



## รายงานฉบับสมบูรณ์

### โครงการ

การพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นขนาดเล็กในทะเล  
ที่เหมาะสมกับพื้นที่ชายฝั่งทางภาคใต้ของประเทศไทย  
The Development of an Appropriate Small-Scale Sea Wave Power  
Generator System for Southern Thailand's Coastal Area

### เสนอต่อ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ  
งบแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2555

### เสนอโดย

ดร.ธเนศ ไชยชนะ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แววศักดิ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสงค์ สิริพุทธไธวรรณ  
ดร.จตุพร แก้วอ่อน

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง



## รายงานฉบับสมบูรณ์

### โครงการ

การพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นขนาดเล็กในทะเล  
ที่เหมาะสมกับพื้นที่ชายฝั่งทางภาคใต้ของประเทศไทย  
The Development of an Appropriate Small-Scale Sea Wave Power  
Generator System for Southern Thailand's Coastal Area

### เสนอต่อ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ  
งบแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2555

### เสนอโดย

ดร.ธเนศ ไชยชนะ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แวศักดิ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสงค์ สิริพุทธไธวรรณ  
ดร.จตุพร แก้วอ่อน

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง



## คำรับรองคุณภาพ

รายงานวิจัยเรื่อง                    การพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นในทะเลขนาดเล็กที่เหมาะสมกับพื้นที่  
ชายฝั่งทางภาคใต้ของประเทศไทย

ผู้วิจัย                                    ธนศ ไชยชนะ และคณะ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ ขอรับรองว่ารายงานวิจัยฉบับนี้ได้ผ่านการประเมินจาก  
ผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว มีความเห็นว่าผลงานวิจัยฉบับนี้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์

- ดีมาก
- ดี
- ปานกลาง
- พอใช้
- ควรปรับปรุง

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพันธุ์ เขมกุนาศัย)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

วันที่ 19 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2557

## คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นขนาดเล็กในทะเลที่เหมาะสมกับพื้นที่ชายฝั่งทางภาคใต้ของประเทศไทย (The Development of an Appropriate Small-Scale Sea Wave Power Generator System for Southern Thailand's Coastal Area) ที่ได้รับการสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 โดยได้ดำเนินงานในการออกแบบ สร้าง และทดสอบระบบเพื่อใช้ในการเปลี่ยนพลังงานมาเป็นพลังงานรูปอื่นๆ ในที่นี้คือพลังงานไฟฟ้าผ่านเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย และเปลี่ยนพลังงานคลื่นเป็นพลังงานลมโดยเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น โดยผลการดำเนินงานแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าระบบทั้ง 2 รูปแบบสามารถนำมาใช้ในการเปลี่ยนพลังงานคลื่นได้ แต่ต้องมีการพัฒนาต่อไปอย่างต่อเนื่อง โดยระบบทั้ง 2 รูปแบบที่สร้างขึ้นยังมีขนาดของกำลังการผลิตที่ต่ำ ทั้งนี้รายงานฉบับนี้ได้รายงานทั้งผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะในการพัฒนา

คณะผู้ดำเนินโครงการหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานการดำเนินงานฉบับนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาระบบเปลี่ยนพลังงานคลื่นในพื้นที่ทะเลของประเทศไทย และมีการนำข้อมูลจากรายงานฉบับนี้ไปใช้ในการพัฒนาทั้งทางด้านการวิจัยและทางด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป สุดท้ายหากมีข้อผิดพลาดประการใดในรายงานฉบับนี้ผู้วิจัยขอน้อมรับ และขออภัย

คณะวิจัย

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบเปลี่ยนพลังงานคลื่นขนาดเล็กที่เหมาะสมกับพื้นที่ชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศไทย ระบบเปลี่ยนพลังงานคลื่นที่ออกแบบและสร้างประกอบด้วยเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย และเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น โดยทำการทดสอบการทำงานในช่องทางคลื่นขนาดกว้าง 0.42 เมตร สูง 0.75 เมตร และยาว 12 เมตร ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นคือ ขนาดและจำนวนรอบของขดลวดทองแดงที่ใช้ในการสร้างเครื่องผลิตไฟฟ้า ความถี่และแอมพลิจูดของคลื่น โดยที่แอมพลิจูดของคลื่นเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.15 วัตต์ ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดทองแดงเท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร จำนวนรอบของการพันขดลวดทองแดงเท่ากับ 700 รอบ ความถี่และแอมพลิจูดของคลื่นเท่ากับ 150 รอบต่อนาที และ 0.05 เมตร ตามลำดับ ซึ่งได้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดร้อยละ 0.019 ส่วนอิทธิพลที่มีผลต่อกำลังที่ผลิตได้ของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้นคือ ระดับของแผ่นรับคลื่น ความถี่และแอมพลิจูดของคลื่น ซึ่งกำลังขาออกที่ผลิตได้จากเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้นมีค่าสูงสุดที่ระดับของแผ่นรับคลื่นเท่ากับระดับผิวน้ำพอดี ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้นมีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 0.06 ที่ความถี่และแอมพลิจูดของคลื่นเท่ากับ 71 รอบต่อนาทีและ 0.037 เมตร ตามลำดับ

## Abstract

The objective of this study is to design, construct and test the performance of a small scale wave energy conversion system that appropriate for coastal area of southern Thailand. Wave energy conversion system consists of floating buoy power generation and oscillating water column (OWC). Testing has been done in wave channel width of 0.42 m, height of 0.75 m, and length of 12 m. Results show that factor affecting power generation of wave energy conversion system are of follows; magnitude and number of copper wire in power generator, frequency and amplitude of wave. Among those factors, amplitude of wave is the most significant factor affecting power generation. The maximum generated power is 0.15 W with copper wire diameter of 0.75 mm and the number of copper wire is 700 rounds. Frequency and amplitude is 150 rpm and 0.05 m respectively whereas the maximum efficiency is 0.019%. Furthermore, the factors affecting power generation of OWC is the level of wave absorber, wave frequency, and wave amplitude. The maximum power output of OWC obtained while the level of wave absorber is equal to sea wave level. The maximum efficiency of OWC is 0.06% at wave frequency and amplitude of 71 rpm and 0.037 m respectively.

## สารบัญ

	หน้าที่
ปกใน	1
คำนำ	2
คำรับรองคุณภาพ	3
บทคัดย่อ	4
สารบัญ	5
สารบัญรูป	6
สารบัญตาราง	8
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>9</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	9
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	14
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	14
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>15</b>
2.1 คลื่น	15
2.2 คลื่นมหาสมุทร	15
2.3 องค์ประกอบของคลื่น	17
2.4 พลังงานของคลื่น	19
2.5 การตรวจวัดคลื่นและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น	21
2.6 เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่น	22
2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
<b>บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน</b>	<b>31</b>
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย	31
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	36
<b>บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน</b>	<b>40</b>
4.1 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย	40
4.2 ผลการทดสอบการทำงานของช่องทางคลื่น	45
4.3 ผลการทดสอบเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น	45
4.4 การประเมินการผลิตไฟฟ้าในทะเล	46
<b>บทที่ 5 สรุปผล</b>	<b>48</b>
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	51

## สารบัญญรูป

รูปที่	หน้าที่
1.1	9
1.2	12
1.3	13
2.1	16
2.2	17
2.3	19
2.4	22
2.5	23
2.6	23
2.7	24
2.8	24
2.9	25
2.10	26
2.11	26
2.12	26
2.13	27
2.14	27
2.15	27
2.16	28
2.17	28
2.18	28
2.19	29
3.1	31
3.2	32
3.3	32
3.4	32
3.5	33
3.6	34
3.7	35

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
3.8 อุปกรณ์หลักของชุดสร้างคลื่น	35
3.9 ดิจิตอล มัลติมิเตอร์	36
3.10 แอนิโมมิเตอร์	36
4.1 ลักษณะการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย	40
4.2 แสดงกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง 0.75 mm)	42
4.3 ผลการทดสอบอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดงต่อ กำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย	42
4.4 ลักษณะของคลื่นที่เกิดในช่องทางคลื่น	44
4.5 ลักษณะการทำงานของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น	46

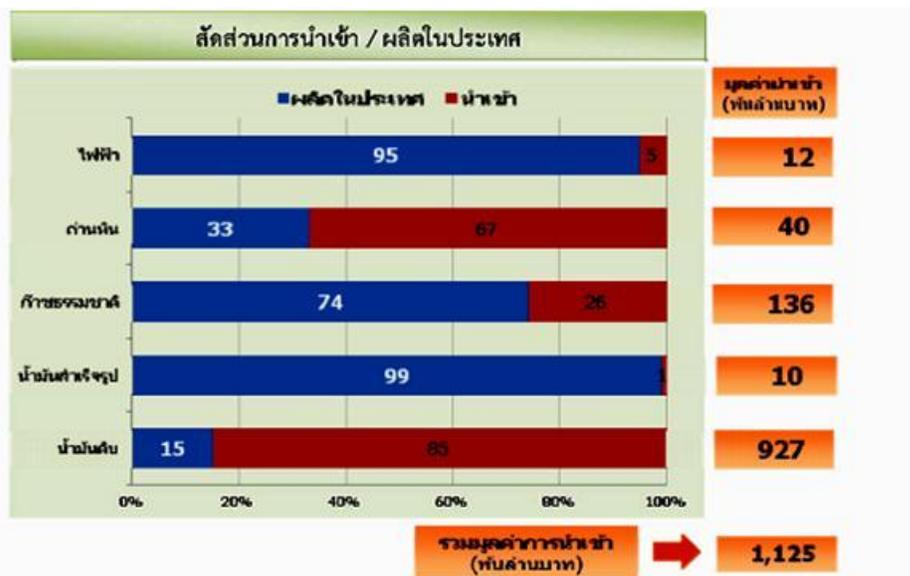
## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
1.1 เป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทนระยะสั้น (พ.ศ. 2551 – 2554)	10
1.2 เป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทนระยะกลาง (พ.ศ. 2555 – 2559)	11
1.3 เป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทนระยะยาว (พ.ศ. 2560 – 2565)	11
2.1 ความเร็วของคลื่นน้ำลึกและคลื่นน้ำตื้น	18
2.2 การจัดสถานะของทะเล	21
3.1 การศึกษาอิทธิพลของจำนวนรอบขดลวดทองแดง	37
3.2 การศึกษาศึกษาอิทธิพลของขนาดของขดลวดทองแดง	37
3.3 การศึกษาศึกษาอิทธิพลของความถี่ของคลื่น	37
3.4 การศึกษาศึกษาอิทธิพลของแอมพลิจูดของคลื่น	38
3.5 การทดสอบการทำงานของช่องทางคลื่น	38
3.6 การทดสอบเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น	39
4.1 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง 0.75 mm)	41
4.2 ผลการทดสอบอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดงต่อ กำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย	43
4.3 ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย	44
4.4 ผลการทดสอบการทำงานของช่องทางคลื่น	45
4.5 ผลการทดสอบเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น	46
4.6 ผลการประเมินการผลิตไฟฟ้า	47

## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

จากสถานการณ์พลังงานในปัจจุบัน ประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก จากข้อมูลในปี พ.ศ.2554 ที่ผ่านมาพบว่ากว่าร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ ขึ้นต้นมาจากการนำเข้า โดยมีสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้น้ำมันทั้งหมดภายในประเทศและยังมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอีกเพราะไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตปิโตรเลียมในประเทศได้ทันกับความต้องการใช้งาน การพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจังจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้า น้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่น และยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้าของประเทศซึ่งเดิมต้องพึ่งพาก๊าซธรรมชาติเป็นหลักมากกว่าร้อยละ 70 โดยพลังงานทดแทนถือเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงเป้าหมายที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทดแทนก๊าซธรรมชาติได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมแบบทุ้งกังหันลม พลังน้ำขนาดเล็ก ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะ และหากเทคโนโลยีพลังงานทดแทนเหล่านี้มีต้นทุนถูกลงและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางก็อาจสามารถพัฒนาให้เป็นพลังงานหลักในการผลิตไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยได้ในอนาคต



รูปที่ 1.1 สัดส่วนการใช้พลังงานของประเทศปี 2554

(ที่มา: <http://dede/images/stories/aedp25.pdf>)

นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีแหล่งพลังงานจากธรรมชาติที่จัดเป็นพลังงานหมุนเวียน เช่น ไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก พลังลม และพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะสามารถใช้ผลิตพลังงานทดแทนได้ แต่ด้วยข้อจำกัดทางศักยภาพและเทคโนโลยีจำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนเป็นพิเศษจากรัฐบาล ดังนั้น กระทรวง

พลังงานจึงได้รับนโยบายจากรัฐบาลให้ดำเนินการจัดทำแผนพลังงานทดแทนระยะยาว 15 ปี เพื่อกำหนดทิศทางและกรอบการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ

แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี ได้แบ่งเป็น 3 ระยะ ได้แก่ (1) ระยะสั้นครอบคลุม พ.ศ. 2551 – 2554 (2) ระยะกลางครอบคลุม พ.ศ. 2555 – 2559 และ (3) ระยะยาวครอบคลุม พ.ศ. 2560 – 2565 โดยมีกรอบแนวทางและเป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

(1) ระยะสั้น (พ.ศ. 2551 – 2554) มุ่งเน้นส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่ได้รับการยอมรับแล้ว (proven technologies) และมีศักยภาพแหล่งพลังงานทดแทนสูง ได้แก่ เชื้อเพลิงชีวภาพ การผลิตไฟฟ้าและความร้อนจากชีวมวลและก๊าซชีวภาพ โดยใช้มาตรการสนับสนุนทางการเงินเต็มรูปแบบ โดยมีเป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทน 10,961 ktoe หรือคิดเป็นร้อยละ 15.6 ของการใช้พลังงานทั้งหมด

ตารางที่ 1.1 เป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทนระยะสั้น (พ.ศ. 2551 – 2554)

ประเภทพลังงาน	ไฟฟ้า		ความร้อน (ktoe)	เชื้อเพลิงชีวภาพ และ NGV		รวม (ktoe)
	MW	ktoe			ktoe	
แสงอาทิตย์	55	6	5	-	-	11
พลังงานลม	115	13	-	-	-	13
ไฟฟ้าพลังงานน้ำ	165	43	-	-	-	43
ชีวมวล	2,800	1,463	3,660	-	-	5,123
ก๊าซชีวภาพ	60	27	470	-	-	497
พลังงานขยะ	78	35	15	-	-	50
เอทานอล (ล้านลิตร/วัน)	-	-	-	3.0	805	805
ไบโอดีเซล (ล้านลิตร/วัน)	-	-	-	3.0	950	950
NGV (ล้านลูกบาศก์ฟุต/วัน)	-	-	-	393.0	3,469	3,469
รวม	3,273	1,587	4,150	-	5,224	10,961

(ที่มา: [www.eppo.go.th](http://www.eppo.go.th))

(2) ระยะกลาง (พ.ศ. 2555 – 2559) ส่งเสริมอุตสาหกรรมเทคโนโลยีพลังงานทดแทน และสนับสนุนพัฒนาต้นแบบเทคโนโลยีพลังงานทดแทนใหม่ๆ ให้ความสำคัญคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์เพิ่มสูงขึ้น รวมถึงส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีใหม่ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ และพัฒนาต้นแบบ Green City และนำไปสู่การสร้างความเข้มแข็งให้กับการผลิตพลังงานทดแทนระดับชุมชน โดยมีเป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทน 15,579 ktoe หรือคิดเป็นร้อยละ 19.1 ของการใช้พลังงานทั้งหมด

(3) ระยะยาว (พ.ศ. 2560 – 2565) ส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานทดแทนใหม่ๆ ที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ รวมถึงการขยายผล Green City และพลังงานชุมชน และสนับสนุนให้ประเทศไทยเป็นศูนย์ส่งออกเชื้อเพลิงชีวภาพ และการส่งออกเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในภูมิภาคอาเซียน โดยมีเป้าหมาย

การพลังงานทดแทน 19,799 ktoe หรือคิดเป็นร้อยละ 20.3 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.2 เป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทนระยะกลาง (พ.ศ. 2555 – 2559)

ประเภทพลังงาน	ไฟฟ้า		ความร้อน (ktoe)	เชื้อเพลิงชีวภาพ และ NGV		รวม (ktoe)
	MW	ktoe			ktoe	
แสงอาทิตย์	95	11	17.5	-	-	28.5
พลังงานลม	375	42	-	-	-	42
ไฟฟ้าพลังงานน้ำ	281	73	-	-	-	73
ชีวมวล	3,220	1,682	5,000	-	-	6,682
ก๊าซชีวภาพ	90	40	540	-	-	580
พลังงานขยะ	130	58	24	-	-	82
เอทานอล (ล้านลิตร/วัน)	-	-	-	6.2	1,686	1,686
ไบโอดีเซล (ล้านลิตร/วัน)	-	-	-	3.6	1,145	1,145
NGV (ล้านลูกบาศก์ฟุต/วัน)	-	-	-	596	5,260	5,260
รวม	4,191	1,907	5,582	-	8,091	15,579

(ที่มา: www.eppo.go.th)

ตารางที่ 1.3 เป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทนระยะยาว (พ.ศ. 2560 – 2565)

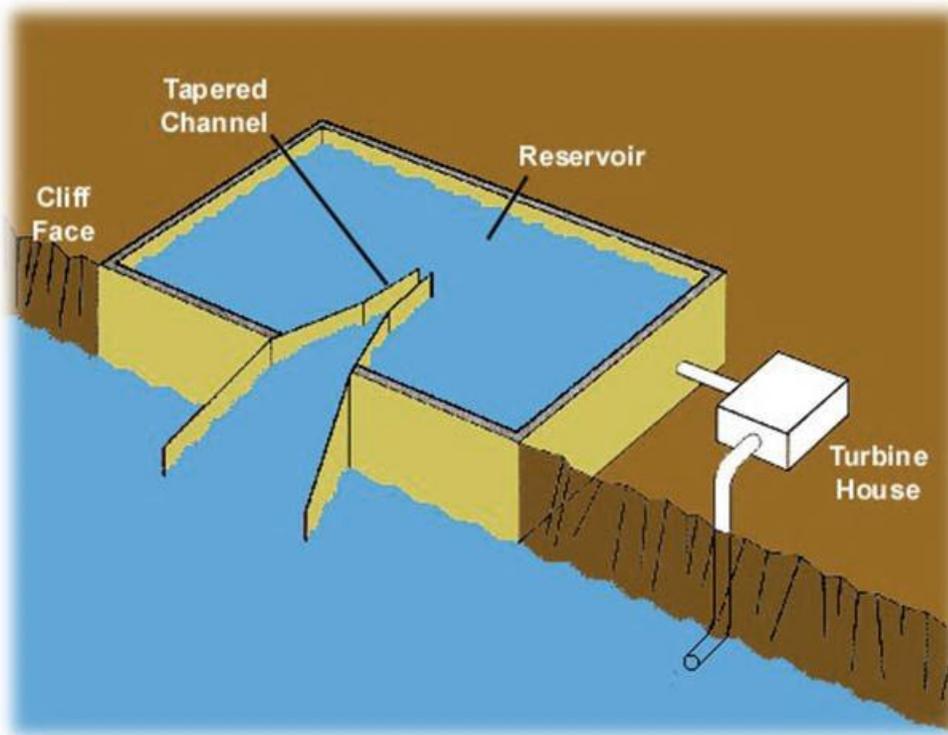
ประเภทพลังงาน	ไฟฟ้า		ความร้อน (ktoe)	เชื้อเพลิงชีวภาพ และ NGV		รวม (ktoe)
	MW	ktoe			Ktoe	
แสงอาทิตย์	500	56	38	-	-	94
พลังงานลม	800	89	-	-	-	89
ไฟฟ้าพลังงานน้ำ	324	85	-	-	-	85
ชีวมวล	3,700	1,933	6,760	-	-	8,693
ก๊าซชีวภาพ	120	54	600	-	-	854
พลังงานขยะ	160	72	35	-	-	107
เอทานอล (ล้านลิตร/วัน)	-	-	-	9.00	2,447	2,447
ไบโอดีเซล (ล้านลิตร/วัน)	-	-	-	4.50	1,415	1,415
NGV (ล้านลูกบาศก์ฟุต/วัน)	-	-	-	690	6,090	6,090
รวม	5,608	2,290	7,433	-	10,076	19,799

(ที่มา: www.eppo.go.th)

จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี จะเห็นได้ว่าการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนเข้ามามีบทบาทสำคัญเพื่อการคิดค้น วิจัยพลังงานทางเลือกใหม่ในการนำมาใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยมีแนวชายฝั่งทะเลทอดยาวถึง 2 ฝั่ง ไม่ว่าจะเป็นทะเลอ่าวไทยหรือทะเลอันดามัน ดังนั้นพลังงานคลื่นจากทะเล (Sea Wave Energy) ซึ่งเป็นพลังงานจากธรรมชาติรูปแบบหนึ่งที่จะควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ พลังงานคลื่นที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จำนวนมหาศาลเพียงแต่มีขนาดช่วงกว้างของคลื่นเล็กและไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับแรงลมที่พัดผ่าน ฉะนั้นในการจะนำพลังงานคลื่นมาใช้จึงต้องอาศัยพื้นที่ที่กว้างใหญ่มาก นั่นหมายถึงจำนวนเงินที่นำมาลงทุนต้องมากมายมหาศาลเช่นกัน โดยประเทศที่ริเริ่มการนำพลังงานจากคลื่นมาใช้ได้แก่ประเทศญี่ปุ่นและประเทศอังกฤษในการนำพลังงานจากคลื่นมาใช้มีอยู่ 2 ประเภทได้แก่ แบบอยู่กับที่ (Fixed) และแบบลอย (Floating) อุปกรณ์ผลิตพลังงานจากคลื่นแบบอยู่กับที่ (Fixed Generating Devices) มีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ แบบ Oscillating Water Column และแบบ TAPCHAN ดังรูปที่ 1.2-1.3 ซึ่งสามารถติดตั้งได้ทั้งบริเวณชายฝั่งและแหลมที่ยื่นออกไปในทะเล



รูปที่ 1.2 เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นแบบ Oscillating Water Column  
(ที่มา: [http://www.npcse.co.th/npc\\_date/npc\\_previews.asp?id\\_head=11&id\\_sub=36&id=681](http://www.npcse.co.th/npc_date/npc_previews.asp?id_head=11&id_sub=36&id=681))



รูปที่ 1.3 เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นแบบ TAPCHAN  
(ที่มา: [http://www.npcse.co.th/npc\\_date/npc\\_previews.asp?id\\_head=11&id\\_sub=36&id=681](http://www.npcse.co.th/npc_date/npc_previews.asp?id_head=11&id_sub=36&id=681))

พลังงานจากคลื่น (Wave energy) ด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัยใหม่และอาจจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดก็ได้ เนื่องจากสามารถกักจับพลังงานจากคลื่นได้จากทุกที่บนโลก เครื่องมือนี้ถูกออกแบบให้เป็นแนวท่อต่อกันยาว 450 ฟุต ซึ่งแต่ละท่อจะถูกเชื่อมโดยข้อต่อขนาดใหญ่ แล้วนำไปลอยไว้กลางมหาสมุทร เครื่องอัดระบบไฮดรอลิกภายในข้อต่อจะต้านทุกๆ การเคลื่อนไหวของคลื่น การเคลื่อนไหวแบบนี้จะสูบน้ำมันที่มีความดันสูงผ่านมอเตอร์ไฮดรอลิก ซึ่งจะผลิตพลังงานให้กับเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า สายส่งกระแสไฟฟ้ายังทำหน้าที่ยึดให้หุ่นเหล่านี้ติดไว้กับพื้นมหาสมุทรด้วย โดยที่บริษัท Ocean Power Delivery ในประเทศสกอตแลนด์ที่ประสบความสำเร็จในการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังคลื่นที่ผลิตไฟฟ้าได้ถึง 2.5 เมกกะวัตต์ ในชายฝั่งประเทศโปรตุเกส ฟาร์มดักพลังงานคลื่นซึ่งใช้พื้นที่เพียงครึ่งตารางไมล์นี้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถึง 30 เมกกะวัตต์ หรือสามารถให้พลังงานกับครอบครัวชาวอังกฤษได้ถึงสองหมื่นครัวเรือนหากมีฟาร์มดักพลังงานคลื่นเช่นนี้ 472 ตารางไมล์ จะสามารถให้พลังงานเพียงพอสำหรับ 24.5 ล้านครัวเรือนทั่วประเทศอังกฤษ

ในปี ค.ศ. 1967 ประเทศฝรั่งเศสได้ผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ โดยประสบความสำเร็จในการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยอาศัยพลังกระแสน้ำขึ้น-น้ำลงโดยมีอ่างเก็บน้ำ เครื่องกังหัน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดตั้งอยู่กับเขื่อนขนาดยักษ์เมื่อน้ำขึ้น น้ำจากมหาสมุทรก็จะไหลเข้าไปในอ่างเก็บน้ำจนเต็ม เมื่อกระแสน้ำขึ้นถึงขีดสูงสุดประตูระบายน้ำจะถูกปิดเพื่อเก็บกักน้ำเอาไว้และจะไม่มีการระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ

จนกว่าจะหมดสถานะน้ำขึ้นเสียก่อน เมื่อระดับน้ำในมหาสมุทรลดลง ประตุน้ำของอ่างเก็บน้ำจะ ถูกเปิด น้ำจะไหลจากพื้นที่สูงลงไปสู่ที่ต่ำ ทำให้เกิดพลังน้ำเหมือนกับพลังน้ำจากน้ำตกต่างระดับหลายชั้น กระแสน้ำที่ไหลออกไปจะไปหมุนเครื่องกังหันเครื่องกังหันก็จะไปเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งก็จะผลิต กระแสไฟฟ้าออกมา

แต่ประเทศไทยเมื่อสำรวจพลังงานคลื่นส่วนใหญ่เป็นการเก็บเกี่ยวเอาพลังงานที่ลมถ่ายทอด ให้กับผิวน้ำในมหาสมุทรเกิดเป็นคลื่นวิ่งเข้าสู่ชายฝั่งและเกาะแก่งต่างๆ เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นจะ ถูกออกแบบให้ลอยตัวอยู่บนผิวน้ำบริเวณหน้าอ่าวด้านที่หันเข้าหาคลื่น การใช้คลื่นเพื่อผลิตไฟฟ้าขึ้นถ้าจะ ให้ได้ผลจะต้องอยู่ในโซนที่มียอดคลื่นเฉลี่ยอยู่ที่ 8 m ซึ่งบริเวณนั้นต้องมีแรงลมด้วย แต่จากการวัดความ สูงของยอดคลื่นสูงสุดในประเทศไทยที่จังหวัดระนองพบว่ายอดคลื่นสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 4 m เท่านั้น แต่ ปรากฏการณ์น้ำขึ้น-น้ำลงได้อย่างเต็มที่เมื่อถึงเวลานั้นเราอาจสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอกับ ความต้องการที่เพิ่มขึ้นอย่างไม่หยุดยั้งของโลกเราได้ภายใต้เทคโนโลยีในปัจจุบัน พิสัยน้ำขึ้น-น้ำลงที่มี ศักยภาพในการผลิตกระแสควรมากกว่า 5 m ถึงจะคุ้มค่ากับการลงทุนประเทศไทยมีศักยภาพทางด้าน นี้ต่ำมากโดยมีพิสัยน้ำขึ้น-น้ำลงสูงสุดที่ปากน้ำระนองเพียง 2.5 m เท่านั้น

จากสถานการณ์พลังงานในประเทศไทย แผนการจัดหาพลังงาน การพัฒนาเทคโนโลยีพลังงาน ทดแทนโดยคนไทย และความเป็นไปได้ด้านศักยภาพทางด้านพลังงานคลื่นของประเทศไทย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อทำการออกแบบสร้าง และทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้ พลังงานคลื่นเป็นต้นกำลัง เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาระบบพลังงานทดแทนภายในประเทศ และ เป็นการนำทรัพยากรที่มีอยู่ในประเทศมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นจากทะเลขนาดเล็กที่มีความเหมาะสมกับ ศักยภาพของคลื่นตามแนวชายฝั่งทะเลบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย
- 1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นในทะเลขนาดเล็กภายใต้ ศักยภาพของคลื่นในทะเลตามแนวชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศไทย

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ผลการศึกษาสามารถตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับชาติได้
- 1.3.2 ผลการศึกษาวิจัยสามารถนำเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติและระดับชาติได้
- 1.3.3 หน่วยงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 คลื่น (Wave)

คลื่น คือ ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่รูปแบบหนึ่ง เป็นการแผ่กระจายพลังงานที่เป็นผลมาจากการรบกวนแหล่งกำเนิด คลื่นสามารถจำแนกตามลักษณะต่างๆ ได้ดังนี้

##### 2.1.1 จำแนกตามลักษณะการอาศัยตัวกลาง

1) คลื่นกล (mechanical wave) เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยอาศัยตัวกลางซึ่งอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซก็ได้ ตัวอย่างของคลื่นกลได้แก่ คลื่นเสียง คลื่นที่ผิวน้ำ คลื่นในเส้นเชือก เป็นต้น

2) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยไม่อาศัยตัวกลาง สามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้ เช่น คลื่นแสง คลื่นวิทยุและโทรทัศน์ คลื่นไมโครเวฟ รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นต้น

##### 2.1.2 จำแนกตามลักษณะการเคลื่อนที่

1) คลื่นตามขวาง (transverse wave) เป็นคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ในทิศตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น ตัวอย่างของคลื่นตามขวางได้แก่ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2) คลื่นตามยาว (longitudinal wave) เป็นคลื่นที่อนุภาคของตัวกลางเคลื่อนที่ไปมาในแนวเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น ตัวอย่างของคลื่นตามยาวได้แก่ คลื่นเสียง

##### 2.1.3 จำแนกตามลักษณะการเกิดคลื่น

1) คลื่นดล (pulse wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดถูกรบกวนเพียงครั้งเดียว

2) คลื่นต่อเนื่อง (continuous wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดถูกรบกวนเป็นจังหวะต่อเนื่อง

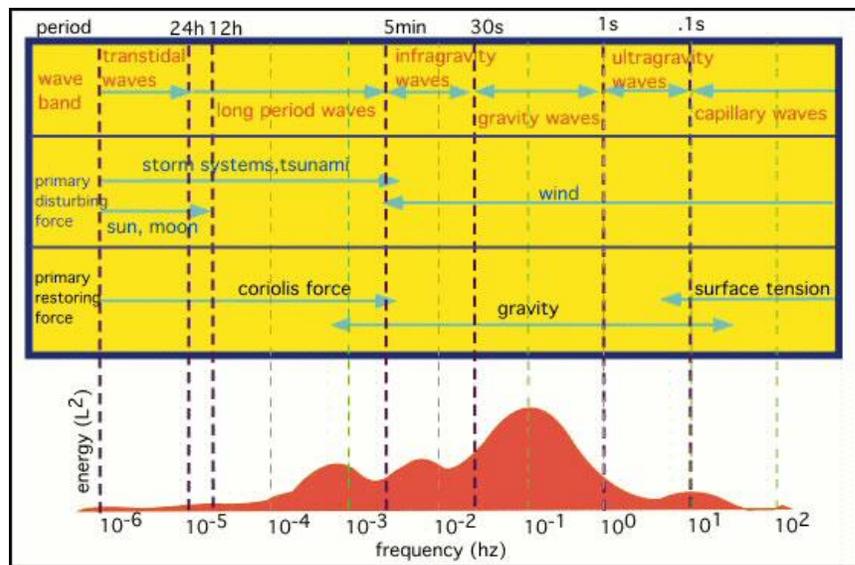
#### 2.2 คลื่นมหาสมุทร (Ocean Wave)

คลื่นมหาสมุทรเป็นคลื่นที่มีการเคลื่อนที่ของพลังงานผ่านตัวกลางโดยที่ตัวกลางมีการขจัด (การเคลื่อนที่สุทธิ) เป็นศูนย์ คลื่นเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของตัวกลาง 2 ชนิด คือผิวน้ำทะเลกับบรรยากาศ หรือบางครั้งเกิดคลื่นในตัวกลางชนิดเดียวแต่ความหนาแน่นต่างกัน คลื่นบนผิวน้ำทะเลเป็นคลื่นแรงดึงดูด (gravity wave) กล่าวคือใช้แรงดึงดูดของโลกเป็นตัวการทำให้คลื่นสงบ คลื่นบนผิวน้ำทะเลอีกชนิดเป็นคลื่นพลังเล็กๆ เรียกว่า คลื่นแรงตึงผิว (capillary wave) คลื่นนี้จะใช้แรงตึงผิวของน้ำทำให้ผิวน้ำสงบเมื่อปราศจากลมพัด คลื่นผิวน้ำจัดเป็นคลื่นตามขวางโดยคลื่นและพลังงานคลื่นเคลื่อนที่ในแนวราบในขณะที่ผิวน้ำขยับขึ้นลงในแนวตั้งคลื่นในทะเลส่วนใหญ่เป็นคลื่นก้าวหน้า (progressive wave) กล่าวคือมีสันคลื่นและท้องคลื่นเคลื่อนที่ผ่านจุดอ้างอิงใดๆ จุดหนึ่งในทะเลสลับกันไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อใดที่คลื่นวิ่ง

กระทบขอบฝั่งจะเกิดการสะท้อนกลับ คลื่นที่วิ่งเข้ามาจะผสมกับคลื่นที่สะท้อนออกไปเกิดเป็นคลื่นนิ่ง (standing wave) ชนิดของคลื่นและสาเหตุในการเกิดคลื่นมีดังนี้

1) Ripple, Wind wave, และ Swell เกิดจากลมตรงรอยต่อระหว่างบรรยากาศกับผิวน้ำ เป็นคลื่นคาบสั้นคือมีคาบเป็นวินาที ripple จะเป็นคลื่นพริ้วขนาดเล็กๆ บนผิวน้ำเกิดจากลมในพื้นที่ wind wave คือคลื่นจากลมโดยทั่วไปมีคาบและความสูงคลื่นมากกว่า ripple ส่วน swell คือคลื่นเนื่องจากลมที่เคลื่อนตัวมาจากทะเลไกล จะมีคาบและความสูงคงที่ ในช่วงที่ชายฝั่งสงบลมเราจะเห็นคลื่น swell ที่เข้ากระทบชายฝั่งได้อย่างชัดเจนขึ้น

2) คลื่นภายใน (Internal Wave) คือคลื่นระหว่างชั้นน้ำ เกิดจากน้ำมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน เช่นชั้นน้ำจืดลอยอยู่เหนือชั้นน้ำทะเลทำให้ความเร็วกระแสน้ำไม่เท่ากัน หรือมีสิ่งรบกวนระหว่างชั้นรอยต่อของน้ำ เช่น เรือแล่น เป็นต้น



รูปที่ 2.1 ประเภทของคลื่นแยกตามความถี่ของคลื่น

ที่มา: [http://www.salemstate.edu/~lhanson/gls214/gls214\\_waves.html](http://www.salemstate.edu/~lhanson/gls214/gls214_waves.html)

3) สึนามิ (Tsunami) เกิดจากแผ่นดินไหวหรือแผ่นดินถล่มใต้น้ำ ทำให้น้ำเกิดการกระเพื่อมอย่างรุนแรงคลื่นสึนามิเป็นคลื่นคาบยาวที่เคลื่อนที่จากฟากมหาสมุทรหนึ่งไปยังฟากตรงข้ามได้อย่างรวดเร็ว โชคดีที่ประเทศไทยไม่อยู่ในแนวทางการเคลื่อนตัวของคลื่นสึนามิ

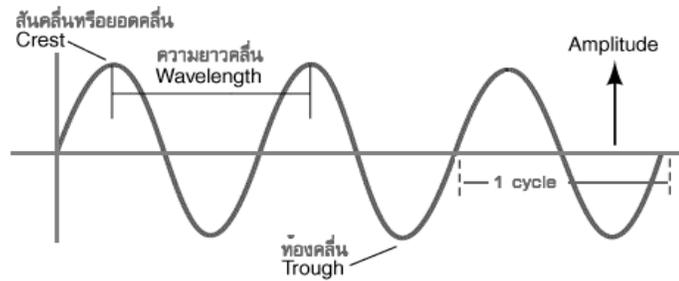
4) คลื่นแรงดึงดูด (Gravity Wave) คือคลื่นมีคาบยาวเป็นชั่วโมงและได้รับอิทธิพลจากแรงโคริโอลิสเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น แรงเฉือนจากลม การเปลี่ยนความกดอากาศ เป็นต้น

5) Rossby หรือ Planetary Wave เป็นคลื่นคาบยาวเป็นวันและคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ สังเกตจากความเร็วและทิศทางการแปรเปลี่ยนแปรเปลี่ยน เกิดจากแรงเฉือนจากลมเปลี่ยนแปลง หรือความไม่เสถียรของคอลัมน์น้ำแบบ Baroclinic (ความหนาแน่นน้ำเปลี่ยนแปลงตามความลึก) หรือ Barotropic (ความหนาแน่นน้ำคงที่) เป็นต้น

6) น้ำขึ้นน้ำลง (Tide) เป็นคลื่นผิวน้ำชนิดหนึ่งที่เกิดจากแรงดึงดูดของดวงจันทร์และดวงอาทิตย์

### 2.3 องค์ประกอบของคลื่น

- 1) สันคลื่น (Crest) คือ ตำแหน่งสูงสุดของคลื่นมีระยะกระจัดมากที่สุดในทางบวก และมีเฟสตรงกัน
- 2) ท้องคลื่น (Trough) คือ ตำแหน่งสูงสุดของคลื่นมีระยะกระจัดมากที่สุดในทางลบ และมีเฟสตรงกัน



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของคลื่นผิวน้ำ

ที่มา: <http://www.pm.ac.th/wave/wave.html>

3) ความยาวคลื่น (Wave length;  $\lambda$ ) หมายถึง ความยาวของคลื่น 1 คลื่น เป็นระยะทางที่วัดระหว่างจุดสองจุดที่สันที่ติดกันที่เฟสตรงกัน ในระบบ SI มีหน่วยเป็น m (m)

4) ความถี่ (Frequency;  $f$ ) หมายถึง จำนวนคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านจุดใดๆ ในหนึ่งหน่วยเวลาในระบบ SI มีหน่วยเป็น วินาที<sup>-1</sup> ( $s^{-1}$ ) หรือ เฮิรตซ์ (Hz)

5) คาบการเคลื่อนที่ (Period;  $T$ ) หมายถึง เวลาที่คลื่น 1 คลื่น เคลื่อนที่ผ่านจุดใดๆ ในระบบ SI มีหน่วยเป็นวินาที (s)

6) อัตราเร็วของคลื่น (Speed;  $v$ ) หมายถึง ระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลาและเนื่องจากขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ไปด้วย อัตราเร็วค่าหนึ่ง เฟสของคลื่นก็เคลื่อนที่ไปด้วยอัตราเร็วเท่ากัน ดังนั้นในบางครั้งจึงเรียกว่า อัตราเร็วเฟส (phase speed) ของคลื่นในระบบ SI มีหน่วยเป็น m ต่อวินาที ( $ms^{-1}$ ) สามารถคำนวณได้จาก

$$v = f\lambda \tag{2.1}$$

และ

$$v = \frac{\lambda}{T} \tag{2.2}$$

เมื่อ	$v$	คือ	อัตราเร็วคลื่น
	$\lambda$	คือ	ความยาวคลื่น
	$f$	คือ	ความถี่ของคลื่น

$T$  คือ คาบของคลื่น

7) มุมเฟส (phase angle;  $\phi$ ) หมายถึง มุมที่ใช้กำหนดตำแหน่งบนคลื่นขณะที่เคลื่อนที่ โดยมี ความสัมพันธ์กับการกระจัดของการเคลื่อนที่ของคลื่น ในระบบ SI มีหน่วยเป็นเรเดียน (radian; rad)

8) แอมพลิจูด (amplitude;  $A$ ) หมายถึง การกระจัดสูงสุดของการสั่นของอนุภาคจากระดับปกติ ค่าของแอมพลิจูดจะบอกค่าพลังงานของคลื่นโดยพลังงานจะแปรโดยตรงกับแอมพลิจูด ในระบบ SI มี หน่วยเป็น m

การเคลื่อนที่ผ่านของคลื่นทำให้ระดับน้ำกระเพื่อมขึ้นลง ( $y$ ) ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับระยะทาง ( $x$ ) ณ เวลาใดเวลาหนึ่งหรือเป็นฟังก์ชันกับเวลา ( $t$ ) ณ ตำแหน่งที่คงที่แห่งหนึ่ง ถ้าสมมุติให้คลื่นมีการกระเพื่อม แบบไซน์ฟังก์ชัน สมการการเคลื่อนที่ของคลื่นจะเป็นแบบฮาร์โมนิก คือ

$$y = A \sin \frac{2\pi}{\lambda}(x - vt) \tag{2.3}$$

ถ้าเราตั้งสมมุติฐานให้ง่ายต่อการคำนวณ ความเร็วของคลื่นที่มีแอมพลิจูดเล็กก็จะสัมพันธ์กับ ความยาวคลื่นและความลึกของน้ำ ( $d$ ) ตามสมการ เมื่อ  $g$  คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right)} \tag{2.4}$$

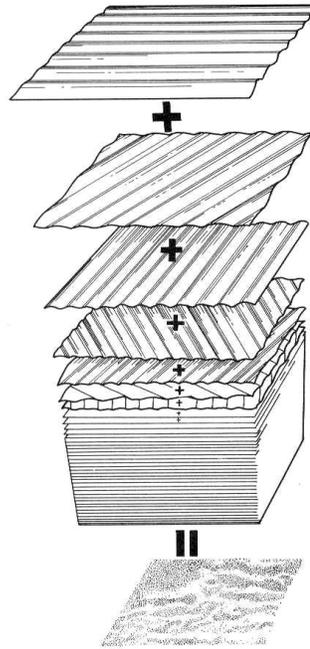
เมื่อ  $\tanh(x) = (e^x - e^{-x})/(e^x + e^{-x})$  ถ้า  $x$  มีค่าน้อย  $\tanh(x)$  จะมีค่าใกล้เคียงกับ  $x$  และถ้า  $x$  มี ค่ามากกว่า  $\tanh(x)$  มีค่าใกล้ 1 ดังนั้นจึงสามารถประมาณความเร็วของคลื่นใน 2 ลักษณะคือคลื่นน้ำลึก หรือคลื่นสั้น และคลื่นน้ำตื้นหรือคลื่นยาวตามตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าความเร็วของคลื่นจะขึ้นอยู่กับตัว พารามิเตอร์เพียงตัวเดียว คือในกรณีที่เป็นคลื่นน้ำลึก (คลื่นสั้น) หรือ  $d$  ในกรณีที่เป็นคลื่นน้ำตื้น (คลื่น ยาว) ความเร็วของคลื่นที่จัดอยู่ระหว่างคลื่นน้ำลึกและคลื่นน้ำตื้นจะต้องคำนวณโดยใช้สมการ (4) เต็ม รูปแบบ

ตารางที่ 2.1 ความเร็วของคลื่นน้ำลึกและคลื่นน้ำตื้น

	คลื่นน้ำลึกหรือคลื่นสั้น	คลื่นน้ำตื้นหรือคลื่นยาว
อัตราส่วน $d/L$	$> 1/2$	$< 1/20$
ความเร็วคลื่นจากสมการ	$\sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$	$\sqrt{gd}$

สำหรับน้ำลึก เมื่อแทนที่  $v$  ด้วย  $\lambda/T$  จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\lambda$  และ  $T$  ดังนี้

$$\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2 \tag{2.5}$$



รูปที่ 2.3 คลื่นที่เห็นบนผิวน้ำเกิดจากการซ้อนทับกันขององค์ประกอบคลื่นหลายขนาด เคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ กัน

ที่มา: [http://www.most.go.th/tsunami/attachments/048\\_wave.pdf](http://www.most.go.th/tsunami/attachments/048_wave.pdf)

คลื่นเมื่อก่อตัวขึ้นครั้งแรกจะเป็นคลื่นน้ำลึก กระบวนการในการเกิดคลื่นนั้นมีอยู่หลายทฤษฎีและยังไม่รู้กันอย่างชัดเจน แต่เกี่ยวข้องกับการแกว่งตัวของแผ่นดินเมื่อปะทะกับคลื่นผิวน้ำและส่งผ่านพลังงานจากบรรยากาศสู่มหาสมุทร จากการศึกษาโดยการสังเกตพบว่า ถ้าลมที่มีความเร็วสม่ำเสมอ พัดผ่านผิวน้ำอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหนึ่ง ตามระยะทางของผิวน้ำ (fetch) ที่พอเพียงจะทำให้เกิดรูปแบบของคลื่นลักษณะหนึ่งซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วลม

คลื่นในทะเลมีความซับซ้อนเนื่องจากเกิดจากการผสมผสานของคลื่นจากลมที่พัดด้วยความเร็วและทิศทางต่างๆ กัน แสดงดังรูปที่ 2.3 จึงไม่สามารถวิเคราะห์คลื่นด้วยตาเปล่าได้ ต้องใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์เรียกว่า harmonic หรือ spectral analysis ซึ่งคิดค้นโดย J. B. Fourier (1768-1830) Fourier analysis แยกข้อมูลต่อเนื่องออกเป็นผลรวมขององค์ประกอบของคลื่นไซน์ย่อยๆ ที่มีความถี่และแอมพลิจูดต่างๆ กัน

## 2.4 พลังงานของคลื่น

ค่าพลังงานของคลื่นที่มีความยาวคลื่น  $\lambda$  ซึ่งเป็นผลมาจากผลการรวมตัวของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของคลื่น สามารถหาได้จาก

$$E = \frac{\rho g H^2 \lambda}{8} \quad (2.6)$$

- เมื่อ  $E$  คือ พลังงานของคลื่น (J/m)  
 $\rho$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $H$  คือ ระยะความสูงจากท้องคลื่นถึงสันคลื่น (m) หรือเท่ากับ  $2A$

จากสมการที่ (2.5) แทนค่าลงในสมการที่ (2.6) พลังงานของคลื่นจะได้เป็น

$$E = \frac{1}{16\pi} \rho g^2 H_s^2 T^2 \quad (2.7)$$

- เมื่อ  $H_s$  คือ ความสูงของคลื่นทะเลเฉลี่ย (m)

การบอกความสูงของคลื่นนั้นใช้ค่าความสูงของคลื่นทะเลเฉลี่ย (significant wave height) โดยเมื่อเอาข้อมูลความสูงคลื่นมาเรียงลำดับ จากน้อยไปหามาก นำความสูงคลื่นด้านยอดสูงจำนวน 1/3 ของยอดคลื่นทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย จะได้ความสูงคลื่นที่เรียกว่า ความสูงของคลื่นทะเลเฉลี่ย นักสมุทรศาสตร์ จะใช้ความสูงของคลื่นทะเลเฉลี่ยพูดถึงความสูงของคลื่นพลังงานของคลื่นสัมพันธ์กับความสูงคลื่น เมื่อความเร็วลมเพิ่มความสูงคลื่น (และพลังงาน) ก็จะเพิ่มขึ้น และคาบเวลาที่มีพลังงานสูงสุดก็จะเพิ่มขึ้นด้วยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับสภาพท้องทะเลแสดงไว้ในตาราง Beaufort scale เมื่อทราบ Beaufort scale เราก็จะสามารถประมาณความเร็วลมและประมาณสภาพคลื่นที่พัฒนาได้เต็มที่แล้วที่พื้นที่บริเวณนั้น (ระยะเวลาที่ลมพัดและระยะทางของผิวน้ำเพียงพอ) เช่น Beaufort scale ระดับ 5 ต้องมีลมพัด 10 ชั่วโมงได้ระยะทาง 100 km, Beaufort scale ระดับ 8 ต้องมีลมพัด 40 ชั่วโมงได้ระยะทาง 1,000 km

นอกจาก Beaufort scale แล้วยังมีการจัดสถานะของทะเล (State of the sea) ของ world meteorological organization – No. 306 (1971) ซึ่งกรมอุตุฯนิยมวิทยาใช้พยากรณ์คลื่นในทะเลดังตารางที่ 2.2

เมื่อคลื่นเกิดขึ้นมาแล้วจะเคลื่อนที่ออกจากจุดกำเนิด ความเร็วของคลื่นจะสัมพันธ์กับคาบคลื่น คลื่นยาวจะเคลื่อนที่ออกไปก่อนตามด้วยคลื่นสั้น ความเร็วกลุ่มของคลื่นในน้ำลึกจะเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วคลื่นแต่ละลูก ถ้าสังเกตคาบเวลาของคลื่นที่ผ่าน ณ ตำแหน่งคงที่ใดๆ อย่างต่อเนื่องก็จะสามารถคำนวณความเร็วกลุ่มและแหล่งกำเนิดของคลื่นได้ว่ามาจากที่ไหน คลื่นเมื่อเคลื่อนออกไปพลังงานต่อหน่วยระยะทางจะลดลงเพราะรัศมีการแผ่กระจายใหญ่ออกไปเรื่อยๆ ความสูงคลื่นจะลดลง คลื่นสั้นจะหายไปเนื่องจากแรงหนืดของน้ำ คลื่นที่ไม่เป็นระเบียบ ณ จุดกำเนิดก็จะเริ่มถูกจัดเรียงเป็นระเบียบ (ตามความเร็วคลื่น) เมื่อเคลื่อนที่ห่างออกไปจากจุดกำเนิดมากๆ จะเหลือแต่คลื่นยาวที่เรียกว่า swell ซึ่งมีคาบเวลาและความสูงคลื่นคงที่ swell สามารถเคลื่อนที่ข้ามมหาสมุทรได้

ตารางที่ 2.2 การจัดสถานะของทะเล

เลขรหัส	ลักษณะของทะเล	อักษรย่อ	ความสูงของคลื่น (m)
0	ทะเลสงบ (เรียบเหมือนกระจก-glassy) calm	-	0
1	ทะเลสงบ (คลื่นน้อยๆ - ripples) calm	ง, พ	0.0-0.1
2	ทะเลเรียบ (เป็นระลอกน้อยๆ -wavelets) smooth	ร	0.1-0.5
3	ทะเลมีคลื่นเล็กน้อย	คณ	0.5-1.25
4	ทะเลมีคลื่นปานกลาง	คป	1.25-2.5
5	ทะเลมีคลื่นจัด	คจ	2.5-4.0
6	ทะเลมีคลื่นจัดมาก	จม	4.0-6.0
7	ทะเลมีคลื่นใหญ่	คญ	6.0-9.0
8	ทะเลมีคลื่นใหญ่มาก	คญม	9.0-14.0
9	ทะเลมีคลื่นใหญ่และจัดมาก (ทะเลบ้า)	-	>14

## 2.5 การตรวจวัดคลื่นและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

การตรวจวัดคลื่นคือการวัดการกระเพื่อมของระดับน้ำทุกๆ วินาทีหรือถี่กว่านั้นเพื่อคำนวณหา คาบเวลา (ความถี่) และความสูงคลื่นนัยสำคัญ ความสูงคลื่นสูงสุด เครื่องมือวัดคลื่นมีการวิวัฒนาการตามกาลเวลา การตรวจวัดมีได้หลายวิธี อาทิเช่น

- วัดโดยสร้างทุ่นลอยไปทิ้งไว้ในทะเลที่ระยะ 200-1,000 m จากฝั่ง ติดตามการเคลื่อนขึ้นลงของทุ่นลอยโดยโยกคันโยกซึ่งจะเชื่อมต่อกับปากกาที่จะลากเส้นระดับน้ำไปบนกระดาษกราฟบันทึกคลื่นที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ โดยปกติจะตรวจวัดทุกต้นชั่วโมงเป็นเวลา 10 นาที เครื่องวัดระดับน้ำแบบนี้เรียกว่า stadia
- เครื่องมือวัดอยู่เหนือระดับน้ำ มันจะส่งสัญญาณเสียงไปยังผิวน้ำแล้วสะท้อนกลับมา เครื่องจะวัดระยะห่างระหว่างหัววัดกับระดับน้ำเบื้องล่าง ข้อมูลจะถูกบันทึกอยู่ในที่เก็บข้อมูลของคอมพิวเตอร์ เช่น ดิสเก็ต งานแม่เหล็กแข็งเครื่องมืออีกแบบมีสายลวดหย่อนลงไปถึงน้ำทะเล ตรวจวัดความนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามความยาวของลวดซึ่งจะต้องแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นความสูงคลื่นอีกทีหนึ่ง
- เครื่องวัดความกดของน้ำซึ่งต้องติดตั้งคงที่ไว้ที่ท้องน้ำหรือผูกติดไว้กับเสาหรือโครงสร้างใต้น้ำ ความกดของน้ำจะสัมพันธ์กับคลื่นที่เคลื่อนตัวอยู่เหนือน้ำ วิธีนี้จะได้เฉพาะเขตน้ำตื้น เพราะในเขตนน้ำลึกนั้นไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงความกดของน้ำเนื่องจากคลื่นที่ท้องน้ำได้ชัดเจนนัก

เครื่องมือที่กล่าวมาข้างต้นนี้ติดตั้งอยู่กับที่เพียงแห่งเดียว จึงให้ข้อมูลเฉพาะคาบเวลา และความสูงคลื่นเท่านั้นการจะหาความยาวคลื่นหรือทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่นต้องติดตั้งเครื่องมือไว้มากกว่า 1 จุด นอกจากนี้การตรวจวัดระยะไกลด้วยดาวเทียมโดยใช้ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ กัน (Radar

altimetry, Synthetic Aperture Radar; SAR) สามารถให้ข้อมูลได้เพิ่มเติม เช่น ความหนาแน่นของพลังงานคลื่น ความยาวคลื่น เป็นต้น

## 2.6 เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่น

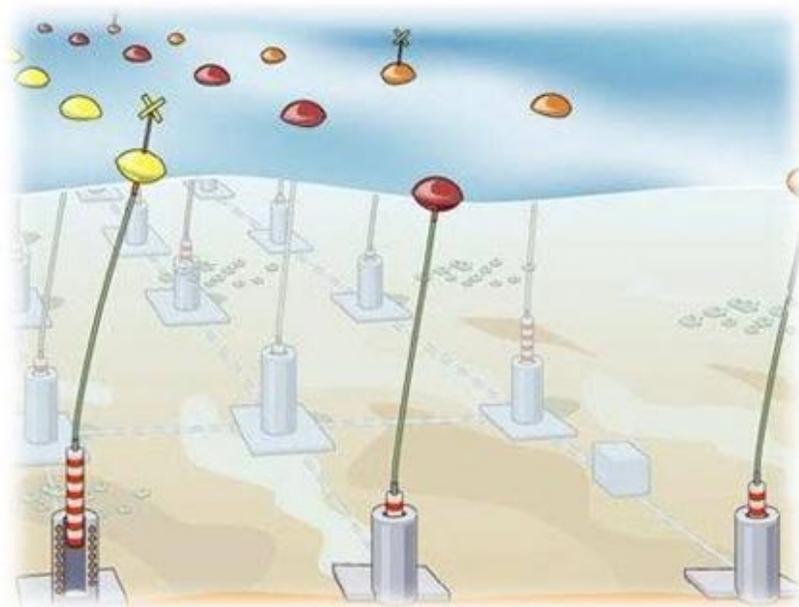
เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่น (Wave Energy Converters) เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ใช้เปลี่ยนพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานชนิดอื่น แต่โดยส่วนมากจะใช้เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพลังงานได้ต่อไปนี้

พลังจลน์หรือพลังงานคลื่น → พลังงานศักย์ (มีบางชนิด) → พลังงานกล → พลังงานไฟฟ้า

เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นที่แบ่งตามลักษณะการควบคุมในการทำงานมี 3 ชนิดได้แก่

### 2.6.1 แบบทุ่นลอยน้ำ (Buoys or Floats)

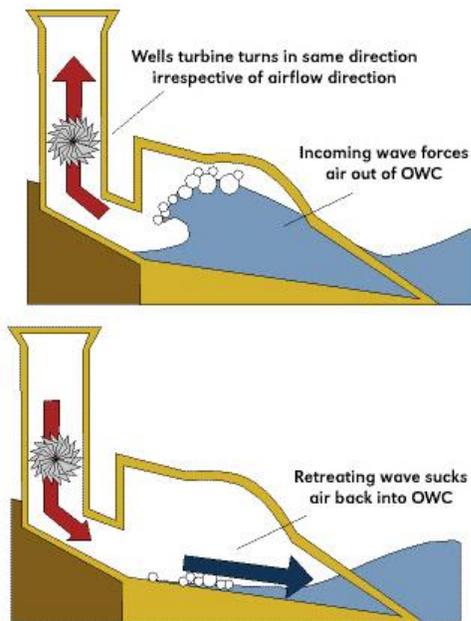
เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยน้ำได้พัฒนามาจากการเคลื่อนไหวของทุ่นตกปลาและการโคลงเคลงของเรือเนื่องจากคลื่นที่มากระทำ ลักษณะการทำงานของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยน้ำอาศัยหลักการทางกลศาสตร์อย่างง่ายคือ การเคลื่อนที่ขึ้นลงของทุ่นตามแรงคลื่นทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานผลิตไฟฟ้าออกมา เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยน้ำมีหลายรูปแบบแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยน้ำที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่พื้นฐาน  
ที่มา: <http://www.treehugger.com/files/2008/06/wave-energy-in-sweden-4-20homes.php>

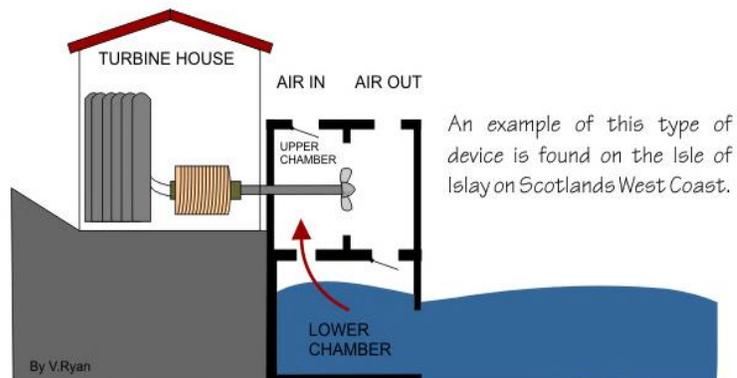
### 2.6.2 แบบคอลัมน์น้ำสั่น (Oscillating Water Columns, OWC)

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าไปในเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั่นซึ่งเป็นอุปกรณ์ตามแนวตั้งทำให้เกิดแรงอัดอากาศในแนวตั้ง ซึ่งแรงอัดนี้จะไปหมุนกังหันทำให้เกิดไฟฟ้าขึ้น เมื่อคลื่นลดระดับลงอากาศจะถูกดันให้ไหลกลับกังหันก็หมุนอีกรอบเพื่อลดแรงอัดใน เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั่นนี้หากทะเลบริเวณที่มีคลื่นที่สูง แรง และบ่อย ก็จะทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มาก ซึ่งอุปกรณ์นี้มักจะติดตั้งบริเวณที่เป็นแหลมที่ยื่นออกไปในทะเล และมีชายฝั่งเป็นแนวตั้ง แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.5 – 2.7



รูปที่ 2.5 เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั่นแบบปิด

ที่มา: <http://earthsci.org/mineral/energy/wavpwr/wavepwr.html>



รูปที่ 2.6 เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั่นแบบเปิด

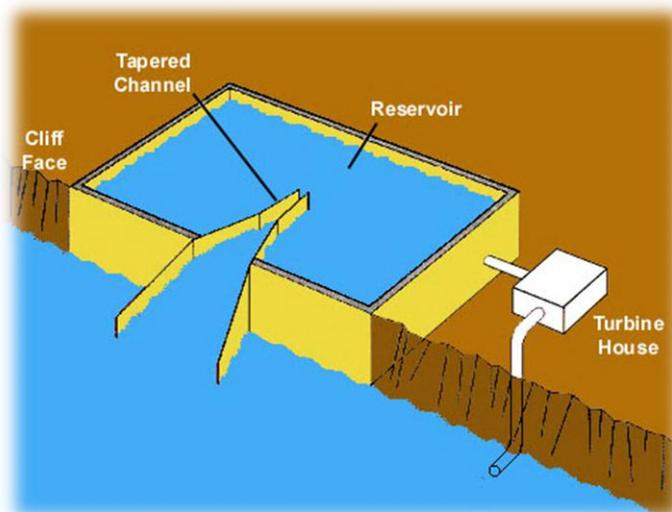
ที่มา: [http://celebrating200years.noaa.gov/magazine/wave\\_energy/water\\_column.html](http://celebrating200years.noaa.gov/magazine/wave_energy/water_column.html)



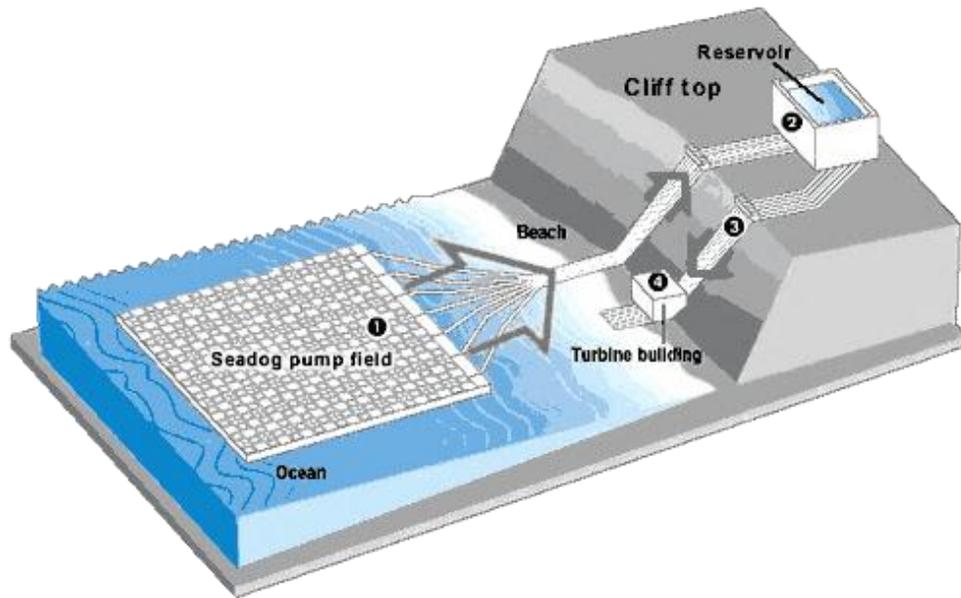
รูปที่ 2.7 เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้นที่ได้ติดตั้งจริง  
ที่มา: <http://www.arab-eng.org/vb/t187123.html>

### 2.6.3 แบบศูนย์รวมน้ำ (Focusing Devices or Wave Surge)

เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบศูนย์รวมน้ำนี้มีลักษณะการทำงานคล้ายกับเขื่อนเก็บน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า พลังงานคลื่นทำให้แรงดันเกิดขึ้นเพื่อผลักดันน้ำไปเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำ แล้วปล่อยน้ำกลับมาโดยให้ไหลผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น มักจะติดตั้งบริเวณหน้าผา บริเวณช่องแคบจะเป็นสาเหตุให้ยอดคลื่นสูงมากขึ้น เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบศูนย์รวมน้ำหรือเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบ TAPCHAN นี้คือต้องการการบำรุงรักษาบ่อย แต่ต้องติดตั้งบริเวณหน้าผาที่มีความสูงของคลื่นคงที่เพื่อให้ได้พลังงานจากคลื่นที่สูงแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบแบบศูนย์รวมน้ำแบบช่องน้ำกว้าง  
ที่มา: <http://www.rise.org.au/info/Tech/wave/index.html>



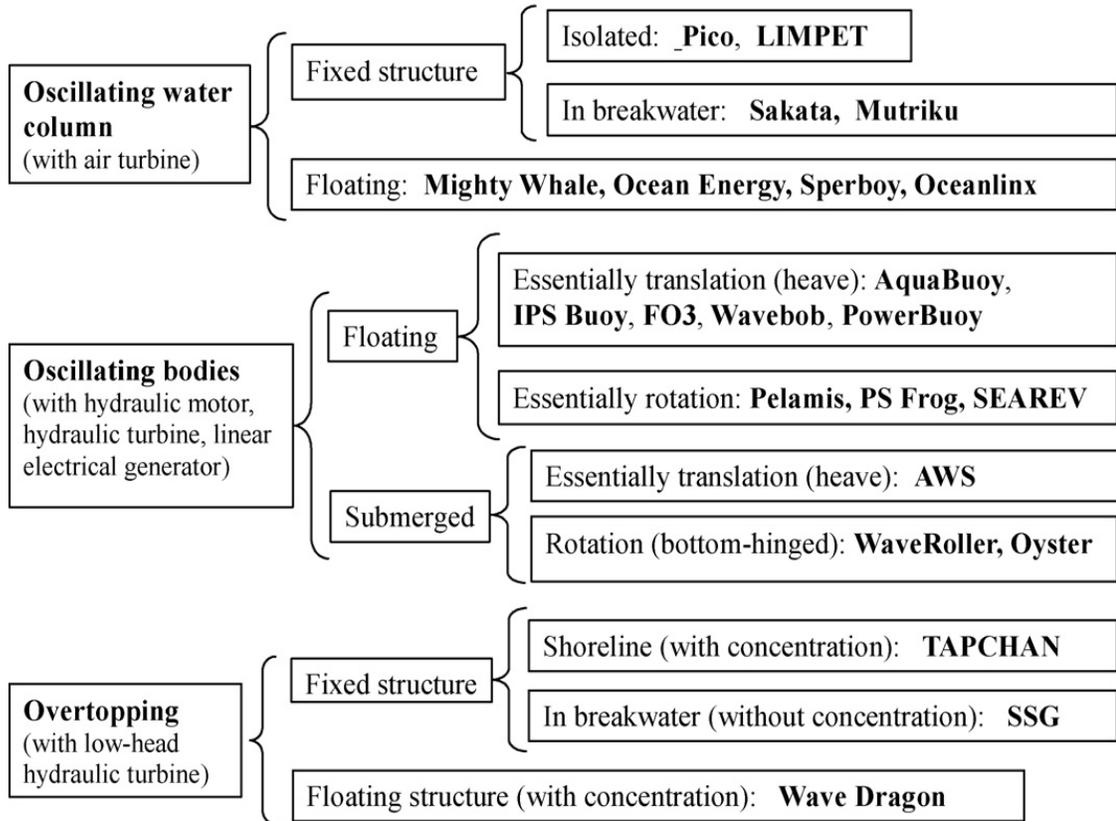
รูปที่ 2.9 เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบแบบศูนย์รวมน้ำช่องน้ำแคบ  
ที่มา: <http://www.mindfully.org/Energy/2004/Wave-Power-Trinidad4aug04.htm>

เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากคลื่นในทะเลมีหลายๆ เทคโนโลยีด้วยกัน ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีเกิดขึ้นจากวิธีการที่จะนำพลังงานจากคลื่นในทะเลมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบที่ต่างกัันนั่นเอง นอกจากนั้นยังมีลักษณะที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความลึกของระดับน้ำทะเลในแต่ละตำแหน่งแต่ละพื้นที่ เช่น ตามแนวชายฝั่ง ใกล้ชายฝั่งและนอกชายฝั่ง นอกจากนี้ยังได้มีความพยายามที่จะจำแนกระบบพลังงานจากคลื่นในทะเลออกเป็นชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับตำแหน่ง หลักการทำงานและขนาด เช่น แบบจุดหรือแบบขนาดใหญ่ โดยมีตัวดูดคลื่น (absorber) พลังงานจากคลื่นเป็นอุปกรณ์หลักของระบบการจำแนกเทคโนโลยีพลังงานจากคลื่นในทะเลแสดงดังรูปที่ 2.10

โดยสามารถจำแนกออกเป็น

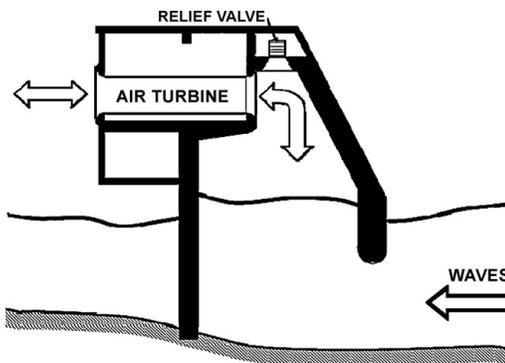
1. คอลัมน์น้ำแบบสั่น (Oscillating Water Column: OWC) ซึ่งสามารถจำแนกย่อยออกเป็น
  - 1.1 คอลัมน์น้ำแบบสั่นที่มีโครงสร้างแบบตรึง (fixed-structure OWC) แสดงดังรูปที่ 2.11
  - 1.2 คอลัมน์น้ำแบบสั่นที่มีโครงสร้างแบบลอย (floating-structure OWC) แสดงดังรูปที่ 2.12
2. ระบบตัวสั่น (oscillating body systems)
  - 2.1 ท่อนเดี่ยว (single-body heaving buoys) แสดงดังรูปที่ 2.13
  - 2.2 ระบบท่อนคู่ (two-body heaving system) แสดงดังรูปที่ 2.14
  - 2.3 ระบบใต้น้ำแบบเต็มรูปแบบ (fully submerged heaving system) แสดงดังรูปที่ 2.15
  - 2.4 อุปกรณ์แบบหมุน (pitching devices) แสดงดังรูปที่ 2.16

- 2.5 ระบบตัวหมุนด้านล่าง (bottom-hinged system) แสดงดังรูปที่ 2.17
- 2.6 ระบบหลายส่วน (many-body systems) แสดงดังรูปที่ 2.18
- 3. ตัวแปลงด้านบน (overtopping converter) แสดงดังรูปที่ 2.19

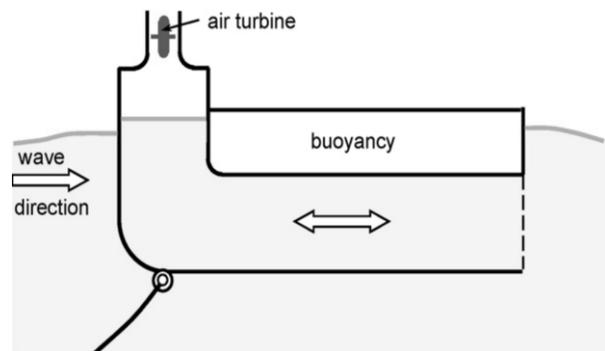


รูปที่ 2.10 เทคโนโลยีพลังงานจากคลื่นในทะเล

ที่มา: <http://www.rise.org.au/info/Tech/wave/index.html>



รูปที่ 2.11 ภาคตัดขวางของ OWC แบบตรึง

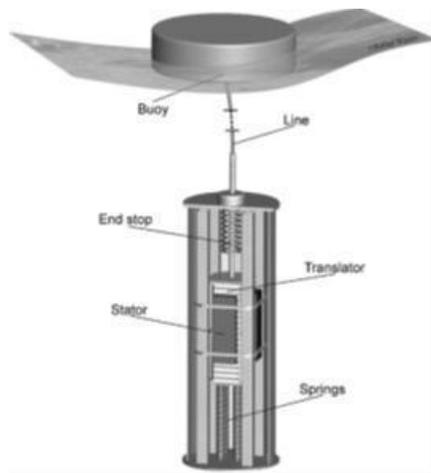


รูปที่ 2.12 คอลัมน์น้ำแบบล้นที่มีโครงสร้างแบบลอย

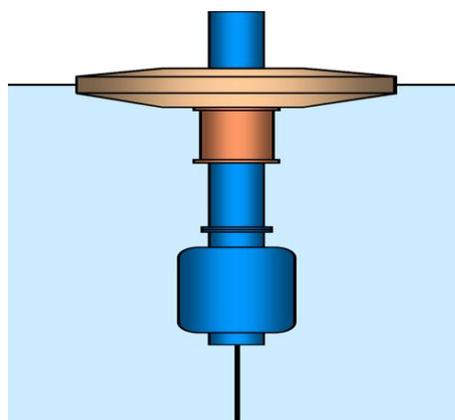
ที่มา: <http://www.rise.org.au/info/Tech/wave/index.html>



รูปที่ 2.13 Single-body heaving buoys  
ที่มา: <http://www.arab-eng.org/vb/t187123.html>



รูปที่ 2.14 Two-body heaving system  
ที่มา: <http://www.mindfully.org/Energy/2004/Wave-Power-Trinidad4aug04.htm>

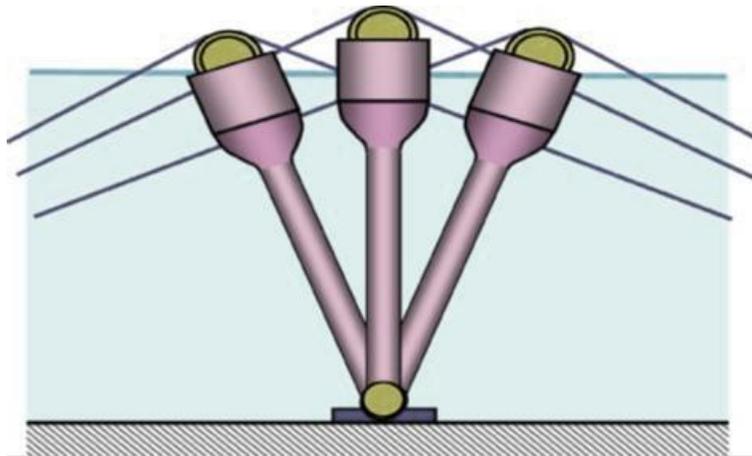


รูปที่ 2.15 Fully submerged heaving system  
ที่มา: <http://www.mindfully.org/Energy/2004/Wave-Power-Trinidad4aug04.htm>



รูปที่ 2.16 Pitching devices

ที่มา: <http://www.arab-eng.org/vb/t187123.html>



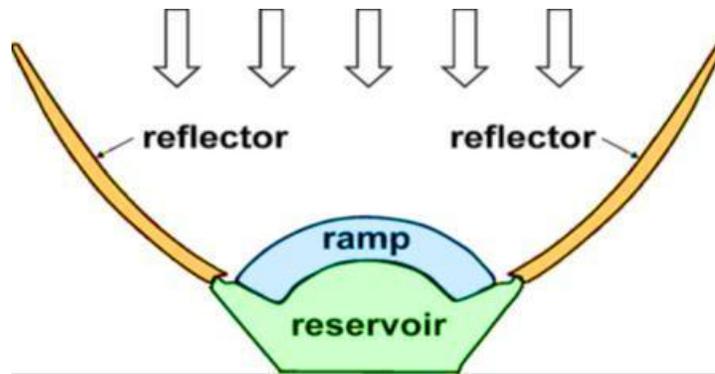
รูปที่ 2.17 Bottom-hinged system

ที่มา: <http://www.mindfully.org/Energy/2004/Wave-Power-Trinidad4aug04.htm>



รูปที่ 2.18 Many-body systems

ที่มา: <http://www.arab-eng.org/vb/t187123.html>



รูปที่ 2.19 Overtopping converter

ที่มา: <http://www.mindfully.org/Energy/2004/Wave-Power-Trinidad4aug04.htm>

## 2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A. Saket และ A. Etamad (2009) ได้ศึกษาพลังงานคลื่นตามแนวชายฝั่งทางเหนือของอ่าวโอมาน เพื่อประเมินศักยภาพพลังงานคลื่นในรอบปี พบว่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้ามากกว่าร้อยละ 30 เกิดขึ้นในช่วงเดือน มิถุนายน – สิงหาคม เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้จากมหาสมุทรอินเดีย ส่วนในช่วงอื่นของปีพบว่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 5 เท่านั้น

C. Bostrom (2009) ได้ศึกษาและออกแบบเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่น 2 แบบที่แตกต่างกัน โดยทำการออกแบบเป็นท่อนลอยน้ำทรงกระบอก ด้านในติดตั้งระบบไฮดรอลิก เพื่อเพิ่มแรงยกของท่อน ในขณะที่คลื่นเข้ามาปะทะ ส่วนอีกแบบหนึ่งเป็นแบบท่อนลอยน้ำธรรมดา โดยนำท่อนทั้งสองแบบไปติดตั้งไว้ในทะเลแถบแคริบเบียน จากผลการศึกษาพบว่าท่อนที่ติดตั้งระบบไฮดรอลิกไว้ภายในท่อนสามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ 116 W ซึ่งมีความมากกว่าท่อนธรรมดาอยู่ประมาณ 35 W

Dunnett D., และ Wallace J. S. (2009) ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่น 3 ชนิดแตกต่างกัน ทำการประเมินในแต่ละพื้นที่ภายในประเทศแคนาดาโดยใช้ข้อมูลจากศูนย์บริการข้อมูลสิ่งแวดล้อมทางทะเลของประเทศแคนาดา โดยทำการศึกษาบริเวณมหาสมุทรแอตแลนติก 2 ตำแหน่งและมหาสมุทรแปซิฟิก 3 ตำแหน่ง พบว่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้ามากกว่าร้อยละ 20 นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งที่ตั้งและอุปกรณ์ของของเครื่องด้วย

Falnes J. (2010) ได้ศึกษาการเคลื่อนที่ การกระจาย และการเปลี่ยนแปลงของพลังงานคลื่นในทะเล โดยเสนอแนวคิดในการเลือกใช้ชนิดเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นในประเภทต่างๆ ซึ่งอาศัยแนวคิดปรากฏการณ์การแทรกสอดของคลื่นมาวิเคราะห์ การแทรกสอดของคลื่นที่เหมาะสมมีความสัมพันธ์กับปริมาณพลังงานที่ได้รับจากคลื่น ปริมาตรของระบบการสั่นของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นมีผลต่อการแทรกสอดของคลื่นทำให้อัตราพลังงานที่ได้รับจากคลื่นเปลี่ยนแปลงได้

Hughes M., G. และ Andrew, D., H. (2010) ได้ประเมินแหล่งพลังงานคลื่นในประเทศออสเตรเลียบริเวณชายฝั่ง 0-300 m กำลังและพลังงานคลื่นได้รับอิทธิพลจาก คาบของคลื่น ระดับ

ความสูงของคลื่นทะเลเฉลี่ย และทิศทางของคลื่น โดยอาศัยแบบจำลอง AuaWAM สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลในช่วง 1 มี.ค. 1997 – 29 ก.พ. 2008 การกระจายเชิงพื้นที่ของกำลังและพลังงานคลื่นได้ใช้กริด ขนาด  $1^\circ$  ซึ่งปกคลุมพื้นที่ ลองจิจูด  $110-156^\circ$  และ ละติจูด  $7-46^\circ$  พลังงานคลื่นทั้งหมดในประเทศออสเตรเลียเฉลี่ยได้เท่ากับ  $3.47$  PJ กำลังคลื่นมีค่ามากในทางภาคใต้ของออสเตรเลียซึ่งมีศักยภาพมากพอสำหรับผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น ในทางภาคเหนือของออสเตรเลียกำลังคลื่นเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่า  $10 \text{ kWm}^{-1}$  เป็นผลมาจากกำลังของคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลนั่นเอง

Iglesias G. and Carballo R. (2009) ได้อาศัยข้อมูลจาก SIMAR-44 ซึ่งครอบคลุมในรอบ 44 ปี ร่วมกับข้อมูลทุ่นตรวจวัดคลื่นเพื่อประเมินแหล่งพลังงานคลื่นตามแนวชายฝั่งทะเลที่อันตรายของประเทศสเปนจากแหลมพินิสเตรเรถึงเกาะซีซาร์กา พบว่า กำลังคลื่นรายปีในพื้นที่ตามแนวชายฝั่งทะเลมีค่าเท่ากับ  $50 \text{ kWm}^{-1}$  และพลังงานคลื่นรายปีมีค่าเท่ากับ  $400 \text{ MWhm}^{-1}$  ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่ใหญ่มากและสมบูรณ์แบบทั้งด้านทิศทางของคลื่น ความสูงของคลื่น และคาบของคลื่น ระดับความลึกทะเลของชายฝั่งนั้นแสดงถึงศักยภาพของคลื่นบริเวณนั้นๆ พลังงานคลื่นเป็นพลังงานที่น่าสนใจโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูหนาวและช่วงลมมรสุม

Iglesias G. et al. (2009) ได้นำเสนอกำลังคลื่นซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่น่าสนใจไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม Galicia เป็นส่วนหนึ่งของมหาสมุทรแอตแลนติกอยู่ทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือของคาบสมุทรไอบีเรียน ศักยภาพการทำงานของการผลิตพลังงานซึ่งทำการประเมินจากข้อมูลราย 3 ชั่วโมงของเครื่องผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นมหาสมุทร โดยครอบคลุมข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 1996-2005 ผลการประเมินได้มีการพิจารณาตำแหน่งที่ตั้งท่าเรือ เส้นทางเดินเรือ การทำประมง และสถานที่ทำเกษตรชายฝั่ง ทำการเลือกพื้นที่ที่สามารถใช้ประโยชน์จากพลังงานคลื่นได้ คลื่นนอกชายฝั่งสามารถคำนวณได้จากคลื่นใกล้ชายฝั่งเพื่อเลือกพื้นที่ตั้งฟาร์มไฟฟ้าพลังงานคลื่น มี 2 บริเวณที่ให้ค่าศักยภาพพลังงานสูงเหมาะแก่การตั้งฟาร์มไฟฟ้าพลังงานคลื่น

Justin E.stopa (2010) ได้ประเมินศักยภาพพลังงานคลื่นในหมู่เกาะฮาวาย โดยอาศัยแบบจำลอง (WRF) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีความละเอียดสูง โดยอาศัยเงื่อนไขจากปริมาณลมและรูปแบบของคลื่นมาเป็นดัชนีชี้วัดศักยภาพคลื่น พบว่าพลังงานคลื่นเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ  $15-20 \text{ kWm}^{-1}$  ต่อปี ซึ่งมีศักยภาพสูงพอที่จะผลิตไฟฟ้าได้

Zefer Defne et al. (2009) ได้ศึกษาศักยภาพของพลังงานคลื่นบริเวณทางตะวันออกเฉียงใต้ชายฝั่งมหาสมุทรแอตแลนติกของสหรัฐอเมริกา ซึ่งตั้งอยู่ในลองจิจูด  $72-82^\circ$  และ ละติจูด  $27-46^\circ$  โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากทุ่นวัดของสถานีคลื่น เพื่อนำมาคำนวณหาความหนาแน่นสเปกตรัมพลังงานเฉลี่ยของคลื่นในระยะ 50 กม.จากฝั่ง ผลจากการศึกษาพบว่าความหนาแน่นสเปกตรัมพลังงานเฉลี่ยของคลื่นเป็น  $15 \text{ kWm}^{-1}$  ซึ่งมีศักยภาพสูงพอที่สามารถนำมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้

Zhang D. et al. (2009) ได้พบว่าเทคโนโลยีทางด้านพลังงานคลื่นมีความเจริญก้าวหน้ามากในประเทศจีนในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา และได้อธิบายความสำคัญของพลังงานคลื่นและสถานภาพพลังงานคลื่นในปัจจุบันของประเทศจีน การรณรงค์และเร่งทำให้การพัฒนาพลังงานคลื่นของประเทศจีนเป็นไปได้ยากในปัจจุบัน นโยบายแห่งชาติของการพัฒนาพลังงานคลื่นเป็นเค้าโครงและมุมมองของพลังงานคลื่นในประเทศจีน

## บทที่ 3

### ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

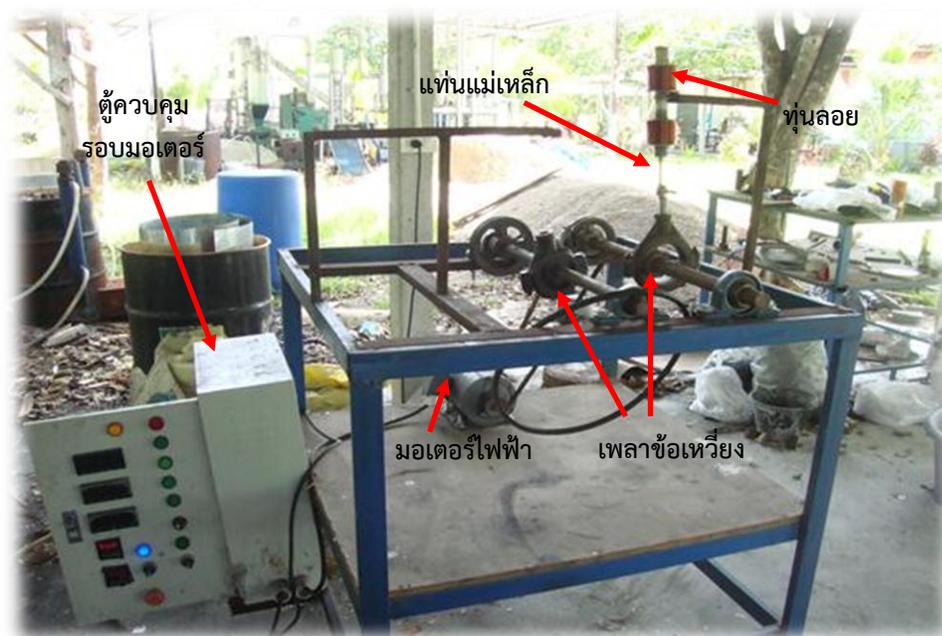
#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์หลักในระบบที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น มีดังนี้

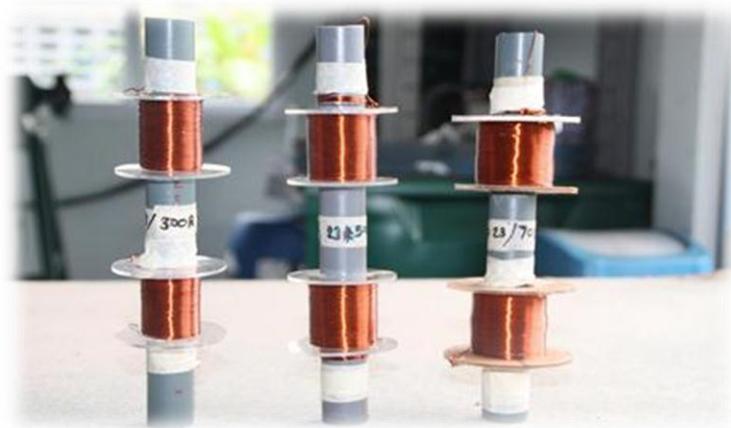
##### 3.1.1 ชุดทดลองเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย

ในการศึกษาทดลองครั้งนี้ได้มีการสร้างเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย โดยการจำลองการทำงานของคลื่นจากมอเตอร์ไฟฟ้าและเพลาค้อเหวี่ยง ส่วนระบบผลิตไฟฟ้าแบบทุ่นโดยใช้แม่เหล็กถาวร และขดลวดทองแดง ทั้งนี้ระบบแสดงดังรูปที่ 3.1 โดยมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

- ส่วนผลิตไฟฟ้าทำมาจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.02 m ยาว 0.25 m โดยพันขดลวดทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 0.75 และ 0.05 mm รอบแกนท่อด้วยจำนวนรอบ 300 500 และ 700 รอบดังแสดงในรูปที่ 3.2
- แท่นแม่เหล็กถาวร ทรงกลมกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.025 m ดังแสดงในรูปที่ 3.3
- เพลาค้อเหวี่ยง ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เพื่อใช้จำลองว่าเป็นคลื่นที่มีค่า แอมพลิจูด เท่ากับ 0.02 และ 0.05 m



รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย



รูปที่ 3.2 ท่อนลอย



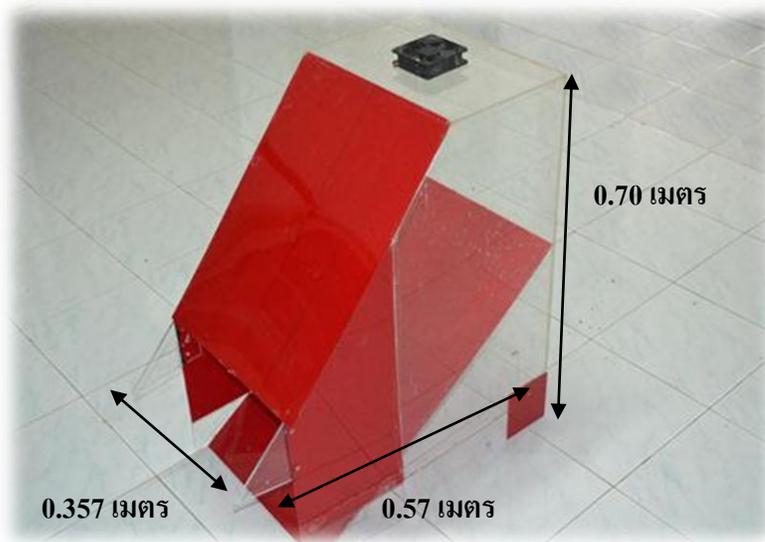
รูปที่ 3.3 แท่นแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 3.4 เฟลาข้อเหวี่ยง

### 3.1.2 ชุดทดลองเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น

เป็นเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นที่อาศัยหลักการทำงานโดย เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าไปในเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้นซึ่งเป็นอุปกรณ์ตามแนวตั้งทำให้เกิดแรงอัดอากาศในแนวตั้ง เมื่อคลื่นลดระดับลงอากาศจะถูกดันกลับ เพื่อลดแรงดันภายในตัวเครื่อง สำหรับการศึกษาดังกล่าวครั้งนี้ได้มีการสร้างเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น โดยมีขนาดความกว้าง 0.357 m ยาว 0.57 m สูง 0.7 m โดยใช้แผ่นอะคริลิกเป็นโครงสร้างของตัวเครื่อง ด้านบนของเครื่อง เป็นช่องลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.09 m เพื่อใช้ในการวัดความเร็วลมขณะทำการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



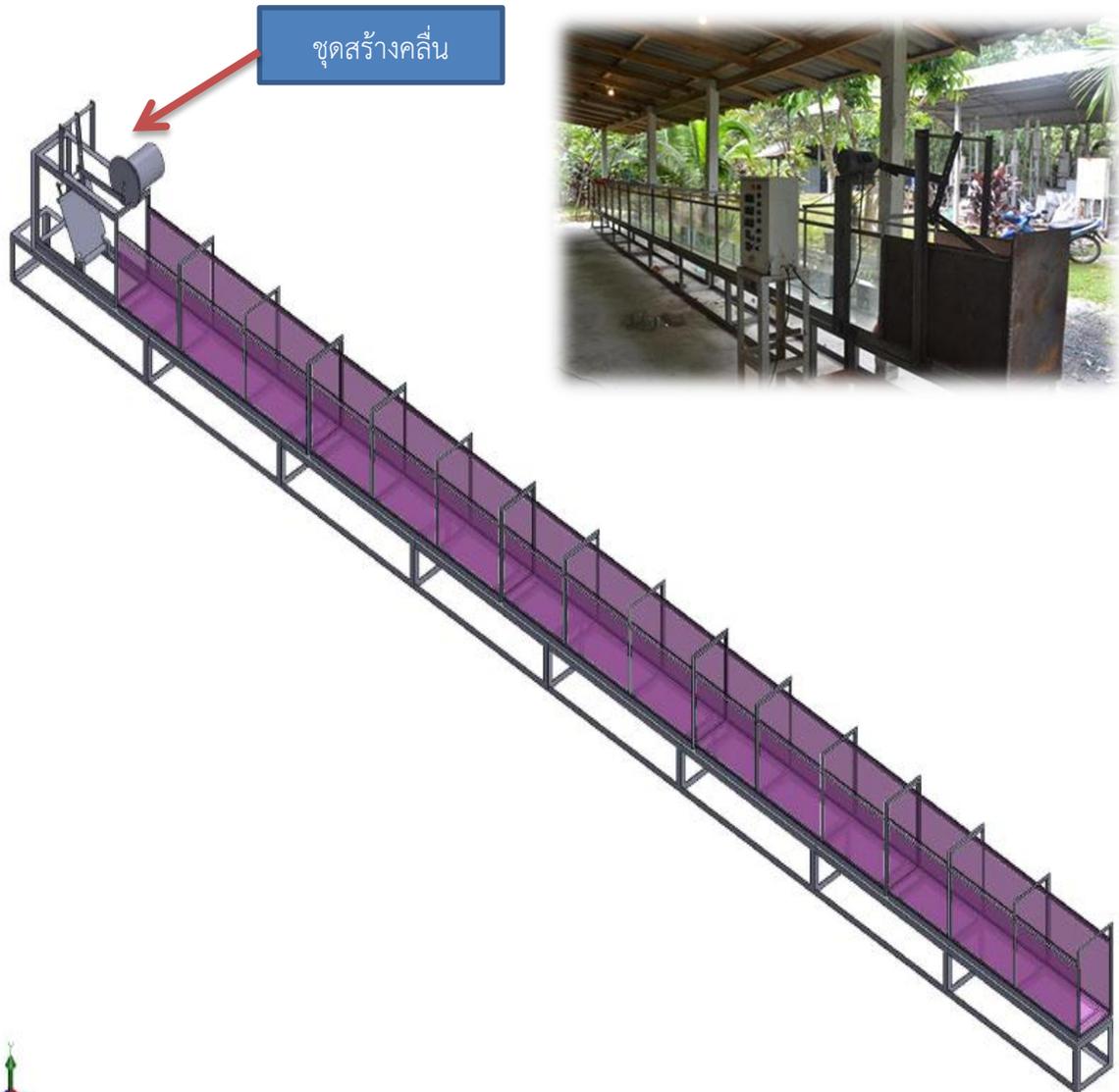
รูปที่ 3.5 ชุดทดลองเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น

### 3.1.3 ช่องทางคลื่น

ในการศึกษาดังกล่าวได้มีการจัดสร้างช่องทางคลื่น เพื่อใช้สร้างคลื่นสำหรับทดสอบเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยทำการสร้างขึ้นใหม่ ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานทดแทนเพื่อการพัฒนาเกษตรและอุตสาหกรรมชุมชน ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ทั้งนี้ช่องทางคลื่นที่สร้างขึ้นมีส่วนประกอบหลักคือ

- อุโมงค์ หรือรางน้ำ ขนาด กว้าง 0.42 m สูง 0.75 m ยาว 12 m โดยผนังของอุโมงค์ทำจากแผ่นอะคริลิกหนา 5 m
- ชุดสร้างคลื่น ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของช่องทางคลื่นดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 3 ส่วนคือ
  - ตัวตีคลื่น เป็นแผ่นเหล็กขนาดความกว้าง 0.35 m สูง 0.55 m ทำหน้าที่สร้างคลื่น ซึ่งถูกติดตั้งไว้ด้านหน้าของช่องทางคลื่น โดยจะถูกล๊อคสกรูเข้ากับแกนเพลลาของมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.8

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดกำลัง 1 hp. ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังให้กับตัวคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 3.8
- ตู้วงจรควบคุมความถี่รอบมอเตอร์ ทำหน้าที่ ควบคุมความถี่รอบการทำงานมอเตอร์ตั้งแต่ 0 ถึง 60 Hz ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบของช่องทางคลื่น



รูปที่ 3.7 ชุดสร้างคลื่น



ตัวตีคลื่น



มอเตอร์ไฟฟ้า



ตู้วงจรควบคุมความถี่รอบมอเตอร์  
รูปที่ 3.8 อุปกรณ์หลักของชุดสร้างคลื่น

### 3.1.4 เครื่องมือวัด

- ดิจิตอล มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ KEWTECH รุ่น KT115 สามารถวัดกระแสไฟฟ้าในช่วง 0 ถึง 10 แอมแปร์ และแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0 ถึง 600 โวลต์ ใช้งานได้กับกระแสไฟฟ้าตรง และกระแสไฟฟ้าสลับ
- แอนิเมมิเตอร์ ยี่ห้อ TESTO 425 สามารถวัดค่าความเร็วลมได้ในช่วง 0 ถึง 4,000 ฟุตต่อ นาที มีอุณหภูมิการใช้งานอยู่ในช่วง -4 ถึง 160 องศาฟาเรนไฮต์ และสามารถเปรียบเทียบค่าข้อมูลต่ำสุดและข้อมูลสูงสุดได้
- ตะล็บเมตร
- สายวัด
- นาฬิกาจับเวลา



รูปที่ 3.9 ดิจิตอล มัลติมิเตอร์



รูปที่ 3.10 แอนิเมมิเตอร์

## 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.2.1 การทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย

การทดสอบเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย โดยการเก็บข้อมูลเบื้องต้น ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าจากเครื่องมัลติมิเตอร์ โดยต่อสายวัดเข้ากับปลายขดลวดทองแดงบนแกนทุ่น ขณะที่เครื่องผลิตไฟฟ้าจากทุ่นลอยกำลังทำงานอยู่ ทำการเก็บบันทึกข้อมูลทุกๆ 30 นาที จำนวน 10 ครั้ง เป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยทำการเก็บข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ตัวแปรต่างของการศึกษาดังนี้

- ศึกษาอิทธิพลของจำนวนรอบขดลวดทองแดง โดยกำหนดให้จำนวนรอบขดลวดทองแดงที่ 300 500 และ 700 รอบ ศึกษาที่ค่าความถี่ของคลื่น 50 100 และ 150 รอบต่อนาที แอมพลิจูดของคลื่น 0.02 และ 0.05 m และขนาดของขดลวดทองแดง 0.75 mm ดังแสดงค่าการศึกษาในตารางที่ 3.1
- ศึกษาอิทธิพลของขนาดของขดลวดทองแดง กำหนดให้ขนาดขดลวดทองแดงบนแกนทุ่นลอยที่ 0.05 0.75 และ 1 mm เป็นตัวแปรที่ทำการศึกษา โดยเลือกใช้จำนวนรอบขดลวดทองแดง

700 รอบ ค่าความถี่ของคลื่นที่ 150 รอบต่อนาที และแอมพลิจูดของคลื่น 0.05 m โดยขั้นตอนการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.2

- ศึกษาอิทธิพลของความถี่ของคลื่น กำหนดให้ความถี่ของคลื่นที่ 50 100 และ 150 รอบต่อนาที เป็นตัวแปรที่ทำการศึกษา โดยทำการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอบขดลวดทองแดงที่ 300 500 และ 700 รอบ แอมพลิจูดของคลื่น 0.02 และ 0.05 m และขนาดขดลวดทองแดง 0.75 mm โดยขั้นตอนการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 การศึกษาอิทธิพลของจำนวนรอบขดลวดทองแดง

จำนวนรอบขดลวด ทองแดง (รอบ)	ความถี่ของคลื่น (รอบต่อนาที)			แอมพลิจูด ของคลื่น (m)		ขนาดขดลวด ทองแดง (mm)		
	50	100	150	0.02	0.05	1	0.75	0.05
300	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	X
500	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	X
700	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	X

หมายเหตุ : (✓) หมายถึง การทดสอบ ; (X) หมายถึง ไม่ทดสอบ

ตารางที่ 3.2 การศึกษาอิทธิพลของขนาดของขดลวดทองแดง

ขนาดขดลวด ทองแดง (mm)	ความถี่ของคลื่น (รอบต่อนาที)			แอมพลิจูด ของคลื่น (m)		จำนวนรอบขดลวด ทองแดง (รอบ)		
	50	100	150	0.02	0.05	300	500	700
1	X	X	✓	X	✓	X	X	✓
0.75	X	X	✓	X	✓	X	X	✓
0.05	X	X	✓	X	✓	X	X	✓

หมายเหตุ : (✓) หมายถึง การทดสอบ ; (X) หมายถึง ไม่ทำการทดสอบ

ตารางที่ 3.3 การศึกษาอิทธิพลของความถี่ของคลื่น

ความถี่ของคลื่น (รอบต่อนาที)	จำนวนรอบขดลวด ทองแดง (รอบ)			แอมพลิจูด ของคลื่น (m)		ขนาดขดลวด ทองแดง (mm)		
	300	500	700	0.02	0.05	1	0.75	0.05
50	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	X
100	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	X
150	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	X

หมายเหตุ : (✓) หมายถึง การทดสอบ ; (X) หมายถึง ไม่ทำการทดสอบ

- ศึกษาอิทธิพลของแอมพลิจูดของคลื่น กำหนดให้แอมพลิจูดของคลื่นที่ 0.02 และ 0.05 m เป็นตัวแปรที่ทำการศึกษา โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของคลื่นที่ 50 100 และ 150 รอบต่อนาที จำนวนรอบขดลวดทองแดงบนแกนท่อนที่ 300 500 และ 700 รอบ และขนาดขดลวดทองแดง 0.75 mm โดยมีขั้นตอนการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การศึกษาศึกษาอิทธิพลของแอมพลิจูดของคลื่น

แอมพลิจูด ของคลื่น (m)	ความถี่ของคลื่น (รอบต่อนาที)			จำนวนรอบขดลวด ทองแดง (รอบ)			ขนาดขดลวด ทองแดง (mm)		
	50	100	150	300	500	700	1	0.75	0.05
0.02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	x
0.05	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	x

หมายเหตุ : (✓) หมายถึง การทดสอบ ; (X) หมายถึง ไม่ทำการทดสอบ

ข้อมูลที่เก็บบันทึกได้จากการทดสอบเครื่องผลิตไฟฟ้าจากท่อนลอย เป็นค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ( $V$ ) และค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับ ( $I$ ) ซึ่งสามารถนำมาหาค่ากำลังไฟฟ้าได้จากสมการ

$$P = V \times I \tag{3.1}$$

โดยที่  $P$  คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)  
 $V$  คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)  
 $I$  คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

### 3.2.2 การทดสอบช่องทางคลื่น

ทำการทดสอบการทำงานของช่องทางคลื่น โดยพิจารณาผลคุณลักษณะๆ คลื่นที่สร้างขึ้น โดยการเปลี่ยนค่าความถี่ของเครื่องตีคลื่น ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การทดสอบการทำงานของช่องทางคลื่น

ความถี่รอบมอเตอร์ (เฮิรตซ์)	ผลการทดสอบ		
	ความถี่คลื่น (Hz)	แอมพลิจูดของคลื่น (m)	ความยาวคลื่น (m)
35	✓	✓	✓
40	✓	✓	✓
45	✓	✓	✓

### 3.2.3 การทดสอบเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น

การทดสอบการทำงานของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น โดยค่าการทดสอบที่ใช้ในการทดสอบคือความถี่ของมอเตอร์ของตัวตีคลื่น ซึ่งจะส่งผลต่อ ความถี่คลื่น แอมพลิจูดของคลื่นและ ความยาวคลื่น จากนั้นทำการบันทึกค่าอัตราเร็วลมที่เกิดขึ้นจากเครื่องคอลัมน์น้ำสั้นเพื่อนำไปใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน ทั้งนี้ได้ปรับค่าระดับการจมน้ำของแผ่นรับคลื่นเพื่อพิจารณาตำแหน่งที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การทดสอบเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น

ตำแหน่งของแผ่นรับคลื่น	ความถี่ของมอเตอร์ (เฮิรตซ์)		
	35	40	45
1. ลอยเหนือผิวน้ำ 0.03 m	✓	✓	✓
2. พอดีผิวน้ำ	✓	✓	✓
3. จมน้ำ 0.03 m	✓	✓	✓
4. จมน้ำ 0.12 m	✓	✓	✓
5. จมน้ำ 0.15 m	✓	✓	✓

หมายเหตุ : (✓) หมายถึง การทดสอบ

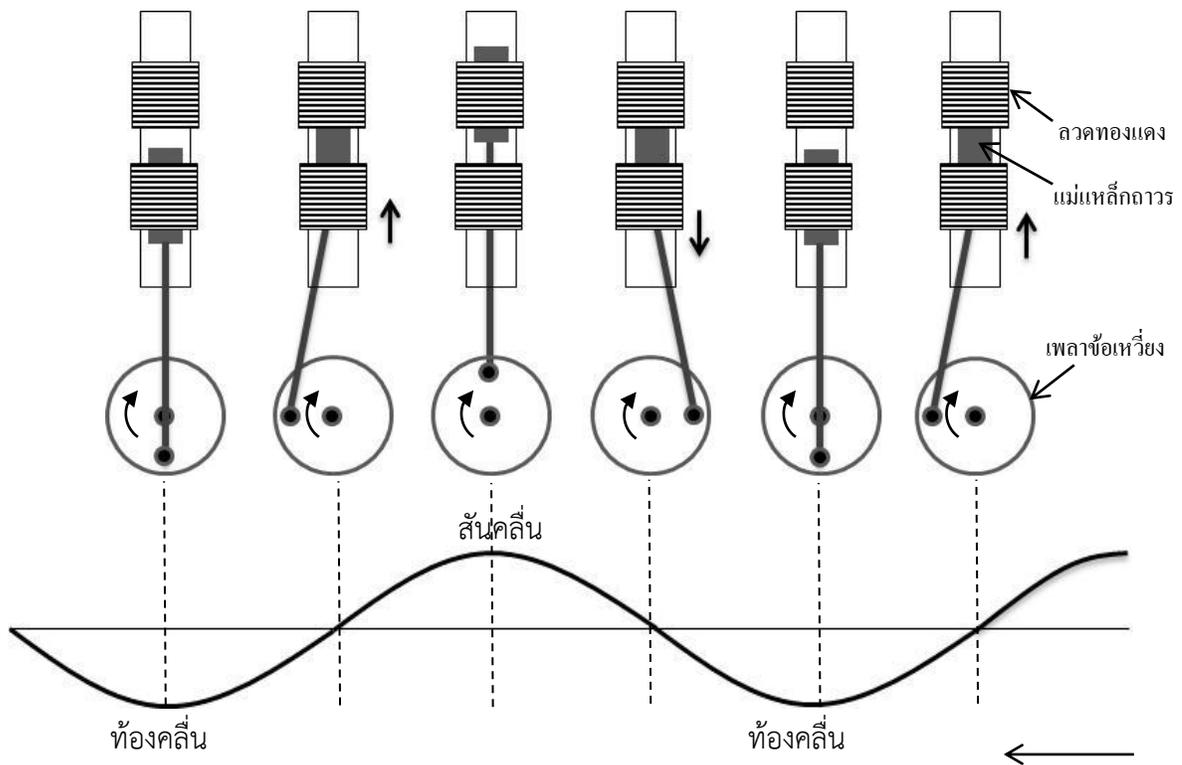
## บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

### 4.1 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย

#### 4.1.1 คุณลักษณะการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย

ผลการทดสอบการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยที่ใช้ลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.75 มิลลิเมตร ทั้งนี้ลักษณะการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยแสดงดังรูปที่ 4.1 และกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2

จากการศึกษาพบว่าเมื่อจำนวนรอบของขดลวดทองแดงสูงขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยมีค่าสูงขึ้น และเมื่อค่าแอมพลิจูดของคลื่นสูงขึ้นก็จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น และเมื่อความถี่ของคลื่นสูงขึ้นก็ส่งผลให้กำลังการผลิตไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 4.1 ลักษณะการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย

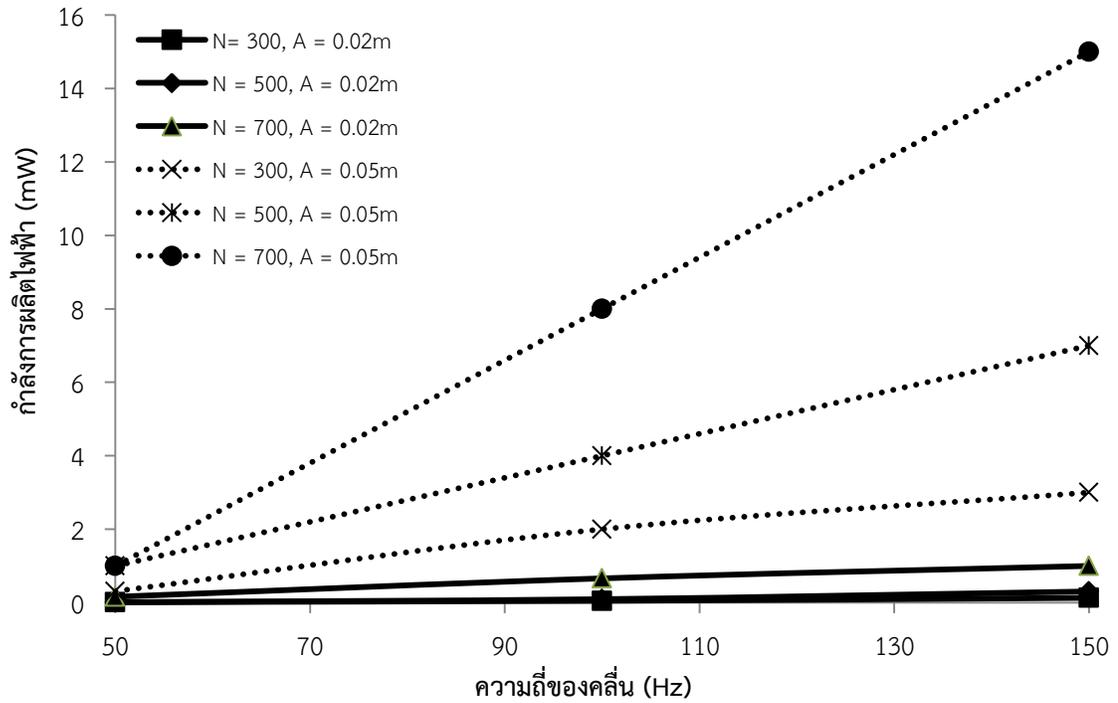
สำหรับผลการทดสอบอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดงต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าก็โดยกำหนดจำนวนรอบของขดลวดทองแดง 500 รอบ แอมพลิจูดของคลื่น 0.05 m และความถี่

ของคลื่น 150 Hz พบว่าเมื่อขนาดของลวดทองแดงใหญ่ขึ้นจะทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยมีค่าสูงขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3

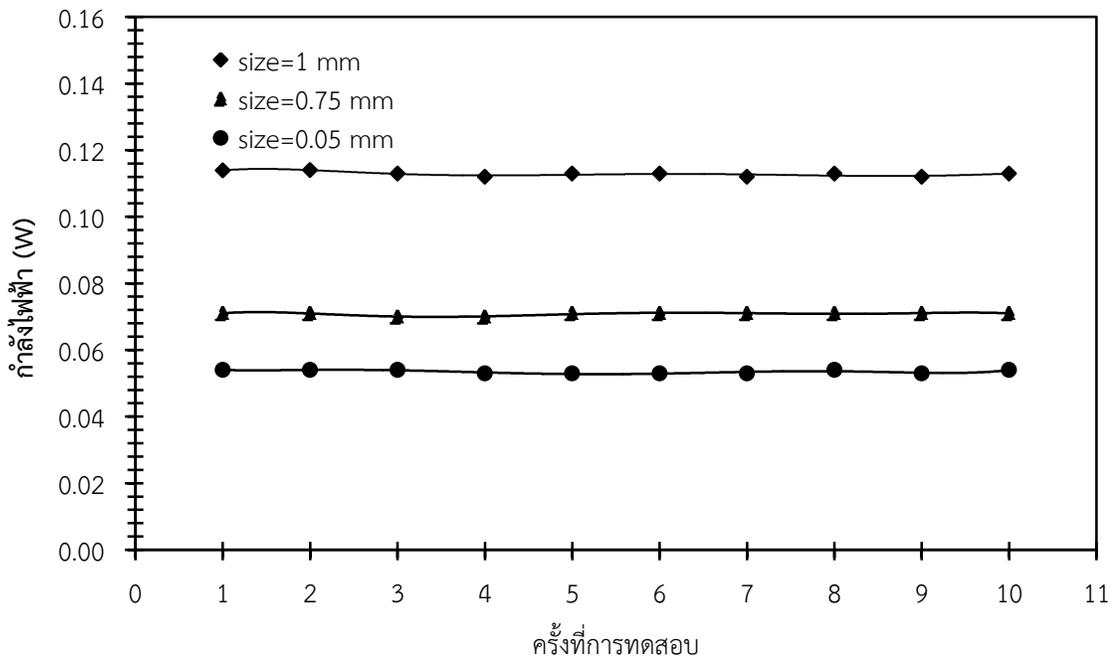
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง 0.75 mm)

จำนวนรอบของ ขดลวดทองแดง (รอบ)	แอมพลิจูดของคลื่น (เมตร)	ความถี่ของคลื่น (รอบต่อวินาที)	ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (วัตต์)
300	0.02	50	$1.38 \times 10^{-4}$
		100	$5.08 \times 10^{-4}$
		150	$1.31 \times 10^{-3}$
500	0.02	50	$1.06 \times 10^{-4}$
		100	$9.58 \times 10^{-4}$
		150	$3.05 \times 10^{-3}$
700	0.02	50	$1.61 \times 10^{-3}$
		100	$6.62 \times 10^{-3}$
		150	0.01
300	0.05	50	$3.11 \times 10^{-3}$
		100	0.02
		150	0.03
500	0.05	50	0.01
		100	0.04
		150	0.07
700	0.05	50	0.01
		100	0.08
		150	0.15

หมายเหตุ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้จากการตรวจวัดจำนวน 10 ครั้ง (10 การทดสอบ)



รูปที่ 4.2 แสดงกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง 0.75 mm)



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบอติพิลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดงต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดงต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทუნลอย

เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (mm)	กำลังไฟฟ้า (W)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
1	0.114	0.114	0.113	0.112	0.113	0.112	0.112	0.113	0.112	0.113	0.114
0.75	0.071	0.071	0.070	0.070	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071
0.05	0.054	0.054	0.054	0.053	0.053	0.053	0.053	0.054	0.053	0.054	0.054

หมายเหตุ จำนวนรอบของขดลวดทองแดง 500 รอบ แอมพลิจูดของคลื่น 0.05 m และความถี่ของคลื่น 150 Hz

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าตัวแปรทั้ง 4 คือ จำนวนรอบของขดลวดทองแดง ค่าแอมพลิจูดของคลื่น ความถี่ของคลื่น และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง มีอิทธิพลต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าแบบแปรผันตรง ซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ก็พบว่า แอมพลิจูดของคลื่น มีอิทธิพลสูงที่สุดต่อกำลังการผลิตไฟฟ้า รองลงมาคือ ขนาดของลวดทองแดง จำนวนรอบของขดลวดทองแดง และความถี่ของคลื่น มีอิทธิพลต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าน้อยที่สุด และสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ได้ ดังสมการที่ 4.1

$$E = 0.0000846N + 0.0432Z + 0.000465F + 1.589A - 0.150 \quad (4.1)$$

- โดยที่  $E$  คือ กำลังการผลิตไฟฟ้า (วัตต์)
- $N$  คือ จำนวนรอบขดลวดทองแดง (รอบ)
- $Z$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดทองแดง (มิลลิเมตร)
- $F$  คือ ความถี่ของคลื่น (รอบต่อวินาที)
- $A$  คือ แอมพลิจูดของคลื่น (เมตร)

จากผลการทดลองข้างต้นและสมการความสัมพันธ์ที่ 4.1 มีความสอดคล้องกับการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทუნลอย เนื่องจากเครื่องผลิตไฟฟ้าชนิดนี้อาศัยระยะชัก (ได้จากแอมพลิจูดของคลื่น) ของแท่งแม่เหล็กผ่านขดลวด ซึ่งหากมีระยะชักที่สูงตลอดความยาวของกระบอกขดลวดทองแดงก็จะทำให้มีกำลังการผลิตไฟฟ้าที่สูง

#### 4.1.2 ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทუნลอย

ทำการประเมินการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทუნลอยโดยใช้ช่องทางคลื่นในการสร้างคลื่น และทดสอบการผลิตไฟฟ้าของระบบ พบว่าประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0045% สำหรับชุดผลิตไฟฟ้าที่มีจำนวนรอบของขดลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.75

mm และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบของลวดทองแดงมีค่าสูงขึ้น โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 0.081% ทั้งนี้เป็นการพิจารณาที่การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงแค่ 1 ชุด ซึ่งสามารถเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้า และประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าขึ้นได้ด้วยการติดตั้งชุดกำเนิดไฟฟ้าหลายชุด และทำการเชื่อมต่อเข้าด้วยกันตามความต้องการกระแสไฟฟ้า หรือแรงดันไฟฟ้า ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย

การทดลอง	พลังงานคลื่น (W)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (W)			ประสิทธิภาพ (%)		
		N=300	N=500	N=700	N=300	N=500	N=700
1	192.33	0.01	0.02	0.03	0.005	0.011	0.017
2	230.62	0.01	0.02	0.04	0.005	0.011	0.018
3	252.94	0.01	0.03	0.05	0.005	0.011	0.018
4	276.74	0.01	0.03	0.05	0.005	0.01	0.018
5	323.44	0.01	0.04	0.06	0.005	0.01	0.018
6	366.65	0.02	0.04	0.07	0.004	0.01	0.018
7	385.96	0.02	0.04	0.07	0.004	0.01	0.019
8	421.03	0.02	0.04	0.08	0.004	0.01	0.018
9	432.48	0.02	0.04	0.08	0.004	0.01	0.018
10	462.05	0.02	0.04	0.09	0.004	0.01	0.018
เฉลี่ย	334.424	0.015	0.034	0.062	0.0045	0.0103	0.018

หมายเหตุ: N คือ จำนวนรอบของขดลวดทองแดง



รูปที่ 4.4 ลักษณะของคลื่นที่เกิดในช่องทางคลื่น

#### 4.2 ผลการทดสอบการทำงานของช่องทางคลื่น

ผลการทดสอบการทำงานของช่องทางคลื่นพบว่าเมื่อปรับค่าความถี่ของเครื่องสร้างคลื่น จะทำให้ค่าแอมพลิจูดของคลื่นมีค่าสูงขึ้น คือ แอมพลิจูดมีค่า 0.037 0.049 และ 0.052 m ที่ความถี่ของคลื่นที่สร้างขึ้นเท่ากับ 71 82 และ 89 rpm ตามลำดับ ส่วนค่าความยาวคลื่นมีค่าตรงกันข้ามกับความถี่ของคลื่นคือมีค่าน้อยลงเมื่อความถี่ของคลื่นสูงขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.4 และลักษณะของคลื่นที่ผลิตได้แสดงดังรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการทำงานของช่องทางคลื่น

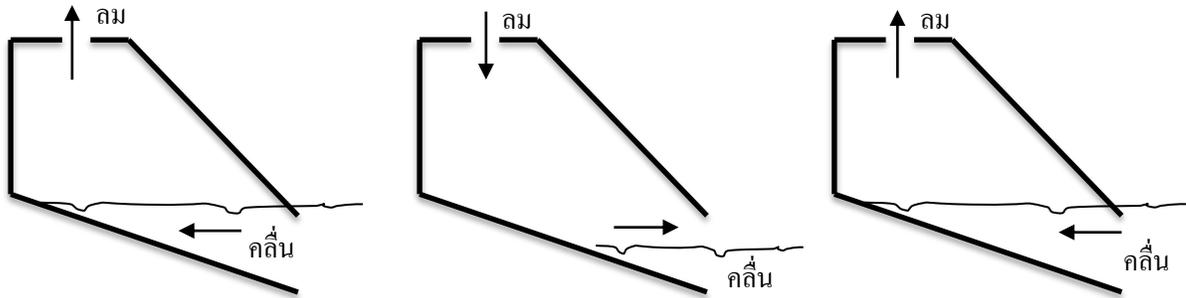
การทดสอบที่	ความถี่ของคลื่น 71 rpm			ความถี่ของคลื่น 82 rpm			ความถี่ของคลื่น 89 rpm		
	แอมพลิจูด (m)	ความยาวคลื่น (m)	พลังงาน (W)	แอมพลิจูด (m)	ความยาวคลื่น (m)	พลังงาน (W)	แอมพลิจูด (m)	ความยาวคลื่น (m)	พลังงาน (W)
1	0.030	1.040	215.630	0.040	0.700	298.000	0.045	0.660	385.960
2	0.034	0.980	260.990	0.043	0.700	344.370	0.047	0.660	421.030
3	0.035	0.980	275.440	0.045	0.700	374.460	0.048	0.650	432.480
4	0.037	0.960	302.770	0.047	0.680	399.670	0.050	0.640	462.050
5	0.038	0.950	315.200	0.048	0.660	404.590	0.053	0.640	519.160
6	0.040	0.880	322.900	0.050	0.650	432.360	0.055	0.620	541.610
7	0.042	0.860	349.490	0.055	0.640	515.110	0.058	0.600	582.880
8	0.043	0.850	357.810	0.060	0.580	535.330	0.063	0.580	664.780
เฉลี่ย	0.037	0.938	300.029	0.049	0.664	412.986	0.052	0.631	501.244

#### 4.3 ผลการทดสอบเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น

การวิเคราะห์ผลการทดสอบเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น เพื่อวิเคราะห์ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อค่าอัตราเร็วลมเฉลี่ยซึ่งในเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้นนั้นจะใช้ประโยชน์จากอากาศที่ถูกอัดด้วยคลื่นจนมีอัตราเร็วและแรงดัน และนำอากาศนี้ไปขับเคลื่อนกังหันเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าอีกต่อหนึ่ง ทั้งนี้สำหรับระบบที่สร้างขึ้นจะพิจารณาในขอบเขตของการเกิดแรงอัดอากาศเท่านั้น ไม่มีการพิจารณาถึงการผลิตไฟฟ้าเพราะไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถนำมาทำการทดสอบได้และประเมินค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง โดยการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นรับคลื่นด้านหน้าของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ผลการทดสอบพบว่าอัตราเร็วลมที่ออกจากเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้นมีค่าสูงที่สุดเมื่อระดับของแผ่นรับคลื่นเท่ากับระดับเฉลี่ยของความสูงคลื่น หรือเท่ากับระดับผิวน้ำในกรณีที่ไม่มีคลื่น และมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วหากระดับของแผ่นรับคลื่นสูงกว่าระดับผิวน้ำ ทั้งนี้หากระดับของแผ่นรับ

คลื่นต่ำกว่าระดับผิวน้ำ แต่ยังไม่ต่ำกว่าท้องคลื่น อัตราเร็วลมที่ได้จะมีค่าค่อยๆ น้อยลง และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระดับของแผ่นรับคลื่นต่ำกว่าท้องคลื่น



รูปที่ 4.5 ลักษณะการทำงานของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น

ทั้งนี้พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้นมีค่า 0.06% ที่ ระดับของแผ่นรับคลื่นพอดีผิวน้ำและความถี่คลื่น 71 รอบต่อนาที ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น

ความถี่คลื่น (รอบต่อนาที)		71	82	89
แอมพลิจูดของคลื่น (เมตร)		0.037	0.044	0.045
อัตราความเร็วลม ณ ทางออกของคอลัมน์น้ำสั้น (m/s) ที่ ระดับของแผ่นรับคลื่น	ลอยเหนือผิวน้ำ 0.03 เมตร	2.61	2.13	1.89
	พอดีผิวน้ำ	3.59	3.55	2.31
	จมน้ำ 0.03 เมตร	3.16	2.90	1.92
	จมน้ำ 0.12 เมตร	2.78	2.59	1.86
	จมน้ำ 0.15 เมตร	2.50	1.91	1.79
ประสิทธิภาพ (%) ที่ ระดับของแผ่นรับคลื่น	ลอยเหนือผิวน้ำ 0.03 เมตร	0.02	0.01	0.01
	พอดีผิวน้ำ	0.06	0.05	0.01
	จมน้ำ 0.03 เมตร	0.04	0.02	0.01
	จมน้ำ 0.12 เมตร	0.03	0.02	0.01
	จมน้ำ 0.15 เมตร	0.02	0.01	0.01

จากผลที่แสดงในตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าอัตราเร็วลมที่ผลิตได้จากเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้นที่ทำการสร้างขึ้นมีค่าอยู่ในช่วง 1.79 m/s ถึง 3.59 m/s ซึ่งยังมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับอัตราเร็วลมที่เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานลมต้องการ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงไม่สามารถทดสอบการผลิตไฟฟ้าของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้นได้ ทั้งนี้ต้องทำการพัฒนาต่อเนื่องใน 2 รูปแบบคือ

1. พัฒนากังหันลมเครื่องผลิตไฟฟ้าให้สามารถทำงานที่อัตราเร็วลมต่ำได้
2. พัฒนาระบบเพื่อเพิ่มอัตราเร็วลม เช่นการสร้างช่องบิบลมซึ่งสามารถเพิ่มอัตราเร็วลมได้

#### 4.4 การประเมินการผลิตไฟฟ้าในทะเล

จากข้อมูลของของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือพบว่า ประจำเดือน มีนาคม 2557 พบว่า ในพื้นที่ อ่าวไทยมีคลื่นสูงเฉลี่ย 0.4 m และมีความถี่ของคลื่นเฉลี่ย 15 รอบต่อนาที (rpm) ส่วนฝั่งทะเลอันดามันมีคลื่นสูงเฉลี่ย 0.9 m และมีความถี่ของคลื่นเฉลี่ย 33 rpm ดังนั้นในเดือนมีนาคม 2557 เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยที่สร้างขึ้นโดยพิจารณาที่การติดตั้ง 1 ทุ่นลอยและในแต่ละ 1 ทุ่นลอย ประกอบด้วยชุดผลิตไฟฟ้า 3 ชุด สำหรับติดตั้งที่อ่าวไทย และ 6 ชุด กรณีที่ติดตั้ง ณ ฝั่งทะเลอันดามัน เนื่องจากต้องต่อชุดผลิตไฟฟ้าให้มีความสูงมากกว่าความสูงของคลื่น (ความสูงของชุดผลิตไฟฟ้า 1 ชุด เท่ากับ 15 cm)

ผลการประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้าพบว่าจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1.92 – 2.07 W สำหรับฝั่งอ่าวไทย และ 2.51 – 2.75 W สำหรับฝั่งทะเลอันดามัน โดยกำลังการผลิตไฟฟ้าขึ้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดง ทั้งนี้กำลังการผลิตไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินการผลิตไฟฟ้า

อ่าวไทย				อันดามัน			
จำนวนรอบของ ขดลวดทองแดง		เส้นผ่าน ศูนย์กลางของ ลวดทองแดง (mm)	ไฟฟ้า (W)	จำนวนรอบของ ขดลวดทองแดง		เส้นผ่าน ศูนย์กลางของ ลวดทองแดง (mm)	ไฟฟ้า (W)
รอบ/ชุด	รวม			รอบ/ชุด	รวม		
300	900	0.05	1.92	300	1,800	0.05	2.51
		0.75	1.95			0.75	2.54
		1	1.97			1	2.55
500	1,500	0.05	1.98	500	3,000	0.05	2.61
		0.75	2.01			0.75	2.64
		1	2.02			1	2.65
700	2,100	0.05	2.03	700	4,200	0.05	2.71
		0.75	2.06			0.75	2.74
		1	2.07			1	2.75

## บทที่ 5

### สรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการออกแบบ สร้างและทดสอบการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความเหมาะสมกับคลื่นในพื้นที่ชายฝั่งทะเลของประเทศไทย โดยทำการออกแบบระบบเปลี่ยนพลังงานคลื่น 2 รูปแบบ คือเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย และเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น โดยผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดงที่นำมาผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จำนวนรอบของการพันขดลวดทองแดงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ความถี่ของคลื่น และแอมพลิจูดของคลื่น ทั้งนี้แอมพลิจูดของคลื่นเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยที่สร้างขึ้น
2. กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยมีค่า  $1.38 \times 10^{-4}$  W ถึง 0.15 W โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.15 W ที่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดทองแดงที่นำมาผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 0.75 mm จำนวนรอบของการพันขดลวดทองแดงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 700 รอบ ความถี่ของคลื่น 150 รอบต่อวินาที และแอมพลิจูดของคลื่น 0.05 m
3. ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.018%
4. กำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยที่ติดตั้งเพื่อผลิตไฟฟ้า ณ เดือน มีนาคม 2557 ในอ่าวไทยจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 2.07 W และในทะเลอันดามันจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 2.75 W
5. การเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยสามารถดำเนินการโดยการเพิ่มจำนวนชุดของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยให้มากขึ้นและทำการต่อระบบไฟฟ้าทั้งแบบขนาน และแบบอนุกรมตามความต้องการแรงดันหรือกระแสไฟฟ้า
6. ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังขาออกในรูปของพลังงานลมของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้นประกอบด้วย ความถี่ของคลื่น แอมพลิจูดของคลื่น และระดับของแผ่นรับคลื่นที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น
7. ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้นมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.06%
8. อัตราเร็วลมที่ผลิตได้จากเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้นมีค่าอยู่ในช่วง 1.79 m/s ถึง 3.59 m/s ซึ่งยังมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับอัตราเร็วลมที่เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานลมต้องการ ดังนั้นต้องทำการพัฒนาต่อเนื่องใน 2 รูปแบบคือ พัฒนากังหันลมเครื่องผลิตไฟฟ้าให้สามารถทำงานที่อัตราเร็วลมต่ำได้ และพัฒนาระบบเพื่อเพิ่มอัตราเร็วลม

## เอกสารอ้างอิง

- กฤษฎา พรหมแก้ว และ สมภพ ปัญญาสมพรรค. (2556). “ การศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากคลื่นชายฝั่งทะเล,” วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์. 5(3), 37 – 46. สืบค้นเมื่อ 19 ตุลาคม 2556, จาก <http://Journal.pnu.ac.th/artical/download/208/169>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน. (2548). พลังงานคลื่นทะเล. สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2557, จาก [http://library.dip.go.th/files/document/wave energy.pdf](http://library.dip.go.th/files/document/wave%20energy.pdf)
- กระทรวงพลังงาน. (2556). “ เทคโนโลยีนำพาพลังงานคลื่นสู่พลังงานไฟฟ้า,” นโยบายพลังงาน.5(95), 40 – 67. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2557, จาก <http://www.eppo.go.th>
- รัฐฐาน ฤทธิเกริกไกร. (2546). “ พลังงานคลื่นทะเล,” โลกพลังงาน. 5(16), สืบค้นเมื่อ 31 มกราคม 2557, จาก <http://teenet.cmu.ac.th/emac/journal/2003/19/04.php>
- ระบบเครือข่ายสารสนเทศด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย. (2552). พลังงานลม. สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2557, จาก [http://teenet.tei.or.th/knowledge/energy\\_wave.html4](http://teenet.tei.or.th/knowledge/energy_wave.html4)
- Ahn K.K., Truong D.Q., Hoang H.T., and Jong L.Y. (2012). “ An innovative design of wave energy converter,” Renewable Energy. (42), 186 - 194.
- Antonio F. and Falcao O. (2009). “Wave energy utilization. A review of technology” Renewable Energy. (34), 179 - 195.
- Antonio F. and Falcao O. (2012). “Hydrodynamics of the IPS buoy wave energy converter including the effect of non-uniform acceleration tube cross section,” Renewable Energy. (41), 105 - 114.
- Barbara Z. and Elisa A. (2013). “Experimental investigation of floating wave energy converter for coastal protection purpose,” Coastal Engineering. (80), 148 - 159.
- Bent S. (2007). “ Chapter 13 - Wave energy converter,” Renewable Energy Conversation, Transmission and Storage. 83 - 92.
- Bernt J. (2010). “Design of the submerged floating tunnel operating under various conditions,” Procedia Engineering. (4), 71 - 79.
- Bouali B. and Larbi S. (2013). “Contribution to the geometry optimization of an oscillating water column wave energy converter,” Energy Procedia. (36), 565 - 573.
- Dunnett D. and Wallace J.S. (2009). “Electricity generation from wave power in Canada,” Renewable Energy. Los Angeles: University of California. (34), 179 - 195.
- Eidsmoen H. (1998). “Tight – moored amplitude - limited heaving – buoy wave energy converter with phase control,” Applied Ocean Research. (20), 157 - 161.
- Falcao A.F.O. (2010). “Wave energy utilization: A review of technologies,” Renewable and Sustainable Energy Review. Colorado: University of Colorado. (34), 179 - 195.

- Falnes, J. (2007). "A review of wave-energy extraction," Marine Structures. New Jersey: University Avenue. (20), 185 - 201.
- Gomes R.P.F., Henriques J.C.C., Gato L.M.C., and Falcao A.F.O. (2012). "Hydrodynamic of optimization an axisymmetric floating oscillating water column for wave energy conversation," Renewable Energy. (44), 328 - 339.
- Hughes M. G. and Andrew D. H. (2010). "National-scale wave energy resource assessment for Australia renewable energy," Renewable Energy. Sydney : Sydney University. (35), 1783 - 1791.
- Iglesias G. and Carballo R. (2009). "Wave energy potential along the death coast (spain)," Renewable Energy. Hydraulic Engineering, Campus University. (34), 1963 - 1975.
- Iglesias G., Lopez M., Carbello R., Castro A., Fraguera J.A. and Frigaard P. (2009). " Wave energy potential in Galicia (NW Spain)," Renewable Energy. Hydraulic Engineering, University. (34), 2323 - 2333.
- Ishikawa M., Horita K., and Yasaka Y. (2009). "Performance analysis of experimental device of travelling wave direct energy converter," Fusion Engineering and Design. (81), 1689 - 1694.
- Liang N.K., Huang J.S., and Li C.F. (2009). "A study of spar buoy floating breakwater," Ocean Engineering. (31), 43 - 60.
- Lopez I. and Iglesias G. (2014). " Efficiency of OWC wave energy converter : A virtual laboratory," Applied Ocean Research. (44), 63 - 70.
- Margheritini L., Vicinanza D., Frigaara P. (2009). "SSG wave energy converter : design, reliability and hydraulic performance of an innovative overtopping device," Renewable Energy. (34), 1371 - 1380.
- Mark L., William M., Batten J. and Abubakr S. (2014). "Preliminary design of the OWEL wave energy converter pre-commercial demonstrator," Renewable Energy. (61), 51 - 56.
- Orrer G. and Ozdamar A. (2007). "An experimental study on the efficiency of the submerged plate wave energy converter," Renewable Energy. (32), 1317 - 1327.
- Ross H. (2014). " Design, Simulation and Testing of a novel hydraulic power take-off system for the pelamis wave energy converter," Renewable Energy. (31), 271 - 283.
- Utku S. and Aydogan O. (2012). "Wave energy extraction by an oscillating water column with a gap on the fully submerged front wall," Applied Ocean Research. (37), 174 - 182.
- Zhang D., Li W., and Lin Y. (2009). "Wave energy in China: current status and perspectives," Renewable Energy. Beijing, Beijing University. (34), 2089 - 2092.

## ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
ข้อมูลการทดสอบเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอย

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้ากับความถี่ระยะการกระจัดทุ่นลอย ที่จำนวนรอบขดลวดทองแดง 300 รอบ และแอมพลิจูด 0.02 เมตร

ความถี่ของคลื่น (rpm)	ครั้งที่การทดสอบ	แรงดันไฟฟ้า (mV)	กระแสไฟฟ้า (mA)	กำลังไฟฟ้า (mW)
50	1	25.32	3.78	95.63
	2	37.74	4.13	135.05
	3	35.83	4.58	163.96
	4	33.64	4.38	147.16
	5	32.44	4.32	139.96
	6	32.80	4.34	142.35
	7	32.77	4.32	141.26
	8	33.42	4.35	145.29
	9	32.81	4.32	141.69
	10	31.22	4.08	127.29
100	1	64.83	8.85	573.48
	2	64.31	8.57	551.05
	3	62.31	7.43	462.89
	4	62.85	7.92	497.37
	5	62.52	7.78	486.25
	6	61.21	7.11	435.13
	7	63.30	8.72	551.97
	8	64.40	9.02	580.88
	9	62.20	7.72	480.18
	10	61.24	7.42	454.10
150	1	95.27	16.92	$1.61 \times 10^3$
	2	83.72	16.23	$1.36 \times 10^3$
	3	81	15.93	$1.29 \times 10^3$
	4	79.36	15.28	$1.21 \times 10^3$
	5	80.53	15.58	$1.25 \times 10^3$
	6	80.41	15.36	$1.23 \times 10^3$
	7	81.37	16.14	$1.31 \times 10^3$
	8	80.32	15.43	$1.24 \times 10^3$
	9	80.53	15.48	$1.24 \times 10^3$
	10	81.45	16.48	$1.34 \times 10^3$

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้ากับความถี่ระยะการกระตุ้นลอย ที่จำนวนรอบขดลวดทองแดง 300 รอบ และแอมพลิจูด 0.05 เมตร

ความถี่ของคลื่น (rpm)	ครั้งที่การทดสอบ	แรงดันไฟฟ้า (mV)	กระแสไฟฟ้า (mA)	กำลังไฟฟ้า (mW)
50	1	160.13	20.44	$3.27 \times 10^3$
	2	160	20.28	$3.24 \times 10^3$
	3	158.11	19.44	$3.07 \times 10^3$
	4	157.74	19.31	$3.05 \times 10^3$
	5	158.94	19.72	$3.13 \times 10^3$
	6	158.52	19.63	$3.11 \times 10^3$
	7	157.81	19.38	$3.06 \times 10^3$
	8	159.48	19.88	$3.17 \times 10^3$
	9	157.30	19.23	$3.02 \times 10^3$
	10	156.12	19.16	$2.99 \times 10^3$
100	1	392.60	49.77	$1.95 \times 10^4$
	2	393.74	50.20	$1.97 \times 10^4$
	3	392.15	49.60	$1.94 \times 10^4$
	4	393.25	50.30	$1.97 \times 10^4$
	5	394.64	50.80	$2 \times 10^4$
	6	394.63	50.80	$2 \times 10^4$
	7	390.20	49.20	$1.92 \times 10^4$
	8	391.15	49.80	$1.95 \times 10^4$
	9	390.30	49.30	$1.92 \times 10^4$
	10	390.74	49.78	$1.94 \times 10^4$
150	1	528.39	66.23	$3.49 \times 10^4$
	2	523.36	65.77	$3.45 \times 10^4$
	3	526.45	65.89	$3.46 \times 10^4$
	4	526.72	65.81	$3.47 \times 10^4$
	5	526.21	65.31	$3.43 \times 10^4$
	6	526.23	65.46	$3.44 \times 10^4$
	7	527.13	66.13	$3.48 \times 10^4$
	8	527.35	66.24	$3.49 \times 10^4$
	9	526.80	65.90	$3.47 \times 10^4$
	10	526.72	65.66	$3.45 \times 10^4$

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้ากับความถี่ระยะการกระตุ้นลอย ที่จำนวนรอบขดลวดทองแดง 500 รอบ และแอมพลิจูด 0.02 เมตร

ความถี่ของคลื่น (rpm)	ครั้งที่การทดสอบ	แรงดันไฟฟ้า (mV)	กระแสไฟฟ้า (mA)	กำลังไฟฟ้า (mW)
50	1	33.62	4.06	136.42
	2	28.54	3.84	109.44
	3	27.22	3.78	102.82
	4	27.54	3.78	103.95
	5	27.94	3.80	106.02
	6	28.43	3.32	94.28
	7	28.62	3.54	101.24
	8	28.33	3.46	97.92
	9	29.24	3.58	104.53
	10	29.28	3.62	105.70
100	1	81	11.94	967.14
	2	78.72	10.95	861.77
	3	80.25	11.54	925.51
	4	82.70	12.21	$1.01 \times 10^3$
	5	81.92	12.08	989.35
	6	82.75	12.13	$1 \times 10^3$
	7	81.40	11.83	962.96
	8	81.43	11.85	964.59
	9	81.35	11.73	953.65
	10	81.22	11.62	943.54
150	1	193	27.41	$5.29 \times 10^3$
	2	157.66	22.85	$3.60 \times 10^3$
	3	147.23	20.95	$3.08 \times 10^3$
	4	143.78	20.24	$2.91 \times 10^3$
	5	139.88	19.71	$2.76 \times 10^3$
	6	140.54	19.86	$2.79 \times 10^3$
	7	138.25	19.54	$2.70 \times 10^3$
	8	137.52	19.25	$2.65 \times 10^3$
	9	135.63	19.08	$2.59 \times 10^3$
	10	134.54	18.82	$2.53 \times 10^3$

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้ากับความถี่ระยะการกระตุ้นลอย ที่จำนวนรอบขดลวดทองแดง 500 รอบ และแอมพลิจูด 0.05 เมตร

ความถี่ของคลื่น (rpm)	ครั้งที่การทดสอบ	แรงดันไฟฟ้า (mV)	กระแสไฟฟ้า (mA)	กำลังไฟฟ้า (mW)
50	1	293.14	35.82	$1.05 \times 10^4$
	2	294.43	35.42	$1.04 \times 10^4$
	3	275.73	34.36	$9.47 \times 10^3$
	4	284.32	34.92	$9.93 \times 10^3$
	5	283.61	34.75	$9.85 \times 10^3$
	6	282.33	34.55	$9.75 \times 10^3$
	7	280.42	34.12	$9.57 \times 10^3$
	8	281.22	34.36	$9.66 \times 10^3$
	9	281.44	34.33	$9.66 \times 10^3$
	10	281.64	34.35	$9.67 \times 10^3$
100	1	624.72	71.72	$4.48 \times 10^4$
	2	621.73	69.80	$4.34 \times 10^4$
	3	622.34	70.25	$4.37 \times 10^4$
	4	623.70	70.80	$4.42 \times 10^4$
	5	622.84	70.40	$4.38 \times 10^4$
	6	622.23	70.67	$4.39 \times 10^4$
	7	622.34	70.70	$4.40 \times 10^4$
	8	622.23	70.80	$4.41 \times 10^4$
	9	621.92	70.11	$4.36 \times 10^4$
	10	623.27	71.30	$4.44 \times 10^4$
150	1	875.33	81.62	$7.14 \times 10^4$
	2	875.12	81.40	$7.12 \times 10^4$
	3	874.82	81.10	$7.09 \times 10^4$
	4	874.66	80.80	$7.06 \times 10^4$
	5	876.75	81.92	$7.18 \times 10^4$
	6	875.30	81.40	$7.12 \times 10^4$
	7	875.40	81.40	$7.13 \times 10^4$
	8	875.72	81.74	$7.15 \times 10^4$
	9	875.25	81.38	$7.12 \times 10^4$
	10	875.30	81.40	$7.12 \times 10^4$

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้ากับความถี่ระยะการกระตุ้นลอย ที่จำนวนรอบขดลวดทองแดง 700 รอบ และแอมพลิจูด 0.02 เมตร

ความถี่ของคลื่น (rpm)	ครั้งที่การทดสอบ	แรงดันไฟฟ้า (mV)	กระแสไฟฟ้า (mA)	กำลังไฟฟ้า (mW)
50	1	136.70	15.32	$2.09 \times 10^3$
	2	136.23	14.98	$2.04 \times 10^3$
	3	130	14.83	$1.93 \times 10^3$
	4	127.48	14.12	$1.80 \times 10^3$
	5	115.21	13.58	$1.56 \times 10^3$
	6	111.73	12.85	$1.44 \times 10^3$
	7	110.25	12.58	$1.39 \times 10^3$
	8	108.32	12.23	$1.32 \times 10^3$
	9	107.54	13.03	$1.40 \times 10^3$
	10	105.30	12.21	$1.29 \times 10^3$
100	1	250.60	28.72	$7.18 \times 10^3$
	2	245.35	27.32	$6.70 \times 10^3$
	3	243.12	27.13	$6.60 \times 10^3$
	4	241.52	27.40	$6.62 \times 10^3$
	5	244.50	27.74	$6.78 \times 10^3$
	6	238.67	27.36	$6.53 \times 10^3$
	7	237.83	27.47	$6.53 \times 10^3$
	8	234.86	26.34	$6.18 \times 10^3$
	9	240.23	27.58	$6.62 \times 10^3$
	10	239.83	27.06	$6.49 \times 10^3$
150	1	330.62	37.63	$1.24 \times 10^4$
	2	333.42	37.78	$1.26 \times 10^4$
	3	319.24	35.42	$1.13 \times 10^4$
	4	317.63	36.33	$1.15 \times 10^4$
	5	306.52	35.73	$1.10 \times 10^4$
	6	312.30	35.52	$1.11 \times 10^4$
	7	314.60	35.57	$1.12 \times 10^4$
	8	313.32	35.48	$1.11 \times 10^4$
	9	310.23	35.15	$1.09 \times 10^4$
	10	311.48	35.45	$1.10 \times 10^4$

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้ากับความถี่ระยะการกระตุ้นลอย ที่จำนวนรอบขดลวดทองแดง 700 รอบ และแอมพลิจูด 0.05 เมตร

ความถี่ของคลื่น (rpm)	ครั้งที่การทดสอบ	แรงดันไฟฟ้า (mV)	กระแสไฟฟ้า (mA)	กำลังไฟฟ้า (mW)
50	1	338.72	38.12	$1.29 \times 10^4$
	2	333.12	37.70	$1.26 \times 10^4$
	3	335.28	37.59	$1.26 \times 10^4$
	4	330.36	37.58	$1.24 \times 10^4$
	5	333.42	37.87	$1.26 \times 10^4$
	6	332.64	37.63	$1.25 \times 10^4$
	7	330.32	37.24	$1.23 \times 10^4$
	8	330	37.21	$1.23 \times 10^4$
	9	331.88	37.38	$1.24 \times 10^4$
	10	332.70	37.66	$1.25 \times 10^4$
100	1	934.84	91.8	$8.58 \times 10^4$
	2	930.71	90.50	$8.42 \times 10^4$
	3	934.74	91.62	$8.56 \times 10^4$
	4	933.81	90.80	$8.48 \times 10^4$
	5	933.22	90.30	$8.43 \times 10^4$
	6	933.70	90.51	$8.45 \times 10^4$
	7	933.77	90.65	$8.46 \times 10^4$
	8	933.60	90.47	$8.44 \times 10^4$
	9	934.43	90.40	$8.45 \times 10^4$
	10	934.28	91.25	$8.52 \times 10^4$
150	1	1,321.23	114.80	$1.51 \times 10^5$
	2	1,321	114.72	$1.51 \times 10^5$
	3	1,319.84	114.54	$1.51 \times 10^5$
	4	1,320.52	114.66	$1.51 \times 10^5$
	5	1,321.42	114.70	$1.51 \times 10^5$
	6	1,318.20	114.20	$1.50 \times 10^5$
	7	1,318.77	114.33	$1.50 \times 10^5$
	8	1,317.28	114.10	$1.50 \times 10^5$
	9	1,318.43	114.35	$1.51 \times 10^5$
	10	1,318.80	114.60	$1.51 \times 10^5$

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดทองแดง

เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ครั้งที่การ ทดสอบ	แรงดันไฟฟ้า (mV)	กระแสไฟฟ้า (mA)	กำลังไฟฟ้า (mW)
1	1	1,184.40	96.27	$1.14 \times 10^5$
	2	1,178.63	96.82	$1.14 \times 10^5$
	3	1,172.34	96.40	$1.13 \times 10^5$
	4	1,171.40	96.33	$1.13 \times 10^5$
	5	1,175.56	96.22	$1.13 \times 10^5$
	6	1,182.30	95.88	$1.13 \times 10^5$
	7	1,182.55	95.38	$1.13 \times 10^5$
	8	1,184.73	95.64	$1.13 \times 10^5$
	9	1,181.22	95.50	$1.13 \times 10^5$
	10	1,184.80	95.51	$1.13 \times 10^5$
0.75	1	875.35	81.63	$7.14 \times 10^4$
	2	875.5	81.42	$7.12 \times 10^4$
	3	874.82	81.10	$7.09 \times 10^4$
	4	874.68	80.81	$7.07 \times 10^4$
	5	876.70	81.91	$7.18 \times 10^4$
	6	875.34	81.42	$7.12 \times 10^4$
	7	875.42	81.40	$7.13 \times 10^4$
	8	875.56	81.70	$7.15 \times 10^4$
	9	875.5	81.32	$7.12 \times 10^4$
	10	875.34	81.47	$7.12 \times 10^4$
0.05	1	723.26	75.33	$5.45 \times 10^4$
	2	724.38	74.84	$5.42 \times 10^4$
	3	724.44	74.73	$5.41 \times 10^4$
	4	724.73	73.82	$5.34 \times 10^4$
	5	723.81	73.95	$5.35 \times 10^4$
	6	722.66	74.30	$5.37 \times 10^4$
	7	721.84	74.40	$5.37 \times 10^4$
	8	722.48	74.84	$5.40 \times 10^4$
	9	722.40	74.20	$5.36 \times 10^4$
	10	722.60	75	$5.42 \times 10^4$

ภาคผนวก ข  
ข้อมูลการทดสอบช่องทางคลื่น

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลค่าแอมพลิจูด (A) ความยาว ( $\lambda$ ) และพลังงานคลื่น (E)

คลื่น ลูกที่	ความถี่ของคลื่น								
	71 รอบต่อนาที			82 รอบต่อนาที			89 รอบต่อนาที		
	A (m)	$\lambda$ (m)	E (W)	A (m)	$\lambda$ (m)	E (W)	A (m)	$\lambda$ (m)	E (W)
1	0.043	0.82	349.29	0.05	0.66	439.01	0.048	0.64	425.83
2	0.03	1.04	215.63	0.038	0.72	276.63	0.035	0.72	254.71
3	0.043	0.84	357.81	0.045	0.70	377.15	0.043	0.68	363.09
4	0.042	0.86	349.49	0.05	0.70	465.62	0.035	0.72	254.71
5	0.035	1.00	282.21	0.045	0.72	387.15	0.055	0.62	541.61
6	0.038	0.98	326.01	0.055	0.64	515.11	0.063	0.58	664.78
7	0.038	0.98	326.01	0.03	0.82	196.36	0.053	0.64	519.16
8	0.035	0.90	253.99	0.05	0.62	412.41	0.033	0.74	232.72
9	0.035	0.94	265.28	0.038	0.72	315.05	0.033	0.72	226.43
10	0.04	0.86	317	0.047	0.68	399.67	0.047	0.66	421.03
11	0.038	0.94	312.70	0.038	0.72	276.63	0.058	0.60	582.88
12	0.037	0.96	302.77	0.038	0.72	276.63	0.043	0.70	373.77
13	0.04	0.86	317	0.035	0.78	254.23	0.03	0.74	192.33
14	0.043	0.84	357.81	0.045	0.68	366.38	0.035	0.70	247.63
15	0.04	0.88	324.37	0.03	0.82	196.36	0.035	0.72	254.71
16	0.04	0.88	324.37	0.048	0.66	404.59	0.035	0.72	254.71
17	0.03	1.04	215.63	0.035	0.76	247.71	0.035	0.72	254.71
18	0.03	1.04	215.63	0.04	0.70	298	0.033	0.74	232.72
19	0.038	0.98	326.01	0.06	0.58	555.55	0.04	0.70	323.44
20	0.035	1	282.01	0.045	0.68	366.38	0.048	0.66	439.13
21	0.034	0.98	260.99	0.048	0.66	404.59	0.043	0.68	363.09
22	0.03	1.04	215.63	0.035	0.76	247.71	0.035	0.70	247.63
23	0.038	0.98	326.01	0.043	0.70	344.37	0.035	0.70	247.63
24	0.035	1.04	293.50	0.06	0.58	555.55	0.035	0.72	254.71
25	0.038	0.90	299.40	0.03	0.80	153.26	0.045	0.66	385.96
26	0.038	0.90	299.40	0.055	0.64	515.11	0.037	0.70	276.74
27	0.038	0.92	306.05	0.05	0.62	412.41	0.035	0.72	254.71
28	0.042	0.86	349.49	0.035	0.76	247.71	0.035	0.72	254.71
29	0.043	0.86	366.33	0.047	0.68	399.67	0.035	0.72	254.71
30	0.04	0.90	331.74	0.048	0.66	404.59	0.05	0.64	462.05

**ภาคผนวก ค**  
**ข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่น**  
**แบบทุ่นลอย**

**ตารางที่ ค.1** ข้อมูลค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบทุ่นลอยที่ความถี่ของคลื่น 89 รอบต่อนาที

แอมพลิจูด ของคลื่น (m)	พลังงาน คลื่น (W)	กำลังไฟฟ้า (W)			ประสิทธิภาพการทำงาน (%)		
		จำนวนรอบของขดลวดทองแดง			จำนวนรอบของขดลวดทองแดง		
		300	500	700	300	500	700
0.03	193.33	0.01	0.02	0.03	0.005	0.011	0.017
0.033	230.62	0.01	0.02	0.04	0.005	0.011	0.018
0.035	252.94	0.01	0.03	0.05	0.005	0.011	0.018
0.037	276.74	0.01	0.03	0.05	0.005	0.01	0.018
0.04	323.44	0.01	0.03	0.06	0.005	0.01	0.018
0.043	366.65	0.02	0.04	0.07	0.004	0.01	0.018
0.045	385.96	0.02	0.04	0.07	0.004	0.01	0.019
0.047	421.03	0.02	0.04	0.08	0.004	0.01	0.018
0.048	432.48	0.02	0.04	0.08	0.004	0.01	0.018
0.05	462.05	0.02	0.04	0.09	0.004	0.01	0.018

## ภาคผนวก ง

## ข้อมูลการทดสอบเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลอัตราเร็วลมของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น

ความถี่ ของคลื่น (rpm)	แอมพลิจูดของคลื่น เฉลี่ย (m)	อัตราความเร็วลม ณ ตำแหน่งต่างๆของแผ่นรับคลื่น (m/s)				
		ลอยเหนือผิวน้ำ 0.03 m	พอดีผิวน้ำ	จมน้ำ 0.03 m	จมน้ำ 0.12 m	จมน้ำ 0.15 m
71	0.037	2.61	3.59	3.16	2.78	2.50
82	0.044	2.13	3.55	2.90	2.59	1.91
89	0.045	1.89	2.31	1.92	1.86	1.79

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น

ความถี่ ของคลื่น (rpm)	แอมพลิจูดของคลื่น เฉลี่ย (m)	ประสิทธิภาพการทำงาน ณ ตำแหน่งต่างๆของแผ่นรับคลื่น (%)				
		ลอยเหนือผิวน้ำ 0.03 m	พอดีผิวน้ำ	จมน้ำ 0.03 m	จมน้ำ 0.12 m	จมน้ำ 0.15 m
71	0.037	0.02	0.06	0.04	0.03	0.02
82	0.044	0.01	0.05	0.02	0.02	0.01
89	0.045	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

**ภาคผนวก จ**  
**เอกสารการเผยแพร่งานวิจัย**

1. สาครินทร์ สุขสม นิคม ชุศิริ ประสงค์ เกษราธิคุณ จอมภพ แววศักดิ์ และธเนศ ไชยชนะ. (2557). “การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบทุ่นลอย”, การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15 มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 28 มี.ค.2557, วิทยาลัยการปกครองท้องถิ่น มหาวิทยาลัยขอนแก่น, จ.ขอนแก่น
2. สาครินทร์ สุขสม นิคม ชุศิริ ประสงค์ เกษราธิคุณ จอมภพ แววศักดิ์ และธเนศ ไชยชนะ. (2557). “การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นแบบคอลัมน์น้ำสั้น”, การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24 มหาวิทยาลัยทักษิณ. 21 – 22 พ.ค. 2557, ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา



## รายงานฉบับสมบูรณ์

### โครงการ

การพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นขนาดเล็กในทะเล  
ที่เหมาะสมกับพื้นที่ชายฝั่งทางภาคใต้ของประเทศไทย

The Development of an Appropriate Small-Scale Sea Wave Power  
Generator System for Southern Thailand's Coastal Area

### เสนอต่อ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ  
งบแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2555

### เสนอโดย

ดร.ธเนศ ไชยชนะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แววงศ์ศักดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสงค์ สิริพุทธไธวรรณ

ดร.จตุพร แก้วอ่อน

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง