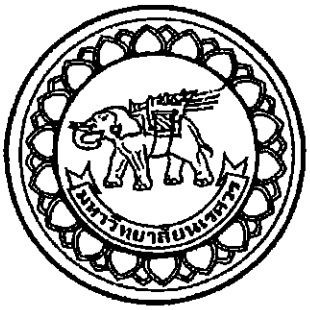


ชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

THE DEMONSTRATION OF ELECTRICITY FROM WAVE POWER

นายดิษสรรเพชร มณฑาทอง รหัส 51384697

นายวัชระชัย วังแก้ว รหัส 51384772

นายเอกภพ จันทร์วังทอง รหัส 51384802

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 1600239
เลขเรียกหนังสือ ...ป.ธ.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ว 986 ธ 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายดิษสรรเพชร	มณฑาทอง	รหัส 51384697
	นายวัชระชัย	วังแก้ว	รหัส 51384772
	นายเอกภพ	จันทร์วังทอง	รหัส 51384802
ที่ปรึกษาโครงงาน	รองศาสตราจารย์ ดร. ปฐมศก วิไลพล		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2554		

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(รองศาสตราจารย์ดร. ปฐมศก วิไลพล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

.....กรรมการ
(ดร. นินนาท ราชประดิษฐ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายดิษสรรเพชร	มณฑาทอง	รหัส 51384697
	นายวัชระชัย	วังแก้ว	รหัส 51384772
	นายเอกภพ	จันทร์วังทอง	รหัส 51384802
ที่ปรึกษาโครงงาน	รองศาสตราจารย์ ดร. ปฐมศก วิไลพล		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2554		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการประยุกต์สร้างชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำที่ประกอบด้วย ตู้กระจกขนาด 150×42×40 cm พร้อมทั้งชุดกำเนิดคลื่นและชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ขดลวดทองแดงเบอร์ 22 พันขดลวดจำนวน 50, 100, 150, 200 และ 250 รอบ โดยน้ำในตู้กระจกนั้นมีความสูง 15 cm จากการทดสอบและบันทึกผลของคาบเวลาของคลื่น ความยาวของคลื่น ความสูงของคลื่น กระแสไฟที่เป็นบวก และกระแสไฟฟ้าที่เป็นลบ แล้วนำค่าจากการทดสอบมาวิเคราะห์หาความเร็วของคลื่นน้ำแรงลอยตัว และโมเมนต์ของคานจากผลการทดลองพบว่าจำนวนรอบของขดลวดมีผลต่อค่ากระแสไฟที่ต่างกันกระแสไฟเป็นบวกหรือลบที่มีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการจำนวนรอบของขดลวด โดยวัดจากขดลวด 50, 100, 150, 200 และ 250 รอบ ได้กระแสไฟที่เป็นบวกเฉลี่ยเท่ากับ 2.6, 3.8, 7.4, 8.4, 9.0 μA ตามลำดับ และได้กระแสไฟที่เป็นลบเฉลี่ยเท่ากับ -2.4, -3.3, -5.8, -8.3, -9.1 μA ตามลำดับ และได้ความเร็วคลื่นน้ำเท่ากับ 36 cm/s, 41.67 cm/s, 43 cm/s, 43.5 cm/s, 40.33 cm/s ตามลำดับและแรงลอยตัวเท่ากับ 1.25 N และโมเมนต์ของคานเท่ากับ 0.375 Nm พบว่าเมื่อจำนวนขดลวดเพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นตาม

Project title	The demonstration of electricity from wave power		
Name	Mr. Disanpate	Montatong	ID 51384697
	Mr. Wacharachai	Wangkaew	ID 51384772
	Mr. Eakkaphop	Janwangthong	ID 51384802
Project advisor	Assoc.Prof.Dr. Patomsok Wilaipon		
Major	Mechanical Engineering		
Department	Mechanical Engineering		
Academic year	2011		

.....

Abstract

The objective of this research project was to design and construct a wave-to-electricity demonstration unit. The model is composed of a 150x42x40 cm glass bath, wave generation kit and electric generation unit. Five levels of copper wire viz. 50, 100, 150, 200 and 250 rounds were wound around the core of generator. According to the glass bath, it contained 15-cm of tap water for demonstration purpose.

With regard to the experiment, wave period, wave length, wave height including the amplitude of electric current generated was measured and recorded. For the cases of 50, 100, 150, 200 and 250 rounds, the positive current values were found to be 2.6, 3.8, 7.4, 8.4 and 9.0 μA, respectively. Moreover, for the same case, the negative current values were reported as -2.4, -3.3, -5.8, -8.3 and -9.1 μA. The wave velocities were about 36.0, 41.7, 43.0, 43.5 and 40.3 cm/s. The value of buoyancy of the float was found to be 1.25 N and the moment of connection beam was about 0.375 Nm. It may be concluded that the changing in round number of copper wire affected the electric current generated as shown from the demonstration unit.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือในด้านการให้คำแนะนำในการทำโครงงานจาก รองศาสตราจารย์ดร.ปฐมศก วิไลพล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานคณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจสม่ำเสมอตลอดมา

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายดิษสรรเพชร มณฑาทอง
นายวัชระชัย วังแก้ว
นายเอกภพ จันทร์วังทอง
มีนาคม 2555

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก

บทคัดย่อภาษาไทย.....ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ค

กิตติกรรมประกาศ.....ง

สารบัญ.....จ

สารบัญตาราง.....ซ

สารบัญรูป.....ฌ

สัญลักษณ์.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....1

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

1.4 ขอบเขต.....2

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....2

1.6 ตัวอย่างแบบการสร้างชุดสาธิตการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น.....2

1.7 ระยะและแผนการดำเนินงาน.....3

1.8 อุปกรณ์ที่ใช้.....3

1.9 งบประมาณ.....4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....5

2.1 ฟลักซ์แม่เหล็ก.....5

2.2 กฎของฟาราเดย์.....5

2.3 กฎของเลนซ์.....6

2.4 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการเคลื่อนที่.....7

2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....7

2.6 คลื่นมหาสมุทร.....8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7 ส่วนประกอบของคลื่น 9
2.8 ขนาดของคลื่น 10
2.9 ชนิดและการเกิดของคลื่นเนื่องมาจากลม 10
2.10 การที่คลื่นใต้น้ำ เคลื่อนที่ได้ไกลมากก็เพราะ 12
2.11 การเปลี่ยนแปลงเมื่อคลื่นเข้าหาฝั่ง 13
2.12 การสะท้อนกลับของคลื่น 14
2.13 คลื่นน้ำลึก 15
2.14 คลื่นน้ำตื้น 16
2.15 คลื่นอยู่กับที่ 17
2.16 คลื่นใต้น้ำ 18
2.17 คลื่นชนิดอื่น 19

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง 21

3.1 ลักษณะและการทำงานของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ 21
3.2 การออกแบบชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ 22
3.3 การสร้างชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ 25
3.4 ขั้นตอนการสร้างชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ 28
3.5 การดำเนินการทดลอง 29

บทที่ 4 วิเคราะห์ผลและผลการทดลอง 31

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ 31
4.2 การคำนวณหาค่าต่างๆ 37
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองของคลื่น 38

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 41

5.1 สรุปผลการทดลอง 41
5.2 ข้อเสนอแนะ 41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง.....42

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ระยะและแผนการดำเนินงาน.....3

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ ที่จำนวนขดลวด 50รอบทดสอบซ้ำจำนวน 10 รอบ รอบละ 1 นาที.....31

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ ที่จำนวนขดลวด 100 รอบ ทดสอบซ้ำจำนวน 10 รอบ รอบละ 1 นาที.....32

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ ที่จำนวนขดลวด 150 รอบ ทดสอบซ้ำจำนวน 10 รอบ รอบละ 1 นาที.....33

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ ที่จำนวนขดลวด 200 รอบ ทดสอบซ้ำจำนวน 10 รอบ รอบละ 1 นาที.....34

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ ที่จำนวนขดลวด 250 รอบทดสอบซ้ำจำนวน 10 รอบ รอบละ 1 นาที.....35

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น 2
รูปที่ 2.1 ฟลักซ์สนามแม่เหล็ก ที่มา[2] 5
รูปที่ 2.2 กัลป์วานอมิเตอร์เมื่อแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากขดลวด ที่มา[2] 5
รูปที่ 2.3 ทิศของกระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น ที่มา[2] 6
รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการเคลื่อนที่ 7
รูปที่ 2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่มา[2] 7
รูปที่ 2.6 ความถี่ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่มา[2] 8
รูปที่ 2.7 แสดงส่วนต่างๆ ของคลื่น ที่มา[4] 9
รูปที่ 2.8 แสดง SURF ในแบบต่างๆ 12
รูปที่ 2.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของคลื่นเมื่อเคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง ที่มา[4] 14
รูปที่ 2.10 แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่นเมื่อผ่านช่องแคบ ที่มา[4] 14
รูปที่ 2.11 แสดงการหมุนเวียนอนุภาคน้ำในคลื่นน้ำลึก ที่มา[4] 15
รูปที่ 2.12 แสดงขั้นตอนของลมที่ทำให้โมเลกุลของน้ำในคลื่นหมุน ที่มา[4] 16
รูปที่ 2.13 แสดงการหมุนเวียนของอนุภาคน้ำในคลื่นน้ำตื้น ที่มา[4] 16
รูปที่ 2.14 แสดงคลื่นอยู่กับที่ในแหล่งน้ำปิด ที่มา[4] 17
รูปที่ 2.15 แสดงคลื่นอยู่กับที่ในแหล่งน้ำเปิด ที่มา[4] 18
รูปที่ 2.16 คลื่นขนาดใหญ่ความเร็วเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่น 20
รูปที่ 3.1 แบบชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ 21
รูปที่ 3.2 การออกแบบตู้กระจก 22
รูปที่ 3.3 การออกแบบชุดกำเนิดคลื่นน้ำ 23
รูปที่ 3.4 การออกแบบชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้า 24
รูปที่ 3.5 ชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ 24
รูปที่ 3.6 แบบตู้กระจก 25
รูปที่ 3.7 แบบชุดกำเนิดคลื่นน้ำ 26
รูปที่ 3.8 ส่วนที่ใช้วางกับกระจกและคาน 27

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.9 ส่วนทุ่นลอย 27
รูปที่ 3.10 ส่วนที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า 28
รูปที่ 3.11 ชุดกำเนิดคลื่นน้ำมาติดกับตู้กระจก 28
รูปที่ 3.12 ชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้ามาวางที่ตู้กระจก 29
รูปที่ 3.13 การติดตั้งอุปกรณ์การวัด 29
รูปที่ 3.14 เครื่องมัลติมิเตอร์ดิจิตอล (DIGITAL MULTIMETER) 30
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบขดลวดกับกระแสไฟบวกสูงสุด 36
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบขดลวดกับกระแสไฟลบสูงสุด 36
รูปที่ 4.3 ระดับน้ำในตู้กระจก 38
รูปที่ 4.4 ความสูงของคลื่นสูงสุด 39
รูปที่ 4.5 ความสูงน้ำต่ำสุด 39
รูปที่ 4.6 การวัดความยาวคลื่น 40

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัดของทุ่นลอยน้ำ	m^2
C	ความเร็วคลื่น	cm/s
L	ความยาวคลื่น	m
T	คาบของคลื่น	s
F	แรงลอยตัว	N
$\rho_{น้ำ}$	ความหนาแน่นของน้ำ	kg/m^3
$V_{ส่วนที่จม}$	ปริมาตรส่วนที่จม	m
M	โมเมนต์	Nm
R	ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน	m

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันพลังงานมีหลากหลายรูปแบบที่นำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้ามีทั้งแบบที่ใช้เชื้อเพลิงและไม่ใช้เชื้อเพลิง ในขณะที่ปริมาณของเชื้อเพลิงมีอยู่อย่างจำกัดจึงหันมาใช้ในรูปแบบไม่ใช้เชื้อเพลิงร่วมด้วยกัน นั้นคือพลังงานที่ผลิตได้โดยธรรมชาติเป็นพลังงานที่สะอาดไม่เกิดมลพิษเพื่อช่วยทดแทนปริมาณเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัดและจะได้นำพลังงานที่ผลิตได้โดยธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เนื่องจากพลังงานจากทะเลและมหาสมุทรมีการศึกษา ค้นคว้า และนำมาใช้จริงหลายประเภทได้แก่ พลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลง พลังงานจากคลื่น พลังงานจากอุณหภูมิของน้ำทะเล เป็นต้น ดังนั้นงานพัฒนาพลังงานลมและพลังงานอื่นๆ (กลุ่มพัฒนาพลังงานคลื่นทะเล ส่วนพัฒนาพลังงาน 2 สำนักพัฒนาพลังงานกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน) จึงได้ดำเนินการ ศึกษาค้นคว้า รวบรวมข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้น ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานจากทะเลและมหาสมุทร เพื่อจะได้นำมาพัฒนาเป็นพลังงานทดแทนต่อไป

การผลิตกระแสไฟฟ้าสามารถทำได้หลายวิธีแต่ในที่นี้จะเสนอถึงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น โดยสร้างชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น เนื่องจากชุดสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนี้ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เองจากคลื่นทะเลไม่ต้องใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง เพื่อช่วยในการประหยัดพลังงาน

ชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น เป็นอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าจากคลื่นแบบลอย ซึ่งสร้างไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของอุปกรณ์ที่ลอยอยู่ คลื่นนี้จะเกิดขึ้นจากชุดจำลองคลื่นและอุปกรณ์ด้านในของชุดผลิตกระแสไฟฟ้าประกอบไปด้วยขดลวดทองแดงแม่เหล็ก โดยคลื่นที่เกิดขึ้นจากการจำลองจะเคลื่อนที่เข้ากระทบชุดผลิตกระแสไฟฟ้าทำให้ขดลวดทองแดงเคลื่อนที่ขึ้นลงวิ่งตัดผ่านสนามแม่เหล็ก จากทฤษฎีของฟาราเดย์ เมื่อแม่เหล็กวิ่งผ่านขดลวดจะเกิดกระแสไฟฟ้า กระแสที่เกิดขึ้นเรียกว่า กระแสเหนี่ยวนำ (induced current) ซึ่งเกิดจากแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (induced electromotive force)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานและสร้างชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทราบถึงทฤษฎีและวิธีการสร้างชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

1.4 ขอบเขต

1.4.1 สร้างชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

1.4.2 ชุดสาธิตจะผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากคลื่นเคลื่อนที่เข้ามากระทบเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดการโยกตามคลื่นแล้วจะได้กระแสไฟฟ้าออกมา

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานเรื่องคลื่นทะเล

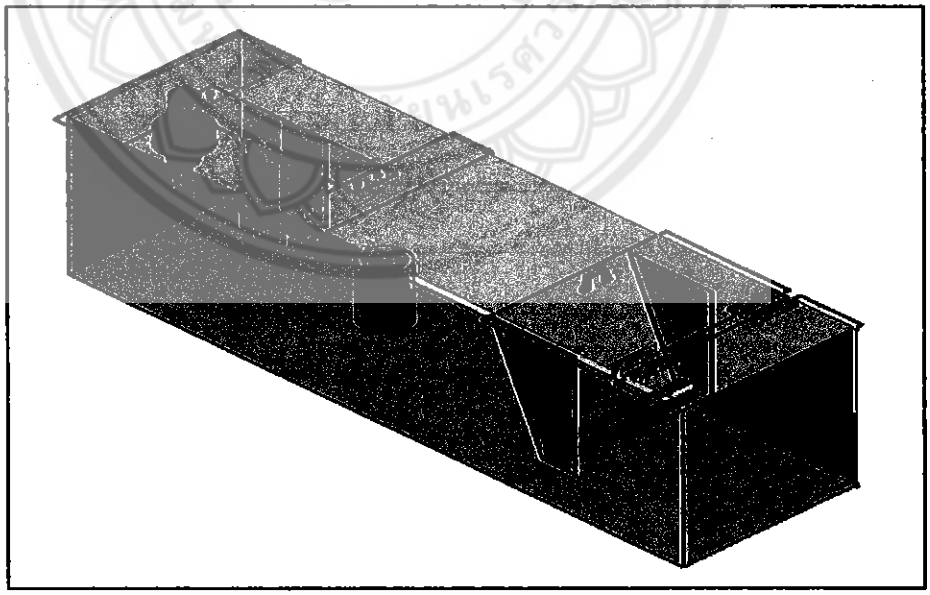
1.5.2 ออกแบบชุดสาธิตการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นด้วยโปรแกรม Solid Works

1.5.3 สร้างชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

1.5.4 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุป

1.5.5 เขียนปริญญานิพนธ์

1.6 ตัวอย่างแบบการสร้างชุดสาธิตการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น



รูปที่ 1.1 ชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

หลักการทำงานชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นจะทำงานโดยการยกชุดกำเนิดคลื่นขึ้น-ลงเพื่อให้น้ำที่เป็นคลื่นนั้นเข้ากระทบกับทุ่นที่ลอยอยู่จะทำให้ทุ่นลอยน้ำเคลื่อนที่

ตามคลื่นน้ำและทำให้คานโยกตัวขึ้น-ลงอีกด้านหนึ่งของคานที่มีแม่เหล็กติดอยู่จะเคลื่อนที่ผ่านขดลวดและทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น

1.7 ระยะและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะและแผนการดำเนินงาน

กิจกรรมและขั้นตอนการดำเนินการ	ระยะเวลา (เดือน)								
	2553						2554		
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาทฤษฎีพื้นฐาน									
2.จัดหาซื้ออุปกรณ์									
3.สร้างตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้า									
4.สร้างชุดจำลองคลื่นและประกอบชุดสาธิต									
5.วิเคราะห์และสรุปผล									
6.จัดทำปริญญานิพนธ์									

1.8 อุปกรณ์ที่ใช้

1.8.1 ขดลวด

1.8.2 แม่เหล็กถาวร

1.8.3 ตู้กระจก ขนาดความยาว 150 cm ความกว้าง 42 cm ความสูง 40 cm

1.8.4 แผ่นอะคริลิก

1.8.5 มือจับประตู

1.8.6 ท่อ PVC

1.8.7 ซีลีโคน

1.8.8 เทปพันสายไฟ

1.8.9 โรลไว้สำหรับพันขดลวด

1.8.10 เครื่องมัลติมิเตอร์ดิจิตอล

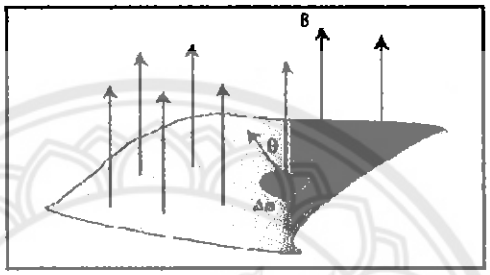
1.9 งบประมาณ

1.9.1 ค่าวัสดุอุปกรณ์ประมาณ	7,000	บาท
1.9.2 ค่าเอกสารและจัดทำรายงาน	1,500	บาท
รวม	8,500	บาท

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

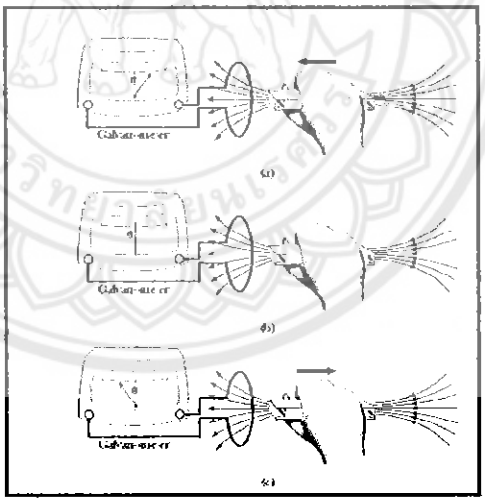
2.1 ฟลักซ์แม่เหล็ก

ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กที่ตกตั้งฉากกับพื้นที่นั้นๆมีค่าเท่ากับผลคูณของสนามแม่เหล็กกับพื้นที่ที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กนั้นโดยฟลักซ์แม่เหล็กเป็นปริมาณสเกลาร์



รูปที่ 2.1 ฟลักซ์สนามแม่เหล็ก ที่มา[2]

2.2 กฎของฟาราเดย์



รูปที่ 2.2 กัลป์วานอมิเตอร์เมื่อแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่เข้าหรือออกจากขดลวด ที่มา[2]

จากรูป 2.2 จะเห็นลวดตัวนำขดเป็นรูปวงกลมและสี่เหลี่ยมต่ออยู่กับกัลวานอมิเตอร์ซึ่งเข็มของกัลวานอมิเตอร์ชี้อยู่ที่ 0 เราจะนำขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือเคลื่อนเข้าหาขดลวดวงกลมเข็มของกัลวานอมิเตอร์จะกระดิกไปในทิศทางหนึ่งและเมื่อแท่งแม่เหล็กหยุดกับที่เข็มของกัลวานอมิเตอร์จะชี้ที่ 0 หลังจากนั้นเมื่อเคลื่อนแท่งแม่เหล็กออกจากขดลวดวงกลมเข็มของกัลวานอมิเตอร์จะกระดิกไปทิศทางตรงกันข้ามกับตอนแรกแสดงว่าเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดตัวนำและเมื่อนำ

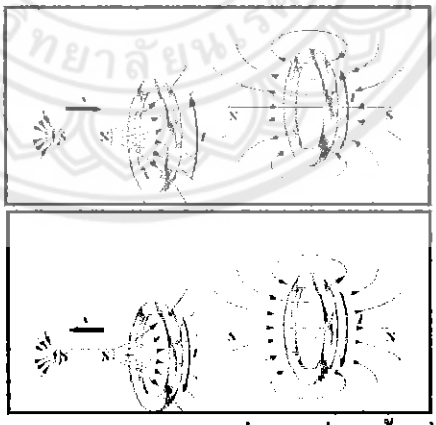
ขั้วแม่เหล็กขั้วใต้เคลื่อนเข้าหาขดลวดวงกลมเข็มของกัลวานอมิเตอร์จะกระดิกไปในทิศตรงข้ามกับการนำขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือเคลื่อนเข้าหาขดลวดวงกลมและเมื่อเคลื่อนแท่งแม่เหล็กออกเข็มของกัลวานอมิเตอร์จะกระดิกไปในทิศทางตรงกันข้ามกับตอนเคลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้าและถ้าให้แท่งแม่เหล็กอยู่กับที่และเคลื่อนขดลวดวงกลมแทนผลที่ได้จะเหมือนกันแสดงว่าไม่ว่าจะเคลื่อนที่แท่งแม่เหล็กหรือเคลื่อนที่ขดลวดตัวนำจะมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในขดลวดเสมอกระแสที่เกิดขึ้นนี้เราเรียกว่ากระแสเหนี่ยวนำ (induced current) ซึ่งเกิดจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนียวนำ (inducedelectromotive force)

ฟาราเดย์ (Michael Faraday ค.ศ. 1791-1867) ได้สรุปผลการทดลองนี้เป็นกฎเรียกว่า"กฎของฟาราเดย์(Faraday 's law)"

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กผ่านวงรอบปิดใดๆต่อเวลาจะก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นโดยค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านวงรอบปิดนั้น

2.3 กฎของเลนซ์

นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อเลนซ์ (Lenz) ได้ตั้งกฎนี้เพื่อบอกทิศของกระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นอันมีใจความว่า "แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีทิศต่อต้านการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้มันเกิดขึ้น" เครื่องหมายลบในกฎฟาราเดย์แสดงถึงการต่อต้านดังกล่าว



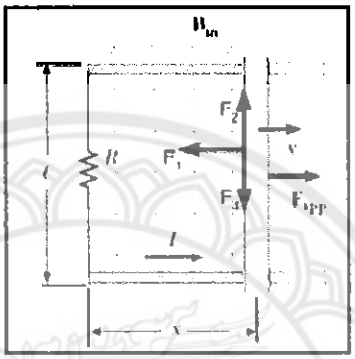
รูปที่ 2.3 ทิศของกระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น ที่มา[2]

จากรูป 2.3 จะเห็นว่าเมื่อเราผลักแท่งแม่เหล็กเข้าหาขดลวดจะเกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้นตามกฎของเลนส์การผลักนี้ก็คือการเปลี่ยนแปลงซึ่งจะทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำและจากกฎนี้กระแสเหนี่ยวนำจะต่อต้านการเปลี่ยนแปลงนั่นคือถ้าผลักขั้วเหนือเข้าหาขดลวดจะเกิดขั้วเหนือขึ้นทางด้านขวาของขดลวดเพื่อพยายามผลักขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็กในทางกลับกันถ้าดึงขั้วเหนือของ

แท่งแม่เหล็กให้ออกห่างจากขดลวดขดลวดจะพยายามต้านการเคลื่อนที่นั้นโดยการสร้างขั้วใต้ขึ้นทางด้านแท่งแม่เหล็กเพื่อดูดแท่งแม่เหล็กเอาไว้ดังนั้นไม่ว่าเราจะผลักแท่งแม่เหล็กเข้าหาหรือดึงแท่งแม่เหล็กออกจากขดลวดการเคลื่อนที่ของมันจะถูกต่อต้านโดยขดลวดเสมอ

2.4 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการเคลื่อนที่

ในกรณีนี้เราจะพิจารณาการเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำแล้วทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

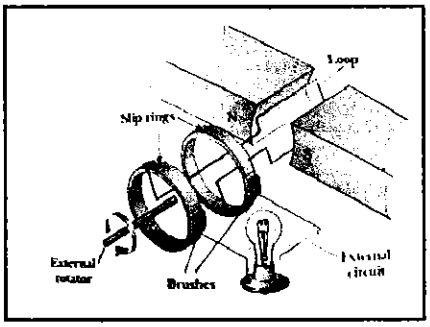


รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการเคลื่อนที่ของขดลวดสี่เหลี่ยม ที่มา[2]

จากรูป 2.4 กำลังดึงขดลวดสี่เหลี่ยมออกจากสนามแม่เหล็กที่มีขนาดสม่ำเสมอซึ่งก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทิศตามเข็มนาฬิกาในกรณีนี้จะเกิดแรงกระทำต่อลวด 3 แรงคือ $\overrightarrow{F_1},\overrightarrow{F_2},\overrightarrow{F_3}$ ฟลักซ์สนามแม่เหล็ก ϕ ที่อยู่ภายในพื้นที่สี่เหลี่ยม

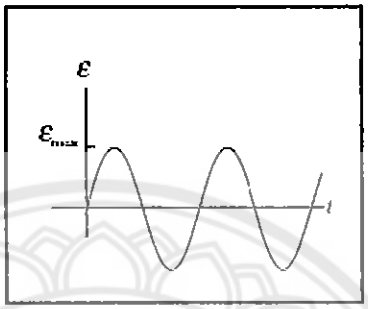
แรงที่เกิดจากการที่มีกระแสไฟฟ้าไหลในลวดตัวนำผ่านสนามแม่เหล็ก $\overrightarrow{F_2}=\overrightarrow{F_3}$ แต่ทิศทางตรงกันข้ามจะหักล้างกันหมดไปแต่แรง $\overrightarrow{F_1}$ จะเป็นแรงที่พยายามต้านการเคลื่อนที่

2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่มา[2]

เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยกฎของฟาราเดย์จากรูป 2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วยแม่เหล็ก2 แท่ง, ขดลวด, คอมมิวเตเตอร์และแปรงซึ่งทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าจากขดลวดโดยขดลวดมีจำนวนรอบ N รอบและแต่ละรอบมีพื้นที่ A หมุนด้วยอัตราเร็วเชิงมุม ω คอมมิวเตเตอร์มีลักษณะเป็นวงแหวนลื่นประกอบด้วยแปรงเป็นตัวรับกระแสไฟฟ้าจากขดลวดเพื่อนำออกไปสู่ความต้านทานภายนอกต่อไป



รูปที่ 2.6 ความถี่ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่มา[2]

จากรูป 2.6 จะเห็นได้ว่ากระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทางเป็นรูป sine (Sinusoidal) ความถี่ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเท่ากับความถี่ของการหมุนของขดลวด

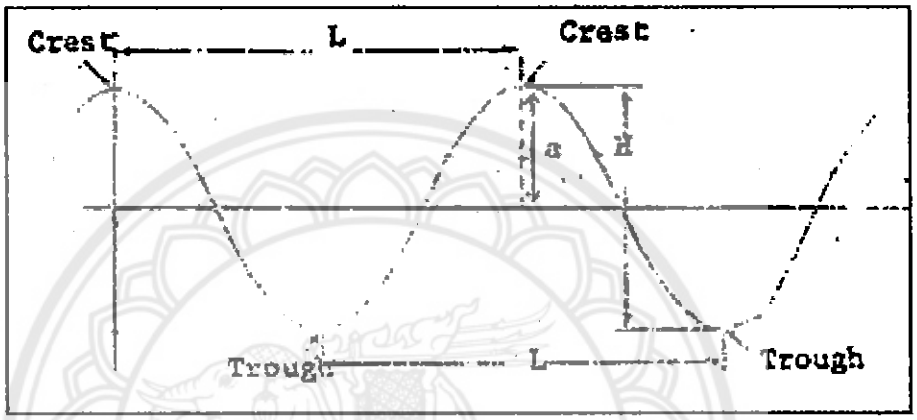
2.6 คลื่นมหาสมุทร (Ocean Waves)

คลื่นที่ปรากฏให้เราเห็นเป็นประจำทุกวันเป็นคลื่นที่เกิดจากลมเป็นส่วนใหญ่ (wind waves) ส่วนคลื่นที่เกิดจากสาเหตุอื่นเรามักจะมองไม่เห็นเพราะเกิดขึ้นในระหว่างชั้นของน้ำ (internal waves) หรือเป็นคลื่นที่มียอดคลื่นเตี้ยมาก และมีคาบของคลื่นยาวนานมาก (tides, tsunami) ในที่นี้จะได้กล่าวถึงคลื่นที่เกิดจากลมเป็นหลัก น้ำขึ้นน้ำลงเป็นคลื่นชนิดหนึ่งมีความยาวคลื่นมากที่สุดประมาณ 20,000 กม. (ประมาณครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงโลก) และมีคาบของคลื่นนานมากประมาณ 12 วัน 25 นาที (ประมาณครึ่งหนึ่งของเวลาที่ดวงจันทร์โคจรรอบโลก) เนื่องจากเกิดจากแรงดึงดูดของดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ ซึ่งมีต่อเนื่องกันตลอดเวลา คลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงจึงไม่อิสระในการเคลื่อนที่ต้องคล้อยตามแรงดึงดูดหรือคล้อยตามระบบการหมุนของโลก-ดวงอาทิตย์-ดวงจันทร์ เรียกคลื่นพวกนี้ว่า "คลื่นในควบคุม" (forced waves) ส่วนคลื่นที่เกิดจากแรงระเบิด แผ่นดินไหว แผ่นดินใต้น้ำถล่ม และภูเขาไฟระเบิดเป็นคลื่นอิสระ (free wave) หมายความว่า ครั้งหนึ่งเมื่อมีแรงมากระทำให้เกิดแล้วคลื่นจะเคลื่อนที่ไปได้ตลอด ไม่ต้องมีแรงมากระทำหรือคอยผลักดันอีก คลื่นพวกนี้มีความเร็วสูงมาก และยอดคลื่นเตี้ยมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นแรงดึงดูดของโลกจึงไม่ค่อยมีอำนาจในการฉุดลากหรือทำลาย ส่วนแรงฉุดที่เกิดจากแรงตึงผิว ก็มีค่า

น้อยมากเมื่อเทียบกับความเร็วคลื่น คลื่นเหล่านี้เป็นคลื่นขนาดใหญ่ (คาบของคลื่นมากกว่า 5 นาที) โดยธรรมชาติถือว่าเป็นการถ่ายทอด (propagate) ทั้งพลังงานและมวลน้ำ จึงมีแรงเสมือนเข้ามาเกี่ยวข้อง ส่วนคลื่นที่เกิดจากลมอาจเป็นทั้งคลื่นอิสระและคลื่นในควบคุม

2.7 ส่วนประกอบของคลื่น

คลื่นในอุดมคติและส่วนประกอบอื่น ๆ ในรูปที่ 2.7 มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนต่างๆ ของคลื่น ที่มา[4]

(1) ส่วนที่สูงที่สุดของคลื่น (crest) ต่อไปนี้เรียกว่า ยอดคลื่น

(2) ส่วนที่ต่ำที่สุดของคลื่น (trough) ต่อไปนี้เรียกว่า ท้องคลื่น

(3) ระยะทางในแนวดิ่งระหว่างยอดคลื่นกับท้องคลื่น เป็นความสูงของคลื่น (wave height = H)

(4) ระยะทางในแนวราบระหว่างยอดคลื่นยอดแรกกับยอดถัดไปหรือระหว่างท้องคลื่นท้องแรกกับท้องถัดไป เป็นความยาวคลื่น (wave length = L)

(5) เวลาที่ยอดคลื่น 2 ยอดหรือท้องคลื่น 2 ท้องหรือความยาวคลื่นผ่านจุดที่กำหนดให้เรียกว่า คาบของคลื่น (wave period = T)

(6) จากคำจำกัดความในข้อ (4) เราสามารถหาความเร็วคลื่น (wave speed = C) ได้

$$C=\frac{L}{T} \tag{2.1}$$

เมื่อ C = ความเร็วคลื่น เมตร/วินาที

L = ความยาวคลื่น เมตร

T = คาบของคลื่นเป็นวินาที

(8) ความถี่ของคลื่น (wave frequency = ω)

$$\omega=\frac{2\pi}{T} \tag{2.2}$$

2.8 ขนาดของคลื่น

คลื่นที่ปรากฏในธรรมชาติมีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันแล้วแต่มหาสมุทร เขตทางภูมิศาสตร์และฤดูกาล โดยหลักเกณฑ์เบื้องต้นขนาดของคลื่นขึ้นอยู่กับ

1. ความเร็วลม (Wind speed = W)
2. ระยะทางที่ลมพัดผ่าน (Fetch = F)
3. ช่วงเวลาที่ลมพัดต่อเนื่องกันในทิศทางคงที่ (Duration = D)

ในช่วงการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลอากาศเหนือแผ่นดินและแผ่นน้ำมีลักษณะแตกต่างกันมักทำให้เกิดลมหรือพายุที่มีความเร็วสูง ทะเลจะมีคลื่นขนาดใหญ่กว่าในเวลาปกติ คลื่นในทะเลเปิด (open sea) ที่ซึ่งมีระยะทางที่ลมพัดผ่านยาว (Fetch) ย่อมมีขนาดใหญ่กว่าคลื่นในทะเลปิด (lakes, bays และ marginal sea)

2.9 ชนิดและการเกิดของคลื่นเนื่องมาจากลม

ลมเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดคลื่นขึ้นในน้ำระดับผิวหน้าน้ำทะเลซึ่งมีความหนืด (viscosity) เมื่อถูกลมพัดผ่านน้ำผิวหน้า "จะยืด" ออกตามแรงลม แล้วจะ "หด" ตัวกลับ เพื่อรักษาสมดุลด้วยแรงตึงผิว (surface tension) ทั้งนี้น้ำก็มีลักษณะคล้ายวัตถุยืดหยุ่นอ่อน ๆ (elastic membrane) โดยการยืดและหดเนื่องจากแรงดังกล่าว ทำให้น้ำผิวหน้าโค้งขึ้นและโค้งลง (undulate) เกิดคลื่นขนาดเล็กขึ้นในที่สุด (ripples or wavelets) คลื่นขนาดเล็ก ๆ เหล่านี้จะปรากฏให้เห็นเมื่อมีลมพัดเท่านั้น ถ้าลมหยุดพัดคลื่นเหล่านี้จะสลายตัวเกือบทันที พูดอีกแง่หนึ่งว่าเป็นคลื่นที่มีอายุสั้น ต่อเมื่อมีลมพัดต่อเนื่องกันเป็นเวลานานพอสมควร คลื่นเหล่านี้จะค่อย ๆ ขยายโตขึ้น เพราะผิวหน้าน้ำที่ "ขรุขระ" เนื่องจากมีคลื่นขนาดเล็ก ๆทำให้เกิดพื้นที่ผิวในส่วนที่จะรับลมเพิ่มขึ้น (ส่วนนูน) คลื่นที่ขยายโตขึ้นมีชื่อใหม่ว่า Sea หมายถึงคลื่นที่ยังอยู่ในบริเวณที่มีลมพัดมีความยาว คลื่นสั้นและยอดคลื่นผสม ผิวน้ำในตอนนี้สับสนวุ่นวายและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ในระยะไกลเราจึงมักเห็นผิวน้ำ มีลักษณะเป็นหลุม เนิน เหลี่ยม คล้าย "เพชร" เหตุที่ปรากฏเช่นนี้เพราะว่า โดยธรรมชาติ ลมพัดด้วยความเร็วและทิศทางที่ไม่แน่นอนในช่วงเวลาหนึ่งความเร็วและทิศทางอาจเปลี่ยนแปลงหลายตลบ นอกจากนี้ในบางครั้งลมยังเคลื่อนที่ในลักษณะหมุน เวียนซ้าย เวียนขวา แล้วแต่กรณี คลื่นขนาดเล็กอาจซ้อนอยู่ในคลื่นขนาดใหญ่กว่า คลื่นที่มีความเร็วกว่าเคลื่อนที่ทับคลื่นที่ช้ากว่า คลื่นชนกันสลายตัวบางส่วน ทำให้ส่วนที่เหลือมีทรวดทรงไม่สมประกอบ ฯลฯ

ทะเลซึ่งมีหลายขนาดและมีความเร็วต่างกัน จะค่อย ๆ ปรากฏทรวดทรงให้เห็นชัดขึ้น กล่าวคือพวกที่มีความเร็วมากว่าจะวิ่งล้ำหน้าพวกที่เคลื่อนที่ช้ากว่านับว่าเป็นการแยกคลื่นหลายชนิดซึ่งเกิดพร้อมกันออกจากกันตามธรรมชาติคลื่นที่แยกออกจากกันแล้วจะมียอดคลื่น (crest) และ

ท้องคลื่น (trough) ดีขึ้นกว่าเดิม เรียกคลื่นในตอนนี้ว่า คลื่นใต้น้ำ (swell) หมายถึงคลื่นที่เกิดขึ้นนอกเขตลมพัด ยอดคลื่นเตี้ยมนกลมกว่าเดิมเล็กน้อยโดยธรรมชาติของคลื่น คลื่นที่ค่อย ๆโตขึ้นในขณะที่มีลมพัดจะได้รับพลังงานจากลมเพิ่มขึ้น คลื่นจึงค่อย ๆมีความเร็วเพิ่มขึ้น ในตอนแรกคลื่นเคลื่อนที่ช้ากว่าลม ต่อมาจะเท่ากับลมและในที่สุดจะเร็วกว่าลม ด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเคลื่อนที่ออกนอกเขตที่มีลมพัดได้ ในธรรมชาติจึงเห็นคลื่นเคลื่อนที่นำหน้าลม หรือเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งได้อย่างอิสระโดยไม่มีลมพัดเลย จึงอาจเรียกคลื่นใต้น้ำ (swell)) ว่าเป็น free waves ในบริเวณที่มี คลื่นใต้น้ำ (swell) ผิวน้ำทะเลจะลดความสับสนและขรุขระมากเริ่มมองเห็นคลื่นเคลื่อนที่อย่างเป็นระบบ คลื่นหลายขนาดและด้วยความเร็วต่าง ๆกันจะเคลื่อนที่ตามหลังกันเป็นขบวน (wave train) หรือเป็นกลุ่มมีลักษณะเฉพาะ (system) คลื่นที่นำหน้าอาจรวมตัวเมื่อเข้าเขตที่มีความตื้น เช่น เกาะใต้น้ำสันทรายใต้น้ำ ฯลฯ ในขณะที่คลื่นอายุน้อยจากแถวหลังจะวิ่งติดตามคลื่นที่หายไป โดยลักษณะนี้เราจะเห็นคลื่นตลอดเวลา

ในขณะที่คลื่นใต้น้ำ (Swell) เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งจะมีแรงพวกหนึ่งคอยทำให้คลื่นเปลี่ยนแปลง ความสูงของคลื่นจะค่อย ๆ ลดต่ำลง ยอดคลื่นจะมนกลมขึ้นเรื่อย ๆ คลื่นที่มีอายุสั้น (ใกล้เขตลมพัด)ยอดคลื่นจะชันกว่าคลื่นที่มีอายุมาก (ห่างเขตลมพัด) แรงที่ว่าได้แก่ แรงตึงผิว (surface tension) และแรงดึงดูดของโลก (gravity) โดยหลักการแรงทั้งสองนี้จะพยายามทำให้ผิวหน้าน้ำคืนสู่สภาพปกติ (ราบ) คลื่นขนาดเล็กที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 1.7 ซม. (โดยประมาณ) หรือเป็นคลื่นที่มีคาบนานตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 4 นาที แรงดึงดูดของโลกจะเข้ามาเกี่ยวข้องและมีอำนาจเหนือแรงตึงผิว จึงอาจเรียกคลื่นใต้น้ำ (swell) ว่าเป็น gravity waves ก็ย่อมได้ คลื่นที่เราเห็นในมหาสมุทรส่วนใหญ่เป็นคลื่นแบบนี้

ยังมีเหตุผลอีกประการหนึ่งที่ทำให้ คลื่นใต้น้ำ (swell) มียอดคลื่นมนกลมขึ้น เมื่อคลื่นเปลี่ยนสภาพจาก Sea เป็น คลื่นใต้น้ำ (swell) หมายความว่า ผิวหน้าน้ำเปลี่ยนจากความสับสนขรุขระมาก ๆ เป็นความเรียบและมีระบบ คลื่นที่เคลื่อนที่อยู่ในบริเวณหลัง จะแผ่กระจายออกเนื่องจากมีเนื้อที่กว้างขึ้น ความยาวคลื่นขยายออก ความสูงลดลง เปรียบเหมือนวัตถุยืดหยุ่นถูกผลักดันให้เคลื่อนผ่านช่องแคบ ในช่องนี้วัตถุยืดหยุ่นจะต้องทำตัวลีบโดยการบีบตัวสูงขึ้น ต่อเมื่อผ่านช่องแคบไปแล้วจะพองออกอย่างเดิม ความสูงจึงลดลงตามที่ว่างในสภาพน้ำที่มีความลึกเพียงพอและไม่มีสิ่งกีดขวางใด ๆ คลื่นเหล่านี้จะเคลื่อนที่ด้วย ความเร็วค่อนข้างมากเรียกว่า คลื่นน้ำลึก (deep-water waves)

คลื่นในกลุ่มของคลื่นใต้น้ำ (swell) มีความยาวคลื่นมากน้อยต่างกันคลื่นที่ยาวกว่าจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า นับเป็นการจัดขบวนของคลื่นตามความเร็ว ขบวนของคลื่นเหล่านี้สามารถเดินทางได้ไกลมาก สามารถวิ่งข้ามมหาสมุทรหรือวิ่งจากโลกใต้สู่ซีกโลกเหนือได้อย่างสบาย

2.10 การที่คลื่นใต้น้ำ (swell) เคลื่อนที่ได้ไกลมากก็เพราะ

1. มีความเร็วพอตัวดังกล่าวแล้ว

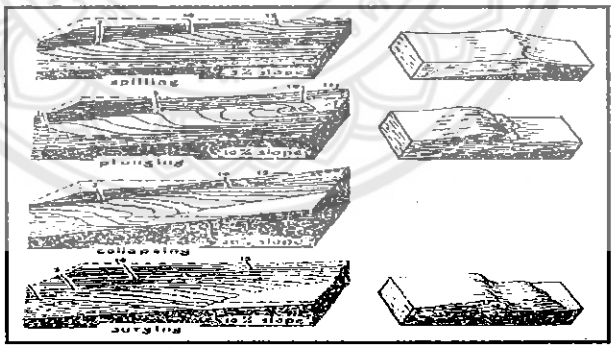
2. ยอดคลื่นเตี้ยและมนกลมทรงตัวได้ดีไม่แตกกระจายง่ายระหว่างทาง

3. เนื่องจากข้อสองคลื่นจึงสูญเสียพลังงานน้อย

4. แรงตึงผิวซึ่งมีค่าน้อยมากและแรงดึงดูดของโลก มีอำนาจในการ "ฉุดลาก" น้อยเพราะคลื่นเตี้ย

คลื่นใต้น้ำ (swell) เคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง คือเปลี่ยนจากน้ำลึกเป็นบริเวณน้ำตื้นคลื่นใต้น้ำ (swell) จะถูกสิ่งกีดขวางรบกวน เคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีลมพัดใหม่ ในตำแหน่งใหม่นี้ คลื่นใต้น้ำ (swell) อาจถูกทำลายโดยลมที่พัดสวนทางโดยคลื่นด้วยกันที่เคลื่อนที่สวนทางหรือผ่านกลาง โดยพื้นท้องทะเล (เพราะตื้น) ณความลึกอันหนึ่ง คลื่นใต้น้ำ (swell) จะแตกกระจายกลายเป็นคลื่นชนิดใหญ่ที่เรียกว่า Surf ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของมวลน้ำพร้อม ๆ กับการเคลื่อนที่ของพลังงาน (translation) การเคลื่อนที่ของมวลน้ำในรูป Surf มีหลายลักษณะขึ้นอยู่กับรูปร่างของพื้นท้องทะเลที่รู้จักกันโดยทั่วไปได้แก่

1. Spilling type
2. Plunging type
3. Surging type
4. Collapsing type



รูปที่ 2.8 แสดง surf ในแบบต่างๆ
รูปเล็กทางขวามือเป็นรูปขยาย ให้เห็นภาพชัดเจนขึ้น ที่มา[4]

แบบแรกเป็นแบบที่พบเห็นทั่วไปสังเกตเห็นได้ไม่ยาก ด้านข้างทั้งสองของคลื่นเว้าจึงทำให้ยอดคลื่นสูงและมีปลายแหลม เป็นเหตุให้ปลายยอดเสียการทรงตัวได้ง่ายเมื่อมีลมพัดหรือสะดุดพื้นน้ำจะแตกกระจาย มองเห็นขาวเป็นแนวขนานฝั่งในแนวตื้นถัดจากแนวแรกที่กล่าวถึงและต่อ ๆ ไปจะมีการแตกกระจายของคลื่นเช่นกันโดยลักษณะนี้ยอดคลื่นจะค่อยๆ ลดต่ำลงจนสลายไป

แบบที่สองสังเกตเห็นได้ชัดเจนกว่าแบบแรกคือ ยอดคลื่นจะโค้งงอไปข้างหน้า ด้านหลังนูนในขณะที่ด้านหน้า (ด้านชิดฝั่ง) เว้าและส่วนที่เว้ามักเป็น "หลุม" อากาศ ดังนั้นเมื่อคลื่นแตกน้ำจะกระจายสู่อากาศพร้อม ๆ กัน เห็นฟองอากาศขาวเด่นชัด ทรวดทรงของยอดคลื่นอ้วนมีความชันน้อยมาก Surf แบบนี้เกิดจากคลื่นใต้น้ำ (swell) ที่ค่อนข้างมีความยาวคลื่นมาก วิ่งเข้าหาฝั่งที่มีความชันน้อยๆ แต่ไม่เรียบและไม่เป็นระเบียบ มีก้อนหินกระจายอยู่ทั่วไป

แบบที่สามถ้าเกิดขึ้นบนฝั่งที่ชันกว่านี้ คลื่นจะสูงขึ้นกว่าเดิมน้ำบนยอดคลื่นจะถูกผลักดันให้ไหลล้ำหน้าคือซัดสาดไปข้างหน้าแทนที่จะกระจายขึ้นสู่อากาศเบื้องบน เรียก Surf เหล่านี้ว่า *surging type*

แบบที่สี่ มักเกิดขึ้นบนฝั่งที่ชัน แตกต่างกับแบบอื่น ๆ ค่อนข้างชัดเจน กล่าวคือไม่มีการแตกกระจายของน้ำบนยอดคลื่น แต่จะมีการหักสะบั้นตรงกลาง ๆหรือส่วนล่างของยอดคลื่นคล้ายกับอาการทรุดพับฐานของอะไรบางอย่าง

2.11 การเปลี่ยนแปลงเมื่อคลื่นเข้าหาฝั่ง

ก่อนที่คลื่นในกลุ่ม คลื่นใต้น้ำ (swell) กลายเป็นคลื่นที่เรียกว่า surf ได้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ทิศทางและอื่น ๆมากมาย จุดที่การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเริ่มที่ความลึกของน้ำประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น คลื่น (คลื่นใต้น้ำ (swell)) ที่เคลื่อนที่เข้าหาฝั่งตั้งแต่จุดนี้จนถึงจุดที่คลื่นแตก (surf) เรียกว่า คลื่นน้ำตื้น (shallow-water waves) ฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ๆที่ว่า เป็นการเปลี่ยนแปลงของคลื่นน้ำลึกไปเป็นคลื่นน้ำตื้นนั่นเองในสภาพหลังพื้นท้องทะเลเข้ามามีบทบาทอย่างมาก คลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. ความเร็วคลื่นลดลง
2. ความยาวคลื่นลดลง
3. ความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น
4. คาบของคลื่นยังคงเดิม
5. คลื่นสะท้อนกลับ (reflection)
6. คลื่นเลี้ยวเบน (diffraction)
7. คลื่นเบน (refraction)

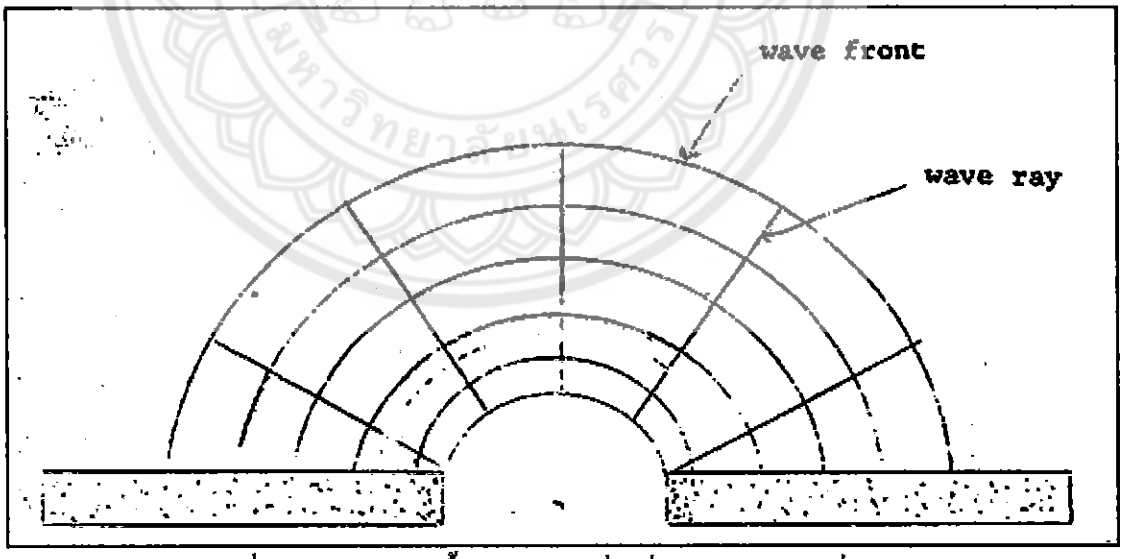
เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ถึงที่ตื้น มวลน้ำชั้นล่าง (ของคลื่น) จะเสียดสีกับพื้นท้องทะเล แรงเสียดทานจะทำให้คลื่นมีความเร็วลดลงเป็นลำดับตามความตื้น

รูปที่ 2.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของคลื่นเมื่อเคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง ที่มา[4]

2.12 การสะท้อนกลับของคลื่น (reflection)

อาจเกิดขึ้นเมื่อคลื่นที่วิ่งเข้าหาฝั่งปะทะกับพื้นท้องทะเลที่ชันมากเกือบตั้งตรง คลื่นจะสะท้อนกลับตามกฎ Snell's Law (กฎเดียวกับการสะท้อนของแสง)พลังงานจะถูกถ่ายเทให้คลื่นที่ตามหลังมา เราอาจทดลองการสะท้อนกลับของคลื่นได้ง่ายๆ โดยวิธีสร้างคลื่นขึ้นในอ่างน้ำ (อ่างแก้ว) เมื่อคลื่น (ขนาดเล็ก) วิ่งปะทะกับอ่างน้ำ คลื่นจะสะท้อนกลับ

สำหรับในธรรมชาติการสะท้อนกลับที่สมบูรณ์คงจะเกิดขึ้นได้ยากเพราะชายฝั่งที่ชันตั้งตรงไม่ค่อยจะมี สำหรับการเลี้ยวเบน (diffraction) เกิดขึ้นได้ยากเช่นเดียวกัน บริเวณใกล้ ๆฝั่งอาจมีสิ่งก่อสร้างที่มีลักษณะเปิดเป็นช่องไว้สำหรับเรือเข้าเทียบท่าเมื่อคลื่นผ่านช่องเหล่านี้ คลื่นจะเลี้ยวเบนออกเป็นรูปครึ่งวงกลม (เป็นคุณสมบัติของคลื่นแทบทุกชนิด) มีลักษณะคล้ายพัดดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่นเมื่อผ่านช่องแคบ ที่มา[4]

2.13 คลื่นน้ำลึก (Deep-water waves)

คลื่นน้ำลึกเกิดในพื้นท้องทะเลไม่มีอิทธิพลบางครั้งจึงมักเรียกว่าคลื่นสั้น (short wave) เพราะความยาวคลื่นน้อยมากเมื่อเทียบกับความลึกของน้ำ หรือคลื่นผิวหน้า (surface wave) จะเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ มีแต่แรงดึงดูดของโลกเท่านั้นที่เข้ามาเกี่ยวข้อง

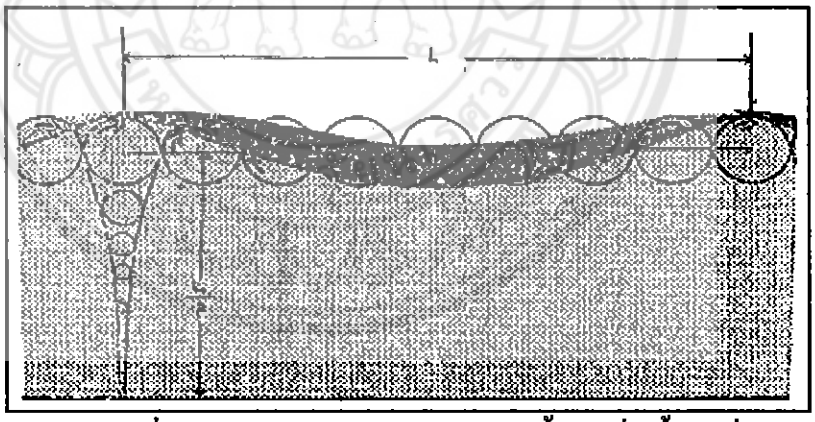
คลื่นน้ำลึกและหรือคลื่นน้ำตื้น (swell) เป็นการถ่ายทอดพลังงานจากจุดที่มีลมพัดไปยังจุดอื่น ๆ แล้วแต่ทิศทางลมมิใช่เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำในแนวราบ เราสามารถทดสอบความจริงข้อนี้ได้โดยวิธีง่ายๆ ในขณะที่เราทอดสมอเรืออยู่นอกฝั่งที่มีความลึกพอประมาณ ถ้าเราโยนไม้ก๊อกลงในน้ำ เราจะเห็นไม้ก๊อกเคลื่อนไหว ในลักษณะเดินหน้า-ขึ้นลง-ถอยหลังอย่างนี้ตลอดไปโดยที่ไม้ก๊อกมิได้เคลื่อนที่ไปไหนมากนักจังหวะการเคลื่อนไหวดังกล่าวเกิดจาก

(1) เมื่อยอดคลื่นมาถึงไม้ก๊อกจะเคลื่อนไปข้างหน้าพร้อมทั้งลอยสูงขึ้น

(2) เมื่อยอดคลื่นผ่านเกือบจะหมดแล้วไม้ก๊อกจะเคลื่อนลงตามเนิน (ความชัน) ของคลื่น

(3) เมื่อท้องคลื่นผ่านมาถึงไม้ก๊อกจะเคลื่อนถอยหลัง

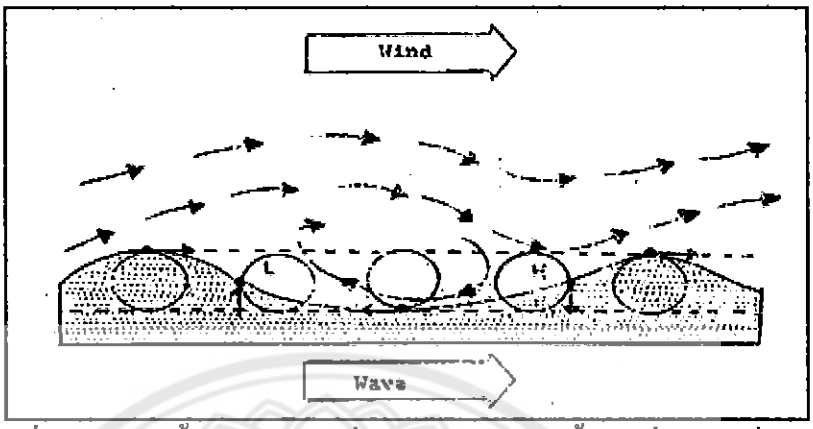
ทั้งนี้เพราะน้ำแต่ละอนุภาคที่ประกอบขึ้นเป็นตัวคลื่น หมุนเวียนเป็นวงในทิศเดียวกับลมหรือทิศเดียวกับคลื่น ส่วนน้ำในแนวดิ่งใต้ท้องคลื่นหมุนในทิศตรงข้าม ขนาดของวงจะลดลงตามความลึกอย่างรวดเร็วดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงการหมุนเวียนอนุภาคน้ำในคลื่นน้ำลึก ที่มา[4]

ดังนั้นที่ความลึกตั้งแต่ L/2 ลงไป มวลน้ำจะไม่มีการหมุนเวียน เป็นความลึกที่สงบบริเวณยอดคลื่น โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่ในแนวนอนในทิศทางเดียวกับคลื่นเมื่อลมปะทะกับยอดคลื่น (ลองนึกเทียบกับภูเขา) ลมจะแฉลบขึ้นข้างบนเล็กน้อยทำให้บริเวณหลังยอดคลื่น (หลังเขา) มีความกดดันอากาศต่ำเล็กน้อย ฉบริเวณนี้โมเลกุลของน้ำจะหมุนขึ้น (ลอยขึ้น) เมื่อลมพัดไปถึงยอดคลื่นถัดไปหน้ายอดคลื่น (หน้าเขา) ลมพัดต่ำ (หรือลง) เกิดความกดดันสูงบริเวณหน้ายอดคลื่นโมเลกุลของน้ำ ณ บริเวณนี้จึงหมุนลง (จมลง)ความดันอากาศที่แตกต่างกันระหว่างสองบริเวณดังกล่าว ทำ

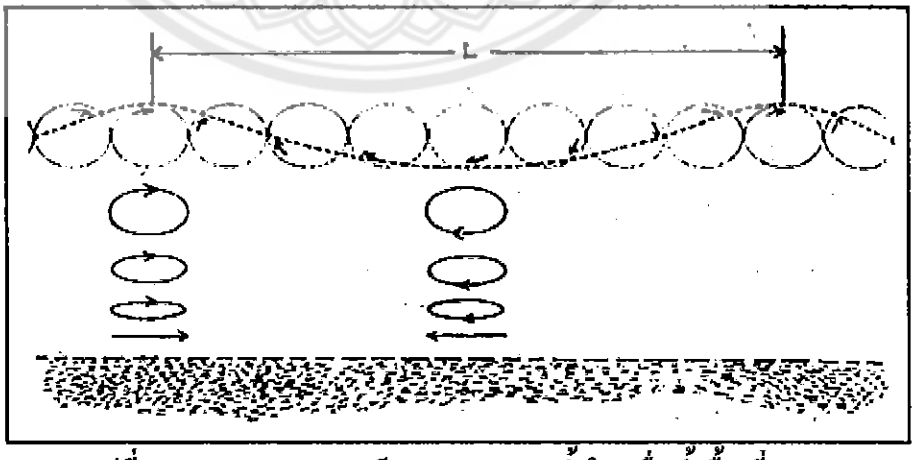
ให้เกิดลมหมุนขนาดเล็ก (eddy) มีทิศทางตรงกันกับทิศทางลมลมนี้จะผลักดันโมเลกุลของน้ำให้เคลื่อนที่ไปด้วยคือจากความดันอากาศสูงสู่ความดันอากาศต่ำ



รูปที่ 2.12 แสดงขั้นตอนของลมที่ทำให้โมเลกุลของน้ำในคลื่นหมุน ที่มา[4]

2.14 คลื่นน้ำตื้น (shallow-water wave)

บางครั้งเรียกว่า คลื่นยาว (Long wave) เพราะความยาวคลื่นมากเมื่อเทียบกับความลึกบริเวณที่ความลึกของน้ำน้อยกว่า L/20 พื้นทะเลจะเข้ามาเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของคลื่นมาก อนุภาคของน้ำที่ประกอบขึ้นเป็นตัวคลื่น จะหมุนเป็นวงรีและความเป็นวงรีจะเพิ่มขึ้นตามความลึกจนกระทั่งแบนราบเมื่อใกล้พื้นท้องทะเลรูปที่ 10 การหมุนเป็นวงรีของอนุภาคน้ำเท่ากับเป็นการทำให้การเคลื่อนที่ในแนวราบ (ไป-มา) ได้ระยะทางมากกว่าการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง (ขึ้น-ลง) บริเวณใกล้ ๆพื้นมวลน้ำจึงเคลื่อนที่ไป-มา ในแนวราบแต่เพียงอย่างเดียว

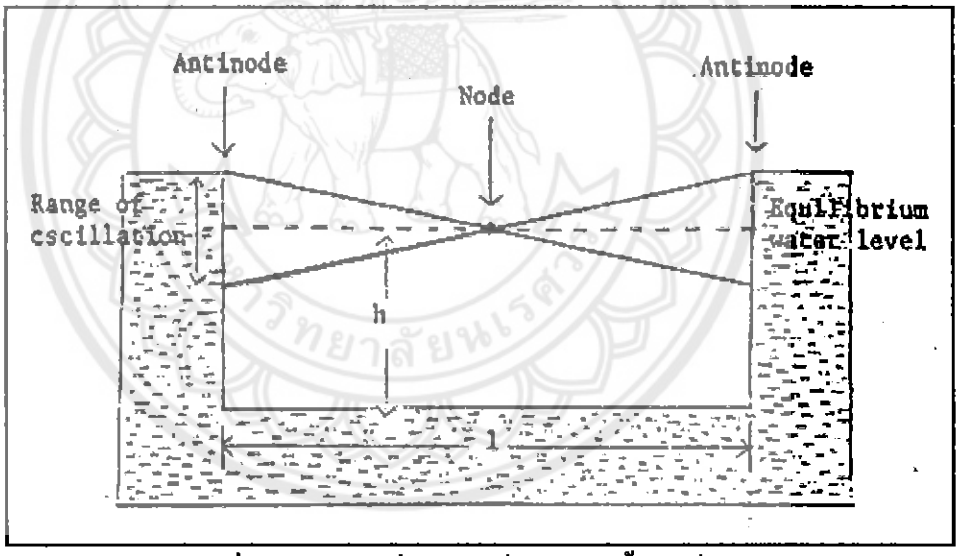


รูปที่ 2.13 แสดงการหมุนเวียนของอนุภาคน้ำในคลื่นน้ำตื้น ที่มา[4]

2.15 คลื่นอยู่กับที่ (Standing waves)

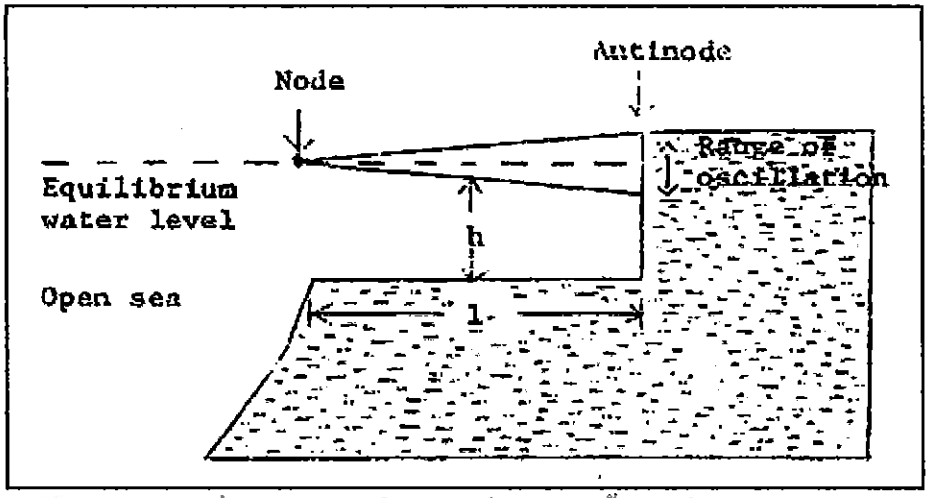
เป็นคลื่นที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำปิด (enclosed water) หรือเกือบปิด (semi-enclosed water) ได้แก่ ทะเลสาบและอ่าวแคบๆบางครั้ง เรียกว่า stationary waves หรือ seiches เมื่อถูกรบกวน น้ำในบริเวณดังกล่าวจะเคลื่อนไหวทั้งในแนวตั้ง (ขึ้น-ลง) และในแนวนอน (ไป-กลับ)การเคลื่อนที่ขึ้น-ลงและเคลื่อนที่ไป-กลับของน้ำของแต่ละจุดมีลักษณะตรงข้ามการขึ้น-ลงจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับเมื่อเข้าใกล้ฝั่งจนกระทั่งถึงขอบอ่าวที่ซึ่งน้ำขึ้น-ลงได้มากที่สุดและไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวนอนเลย (antinodes)การเคลื่อนที่ไป-กลับจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเข้าหาศูนย์กลาง จนกระทั่งถึงจุด ๆหนึ่งที่การเคลื่อนที่ไป-กลับมากที่สุด และไม่มีการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงเลย (nodes)

เนื่องจากอ่าวหรือทะเลสาบมีความลึกน้อยมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นที่เกิดขึ้นจึงจัดไว้ในประเภทคลื่นยาว (Long waves) หรือคลื่นน้ำตื้น ความลึกของน้ำน้อยกว่า L/20 สำหรับทะเลสาบที่ไม่มีทางติดต่อกับน้ำภายนอกการเคลื่อนไหวของน้ำอนุโลมว่ามีลักษณะคล้ายการเคลื่อนไหวของน้ำในภาชนะสี่เหลี่ยม ความยาวคลื่นจึงมีค่าเป็นสองเท่าของความยาวทะเลสาบดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงคลื่นอยู่กับที่ในแหล่งน้ำปิด ที่มา[4]

สำหรับอ่าวที่มีลักษณะเปิดมากมีการถ่ายเทระหว่างภายในและภายนอก (มีทั้งไหลเข้าและไหลออก)บริเวณปากอ่าวถือว่าเป็นบริเวณที่น้ำขึ้นลงได้น้อยที่สุด (node) บริเวณที่น้ำขึ้นลงได้มากที่สุด (antinode) จึงมีด้านเดียวคือด้านในในกรณีนี้ความยาวของอ่าวจะมีค่าหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.15 แสดงคลื่นอยู่กับที่ในแหล่งน้ำเปิด ที่มา[4]

คลื่นที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้า คลื่นอยู่กับที่มีการเปลี่ยนแปลงคล้อยตามรูปร่างของอ่าวหรือทะเลสาบ มีการสะท้อนกลับเมื่อขอบอ่าวชันมาก ส่วนหนึ่งอาจสลายตัวตามความลาดของพื้นอ่าว และก็จะเบน (refract) เมื่ออยู่ในเขตน้ำลึกน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ในทะเลสาบขนาดใหญ่เช่น Great lakes แรงเสมือนจะเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้คลื่นไม่เพียงแต่คลื่นที่ขึ้น-ลงเท่านั้นแต่จะหมุน (rotary) ด้วย

2.16 คลื่นใต้น้ำ (tsunami waves)

คลื่นซึนามิเป็นภาษาญี่ปุ่น (tsunami) มีความหมายว่าคลื่นขนาดใหญ่ (big waves) เขียนเป็นภาษาอังกฤษโดยคนอเมริกันว่า tsunami หรือ tsunamis ก่อนปี 1950 โดยประมาณ นักสมุทรศาสตร์เข้าใจว่า ซึนามิเป็นคลื่นที่เกี่ยวข้องกับน้ำขึ้น-น้ำลงเป็นคลื่นที่เกิดจากแรงดึงดูดของดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ จึงเป็นคลื่นอยู่ในควบคุม (forced wave) ในรายละเอียดคลื่นทั้งสองชนิดนี้จึงแตกต่างกันมากโดยหลักเกณฑ์กว้างๆ เราถือว่าคลื่นที่มีคาบนานกว่า 4 วินาที เป็นคลื่นน้ำตื้นดังนั้นคลื่นซึนามิและคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงต่างก็เป็นคลื่นน้ำตื้น

มีการศึกษาคลื่นซึนามิกันอย่างจริงจังตั้งแต่ปี 1964 เป็นต้นมา เครื่องมือทันสมัย (SSWWS = Seismic Sea – Wave Warning System) ที่ติดตั้งไว้ตามจุดต่างๆทำให้เราทราบว่าคลื่นซึนามิมีความเร็วโดยเฉลี่ยประมาณ 750 กม./ชม. ความยาวคลื่นประมาณ 150 กม. และคาบของคลื่นนานถึง 15 นาที ในขณะที่ความสูงของคลื่นวัดได้ 30-40 ซม. เท่านั้น ความสูงของคลื่นขนาดนี้ไม่ทำให้เรือที่กำลังแล่นอยู่นอกฝั่งมีความรู้สึกผิดปกติ ด้วยเหตุนี้เราจึงอาจเรียกคลื่นซึนามิว่า "คลื่นใต้น้ำ" เนื่องจากมีความเร็วสูงเมื่อปะทะฝั่ง คลื่นซึนามิจะมียอดคลื่นสูงหลายฟุต (20 ถึง 135 ฟุต) สร้างความเสียหายให้กับฝั่ง ทรัพย์สิน และชีวิตมากมาย ประเทศญี่ปุ่นและเกาะฮาวายได้รับเคราะห์กรรม

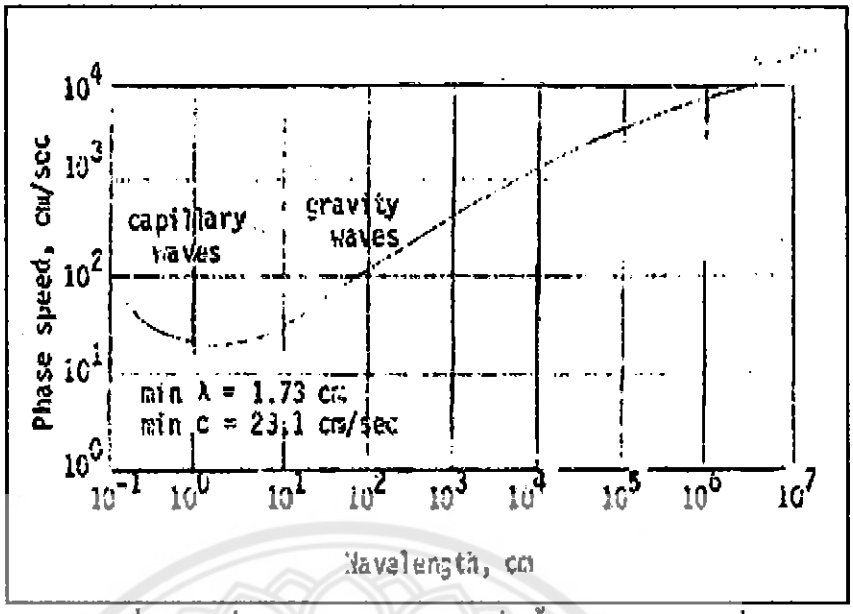
จากคลื่นซึนามิมากที่สุด เช่น ในปี 1896 และ 1933 คนญี่ปุ่นเสียชีวิตถึง 27,000 และ 1,000 คน ตามลำดับ

2.17 คลื่นชนิดอื่น (Other types of waves)

มีคลื่นอีกหลายชนิดที่ยังมิได้กล่าวถึง เช่น "คลื่นขนาดจิ๋ว" (capillary waves) และ "คลื่นระหว่างชั้น (Internal waves) คลื่นชนิดแรกเป็นคลื่นขนาดเล็กมาก (เล็กกว่า ripples) ความยาวคลื่นน้อยกว่า 1.7 ซม. ยอดคลื่นมนกลม ท้องคลื่นเป็นรูป V-shaped มีแต่แรงตึงผิว (surface tension) เข้ามาเกี่ยวข้อง แรงนี้พยายามทำให้ผิวน้ำแบนราบสู้กับแรงผลักของลม (wind stress) ในบางครั้งจึงอาจเรียกว่า surface tension waves ต่างกับคลื่นอื่น ๆที่กล่าวมาแล้ว ทั้งนี้

1. ความยาวคลื่นยิ่งสั้น ยิ่งเคลื่อนที่ได้เร็ว (รูปที่ 2.16)
2. ความเร็วกลุ่ม (group velocity) เร็วกว่าความเร็วเฟส (phase velocity)
3. เนื่องจากข้อ 2 เกิดคลื่นใหม่อยู่ตลอดเวลา คลื่นเก่าสลายตัว

เชื่อว่าคลื่นชนิดนี้มีบทบาทสำคัญในการก่อให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่กว่านี้ (ความยาวคลื่นยาวกว่า 1.77 ซม.)ดังได้กล่าวมาแล้ว ในบางโอกาสและบางท้องที่เรามองเห็นผิวน้ำเรียบมากผิดกว่าตำแหน่งอื่นชัดเจน ที่เรียกว่า surface slicks หมายความว่าตำแหน่งนั้น ไม่มี capillary waves นั่นเอง เข้าใจว่าเป็นเพราะมีลมไม่มากพอที่จะทำให้เกิด (ช่องหรือบริเวณปลอดลม)หรืออาจเป็นเพราะบริเวณนั้นมีน้ำมันหรือวัสดุอื่นที่ลดความตึงผิวของน้ำนั่นคือไม่มีแรงตึงผิวเพียงพอที่จะทำให้เกิดคลื่นบริเวณชายฝั่งหรือแม้แต่นอกฝั่งออกไปไกลๆ เรามักเห็นน้ำมันหรือวัตถุเบาๆลอยเป็นแนวเช่นกัน (oil slick) แนวเหล่านี้เป็นแนวน้ำจม (convergence) เกิดจากกระแสน้ำไหลมาปะทะกันแล้วม้วนตัวลง



รูปที่ 2.16 คลื่นขนาดใหญ่ความเร็วเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่น ในขณะที่คลื่นขนาดจิ๋วความเร็วคลื่นเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นลดลง ที่มา[4]

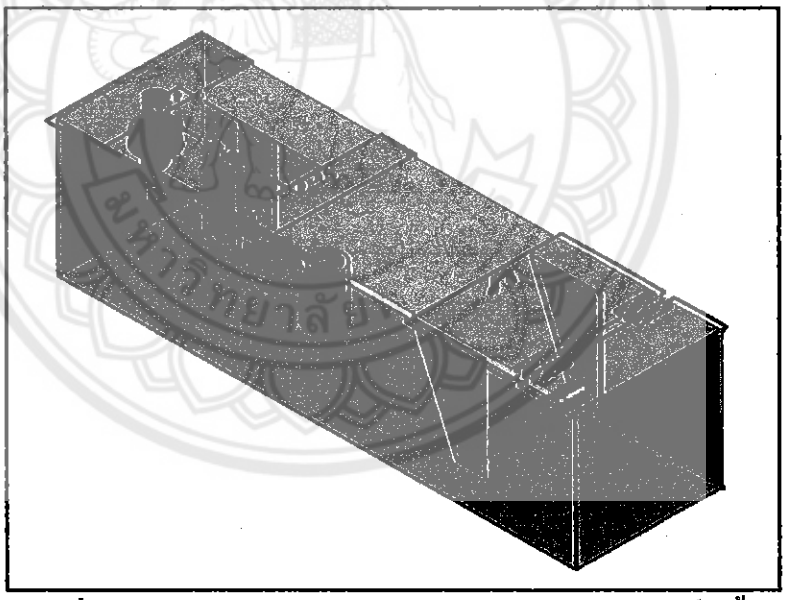
โดยธรรมชาติน้ำในมหาสมุทรแบ่งเป็นชั้นๆ ณ ความลึกอันหนึ่งน้ำอาจมีสองชั้นหรือมากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่น้ำนิ่ง (ไม่มี convection) ในระหว่างชั้นน้ำเหล่านี้ จะมีคลื่นที่เรียกว่า Internal waves คลื่นนี้เคลื่อนที่ (propagate) คล้ายกับคลื่นผิวหน้าแต่มีความยาวคลื่นมากกว่าคาบของคลื่นนานกว่า อาจเป็นชั่วโมงแทนที่จะนับเป็นวินาทีเหมือนอย่างของคลื่นผิวน้ำ ความเร็วคลื่นก็ช้ากว่ามาก ประมาณ 2-3 % ของความเร็วคลื่นผิวหน้าเท่านั้น

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

ในการออกแบบและสร้างชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำจำเป็นต้องทราบถึงลักษณะการทำงานของชุดเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า เงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและสร้างต่อไป โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ลักษณะและการทำงานของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ

หลักการทำงานของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำมีลักษณะ ดังรูปที่ 3.1 เริ่มจากยกชุดกำเนิดคลื่นน้ำ ขึ้น-ลง ทำให้น้ำเคลื่อนที่เป็นลูกคลื่นน้ำ เข้ากระทบกับทุ้นลอยน้ำที่ติดอยู่กับคาน จะทำให้คานโยกและอีกด้านหนึ่งของคานก็จะมีแม่เหล็กติดไว้ ซึ่งแม่เหล็กจะอยู่ในบริเวณช่องกลางของขดลวดที่ยึดติดไว้ ซึ่งขดลวดจะต่ออยู่กับมัลติมิเตอร์ดิจิตอลเพื่อดูค่าไฟที่ได้

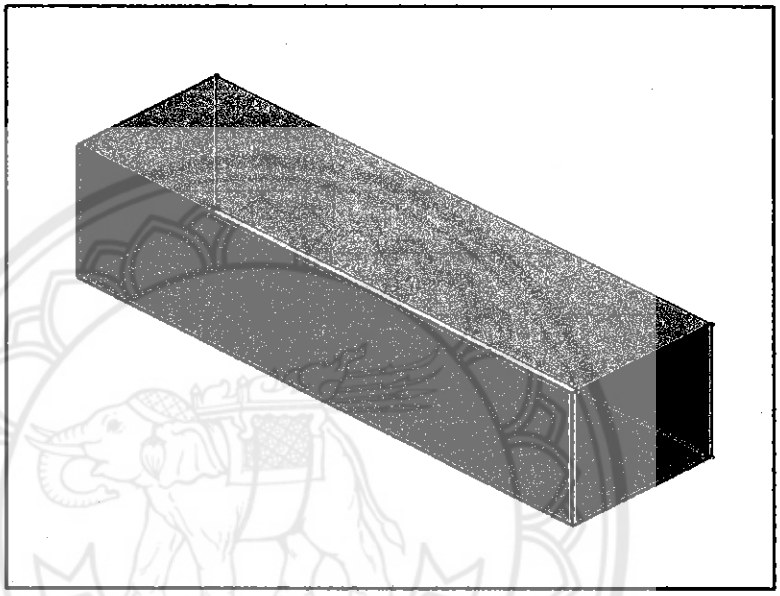


รูปที่ 3.1 แบบชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ

3.2 การออกแบบชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ

3.2.1 การออกแบบตู้กระจก

สำหรับการออกแบบตู้กระจกออกแบบให้มีความหนาของกระจก 6 mm ออกแบบให้มีขนาด 150 × 42 × 40 cm ดังรูปที่ 3.2



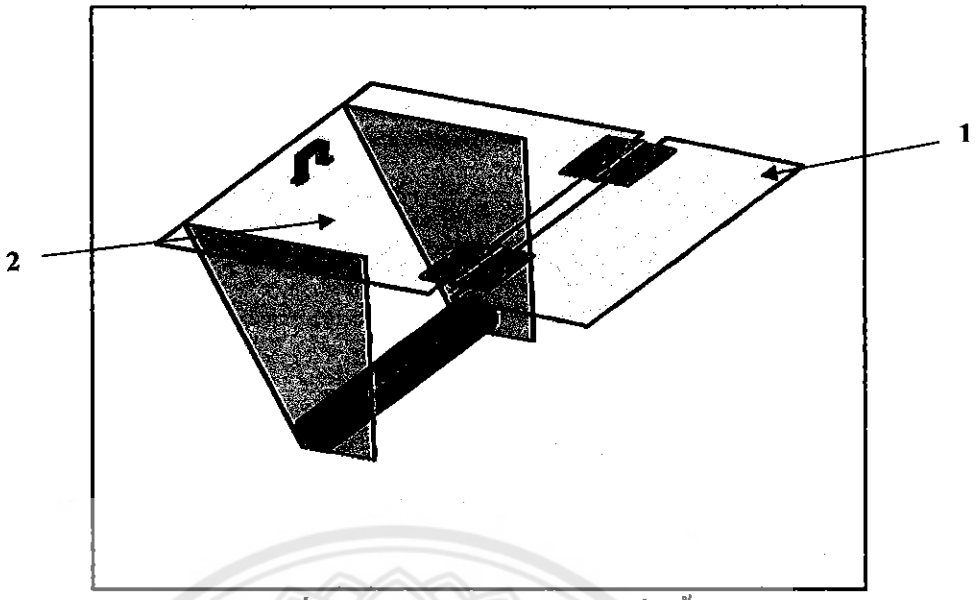
รูปที่ 3.2 การออกแบบตู้กระจก

3.2.2 การออกแบบชุดกำเนิดคลื่นน้ำ

สำหรับการออกแบบชุดกำเนิดคลื่นน้ำ เลือกใช้แผ่นอะคริลิกหนา 3 mmแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

3.2.2.1 ส่วนที่ใช้ยึดติดกับกระจกออกแบบให้มีขนาด 45 × 15 cm

3.2.2.2 ส่วนที่ติดกับตัวที่ทำให้เกิดคลื่นน้ำออกแบบให้มีขนาด 45 × 30 cm และแผ่นสี่เหลี่ยมคางหมู ความยาว 30 cm ความกว้าง 20 × 8 cm จำนวน 2 แผ่น และท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ความยาว 33 cm นำ 2 ส่วนนี้มาประกอบกันดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การออกแบบชุดกำเนิดคลื่นน้ำ

3.2.3 การออกแบบชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้า

สำหรับการออกแบบของชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้า เลือกใช้แผ่นอะคริลิกหนา 3mm แบ่งออกเป็น 3 ส่วน

ก. ส่วนที่ใช้วางกับกระจกและคาน ออกแบบแผ่นอะคริลิก

ก.1 ขนาด45 × 15 cm จำนวน 1 แผ่น

ก.2 ขนาด 45 × 10 cm จำนวน 2 แผ่น

ก.3 ขนาด22 × 10 cm จำนวน 2 แผ่น

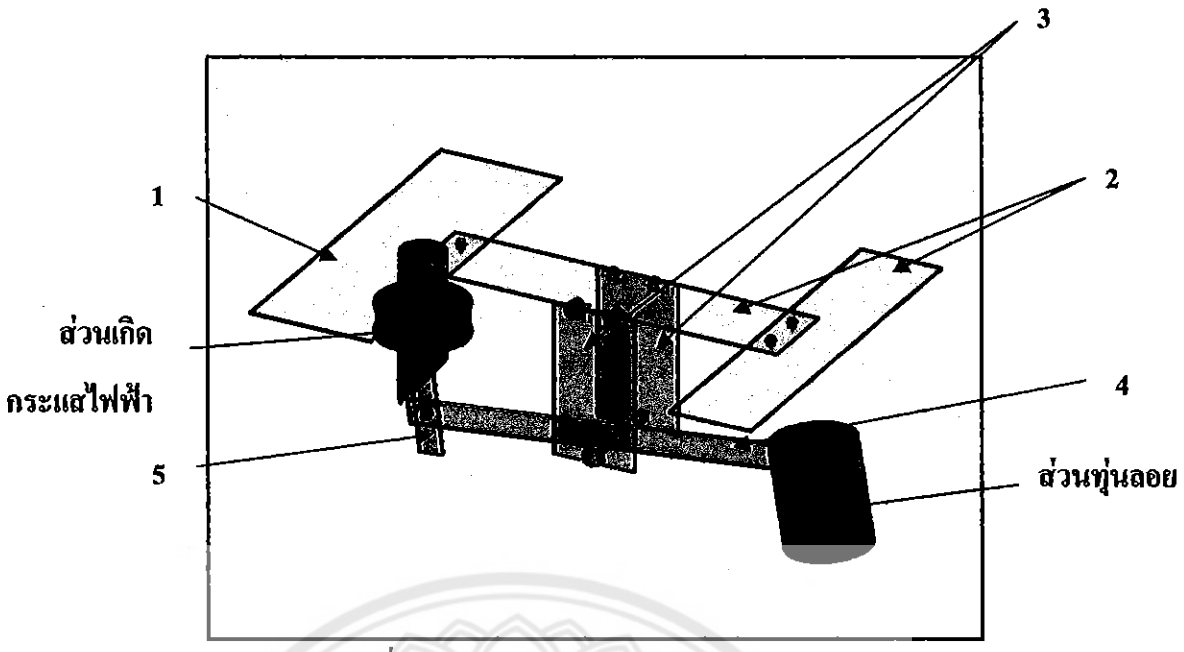
ก.4 ขนาด56 × 3.5 cm จำนวน 1 แผ่น

ก.5 ขนาด20 × 3 cm จำนวน 1 แผ่น

ข. ส่วนทุ่นลอย ออกแบบกระป๋องรูปทรงกระบอกมาเจาะรูแล้วนำไปติดกับแผ่นอะคริลิกที่เตรียมไว้ในส่วน 1

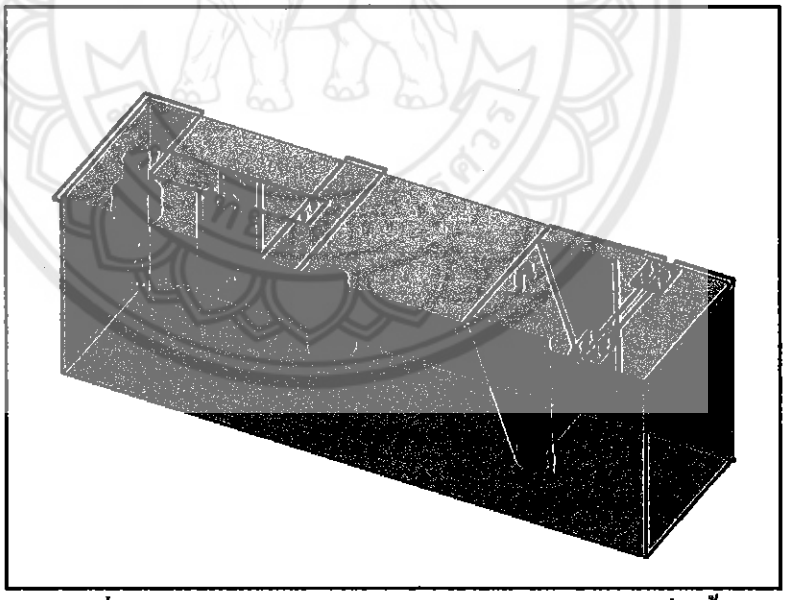
ค. ส่วนที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าออกแบบท่อ PVC ยึดติดกับขดลวดที่พันไว้แล้วนำไปยึดติดกับแผ่นอะคริลิกส่วนที่วางกับกระจก และนำแม่เหล็กไปติดกับส่วน 1

นำ 3 ส่วนมารวมกันได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การออกแบบชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้า

นำส่วนตู้กระจก, ชุดกำเนิดคลื่นน้ำและ ชุดกำเนิดไฟฟ้า ที่ออกแบบไว้มารวมกันเป็นชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำน้ำดังรูปที่ 3.5

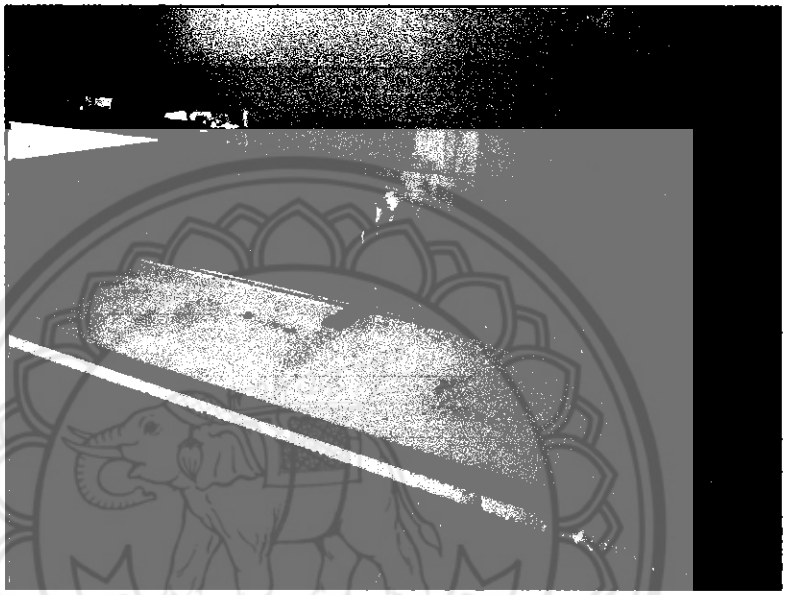


รูปที่ 3.5 ชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ

3.3 การสร้างชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ

3.3.1 การสร้างตู้กระจก

สำหรับโครงสร้างของตู้กระจกเลือกใช้กระจกหนา 6 mm สร้างให้มีขนาด 150 × 42 × 40 cm ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แบบตู้กระจก

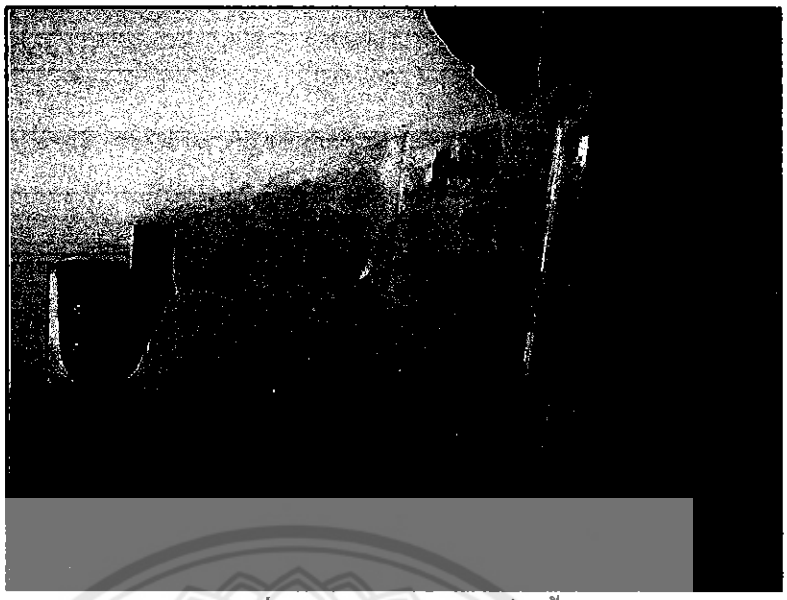
3.3.2 การสร้างชุดกำเนิดคลื่นน้ำ

สำหรับโครงสร้างของชุดกำเนิดคลื่นน้ำเลือกใช้แผ่นอะคริลิกหนา 3 mm แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

(1) ส่วนที่ใช้ยึดติดกับกระจกให้มีขนาด 45 × 15 cm

(2) ส่วนที่ติดกับตัวที่ทำให้เกิดคลื่นน้ำให้มีขนาด 45 × 30 cm และแผ่นสี่เหลี่ยมคางหมู ความยาว 30 cm ความกว้าง 20 × 8 cm จำนวน 2 แผ่น และท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ความยาว 33 cm นำ 2 ส่วนนี้มาประกอบกันดังรูปที่ 3.7

ใบ008239
มร.
ว5868
2554



รูปที่ 3.7 แบบชุดกำเนิดคลื่นน้ำ

3.3.3 การสร้างชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้า

สำหรับโครงสร้างของชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้า เลือกใช้แผ่นอะคริลิกหนา 3mm แบ่งออกเป็น 3 ส่วน

ก. ส่วนที่ใช้วางกับกระจกและคาน ตัดแผ่นอะคริลิก

ก.1 ขนาด45 × 15 cm จำนวน 1 แผ่น

ก.2 ขนาด 45 × 10 cm จำนวน 2 แผ่น

ก.3 ขนาด22 × 10 cm จำนวน 2 แผ่น

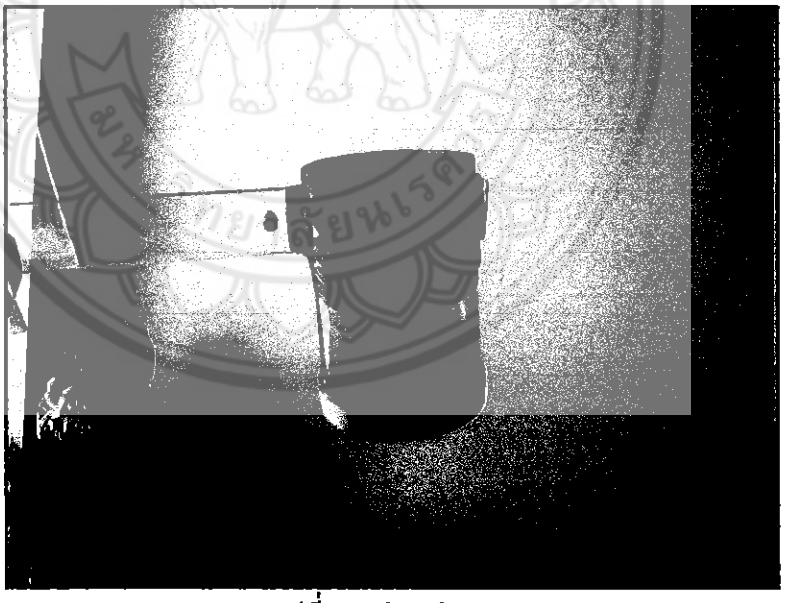
ก.4 ขนาด56 × 3.5 cm จำนวน 1 แผ่น

ก.5 ขนาด20 × 3 cm จำนวน 1 แผ่น

และทำการเจาะรูเพื่อใช้นอตยึดติดดังรูปที่3.8

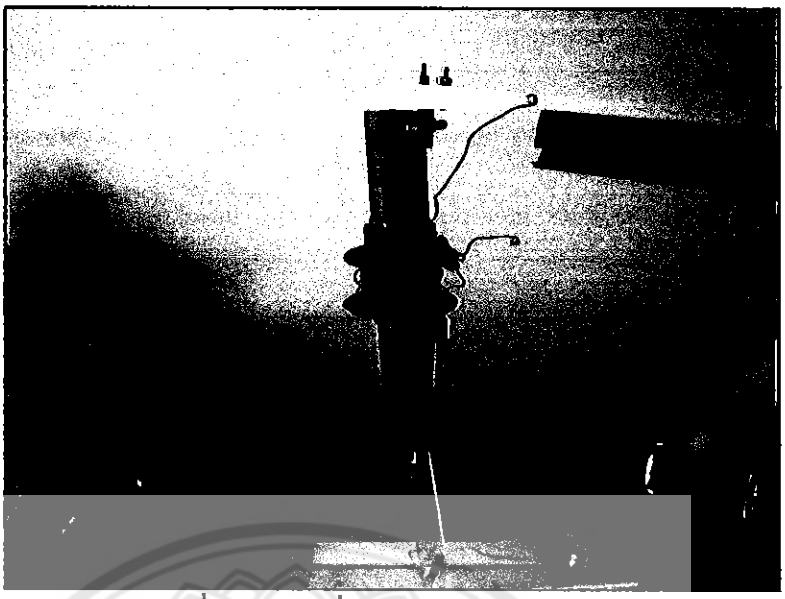
รูปที่ 3.8 ส่วนที่ใช้วางกับกระจกและคาน

ข. ส่วนทุ่นลอย นำกระป๋องรูปทรงกระบอกมาเจาะรูแล้วนำไปติดกับแผ่นอะคริลิกที่เตรียมไว้ในส่วน 1 ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ส่วนทุ่นลอย

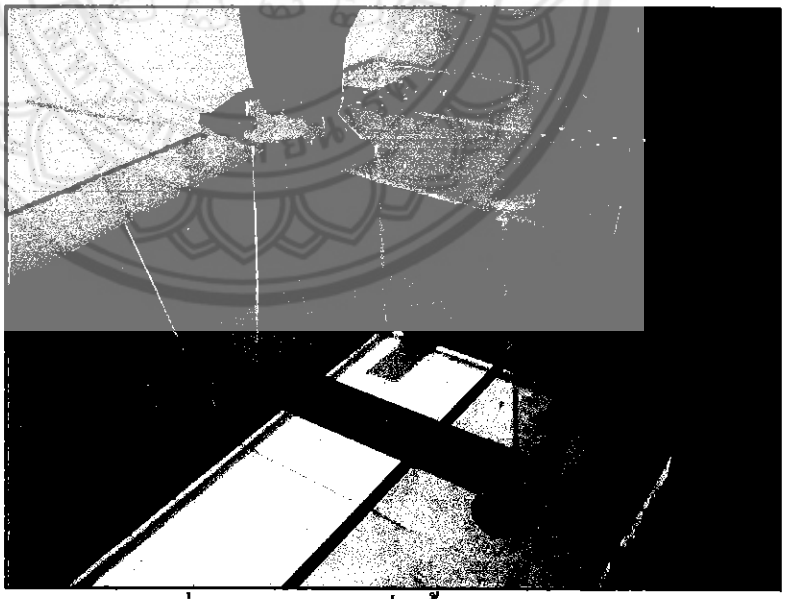
ค. ส่วนที่จะทำให้เกิดกระแสไฟ นำท่อ PVC ยึดติดกับขดลวดที่พันไว้แล้วนำไปยึดติดกับแผ่นอะคริลิกส่วนที่วางกับกระจก และนำแม่เหล็กไปติดกับส่วน 1 ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ส่วนที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า

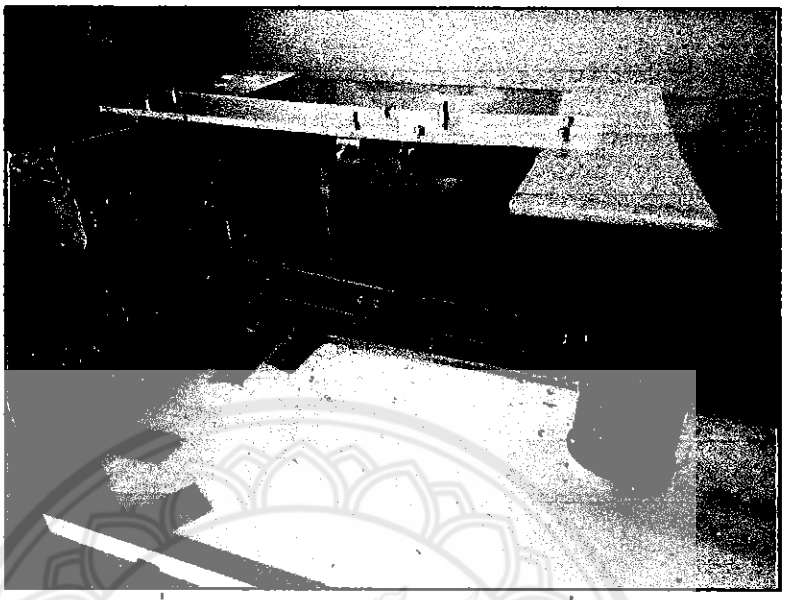
3.4 ขั้นตอนการสร้างชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ

3.4.1 นำชุดกำเนิดคลื่นน้ำมาติดกับตู้กระจกดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ชุดกำเนิดคลื่นน้ำมาติดกับตู้กระจก

3.4.2 นำชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้ามาวางที่ตู้กระจกดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้ามาวางที่ตู้กระจก

3.5 การดำเนินการทดลอง

ในการดำเนินการทดลอง เพื่อดูการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัด ดังรูปที่ 3.13 และออกแบบลำดับขั้นตอนการทดลองดังกล่าวต่อไปนี้

รูปที่ 3.13 การติดตั้งอุปกรณ์การวัด

3.5.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

เครื่องมัลติมิเตอร์ดิจิตอล (DIGITAL MULTIMETER) ยี่ห้อ YUGO รุ่น DT-830B ใช้ในการวัดกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.14 เครื่องมัลติมิเตอร์ดิจิตอล (DIGITAL MULTIMETER)

3.5.2 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

(1) วางชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้าไว้ที่ตู้กระจกและนำส่วนที่ติดกับแม่เหล็กสอดเข้าไปในช่องตรงกลางของขดลวด

(2) ยกชุดกำเนิดคลื่นน้ำ ขึ้น-ลง เพื่อให้เกิดคลื่นน้ำเข้าไปกระทบกับทุ่นลอยน้ำ

(3) อ่านค่าจากเครื่องมัลติมิเตอร์ดิจิตอลที่ 200 μA พร้อมบันทึกผลการทดลอง โดยบันทึกผล 1 นาทีต่อรอบ และดูว่ากระแสไฟฟ้าที่ได้สูงสุดต่อรอบ

(4) วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุป

บทที่ 4
วิเคราะห์ผลและผลการทดลอง

จากการทดลองได้ทำการบันทึกค่าที่ได้จากการทดลองต่างๆ เช่น จำนวนครั้งที่ยกชุดกำเนิดคลื่นน้ำ, จำนวนของลูกคลื่นน้ำ, ความสูงของคลื่นน้ำและ ค่ากระแสไฟที่ได้ เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดลอง มาบันทึกผลในตารางและสร้างกราฟเพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนขดลวดกับกระแสไฟที่ได้ซึ่งได้ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ ที่จำนวนขดลวด 50รอบทดสอบซ้ำจำนวน 10 รอบ รอบละ 1 นาที

ครั้งที่	คาบเวลา (s)	จำนวนของการยกชุดกำเนิดคลื่นน้ำ (ครั้ง)	ความยาวของคลื่นน้ำ (cm)	ความสูงของคลื่นน้ำ (cm)		กระแสไฟ (μA)	
				สูงสุด	ต่ำสุด	บวกสูงสุด	ลบต่ำสุด
1	0.6	100	17	18	13	2.5	-2.4
2	0.6	104	20	19.5	11.5	2.8	-2.4
3	0.6	101	22	19.5	12	2.6	-2.5
4	0.6	99	19	19	11.5	2.6	-2.3
5	0.6	94	25	20	11	2.5	-2.3
6	0.6	103	20	19.5	11	2.7	-2.4
7	0.6	101	21	19	11.5	2.5	-2.4
8	0.6	98	23	18.5	12	2.4	-2.4
9	0.6	102	25	19	11.5	2.6	-2.3
10	0.6	95	24	19.5	12	2.6	-2.4
เฉลี่ย	0.6	100	21.6	19.2	11.8	2.6	-2.4

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ ที่จำนวนขดลวด 100 รอบ ทดสอบซ้ำจำนวน 10 รอบ รอบละ 1 นาที

ครั้งที่	คาบเวลา (s)	จำนวนของการยกชุดกำเนิดคลื่นน้ำ (ครั้ง)	ความยาวของคลื่นน้ำ (cm)	ความสูงของคลื่นน้ำ (cm)		กระแสไฟ (μA)	
				สูงสุด	ต่ำสุด	บวกสูงสุด	ลบต่ำสุด
1	0.6	92	28	20	11	4.0	-3.6
2	0.6	96	25	19	12	3.6	-4.7
3	0.6	94	23	19	11	3.9	-2.7
4	0.6	96	26	19	11	4.0	-3.7
5	0.6	94	24	19	12	3.6	-3.0
6	0.6	97	25	19.5	11	3.8	-3.1
7	0.6	99	23	18.5	12.5	3.7	-2.9
8	0.6	95	26	19	11	3.8	-3.0
9	0.6	98	25	19	11.5	4.0	-3.7
10	0.6	94	25	19	12	3.9	-3.0
เฉลี่ย	0.6	96	25	19.1	11.5	3.8	-3.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ ที่จำนวนขดลวด 150 รอบ ทดสอบซ้ำจำนวน 10 รอบ รอบละ 1 นาที

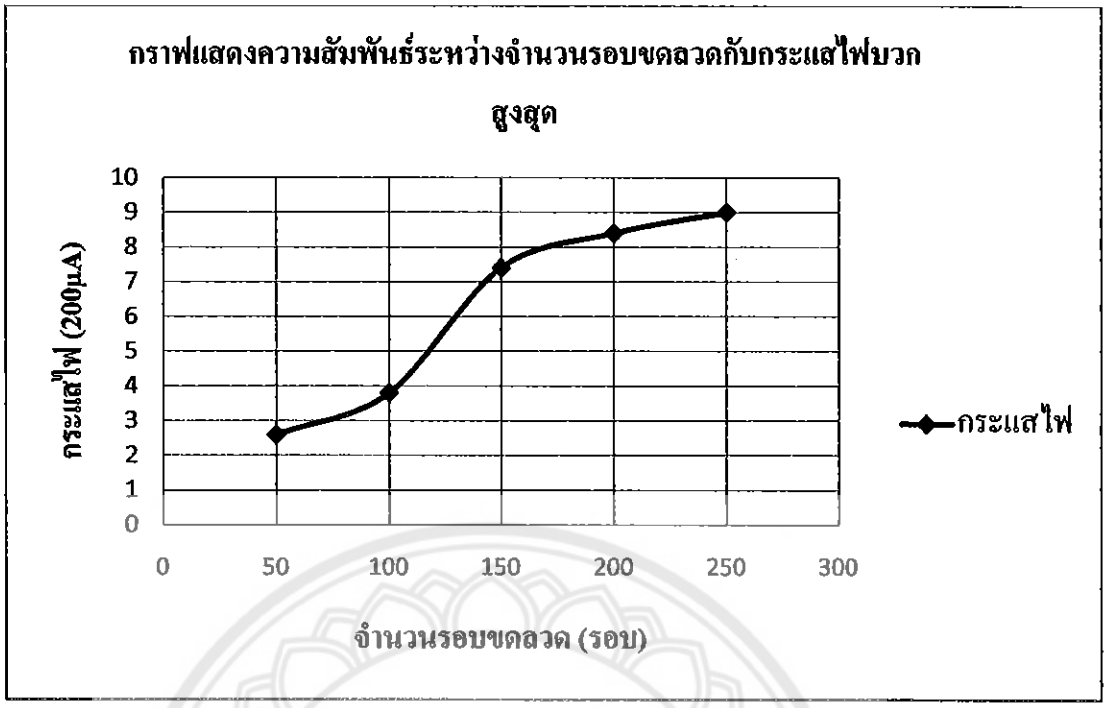
ครั้งที่	คาบเวลา (s)	จำนวนของการยกชุดกำเนิดคลื่นน้ำ (ครั้ง)	ความยาวของคลื่นน้ำ (cm)	ความสูงของคลื่นน้ำ (cm)		กระแสไฟ (μA)	
				สูงสุด	ต่ำสุด	บวกสูงสุด	ลบต่ำสุด
1	0.6	93	25	19	11	6.4	-5.2
2	0.6	92	24	20	10.5	7.7	-6.0
3	0.6	94	27	19	11	7.6	-6.0
4	0.6	92	28	20	11	7.4	-5.5
5	0.6	95	25	19.5	11.5	7.3	-5.8
6	0.6	96	25	20	11.5	7.3	6.0
7	0.6	94	27	20	10.5	7.6	-5.9
5	0.6	96	26	19	12	7.5	-5.9
9	0.6	95	26	20	12	7.3	-5.9
10	0.6	93	25	19	11.5	7.5	-5.8
เฉลี่ย	0.6	94	25.8	19.5	11.3	7.4	-5.8

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ ที่จำนวนขดลวด 200 รอบ ทดสอบซ้ำจำนวน 10 รอบ รอบละ 1 นาที

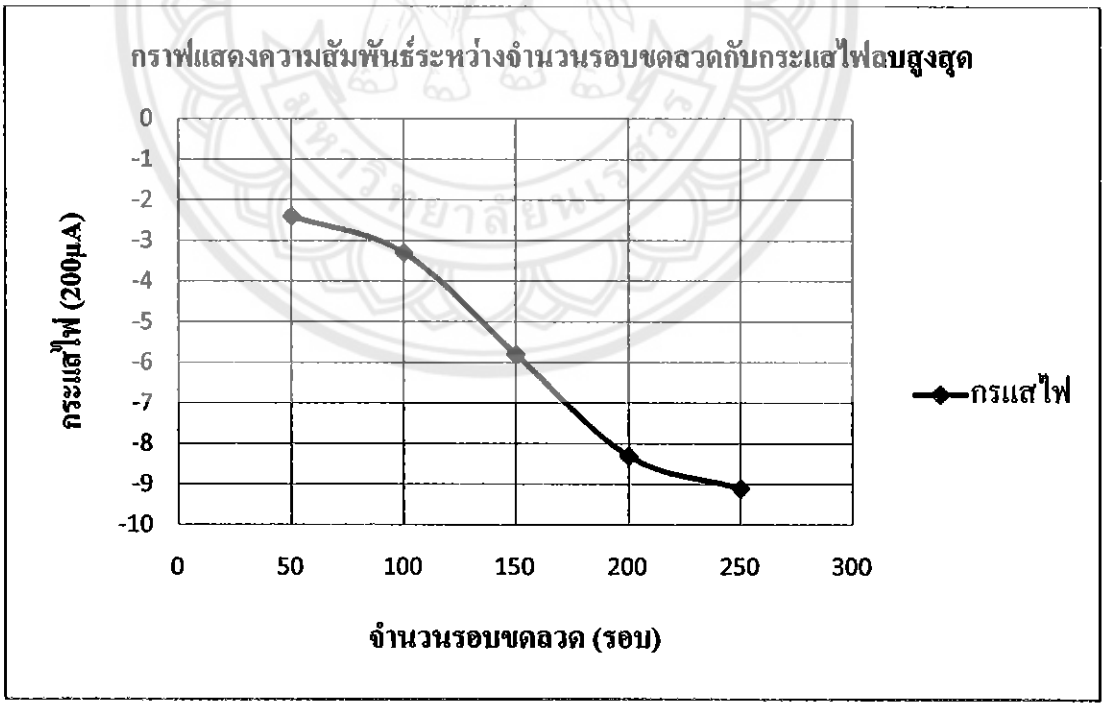
ครั้งที่	คาบเวลา (s)	จำนวนของการยกชุดกำเนิดคลื่นน้ำ (ครั้ง)	ความยาวของคลื่นน้ำ (cm)	ความสูงของคลื่นน้ำ (cm)		กระแสไฟ (μA)	
				สูงสุด	ต่ำสุด	บวกสูงสุด	ลบต่ำสุด
1	0.6	94	28	19	12	8.1	-8.4
2	0.6	95	23	20	11	8.6	-9.0
3	0.6	93	26	19	12	8.3	-8.9
4	0.6	93	26	20	11.5	7.9	-6.8
5	0.6	97	28	19	11	8.6	-9.0
6	0.6	95	26	19	11	8.4	-8.1
7	0.6	93	27	19	11	8.3	-8.5
8	0.6	97	26	19.5	11.5	8.6	-8.3
9	0.6	94	25	19	11	8.5	-7.5
10	0.6	98	26	20	12	8.2	-8.9
เฉลี่ย	0.6	95	26.1	19.4	11.4	8.4	-8.3

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองของชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ ที่จำนวนขดลวด 250 รอบทดสอบซ้ำจำนวน 10 รอบ รอบละ 1 นาที

ครั้งที่	คาบเวลา (s)	จำนวนของการยกชุดกำเนิดคลื่นน้ำ (ครั้ง)	ความยาวของคลื่นน้ำ (cm)	ความสูงของคลื่นน้ำ (cm)		กระแสไฟ (μA)	
				สูงสุด	ต่ำสุด	บวกสูงสุด	ลบต่ำสุด
1	0.6	93	28	19	11	8.3	-8.5
2	0.6	105	22	19	12	9.7	-9.1
3	0.6	99	23	19	11.5	10.6	-10.1
4	0.6	102	22	19.5	12	10.6	-10.5
5	0.6	97	25	19	11	10.4	-10.9
6	0.6	94	28	20	10.5	9.8	-10.3
7	0.6	98	24	19	12	10.5	-10.0
8	0.6	103	22	19	11	10.3	-9.8
9	0.6	96	25	19.5	11	10.6	-10.5
10	0.6	99	23	19	12	9.8	-10.2
เฉลี่ย	0.6	99	24.2	19.2	11.4	9.0	-9.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบขดลวดกับกระแสไฟบวกสูงสุด



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบขดลวดกับกระแสไฟลบสูงสุด

4.2 การคำนวณหาค่าต่างๆ

4.2.1 การคำนวณหาความเร็วคลื่น

หาได้จากสูตร $C = \frac{L}{T}$

เมื่อ C = ความเร็วคลื่น (cm/s), L = ความยาวคลื่น (cm), T = คาบของคลื่น (s)

จากข้อมูลตาราง 4.1, ความยาวคลื่นเฉลี่ย =21.6 cm, คาบเวลาเฉลี่ย = 0.6 s

ดังนั้น จะได้ความเร็วคลื่น(C) = 36 cm/s

จากข้อมูลตาราง 4.2, ความยาวคลื่นเฉลี่ย =25 cm, คาบเวลาเฉลี่ย = 0.6 s

ดังนั้น จะได้ความเร็วคลื่น(C) = 41.67 cm/s

จากข้อมูลตาราง 4.3, ความยาวคลื่นเฉลี่ย =25.8 cm, คาบเวลาเฉลี่ย = 0.6 s

ดังนั้น จะได้ความเร็วคลื่น(C) = 43 cm/s

จากข้อมูลตาราง 4.4, ความยาวคลื่นเฉลี่ย =26.1 cm, คาบเวลาเฉลี่ย = 0.6 s

ดังนั้น จะได้ความเร็วคลื่น(C) = 43.5 cm/s

จากข้อมูลตาราง 4.5, ความยาวคลื่นเฉลี่ย =24.2 cm, คาบเวลาเฉลี่ย = 0.6 s

ดังนั้น จะได้ความเร็วคลื่น(C) = 40.33 cm/s

4.2.2การคำนวณหาแรงลอยตัวของทุ่นลอยน้ำ

หาได้จากสูตร $F = g\,\rho_{น้ำ} V_{ส่วนที่จม}$

เมื่อ F = แรงลอยตัว (N), $\rho_{น้ำ}$ = 1000(kg/m^3), $V_{ส่วนที่จม}$ = ปริมาตรส่วนที่จม (m)

หา $V_{ส่วนที่จม} = \pi r^2 l$

รัศมี (r) = 4.5x10^{-2} m

ส่วนที่จมน้ำ (l) = 2x10^{-2} m

ดังนั้น $V_{ส่วนที่จม}$ = 1.27x10^{-4} m^3

จะได้แรงลอยตัว (F) = 1.25 N

4.2.3การคำนวณหาโมเมนต์ของคาน

หาได้จากสูตร M=Fr

เมื่อM = โมเมนต์ (Nm),F = แรงลอยตัว (N), r = ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน

ระยะห่างของแรงถึงจุดหมุน (r) = 0.3 m

แรงลอยตัว (F) = 1.25 N

ดังนั้น โมเมนต์(M) = 0.375 Nm

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองของคลื่น

4.3.1 การวิเคราะห์ความถี่ของคลื่น

เมื่อความถี่ของการยกชุดกำเนิดคลื่นช้า จะทำให้ความถี่ของคลื่นน้อย ลูกคลื่นต่ำ การเคลื่อนที่ของทุ่นลอยน้ำจะเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้น้อย ทำให้แม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดผ่านขดลวดได้น้อยลง กระแสไฟที่ได้ก็จะน้อยลงตาม

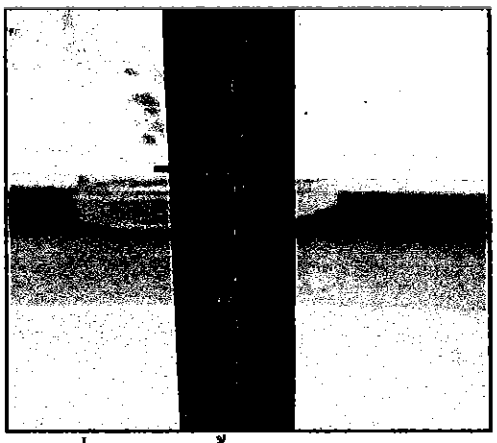
ความถี่ของการยกชุดกำเนิดคลื่นเร็ว จะทำให้ความถี่ของคลื่นมาก ลูกคลื่นต่ำแต่มีลูกคลื่นเป็นจำนวนมาก การเคลื่อนที่ของทุ่นลอยน้ำจะเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้เร็ว แต่ไม่สูง ทำให้แม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดผ่านขดลวดเช่นเดียวกับการยกชุดกำเนิดคลื่นช้า

4.3.2 การวิเคราะห์การสะท้อนกลับของคลื่น

การที่คลื่นหน้าตรงเคลื่อนที่กระทบแผ่นกั้นหน้าตรง คลื่นจะสะท้อนกลับเป็นคลื่นหน้าตรง เมื่อสะท้อนกลับสันคลื่นเคลื่อนที่เจอกับสันหรือท้องคลื่นเคลื่อนที่เจอกับท้องคลื่นคลื่นก็จะเป็นคลื่นแบบเสริมกัน คลื่นจะมีลักษณะสูงขึ้นหรือต่ำลง แต่ถ้าสันคลื่นเคลื่อนที่เจอกับท้องคลื่นคลื่นก็จะเป็นแบบหักล้างกันก็จะไม่มีลูกคลื่นเกิดขึ้น

4.3.3 การวัดความสูงของคลื่น

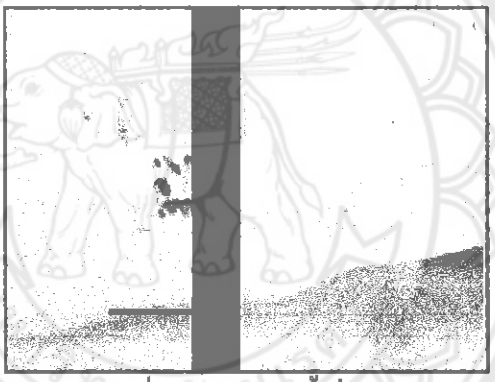
การทดสอบจะใส่น้ำในตู้กระจกสูง 15 cm และจะใช้เป็นจุดอ้างอิงความสูงของคลื่นสูงสุดและต่ำสุด



รูปที่ 4.3 ระดับน้ำในตู้กระจก 15 cm

จะสังเกตเห็นว่า ช่วงคลื่นที่เกิดความสูงมากๆจะเกิดในช่วงของทุ่นลอย จึงทำการกำหนดจุดที่จะบันทึกค่าความสูงของคลื่นสูงสุดและต่ำสุดไว้ที่ตำแหน่งของทุ่นลอยน้ำ โดยอ้างอิงจากระดับน้ำที่ใส่ไว้ ดังรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5

รูปที่ 4.4 ความสูงของคลื่นสูงสุด



รูปที่ 4.5 ความสูงน้ำต่ำสุด

4.3.4 การวัดความยาวคลื่น

จากการสังเกตที่ทำการทดสอบจะเห็นว่า ช่วงคลื่นที่ได้ชัดเจนและมีความยาวมากที่สุดอยู่ในช่วงทุ่นลอยน้ำถึงแผ่นกระจกด้านหลัง ซึ่งจะวัดความยาวเริ่มต้นที่ทุ่นลอยน้ำ แล้วจะเห็นว่าสันคลื่นวิ่งผ่านทุ่นลอยน้ำและจะสังเกตเห็นสันคลื่นลูกที่ถัดมาจากทุ่นลอยน้ำ ณ จุดๆหนึ่ง จึงสามารถวัดความยาวของลูกคลื่นนั้นได้ ระหว่างสันคลื่นกับสันคลื่นก็จะเป็นความยาวคลื่น ดังรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.6 การวัดความยาวคลื่น

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการสร้างชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นที่ประกอบด้วย ตู้กระจก 40 × 45× 150 cm พร้อมทั้งชุดกำเนิดคลื่นและชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ขดลวดทองแดงเบอร์ 22 พันขดลวดจำนวน 50, 100, 150, 200 และ 250 รอบ โดยน้ำในตู้กระจกนั้นมีความสูง 15 cm จากการทดสอบและบันทึกผลของคาบเวลาของคลื่น ความยาวของคลื่น ความสูงของคลื่น กระแสไฟที่เป็นบวก และกระแสไฟฟ้าที่เป็นลบ แล้วนำค่าจากการทดสอบมาวิเคราะห์หาความเร็วของคลื่นน้ำแรงลอยตัว และโมเมนต์ของคาน สามารถสรุปได้ดังนี้

จำนวนรอบของขดลวดมีผลต่อค่ากระแสไฟที่ต่างกัน กระแสไฟเป็นบวกหรือลบที่มีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการจำนวนรอบของขดลวด โดยวัดจากขดลวด 50, 100, 150, 200 และ 250 รอบ ได้กระแสไฟสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 2.6, 3.8, 7.4, 8.4, 9.0 μA ตามลำดับ และได้กระแสไฟต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ -2.4, -3.3, -5.8, -8.3, -9.1 μA ตามลำดับ และได้ความเร็วคลื่นน้ำเท่ากับ 36 cm/s, 41.67 cm/s, 43 cm/s, 43.5 cm/s, 40.33 cm/s และแรงลอยตัวเท่ากับ 1.25N และโมเมนต์ของคานเท่ากับ 0.375 Nm พบว่าเมื่อจำนวนขดลวดเพิ่มมาขึ้นก็จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นตาม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรคำนวณหาค่ากระแสไฟที่ได้จากทฤษฎีเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

5.2.2 ควรเปลี่ยนขดลวดเบอร์อื่นๆ และจำนวนรอบของขดลวด

5.2.3 ควรเพิ่มจำนวนแท่งแม่เหล็กถาวร

5.2.4 ควรหาวิธีการเพื่อให้ชุดสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าสามารถทำให้หลอดไฟมีแสงสว่าง

5.2.5 ควรหาอุปกรณ์ติดตั้งเพิ่มเพื่อที่จะลดการสะท้อนของคลื่น

5.2.6 ควรออกแบบชุดกำเนิดคลื่นแบบอื่น

5.2.7 ควรออกแบบชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้าแบบอื่น

เอกสารอ้างอิง

[1]สมชัย สิริบดีกุล อำนวย อ้องสุทธิ์. (2546). **กลุ่มพัฒนาพลังงานลมและพลังงานอื่นๆ (คลื่นทะเล)** ส่วนพัฒนาพลังงาน 2 สำนักพัฒนาพลังงานกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

[2]วิชัย อนุรักษ์ฤานนท์. **เอกสารการสอน ฟิสิกส์ 2** สำหรับวิศวกรบทที่ 4 กฎของฟาราเดย์และการเหนี่ยวนำ

[3]หมั่น โพธิ์วิจิตร. (2529). **สมุทรศาสตร์เบื้องต้น** ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเลคณะประมงมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[4]มหรรณพ บรรพพงศ์. (2533). **Physical Oceanography** ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ทางทะเลจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[5]**กฎของฟาราเดย์** http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/vichaipage/chap4.pdf (สืบค้นเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2554)

[6]**พลังงานคลื่นทะเล** http://www.eng.ru.ac.th/engwebtemp/download/k1.pdf (สืบค้นเมื่อวันที่ 18 กันยายน 2554)

[7]**คลื่นมหาสมุทร** http://nhongenergyru.blogspot.com (สืบค้นเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2554)

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายดิสรรเพชร มณฑาทอง

ภูมิลำเนา 40/1 ถ.ราชวงศ์ ต.เวียง อ.เมือง จ.พะเยา

ประวัติการศึกษา

จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน

พินิตประสาธน์

ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขา

วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

E-mail: **koa_kero_o@hotmail.com**

ชื่อ นายวัชระชัย วังแก้ว

ภูมิลำเนา 222/3 หมู่ที่ 7 ต.ห้างฉัตร อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง

ประวัติการศึกษา

จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน

อัสสัมชัญลำปาง

ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขา

วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

E-mail: **loki_s47@hotmail.com**

ชื่อ นายเอกภพ จันทร์วังทอง

ภูมิลำเนา 78/68 ถ.ศรีธรรมไตรปิฎก ต.ในเมือง อ.เมือง

จ.พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน

พิษณุโลกพิทยาคม

ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

E-mail: **garfuse_naruk@msn.com**