และมีความต้านทานขณะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำกระแสต่ำซึ่งมีผลต่อกำลังไฟฟ้าสูญเสียและประสิทธิภาพ มอสเฟตชนิด N-Channel จึงนิยมนำมาใช้ งานมากกว่าชนิด P-Channel

7.3.1 การทำงานของมอสเฟต ชนิด N-Channel

การควบคุมให้มอสเฟตชนิด N-Channel นำกระแสทำได้โดยการไบแอสแรงดัน โดยให้ V_{GS} มีค่าเป็นบวก (ขา G มีค่าศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าขา S และ SS) และให้ขา D มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าขา S (V_{DS} เป็นบวก) ถ้าแรงดันที่ตกคร่อมขา G-S (V_{GS}) น้อยไป กระแสเดรนจะยังไม่ไหลจนกว่า V_{GS} จะมีค่าสูงถึง ปริมาณค่าหนึ่ง เรียกว่า แรงดันเทรชโฮลด์ "Threshold Voltage" (V_T)

ถ้าพิจารณาจากโครงสร้างภายในของมอสเฟต จะพบว่ามีแรงดันระหว่างขา (B) กับขา (S) ซึ่งค่าแรงดันที่เกิดขึ้นนี้ จะทำให้ค่าแรงดันเทรชโฮลด์ มีค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไป และจะส่งผลต่อค่าของ กระแสที่ไหล โดยค่าแรงดันที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า แรงดัน Body Effect

ลักษณะการทำงานของมอสเฟต มีดังนี้

1.) กรณีที่ $V_T > V_{GS} > 0$ และ $V_{DS} > 0$ (Cutoff: ย่านไม่นำกระแส)

เมื่อป้อนแรงดันค่าบวกเข้าที่ขั้วเกตเทียบกับขาซอส V_{GS} ที่มีค่าบวกค่าหนึ่ง แต่น้อยกว่าแรงดัน ชีดริ่ม (V_T : Threshold Voltage) หรือ $V_T > V_{GS} > 0$ สนามไฟฟ้าในชั้นออกไซด์ที่เกิดจากแรงดันเกต ซอส จะผลักให้โฮลในสารกึ่งตัวนำที่ผิวสัมผัส $SiO_2 - Si$ เคลื่อนที่ห่างออกไป ความหนาแน่นของโฮ ลในบริเวณดังกล่าวจึงมีค่าลดลงจากเดิม ผลดังกล่าวทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำที่อยู่ใต้ส่วนเกต ดังนั้นในกรณีนี้ ซอสและเดรนยังคงถูกแยกจากกันด้วยชั้นของบริเวณ ปลอดพาหะที่เกิดขึ้นใต้ส่วนเกตและเป็นชั้นที่มีความนำไฟฟ้าต่ำ ดังนั้นเมื่อแรงดันเดรนซอสมีค่าเพิ่มขึ้น กระแสเดรนก็จะมีการไหลแต่มีค่าน้อยมากประมาณค่าเป็นศูนย์ $I_D \approx 0$ ในสภาวะนี้มอสเฟตยังคงอยู่ใน สภาวะคัทออฟหรือสถานะ off เช่นเดิม

2.) กรณีที่ $V_{GS} > V_T$ และ V_{DS} มีค่าน้อย (Ohmic Region: ย่านไม้อิมตัว)

เมื่อแรงดันเกตซอส V_{GS} มีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้น จนเท่ากับแรงดันขีดริ่ม V_T หรือมีค่าสูงกว่า แรงดันขีดริ่ม $V_{GS} > V_T$ ในขณะนี้สนามไฟฟ้าในชั้นฉนวนออกไซด์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันเกตซอสจะ มีค่ามากพอที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดชั้นกลับชนิดเอ็น (N-Inversion Layer) หรือแซนแนลชนิดเอ็นในสารกึ่ง ตัวนำที่ผิวสัมผัสระหว่าง $SiO_2 - Si$ บริเวณใต้ส่วนเกตแซนแนลนี้จะมีลักษณะเป็นแผ่นประจุบาง ๆ (Sheet of Charge) ภายในแซนแนลนี้จะมีอิเล็กตรอนซึ่งถูกเหนี่ยวนำอยู่ในแซนแนลและจะมีค่าขึ้นอยู่กับ สนามไฟฟ้าในชั้นออกไซด์ หรือแรงดันที่ตกคร่อมชั้นออกไซด์ เมื่อแรงดันเกตซอสคงที่ และแรงดัน เดรนเป็นศูนย์มีค่าเท่ากับแรงดันที่ซอส แรงดันที่ตกคร่อมของออกไซด์จะมีค่าเท่า ๆ กันทุกจุดใน แซนแนล แต่เมื่อแรงดันเดรนซอส V_{DS} มีค่าเป็นบวก สนามไฟฟ้าในชั้นออกไซด์ที่จุดต่าง ๆ ที่ห่าง ออกมาจากด้านซอสจะมีค่าลดลง เพราะแรงดันตกคร่อมชั้นออกไซด์ที่จุดใกล้ด้านเดรนจะมีค่าลดลง ผล

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในแซนแนลที่เข้าไปใกล้มาทางด้านเดรน มีค่าลดลงด้วย และจะมีค่าน้อยที่สุดที่ปลายด้านเดรน

อย่างไรก็ดี กรณีที่แรงดันเดรนขอสมีค่าในช่วงต่ำ ๆ อาจประมาณได้ว่าสนามไฟฟ้าทุกจุดมีค่าเท่ากัน ดังนั้นความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในแซนแนล ประมาณได้ว่ามีค่ายาวเท่ากันตลอดจากปลายขอสถึงปลายเดรน ถัดจากแซนแนลออกไปจะเป็นบริเวณปลอดภัย ซึ่งแรงดัน $+V_D$ จะทำให้รอยต่อพี-เอ็นที่อยู่รอบ ๆ ส่วนเดรนได้รับไบอัสย้อนกลับ ทำให้บริเวณปลอดภัยทางด้านเดรนขยายกว้างมากกว่าทางด้านขอสเล็กน้อย แซนแนลชนิดเอ็นที่เกิดขึ้นนี้เสมือนกับเป็นแท่งสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ที่มีความยาวเท่ากับ L โดยมีขั้วปลายทั้งสองด้าน คือ ส่วนขอสและส่วนเดรน (n^+) เมื่อแรงดันเดรนเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สนามไฟฟ้าในแซนแนลจะทำให้อิเล็กตรอนในแซนแนลเกิดการ ดริฟท์ (Drift) หรือเคลื่อนที่ในทิศทางจากด้านขอสไปยังด้านเดรน ดังนั้นทำให้มีกระแส I_D เกิดขึ้น โดยมีทิศทางพุ่งเข้าที่ขั้วเดรน ขนาดของกระแสเดรนในขณะนี้ จะถูกจำกัดด้วยค่าความต้านทานของแซนแนล ดังนั้นขณะที่แรงดันเพิ่มขึ้นในช่วงต่ำ กระแสเดรนที่เพิ่มขึ้นกับแรงดันเดรน ซึ่งเกือบจะเป็นเชิงเส้น เรียกการทำงานในย่านนี้ว่า “ย่านเชิงเส้น” (Ohmic Region หรือ Linear Region หรือ Triode Region) ในช่วงนี้มอสเฟทจะมีสภาพไม่อิ่มตัว หรือ (Non-Saturation) กล่าวคือ กระแสเดรนจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่เดรน และความชันของกราฟ $I_D - V_D$ จะเพิ่มขึ้นกับแรงดันเดรน เนื่องจากแรงดันเดรนเพิ่มขึ้นจะทำให้ความนำของแซนแนลเพิ่มขึ้นด้วย

3.) กรณีที่ $V_{GS} > V_T$ และ $(V_{GS} - V_{DS}) > V_T$ หรือ $V_{DS} < V_{DS(sat)}$

เมื่อแรงดันเดรนมีค่าสูงขึ้นต่อไป ค่าความต่างศักย์ระหว่างขอสและเดรน จะทำให้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแซนแนลมีศักย์ไม่เท่ากันน้อยเห็นได้ชัด ศักย์ไฟฟ้าที่ปลายขอสยังคงเป็นศูนย์โวลต์ แต่เมื่อตำแหน่งนั้นอยู่ห่างออกมาจากทางด้านขอส หรือเมื่อเข้าไปใกล้ทางด้านเดรน ศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้น และจะมีค่าสูงสุดที่ปลายด้านเดรน คือ V_D ดังนั้นแรงดันระหว่างขั้วเกตและแซนแนล (แรงดันตกคร่อมขั้วออกไซด์) ที่ตำแหน่ง X ต่าง ๆ ตลอดความยาวของแซนแนลจะมีค่าไม่เท่ากัน ที่ปลายด้านขอสแรงดันตกคร่อมขั้วออกไซด์จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ V_C โดยไม่เปลี่ยนแปลงกับแรงดันเดรน แต่ที่ตำแหน่ง X ที่ห่างจากขอสหรือใกล้เข้ามาทางด้านเดรน แรงดันตกคร่อมขั้วออกไซด์จะมีค่าลดลง และที่ปลายด้านเดรนแรงดันตกคร่อมขั้วออกไซด์นี้จะมีค่าต่ำสุดและมีค่าเท่ากับ $V_{GS} - V_{DS}$ กรณีที่แรงดันเดรนมีค่าไม่สูงมากและทำให้ $(V_{GS} - V_{DS}) > V_T$ แสดงว่าในช่วงนี้ยังมีแซนแนลเกิดขึ้นได้โดยตลอดตั้งแต่ขอสจนถึงเดรน และแรงดันตกคร่อมขั้วออกไซด์ที่ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่ในแซนแนลที่ปลายด้านขอสจะมีค่าคงที่ แม้แรงดันเดรนจะเพิ่มขึ้น แต่ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในแซนแนลจะลดลงกับระยะทางที่ห่างออกไปจากด้านขอส และยิ่งจะมีค่าลดลงเมื่อแรงดันเดรนมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจพิจารณาได้ว่าเมื่อใกล้เข้าไปทางด้านเดรน ขนาดของแซนแนลจะมีค่าลดลง ดังนั้นความต้านทานของแซนแนลจะมีค่าเพิ่มขึ้นกับ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันเดรน โดยเมื่อแรงดันเดรนมีค่าเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของกระแสจะชะลอลงดังสังเกตเห็นได้จากกราฟ $I_D - I_V$ ซึ่งความชันของกราฟจะมีค่าลดลง (โค้งมากขึ้น) เมื่อแรงดันเดรนเพิ่มขึ้น แต่ยังคงอยู่ในเงื่อนไข $(V_{GS} - V_{DS}) > V_T$ หรือ $V_{DS} < V_{DS(Sat)}$ โดยที่ $V_{DS(Sat)}$ หมายถึง แรงดันเดรนขอสที่อิ่มตัว

4.) กรณีที่ $V_{GS} > V_T$ และ $V_{DS} = V_{DS(Sat)}$ (Pinch off Point: จุดพินช์ออฟ)

เมื่อแรงดัน V_D ยังคงเพิ่มขึ้นกระทั่งมีค่ามาก จนทำให้แรงดันที่ตกคร่อมขั้วออกไซด์

ที่ตำแหน่งปลายด้านเดรนมีค่าเท่ากับแรงดันขีดเริ่มพอดี หรือ $(V_{GS} - V_{DS}) = V_T$ แชนแนลที่ปลายด้านเดรนจะมีขนาดลดลงเป็นศูนย์หรือแชนแนลขาดออกพอดีที่เดรน ซึ่งเรียกสภาวะนี้ว่า “สภาวะพินช์ออฟ” (Pinch off) และจุดที่แชนแนลขาดออกพอดีนี้เรียกว่า “จุดพินช์ออฟ” (Pinch off Point) บริเวณหลอดพาหะตรงส่วนเดรนจะมีขนาดกว้างมากกว่าด้านซอสอย่างเห็นได้ชัด ค่าของแรงดันเดรนขอสที่พอดีที่ทำให้เริ่มเกิดสภาวะพินช์ออฟ ถูกเรียกว่า “แรงดันเดรนขอสอิ่มตัว” (Saturation Drain Source Voltage: $V_{DS(Sat)}$) หรือบางกรณีเรียกว่า “แรงดันพินช์ออฟ” (Pinch off Voltage: V_P)

ในขณะนี้พิจารณาได้ว่า แชนแนลที่ขาดออกพอดีที่ตำแหน่งปลายด้านเดรน เมื่ออิเล็กตรอนในแชนแนลถูกดริฟท์ (Drift) โดยสนามไฟฟ้าจากด้านซอสมาทางด้านเดรน และเมื่อมาถึงปลายแชนแนลที่จุดพินช์ออฟ สนามไฟฟ้าค่าสูงสุดที่ตกคร่อมในช่วงแคบ ๆ ของบริเวณหลอดพาหะระหว่างปลายของแชนแนล และส่วนเดรน จะดึงให้อิเล็กตรอนที่ส่วนปลายแชนแนลข้ามบริเวณหลอดพาหะเข้าไปยังส่วนเดรน ดังนั้นกระแสเดรนยังคงไหลได้แต่ขนาดของกระแสจะถูกจำกัดด้วยปริมาณของอิเล็กตรอน ที่ถูกดึงหรือฉีดข้ามบริเวณหลอดพาหะดังกล่าวและอาจจะพิจารณาได้ว่ากระแสเดรนถูกจำกัดด้วยค่าความต้านทานประสิทธิผล (Effective Resistance) ของแชนแนล ดังนั้นเมื่อแรงดันเดรน-ซอสเพิ่มขึ้น กระแส I_D จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย (อย่างชะลอลง) กระทั่งเมื่อถึงค่า $V_{DS(Sat)}$ กระแสเดรนจะมีค่าสูงสุดเรียกว่า “กระแสเดรนอิ่มตัว” (Saturation Drain Current) และเขียนแทนด้วย $I_{D(Sat)}$

5.) กรณีที่ $V_{GS} > V_T$ และ $V_{DS} > V_{DS(Sat)}$ (Saturation Region: ย่านนำกระแสอิ่มตัว)

เมื่อแรงดันที่เดรนขอสมีค่ามากกว่าแรงดันอิ่มตัวหรือ $V_{DS} > V_{DS(Sat)}$ ทำให้แรงดันที่

ตกคร่อมขั้วออกไซด์ที่บริเวณใกล้ปลายด้านเดรน มีค่าน้อยกว่าแรงดันขีดเริ่ม $(V_{GS} - V_{DS}) < V_T$ ดังนั้นในบริเวณดังกล่าวจะไม่มีแชนแนลเกิดขึ้น จึงคล้ายกับว่าจุดพินช์ออฟเกิดขึ้น เลื่อนไปจากจุดเดรนเข้าไปทางด้านจุดซอส และที่ตำแหน่ง X ใด ๆ ที่เป็นจุดพินช์ออฟ ตามเงื่อนไขของสมการ $(V_{GS} - V_{DS}(X)) = V_T$ ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นเมื่อแรงดันเดรนมีค่าสูงกว่า $V_{DS(Sat)}$ จุดพินช์ออฟจะเลื่อนเข้าไปใกล้ด้านซอส ทำให้เกิดบริเวณหลอดพาหะระหว่างจุดพินช์ออฟกับส่วนเดรน ซึ่งมีระยะกว้างเท่ากับ ΔL หากพิจารณาว่า มอสเฟตนี้เป็นชนิด Long Channel และ $\Delta L \ll L$ ดังนั้นความยาวของแชนแนลจึงมีขนาดสั้นลงจากเดิมน้อยมาก จนประมาณว่ามีขนาดความยาวเท่าเดิมไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นความต้านทานของแชนแนล จะมีค่าประมาณเท่าเดิม แม้ว่าแรงดันที่เดรนจะมีค่าเพิ่มขึ้นก็ตาม และแรงดันที่ตกคร่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดเป็นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างขอสถึงจุดพินช์ออฟจะมีค่าคงที่เสมอ โดยไม่เปลี่ยนแปลงกับแรงดันเดรนขอส และเมื่อแรงดันที่เดรนขอสเพิ่มขึ้นสูงกว่า $V_{DS(sat)}$ กระแสเดรนจะประมาณได้ว่ามีค่าคงที่ และเท่ากับค่าของ $I_{D(sat)}$ ซึ่งเป็นกระแสเดรนอิ่มตัว ซึ่งมอสเฟตถูกพิจารณาว่าทำงานในย่านอิ่มตัวหรือ (Saturation Region) กล่าวคือกระแสเดรนจะมีค่าคงที่ โดยไม่เปลี่ยนแปลงกับแรงดันที่เดรน ความสัมพันธ์ของแรงดัน V_G กับกระแส I_D ในขณะที่แรงดันที่ขาเกตคงที่และมอสเฟตทำงานในย่านอิ่มตัว แสดงดังรูปที่ 7.17



รูปที่ 7.17 ความสัมพันธ์ของแรงดัน V_G กับกระแส I_D ในย่านการทำงานของมอสเฟต

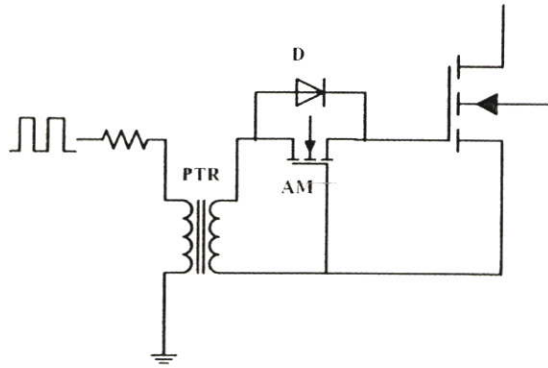
6.) กรณีย่านพังทลาย (Breakdown Region)

เนื่องจากแรงดันไบอัสที่ให้แก่วอยต่อพี-เอ็น ระหว่างเดรน-ฐานรองจะเป็นการไบอัสย้อนกลับ ดังนั้นเมื่อแรงดันที่เดรนมีค่ามากขึ้นและสูงขึ้นถึงค่า V_B หนึ่งที่เราเรียกว่า “แรงดันพังทลาย” (Breakdown Voltage: V_B) ทำให้รอยต่อเกิดการพังทลายแบบอวาลันซ์ (Avalanche Breakdown) กระแสเดรนที่อยู่ในย่านอิ่มตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และไม่สามรถควบคุมได้ ทำให้มอสเฟตเข้าสู่สภาวะการพังทลาย

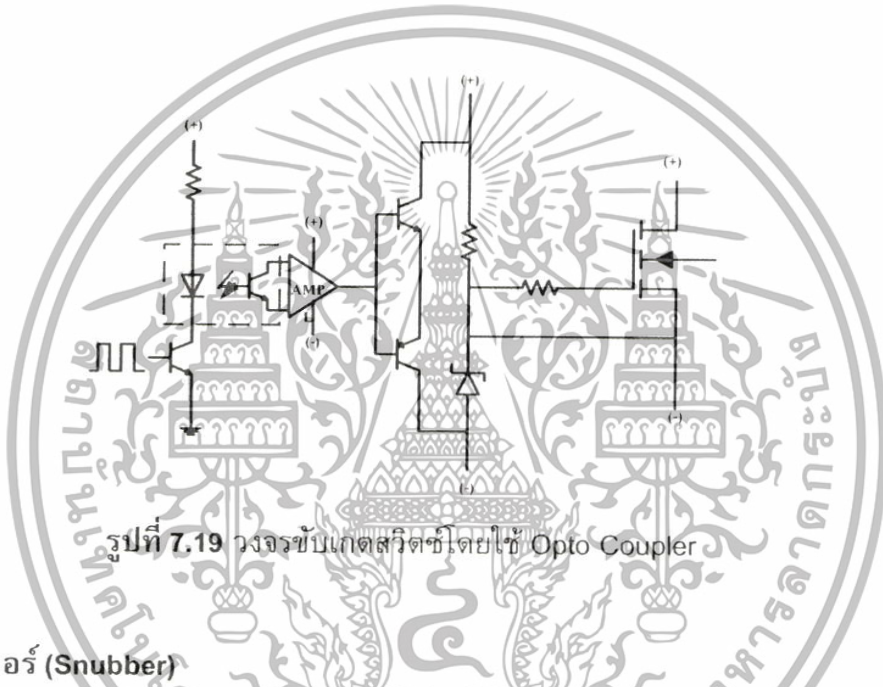
7.4 ชุดขับสำหรับพาวเวอร์มอสเฟต

การทำให้มอสเฟตนำกระแสหรือหยุดนำกระแสต้องมีวงจรขับนำ โดยต้องให้ได้แรงดันสูงเพียงพอเพื่อควบคุมขาเกตของมอสเฟตให้ทำงานอย่างทันที (Turn On) และกระแสสูงเพียงพอเพื่อให้อุปกรณ์นำกระแส (On) ยังคงอยู่ในวงจรกำลังที่ใช้แรงดันสูง และมีการแยกโดด (Isolating) ระหว่างวงจรควบคุมและกำลังโดยใช้พัลส์ทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Pulse Transformer) หรือ ออปโตคัปเปิลเลอร์ (Opto Coupler) ดังรูปที่ 7.18 และ 7.19 นอกจากนี้ในชุดขับเชิงพาณิชย์จะมีการป้องกันกระแสเกินด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.18 วงจรขับเกตสวิตช์โดยใช้ Pulse Transformer



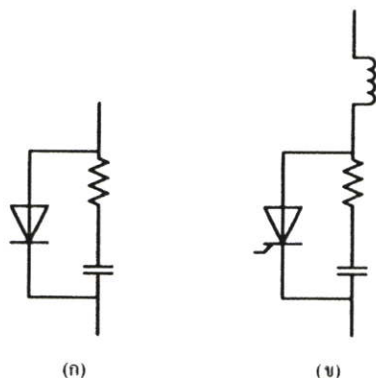
รูปที่ 7.19 วงจรขับเกตสวิตช์โดยใช้ Opto Coupler

7.5 วงจรสแน็บเบอร์ (Snubber)

เป็นวงจรที่นำมาต่อร่วมกับอุปกรณ์สวิตช์ เพื่อป้องกันสวิตช์จากแรงดันเกินขณะทรานเซียนต์ (Transient) และกระแสเกินขณะสวิตช์ Turn On และ Turn Off ลด dv/dt และ di/dt ช่วยลดกำลังงานสูญเสีย (Switching Loss) ที่เกิดขึ้นที่สวิตช์ขณะใช้งาน ป้องกันไม่ให้อุปกรณ์สวิตช์ซึ่งทำงานเกินขอบเขต SOA และป้องกันความเสียหายของสวิตช์จากแรงดันสูงชั่วขณะในช่วงมอสเฟตหยุดนำกระแส แต่การใส่ วงจรสแน็บเบอร์นั้นอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อการทำงานของวงจรได้ เช่น ช่วงเวลาในการสวิตช์แต่ละครั้ง อาจเกิดการเปลี่ยนแปลง

วงจรสแน็บเบอร์มี 2 ประเภท คือ สแน็บเบอร์ที่ใช้ลดความสูญเสียในขณะที่เริ่มต้นหยุดการทำงาน (Turn Off Snubber) และสแน็บเบอร์ที่ใช้ลดความสูญเสียในจังหวะเริ่มต้นการทำงาน (Turn On Snubber) หรือใช้ประกอบกันทั้งสองสภาวะ วงจรสแน็บเบอร์แสดงดังรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.20 (ก) RC Snubber (ข) RC Snubber ใส่อินดักเตอร์เพิ่มเข้าไปช่วยลด di/dt

7.6 วงจรกรอง (Filter)

วงจรกรองหรือฟิลเตอร์ (Filter) คือวงจรไฟฟ้าที่ยอมให้สัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่ใดๆ ความถี่หนึ่งหรือช่วงความถี่ใดความถี่หนึ่งเท่านั้นผ่านไปได้ ส่วนความถี่อื่นหรือช่วงความถี่อื่นๆนอกเหนือจากที่กำหนดจะถูกกลดทอนไปซึ่งจะเป็นช่วงความถี่ใดนั้นจะขึ้นอยู่กับกรออกแบบวงจร วงจรกรองความถี่มีด้วยกัน 2 แบบ คือ

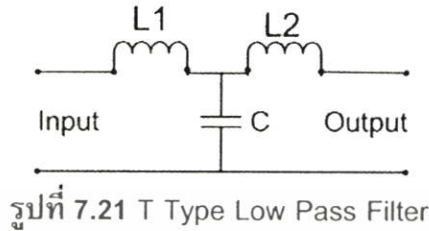
1.) แบบ Active คือ วงจรที่ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์ที่ต้องการไฟฟ้าเพื่อกระตุ้นการทำงานของตัวอุปกรณ์ ซึ่งได้แก่อุปกรณ์ประเภท ทรานซิสเตอร์ หรือ ไอซี

2.) แบบ Passive คือวงจรที่ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์แบบพาสซีฟ ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าเพื่อให้ทำงาน ได้แก่ อุปกรณ์ประเภท ตัวต้านทาน (R) ตัวเก็บประจุ(C) และ ขดลวดเหนี่ยวนำ (L) ซึ่งแบ่งตามคุณลักษณะผลตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ได้ 4 ชนิด คือ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-Pass Filter: LPF) วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High-Pass Filter: HPF) วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Band-Pass Filter: BPF) และวงจรกรองแถบความถี่หยุดผ่าน (Band-Stop Filter: BSF) วงจรกรองความถี่ทุกชนิด จะนิยมใช้คุณสมบัติของ L ที่ให้ความถี่ต่ำผ่านได้ดี และคุณสมบัติของ C ที่ให้ความถี่สูงผ่านได้ดีมาออกแบบเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)

วงจร Low Pass Filter มีลักษณะการต่อคือ ใช้ L อนุกรมกับวงจร และ C ขนานกับวงจร คุณสมบัติของวงจรก็คือ เมื่อเราป้อนความถี่ต่ำเข้าวงจร L จะมีค่า X_L ต่ำ C จะมีค่า X_C สูง ให้ความถี่ต่ำผ่าน L ได้สะดวก ระดับสัญญาณ Output จึงผ่านได้มาก แต่เมื่อความถี่สูงกว่าจุดที่กำหนด ค่า X_L จะมากขึ้น ค่า X_C จะลดลง ให้ความถี่ผ่านขดลวดได้ลดลง บางส่วนที่ผ่านไปได้ก็จะถูก C ดึงลงกราวด์ ระดับสัญญาณ Output จึงผ่านได้น้อยมาก วงจร Low Pass Filter สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ก. T Type Low Pass Filter
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

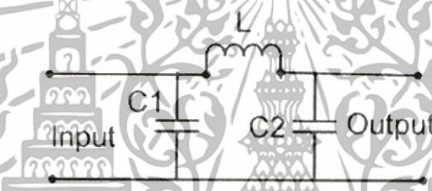
การใช้ L หรือ C เพียงตัวเดียว ไม่สามารถกำจัดสัญญาณความถี่สูงได้หมดที่จุด Cut Off Frequency ทำให้ความถี่สูงผ่านไปได้ ซึ่งแก้ปัญหาโดยการเพิ่ม L เข้าไปในวงจรอีกชุด เมื่อต่อแล้ว ลักษณะวงจรคล้าย ตัว T จึงเรียกว่า วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน แบบที่



รูปที่ 7.21 T Type Low Pass Filter

ข. Pi Type Low Pass Filter

วงจรมีจะใช้ C 2 ตัวและ L 1 ตัว รูปวงคล้ายตัว Pi (พาย: π) จึงเรียกว่า วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน แบบพาย วงจรแบบนี้จะนิยมใช้ในภาคจ่ายไฟ และวงจร Regulator

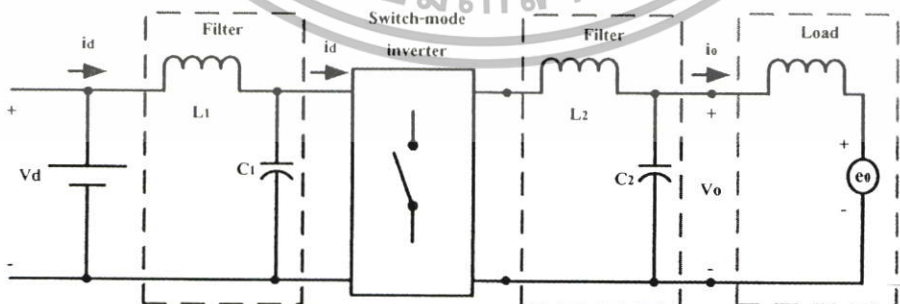


รูปที่ 7.22 Pi Type Low Pass Filter

การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน สามารถคำนวณได้จาก สมการ Cut Off Frequency

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (7.3)$$

สำหรับอินเวอร์เตอร์ ใช้วงจรกรองเพื่อกรองสัญญาณรบกวนทางด้านอินพุตและโวลต์ดังรูปที่ 7.23



รูปที่ 7.23 วงจรกรองในอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

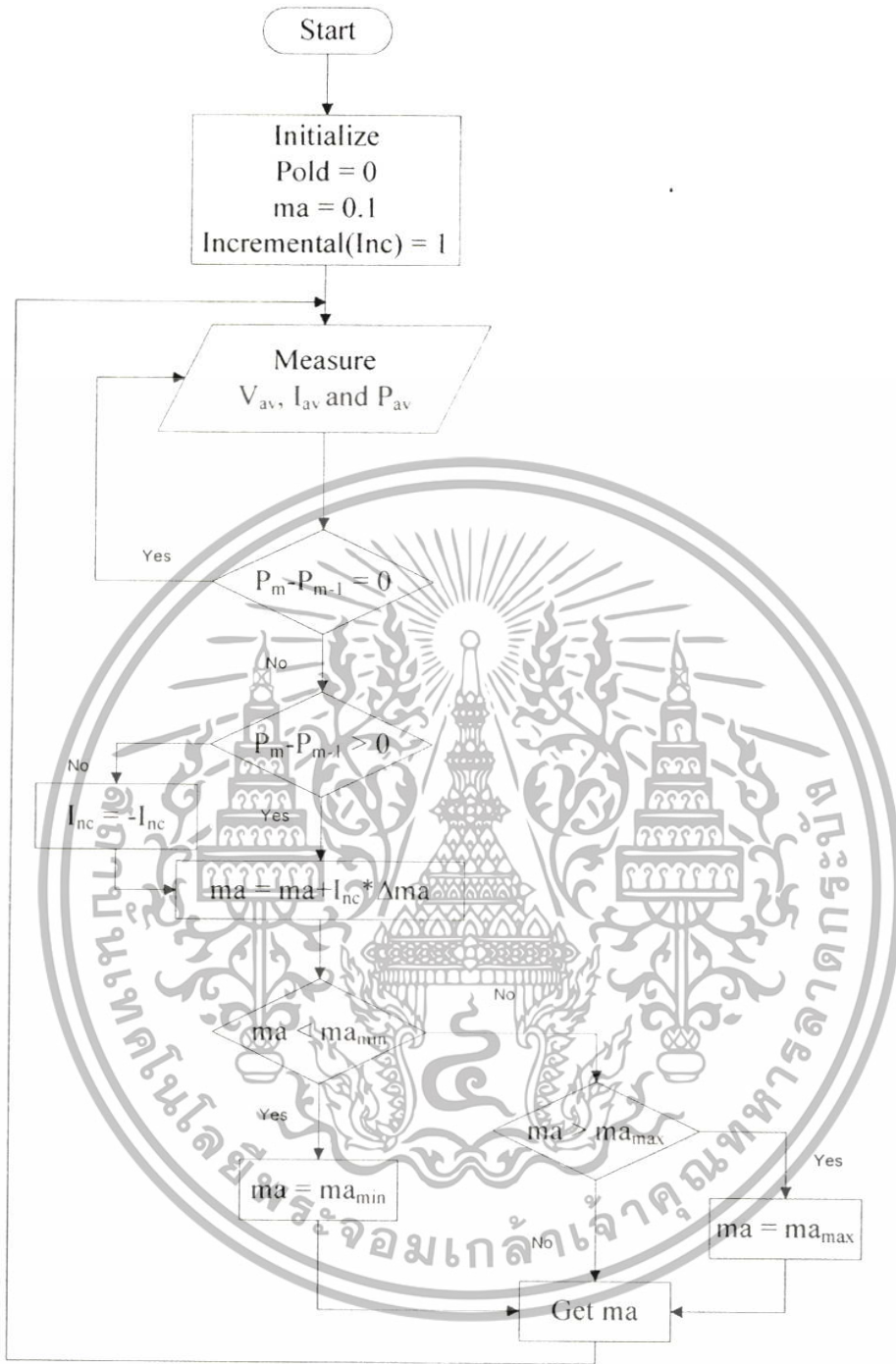
ระบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการรบกวนและสังเกต (P&O)

8.1 บทนำ

เทคนิครบกวนและสังเกตใช้การปรับค่าของกระแสและค่าของแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยวิธีการรบกวนและสังเกตถูกอธิบายไว้ในเอกสารอ้างอิงที่ 3 ดังจะเห็นได้จากบทความวิจัยที่ผ่านมา วิธีการนี้เป็นวิธีการที่เหมาะสมและทำงานได้อย่างดีที่สุดในสภาวะที่เป็นสภาวะคงตัว อย่างไรก็ตามข้อเสียของเทคนิคนี้คือเกิดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ยิ่งไปกว่านั้นระบบอาจมีการตามรอยกำลังไฟฟ้าผิดทิศทางได้หากเกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงที่รวดเร็วรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของโหลด โดยผลของอัตราการเปลี่ยนดัดชั้นโมดูลเซลล์อินเด็กส่งผลต่อความเร็วในการตามรอยกำลังไฟฟ้าและการแกว่งของกำลังที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังรูปที่ 8.1

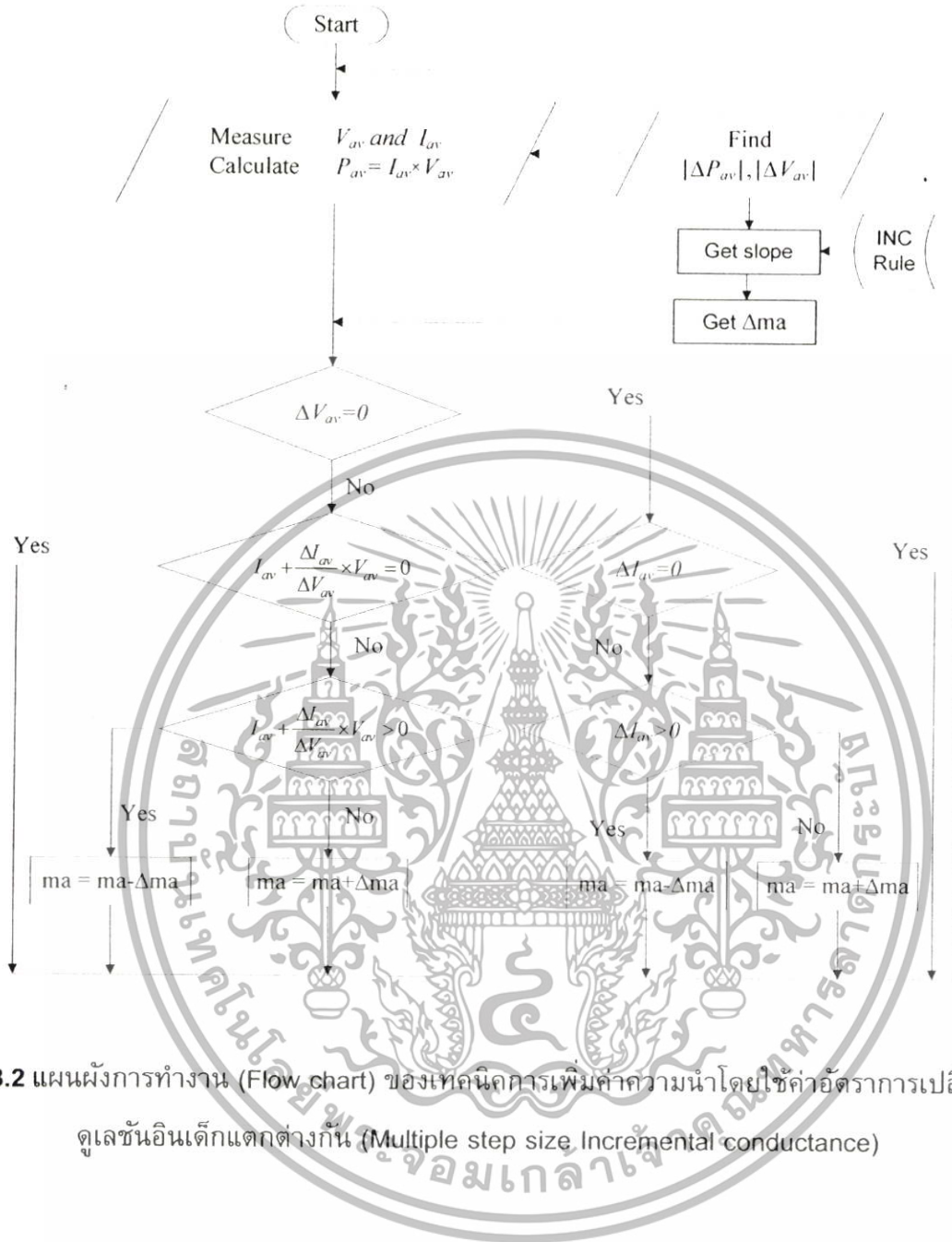
8.2 ระบบการตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการเพิ่มค่าความนำโดยใช้ค่าอัตราการเปลี่ยนโมดูลเซลล์อินเด็กแตกต่างกัน (Multiple step size Incremental conductance)

วิธีเพิ่มค่าความนำ (Incremental conductance) ใช้วิธีการหาค่าอนุพันธ์ของกำลังไฟฟ้าขาออกเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อค่าอนุพันธ์มีค่าเท่ากับศูนย์แสดงว่าจุดทำงานอยู่ที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่ถ้าไม่เท่ากับศูนย์จะทำการเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นขั้นๆ จนกระทั่งจุดทำงานวิ่งเข้าสู่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด วิธีนี้มีข้อดีคือความสามารถในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างถูกต้องเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์อย่างทันทีทันใด แต่มีการคำนวณที่ซับซ้อน ใช้เวลาในการคำนวณมาก และเกิดปัญหาการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะคงตัวเมื่อต้องการลดเวลาในการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้น้อยลง วิธีนี้ยังคงมีการตรวจจับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เช่นเดียวกับวิธี การรบกวนและสังเกต ดังรูปที่ 8.2



รูปที่ 8.1 แผนผังการทำงาน (Flow chart) ของเทคนิคการรบกวนและสังเกต (P&O)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.2 แผนผังการทำงาน (Flow chart) ของเทคนิคการเพิ่มค่าความนำโดยใช้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลง
 ดูเลขขั้นอินเด็กแตกต่างกัน (Multiple step size Incremental conductance)

บทที่ 9 แบบจำลอง

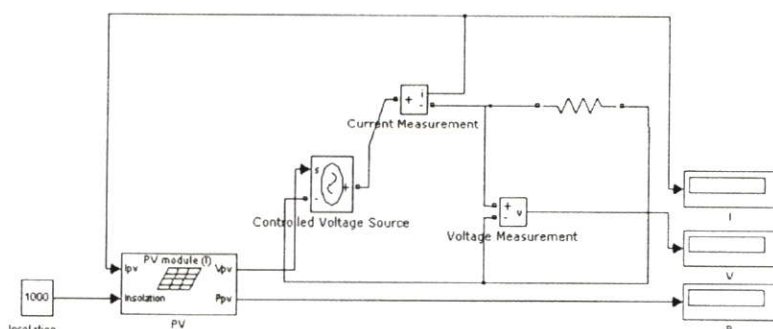
9.1 การสร้างแบบจำลองกราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

สร้างแบบจำลองคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์โดยนำความต้านทานมาเป็นโหลดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และทำการเพิ่มความต้านทานของโหลดหลังจากนั้นทำการวัดค่ากระแสและแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าดังนี้

ขนาดกำลังสูงสุด	250	วัตต์
แรงดันไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	30.5	โวลต์
กระแสไฟฟ้าที่กำลังสูงสุด	8.2	แอมป์
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร	8.76	แอมป์
แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร	37.4	โวลต์

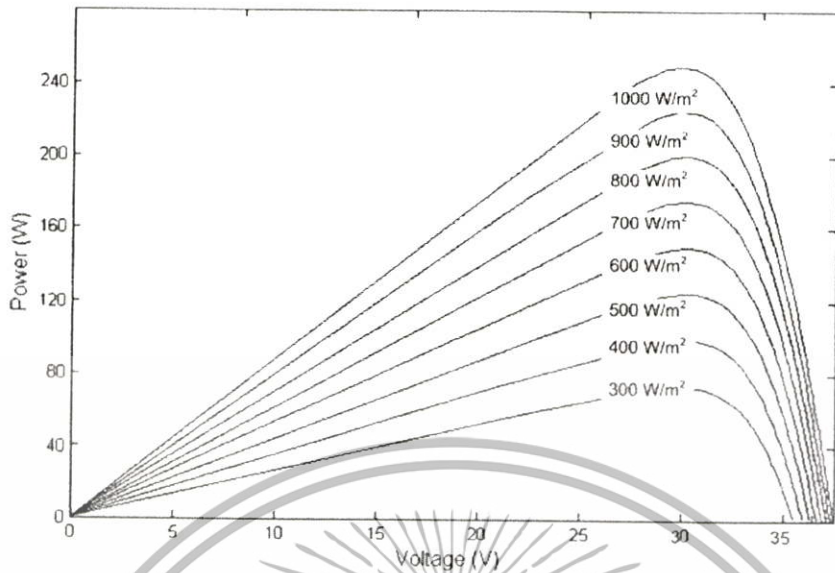
สภาพมาตรฐานที่ความเข้มแสง $1,000 \text{ W/m}^2$ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันลดลง 0.5% ได้ทำการทดลองดังต่อไปนี้

1. เปิดวงจร (Open circuit) ทางด้านแรงดันเอาต์พุทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการไม่ต่อโหลดทำการวัดแรงดันเปิดวงจร
2. ลัดวงจร (Short circuit) ทางด้านเอาต์พุทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการทำการวัดกระแสลัดวงจร แรงดันลัดวงจรจะเป็นศูนย์
3. ต่อโหลดตัวต้านทานปรับค่าได้ปรับความต้านทานและวัดค่ากระแสและแรงดันในทุกขณะที่มีการเปลี่ยนแปลง
4. นำค่ากระแสและแรงดันที่ได้จากการทดสอบในขั้นตอนที่ 1 - 3 มาทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับแรงดัน และ กระแสกับแรงดัน

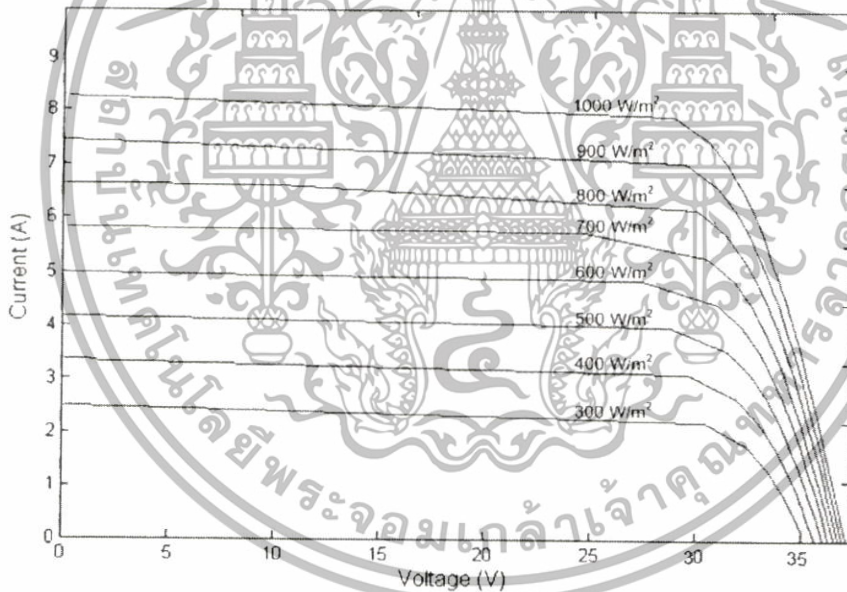


รูปที่ 9.1 วงจรทดสอบหาคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและแรงดันที่แต่ละความเข้มแสง



รูปที่ 9.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่แต่ละความเข้มแสง

จากรูปที่ 9.2 และ 9.3 ทำการจำลองหากราฟคุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้วงจรตามรูปที่ 9.1 ซึ่งทำการจำลองในแต่ละความเข้มแสง จะเห็นว่าที่แต่ละความเข้มแสงจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเพียงค่าเดียวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 10

ผลการทดลอง และสรุป

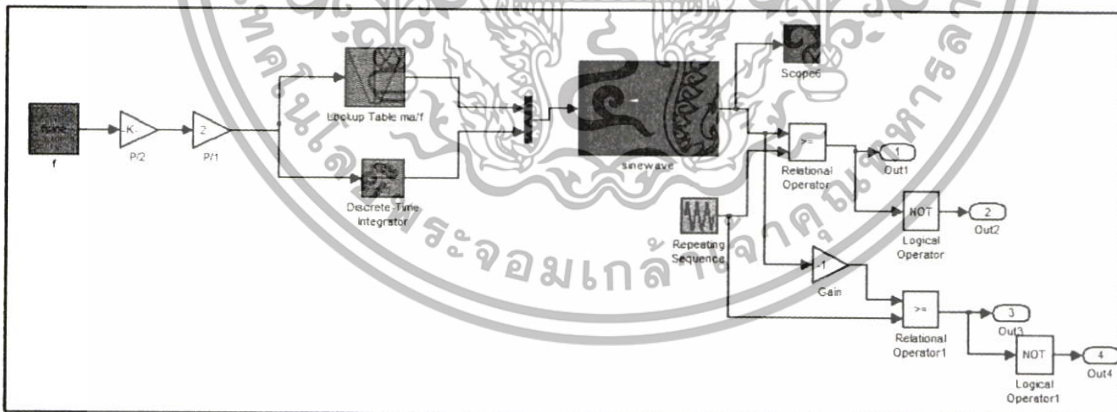
10.1 บทนำ

ในบทนี้นำเสนอผลการจำลองและผลการทดลองการทำงานของ เอช – บริดจ์ อินเวอร์เตอร์ โดยการจำลอง ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/Simulink ซึ่งในการทำงานของอินเวอร์เตอร์จะ ใช้สัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชันแบบยูนิโพลาร์ (Unipolar) เป็นสัญญาณขับเคลื่อนของมอสเฟต เพื่อให้ได้สัญญาณไฟฟ้าตามสัญญาณอ้างอิงชาน์

10.2 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

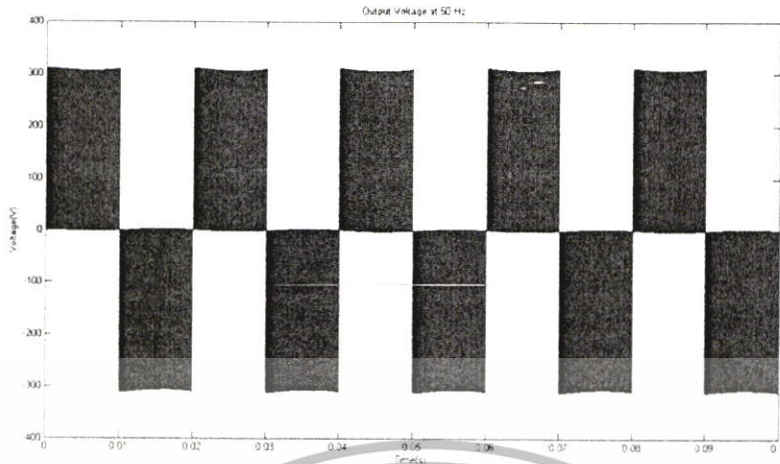
10.2.1 แบบจำลองสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชันแบบยูนิโพลาร์สำหรับไมโครอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

จากทฤษฎีในบทที่ 7 สัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชันแบบยูนิโพลาร์ จะใช้สัญญาณไซน์สองสัญญาณที่มีเฟสต่างกัน 180 องศา เป็นสัญญาณควบคุม เปรียบเทียบกันสัญญาณสามเหลี่ยมที่เป็นสัญญาณอ้างอิง ซึ่งจะได้สัญญาณแรงดันเอาต์พุตใกล้เคียงกับสัญญาณไซน์ ดังรูปที่ 10.2 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่ความถี่สัญญาณไซน์ 50 Hz



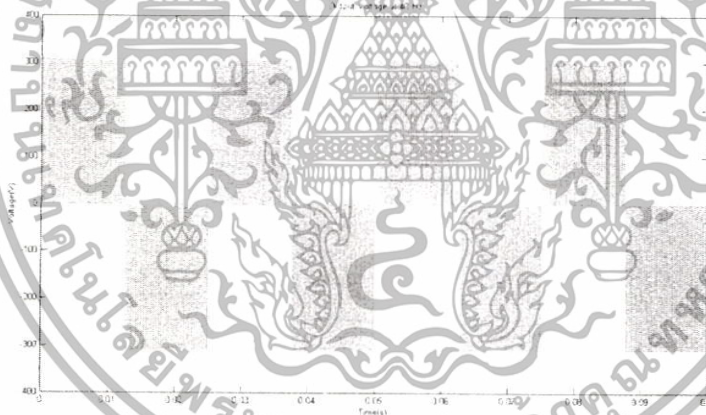
รูปที่ 10.1 แบบจำลองสัญญาณพัลส์วิดมอดูเลชันแบบยูนิโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

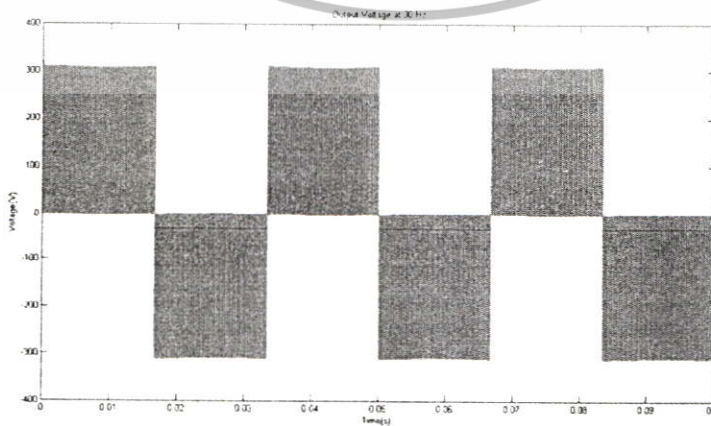


รูปที่ 10.2 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มีความถี่สัญญาณไซน์ 50 Hz

เมื่อปรับสัญญาณไซน์แบบ V/F คอนโทรล สัญญาณแรงดันเอาต์พุตจะมีความถี่เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณไซน์ ดังรูปที่ 10.3 – 10.5 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มีความถี่สัญญาณไซน์ 40 Hz, 30Hz และ 20 Hz ตามลำดับ

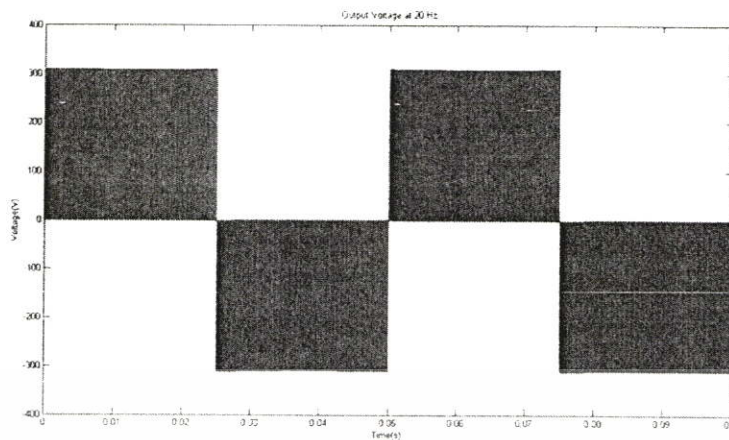


รูปที่ 10.3 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มีความถี่สัญญาณไซน์ 40 Hz



รูปที่ 10.4 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มีความถี่สัญญาณไซน์ 30 Hz

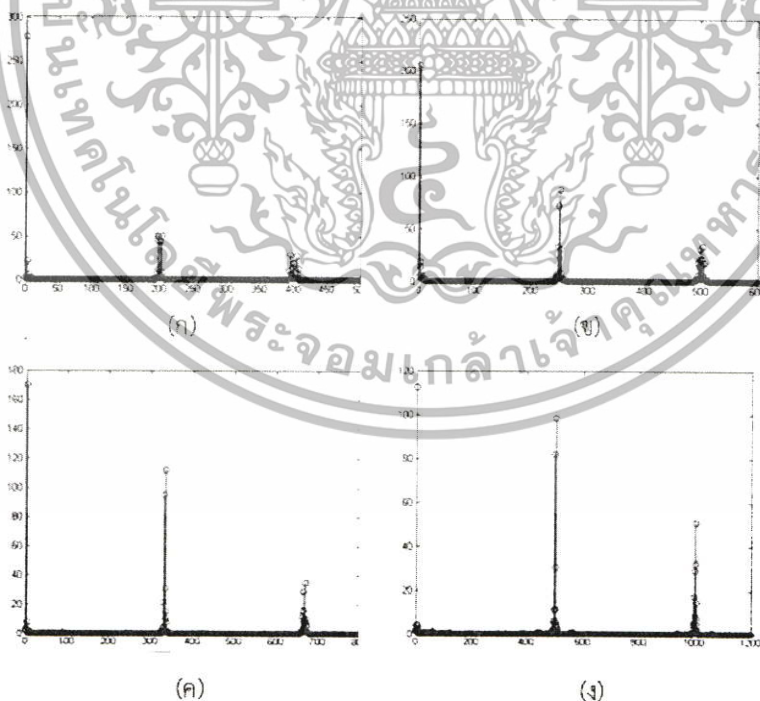
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10.5 สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มีความถี่สัญญาณไซน์ 20 Hz

จากรูปที่ 10.3 – 10.5 ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต จะเท่ากับความถี่ของสัญญาณไซน์ และแรงดันอาร์เอ็มเอส (RMS) จะมีค่าเปลี่ยนไปตามความถี่ ตามการควบคุมแบบ V/F คอนโทรล

เมื่อแตกอนุกรมฟูเรียร์ของสัญญาณแรงดันเอาต์พุตจะได้กราฟสเปกตรัมที่ m_a เท่ากับ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 แสดงดังรูปที่ 9.6 พบว่าเมื่อ m_a มีค่าน้อยลง แร่งดันที่ความถี่มูลฐาน (Fundamental) ของสัญญาณลดลง และแรงดันฮาร์มอนิกส์มีค่าเพิ่มขึ้นที่จำนวนเท่าของความถี่สวิตซิง



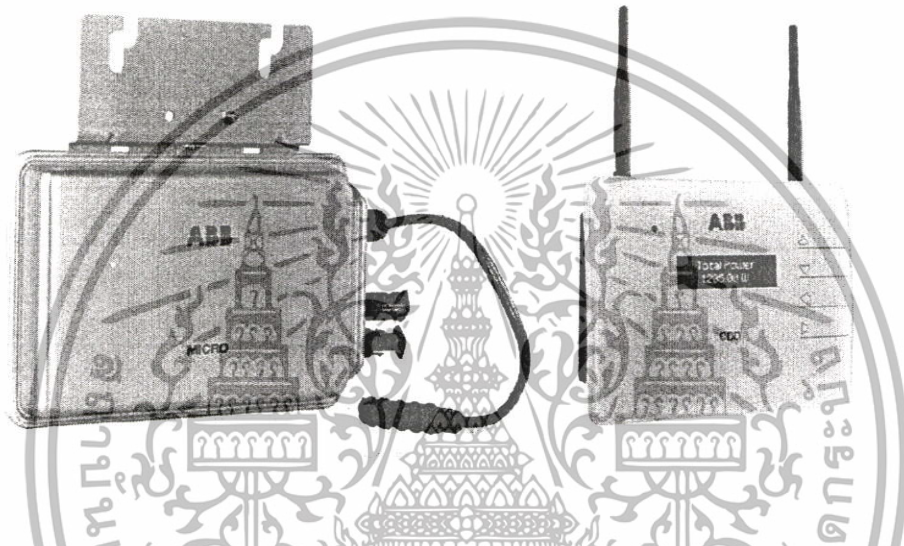
รูปที่ 10.6 กราฟสเปกตรัมของสัญญาณแรงดันเอาต์พุต (ก) $m_a = 1$ (ข) $m_a = 0.8$

(ค) $m_a = 0.6$ (ง) $m_a = 0.4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.3 ไมโครอินเวอร์เตอร์ที่ใช้งานจริง (Micro inverter Power one 250W) และ CDD monitoring

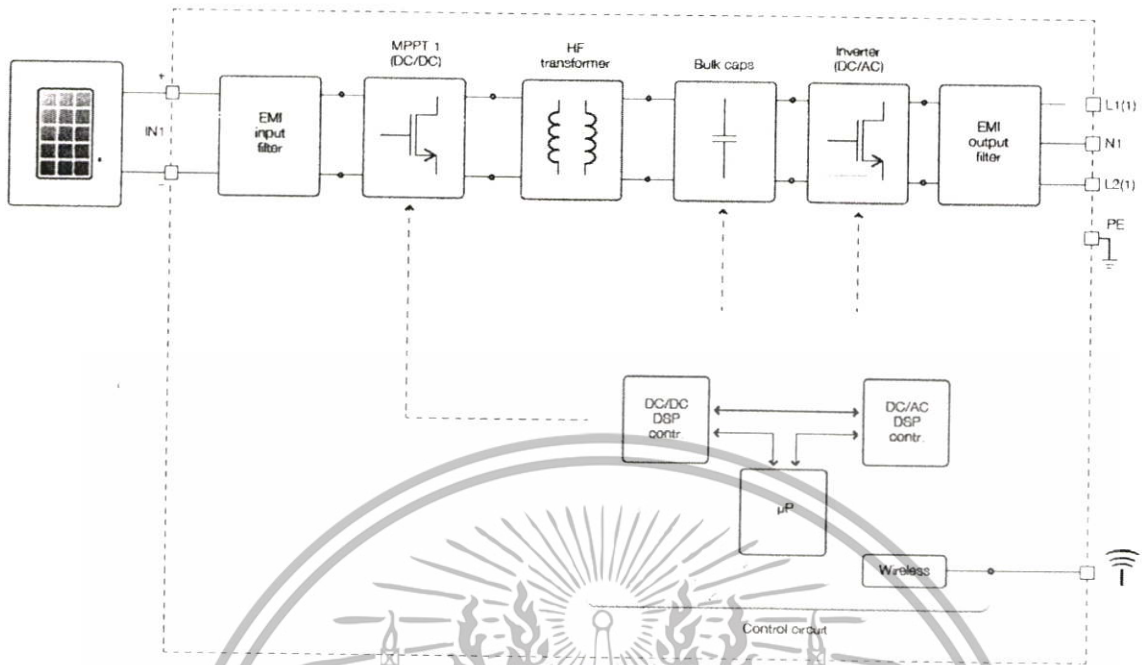
ไมโครอินเวอร์เตอร์เป็นชนิดอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว ที่มีหลักการทำงานโดยแปลงแรงดันไฟตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่โวลต์ต่ำให้สูงเพียงพอต่อการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับของระดับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง โดยมีชุด EMI filter ทั้งขาเข้าและขาออกเพื่อลดผลของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่อาจจะเกิดขึ้นในระบบรวมทั้งป้องกันสัญญาณรบกวนจากอินเวอร์เตอร์เข้าสู่ระบบกริดการไฟฟ้า โดยไดอะแกรมการเชื่อมต่อบรรวมทั้งระบบภายในอินเวอร์เตอร์แสดงดังรูปที่ 10.7 ขณะที่ค่าประสิทธิภาพระบบแสดงในรูปที่ 10.9



รูปที่ 10.7 Micro-inverter 250W และ CDD monitoring system

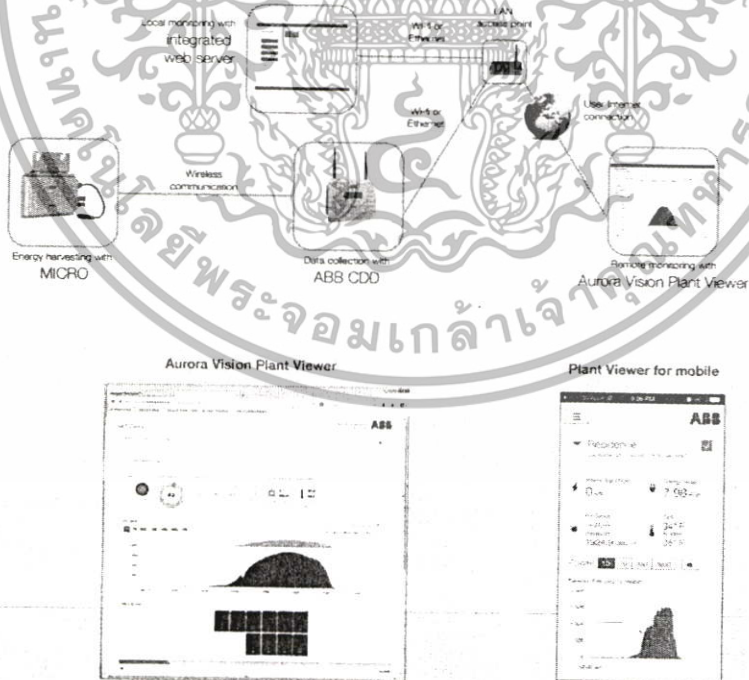
สำหรับ CDD monitoring เป็นอุปกรณ์แสดงผลที่เชื่อมต่อกับฝั่งไมโครอินเวอร์เตอร์ผ่านสัญญาณวิทยุและส่งข้อมูลที่ได้ออกทางหน้าจอแสดงผล และยังสามารถส่งข้อมูลเข้าระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อสามารถสังเกตรวมทั้งวิเคราะห์ลักษณะของการทำงานรวมทั้งการผลิตกระแสไฟฟ้าของไมโครแต่ละตัวผ่านระบบออนไลน์ได้โดยอัตโนมัติดังรูปที่ 10.8

Block diagram of MICRO



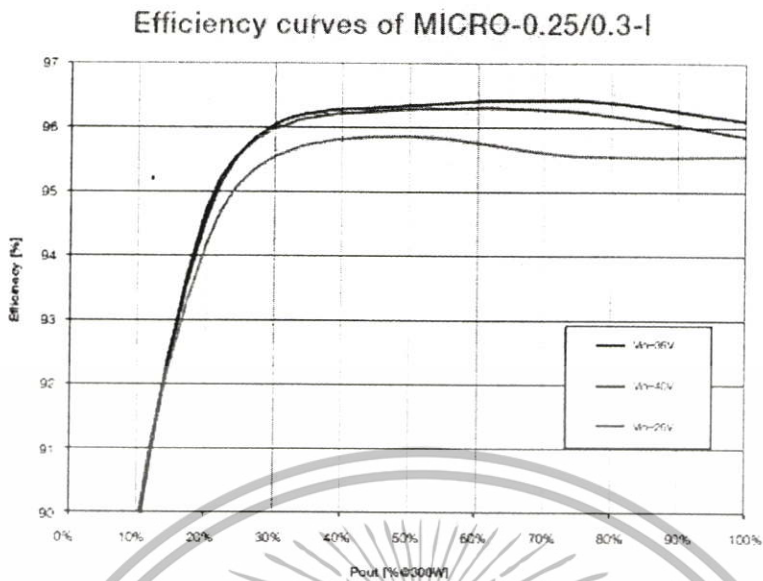
รูปที่ 10.8 ไคอะแกรมการทำงานและการเชื่อมต่อของ Micro-inverter

Monitoring solutions



รูปที่ 10.9 รูปแบบการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้าสู่ระบบกริดและส่งข้อมูลของอินเวอร์เตอร์เข้าสู่ระบบอินเทอร์เน็ต

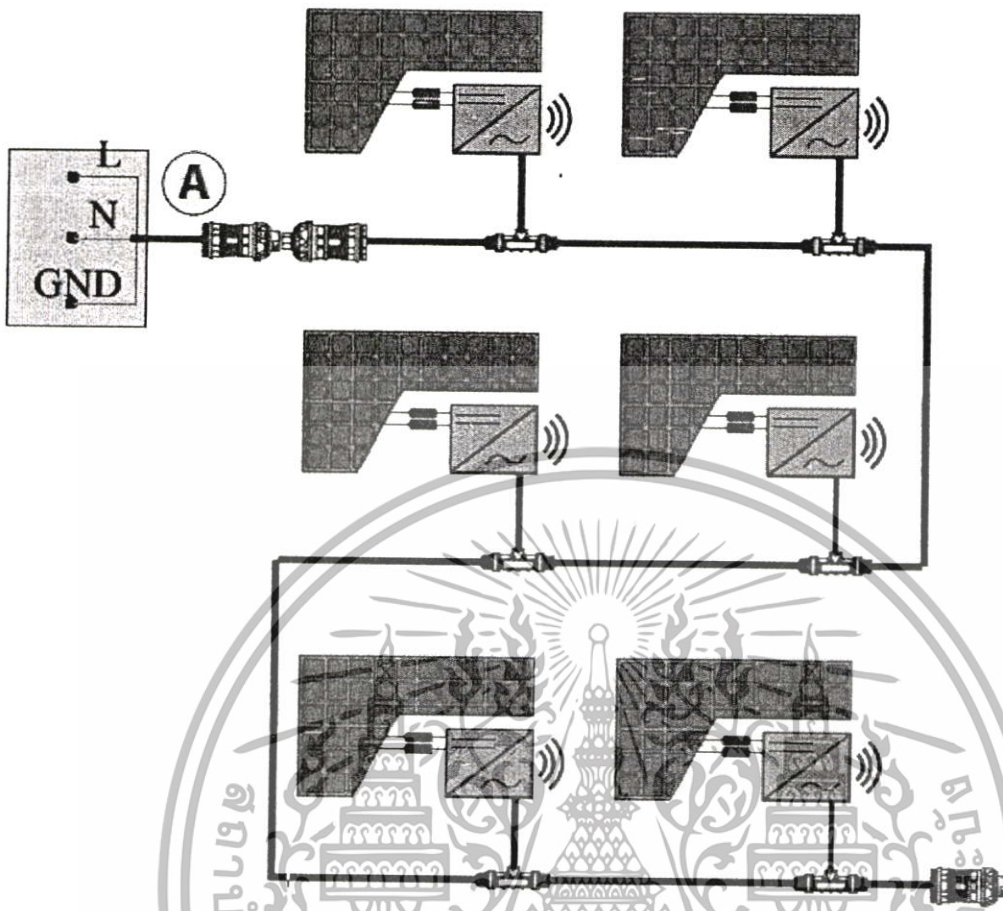
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10.10 ค่าประสิทธิภาพการทำงานของ Micro-inverter

10.4 การติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์และไมโครอินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบกริดการไฟฟ้าบริเวณสถานีสูบน้ำเค็มการประปาเทศบาลตำบลเกาะสีชัง

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ออกแบบพิกัดมาเพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่รับแสงบริเวณหลังคาของโรงสูบน้ำเทศบาลตำบลเกาะสีชัง ซึ่งเป็นสถานที่ติดตั้งระบบสูบน้ำโดยมีพื้นที่ขนาดพิกัด 35 กิโลวัตต์ 2 ชุด โดยติดตั้งแบบขนานกัน ซึ่งจะสูบน้ำโดยตรงจากบริเวณท้ายเกาะขึ้นสู่สถานีกรองน้ำประปาที่อยู่สูงไปประมาณ 100 เมตร สำหรับรูปแบบการเชื่อมต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบกริดการไฟฟ้าจะใช้การเชื่อมต่อแบบขนานระบบกริดไฟฟ้า ซึ่งใช้การเชื่อมต่อระบบกริดการไฟฟ้าเพียงหนึ่งเฟส เนื่องจากพิกัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้เป็นพิกัดกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก รูปแบบการติดตั้งและไดอะแกรมการเชื่อมต่อระบบเป็นดังรูปที่ 10.11



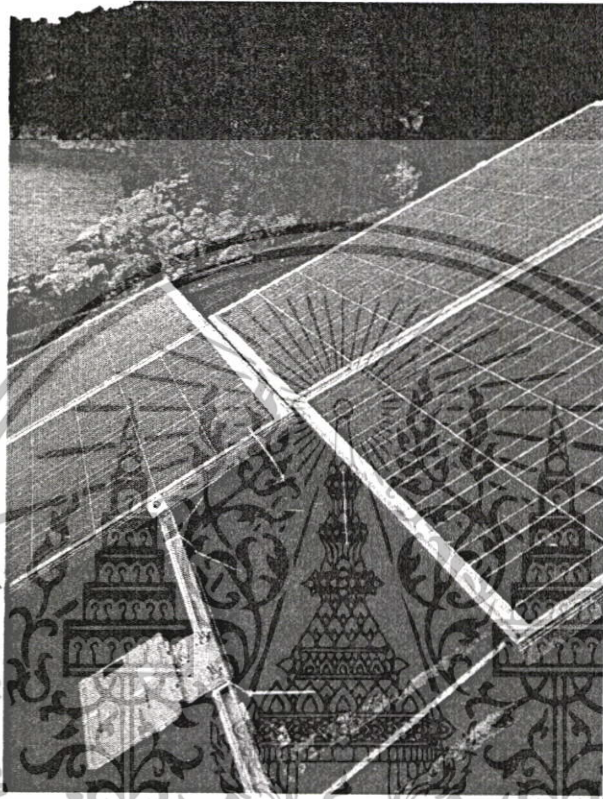
รูปที่ 10.11 ไดอะแกรมการเชื่อมต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบกริดการไฟฟ้า

พื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาโรงสุบน้ำมันจะใช้เพียงส่วนหนึ่งของโรงสุบน้ำมัน โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกติดตั้งให้หันไปทางทิศใต้ เนื่องจากเป็นทิศทางที่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวันและมากที่สุดเมื่อเทียบกับทิศทางอื่น สำหรับขนาดพื้นที่หลังคาบ้านที่ใช้ในการติดตั้งจะอยู่ที่พื้นที่ประมาณ 12 ตารางเมตร ซึ่งสามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 250 วัตต์ ได้ 6 แผง ดังรูปที่ 9.12 ดังนั้นพิกัดในการผลิตกระแสไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 1.5 กิโลวัตต์ แต่ด้วยปัจจัยทั้ง อุณหภูมิ ความเข้มแสง ตลอดจนมุมในการรับแสง ทำให้พิกัดกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ลดลง โดยพิกัดกำลังไฟเฉลี่ยอยู่ที่ 1 - 1.2 กิโลวัตต์ ดังนั้น พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้เฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ประมาณ 6 หน่วย และจากการคำนวณผลประหยัดรายปีสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ อยู่ที่ประมาณ 7200 บาทต่อปี (คิดที่ 300 วันต่อปี ตามสภาพฤดูกาล)

พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุด	1.5	กิโลวัตต์
ค่าส่วนเผื่อประสิทธิภาพ	20	เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น พิกัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ	$1.5 \times 0.8 = 1.2$	กิโลวัตต์
จากระยะเวลาในการผลิตกระแสไฟฟ้า	5	ชั่วโมง/วัน
ดังนั้น พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ	$1.2 \times 5 = 6$	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
อัตราค่าไฟฟ้าปัจจุบัน	4	บาท/หน่วย



รูปที่ 10.12 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบเชื่อมต่อกริดด้วยไมโครอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 10.13 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์พิกัด 1.5 กิโลวัตต์บริเวณสถานีสูบน้ำเกาะสีชัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ.พงษ์ศักดิ์ เสริมสาธนสวัสดิ์, “วิศวกรรมชายฝั่งทะเล 1”, สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
- [2] ปุณณภัทร ภูมิภาค, “เครื่องจักรไฟฟ้า1”, กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2555
- [3] Shepherd, W. & Shepherd D.W. (1998).Energy Studies. Singapore :World Scientific.
- [4] <http://market.onlineoops.com/261779>
- [5] <http://www.thaiwatersystem.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นทะเล

Electrical Energy Generation by Tidal Wave

ชาติชาย โสบุญ¹ ปุณยภัทร ภูมิภาค² และ อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง chartchai1990@hotmail.com

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร kcthanaphiwat@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่น โดยอาศัยความสัมพันธ์ของความสูง และความถี่คลื่นโดยใช้หุ่นลอยในการเปลี่ยนรูปพลังงาน การออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้านี้ได้ออกแบบให้ระบบสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าที่ 10 W โดยใช้การทดสอบในห้องปฏิบัติการและทดสอบโดยการนำไปใช้งานจริงที่เกาะสีชัง พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีความคลาดเคลื่อนจากเป้าหมาย 12.6 % และ 31.3 % ตามลำดับ

คำสำคัญ: พลังงานจากคลื่น เครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้า

Abstract

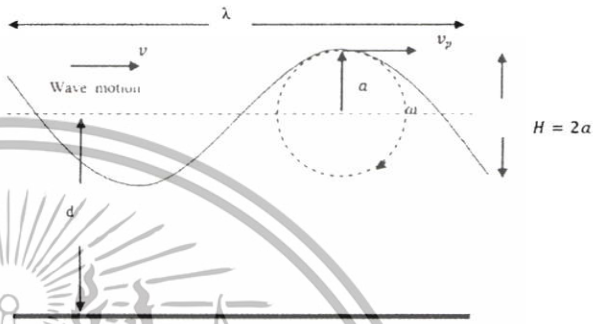
This paper presents the electrical energy generation by tidal wave. Based on wave height and wave frequency, the buoy performs to change energy. The electrical design can produce output power of 10 W by experimental laboratory and practical test at Koh Si-Chang. It found that there are some errors from objective value of 12.6% and 31.3%, respectively.

Keywords: Tidal wave, electrical energy generation

1. บทนำ

คลื่นเป็นสิ่งที่อยู่ตามธรรมชาติในทะเล [1] โดยทั่วไปคลื่นจะกำเนิดได้จากลม เมื่อลมพัดผ่านผิวน้ำจะยึดออกตามแรงลม แล้วจะหดตัวกลับเพื่อรักษาสมดุลด้วยแรงตึงผิว (surface tension) ทั้งนี้ น้ำก็มีลักษณะคล้ายวัตถุยืดหยุ่นอ่อนๆ (elastic membrane) โดยการยึดและหดเนื่องจากแรงดังกล่าวทำให้น้ำผิวน้ำโค้งขึ้นและโค้งลง (undulate) เกิดคลื่นขนาดเล็ก (ripples or wavelets) เมื่อลมพัดต่อเนื่องกันเป็นเวลานานพอสมควร คลื่นเหล่านี้จะค่อยๆ ขยายโตขึ้น มีชื่อใหม่ว่าคลื่นทะเล ซึ่งมีหลายขนาด และมีความเร็วต่างกันจะค่อยๆ ปรากฏทรวดทรงให้เห็นชัดเจน

ลักษณะคลื่นที่ในบทความนี้ให้ความสนใจ คือคลื่นที่เกิดจากลม หรือที่เรียกว่า Wind-generated wave หรือ gravity wave เพราะคลื่นประเภทนี้มีพลังงานคลื่นมากที่สุดตามปกติ Gravity wave มักมีความสูงไม่เกิน 10 m และมีคาบคลื่นไม่เกิน 30 sec แสดงดังรูปที่ 1 ขนาดความสูง



รูปที่ 1 ลักษณะของคลื่นน้ำที่เป็นรูปคลื่นไซน์ [2]

ของคลื่นที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับความเร็วลม (Wind speed) ช่วงเวลาที่ลมพัด (Wind duration) และระยะทางเหนือผิวน้ำที่ลมพัดผ่าน (Fetch length)

ดังนั้น ในบทความนี้จะเป็นแนวทางการศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นและสร้างต้นแบบของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นเบื้องต้น เพื่อจะได้เป็นแนวทางในการออกแบบและเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาและออกแบบ สำหรับระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่น ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

2. พลังงานคลื่น

คลื่นแบบ Gravity waves เป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่ง จากรูปที่ 1 การเคลื่อนที่ของคลื่นจะมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (sinusoidal wave) มีความยาวคลื่น (wavelength, λ), ความถี่ของคลื่น (frequency, f) ความเร็วของคลื่น (velocity, v_g) และความสูงของคลื่น (amplitude, a)

ความสัมพันธ์ของกำลังและพลังงานที่เกิดจากคลื่น [3] สามารถแสดงได้ดังนี้

ค่าความถี่เชิงมุม (angular frequency, ω) ของคลื่นสามารถหาได้จาก

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (1)$$

กรณีที่ความสูงของคลื่นมีค่ามากกว่าความลึกของทะเลมาก ค่าความยาวคลื่นจะสามารถหาได้จาก

$$\lambda = \frac{2\pi g}{\omega^2} \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจัดให้อยู่ในความสัมพันธ์ใหม่จะได้สมการที่

$$T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}} \quad (3)$$

เมื่อพิจารณาจากสมการ (2)-(3) จะได้ว่า ค่าความเร็วของผิวคลื่นได้จากสมการ (4)

$$v_g = \frac{\omega\lambda}{2\pi} = \frac{gT}{2\pi} = g\sqrt{\frac{\lambda}{2\pi g}} \quad (4)$$

ค่าพลังงานของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความยาวคลื่น (E) มีหน่วยเป็นจูลต่อเมตร (J/m) สามารถหาได้จากสมการ (5)

$$E = \frac{\rho g H^2}{8} \quad (5)$$

ดังนั้นกำลังของคลื่นสามารถคำนวณได้จากสมการ (6)

$$P = Ev_g \quad (6)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3) H หรือ $2a$ คือ ระยะความสูงจากท้องคลื่นถึงสันคลื่น และ g มีค่าเท่ากับ $9.81 (m/s^2)$

3. การออกแบบเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่น

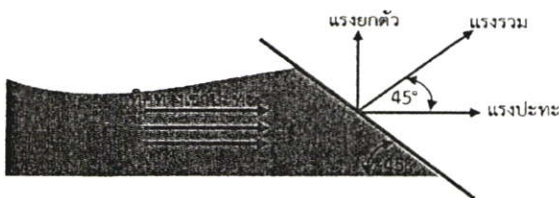
ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของคลื่นกับความสูงและความถี่ของคลื่น ดังนั้นจึงได้ออกแบบหุ่นสำหรับทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานของคลื่นให้เป็นพลังงานกล [3-4] โดยใช้หลักการแรงยกตัวของหุ่น (F) ดังสมการ (7) และแสดงผังรูปที่ 2

$$F = \rho Vg \quad (7)$$

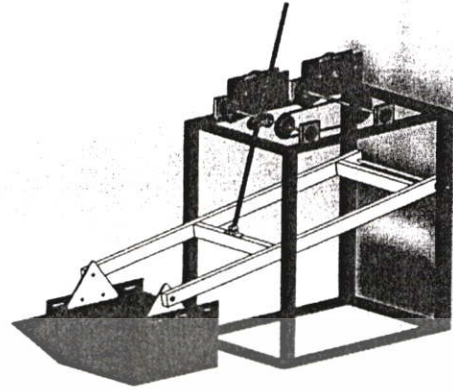
และกำลังทางกลจะหาได้จากสมการ (8)

$$P = \frac{FH}{t} = \frac{2Fa}{t} \quad (8)$$

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในบทความนี้กำหนดให้ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง พิกัด 28 W, 140 V, 2760 rpm ดังนั้นจะต้องออกแบบหุ่นให้สอดคล้องกับพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยโครงสร้างของคันแบบเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่น แสดงผังรูปที่ 3 ซึ่งประกอบด้วย หุ่นลอยน้ำ ชุดส่งกำลัง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำหรับชุดส่งกำลังมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ ชุดส่งกำลังแบบเฟืองเกลียว



รูปที่ 2 โครงสร้างของหุ่น



รูปที่ 3 คันแบบเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่น

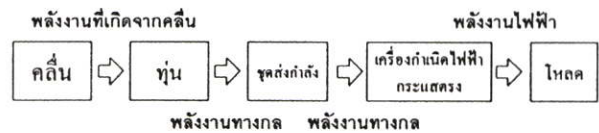
สกรู (screw gears) สำหรับใช้ส่งกำลังจากหุ่นลอยมายังเพลา และชุดส่งกำลังโดยใช้โซ่แบบลูกตึง (roller chains) ใช้สำหรับการส่งกำลังจากเพลาไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากรูปที่ 4 แสดงถึงกำลังการไหลของกำลังของของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่น ถ้ากำหนดให้ ประสิทธิภาพของชุดส่งกำลัง (η_{gear}) เท่ากับ 40 % และประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (η_{gen}) เท่ากับ 75 % ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตกำลังไฟฟ้า (P_{elec}) เท่ากับ 10 W ดังนั้นถ้าต้องการหา กำลังทางกลที่เกิดจากแรงยกตัวที่ป้อนให้กับชุดส่งกำลัง (P_{mech}) ตามสมการ (9)

$$P_{mech} = \frac{P_{elec}}{\eta_{gear}\eta_{gen}} \quad (9)$$

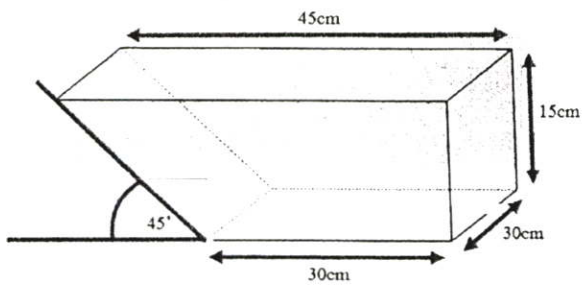
ดังนั้น หุ่นจะต้องสร้างกำลังทางกลที่เกิดจากแรงยกตัว ที่ป้อนให้กับชุดส่งกำลัง จะมีค่าเท่ากับ 33 W

สำหรับหุ่นจะต้องมีระยะลอยตัวหรือระยะความสูงจากท้องคลื่นถึงสันคลื่นเท่ากับ 20 cm ในเวลา 1 วินาที ดังนั้นจากสมการ (8) จะได้แรงยกตัวเท่ากับ 165 N และจากสมการ (7) สามารถหาปริมาตรของหุ่นลอย มีค่าเท่ากับ $0.0164 m^3$ สำหรับการออกแบบขนาดของหุ่น โดยมีรูปร่างดังรูปที่ 5 ซึ่งมีปริมาตรของหุ่นลอยเท่ากับ $0.01687 m^3$ เมื่อทำมาสร้างเป็นคันแบบ แสดงผังรูปที่ 6

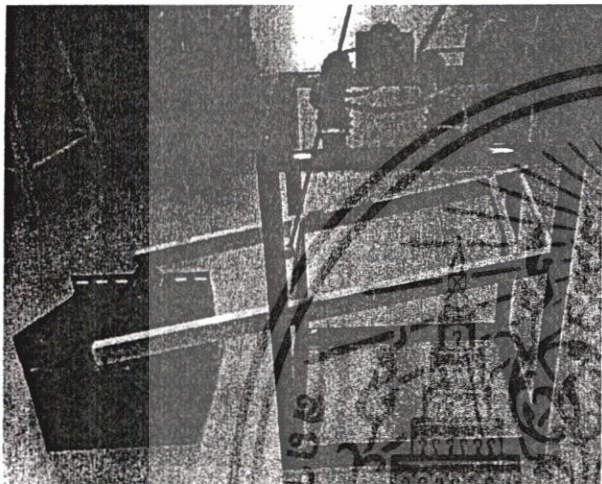


รูปที่ 4 กำลังการไหลของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 ขนาดของหุ่นลอย



รูปที่ 6 ต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่น

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

การทดสอบต้นแบบของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่น ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ การทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบโดยการนำไปใช้งานจริง

การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

โดยการยกหุ่นลอยแบบขึ้นลงต่อเนื่องที่มีระยะลอยตัวหรือระยะความสูงจากท้องคลื่นถึงสันคลื่น 10 ถึง 25 cm ตามลำดับ โดยใช้ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย 1 วินาที แล้วทำการวัดปริมาณไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริง ทั้งเงื่อนไขไม่มีภาระไฟฟ้าและมีภาระไฟฟ้า

การทดสอบในเงื่อนไขไม่มีภาระไฟฟ้าโดยพบว่าแรงดันไฟฟ้าจะแปรโดยตรงกับระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นลอย หรือระยะลอยตัว สำหรับการทดลองแบบมีภาระไฟฟ้า เมื่อทำการการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยให้ขึ้น-ลง จะได้แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ 34.8 V ที่ระยะลอยตัว 10 cm และแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ 54.7 V ที่ระยะลอยตัว 25 cm และเมื่อพิจารณาที่ระยะลอยตัว 20 cm ที่ได้ออกแบบ พบว่ามีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 51.0 V แสดงข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดลองแบบไม่มีภาระไฟฟ้า

ระยะลอยตัว (cm)	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V)
10	34.8
15	39.1
20	51.0
25	54.7

สำหรับการทดลองแบบมีภาระไฟฟ้า เมื่อทำการการเคลื่อนที่ของหุ่นลอยให้ขึ้น-ลง จะได้กำลังไฟฟ้าต่ำสุดที่ 3.52 W และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 10.17 W และเมื่อพิจารณาที่ออกแบบการทำงานที่ระยะลอยตัว 20 cm พบว่ามีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 8.74 W ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ได้ออกแบบไว้ที่ 10 W ประมาณ 1.26 W หรือ 12.6 % แสดงข้อมูลดังตารางที่ 2

การทดสอบโดยการนำไปใช้งานจริง

ได้ทำการทดสอบใช้งานจริง ที่เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี ในวันที่ 29 มีนาคม 2558 ทำการทดสอบต้นแบบของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นแบบไม่มีภาระไฟฟ้าและมีภาระไฟฟ้า โดยติดตั้งระบบให้ทำงานต่อเนื่อง ซึ่งในวันที่ทำการทดลอง ความสูงของคลื่นหรือระยะลอยตัว มีค่าตั้งแต่ 5 จนถึง 30 cm แต่จะทำการวัดผลที่ระยะลอยตัว 10, 15, 20 และ 25 cm เท่านั้น กำหนดให้ภาระไฟฟ้าเป็นหลอดไฟ ขนาด 12 V 10 W จำนวน 2 หลอด การทดสอบจะทำการวัดปริมาณไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริง ช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมงทำการบันทึกผลทุกๆ 1 นาที ผลการทดสอบโดยการนำไปใช้งานจริงแบบไม่มีภาระไฟฟ้า พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะแปรโดยตรงกับระยะลอยตัว แสดงข้อมูลในตารางที่ 3 แต่แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากในการใช้งานจริงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในระยะลอยตัว มากกว่าที่ได้ออกแบบ

ตารางที่ 2 การทดลองแบบมีภาระไฟฟ้า

ระยะลอยตัว	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
10	9.5	0.37	3.52
15	10.1	0.42	4.24
20	11.2	0.78	8.74
25	12.4	0.82	10.17

ตารางที่ 3 การทดสอบโดยการนำไปใช้งานจริงแบบไม่มีภาระไฟฟ้า

ระยะลอยตัว (cm)	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V)	เวลาในการเคลื่อนที่ในระยะลอยตัว (วินาที)
10	18.5	1.22
15	23.5	1.43
20	28.0	1.59
25	32.5	1.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผลกระทบของน้ำหนักของทุ่นลอย รวมทั้งน้ำหนักของแกนจับทุ่น ที่ให้แรงดันไฟฟ้าไม่ได้ตามที่ออกแบบ

เมื่อมีการจ่ายให้กับภาระไฟฟ้า พบว่าสามารถผลิต กำลังไฟฟ้า ค่าสุดที่ 2.02 W และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 8.26 W และเมื่อพิจารณาที่ ออกแบบการทำงานที่ระยะลอยตัว 20 cm พบว่ามีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 6.87 W ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ได้ออกแบบไว้ที่ 10 W ประมาณ 3.13 W หรือ 31.3 % แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4 และรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจาก คลื่น ขณะจ่ายภาระไฟฟ้า ดังรูปที่ 7

จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการนำไปใช้งานจริงพบว่า ชุดส่งกำลัง [5] มีกำลังทางกลสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของ อุปกรณ์ภายในโดยแปลงเป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ยที่ 12.6 % เนื่องจาก ความดึงของโซ่ยังไม่ได้ตามข้อกำหนด รวมทั้งการติดตั้งเฟืองเกียร์สลกรู มีการให้ตัวมากเกินไป และในส่วนของทดสอบการนำไปใช้งานจริง พบว่าเวลาในการเคลื่อนที่ที่ทุ่นลอยคลาดเคลื่อนจากการออกแบบที่ กำหนดให้ทุ่นลอยเคลื่อนที่จากระยะความสูงห้อยคลื่นถึง สิ้นคลื่น เคลื่อนที่ในเวลา 1 วินาที ส่งผลให้กำลังงานไฟฟ้าส่วนนี้ที่ผลิตได้ คลาดเคลื่อนจากเป้าหมายเฉลี่ย 18.7 % ทั้งนี้ในการทดสอบการนำไป ใช้งานจริง ไม่สามารถกำหนดให้คลื่นเคลื่อนที่ได้ในระยะเวลาที่กำหนด จากการทดสอบต้นแบบการผลิตไฟฟ้าจากคลื่น สามารถที่นำมาปรับปรุง และพัฒนาวิธีออกแบบเครื่องผลิตไฟฟ้าจากคลื่นที่เหมาะสม กับ

การนำไปใช้งาน ซึ่งในงานวิจัยต่อไปจะปรับปรุงระบบการส่ง กำลังเป็นแบบเชิงเส้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบแกนคานแนวตั้ง และ ระบบทุ่นลอยน้ำ

5. สรุป

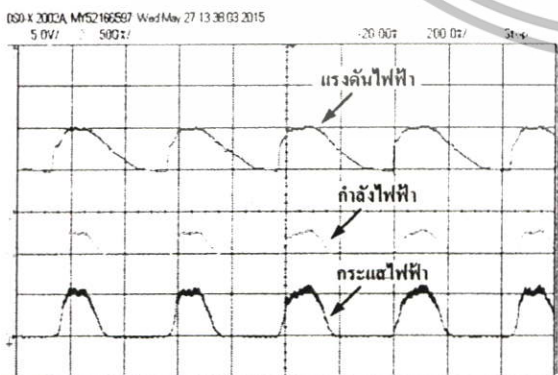
การออกแบบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่น ที่นำเสนอมานั้น พบว่าระบบที่นำเสนอสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จริงแต่กำลังไฟฟ้า มีความผิดพลาดพอสมควร เนื่องจากสภาพของคลื่นตามธรรมชาติในแต่ละ จุดแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้ไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดของการทดสอบ อาทิเช่น เวลาในการเคลื่อนที่ ทุ่นลอย จากการนำไปใช้งานจริงไม่เป็นไปตามระยะเวลาที่ออกแบบ รวมถึงชุดส่งกำลังซึ่งยังมีกำลังสูญเสียที่ตัวอุปกรณ์อยู่ เป็นต้น อย่างไรก็ตามบทความนี้เป็นเพียงแนวทางที่นำเสนอเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล พลังงานคลื่น การเลือกใช้อุปกรณ์และหาข้อจำกัดต่างๆ เพื่อใช้ในการ พัฒนาออกแบบเพื่อตอบสนองงานวิจัยในอนาคตต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] O.M. Phillips, The dynamics of the upper ocean, Cambridge University Press, 2nd ed., 1977.
- [2] Y. Goda, "Random Seas and Design of Maritime Structures," World Scientific, 2000.
- [3] G. Reynolds, "On the rate of progression of groups of waves and the rate at which energy is transmitted by waves," 1977.
- [4] L. Rayleigh and J. W. Strutt, "On progressive waves," Proceedings of the London Mathematical Society, 2nd revised edition, 1894 pp. 21–26.
- [5] สุรพล ศรีจำรูญ, "เฟือง," กลศาสตร์เครื่องกล, กรุงเทพฯ: ศูนย์ ส่งเสริมวิชาการ, 2549.

ตารางที่ 4 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบมีไหล

ระยะลอยตัว (cm)	เวลาการเคลื่อนที่ (วินาที)	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
10	1.08	4.8	0.42	2.02
15	1.40	6.4	0.72	4.61
20	1.63	7.9	0.87	6.87
25	1.77	8.1	1.02	8.26



รูปที่ 7 รูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้