การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ และการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง กรณีศึกษา ปากอ่าวไทย

นายสันต์สิริ ศิริสรรหิรัญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

FEASIBILITY STUDY OF ELECTRICAL POWER GENERATION FROM WAVE ENERGY AND PROTECTION COASTAL EROSION: CASE STUDY INNER GULF OF THAILAND

Mr. Sansiri Sirisunhirun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2012
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำ และการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง กรณีศึกษา ปากอ่าวไทย
โดย	นายสันต์สิริ ศิริสรรหิรัญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สีรง ปรีชานนท์)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ เกื้อกังวาน)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ณัฐเดช เฟื่องวรวงศ์)

สันต์สิริ ศิริสรรหิรัญ : การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำและการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง กรณีศึกษา ปากอ่าวไทย . (FEASIBILITY STUDY OF ELECTRICAL POWER GENERATION FROM WAVE ENERGY AND PROTECTION COASTAL EROSION: CASE STUDY INNER GULF OF THAILAND) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ, 271 หน้า.

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น และการป้องกันการกัดเซาะ บริเวณปากอ่าวไทย โดยการประเมินความเป็นไปได้ในการลงทุนนั้นจะแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ส่วนแรกจะเป็นการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น "พิลามิส" ซึ่งปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความสูงคลื่นนัยสำคัญและคาบคลื่น ส่วนที่สองจะเป็นการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ด้วยตัวชี้วัด ได้แก่ อัตราส่วนผลประโยชน์ในการลงทุนและมูลค่าปัจจุบันสุทธิ การศึกษาการป้องกันการกัดเซาะบริเวณปากอ่าวไทย พบว่า ไม่สามารถที่จะป้องกันการกัดเซาะบริเวณดังกล่าวได้ เนื่องจาก การติดตั้งของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นจะมีรู ปแบบการติดตั้งที่อยู่นอกชายฝั่ง

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ (1) เงื่อนไขความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิค โดยจะมีมาตรฐานคือจะต้องมีสภาวะคลื่นที่มีความถี่มากที่สุดอยู่ในระดับความสูงคลื่นนัยสำคัญอยู่ที่ 1-3.5 เมตร คาบคลื่น 5-7 วินาที และสามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์คือ โครงการดังกล่าวไม่มีความเป็นไปได้ ในเชิงเทคนิค เนื่องจากเงื่อนไขในเชิงเทคนิคนั้นต่ำกว่ามาตรฐาน โดยพื้นที่ อ่าวไทยนั้นมีสภาวะคลื่นที่มีความถี่มากที่สุด อยู่ที่บริเวณสงขลา จะมี ระดับความสูงคลื่นนัยสำคัญ เพียง 0.125-0.5 เมตร คาบคลื่น 4-6 วินาที และไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง (2) เงื่อนไขความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า โครงการดังกล่าวไม่มีความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนมีค่า 0.08 และมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่า -209,765,573.65 บาท ดังนั้น ถ้าจะทำให้การลงทุนดังกล่าวเกิดความคุ้มค่า จะต้องมีส่วนเพิ่มอัตรารับซื้อไฟฟ้าถึง 30.61 บาท จากรัฐบาลซึ่งมีความเป็นไปได้ยาก เนื่องจากปัจจุบันส่วนเพิ่มอัตรารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับสนับสนุน สูงที่สุดเพียง 8 บาทเท่านั้น

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต ....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

ปีการศึกษา 2555

5370358921 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS : WAVE ENERGY / ELECTRICAL POWER / BENEFIT COST RATIO / NET PRESENT VALUE

SANSIRI SIRISUNHIRUN : FEASIBILITY STUDY OF ELECTRICAL POWER GENERATION FROM WAVE ENERGY AND PROTECTION COASTAL EROSION : CASE STUDY INNER GULF OF THAILAND. ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMKIAT TANGJITSITCHAROEN, Ph.D., 271 pp.

The aim of this research is to study the feasibility to invest the electrical power generation from the wave energy and the protection of the coastal erosion at the Gulf of Thailand. There are two parts in this research to evaluate the investment. The first one is the power calculation which is the calculation of the electrical power generation by using the Pelamis transformer, which depends on the significant wave height (H_s) and the wave period (T_p). The second part is the economic analysis, which is the key performance indicator by using the Benefit to Cost ratio (B/C ratio) and the Net Present Value (NPV). Due to the coastal erosion protection, it is not possible since the Pelamis transformer has to be installed in the offshore, which cannot use to protect the coastal erosion

The feasibility analysis for the investment is categorized into two conditions. The first condition is the technical analysis, which has three criteria; the maximum frequency wave in the significant wave height of 1-3.5 meter, the wave period of 5-7 seconds, and the continuous electricity production. According to the technical analysis, the investment cannot be feasible because the wave conditions are below the criteria. Since the maximum frequency wave height in the Songkla area at the Gulf of Thailand is just 0.125-0.5 meter and the wave period is 4-6 seconds, which cannot produce the electricity continuously. In case of the economic analysis, it is not feasible because the benefit to cost ratio is 0.08, and the net present value is -209,765,573.65 baht. Hence, an adder must be supported about 30.61 baht from the government to make it feasible. However, it seems to be impossible since the maximum adder supported for the solar energy is just only 8 baht now.

Department : Industrial Engineering Student's Signature ....

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature ....

Academic Year : 2012

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รศ .ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิต เจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และชี้ แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ . ดร. สีรง ปรีชานนท์ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ .สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน ดร .ณัฐเดช เฟื่องวรวงค์ ที่ได้ชี้แนะให้ความรู้และคำแนะนำซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิ พนธ์ฉบับนี้ เป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร . อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์ ที่ได้ให้คำแนะนำและความรู้ทางด้านแหล่งน้ำและการกัดเซาะชายฝั่ง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ดร. วัฒนา กันบัว ที่ได้ให้คำแนะนำและความรู้ที่เกี่ยวข้องกับ วิทยาทางทะเล ซึ่งเป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ปี 2554

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่น้อง ห้องหน่วยปฏิบัติการวิจัย AMPE ที่ให้กำลังใจและได้ให้ความช่วยเหลือในด้านเอกสาร ในการเตือนกำหนดการส่งบทความและเตรียมนำเสนองานวิจัยได้ทันตามระยะเวลาที่กำหนด รวมไปถึงขั้นตอนการดำเนินการต่างๆในการส่งรูปของงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ได้ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ จ
กิตติกรรมประกาศ ฉ
สารบัญ ซ
สารบัญตาราง ญ
สารบัญภาพ ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 5
1.2 วัตถุประสงค์ 7
1.3 ขอบเขตการศึกษา 8
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8
1.5 ขั้นตอนการวิจัย 9
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 10
2.1.1 พลังงานคลื่นน้ำทะเล 10
2.1.2 การวิเคราะห์คลื่นในช่วงระยะเวลาสั้น 12
2.1.3 ความสูงคลื่นและคาบคลื่น 13
2.1.4 หลักการทางกายภาพของคลื่น 14
2.1.5 นิยามคลื่นชนิดต่างๆ 15
2.1.6 การตรวจวัดคลื่นด้วยทุ่นสมุทรศาสตร์ 16
2.1.7 การพยากรณ์และการทำนายการเกิดคลื่น 18
2.1.8 สถานที่ตั้งของอุปกรณ์ 19
2.1.9 อุปกรณ์ในการแปลงพลังงานคลื่น 20
2.1.10 การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ 23

หน้า

2.1.11 การวิเคราะห์ผลตอบแทนในการลงทุน 24
2.1.12 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ 28
2.1.13 การวิเคราะห์มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน 28
2.1.14 ค่าเสื่อมราคา และมูลค่าซาก 29
2.1.15 รายได้ 30
2.1.16 รายจ่าย 31
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 33
บทที่ 3 การกัดเซาะตามแนวชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน 41
3.1 ปัญหาการกัดเซาะตามแนวชายฝั่งพื้นที่อ่าวไทยตอนบน 41
3.1.1 การใช้ประโยชน์พื้นที่ชายฝั่งไม่เหมาะสม 42
3.1.2 การขาดปริมาณตะกอนสะสมตัวบริเวณพื้นที่แนวชายฝั่ง 43
3.1.3 การพัฒนาพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเล 44
3.1.4 การขาดระบบของข้อมูลพื้นฐาน 44
3.1.5 การเปลี่ยนแปลงของสภาพพื้นที่ตามธรรมชาติ 45
3.1.6 การกระทำของมนุษย์ทำให้เกิดการพังทลายของชายฝั่ง 46
3.2 การป้องกันการกัดเซาะตามแนวชายฝั่ง 47
3.2.1 มาตรการโครงสร้างแบบแข็ง 48
3.2.2 มาตรการโครงสร้างแบบอ่อน 50
3.3 การป้องกันการกัดเซาะจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น 51
3.3.1 อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น ที่ติดตั้งอยู่บนชายฝั่ง 52
3.3.2 อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นใกล้ชายฝั่ง 53
บทที่ 4 วิธีการดำเนินการวิจัย 57
4.1 ขั้นตอนในการเลือกพื้นที่ 58
4.1.1 ข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ 58
4.1.2 ข้อมูลคลื่นของพื้นที่ 62
4.2 การเลือกอุปกรณ์แปลงพลังงานไฟฟ้าจากมหาสมุทร 64
4.2.1 การแปลงพลังงานความร้อนจากทะเล 64
4.2.2 พลังงานลมนอกชายฝั่ง 67

หน้า

4.2.3 พลังงานจากการขึ้นและลง ของระดับน้ำทะเล 68
4.2.4 พลังงานจากคลื่นทะเล 68
4.3 ขั้นตอนการประเมิน 80
4.3.1 การคำนวณพลังงานไฟฟ้า 80
4.3.2 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ 84
บทที่ 5 ผลการวิจัย 98
5.1 ผลการคัดเลือกพื้นที่ 98
5.2 ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น 102
5.3 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ 110
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 121
6.1 สรุปผลการวิจัย 121
6.1.1 การเลือกพื้นที่กรณีศึกษา 121
6.1.2 การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น 122
6.1.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ 122
6.1.4 การป้องกันการกัดเซาะด้วยอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น 123
6.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม 124
รายการอ้างอิง 126
ภาคผนวก 131
ภาคผนวก ก 132
ภาคผนวก ข 234
ภาคผนวก ค 243
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 271

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3-1	ข้อดีและข้อจำกัดของการป้องกันการกัดเซาะจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น	55
4-1	ข้อมูลกายภาพของพื้นที่อ่าวไทย	58
4-2	ประเทศผู้นำในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทะเล	72
4-3	ส่วนประกอบของโครงสร้างอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น	85
4-4	อัตราเงินเฟ้อที่เกิดขึ้นจริงย้อนหลัง 8 ปี ตั้งแต่ปี 2547-2554	86
4-5	คำนวณมูลค่าของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นพิลามิส	87
4-6	ต้นทุนของโครงสร้างพื้นฐานอุปกรณ์พิลามิส	88
4-7	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นของโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์พิลามิส	89
4-8	รายจ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละปี	90
4-9	ค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดขึ้นของโครงการ	91
4-10	รายได้ที่เกิดจากการขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	92
5-1	เงื่อนไขความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิค	108
5-2	ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น	113
5-3	เงื่อนไขความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์	119

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1-1	แหล่งของพลังงาน	1
1-2	สัดส่วนการใช้พลังงานปฐมภูมิของโลกในปี 2540	2
1-3	สัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโลกในปี 2549	3
1-4	สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในปี 2553	6
2-1	นิยามของคลื่น	11
2-2	ภาพผิวหน้าของคลื่น	11
2-3	เทคนิค zero-up crossing	12
2-4	นิยามของคลื่นนิ่ง	15
2-5	แผนภาพจำลองทุ่นสำรวจ	17
2-6	โปรแกรมพยากรณ์คลื่น (WAM)	18
2-7	การเคลื่อนที่ของพลังงานคลื่นในช่วงต่างๆ	18
2-8	อุปกรณ์แบบ Direct mechanical device	20
2-9	อุปกรณ์แบบ Indirect mechanical device	21
2-10	อุปกรณ์แบบ Overtopping device	21
2-11	ระดับของความอิสระในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น	22
2-12	รูปแบบการพัฒนาโครงการ	24
3-1	พื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนบน	41
3-2	รูปแบบมาตรการป้องกันการกัดเซาะ	47
3-3	การป้องกันการกัดเซาะด้วยคันดักทราย	48
3-4	การป้องกันการกัดเซาะด้วยเขื่อนกั้นคลื่น	49
3-5	การป้องกันการกัดเซาะด้วยกำแพงกั้นคลื่น	49
3-6	การป้องกันการกัดเซาะด้วยไส้กรอกทราย	50
3-7	เขื่อนที่ติดตั้งระบบไฮโดรลิคอยู่ด้านบน ด้วยความดันอากาศ	52
3-8	อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น ให้เป็นพลังงานคลื่นไฟฟ้า Limpet	52
3-9	อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นใกล้ชายฝั่ง	53
3-10	จดหมายเสนอราคาข่าวการแจ้งเหมาก่อสร้างเขื่อนป้องกันการกัดเซาะ	56

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
4-1	ขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ในการแปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า	57
4-2	เกณฑ์ในการเลือกพื้นที่	60
4-3	ค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญ	62
4-4	คาบคลื่น	62
4-5	รายละเอียดของข้อมูลคลื่น	63
4-6	Open Cycle System	65
4-7	Close Cycle System	66
4-8	Offshore Wind	67
4-9	พลังงานจากการขึ้นลงของระดับน้ำทะเล	68
4-10	ด้านข้างของอุปกรณ์ Pelamis	69
4-11	ด้านบนของอุปกรณ์ Pelamis	70
4-12	พลังงานถูกส่งไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	70
4-13	การแปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า	71
4-14	อุปกรณ์พิลามิส ถูกทดสอบในสภาวะคลื่นทะเลจริง	74
4-15	อุปกรณ์พิลามิสแปลงพลังงานคลื่นพิลามิส	75
4-16	ส่วนประกอบภายในตัวแปลงไฟฟ้าของอุปกรณ์พิลามิส	76
4-17	การจัดการระบบ Mooring ของอุปกรณ์พิลามิส	77
4-18	ภาพประกอบของ Mooring	78
4-19	ขั้นตอนการประเมิน	80
4-20	ตารางเมทริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น	81
4-21	Process Chart ของการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น	81
4-22	ตารางจำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นเดือนมกราคม	83
4-23	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นของโครงการ	88
4-24	ค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดขึ้นโครงการ	90
4-25	โครงสร้างกิจการไฟฟ้าของประเทศไทยในปัจจุบัน แบบผู้ซื้อรายเดียว	92
4-26	ส่วนเพิ่มอัตรารับซื้อไฟฟ้า	95
5-1	อ่าวไทยตอนบนหรืออ่าวไทยรูปตัว ก.	99

สารบัญรูป

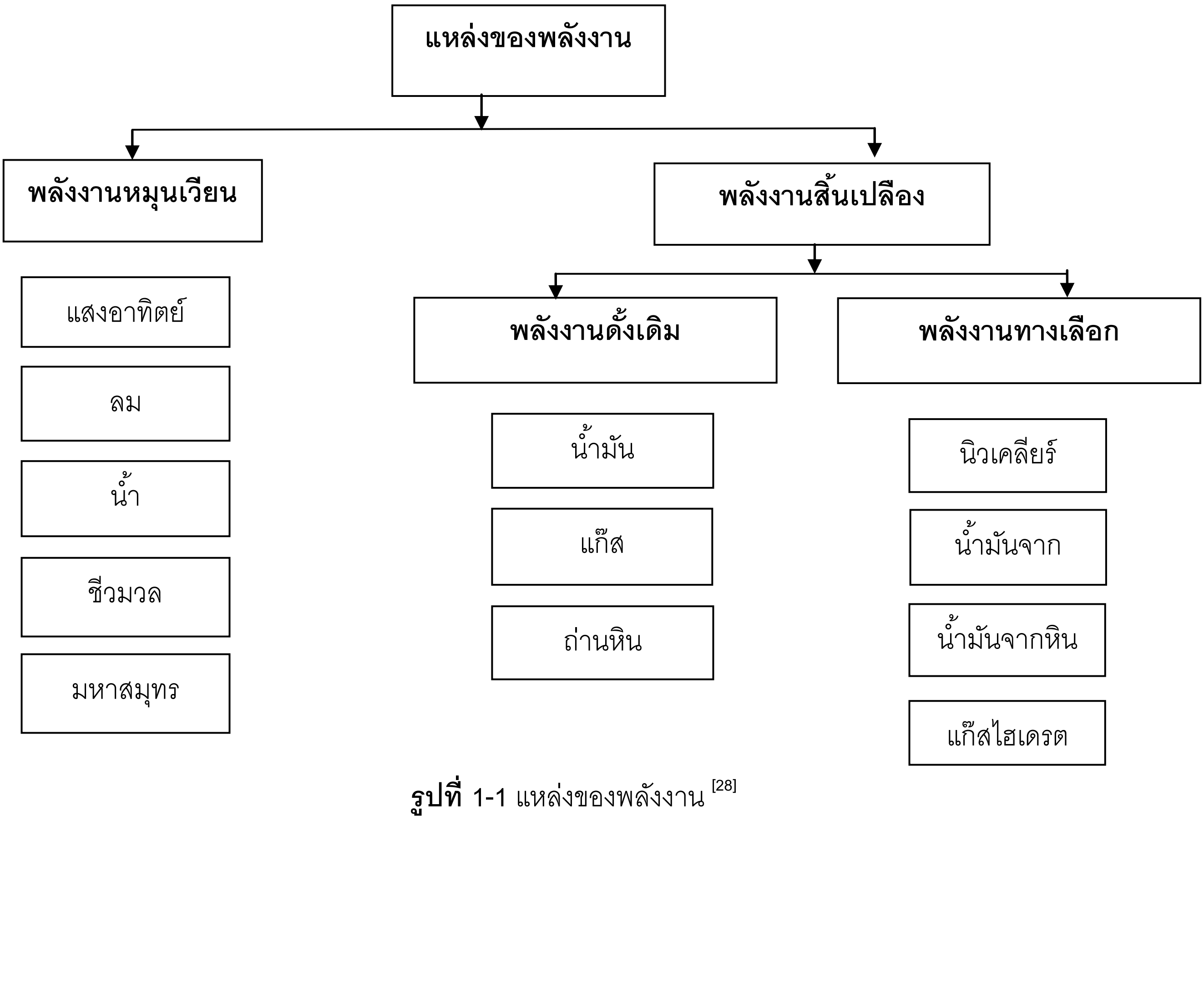
รูปที่ หน้า

5-2	อ่าวไทยตอนล่าง	100
5-3	แผนภาพความสูงและทิศทางของคลื่นทะเล	101
5-4	ตารางแสดงประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น	103
5-5	จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้นในเดือนมกราคม	104
5-6	ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพื้นที่บริเวณทุ่นสงขลา	105
5-7	จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้น 1 ปี	106
5-8	ความถี่ของสภาวะคลื่นทะเลที่เกิดขึ้นมากที่สุด	107
5-9	ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นของโครงการ	112
5-10	Discrete Cash Flow : Compound Interest Factors	114
5-11	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นทั้งหมดของโครงการ	115
5-12	ค่าใช้จ่ายปีที่เกิดขึ้นของโครงการ	116

บทที่ 1

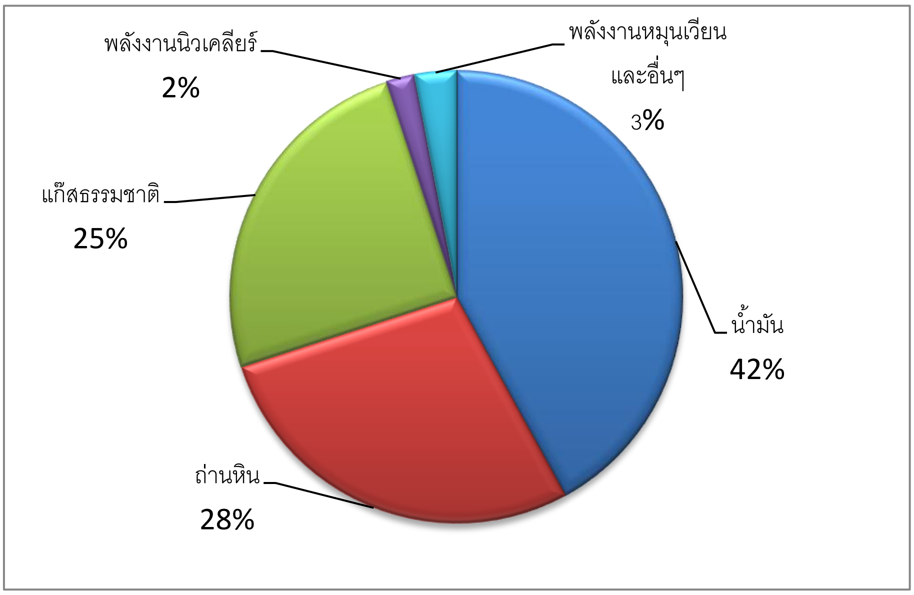
บทนำ

ในปัจจุบัน การพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและเทคโนโลยีเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ความต้องการในการใช้พลังงานจึงมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการนำพลังงานในรูปแบบต่างๆมาใช้ประโยชน์มากมาย เช่น การขนส่งคมนาคม , การผลิตไฟฟ้า เป็นต้น โดยแหล่งพลังงานจะอยู่ในรูปของน้ำมันถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น พลังงานในรูปแบบดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ ในช่วงเวลาที่ผ่านมา ในหลายประเทศได้เริ่มหันมาสนใจในการใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนกันมากขึ้น เช่น พลังงานจากลม , พลังงานแสงอาทิตย์ , พลังงานจากมวลชีวภาพ และพลังงานจากทะเล เป็นต้น ซึ่งแหล่งพลังงานสามารถแบ่งออกมาตามแหล่งกำเนิด ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1-1



รูปที่ 1-1 แหล่งของพลังงาน [28]

การใช้พลังงานของโลกโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ประกอบไปด้วยน้ำมัน แก๊สธรรมชาติ และถ่านหิน มีปริมาณรวมกันสูงถึงร้อยละ 95 พลังงานหมุนเวียน ร้อยละ 3 และพลังงานนิวเคลียร์ ร้อยละ 2 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1-2 ซึ่งปริมาณการใช้พลังงานของโลกในปี 2540 จะมีปริมาณ 9,371 พันล้านลิตร เมื่อเทียบเท่าน้ำมันดิบ

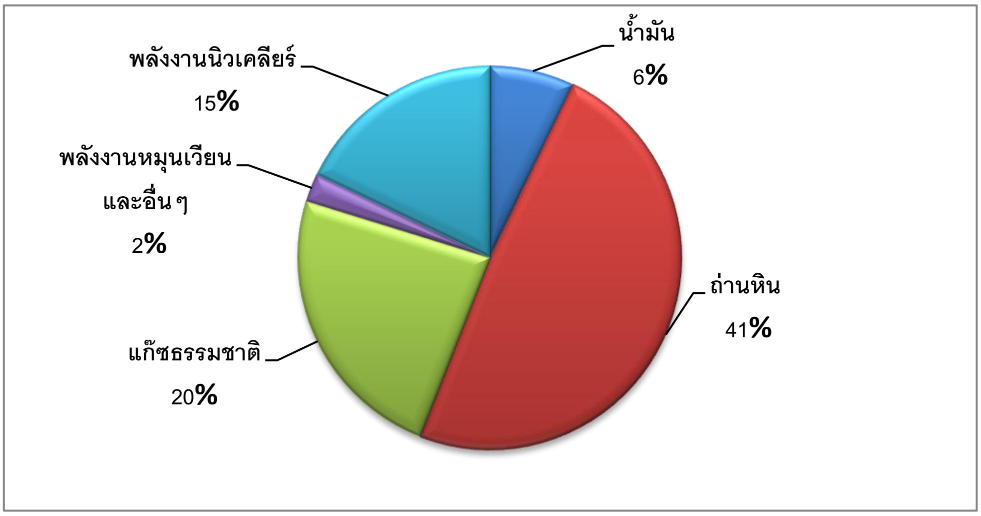


รูปที่ 1-2 สัดส่วนการใช้พลังงานปฐมภูมิของโลกในปี 2540 [1]

ถ้าหากโลกยังมีการใช้พลังงานที่เป็นอยู่และไม่มีการค้นพบแหล่งพลังงานเพิ่มเติม มีการคาด การณ์ไว้ว่า จะมีแหล่งสำรองน้ำมันจะใช้ได้อีก ประมาณ 42 ปี ก๊าซธรรมชาติ ประมาณ 64 ปี และถ่านหินอีกประมาณ 220 ปี โดยเริ่มนับตั้งแต่ปี 2540 ปริมาณสำรองของพลังงานต่างๆ คงเหลือดังนี้ [1]

- **น้ำมัน** มีปริมาณสำรองที่พิสูจน์แล้ว คงเหลือ 164,966 พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ
- **ก๊าซธรรมชาติ** มีปริมาณสำรองที่พิสูจน์แล้ว คงเหลือ 146,050 พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ
- **ถ่านหิน** มีปริมาณสำรองที่พิสูจน์แล้ว คงเหลือ 584,018 พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ

ในส่วนเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ พลังน้ำ ความร้อนใต้พิภพ พลังลม และอื่นๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่า โดยในปี 2549 สัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโลก การกระจายเชื้อเพลิงโดยใช้ถ่านหินมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 41.0 ตามด้วยการใช้ ก๊าซธรรมชาติร้อยละ 20.1 พลังงานน้ำร้อยละ 16.0 นิวเคลียร์ร้อยละ 14.8 น้ำมันร้อยละ 5.8 พลังงานหมุนเวียนและอื่นๆ ร้อยละ 2.3 แสดงดังรูปที่ 1-3



รูปที่ 1-3 สัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโลกในปี 2549 [1]

ซึ่งในแต่ละประเทศจะมีการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้าในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากจะต้องดำเนินการตามนโยบายทางด้านพลังงานทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ และข้อจำกัดภายในประเทศนั้นๆ ไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัวที่แน่นอน ในอนาคตมีแนวโน้มที่จะมีการใช้พลังงานที่สูงขึ้นเนื่องจากการที่การเพิ่มขึ้นของประชากรและการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วจึงอาจส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในแต่ละประเทศจึงต้องมีการบริหารจัดการทางด้านพลังงานที่ดีเพื่อทำให้เกิดสมดุลทางเ ศรษฐกิจ (Economy) การใช้พลังงาน (Energy) และสิ่งแวดล้อม (Environment) หรือที่เรียกว่า 3 E โดยไม่ให้สิ่งใดสิ่งหนึ่งเกิดขึ้นมากเกินไปจะทำให้เสียสมดุลในด้านการบริหารจัดการในด้านพลังงานของประเทศนั้น [2]

โดยพื้นฐานของโลกแหล่งพลังงานที่สำคัญส่วนใหญ่จะได้รับมาจา กพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานที่ได้รับในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกลงพื้นโลก จะเห็นได้ชัดเจนว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นความถี่ที่คนเรามองเห็นได้คือ แสงสว่าง ซึ่งความเข้มข้นที่ตกลงมามีปริมาณที่มากเป็นแสนเท่าของพลังงานที่มนุษย์ใช้อยู่ แหล่งพลังงานประเภทถ่า นหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ล้วน

เป็นผลจากการที่ซากพืชซากสัตว์ จับพลังงานมาแปรรูปตัวเอง ซึ่งหลักการของการจับพลังงานจากดวงอาทิตย์มาแปรรูปสามารถอธิบายพลังงานลม พลังงานชีวมวล และพลังงานน้ำได้เช่นกัน

เมื่อวิเคราะห์ถึงแหล่งเก็บพลังงานจากดวงอาทิตย์จะเห็นว่า ทะเล/มหาสมุทร จะมีการเก็บสะสมพลังงานของแสงอาทิตย์เอาไว้มากที่สุด เนื่องมาจาก 3 ใน 4 ส่วนของโลก จะมีพื้นที่ทะเล / มหาสมุทรอยู่ประมาณ 361 ล้านตารางกิโลเมตร ความลึกเฉลี่ย 3,730 เมตร จึงทำให้เป็นแหล่งสะสมพลังงานที่ใหญ่ที่สุด โดยมีการรับพลังงานแสงอาทิตย์คิดเป็น 0.53×10^{18} กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือ 1.9×10^{18} เมกกะจูลต่อปี (ภายใต้เงื่อนไขค่า clearness index เฉลี่ย = 0.5) พลังงานในส่วนนี้ ทะเล /มหาสมุทร จะไม่สามารถรับพลังงานได้ทั้งหมด ซึ่งจะมีบางส่วนสะท้อนกลับไปเล็กน้อย ถ้าประเมินศักยภาพพลังงานที่สะสมในทะเล/มหาสมุทร ต้องคำนวณจากพลังงานที่ทำให้น้ำระเหยไปเฉลี่ยใน 1 ปี เท่ากับ 1.2 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ = 2,454 kJ/kg ความหนาแน่นของน้ำทะเล ประมาณ 1,000 kg/m^3 สามารถคำนวณปริมาณพลังงานของทะเล /มหาสมุทรที่ดูดกลืนไว้ใน 1 ปี ถึง 3×10^6 kJ/m^2 หรือคิดเป็น14 % ของปริมาณพลังงานที่ตกกระทบบนผิวน้ำ คือประมาณ 95 W/m^2 ในเขตร้อน เมื่อเทียบกับน้ำมันดิบจะคิดเป็น 31,200 พันล้านบาร์เรลต่อปีที่แตกต่างกันตามเส้นละติจูด [3]

การใช้ประโยชน์จากพลังงานทะเล/มหาสมุทรเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันมีด้วยกัน 4 เทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนา ดังนี้ [4]

1. ความแตกต่างของอุณหภูมิ (Ocean Temperature Energy Conversion)
2. คลื่นทะเล (Wave Energy)
3. ลมนอกชายฝั่งทะเล (Offshore Wind)
4. น้ำขึ้น น้ำลง (Tides)

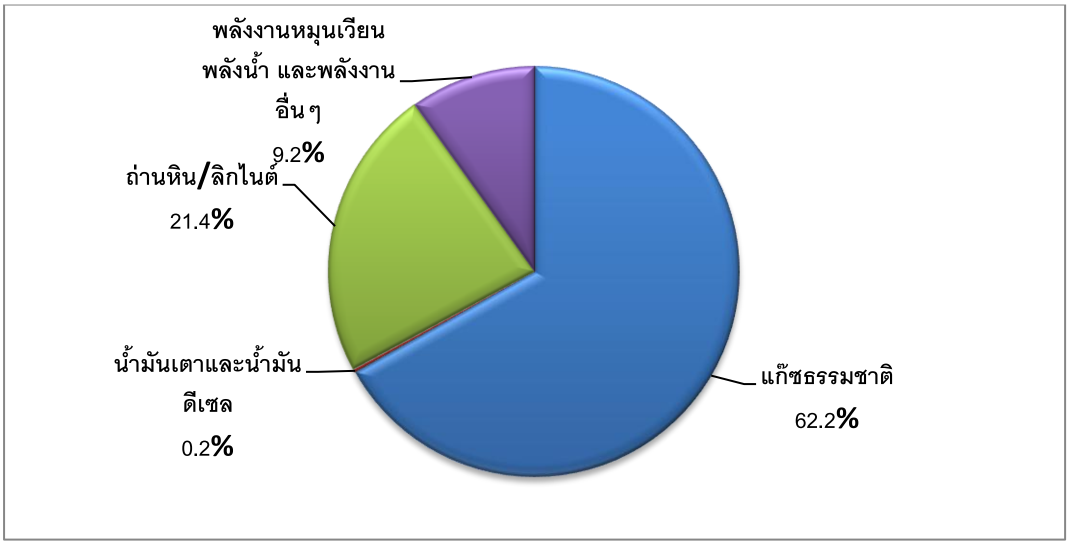
เทคโนโลยีดังกล่าวจะมีความแตกต่างกันในการใช้ประโยชน์จากมหาสมุทร จุดเริ่มต้นของการคิดค้นที่นำพลังงานคลื่นมาใช้ประโยชน์เนื่องมาจากในปี ค.ศ. 1973 (พ.ศ.2516) ได้เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันขาดแคลน นำไปสู่สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงในด้านพลังงานทดแทน จึงทำให้เกิดความสนใจในการนำพลังงานจากคลื่นมาใช้ในระดับที่สูงขึ้น [5] รัฐบาลอังกฤษได้เห็นความสำคัญในการวิจัยและพัฒนาในด้านพลังงานคลื่นมากขึ้น ในปี ค.ศ. 1975 (พ.ศ.2518) และในช่วงเวลาต่อมารัฐบาลประเทศ นอร์เวย์ ได้จัดการประชุมขึ้นครั้งแรกที่ประเทศอังกฤษ จากนั้นประเทศนอร์เวย์ก็ได้เริ่มมีการทดสอบโครงสร้างต้นแบบอุปกรณ์ในการแปลงพลังงานคลื่นต้นแบบตามแนวชายฝั่งใกล้กับเมืองเบอร์เกนในปี ค.ศ. 1985(พ.ศ.2528) ได้มีการพัฒนาต่อไปจนกระทั่งในปี 1990 (พ.ศ.2533) ประเทศต่างๆในแถบยุโรปได้เริ่มหันมาศึกษาในด้านพลังงาน

คลื่นในเชิงวิชาการมากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันมีประเทศที่สามารถพัฒนาและใช้งานอุปกรณ์การแปลงพลังงานคลื่นได้ประสบความสำเร็จแล้วหลายประเทศ ได้แก่ โปรตุเกส , เดนมาร์ก, อังกฤษ, และแคนาดา เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยนั้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานมหาสมุทรยังถือได้ว่าเป็นเรื่อง ที่ใหม่ ถ้าจะต้องมีการนำเทคโนโลยีมาใช้จริงจะต้องมีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของโครงการก่อนว่ามีความเหมาะสมกับประเทศไทยอย่างไร ซึ่งให้สอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาล การนำแหล่งพลังงานหมุนเวียนทางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และอาจจะเป็นทางหนึ่งที่ จะช่วยในการลดปัญหาการกัดเซาะตามแนวชายฝั่งก็เป็นได้ เนื่องจากประเทศไทยได้ประสบปัญหาการกัดเซาะตามแนวชายฝั่ง ซึ่งทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆในแต่ละปี โดยเกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่ที่บริเวณแนวชายฝั่งอ่าวไทย ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่มาจากการที่คลื่นนั้นพัดผ่านเข้ามากระท บชายฝั่งทำให้ดินตะกอนเกิดการเปลี่ยนแปลงและถูกพัดพาออกไปจากแนวชายฝั่งเดิม ซึ่งเป็นสาเหตุของการกัดเซาะที่เกิดขึ้น รัฐบาลจึงได้ต้องตระหนักถึงแนวทางการหาวิธีและมาตรการในการป้องกันต่างๆ เพื่อจะช่วยลดแรงของคลื่นที่จะเข้ามาสู่แนวชายฝั่ง โดยอุปกรณ์การแปลงพลังงานจากคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้านั้นก็เป็นวิธีหนึ่งซึ่งอาจจะสามารถช่วยในการลดแรงของคลื่นที่เกิดขึ้นได้ก่อนที่จะพัดเข้าสู่ชายฝั่ง อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ในการแปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าก็มีลักษณะรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของพื้นที่และ ขนาดของอุปกรณ์ในการติดตั้ง ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าและยังเป็นอุปกรณ์ที่ยังช่วยในการลดแรงของคลื่นได้อีกทางหนึ่งด้วย

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัญหาความมั่นคงในการจัดหาพลังงานทดแทน ในด้านนโยบาย "การกระจายแหล่งเชื้อเพลิง และชนิดเชื้อเพลิง " เนื่องจากในปัจจุบัน การผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยมีการนำแก๊สธรรมชาติมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตอัตราที่สูงมาก จึงทำให้เกิดความเสี่ยงในความมั่นคงของการจัดหาพลังงาน ประกอบกับราคาของแก๊สธรรมชาติที่ไม่คงที่เพราะว่ามีการผูกติดกับราคาน้ำมันและยังเป็นการเร่งให้เกิดการใช้ทรัพยากรในประเทศให้หมดไปอย่างรวดเร็ว โดยแสดงดังรูปที่ 1-4 จะแสดงถึงสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย ในปี 2553



รูปที่ 1-4 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ในปี 2553[29]

สำหรับประเทศไทย ได้มีการคาดการณ์ถึงเชื้อเพลิงที่เป็นส่วนหลักสำคัญในการผลิตไฟฟ้า ได้แก่ น้ำมันดิบ, ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน ซึ่งได้คาดการณ์ไว้ว่า

- **น้ำมันดิบ** มีปริมาณสำรองที่พิสูจน์แล้วเหลือเพียง 17 พันล้านลิตร ซึ่งปริมาณสำรองที่มีอยู่ไม่เพียงพอกับปริมาณความต้องการใช้ในแต่ละปี
- **ก๊าซธรรมชาติ** มีปริมาณสำรองพิสูจน์แล้วเหลือเพียง 356 พันล้านลิตร ซึ่งหากปริมาณการใช้ไม่เปลี่ยนแปลงและไม่มีการค้นพบเพิ่มเติมแล้ว คาดว่าจะใช้ไปได้อีกประมาณ 22 ปี
- **ถ่านหิน (ลิกไนต์)** ที่พัฒนาขึ้นมาใช้ประโยชน์แล้ว มีปริมาณสำรองที่ประเมินแล้วคงเหลือ 1,676 พันล้านลิตร แบ่งเป็นเหมืองของ กฟผ. 1,495 พันล้านลิตร และเหมืองเอกชน 181 พันล้านลิตร ซึ่งหากปริมาณการใช้ไม่เปลี่ยนแปลงและไม่มีการค้นพบเพิ่มเติมแล้ว คาดว่าจะใช้ได้อีกประมาณ 62 ปี

จากการคาดการณ์ดังกล่าวจะเห็นว่า พลังงานหลักส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานที่ อยู่ในกลุ่มพลังงานทดแทนที่อยู่ในรูปพลังงานสิ้นเปลือง ซึ่งใช้แล้วหมดไป ถ้าในอนาคตไม่สามารถหาแหล่งเชื้อเพลิงเพิ่มเติมได้ จะทำให้ประเทศไทยขาดแคลนพลังงานหลักที่ใช้ผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะนำไปสู่วิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานในอนาคต จะทำให้เกิดปัญหาในด้านต่างๆ เช่น ทางด้าน การคมนาคม, ด้านธุรกิจ, การพัฒนาเทคโนโลยี, การสื่อสาร เป็นต้น ดังนั้น พลังงานหมุนเวียนก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่รัฐบาลได้ให้การสนับสนุนในการนำมาใช้เพื่อผลิตไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องจากเป็น

พลังงานที่ใช้แล้วไม่มีวันหมดและยังเป็นทรัพยากรที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ เช่น พลั งงานลม , พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานชีวมวล เป็นต้น สำหรับพลังงานจากมหาสมุทร เป็นทางเลือกหนึ่งในการสนับสนุนนโยบายของรัฐบาลในแง่ของการกระจายเชื้อเพลิง เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงชนิดใดชนิดหนึ่งที่มากเกิน และยังเป็นการนำพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้เกิด ประโยชน์สำหรับประเทศไทย ซึ่งในงานวิจัยนี้จะให้ความสำคัญเกี่ยวกับการนำพลังงานคลื่นจากนอกชายฝั่งเป็นทรัพยากรในการผลิตไฟฟ้าในประเทศ

1.1.2 การลดปริมาณแก๊ส CO_2 ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิง ถ่านหิน , น้ำมันและแก๊สธรรมชาติ ซึ่งจะส่งผล กระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม โดยการใช้พลังงานจากคลื่นทะเลมาเป็นทรัพยากรในการผลิตไฟฟ้า เป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาด ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ และมีการใช้งานได้จริงอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ ในอนาคตสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าเสริมให้กับระบบไฟฟ้า [6] ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของรัฐที่มีการสนับสนุนในด้านการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนมากขึ้น

ในการทำการศึกษาของงานวิจัยนี้จะนำเสนอถึงการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำพลังงานคลื่นทะเลมาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าบริเวณพื้นที่อ่าวไทย และศึกษาถึงประสิทธิภาพเครื่องมือในการแปลงพลังงานคลื่นน้ำให้เป็นพลังงานไฟฟ้าจากต่างประเทศรวมทั้งศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้า และความคุ้มค่าของพลังงานคลื่นน้ำทะเลเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้พลังงานทดแทนในอีกรูปแบบหนึ่ง เพื่อลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงและน้ำมันซึ่งเป็นพลังงานที่มีแนวโน้มที่กำลังจะหมดไปในอนาคตเพื่อให้เกิดพลังงานทางเลือกในรูปแบบใหม่ขึ้นมาเพื่อความยั่งยืนและการพัฒนาทางด้านต่างๆไม่ว่าจะเป็นทางด้านเศรษฐกิจและเทคโนโลยีของประเทศต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 วิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำทะเล ที่อ่าวไทย

1.2.2 วิเคราะห์เชิงเทคนิคของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำทะเล

1.2.3 ศึกษาและทบทวนวิธีป้องกันการกัดเซาะจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น ที่อ่าวไทย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำที่อ่าวไทย จะใช้สถิติข้อมูลการตรวจวัดคลื่นของพื้นที่ทุ่นสำรวจในปี 2537-2538 จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ และข้อมูลคลื่นจากกรมอุตุนิยมวิทยาทางทะเล

1.3.2 อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นที่ใช้จะเป็นอุปกรณ์ที่ชื่อ Pelamis เป็นอุปกรณ์ที่มีการแสดงถึงประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานในรูปแบบตารางเมทริกซ์ ซึ่งมีอัตราการผลิตสูงสุด 750 kW ซึ่งอัตราการผลิตนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาวะของคลื่น

1.3.3 การวิเคราะห์การเลือกอุปกรณ์ในการผลิตไฟฟ้าจาก พลังงานคลื่นน้ำจะไม่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง

1.3.4 ศึกษาและทบทวนการป้องกันการกัดเซาะที่อ่าวไทยเท่านั้นในงานวิจัยนี้ โดยจะไม่นำมาพิจารณาต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการคิดค่าไฟฟ้า

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบการสร้างเครื่องแปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับพื้นที่บริเวณพื้น กรณีศึกษา ปากอ่าวไทย

1.4.2 เพื่อเป็นการประเมินความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิค และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในการติดตั้งเครื่องมือแปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

1.4.3 เพื่อเป็นพลังงานทดแทน รูปแบบหนึ่งที่ลดการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นแนวทางในการเลือกใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่าต่อไปในอนาคต

1.4.4 เพื่อหาพลังงานทางเลือกใหม่สำหรับอนาคต ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นทะเล เพื่อทดแทนพลังงานดั้งเดิม

1.4.5 เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการป้องกันกัดเซาะตามแนวชายฝั่งต่อไปในอนาคต

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

1.5.1 ศึกษาเอกสารบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำทะเล ทั้งในประเทศและต่างประเทศ

1.5.2 ศึกษาอุปกรณ์ในการแปลงคลื่นน้ำให้เป็นพลังงานไฟฟ้าของต่างประเทศ เพื่อพิจารณาว่าอุปกรณ์ชนิดใดเหมาะสมที่จะนำมาใช้ ในพื้นที่ฝั่งอ่าวไทย

1.5.3 ศึกษาและทบทวนการป้องกันการกัดเซาะด้วยอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น จากอุปกรณ์ที่เป็นไปได้

1.5.4 วิเคราะห์ข้อมูลของคลื่นและคาบคลื่นประเมินศักยภาพพลังงานในรูปแบบทั่วไปของพื้นที่อ่าวไทย

1.5.5 วิเคราะห์ประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องอุปกรณ์แปลงคลื่นน้ำ และปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพื้นที่บริเวณฝั่งอ่าวไทย

1.5.6 วิเคราะห์ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำทะเล โดยใช้ดัชนีชี้วัด คือ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อ เงินลงทุน (Benefit Cost Ratio: BCR)

1.5.7 วิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัย

1.5.8 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

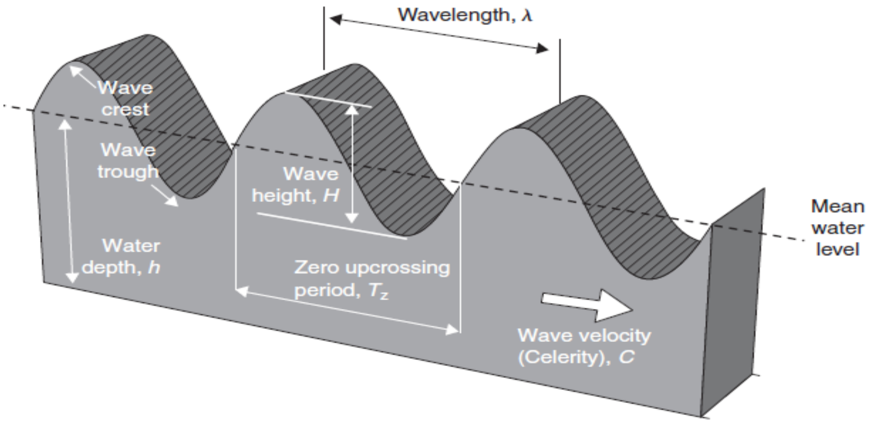
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 พลังงานคลื่นน้ำทะเล (Ocean Wave Energy) [7]

คลื่นในรูปแบบชนิดต่างๆที่เกิดขึ้นบนมหาสมุทรทะเลนั้นจะเป็นคลื่นที่อยู่บนผิวน้ำและคลื่นที่อยู่ใต้น้ำ คลื่นเหล่านี้สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงพลังงานจากแหล่งกำเนิด อย่างเช่น แหล่งกำเนิดคลื่นที่ถูกกระตุ้นด้วยแรงต่างๆ เช่น แรงโน้มถ่วง แรงที่เกิดจากแผ่นดินไหว และแรงที่ทำปฏิกิริยากันบนผิวน้ำ สิ่งสำคัญในเรื่องพลังงานคลื่น คือการแปลงพลังงานของคลื่นลมทะเลที่ก่อตัวขึ้นแล้วพัดผ่านพื้นที่ซึ่งอยู่รอบมหาสมุทรเป็นบริเวณกว้างกับพื้นผิวของแรงเสียดทาน เป็นการแปลงรูปแบบของพลังงานแบบหนึ่ง ซึ่งคลื่นมี 2 ประเภทที่จะสามารถแปลงเป็นพลัง งานคลื่นได้แก่ คลื่นสเวลล์และลมทะเลในบริเวณพื้นที่ ซึ่งคลื่นสเวลล์เป็นการเปลี่ยนรูปพลังงานของลมพายุที่อยู่ในระยะทางไกล ในขณะที่ลมทะเลพื้นที่จะมีการเปลี่ยนรูปให้เป็นพลังงานใกล้กับจุดที่สนใจ ขนาดของคลื่นที่จะมาเป็นพลังงานนั้น จะขึ้นอยู่กับรูปแบบของความเร็วลม ในพื้นที่ ขนาดของพายุในพื้นที่หรือที่เรียกว่า เฟทซ์ (fetch) [8] และ ช่วงเวลาของการเกิดพายุ การที่คลื่นมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น สาเหตุเกิดจากการที่ความเร็วลมมากขึ้นจนเปลี่ยนสภาพเข้าสู่สภาวะการเกิดพายุ คลื่นสเวลล์จะเคลื่อนที่สู่แนวชายฝั่งก่อนที่พายุจะเกิดขึ้น ทำให้ สามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงคลื่นให้เป็นพลังงานด้วยสมการโดยตรงซึ่งพลังงานที่ได้จะอยู่ในหน่วย $kW.m^{-1}$ ซึ่งจะแสดงดังนี้

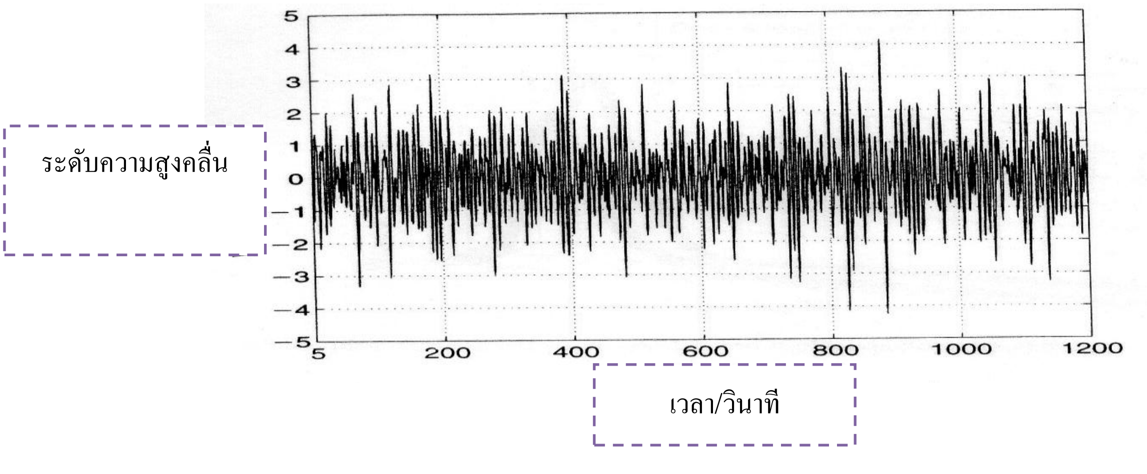
พลังงานต่อความกว้างพื้นผิวคลื่น $= 0.49\, H^2T$ $kW.m^{-1}$ ……………………สมการที่ 2.1

ค่า H คือ ความสูง หน่วยเป็น เมตร ส่วน T คือคาบคลื่น ความกว้างในหน่วยที่เป็นเมตรจะถูกวัดที่สันคลื่น โดยแสดงดัง รูปที่ 2-1 ซึ่งสันคลื่นจะมีทิศทางการแพร่กระจายในแนวตั้งฉากกับคลื่นโดยปกติแล้วสำหรับคลื่นโมโนโครมาติค จะเป็นคลื่นที่มีความสูงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นโดยทั่วไป จะทำให้คลื่นมีการเคลื่อนที่ อย่างสม่ำเสมอ (linear wave) แต่เมื่อคลื่นมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ในทางทฤษฎีจะต้องมีการปรับปรุงการเคลื่อนที่ของคลื่นที่มีการเคลื่อนที่แบบไม่สม่ำเสมอ (non-linear) ขึ้นมาเพื่ออธิบายในลักษณะของคลื่นที่มีขนาดใหญ่ขึ้น



รูปที่ 2-1 นิยามของคลื่น [8]

ในสถานการณ์ปัจจุบันสามารถที่จะอธิบายในเรื่องของคลื่นโมโนโครมาติค มักจะไม่เป็นความจริงเสมอไป ซึ่งความสูงคลื่นและคาบของคลื่นจะมีการแปรผันอย่างต่อเนื่องกัน โดยตัวอย่างของผิวน้ำ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2-2



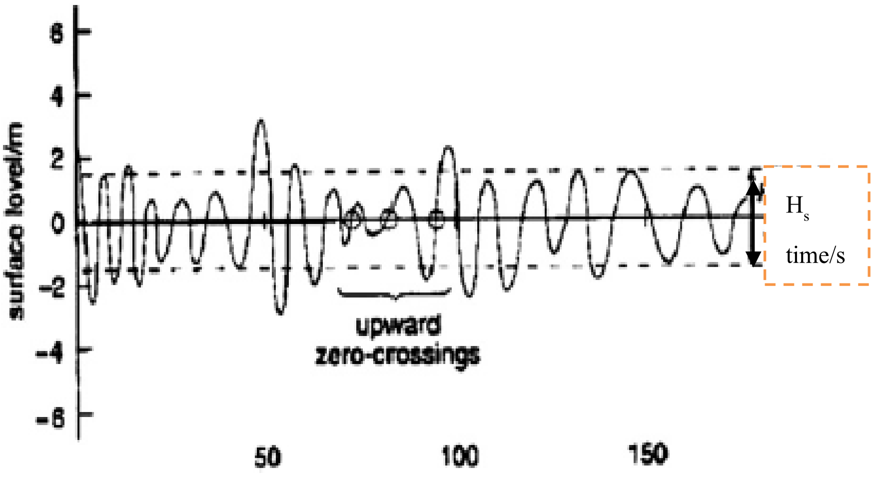
รูปที่ 2-2 ภาพผิวหน้าของคลื่น [8]

ค่า H_s คือค่าของความสูงคลื่น และ T_z คือระดับน้ำเคลื่อนที่ผ่านระดับศูนย์ (zero crossing period) ค่าความเชื่อมั่นของความสูงคลื่นจะเป็นค่าเฉลี่ยความสูงคลื่น 1 ใน 3 ของคลื่นที่สูงที่สุดของการตรวจวัดคลื่นทั้งหมด ซึ่งเปรียบเหมือนกับการทำนายโดยการมองสังเกตไปที่ทะเล ระดับน้ำเคลื่อนที่ผ่านระดับศูนย์ (zero crossing period) เป็นค่าเฉลี่ยของคาบคลื่นทั้งหมดโดยอธิบายจาก ระดับน้ำเคลื่อนที่ขึ้นผ่าน ระดับศูนย์ (zero up-crossing period) ต่อมา T_e เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แทนคาบที่เทียบเท่าของคลื่นโมโนโครมาติคกับพลังงานที่เหมือนกันในรูปคลื่นแพนโครมาติคซึ่งมีความสูงของคลื่นเท่ากันอย่างมีนัยสำคัญ

2.1.2 **การวิเคราะห์คลื่นในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ** (Short-term wave analysis)

เทคนิคที่นิยมใช้ในการหาค วามสูงคลื่น ที่จะมาเป็นตัวแทนของสภาวะของมหาสมุทร คือ เทคนิค Zeroup-crossing และเทคนิค Zero-downcrossing ทั้งสองเทคนิคนี้มีลักษณะที่คล้ายกัน และสามารถใช้แทนกันได้ โดยแสดงดังรูปที่ 2-3

Zero-upcrossing หมายถึงการที่ระดับน้ำเคลื่อนที่ขึ้นผ่านระดับศูนย์คลื่น 1 ลูก คือช่วงระหว่าง Zero-upcrossing ที่ติดกัน ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำที่ต่ำที่สุดและระดับน้ำที่สูงที่สุด ในช่วง Zero-upcrossing ที่ติดกันคือความสูงคลื่นลูกนั้น



รูปที่ 2-3 เทคนิค zero-up crossing [23]

รายละเอียดของเทคนิค Zero-upcrossing มีดังนี้

- ขั้นตอนแรกคือการหาค่าระดับน้ำปานกลาง (Mean water level) ณ ขณะที่ทำการตรวจวัดคลื่นและตั้งค่าระดับน้ำปานกลางให้เป็นระดับศูนย์

- ขั้นตอนต่อไปคือการหาจุดที่ระดับน้ำเคลื่อนจากระดับต่ำกว่าศูนย์ขึ้นไปอยู่เหนือจุดที่สูงกว่าศูนย์(Zero-upcrossing point) จุดนั้นจะเป็นจุดเริ่มต้นของคลื่นลูกหนึ่ง จุดสิ้นสุดของคลื่นลูกนั้นจะเป็นจุดที่ระดับน้ำทำการเคลื่อนจากระดับต่ำกว่าศูนย์ขึ้นไปอยู่เหนือจุดที่ สูงกว่าศูนย์อีกครั้งหนึ่ง ค่าความสูงที่แตกต่างกันของจุดที่ต่ำที่สุดกับจุดที่สูงที่สุดระหว่าง Zero-upcrossing points ที่ติดกัน จะเป็นความสูงของคลื่นลูกนั้น ระยะเวลาระหว่าง Zero-upcrossing points ที่ติดกันจะเป็นคาบคลื่น

2.1.3 **ความสูงคลื่นและคาบคลื่น** (Representative wave height and wave period)

การคำนวณความสูงคลื่นและคาบคลื่นที่จะใช้เป็นตัวแทนนั้น สามารถทำได้โดยใช้ตัวแปรคลื่นต่างๆ สื่อความหมาย ซึ่งได้แก่

- ความสูงคลื่นเฉลี่ย $(\overline{H}) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} H_i$ ซึ่งหมายถึงการนำค่าความสูงคลื่นทุกตัวมาเฉลี่ยกัน

- คาบคลื่นเฉลี่ย $(\overline{T}) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} T_i$ ซึ่งหมายถึงการนำคาบคลื่นทุกตัวมาเฉลี่ยกัน

หรือ ความสูงคลื่น Root mean square

ความสูงคลื่นและคาบคลื่นตัวแทนอื่นๆที่นิยมใช้กันได้แก่ Highest wave (max H และ max T) หมายถึงคลื่นที่สูงที่สุดและมีคาบคลื่นนานที่สุดในการตรวจวัด Highest one-tenth wave (H1/10, T1/10) นำคลื่นในช่วงเวลาที่ตรวจวัดมาเรียงลำดับจากค่าที่มากที่สุดไปยังค่าที่น้อยที่สุด จากนั้นนำค่าความสูงคลื่นทุกตัวที่อยู่ในกลุ่มที่สูงเป็น 1 ใน 10 ของจำนวนคลื่นทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย ในที่นี้เราจะอธิบายชนิดของ คลื่นตัวแทน (Representative wave height) 4 แบบ ที่สามารถใช้อธิบายสถานะของท้องทะเลในขณะนั้น [9]

- Highest wave (max *H* และ max *T*) หมายถึงคลื่นที่สูงที่สุดและมีคาบคลื่นนานที่สุดในการตรวจวัด

- Highest one-tenth wave (H1/10, T1/10) นำคลื่นในช่วงเวลาที่ตรวจวัดมาเรียงลำดับจากค่าที่มากที่สุดไปยังค่าที่น้อยที่สุด จากนั้นนำค่าความสูงคลื่นทุกตัวที่อยู่ในกลุ่มที่สูงเป็น1 ใน 10 ของจำนวนคลื่นทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย

- Significant wave (H1/3, T1/3 **หรือ** Hs, Ts) ในทำนองเดียวกับ H1/10 และ T1/10 คือการนำคลื่นทุกตัวที่อยู่ในลำดับ 1 ใน 3 ของจำนวนคลื่นทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย

- Mean wave (*H*, *T*) คือการนำเอาความสูงคลื่นทั้งหมดในระยะเวลาที่ตรวจวัดมาหาค่าเฉลี่ย

2.1.4 **หลักการทางกายภาพของคลื่น** (Physical principle of wave energy)

คลื่นมหาสมุทรที่มีลักษณะเป็นคลื่นที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งเกิดมาจากลมในบริเวณที่ที่มีการเกิดพายุ ซึ่งลมพายุบางชนิดสามารถที่จะเคลื่อนที่ครอบคลุมพื้นที่มากกว่าร้อยตารางกิโลเมตร ซึ่งผลของการถ่ายทอดพลังงานจากคลื่นเคลื่อนที่ผ่านไปบนพื้นผิวเรียบของมหาสมุทร การแปรสภาพของคลื่นสามารถที่จะถูกติดตามผ่านขั้นตอนจากสภาวะของคลื่นขนาดเล็กขณะที่เคลื่อนที่เข้าสู่แม่น้ำและทะเลสาบ เพื่อเข้าหากลุ่มของคลื่นที่สมบูรณ์ที่มีความยาวและคาบของคลื่นสั้น ซึ่งก่อตัวรวมกันที่เวลาหนึ่งจนกระทั่งเกิดคลื่นที่มีความสูงประมาณ 3-4 เมตร

คลื่นบนมหาสมุทรมีลักษณะที่เด่นชัดคือ จะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของลม เริ่มตั้งแต่ในมหาสมุทรที่สงบ หรือมหาสมุทรที่กำลังกระจายตัวของคลื่นออกจากบริเวณที่เกิดจากคลื่นลม ซึ่งทั้งสองแบบดังกล่าวเรียกว่า คลื่นลมพายุ (Storm waves) และ คลื่นสเวลล์ (Swell waves) โดยที่คลื่นทั้งสองอาจเกิดเป็นคลื่นเดี่ยวหรือคลื่นรวมก็ได้ และคลื่นสเวลล์สามารถเดินทางได้มากกว่าพันกิโลเมตร ก่อนจะสลายตัวไปบนชายฝั่ง

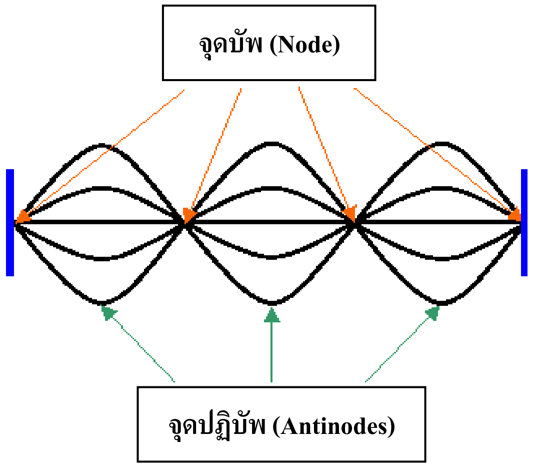
2.1.5 นิยามชนิดของคลื่นแบบต่าง ๆ

2.1.5.1 คลื่นโปรเกรสซีฟ (Progressive wave)

เป็นคลื่นหนึ่งในรูปแบบขบวนคลื่นซึ่งกำลังแผ่กระจายเข้าไปในพื้นที่ของทะเลอันสงบ หรือเข้าไปในพื้นที่ที่มีขบวนคลื่นชนิดอื่นที่ปรากฏอยู่ในคลื่นชนิดนี้เป็นแบบหนึ่งของคลื่นซึ่งวิศวกรชายฝั่งทะเลให้ความสนใจในการศึกษาอยู่แล้ว ฝรั่งเศสได้กำหนดคลื่นโปรเกรสซีฟ เรียกว่า "la houle" เมื่อคลื่นทั้งสองแทรกสอดกันจะได้เป็นคลื่นลูกใหม่

2.1.5.2 คลื่นนิ่ง (Standing wave) [10]

คลื่นนิ่งเป็นคลื่นที่เกิดจากการรวมกันของคลื่นโปรเกรสซีฟสองคลื่นที่มีคาบและความสูงเท่ากันแต่เคลื่อนที่สวนทางกัน เป็นผลให้ผิวน้ำเกิดการสั่นที่มีสันคลื่นม ากสลับกัน เรียกว่า จุดปฏิบัพ (Antinodes) ซึ่งระยะห่างระหว่างสันคลื่นมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นโปรเกรสซีฟ จุดกึ่งกลางระหว่างจุดปฏิบัพสองจุดระดับน้ำมีค่าคงที่ ทำให้เกิดจุดบัพ (nodes) คลื่นนิ่งที่สมบูรณ์กำหนดด้วยเทอม "Le clapotis" มันเป็นการยากที่จ ะสังเกตคลื่นดังกล่าวดังในท้องทะเลและห้องทดลอง เนื่องจากที่คลื่นที่สวนกันมักจะมีความสูงและคาบต่างกันเล็กน้อย ในกรณีนี้จะทำให้บริเวณที่เป็นจุดบัพมีการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งบ้าง ซึ่งคลื่นแบบนี้เรียกว่า "partial clapotis" ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 นิยามของคลื่นนิ่ง (Standing wave)[10]

2.1.5.3 **<u>คลื่นที่มีสันคลื่นสั้น</u>** (Short-creastd wave)

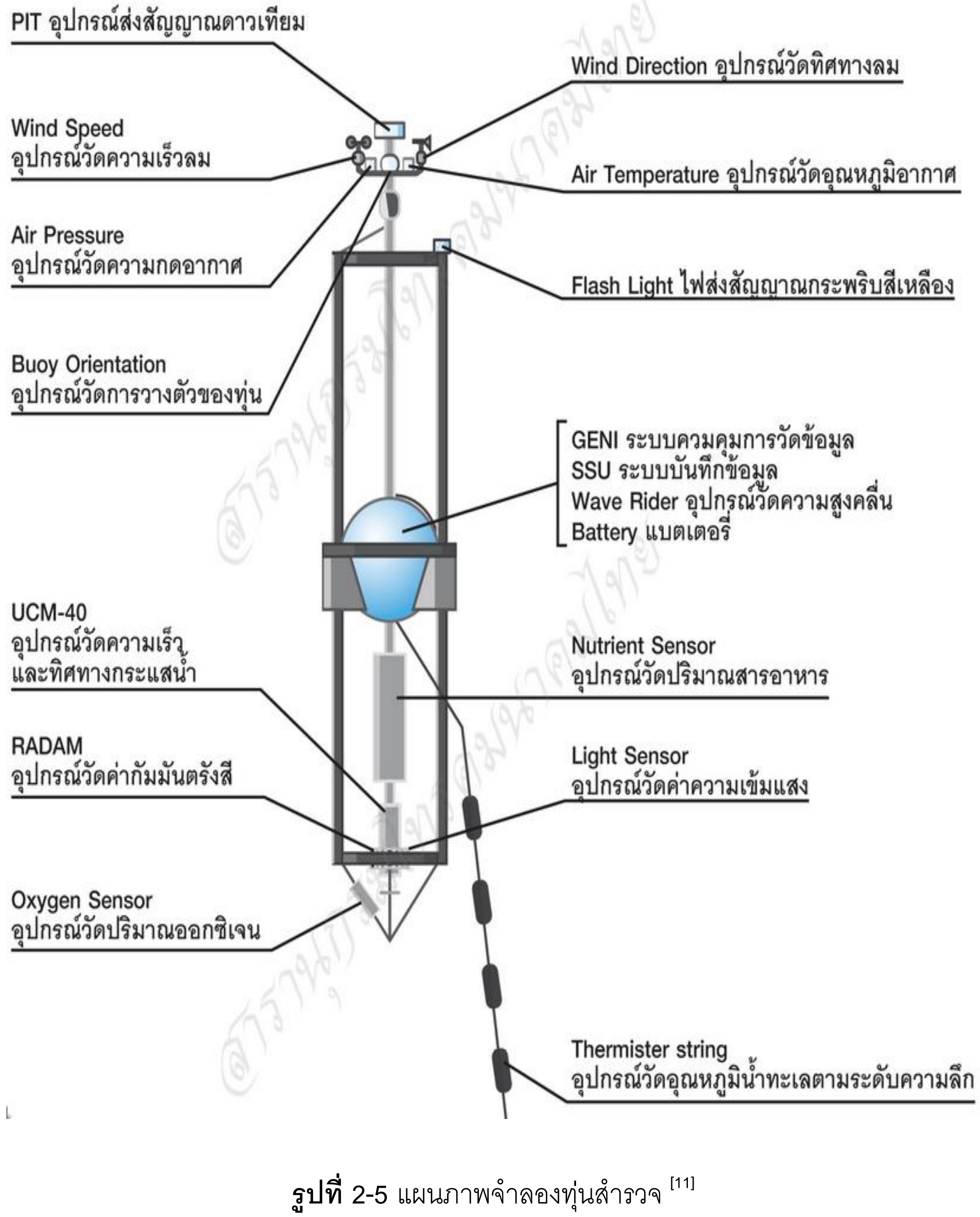
คลื่นแบบนี้เกิดจากคลื่นโปรเกรสซีฟสองคลื่นเคลื่อนที่ตัดกันเป็นมุม ที่จุดตัดกันของสันคลื่นจะทำให้เกิดสันคลื่นยกตัวสูงขึ้นและจุดที่ตัดของท้องคลื่นจะทำให้เกิดการลดลงของท้องคลื่น สันคลื่นที่รวมกันจะผ่านไปตามเส้นทะแยงมุมที่เกิดจากสันคลื่นที่ต่อเนื่องกันคลื่นที่มีความยาวคลื่นมากกว่ากัน การวางแนวคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าคาบของคลื่นรวมมีค่าเช่นเดียวกับคาบของคลื่นที่มีความยาวคลื่นมากกว่า

2.1.6 การตรวจวัดคลื่นด้วยทุ่นสำรวจสมุทรศาสตร์ [11]

2.1.6.1 **<u>ลักษณะทั่วไปของทุ่นสมุทรศาสตร์</u>**

ในการสำรวจคลื่นจะใช้อุปกรณ์ที่ชื่อว่าทุ่นสำรวจสมุทรศาสตร์โทบิส มีลักษณะ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2-5 โดยตัวทุ่นทำด้วยโลหะ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.2 เมตร มีกระโจมสามขาสูง 6.5 เมตร สำหรับการทรงตัวของทุ่นและติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด ตัวทุ่นมีน้ำหนักประมาณ 600 กิโลกรัม ที่ทุ่นถูกฉาบด้วยสีเหลือง มีไฟกระพริบบอกตำแหน่งทุกๆ 1 วินาที ทุ่นเป็นแบบโยงยึดไว้กับที่ด้วยแท่งปูนซีเมนต์ ขนาดน้ำหนัก 1,000 กิโลกรัม และสายเคเบิ้ล 12 มิลลิเมตร ในแต่ละทุ่นจะประกอบด้วยอุปกรณ์คือ

- สถานีตรวจอากาศขนาดย่อย
- เครื่องมือตรวจวัดค่าทางสมุทรศาสตร์และสภาพแวดล้อมทางทะเล
- อุปกรณ์บันทึกข้อมูลและสัญญาณผ่านดาวเทียม
- อุปกรณ์วัดพิกัดทุ่น (GPS)
- แบตเตอร์รี่

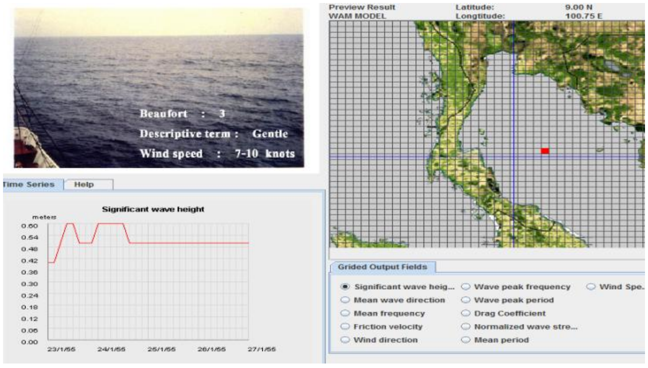


รูปที่ 2-5 แผนภาพจำลองทุ่นสำรวจ [11]

2.1.7 การพยากรณ์และการทำนายการเกิดคลื่น

2.1.7.1 การคาดการณ์ของคลื่น (Forecasting) [12]

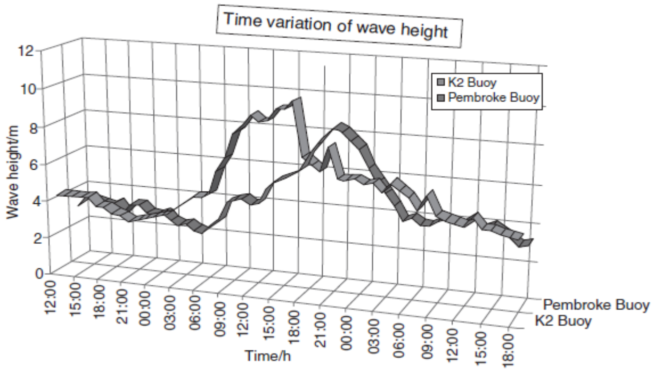
ในกลุ่มผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับพลังงานจากคลื่นจะต้องมีการทำการพยากรณ์คลื่น โดย Wave Analysis Model (WAM) ซึ่งสามารถพยากรณ์ข้อมูลคลื่นในบริเวณต่างๆได้ เพื่อให้ทราบถึงสภาวะของคลื่นในขณะนั้น ซึ่งจะให้ผลที่น่าเชื่อถือในการพยากรณ์ล่วงหน้าออกไปในระยะเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่ง Wave Analysis Model (WAM) จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 โปรแกรมพยากรณ์คลื่น (WAM) [12]

2.1.7.2 การทำนายคลื่น (Prediction)

มหาสมุทรเกิดจากการส่งผ่านของพลังงานจากคลื่นทะเล และอัตราการส่งผ่านนั้นสามารถกำหนดได้โดยข้อมูลคลื่น, คาบคลื่นและความลึกของน้ำทะเล ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 การเคลื่อนที่ของพลังงานคลื่นในช่วงเวลาต่างๆ [8]

การคาดการณ์ของคลื่นนั้นใช้ประโยชน์ในการประมาณค่าพลังงานที่ออกมาในระยะยาว การใช้การทำนายคลื่นจะเป็นที่ยอมรับว่ามีความเที่ยงตรงในการประมาณค่าระยะสั้น ซึ่งทั้ง 2 วิธี สามารถนำมาประยุกต์รวมกันเพื่อใช้ประโยชน์ในการจัดหาแหล่งทรัพยากรของพลังงานคลื่น

2.1.8 **สถานที่ตั้งของอุปกรณ์** [13]

2.1.8.1 **พื้นที่บนชายฝั่ง** (Onshore)

เครื่องมือที่ติดตั้งโดยตรงไปยังแนวชายฝั่งหรือลงบนชายฝั่งจะมีโครงสร้างที่สามารถเป็นกำแพงป้องกันทะเลหรือเขื่อนกั้นน้ำทะเล ซึ่งมีประโยชน์คือ วิศวกรสามารถทำงานในการสร้างและวางเชื่อมต่อระบบได้ง่าย ข้อเสียคือ ทรัพยากรคลื่นทะเลที่บริเวณชายฝั่งจะลดลงเป็นอย่างมาก เมื่อเทียบกับระยะทางนอกชายฝั่ง บางแผนงานในปัจจุบันได้มีการปรับให้มีการออกแบบอุปกรณ์ให้เป็นเขื่อนกั้นน้ำแทน ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการลงทุนจะต่ำกว่าบริเวณพื้นที่อื่นๆ

2.1.8.2 **พื้นที่ใกล้ชายฝั่ง** (Nearshore)

โดยส่วนใหญ่จะเป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นอยู่ในบริเวณใกล้กับแนวชายฝั่งต้องออกจากบริเวณ กระแสน้ำและการเคลื่อนที่ที่มีตะกอนเกิดขึ้น (surf zone) บริเวณดังกล่าวจะมีระดับความลึกอยู่ที่ประมาณ 20 เมตร ประโยชน์ของพื้นที่บริเวณนี้คือ เป็นพื้นที่ที่มีแรงโน้มถ่ว งพื้นฐานที่ยังสามารถใช้ได้และในการเดินสายเชื่อมต่อมีระยะทางสั้น สามารถใช้อุปกรณ์ประเภทยึดติดกับท้องทะเลหรือว่าจะเป็นแบบทุ่นลอยก็ได้ ข้อเสียของพื้นที่ใกล้ชายฝั่งคือทรัพยากรคลื่นของบริเวณแนวใกล้ชายฝั่งมีน้อยกว่าพื้นที่ที่เป็นนอกชายฝั่งและประโยชน์ในการทำงานนั้นความลึกของระดับน้ำมีข้อจำกัด

2.1.8.3 **พื้นที่นอกชายฝั่ง** (Offshore)

จะใช้อุปกรณ์ที่เป็นทุ่นลอย ให้อยู่กับที่ในระดับน้ำที่ลึกประมาณ 30 เมตรขึ้นไป แต่ว่าการออกแบบโดยส่วนมากจะอยู่ในระดับน้ำลึกที่ 50 เมตร ประโยชน์ของพื้นที่นอกชายฝั่งก็คือ มีทรัพยากรของคลื่นที่มีมากกว่าบริเวณพื้นที่อื่นๆ ข้อเสียของการตั้งอุปกรณ์บริเวณพื้นที่นอกชายฝั่ง คือ ระยะทางจากฝั่งไกล ทำให้การใช้สายเชื่อมต่อนั้นจะต้องใช้เงินลงทุน , ค่าบำรุงและรักษาอุปกรณ์ สูงมากในการดำเนินการ

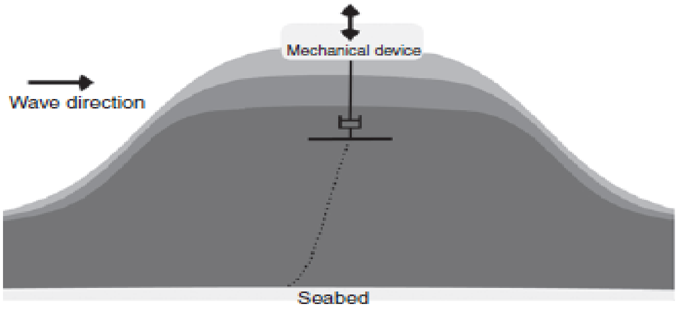
2.1.9 อุปกรณ์ในการแปลงพลังงานคลื่น [14]

วิธีการต่างๆที่จะใช้ในการแยกประเภทของการแปลงพลังงานคลื่น ผู้แต่งบางคนสามารถแบ่งถึง 9 ประเภท ในขณะที่ผู้แต่งอื่นๆได้จำแนกออกเป็น 5-6 ประเภท การแบ่งประเภทอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ในหลายๆประเภท แต่สิ่งที่ง่ายที่สุดจะคิดเพียงแค่เครื่องมือ และพลังงานที่ได้รับออกมาจะต้องมีความสัมพันธ์กันอย่างไรกับพลังงานคลื่น โดยไม่ได้คำนึงว่าเป็นอุปกรณ์ที่อยู่บนพื้นผิวน้ำหรือเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ใต้ผิวน้ำ ซึ่งให้คำจำกัดความของอุปกรณ์พื้นฐานทั้ง 3 ชนิดได้ดังนี้

2.1.9.1 การแบ่งประเภทของอุปกรณ์ (Device type classification)

- **อุปกรณ์จักรกลโดยตรง** (Direct mechanical device)

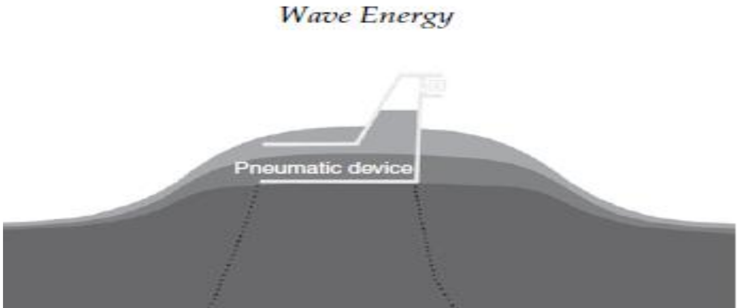
อุปกรณ์ชนิดนี้จะเป็นโครงสร้างที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับคลื่นเพื่อที่จะให้ปลดปล่อยพลังงานออกมา อย่างเช่น ทุ่นลอยที่ทำงานด้วยระบบไฮโดรลิค พลังงานจะถูกปลดปล่อยเข้าอุปกรณ์ที่เป็นบานพับตามแนวชายฝั่ง โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ชนิดดังที่กล่าวมา จะมีประสิทธิภาพสำหรับที่มีอัตราส่วนระหว่างพลังงานต่อน้ำหนักของเครื่องมีค่าสูง ตั้งแต่โครงสร้างที่เป็นแบบการขับเคลื่อนของการปลดปล่อยพลังงานโดยตรง อุปกรณ์ชนิดนี้สามารถเป็นได้ทั้งแบบลอยน้ำ , ยึดติดกับท้องทะเล หรือแบบเป็นการป้องกันพลังงาน (break water) โดยแสดงดังรูปที่ 2-8 ส่วนข้อเสียของอุปกรณ์ประเภทนี้ก็คือ ไม่มีการแยกออกระหว่างส่วนของโครงสร้างกับส่วนที่ปลดปล่อยพลังงาน ต่อจากนั้นแรงขนาดใหญ่ที่อยู่บนโครงสร้างสามารถที่จะเคลื่อนย้ายเข้าไปสู่ในส่วนที่มีการปลดปล่อยพลังงาน (power take-off :PTO) ที่อยู่ในอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น ระบบของการปลดปล่อยพลังงาน(PTO) จะประกอบไปด้วย ในส่วนที่เป็นไฮโดรลิคที่ใช้น้ำมัน (oil hydrolic), ไฮโดรลิคแรงดันน้ำความดันสูง (high-pressure) หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยตรง อุปกรณ์ชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพในช่วงเวลาสั้น ของการเก็บสะสมพลังงานในรูปแบบของการสะสมความดันในระบบไฮโดรลิค



รูปที่ 2-8 อุปกรณ์แบบ Direct mechanical device[8]

-อุปกรณ์ที่มีเกี่ยวข้องกับลมทางอ้อม (Indirect pneumatic device)

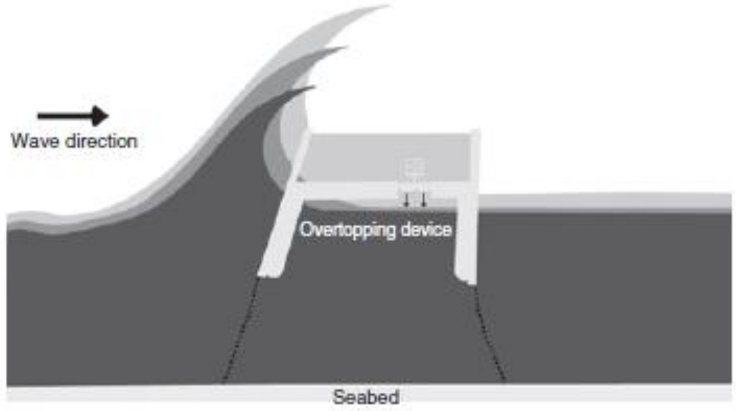
เป็นอุปกรณ์ที่มีโครงสร้างแสดงให้เห็นถึงกระปุกเกียร์และบัฟเฟอร์ ใน oscillating water column (OWC) ซึ่งเป็นชนิดของอุปกรณ์ ที่จะใช้พลังงานคลื่นก่อให้เกิดการคลื่นที่ของอากาศผ่านทางลูกสูบในระบบการปลดปล่อยพลังงานของอากาศ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2-9 บริเวณพื้นที่ผิวน้ำบริเวณกว้างในการเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่เป็นรูปวงแหวนของการผลิตพลังงานจากกังหันโดยใช้ความเร็วของการหมุนเฟือง โดยความเร็วของลมต่ำของพื้นที่ผิวหน้าน้ำไปยังความเร็วลมที่สูงมากเพื่อให้เหมาะสมกับการขับเคลื่อนของกังหันลมของอุปกรณ์ ประโยชน์ของอุปกรณ์ชนิดนี้คือ ไม่มีโครงสร้างติดกับส่วนที่ปลดปล่อยพลังงาน (power take-off : PTO) และต่อจากนั้นแรงของคลื่นขนาดใหญ่ไม่สามารถเคลื่อนเข้าสู่ในส่วนของ ส่วนที่ปลดปล่อยพลังงาน (power take-off : PTO) ส่วนข้อเสียของอุปกรณ์ชนิดนี้คือ เมื่อมีโครงสร้างขนาดใหญ่ทำให้จำเป็นที่จะต้องใส่ ปริมาตรของอากาศที่ต้องการและดังนั้นทำให้ค่าอัตราส่วนระหว่างพลังงานต่อน้ำหนักอุปกรณ์มีค่าที่ต่ำ อุปกรณ์ชนิดนี้มีทั้งแบบชนิดลอยน้ำ และยึดติดกับท้องทะเล และแบบป้องกันพลังงานจากคลื่นทะเล



รูปที่ 2-9 อุปกรณ์แบบ Indirect mechanical device [8]

-อุปกรณ์ที่อยู่เหนือผิวน้ำ (overtopping device)

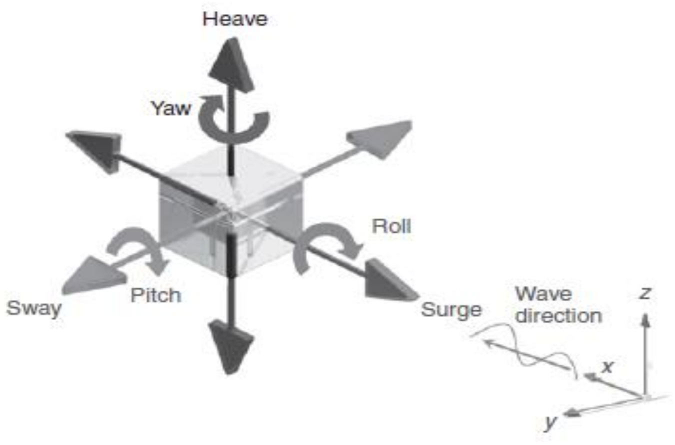
เป็นอุปกรณ์ที่เป็นโครงสร้างที่ทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามชายหาด การยกตัวของอุปกรณ์ให้อยู่เหนือน้ำ แสดงดังรูปที่ 2-10 อุปกรณ์ที่อยู่เหนือน้ำเป็นการเก็บในอ่างเก็บน้ำ ประโยชน์ของระบบนี้เป็นการเก็บโดยธรรมชาติในอ่า งเก็บน้ำและมีประสิทธิภาพที่จะผลิตพลังงานได้อย่างราบลื่น ข้อเสียของอุปกรณ์นี้คือ เป็นอุปกรณ์ขนาดใหญ่มักจำเป็นจะต้องสำหรับอ่างเก็บน้ำและคลื่นขนาดใหญ่เพื่อบรรจุเข้าไปในอุปกรณ์ โดยสามารถสังเกตได้ ซึ่งจะทำให้อัตราส่วนระหว่างพลังงานต่อน้ำหนักมีค่าลดลงไป



รูปที่ 2-10 อุปกรณ์แบบ Overtopping device [8]

-ชนิดของการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์ (Device motion classification)

อุปกรณ์ในการแปลงพลังงานคลื่นจะถูกแบ่งประเภทโดยการเคลื่อนไหวซึ่งเป็นพื้นฐานที่เราจับภาพออกมาได้ ซึ่งการเคลื่อนไหวอิสระจะมี 6 ระดับที่เป็นไปได้ ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 ระดับของความอิสระในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น [8]

2.1.10 **การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ** [15]

การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ หมายถึงการศึกษาเพื่อต้องการทราบผลที่จะเกิดขึ้นจากการดำเนินการของโครงการนั้น โดยจะมีการพิจารณาด้านการตลาด วิศวกรรมและการเงินของโรงการเป็นหลักเพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจของผู้ลงทุน ซึ่งในการศึกษาดังกล่าวจะต้องบอกรายละเอียดและวิเคราะห์สิ่งที่จำเป็นที่เกี่ย วข้องกับการผลิตรวมทั้งทางเลือกอื่นๆของการผลิตด้วย การใช้เทคโนโลยีแบบใด มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนดำเนินการอย่างไร เพื่อให้ได้ผลตอบแทนในการลงทุนมากที่สุด

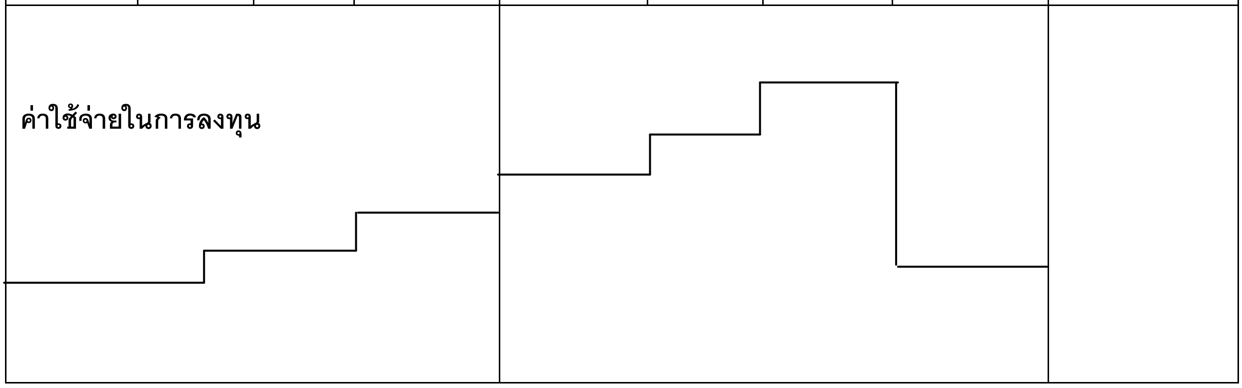
ในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการจะเป็นเพียงขั้นตอนในระยะก่อนการลงทุนของการพัฒนาโรงการ (Project development cycle) ซึ่งเป็นวงจรที่บอกขั้นตอนการดำเนินงานต่างๆของการบริหารโครงการตามลำดับขั้นตอน โดยแสดงดังรูปที่ 2-12 ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนในการพัฒนาวงจรโครงการได้ดังนี้

- **ระยะก่อนการลงทุน** (Pre-investment phase) ได้แก่ การศึกษาสถานการณ์ทั่วไปเพื่อดูว่าโครงการใดลงทุนทำ หลังจากเลือกโครงการแล้วจึงมีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของโครงการนั้น แล้วจึงมีการประเมินและตัดสินใจลงทุนต่อไป

- **ระยะลงทุน** (Investment phase) คือการออกแบบทางด้านวิศวกรรมต่างๆการติดต่อเรื่องสัญญา การก่อสร้าง เป็นต้น

- **ระยะดำเนินการ** (Operation phase) เป็นระยะสุดท้ายหลังจากที่ผู้ริเริ่มโครงการลงทุนไปในโครงการแล้ว จากนั้นผู้ที่เริ่มโครงการจะมีหน้าที่ดำเนินการให้เป็นไปตามแบบแผนและติดตามประเมินผลงานในระยะต่างๆจนกว่าโครงการจะเสร็จสิ้น

ระยะก่อนลงทุน				**ระยะลงทุน**				**ระยะดำเนินการ**
กำหนดโครงการ	ศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้น	ศึกษาความเป็นไปได้	ประเมินผลการตัดสินใจ	ร่างโครงการ, กำหนดการดำเนินงาน	เจรจาต่อรองทำสัญญา	ระยะก่อสร้าง	ดำเนินการระยะต้น	



รูปที่ 2-12 รูปแบบการพัฒนาโครงการ [15]

2.1.11 การวิเคราะห์ผลตอบแทนในการลงทุน

ทางด้านการเงินนั้นมีจุดประสงค์เพื่อต้องการที่จะทราบถึง ความเหมาะสมของโครงการในด้านการเงิน โดยการพิจารณาจากผลตอบแทนจากการลงทุน ซึ่งมีดัชนีชี้วัดอยู่ 3 ตัว ได้แก่

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value)
- อัตราผลตอบแทนของการลงทุน (B/C cost ratio)
- ระยะเวลาคืน (Payback Period)

การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของรายได้ต่อปีรวมตลอดอายุโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของรายจ่ายต่อปีรวมตลอดอายุของโครงการ ซึ่งอาจมีค่าบวก เป็นลบ หรืออาจจะเป็นศูนย์ก็ได้ขึ้นอยู่ขนาดของมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวมมูลค่าปัจจุบันสุทธิ เป็นดัชนีชี้วัดในเชิงเศรษฐศาสตร์ ที่ทำให้ทราบว่าตลอดระยะเวลาดำเนินงานของโครงการมีกำไรหรือขาดทุนอย่างไร

สูตรของการคำนวณมูลค่าสุทธิปัจจุบันสุทธิ เขียนได้ดังนี้

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad \text{.......................... สมการที่ 2.2}$$

โดยที่	NPV	=	มูลค่าสุทธิปัจจุบันสุทธิ
	PV.Benefit	=	มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม
	PV.Cost	=	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม
	B_t	=	ผลประโยชน์ในปีต่างๆ
	C_t	=	ต้นทุนในปีต่างๆ
	n	=	อายุโครงการ

จากสมการดังกล่าวที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ จะมีเกณฑ์ในการตัดสินใจที่จะยอมรับโครงการว่ามีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์หรือไม่ ถ้าโครงการมีรายได้มากกว่ารายจ่ายจะทำให้ค่า NPV เป็น + แสดงว่า โครงการนั้นมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ที่จะลงทุนได้ ส่วนถ้ารายจ่ายมากกว่ารายรับจะทำให้NPV เป็น – แสดงถึงโครงการนั้นไม่เหมาะสมต่อการลงทุน

การวิเคราะห์อัตราส่วนผลประโยชน์ (Benefit/Cost Analysis)

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C) เป็นการวิเคราะห์หลักที่ใช้สำหรับโครงการสาธารณะ การวิเคราะห์ B/C เริ่มต้นใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้รับอนุญาตให้ใช้ตามกฎหมายควบคุมน้ำท่วมในปี 1936 จากสภาคองเกรส การวิเคราะห์ B/C มีความหมายหลายรูปแบบ แต่ว่าหลักการวิเคราะห์ยังคงเป็นเช่นเดิม ค่าใช้จ่ายรายรับต่างๆ ที่เกิดขึ้นในโครงการจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าเงินให้อยู่ในรูปแบบลักษณะเดียวกันเสียก่อน (มูลค่าปัจจุบัน มูลค่ารายปี หรือมูลค่าในอนาคต) ใช้ผลตอบแทน i ประกอบการคำนวณเสียก่อน จากนั้นจึงนำมาใช้คำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C) ดังสมการหนึ่งในหลายสมการ ดังนี้

$$B/CP = \frac{PW_{\text{หาผลประโยชน์}}}{PW_{\text{หาต้นทุน}}} = \frac{AW_{\text{หาผลประโยชน์}}}{AW_{\text{หาต้นทุน}}} = \frac{FW_{\text{หาผลประโยชน์}}}{FW_{\text{หาต้นทุน}}} \quad \text{...... สมการที่ 2.3}$$

ค่า PW และ AW จะมีความนิยมในการใช้มากกว่า FW ส่วนเครื่องหมายสำหรับการวิเคราะห์ B/C เป็นเครื่องหมาย บวก (+) ทั้งหมด แม้กระทั่งเครื่องหมายการลงทุน (C) ส่วนการ

นำเอาการสูญเสียผลประโยชน์ขึ้นกับรูปแบบสมการที่นำไปคำนวณ แต่โดยมากมักจะนำเอาไปลบออกจากผลประโยชน์ ซึ่งรูปแบบสมการต่างๆกันนั้น ได้แสดงไว้ดังนี้

- ถ้า B/C > 1.0 ยอมรับโครงการว่ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์
- ถ้า B/C < 1.0 ยอมรับโครงการว่ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ถ้าหากค่า B/C ใกล้เคียงหรือเท่ากับ 1 จะต้องใช้ปัจจัยที่ไม่ใช่ทางเศรษฐศาสตร์อย่างอื่นมาประกอบในการพิจารณาอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนอย่างง่าย (The convection B/C ratio) เป็นรูปแบบสมการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย

$$B/CP = \frac{\text{ผลประโยชน์} - \text{การสูญเสียผลประโยชน์}}{\text{ต้นทุน}} = \frac{B-D}{C}$$ .... สมการที่ 2.4

จากสมการดังกล่าว การสูญเสียผลประโยชน์ถูกนำไปลบออกจากผลประโยชน์ ไม่ได้นำไปรวมกับต้นทุน ค่า B/C อาจมีผลการเปลี่ยนแปลงไป หากพิจารณาว่าการสูญเสียผลประโยชน์และต้นทุนเป็น 10,8,8 ตามลำดับ ค่าที่ถูกต้องของ B/C = (10-8)/8 = 0.25 ในขณะค่าที่ผิดของค่า B/C = 10/(8+8) = 0.625 ซึ่งมีค่าสูงกว่า B/C ที่ถูกต้องถึง 2 เท่า ดังนั้นถ้านำเอาการสูญเสียผลประโยชน์ไปใช้ผิดตำแหน่ง จะทำให้มีผลต่อขนาดของ B/C

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนแบบปรับเปลี่ยน (The modified B/C ratio) การคำนวณรูปแบบนี้จะมีการแยกค่าบำรุงรักษาและค่าดำเนินการ(Operation and Maintenance, O&M) ซึ่งจากเดิมได้นำส่วนนี้ไปรวมไว้กับต้นทุน (C) ออกมาและนำขึ้นมาอยู่กับการสูญเสียผลประโยชน์ ดังนั้น ต้นทุน (C) จะยังคงเหลือเพียงเงินลงทุนเริ่มต้น (initial cost) เท่านั้น

$$\text{อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนแบบปรับเปลี่ยน} = \frac{B-D-O\&M}{\text{เงินลงทุนเริ่มต้น}}$$ .... สมการที่ 2.5

การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) [16]

การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คือ เป็นวิธีการที่เพิ่มเติมของวิธีการหาข้อมูลค่าปัจจุบัน ซึ่งการหาค่าระยะเวลาในการคืนทุนสามารถหาได้ที่ i > 0% (ในกรณีแบบคิดดอกเบี้ย)และค่า i=0% (แบบไม่คิดดอกเบี้ย)

ระยะเวลาคืนทุน(payback period, n_p)เป็นการประมาณการเวลาที่ได้รับผลรวมของกำไรหรือผลตอบแทนการลงทุน เท่ากับค่าเริ่มต้นในการลงทุน (initial investment) ระยะเวลาคืนทุนมักจะคิดเป็นปี แต่ผลที่ได้รับมักจะไม่อยู่ในรูปจำนวนเต็ม

ไม่ควรใช้ payback period มาใช้ในการตัดสินใจ ว่าเราควรทำโครงการนั้นๆหรือไม่ แต่เรามักจะนำวิธีนี้มาทำการตรวจสอบการลงทุ นเบื้องต้นเท่านั้น เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน ก่อนที่จะใช้วิธีของ present worth analysis มาใช้เพื่อวิเคราะห์อีกครั้ง

$\sum\sum$ มากที่สุด คือการคำนวณที่อัตราผลตอบแทนมากกว่า 0% ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า *discount payback period* แต่ในทางปฏิบัติแล้วมักจะใช้วิธีแ บบไม่คิดอัตราผลตอบแทน *(i=0%)* หรือที่เรียกว่า *simple payback* เพื่อตรวจสอบการลงทุนเบื้องต้น

ในการหาระยะเวลาคืนทุนแบบ Discount payback period ที่ i > 0 สามารถหาค่า n_p ได้ดังนี้

$$0 = -P + \sum_{t=1}^{t=np} NCF_t \left(\frac{P}{F}, i\%, t\right) \qquad \text{สมการที่ 2.6}$$

ค่า P จากสมการ () คือค่าการลงทุนเบื้องต้น (initial investment) NCF คือค่า cash flow สุทธิ สำหรับแต่ละปีที่ t ซึ่งค่า NCF สามารถหาได้จาก กระแสเงินสดขาเข้า – กระแสเงินสดขาออก ถ้าค่า NCF มีค่าเท่ากันทุกปี เราอาจสามารถใช้แฟกเตอร์ P/A ซึ่งสามารถหาค่า n_p ได้จากสมการ

$$0 = -P + NCF\,(P/A, i, n_p) \qquad \text{สมการที่ 2.7}$$

หลังจากที่ทราบเวลา n_p ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาคืนทุนของโครงการ ซึ่งคิดที่อัตราตอบแทน i% แล้วถ้าการที่สินทรัพย์นั้นมีอายุการใช้งานน้อยกว่า n_p แสดงว่า ไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน เพราะการใช้งานยังไม่ถึงจุดที่เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน อีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนคือ จะไม่ทำการพิจารณา cash flow ที่เกิดขึ้นทั้งหมดภายหลังจากระยะเวลา n_p ซึ่งจุดนี้เป็นจุดหนึ่งที่ทำให้การวิเคราะห์โค รงการด้วยการหาระยะเวลาคืนทุนแตกต่างจากวิธีการ Present worth, future worth analysis, annual worth analysis และวิธีการวิเคราะห์อัตรา

ผลตอบแทนการคืนทุน เนื่องจากวิธีเหล่านี้จะทำการพิจารณา cash flow ตลอดอายุโครงการ ซึ่งทำให้วิธีการของการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (payback period) มีความถูกต้องแม่นยำน้อยกว่าวิธีอื่นๆ

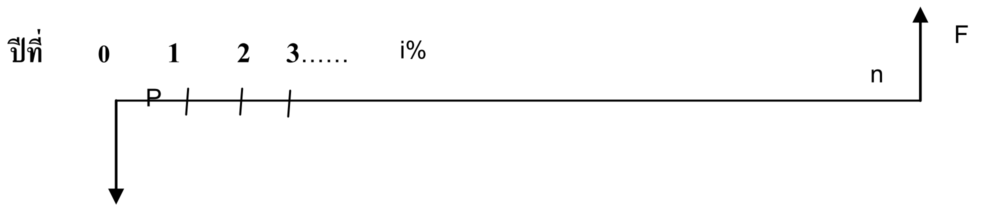
2.1.12 **การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ** (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis) คือการพิจารณาว่าข้อมูลหรือพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยสำคัญบางตัวของโครงการที่เกิดเปลี่ยนแปลงไปแล้วจะส่งผลกระทบให้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ โครงการเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร ตัวอย่างพารามิเตอร์ เช่น เงินลงทุน มูลค่าซาก ค่าปฏิบัติการรายปี อายุการใช้งาน อัตราการผลิต เป็นต้น ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์นั้น พารามิเตอร์ต่างๆ เป็นค่าที่เกิดจากการประมาณ เพื่อช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีค่าไม่ถูกต้องมากนัก ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงทำได้โดยการวิเคราะห์ความไว ในการวิเคราะห์ความไวส่วนใหญ่จะทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทีละหนึ่งตั วแปร ซึ่งจะไม่มีผลกระทบต่อตัวแปรอื่น แต่อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติจริงนั้น ตัวแปรนี้ย่อมส่งผลต่อตัวแปรอื่น ซึ่งการวิเคราะห์ความอ่อนไหวเป็นการคำนวณหามูลค่าปัจจุบัน (PW) มูลค่ารายปี (AW) อัตราผลตอบแทน (ROR) หรืออัตราผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C) จะส่งผลต่อการเลือ กโครงการ**[1]** เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ เช่น MARR แต่อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงอายุโครงการ (n) จะมีผลอย่างมากต่อการตัดสินใจ ซึ่งเราจะสามารถความอ่อนไหวของทางเลือก โดยการประมาณ 3 ค่าของพารามิเตอร์แต่ละตัว ในสภาพแย่ สภาพปานก ลาง และสภาพดี

2.1.13 **การวิเคราะห์มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน** (Present worth analysis)

มูลค่าปัจจุบัน (Present Value) เป็นมูลค่าของเงินรายได้หรือรายจ่ายในอนาคตที่คำนวณเทียบกับปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น เงินเริ่มต้น 100 บาท เมื่อนำไปลงทุนซึ่งอัตราผลตอบแทนมีค่าร้อยละ 10 ต่อปี ดังนั้นเงิน 100 บาท ที่ลงทุนวันนี้จะได้คืนกลับมา 110 บาทเมื่อถึงระยะเวลาสิ้นปี ในทางตรงข้ามถ้าจะให้ได้เงิน 100 บาทเมื่อครบ 1 ปี จะต้องใช้เงินลงทุนในวันนี้เพียง 100/1.10 = 90.9 บาท จะเห็นได้ว่า เงิน 100 บาทที่ได้รับเมื่อครบ 1 ปี นับตั้งแต่เมื่อครบ 1 ปี นับตั้งแต่วันนี้มีค่าเท่ากับ 90.9 บาทของวันนี้เท่านั้น ในกาคิดรูปแบบดังกล่าว เรียกว่า การคิดมูลค่าปัจจุบัน (Present Value) มีหลักการคิดดังนี้

กำหนดให้จำนวนเงินเริ่มต้น P บาท อัตราผลตอบแทนร้อยละ i ต่อปี กำหนดระยะเวลา n ปี จะทำให้ได้จำนวนเงินในอนาคตเท่ากับ F บาท หลักการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสามารถแสดงในรูปแผนผังกระแสเงินสด (Cash Flow Diagram)



สามารถคำนวณเงินรวมในอนาคตในแต่ละปี ได้ดังนี้

เงินรวมปลายปีที่ 1 หรือเงินต้นปีที่ 2	=	P+Pi	= P(1+i)
เงินรวมปลายปีที่ 2 หรือเงินต้นปีที่ 3	=	P(1+i) + P(1+i)	= $P(1+i)^2$
เงินรวมปลายปีที่ 3 หรือเงินต้นปีที่ 4	=	$P(1+i)^2 + P(1+i)^2 i$	= $P(1+i)^3$
ดังนั้นจะได้ว่า เงินรวมปลายปีที่ n	=	$P(1+i)^n$	

สามารถคำนวณหาค่าของ F หรือ P ได้จากสมการดังนี้

$$F = P(1+i)^n \qquad \text{สมการที่ 2.8}$$

$$P = F\left(\frac{1}{(1+i)^n}\right) \qquad \text{สมการที่ 2.9}$$

ค่าตัวประกอบ $(1+i)^n$ จะเรียกว่า “Single Payment Compound Amount Factor” ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย (F/P, i%,n)

ค่าตัวประกอบ $\frac{1}{(1+i^n)}$ จะเรียกว่า “Single Payment Present Worth Factor” ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย (P/F, i%, n)

2.1.14 **ค่าเสื่อมราคาและ มูลค่าซาก** (Depreciation and Salvage Value)

ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) คือ มูลค่าทางการเงินของสินทรัพย์ถาวรเสื่อมค่าลง ซึ่งจะต้องเป็นสินทรัพย์ที่มีตัวตนเท่านั้นที่จะสามารถนำมาคิดได้ ซึ่งค่าดังกล่าวจะเป็นการหักค่าใช้จ่ายของสินทรัพย์ในแต่ละปี เพราะว่าสินทรัพย์ถาวรนั้นใช้เงินในการลงทุนสูง เมื่อมีการใช้ใน

ระยะเวลานาน ก็จะเกิดการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน เช่น รถยนต์ อาคาร เครื่องจักร เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการหักค่าเสื่อมราคาของการใช้ เพื่อที่จะนำไปสะสมไว้กับสินทรัพย์ถาวรอื่นๆ เพื่อที่จะนำมาเป็นเงินทุนหมุนเวียนสำหรับกิจการได้

มูลค่าซาก (Salvage value) คือ มูลค่าของการคาดการณ์จากการขายสินทรัพย์ถาวรนั้นได้เมื่ออายุการใช้งานของสินทรัพย์นั้นหมดลง หักด้วยค่ารื้อถอน และค่าใช้จ่ายในการขายสินทรัพย์นั้น

อายุการใช้งาน คือ ระยะเวลาที่โครงการคาดว่าจะใช้ประโยชน์จากสินทรัพย์ถาวรนั้นๆ

วิธีการคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง

การคิดค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์ถาวรนั้นมีหลายวิธีแต่ในงานวิจัยนี้จะใช้การคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง หรือวิธีแบบ Straight-Line ซึ่งเป็นวิธีคิดค่าเสื่อมราคาโดยใช้วิธีกา รเฉลี่ยมูลค่าเสื่อมราคาของสินทรัพย์ให้เป็นค่าเสื่อมราคาในแต่ละปีเท่าๆกัน จนตลอดช่วงอายุของการใช้งานสินทรัพย์นั้นๆ สูตรในการคำนวณค่าเสื่อมราคาตัวอย่างเช่น บริษัท A ซื้อเครื่องจักรใหม่มูลค่า 250,000 บาท โดยมีอายุการใช้งานถึง 10 ปี และมูลค่าซากในปีที่ 10 มีค่า 2,000 บาท ซึ่งสูตรในการคำนวณค่ามีดังนี้

ค่าเสื่อมราคาต่อปี = (ราคาทุนของสินทรัพย์ – ราคาซาก)/ อายุการใช้งาน

มูลค่าเครื่องจักร	250,000	บาท
มูลค่าซาก	2,000	บาท
มูลค่าเครื่องจักรหลังหักมูลค่าซาก	248,000	บาท
อายุการใช้งานเครื่องจักร	10	ปี

ดังนั้น ค่าเสื่อมราคาต่อปี คือ 248,000/10 = 24,800 บาท

2.1.15 รายได้

รายได้จากการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ในที่นี้จะคิดเฉพาะรายได้จากการผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว โดยคิดจากมูลค่าของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกำลังการผลิตของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น Pelamis คำนวณได้จากสมการดังนี้

B_y =($\sum_{m=1}^{12} k\,W_{inst}$) x FIT (Feed- in tariff)…………………….…. สมการที่ 2.10

โดยที่ B_y คือ รายได้จากการผลิตไฟฟ้าใน 1 ปี

kW_{inst} คือ ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า

*FIT (Feed –in tariff) คือ ค่าไฟฟ้าฐาน ซึ่งจะคงที่ตลอดอายุของโครงการ

(*Feed-in tariff **[26]** เป็นมาตรการจูงใจที่กระตุ้นให้เกิดการลงทุนผลิตพลังงานที่สะอาด ซึ่งเป็นข้อบังคับในการกำหนด ในเรื่องของการรับประกันราคาค่าไฟฟ้าขั้นต่ำต่อ kWh ของค่าไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียน ซึ่ง FIT จะไม่มีการแปรผันของราคาค่าไฟฟ้าตลอดอายุโครงการ ก็เพราะว่า FIT เป็นการนำพลังงานหมุนเวียนซึ่งเป็นทรัพยากรทางธรรมชาติในรูปแบบใช้แล้วไม่มีวันหมดมาแปรรูปเป็นพลังงาน แตกต่างกับทรัพยากรน้ำมัน ถ่านหิน และแก๊ซธรรมชาติ ซึ่งต้นทุนนั้นมีการผันแปรตามช่วงเวลาในการผลิต)

2.1.16 **รายจ่าย**

รายจ่ายจากการผลิตไฟฟ้า เป็นรายจ่ายที่เกิดจากการลงทุนในการติดตั้งเครื่องและเดินเครื่องในระบบการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นจะมีดังนี้

-ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น จะเป็นค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจนสามารถผลิตไฟฟ้าได้โดยประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น, ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์และการวางแผนงานระบบของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น คำนวณโดยใช้สมการ

$Cost_{ic} = Cost_b + Cost_p + Cost_i$ ……………………….…. สมการที่ 2.11

$Cost_{ic}$ = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น

$Cost_b$ = ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น

$Cost_p$ = ค่าใช้จ่ายการวางแผนงานระบบของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น

$Cost_i$ = ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น

- ค่าใช้จ่ายในการการดำเนินการและซ่อมบำรุงจะเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตลอดทุกปีในระยะเวลาดำเนินการของโครงการซึ่งการดำเนินการและการซ่อมบำรุงนั้ นจะเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะทำให้อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อย่างดี

$Cost_{om}$ = O&M x t…………………………………………….. สมการที่ 2.12

$Cost_{om}$ = ค่าใช้จ่ายในการการดำเนินการและซ่อมบำรุง

O&M = ค่าใช้จ่ายในการการดำเนินการและซ่อมบำรุง

t = ระยะเวลาดำเนินโครงการ

ค่าใช้จ่ายของสมอยึดอุปกรณ์ (Mooring) ซึ่งสมอยึดอุปกรณ์จะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่จะทำให้อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นถูกยึดเอาไว้ให้อยู่ในตำแหน่งที่เราติดตั้งและเพื่อป้องกันการพัดพาไปในตำแหน่งอื่นจากคลื่นน้ำ

$Cost_{m}$ = M x m……………………………..… สมการที่ 2.13

$Cost_{m}$ = ค่าใช้จ่ายของสมอยึดอุปกรณ์ทั้งหมด

M = ค่าใช้จ่ายของสมอยึดอุปกรณ์

m = ระดับความลึกของน้ำ

ค่าใช้จ่ายของสายส่งไฟฟ้า (Cabling) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดสำหรับการแปลงพลังงานคลื่นซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะมีการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการแปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าส่งต่อไปยังตำแหน่งโรงไฟฟ้าที่อยู่บนฝั่ง

$Cost_{C}$ = C x km……………………………..… สมการที่ 2.14

$Cost_{C}$ = ค่าใช้จ่ายของสายส่งไฟฟ้าทั้งหมด

C = ค่าใช้จ่ายของสายส่งไฟฟ้า

km = ระยะทางที่ติดตั้งอุปกรณ์จนถึงชายฝั่ง

ค่าใช้จ่ายในการรื้อถอน (Decommissioning, $Cost_{D}$) จะเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น เมื่อสิ้นสุดโครงการ

ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดของโครงการสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

Total Cost = $Cost_{ic}$ + $Cost_{om}$ + $Cost_{m}$ + $Cost_{C}$ + $Cost_{D}$……………….. สมการที่ 2.15

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- **การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าจากการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร (2549) /เทอดศักดิ์ ทองคำธรรมชาติ [17]**

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าจากการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร โดยใช้ก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดตะกอนของโรงควบคุมคุณภาพน้ำหนองแขม เพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้กับเครื่องยนต์สันดาปให้เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะมี การประเมินแบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนแรกจะเป็นการประเมินทางด้านเทคนิคซึ่งจะเป็นการประเมินเกี่ยวกับขนาดกำลังการผลิต จำนวนชั่วโมงเดินเครื่อง และปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ เพื่อกำหนดการเดินเครื่องรายสัปดาห์ที่เหมาะสมที่สุด ส่วนที่สองจะเป็นการประเมินความคุ้มค่าในเชิ งเศรษฐศาสตร์ โดยมีดัชนีชี้วัด ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C ratio) เพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการลงทุนของโครงการผลิตไฟฟ้า

จากผลการศึกษาพบว่า การจัดการน้ำเสียในปัจจุบันของกรุงเทพมหา นคร กำลังการผลิตที่เหมาะที่สุดคือ 32 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี อัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 26.81 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนเท่ากับ 1.55 ส่วนแนวทางการพัฒนาการผลิตไฟฟ้าให้มีความคุ้มค่า ทำได้โดยการเพิ่มปริมาณแก๊ซมีเทน ซึ่งมีความเป็นไปได้สูงที่กำลังการผลิตขนาด 52 กิโลวัตต์ และให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนร้อยละ 31.28 หรือคิดเป็นอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน 1.8 ตามลำดับ

- **การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการนำพลังงานไฮโดรเจนมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงรถยนต์ในประเทศไทย (2549) / วนัช แก้วโกมินทวงษ์ [18]**

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษา ต้นทุนและผลประโยชน์ในการผลิตพลังงานไฮโดรเจนของประเทศไทย วิเคราะห์ถึงแนวโน้มในอนาคต รวมไปถึงการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการนำพลังงานไฮโดรเจนมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงรถยนต์ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินเศรษฐศาสตร์ และการวิเคราะห์ความอ่อนไหว โดย ทำการศึกษาเฉพาะในประเทศไทยเท่านั้นซึ่งโครงการจะเริ่มจากปี 2549 – 2588 ซึ่งข้อมูลที่ใช้นำมาจากหน่วยงานในประเทศไทย และประเทศ

สหรัฐอเมริกา ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการคาดการณ์ราคาน้ำมันดิบออกเป็น 4 กรณี ได้แก่ การคาดการณ์ราคาน้ำมันดิบโลกของผู้วิจัย การคาดการณ์ราคาน้ำมันดิบโลกของ EIA กรณีราคาน้ำมันดิบโลกอ้างอิง สูง และต่ำ

จากผลการศึกษาทางการเงิน พบว่า ไม่มีกรณีใดเหมาะสมในการลงทุน โดยกรณีคาดการณ์ราคาน้ำมันดิบโลกของ EIA มีค่าติดลบมากกว่ากรณีของผู้วิจัย เนื่องจากราคาน้ำมันดิบโลกของ EIA มีค่าต่ำว่าผู้วิจัยมากเนื่องจากเชื่อว่าน้ำมันดิบจะไม่หมดไปจากโลกระยะเวลา 40 ปี ตามที่ผู้วิจัยคาดการณ์

จากผลการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ ในระดับประเทศ พบว่า กรณีการคาดการณ์ราคาน้ำมันดิบโลกของผู้วิจัยเหมาะสมในการลงทุน เนื่อง จากผลประโยชน์ของมูลค่ามลพิษทางอากาศที่ลดลง ส่วนในระดับโลกที่รวมผลกระทบของก๊าซคาร์บอนได้ออกไซด์ พบว่า มี่กรณีใดที่จะเหมาะสมในการลงทุน ซึ่งสาเหตุมาจากการที่มีแก๊ซคาร์บอนไดออกไซด์ในถ่านหินลิกไนต์ผลิตไฟฟ้ามีมูลค่าที่สูงมาก

- Using wave energy for protecting the seashore and sea water depollution (1994)/ G.A. TATU and P.D. LAZAR [19]

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาถึงการใช้พลังงานจากคลื่นและการป้องกันแนวชายฝั่ง บริเวณที่มีช่วงกว้างของคลื่นมีขนาดเล็ก (small amplitude) ของทะเลดำ ประเทศโรมาเนีย โดยมีการสร้างเขื่อนใต้น้ำโดยมีส่วนบนที่อยู่ใต้ระดับผิวน้ำและตั้งขนานกับแนวชายฝั่ง เพราะการสร้างเขื่อนแบบดังกล่าวมีประโยชน์ในหลายๆด้าน อย่างเช่น มีราคาถูกเพราะว่าราคาคิดเป็นสัดส่วนของปริมาตรพลังงานของความสูง และสามารถป้องกันการกัด เซาะบริเวณแนวชายฝั่งได้ดี เนื่องจากจะทำให้พลังงานของคลื่นถูกทำให้มีความรุนแรงลดลงไปก่อนที่จะถึงชายฝั่ง ในส่วนการแปลงพลังงานคลื่นจะเป็นการใช้ระบบไฮโดรลิค แบบง่ายแต่ว่าประสิทธิภาพที่ได้รับค่อนข้างสูง โดยใช้หลักการขึ้น-ลง ในแนวตั้งของทุ่นลอยเป็นการแปลงพลังงานให้เคลื่อนที่เข้าสู่เครื่องอัดอากาศในขั้นต่อไป

- Economical considerations of renewable electric energy production—especially development of wave energy (2002) / Mats Leijon, Hans Bernhoff, Marcus Berg and OlovAgren [20]

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการตัดสินใจทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแทนในรูปแบบต่างๆไม่ว่าจะเป็นพลังงานนิวเคลียร์, พลังงานน้ำ, พลังงานลมบนชายฝั่ง , พลังงานลมจากทะเล และพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทั่วไปนั้น การแปลงพลังงานจะต้องมีการจ่ายค่าสาธารณูปโภคสำหรับการติดตั้งพลังงาน P (kW) และได้รับผลกำไรจากการผลิตพลังงานในแต่ละปี W (kWh) ซึ่งมีการนำ ปัจจัยการใช้ประโยชน์ (utilization factor) หรือ α มาประยุกต์ใช้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ซึ่งเป็นกุญแจที่สำคัญสำหรับใช้ในการเปรียบเทียบแหล่งพลังงานที่มีความแตกต่างกัน

$$\alpha = \frac{W}{(P \times 8{,}760)}$$ ซึ่ง 8,760 จะเป็นค่าจำนวนชั่วโมงในระยะเวลา 1 ปี

ซึ่งค่าเฉลี่ยของปัจจัยในการใช้ประโยชน์ (utilization factor) ของโรงงานการผลิตพลังงานลมของโลกคิดเป็น 24.7 % ส่วนกังหันลมของสวีเดนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจะมีค่าปัจจัยในการใช้ประโยชน์ (utilization factor) อยู่ที่ 29% พลังงานนิวเคลียร์มีค่าปัจจัยในการใช้ประโยชน์ (utilization factor) อยู่ที่ประมาณ 80%ส่วนด้านพลังงานน้ำมีค่าปัจจัยในการใช้ประโยชน์ (utilization factor) จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 60 % สาเหตุที่พลังงานน้ำมีค่า α น้อยกว่าพลังงานนิวเคลียร์ก็เพราะว่า สถานีของพลังงานน้ำ ของสวีเดนจะมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

การลงทุนในเรื่องค่าใช้จ่ายจะขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตพลังงาน (rated power : P) ซึ่งจะต้องมีการใส่ค่าเพื่อจะใช้ในการพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์โดยการคำนวณแบบย้อนกลับ ซึ่งจะมีการนำค่า net present value มาเกี่ยวข้องในการคำนวณ

- Sensitivity of wave energy to climate change (2005) / G.P. Harrison and A.Robin Wallace [21]

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาความไวต่อการตอบสนองของพลังงานคลื่นในการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมอากาศทางทะเลเป็นการจำลองการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยความเร็วลมโดยคิดเป็น % โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงที่ ± 20% ในระหว่าง 10 % ผลสรุปของการเปลี่ยนแปลงของการประมาณค่าของคลื่นและประสิทธิภาพของอุปกรณ์เป็นดังนี้

1. สภาพภูมิอากาศของคลื่น : คาบคลื่นจะผันแปรกับสัดส่วนโดยตรงของความเร็วลมใน ขณะที่ความสูงคลื่นจะมีความไวในการตอบสนองต่อการเพิ่มความเร็วลมสูงกว่า
2. การผลิตพลังงาน : ความไวต่อการตอบสนองของความเร็วลมเป็นผลกระทบที่สำคัญมาก ต่อประสิทธิภาพของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น พลังงานที่ออกมานั้นจะเป็นไปในเชิงบวก โดยมีความสัมพันธ์กับความเร็วลม
3. ทางด้านเศรษฐศาสตร์ : การเปลี่ยนแปลงในการผลิต ผลลัพธ์ที่ได้และรายได้จะมีส่งผล กระทบต่อทางด้านการเงินของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นอย่างมีนัยสำคัญ

การเปลี่ยนแปลงทางด้านภูมิอากาศยังมีอิทธิพลต่อการผลิตและทางด้านการเงินของ อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น วิธีการอย่างง่ายที่จะทำให้การประเมินเชิงปริมาณของศักยภาพการ เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้ดี คือการที่ไม่มีการพิจารณามุมมองที่สำคัญ ได้แก่ คลื่นสเวลล์และการผัน แปรของสภาพภูมิอากาศของคลื่นในแต่ละเดือน , การคงอยู่ได้ในสภาพคลื่นที่รุนแรง , ความไวต่อ การตอบสนองของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น

- Economic factors and incentives for ocean wave energy conversion (2009) / J.G.Vining and A.Muetze [22]

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาปัจจัยในเชิงเศรษฐศาสตร์และแรงจูงใจในการลงทุนของการแปลง พลังงานคลื่น โดยมีแผนงานในด้านพลังงานทดแทนเพื่อให้เกิดแรงจูงใจในการลงทุน โดยแผนงาน นี้สามารถแบ่งเป็น Market-push policies เป็นการสร้างตลาดสำหรับพลังงานทดแทนและลด ค่าใช้จ่ายของพลังงานทดแทน สำหรับลูกค้า Market-pull policies เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการ พัฒนาของพลังงานทดแทนและเป็นการเพิ่มผลกำไร ปัจจัยทางด้านราคาของพลังงานทดแทนที่ สำคัญ สามารถแจกแจงออกมาได้ดังนี้

(1) สถานที่ตั้ง (2) การลงทุนเริ่มต้น (3) การติดตั้งอุปกรณ์ (4) การดำเนินงานและบำรุง รักษา (5) ภาษี (6) เสื่อมสภาพของอุปกรณ์ (7) มูลค่าทางด้านการเงิน – การจัดการทางด้านหนี้สิน (8) อายุการใช้งานของ อุปกรณ์ (9) การผลิตพลังงานเฉลี่ยอย่างต่อเนื่องของอุปกรณ์การแปลง พลังงานคลื่น

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ใช้ในการเปรียบเทียบน้ำหนักของมูลค่าโครงการ (ค่าติดตั้ง,ทางด้านการเงิน, การดำเนินการ เป็นต้น) คือการผลิตพลังงานเฉลี่ยอย่างต่อเนื่องซึ่งคิดเป็นหน่วยค่าใช้จ่ายต่อกิโลวัตต์.ชั่วโมง (cost/kilowatthour)

- **Wave energy in China:Current status and perspectives (2009)/ D.Zhang, W.Li and Y.Lin [23]**

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาสถานะปัจจุบันของพลังงานคลื่นในประเทศจีน โดยได้มีการวิจัยและพัฒนาในเรื่องของคลื่นในประเทศจีนหลังจากในปี ค .ศ. 1970 โดย Guangzhou Institute of Energy Conversion (GIEC) ภายใต้การสนับสนุนของรัฐบาลจีนด้วยความร่วมมือจากประเทศต่างๆและสถาบันวิจั ยระดับนานาชาติ ซึ่งประเทศจีนจะมีการศึกษาวิจัยเน้นการพัฒนาอุปกรณ์คลื่นทางด้านแนวชายฝั่ง (Shoreline) โดยเป็นเครื่องประเภท Oscillating Water Column (OWC), อุปกรณ์แบบทุ่นลอย (floating OWC buoys) และอุปกรณ์แบบแกว่ง (pendulous wave power plant) ถึงแม้ว่าประเทศจี นจะมีความก้าวหน้าในการศึกษาในเรื่องการใช้ประโยชน์จากคลื่น แต่ก็ยังไกลห่างจากการพัฒนาอย่างเต็มที่ เนื่องจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นในประเทศจีนยังบกพร่องในหลายแง่มุม ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องราคาสูง , ประสิทธิภาพต่ำ ขาดความน่าเชื่อถือเป็นต้น แต่ว่านโยบายของประเทศ จีนได้ตระหนักถึงความความสำคัญของพลังงานทดแทนก็เพราะว่ามีการประมาณไว้ว่า ทรัพยากรน้ำมันจะหมดไปในปี 2040, แก๊ซธรรมชาติจะหมดในปี 2060, และถ่านหินจะหมดไปในปี 2300 ดังนั้นการหาแหล่งพลังงานทดแทนจึงเป็นประเด็นหลักที่สำคัญ ซึ่งพลังงานจากคลื่นน้ำจึงเป็นทางเลือกหนึ่ งในการแก้ปัญหาที่เห็นได้ชัดเจน ในระยะเวลา 30 ปีที่ผ่านมาประเทศจีนได้มีความมุ่งมั่นในการพัฒนาในด้านพลังงานคลื่นโดยมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนในปัจจุบันอุปกรณ์บางประเภทสามารถเข้าไปแข่งขันในตลาดเฉพาะ (niche market) ได้เป็นที่เรียบร้อย

- **Electric generation from wave power in canada (2009)/ D.Dunnett and J.S. Wallace [24]**

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในการแปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า 3 ชนิดได้แก่ AquaBuOY, WaveDragon และ Pelamis โดยมีการใช้ข้อมูลที่สามารถใช้งานได้จากหน่วยงาน Marine Environmental data Service of Canada (MEDS) บริเวณพื้นที่ที่มีการเก็บข้อมูลคือ แอตแลนติค 2 สถานที่และแปซิฟิค 3 สถานที่ ซึ่งค้นพบว่า มีอย่างน้อย 1 ที่ ของการดำเนินการมี capacity factor สูงกว่า 20% ในขณะที่ยังเป็นพื้นที่บริเวณที่ใกล้กับตัวเมืองและศูนย์กลางของอุตสาหกรรม สำหรับทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนของพลังงานคลื่นที่ 5 สถานที่และมีการเปรียบเทียบของอุปกรณ์ในการแปลงพลังงานคลื่นทั้ง 3 ชนิด โดยมีการใช้ดัชนีชีวัด 2 ตัว ซึ่งได้แก่ 1.รอบค่าใช้จ่ายใน 25 ปี (25-year life-cycle cost) 2. ความต้องการของราคาไฟฟ้าสำหรับระยะเวลาคืนทุนภายใน 10 ปี ซึ่งความต้องการราคาไฟฟ้าที่น้อยที่สุดสำหรับระยะเวลาคืนทุนภายใน 10 ปีคือ $ 0.89 /kWh และเกิดขึ้นที่ Hibernia Oil Platform ซึ่งมีการใช้ AquaBuOY และมี capacity factor สูงสุดอยู่ที่ 32.1 % ซึ่งเกิดขึ้นที่ Hibernia Oil Platform เมื่อมีการใช้อุปกรณ์ WaveDragon รอบค่าใช้จ่ายใน 25 ปี (25-year life-cycle cost) ประเมินที่พื้นที่บริเวณใกล้กับ Ucluelet, St.John’s และ Hibernia Oil Platform ซึ่งสามารถทำกำไรโดยการใช้ AquaBuOY และWaveDragon ก็ต่อเมื่อราคาไฟฟ้าอยู่ระหว่าง $0.10 -$0.15/kWh ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสถานที่และการใช้อุปกรณ์

- **Case study feasibility analysis of the Pelamis wave energy converter Ireland Portugal and North America (2010)/ G.J. Dalton, R.Alcon and T.Lewis [25]**

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์และความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่มาจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นที่ชื่อว่า เพลลามิส (Pelamis) ใน 3 ประเทศ ได้แก่ ไอร์แลนด์ โปรตุเกส และอเมริกาเหนือ ซึ่งจะใช้การวิเคราะห์ใน 2 ขั้นตอน ได้แก่ การคำนวณพลังงาน และการวิ เคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยในขั้นแรกการคำนวณพลังงานโดยสามารถคำนวณได้จากสูตร Wave energy input (WEI) = $0.55H_s^2T_z$ โดยค่าความสูงคลื่นที่ได้มาจากการตรวจวัดด้วยทุ่นลอย ส่วนในด้านการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะมีการวิเคราะห์ในเรื่องค่าใช้จ่ายในการลงทุน โดยโครงการนี้จะมีการวางแผนที่ว่าจะมีการซื้อเครื่องมือมาจากโรงงานที่ผลิตและมีระยะเวลาในการดำเนินการ 20 ปี โดยมีค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าใช้จ่ายในการวางแผนและค่าใช้จ่ายในการติดตั้ ง ของอุปกรณ์ ใช้ดัชนีชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์คือ Net present values (NPV), Internal rate of return (IRR), Total net cash (TNC) , Sensitivitivity Analysis, ส่วนผสมของหนี้สิน/ผู้ถือหุ้น, ภาษีและค่าเสื่อมราคา โดยที่การตัดสินใจในการลงทุนจะขึ้นอยู่กับต้นทุนของการผลิตไฟฟ้า

- A 10 year installation program for wave energy in Ireland : A case study sensitivity analysis on financial returns (2012) / G.J. Dolton., R.Alcorn and T.Lewis [26]

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาทางด้านการเงินของการติดตั้งอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น กำลังการผลิต 500 MW ในประเทศ Ireland ซึ่งจะมองในแง่มุมของการวิเคราะห์รูปแบบของการผสมผสานของอิทธิพลด้าน learning curves และ อุปสงค์/อุปทาน ตลอดจนค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งมีเป้าหมายหลักอยู่ 2 ประการ ได้แก่

- เพื่อประเมินการทำงานของ FIT (Feed – in tariff) ในประเทศไอร์แลนด์ ภายในระยะเวลาการติดตั้งโปรแกรมของอุปกรณ์คลื่นที่เลือกใช้และตรวจวัดพลังงานที่ผลิตได้ในรูปแบบของ rate of return
- เพื่อประเมินผลกระทบของ learning curve, อุปสงค์/ อุปทาน และค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ในระยะเวลาที่ดำเนินการของโครงการ ซึ่งอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นที่เลือกใช้ คือ pelamis P1 และใช้รูปแบบทางเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ คือ NAVITAS , สร้างโดย HMRC ซึ่งการประเมินจะขึ้นอยู่กับค่าของ NPV และ IRR ส่วนข้อมูลของพลังงานคลื่นด้วยทุ่น M4 ในปี 2007ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากสถาบันทางทะเล ของประเทศไอร์แลนด์

จากผลที่ได้จากกรณีศึกษาของดัชนีชี้วัด ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นในกรณีศึกษานี้ จะมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบแทนทางด้านการเงิน

- Wave energy potential along the northern coasts of the Gulf of Oman, Iran (2012)/ A.Saket and A. Etemad-Shahidi [27]

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาถึงการตรวจสอบพลังงานคลื่นตามแนวชายฝั่งทางเหนือ ของปากอ่าวโอมาน ประเทศอิหร่าน โดยการใช้แบบจำลองคลื่นจาก SWAN model ซึ่งจะต้องใช้ข้อมู ลจากทุ่นตรวจวัด โดยในขั้นแรกนั้น จะต้องนำพลังงานในแต่ละช่วงปีมาคำนวณโดยการศึกษาข้อมูลย้อนหลังในระยะเวลา 23 ปี (1985-2007) ซึ่งข้อมูลต่างๆที่ได้มาจาก Iranian National Center for Oceanography (INCO) โดยที่จะนำผลการตรวจวัดคลื่นจริงมาเปรียบเทียบกับแบบจำลอง ซึ่ ง

การไหลของพลังงานต่อหน่วยความกว้างหน้าคลื่นจะอยู่ในรูปของช่วงของพลังงานและ significant wave height (Hs) ในน้ำลึกซึ่งสามารถประมาณค่าได้ดังนี้

$$J = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_e H^2 \sim 0.5\, T_e H^2 \quad kW \quad \text{.....................สมการที่ 2.16}$$

ในส่วนของการตรวจวัดผลเพื่อเปรียบเทียบนั้นจะมีการนำสถิติเข้ามาใช้ดังนี้

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum\frac{lx_i - y_i\, l}{x_i} \times 100 \quad \text{...................... สมการที่ 2.17}$$

ซึ่ง MAPE คือเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ ซึ่ง x_i แทนข้อมูลการตรวจวัดจริง ส่วน y_i แทนข้อมูลของแบบจำลอง ส่วน n แทนด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด

จากผลการตรวจสอบพื้นที่ที่มีแหล่งทรัพยากรคลื่นที่ดีที่สุดที่ถูกประเมินอยู่ที่ท่าเรือ Chabahar ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ดีที่สุดสำหรับการติดตั้งฟาร์มคลื่น ส่วนพลังงานคลื่นเฉลี่ยต่อเดือนที่มีการประเมิน พลังงานคลื่ นจะสูงที่สุดอยู่ในช่วงเดือนมิถุนายนจนถึงเดือนสิงหาคม และพลังงานคลื่นที่อยู่ในเทอมของพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นของ significant wave heights ระหว่าง 1-3 เมตร และคาบของพลังงานอยู่ที่ 4-8 วินาที

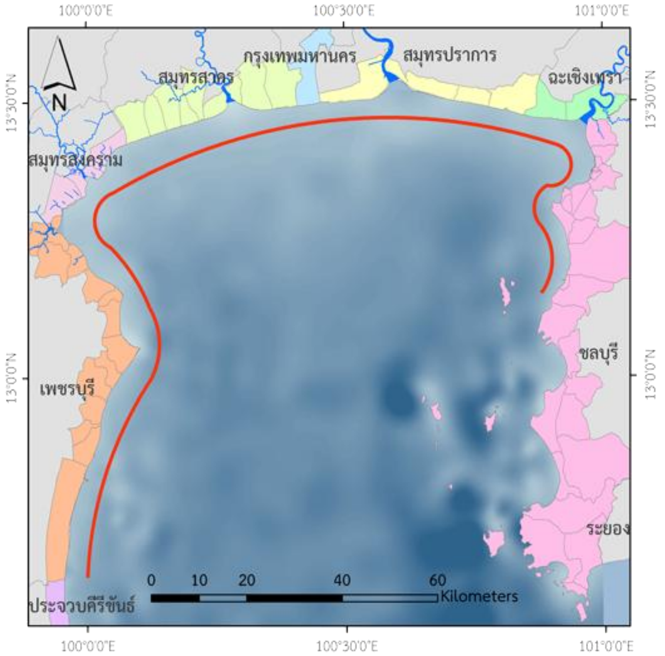
บทที่ 3

การกัดเซาะตามแนวชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน

ในบทนี้ จะกล่าวการถึงสาเหตุของปัญหาการกัดเซาะตามแนวชายฝั่ง ของพื้นที่อ่าวไทยตอนบน และการป้องกันการกัดเซาะตามแนวชายฝั่งทะเล ด้วยวิธีการต่างๆ ที่จะสามารถช่วยลดปัญหาการกัดเซาะที่เกิดขึ้นให้ลดลง

3.1 ปัญหาการกัดเซาะตามแนวชายฝั่งพื้นที่อ่าวไทยตอนบน

การกัดเซาะตามแนวชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน เริ่มตั้งแต่ อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ จนถึงสัตหีบ จ.ชลบุรี หรือเรียกว่า อ่าวไทยรูปตัว ก นั้น เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมาเป็นระยะเวลายาวนานและยังมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ สาเหตุข้างต้นการศึกษาการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง ทะเลบริเวณอ่าวไทยรูปตัว ก ได้รับความสนใจจากหน่วยงานต่างๆทั้งจากภาครัฐ ภาคเอกชน และชาวบ้านที่อยู่อาศัยทำมาหากินในบริเวณชายฝั่งทะเลที่ได้รับผลกระทบจากการที่ชายฝั่งถูกกัดเซาะ โดยแสดงดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 พื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนบน [28]

จากรูปที่ 3-1 แสดงถึงพื้นที่ของบริเวณอ่าวไทยตอนบนหรืออ่าวไทยรูปตัว ก . โดยการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนได้มีหลักฐานชัดเจนว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอยู่ตลอด และมีบางพื้นที่ได้มีการถดถอยของแนวชายฝั่งอย่างรวดเร็วในช่วง ระยะเวลา 50 ปีที่ผ่านมา โดยการศึ กษาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลอ่าวไทย ได้จัดทำโดยหน่วยงานและสถาบันการศึกษาต่างๆ เช่น กรมโยธาธิการ กรมการขนส่งทางน้ำและพาณิชยนาวี กรมทรัพยากรธรณี สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย เป็นต้น สำหรับ สาเหตุของการกัดเซาะชายฝั่งมีดังนี้

3.1.1 **การใช้ประโยชน์พื้นที่ชายฝั่งไม่เหมาะสม** [29]

พื้นที่แนวชายฝั่ง ส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ที่เป็นแหล่งท่องเที่ยว ซึ่งมีแนวโน้มที่จะมีการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับการขยายตัวของชุมชนสูงมาก มีการพัฒนาสาธารณูปโภคต่างๆเพิ่มขึ้นจากอดีต การใช้ประโยชน์ที่ดินเปลี่ยนแปลงจากเดิม นำไปสู่การที่ระบบนิเว ศทางธรรมชาติจะถูกเปลี่ยนกลายเป็นพื้นที่ชุมชน ที่อยู่อาศัย พื้นที่พาณิชยกรรมและพื้นที่การพัฒนาทางเศรษฐกิจของท้องถิ่น เช่น การสร้างคอนโดมิเนียม บ้านพักตาก อากาศ ที่พักอาศัยและการสร้างร้านค้าเชิงพาณิชย์ เป็นต้น ตลอดจนการพัฒนาและขยายตัวของโครงสร้างพื้นฐานล้วนเป็นการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบนพื้นที่ชายฝั่งทะเลในรูปแบบต่างๆ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากกับสภาพทางกายภาพของชายฝั่ง ทรัพยากรธรรมชาติ ของชายฝั่งขาดความสมดุลและยังเป็นปัจจัยเสริมให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งได้ง่ายและรุนแรงมากขึ้น นอกจากนี้การใช้ประโยชน์ชายฝั่งที่ดินผิดประเภทที่ไม่สอดคล้องกับสมรรถนะที่ดิน เช่น การบุกรุกพื้นที่ป่าชายเลนเพื่อทำนากุ้ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพื้นที่เป็ นอย่างมาก สูญเสียทรัพยากรที่เปรียบเสมือนกับปราการขนาดใหญ่และมีความสำคัญในการป้องกันกระแสลมธรรมชาติ กระแสคลื่นยังรวมถึงรากของไม้ชายเลนยังช่วยดักตะกอนโคลนที่ฟุ้งกระจายให้ตกตะกอน ตลอดจนยังช่วยให้ดินยึดตัวรวมกันยากต่อการพังทลาย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนให้กลายเป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงกุ้งจึงเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้สภาพดินในบริเวณนั้นจะมีโอกาสในการเกิดการกัดเซาะได้มากขึ้น เนื่องจากไม่มีป่าชายเลนช่วยป้องกันคลื่นลม การพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม ทำให้เกิดความจำเป็นที่จะต้องใช้น้ำบาดาลในการผลิตยิ่งขนาดอุตสาหกรรมมีขนาดใหญ่ขึ้น การใช้น้ำบาดาลก็ยิ่งมีมากขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน ซึ่งการใช้น้ำบาดาล

มีปริมาณมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการทรุดตัวของพื้นดิน โดยเป็นสาเหตุหนึ่งของการกัดเซาะชายฝั่งเช่นกัน

3.1.2 การขาดปริมาณตะกอนสะสมตัวบริเวณพื้นที่แนวชายฝั่งทะเล [29]

ปริมาณตะกอนที่อยู่บริเวณชายฝั่ง เกิดขึ้นจากการที่วัตถุต้นกำเนิดดินเกิดการสลายตัวผุพังขึ้น ซึ่งถูกพัดพาหรือไหลตามทางน้ำผ่านบริเวณพื้นที่ราบแนวชายฝั่งทะเล แล้วลงสู่ทะเลปากน้ำสะสมตัวอยู่ตามแนวชายฝั่งทะเล ลงสู่ทะเลปากทางปากแม่น้ำลำคลอง การสะสมตัวของตะกอนจะเกิดขึ้นตามแนวชายฝั่งทะเลโดยมีปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพามากับแม่น้ำใหญ่หลายสายจะถูกเก็บเอาไว้บริเวณพื้นที่เหนือเขื่อนสำคัญหลายๆแห่ง จากผลการศึกษาแผนแม่บทในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล ตั้งแต่ปากแม่น้ำเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี จนถึงปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พบว่า เขื่อนแก่งกระจานได้มีการดักปริมาณตะกอนไว้ถึง 65,438 ตันต่อปี และเขื่อนปราณบุรีดักปริมาณตะกอนไว้ประมาณ 54,856 ตันต่อปี ในขณะที่แม่น้ำขนาดใหญ่ที่มีการไหลลงสู่ชายฝั่งทะเลด้านอันดามันถึงแม้ว่าไม่มีเขื่อนปิดกั้นแต่ปริมาณตะกอนสะสมตัวบริเวณชายฝั่งทะเลด้านนี้กลับมีปริมาณลดลง สาเหตุมาจากการที่ตักหรือดูดตะกอนทรายในแม่น้ำไปใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจต่างๆ และการขุดลอกปากแม่น้ำเพื่อการคมนาคมขนส่ง เป็นต้น การเคลื่อนที่ของตะกอน มีสาเหตุมาจากคลื่นและกระแสน้ำที่มีการเปลี่ยนทิศทางแปรปรวนตลอดปี ส่งผลให้ตะกอนตามแนวชายฝั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยมีอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนแต่ละทิศทางที่ไม่เท่ากัน บางครั้งเมื่อเกิดพายุขึ้นจะทำให้การเคลื่อนที่ของตะกอนเกิดมากกว่าปกติ จะส่งผลต่อการออกแบบโครงสร้างชายฝั่งเกิดความผิดพลาดเป็นอย่างมาก ในการวางแผนพัฒนาชายฝั่งจำเป็น ต้องทราบถึงปริมาณตะกอน รวมทั้งแหล่งกำเนิดตะกอนชายฝั่ง ได้แก่ ตะกอนจากแม่น้ำ ตะกอนจากการกัดเซาะชายฝั่งและตะกอนจากการเติมทราย เป็นต้น ส่วนแหล่งที่สะสมตัวของตะกอน ได้แก่ บริเวณปากแม่น้ำที่เกิดสภาวะนิ่งและมีการตกตะกอนจำนวนมาก บริเวณสิ่งก่อสร้างชายฝั่ง เช่น เขื่ อนกั้นทรายจะทำให้เกิดการสะสมตัวของตะกอน ส่งผลให้เกิดการงอกของชายฝั่งที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้บริเวณที่มีการขุดทรายออกจากชายฝั่งจะทำให้เกิดการสูญเสียตะกอนชายฝั่งอีกทางหนึ่งเช่นกัน การพัดพาตะกอนทรายออกจากชายฝั่งโดยปัจจัยทางธรรมชาติ ได้แก่ พายุ ลม กระแสน้ำ เป็น ต้น จะทำให้ตะกอนทรายบางส่วนนั้นไม่สามารถที่จะกลับไปอยู่ในสภาพเดิมตามแนวชายฝั่งได้ ส่วนลมนั้นจะเป็นตัวการที่พัดพาทรายจากชายหาดไปกองกันจนเป็นสันทรายบนชายฝั่งได้

3.1.3 **การพัฒนาพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเล** [29]

โครงการการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลขนาดใหญ่ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการชายฝั่งตามธรรมชาติ เช่น การพัฒนานิคมอุตสาหกรรมทางด้านอ่าวไทย โดยมีการถมทะเลและสร้างสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ในทะเล โดยกีดขวางกระบวนการ เคลื่อนตัวของมวลทรายชายฝั่งทะเล ในขณะที่บริเวณชายฝั่งทางอันดามันยังมีโครงการประเภทนี้เกิดขึ้ นน้อย แต่กิจกรรมต่อเนื่องจากอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว เช่น การสร้างโรงแรมรีสอร์ท บ้านพักที่อยู่อาศัยและการดูดน้ำบาดาล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ชายฝั่งทะเลเกิดปัญหาการทรุดตัว และส่งผลให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งทะเลบริเวณดังกล่าวมากยิ่งขึ้น ประกอบการสร้ างถนนและทางรถไฟขนานกับแนวชายฝั่งทะเล เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่จะทำให้ตะกอนที่อยู่บนบกไม่สามารถเคลื่อนตัวสู่ชายหาดได้อย่างเป็นธรรมชาติ โดยเฉพาะในฤดูน้ำหลาก นอกจากนี้การขุดกะซ้าหอยที่ปนอยู่กับทรายบริเวณพื้นที่ชายหาด เพื่อนำไปประดับตู้ปลาให้เกิดความสวยงามนั้นยัง จะทำให้แหล่งพักตะกอนของชายหาดเกิดขึ้นลดลง

3.1.4 **การขาดระบบของข้อมูลพื้นฐาน** [29]

ระบบข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นที่จะต้องใช้ในการติดตาม ตรวจสอบ และในการประเมินสถานการณ์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพของพื้นที่บริเวณชายฝั่งของประเทศไทย ยังขาดระบบการจัดการเก็บแล ะรวบรวมข้อมูลที่มีความต่อเนื่อง และทันสมัย โดยข้อมูลที่กล่าวถึงจะเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งทะเล โดยเฉพาะข้อมูลของความเร็วลมและคลื่นทะเลมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยการที่นำข้อมูลลมที่วัดได้จากสถานีบนฝั่งมาปรับเทียบให้มีความถูกต้องตรงกับข้อมูลลมในทะเลซึ่งในปัจจุบันมีการตรวจวัดบ้างอยู่แล้วเพียงบางบริเวณ จากนั้นจะต้องมีการคำนวณหาความสูง คาบเวลาและทิศทางของคลื่นในทะเล ทำการรวบรวมข้อมูล รายงานการวิจัยและการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงตามแนวชายฝั่งของโครงการต่างๆที่ผ่านมาในอดีตที่ผ่านมารวมถึงภาพถ่ายทางอากาศ และข้อมูลสภาพอุทกศาสตร์และสมุทรศาสตร์ ประกอบด้วยข้อมูลคลื่น ลม ระดับน้ำทะเล ความเร็วกระแสน้ำ พายุ ข้อมูลตะกอนและข้อมูลการขุดลอกบริเวณปากแม่น้ำ จากหน่วยงานต่างๆเพื่อทราบถึงกระบวนการชายฝั่งและใช้ประกอบการวิเคราะห์และคาดการณ์แนวโน้ม โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการ

ประเมินผลและตรวจสอบติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งทะเลในแบบระยะสั้นและระยะยาวต่อไป

3.1.5 การเปลี่ยนแปลงของสภาพพื้นที่ตามธรรมชาติ [30]

กระบวนการเปลี่ยนแปลงจามแ วนชายฝั่งทะเลตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ คลื่น กระแสน้ำ ลมและพายุ ซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านี้จะทำให้เกิดกระบวนการพัดพาและการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งทะเล และก่อให้เกดเป็นพื้นที่ชายฝั่งทะเลในลักษณะต่างๆ โดยปัจจัยดังกล่าวมีความสำคัญดังนี้

- คลื่นบริเวณพื้นที่อ่าวไทย โดยมีทั้งคลื่นขนาดเล็ก ความสูงคลื่นน้อยกว่า 2 เมตรและขนาดใหญ่ ความสูงคลื่นมากกว่า 2 เมตร ซึ่งเกิดในบริเวณพื้นที่โล่งไม่มีที่กำบัง โดยคลื่นขนาดใหญ่จะมีโอกาสเกิดขึ้นในบริเวณพื้นที่อ่าวไทยด้านตะวันออกของภาคใต้ตั้งแต่จังหวัดสุราษฎร์ธานีลงไป สาเหตุจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีกำลังแรงและมีระยะช่วงลมพัดนาน
- กระแสน้ำบริเวณพื้นที่อ่าวไทย มีอิทธิพลต่อพื้นที่ชายฝั่งทะเลมากกว่าพื้นที่บริเวณกลางอ่าว โดยในช่วงน้ำลงจะมีความรุนแรงกว่ากระแสน้ำในช่วงน้ำขึ้นซึ่งก่อให้เกิดตะกอนมากกว่าโดยตะกอนที่เกิดขึ้นจะถูกพัดพาไปสะสมตัวตามทิศทางการไหลของกระแสน้ำ
- ลมและพายุ โดยบริเวณอ่าวไทยจะได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงระหว่ างเดือนตุลาคมถึงเดือนกุ มภาพันธ์ และลมตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งพัดระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน จะเกิดการพัดพาของมวลตะกอน กลับคืนสู่ชายฝั่ง สำหรับลมมรสุมตะวันตกตะวันตกเฉียงใต้ จะทำให้เกิดฝนตกชุกบริเวณชายฝั่งทะเลด้านอันดามันมากกว่าด้านอ่าวไทย เนื่องจากนี้พายุที่เกิดการก่อตัวขึ้นในทะเลจีนใต้จะเกิดการเคลื่อนที่เข้าสู่อ่าวไทย สาเหตุจากชายฝั่งอ่าวไทยทางภาคใต้นั้นเป็นพื้นที่เปิดโล่ง ส่งผลให้ได้รับผลกระทบโดยตรงจากพายุบริเวณจังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราชและสงขลา เป็นต้น
- กระแสน้ำขึ้นน้ำลง มีผลต่อการเคลื่อนตัวของตะกอนดินเลน และมวลทรายบริเวณชายฝั่ง ซึ่งในภาวะสมดุลกระแสน้ำ และการเกิดน้ำขึ้น-น้ำลง จะเป็นปัจจัยสำคัญต่อ

การนำพามวลทรายและตะกอนดินเคลื่ อนที่ตามแนวชายฝั่ง และเข้าออกจากแนวชายฝั่ง จะส่งผลให้เกิดการงอกของพื้นที่ในบางส่วนขึ้น

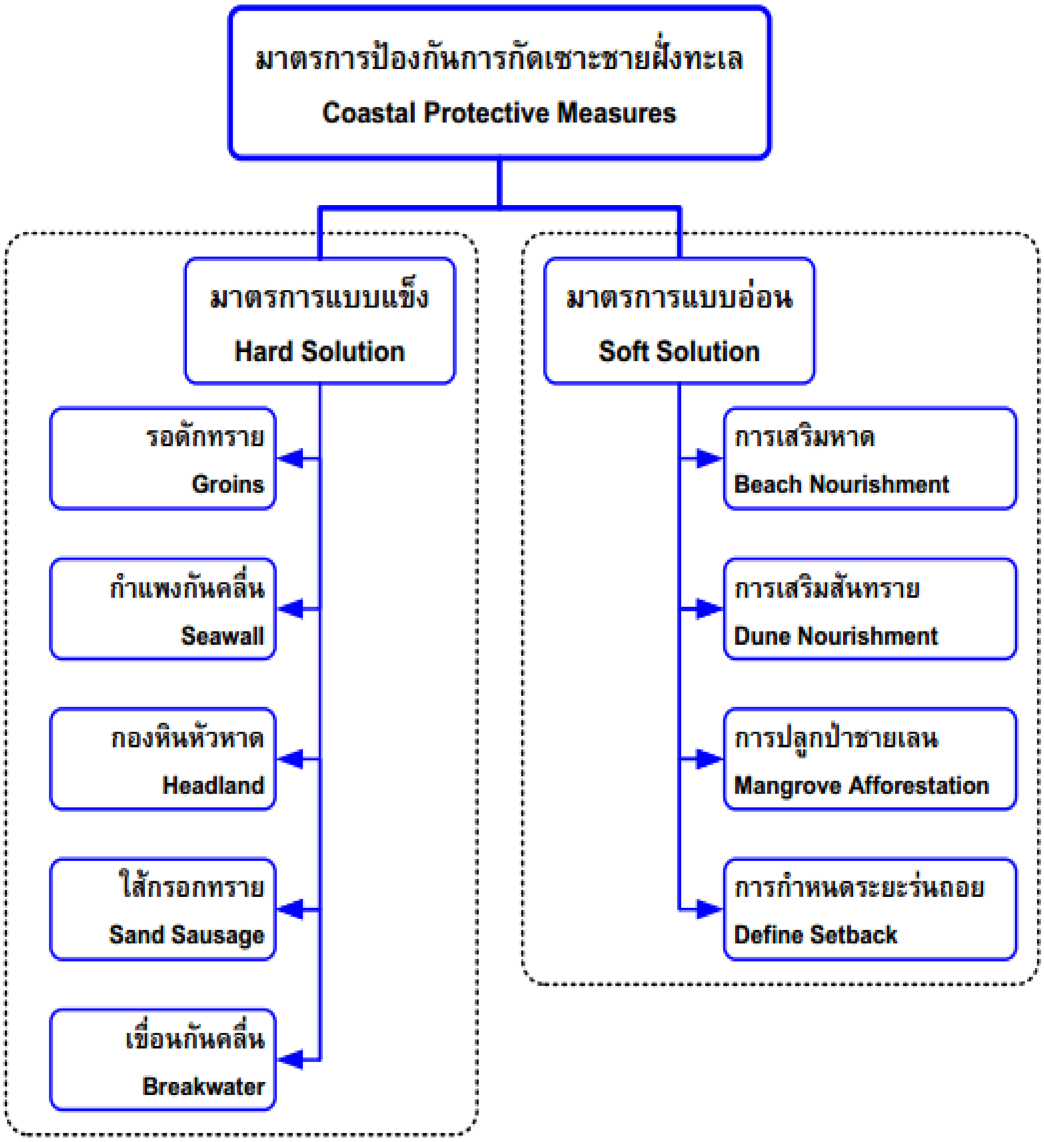
3.1.6 การกระทำของมนุษย์ที่ทำให้เกิดการพังทลายของชายฝั่ง [30]

- การสร้างเขื่อนหรือฝายกั้นน้ำ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการพังทลายของชายฝั่งทะเล เนื่องจากตะกอนที่จะมาทับถมมีปริมาณร้อยลง เนื่องจากตะกอน ตะกอนถูกกักไว้ที่เขื่อนหรือฝาย รวมถึงการดูดทรายในแม่น้ำเพื่อนำไปใช้สำหรับก่อสร้าง และเพื่อการถมที่ ซึ่งจะส่งผลทำให้ตะกอนที่ลงสู่ทะเลมีปริมาณน้อยลง
- การสร้างกำแพงกั้นคลื่น (Seawall) คันดักตะกอน (groin) เขื่อนหินทิ้ง (revetment) และแนวหินทิ้ง (riprap) ในพื้นที่บริเวณหนึ่งจะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ใกล้เคียง เช่น อาจเกิดการกัดเซาะพื้นที่ชายฝั่งบริเวณท้ายน้ำ เนื่องจากตะกอนที่เคยพัดพามาสะสมถูกดักและตกตะกอนอยู่ที่คันดักตะกอน นอกจากนั้นการสร้างถาวรวัตถุเพื่อการป้องกันชายฝั่งดังกล่าว จะส่งผลให้ชายหาดมีความลาดชันสูงขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งมากขึ้น
- การก่อสร้างกำแพงปากแม่น้ำ จะส่งผลให้ตะกอนถูกส่งไปไกลจากพื้นที่ชายฝั่งมากขึ้น ตะกอนสูญเสียออกจากระบบ ส่งผลให้ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นบนชายหาดถูกทับถมกันอยู่นั้นมีปริมาณน้อยลง และขวางการพัดพาของตะกอนในแนวเข้าและออกจากชายฝั่ง ก่อให้เกิดการพังทลายของชายฝั่ง นอกจากนี้การขุดลอกร่องน้ำนำพาตะกอนปากแม่น้ำไปทิ้งยังบริเวณอื่นก็เป็นการลดปริมาณของตะกอนที่สะสมตัวในธรรมชาติ
- การก่อสร้างท่าเรือบริเวณชายฝั่งส่งผลให้เกิดร่องน้ำลึกที่ขวางกั้นการไหลของตะกอน บริเวณรอบชายฝั่ง รวมถึงสิ่งก่อสร้างบริเวณท่าเรือ เช่น สะพานเทียบเรือ ท่อขนถ่ายสินค้า ซึ่งเป็นสิ่งกีดขวางการพัดพาของกระแสน้ำ และตะกอนบริเวณชายฝั่ง
- การถมสร้างชายหาดเทียม (beach nourishment) ซึ่งจะต้องมีการขุดทรายในทะเลจากสถานที่หนึ่งมาถมในบริเวณชายหาด ทำให้เกิดหลุมลึก ซึ่งจะเป็นการเร่งให้เกิด

การไหลของตะกอนมาเติมเต็มในหลุม และมีผลต่อเนื่องถึงการพังทลายของชายฝั่งบริเวณใกล้เคียง

3.2 มาตรการป้องกันการกัดเซาะตามแนวชายฝั่งทะเล [31]

มาตรการป้องกันการกัดเซาะตามแนวชายฝั่งทะเลโดยทั่วไปที่นิยมใช้ในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล ได้ดำเนินการผ่านมาจะประกอบด้วย 2 มาตรการ คือ มาตรการแบบแข็ง (Hard Solution) และมาตรการโครงสร้างแบบอ่อน (Soft Solution) โดยแสดงดังรูป 3-2



รูปที่ 3-2 รูปแบบมาตรการการป้องกันการกัดเซาะ [31]

3.2.1 มาตรการโครงสร้างแบบแข็ง [31]

มาตรการการป้องกันการกัดเซาะแบบแข็ง (Hard Solution) จะเป็นการป้องกันชายฝั่งโดยใช้โครงสร้างวิศวกรรมเพื่อเข้ามาแก้ไขปัญหาโดยใช้หลักในการสลายพลังงานของคลื่นให้เหมาะสม และเพื่อช่วยดักตะกอนเลนทรายตามแนวชายฝั่ง โดยแนวทางในการแก้ปัญหารูปแบบโครงสร้างแบบแข็งเหมาะสำหรับชายฝั่งที่มีปัญหาการกัดเซาะแบบรุนแรง โดยแต่ละวิธี การจะสามารถอธิบายได้ดังนี้

- คันดักทราย จะเป็นโครงสร้างในลักษณะที่ยื่นออกจากแนวชายฝั่งในแบบตั้งฉากเพื่อให้เกิดการสะสมของตะกอนที่อยู่ระหว่างคันดักทราย ในแต่ละแนวโดยแสดงดังรูปที่ 3-3

รูปที่ 3-3 การป้องกันการกัดเซาะด้วยคันดักทราย [31]

- เขื่อนกันคลื่น จะมีลักษณะของโครงสร้างที่ใช้หินขนาดที่ต่างกันมาเรียงกองตั้งเป็นชั้นฐาน และชั้นแกน หรือเรียกอีกอย่างว่าแท่งคอนกรีตขนาดใหญ่ ก่อตัวขึ้นเพื่อยับยั้งความเร็วของคลื่นทะเล ที่เคลื่อนที่พัดผ่านเข้ามาเพื่อกระทบกับแนวชายฝั่ง โดยแสดงดังรูปที่ 3-4

รูปที่ 3-4 การป้องกันการกัดเซาะด้วยเขื่อนกั้นคลื่น [31]

- กำแพงกันคลื่น จะเป็นวิธีการที่ใช้โครงสร้างที่ทำจากหรือท่อคอนกรีต ตอกเป็นแนวเรียงตามชายฝั่ง แล้วจัดเรียงด้วยหิน เพื่อที่แนวชายฝั่งทะเล สิ่งปลูกสร้าง บ้านเรือนของชาวบ้าน และทรัพย์สินด้านในชายฝั่ง โดยแสดงดังรูปที่ 3-5

รูปที่ 3-5 การป้องกันการกัดเซาะด้วยกำแพงกั้นคลื่น [31]

- ไส้กรอกทราย จะเป็นโครงสร้างที่ใช้แผ่นใยสังเคราะห์ ขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-3 เมตร แล้วนำไปบรรจุทรายเข้าไปอยู่ในไส้กรอกทรายวางตัวขนานกับชายฝั่งเป็นแนวยาวห่างจากชายฝั่งประมาณ 100-300 เมตร โดยใช้เพื่อสร้างให้ทำหน้าที่เหมือนกับโครงสร้างเขื่อนกั้นคลื่นแยก (Detached breakwater) แต่มีน้ำหนักเบากว่า เขื่อนกั้นคลื่นชนิดหินทิ้ง (Rubber mound breakwater) โดยโครงสร้างดังกล่าวเมื่อนำมาใช้ ป้องกันการกัดเซาะบริเวณชายฝั่งของพื้นที่อ่าวไทยตอนบนจะมีประสิทธิภาพที่ดีในระยะแรก แต่เมื่อใช้งานหลังจาก 4-5 ปีจะมีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ คือ ปัญหาถุงทรายแตก การเสื่อมสภาพของวัสดุที่เป็นถุงใยสังเคราะห์ การทรุดตัวของโครงสร้าง เป็นต้น โดยแสดงดังรูปที่ 3-6

รูปที่ 3-6 การป้องกันการกัดเซาะด้วยไส้กรอกทราย [31]

3.2.2 **มาตรการโครงสร้างแบบอ่อน** [31]

มาตรการการป้องกันการกัดเซาะแบบอ่อน (Soft Solution) จะเป็นรูปแบบการป้องกันการกัดเซาะแบบที่ไม่ใช้โครงสร้าง โดยวิธีการนี้เหมาะสำหรับบริเวณชายฝั่งที่มีชุมชนที่มีที่พักอาศัยไม่หนาแน่น และมีปัญหาการกัดเซาะแบบไม่รุนแรง โดยแต่ละวิธีการสามารถอธิบายได้ดังนี้

- การสร้างหาดทราย เป็นวิธีการดูดทรายหรือนำทรายเพื่อที่จะมาถมในบริเวณพื้นที่ที่มีการกัดเซาะเกิดขึ้น

- การสร้างเนินทราย เป็นการนำทรายมาถมกัน เพื่อให้เป็นกองเนินทรายเดิมที่ถูกทำลายไป และนำพืชบางชนิดเข้ามาปลูกเสริมไว้ เพื่อดักทรายที่ถูกพัดพาเข้าสู่ฝั่ง

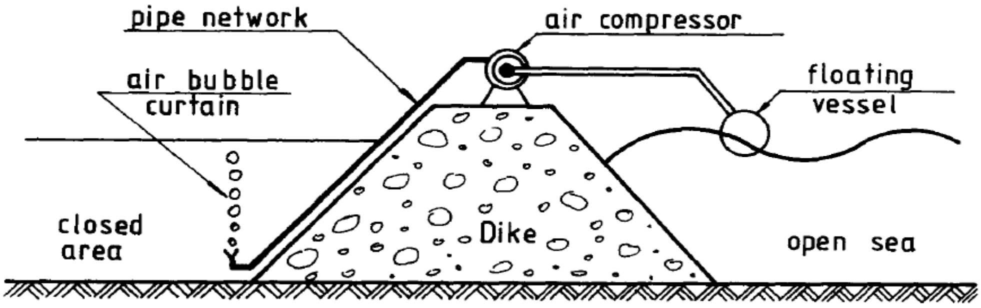
- การปลูกป่าชายเลนและไม้ไผ่ปัก วิธีนี้จะใช้ในพื้นที่บริเวณที่ราบน้ำขึ้นถึงป่าชายเลน โดยในปัจจุบันพื้นที่ทางฝั่ งอ่าวไทยได้มีการนำกล้าไม้ป่าชายเลนมาปลูกขึ้นใหม่ เพื่อทดแทนพื้นที่ที่ถูกทำลายไป โดยส่วนมากจะก่อสร้างโดยชาวบ้านหรือองค์กรบริหารส่วนท้องถิ่น โดยโครงสร้างลักษณะนี้สร้างเพื่อชะลอความแรงของคลื่นที่เข้ามาปะทะกับชายฝั่งที่เป็นป่าชายเลน ซึ่งจะช่วยให้ต้นไม้คงสภาพอยู่ได้ แต่โครงการแบบนี้จะมีอายุการใช้งานสั้นเพียงแค่ 1-2 ปีเท่านั้น

- การกำหนดระยะเวลาถอยร่น เป็นมาตรการรูปแบบของแผนและนโยบายที่จะลดระดับความเสี่ยงต่อความเสียหายของสิ่งก่อสร้างบนชายหาด โดยที่จะไม่ให้มีสิ่งก่อสร้างใดที่อยู่บนพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการกัดเซาะ เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อสิ่งสร้าง

3.3 การป้องกันการกัดเซาะจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น

อุปกรณ์การแปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีหน้าที่หลักเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า แต่ว่าอุปกรณ์ดังกล่าวยังสามารถที่จะช่วยชะลอปัญหาการ กัดเซาะที่เกิดขึ้นตามแนวชายฝั่งได้อีกทางหนึ่งด้วย โดยมีแนวคิดเริ่มมาจากประเทศโรมาเนีย ในปี 1994 ได้มีการศึกษาศึกษาถึง แนวทางในการป้องกันการกัดเซาะตามแนวชายฝั่งด้วยการสร้างเขื่อนบริเวณใกล้กับชายฝั่งและได้มีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้ าอยู่ข้างบนของเขื่อนอีกด้วย โดยอาศัยหลักการทุ่นลอย แบบขึ้น-ลง ซึ่งการที่มีเขื่อนดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 3-7 จะช่วยทำให้เกิดสลายพลังงานของคลื่นได้อีกทางหนึ่ง เพื่อชะลอการกัดเซาะที่จะเกิดตามแนวชายฝั่งอีกทางหนึ่งด้วย ซึ่งเขื่อนดังกล่าวจะเป็นเขื่อนที่ตั้งอยู่ใต้ระดับผิวน้ำและมีการตั้งขนานกับแนวชายฝั่ง ซึ่งช่วยสามารถลดความรุนแรงของพลังงานคลื่นทะเลก่อนจะเข้าไปสู่แนวชายฝั่ง ในส่วนการแปลงพลังงานคลื่นจะเป็นการใช้ระบบไฮโดรลิค แบบง่ายแต่ว่าประสิทธิภาพที่ได้รับค่อนข้างสูง โดยใช้หลักการขึ้น-ลง ในแนวตั้งของทุ่นลอยเป็นการแปลงพลังงานให้เคลื่อนที่เข้าสู่เครื่องอัด

อากาศในขั้นต่อไป ซึ่งถือได้ว่าเป็นต้นแบบของการผลิตอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบัน



รูปที่ 3-7 เขื่อนที่ติดตั้งระบบไฮโดรลิคอยู่ด้านบน ด้วยความดันอากาศ [19]

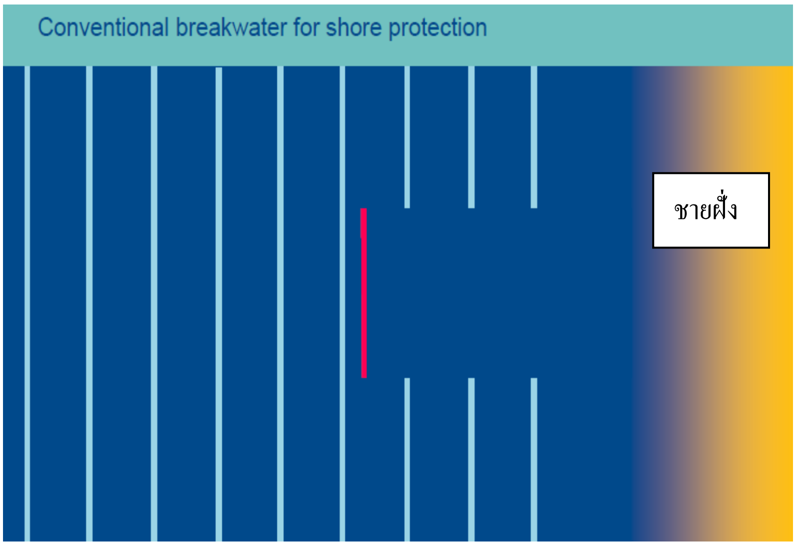
3.3.1 **อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น ที่ติดตั้งอยู่บนชายฝั่ง** (Onshore)

การป้องกันการกัดเซาะจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นที่ติดตั้งอยู่บนชายฝั่ง เป็นการป้องกันการกัดเซาะในรูปแบบกำแพงกั้นคลื่น (Sea wall) ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะเป็นตัวที่แบ่งกั้นระหว่างเขตชายฝั่งละน้ำทะเลให้แยกออกจากกัน โดยอุปกรณ์ดังกล่าวมีชื่อว่า Limpet โดยแสดงดังรูปที่ 3-8 ถูกออกแบบโดยบริษัท Wave gen อุปกรณ์ดังกล่าวถูกใช้เพื่อแปลงพลังงานคลื่นให้เป็นผลิตกระแสไฟฟ้าที่ชายฝั่งทางทิศตะวันตกของหมู่ เกาะสก๊อตแลนด์ [32] โดยมีอัตราการผลิตอยู่ที่ 500 kW และระบบดังกล่าวยังออกแบบมาเพื่อเป็นส่วนสำคัญเพื่อการลดพลังงานคลื่นที่เคลื่อนที่เข้ามาตามแนวชายฝั่ง

รูปที่ 3-8 อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า Limpet [32]

3.3.2 **อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นใกล้ชายฝั่ง** (Nearshore) [32]

การป้องกันการกัดเซาะจากอุปกรณ์การแปลงพลังงานคลื่นใกล้ชายฝั่ง จะเป็นการป้องกันในรูปแบบเขื่อนกั้นคลื่น (Breaking Water) คือการที่วางสิ่งกีดขวางที่เป็นโครงสร้างเพื่อกั้นขวางคลื่น เพื่อลดพลังงานคลื่นที่จะเกิดขึ้น ก่อนที่คลื่นจะเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง ทำให้การกัดเซาะที่จะเกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นลดลง โดยอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นที่จะสามารถลดพลังงานคลื่นที่จะเกิดขึ้นได้นั้น จะต้องขึ้นอยู่กับขนาด ตำแหน่งที่ตั้ง และระยะห่างจากแนวชายฝั่ง โดยอุปกรณ์ที่เป็นรูปแบบใกล้ชายฝั่งก็คือ พิลามิส (Pelamis) อันที่จริงแล้วอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นได้ทั้งแบบ Offshore และแบบ ใกล้ชายฝั่ง (Nearshore) ขึ้นอยู่กับความสูงคลื่น และคาบคลื่นตามพื้นที่ต่างๆ ถ้าในต่างประเทศส่วนใหญ่จะเป็นแบบ (Nearshore) เพราะว่าประเทศที่มีการ ใช้เทคโนโลยีในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้นจะเป็นประเทศที่เป็นเกาะ เช่น ประเทศโปรตุเกส ประเทศอังกฤษ เป็นต้น ซึ่งมีศักยภาพของคลื่นที่เพียงพอที่จะใช้ในการผลิตไฟฟ้า และเมื่อการติดตั้งของอุปกรณ์ดังกล่าวตั้งอยู่ไม่ไกลจากชายฝั่ง ทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวทำหน้าที่เป็นเหมือนเขื่อนที่คอยขวางคลื่นเพื่อลดพลังงานคลื่นลงก่อนที่คลื่นจะเคลื่อนตัวเข้าสู่ถึงชายฝั่ง โดยแสดงดังรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 การป้องกันการกัดเซาะรูปแบบเขื่อนกั้นคลื่น (Breaking Water) [32]

จากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นดังกล่าวข้างต้น ยังไม่เหมาะสมสำหรับชายฝั่งทางด้านอ่าวไทย เนื่องจากข้อจำกัดในการผลิตไฟฟ้า โดยแหล่ งทรัพยากรคลื่นที่เกิดขึ้นบริเวณ บนชายฝั่ง (Onshore) และ ใกล้ชายฝั่ง (Nearshore) จะมีความสูงคลื่นและคาบคลื่นที่ต่ำ ทำให้ไม่สามารถที่จะนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอ แต่สามารถที่จะป้องกันการกัดเซาะได้ โดยการลดพลังงานของคลื่น ก่อนที่คลื่นจะเคลื่อนตัวสู่ชายฝั่ง โดยจะเป็นการชะลอการกัดเซาะที่เกิดขึ้นได้

สำหรับอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นที่ มีอยู่ในปัจจุบันที่ใช้ในงานวิจัย สำหรับฝั่งอ่าวไทยจะเป็นรูปแบบการติดตั้งนอกชายฝั่ง (Offshore) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวจะมีศักยภาพของคลื่นที่เพียงพอสำหรับการผลิตไฟฟ้า แต่บริเวณดังกล่าวจะไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดเซาะได้เลย เนื่องจากเป็นพื้นที่บริเวณน้ำลึกและอยู่ไกลห่างจากชายฝั่งเป็นระยะทางไกล ส่งผลให้ไม่สามารถมีประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดเซาะ แต่ สำหรับต่างประเทศนั้นในการผลิตอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นมาเพื่อวัตถุประสงค์หลักคือใช้สำหรับผลิตไฟฟ้า ส่วนสิ่งที่ได้ประโยชน์ทางอ้อมที่เกิดขึ้นนั้นอาจจะเป็นการที่จะช่วยลดแรงจากคลื่น แต่ในการวิเคราะห์ดังกล่าวยังไม่มีงานวิจัยใดที่ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดเซาะจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นอย่างจริงจัง

จากข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การติดตั้งอุปกรณ์ในรูปแบบใกล้ชายฝั่ง (Nearshore) และบนชายฝั่งนั้น (Onshore) จะมีศักยภาพของคลื่นที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าต่ำ แต่อุปกรณ์ที่ติดตั้งรูปแบบดังกล่าวสามารถที่จะช่วยลดการกัดเซาะที่ เกิดขึ้นได้ ส่วนการติดตั้งอุปกรณ์แบบนอกชายฝั่ง (Offshore) จะเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพคลื่นที่ดีกว่ารูปแบบอื่นๆ เนื่องจากปัจจัยทางกายภาพของการเกิดคลื่น แต่รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ในรูปแบบดังกล่าวไม่สามารถที่จะช่วยป้องกันการกัดเซาะได้เลย เนื่องจากรูปแบบนอกชายฝั่งจะเป็นพื้นที่น้ำลึก ทำให้อยู่ห่างจากชายฝั่งออกไป ถ้า

แต่อย่างไรก็ตาม อนาคตมีการพัฒนาอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น ที่สามารถ รองรับ การผลิตไฟฟ้า กับสภาวะคลื่นที่มีความสูงคลื่นและคาบคลื่นที่อยู่ในช่วงระดับต่ำ จนถึงปานกลางได้ของอ่าวไทย ก็มีความเป็นได้ที่อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นดังกล่าวนั้นจะสามารถที่จะถูกติดตั้งบริเวณใกล้ชาย ฝั่ง (Nearshore)หรือบนชายฝั่งได้ (Onshore) สามารถที่จะผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องและยังจะเป็นการช่วยลดปัญหาการกัดเซาะได้อีกทางหนึ่งด้วย

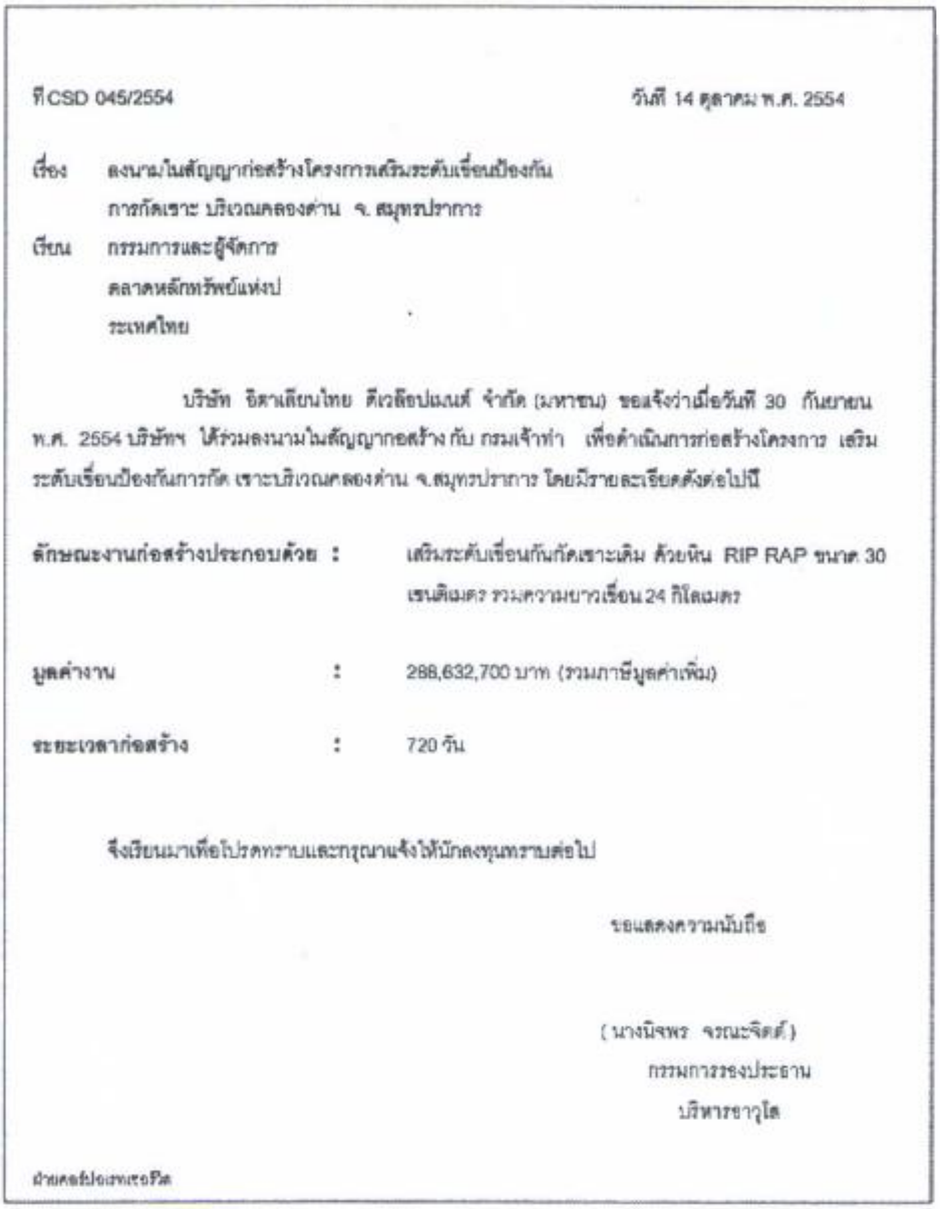
จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้แนวทางในการป้องกันการกัดเซาะที่เหมาะสมกับชายฝั่งอ่าวไทย ที่เป็นแบบโครงสร้างที่มีการใช้ในปัจจุ บันจะมีอยู่ 2 รูปแบบ คือการป้องกันแบบกำแพงกั้นคลื่น และการป้องกันแบบเขื่อนกั้นคลื่น ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบจะมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ข้อดีและข้อจำกัดของการป้องกันการกัดเซาะจากรูปแบบมาตรการต่างๆ [33]

	ข้อดี	**ข้อจำกัด**
การป้องกันแบบกำแพงกั้นคลื่น	-สามารถป้องกันการกัดเซาะได้ถาวร -ใช้ในการดูดซับพลังงานจากคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง -ค่าบำรุงรักษาต่ำ	- ไม่สามารถใช้ประโยชน์ด้านหน้าหาดได้ - ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูงและไม่สวยงาม - อาจจะเกิดปัญหาการทรุดตัวของกำแพงกั้นคลื่นได้ในระยะยาว
การป้องกันแบบเขื่อนกั้นคลื่น	-ช่วยลดพลังงานจากคลื่นเข้าสู่ชายฝั่งได้ดี -ช่วยในการสะสมของตะกอนบริเวณชายหาด -ลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระแสน้ำชายฝั่งได้โดยปฏิกิริยาการสะท้อนของคลื่นจากตัวเขื่อน	-คลื่นสามารถเคลื่อนผ่านบริเวณช่องว่างระหว่างเขื่อนได้ -ทำให้ทัศนียภาพไม่สวยงาม -ค่าใช้จ่ายสูง -วิธีการก่อสร้างทำได้ยาก

จากตารางที่ 3-1 แสดงถึงข้อดีและข้อจำกัดของการรูปแบบมาตรการป้องกันการกัดเซาะที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาการกัดเซาะตามแนวชายฝั่งอ่าวไทย โดยที่มาตรการในรูปแบบเขื่อนกั้นคลื่นจะนิยมใช้มากกว่ารูปแบบกำแพงกั้นคลื่น เนื่องจากรูปแบบของเขื่อนกั้นคลื่นนั้นจะถูกติดตั้งอยู่ใกล้ชายฝั่ง (Nearshore) ซึ่งทำให้เกิดการทำลายทัศนียภาพบนชายหาดน้อยกว่าแบบกำแพงกั้นคลื่น และยังมีประสิทธิภาพในการลดแรงของคลื่นได้ดีกว่าแบบกำแพงกั้นคลื่น

อย่างไรก็ตาม แท้จริงแล้วในการป้องกันการกัดเซาะแบบโครงสร้างนั้นจะไม่มีโครงสร้างใดที่จะคงทนถาวร โดยแต่ละแห่งจะเกิดการชำรุด พังทลายหรือทรุดตลอดมา ซึ่งจะต้องเกิดการซ่อมแซมอยู่เสมอ ด้วยงบประมาณที่สูงถึงหลักร้อยล้านบาท ต่อปี ยกตัวอย่างเช่นการจ้างเหมาปรับปรุงเขื่อนหินเรียงที่คลองด่านซึ่งมีระยะทางยาว 24 กม. ด้วยงบประมาณ 288 ล้านบาท โดยแสดงดังรูปที่ 3-10 [30]



ที่ CSD 045/2554 วันที่ 14 ตุลาคม พ.ศ. 2554

เรื่อง ลงนามในสัญญาก่อสร้างโครงการเสริมระดับเขื่อนป้องกันการกัดเซาะ บริเวณคลองด่าน จ. สมุทรปราการ

เรียน กรรมการและผู้จัดการ
ตลาดหลักทรัพย์แห่งป
ระเทศไทย

บริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวล๊อปเมนต์ จำกัด (มหาชน) ขอแจ้งว่าเมื่อวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2554 บริษัทฯ ได้ร่วมลงนามในสัญญาก่อสร้าง กับ กรมเจ้าท่า เพื่อดำเนินการก่อสร้างโครงการ เสริมระดับเขื่อนป้องกันการกัด เซาะบริเวณคลองด่าน จ.สมุทรปราการ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ลักษณะงานก่อสร้างประกอบด้วย	:	เสริมระดับเขื่อนกันกัดเซาะเดิม ด้วยหิน RIP RAP ขนาด 30 เซนติเมตร รวมความยาวเขื่อน 24 กิโลเมตร
มูลค่างาน	:	288,632,700 บาท (รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)
ระยะเวลาก่อสร้าง	:	720 วัน

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและกรุณาแจ้งให้นักลงทุนทราบต่อไป

ขอแสดงความนับถือ

(นางนิจพร จรณะจิตต์)
กรรมการรองประธาน
บริหารอาวุโส

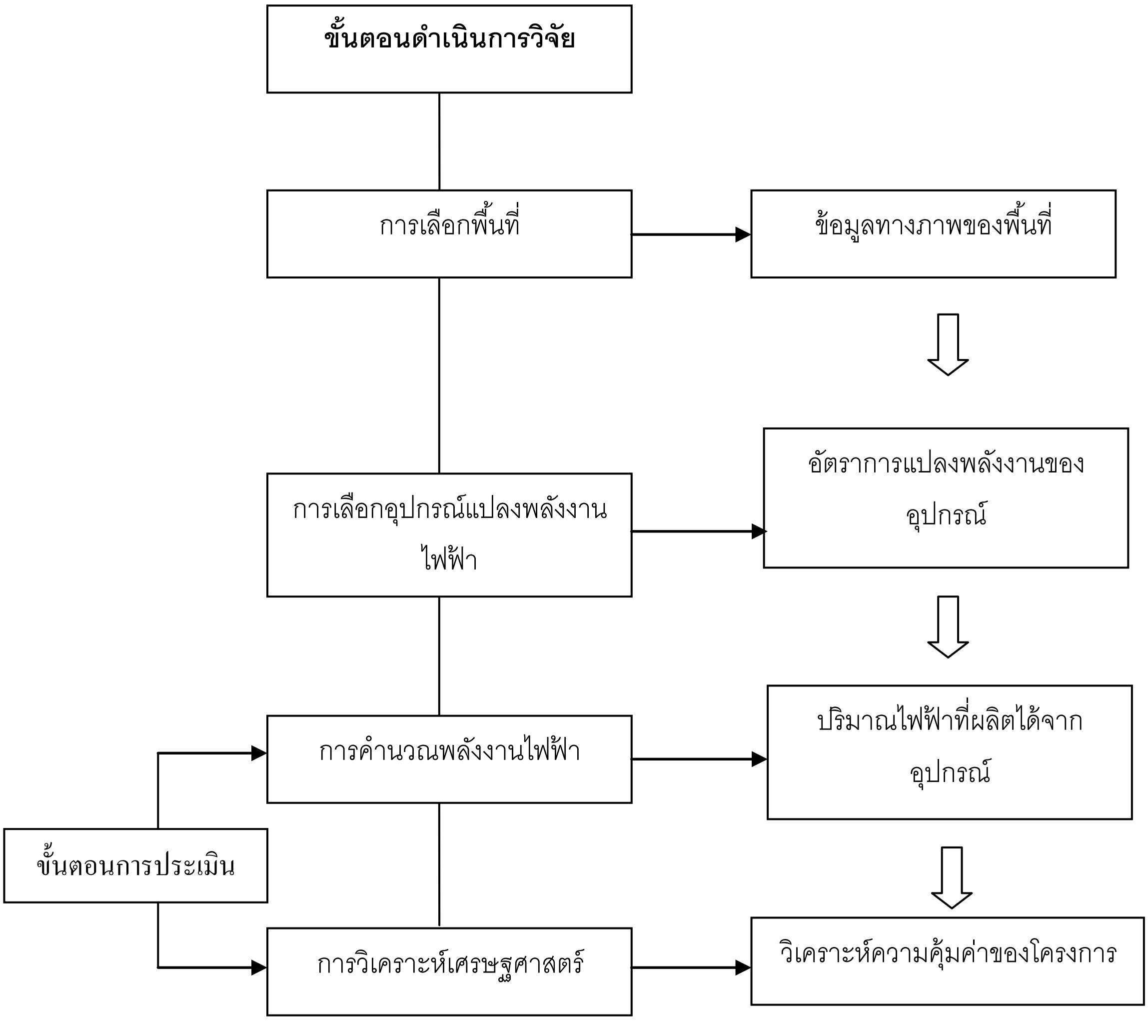
ฝ่ายคอร์ปอเรทเซอร์วิส

รูปที่ 3-10 จดหมายเสนอราคาข่าวการแจ้งเหมาก่อสร้างเขื่อนป้องกันการกัดเซาะ [30]

จากรูปที่ 3-10 แสดงถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุนปรับปรุงสร้างเขื่อนป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งเพิ่มเติม บริเวณคลองด่าน จ.สมุทรปราการ ในระยะทาง 24 กม.ด้วยงบประมาณ 288 ล้านบาท โดยมาตรการต่างๆที่ได้ดำเนินงานมานั้นเป็นเพียงแค่การช่วยชะลอการกัดเซาะหรือการป้องกันชายฝั่งได้ระยะหนึ่งเท่านั้น ซึ่งสาเหตุอาจมาจากการที่มาตรการต่างๆอาจไม่ตรงกับสาเหตุของการกัดเซาะที่แท้จริง ซึ่งจะพบว่าการดำเนินการต่างๆในหมาสมุทรนั้นจะมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สูงมาก

บทที่ 4
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์การลงทุนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำทะเล จะมีการแปลงพลังงานมาจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในทะเล แล้วส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังสถานีที่อยู่บนสถานีที่อยู่บนชายฝั่ง ซึ่งขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนได้ดังนี้



รูปที่ 4-1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของการแปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า [13]

4.1 ขั้นตอนในการเลือกพื้นที่

การเลือกพื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า จะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญ คือข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ เพื่อเป็นการรองรับกับการติดตั้งอุปกรณ์การแปลงพลังงานคลื่นให้เหมาะสมต่อพื้นที่ โดยข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์จะเป็นข้อมูลทุ่นสำรวจสมุทรศาสตร์ประจำปี 2537 – 2538 ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ [11] โดยข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลของตำแหน่งการตรวจวัดคลื่นตามจุดต่างๆทั้ง 6 จุด แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลกายภาพของพื้นที่ฝั่งอ่าวไทย

พื้นที่	ละติจูด	ลองติจูด	ระดับความลึก
เกาะสีชัง	13°00’52”	10° 49’04”	19 ม.
ระยอง	12°29’46”	101° 10’33”	17 ม.
เกาะช้าง	12°00’02”	102° 12’35”	32 ม.
เกาะเต่า	10°11’38”	99° 59’01”	25 ม.
สงขลา	07°09’34”	101° 12’41”	35 ม.
หัวหิน	12°30’12”	100° 09’49”	18 ม.

จากตารางที่ 4-1 แสดงถึงข้อมูลกายภาพของพื้นที่อ่าวไทยที่ ได้มีการตรวจวัดข้อมูลคลื่นจากทุ่นสมุทรศาสตร์ในปี 2537 -2538 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้รับมาจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ โดยข้อมูลที่ได้รับ จะแสดงถึงระดับความลึกและพิกัดที่มีการติดตั้งทุ่นจากการตรวจวัดคลื่นตามพื้นที่ต่างๆของฝั่งอ่าวไทย เพื่อใช้ในการเลือกพื้นที่กรณีศึกษาในการติดตั้งอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น โดยพื้นที่ทั้งหมดนั้นจะเป็นพื้นที่เฉพาะชายฝั่งอ่าวไทยเท่านั้น โดยจะครอบคลุมทั้งอ่าวไทยตอนบนและอ่าวไทยตอนล่าง โดยจะต้องนำข้อมูลคลื่นดังกล่าวไปวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อหาพื้นที่กรณีตัวอย่างเพื่อจะนำไปวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้เชิงเทคนิคของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นต่อไป

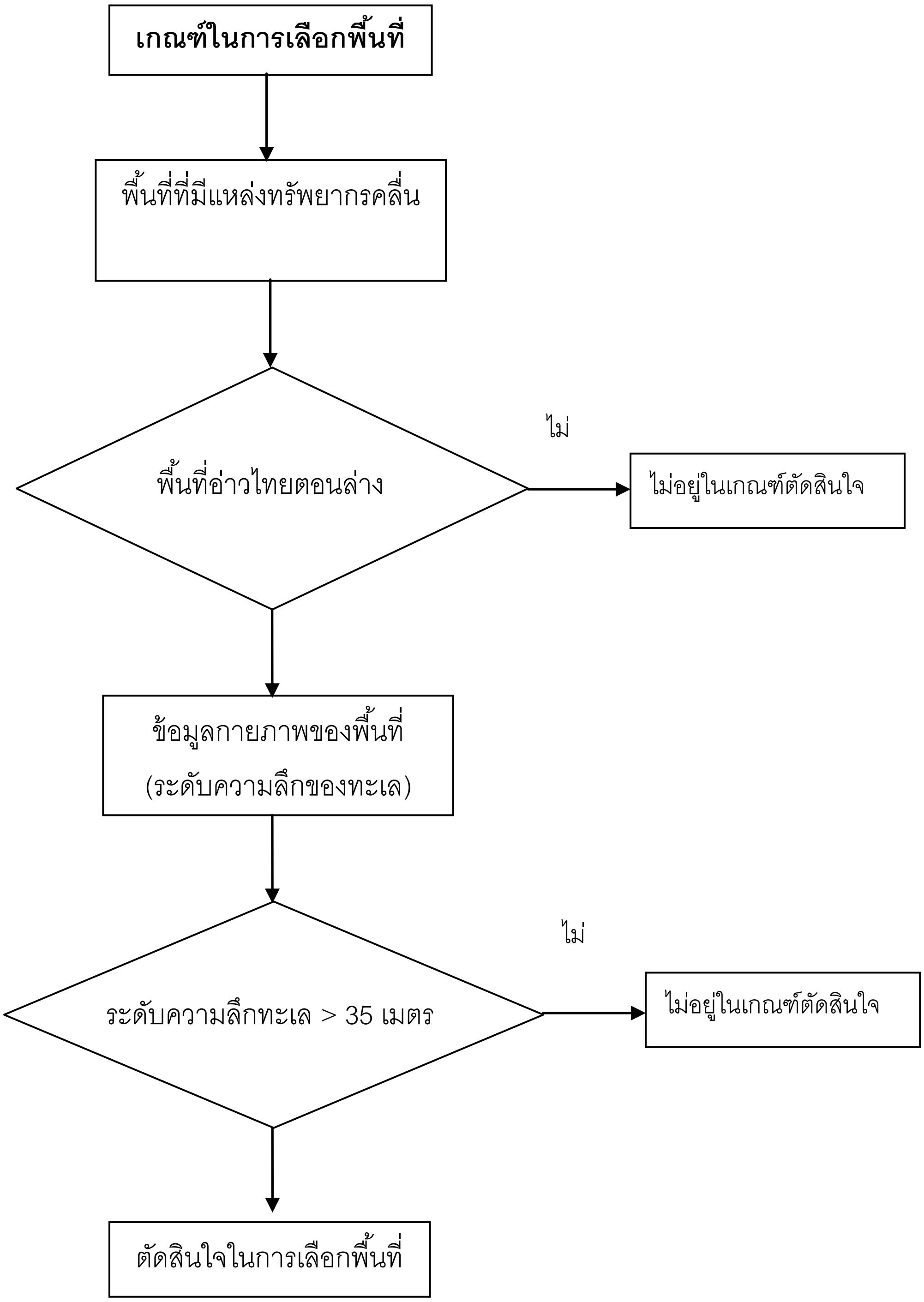
เกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกพื้นที่จะต้องเลือกพื้นที่ที่มีทรัพยากรคลื่นที่ดี โดยงานวิจัย "Case study feasibility analysis of the Pelamis wave energy convertor in Ireland, Portugal and North America" ได้อธิบายว่า สิ่งที่สำคัญที่สุดในการเลือกพื้นที่ที่สำหรับการผลิตไฟฟ้านั้นจะ ต้อง เป็นพื้นที่ที่มีแหล่งทรัพยากรคลื่นที่ ดี ซึ่งหมายถึงมีลักษณะคลื่นที่สูงและเกิดขึ้นสูง โดยทั่วไปแล้วพื้นที่ดังกล่าว จะต้องเลือกพื้นที่ที่อยู่นอกชายฝั่ง โดยพื้นที่ที่มีศักยภาพคลื่นที่ดีนั้นเกิดมาจาก 3 ปัจจัย ได้แก่

- ระยะทางเหนือผิวน้ำที่ลมพัดผ่าน (Fetch distance)
- ความเร็วลมที่พัด (Wind velocity)
- ระยะเวลาที่ลมพัด (Duration)

โดยงานวิจัยดังกล่าวได้อธิบายถึงอิทธิพลของเฟทซ์ (Fetch) ว่า ระยะของเฟทซ์จะมีผลต่อความสูงคลื่นที่เกิดขึ้น ยิ่งระยะเฟทซ์ (Fetch) ยาวคลื่นที่เกิดขึ้นจะมีความสูงมาก ในทำนองเดียวกับความเร็วลม ลมยิ่งพัดแรงคลื่นก็ยิ่งมีความสูงมากเช่นกัน

ส่วนงานวิจัยเรื่อง "System Level Design, Performance and Costs for San Francisco California Pelamis Offshore Wave Power Plant" ได้อธิบายว่า ในการเลือกพื้นที่สำหรับติดตั้ง โดยระดับความลึกของทะเลจะต้องมากกว่า 35 เมตร เพื่อให้รองรับกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อติดตั้งในพื้นที่นอกชายฝั่ง โดยทั่วไปแล้วถ้าเป็นพื้นที่นอกชายฝั่ง โดยส่วนใหญ่นั้นจะมีระดับ ความลึกของทะเล ลึก 35 เมตรไปจนถึง 50 เมตรที่เหมาะสมกับการติดตั้งอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

ดังนั้น สามารถสรุปจากทั้ง 2 งานวิจัยเพื่อนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกพื้นที่ตัวอย่าง คือ สิ่งสำคัญสำหรับการเลือกพื้นที่เพื่อจะติดตั้งอุปกรณ์ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้นต้องคำนึงถึงทรัพยากรคลื่นที่ดีของพื้นที่และระดับความลึกที่ของพื้นที่ที่จะใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ โดยสามารถสร้างเป็นเกณฑ์เพื่อจะใช้ในการเลือกพื้นที่สำหรับฝั่งอ่าวไทยได้ดังรูปที่ 4-2 ดังนี้



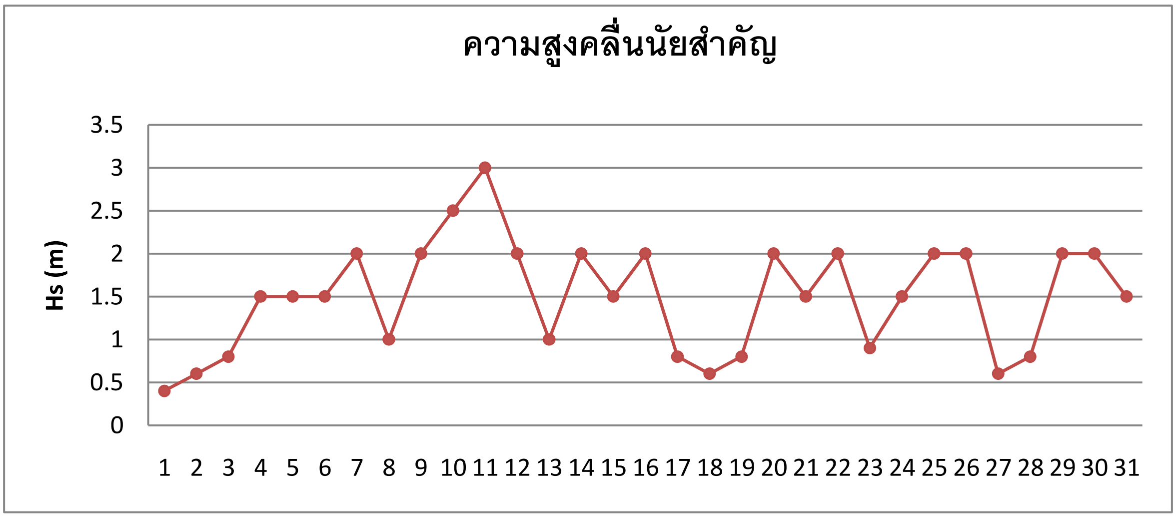
รูปที่ 4-2 เกณฑ์ในการเลือกพื้นที่ ของฝั่งอ่าวไทย

จากรูปที่ 4-2 แสดงถึงเกณฑ์ในการเลือกพื้นที่ ฝั่งอ่าวไทย โดยจากงานวิจัย "พลังงานคลื่น" จากวารสารวิศวกรรม ได้รวบรวมข้อมูลคลื่นจาก สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) ได้สรุปว่า ศักยภาพของคลื่นของประเทศไทย ทางด้านฝั่งอ่าวไทยนั้น ถ้าจะ

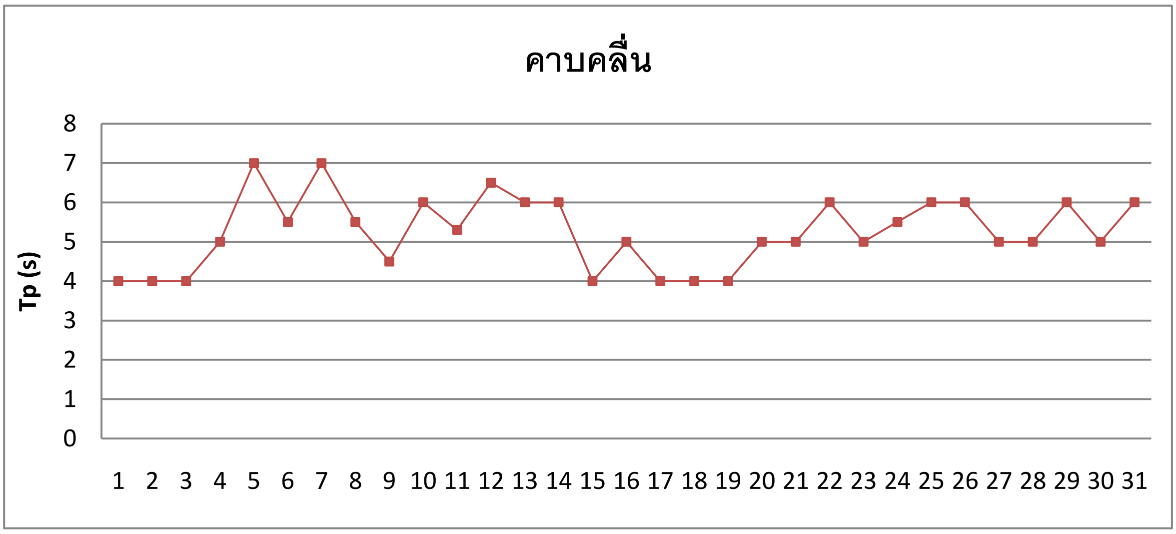
มีการนำมาใช้ประโยชน์จากคลื่นทะเล จะต้องเลือกใช้พื้นที่ทางด้านอ่าวไทยตอนล่างตั้งแต่จังหวัดหัวหินไปจนถึงจังหวัดนราธิวาส เนื่องจากพื้นที่อ่าวไทยตอนล่างจะมีศักยภาพของคลื่นลมที่ดีกว่าอ่าวไทยตอนบน สาเหตุจากอิทธิพลของ ระยะทางเหนือผิวน้ำที่ลมพัดผ่าน (Fetch distance) ที่มีระยะทางมากกว่า โดยอ่าวไทยตอนบนนั้น จะมีลักษณะเป็นอ่าวปิด ทำให้เกิดคลื่นลมที่มี ศักยภาพที่ต่ำ ส่งผลให้คลื่นที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นคลื่นลูกเล็กเป็นส่วนมาก แต่ทางด้านอ่าวไทยตอนล่างนั้น พื้นที่จะมีลักษณะเปิด ทำให้มีเฟทซ์ (fetch) ที่กว้าง และยังได้รับอิทธิพลของ อิทธิพลของคลื่นจากมหาสมุทรอินเดียและทะเลจีนใต้โดยตรง ส่งผล ทำให้คลื่นที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็ นคลื่นลูกใหญ่และมีความสูงคลื่นมากกว่าอ่าวไทยตอนบน [34] ดังนั้น เกณฑ์ในการเลือกพื้นที่สำหรับใช้ในการวิเคราะห์เชิงเทคนิคสำหรับการติดตั้งการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น จะต้องเลือกพื้นที่ที่มีศักยภาพคลื่นที่ดีที่สุด เพื่อเป็นพื้นที่ตัวแทนทางด้านฝั่งอ่าวไทย ในการ วิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการที่จะเกิดขึ้น จากนั้น เมื่อเลือกพื้นที่แล้วจะต้องคำนึงถึงระดับความลึกของพื้นที่ดังกล่าวด้วย เนื่องจากระดับความลึกก็จะมีผลต่อคลื่นลมด้วยเช่นกัน ถ้าคลื่นในระดับทะเลลึกนั้นจะมีความสูงคลื่นที่เกิดขึ้นมากกว่า จากงานวิจัย “System Level Design, Performance and Costs for San Francisco California Pelamis Offshore Wave Power Plant” ได้อธิบายว่าอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้น โดยทั่วไปจะถูกออกแบบเพื่อใช้กับพื้นที่ที่เป็นแบบนอกชายฝั่ง เนื่องจากมีศักยภาพคลื่นที่ดีกว่า พื้นที่ใกล้ชายฝั่งและพื้นที่บนชายฝั่ง โดยอย่างน้อยที่สุดที่จะติดตั้งระดับของน้ำทะเลไม่ควรต่ำกว่า 35 เมตร ดังนั้น เกณฑ์ในการตัดสินใจในการเลือกพื้นที่ขั้นต่อมาก็คือ ระดับความลึกของน้ำทะเล ที่จะต้องกำหนดให้ระดับความลึกของน้ำทะเลนั้นมากกว่า 35 เมตร เป็นต้นไป เพื่อรองรับกับระบบของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

4.1.2 ข้อมูลคลื่นของพื้นที่

ในการวิเคราะห์เชิงเทคนิคของการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์ จะต้องใช้ข้อมูลคลื่นเพื่อนำมาวิเคราะห์ในหัวข้อดังกล่าว โดยข้อมูลคลื่นที่ได้รับนั้นมาจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ โดยข้อมูลคลื่นดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นกราฟที่แสดงความถี่ของคลื่นในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นข้อมูลคลื่นที่มีความละเอียดต่ำ ทำให้ข้อมูลคลื่นดังกล่าวไม่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ทางด้านการผลิตไฟฟ้าได้ แต่ใช้วิเคราะห์ในการเลือกพื้นที่เบื้องต้นที่มีการ ตรวจวัดได้เท่านั้น โดยข้อมูลดังคลื่นดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 4-3 และ 4-4



รูปที่ 4-3 ค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญ



รูปที่ 4-4 คาบคลื่น หน่วยเป็น วินาที (s)

จากรูปที่ 4-3 และ 4-4 แสดงถึงข้อมูลคลื่นของพื้นที่ที่มีการตรวจวัดทุ่นสมุทรศาสตร์ ซึ่งแสดงในรูปความสูงคลื่นนัยสำคัญและคาบคลื่นที่มีการเก็บข้อมูลในช่วงระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยที่ข้อมูลที่ได้รับมาแสดงอยู่ในรูปกราฟซึ่งความละเอียดรายชั่วโมงของคลื่นไม่ละเอียดทำให้นำไปวิเคราะห์ได้ยากแล ะข้อมูลมีความละเอียดต่ำ ดังนั้นจึงจะต้องใช้ข้อมูลคลื่น ที่แสดงเป็นราย 3 ชั่วโมง ซึ่งได้รับจากกรมอุตุนิยมวิทยาทางทะเล [12] เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ โดยข้อมูลที่ได้รับมาจะเป็นข้อมูลคลื่นราย 3 ชั่วโมงของ พื้นที่สงขลา โดยข้อมูลดังกล่าวจะแสดงถึงข้อมูลคลื่นต่างๆ โดยแสดงดังรูปที่ 4-5

1	ละติจูด : 7.25 N	ลองติจูด: 101.1667 E	Depth : 35 m
2	Date:Time	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (เมตร)	คาบคลื่น (วินาที)
3	2011-01-01:00	1.1	6.3
4	2011-01-01:03	1.2	6.3
5	2011-01-01:06	1.2	6.93
6	2011-01-01:09	1.3	6.93
7	2011-01-01:12	1.2	6.93
8	2011-01-01:15	1.2	6.93
9	2011-01-01:18	1.2	6.93
10	2011-01-01:21	1.2	6.93
11	2011-01-02:00	1	6.3
12	2011-01-02:03	1	6.3
13	2011-01-02:06	1	6.3
14	2011-01-02:09	1	6.3
15	2011-01-02:12	1	6.3
16	2011-01-02:15	1	6.3
17	2011-01-02:18	1	6.3
18	2011-01-02:21	1	6.3
19	2011-01-03:00	1.2	6.3
20	2011-01-03:03	1.2	6.3
21	2011-01-03:06	1.2	6.3

รูปที่ 4-5 รายละเอียดข้อมูลคลื่น

จากรูปที่ 4-5 แสดงถึงรายละเอียดของข้อมูลคลื่นที่ได้รับจากกรมอุตุนิยมวิทยาทะเล โดยมีรายละเอียดของความเร็วลม ทิศทางของลม ความสูงคลื่นนัยสำคัญ คาบคลื่น และความสูงคลื่น โดยในงานวิจัย “Electricity generation from wave power in Canada” อธิบายว่า ช่วงความละเอียด ของข้อมูลคลื่นที่เหมาะสมในการวิเคราะห์นั้นควรจะต้องเป็นข้อมูลคลื่นราย 3 ชั่วโมง ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้และครอบคลุมสำหรับการวิเคราะห์ โดยข้อมูลคลื่นนั้นจะมีการเก็บข้อมูลแตกต่างกันออกไป เช่น รายชั่วโมง ราย 3 ชั่วโมง ราย 6 ชั่วโมง และราย 24 ชั่วโมง เป็นต้น ส่วนพารามิเตอร์ที่สำคัญของข้อมูลคลื่นที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (Hs) และคาบคลื่น (Tp) จากนั้นจะต้องทำการสร้างตารางสภาวะคลื่นทะเลที่เกิดขึ้น โดยแสดงในภาคผนวก ข. จะทำการสร้างตารางสภาวะของการเกิดคลื่นที่มีความถี่เป็นชั่วโมง โดยจะต้องสมมตฐานงานวิจัยว่า ระดับความถี่คลื่นราย 3 ชั่วโมงนั้น ในแต่ละชั่วโมงจะเกิดคลื่นใน สภาวะเดียว กันทั้งหมด

4.2 การเลือกอุปกรณ์แปลงพลังงานไฟฟ้าจากมหาสมุทร

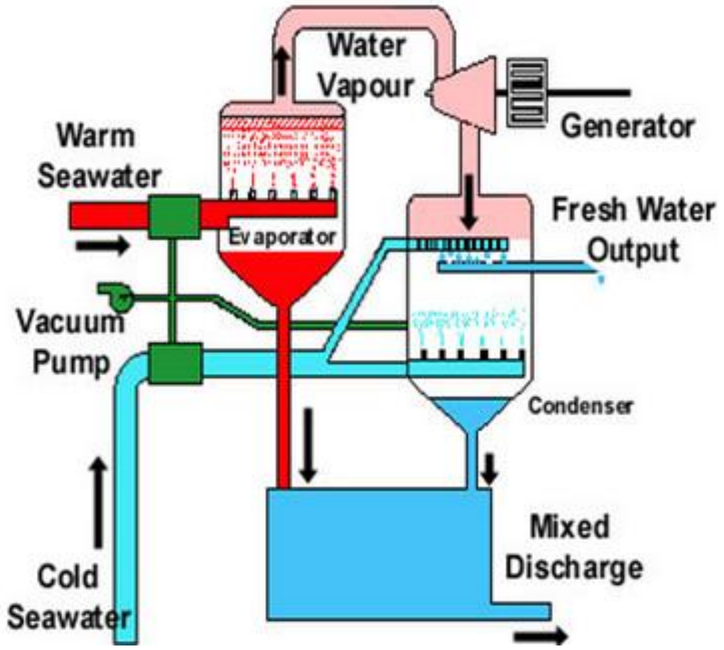
การเลือกอุปกรณ์แปลงพลังงานจากมหาสมุทรในปัจจุบันจะมีอยู่ 4 เทคโนโลยี ได้แก่ เทคโนโลยีของการแปลงพลังงานความร้อนจากทะเล พลังงานลมนอกชายฝั่ง พลังงานจากขึ้นลงของระดับทะเล และพลังงานจากคลื่นทะเล โดยแต่ละเทคโนโลยีจะมีรูปแบบในการผลิตไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมของพื้นที่ โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้ [6]

4.2.1 การแปลงพลังงานความร้อนจากทะเล

หลักการแปลงพลังงานความร้อนจากทะเล เป็นการใช้พลังงานจากทะเลโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำอุ่นของพื้นผิวน้ำทะเล และอุณหภูมิน้ำเย็นของพื้นที่ก้นทะเลระดึกลงไปประมาณ 1,000 เมตร โดยมีค่าอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ตลอดปี นำมาขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถนำน้ำทะเลจากระดับน้ำลึกที่อุดมไปด้วยสารอาหารของสิ่งมีชีวิต มาเลี้ยงพืชและสัตว์ในบริเวณชายฝั่งได้

อุปกรณ์ที่สำคัญของโรงไฟฟ้าที่ใช้หลักการ OTEC มีอยู่ 3 ส่วน คือ อุปกรณ์ (working fluid) จากของเหลวให้กลายเป็นไอ ชุดควบแน่น (Condenser) และกังหัน (Turbine) โดยเทคโนโลยี OTEC ได้แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบวัฏจักรเปิด (Open Cycle System)

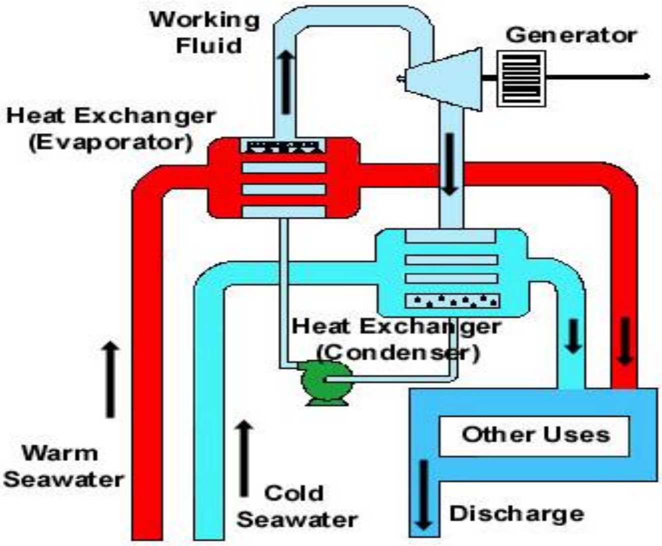
Georges Claude ชาวฝรั่งเศส ได้เริ่มสร้างระบบครั้งแรกบนอ่าว Mantanzas ในประเทศคิวบา โดยใช้น้ำอุ่นของกระแสน้ำจากอ่าว เพื่อเป็นแหล่งความร้อน และใช้น้ำเย็นที่ระดับความลึก 100 ถึง 200 เมตรบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงนั้น เป็นแหล่งที่รับความร้อนโดยใช้ท่อขนาด 2 เมตร ยาว 2 กิโลเมตร นำน้ำเข้ามา อุณหภูมิน้ำอุ่นจะอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำเย็นประมาณ 11 องศาเซลเซียส ความยากของระบบชนิดนี้อยู่ที่การก่อสร้างระบบท่อ บางคนอาจเรียกว่า ระบบวัฏจักรเปิดนี้ว่า Claude Cycle ดังรูปที่ 4-6



รูปที่ 4-6 Open Cycle System [35]

ระบบวัฏจักรปิด (Close Cycle energy)

D' Arsonval เป็นผู้ริเริ่มแนวคิดการนำความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำทะเลมาใช้ประโยชน์ในลักษณะของระบบวัฏจักรปิดเมื่อร้อยกว่าปีมาแล้ว เมื่อประมาณ 30 ปีที่แล้ว Anderson ได้ออกแบบสร้างระบบซึ่งเรียกว่า Anderson Cycle โดยระบบวัฏจักรปิด มีสสารทำง านอาจเป็นแอมโมเนีย โพรเพน หรือฟรีออน ซึ่งเป็นสารที่มีความดันที่อุณหภูมิทำงานของ boiler และ condenser สูงกว่าน้ำมาก โดยใน boiler มีความดันประมาณ 10 บาร์และมี Specific Volume ต่ำกว่ามาก ซึ่งทำให้ขนาดของกังหันมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับวัฏจักรเปิดระบบวัฏจักรปิ ดนี้ไม่มี evaporator แต่ต้องใช้ heat exchanger ขนาดใหญ่ที่ boiler และ condenser เพื่อรักษาให้ความแตกต่างของอุณหภูมิใน boiler และ condenser ต่ำที่สุด ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิแตกต่างเมื่อสสารทำงานขยายตัวผ่านกังหันไอน้ำมีค่าสูงที่สุด เพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพในกา รผลิตไฟฟ้าที่สูงที่สุด โดยในระบบวัฏจักรปิดนี้ ใช้โพรเพนเป็นสสารในการทำงาน อุณหภูมิของผิวที่อุ่นและน้ำเย็นในทะเลลึกแตกต่างกันประมาณ 20 องศาเซลเซียส โพรเพนถูกทำให้เป็นไอใน boiler ที่ความดัน 10 บาร์ แล้วจึงนำไอของสสารไปหมุนกังหันเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าไอของโพร เพนเมื่อผ่านออกจากกังหันจะมีความดันต่ำ จากนั้นจะผ่านเข้าสู่ condenser แล้วเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวที่ความดัน 5 บาร์ และถูกปั๊มเพื่อเพิ่มความดันเป็น 10 บาร์ นำกลับไปรับความร้อนใน boiler ซ้ำเป็นวงจรต่อเนื่องต่อไป ดังรูปที่ 4-7



รูปที่ 4-7 Close Cycle System [36]

ประโยชน์จากการแปลงพลังงานความร้อนจากทะเล

- สามารถผลิตไฟฟ้าที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการไฟฟ้าในช่วงปกติ
- ผลิตไฮโดรเจน แอมโมเนีย และเมธานอล
- สามารถผลิตน้ำจืดเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม
- เป็นแหล่งอาหารของสิ่งมีชีวิตในทะเลลึก
- เป็นการผลิตไฟฟ้าที่สะอาดและราคาไม่แพงสำหรับอนาคต
- ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ข้อเสียของการแปลงพลังงานความร้อนจากทะเล

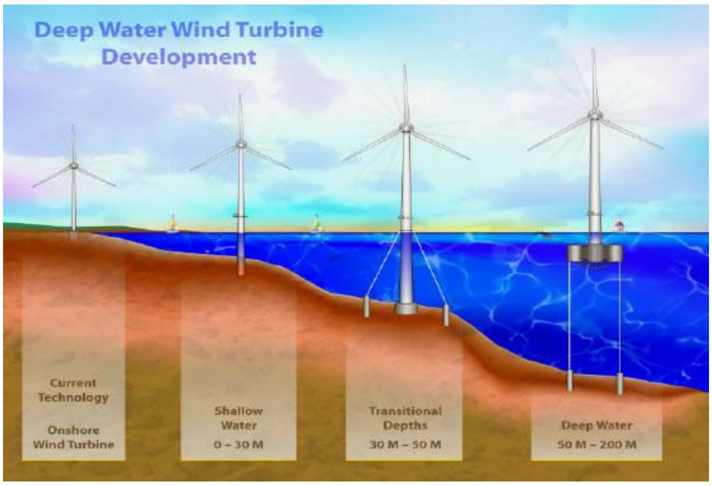
- โรงไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง
- บริเวณที่มีศักยภาพอยู่ในบริเวณน้ำลึก ทำให้เกิดปัญหาความเป็นเจ้าของตามกฎหมายระหว่างประเทศ
- เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักจากการสึกหรอของ Heat exchanger เช่น ทองแดง อลูมิเนียม เป็นต้น

4.2.2 พลังงานลมนอกชายฝั่ง (Offshore wind)

พลังงานลมนอกชายฝั่ง เป็นพลังงานลมรูปแบบหนึ่งซึ่งได้รับอิทธิพลทางอ้อมมาจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีการประมาณไว้ว่า 1-2 % จากการแผ่รังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้โลกมีการแปลงพลังงานดังกล่าวให้กลายเป็นพลังงานลม โดยทั่วไป พลังงานลมนอกชายฝั่งเป็นการผลิตพลังง านไฟฟ้าในรูปแบบที่คล้ายกับการผลิตกังหันลมที่ติดตั้งอยู่บนฝั่ง แต่ว่าพื้นที่นอกชายฝั่งจะมีแรงลมที่ดี มีความเร็วสม่ำเสมอ และไม่มีสิ่งกีดขวางทางลม ซึ่งกังหันลมนอกชายฝั่ง จะมีหลักการทำงาน คือ ตัวกังหันลมจะได้รับพลังงานลมที่เคลื่อนที่และเปลี่ยนพลังงานดังกล่าวให้เป็นพลังงานกล โดยใช้กำลังแรงหมุนใบพัด และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือเครื่องปั่นไฟ ซึ่งจะถูกติดตั้งไว้บนเสาสูงประมาณ 30-60 เมตร เพื่อให้ได้รับกำลังลมที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งแสดงดังรูป 4-8 ในปัจจุบันประเทศที่มีโครงการลงทุนด้านพลังงานลมที่สำคัญได้แก่ สหรัฐอเมริกา เยอรมนี สเปน จีน อินเดีย และเดนมาร์ก

ข้อดีของพลังงานลม

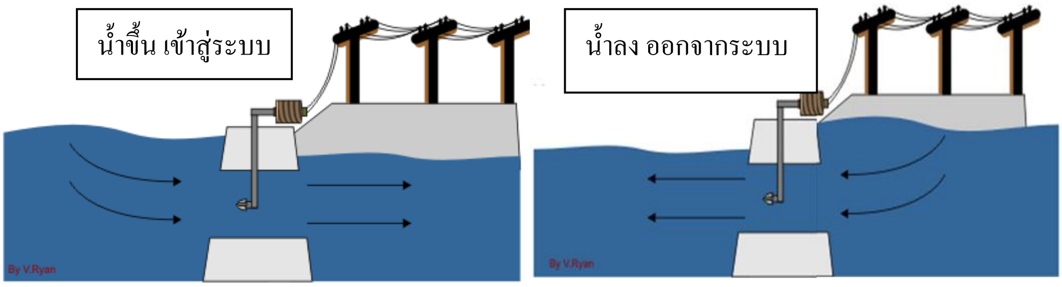
- เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยลดระดับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์ที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน นี่เป็นประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดของการผลิตพลังงานลม นอกจากนี้พลังงานลมยังปราศจากสารก่อมลพิษอื่นๆ ที่เกิดจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและโรงไฟฟ้านิวเคลียร์อีกด้วย
- พลังงานลมนอกชายฝั่ง สามารถดำเนินงานได้รวดเร็ว โดยที่ฟาร์มกังหันลมสร้างเสร็จสิ้นภายในไม่กี่สัปดาห์ โดยการใช้รถเครนติดตั้งหอคอยของกังหันลม



รูปที่ 4-8 Offshore wind [37]

4.2.3 พลังงานจากการขึ้นและลง ของระดับน้ำทะเล (Tidal energy)

พลังงานจากขึ้นและลงของระดับน้ำทะเล เป็นการเกิดปรากฏการณ์ของน้ำขึ้นน้ำลง ที่มีสาเหตุมาจากดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ ที่ส่งผลต่อระดับน้ำในทะเล ทำให้ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงของของพลังงานศักย์ของน้ำเกิดขึ้น หลั   กการทำงานของพลังงานน้ำขึ้น- น้ำลง จะอาศัยหลักการพื้นฐานของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ ในลักษณะเดียวกันกับเขื่อนพลังน้ำ ซึ่งมีการกักน้ำบนพื้นที่สูงๆ และมีปริมาณน้ำมากๆ แต่ว่าพลังงานจากการขึ้นและลงของระดับน้ำทะเล จะต้องอาศัยการต่างระดับของน้ำขึ้น-น้ำลง ในแต่ ละวันเพื่อเพิ่มศักยภาพของกำลังการผลิตไฟฟ้า โดยจะสร้างเขื่อนที่บริเวณปากแม่น้ำ หรือปากอ่าวที่มีพื้นที่เก็บน้ำได้มากและความต่างของระดับน้ำขึ้น-น้ำลง โดยเมื่อน้ำขึ้นน้ำจะไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ โดยเมื่อน้ำลง น้ำจะไหลออกจากอ่างเก็บน้ำ การไหลเข้าและออกจากอ่างเก็บน้ำสามารถนำไปหมุนกังหันน้ำฉุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังรูปที่ 4-10 โดยในปี พ.ศ.2513 ประเทศฝรั่งเศสได้ประสบความสำเร็จในการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่มีการใช้พลังงานกระแส น้ำขึ้น- น้ำลงโดยมีอ่างเก็บน้ำ เครื่องกังหัน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดตั้งอยู่กับเขื่อนขนาดใหญ่ เมื่อน้ำขึ้น น้ำจากมหาสมุทรก็จะไหลเข้าไปในอ่างเก็บน้ำจนเต็ม เมื่อกระแสน้ำขึ้นถึงระดับสูงสุดประตูระบายน้ำจะถูกปิด เพื่อเก็บกักน้ำเอาไว้และจะไม่มีการระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำจนกว่าจะหมดสภาวะน้ำขึ้นเสียก่อน เมื่อระดับน้ำในมหาสมุทรลดลง   ประตูระบายน้ำของอ่างเก็บน้ำจะถูกเปิด น้ำจะไหลจากพื้นที่สูงลงไปสู่ที่ต่ำ ทำให้เกิดพลังน้ำเหมือนกับพลังน้ำจากน้ำตกต่างระดับหลายชั้น กระแสน้ำที่ไหลในแนวดิ่งออกไปจะทำหน้าที่ในการหมุนเครื่องกังหันจากนั้น เครื่องกังหันก็จะไปเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งก็จะผลิตกระแส   สไฟฟ้าออกมา

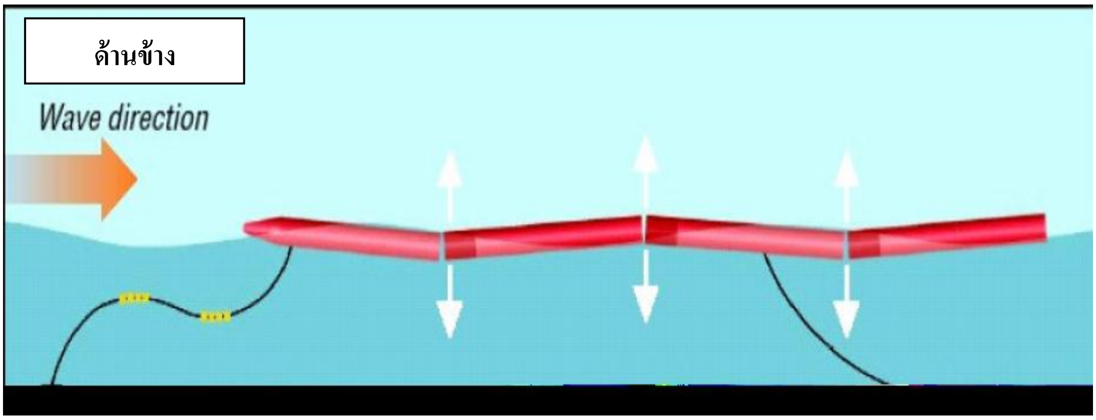


รูปที่ 4-9 พลังงานจากการขึ้นและลง ของระดับน้ำทะเล [38]

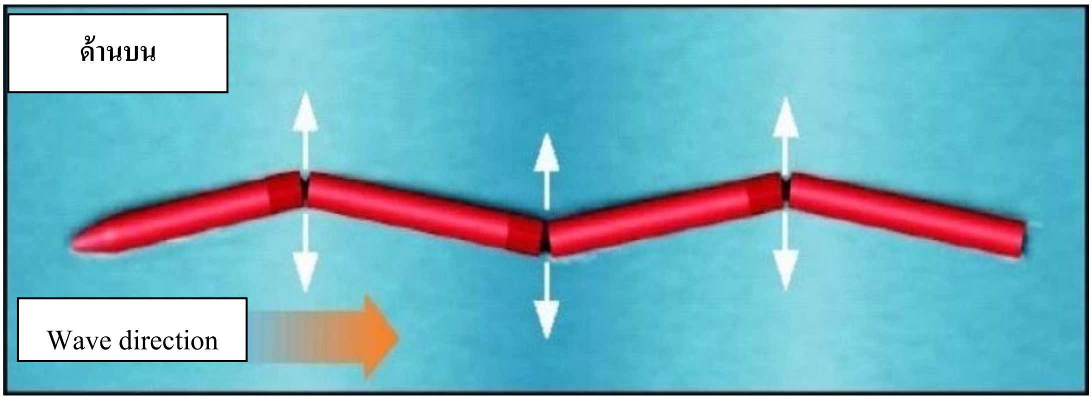
4.2.4 พลังงานจากคลื่นทะเล (Wave energy)

การแปลงพลังงานจากคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ใช้หลักการแปลงพลังงานจลน์ของคลื่นทะเลเพื่อผลิตพลังงาน สำหรับเทคโนโลยีการแปลงพลังงานจากคลื่นทะเลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

สามารถแยกออกได้หลายประเภทตามลักษณะการกระจายตัวของการรับคลื่นทะเล และลักษณะการรับพลังงานและการแปลงพลังงานคลื่นทะเล สำหรับในต่างประเทศได้มีการศึกษาและมีการใช้พลังงานจากคลื่นตั้งแต่ปี พ .ศ. 2513 โดยประเทศที่ริเริ่มการนำพลังงานจากคลื่นมาใช้ได้แก่ประเทศอังกฤษ ในการนำพลังงานจากคลื่นมาใช้มีอยู่ 2 ประเภทได้แก่ แบบอยู่กับที่และแบบลอย (Fixed and Floating) โดยแบบทุ่นลอยนั้นส่วนใหญ่จะใช้ในบริเวณน้ำลึก ส่วนแบบลักษณะทุ่นยึดจะใช้บริเวณน้ำตื้น ในปัจจุบัน รัฐบาลโปรตุเกสได้ร่วมมือกับบริษัทผู้พัฒนาเทคโนโลยีทางด้านพลังงาน ได้เปิดตัวสถานีผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นทะเล ในรูปแบบเชิงพาณิชย์เป็นแห่งแรกของโลก โดยประเทศโปรตุเกสหวังจ ะเป็นหนึ่งในผู้นำในด้านพลังงานทดแทนของโลกในอนาคต โดยสถานีดังกล่าวได้เปิดตัวอย่างเป็นทางการ ในวันที่ 23 กันยายน 2551 โดยความร่วมมือกับหลายบริษัท ได้แก่ บริษัท Energias de Portugal บริษัท EFACEC บริษัท Enersis และบริษัท Pelamis Wave Power (บริษัท วิศวกรรมของส ก็อตแลนด์ ผู้พัฒนาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นทะเล) โดยอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นดังกล่าวมีชื่อว่า พิลามิส (Pelamis) โดยมีรูปทรงเป็นทรงกระบอกขนาดใหญ่สีแดง มีลักษณะคล้ายกับงู เป็นอุปกรณ์แบบทุ่นลอยที่ได้รับการพัฒนาให้มีการเคลื่อนที่อย่างอิสระ โดยบริษัท Ocean Power Delivery ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะมีลักษณะคล้ายกับงู ที่เคลื่อนที่อยู่บนผิวน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยท่อ 4 ส่วน ต่อกันด้วยบานพับ 3 อัน ความยาวทั้งหมดของอุปกรณ์จะยาวทั้งหมด 120 เมตร และท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 4.63 เมตร ได้มีการติดตั้งอยู่บริเวณกลางมหาสมุทรซึ่งห่างจากชายฝั่งทะเมือง Agucadoura ที่อยู่ตอนเหนือของประเทศโปรตุเกส ห่างจากชายฝั่งประมาณ 3 ไมล์ แสดงดังรูปที่ 4-11 และรูปที่ 4-12



รูปที่ 4-10 ด้านข้างของอุปกรณ์ Pelamis [14]

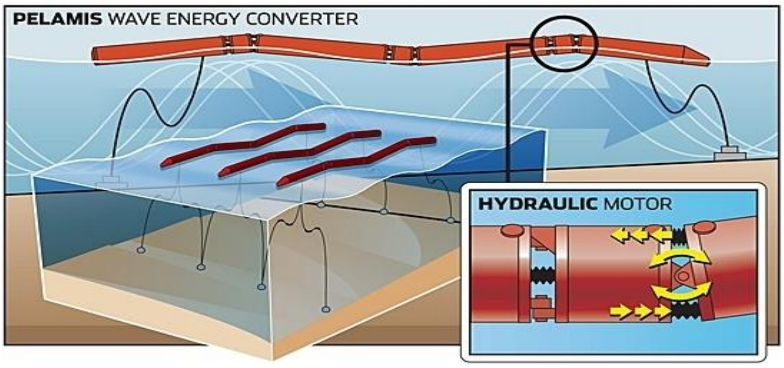


รูปที่ 4-11 ด้านบนของ อุปกรณ์ พิลามิส [14]

ลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์

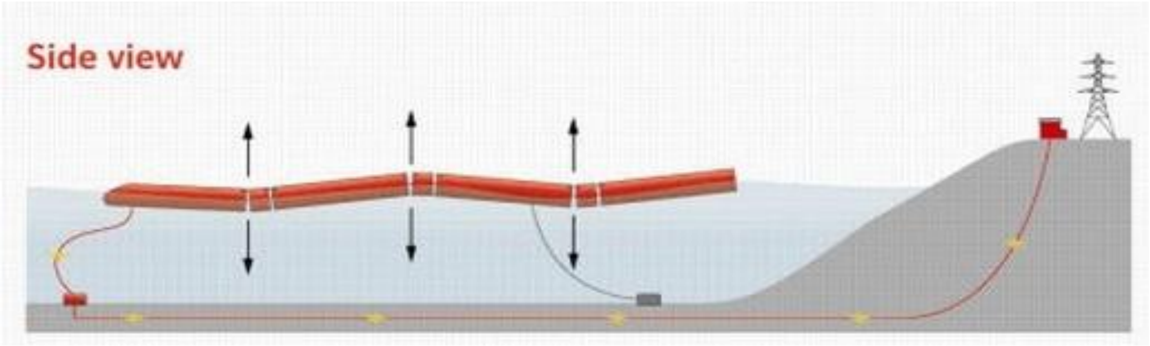
ความยาวของอุปกรณ์	: 120 m
เส้นผ่านศูนย์กลางอุปกรณ์	: 4.63 m
น้ำหนักโครงสร้างเหล็ก	: 380 tons
อัตราการผลิตพลังงาน	: 750 kW (ขึ้นอยู่กับสภาวะของคลื่น)
ความลึกของทะเล	: > 35 m

อุปกรณ์ พิลามิส (Pelamis) ถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน โดยแต่ละส่วนจะถูกยึดติดกันด้วยข้อต่อซึ่งเป็นระบบไฮโดรลิค ที่เป็นก้านกระทุ้งเชื่อมต่อกับลูกสูบในตัวอุปกรณ์แต่ละส่วน เมื่อคลื่นทะเลไหลผ่านตัวเครื่อง อุปกรณ์พิลามิสจะเกิดการเคลื่อนไหว ทั้ง 4 ส่วนตามแรงของคลื่น และทำให้ข้อต่อไฮโดรลิคดันก้านกระทุ้งให้เกิดการเคลื่อนไหวขึ้นลง ในลูกสูบ และส่งพลังงานผ่านไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังรูปที่ 4-13



รูปที่ 4-12พลังงานถูกส่งไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [39]

จากนั้นพลังงานที่ถูกผลิตได้ จะถูกส่งผ่านสายเคเบิ้ลใต้น้ำ ส่งไปยังสถานีย่อยที่เมือง Agucadoura ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงพลังงานที่ได้ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า แล้วส่งต่อไปยังเครือข่ายสายไฟฟ้าต่อไป เพื่อใช้ในครัวเรือน ดังรูปที่ 4-13



รูปที่ 4-13 การแปลงพลังงานจากคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า [40]

จากทั้ง 4 เทคโนโลยีดังกล่าวข้างต้น สำหรับฝั่งอ่าวไทยนั้น เหมาะสมที่จะใช้เทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นมากที่สุด เนื่องจากฝั่งอ่าวไทยมีศักยภาพของทรัพยากรคลื่นเหมาะสมต่อการผลิตไฟฟ้า เมื่ออยู่ในพื้นที่นอกชายฝั่ง (Offshore) โดยจะทำให้ความสูงของคลื่นนัยสำคั ญ และคาบคลื่นมีระดับที่สูงเพียงพอที่จะนำไปผลิตไฟฟ้าได้ ส่วน 3 เทคโนโลยีดังกล่าวยังไม่มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในพื้นที่อ่าวไทย โดยมีข้อจำกัดดังนี้ [3]

- เทคโนโลยี ของแปลงพลังงานความร้อนจากทะเล จะต้องใช้พื้นที่ที่มีระดับความลึกถึง 1,000 เมตรขึ้นไป เพื่อจะสร้ างจะติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว แต่ว่าพื้นที่ฝั่งอ่าวไทยจะมีความลึกอยู่ในช่วงแค่ 0-100 เมตรเท่านั้น
- พลังงานลมนอกชายฝั่ง เทคโนโลยีนี้จะต้องติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่อยู่กลางทะเล ซึ่งกังหันลมที่ติดตั้งพื้นที่นอกชายฝั่งนั้นจะไม่สามารถทนต่อแรงของคลื่นในสภาวะที่เกิดพา ยุได้ ทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ดังกล่าว โดยในปัจจุบันยังไม่มีการอุปกรณ์ของพลังงานลมชายฝั่งที่เป็นอุปกรณ์เชิงพาณิชย์ มีแต่ตัวต้นแบบที่ใช้ในการทดลองเท่านั้น
- พลังงานขึ้นลงของระดับน้ำทะเล พื้นที่บริเวณปากแม่น้ำจะต้องมีลักษณะเป็นแนวภูเขาเพื่อที่จะสร้างเขื่อนเพื่อเก็บกักน้ำทะเลขาขึ้นได้ แต่สำหรับอ่าวไทยแล้วเป็นพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำจะเป็นพื้นที่แนวราบจึงทำให้ไม่สามารถที่จะเก็บกักน้ำทะเลขาขึ้นไว้ได้

ในงานวิจัยนี้ได้ จะใช้เทคโนโลยีของ อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น โดยในปัจจุบัน อุปกรณ์แปลงพลังงานมีอยู่หลากหลายรูปแบบ และหลากหลายชนิด ซึ่งในประเทศแถบยุโรปและอเมริกาเหนือนับเป็นประเทศแรกๆในโลกที่ได้มีการพัฒนาพลังงานคลื่นมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากมีที่ตั้งที่เหมาะสม กล่าวคือมีแหล่งทรัพยากรคลื่นที่มีความสูงเพียงพอที่จะนำมาใช้ ประโยชน์ได้ โดยประเทศต่างๆทางแถบยุโรป เช่น ประเทศฟินแลนด์ ประเทศอังกฤษ แคนาดา นอร์เวย์ ไอร์แลนด์ ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา เดนมาร์ก เป็นต้น ได้มีการคิดค้นและพัฒนาสร้างอุปกรณ์คลื่นในรูปแบบต่างๆ เพื่อจะนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้า โดยมีการลงทุนจากทั้งทางเอกชนและมีภาครัฐให้การสนับสนุน โดยแสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ประเทศผู้นำในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทะเล [40]

Country	Company	Device	Prototype rating	Phase	Test rating
Ireland	Ocean Energy	OE Buoy	2 MW	3	15 kW
Ireland	Wavebob	Wavebob	2MW	3	15 kW
UK	Pelamis Wave Power	Pelamis	750 kW	4-5	750 kW
UK	Aquamarine Power	Oyster	500 kW	3-4	500 kW
	AWS Ocean Energy	Wave Swing	2 MW	3	250 kW
Canada	Finavera	AquaBuoy	250 kW	3	25 kW
Norway	Freds Olsen	FOBOX3	2.5 MW	3	50 kW
Australia	Oceanlinx	Oceanlinx	2 MW	3	45 kW
USA	OPT	PowerBuoy	150 kW	3	40 kW
Denmark	Wave Dragon	Wave Dragon	7 MW	3	20 kW
Denmark	WavePlane	WavePlane	500 kW	3-4	250 kW
Denmark	Wavestar	Wavestar	5 MW	3	5.5 kW

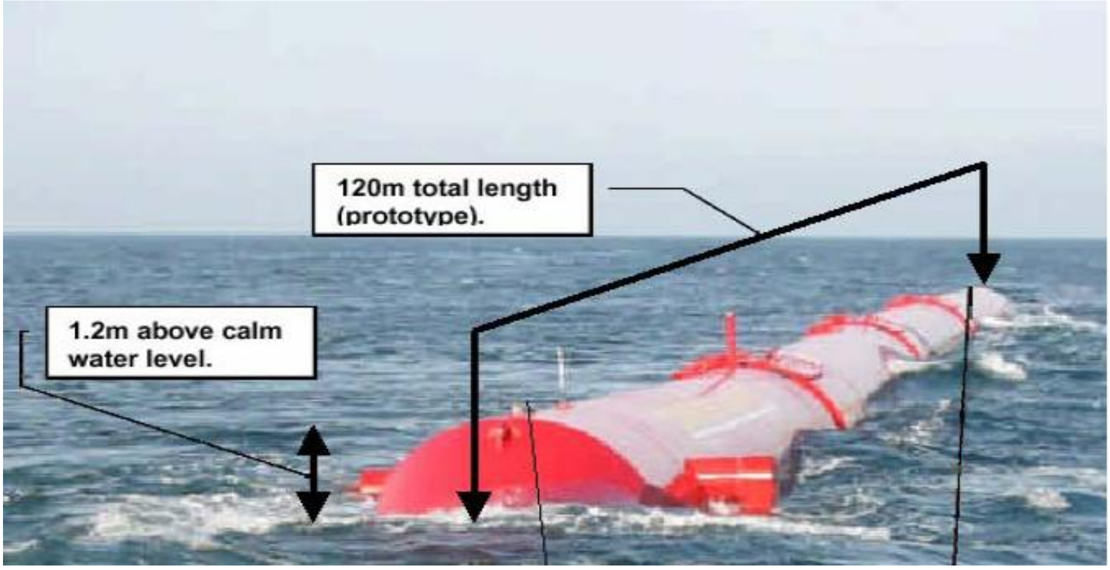
จากตารางที่ 4-2 แสดงถึงประเทศต่างๆที่เป็นผู้นำทางด้านเทคโนโลยีในการผลิตไฟฟ้าจากคลื่นมหาสมุทร โดยมีการก่อตั้งเป็นบริษัทในประเทศ และ แสดงถึงเทคโนโลยีที่มีการทดสอบในระยะต่างๆในปัจจุบัน โดยระยะเวลาของเฟสจะแบ่งออกเป็น 5 ระยะ ดังนี้ [40]

- ระยะที่ 1 เป็นระยะของการออกแบบ อุปกรณ์ตามแบบจำลอง โดยจะต้องคำนึงถึงหลัก 3 ประการได้แก่ แนวความคิด (Concept) ประสิทธิภาพการดำเนินการ (Performance) และการทำให้เกิดความเหมาะสมที่สุด (Optimization) ของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อหาแนวทางที่จะดึงประโยชน์จากคลื่นทะเลมาใช้ประโยชน์ให้เหมาะสมกับการออกแบบมากที่สุด
- ระยะที่ 2 เป็นระยะของการออกแบบของรูปแบบพลังงานที่จะนำไปใช้แปลงพลังงานคลื่น หรือเป็นการออกแบบระบบต่างๆของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น ระบบการผลิตไฟฟ้า ระบบยึดติดกับท้องทะเล เป็นต้น
- ระยะที่ 3 การทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ โดยในระยะนี้จะเป็นการทดสอบอุปกรณ์แปลงพลังงานจากคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าทั้งในห้องปฏิบัติการและในสภาวะทะเลจริง เพื่อทดสอบการทำงานของระบบที่ได้รับการออกแบบ เช่น ระบบยึดของอุปกรณ์ให้อยู่กับที่และระบบรักษาความปลอดภัย ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ และการควบคุมของอุปกรณ์เป็นต้น
- ระยะที่ 4 เป็นระยะที่ทดสอบก่อนจะออกมาในรูปแบบเชิงพาณิชย์ (Pre-commercial) เพื่อทดสอบคุณภาพของไฟฟ้าที่ผลิตได้ ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้า กลยุทธ์ในการ ควบคุมและการอยู่รอดในสภาวะต่างๆ ก่อนที่จะเข้าสู่รูปแบบเชิงพาณิชย์
- ระยะที่ 5 เป็นระยะที่เป็นเชิงพาณิชย์ จะมีการติดตั้งเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ระบบบำรุงรักษา ตารางการให้บริการ และวิเคราะห์การลงทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งระยะดังกล่าวจะเป็นระยะของอุปกรณ์ที่มีความสม บูรณ์ที่สุดที่พร้อมใช้งานในรูปแบบเชิงพาณิชย์อย่างเต็มที่ เพื่อผลิตไฟฟ้าจากคลื่นทะเล

จากตารางที่ 4-2 แสดงถึงระยะเวลาที่อุปกรณ์ต่างๆกำลังอยู่ในช่วงที่ต่างๆกัน โดยส่วนใหญ่อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวจะอยู่ในช่วงระยะเวลาที่ 3 ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ทำการทดสอบต้นแบบตัวอย่าง ส่วนอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นที่อยู่ในระยะที่ 5 หรือระยะที่อยู่ในรูปแบบเชิงพาณิชย์จะมีเพียงอุปกรณ์เพียงตัวเดียวก็คือ อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นพิลามิส ที่มีการใช้ในงานวิจัยอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เนื่องจากอุปกรณ์ดัง กล่าวได้มีการเผยแพร่และมีตารางประสิทธิภาพที่มีความน่าเชื่อถือ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวได้มีการพัฒนา ตั้งแต่ใน

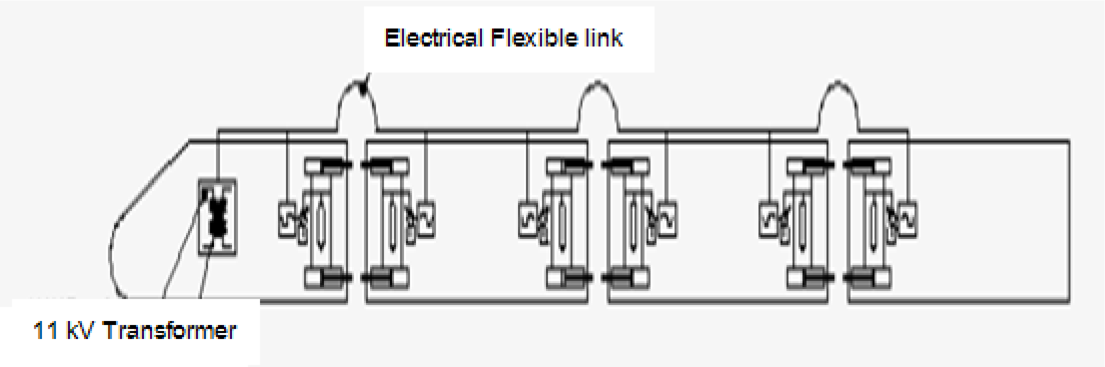
ปี ค.ศ. 2541 โดยมีฐานการพัฒนาอยู่ที่ University of Edinburgh โดยข้อมูลทางด้านเทคนิคของอุปกรณ์อธิบายได้ดังนี้ [41]

- อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นพิลามิส ถูกออกแบบและผลิตโดยบริษัท Ocean Power Delivery (OPD) โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเหล็กรูปทรงกระบอกประกอบกันด้วย 4 ส่วน ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อ 3 ตัวซึ่งทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบของไฮดรอลิค โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวจะมีความยาวของอุปกรณ์ 120 เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 เมตร ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวได้ผ่านการทดสอบแล้วที่บริเวณชายฝั่งของประเทศสก๊อตแลนด์ โดยแสดงดังรูปที่ 4-14



รูปที่ 4-14 อุปกรณ์พิลามิส ถูกทดสอบในสภาวะคลื่นทะเลจริง [41]

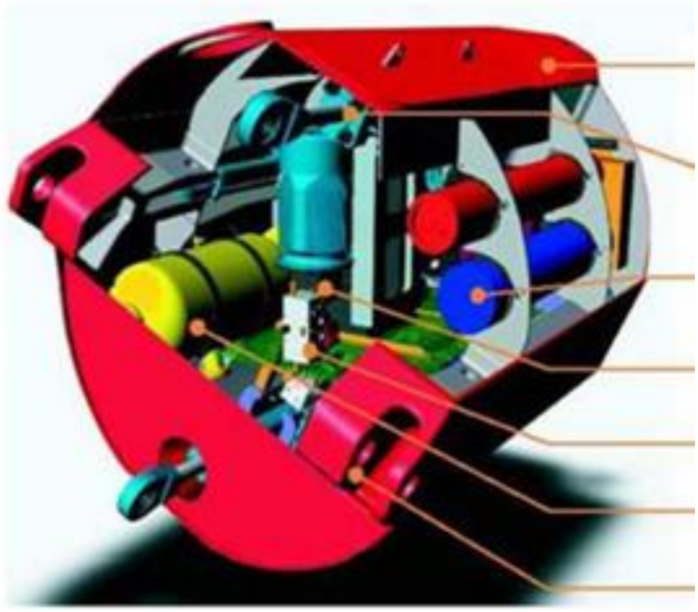
จากรูปที่ 4-14 แสดงถึงรูปร่างของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลั งงานคลื่นพิลามิสที่มีลักษณะเป็นรูปร่างเป็นท่อทรงกระบอก ซึ่งกำลังได้รับการทดสอบในสภาวะคลื่นทะเลจริง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า และเป็นการทดสอบการผลิตไฟฟ้าในสภาวะที่เกิดขึ้นจริงบนท้องทะเล โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นเหมือนกับรถไฟโดยแสดงดังรูปที่ 4-15



รูปที่ 4-15 อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นพิลามิส [41]

จากรูปที่ 4-15 แสดงถึงลักษณะของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นพิลามิสที่มีลักษณะคล้ายกับรถไฟ โดยจะมีท่อเหล็กทรงกระบอก 4 ส่วน และประกอบด้วย ตัวแปลงพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีลักษณะเป็นเหมือนกับข้อต่ออีก 3 ส่วน ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญของอุปกรณ์คือการทำหน้าที่แปลงจากพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบไฮโดร ลิคและเป็นตัวยึดให้กับ ท่อเหล็กทั้ง 4 ส่วนให้เชื่อมต่อกัน

- ชุดแปลงพลังงานไฟฟ้า (The Power Conversion Module) จะมีอยู่ด้วยกัน 3 ตัว ในตำแหน่งที่เชื่อมต่อกับท่อเหล็กของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น จากรูปที่ 4-15 จะแสดงถึงตัวแปลงพลังงานไฟฟ้าทั้ง 3 ตัว (Power Conversion Modules, PCM’s) ซึ่งเชื่อมต่อกับท่อเหล็กทั้ง 4 ส่วน โดยที่ PCM ในแต่ละส่วนนั้นจะมีข้อต่อที่สามารถทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวแกว่งเคลื่อนไหวได้และสามารถลอยตัวได้อีกทางหนึ่งด้วย โดยในส่วนของตัวแปลงพลังงานไฟฟ้าจะแสดงส่วนประกอบภายในดังรูปที่ 4-16

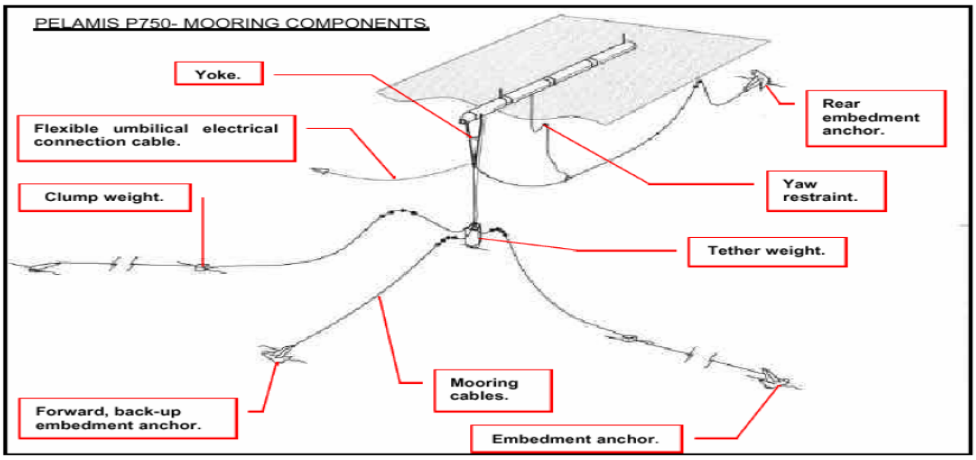


รูปที่ 4-16 ส่วนประกอบภายในตัวแปลงไฟฟ้าของอุปกรณ์พิลามิส [41]

จากรูปที่ 4-16 แสดงถึงส่วนประกอบภายในต่างๆที่อยู่ในชุดแปลงพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นพิลามิส ซึ่งเป็นข้อต่อที่เชื่อมกับท่อเหล็กทั้ง 4 ส่วนของอุปกรณ์ โดยตัวแปลงไฟฟ้าแต่ละตัวนั้นจะมีตัวทุ่นและอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการแกว่ง โดยส่วนประกอบดังกล่าวจะประกอบไปด้วย ระบบปั๊มไฮโดรลิคซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ โดยส่วนประกอบภายในส่วนอื่นๆจะมีน้ำหนักต่ำกว่า 3 ตัน การเคลื่อนไหวของอุปกรณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวมาชนกับอุปกรณ์จะทำให้อุปกรณ์เคลื่อนไหวเกิดแรงต้านโดยการตั้งระบบของปั๊มไฮโดรลิค โดยตัวปั๊มน้ำมันเข้าสู่หม้อแบตเตอร์รี่ไฟฟ้าด้วยความเรียบง่ายซึ่งอัตราที่คงที่ผ่านไฮโดรลิคมอเตอร์จากนั้นจะเคลื่อนที่เข้าสู่ตัวแปลงพลังงานไฟฟ้า หม้อแบตเตอร์รี่เก็บไฟฟ้านั้นจะมีขนาดที่เพียงพอสำหรับการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวให้เกิดความราบลื่นของปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้และต่ อเนื่อง โดยทั้งหมดของตัวแปลงพลังงานไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 70%ที่ระดับพลังงานต่ำไปจนถึง 80% ที่กำลังการผลิตที่จะสามารถทำได้มากที่สุด ตัวแปลงพลังงานไฟฟ้าแต่ละตัวนั้นจะถูกจัดให้เชื่อมต่อกันด้วยระบบพื้นฐานที่ 690 โวลต์ แบ่งเป็น 3 ระยะตามความยาวของอุ ปกรณ์ โดยการแปลงพลังงานแบบอุปกรณ์เดี่ยวนั้นจะถูกใช้การเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าไปจนถึงระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม สำหรับที่จะแปลงพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ชายฝั่ง ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้าแรงสูงนั้นจะถูกส่งไปยังใต้ท้องทะเลโดยสายเคเบิ้ลเดี่ยว จากนั้นจะถูกส่งขึ้นไ ปสู่ชายฝั่งโดยตรงแบบสายไฟใต้น้ำแบบธรรมดา

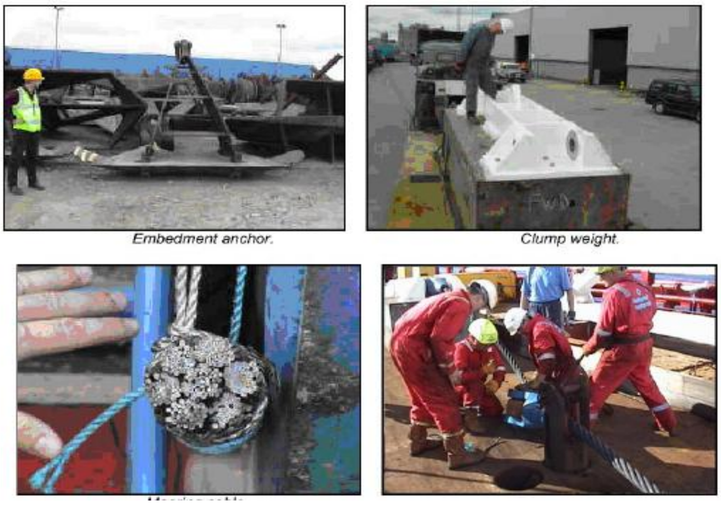
- ระบบ Mooring ของอุปกรณ์ของพิลามิสจะต้องถูกออกแบบเป็นพิเศษตามสภาพของพื้นที่ โดยระบบ Mooring จะถูกออกแบบโดยบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นพิลามิสนั้นจะถูกออกแบบโดยบริษัท Ocean Power Delivery (OPD) และดัดแปลงไปตามสภาวะของพื้นที่ต่างๆให้เหมาะสม โดยสภาวะของการอยู่รอดของอุปกรณ์ ระดับความลึก พื้นดินของใต้ท้องทะเล ความหนาแน่นและปัจจัยอื่นๆจะต้องนำมาใช้เพื่อพิจารณาในระยะของการออกแบบ

ระบบ Mooring ที่ส่วนใหญ่จะใช้ในงานวิจัย จะใช้ระบบ Mooring ของ Ocean Power Delivery ที่ใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบของพิลามิสถูกใช้ในการคิดในส่วนของต้นทุนในกรณีฐาน โดยรูปดังกล่าวเป็นการออกแบบสำหรับพื้นท้องทะเลมีลักษณะเป็นทราย แสดงดังรูปที่ 4-17 แต่สำหรับระบบ Mooring ที่มีการออกแบบสำหรับบริเวณพื้นท้องทะเลเป็นหินจะไม่ได้แสดงไว้ในที่นี้



รูปที่ 4-17 การจัดการระบบ Mooring ของอุปกรณ์พิลามิส [41]

จากรูปที่ 4-17 ระบบ Mooring ของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น พิลามิสเป็นแบบโซ่ ซึ่งใช้การผสมผสานระหว่าง ลวดเหล็ก โซ่ ตัวถ่วงน้ำหนัก และสมอฝัง และการออกแบบของระบบยึดของอุปกรณ์จะต้องออกแบบจากบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์โดยตรง โดยในแต่ละพื้นที่จะมีการออกแบบที่แตกต่างกันออกไปมีความเฉพาะของพื้นที่ เช่น พื้นท้องใต้ทะเลของพื้นที่มี ลักษณะเป็นอย่างไร เป็นหินหรือดิน ก็จะถูกออกแบบระบบดังกล่าวแตกต่างกันออกไปเช่นกัน โดยส่วนประกอบหลักของระบบ Mooring ได้แก่ ลวดเหล็ก โซ่ ตัวถ่วงน้ำ และสมอที่มีลักษณะคล้ายกับสมอเรือ แสดงดังรูปที่ 4-18



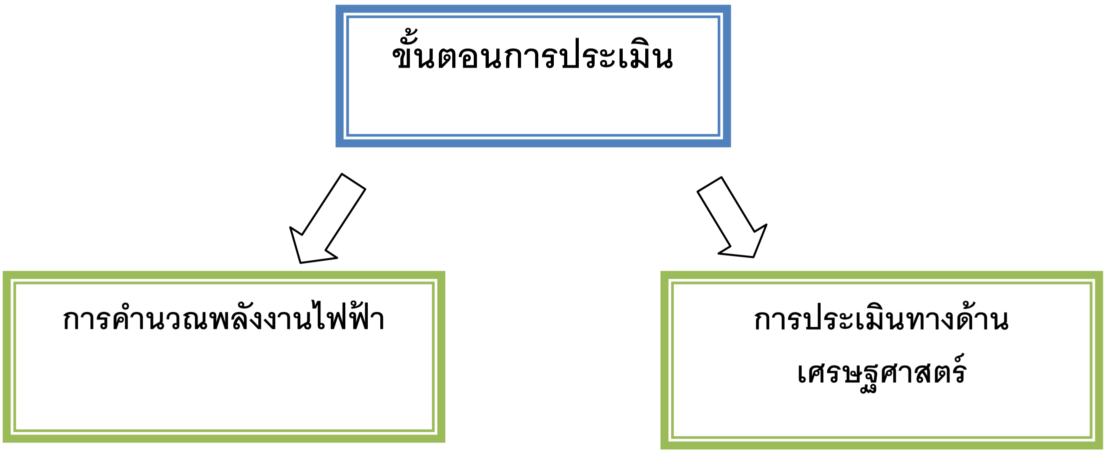
รูปที่ 4-18 ภาพประกอบของ Mooring[41]

- การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า และการสื่อสารของอุปกรณ์พิลามิสแต่ละเครื่องจะมีการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อทำให้เชื่อมต่อกับฟาร์มคลื่น อย่างเหมาะสม ตัวเลือกของระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นตัวที่ขับเคลื่อนตามความต้องการของกริดที่เชื่อมต่อโครงข่าย และการออกแบบโครงข่ายระบบไฟฟ้าฟาร์มคลื่น โดยสายเคเบิ้ลที่ยืดหยุ่นได้จะเชื่อมต่อกับกล่องแยกที่ติดตั้งอยู่กับพื้นของมหาสมุทร
- สายเคเบิ้ลบนชายฝั่งและการเชื่อมต่อกับกริด การส่งผ่านบนบกที่ใช้เพื่อส่งไฟฟ้าจากแนวชายฝั่งไปยังจุดที่เชื่อมต่อกับกริดที่เหมาะสม โดยที่การเชื่อม โยงเครือข่ายกริดจะขับเคลื่อนโดยความต้องการในการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ อย่างน้อยที่สุดจะต้องมีการติดตั้งวงจรไฟฟ้าเพื่อป้องกันโครงสร้างพื้นฐานของกริดเกิดการผิดพลาดของระบบ
- การติดตั้งระบบของอุปกรณ์พิลามิส การติดตั้งและการดำเนินการที่เกิดขึ้นนอกชายฝั่งนั้นจะต้องมีอุปกรณ์ที่พิเศษกว่าการดำเนินการบนชายฝั่งทั่วไป เช่น สมอเรือ เรือบรรทุกและรถเครนไว้ยกของหนัก เป็นต้น ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์ที่อยู่นอกชายฝั่งนั้นจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนของการลงทุนอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการติดตั้งระบบหลักที่เกิดขึ้นของฟาร์มคลื่นและการติดตั้งแบบโรงงานนำร่อง (Pilot Demonstration Plant) การจัดการในการติดตั้งระบบต่างๆนั้นจะต้องจัดทำบนพื้นฐานทางเทคนิคโดยบริษัทผู้ผลิตคือ บริษัท Ocean Power Delivery จะมีการติดตั้ง 4 แบบ คือ

- การติดตั้งสายเคเบิ้ลบนชายฝั่งและการเชื่อมต่อกับกริด (Install cable landing and grid interconnection)
- การติดตั้งสายเคเบิ้ลใต้น้ำ (Installation of sub-sea cables)
- การติดตั้งระบบ Mooring (Installation of Mooring System)
- การว่าจ้างและการใช้งานของอุปกรณ์พิลามิส (Commissioning and Deployment of Pelamis

4.3 ขั้นตอนการประเมิน [25]

ในการประเมินในงานวิจัยนี้จะแบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การคำนวณพลังงานไฟฟ้า และการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ ดังรูป



รูปที่ 4-19 ขั้นตอนการประเมิน

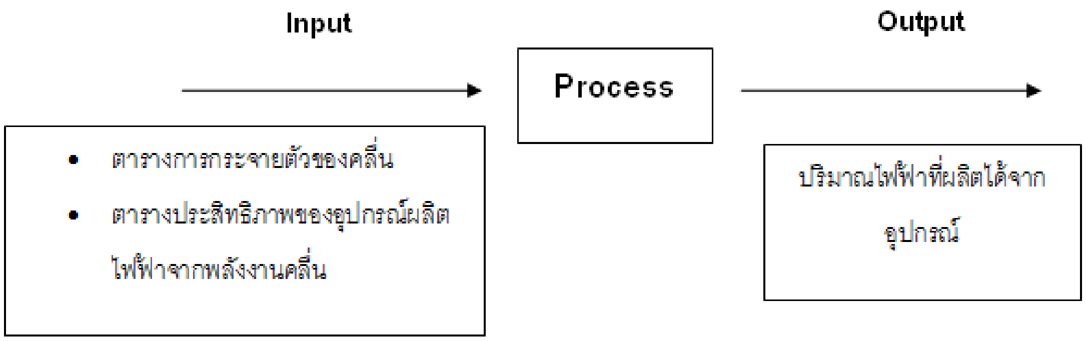
4.3.1 การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

จากการเลือกเทคโนโลยีของการผลิตไฟฟ้าโดยการใช้พลังงานจากคลื่นทะเล โดยงานวิจัยนี้จะนำเสนออุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าที่มีชื่อว่า Pelamis ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เป็นเชิงพาณิชย์ชิ้นแรก ที่สามารถแปลงพลังงานจากคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้จริงในต่างประเทศได้มีการทดลองและทดสอบในห้องทดลองในรูปแบบตัวต้นแบบในขนาดต่างๆ จนสามารถพัฒนาให้เป็นเชิงพาณิชย์ได้ในปัจจุบัน [25] สามารถทนแต่สภาวะคลื่นที่มีความแปรปรวนที่รุนแรง เช่น สภาพของลมพายุของพื้นที่ และ อุปกรณ์ดังกล่าวยังมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำทะเลได้อีกด้วย การใช้อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถทำให้ประเมินถึงอัตราการผลิตไฟฟ้าได้ด้วยการคำนวณจากตารางเมทริกซ์ แสดงดังรูปที่ 4-20

Hs (m) \ Tp (s)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
9.5	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
9	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
8.5	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
8	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
7.5	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	748
7	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	692
6.5	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	723	592
6	597	630	663	684	750	750	750	750	750	750	616	633
5.5	428	497	566	612	750	750	750	750	750	635	642	532
5	259	364	469	539	750	750	750	750	644	641	531	482
4.5	94	233	371	467	735	744	738	634	626	520	473	390
4	105	216	326	394	632	616	583	585	494	454	374	361
3.5	0	86	211	326	484	577	568	502	421	394	330	312
3	0	91	180	246	402	424	417	369	343	331	275	229
2.5	0	7	93	171	279	342	351	320	274	230	210	174
2	0	0	66	109	199	219	225	205	195	162	135	112
1.5	0	0	28	62	112	141	143	129	110	91	76	63
1	0	0	11	27	50	62	64	57	49	41	34	28
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 4-20 ตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นพิลามิส [41]

จากรูปที่ 4-20 แสดงถึงตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในรูปเมทริกซ์ของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นพิลามิส ซึ่งตารางดังกล่าวจะแสดงอยู่ในรูปของความสูงคลื่นนัยสำคัญและคาบคลื่น ซึ่งในแต่ละความสูงคลื่นและคาบคลื่น ที่สัมพันธ์กัน จะแสดงปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์ดังกล่าวในหน่วย กิโลวัตต์ ตัวอย่างเช่น ถ้ามี คลื่นในช่วงความสูงคลื่น (Hs)เกิดขึ้น 2 เมตร ที่คาบคลื่น (Tp) 6 วินาทีจะแสดงว่า อุปกรณ์ดังกล่าว สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 109 กิโลวัตต์ สมมตว่า เกิดคลื่นลักษณะดังกล่าว 24 ชั่วโมง จะทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้ เท่ากับ 109 x 24 = 2,616 กิโลวัตต์.ชั่วโมง เป็นต้น ซึ่งตารางประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละชนิดจะได้รับจากบริษัทผู้ผลิต โดยการคำนวณปริมาณไฟฟ้า สามารถแสดงดัง Process Chart ได้ดังนี้



รูปที่ 4-21 Process Chart ของการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น

จากรูปที่ 4-21 แสดงถึง Process Chart ของการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น ในการคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นให้เป็นไฟฟ้านั้น จากงานวิจัย “Electricity generation from wave power in Canada” ได้อธิบายว่า วิธีเดียวที่จะสามารถคำนวณ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิต ได้จากอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น คือจะต้องสร้างตารางให้คล้ายกับ ตารางประสิทธิภาพดังรูปที่ 4-20 โดยตารางดังกล่าวจะเป็นตารางที่แสดงจำนวนชั่วโมงของคลื่นที่เกิดขึ้นในสภาวะต่างๆ ซึ่งจะแสดงอยู่ ในรูปความสูงคลื่นนัยสำคัญ (Hs) และคาบคลื่น (Tp) ในแต่ละเดือน ซึ่งสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้นจะถูกใส่ไว้ในตารางเพื่อดูความถี่ของสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 4-22 โดย Input ของ Process Chart คือตารางกระจายตัวของคลื่นและตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น ส่วน Process ในการคำนวณปริมาณไฟฟ้านั้น สามารถแสดงดังสมการที่ 4-1 ดังนี้

ความถี่สภาวะการเกิดของคลื่น x ประสิทธิภาพของอุปกรณ์……..สมการที่ 4-1

จากสมการที่ 4-1 แสดงถึง Process การคำนวณของปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพื้นที่ โดยการคำนวณดังกล่าวได้รับจากงานวิจัย “Electricity generation from wave power in Canada” ซึ่งอธิบายว่า วิธีที่ง่ายที่สุดในการคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ จะต้องสร้างตารางที่คล้ายกับตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์พิลามิส โดยแสดงดังรูปที่ 4-22 เพื่อที่จะสร้างจำนวนความถี่ของจำนวนชั่วโมง ที่เกิดขึ้นของ สภาวะคลื่นของพื้นที่ โดยทำตารางข้อมูลตารางสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้นแยกเป็นรายเดือน โดยแสดงดังภาคผนวก ข จากนั้นจึงนำตารางดังกล่าวไปคูณกับตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์ จะทำให้ Output ที่เกิดขึ้น คือปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์ดังกล่าว

สงขลา														
		Upper Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	0	117	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	6	72	180	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	3	12	93	102	27	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	0	0	3	36	30	45	18	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 4-22 ตารางจำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นเดือนมกราคม

จากรูปที่ 4-22 แสดงถึงตารางของการเกิดคลื่นในสภาวะต่างๆ โดยข้อมูลที่อยู่ในตาราง ดังกล่าวจะเป็นข้อมูลการกระจายตัว ของสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้น ซึ่งแสดงตัวอย่างของเดือนมกราคม โดยในแต่ละเดือนนั้นจะมีจำนวนชั่วโมงของการเกิดคลื่นที่แตกต่างกันออกไปตามฤดูกาล โดยสาเหตุที่จำนวนชั่วโมงคลื่นที่แสดงถึงสภาวะของคลื่นที่แตกต่างกันนั้นมีสาเหตุมาจากอิทธิพลของลม เฟทช์ และช่วงเวลาของการเกิดลม เป็นต้น [27] ส่วนการคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นพิลามิส สามารถที่จะทำได้โดยการ นำตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไปคูณกับตารางจำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้น จะ ทำให้สามารถคำนวณ ปริมาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่สามารถผลิตได้จากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น พิลามิส ในแต่ละเดือนออกมาได้เพื่อนำมาวิเคราะห์ในส่วนของการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ต่อไป

4.3.2 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์จะใช้ตัวชี้วัดที่สำคัญ คือ การวิเคราะห์การลงทุนด้วยอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน (B/C cost ratio) และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) โดยแสดงดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน(B/C cost ratio) [16]

การวิเคราะห์ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน เป็นวิธีที่นิยมใช้กับการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการลงทุนของโครงการรัฐ เพราะว่าโครงการของรัฐ ดำเนินการโดยไม่ได้ต้องการเพื่อหาผลประโยชน์ แต่เป็นโครงการที่เป็นสาธารณะประโยชน์ ผลประโยชน์ที่ได้รับจะไม่ได้อยู่ในรูปของตัวเงินที่ได้รับตอบแทนกลับมา แต่จะเป็นผลประโยชน์ที่ประชาชนจะได้รับ เช่น คุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ความปลอดภัย ความสะดวกสบาย หรือสุขภาพจิตของคนในชุมชนที่ดีขึ้น เป็นต้น การวิเคราะห์ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน มีตัวแปรที่สำคัญ 2 ตัวแปร คือ ผลประโยชน์ และเงินลงทุน ผลประโยชน์ของโคร งการ คือ สิ่งที่เป็นประโยชน์ซึ่งได้รับเพิ่มขึ้นในด้านสินทรัพย์และสวัสดิการจากโครงการเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพการณ์ที่ยังไม่มีการดำเนินการของโครงการดังกล่าว ซึ่งผลประโยชน์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผลประโยชน์ทางตรง (Direct Benefit) และผลประโยชน์ทางอ้อม (Indirect Benefit) โดยถ้าเป็นโครงการที่รัฐบาลลงทุนนั้นจะต้องมีอัตราส่วนในการลงทุน (B/C cost ratio) ให้มีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากโครงการดังกล่าว จะต้องเป็นโครงการที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้แสวงหากำไร เนื่องจากเป็นโครงการที่จัดทำขึ้นมาเพื่อประชาชน โดยการวิเคราะห์

ทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งจะต้องวิเคราะห์ด้วยตัวชี้วัด ด้วยการวิเคราะห์ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน โดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของเงินลงทุนและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นของโครงการ

- เงินลงทุน คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไฟฟ้า โดยประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือ เงินลงทุนเริ่มต้น และรายจ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละปี

โดยค่าใช้จ่ายในการลงทุนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้น ได้รับการประเมินจาก บริษัท Ocean Power Delivery บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นที่มีชื่อว่า พิลามิส โดยการติดตั้งเครื่องรูปแบบ Single Unit ค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่างๆจะอ้างอิงจาก ในงานวิจัย “System Level Design, Performance and costs for San Francisco California Pelamis Offshore Wave Power Plant” โดยในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการวิเคราะห์ถึง การลงทุนในการติดตั้งอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นพิลามิสในรัฐ แคลิฟอร์เนีย ในปีค.ศ.2004 (พ.ศ. 2547) โดยอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นดังกล่าวมีราคา $2,415,000 (ราคาดังกล่าวประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นตัวแปลงพลังงาน ไฟฟ้า $1,565,000 + ราคาของ ชิ้นส่วนที่เป็นเหล็ก $850,000) โดยข้อมูลของส่วนประกอบของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นพิลามิส จะแสดงในตาราง 4-3 ดังนี้

ตารางที่ 4-3 ส่วนประกอบของโครงสร้างอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นพิลามิส

ชิ้นส่วนอุปกรณ์	**โครงสร้างของอุปกรณ์**	**ราคา** (U.S.dollar)
ส่วนท่อเหล็ก	4 ส่วน	$850,000
ส่วนตัวแปลงพลังงาน	3 ส่วน	$1,565,000
รวม		$2,415,000

จากตารางที่ 4-3 แสดงถึงตารางโครงสร้างของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นพิลามิส โดยตัวอุปกรณ์ดังกล่าวจะแบ่งได้เป็นส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่เป็นท่อเหล็ก และส่วนที่เป็นตัวแปลงพลังงานไฟฟ้า โดยส่วนที่เป็นเหล็กนั้นจะมีผลิตมาจากเหล็กแผ่นถูกขึ้นรูปให้เป็นทรงกลมตามรูปแบบของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าพิลามิส จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน และตัวแปลงพลังงานคลื่นนั้นเป็นอุปกรณ์ชิ้นส่วนที่สำคัญสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น เนื่องจากเป็น

ส่วนที่จะมีการแปลงพลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นจากคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยแต่ละส่วนจะถูกยึดติดกันด้วยข้อต่อไฮโดรลิคมีลักษณะเป็นก้านกระทุ้งเชื่อมต่อกับลูกสูบในตัวอุปกรณ์แต่ละส่วน เมื่อคลื่นทะเลไหลผ่านตัวเครื่อง อุปกรณ์พิลามิสจะเกิดการเคลื่อนไหว ทั้ง 4 ส่วนตามแรงของคลื่น และทำให้ข้อต่อไฮโดรลิคดันก้านกระทุ้งให้เกิดการเคลื่อนไหวขึ้นลง ในลูกสูบ และส่งพลังงานผ่านไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยสัดส่วนของราคาชิ้นส่วนอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นจะมีสัดส่วนของตัวแปลงพลังงานคลื่น 64.80% และสัดส่วนราคาของส่วนที่เป็นท่อเหล็ก 35.20% ตามลำดับ

จากราคาดังกล่าวเป็นราคาที่ถูกประเมินไว้ในปี 2547 ดังนั้น ถ้าจะนำต้นทุนของอุปกรณ์ดังกล่าวมาใช้ในปีปัจจุบัน ต้นทุนดังกล่าวนั้นจะต้องเพิ่มขึ้นตามอัตราเงินเฟ้อ โดยสมมตฐานของงานวิจัยนี้ จะใช้อัตราเงินเฟ้อที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละปีที่ที่เกิดขึ้นจริง โดยแสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 อัตราเงินเฟ้อที่เกิดขึ้นจริงย้อนหลัง 8 ปี ตั้งแต่ปี 2547-2554 [42]

พ.ศ.	**อัตราเงินเฟ้อต่อปี (%)**
2547	2.7
2548	4.5
2549	4.7
2550	2.3
2551	5.5
2552	-0.9
2553	3.3
2554	3.81

จากตารางที่ 4-4 แสดงถึงอัตราเงินเฟ้อที่เกิดขึ้นย้อนหลังในระยะเวลา 8 ปีที่เกิดขึ้นจริงระหว่างปี 2547-2554 โดยใช้ข้อมูลจากธนาคารแห่งประเทศไทย เพื่อ นำไปใช้ในการคำนวณต้นทุนในการซื้ออุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นพิลามิส ที่เกิดขึ้นในกรณีฐานปี 2555 ที่จะนำต้นทุนของอุปกรณ์พิลามิสไปวิเคราะห์ถึงโครงสร้างพื้นฐานของโครงการดังกล่าวที่เกิดขึ้น โดยจะมีการแยกชิ้นส่วนของอุปกรณ์ดังกล่าวเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนของท่อเหล็กและส่วนของตัวแปลง

พลังงาน โดยจะต้องเปลี่ยนมูลค่าเงินตามกาลเวลาให้อยู่ในรูปเวลาปัจจุบัน เพราะว่า ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นของอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นของปี 2547 โดยจะต้องใช้สมการ $F = P(1+i)^n$ เพื่อคำนวณต้นทุนของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นให้มีมูลค่าปัจจุบัน ได้ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 คำนวณมูลค่าของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นพิลามิส

ปี	**ราคาของอุปกรณ์พิลามิส ($)**	**อัตราเงินเฟ้อ (%)**	**มูลค่าปัจจุบันของปีถัดไป ($)**
2547	2,415,000.00	2.70	$2,415,000.00(1+0.027)^1$ = 2,480,205.00
2548	2,480,205.00	4.50	$2,480,205.00(1+0.045)^1$ =2,591,814.23
2549	2,591,814.23	4.70	$2,415,000.00(1+0.047)^1$ =2,713,629.49
2550	2,713,629.49	2.30	$2,415,000.00(1+0.023)^1$ =2,776,042.97
2551	2,776,042.97	5.50	$2,415,000.00(1+0.055)^1$ =2,928,725.34
2552	2,928,725.34	-0.90	$2,415,000.00(1+(-0.009)^1$ =2,902,366.81
2553	2,902,366.81	3.30	$2,415,000.00(1+0.033)^1$ =2,998,144.91
2554	2,998,144.91	3.81	$2,415,000.00(1+0.0381)^1$ =3,112,374.23
2555	3,112,374.23		

จากตารางที่ 4-5 แสดงถึงการคำนวณมูลค่าของราคาต้นทุนของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น ซึ่งคำนวณจากสมการเปลี่ยนมูลค่าของเงินตามกาลเวลา ด้วยสมการ $F = P(1+i)^n$ [16] สมมตฐานของงานวิจัย ให้ปี 2555 เป็นกรณีฐาน จะทำให้มูลค่าของอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคา $3,112,374.23 ซึ่งจะต้องแปลงสกุลเงินดังกล่าวให้เป็นเงินบาท ด้วยอัตราแลกเปลี่ยนถัวเฉลี่ยของธนาคารแห่งประเทศไทยอยู่ที่ 30.63 บาทต่อ 1 ดอลลาร์ [43] ดังนั้นจะทำให้ต้นทุนของอุปกรณ์ดังกล่าวมีมูลค่าคิดเป็นเงินไทยในสกุลเงินบาท โดยแสดงการคำนวณดังสมการที่ 4-2

$3,112,374.23 x 30.63 = 95,332,022.76 บาท……….สมการที่ 4-2

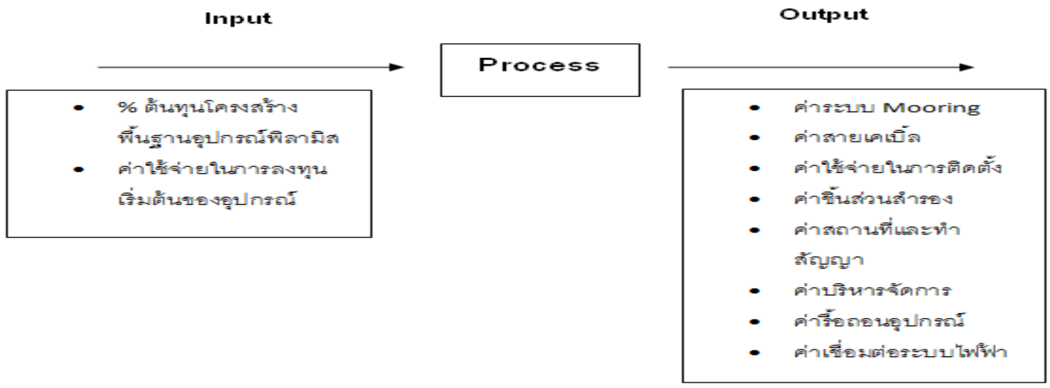
ส่วนต้นทุนของโครงสร้างพื้นฐานอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากเปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นของอุปกรณ์ โดยข้อมูลดังกล่าวได้รับการประมาณต้นทุนจาก

งานวิจัย “A 10 year installation program for wave energy in Ireland : A case study sensitivity analysis on financial returns” โดยมีการประมาณต้นทุนเป็นเปอร์เซ็นต์ ของค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นของอุปกรณ์ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ต้นทุนของโครงสร้างพื้นฐานอุปกรณ์พิลามิส [26]

ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	% ของค่าใช้จ่ายเริ่มต้นของอุปกรณ์
ระบบ Mooring	10%
สายเคเบิ้ล	10%
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง	33%
ชิ้นส่วนสำรอง	2%
ค่าสถานที่และทำสัญญา	2%
ค่าบริหารจัดการ	10%
ค่ารื้อถอนอุปกรณ์	10%
ค่าเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า	5%

จากตารางที่ 4-6 แสดงถึงโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์พิลามิส โดยเป็นค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการ โดยจะคิดจากเปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นพิลามิส โดยข้อมูลดังกล่าวได้รับการประมาณต้นทุนจากงานวิจัย “A 10 year installation program for wave energy in Ireland : A case study sensitivity analysis on financial returns” ซึ่งสามารถแสดงเป็นขั้นตอนการคำนวณได้ดังนี้



รูปที่ 4-23 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นของโครงการ

จากรูปที่ 4-23 แสดงถึงกระบวนการของ การคำนวณต้นทุนโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นพิลามิส โดยในส่วน Input นั้นจะมีส่วนประกอบด้วยกันสองส่วน ได้แก่ ส่วนของ % ต้นทุนโค รงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์พิลามิส และส่วนค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นของอุปกรณ์ จากนั้น กระบวนการ ที่เกิดขึ้นคือการคำนวณค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นพิลามิส โ ดยคำนวณจากการนำเปอร์เซ็นต์โครงสร้างพื้นฐานไปคูณกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นของอุปกรณ์พิลามิส ส่วน Output ที่เกิดขึ้นจะเป็นค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นทั้งหมดของโครงการ โดยสามารถแสดงดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นของโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์พิลามิส

ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	% ของค่าใช้จ่ายเริ่มต้นของอุปกรณ์	ค่าใช้ในการลงทุนเริ่มต้นของอุปกรณ์	ต้นทุนของโครงสร้างพื้นฐาน
ระบบ Mooring	10%	95,332,022.76	10% x 95,332,022.76 = 9,533,202.28
สายเคเบิ้ล	10%	95,332,022.76	10% x 95,332,022.76 = 9,533,202.28
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง	33%	95,332,022.76	33% x 95,332,022.76 = 31,459,567.51
ชิ้นส่วนสำรอง	2%	95,332,022.76	2% x 95,332,022.76 = 1,906,640.46
ค่าสถานที่และทำสัญญา	2%	95,332,022.76	2% x 95,332,022.76 = 1,906,640.46
ค่าบริหารจัดการ	10%	95,332,022.76	10% x 95,332,022.76 = 9,533,202.28
ค่ารื้อถอนอุปกรณ์	10%	95,332,022.76	10% x 95,332,022.76 = 9,533,202.28
ค่าเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า	5%	95,332,022.76	5% x 95,332,022.76 = 4,766,601.14
รวม	78,172,258.66		

จากตารางที่ 4-7 แสดงถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นของโครงสร้างพื้นฐานที่เกิดขึ้นของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น ซึ่งค่าใช้จ่ายในการลงทุนดังกล่าวเกิดขึ้นจากเปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่างๆนำไปคูณกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นของอุปกรณ์ จะทำให้ได้ค่าใช้ใช้จ่ายในการลงทุนของโครงสร้างพื้นฐานของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น โดยโครงการดังกล่าวมีมูลค่าของการลงทุนของโครงสร้างพื้นฐาน 78,172,258.66 บาท ส่วนค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นของอุปกรณ์พิลามิสมีมูลค่า 95,332,022.76 บาท (จากสมการที่ 4-2) ดังนั้นจะส่งผลให้มูลค่าในการลงทุนเริ่มต้นทั้งหมดมีมูลค่าเท่ากับ

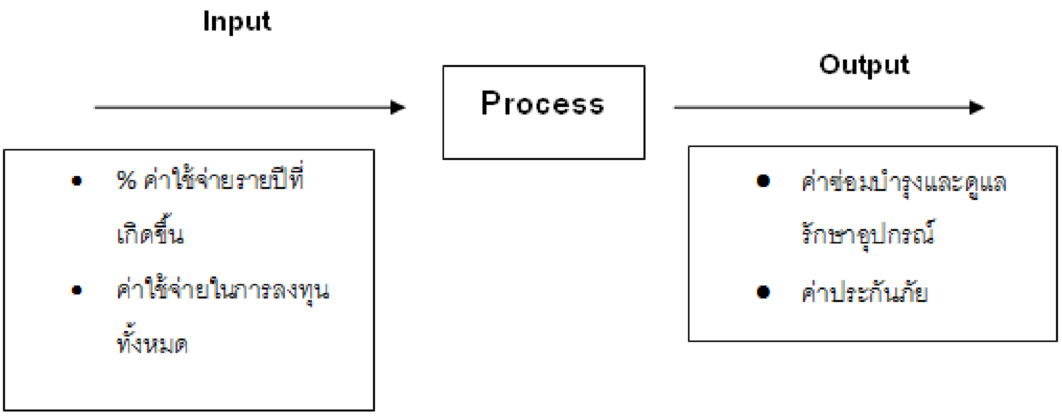
78,172,258.66 + 95,332,022.76 = 173,504,281.42 บาท ……สมการที่ 4-3

- ส่วนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นรายปี จะเป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินการรายปีที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นพิลามิส จะเป็นค่าใช้จ่ายของค่าซ่อมบำรุงและรักษาอุปกรณ์และค่าประกันของโครงการ โดยข้อมูลดังกล่าวได้รับมาจากงานวิจัยเรื่อง "A 10 year installation program for wave energy in Ireland : A case study sensitivity analysis on financial returns" โดยมีการประเมินค่าใช้จ่ายรายปีของค่าซ่อมบำรุงและรักษาอุปกรณ์ ค่าประกันของโครงการแสดงดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 รายจ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละปี [26]

รายจ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละปี (AC)	% **ต้นทุนโครงการทั้งหมด**
ค่าซ่อมบำรุงและดูแลรักษาอุปกรณ์	3%
ค่าประกันภัย	3%

จากตารางที่ 4-8 แสดงถึงรายจ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละปีของโครงการ โดยค่าใช้จ่ายรายปีนั้นจะคิดมาจากเปอร์เซ็นต์ของเงินลงทุนเริ่มต้นทั้งหมดของโครงการ โดยข้อมูลดังกล่าวได้รับการประมาณต้นทุนจากงานวิจัย "A 10 year installation program for wave energy in Ireland : A case study sensitivity analysis on financial returns" สามารถแสดงการคำนวณในรูปของ Process Chart ได้ดังรูปที่ 4-24 ดังนี้



รูปที่ 4-24 ค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดขึ้นของโครงการ

จากรูปที่ 4-24 แสดงถึง Process Chart ของการคำนวณค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดขึ้นของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นพิลามิส โดยในส่วน Input นั้นจะมีส่วนประกอบด้วยกันสองส่วน ได้แก่ ส่วนของ % ค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดขึ้น และส่วนค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นทั้งหมดของโครงการ จากนั้น Process ที่เกิดขึ้นคือการคำนวณค่าใช้จ่ายรายปีของโครงการ โดยแบ่งเป็นค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ และค่าประกันภัยของอุปกรณ์ดังกล่าว โดยคำนวณสามารถทำได้โดยการนำเปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่ายรายปีดังกล่าวคูณกับค่าใช้จ่ายในกา รลงทุนเริ่มต้นทั้งหมดของโครงการ ส่วน Output ที่เกิดขึ้นจะเป็นค่าใช้จ่ายรายปีของโครงการ โดยสามารถแสดงดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 ค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดขึ้นของโครงการ

รายจ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละปี (AC)	**% ของเงินลงทุนเริ่มต้นทั้งหมดของโครงการ**	**เงินลงทุนเริ่มต้นทั้งหมดของโครงการ**	**บาท/ปี**
ค่าซ่อมบำรุงและดูแลรักษาอุปกรณ์	3%	173,504,281.42	3% x 173,504,281.42 = 5,205,128.44
ค่าประกันภัย	3%	173,504,281.42	3% x 173,504,281.42 =5,205,128.44
รวม	10,410,256.88		

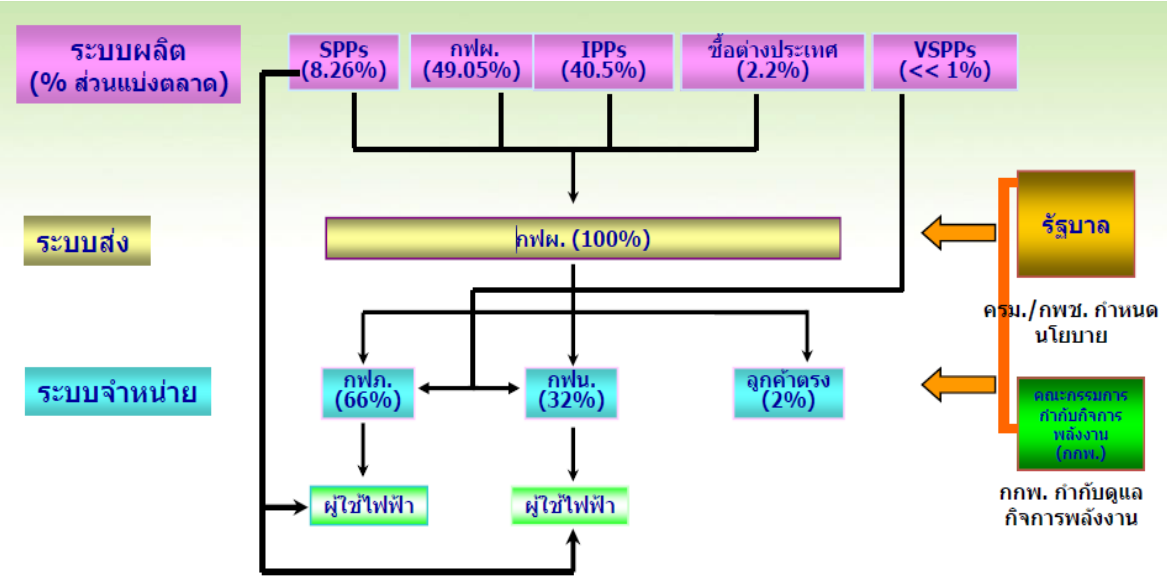
จากตารางที่ 4-9 แสดงถึงค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดขึ้นของโครงการในแต่ละปีโดยได้รับการประเมินจากงานวิจัย “A 10 year installation program for wave energy in Ireland : A case study sensitivity analysis on financial returns” โดยสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายรายปี ซึ่งประกอบไปด้วยค่าซ่อมบำรุ งและดูแลและรักษาอุปกรณ์ และค่าประกันภัยของอุปกรณ์โดยในบทความดังกล่าวได้กำหนดรายจ่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละปีอยู่ที่ 3% ของเงินลงทุนเริ่มต้นทั้งหมด ซึ่งมีมูลค่า 173,504,281.42 (จากสมการที่ 4-3) ดังนั้นจะทำให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นรายปีมีมูลค่า 10,410,256.88 บาท

- ส่วนของรายได้ จะเกิดจากการขายไฟฟ้าให้แก่ กฟภ. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยกำไรที่ได้จากการขายไฟฟ้านั้น คำนวณดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 รายได้ที่เกิดจากการขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

รายได้	**หน่วยละ**	**จำนวนหน่วยขาย**	**จำนวนเงิน (บาท/ปี)**
รายได้จากการขายไฟฟ้าให้ กฟภ.	Q	kW	R

จากตารางที่ 4-10 แสดงถึงรายได้ที่ได้ รับจากการขายไฟฟ้าให้กับ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สมมติฐานงานวิจัย โดยปริมาณไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นพิลามิส จะขายเข้าสู่ระบบให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่มีการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน VSPP โดยแสดงดังรูปที่ 4-25 ดังนี้



หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บเป็นสัดส่วนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในปี 2553

รูปที่ 4-25 โครงการสร้างกิจการไฟฟ้าของประเทศไทยในปัจจุบัน แบบผู้ซื้อรายเดียว [44]

จากรูปที่ 4-25 แสดงถึงโครงการสร้างกิจการไฟฟ้าของประเทศไทยในปัจจุบัน แบบผู้ซื้อรายเดียว โดยจะแสดงถึงโครงสร้างของระบบการผลิต ระบบส่ง และระบบจำหน่ายไฟฟ้าของประเทศไทย จะพบว่า การไฟฟ้าส่วนภู มิภาคจะมีหน้าที่ในการจำหน่ายไฟฟ้าให้กับประชาชนผู้ใช้ไฟฟ้าในประเทศไทย โดยจะมีการรับซื้อไฟฟ้ามาจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตและการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่มีขนาดเล็กมาก

ส่วนการคำนวณรายได้ที่เกิดจากการขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตนั้นสามารถคำนวณได้โดยแสดงดังสมการที่ 4-4

$$R = kW \times Q$$ ....สมการที่ 4-4

โดย	R	=	รายได้จากการขายไฟฟ้า
	kW	=	ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้
	Q	=	ราคาขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

- ส่วนผลประโยชน์ทางอ้อมของโครงการ ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทะเลนั้นจะเป็นการที่ช่วยลดผลกระทบของสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการลดการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิ ง ทั่วไป ดังนั้นจึงเป็นการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาได้ โดยสามารถนำผลประโยชน์ทางอ้อมดังกล่าวที่เกิดขึ้นมาวิเคราะห์เป็นตัวเงินได้ด้วยคาร์บอนเครดิต จากการที่ประเทศไทยได้ลงนามในพิธีสารเกียวโต ในเดือนกุมภาพันธ์ พ .ศ. 2542 และทำการสัตยาบันพิธีสารเกียวโต ในวันที่ 28 สิงหาคม พ .ศ. 2545 โดยมีสำนักนโยบายและแผนธรรมชาติ สั งกัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นหน่วยงานกลางประสานงานกลางของอนุสัญญาและพิธีสารเกียวโต ซึ่งประเทศไทยได้มีส่วนในการร่วมกับกลไกของพิธีสารเกียวโต ในด้านกลไกพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism : CDM) โดยมีส่วนร่วมกับประเทศที่พัฒนาแล้วหรือที่เรียกว่าประเทศในกลุ่มภาคผนวกที่ 1 (Annex 1) ซึ่งมีทั้งหมด 41 ประเทศ โดยประเทศกลุ่มดังกล่าวจะต้องมีพันธกรณีที่จะต้องลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยทำการขายคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) ซึ่งมีหน่วยวัดเป็นตันของก๊าซคาร์บอนเครดิต [18]

สมมตฐานงานวิจัยนี้ จ ะทำการคิดปริมาณคาร์บอนเครดิตจากการที่โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทะเล ที่จะช่วยทำให้สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แทนการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลในประเทศไทย โดยการคำนวณการลดการปลดปล่อย

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นเทียบกับโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลในประเทศไทย สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4-5 [45]

CO_2 Emission = 0.5875 × AEP……………………...…….สมการที่ 4-5

โดยที่ CO_2 Emission คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดการปลดปล่อย (tCO_2)
AEP คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี (MWh/yr)

จากสมการ 4-5 แสดงถึงการคำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถลดลงได้ เมื่อมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานฟอสซิลในประเทศไทย โดยสมการดังกล่าวจะนำค่าคาร์บอนแฟคเตอร์ (Carbon Factor) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5875 นำไปคูณกับปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปี (MWh/yr) จะทำให้สามารถคำนวณการลดการปลดปล่อยคาร์บอนได้ออกไซด์ได้ออกมาในรูปของหน่วยตันคาร์บอนได ออกไซด์ จากนั้นนำไปคูณกับราคารับซื้อคาร์บอนเครดิต ซึ่งราคาคาร์บอนเครดิต จากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกจะเป็นราคาซื้อขายอยู่ที่ประมาณ 3.09 ยูโรต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์ [46] โดยอัตราแลกเปลี่ยน 1 ยูโรเท่ากับ 39.61 บาท[43] จากอัตราแลกเปลี่ยนถัวเฉลี่ยของธนาคารแห่งประเทศไทยประจำวันที่ 13 ธันวาคม 2555 ดังนั้นจะส่งผลให้ราคาของคาร์บอนเครดิตในปัจจุบันมีราคาซื้อขายอยู่ที่

3.09 x 39.61 = 122.39 บาทต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์ …………..สมการที่ 4-6

จากการวิเคราะห์ ถึงต้นทุนและประโยชน์ที่เกิดขึ้นของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทั้งหมดแล้ว ทำให้สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าในการลงทุนได้ด้วยสมการดังนี้

$$1 = \frac{DB + IB}{Cost}$$ …………………………………สมการที่ 4-7

โดย DB = ผลประโยชน์ทางตรง คือรายได้ที่ได้รับจากการขายไฟฟ้าให้กับ กฟภ.
IB = ผลประโยชน์ทางอ้อม คือรายได้จากการที่สามารถลดปริมาณคาร์บอนเครดิต
Cost = ต้นทุนของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทะเล

จากสมการ 4-5 แสดงถึงสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาราคาขายไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นของโครงการเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับราคารับซื้อไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่รับซื้อจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตในปัจจุบันเพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ของมาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนดังกล่าว โดยปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนนั้นรัฐบาลได้มีการสนับสนุนหรือที่เรียกว่า “ส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า” ในปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่รัฐบาลได้ให้การสนับสนุน แสดงดังรูปที่ 4-26

ประเภทเชื้อเพลิง	ทุกจังหวัด ยกเว้น 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ (บาท/หน่วย)	3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ (บาท/หน่วย)	พื้นที่ที่ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากดีเซล (บาท/หน่วย)	ระยะเวลา (ปี)
ชีวมวล				
กำลังการผลิต <= 1 MW	0.50	1.5	1.5	7
กำลังการผลิต > 1 MW	0.30	1.3	1.3	
ก๊าซชีวภาพ				
กำลังการผลิต <= 1 MW	0.50	1.5	1.5	7
กำลังการผลิต > 1 MW	0.30	1.3	1.3	
พลังน้ำขนาดเล็ก				
50 kW <=กำลังการผลิต<= 200 kW	0.8	1.8	1.8	7
กำลังการผลิต < 50 kW	1.5	2.5	2.5	
ขยะ				
ระบบหมักหรือระบบฝังกลบขยะ	2.5	3.5	3.5	7
พลังงานความร้อน	3.5	4.5	4.5	
พลังงานลม				
กำลังการผลิต <= 1 MW	4.5	6.0	6.0	10
กำลังการผลิต > 1 MW	3.5	5.0	5.0	
พลังงานแสงอาทิตย์	8.0	9.5	9.5	10
มติ กพช. 28 มิ.ย. 53 ยื่นเสนอขายไฟฟ้าแล้วแต่ยังไม่ได้รับการตอบรับ	6.5	8.0	8.0	10

รูปที่ 4-26 ส่วนเพิ่มอัตรารับซื้อไฟฟ้า (Adder) [43]

จากรูปที่ 4-26 แสดงถึงส่วนเพิ่มอัตรารับซื้อไฟฟ้าของแหล่งพลังงานหมุนเวียนชนิดต่างๆที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ เพื่อเป็นมาตรการจูงใจให้มีการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานธรรมชาติมากขึ้น เพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและยังเป็นการผลิตไฟฟ้าเพื่อเสริมเข้าสู่ระบบให้มีศักยภาพเพียงพอเพื่อรองรับความต้อ งการในการใช้ไฟฟ้าของประเทศให้มากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการแข่งขันทางด้านเศรษฐกิจ เทคโนโลยี ที่เพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้พลังงานหมุนเวียนเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อเป็นระบบการผลิตไฟฟ้าที่สะอาดและ ยังส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิลในปัจจุบัน

ส่วนการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) คือการวิเคราะห์มูลค่าผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับตลอดระยะเวลาของโครงการที่ได้ปรับค่าของเวลาแล้ว ซึ่งอาจจะมีค่าเป็นบวก เป็นลบ หรือมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นดัชนีชี้วัดในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่ทำให้

ทราบได้ว่าตลอดระยะเวลาดำเนินงานของโครงการมีผลกำไรหรือขาดทุนเป็นจำนวนเงินเท่าใด โดยสูตรการคำนวณเขียนได้ดังนี้

Net Present Value = PV. Benefit – PV. Cost……………สมการที่ 4-8

โดย	PV. Benefit	=	มูลค่าปัจจุบันผลประโยชน์รวม
	PV. Cost	=	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม
	NPV	=	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

จากสมการที่ 4-8 แสดงถึงดัชนี้ชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นเกณฑ์การตัดสินใจที่จะยอมรับโครงการว่ามีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ หรือไม่ ให้ดูที่ NPV คือถ้า NPV มีค่ามากกว่าศูนย์ แสดงว่า มูลค่าผลประโยชน์ สุทธิมีค่าเป็นบวก ถือว่าโครงการดังกล่าวมีความคุ้มค่าเหมาะสมต่อการลงทุน

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกเทคโนโลยีของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นโดยเลือกใช้อุปกรณ์พิลามิส ซึ่งเป็นอุปกรณ์ผลิตพลัง งานไฟฟ้าชนิดแรกที่มีรูปแบบเชิงพาณิชย์ ประกอบกับได้มีการประเมินคาดการณ์ของต้นทุนและรูปแบบการขั้นตอนการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์ดังกล่าวด้วยตารางประสิทธิภาพที่บริษัทดังกล่าวได้เปิดเผยต่อสาธารณะ เพื่อนำมาวิเคราะห์แนวทางในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นสำหรับประเทศไทย โดยเมื่อวิเคราะห์โดยการนำข้อมูลคลื่นบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง ซึ่งมีศักยภาพคลื่นที่ดีที่สุดของบริเวณพื้นที่อ่าวไทย จะพบว่า บริเวณดังกล่าวสามารถผลิตไฟฟ้าได้ปริมาณน้อยมาก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลและช่วงเวลา สาเหตุมาจากความไม่แน่นอนของทรัพยากรคลื่นที่เกิดขึ้น ดังนั้นจะพบว่า อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นนั้นจะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน เมื่อนำไปใช้ในพื้นที่ที่แตกต่างกันออกไปด้วย โดยช่วงของแหล่งทรัพยากรของคลื่น คือ ระดับความสูงคลื่นนัยสำคัญและคาบคลื่น ซึ่ง เป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการพิจารณาสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนคลื่น แม้ว่าอุปกรณ์พิลามิสจะมีประสิทธิภาพที่สูงในประเทศทางยุโรป อเมริกาเหนือ ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นเกาะประกอบกับเป็นประเทศผู้นำทางด้านเทคโนโลยีดังกล่าวจึงได้มีการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นมาเพื่อใช้ให้เหมาะสมกับพื้นที่นั้น โดยการผลิตอุปกรณ์การแปลงพลังงานคลื่นนั้นจะต้องใช้ระยะเวลาการผลิตเป็นระยะเวลาที่นานจะต้องมีการวิเคราะห์ในห้องทดลอ งจากนั้นถึงจะต้องนำไปทดสอบในทะเลจริง เพื่อเป็นการยืนยันว่าอุปกรณ์ดังกล่าวมีประสิทธิภาพพร้อมใช้งานและพร้อมจะเป็นอุปกรณ์ที่

จะเป็นอุปกรณ์เชิงพาณิชย์ ความแตกต่างระหว่างประเทศไทยและประเทศผู้นำทางด้านเทคโนโลยีพลังงานคลื่นในเรื่องแรกก็คือศักยภาพของคลื่น ยกตัวอย่าง งเช่น ถ้าคลื่นออกแบบให้มีประสิทธิภาพให้ทำงานได้ดีในช่วงความสูงคลื่นนัยสำคัญที่ 3 – 6 เมตรถึงจะผลิตไฟฟ้าได้ดี แต่เมื่อประเทศไทยนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ แต่ประเทศไทยมีศักยภาพคลื่นเพียงแค่ 1-2 เมตร จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่ นดังกล่าวเกิดขึ้นได้น้อย เป็นต้น ส่วนที่สองคือ ระบบท่าเรือที่จะรองรับ การติดตั้งอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น โดยในต่างประเทศส่วนใหญ่จะมีลักษณะที่เป็นเกาะจึงมีท่าเรือที่มีศักยภาพเพียงพอที่จะสามารถนำไว้ มีเทคโนโลยีได้ดีเช่นเดียวกัน ดังนั้นในอนาคตสำหรับประ เทศไทย การจะวิเคราะห์ถึงการลงทุนของการผลิตไฟฟ้าของพลังงานคลื่น อย่างแรกก็คือจะต้องวิเคราะห์เพื่อหาพื้นที่ที่มีความเป็นไปได้ในการที่จะติดตั้งอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากคลื่น โดยจะต้องอยู่ใกล้ชายฝั่ง และมีศักยภาพคลื่นที่ดี มีระบบการเชื่อมต่อไฟฟ้าอยู่ในพื้นที่ใกล้เคี ยงจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากขึ้น จากนั้นจะต้องมีการแลกเปลี่ยนความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานมหาสมุทรจากต่างประเทศ เพื่อให้ประเทศไทยมีความพร้อมที่จะพัฒนาและยอมรับเทคโนโลยีทางด้านมหาสมุทร ต่อไปในอนาคต

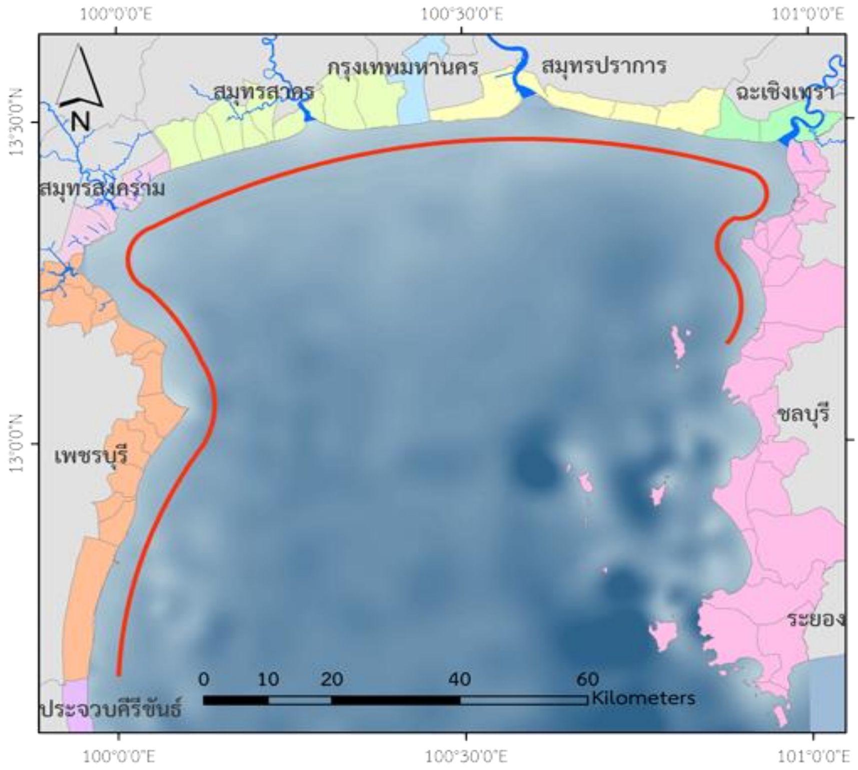
บทที่ 5

ผลการวิจัย

ในบทนี้ จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ของโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทะเล โดยใช้อุปกรณ์แปลงพลังงานใช้อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นพิลามิส (Pelamis) โดยผลการวิจัยจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ผลการวิเคราะห์เชิงเทคนิค และผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการดังกล่าว

5.1 ผลการคัดเลือกพื้นที่

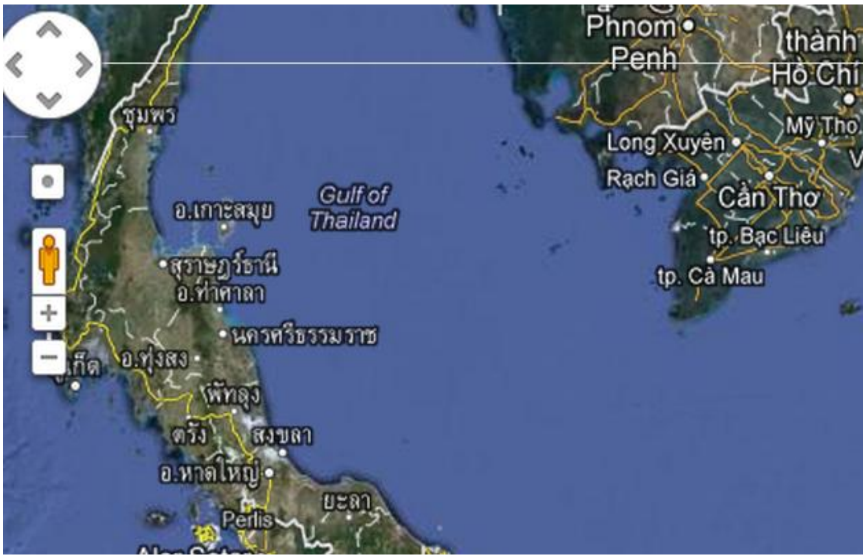
จากเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ ในบทที่ 4 ทำให้สรุปได้ว่าพื้นที่ที่เหมาะสำหรับติดตั้งอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น คือ พื้นที่บริเวณ ทุ่นสงขลา เนื่องจากพิจารณาในข้อมูลกายภาพเบื้องต้น โดยพิจารณาจาก ระดับความลึก ซึ่งเป็นระดับความลึกแบบ (Offshore) ถึงแม้ว่าจะมีระดับความลึกเพียง 35 เมตร พื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมกับประเทศไทยทางฝั่งอ่าวไทยมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่เคยมีการติดตั้งทุ่นตรวจวัดอื่น สามารถได้อธิบายดังนี้ เนื่องจากชายฝั่ง ทะเลอ่าวไทยตอนบนตั้งแต่หัวหินจนถึงสัตหีบ มีลักษณะเป็นแบบทะเลปิด โดยแสดงดังรูป 5-1 ส่งผลให้ชายฝั่งดังกล่าวไม่เปิดรับคลื่นจากทะเลจีนใต้โดยตรง เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศเป็นอ่าว ซึ่งมีความแตกต่างกับทางด้านอ่าวไทยตอนล่างตั้งแต่หัวหินลงไปถึงนราธิวาส ซึ่งจะได้รับ อิทธิพลของคลื่นจากมหาสมุทรอินเดียและทะเลจีนใต้โดยตรง [34] โดยแสดงดังรูปที่ 5-2 จึงส่งผลให้ทะเลในบริเวณอ่าวไทยตอนล่างจะมีขนาดของคลื่นที่สูงกว่าคลื่นบริเวณอ่าวไทยตอนบน ซึ่งจะแสดงให้ทราบถึงศักยภาพของทรัพยากรคลื่นที่มีความแตกต่างกันตามของพื้นที่ของอ่าวไทยทั้ง 2 ส่วน โดยบริเวณที่มีพื้นที่เปิด เพื่อรองรับสำหรับลมที่พัดผ่านผิวของพื้นที่มหาสมุทรนั้นจะมีโอกาสที่จะเกิดคลื่นที่สูงกว่าบริเวณที่มีพื้นที่ผิวของมหาสมุทรที่แคบหรือมีลักษณะเป็นอ่าวปิด



รูปที่ 5-1 อ่าวไทยตอนบน หรืออ่าวไทยรูปตัว ก. [28]

จากรูปที่ 5-1 แสดงถึงพื้นที่อ่าวไทยตอนบนหรืออ่าวไทยรูปตัว ก . ซึ่งประกอบไปด้วยจังหวัดต่างๆ ได้แก่ เพชรบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร ชลบุรี ระยอง เป็นต้น จากงานวิจัยเรื่อง “พลังงานคลื่น ” จากวารสารวิศวกรรม ได้อธิบายว่า พื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนบนดังกล่าวจะมีศักยภาพในการศึกษาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นได้น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อ่าวไทยตอนล่าง เนื่องจากมีศักยภาพของคลื่นที่ต่ำ บริเวณดังกล่าวเป็นอ่าวที่ เป็นพื้นที่ปิด ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ อิทธิพลของเฟทช์ (Fetch) ซึ่งเป็นพื้นที่ของมหาสมุทร ที่ลมได้พัดผ่านตลอดและทำให้เกิดคลื่น ประกอบกับเวลาช่วงเวลาที่เกิดที่เกิดลม (Wind duration) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสูงคลื่น เพราะว่าคลื่นจะต้องใช้เวลาในการรวมตัว เพื่อให้คลื่นรวมกันให้มีขนาดใหญ่ อ่าวไทยตอนบนจะแสดงถึงช่วงของเฟทซ์ ที่มีระยะทางที่น้อย สาเหตุม าจากเป็นอ่าวปิดและแคบ ถึงแม้ว่าว่าความเร็วลมจะสูง ยกตัวอย่างเช่น ความเร็วลม 30 น็อท (74 km/hr) จะทำให้คลื่นน้ำสูง 10 ฟุตในเวลา 7 ชั่วโมง และคลื่นน้ำสูง 15 ฟุตในเวลา 15 ชั่วโมง และคลื่นน้ำสูง 20 ฟุตในเวลา 32 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อลมพัดด้วยระยะเวลานานกว่านี้และมี ความยาวของเฟทซ์มากพอ ก็จะส่งผลให้

คลื่นได้ถึง 23 ฟุต แต่สำหรับในอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กหรืออ่าวเล็กจะมีความยาวเฟทซ์น้อยแม้ว่าลมจะมีความเร็วมากแต่จะไม่สามารถทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่ได้เลย [47] ดังนั้น จึงเลือกพื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนล่างเป็นกรณีศึกษา โดยจะต้องตัดพื้นที่ที่ไม่อยู่ในเกณฑ์วิเคราะห์ออกไป โดยพื้นที่ที่อยู่บริเวณอ่าวไทยตอนบน จากตารางที่ 4-1 จะพบว่าพื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนบน ได้แก่ พื้นที่เกาะสีชัง ระยอง เกาะช้างและหัวหิน ซึ่งการเลือกพื้นที่จะต้องเลือกพื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนล่าง สามารถ เนื่องม าจากศักยภาพของคลื่นที่มีความแรงมากกว่าบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนบน โดยมีปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดคลื่นที่มีศักยภาพได้แก่ เฟทซ์ (Fetch) ช่วงเวลาที่เกิดลม (Wind Duration) และช่วงเวลา (Duration) โดยแสดงดังรูป
ที่ 5-2

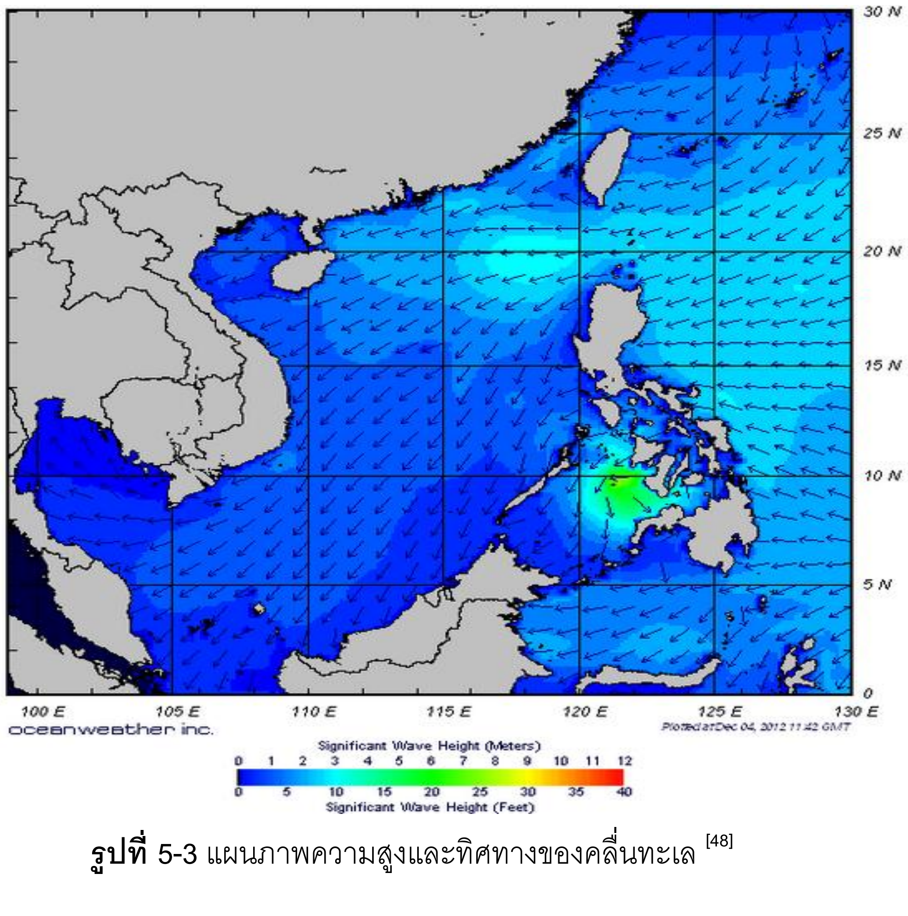


รูปที่ 5-2 อ่าวไทยตอนล่าง [11]

จากรูปที่ 5-2 แสดงถึงพื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนล่างซึ่งจะพบว่า พื้นที่บริเวณดังกล่าวมีพื้นที่เฟทซ์ (Fetch) มากกว่าอ่าวไทยตอนบน ประกอบกับเป็นอ่าวเปิดเพื่อรับลมมรสุมจากมหาสมุทรอินเดียและทะเลจีนใต้ซึ่งจะส่งผลต่อการเกิดคลื่นซึ่งจะทำให้พื้นที่บริเวณดังกล่าวมีคลื่ น สูงกว่าบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนบน ดังนั้น พื้นที่กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกพื้นที่บริเวณติดตั้งทุ่นสงขลา เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่บริเวณเกาะเต่าซึ่งเป็นพื้นที่อ่าวไทยตอนล่างเช่นเดียวกัน แต่เกณฑ์ต่อมาที่ใช้ในการตัดสินใจนั้นก็คือระดับความลึก จากงานวิจัย “System Level Design, Performance and Costs for San Francisco California Pelamis Offshore Wave Power Plant” ได้อธิบายว่า ระดับความลึกที่ติดตั้งอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นนั้นจะต้องมีระดับความลึก

ไม่ต่ำกว่า 35 เมตร เนื่องจากระดับความลึกดังกล่าวเป็นระดับความลึกแบบนอกชายฝั่ง ซึ่งคลื่นลักษณะดังกล่าวจะเกิดคลื่นที่กว่าคลื่นใกล้ชายฝั่ง และอีกสาเหตุหนึ่งก็คืออุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นโดยส่วนใหญ่ได้ถูกออกแบบระบบเพื่อติดตั้งกับระดับความลึกแบบนอกชายฝั่ง เพื่อรองรับกา รผลิตไฟฟ้าจากสภาวะคลื่นที่มีขนาดใหญ่ จะส่งผลให้เกิดการผลิตไฟฟ้าได้ในปริมาณมาก ดังนั้นจะพบว่า การผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นนั้น จะขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย ได้แก่ ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (Hs)และคาบคลื่น (Tp)

ในการเลือกพื้นที่เพื่อพัฒนาระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น จะต้องพิจารณาพื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานคลื่นที่ดีที่สุด จะต้องพิจารณาจากความสูงคลื่นและคาบคลื่นที่มีศักยภาพที่ดีเช่นกัน สำหรับประเทศไทยทางด้านอ่าวไทยโดยทั่วไปพื้นที่ที่มีศักยภาพคลื่นและระดับความลึกที่สูงนั้นจะอยู่ทางด้าน บริเวณทางด้านอ่าวไทยตอน ล่าง โดย พิจารณาจากแผนภาพความสูงและทิศทางของคลื่นทะเลโดยแสดงดังรูป 5-3



รูปที่ 5-3 แผนภาพความสูงและทิศทางของคลื่นทะเล [48]

จากรูปที่ 5-3 แสดงถึงแผนภาพความสูงและทิศทางของคลื่นทะเล ได้รับจาก “สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร ”โดยจะแสดงในรูปแบบ ระดับความสูงคลื่นโดยทั่วไป และทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นทะเล จะพบว่า โดยบริเวณอ่าวไทยตอนบน เมื่อพิจารณาจากแถบสีแล้วจะทราบถึงรับความสูงคลื่นดังกล่าวจะอยู่ที่ 0-0.5 เมตรโดยประมาณ ส่วนบริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนล่างนั้นมีระดับความสูงคลื่นอยู่ที่ประมา ณ 0.5–2 เมตร ซึ่งแสดงถึงพื้นที่อ่าวไทยตอนล่างนั้นมีศักยภาพของคลื่นที่สูงกว่าอ่าวไทยตอนบน และส่งผลให้พื้นที่บริเวณดังกล่าวมีโอกาสที่จะใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นก็เป็นได้ ซึ่งจะต้องขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับศักยภาพของพื้นที่ ด้วยเช่นกัน การที่จะผ ลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้นปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือแหล่งทรัพยากรคลื่นที่มีศักยภาพและเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา โดยการสร้างโรงงานผลิตไฟฟ้าจากคลื่นนั้นจะต้องประกอบไปด้วยปัจจัยเบื้องต้น ได้แก่ พื้นที่ของโรงไฟฟ้าพลังงานคลื่น จะต้องอยู่ใกล้กับท่าเรือที่มีระดับความลึก และขนาดที่เหมาะสม ประกอบกับโครงสร้างพื้นฐานของท่าเรือ เพื่อที่จะรองรับกับชิ้นส่วนของอุปกรณ์และในเรื่องของการบำรุงรักษาอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นอยู่ใกล้กับระบบสายส่งและระบบการกระจายไฟฟ้าซึ่งไฟฟ้าไหลผ่านจากโรงไฟฟ้าพลังงานคลื่นเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Grid connect) และจุดสถานีย่อย (Sub Station) เป็นต้น

5.2 ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นพิลามิส

การคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นนั้นสามารถคำนวณได้โดยการนำตาราง Scatter plot ของจำนวนชั่วโมงคลื่นที่เกิ ดขึ้นของพื้นที่ ไปคูณกับตาราง Scatter plot ของประสิทธิภาพของอุปกรณ์แปลงพลังงาน โดยการสร้างตารางความถี่ของสภาวะคลื่นและตารางคำนวณปริมาณไฟฟ้าจะแสดงใน ภาคผนวก ข และภาคผนวก ค ส่วนตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้นจะ ได้รับจากบริษัทผู้ผลิต คื อ Pelamis Wave Power (หรือที่รู้จักในนามของบริษัท Ocean Power Delivery) สมมตฐานงานวิจัยนี้ จะวิเคราะห์ปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น ที่มีชื่อว่า พิลามิส (Pelamis) เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าว ได้มีการเผยแพร่ในรูปแบบสาธารณะในด้านการประเมินประสิทธิ ภาพของการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์และการมีการประมาณการทางด้านต้นทุนเบื้องต้น โดยตารางแสดงประสิทธิภาพของอุปกรณ์พิลามิส จะแสดงดังรูปที่ 5-4

Hs (m) \ Tp (s)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
9.5	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
9	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
8.5	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
8	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
7.5	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	748
7	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	692
6.5	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	723	592
6	597	630	663	684	750	750	750	750	750	750	616	633
5.5	428	497	566	612	750	750	750	750	750	635	642	532
5	259	364	469	539	750	750	750	750	644	641	531	482
4.5	94	233	371	467	735	744	738	634	626	520	473	390
4	105	216	326	394	632	616	583	585	494	454	374	361
3.5	0	86	211	326	484	577	568	502	421	394	330	312
3	0	91	180	246	402	424	417	369	343	331	275	229
2.5	0	7	93	171	279	342	351	320	274	230	210	174
2	0	0	66	109	199	219	225	205	195	162	135	112
1.5	0	0	26	63	112	141	143	129	110	91	76	63
1	0	0	11	27	50	[illegible]	64	57	49	41	34	28
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

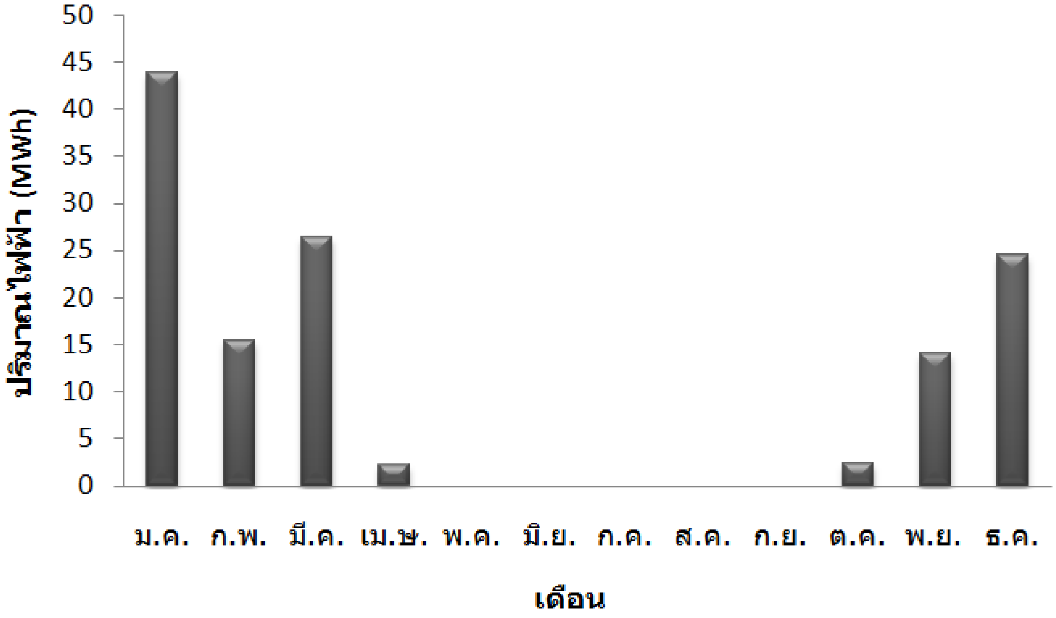
รูปที่ 5-4 ตารางแสดงประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นพิลามิส [39]

จากรูปที่ 5-4 แสดงถึงตารางประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นพิลามิส โดยตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์นั้นจะได้รับมาจากบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์ดังกล่าว โดยใช้พารามิเตอร์ ที่สำคัญคือ ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (Hs) และคาบคลื่น (Tp) ของพื้นที่ที่จะติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว โดย วิธีการที่จำคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้น จะต้องสร้าง ตาราง Scatter plot ในรูปแบบรายจำนวนชั่วโมงที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือน ขึ้นมาอีกตารางหนึ่ง ตัวอย่างเช่นในเดือนมกราคม ของพื้นที่บริเวณสงขลา ดังรูปที่ 5-5 จากนั้นจึงนำตารางรายชั่วโมง Scatter plot ที่ได้มาคูณกับตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์พิลามิส ยกตัวอย่างเช่น จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่น ที่เกิดขึ้นในเดือนมกราคม ในช่วงของระดับความสูงนัยสำคัญคลื่น 2 เมตร และคาบคลื่นอยู่ที่ 8 เมตร แสดงว่าจะสามารถผลิตปริมาณไฟฟ้าได้ถึง 219 กิโลวัตต์ จากนั้นไปดูที่ตารางของจำนวนชั่วโมงที่ระดับความสูงคลื่นนัยสำคัญและคาบคลื่นเดียวกันในหน่วยชั่วโมงดังตารางที่ 5-8 จะพบว่าจำนวนชั่วโมงที่เกิดขึ้นของช่วงศักยภาพคลื่นดังกล่าวจะมีจำนวน 117 ชั่วโมง ดังนั้นสามารถคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยการนำปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้มาคูณกับจำนวนชั่วโมง 219 กิโลวัตต์ x 117 ชั่วโมง = 25,623 กิโลวัตต์.ชั่วโมง เป็นต้น

		Upper Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	0	117	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	6	72	180	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	3	12	93	102	27	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	0	0	3	36	30	45	18	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 5-5 จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้นในเดือนมกราคม

จากรูปที่ 5-5 แสดงถึงตารางจำนวนชั่วโมงของการเกิดคลื่นในเดือนมกราคม โดยการคำนวณปริมาณไฟฟ้าจะต้องคำนวณโดยการนำตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์พิลามิสนำไปคูณกับตารางของจำนวนชั่วโมงที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือนจะทำให้ได้ปริมาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น โดยแสดงดังรูปที่ 5-6 ดังนี้



รูปที่ 5-6 ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพื้นที่บริเวณทุ่นสงขลา

จากรูปที่ 5-6 แสดงถึงปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่ได้จากคำนวณด้วยตาราง Scatter plot ในแต่ละเดือนของพื้นที่บริเวณสงขลา โดยผลการคำนวณ ในช่วงเดือนมกราคมจนถึงเดือนมีนาคมของพื้นที่ดังกล่ าวจะสามารถผลิตปริมาณไฟฟ้าได้ สูง เนื่องจากศักยภาพของคลื่นในช่วงเดือนดังกล่าวสูงกว่าในช่วงเดือนอื่น ส่งผลให้อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถผลิตไฟฟ้าได้มีประสิทธิภาพ โดยการผลิตไฟฟ้าได้ปริมาณมากหรือน้อย นั้นจะขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (Hs) และคาบคลื่น (Tp) โดยในระยะเวลา 1 ปี บริเวณพื้นที่ดังกล่าวสามารถผลิตไฟฟ้าจากคลื่นทะเลได้เพียง 129.02 เมกกะวัตต์.ชั่วโมง (Mwh) คิดเป็น% Capacity factor แค่เพียง 1.96% ซึ่งถือมีค่าน้อยมากของการผลิตไฟฟ้าที่เกิดขึ้น โดยตารางความถี่ชั่วโมงของสภาวะคลื่นและตารางปริมาณการผลิตไฟฟ้าจะ จะแสดงอยู่ใน ภาคผนวก ข และภาคผนวก ค

โดยในช่วงเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนกันยายน อุปกรณ์ดังกล่าวไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้เนื่องจากเป็นช่วงที่พื้นที่ดังกล่าวมีสภาวะคลื่นทะเลที่สงบ ส่งผลให้ระดับความสูงคลื่นและคาบคลื่นของพื้นที่ดังกล่าว เกิดขึ้นในระดับต่ำกว่าช่วงเดือนอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของ

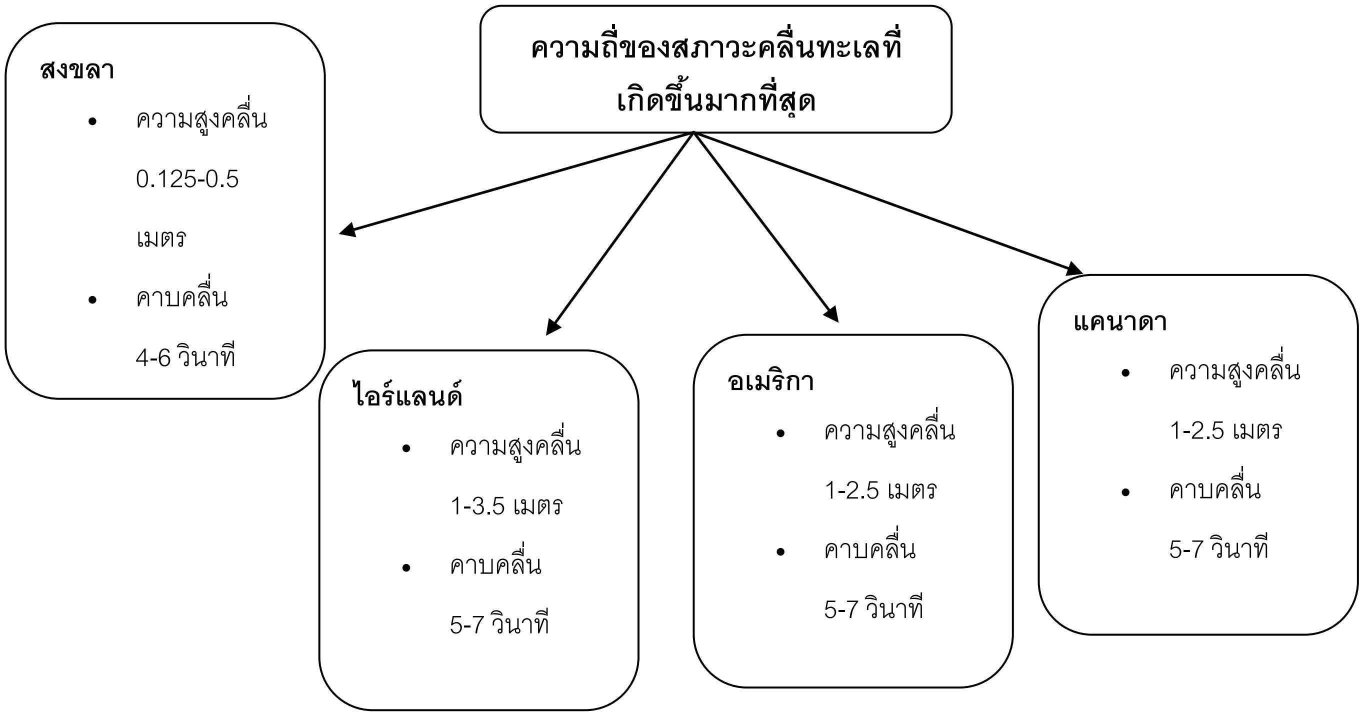
การผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น โดยเทียบกับตาราง Scatter plot จึงทำให้ไม่สามารถคำนวณปริมาณไฟฟ้าในช่วงเดือนดังกล่าวได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดเชิงเทคนิคอย่างหนึ่ง

สาเหตุที่ทำให้ผลิตปริมาณไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นได้ในปริมาณน้อยนั้น เนื่องมาจากศักยภาพคลื่นของประเทศไทยยังอยู่ในสภาวะอยู่ในระดับ ยังไม่เหมาะสมกับอุปกรณ์คือมีความสูงคลื่นนัยสำคัญและคาบคลื่นโดยความถี่จำนวนชั่วโมงสภาวะคลื่นส่วนใหญ่ไม่ได้อยู่ในช่วงของการที่จะสามารถผลิตไฟฟ้าของอุปกรณ์ดังกล่าวได้ โดยแสดงดังรูปที่ 5-7

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	3	189	0	0	0	0	0	0	192
1.5	0	0	0	69	357	312	0	0	0	0	0	0	738
1	0	0	240	837	270	117	0	0	0	0	0	0	1464
0.5	102	546	840	1008	138	216	18	0	0	0	0	0	2868
0.125	144	1488	1422	249	45	120	30	0	0	0	0	0	3498
	246	2034	2502	2163	813	954	48	0	0	0	0	0	8760

รูปที่ 5-7 จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้น 1 ปี

จากรูปที่ 5-7 แสดงถึงจำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้นของพื้นที่บริเวณ ทุ่นสงขลา โดยจำนวนชั่วโมงของคลื่นที่เกิดขึ้นทั้งหมดใน 1 ปี จะมีทั้งหมด 8,760 ชั่วโมง โดยความถี่ชั่วโมงของการเกิดสภาวะคลื่นนั้น ความสูงคลื่นนัยสำคัญอยู่ที่ระดับ 0.125 – 0.5 เมตร คาบคลื่นส่วนที่เกิดขึ้นจะอยู่ที่ช่วง 4-6 วินาที มีการเกิดจำนวนชั่วโมงสภาวะดังกล่าวมากที่สุด โดยดูจากรูปที่ 5-7 และอาจจะมีช่วงที่เกิดคลื่นในระดับ 1.5-2 เมตรได้บางช่วง สาเหตุที่ทำให้การผลิตไฟฟ้าของพื้นที่บริเวณดังกล่าวเกิดขึ้นในปริมาณที่น้อย เนื่องจากอุปกรณ์ ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นพิลามิสนั้นมีช่วงที่ความสูงคลื่นนัยสำคัญและคาบคลื่นที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจะต้องมีความสูงคลื่นจะต้อง มีความ สูงมากกว่า 1 เมตร ถึงจะทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการผลิตไฟฟ้า ซึ่งแสดงบนพื้นที่สีเทาดังรูปที่ 5-7 การที่ผลิตปริมาณการผลิตไฟฟ้าได้ในปริมาณที่ต่ำนั้น เนื่องจากเทคโนโลยีของอุปกรณ์ในการแปลงพลังงานคลื่นในปัจจุบันยังมีความเฉพาะในการใช้งานของพื้นที่ ซึ่งเ ทคโนโลยีดังกล่าวเหมาะสมที่จะใช้กับพื้นที่ทางยุโรป อเมริกาเหนือที่มีสภาวะคลื่นที่ค่อนข้างรุนแรงและมีคลื่นที่สูงอยู่ตลอดเวลา โดยแสดงดังรูปที่ 5-8



รูปที่ 5-8 ความถี่ของสภาวะคลื่นทะเลที่เกิดขึ้นมากที่สุด

จากรูปที่ 5-8 แสดงถึงความถี่ของสภาวะคลื่นทะเลที่เกิดขึ้นมากที่สุดของพื้นที่ต่างๆ จากงานวิจัย “Case study feasibility analysis of the Pelamis wave energy converter in Ireland,

Portugal and North America" ได้อธิบายว่า พื้นที่ของอเมริกา ไอร์แลนด์และแคนาดานั้น เป็นพื้นที่ที่มีแหล่งทรัพยากรคลื่นที่ดีและเหมาะที่จะใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น โดยในแต่ละพื้นที่นั้น จะมีความถี่ของจำนวนชั่วโมงที่เกิดคลื่นสูงที่สุด โดยที่ความสูงคลื่นนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 1-2.5 เมตรโดยทั่วไป ยกเว้น ไอร์แลนด์จะมีสภาวะของคลื่นที่มีความสูงโดยทั่วไปอยู่ ที่ 1-3.5 เมตร และในทุกพื้นที่ดังกล่าวจะมีคาบคลื่นที่ 5-7 วินาที ส่วนพื้นที่ประเทศไทยทางฝั่งอ่าวไทยนั้น rพื้นที่อ่าวไทยตอนล่าง บริเวณสงขลานั้น จะมีระดับความสูงคลื่นโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ 0.125-0.5 เมตร และคาบคลื่น 4-6 วินาที ซึ่งแสดงถึงแหล่งทรัพยากรคลื่นของพื้ นที่อ่าวไทยตอนล่างนั้นยังไม่เพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้าเมื่อเทียบกับพื้นที่ที่เป็นผู้นำทางด้านเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น จึงทำให้พื้นที่ดังกล่าวผลิตไฟฟ้าได้น้อยมากและบางช่วงอาจจะไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้เลย ดังนั้นจึงสรุปว่า โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นของพื้นที่สงขลานั้น เป็นไปไม่ได้ในเชิงเทคนิค เนื่องจากสภาวะคลื่นดังกล่าวที่เกิดขึ้น จะส่งผลให้ %Capacity factor ที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมากเพียง 1.96% (โดยการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค) ถ้าการที่จะทำให้โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้นมีความเป็นไปได้ทางเทคนิค จ ะต้องประกอบไปด้วยปัจจัยดัง ตารางที่ 5-1 ดังนี้

ตารางที่ 5-1 เงื่อนไขความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิค

เงื่อนไขเชิงเทคนิค	**ความเป็นไปได้เชิงเทคนิค (มาตรฐาน)**	**ประเทศไทย (ฝั่งอ่าวไทย)**
1. ความสูงคลื่น	1-3.5 เมตร	0.125-0.5 เมตร
2. คาบคลื่น	5-7 วินาที	4-6 เมตร
3. Capacity Factor	20%	1.96%
4. ประสิทธิภาพของอุปกรณ์	ผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องทุกเดือน	ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง(รูปที่ 5-6)

จากตารางที่ 5-1 แสดงถึงเงื่อนไขจะทำให้โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น นั้นมีความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิค โดยในงานวิจัย "Electricity generation from wave power in Canada" ได้อธิบายว่า การที่จะทำให้โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้นมีความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิคนั้น การผลิตไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะต้องมีการผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องและผลิตได้ในปริมาณที่สูง โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญนั้น คื อความสูงคลื่นและคาบคลื่น โดยการที่จะทำให้เกิดความคุ้มค่าในเชิงเทคนิคนั้น ทรัพยากรของคลื่นนั้นจะต้องมีความสูงคลื่นและคาบคลื่นที่เกิดขึ้นมีระดับที่ค่อนข้างสูง

และมีสภาวะดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในความถี่ที่มาก เพื่อที่จะส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าที่ได้นั้นมีปริมาณที่สูงเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัย "Case study feasibility analysis of the Pelamis wave energy converter in Ireland, Portugal and North America" ซึ่งอธิบายว่า ประเทศทางทวีปอเมริกาและยุโรป ดังเช่น ประเทศแคนาดา อเมริกา สหรัฐอเมริกาและประเทศไอร์แลนด์ นั้นจะมีศักยภาพคลื่นที่ดี เนื่องจากความถี่ของชั่วโมงในการเกิดคลื่นนั้นจะทำให้ระดับความสูงคลื่นอยู่ที่ประมาณ 1-2.5 เมตรมากที่สุด และประสิทธิภาพของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นก็ถูกสร้างให้เหมาะสมกับพื้นที่ดังกล่าวเช่นกัน ถ้าสังเกตจากตารางประสิทธิภาพในรูป ที่ 5-4 จะพบว่าอุปกรณ์ดังกล่าวจะเริ่มผลิตไฟฟ้าได้ตั้งแต่ระดับความสูงคลื่น 1 เมตรขึ้นไปและคาบคลื่นตั้งแต่ 6 วินาทีเป็นต้นไป ดังนั้นทำให้อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นสามารถที่จะผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากประสิทธิภาพของอุปกรณ์นั้นถูกออกแบบให้มีสภาพ ที่เหมาะสมกับสภาวะของคลื่นที่เกิดขึ้นของพื้นที่นั้น จึง ทำให้อุปกรณ์สามารถที่จะดึงพลังงานจากคลื่นมาใช้ได้มากที่สุดเพื่อแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าส่งเข้าสู่ชายฝั่ง เป็นต้น ดังนั้น สำหรับประเทศไทย ถ้าจะมีความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิค ทะเลฝั่งอ่าวไทยนั้นจะต้องมีความสูงคลื่นอยู่ในระดับ 1-3 เมตรและคาบคลื่น 6-8 วินาที เหมือนกับประเทศทางแถบยุโรปและอเมริกาเหนือซึ่งเป็นประเทศที่มีศักยภาพคลื่นที่ดี ถึงจะทำให้เกิดความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิค แต่ในค วามเป็นจริง สภาวะคลื่นนั้นเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ ไม่สามารถที่จะมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงสภาพคลื่นได้ ทำให้ประเทศไทยทางฝั่งอ่าวไทยนั้นไม่สามารถที่จะผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง โดยแสดงดังรูป 5-6 และส่งผลทำให้ capacity ที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับต่ำ ดังนั้นอาจจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในการผลิตไฟฟ้าแทน ยกตัวอย่างเช่น ถ้าประเทศไทยมีระดับความสูงคลื่นที่เกิดขึ้นที่มีความถี่มากที่สุดอยู่ที่ 0.125-0.5 เมตร และคาบคลื่นอยู่ที่ 4-6 วินาที ถ้ามีอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าอยู่ในช่ว งดังกล่าวคือสามารถผลิตไฟฟ้าได้ตั้งแต่ความสูงคลื่น 0.125 และคาบคลื่น 4 วินาทีเป็นต้นไป จะทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้นเนื่องจากความเหมาะสมของอุปกรณ์กับสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้น และอาจจะส่งผลให้เกิดความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิคอีกทางหนึ่งด้วย

ในงานวิจัย "Electricity generation from wave power in Canada" ได้อธิบายว่า การที่จะทำให้โรงไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นได้สำเร็จนั้นจะต้องสามารถดำเนินการผลิตไฟฟ้าได้ในเรื่องของ Capacity factor หรือการผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น และในการตัดสินใจเลือกพื้นที่ที่จ ะติดตั้งอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นนั้นอย่างน้อยที่สุดจะต้องมี Capacity factor, C.F มากกว่าหรือ

เท่ากับ 20% (≥20%) โดยจะต้องมีโดยการคำนวณ Capacity factor, C.F. สามารถหาได้จากสมการ 5-2 ดังนี้ [43]

$$CF = \frac{\text{Actual annual energy output}}{\text{Rated power output} \times \text{Hours per year}} \text{....สมการที่ 5-1}$$

Actual annual energy output	=	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงตลอดปี (กิโลวัตต์.ชั่วโมง)
Rated power output	=	กำลังผลิตไฟฟ้าของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์)
Hour per year	=	จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี (ชั่วโมง/ปี)

จากสมการที่ 5-1 แสดงถึงสมการในการคำนวณ Capacity factor ที่เกิดขึ้นของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงาน โดย สมมตฐานว่าอุปกรณ์ดังกล่าวมี Capacity factor 20% จากกำลังการผลิต ดังนั้นสมมตฐานการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์พิลามิส โดยแสดงการคำนวณดังนี้

Actual annual energy output = 0.2 × 750 kW × 8,760 hr................สมการที่ 5-2

จากสมการที่ 5-2 แสดงถึงการคำนวณ Capacity factor ของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นพิลามิส ซึ่งได้มีการสมมตฐาน Capacity factor ที่ 20% จะทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถผลิตปริมาณไฟฟ้าได้ 1,314,000 กิโลวัตต์.ชั่วโมงหรือเท่ากับ 1,314,000 หน่วย ซึ่งเป็นปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละปี

5.3 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ในงานวิจัยนี้จะเป็นผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น โดยการวิเคราะห์โครงการได้มีการใช้ดัชนีชี้วัดความคุ้มค่าในการลงทุน คือ อัตราส่วนผลป ระโยชน์ในการลงทุน (B/C cost ratio analysis) และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present Value) โดยแสดงดังต่อไปนี้

5.3.1 ผลการวิเคราะห์ชี้วัดความคุ้มค่าในการลงทุนในกรณีฐาน

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยการใช้ดัชนีชี้วัด คือ อัตราส่วนผลประโยชน์ในการลงทุน (B/C cost ratio analysis) และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) โดยในงานวิจัยนี้จะประเมินกรณีฐานด้วยการขายไฟฟ้าให้กับ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยวิเคราะห์ด้วยดัชนีชี้วัดคือ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน B/C cost ratio และมูลค่าสุทธิปัจจุบัน (Net Present Value) ดังสมการต่อไปนี้ [16]

$$\text{B/C cost ratio} = \frac{\text{PW ผลประโยชน์}}{\text{PW ต้นทุน}} \quad \text{……..……………สมการที่ 5-3}$$

จากสมการที่ 5-3 แสดงถึง PW ผลประโยชน์ของโครงการจะเป็นผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากผลประโยชน์ทางตรงและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นของโครงการ ส่วนของ PW ต้นทุน คือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดของโครงการ สมมตฐานงานวิจัย กำหนดอายุโครงการเท่ากับ 10 ปี เนื่องจากกำหนดอายุโครงการดังกล่าวให้สอดคล้องกับระยะเวลาที่รัฐบาลได้มีการสนับสนุนส่วนเพิ่มอัตรารับซื้อไฟฟ้าในปัจจุบัน และอัตราคิดลด (Discount rate) ที่ใช้ในงานวิจัย กำหนดให้ i = 14% เนื่องจากงานวิจัยเรื่อง “A 10 year installation program for wave energy in Ireland : A case study sensitivity analysis on financial returns” ได้รับการแนะนำจาก Dr. Mark Mulcah โดยการใช้อัตราคิดลด สำหรับขนาดของการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานคลื่นว่า ถ้าขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 0-5 MW จะต้องใช้อัตราคิดลด 14% ส่วนถ้าฟาร์มคลื่นที่มีขนาดมากกว่า 50 MW ขึ้นไปควรจะต้องใช้อัตราคิดลด 6% เป็นต้น

ส่วนการวิเคราะห์มูลค่าสุทธิปัจจุบันของโครงการ คือการวิเคราะห์มูลค่าผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับตลอดระยะเวลาของโครงการที่ได้ปรับค่าของเวลาแล้ว ซึ่งอาจจะมีค่าเป็นบวก เป็นลบ หรือมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยการคำนวณมูลค่าสุทธิปัจจุบันแสดงดังสมการ

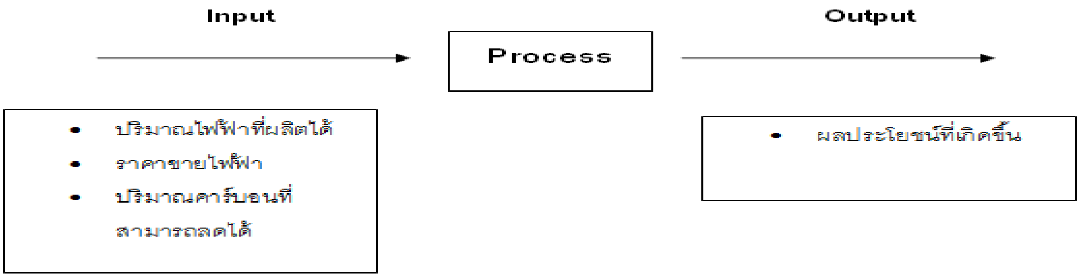
Net Present Value = PV. Benefit – PV. Cost……………สมการที่ 5-4

โดย PV. Benefit = มูลค่าปัจจุบันผลประโยชน์รวม

PV. Cost = มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม

NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

-ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นของโครงการเกิดจากรายได้ที่ได้รับจากการขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สามารถแสดง Process Chart ได้ดังรูปที่ 5-9 ดังนี้



รูปที่ 5-9 ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นของโครงการ

จากรูปที่ 5-9 แสดงถึงผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นของโครงการ โดยสามารถคำนวณได้จากการที่ Input ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ จากงานวิจัยนี้จะตั้งสมมติฐาน Capacity Factor 20% โดยในงานวิจัยเรื่อง “Electricity generation from wave power in Canada” ได้อธิบายว่า การที่จะทำให้โรงไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นได้สำเร็จนั้นจะต้องสามารถดำเนินการผลิตไฟฟ้าได้ในเรื่องของ Capacity factor หรือการผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น และในการตัดสินใจเลือกพื้นที่ที่จะติดตั้งอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นนั้นอย่างน้อยที่สุดจะต้องมี Capacity factor, C.F มากกว่าหรือเท่ากับ 20% (≥20%) โดยการคำนวณ Capacity factor, C.F. ดังนั้นจะทำให้ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้มีปริมาณ 1,314,000 กิโลวัตต์.ชั่วโมง โดยสมมติฐานว่า ถ้าพื้นที่สงขลานั้นมีความเป็นไปได้เชิง เทคนิคและสามารถผลิตไฟฟ้าได้ Capacity factor อย่างน้อย 20% เพื่อไปวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ต่อไป

ส่วนผลประโยชน์ทางอ้อมที่เกิดขึ้น เกิดจากการที่โครงการดังกล่าวสามารถลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้ สามารถประเมินเป็นมูลค่าของคาร์บอนเครดิต คำนวณจากสมการที่ 4-5 จากนั้นนำไปคูณราคารับซื้อคาร์บอนในปัจจุบัน โดยผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดสามารถแสดงเป็นตาราง 5-2 ได้ดังนี้

ตารางที่ 5-2 ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

รายการ	**ปริมาณไฟฟ้า**	**ราคาขายไฟฟ้า(บาท)**	**ปริมาณคาร์บอนเครดิต**	**ราคาขายคาร์บอนเครดิต (บาท)**	**ผลประโยชน์ (บาท/ปี)**
รายได้จากการขายไฟฟ้า	1,314,000 kWh	2.56	-	-	1,314,000 x 2.56 = 3,363,840.00
รายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต	1,314 MWh	-	0.5875 × ปริมาณไฟฟ้า(Mwh)	122.39	1,314 x0.5875 x 122.39 = 94,482.02
ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด	**3,363,849.00 + 94,482.02 = 3,458,322.02 บาท/ปี**				

จากตารางที่ 5-2 แสดงถึงผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น โดยผลประโยชน์ของโครงการจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นทางตรงและผลประโยชน์ทางอ้อม โดยสมมตฐานว่าในแต่ละปีจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ในปริมาณเท่ากันทุกปีตลอดอายุโครงการ 10 ปี เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายการสนับสนุนส่วนเพิ่มรับซื้อไฟฟ้าที่แสดงดังรูปที่ 4-26 ส่วนการวิเคราะห์มูลค่าของเงินที่เกิดขึ้นตามกาลเวลา โดยจะ ต้องทำให้อยู่ในรูปของเงินปัจจุบัน Present worth ดังนั้น จะต้องใช้อัตราคิดลด 14% ซึ่งได้รับมาจากงานวิจัยเรื่อง “A 10 year installation program for wave energy in Ireland : A case study sensitivity analysis on financial returns” ได้รับการแนะนำจาก Dr. Mark Mulcah ซึ่งจะต้องเปิดตาราง Discrete Cash Flow: Compound Interest Factors จากหนังสือชื่อว่า “เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม” โดยตารางของรายได้ที่เกิดขึ้นในแต่ละปีจะต้องคูณด้วย Discrete Factor เพื่อทำให้อยู่ในมูลค่าเงินปัจจุบัน โดยแสดงดังรูปที่ 5-10

14%	TABLE 18 Discrete Cash Flow: Compound Interest Factors							14%
	Single Payments		Uniform Series Payments				Arithmetic Gradients	
n	Compound Amount F/P	Present Worth P/F	Sinking Fund A/F	Compound Amount F/A	Capital Recovery A/P	Present Worth P/A	Gradient Present Worth P/G	Gradient Uniform Series A/G
1	1.1400	0.8772	1.00000	1.0000	1.14000	0.8772		
2	1.2996	0.7695	0.46729	2.1400	0.60729	1.6467	0.7695	0.4673
3	1.4815	0.6750	0.29073	3.4396	0.43073	2.3216	2.1194	0.9129
4	1.6890	0.5921	0.20320	4.9211	0.34320	2.9137	3.8957	1.3370
5	1.9254	0.5194	0.15128	6.6101	0.29128	3.4331	5.9731	1.7399
6	2.1950	0.4556	0.11716	8.5355	0.25716	3.8887	8.2511	2.1218
7	2.5023	0.3996	0.09319	10.7305	0.23319	4.2883	10.6489	2.4832
8	2.8526	0.3506	0.07557	13.2328	0.21557	4.6389	13.1028	2.8246
9	3.2519	0.3075	0.06217	16.0853	0.20217	4.9464	15.5629	3.1463
10	3.7072	0.2697	0.05171	19.3373	0.19171	5.2161	17.9906	3.4490
11	4.2262	0.2366	0.04339	23.0445	0.18339	5.4527	20.3567	3.7333
12	4.8179	0.2076	0.03667	27.2707	0.17667	5.6603	22.6399	3.9998
13	5.4924	0.1821	0.03116	32.0887	0.17116	5.8424	24.8247	4.2491
14	6.2613	0.1597	0.02661	37.5811	0.16661	6.0021	26.9009	4.4819
15	7.1379	0.1401	0.02281	43.8424	0.16281	6.1422	28.8623	4.6990
16	8.1372	0.1229	0.01962	50.9804	0.15962	6.2651	30.7057	4.9011
17	9.2765	0.1078	0.01692	59.1176	0.15692	6.3729	32.4305	5.0888
18	10.5752	0.0946	0.01462	68.3941	0.15462	6.4674	34.0380	5.2630
19	12.0557	0.0829	0.01266	78.9692	0.15266	6.5504	35.5311	5.4243
20	13.7435	0.0728	0.01099	91.0249	0.15099	6.6231	36.9135	5.5734

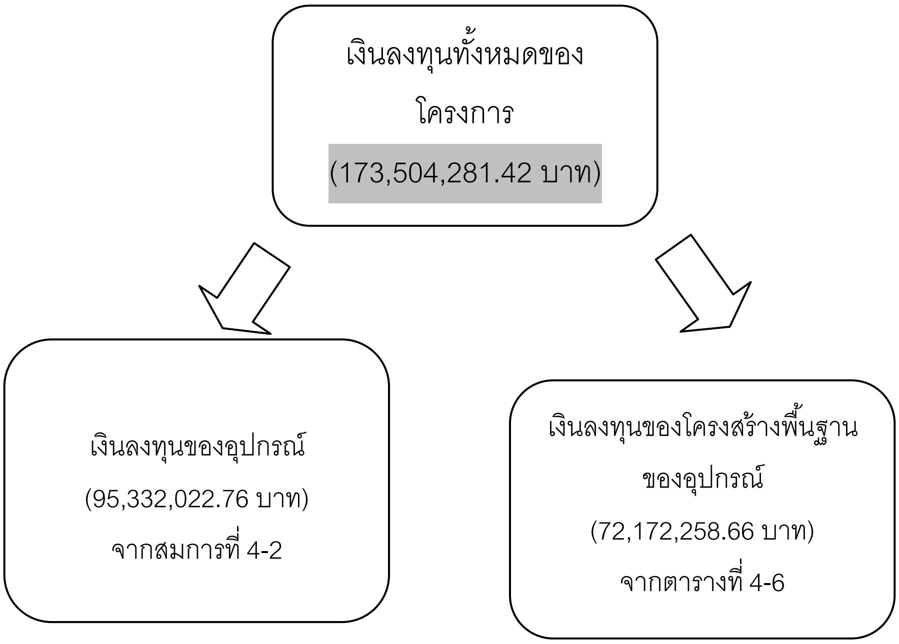
รูปที่ 5-10 Discrete Cash Flow : Compound Interest Factors

จากรูปที่ 5-10 แสดงถึงตาราง Discrete Cash Flow เพื่อใช้ในการคำนวณหามูลค่าเงินในช่วงเวลาต่างๆ โดยสมมตฐานงานวิจัยจะใช้อายุโครงการ 10 ปีและอัตราคิดลด 14% โดยจะเป็นแบบ Uniform-series present worth factor หรืออาจเรียกว่า P/A factor โดยสามารถเขียนได้คือ (P/A,i,n) = (P/A, 14, 10) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.216 โดยตารางดังกล่าวได้รับจากหนังสือเรื่อง "เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม" ทำให้มูลค่าในปัจจุบันของผลประโยชน์ที่เกิดขึ้น แสดงดังสมการที่ 5-5

PV. Benefit = 3,458,331.02 (5.216) = 18,038,607.66 ....สมการที่ 5-5

จากสมการที่ 5-5 แสดงถึงมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นตลอดอายุโครงการ โดยผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดมีมูลค่า 18,038,607.66 บาท

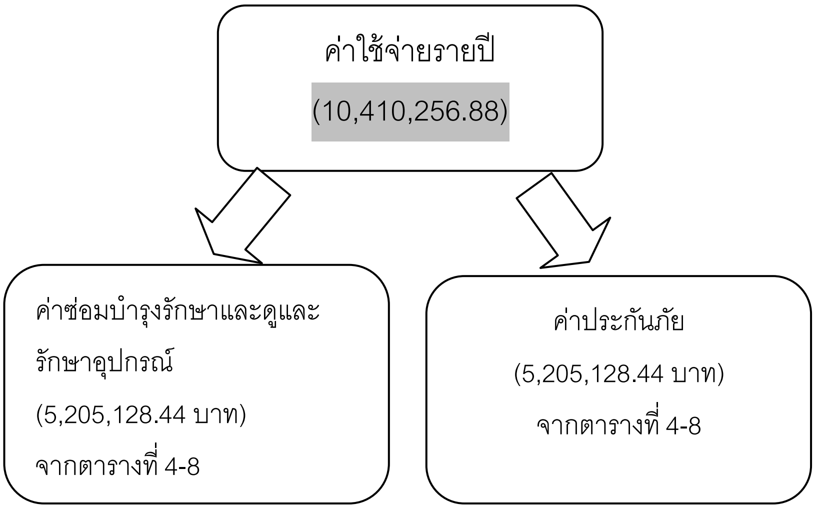
- ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น จะแบ่งเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกเป็นเงินลงทุนเริ่มต้นของอุปกรณ์และส่วนของเงินลงทุนเริ่มต้นของโครงสร้างพื้นฐาน โดยแสดงดังรูปที่ 5-11



รูปที่ 5-11 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นทั้งหมดของโครงการ

จากรูปที่ 5-11 แสดงถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นทั้งหมดของโครงการโดยจะแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยแบ่งออกเป็นส่วนของเงินลงทุนของอุปกรณ์และส่วนของเงินลงทุนของโครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์ โดยโครงการดัง กล่าวมีมูลค่าการลงทุนเริ่มต้น 173,504,281.42 บาท

- ค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดขึ้นขอ งรายปีจะแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยจะแบ่งเป็นส่วนค่าซ่อมบำรุงและดูแลรักษาอุปกรณ์ และค่าประกันภัย โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-12



รูปที่ 5-12 ค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดขึ้นของโครงการ

จากรูปที่ 5-12 แสดงถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นรายปีของโครงการ โดยสมมตฐานที่ว่าค่าใช้จ่ายดังกล่าวเกิดขึ้นเท่ากันทุกปี โดยข้อมูลดังกล่าวได้รับจากงานวิจัย " A 10 year installation program for wave energy in Ireland: A case study sensitivity analysis on financial returns"ดังนั้นจะต้องใช้ Present worth factor คือ (P/A, 14, 10) มีค่าเท่ากับ 5.216 ดังรูปที่ 5-13 ดังนั้นจะทำให้สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นรายปีทั้งหมดของโครงการคือ

ค่าใช้จ่ายรายปี = 10,410,256.88 (5.216) = 54,299,899.89 บาท ……....สมการ 5-6

จากสมการที่ 5-6 แสดงถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นรายปีตลอดอายุโครงการมีมูลค่า 54,299,899.89 บาท

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดของโครงการซึ่งประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นทั้งหมดของโครงการและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นรายปี สามารถเขียนเป็นสมการของเงินลงทุนตลอดอายุโครงการได้ดังนี้

PV. Cost = 173,504,281.42+54,299,899.89 = 227,804,181.31 บาท….สมการที่ 5-7

จากสมการที่ 5-7 แสดงถึงสมการของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดอายุโครงการโดยประกอบไปด้วยโครงสร้างของเงินลงทุนเริ่มต้นทั้งหมดในปีที่ศูนย์ (จากรูปที่ 5-12) และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นรายปีตั้งแต่ปีที่ 1 จนตลอดอายุโครงการ 10 ปี (จากสมการที่ 5-6) ดังนั้น จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้งหมดตลอดอายุโครงการจะมีมูลค่า 227,804,181.31 บาท จากสมการที่ 5-3 สามารถนำมาใช้ในการคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนได้ดังนี้

$$\text{B/C cost ratio} = \frac{18{,}038{,}607.66 \text{ บาท}}{227{,}804{,}181.31 \text{ บาท}} = 0.08 \quad \text{…………..…สมการที่ 5-8}$$

จากสมการที่ 5-8 แสดงถึงผลการคำนวณ ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C cost ratio) ซึ่งคำนวณมากจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์ (จากสมการ 5-5) และมูลค่าปัจจุบันสุทธิของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของโครงการทั้งหมด (จากสมการที่ 5-7) จากผลดังกล่าวจะพบว่า อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C cost ratio) มีค่าต่ำกว่า 1 แสดงว่า โครงการดังกล่าวไม่มีความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์

ส่วนการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) โดยนำสมการที่ 5-4 มาวิเคราะห์ได้ดังนี้

$$\text{NPV} = 18{,}038{,}607.66 - 227{,}804{,}181.31 = -\ 209{,}765{,}573.65 \quad \text{……..สมการที่ 5-9}$$

จากสมการที่ 5-9 แสดงถึงการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการที่เกิดขึ้น โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ จะแบ่งเป็นผลประโยชน์ มูลค่า 18,038,607.66 บาทและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตลอดทั้งโครงการมูลค่า 227,804,181.31 บาท โดยจะต้องอยู่ในรูปมูลค่าปัจจุบันสุทธิ โดยผลการคำนวณ จะพบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้นมีค่าเป็นลบ ซึ่งแสดงถึงโครงการดังกล่าวนั้นไม่คุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ของโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้ น จะพบว่า อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุน (B/C cost ratio) มีค่าต่ำกว่า 1 และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) มีค่าติดลบ แสดงถึงโครงการดังกล่าวไม่มีความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิค ถ้าเกิดมีการลงทุนดังกล่าวนั้นจะไม่คุ้มค่า จากงานวิจัย “การวิเคราะห์ความเป็นไ ปได้ของการนำพลังงานไฮโดรเจนมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงรถยนต์ในประเทศไทย” ได้อธิบายว่า ถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าติดลบและอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนมีค่าต่ำกว่า 1 จะทำให้ไม่สามารถหาค่า

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Periods) ได้ โดยสาเหตุที่ทำให้โครงการผลิตพลังงา นไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นไม่มีความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์นั้น เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนของเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าจากคลื่นมีราคาที่สูงมาก ประกอบกับประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้ายังไม่มีความเสถียรภาพที่แน่นอน จะขึ้นอยู่กับสภาวะของคลื่น ในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดของเทคโน โลยีคือมีอุปกรณ์เพียงตัวเดียวที่เป็นแบบเชิงพาณิชย์ ในต่างประเทศที่สามารถทำโครงการดังกล่าวแล้วได้ผลดีเนื่องจากมีศักยภาพคลื่นที่ดีกว่าประเทศไทย (จากรูปที่ 5-8) ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์จึงมีปริมาณที่มากกว่า เมื่อขายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจึงทำให้เกิดรายได้ของ โครงการมากกว่าประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยถ้าโครงการดังกล่าวจะมีความเป็นไปได้ ในเชิงเศรษฐศาสตร์นั้น จะต้องวิเคราะห์ถึงราคาขายไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเพื่อที่จะหาส่วนเพิ่มอัตรารับซื้อไฟฟ้าตามมาตรการของรัฐบาล เพื่อที่จะศึกษาว่า ราคารับซื้อไฟฟ้าที่ราคาเท่าไหร่ที่จะทำให้ ดังกล่าวมีความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิค โดยจะต้องกำหนดให้โครงการดังกล่าวมีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าโครงการดังกล่าวไม่ได้มีกำไรหรือการขาดทุน โดยโครงการที่วิเคราะห์โดยผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนนั้น โดยทั่วไปจะเป็นโครงการของรัฐบาล โดยการคำ นวณเพื่อหาราคาขายไฟฟ้าที่จะทำให้โครงการดังกล่าวเกิดความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ สามารถแสดงได้ดัง สมการที่ 5-10

$$1 = \frac{[(Qx\ 1{,}314{,}000)+(122.39\ x\ 0.5875\ x\ 1{,}314)]\ (5.216)}{173{,}504{,}281.42+10{,}410{,}256.88\ (5.216)} \quad \text{.....สมการที่ 5-10}$$

จากสมการที่ 5-10 แสดงถึงการคำนวณ เพื่อหาราคาขายไฟฟ้าที่เหมาะสมของโครงการ โดยจะต้องมีการกำหนด B/C ratio เท่ากับ 1 ซึ่งแสดงว่าโครงการดังกล่าวนั้นไม่มี ผลกำไรหรือขาดทุน เนื่องจากเป็นโครงการสาธารณะประโยชน์ที่เกิดขึ้น โดยกำหนด Present Value Factor (P/A,14%,10) มีค่าเท่ากับ 5.2161 จากการเปิดตาราง [16] ต้นทุนของโรงไฟฟ้าพลังงานคลื่นทะเลทั้งหมด จะมีมูลค่า ทั้งสิ้น 277,804,181.33 บาท (จากสมการที่ 5-7) ส่วนผลประโยชน์ทางอ้อมที่เกิดขึ้นจากคาร์บอนเครดิต ที่สามารถลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 771.98 ตันคาร์บอนเครดิตเทียบเท่า คิดเป็นมูลค่า 94,482.02 บาทต่อปี (ตารางที่ 5-2) และปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 1,314,000 กิโลวัตต์.ชั่วโมง หรือ 1,314 เมกกะวัตต์.ชั่วโมง (สมการที่ 5-2)

จากการวิเคราะห์ถึงราคาขายไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานค ลื่นทะเลพิลามิส โดยการที่ ทำให้อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนของโครงการ มีค่าเท่ากับ 1 จะต้องขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในราคาถึง 33.17 บาทต่อหน่วย ถึงจะทำให้โครงการดังกล่าวเกิดความคุ้มค่าในการลงทุน เมื่อเปรียบเทียบกับราคาที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาครับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตจากการไฟฟ้าฝ่ ายผลิตในปัจจุบันมีราคาเพียง 2.56 บาทต่อหน่วย [49] ดังนั้น รัฐบาลจะต้องสนับสนุนส่วนเพิ่มอัตรารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนถึง 30.61 บาทต่อหน่วย เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนเพิ่มอัตรารับซื้อไฟฟ้า (Adder) ของแหล่งพลังงานชนิดอื่น จะพบว่า โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทะเลนั้น ปัจจุบันยังไม่ คุ้มค่า ต่อการลงทุนในปัจจุบัน เนื่องจากถ้ามีโครงการดังกล่าวเกิดขึ้นจริงรัฐบา ลจะต้องรับภาระในการสนับสนุนในส่วนเพิ่มอัตรารับซื้อไฟฟ้าที่สูงมาก โดยแสดงตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 เงื่อนไขในเชิงเศรษฐศาสตร์

ตัวชี้วัดเชิงเศรษฐศาสตร์	มาตรฐาน	โครงการผลิตไฟฟ้าจากคลื่น	หน่วย
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C cost ratio)	1	0.08	-
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value)	0	-209,765,573.65	บาท
ส่วนเพิ่มอัตรารับซื้อไฟฟ้า (Adder)	8	30.61	บาท/หน่วย

จากตาราง 5-3 แสดงถึงเงื่อนไขทางเศรษฐศาสตร์ในวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น จะพบว่า โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นดังกล่าวไม่มีความเป็นไปได้ในการลงทุน เนื่องจาก อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนของโครงการนั้นมีค่าต่ำกว่า 1 และมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการดังกล่าวมีค่าติดลบ จะทำให้ไม่สามารถหาระยะเวลาคืนทุนของโครงการได้ ส่วนการที่จะทำให้โครงการดังกล่าวมีความคุ้มค่าในการลงทุนนั้นจะต้องมีการสนับสนุนส่วนเพิ่มอัตรารับซื้อไฟฟ้าให้กับโครงการดังกล่าวถึง 30.61 บาทต่อหน่วย เมื่อเทียบกั บส่วนเพิ่มอัตรารับซื้อไฟฟ้าที่มีการสนับสนุนจากรัฐบาลที่สูงที่สุดนั้นมากจากพลังงานแสงอาทิตย์เพียง 8 บาทต่อหน่วยเท่านั้น ดังนั้นพบว่า ส่วนเพิ่มอัตรารับซื้อไฟฟ้า (Adder) ของการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานคลื่นทะเลนั้นจะมีมูลค่าสูงกว่าแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ถึง 4 เท่า เนื่องจาก

การผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานคลื่นทะเลนั้นจ ะต้องได้รับการสนับสนุนในด้าน ส่วนเพิ่มอัตรารับซื้อไฟฟ้าที่สูงมาก ซึ่งเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยากที่จะได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ และยังเป็นตัวชี้วัดที่จะแสดงถึงโครงการดังกล่าว ยังไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนในปัจจุบั น โดยมีสาเหตุหลักจากการลง ทุนของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น มีมูลค่าที่สูงมาก เนื่องจากจะต้องมีการดำเนินการต่างๆในพื้นที่มหาสมุทร ส่งผลให้การดำเนินการสามารถที่จะทำได้ยากลำบากกว่าการดำเนินการบนชายฝั่ง ประกอบกับความไม่แน่นอนของสภาวะคลื่นทะเลที่เกิดขึ้นและข้อจำกัดของเทคโนโลยีในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นในปัจจุบัน

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น และการป้องกันการกัดเซาะ กรณีศึกษาที่อ่าวไทย โดยจะมีการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ ซึ่งจะประกอบ 2 ส่วน คือ การประเมินทา งด้านพลังงาน และการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการลงทุน โดยในส่วนของการประเมินทางด้านพลังงานนั้น จะเป็นการประเมินของการผลิตไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือน ซึ่งจะมีอัตราการผลิตที่แตกต่างกัน จะขึ้นอยู่กับฤดูกาล ส่วนการวิเคราะห์ประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์นั้น จะเป็ นการประเมินเพื่อวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการ โดยใช้ดัชนีชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ คือ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit Cost Ratio : BCR)

จากการศึกษา สามารถสรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้

6.1.1 การเลือกพื้นที่กรณีศึกษา

จากเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ ทำให้สรุปได้ว่าพื้นที่ที่เหมาะสำหรับติดตั้งอุปกรณ์แปล ง พลังงานคลื่น คือ พื้นที่บริเวณ ทุ่นสงขลา เนื่องจาก พิจารณาในข้อมูลกายภาพเบื้องต้น ในขั้นแรกพิจารณาจาก ระดับความลึก ซึ่งเป็นระดับความลึกแบบ (Offshore) โดยมีระดับความลึก 35 เมตร และพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมกับประเทศไทยทางฝั่งอ่าวไทยมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่เคยมีการติดตั้งทุ่นตรวจวัดอื่นบริเวณพื้นที่อื่น เนื่องจากชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบนตั้งแต่หัวหินจนถึงสัตหีบ มีลักษณะทะเลปิด ส่งผลให้ชายฝั่งดังกล่าวไม่เปิดรั บคลื่นจากทะเลจีนใต้โดยตรง เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศเป็นอ่าว ซึ่งมีความแตกต่างกับทางด้านอ่าวไทยตอนล่างตั้งแต่หัวหินลงไปถึงนราธิวาส โดยบริเวณพื้นที่สงขลาจะได้รับอิทธิพลของคลื่นจากมหาสมุทรอินเดียและทะเลจีนใต้โดยตรง ส่งผลให้มีโอกาสเกิดคลื่นที่มีศักยภาพมาก กว่าโดยจะมีคลื่นและคาบคลื่นที่สูง เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น โดยในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน พื้นที่ดังกล่าวจะมีศักยภาพของคลื่นที่ค่อนข้างสูงกว่าช่วงเดือนอื่น ในเดือนมกราคมจะมีศักยภาพของคลื่นสูงที่สุด

ส่วนเงื่อนไขในการเลือกพื้นที่ สำหรับการลงทุนผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้น จะต้องเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพคลื่นที่ดีเกิดขึ้นตลอดเวลา อยู่ใกล้กับท่าเรือที่มีระดับความลึกและมีโครงสร้างพื้นฐานสนับสนุนในด้านการจับเก็บชิ้นส่วนของอุปกรณ์และการดำเนินการซ่อมบำรุงของอุปกรณ์ อยู่ใกล้สายส่งไฟฟ้า เป็นต้น

6.1.2 การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่น

ปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่ได้จากคำนวณด้วยตาราง Scatter plot ในแต่ละเดือนของพื้นที่บริเวณสงขลา โดยในช่วงเดือนมกราคมจนถึงเดือนมีนาคมของพื้นที่ดังกล่าวจะสามารถผลิตปริมาณไฟฟ้าได้ค่อนข้างสูง เนื่องจากศักยภาพของคลื่นในช่วงเดือนดังกล่าวสูงกว่าในช่วงเดือนอื่น ส่งผลให้อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถผลิตไฟฟ้าได้มีประสิทธิภาพ ส่วน ในช่วงเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนกันยายน อุป กรณ์ดังกล่าวไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ เนื่องจากเป็นช่วงที่พื้นที่ดังกล่าวมีสภาวะคลื่นทะเลที่สงบ ส่งผลให้ระดับความสูงคลื่นและคาบคลื่นของพื้นที่ดังกล่าวเกิดขึ้นในระดับต่ำกว่าช่วงเดือนอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงาน คลื่น โดยเทียบกับตาราง Scatter plot จึงทำให้ไม่สามารถคำนวณปริมาณไฟฟ้าในช่วงเดือนดังกล่าวได้ โดยในระยะเวลา 1 ปี บริเวณพื้นที่ดังกล่าวสามารถผลิตไฟฟ้าจากคลื่นทะเลได้เพียง 129.02 เมกกะวัตต์.ชั่วโมง ซึ่งเป็นการผลิตไฟฟ้าได้น้อยมากและบางเดือนของการติดตั้งอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้น ไม่สามารถที่จะผลิตไฟฟ้าได้เลย ซึ่งเป็นการลงทุนที่ไม่เกิดประโยชน์ เมื่อเทียบกับประเทศผู้นำทางด้านเทคโนโลยีของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้น กำลังการผลิตที่เกิดขึ้นของฝั่งอ่าวไทยยังมีปริมาณน้อยมาก ส่งผลให้ โครงการดังกล่าวไม่เกิดความคุ้มค่าในเชิงเทคนิค

6.1.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ ของโครงการโดยการสมมติฐานว่าถ้าพื้นที่อ่าวไทยตอนล่างนั้นมีความสูงคลื่นและคาบคลื่นที่มีศักยภาพที่ดีเหมือน ต่างประเทศ แสดงว่าอย่างน้อยที่สุด Capacity factor จะต้องมีค่า 20% ถึงแม้ว่าถ้าโครงการดังกล่าวมีความคุ้มค่าเชิงเทคนิค แต่ก็ยังไม่สามารถทำให้เกิดความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ได้เนื่องจากการวิเคราะห์ตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์คือ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนและมูลค่าปัจจุบันสุทธิ โดยที่ผลการวิเคราะห์พบว่า อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน มีค่าต่ำกว่า 1 และมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่า

ติดลบ ส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนไม่สามารถหาค่าได้ แสดงถึงโครงการดังกล่าวไม่มีความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ เนื่องมาจากค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรนั้นมีค่าใช้จ่ายที่ สูงมาก เมื่อเทียบกับการก่อสร้างหรือติดตั้งอุปกรณ์บนบก ประกอบกับความไม่แน่นอนของทรัพยากรคลื่นที่เกิดขึ้น ดังนั้น การวิเคราะห์เพื่อที่จะทำให้โครงการดังกล่าวเกิดความเป็นไปได้นั้นจะต้องทำให้อัตรส่วนผลประโยชน์ต่อการลงทุนมีค่าเท่ากับ 1 จะพบว่าต้องขายไฟฟ้าให้กับก ารไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในราคาถึง 33.17 บาทต่อหน่วย ถึงจะทำให้โครงการดังกล่าวเกิดความคุ้มค่าในการลงทุน เมื่อเปรียบเทียบกับราคาที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาครับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตในปัจจุบันมีราคาเพียง 2.56 บาทต่อหน่วย ดังนั้น รัฐบาลจะต้องสนับสนุนส่วนเพิ่ม อัตรารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนถึง 30.61 บาทต่อหน่วย

6.1.4 การป้องกันการกัดเซาะด้วยอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นพิลามิส

จากการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่า อุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า พิลามิส (Pelamis) ในงานวิจัยนี้ไม่สามารถที่จะช่วยในการป้องกันการกัดเซาะได้ เนื่องจากรูปแบบของการติดตั้งดังกล่าวเป็นแบบนอกชายฝั่ง (Offshore) ซึ่งมีระยะห่างจากชายฝั่งมากเกินไป จึงไม่สามารถที่จะช่วยลดพลังงานคลื่นที่เคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งได้ แต่รูปแบบดังกล่าวจะมีศักยภาพของคลื่ นที่ดีกว่ารูปแบบของการติดตั้งอุปกรณ์แบบใกล้ชายฝั่ง (Nearshore) และบนชายฝั่ง (Onshore) ในการป้องกันการกัด เซาะชายฝั่งจะต้องใช้รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์บนชายฝั่ง (Offshore) และใกล้ชายฝั่ง (Nearshore) เพื่อที่จะให้อุปกรณ์สามารถลดแรงของคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าสู่ช ายฝั่งได้ แต่ศักยภาพคลื่นของรูปแบบการติดตั้งดังกล่าวนั้นจะมีศักยภาพคลื่นที่ต่ำและไม่เหมาะสมต่อการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน

ในอนาคตถ้ามีอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบที่ติดตั้งบนชายฝั่ง (Onshore) และใกล้ชายฝั่ง (Nearshore) ได้นั้น จะทำให้อุปกร ณ์ที่ติดตั้งรูปแบบ ดังกล่าวสามารถที่จะผลิตไฟฟ้า ได้อย่างต่อเนื่อง และยังสามารถที่จะลดแรงของคลื่นที่จะเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่ง ทำให้เป็นการป้องกันการกัดเซาะทางหนึ่งด้วย ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการใช้ประโยชน์จากการแปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

6.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. จากงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น และป้องกันการกัดเซาะ โดยจะเน้นไปที่การวิเคราะห์ในด้านการลงทุน ส่วนการป้องกันการกัดเซาะนั้น เปรียบเสมือนผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นจากการลงทุนการผลิตไฟฟ้า โดยสามารถนำไปศึกษาต่อได้ในอนาคต ถ้ามีการพัฒนาอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นของพื้นที่บริเวณใกล้ชายฝั่ง (Near shore) และพื้นที่บนชายฝั่ง (On shore)

2. รัฐบาลควรที่จะส่งเสริมการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากแห ล่งพลังงานหมุนเวียนเพิ่มมากขึ้น ในประเทศ เพื่อเป็นการลดการใช้เชื้อเพลิงธรรมชาติที่มีแนวโ น้มที่น้อยลงจนกระทั่งหมดไปในอนาคต โดยจะต้องมีการสนับสนุนในด้านต่างๆดังนี้

- ประกันราคาขายไฟฟ้าให้คงที่ตลอดอายุโครงการของผู้ลงทุนแบบ Feed in tariff เพื่อเป็นการรับประกันสำหรับราคารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน จากรัฐบาลเป็นการสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้ลงทุน โดยมีการรับประกันราคาขายไฟฟ้าคงที่ตลอดอายุของโครงการที่ลงทุนเพื่อสามารถวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนจากพลังงานดังกล่าวได้เบื้องต้น และเป็นการสนับสนุนให้มีผู้ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนให้มากขึ้น เพื่อเป็นการกระตุ้นให้เกิดการใช้แก๊สธรรมชาติ และถ่านหินให้ลดลง ซึ่งจะทำให้มลพิษที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมลดลงไปด้วย
- มีการพัฒนาเทคโนโลยีและส่งเสริมการวิจัยการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนต่างๆให้มากขึ้น เพื่อในอนาคตสามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับประเทศไทย
- ควรปลูกฝังที่จะสร้างจิตสำนึกให้ ประชาชนเห็นความสำคัญและคุณค่าของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน
- ส่งเสริมให้มีการพัฒนาด้านการผลิตอุปกรณ์การแปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ภายในประเทศ เพราะว่า อุปกรณ์ดังกล่าวมีต้นทุนที่สูง ถ้าเกิดในอนาคตประเทศไทยสามารถพัฒนาศักยภาพทางด้านอุปก รณ์ดังกล่าว ให้มีผู้ผลิตภายในประเทศได้ จะทำให้ต้นทุนดังกล่าวนั้นมีราคาต้นทุนที่ต่ำลง ดังนั้น จึงเป็นแรงดึงดูดให้ผู้ที่สนใจในการลงทุนด้านพลังงานหมุนเวียนในประเทศให้มีเพิ่มมากขึ้น

3. จากกรณีศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษาเน้นเฉพาะแนวชายฝั่งทางด้านอ่าวไทย หากต้องการนำแบบจำลองนี้ไปใช้วิเคราะห์สำหรับการลงทุนในอนาคต ควรจะต้องปรับข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองโดยอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านพื้นที่ในการศึกษา รวมทั้ง

แบบจำลองทางด้านการลงทุน เพื่อให้เหมาะสมต่อสภาพของช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ผลการวิจัยที่ได้นั้นมีความแม่นยำมากขึ้น

4. ในการลงทุนสำหรับการแปลงพลังงานคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า รัฐบาลจะต้องสนับสนุนในการลงทุนให้เกิดขึ้น เนื่องจากเป็นการกระตุ้นนโยบายของการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สะอาดลดการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังสามารถที่จะช่วยชะลอปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งที่เกิดขึ้นได้ ถ้าในอนาคตมีอุปกรณ์ที่สามารถจะผลิตไฟฟ้าในช่วงของคาบคลื่นและความสูงคลื่นในระดับปานกลาง ที่ ติดตั้งอยู่บริเวณใกล้ชายฝั่งโดยช่วงของการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมกับประเทศไทย 0.5 – 1.0 เมตร จะทำให้ปริมาณการผ ลิตไฟฟ้าเกิดขึ้นได้มากขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวของจำนวนชั่วโมงคลื่นของพื้นที่อ่าวไทยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงของความสูงคลื่นดังกล่าว ประกอบกับในเรื่องของการลงทุน ถ้าค่าใช้จ่ายในการลงทุนนั้นลดลง เนื่องจากการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีที่เพิ่มขึ้น ประกอบกับปริมาณการผลิ ตไฟฟ้าที่อาจจะทำได้ดีขึ้นกว่าปัจจุบัน ซึ่งนำไปสู่ความคุ้มค่าในการลงทุนต่อไปก็เป็นได้

5. การที่จะทำให้การลงทุนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้นเกิดความคุ้มค่าจะต้องคำนึงถึงต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีดังกล่าวและปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยในอนาคตได้มีก ารคาดการณ์ถึงเทคโนโลยีของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นนั้นมีแนวโน้มที่จะลดลง เนื่องจากการแข่งขันทางด้านอุตสาหกรรมในการผลิตอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานมากขึ้น ประกอบกับการพัฒนาถึงประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าให้ดียิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

รายการอ้างอิง

[1] คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, สำนักงาน. พลังงานและทางเลือกการใช้เชื้อเพลิงในประเทศไทย. [ออนไลน์]. 2542. แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th/doc/doc-AlterFuel.html [11 มิถุนายน 2554]

[2] ดุสิต เครืองาม. พัฒนาศักยภาพพลังงานเพื่อไทย. วารสารสื่อพลัง, 2546

[3] มยุรพันธุ์ สัจจกุลนุกูล. พลังงานจากทะเล/มหาสมุทร. จดหมายข่าวพลังงาน, 2542.

[4] Pelc, R. and Fujita, R.M. Renewable energy from ocean. Marine Policy, 2002.

[5] Falcao, A.F. Wave energy ultilization : A review of the technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010.

[6] Bahaj, A.S. Generating electricity from the oceans. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011

[7] Frey Boyle, G. Renewable Energy. Oxford, 2005.

[8] Letcher, T.M. Future Energy. Elselvier, 2008.

[9] Hirokawa, K. Coastal Engineering. University Of Tokyo Press, 1987

[10] สนิท แก้วหนองแสง. คลื่นนิ่งและการสั่นพ้อง.[ออนไลน์].2550. แหล่งที่มา : http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/284/6/wave/standing.html [14 ตุลาคม 2554].

[11] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. สรุปข้อมูลทุ่นประจำปี 2537-2538. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2546.

[12] Kanbua, W., Supharatid, S. and Tang, I. Ocean Wave Forecasting in the Gulf of Thailand during Typhoon Linda 1997 : WAM and Neural Network Approaches, ScienceAsia. Vol.31,2005

[13] Thorpe, T.W. Brief Review of Wave Energy. A report produced for The UK Department of Trade and Industry. 1999.

[14] EPRI. Offshore Wave Energy Conversion Devices. Electricity Innovation Institute. 2004.

[15] ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และจันทนา จันทโร. การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการด้านธุรกิจและอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

[16] กรกฎ ใยบัวเทศ., วัชระ ทองงอก และคมกฤต เล็กสกุล. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม: สำนักพิมพ์ท้อป, 2549.

[17] เทิดศักดิ์ ทองคำธรรมชาติ. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าจากการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

[18] วนัช แก้วโกมินทร์. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการนำพลังงานไฮโดรเจนมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงรถยนต์ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ คณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

[19] Tatu, G.A. and Lazar, P.D. Using wave energy for protecting the sea-shore and sea-water Depollution. Pergamon. Vol5:1467-1469, 1994.

[20] Leijon, M., Bernhoff, H., Berg, M. and Agren, M. Economical considerations of renewable electric energy production—especially development of wave energy. Renewable energy, 2003.

[21] Harrison, G.P. and Wallace, R. Sensitivity of Wave Energy to Climate Change. IEEE, 2005.

[22] Vining, J.G. and Muetze, A.. Economic Factors and Incentives for Ocean Wave Energy Conversion. IEEE, 2005.

[23] Zhang, D., Li, W. and Lin, Y. Wave energy in China: Current status andperspectives. Renewable Energy, 2009.

[24] Dunnett, D. and Wallace, J.S.. Electricity generation from wave power in Canada. Renewable Energy, 2009.

[25] Dalton, G.J., Alcon, R. and Lewis, T. Case study feasibility analysis of the pelamis wave energy converter in Ireland, Portugal and North America. Renewable Energy, 2010

[26] Dalton, G.J., Alcorn, R. and Lewis, T. A 10 year installation program for wave energy in Ireland : A case study sensitivity analysis on financial returns. Renewable Energy, 2012.

[27] saket, A. and Etemad-Shahidi, A. Wave energy potential along the northern coasts of the Gulf of Oman, Iran. Renewable Energy, 2012

[28] ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน. พื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนบน. [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา : http://www.mcrc-upper.go.th/?page_id=2. [5 ตุลาคม 2555].

[29] กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.[ออนไลน์]. 2551 ยุทธศาสตร์การจัดการป้องกันและแก้ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง. http://www.dmcr.go.th/elibrary/ebookdetail .php?book_id=00041. [20 ธันวาคม 2555].

[30]อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์, ชัยพันธุ์ รักวิจัย และบุศวรรณ บิดร. สภาพอุทกศาสตร์และชายฝั่งทะเล. โครงการการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นการทำแนวป้องกันคลื่นการกัดเซาะชายฝั่ง ป้อมพระจุลจอมเกล้า.2554.

[31]พะยอม รัตนมณี, คณึงนิตย์ ลิ่มจิรขจร และวิสุทธิ์ โชติกเสถียร. การป้องกันแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งแบบบูรณาการ. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2551.

[32] Bodge, K. Shore protection trough alternative energy devices. Olsen. 2000.

[33] กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง . [ออนไลน์]. 2552. แนวทางและรูปแบบการแก้ไขการกัดเซาะชายฝั่ง .http://www.dmcr.go.th/marinecenter/erosion-lesson4.php. [9 ธันวาคม 2555].

[34] สมปรารถ ฤทธิ์พริ้ง. พลังงานคลื่น . วิศวกรรมสาร,2553

[35] Our energy. Oceanenergy [Online]. 2011. Available from : http://www.ourenergy.com.html.[2011, March 12]

[36] MIT News, Deep-sea oil rigs inspire MIT designs for giant wind turbines. [Online]. 2006. Available from : http://web.mit.edu/newsoffice/2006/wind.html. [2010, January 24]

[37] World Colleges Information. Tidal Energy [Online]. 2008. Available from : http://www.worldcolleges.info/Science-Tech/tidal-barrages.php. [2011, October 2]

[38] Pelamis Converter Project. Wave energy converter [Online]. 2011. Available from : arboldesign.com/ecologia/?p=5 [11, December 2011].

[39] E-On, Harnessing energy from our oceans. [Online]. 2010. Available from : http://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCQQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.eonuk.com%2Fdownloads%2F12492_MARINE_BROCHURE_PDF_AW.pdf&ei=MbNpUOnKGeuciAfQxYDIBw&usg=AFQjCNHeqhfctWpGJ2M_XsCr9vZs-Ctbsw [2011, May 25]

[40]Oregon Wave Energy Trust, EPRI Wave energy technology assessment. [Online]. 2009. Available from : http://www.oregonwave.org/wp- content/ uploads/Task-2.1.1-EPRI-Wave-Energy-Tech-Assessment-2009.pdf. [2011, November 25]

[41] EPRI. System Level Design, Performance and Costs for San Francisco California Pelamis Offshore Wave Power Plant [Online]. 2004. http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Front/PublicHearing/PublicHearingDetail.aspx?rid=101&muid=1&prid=6.

[42]ธนาคารแห่งประเทศไทย. เครื่องชี้เศรษฐกิจมหภาคของไทย.[ออนไลน์]. 2555. http://www2 . bot.or.th/statistics/ReportPage.aspx?reportID=409 &language=th. [10 ธันวาคม 2555].

[43]ธนาคารแห่งประเทศไทย. อัตราแลกเปลี่ยนธนาคารพาณิชย์.[ออนไลน์]. 2555 http://www.bot.or.th/Thai/Statistics/FinancialMarkets/ExchangeRate/_layouts/Application /Exchange Rate/ExchangeRate.aspx. [10 ธันวาคม 2555].

[44]มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน. [ออนไลน์]. 2554. http://www.efe.or.th/datacenter/ ckupload/files/ 1Policy%20Part%202.pdf . [9 ตุลาคม 2555]

[45] ทัศนียา เพชรชูและจอมภพ แววศักดิ์. <u>การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของฟาร์มกังหันลมขนาด 8.75 เมกกะวัตต์ บริเวณเขาพระบาท อ.หัวไทร จ.นครศรีธรรมราช</u>. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2551.

[46]องค์การบริหารจัดการ ก๊าซเรือนกระจก . <u>ตลาดคาร์บอน</u> .[ออนไลน์]. 2555. http://carbonmarket.tgo.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=241%3A20- 24--55& catid= 35%3Acarbon-market-weeklyItemid=53&lang =th&php MyAdmin=7b744b53c6882c66f22f687f95407085. [10 ธันวาคม 2555].

[47] พงศักดิ์ เสริมสาธนสวัสดิ์. <u>วิศวกรรมชายฝั่งทะเล</u>. กรุงเทพมหานคร :ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์, 2529.

[48]คลังข้อมูลสภาพน้ำ . <u>แผนภาพความสูงและทิศทางของคลื่นทะเล</u> .[ออนไลน์]. 2555. http://www.thaiwater.net/web/index.php/weatherinfo.html. [10 ธันวาคม 2555].

[49]การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. <u>รายงานประจำปี 2554</u>. [ออนไลน์]. 2555. http://www.egat.co.th/index. php?option=com_content&view=category&id =184&layout=blog. [11 ธันวาคม 2555].

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลคลื่นของพื้นที่สงขลา

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลคลื่นของพื้นที่สงขลา ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (เมตร) และคาบคลื่น (วินาที)

วัน:เวลา	**ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (เมตร)**	**คาบคลื่น (วินาที)**
2011-01-01:00	1.1	6.3
2011-01-01:03	1.2	6.3
2011-01-01:06	1.2	6.93
2011-01-01:09	1.3	6.93
2011-01-01:12	1.2	6.93
2011-01-01:15	1.2	6.93
2011-01-01:18	1.2	6.93
2011-01-01:21	1.2	6.93
2011-01-02:00	1	6.3
2011-01-02:03	1	6.3
2011-01-02:06	1	6.3
2011-01-02:09	1	6.3
2011-01-02:12	1	6.3
2011-01-02:15	1	6.3
2011-01-02:18	1	6.3
2011-01-02:21	1	6.3
2011-01-03:00	1.2	6.3
2011-01-03:03	1.2	6.3
2011-01-03:06	1.2	6.3
2011-01-03:09	1.2	6.3
2011-01-03:12	1.2	6.3
2011-01-03:15	1.2	6.3
2011-01-03:18	1.3	6.93
2011-01-03:21	1.4	6.93
2011-01-04:00	0.7	6.93

2011-01-04:03	0.7	6.93
2011-01-04:06	0.8	6.93
2011-01-04:09	1	6.3
2011-01-04:12	1.3	6.3
2011-01-04:15	1.6	7.63
2011-01-04:18	1.8	7.63
2011-01-04:21	1.9	8.39
2011-01-05:00	1.3	6.93
2011-01-05:03	1.4	6.93
2011-01-05:06	1.5	7.63
2011-01-05:09	1.6	7.63
2011-01-05:12	1.7	7.63
2011-01-05:15	1.7	7.63
2011-01-05:18	1.7	7.63
2011-01-05:21	1.7	7.63
2011-01-06:00	1.5	6.93
2011-01-06:03	1.6	6.93
2011-01-06:06	1.6	7.63
2011-01-06:09	1.5	7.63
2011-01-06:12	1.4	6.93
2011-01-06:15	1.4	6.93
2011-01-06:18	1.4	6.93
2011-01-06:21	1.5	6.93
2011-01-07:00	1.6	6.93
2011-01-07:03	1.6	7.63
2011-01-07:06	1.5	7.63
2011-01-07:09	1.5	7.63
2011-01-07:12	1.4	7.63
2011-01-07:15	1.3	7.63

2011-01-07:18	1.2	7.63
2011-01-07:21	1.2	7.63
2011-01-08:00	1.3	6.93
2011-01-08:03	1.4	6.93
2011-01-08:06	1.4	7.63
2011-01-08:09	1.5	7.63
2011-01-08:12	1.5	7.63
2011-01-08:15	1.5	7.63
2011-01-08:18	1.5	6.93
2011-01-08:21	1.4	6.93
2011-01-09:00	1.3	6.93
2011-01-09:03	1.3	6.93
2011-01-09:06	1.2	6.93
2011-01-09:09	1.2	6.93
2011-01-09:12	1.1	6.93
2011-01-09:15	1.1	6.93
2011-01-09:18	1	6.93
2011-01-09:21	1	6.93
2011-01-10:00	0.7	7.63
2011-01-10:03	0.7	7.63
2011-01-10:06	0.6	7.63
2011-01-10:09	0.6	7.63
2011-01-10:12	0.6	7.63
2011-01-10:15	0.6	7.63
2011-01-10:18	0.6	7.63
2011-01-10:21	0.6	7.63
2011-01-11:00	0.6	7.63
2011-01-11:03	0.6	7.63
2011-01-11:06	0.6	7.63

2011-01-11:09	0.6	7.63
2011-01-11:12	0.6	7.63
2011-01-11:15	0.6	7.63
2011-01-11:18	0.6	8.39
2011-01-11:21	0.6	8.39
2011-01-12:00	0.6	7.63
2011-01-12:03	0.5	7.63
2011-01-12:06	0.5	7.63
2011-01-12:09	0.5	7.63
2011-01-12:12	0.5	6.3
2011-01-12:15	0.5	6.3
2011-01-12:18	0.5	7.63
2011-01-12:21	0.5	8.39
2011-01-13:00	0.5	8.39
2011-01-13:03	0.5	8.39
2011-01-13:06	0.5	8.39
2011-01-13:09	0.5	8.39
2011-01-13:12	0.6	8.39
2011-01-13:15	0.6	8.39
2011-01-13:18	0.6	8.39
2011-01-13:21	0.6	8.39
2011-01-14:00	0.7	8.39
2011-01-14:03	0.7	7.63
2011-01-14:06	0.7	7.63
2011-01-14:09	0.7	7.63
2011-01-14:12	0.7	6.93
2011-01-14:15	0.6	6.93
2011-01-14:18	0.6	7.63
2011-01-14:21	0.6	7.63

2011-01-15:00	0.7	6.3
2011-01-15:03	0.6	6.3
2011-01-15:06	0.6	6.3
2011-01-15:09	0.6	6.3
2011-01-15:12	0.6	6.93
2011-01-15:15	0.6	6.93
2011-01-15:18	0.6	6.93
2011-01-15:21	0.6	6.93
2011-01-16:00	0.7	6.3
2011-01-16:03	0.7	7.63
2011-01-16:06	0.8	4.74
2011-01-16:09	0.8	5.21
2011-01-16:12	0.9	5.73
2011-01-16:15	1	6.3
2011-01-16:18	1.1	6.93
2011-01-16:21	1.1	6.93
2011-01-17:00	1.1	6.3
2011-01-17:03	1.1	6.3
2011-01-17:06	1.1	6.3
2011-01-17:09	1	6.93
2011-01-17:12	1	6.93
2011-01-17:15	1	6.93
2011-01-17:18	1	6.93
2011-01-17:21	0.9	6.93
2011-01-18:00	1	6.3
2011-01-18:03	0.9	6.93
2011-01-18:06	0.9	6.93
2011-01-18:09	0.9	5.21
2011-01-18:12	0.9	6.3

2011-01-18:15	0.9	6.93
2011-01-18:18	0.8	6.93
2011-01-18:21	0.8	6.93
2011-01-19:00	0.8	6.93
2011-01-19:03	0.7	6.93
2011-01-19:06	0.7	6.93
2011-01-19:09	0.6	6.3
2011-01-19:12	0.6	6.3
2011-01-19:15	0.5	6.3
2011-01-19:18	0.5	6.3
2011-01-19:21	0.5	6.3
2011-01-20:00	0.5	9.23
2011-01-20:03	0.5	9.23
2011-01-20:06	0.5	9.23
2011-01-20:09	0.5	9.23
2011-01-20:12	0.5	9.23
2011-01-20:15	0.5	9.23
2011-01-20:18	0.4	8.39
2011-01-20:21	0.4	8.39
2011-01-21:00	0.5	8.39
2011-01-21:03	0.5	8.39
2011-01-21:06	0.5	8.39
2011-01-21:09	0.5	8.39
2011-01-21:12	0.4	8.39
2011-01-21:15	0.4	6.3
2011-01-21:18	0.5	6.3
2011-01-21:21	0.5	6.3
2011-01-22:00	0.6	4.31
2011-01-22:03	0.7	4.74

2011-01-22:06	0.9	5.21
2011-01-22:09	1.1	6.3
2011-01-22:12	1.1	6.93
2011-01-22:15	1.1	6.93
2011-01-22:18	1.2	6.93
2011-01-22:21	1.2	6.93
2011-01-23:00	1.1	6.3
2011-01-23:03	1.1	6.3
2011-01-23:06	1.2	6.3
2011-01-23:09	1.2	6.3
2011-01-23:12	1.3	6.93
2011-01-23:15	1.2	6.93
2011-01-23:18	1.2	6.93
2011-01-23:21	1.1	6.93
2011-01-24:00	1.2	6.93
2011-01-24:03	1.2	6.93
2011-01-24:06	1.3	6.93
2011-01-24:09	1.4	6.93
2011-01-24:12	1.5	7.63
2011-01-24:15	1.6	7.63
2011-01-24:18	1.6	7.63
2011-01-24:21	1.6	7.63
2011-01-25:00	1.7	6.93
2011-01-25:03	1.8	7.63
2011-01-25:06	1.9	7.63
2011-01-25:09	1.9	7.63
2011-01-25:12	1.8	7.63
2011-01-25:15	1.6	7.63
2011-01-25:18	1.5	7.63

2011-01-25:21	1.5	7.63
2011-01-26:00	1.7	6.93
2011-01-26:03	1.8	7.63
2011-01-26:06	1.9	7.63
2011-01-26:09	1.9	8.39
2011-01-26:12	1.9	8.39
2011-01-26:15	1.9	8.39
2011-01-26:18	2	8.39
2011-01-26:21	2.1	8.39
2011-01-27:00	1.7	7.63
2011-01-27:03	1.8	7.63
2011-01-27:06	1.8	7.63
2011-01-27:09	1.7	7.63
2011-01-27:12	1.5	7.63
2011-01-27:15	1.4	7.63
2011-01-27:18	1.4	7.63
2011-01-27:21	1.3	6.93
2011-01-28:00	1.8	7.63
2011-01-28:03	1.9	7.63
2011-01-28:06	1.9	7.63
2011-01-28:09	1.8	7.63
2011-01-28:12	1.8	7.63
2011-01-28:15	1.8	7.63
2011-01-28:18	1.8	7.63
2011-01-28:21	1.9	7.63
2011-01-29:00	2.1	7.63
2011-01-29:03	2.2	8.39
2011-01-29:06	2.2	8.39
2011-01-29:09	2.1	8.39

2011-01-29:12	2.1	8.39
2011-01-29:15	2	8.39
2011-01-29:18	2	7.63
2011-01-29:21	2	7.63
2011-01-30:00	2	8.39
2011-01-30:03	2.1	8.39
2011-01-30:06	2.1	8.39
2011-01-30:09	2.1	8.39
2011-01-30:12	2	8.39
2011-01-30:15	2	8.39
2011-01-30:18	1.9	8.39
2011-01-30:21	1.8	8.39
2011-01-31:00	1.5	7.63
2011-01-31:03	1.5	7.63
2011-01-31:06	1.5	7.63
2011-01-31:09	1.5	7.63
2011-01-31:12	1.5	7.63
2011-01-31:15	1.5	7.63
2011-01-31:18	1.5	7.63
2011-01-31:21	1.5	7.63
2011-02-01:00	1.6	6.93
2011-02-01:03	1.6	7.63
2011-02-01:06	1.5	7.63
2011-02-01:09	1.4	7.63
2011-02-01:12	1.4	7.63
2011-02-01:15	1.4	7.63
2011-02-01:18	1.3	7.63
2011-02-01:21	1.3	6.93
2011-02-02:00	1.4	6.3

2011-02-02:03	1.4	6.93
2011-02-02:06	1.4	6.93
2011-02-02:09	1.4	6.93
2011-02-02:12	1.4	6.93
2011-02-02:15	1.4	7.63
2011-02-02:18	1.4	6.93
2011-02-02:21	1.4	6.93
2011-02-03:00	1.2	6.93
2011-02-03:03	1.2	6.3
2011-02-03:06	1.2	6.3
2011-02-03:09	1.1	6.93
2011-02-03:12	1	6.93
2011-02-03:15	1	6.93
2011-02-03:18	1	6.93
2011-02-03:21	1	6.93
2011-02-04:00	0.9	6.93
2011-02-04:03	0.9	6.93
2011-02-04:06	0.9	6.93
2011-02-04:09	0.9	6.3
2011-02-04:12	0.9	6.3
2011-02-04:15	0.9	6.3
2011-02-04:18	0.9	6.3
2011-02-04:21	0.9	5.73
2011-02-05:00	0.9	5.73
2011-02-05:03	0.9	5.73
2011-02-05:06	0.9	5.73
2011-02-05:09	0.8	5.73
2011-02-05:12	0.8	5.21
2011-02-05:15	0.8	5.21

2011-02-05:18	0.8	5.21
2011-02-05:21	0.8	5.21
2011-02-06:00	0.8	5.73
2011-02-06:03	0.8	5.73
2011-02-06:06	0.8	5.73
2011-02-06:09	0.8	5.73
2011-02-06:12	0.8	5.73
2011-02-06:15	0.7	5.73
2011-02-06:18	0.7	5.73
2011-02-06:21	0.6	5.73
2011-02-07:00	0.7	5.73
2011-02-07:03	0.7	5.73
2011-02-07:06	0.7	5.73
2011-02-07:09	0.6	5.73
2011-02-07:12	0.6	5.73
2011-02-07:15	0.6	6.93
2011-02-07:18	0.6	6.93
2011-02-07:21	0.5	6.93
2011-02-08:00	0.5	6.93
2011-02-08:03	0.5	6.93
2011-02-08:06	0.5	6.93
2011-02-08:09	0.5	6.3
2011-02-08:12	0.4	6.3
2011-02-08:15	0.4	6.3
2011-02-08:18	0.4	6.3
2011-02-08:21	0.4	6.3
2011-02-09:00	0.4	6.3
2011-02-09:03	0.4	6.3
2011-02-09:06	0.3	6.3

2011-02-09:09	0.3	5.73
2011-02-09:12	0.4	5.73
2011-02-09:15	0.4	3.56
2011-02-09:18	0.4	3.91
2011-02-09:21	0.4	4.31
2011-02-10:00	0.4	3.91
2011-02-10:03	0.4	3.91
2011-02-10:06	0.4	3.91
2011-02-10:09	0.4	3.91
2011-02-10:12	0.4	3.91
2011-02-10:15	0.4	3.91
2011-02-10:18	0.4	3.91
2011-02-10:21	0.4	3.91
2011-02-11:00	0.4	3.91
2011-02-11:03	0.3	3.91
2011-02-11:06	0.3	3.56
2011-02-11:09	0.3	3.56
2011-02-11:12	0.3	3.56
2011-02-11:15	0.4	3.56
2011-02-11:18	0.4	3.56
2011-02-11:21	0.4	3.56
2011-02-12:00	0.5	3.56
2011-02-12:03	0.5	3.91
2011-02-12:06	0.5	3.91
2011-02-12:09	0.4	3.91
2011-02-12:12	0.5	3.91
2011-02-12:15	0.5	3.91
2011-02-12:18	0.5	3.91
2011-02-12:21	0.5	3.91

2011-02-13:00	0.5	3.91
2011-02-13:03	0.5	3.91
2011-02-13:06	0.5	3.91
2011-02-13:09	0.5	3.91
2011-02-13:12	0.5	3.91
2011-02-13:15	0.5	3.91
2011-02-13:18	0.5	3.91
2011-02-13:21	0.5	3.91
2011-02-14:00	1	5.73
2011-02-14:03	1	5.73
2011-02-14:06	1	5.73
2011-02-14:09	1	5.73
2011-02-14:12	0.9	5.73
2011-02-14:15	0.9	5.73
2011-02-14:18	1	5.73
2011-02-14:21	1	6.3
2011-02-15:00	1	5.73
2011-02-15:03	1.1	5.73
2011-02-15:06	1.2	6.3
2011-02-15:09	1.2	6.3
2011-02-15:12	1.3	6.3
2011-02-15:15	1.3	6.3
2011-02-15:18	1.3	6.93
2011-02-15:21	1.3	6.93
2011-02-16:00	1	6.3
2011-02-16:03	1	6.3
2011-02-16:06	1	6.3
2011-02-16:09	1	6.3
2011-02-16:12	1	6.3

2011-02-16:15	1	6.3
2011-02-16:18	0.9	6.3
2011-02-16:21	0.9	6.3
2011-02-17:00	0.8	5.73
2011-02-17:03	0.8	5.73
2011-02-17:06	0.8	5.73
2011-02-17:09	0.8	5.73
2011-02-17:12	0.7	5.73
2011-02-17:15	0.7	5.73
2011-02-17:18	0.7	6.3
2011-02-17:21	0.6	6.3
2011-02-18:00	0.8	5.21
2011-02-18:03	0.8	5.21
2011-02-18:06	0.8	5.21
2011-02-18:09	0.8	5.73
2011-02-18:12	0.7	5.73
2011-02-18:15	0.7	5.73
2011-02-18:18	0.7	5.73
2011-02-18:21	0.7	5.73
2011-02-19:00	0.7	6.3
2011-02-19:03	0.7	6.3
2011-02-19:06	0.7	5.73
2011-02-19:09	0.8	5.21
2011-02-19:12	0.8	5.21
2011-02-19:15	0.8	5.73
2011-02-19:18	0.8	5.73
2011-02-19:21	0.8	5.21
2011-02-20:00	0.7	5.73
2011-02-20:03	0.7	5.73

2011-02-20:06	0.7	5.73
2011-02-20:09	0.7	5.73
2011-02-20:12	0.7	5.73
2011-02-20:15	0.7	5.21
2011-02-20:18	0.7	5.73
2011-02-20:21	0.7	5.73
2011-02-21:00	0.8	5.21
2011-02-21:03	0.8	5.21
2011-02-21:06	0.8	5.21
2011-02-21:09	0.8	5.73
2011-02-21:12	0.8	5.73
2011-02-21:15	0.9	5.73
2011-02-21:18	1	5.73
2011-02-21:21	1	6.3
2011-02-22:00	1.1	6.3
2011-02-22:03	1.1	6.3
2011-02-22:06	1.1	6.3
2011-02-22:09	1.1	6.3
2011-02-22:12	1.1	6.93
2011-02-22:15	1.1	6.93
2011-02-22:18	1.1	6.93
2011-02-22:21	1.1	6.93
2011-02-23:00	1.2	6.3
2011-02-23:03	1.2	6.3
2011-02-23:06	1.1	6.3
2011-02-23:09	1.1	6.3
2011-02-23:12	1	6.3
2011-02-23:15	1	6.3
2011-02-23:18	1	6.3

2011-02-23:21	1	6.3
2011-02-24:00	0.9	5.73
2011-02-24:03	0.9	5.73
2011-02-24:06	0.9	5.73
2011-02-24:09	0.9	5.73
2011-02-24:12	0.8	5.73
2011-02-24:15	0.8	5.73
2011-02-24:18	0.8	5.73
2011-02-24:21	0.8	5.73
2011-02-25:00	0.8	5.73
2011-02-25:03	0.8	5.21
2011-02-25:06	0.8	5.73
2011-02-25:09	0.8	5.73
2011-02-25:12	0.8	5.73
2011-02-25:15	0.8	5.73
2011-02-25:18	0.8	5.73
2011-02-25:21	0.8	5.21
2011-02-26:00	0.8	5.21
2011-02-26:03	0.8	5.21
2011-02-26:06	0.9	5.21
2011-02-26:09	0.9	5.73
2011-02-26:12	0.9	5.73
2011-02-26:15	0.9	5.73
2011-02-26:18	0.9	5.73
2011-02-26:21	0.9	5.73
2011-02-27:00	0.8	5.21
2011-02-27:03	0.8	5.21
2011-02-27:06	0.8	5.21
2011-02-27:09	0.7	5.21

2011-02-27:12	0.7	5.21
2011-02-27:15	0.7	5.21
2011-02-27:18	0.7	5.21
2011-02-27:21	0.6	5.73
2011-02-28:00	0.7	5.73
2011-02-28:03	0.7	5.73
2011-02-28:06	0.6	5.73
2011-02-28:09	0.6	6.3
2011-02-28:12	0.6	6.3
2011-02-28:15	0.5	6.3
2011-02-28:18	0.5	6.3
2011-02-28:21	0.5	6.3
2011-03-01:00	0.5	6.3
2011-03-01:03	0.5	6.3
2011-03-01:06	0.5	6.3
2011-03-01:09	0.5	6.3
2011-03-01:12	0.5	6.3
2011-03-01:15	0.4	6.3
2011-03-01:18	0.4	6.3
2011-03-01:21	0.4	6.3
2011-03-02:00	0.5	6.3
2011-03-02:03	0.5	6.3
2011-03-02:06	0.5	6.3
2011-03-02:09	0.5	6.93
2011-03-02:12	0.5	6.93
2011-03-02:15	0.5	6.93
2011-03-02:18	0.5	6.93
2011-03-02:21	0.4	6.93
2011-03-03:00	0.7	4.74

2011-03-03:03	0.7	4.74
2011-03-03:06	0.7	5.21
2011-03-03:09	0.6	5.21
2011-03-03:12	0.7	5.21
2011-03-03:15	0.6	5.21
2011-03-03:18	0.6	5.21
2011-03-03:21	0.6	6.93
2011-03-04:00	0.8	5.21
2011-03-04:03	0.8	5.21
2011-03-04:06	0.7	5.21
2011-03-04:09	0.7	5.21
2011-03-04:12	0.6	7.63
2011-03-04:15	0.5	7.63
2011-03-04:18	0.5	6.93
2011-03-04:21	0.5	6.93
2011-03-05:00	0.6	7.63
2011-03-05:03	0.6	7.63
2011-03-05:06	0.5	7.63
2011-03-05:09	0.5	7.63
2011-03-05:12	0.5	6.93
2011-03-05:15	0.5	7.63
2011-03-05:18	0.5	7.63
2011-03-05:21	0.5	7.63
2011-03-06:00	0.5	7.63
2011-03-06:03	0.5	7.63
2011-03-06:06	0.5	6.93
2011-03-06:09	0.5	6.93
2011-03-06:12	0.5	6.3
2011-03-06:15	0.5	6.3

2011-03-06:18	0.5	5.73
2011-03-06:21	0.5	5.73
2011-03-07:00	0.5	5.73
2011-03-07:03	0.5	5.73
2011-03-07:06	0.5	5.73
2011-03-07:09	0.5	5.73
2011-03-07:12	0.5	5.73
2011-03-07:15	0.5	5.21
2011-03-07:18	0.5	5.21
2011-03-07:21	0.5	4.74
2011-03-08:00	0.6	4.74
2011-03-08:03	0.6	4.74
2011-03-08:06	0.7	4.74
2011-03-08:09	0.7	5.21
2011-03-08:12	0.7	5.21
2011-03-08:15	0.7	5.21
2011-03-08:18	0.8	5.21
2011-03-08:21	0.8	5.21
2011-03-09:00	0.9	5.21
2011-03-09:03	1	5.21
2011-03-09:06	1.1	5.73
2011-03-09:09	1.2	6.3
2011-03-09:12	1.3	6.93
2011-03-09:15	1.3	6.93
2011-03-09:18	1.3	6.93
2011-03-09:21	1.3	6.93
2011-03-10:00	1.3	6.93
2011-03-10:03	1.4	6.93
2011-03-10:06	1.4	6.93

2011-03-10:09	1.4	6.93
2011-03-10:12	1.4	6.93
2011-03-10:15	1.4	6.93
2011-03-10:18	1.4	6.93
2011-03-10:21	1.4	6.93
2011-03-11:00	1.5	6.93
2011-03-11:03	1.5	6.93
2011-03-11:06	1.4	6.93
2011-03-11:09	1.4	6.93
2011-03-11:12	1.4	6.93
2011-03-11:15	1.3	6.93
2011-03-11:18	1.3	6.93
2011-03-11:21	1.3	6.93
2011-03-12:00	1.6	6.93
2011-03-12:03	1.6	6.93
2011-03-12:06	1.5	6.93
2011-03-12:09	1.5	6.93
2011-03-12:12	1.4	6.93
2011-03-12:15	1.4	6.93
2011-03-12:18	1.4	6.93
2011-03-12:21	1.4	6.93
2011-03-13:00	1.4	6.93
2011-03-13:03	1.4	6.93
2011-03-13:06	1.3	6.93
2011-03-13:09	1.3	6.93
2011-03-13:12	1.2	6.93
2011-03-13:15	1.2	6.93
2011-03-13:18	1.2	6.93
2011-03-13:21	1.2	6.3

2011-03-14:00	1	6.3
2011-03-14:03	1	6.3
2011-03-14:06	0.9	6.3
2011-03-14:09	0.9	6.3
2011-03-14:12	0.9	6.3
2011-03-14:15	0.8	6.3
2011-03-14:18	0.8	6.3
2011-03-14:21	0.8	6.3
2011-03-15:00	0.9	5.73
2011-03-15:03	0.9	5.73
2011-03-15:06	0.8	5.73
2011-03-15:09	0.8	5.73
2011-03-15:12	0.8	5.73
2011-03-15:15	0.8	5.73
2011-03-15:18	0.8	5.73
2011-03-15:21	0.8	5.73
2011-03-16:00	0.7	5.73
2011-03-16:03	0.7	5.73
2011-03-16:06	0.8	5.21
2011-03-16:09	0.8	5.21
2011-03-16:12	0.8	5.73
2011-03-16:15	0.8	5.73
2011-03-16:18	0.8	5.73
2011-03-16:21	0.8	5.73
2011-03-17:00	0.9	6.3
2011-03-17:03	0.9	6.3
2011-03-17:06	0.9	6.3
2011-03-17:09	0.8	6.3
2011-03-17:12	0.8	6.3

2011-03-17:15	0.8	6.3
2011-03-17:18	0.9	6.3
2011-03-17:21	0.9	6.3
2011-03-18:00	0.9	6.3
2011-03-18:03	0.9	6.3
2011-03-18:06	0.9	5.73
2011-03-18:09	0.8	5.73
2011-03-18:12	0.7	5.73
2011-03-18:15	0.7	5.73
2011-03-18:18	0.6	5.21
2011-03-18:21	0.6	5.21
2011-03-19:00	0.6	5.73
2011-03-19:03	0.6	5.73
2011-03-19:06	0.6	5.73
2011-03-19:09	0.7	5.73
2011-03-19:12	0.7	5.73
2011-03-19:15	0.7	5.73
2011-03-19:18	0.7	5.73
2011-03-19:21	0.7	5.73
2011-03-20:00	0.7	5.73
2011-03-20:03	0.7	5.73
2011-03-20:06	0.8	5.73
2011-03-20:09	0.7	5.73
2011-03-20:12	0.7	5.73
2011-03-20:15	0.7	5.73
2011-03-20:18	0.7	5.73
2011-03-20:21	0.7	5.73
2011-03-21:00	0.6	5.73
2011-03-21:03	0.6	5.73

2011-03-21:06	0.6	5.21
2011-03-21:09	0.6	5.21
2011-03-21:12	0.6	5.21
2011-03-21:15	0.6	5.73
2011-03-21:18	0.5	5.73
2011-03-21:21	0.5	5.73
2011-03-22:00	0.4	5.73
2011-03-22:03	0.4	5.73
2011-03-22:06	0.4	6.3
2011-03-22:09	0.4	5.73
2011-03-22:12	0.4	5.73
2011-03-22:15	0.5	5.73
2011-03-22:18	0.5	5.73
2011-03-22:21	0.6	5.73
2011-03-23:00	0.4	5.73
2011-03-23:03	0.5	5.73
2011-03-23:06	0.6	5.73
2011-03-23:09	0.6	4.74
2011-03-23:12	0.7	5.21
2011-03-23:15	0.7	5.21
2011-03-23:18	0.7	5.21
2011-03-23:21	0.8	5.21
2011-03-24:00	1.2	6.3
2011-03-24:03	1.1	6.3
2011-03-24:06	1	6.3
2011-03-24:09	0.9	6.3
2011-03-24:12	0.9	6.3
2011-03-24:15	0.9	6.3
2011-03-24:18	1	6.3

2011-03-24:21	1.1	6.3
2011-03-25:00	1.1	6.93
2011-03-25:03	1.1	6.93
2011-03-25:06	1.1	6.93
2011-03-25:09	1.2	6.93
2011-03-25:12	1.2	6.93
2011-03-25:15	1.2	6.93
2011-03-25:18	1.2	6.93
2011-03-25:21	1.2	6.93
2011-03-26:00	1.6	7.63
2011-03-26:03	1.6	7.63
2011-03-26:06	1.5	7.63
2011-03-26:09	1.4	7.63
2011-03-26:12	1.3	7.63
2011-03-26:15	1.2	6.93
2011-03-26:18	1.2	6.93
2011-03-26:21	1.1	6.3
2011-03-27:00	1.5	7.63
2011-03-27:03	1.6	7.63
2011-03-27:06	1.7	7.63
2011-03-27:09	1.7	7.63
2011-03-27:12	1.6	7.63
2011-03-27:15	1.6	6.93
2011-03-27:18	1.6	6.93
2011-03-27:21	1.6	6.93
2011-03-28:00	1.6	6.93
2011-03-28:03	1.7	6.93
2011-03-28:06	1.8	7.63
2011-03-28:09	1.9	7.63

2011-03-28:12	2	7.63
2011-03-28:15	2	8.39
2011-03-28:18	2.1	7.63
2011-03-28:21	2.1	7.63
2011-03-29:00	1.6	6.3
2011-03-29:03	1.8	6.93
2011-03-29:06	1.9	7.63
2011-03-29:09	2	8.39
2011-03-29:12	2	8.39
2011-03-29:15	2	8.39
2011-03-29:18	1.9	8.39
2011-03-29:21	1.8	8.39
2011-03-30:00	1	6.93
2011-03-30:03	1	6.93
2011-03-30:06	1.1	7.63
2011-03-30:09	1.1	7.63
2011-03-30:12	1.1	7.63
2011-03-30:15	1.2	7.63
2011-03-30:18	1.1	7.63
2011-03-30:21	1.1	6.93
2011-03-31:00	0.9	7.63
2011-03-31:03	0.8	7.63
2011-03-31:06	0.8	7.63
2011-03-31:09	0.7	7.63
2011-03-31:12	0.7	7.63
2011-03-31:15	0.7	7.63
2011-03-31:18	0.7	7.63
2011-03-31:21	0.7	7.63
2011-04-01:00	0.7	7.63

2011-04-01:03	0.7	7.63
2011-04-01:06	0.7	7.63
2011-04-01:09	0.7	7.63
2011-04-01:12	0.7	7.63
2011-04-01:15	0.6	7.63
2011-04-01:18	0.6	7.63
2011-04-01:21	0.6	7.63
2011-04-02:00	0.6	7.63
2011-04-02:03	0.6	7.63
2011-04-02:06	0.5	7.63
2011-04-02:09	0.5	7.63
2011-04-02:12	0.5	7.63
2011-04-02:15	0.5	7.63
2011-04-02:18	0.5	7.63
2011-04-02:21	0.4	7.63
2011-04-03:00	0.5	7.63
2011-04-03:03	0.5	7.63
2011-04-03:06	0.5	7.63
2011-04-03:09	0.5	7.63
2011-04-03:12	0.5	7.63
2011-04-03:15	0.4	7.63
2011-04-03:18	0.4	7.63
2011-04-03:21	0.4	7.63
2011-04-04:00	0.4	7.63
2011-04-04:03	0.4	7.63
2011-04-04:06	0.4	7.63
2011-04-04:09	0.4	7.63
2011-04-04:12	0.4	7.63
2011-04-04:15	0.4	7.63

2011-04-04:18	0.4	7.63
2011-04-04:21	0.5	7.63
2011-04-05:00	0.7	4.74
2011-04-05:03	0.7	4.74
2011-04-05:06	0.7	4.74
2011-04-05:09	0.8	4.74
2011-04-05:12	0.8	4.74
2011-04-05:15	0.8	4.74
2011-04-05:18	0.8	4.74
2011-04-05:21	0.8	5.21
2011-04-06:00	0.8	5.21
2011-04-06:03	0.9	5.21
2011-04-06:06	0.8	5.21
2011-04-06:09	0.8	5.21
2011-04-06:12	0.8	5.21
2011-04-06:15	0.7	5.73
2011-04-06:18	0.7	5.73
2011-04-06:21	0.8	5.21
2011-04-07:00	0.8	5.21
2011-04-07:03	0.8	5.21
2011-04-07:06	0.8	5.21
2011-04-07:09	0.7	5.21
2011-04-07:12	0.7	5.21
2011-04-07:15	0.6	5.21
2011-04-07:18	0.6	5.21
2011-04-07:21	0.6	4.74
2011-04-08:00	0.7	4.74
2011-04-08:03	0.7	4.74
2011-04-08:06	0.7	4.74

2011-04-08:09	0.7	4.74
2011-04-08:12	0.7	4.74
2011-04-08:15	0.7	4.74
2011-04-08:18	0.7	4.74
2011-04-08:21	0.7	4.74
2011-04-09:00	0.7	4.74
2011-04-09:03	0.7	5.21
2011-04-09:06	0.7	5.21
2011-04-09:09	0.8	5.21
2011-04-09:12	0.8	5.21
2011-04-09:15	0.8	5.73
2011-04-09:18	0.8	5.73
2011-04-09:21	0.8	5.73
2011-04-10:00	0.9	5.73
2011-04-10:03	0.9	5.73
2011-04-10:06	0.9	5.73
2011-04-10:09	1	6.3
2011-04-10:12	1	6.3
2011-04-10:15	1	6.3
2011-04-10:18	1	6.3
2011-04-10:21	0.9	6.3
2011-04-11:00	0.8	5.73
2011-04-11:03	0.8	5.73
2011-04-11:06	0.8	5.73
2011-04-11:09	0.8	5.73
2011-04-11:12	0.7	5.73
2011-04-11:15	0.7	5.73
2011-04-11:18	0.7	5.73
2011-04-11:21	0.7	5.21

2011-04-12:00	0.7	5.21
2011-04-12:03	0.7	5.21
2011-04-12:06	0.7	5.21
2011-04-12:09	0.7	5.21
2011-04-12:12	0.7	5.21
2011-04-12:15	0.6	5.73
2011-04-12:18	0.6	5.73
2011-04-12:21	0.6	5.73
2011-04-13:00	0.8	5.21
2011-04-13:03	0.7	5.21
2011-04-13:06	0.7	5.73
2011-04-13:09	0.8	5.73
2011-04-13:12	0.8	5.73
2011-04-13:15	0.8	5.21
2011-04-13:18	0.8	5.21
2011-04-13:21	0.8	5.21
2011-04-14:00	0.8	5.21
2011-04-14:03	0.8	5.73
2011-04-14:06	0.8	5.73
2011-04-14:09	0.7	5.73
2011-04-14:12	0.7	5.73
2011-04-14:15	0.7	5.21
2011-04-14:18	0.7	5.21
2011-04-14:21	0.7	5.21
2011-04-15:00	0.7	5.21
2011-04-15:03	0.6	5.21
2011-04-15:06	0.6	5.21
2011-04-15:09	0.6	5.21
2011-04-15:12	0.5	5.21

2011-04-15:15	0.5	5.21
2011-04-15:18	0.5	5.21
2011-04-15:21	0.5	4.74
2011-04-16:00	0.6	4.74
2011-04-16:03	0.6	4.74
2011-04-16:06	0.6	4.74
2011-04-16:09	0.5	4.74
2011-04-16:12	0.5	4.74
2011-04-16:15	0.4	4.74
2011-04-16:18	0.4	4.74
2011-04-16:21	0.4	4.74
2011-04-17:00	0.7	5.73
2011-04-17:03	0.7	5.21
2011-04-17:06	0.6	5.21
2011-04-17:09	0.6	5.21
2011-04-17:12	0.5	5.21
2011-04-17:15	0.5	5.21
2011-04-17:18	0.4	5.21
2011-04-17:21	0.4	5.21
2011-04-18:00	0.4	5.21
2011-04-18:03	0.3	5.21
2011-04-18:06	0.3	5.21
2011-04-18:09	0.3	5.21
2011-04-18:12	0.3	5.21
2011-04-18:15	0.3	5.21
2011-04-18:18	0.3	5.21
2011-04-18:21	0.3	5.21
2011-04-19:00	0.5	5.21
2011-04-19:03	0.5	5.21

2011-04-19:06	0.5	5.21
2011-04-19:09	0.4	5.21
2011-04-19:12	0.4	5.21
2011-04-19:15	0.4	6.3
2011-04-19:18	0.4	6.3
2011-04-19:21	0.4	6.3
2011-04-20:00	0.4	5.73
2011-04-20:03	0.4	5.73
2011-04-20:06	0.4	5.73
2011-04-20:09	0.4	5.21
2011-04-20:12	0.4	5.21
2011-04-20:15	0.4	5.21
2011-04-20:18	0.3	5.21
2011-04-20:21	0.3	5.21
2011-04-21:00	0.6	5.73
2011-04-21:03	0.6	5.73
2011-04-21:06	0.6	5.73
2011-04-21:09	0.6	5.73
2011-04-21:12	0.5	5.73
2011-04-21:15	0.6	5.73
2011-04-21:18	0.6	5.73
2011-04-21:21	0.6	5.73
2011-04-22:00	0.5	5.73
2011-04-22:03	0.5	6.3
2011-04-22:06	0.5	6.3
2011-04-22:09	0.5	6.3
2011-04-22:12	0.5	6.3
2011-04-22:15	0.5	6.3
2011-04-22:18	0.4	5.73

2011-04-22:21	0.4	5.73
2011-04-23:00	0.4	5.73
2011-04-23:03	0.4	5.73
2011-04-23:06	0.4	5.73
2011-04-23:09	0.4	5.73
2011-04-23:12	0.4	5.73
2011-04-23:15	0.3	5.73
2011-04-23:18	0.3	5.73
2011-04-23:21	0.3	5.73
2011-04-24:00	0.6	6.3
2011-04-24:03	0.6	6.3
2011-04-24:06	0.6	6.3
2011-04-24:09	0.6	6.3
2011-04-24:12	0.6	6.3
2011-04-24:15	0.6	6.3
2011-04-24:18	0.6	6.3
2011-04-24:21	0.6	6.3
2011-04-25:00	0.7	5.73
2011-04-25:03	0.6	5.21
2011-04-25:06	0.6	5.21
2011-04-25:09	0.6	5.21
2011-04-25:12	0.5	5.21
2011-04-25:15	0.5	5.21
2011-04-25:18	0.5	5.21
2011-04-25:21	0.5	5.21
2011-04-26:00	0.6	5.21
2011-04-26:03	0.6	5.21
2011-04-26:06	0.5	5.21
2011-04-26:09	0.5	5.73

2011-04-26:12	0.5	5.73
2011-04-26:15	0.5	5.73
2011-04-26:18	0.4	5.73
2011-04-26:21	0.4	5.73
2011-04-27:00	0.4	5.73
2011-04-27:03	0.4	5.73
2011-04-27:06	0.4	5.73
2011-04-27:09	0.4	5.73
2011-04-27:12	0.3	5.73
2011-04-27:15	0.3	5.73
2011-04-27:18	0.3	5.73
2011-04-27:21	0.3	5.73
2011-04-28:00	0.3	5.73
2011-04-28:03	0.3	5.73
2011-04-28:06	0.3	5.73
2011-04-28:09	0.3	5.73
2011-04-28:12	0.3	5.73
2011-04-28:15	0.3	5.73
2011-04-28:18	0.3	5.73
2011-04-28:21	0.3	5.73
2011-04-29:00	0.3	5.73
2011-04-29:03	0.3	5.73
2011-04-29:06	0.3	5.73
2011-04-29:09	0.3	4.31
2011-04-29:12	0.3	4.31
2011-04-29:15	0.3	4.31
2011-04-29:18	0.3	4.31
2011-04-29:21	0.3	3.91
2011-04-30:00	0.3	3.91

2011-04-30:03	0.3	4.31
2011-04-30:06	0.3	4.31
2011-04-30:09	0.3	4.31
2011-04-30:12	0.3	4.31
2011-04-30:15	0.3	4.31
2011-04-30:18	0.3	4.31
2011-04-30:21	0.3	4.31
2011-05-01:00	0.3	4.31
2011-05-01:03	0.3	4.31
2011-05-01:06	0.3	4.31
2011-05-01:09	0.2	4.31
2011-05-01:12	0.2	3.91
2011-05-01:15	0.2	3.91
2011-05-01:18	0.2	3.91
2011-05-01:21	0.2	4.74
2011-05-02:00	0.2	4.74
2011-05-02:03	0.2	4.74
2011-05-02:06	0.2	4.74
2011-05-02:09	0.2	4.74
2011-05-02:12	0.2	4.74
2011-05-02:15	0.1	4.74
2011-05-02:18	0.1	4.74
2011-05-02:21	0.1	4.74
2011-05-03:00	0.1	4.74
2011-05-03:03	0.1	4.74
2011-05-03:06	0.1	4.74
2011-05-03:09	0.1	4.74
2011-05-03:12	0.1	4.74
2011-05-03:15	0.2	4.74

2011-05-03:18	0.2	4.74
2011-05-03:21	0.2	4.74
2011-05-04:00	0.2	4.74
2011-05-04:03	0.2	4.74
2011-05-04:06	0.2	4.74
2011-05-04:09	0.2	4.74
2011-05-04:12	0.2	5.73
2011-05-04:15	0.2	5.73
2011-05-04:18	0.2	5.73
2011-05-04:21	0.2	5.73
2011-05-05:00	0.2	5.73
2011-05-05:03	0.2	5.73
2011-05-05:06	0.2	5.73
2011-05-05:09	0.2	5.73
2011-05-05:12	0.2	5.73
2011-05-05:15	0.2	5.73
2011-05-05:18	0.2	5.73
2011-05-05:21	0.2	5.73
2011-05-06:00	0.2	5.73
2011-05-06:03	0.2	5.73
2011-05-06:06	0.2	5.73
2011-05-06:09	0.2	5.73
2011-05-06:12	0.2	5.73
2011-05-06:15	0.2	5.73
2011-05-06:18	0.2	5.73
2011-05-06:21	0.2	5.73
2011-05-07:00	0.2	5.73
2011-05-07:03	0.2	5.73
2011-05-07:06	0.2	5.21

2011-05-07:09	0.2	5.21
2011-05-07:12	0.2	5.21
2011-05-07:15	0.2	5.21
2011-05-07:18	0.2	5.21
2011-05-07:21	0.2	5.21
2011-05-08:00	0.2	5.21
2011-05-08:03	0.2	5.21
2011-05-08:06	0.2	5.21
2011-05-08:09	0.2	5.21
2011-05-08:12	0.1	5.21
2011-05-08:15	0.1	5.21
2011-05-08:18	0.1	4.74
2011-05-08:21	0.1	4.74
2011-05-09:00	0.1	4.74
2011-05-09:03	0.1	4.74
2011-05-09:06	0.1	4.74
2011-05-09:09	0.1	4.74
2011-05-09:12	0.1	4.74
2011-05-09:15	0.1	4.74
2011-05-09:18	0.1	4.74
2011-05-09:21	0.1	4.74
2011-05-10:00	0.1	4.74
2011-05-10:03	0.1	5.21
2011-05-10:06	0.1	5.21
2011-05-10:09	0.1	5.21
2011-05-10:12	0.2	5.21
2011-05-10:15	0.2	5.21
2011-05-10:18	0.2	4.74
2011-05-10:21	0.2	4.74

2011-05-11:00	0.2	4.74
2011-05-11:03	0.2	3.91
2011-05-11:06	0.2	4.74
2011-05-11:09	0.2	4.74
2011-05-11:12	0.2	4.74
2011-05-11:15	0.2	5.21
2011-05-11:18	0.2	3.91
2011-05-11:21	0.3	3.24
2011-05-12:00	0.2	5.21
2011-05-12:03	0.2	5.21
2011-05-12:06	0.2	5.21
2011-05-12:09	0.1	5.21
2011-05-12:12	0.2	5.21
2011-05-12:15	0.2	5.21
2011-05-12:18	0.2	5.21
2011-05-12:21	0.2	5.21
2011-05-13:00	0.2	5.21
2011-05-13:03	0.2	4.74
2011-05-13:06	0.2	4.74
2011-05-13:09	0.2	4.74
2011-05-13:12	0.2	4.74
2011-05-13:15	0.2	4.74
2011-05-13:18	0.2	4.74
2011-05-13:21	0.2	4.74
2011-05-14:00	0.2	4.74
2011-05-14:03	0.2	4.74
2011-05-14:06	0.2	4.74
2011-05-14:09	0.2	4.74
2011-05-14:12	0.1	4.31

2011-05-14:15	0.1	4.31
2011-05-14:18	0.1	4.31
2011-05-14:21	0.1	3.91
2011-05-15:00	0.1	3.91
2011-05-15:03	0.1	3.56
2011-05-15:06	0.1	3.56
2011-05-15:09	0.1	3.56
2011-05-15:12	0.1	3.56
2011-05-15:15	0.1	3.56
2011-05-15:18	0.1	3.56
2011-05-15:21	0.1	3.56
2011-05-16:00	0.2	3.91
2011-05-16:03	0.2	3.56
2011-05-16:06	0.2	3.56
2011-05-16:09	0.2	3.56
2011-05-16:12	0.2	3.56
2011-05-16:15	0.2	3.91
2011-05-16:18	0.2	3.91
2011-05-16:21	0.2	3.91
2011-05-17:00	0.2	3.56
2011-05-17:03	0.2	3.56
2011-05-17:06	0.2	3.56
2011-05-17:09	0.2	3.56
2011-05-17:12	0.2	3.56
2011-05-17:15	0.2	3.56
2011-05-17:18	0.2	3.56
2011-05-17:21	0.2	3.56
2011-05-18:00	0.2	3.56
2011-05-18:03	0.1	3.56

2011-05-18:06	0.1	3.56
2011-05-18:09	0.1	3.56
2011-05-18:12	0.1	3.56
2011-05-18:15	0.1	3.24
2011-05-18:18	0.1	3.24
2011-05-18:21	0.1	3.24
2011-05-19:00	0.1	4.31
2011-05-19:03	0.1	4.31
2011-05-19:06	0.1	4.31
2011-05-19:09	0.1	4.31
2011-05-19:12	0.1	4.31
2011-05-19:15	0.1	4.31
2011-05-19:18	0.1	4.31
2011-05-19:21	0.1	4.31
2011-05-20:00	0.1	4.31
2011-05-20:03	0.1	4.31
2011-05-20:06	0.1	4.31
2011-05-20:09	0.1	4.31
2011-05-20:12	0.1	4.31
2011-05-20:15	0.1	4.31
2011-05-20:18	0.1	4.31
2011-05-20:21	0.1	4.31
2011-05-21:00	0.1	4.31
2011-05-21:03	0.1	4.31
2011-05-21:06	0.1	4.74
2011-05-21:09	0.1	4.74
2011-05-21:12	0.1	4.74
2011-05-21:15	0.1	4.74
2011-05-21:18	0.1	4.74

2011-05-21:21	0.1	4.74
2011-05-22:00	0.1	4.74
2011-05-22:03	0.1	4.31
2011-05-22:06	0.1	3.91
2011-05-22:09	0.1	3.91
2011-05-22:12	0.1	3.91
2011-05-22:15	0.1	3.56
2011-05-22:18	0.1	4.74
2011-05-22:21	0.1	4.31
2011-05-23:00	0.1	4.31
2011-05-23:03	0.2	4.31
2011-05-23:06	0.2	4.31
2011-05-23:09	0.2	4.31
2011-05-23:12	0.2	4.31
2011-05-23:15	0.2	4.31
2011-05-23:18	0.1	4.31
2011-05-23:21	0.1	4.31
2011-05-24:00	0.1	4.31
2011-05-24:03	0.1	4.31
2011-05-24:06	0.1	4.31
2011-05-24:09	0.1	4.31
2011-05-24:12	0.1	3.91
2011-05-24:15	0.1	3.91
2011-05-24:18	0.1	3.91
2011-05-24:21	0.1	3.91
2011-05-25:00	0.1	3.91
2011-05-25:03	0.1	3.91
2011-05-25:06	0.1	3.91
2011-05-25:09	0.1	3.91

2011-05-25:12	0.1	3.91
2011-05-25:15	0.1	3.91
2011-05-25:18	0.1	3.56
2011-05-25:21	0.1	3.56
2011-05-26:00	0.1	3.56
2011-05-26:03	0.1	3.91
2011-05-26:06	0.1	3.91
2011-05-26:09	0.1	3.91
2011-05-26:12	0.1	3.91
2011-05-26:15	0.1	3.91
2011-05-26:18	0.1	3.56
2011-05-26:21	0.1	3.56
2011-05-27:00	0.1	3.24
2011-05-27:03	0.1	3.24
2011-05-27:06	0.1	2.94
2011-05-27:09	0.1	2.94
2011-05-27:12	0.1	2.94
2011-05-27:15	0.1	2.94
2011-05-27:18	0.1	3.91
2011-05-27:21	0.1	3.91
2011-05-28:00	0	2.67
2011-05-28:03	0	2.67
2011-05-28:06	0	4.74
2011-05-28:09	0	3.24
2011-05-28:12	0.1	3.24
2011-05-28:15	0.1	2.94
2011-05-28:18	0.1	2.94
2011-05-28:21	0.1	2.94
2011-05-29:00	0	2.67

2011-05-29:03	0	4.31
2011-05-29:06	0	4.31
2011-05-29:09	0.1	4.31
2011-05-29:12	0.1	4.31
2011-05-29:15	0.1	4.31
2011-05-29:18	0.1	4.31
2011-05-29:21	0.1	3.91
2011-05-30:00	0.1	3.91
2011-05-30:03	0.1	3.91
2011-05-30:06	0.1	3.91
2011-05-30:09	0.1	3.91
2011-05-30:12	0.1	3.91
2011-05-30:15	0.1	3.91
2011-05-30:18	0.1	6.93
2011-05-30:21	0.1	6.3
2011-05-31:00	0.1	6.3
2011-05-31:03	0.1	6.3
2011-05-31:06	0.1	6.3
2011-05-31:09	0.1	6.3
2011-05-31:12	0.1	6.3
2011-05-31:15	0.1	9.23
2011-05-31:18	0.1	9.23
2011-05-31:21	0.1	9.23
2011-06-01:00	0.1	8.39
2011-06-01:03	0.1	8.39
2011-06-01:06	0.1	8.39
2011-06-01:09	0.1	6.3
2011-06-01:12	0.1	6.3
2011-06-01:15	0.1	6.3

2011-06-01:18	0.1	6.3
2011-06-01:21	0.1	8.39
2011-06-02:00	0.1	7.63
2011-06-02:03	0.1	6.3
2011-06-02:06	0.1	3.91
2011-06-02:09	0.1	3.91
2011-06-02:12	0.1	3.91
2011-06-02:15	0.1	3.91
2011-06-02:18	0.1	8.39
2011-06-02:21	0.1	7.63
2011-06-03:00	0.1	6.93
2011-06-03:03	0.1	6.93
2011-06-03:06	0.1	6.3
2011-06-03:09	0.1	5.21
2011-06-03:12	0.1	4.74
2011-06-03:15	0.1	6.93
2011-06-03:18	0.1	6.93
2011-06-03:21	0.1	6.93
2011-06-04:00	0.1	6.3
2011-06-04:03	0.1	6.3
2011-06-04:06	0.1	5.21
2011-06-04:09	0.1	4.74
2011-06-04:12	0.1	6.93
2011-06-04:15	0.1	6.3
2011-06-04:18	0.1	4.31
2011-06-04:21	0.1	4.31
2011-06-05:00	0.1	4.31
2011-06-05:03	0.1	4.31
2011-06-05:06	0.2	4.31

2011-06-05:09	0.2	4.31
2011-06-05:12	0.2	4.31
2011-06-05:15	0.2	4.31
2011-06-05:18	0.2	4.31
2011-06-05:21	0.2	4.31
2011-06-06:00	0.2	4.31
2011-06-06:03	0.2	4.31
2011-06-06:06	0.2	4.31
2011-06-06:09	0.2	4.31
2011-06-06:12	0.2	3.91
2011-06-06:15	0.1	3.91
2011-06-06:18	0.1	3.91
2011-06-06:21	0.1	3.56
2011-06-07:00	0.1	3.56
2011-06-07:03	0.1	3.56
2011-06-07:06	0.1	3.56
2011-06-07:09	0.1	3.56
2011-06-07:12	0.1	4.31
2011-06-07:15	0.1	4.31
2011-06-07:18	0.1	3.56
2011-06-07:21	0.1	3.56
2011-06-08:00	0.1	3.56
2011-06-08:03	0.1	3.56
2011-06-08:06	0.1	3.24
2011-06-08:09	0.1	4.74
2011-06-08:12	0.1	4.74
2011-06-08:15	0.1	4.74
2011-06-08:18	0.1	4.74
2011-06-08:21	0.1	4.74

2011-06-09:00	0.1	4.74
2011-06-09:03	0.1	4.74
2011-06-09:06	0.1	4.74
2011-06-09:09	0.1	4.74
2011-06-09:12	0.1	4.74
2011-06-09:15	0.1	4.74
2011-06-09:18	0.1	4.31
2011-06-09:21	0.1	4.31
2011-06-10:00	0.1	4.31
2011-06-10:03	0.1	4.31
2011-06-10:06	0.1	4.31
2011-06-10:09	0.1	4.31
2011-06-10:12	0.1	4.31
2011-06-10:15	0.1	4.31
2011-06-10:18	0.1	4.31
2011-06-10:21	0.1	4.31
2011-06-11:00	0.1	4.31
2011-06-11:03	0.1	4.31
2011-06-11:06	0.1	4.31
2011-06-11:09	0.1	4.31
2011-06-11:12	0.1	4.31
2011-06-11:15	0.1	4.31
2011-06-11:18	0.1	4.31
2011-06-11:21	0.1	4.31
2011-06-12:00	0.1	4.31
2011-06-12:03	0.1	4.31
2011-06-12:06	0.1	4.31
2011-06-12:09	0.1	4.74
2011-06-12:12	0.1	4.74

2011-06-12:15	0.1	4.74
2011-06-12:18	0.1	4.31
2011-06-12:21	0.1	4.31
2011-06-13:00	0.2	5.21
2011-06-13:03	0.2	5.21
2011-06-13:06	0.2	5.21
2011-06-13:09	0.2	5.21
2011-06-13:12	0.2	5.21
2011-06-13:15	0.2	5.21
2011-06-13:18	0.2	5.21
2011-06-13:21	0.2	5.21
2011-06-14:00	0.1	4.74
2011-06-14:03	0.1	4.31
2011-06-14:06	0.1	4.31
2011-06-14:09	0.1	4.31
2011-06-14:12	0.1	4.31
2011-06-14:15	0.1	3.91
2011-06-14:18	0.1	6.3
2011-06-14:21	0.1	6.3
2011-06-15:00	0.1	6.3
2011-06-15:03	0.1	5.21
2011-06-15:06	0.1	5.21
2011-06-15:09	0.1	5.21
2011-06-15:12	0.1	5.21
2011-06-15:15	0.1	5.21
2011-06-15:18	0.1	5.21
2011-06-15:21	0.1	5.21
2011-06-16:00	0.1	5.21
2011-06-16:03	0.1	5.21

2011-06-16:06	0.1	5.21
2011-06-16:09	0.1	5.21
2011-06-16:12	0.1	4.74
2011-06-16:15	0.1	4.74
2011-06-16:18	0.1	4.74
2011-06-16:21	0.1	4.74
2011-06-17:00	0.1	4.74
2011-06-17:03	0.1	4.74
2011-06-17:06	0.1	4.74
2011-06-17:09	0.1	4.74
2011-06-17:12	0.1	4.74
2011-06-17:15	0.1	4.74
2011-06-17:18	0.1	4.74
2011-06-17:21	0.1	4.74
2011-06-18:00	0.1	3.91
2011-06-18:03	0.1	4.74
2011-06-18:06	0.1	4.74
2011-06-18:09	0.1	4.74
2011-06-18:12	0.1	4.74
2011-06-18:15	0.1	4.74
2011-06-18:18	0.1	4.74
2011-06-18:21	0.1	4.74
2011-06-19:00	0.1	5.21
2011-06-19:03	0.1	5.21
2011-06-19:06	0.1	5.21
2011-06-19:09	0.1	5.21
2011-06-19:12	0.1	5.21
2011-06-19:15	0.1	5.21
2011-06-19:18	0.1	5.21

2011-06-19:21	0.1	5.73
2011-06-20:00	0.1	5.21
2011-06-20:03	0.1	5.21
2011-06-20:06	0.1	5.21
2011-06-20:09	0.1	5.73
2011-06-20:12	0.1	5.73
2011-06-20:15	0.1	5.21
2011-06-20:18	0.1	4.74
2011-06-20:21	0.1	4.74
2011-06-21:00	0.2	3.91
2011-06-21:03	0.2	3.91
2011-06-21:06	0.2	3.91
2011-06-21:09	0.2	3.91
2011-06-21:12	0.2	3.91
2011-06-21:15	0.2	3.91
2011-06-21:18	0.2	5.21
2011-06-21:21	0.2	5.21
2011-06-22:00	0.2	5.21
2011-06-22:03	0.2	5.21
2011-06-22:06	0.2	3.91
2011-06-22:09	0.2	5.21
2011-06-22:12	0.2	5.73
2011-06-22:15	0.2	5.73
2011-06-22:18	0.3	5.73
2011-06-22:21	0.3	5.73
2011-06-23:00	0.4	3.56
2011-06-23:03	0.4	3.91
2011-06-23:06	0.4	3.91
2011-06-23:09	0.4	3.91

2011-06-23:12	0.5	3.56
2011-06-23:15	0.5	3.91
2011-06-23:18	0.5	3.91
2011-06-23:21	0.5	3.91
2011-06-24:00	0.4	3.24
2011-06-24:03	0.4	3.24
2011-06-24:06	0.3	3.91
2011-06-24:09	0.3	3.91
2011-06-24:12	0.4	3.56
2011-06-24:15	0.4	3.56
2011-06-24:18	0.3	3.91
2011-06-24:21	0.3	3.91
2011-06-25:00	0.3	3.24
2011-06-25:03	0.2	5.73
2011-06-25:06	0.2	5.73
2011-06-25:09	0.1	5.73
2011-06-25:12	0.1	5.73
2011-06-25:15	0.1	5.73
2011-06-25:18	0.1	5.21
2011-06-25:21	0.1	5.21
2011-06-26:00	0.1	5.21
2011-06-26:03	0.1	5.21
2011-06-26:06	0.1	5.21
2011-06-26:09	0.1	4.74
2011-06-26:12	0.1	4.74
2011-06-26:15	0.1	4.74
2011-06-26:18	0.2	4.74
2011-06-26:21	0.2	4.74
2011-06-27:00	0.2	4.74

2011-06-27:03	0.2	5.21
2011-06-27:06	0.2	4.74
2011-06-27:09	0.2	4.74
2011-06-27:12	0.2	4.74
2011-06-27:15	0.2	4.74
2011-06-27:18	0.2	4.74
2011-06-27:21	0.2	4.74
2011-06-28:00	0.2	4.31
2011-06-28:03	0.1	4.31
2011-06-28:06	0.1	4.31
2011-06-28:09	0.1	3.91
2011-06-28:12	0.1	3.91
2011-06-28:15	0.1	3.91
2011-06-28:18	0.1	3.91
2011-06-28:21	0.1	3.56
2011-06-29:00	0.1	4.31
2011-06-29:03	0.1	4.31
2011-06-29:06	0.1	4.31
2011-06-29:09	0.1	4.31
2011-06-29:12	0.1	4.31
2011-06-29:15	0.1	4.31
2011-06-29:18	0.1	4.31
2011-06-29:21	0.1	3.91
2011-06-30:00	0.1	3.91
2011-06-30:03	0.1	3.91
2011-06-30:06	0.1	4.74
2011-06-30:09	0.1	4.74
2011-06-30:12	0.2	4.74
2011-06-30:15	0.2	4.74

2011-06-30:18	0.2	4.74
2011-06-30:21	0.2	4.74
2011-07-01:00	0.2	4.74
2011-07-01:03	0.2	4.74
2011-07-01:06	0.2	4.74
2011-07-01:09	0.2	4.74
2011-07-01:12	0.3	4.74
2011-07-01:15	0.3	4.74
2011-07-01:18	0.2	4.74
2011-07-01:21	0.2	4.74
2011-07-02:00	0.2	4.74
2011-07-02:03	0.2	4.74
2011-07-02:06	0.2	4.74
2011-07-02:09	0.2	4.74
2011-07-02:12	0.2	4.74
2011-07-02:15	0.2	4.74
2011-07-02:18	0.2	4.74
2011-07-02:21	0.2	4.31
2011-07-03:00	0.2	4.31
2011-07-03:03	0.2	4.31
2011-07-03:06	0.1	4.31
2011-07-03:09	0.1	4.31
2011-07-03:12	0.1	3.91
2011-07-03:15	0.1	3.91
2011-07-03:18	0.1	3.91
2011-07-03:21	0.1	3.91
2011-07-04:00	0.1	3.91
2011-07-04:03	0.1	3.91
2011-07-04:06	0.1	3.91

2011-07-04:09	0.1	3.56
2011-07-04:12	0.1	3.56
2011-07-04:15	0.1	3.56
2011-07-04:18	0.1	3.56
2011-07-04:21	0.1	3.24
2011-07-05:00	0.1	3.24
2011-07-05:03	0.1	3.24
2011-07-05:06	0.1	3.24
2011-07-05:09	0.1	3.24
2011-07-05:12	0.1	3.24
2011-07-05:15	0	3.24
2011-07-05:18	0	3.24
2011-07-05:21	0	3.24
2011-07-06:00	0	2.94
2011-07-06:03	0	2.94
2011-07-06:06	0	2.94
2011-07-06:09	0	2.94
2011-07-06:12	0	2.94
2011-07-06:15	0	5.21
2011-07-06:18	0	5.21
2011-07-06:21	0	5.21
2011-07-07:00	0.3	5.21
2011-07-07:03	0.3	5.21
2011-07-07:06	0.2	5.21
2011-07-07:09	0.2	4.74
2011-07-07:12	0.2	4.74
2011-07-07:15	0.2	4.74
2011-07-07:18	0.2	3.91
2011-07-07:21	0.2	3.91

2011-07-08:00	0.3	5.21
2011-07-08:03	0.2	5.21
2011-07-08:06	0.2	5.21
2011-07-08:09	0.2	5.21
2011-07-08:12	0.2	4.74
2011-07-08:15	0.2	4.74
2011-07-08:18	0.3	4.74
2011-07-08:21	0.3	5.21
2011-07-09:00	0.3	5.21
2011-07-09:03	0.3	5.21
2011-07-09:06	0.3	5.21
2011-07-09:09	0.3	5.21
2011-07-09:12	0.3	5.73
2011-07-09:15	0.3	5.73
2011-07-09:18	0.3	5.73
2011-07-09:21	0.3	5.73
2011-07-10:00	0.3	5.73
2011-07-10:03	0.3	5.73
2011-07-10:06	0.3	5.73
2011-07-10:09	0.3	5.73
2011-07-10:12	0.3	5.73
2011-07-10:15	0.3	5.73
2011-07-10:18	0.3	5.73
2011-07-10:21	0.2	5.73
2011-07-11:00	0.3	3.91
2011-07-11:03	0.2	3.91
2011-07-11:06	0.2	5.73
2011-07-11:09	0.2	5.73
2011-07-11:12	0.2	5.73

2011-07-11:15	0.2	5.73
2011-07-11:18	0.1	5.73
2011-07-11:21	0.1	5.73
2011-07-12:00	0.1	5.21
2011-07-12:03	0.1	5.21
2011-07-12:06	0.1	5.21
2011-07-12:09	0.1	5.21
2011-07-12:12	0.1	5.73
2011-07-12:15	0.1	5.73
2011-07-12:18	0.1	4.74
2011-07-12:21	0.1	4.74
2011-07-13:00	0.1	4.74
2011-07-13:03	0.1	4.74
2011-07-13:06	0.2	4.74
2011-07-13:09	0.1	4.74
2011-07-13:12	0.1	4.74
2011-07-13:15	0.1	4.31
2011-07-13:18	0.1	4.31
2011-07-13:21	0.1	4.31
2011-07-14:00	0.1	3.91
2011-07-14:03	0.1	3.91
2011-07-14:06	0.1	4.31
2011-07-14:09	0.1	4.31
2011-07-14:12	0.1	4.31
2011-07-14:15	0.1	3.91
2011-07-14:18	0.1	3.91
2011-07-14:21	0.1	3.91
2011-07-15:00	0.1	3.91
2011-07-15:03	0.1	3.91

2011-07-15:06	0.1	3.91
2011-07-15:09	0.1	3.91
2011-07-15:12	0.1	3.91
2011-07-15:15	0.1	3.91
2011-07-15:18	0.1	3.91
2011-07-15:21	0.1	3.91
2011-07-16:00	0.1	3.91
2011-07-16:03	0.1	3.91
2011-07-16:06	0.1	3.91
2011-07-16:09	0.1	3.91
2011-07-16:12	0.1	3.56
2011-07-16:15	0.1	3.56
2011-07-16:18	0.1	3.24
2011-07-16:21	0.1	4.31
2011-07-17:00	0.1	4.31
2011-07-17:03	0.1	4.31
2011-07-17:06	0.1	4.31
2011-07-17:09	0.1	4.31
2011-07-17:12	0.1	4.31
2011-07-17:15	0.1	4.31
2011-07-17:18	0.1	4.31
2011-07-17:21	0.1	4.31
2011-07-18:00	0.1	4.31
2011-07-18:03	0.1	4.31
2011-07-18:06	0.1	4.31
2011-07-18:09	0.1	4.31
2011-07-18:12	0.1	4.31
2011-07-18:15	0.1	4.31
2011-07-18:18	0.1	4.31

2011-07-18:21	0.1	4.31
2011-07-19:00	0.1	4.31
2011-07-19:03	0.1	4.31
2011-07-19:06	0.1	4.31
2011-07-19:09	0.1	4.31
2011-07-19:12	0.1	4.31
2011-07-19:15	0.1	4.31
2011-07-19:18	0.1	3.91
2011-07-19:21	0.1	3.91
2011-07-20:00	0.1	3.91
2011-07-20:03	0.1	3.91
2011-07-20:06	0.1	4.31
2011-07-20:09	0.1	4.31
2011-07-20:12	0.1	4.31
2011-07-20:15	0.1	4.31
2011-07-20:18	0.1	4.31
2011-07-20:21	0.1	4.31
2011-07-21:00	0.1	4.31
2011-07-21:03	0.1	4.31
2011-07-21:06	0.1	4.31
2011-07-21:09	0.1	4.74
2011-07-21:12	0.1	4.74
2011-07-21:15	0.1	4.74
2011-07-21:18	0.1	4.74
2011-07-21:21	0.1	4.74
2011-07-22:00	0.2	4.74
2011-07-22:03	0.2	4.74
2011-07-22:06	0.2	3.91
2011-07-22:09	0.1	3.91

2011-07-22:12	0.1	3.91
2011-07-22:15	0.1	4.74
2011-07-22:18	0.2	4.74
2011-07-22:21	0.2	4.74
2011-07-23:00	0.2	4.74
2011-07-23:03	0.2	4.31
2011-07-23:06	0.1	4.31
2011-07-23:09	0.1	4.31
2011-07-23:12	0.1	4.31
2011-07-23:15	0.2	4.74
2011-07-23:18	0.2	4.74
2011-07-23:21	0.2	4.74
2011-07-24:00	0.2	5.21
2011-07-24:03	0.2	5.21
2011-07-24:06	0.2	5.21
2011-07-24:09	0.2	5.21
2011-07-24:12	0.2	5.21
2011-07-24:15	0.1	5.21
2011-07-24:18	0.1	5.21
2011-07-24:21	0.1	5.21
2011-07-25:00	0.1	5.21
2011-07-25:03	0.2	4.74
2011-07-25:06	0.2	4.74
2011-07-25:09	0.2	4.74
2011-07-25:12	0.2	4.74
2011-07-25:15	0.2	4.74
2011-07-25:18	0.2	4.74
2011-07-25:21	0.2	4.74
2011-07-26:00	0.1	4.74

2011-07-26:03	0.1	4.74
2011-07-26:06	0.1	4.74
2011-07-26:09	0.1	4.31
2011-07-26:12	0.1	4.31
2011-07-26:15	0.1	4.31
2011-07-26:18	0.1	4.31
2011-07-26:21	0.1	4.31
2011-07-27:00	0.1	4.31
2011-07-27:03	0.1	4.31
2011-07-27:06	0.1	4.31
2011-07-27:09	0.1	4.31
2011-07-27:12	0.1	3.91
2011-07-27:15	0.1	4.31
2011-07-27:18	0.2	4.74
2011-07-27:21	0.2	4.74
2011-07-28:00	0.3	4.74
2011-07-28:03	0.3	5.21
2011-07-28:06	0.3	5.21
2011-07-28:09	0.3	5.21
2011-07-28:12	0.3	5.21
2011-07-28:15	0.3	5.21
2011-07-28:18	0.3	5.21
2011-07-28:21	0.3	5.21
2011-07-29:00	0.2	5.21
2011-07-29:03	0.2	5.21
2011-07-29:06	0.2	5.21
2011-07-29:09	0.2	5.73
2011-07-29:12	0.2	5.73
2011-07-29:15	0.2	5.73

2011-07-29:18	0.2	5.73
2011-07-29:21	0.2	5.73
2011-07-30:00	0.2	5.73
2011-07-30:03	0.2	5.73
2011-07-30:06	0.1	5.21
2011-07-30:09	0.1	5.21
2011-07-30:12	0.1	5.21
2011-07-30:15	0.1	5.73
2011-07-30:18	0.1	5.73
2011-07-30:21	0.1	5.73
2011-07-31:00	0.1	5.73
2011-07-31:03	0.1	5.73
2011-07-31:06	0.1	5.73
2011-07-31:09	0.1	5.73
2011-07-31:12	0.1	5.73
2011-07-31:15	0.1	5.21
2011-07-31:18	0.2	5.21
2011-07-31:21	0.2	5.21
2011-08-01:00	0.2	4.74
2011-08-01:03	0.2	4.74
2011-08-01:06	0.2	5.21
2011-08-01:09	0.2	5.21
2011-08-01:12	0.2	5.21
2011-08-01:15	0.2	5.21
2011-08-01:18	0.2	5.21
2011-08-01:21	0.2	5.21
2011-08-02:00	0.2	5.21
2011-08-02:03	0.2	5.21
2011-08-02:06	0.2	4.74

2011-08-02:09	0.2	4.74
2011-08-02:12	0.2	4.74
2011-08-02:15	0.2	4.31
2011-08-02:18	0.1	4.31
2011-08-02:21	0.1	4.31
2011-08-03:00	0.1	4.31
2011-08-03:03	0.1	4.31
2011-08-03:06	0.1	4.31
2011-08-03:09	0.1	4.31
2011-08-03:12	0.1	4.31
2011-08-03:15	0.1	3.91
2011-08-03:18	0.1	3.91
2011-08-03:21	0.1	3.91
2011-08-04:00	0.1	3.91
2011-08-04:03	0.1	3.56
2011-08-04:06	0.1	3.56
2011-08-04:09	0.1	3.56
2011-08-04:12	0.1	4.31
2011-08-04:15	0.1	4.31
2011-08-04:18	0.1	4.74
2011-08-04:21	0.2	4.74
2011-08-05:00	0.2	4.74
2011-08-05:03	0.2	4.74
2011-08-05:06	0.2	4.74
2011-08-05:09	0.2	4.74
2011-08-05:12	0.2	4.74
2011-08-05:15	0.2	4.74
2011-08-05:18	0.2	4.74
2011-08-05:21	0.2	4.74

2011-08-06:00	0.2	4.74
2011-08-06:03	0.2	4.74
2011-08-06:06	0.2	4.74
2011-08-06:09	0.2	4.74
2011-08-06:12	0.2	5.21
2011-08-06:15	0.2	5.21
2011-08-06:18	0.2	5.21
2011-08-06:21	0.3	5.21
2011-08-07:00	0.2	5.21
2011-08-07:03	0.2	4.74
2011-08-07:06	0.2	4.74
2011-08-07:09	0.2	5.21
2011-08-07:12	0.2	5.21
2011-08-07:15	0.2	5.21
2011-08-07:18	0.2	5.21
2011-08-07:21	0.2	5.21
2011-08-08:00	0.2	5.21
2011-08-08:03	0.2	5.21
2011-08-08:06	0.2	5.21
2011-08-08:09	0.2	5.21
2011-08-08:12	0.2	5.21
2011-08-08:15	0.2	5.21
2011-08-08:18	0.2	5.21
2011-08-08:21	0.2	5.21
2011-08-09:00	0.2	5.21
2011-08-09:03	0.2	5.21
2011-08-09:06	0.2	5.21
2011-08-09:09	0.2	4.74
2011-08-09:12	0.2	4.74

2011-08-09:15	0.2	4.74
2011-08-09:18	0.2	4.74
2011-08-09:21	0.2	4.74
2011-08-10:00	0.2	4.74
2011-08-10:03	0.2	4.74
2011-08-10:06	0.1	4.74
2011-08-10:09	0.1	4.74
2011-08-10:12	0.1	5.21
2011-08-10:15	0.1	4.31
2011-08-10:18	0.1	4.31
2011-08-10:21	0.1	4.31
2011-08-11:00	0.2	4.31
2011-08-11:03	0.2	4.31
2011-08-11:06	0.2	4.74
2011-08-11:09	0.2	4.74
2011-08-11:12	0.2	4.74
2011-08-11:15	0.2	4.31
2011-08-11:18	0.2	4.31
2011-08-11:21	0.2	4.31
2011-08-12:00	0.2	4.31
2011-08-12:03	0.2	4.31
2011-08-12:06	0.1	4.31
2011-08-12:09	0.1	4.31
2011-08-12:12	0.1	4.74
2011-08-12:15	0.1	4.74
2011-08-12:18	0.1	4.74
2011-08-12:21	0.1	4.74
2011-08-13:00	0.1	4.31
2011-08-13:03	0.1	4.31

2011-08-13:06	0.1	4.31
2011-08-13:09	0.1	4.31
2011-08-13:12	0.1	3.56
2011-08-13:15	0.1	3.24
2011-08-13:18	0.1	3.24
2011-08-13:21	0.1	3.24
2011-08-14:00	0.1	2.94
2011-08-14:03	0.1	2.94
2011-08-14:06	0.1	2.94
2011-08-14:09	0.1	3.91
2011-08-14:12	0.1	3.91
2011-08-14:15	0.1	3.91
2011-08-14:18	0.1	3.56
2011-08-14:21	0.1	2.94
2011-08-15:00	0.1	2.94
2011-08-15:03	0.1	2.94
2011-08-15:06	0.1	3.91
2011-08-15:09	0.1	3.91
2011-08-15:12	0.1	4.31
2011-08-15:15	0.1	3.91
2011-08-15:18	0.1	3.91
2011-08-15:21	0.1	3.91
2011-08-16:00	0.1	3.91
2011-08-16:03	0.1	3.91
2011-08-16:06	0.1	3.91
2011-08-16:09	0.1	3.91
2011-08-16:12	0.1	3.91
2011-08-16:15	0.1	3.91
2011-08-16:18	0.1	3.91

2011-08-16:21	0.1	3.91
2011-08-17:00	0.1	3.91
2011-08-17:03	0.1	3.91
2011-08-17:06	0.1	3.91
2011-08-17:09	0.1	3.91
2011-08-17:12	0.1	3.91
2011-08-17:15	0.1	3.91
2011-08-17:18	0.1	3.91
2011-08-17:21	0.1	5.21
2011-08-18:00	0.1	5.21
2011-08-18:03	0.1	5.21
2011-08-18:06	0.1	4.74
2011-08-18:09	0.1	4.74
2011-08-18:12	0.1	4.74
2011-08-18:15	0.1	4.74
2011-08-18:18	0.1	4.74
2011-08-18:21	0.1	4.74
2011-08-19:00	0.1	4.74
2011-08-19:03	0.1	4.74
2011-08-19:06	0.1	4.74
2011-08-19:09	0.1	4.74
2011-08-19:12	0.1	4.74
2011-08-19:15	0.1	4.74
2011-08-19:18	0.1	4.74
2011-08-19:21	0.1	4.74
2011-08-20:00	0.1	4.31
2011-08-20:03	0.1	4.31
2011-08-20:06	0.1	4.31
2011-08-20:09	0.1	4.31

2011-08-20:12	0.1	4.31
2011-08-20:15	0.1	4.31
2011-08-20:18	0.1	4.31
2011-08-20:21	0.1	4.31
2011-08-21:00	0.1	4.31
2011-08-21:03	0.1	4.31
2011-08-21:06	0.1	4.31
2011-08-21:09	0.1	4.31
2011-08-21:12	0.1	4.31
2011-08-21:15	0.1	4.31
2011-08-21:18	0.1	4.31
2011-08-21:21	0.1	4.31
2011-08-22:00	0.1	4.31
2011-08-22:03	0.1	4.31
2011-08-22:06	0.1	4.31
2011-08-22:09	0	4.31
2011-08-22:12	0	4.31
2011-08-22:15	0	4.31
2011-08-22:18	0	3.91
2011-08-22:21	0.1	3.91
2011-08-23:00	0.1	3.91
2011-08-23:03	0.1	3.91
2011-08-23:06	0.1	3.56
2011-08-23:09	0.1	3.91
2011-08-23:12	0.1	3.91
2011-08-23:15	0.1	5.73
2011-08-23:18	0.1	5.73
2011-08-23:21	0.1	5.21
2011-08-24:00	0.1	5.21

2011-08-24:03	0.2	4.74
2011-08-24:06	0.2	4.74
2011-08-24:09	0.3	4.74
2011-08-24:12	0.3	5.21
2011-08-24:15	0.3	5.21
2011-08-24:18	0.4	5.21
2011-08-24:21	0.4	5.21
2011-08-25:00	0.4	5.21
2011-08-25:03	0.4	5.21
2011-08-25:06	0.4	5.21
2011-08-25:09	0.5	5.21
2011-08-25:12	0.5	5.21
2011-08-25:15	0.6	5.73
2011-08-25:18	0.7	6.3
2011-08-25:21	0.7	6.3
2011-08-26:00	0.8	6.3
2011-08-26:03	0.8	6.3
2011-08-26:06	0.8	6.3
2011-08-26:09	0.8	6.3
2011-08-26:12	0.7	6.3
2011-08-26:15	0.8	6.3
2011-08-26:18	0.8	6.3
2011-08-26:21	0.8	6.3
2011-08-27:00	0.6	5.73
2011-08-27:03	0.6	5.73
2011-08-27:06	0.6	5.73
2011-08-27:09	0.6	6.3
2011-08-27:12	0.6	6.3
2011-08-27:15	0.6	6.3

2011-08-27:18	0.6	6.3
2011-08-27:21	0.5	6.3
2011-08-28:00	0.6	3.91
2011-08-28:03	0.6	3.91
2011-08-28:06	0.5	3.91
2011-08-28:09	0.5	3.91
2011-08-28:12	0.4	3.56
2011-08-28:15	0.4	3.91
2011-08-28:18	0.5	3.91
2011-08-28:21	0.5	3.24
2011-08-29:00	0.4	5.73
2011-08-29:03	0.3	5.73
2011-08-29:06	0.3	6.3
2011-08-29:09	0.3	6.93
2011-08-29:12	0.4	6.93
2011-08-29:15	0.4	6.3
2011-08-29:18	0.4	6.93
2011-08-29:21	0.4	6.93
2011-08-30:00	0.3	6.3
2011-08-30:03	0.3	6.3
2011-08-30:06	0.3	6.3
2011-08-30:09	0.3	5.73
2011-08-30:12	0.3	5.73
2011-08-30:15	0.3	5.73
2011-08-30:18	0.2	5.21
2011-08-30:21	0.2	5.21
2011-08-31:00	0.2	5.21
2011-08-31:03	0.2	5.21
2011-08-31:06	0.1	4.74

2011-08-31:09	0.1	4.74
2011-08-31:12	0.1	4.74
2011-08-31:15	0.1	4.31
2011-08-31:18	0.1	4.31
2011-08-31:21	0.1	4.74
2011-09-01:00	0.1	4.74
2011-09-01:03	0.1	4.74
2011-09-01:06	0.1	4.31
2011-09-01:09	0.1	4.31
2011-09-01:12	0.1	4.31
2011-09-01:15	0.1	4.31
2011-09-01:18	0.1	4.31
2011-09-01:21	0.1	4.74
2011-09-02:00	0.1	4.74
2011-09-02:03	0.1	4.74
2011-09-02:06	0.1	4.31
2011-09-02:09	0.1	4.31
2011-09-02:12	0.1	4.31
2011-09-02:15	0.1	4.31
2011-09-02:18	0.1	4.31
2011-09-02:21	0.1	4.31
2011-09-03:00	0.1	4.31
2011-09-03:03	0.1	4.31
2011-09-03:06	0.1	4.31
2011-09-03:09	0.1	4.31
2011-09-03:12	0.1	4.31
2011-09-03:15	0.1	4.31
2011-09-03:18	0.1	4.74
2011-09-03:21	0.1	4.74

2011-09-04:00	0.1	4.74
2011-09-04:03	0.1	4.74
2011-09-04:06	0.1	4.74
2011-09-04:09	0.1	4.74
2011-09-04:12	0.1	4.74
2011-09-04:15	0.1	4.74
2011-09-04:18	0.1	4.74
2011-09-04:21	0.1	4.74
2011-09-05:00	0.1	4.74
2011-09-05:03	0.1	4.74
2011-09-05:06	0.1	4.74
2011-09-05:09	0.1	4.74
2011-09-05:12	0.1	4.74
2011-09-05:15	0.1	4.74
2011-09-05:18	0.1	4.74
2011-09-05:21	0.1	4.31
2011-09-06:00	0.1	4.31
2011-09-06:03	0.1	4.74
2011-09-06:06	0.2	4.74
2011-09-06:09	0.2	4.74
2011-09-06:12	0.2	4.31
2011-09-06:15	0.1	4.74
2011-09-06:18	0.2	4.74
2011-09-06:21	0.2	4.74
2011-09-07:00	0.2	4.74
2011-09-07:03	0.2	4.31
2011-09-07:06	0.2	4.31
2011-09-07:09	0.2	4.31
2011-09-07:12	0.2	4.31

2011-09-07:15	0.1	4.31
2011-09-07:18	0.2	4.31
2011-09-07:21	0.2	4.74
2011-09-08:00	0.2	4.74
2011-09-08:03	0.2	4.74
2011-09-08:06	0.2	4.31
2011-09-08:09	0.2	4.31
2011-09-08:12	0.1	4.31
2011-09-08:15	0.1	4.31
2011-09-08:18	0.1	4.31
2011-09-08:21	0.1	4.31
2011-09-09:00	0.1	4.74
2011-09-09:03	0.1	4.74
2011-09-09:06	0.1	4.74
2011-09-09:09	0.1	4.74
2011-09-09:12	0.1	4.74
2011-09-09:15	0.1	4.74
2011-09-09:18	0.1	4.74
2011-09-09:21	0.2	4.74
2011-09-10:00	0.2	4.74
2011-09-10:03	0.2	4.74
2011-09-10:06	0.2	4.74
2011-09-10:09	0.3	5.21
2011-09-10:12	0.3	5.73
2011-09-10:15	0.3	5.73
2011-09-10:18	0.4	5.73
2011-09-10:21	0.4	5.73
2011-09-11:00	0.5	2.94
2011-09-11:03	0.5	3.24

2011-09-11:06	0.5	3.24
2011-09-11:09	0.5	3.24
2011-09-11:12	0.5	3.24
2011-09-11:15	0.5	3.24
2011-09-11:18	0.5	2.94
2011-09-11:21	0.4	2.94
2011-09-12:00	0.4	3.24
2011-09-12:03	0.4	2.94
2011-09-12:06	0.3	2.94
2011-09-12:09	0.2	5.21
2011-09-12:12	0.2	5.21
2011-09-12:15	0.1	5.21
2011-09-12:18	0.1	4.74
2011-09-12:21	0.1	5.73
2011-09-13:00	0.1	5.73
2011-09-13:03	0.1	5.21
2011-09-13:06	0.1	5.21
2011-09-13:09	0.1	5.21
2011-09-13:12	0.1	4.74
2011-09-13:15	0.1	3.91
2011-09-13:18	0.1	3.91
2011-09-13:21	0.1	3.91
2011-09-14:00	0.1	3.56
2011-09-14:03	0.1	3.56
2011-09-14:06	0.1	3.24
2011-09-14:09	0.1	3.24
2011-09-14:12	0.1	3.24
2011-09-14:15	0.1	3.24
2011-09-14:18	0.1	3.24

2011-09-14:21	0.1	3.24
2011-09-15:00	0.1	2.94
2011-09-15:03	0.1	2.94
2011-09-15:06	0.1	3.91
2011-09-15:09	0.1	3.91
2011-09-15:12	0.1	3.91
2011-09-15:15	0.1	3.91
2011-09-15:18	0.1	4.74
2011-09-15:21	0.1	4.31
2011-09-16:00	0.1	4.31
2011-09-16:03	0.2	4.31
2011-09-16:06	0.2	4.31
2011-09-16:09	0.2	4.31
2011-09-16:12	0.2	4.31
2011-09-16:15	0.2	4.31
2011-09-16:18	0.2	4.31
2011-09-16:21	0.2	4.31
2011-09-17:00	0.2	4.31
2011-09-17:03	0.2	4.31
2011-09-17:06	0.2	4.31
2011-09-17:09	0.2	4.31
2011-09-17:12	0.2	4.31
2011-09-17:15	0.2	4.31
2011-09-17:18	0.2	4.31
2011-09-17:21	0.2	4.74
2011-09-18:00	0.3	4.74
2011-09-18:03	0.3	4.74
2011-09-18:06	0.3	4.74
2011-09-18:09	0.3	4.74

2011-09-18:12	0.3	5.21
2011-09-18:15	0.3	5.21
2011-09-18:18	0.3	5.21
2011-09-18:21	0.2	5.21
2011-09-19:00	0.3	5.21
2011-09-19:03	0.3	5.21
2011-09-19:06	0.3	5.21
2011-09-19:09	0.2	5.21
2011-09-19:12	0.2	4.74
2011-09-19:15	0.2	4.74
2011-09-19:18	0.2	4.74
2011-09-19:21	0.2	5.21
2011-09-20:00	0.2	5.73
2011-09-20:03	0.2	5.73
2011-09-20:06	0.2	5.73
2011-09-20:09	0.2	5.73
2011-09-20:12	0.2	5.21
2011-09-20:15	0.2	3.91
2011-09-20:18	0.2	3.91
2011-09-20:21	0.2	3.91
2011-09-21:00	0.2	5.21
2011-09-21:03	0.2	5.21
2011-09-21:06	0.2	5.21
2011-09-21:09	0.2	5.21
2011-09-21:12	0.2	5.21
2011-09-21:15	0.2	4.74
2011-09-21:18	0.2	4.74
2011-09-21:21	0.1	4.74
2011-09-22:00	0.1	4.74

2011-09-22:03	0.1	4.74
2011-09-22:06	0.1	4.74
2011-09-22:09	0.1	4.74
2011-09-22:12	0.2	4.74
2011-09-22:15	0.2	4.74
2011-09-22:18	0.2	4.74
2011-09-22:21	0.2	4.74
2011-09-23:00	0.2	4.74
2011-09-23:03	0.2	4.74
2011-09-23:06	0.2	4.74
2011-09-23:09	0.2	4.74
2011-09-23:12	0.2	4.74
2011-09-23:15	0.2	4.74
2011-09-23:18	0.2	4.74
2011-09-23:21	0.2	4.74
2011-09-24:00	0.2	4.74
2011-09-24:03	0.2	4.74
2011-09-24:06	0.2	4.74
2011-09-24:09	0.2	4.74
2011-09-24:12	0.2	4.74
2011-09-24:15	0.3	4.74
2011-09-24:18	0.4	5.21
2011-09-24:21	0.5	6.3
2011-09-25:00	0.3	5.21
2011-09-25:03	0.2	5.21
2011-09-25:06	0.2	4.74
2011-09-25:09	0.2	4.74
2011-09-25:12	0.2	4.74
2011-09-25:15	0.3	4.74

2011-09-25:18	0.4	4.31
2011-09-25:21	0.4	4.74
2011-09-26:00	0.3	4.74
2011-09-26:03	0.3	4.74
2011-09-26:06	0.3	4.74
2011-09-26:09	0.5	2.67
2011-09-26:12	0.5	2.94
2011-09-26:15	0.5	3.24
2011-09-26:18	0.6	3.56
2011-09-26:21	0.6	3.91
2011-09-27:00	0.7	4.31
2011-09-27:03	0.7	4.31
2011-09-27:06	0.7	4.31
2011-09-27:09	0.7	4.31
2011-09-27:12	0.6	4.31
2011-09-27:15	0.6	4.31
2011-09-27:18	0.7	3.56
2011-09-27:21	0.7	4.31
2011-09-28:00	0.6	4.31
2011-09-28:03	0.6	4.31
2011-09-28:06	0.5	5.73
2011-09-28:09	0.5	5.73
2011-09-28:12	0.5	6.3
2011-09-28:15	0.5	6.3
2011-09-28:18	0.5	3.24
2011-09-28:21	0.5	3.91
2011-09-29:00	0.2	5.73
2011-09-29:03	0.2	3.91
2011-09-29:06	0.2	3.91

2011-09-29:09	0.2	3.91
2011-09-29:12	0.2	3.91
2011-09-29:15	0.3	3.91
2011-09-29:18	0.4	3.24
2011-09-29:21	0.4	3.56
2011-09-30:00	0.2	3.91
2011-09-30:03	0.2	3.91
2011-09-30:06	0.2	3.91
2011-09-30:09	0.2	3.91
2011-09-30:12	0.2	3.91
2011-09-30:15	0.2	3.91
2011-09-30:18	0.2	3.91
2011-09-30:21	0.2	3.91
2011-10-01:00	0.2	3.91
2011-10-01:03	0.2	3.91
2011-10-01:06	0.2	3.91
2011-10-01:09	0.2	3.91
2011-10-01:12	0.2	5.21
2011-10-01:15	0.2	5.21
2011-10-01:18	0.2	5.21
2011-10-01:21	0.3	5.21
2011-10-02:00	0.3	5.73
2011-10-02:03	0.3	5.21
2011-10-02:06	0.3	5.21
2011-10-02:09	0.3	4.74
2011-10-02:12	0.3	4.74
2011-10-02:15	0.3	4.74
2011-10-02:18	0.3	5.21
2011-10-02:21	0.3	5.21

2011-10-03:00	0.4	3.56
2011-10-03:03	0.4	3.24
2011-10-03:06	0.4	3.56
2011-10-03:09	0.4	3.56
2011-10-03:12	0.4	3.56
2011-10-03:15	0.4	3.56
2011-10-03:18	0.4	3.56
2011-10-03:21	0.4	3.56
2011-10-04:00	0.4	3.24
2011-10-04:03	0.4	3.24
2011-10-04:06	0.4	3.91
2011-10-04:09	0.3	3.91
2011-10-04:12	0.3	3.91
2011-10-04:15	0.3	4.31
2011-10-04:18	0.3	4.74
2011-10-04:21	0.3	4.74
2011-10-05:00	0.2	4.74
2011-10-05:03	0.2	4.31
2011-10-05:06	0.2	4.31
2011-10-05:09	0.2	5.21
2011-10-05:12	0.2	5.21
2011-10-05:15	0.2	4.31
2011-10-05:18	0.3	4.31
2011-10-05:21	0.3	4.31
2011-10-06:00	0.2	4.31
2011-10-06:03	0.2	4.31
2011-10-06:06	0.2	4.31
2011-10-06:09	0.2	4.31
2011-10-06:12	0.2	4.31

2011-10-06:15	0.1	4.31
2011-10-06:18	0.1	4.31
2011-10-06:21	0.1	4.31
2011-10-07:00	0.1	4.31
2011-10-07:03	0.1	4.31
2011-10-07:06	0.1	4.31
2011-10-07:09	0.1	4.31
2011-10-07:12	0.1	4.31
2011-10-07:15	0.1	9.23
2011-10-07:18	0.1	9.23
2011-10-07:21	0.1	9.23
2011-10-08:00	0.1	9.23
2011-10-08:03	0.1	9.23
2011-10-08:06	0.1	9.23
2011-10-08:09	0.1	8.39
2011-10-08:12	0.1	8.39
2011-10-08:15	0.1	8.39
2011-10-08:18	0.1	8.39
2011-10-08:21	0.1	8.39
2011-10-09:00	0.1	8.39
2011-10-09:03	0.1	8.39
2011-10-09:06	0.1	8.39
2011-10-09:09	0.1	8.39
2011-10-09:12	0.1	8.39
2011-10-09:15	0.1	7.63
2011-10-09:18	0.1	7.63
2011-10-09:21	0.1	7.63
2011-10-10:00	0.1	7.63
2011-10-10:03	0.1	5.21

2011-10-10:06	0.1	5.21
2011-10-10:09	0.1	5.21
2011-10-10:12	0.1	5.21
2011-10-10:15	0.1	5.21
2011-10-10:18	0.1	5.21
2011-10-10:21	0.1	5.21
2011-10-11:00	0.1	7.63
2011-10-11:03	0.1	4.74
2011-10-11:06	0.1	9.23
2011-10-11:09	0.1	8.39
2011-10-11:12	0.1	8.39
2011-10-11:15	0.1	7.63
2011-10-11:18	0.1	7.63
2011-10-11:21	0.1	8.39
2011-10-12:00	0.1	7.63
2011-10-12:03	0.1	6.93
2011-10-12:06	0.1	8.39
2011-10-12:09	0.1	7.63
2011-10-12:12	0.1	8.39
2011-10-12:15	0.1	8.39
2011-10-12:18	0.1	8.39
2011-10-12:21	0.1	7.63
2011-10-13:00	0.1	8.39
2011-10-13:03	0.1	7.63
2011-10-13:06	0.1	7.63
2011-10-13:09	0.1	7.63
2011-10-13:12	0.1	7.63
2011-10-13:15	0.1	7.63
2011-10-13:18	0.1	5.21

2011-10-13:21	0.1	5.21
2011-10-14:00	0.1	5.21
2011-10-14:03	0.1	5.21
2011-10-14:06	0.1	5.21
2011-10-14:09	0.1	5.21
2011-10-14:12	0.1	5.21
2011-10-14:15	0.1	5.21
2011-10-14:18	0.1	4.74
2011-10-14:21	0.1	4.74
2011-10-15:00	0.1	4.74
2011-10-15:03	0.1	4.74
2011-10-15:06	0.1	4.31
2011-10-15:09	0.1	4.31
2011-10-15:12	0.1	4.31
2011-10-15:15	0.1	4.31
2011-10-15:18	0.1	3.91
2011-10-15:21	0.1	3.91
2011-10-16:00	0.1	3.91
2011-10-16:03	0.1	3.91
2011-10-16:06	0.1	3.91
2011-10-16:09	0.1	3.91
2011-10-16:12	0.1	3.91
2011-10-16:15	0.1	3.91
2011-10-16:18	0.1	3.56
2011-10-16:21	0.1	6.93
2011-10-17:00	0.1	6.93
2011-10-17:03	0.1	6.93
2011-10-17:06	0.1	6.93
2011-10-17:09	0.1	6.93

2011-10-17:12	0.1	6.93
2011-10-17:15	0.1	6.93
2011-10-17:18	0.2	3.24
2011-10-17:21	0.3	3.91
2011-10-18:00	0.3	3.56
2011-10-18:03	0.3	3.56
2011-10-18:06	0.3	3.56
2011-10-18:09	0.3	3.56
2011-10-18:12	0.3	3.56
2011-10-18:15	0.3	3.56
2011-10-18:18	0.2	3.56
2011-10-18:21	0.2	3.56
2011-10-19:00	0.3	3.56
2011-10-19:03	0.4	3.56
2011-10-19:06	0.5	3.91
2011-10-19:09	0.5	4.31
2011-10-19:12	0.5	4.31
2011-10-19:15	0.6	4.31
2011-10-19:18	0.6	4.31
2011-10-19:21	0.5	4.74
2011-10-20:00	0.4	4.74
2011-10-20:03	0.4	4.74
2011-10-20:06	0.4	4.74
2011-10-20:09	0.4	4.74
2011-10-20:12	0.4	4.74
2011-10-20:15	0.4	4.74
2011-10-20:18	0.3	4.74
2011-10-20:21	0.4	4.74
2011-10-21:00	0.4	4.31

2011-10-21:03	0.4	4.31
2011-10-21:06	0.5	4.31
2011-10-21:09	0.5	4.31
2011-10-21:12	0.5	4.31
2011-10-21:15	0.5	4.74
2011-10-21:18	0.6	4.74
2011-10-21:21	0.6	4.74
2011-10-22:00	0.7	4.74
2011-10-22:03	0.7	5.21
2011-10-22:06	0.7	5.21
2011-10-22:09	0.7	5.21
2011-10-22:12	0.7	5.21
2011-10-22:15	0.7	5.21
2011-10-22:18	0.7	5.21
2011-10-22:21	0.7	5.21
2011-10-23:00	0.6	5.21
2011-10-23:03	0.6	4.74
2011-10-23:06	0.5	4.74
2011-10-23:09	0.5	4.74
2011-10-23:12	0.6	4.74
2011-10-23:15	0.6	4.74
2011-10-23:18	0.5	4.74
2011-10-23:21	0.5	4.74
2011-10-24:00	0.5	4.74
2011-10-24:03	0.5	4.74
2011-10-24:06	0.5	4.74
2011-10-24:09	0.5	4.74
2011-10-24:12	0.4	4.74
2011-10-24:15	0.4	5.21

2011-10-24:18	0.4	5.21
2011-10-24:21	0.4	5.21
2011-10-25:00	0.4	4.74
2011-10-25:03	0.5	4.74
2011-10-25:06	0.5	4.31
2011-10-25:09	0.5	4.31
2011-10-25:12	0.6	4.31
2011-10-25:15	0.7	4.74
2011-10-25:18	0.7	4.74
2011-10-25:21	0.7	5.21
2011-10-26:00	0.9	5.21
2011-10-26:03	0.9	5.73
2011-10-26:06	0.9	5.73
2011-10-26:09	0.8	5.73
2011-10-26:12	0.8	5.73
2011-10-26:15	0.8	5.73
2011-10-26:18	0.8	5.73
2011-10-26:21	0.8	5.73
2011-10-27:00	0.7	5.21
2011-10-27:03	0.7	5.21
2011-10-27:06	0.7	5.21
2011-10-27:09	0.7	5.21
2011-10-27:12	0.7	5.21
2011-10-27:15	0.7	5.21
2011-10-27:18	0.7	5.21
2011-10-27:21	0.7	5.21
2011-10-28:00	0.8	4.74
2011-10-28:03	0.9	4.74
2011-10-28:06	0.9	5.21

2011-10-28:09	0.9	5.21
2011-10-28:12	0.9	5.21
2011-10-28:15	0.9	5.73
2011-10-28:18	0.9	5.73
2011-10-28:21	0.9	5.73
2011-10-29:00	0.8	5.21
2011-10-29:03	0.8	5.21
2011-10-29:06	0.9	5.21
2011-10-29:09	0.9	5.73
2011-10-29:12	0.9	5.73
2011-10-29:15	0.9	5.73
2011-10-29:18	0.9	5.73
2011-10-29:21	0.9	5.73
2011-10-30:00	0.9	5.73
2011-10-30:03	0.9	6.3
2011-10-30:06	0.9	5.73
2011-10-30:09	0.9	5.73
2011-10-30:12	0.8	5.73
2011-10-30:15	0.8	5.73
2011-10-30:18	0.8	5.73
2011-10-30:21	0.8	5.73
2011-10-31:00	0.8	6.3
2011-10-31:03	0.8	5.73
2011-10-31:06	0.8	5.73
2011-10-31:09	0.8	5.73
2011-10-31:12	0.7	5.73
2011-10-31:15	0.7	5.73
2011-10-31:18	0.6	5.73
2011-10-31:21	0.6	5.73

2011-11-01:00	0.7	5.73
2011-11-01:03	0.6	5.73
2011-11-01:06	0.6	5.73
2011-11-01:09	0.6	5.73
2011-11-01:12	0.5	5.73
2011-11-01:15	0.5	5.73
2011-11-01:18	0.5	5.73
2011-11-01:21	0.5	5.73
2011-11-02:00	0.5	5.73
2011-11-02:03	0.4	5.73
2011-11-02:06	0.4	5.73
2011-11-02:09	0.4	5.73
2011-11-02:12	0.4	5.73
2011-11-02:15	0.4	5.73
2011-11-02:18	0.4	5.73
2011-11-02:21	0.4	5.73
2011-11-03:00	0.4	5.73
2011-11-03:03	0.4	5.73
2011-11-03:06	0.4	5.21
2011-11-03:09	0.4	5.21
2011-11-03:12	0.4	5.21
2011-11-03:15	0.4	5.21
2011-11-03:18	0.4	5.73
2011-11-03:21	0.3	5.73
2011-11-04:00	0.3	5.73
2011-11-04:03	0.3	5.73
2011-11-04:06	0.4	5.73
2011-11-04:09	0.4	5.73
2011-11-04:12	0.4	5.73

2011-11-04:15	0.4	5.73
2011-11-04:18	0.4	5.73
2011-11-04:21	0.3	5.73
2011-11-05:00	0.3	5.73
2011-11-05:03	0.3	5.73
2011-11-05:06	0.3	4.74
2011-11-05:09	0.4	4.74
2011-11-05:12	0.4	4.74
2011-11-05:15	0.4	4.74
2011-11-05:18	0.4	4.31
2011-11-05:21	0.4	4.31
2011-11-06:00	0.3	4.74
2011-11-06:03	0.3	5.21
2011-11-06:06	0.4	5.21
2011-11-06:09	0.4	5.21
2011-11-06:12	0.3	4.74
2011-11-06:15	0.4	4.31
2011-11-06:18	0.4	4.31
2011-11-06:21	0.4	4.31
2011-11-07:00	0.3	4.31
2011-11-07:03	0.3	4.31
2011-11-07:06	0.3	4.31
2011-11-07:09	0.3	4.31
2011-11-07:12	0.3	4.31
2011-11-07:15	0.3	4.31
2011-11-07:18	0.3	4.31
2011-11-07:21	0.3	4.74
2011-11-08:00	0.3	4.74
2011-11-08:03	0.3	4.74

2011-11-08:06	0.3	4.74
2011-11-08:09	0.3	4.31
2011-11-08:12	0.3	4.31
2011-11-08:15	0.3	4.31
2011-11-08:18	0.3	4.31
2011-11-08:21	0.3	4.31
2011-11-09:00	0.3	4.31
2011-11-09:03	0.3	4.31
2011-11-09:06	0.3	4.31
2011-11-09:09	0.3	4.31
2011-11-09:12	0.3	4.31
2011-11-09:15	0.3	4.31
2011-11-09:18	0.3	4.31
2011-11-09:21	0.3	4.31
2011-11-10:00	0.3	4.31
2011-11-10:03	0.3	4.31
2011-11-10:06	0.3	4.31
2011-11-10:09	0.3	4.31
2011-11-10:12	0.3	4.31
2011-11-10:15	0.3	4.31
2011-11-10:18	0.3	3.91
2011-11-10:21	0.2	3.91
2011-11-11:00	0.2	3.56
2011-11-11:03	0.2	3.56
2011-11-11:06	0.2	3.56
2011-11-11:09	0.2	3.56
2011-11-11:12	0.2	3.24
2011-11-11:15	0.1	3.24
2011-11-11:18	0.1	3.24

2011-11-11:21	0.1	3.24
2011-11-12:00	0.1	3.24
2011-11-12:03	0.1	3.24
2011-11-12:06	0.2	3.24
2011-11-12:09	0.5	3.91
2011-11-12:12	0.5	4.31
2011-11-12:15	0.6	4.31
2011-11-12:18	0.6	4.74
2011-11-12:21	0.6	4.74
2011-11-13:00	0.6	4.74
2011-11-13:03	0.6	4.74
2011-11-13:06	0.7	5.21
2011-11-13:09	0.7	5.21
2011-11-13:12	0.7	5.21
2011-11-13:15	0.7	5.21
2011-11-13:18	0.7	5.21
2011-11-13:21	0.7	5.21
2011-11-14:00	0.7	5.73
2011-11-14:03	0.7	5.21
2011-11-14:06	0.7	5.21
2011-11-14:09	0.7	5.21
2011-11-14:12	0.7	5.21
2011-11-14:15	0.7	5.73
2011-11-14:18	0.7	5.73
2011-11-14:21	0.8	5.73
2011-11-15:00	0.8	5.73
2011-11-15:03	0.8	6.3
2011-11-15:06	0.8	6.3
2011-11-15:09	0.7	6.3

2011-11-15:12	0.7	6.3
2011-11-15:15	0.7	6.3
2011-11-15:18	0.6	6.3
2011-11-15:21	0.6	6.3
2011-11-16:00	0.6	6.3
2011-11-16:03	0.5	6.3
2011-11-16:06	0.5	6.3
2011-11-16:09	0.5	6.3
2011-11-16:12	0.5	6.3
2011-11-16:15	0.5	6.3
2011-11-16:18	0.5	6.3
2011-11-16:21	0.5	6.3
2011-11-17:00	0.5	6.3
2011-11-17:03	0.5	5.73
2011-11-17:06	0.5	5.73
2011-11-17:09	0.5	5.73
2011-11-17:12	0.4	5.73
2011-11-17:15	0.4	6.3
2011-11-17:18	0.4	6.3
2011-11-17:21	0.4	5.73
2011-11-18:00	0.4	5.73
2011-11-18:03	0.4	5.73
2011-11-18:06	0.4	5.21
2011-11-18:09	0.4	5.21
2011-11-18:12	0.4	5.21
2011-11-18:15	0.4	5.21
2011-11-18:18	0.3	4.31
2011-11-18:21	0.3	4.31
2011-11-19:00	0.3	4.31

2011-11-19:03	0.3	4.31
2011-11-19:06	0.3	5.73
2011-11-19:09	0.4	3.56
2011-11-19:12	0.5	3.56
2011-11-19:15	0.5	3.91
2011-11-19:18	0.6	4.31
2011-11-19:21	0.7	4.31
2011-11-20:00	0.6	4.31
2011-11-20:03	0.7	4.31
2011-11-20:06	0.8	4.74
2011-11-20:09	1	5.21
2011-11-20:12	1.2	6.3
2011-11-20:15	1.3	6.3
2011-11-20:18	1.3	6.93
2011-11-20:21	1.3	6.3
2011-11-21:00	1.4	6.93
2011-11-21:03	1.4	6.93
2011-11-21:06	1.4	6.93
2011-11-21:09	1.3	6.93
2011-11-21:12	1.3	6.93
2011-11-21:15	1.3	6.3
2011-11-21:18	1.3	6.3
2011-11-21:21	1.2	6.3
2011-11-22:00	1	6.3
2011-11-22:03	1.1	5.73
2011-11-22:06	1.3	5.73
2011-11-22:09	1.4	6.3
2011-11-22:12	1.4	6.93
2011-11-22:15	1.4	6.93

2011-11-22:18	1.4	6.93
2011-11-22:21	1.4	6.93
2011-11-23:00	1.3	6.93
2011-11-23:03	1.4	6.93
2011-11-23:06	1.5	6.93
2011-11-23:09	1.7	7.63
2011-11-23:12	1.7	7.63
2011-11-23:15	1.8	7.63
2011-11-23:18	1.8	7.63
2011-11-23:21	1.8	7.63
2011-11-24:00	1.5	6.93
2011-11-24:03	1.5	7.63
2011-11-24:06	1.5	7.63
2011-11-24:09	1.6	7.63
2011-11-24:12	1.6	7.63
2011-11-24:15	1.6	7.63
2011-11-24:18	1.5	6.93
2011-11-24:21	1.4	6.93
2011-11-25:00	1.3	6.93
2011-11-25:03	1.3	6.93
2011-11-25:06	1.3	6.93
2011-11-25:09	1.4	6.3
2011-11-25:12	1.4	6.93
2011-11-25:15	1.5	6.93
2011-11-25:18	1.4	6.93
2011-11-25:21	1.4	6.93
2011-11-26:00	1.2	6.3
2011-11-26:03	1.2	6.3
2011-11-26:06	1.2	6.3

2011-11-26:09	1.1	6.3
2011-11-26:12	1.1	6.3
2011-11-26:15	1.1	6.3
2011-11-26:18	1.1	6.3
2011-11-26:21	1.1	6.3
2011-11-27:00	0.9	6.3
2011-11-27:03	0.9	6.3
2011-11-27:06	0.9	5.73
2011-11-27:09	0.9	5.73
2011-11-27:12	0.8	5.73
2011-11-27:15	0.8	5.73
2011-11-27:18	0.7	5.73
2011-11-27:21	0.7	5.73
2011-11-28:00	0.8	6.3
2011-11-28:03	0.8	6.3
2011-11-28:06	0.8	6.3
2011-11-28:09	0.8	6.3
2011-11-28:12	0.8	6.3
2011-11-28:15	0.8	6.3
2011-11-28:18	0.8	6.3
2011-11-28:21	0.7	6.3
2011-11-29:00	0.7	6.3
2011-11-29:03	0.7	6.3
2011-11-29:06	0.7	6.3
2011-11-29:09	0.7	6.93
2011-11-29:12	0.6	6.93
2011-11-29:15	0.6	6.93
2011-11-29:18	0.6	6.3
2011-11-29:21	0.6	6.3

2011-11-30:00	0.6	6.3
2011-11-30:03	0.6	6.3
2011-11-30:06	0.6	6.3
2011-11-30:09	0.5	6.3
2011-11-30:12	0.5	6.3
2011-11-30:15	0.5	6.3
2011-11-30:18	0.5	6.3
2011-11-30:21	0.5	6.3
2011-12-01:00	0.5	6.3
2011-12-01:03	0.5	6.3
2011-12-01:06	0.5	6.93
2011-12-01:09	0.6	6.93
2011-12-01:12	0.6	6.93
2011-12-01:15	0.6	6.93
2011-12-01:18	0.6	6.93
2011-12-01:21	0.5	6.3
2011-12-02:00	0.5	6.93
2011-12-02:03	0.5	6.93
2011-12-02:06	0.5	6.93
2011-12-02:09	0.5	6.93
2011-12-02:12	0.5	6.93
2011-12-02:15	0.5	6.93
2011-12-02:18	0.5	6.93
2011-12-02:21	0.5	6.3
2011-12-03:00	0.5	6.3
2011-12-03:03	0.5	7.63
2011-12-03:06	0.5	8.39
2011-12-03:09	0.6	8.39
2011-12-03:12	0.6	8.39

2011-12-03:15	0.7	8.39
2011-12-03:18	0.7	8.39
2011-12-03:21	0.7	8.39
2011-12-04:00	0.7	8.39
2011-12-04:03	0.7	7.63
2011-12-04:06	0.7	4.74
2011-12-04:09	0.7	4.74
2011-12-04:12	0.7	4.74
2011-12-04:15	0.7	5.73
2011-12-04:18	0.7	5.73
2011-12-04:21	0.7	5.73
2011-12-05:00	0.7	5.73
2011-12-05:03	0.7	5.73
2011-12-05:06	0.6	5.73
2011-12-05:09	0.6	5.73
2011-12-05:12	0.6	6.3
2011-12-05:15	0.6	5.73
2011-12-05:18	0.6	5.73
2011-12-05:21	0.5	5.73
2011-12-06:00	0.5	5.73
2011-12-06:03	0.5	5.73
2011-12-06:06	0.5	5.73
2011-12-06:09	0.4	5.73
2011-12-06:12	0.4	5.21
2011-12-06:15	0.4	5.21
2011-12-06:18	0.4	5.21
2011-12-06:21	0.4	5.21
2011-12-07:00	0.6	4.74
2011-12-07:03	0.5	4.74

2011-12-07:06	0.5	4.31
2011-12-07:09	0.4	4.31
2011-12-07:12	0.4	4.31
2011-12-07:15	0.4	4.31
2011-12-07:18	0.4	3.91
2011-12-07:21	0.4	3.91
2011-12-08:00	0.3	3.91
2011-12-08:03	0.3	3.91
2011-12-08:06	0.4	6.3
2011-12-08:09	0.4	4.31
2011-12-08:12	0.5	4.31
2011-12-08:15	0.6	4.31
2011-12-08:18	0.6	4.74
2011-12-08:21	0.5	4.74
2011-12-09:00	0.7	5.73
2011-12-09:03	0.7	5.21
2011-12-09:06	0.7	5.73
2011-12-09:09	0.7	5.73
2011-12-09:12	0.7	5.73
2011-12-09:15	0.8	5.73
2011-12-09:18	0.8	5.73
2011-12-09:21	0.9	6.3
2011-12-10:00	0.9	5.73
2011-12-10:03	1	5.73
2011-12-10:06	1.2	5.73
2011-12-10:09	1.4	6.93
2011-12-10:12	1.6	6.93
2011-12-10:15	1.5	7.63
2011-12-10:18	1.4	6.93

2011-12-10:21	1.4	6.93
2011-12-11:00	1.2	6.3
2011-12-11:03	1.3	6.3
2011-12-11:06	1.5	6.93
2011-12-11:09	1.5	6.93
2011-12-11:12	1.5	6.93
2011-12-11:15	1.4	6.93
2011-12-11:18	1.3	6.93
2011-12-11:21	1.2	6.93
2011-12-12:00	1.2	6.3
2011-12-12:03	1.2	6.3
2011-12-12:06	1.2	6.3
2011-12-12:09	1.2	6.3
2011-12-12:12	1.2	6.3
2011-12-12:15	1.2	6.3
2011-12-12:18	1.1	6.3
2011-12-12:21	1.1	6.3
2011-12-13:00	1	6.3
2011-12-13:03	0.9	6.3
2011-12-13:06	0.9	5.73
2011-12-13:09	0.8	5.73
2011-12-13:12	0.9	5.21
2011-12-13:15	0.9	5.21
2011-12-13:18	0.8	5.21
2011-12-13:21	0.8	5.21
2011-12-14:00	0.8	5.21
2011-12-14:03	0.8	5.21
2011-12-14:06	0.7	5.21
2011-12-14:09	0.7	5.21

2011-12-14:12	0.7	4.74
2011-12-14:15	0.7	4.74
2011-12-14:18	0.6	4.74
2011-12-14:21	0.6	4.74
2011-12-15:00	0.7	4.74
2011-12-15:03	0.7	4.74
2011-12-15:06	0.8	4.74
2011-12-15:09	0.9	4.74
2011-12-15:12	1	6.3
2011-12-15:15	1	6.93
2011-12-15:18	1.1	6.93
2011-12-15:21	1.1	6.93
2011-12-16:00	1.1	6.3
2011-12-16:03	1.2	6.3
2011-12-16:06	1.2	6.3
2011-12-16:09	1.2	6.3
2011-12-16:12	1.2	6.93
2011-12-16:15	1.3	6.93
2011-12-16:18	1.3	7.63
2011-12-16:21	1.4	7.63
2011-12-17:00	1.5	7.63
2011-12-17:03	1.7	7.63
2011-12-17:06	1.8	8.39
2011-12-17:09	1.9	8.39
2011-12-17:12	1.8	8.39
2011-12-17:15	1.7	8.39
2011-12-17:18	1.5	7.63
2011-12-17:21	1.4	7.63
2011-12-18:00	1.3	7.63

2011-12-18:03	1.2	8.39
2011-12-18:06	1.3	5.73
2011-12-18:09	1.3	5.73
2011-12-18:12	1.3	6.3
2011-12-18:15	1.3	6.93
2011-12-18:18	1.2	6.93
2011-12-18:21	1.2	6.3
2011-12-19:00	1	6.3
2011-12-19:03	1	6.93
2011-12-19:06	1	6.93
2011-12-19:09	1	5.73
2011-12-19:12	1.1	5.73
2011-12-19:15	1.1	5.73
2011-12-19:18	1	5.73
2011-12-19:21	1	5.73
2011-12-20:00	0.9	5.73
2011-12-20:03	0.9	5.73
2011-12-20:06	0.9	5.73
2011-12-20:09	0.9	5.21
2011-12-20:12	0.9	5.21
2011-12-20:15	1	5.21
2011-12-20:18	1	5.21
2011-12-20:21	1	5.73
2011-12-21:00	0.8	5.73
2011-12-21:03	0.8	6.3
2011-12-21:06	0.7	6.3
2011-12-21:09	0.7	5.73
2011-12-21:12	0.8	5.73
2011-12-21:15	0.9	4.74

2011-12-21:18	1	5.21
2011-12-21:21	1	5.73
2011-12-22:00	1.2	6.3
2011-12-22:03	1.2	6.93
2011-12-22:06	1.2	6.93
2011-12-22:09	1.2	6.93
2011-12-22:12	1.2	6.93
2011-12-22:15	1.2	6.93
2011-12-22:18	1.3	6.3
2011-12-22:21	1.4	6.93
2011-12-23:00	1.2	6.3
2011-12-23:03	1.3	6.3
2011-12-23:06	1.3	6.93
2011-12-23:09	1.2	6.93
2011-12-23:12	1.2	6.93
2011-12-23:15	1.1	6.93
2011-12-23:18	1.1	6.93
2011-12-23:21	1.1	6.93
2011-12-24:00	1.4	6.93
2011-12-24:03	1.4	6.93
2011-12-24:06	1.5	6.93
2011-12-24:09	1.5	7.63
2011-12-24:12	1.6	7.63
2011-12-24:15	1.6	7.63
2011-12-24:18	1.6	7.63
2011-12-24:21	1.6	7.63
2011-12-25:00	1.9	7.63
2011-12-25:03	1.9	7.63
2011-12-25:06	1.9	7.63

2011-12-25:09	1.9	7.63
2011-12-25:12	1.8	7.63
2011-12-25:15	1.8	7.63
2011-12-25:18	1.7	7.63
2011-12-25:21	1.6	7.63
2011-12-26:00	1.6	6.93
2011-12-26:03	1.5	6.93
2011-12-26:06	1.4	6.93
2011-12-26:09	1.3	7.63
2011-12-26:12	1.2	6.93
2011-12-26:15	1.2	6.93
2011-12-26:18	1.2	6.93
2011-12-26:21	1.2	6.93
2011-12-27:00	1.1	6.3
2011-12-27:03	1.1	6.3
2011-12-27:06	1.1	6.93
2011-12-27:09	1.1	7.63
2011-12-27:12	1.1	7.63
2011-12-27:15	1.1	7.63
2011-12-27:18	1.1	6.93
2011-12-27:21	1.1	6.93
2011-12-28:00	1	8.39
2011-12-28:03	1.1	8.39
2011-12-28:06	1.1	7.63
2011-12-28:09	1.1	7.63
2011-12-28:12	1.2	7.63
2011-12-28:15	1.2	7.63
2011-12-28:18	1.1	7.63
2011-12-28:21	1.1	7.63

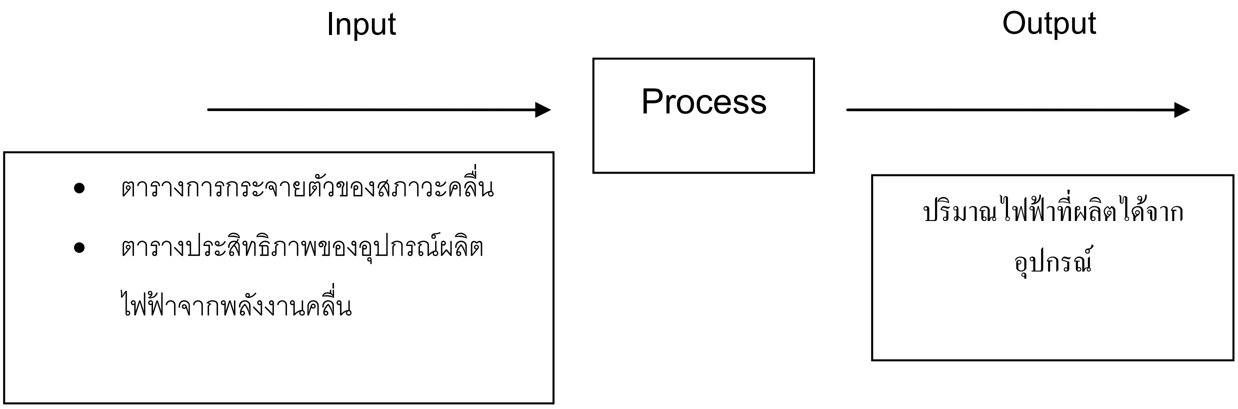
2011-12-29:00	1	8.39
2011-12-29:03	1	8.39
2011-12-29:06	1	8.39
2011-12-29:09	1	8.39
2011-12-29:12	1	8.39
2011-12-29:15	1	8.39
2011-12-29:18	1	8.39
2011-12-29:21	1	7.63
2011-12-30:00	0.9	8.39
2011-12-30:03	0.9	8.39
2011-12-30:06	0.9	8.39
2011-12-30:09	0.9	7.63
2011-12-30:12	0.9	7.63
2011-12-30:15	1	6.93
2011-12-30:18	1.1	6.93
2011-12-30:21	1.1	6.93
2011-12-31:00	1.2	6.3
2011-12-31:03	1.2	6.3
2011-12-31:06	1.2	6.3
2011-12-31:09	1.2	6.3
2011-12-31:12	1.2	6.93
2011-12-31:15	1.2	6.93
2011-12-31:18	1.2	6.93
2011-12-31:21	1.2	6.93

ภาคผนวก ข.

วิธีการคำนวณปริมาณไฟฟ้าของอุปกรณ์พิลามิส

<u>**การคำนวณปริมาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น**</u>

จากงานวิจัย “Electricity generation from wave power in Canada” ได้อธิบายว่า การคำนวณปริมาณไฟฟ้าของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นพิลามิส สามารถแสดงดังรูป ข -1 ดังนี้



รูปที่ ข-1 Process ของการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น

จากรูป ข-1 แสดงถึง Process ของการผลิตไฟฟ้าจากอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น โดยในการ Input จะต้องใช้ข้อมูลตารางการกระจายตัวของสภาวะคลื่นของพื้นที่ และข้อมูลตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์ โดยตารางการกระจายตัวของสภาวะคลื่นนั้น เริ่มต้นจะต้องใช้ข้อมูลคลื่นที่ได้รับจากกรมอุตุนิยมวิทยาทางทะเลดังรูปที่ ข -2 ดังนี้ ซึ่งเป็นข้อมูลความละเอียดของช่วงเวลาในระยะ3 ชั่วโมง ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ทางเชิงเทคนิคของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นได้ โดยข้อมูลที่ได้รับนั้นเป็นข้อมูลที่ครบระยะเวลา 1 ปี โดย “Electricity generation from wave power in Canada” ได้อธิบายว่า สมมตฐานของสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้นเกิดเท่ากันหมดในระยะเวลา 3 ชั่วโมง ยกตัวอย่างเช่น ความสูงคลื่นนัยสำคัญ 1.1 เมตร และคาบคลื่น 6.3 วินาที แสดงว่า คลื่นดังกล่าวเกิดขึ้นในรูปแบบลักษณะเดียวกันในช่วงระยะเวลา 3 ชั่วโมง เป็นต้น

2	Date:Time	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (เมตร)	คาบคลื่น (วินาที)
3	2011-01-01:00	1.1	6.3
4	2011-01-01:03	1.2	6.3
5	2011-01-01:06	1.2	6.93
6	2011-01-01:09	1.3	6.93
7	2011-01-01:12	1.2	6.93
8	2011-01-01:15	1.2	6.93
9	2011-01-01:18	1.2	6.93
10	2011-01-01:21	1.2	6.93
11	2011-01-02:00	1	6.3
12	2011-01-02:03	1	6.3
13	2011-01-02:06	1	6.3
14	2011-01-02:09	1	6.3
15	2011-01-02:12	1	6.3
16	2011-01-02:15	1	6.3
17	2011-01-02:18	1	6.3
18	2011-01-02:21	1	6.3
19	2011-01-03:00	1.2	6.3

รูปที่ ข-2 ตารางข้อมูลคลื่นพื้นที่สงขลา

จากรูป ข-2 แสดงถึงตารางข้อมูลคลื่นพื้นที่สงขลา โดยข้อมูลดังกล่าวจะแสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือความสูงคลื่นนัยสำคัญ (เมตร) และคาบคลื่น (วินาที) จากนั้นจะต้องจัดเตรียมสร้างตารางที่มีลักษณะที่คล้ายกับตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์พิลามิส เพื่อที่จะนำข้อมูลคลื่นดังกล่าวเพิ่มเข้าไปในตารางเพื่อนับเป็นจำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้นของพื้นที่ แสดงดังรูป ข-3 โดยจะต้องปรับค่าของพารามิเตอร์ ความสูงคลื่นนัยสำคัญและคาบคลื่นให้ตรงกับตารางมาตรฐาน

ตารางที่ ข-1 ตารางที่ถูกสร้างขึ้นให้คล้ายกับตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์

		Upper Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

จากรูปที่ ข-3 แสดงถึงตารางที่ถูกสร้างขึ้นให้คล้ายกับตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น เพื่อที่จะรับข้อมูลของจำนวนความถี่ชั่วโมงของสภาวะคลื่น โดยตารางดังกล่าวจะมีระดับความสูงคลื่นนัยสำคัญและคาบคลื่นมาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณที่แสดงดังแถบสีเทา เพื่อจะสามารถนำไปใช้การคำนวณปริมาณไฟฟ้าของอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น โดยทั่วไปข้อมูลคลื่นที่ได้รับจะเป็นข้อมูลคลื่นที่มีการกระจายตัวเป็นอย่างมาก ดังนั้นจะต้องมีขอบเขตของข้อมูลคลื่น เพื่อจะทำให้สามารถใส่จำนวนชั่วโมงคลื่นเข้าสู่ตารางสภาวะคลื่นได้ โดยจะต้องมีการกำหนดขอบล่าง และขอบบนของข้อมูลคลื่นที่แสดงดังรูปที่ ข -3 ยกตัวอย่างเช่น ถ้าความสูงคลื่นนัยสำคัญและคาบคลื่น ไม่ตรงกับค่ามาตรฐานในตาราง จะต้องปรับค่าที่อยู่ในช่วงขอบบนและขอบล่างด้วยโปรแกรม Excel 2007 แสดงดังรูปที่ ข-4

L3 fx Upper Tp:

	A	B	C	D	E	F
1						
2	Date:Time	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ	คาบคลื่น		ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (ปรับ)	คาบคลื่น (ปรับ)
3	2011-01-01:00	1.1	6.9		1	7
4	2011-01-01:03	1.2	6.3		1	6
5	2011-01-01:06	1.2	6.93		1	7
6	2011-01-01:09	1.3	6.93		1.5	7
7	2011-01-01:12	1.2	6.93		1	7
8	2011-01-01:15	1.2	6.93		1	7
9	2011-01-01:18	1.2	6.93		1	7
10	2011-01-01:21	1.2	6.93		1	7
11	2011-01-02:00	1	6.3		1	6
12	2011-01-02:03	1	6.3		1	6
13	2011-01-02:06	1	6.3		1	6
14	2011-01-02:09	1	6.3		1	6
15	2011-01-02:12	1	6.3		1	6
16	2011-01-02:15	1	6.3		1	6
17	2011-01-02:18	1	6.3		1	6
18	2011-01-02:21	1	6.3		1	6

รูปที่ ข-3 การปรับค่าข้อมูลคลื่นให้ตรงกับตารางมาตรฐาน

จากรูปที่ ข-4 แสดงถึงการปรับค่าข้อมูลคลื่นที่ได้รับทั้งหมดให้ตรงกับตารางมาตรฐานโดยใช้ขอบเขตบนและขอบเขตล่างเป็นเกณฑ์ในการทำค่าตัวเลขให้ตรงกับตาราง เพื่อที่จะนำไปใช้ในการใส่จำนวนชั่วโมงข้อมูลสภาวะของการเกิดคลื่นใน ตารางมาตรฐาน จากนั้นเมื่อปรับตารางของชุดข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะต้องทำการใส่ข้อมูลของจำนวนสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้นลงสู่ตาราง

สภาวะคลื่น ด้วยโปรแกรม Excel 2007 โดยหนึ่งชุดข้อมูลคลื่น ประกอบไปด้วย ความสูงคลื่นนัยสำคัญและคาบคลื่น ยกตัวอย่างเช่น จากรูป ข -4 จะสามารถแจกแจงชุดข้อมูลคลื่นเป็นจำนวนความถี่ชั่วโมงของสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้นได้ดังรูปที่ ข-5 ดังนี้

ตารางที่ ข-2 ตัวอย่างจำนวนความถี่ชั่วโมงของสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้น

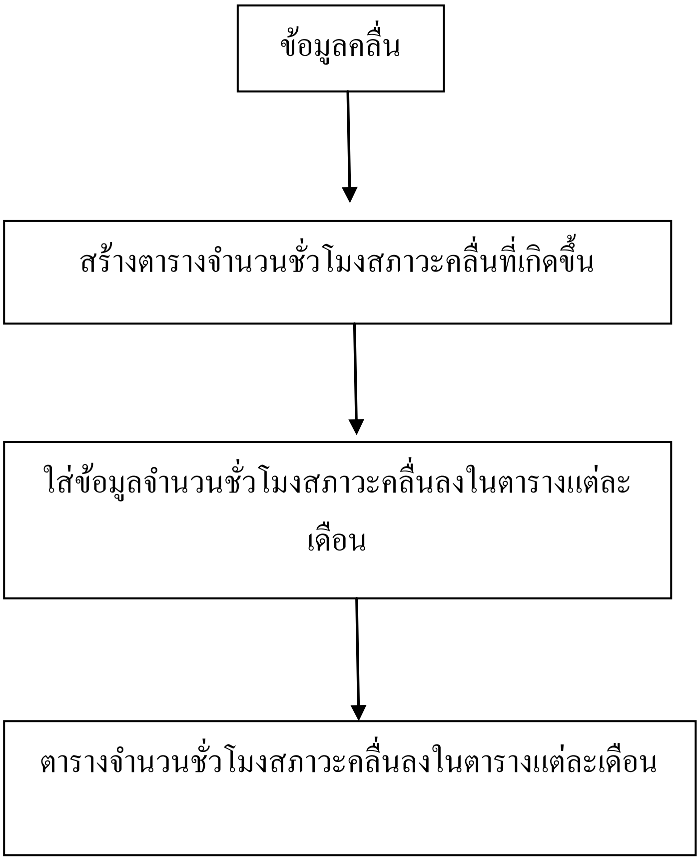
ความสูงคลื่นนัยสำคัญ	**คาบคลื่น**	**ชุดข้อมูลคลื่น**	**จำนวนชั่วโมง**
1	6	9	27
1	7	6	18
1.5	7	1	3

จากตารางที่ ข-2 แสดงถึงตัวอย่างความถี่ชั่วโมงของสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้น โดยจะมีหน่วยที่เกิดขึ้นเป็นชั่วโมง เมื่อได้จำนวนชั่วโมงดังกล่าวแล้วจะต้องนำไปใส่ในตารางมาตรฐานที่สร้างไว้ให้ตรงกับช่องข้อมูลคลื่น จากตารางที่ ข-2 นั้นสามารถนำไปใส่ในตารางมาตรฐาน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ ข-3 ได้ดังนี้

ตารางที่ ข-3 ตารางความถี่ชั่วโมงของสภาวะคลื่น

		Upper Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	0	0	27	18	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

จากตารางที่ ข -3 แสดงถึงตารางแสดงการกระจายตัวความถี่รายชั่วโมงของสภาวะคลื่นตัวอย่างที่เกิดขึ้น โดยข้อมูลจากตารางที่ ข -2 นั้นจะถูกนำไปใส่ไว้ในตาราง ข -3 โดยในการทำตารางดังกล่าวนั้นจะต้องทำทีละเดือน โดยแสดงขั้นตอนการสร้างตารางดังรูป ข -4 ดังนี้



รูป ข-4 ขั้นตอนการสร้างตารางจำนวนชั่วโมงสภาวะการเกิดคลื่น

จากรูป ข -4 แสดงถึงขั้นตอนการสร้างตารางจำนวนชั่วโมงสภาวะการเกิดคลื่น เพื่อที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ถึงปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน โดยในการคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานคลื่นคำนวณได้โดยการนำตารางสภาวะการเกิดคลื่นไปคูณกับตารางประสิทธิภาพ ซึ่งตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นนั้นจะแสดงดังรูปที่ ข-5 ดังนี้

Hs (m)	Tp (s)											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
9.5	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
9	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
8.5	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
8	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
7.5	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	748
7	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	692
6.5	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	723	592
6	597	630	663	684	750	750	750	750	750	750	616	633
5.5	428	497	566	612	750	750	750	750	750	635	642	532
5	259	364	469	539	750	750	750	750	644	641	531	482
4.5	94	233	371	467	735	744	738	634	626	520	473	390
4	105	216	326	394	632	616	583	585	494	454	374	361
3.5	0	86	211	326	484	577	568	502	421	394	330	312
3	0	91	180	246	402	424	417	369	343	331	275	229
2.5	0	7	93	171	279	342	351	320	274	230	210	174
2	0	0	66	109	199	219	225	205	195	162	135	112
1.5	0	0	26	62	112	141	143	129	110	91	76	63
1	0	0	11	27	50	62	64	57	49	41	34	28
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ ข-5ตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์

จากรูป ข -5 แสดงถึงตารางประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ซึ่งได้รับจากงานวิจัย “System Level Design, Performance and Costs for San Francisco California Pelamis Offshore Wave Power Plant” โดยตารางดังกล่าวจะเป็นตารางเฉพาะของอุปกรณ์พิลามิส ซึ่งถูกสร้างโดยบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ เพื่อที่ จะนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นที่เกิดขึ้น โดยใช้พารามิเตอร์ที่สำคัญคือความสูงคลื่นนัยสำคัญ และคาบคลื่น จะพบว่า การทำตารางของความถี่การกระจายตัวของสภาวะคลื่นนั้นให้คล้ายกับตารางประสิทธิภาพ เนื่องจากจะต้องใช้ในการคำนวณ โดยที่จะต้องนำตารางทั้ ง 2 ตารางนั้นมาคูณกัน โดยตารางของสภาวะคลื่นที่เกิดขึ้นและตารางปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดในแต่ละเดือนนั้นจะถูกแสดงอยู่ในภาคผนวก ค.

ภาคผนวก ค

ตารางสภาวะคลื่นและตารางปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ของพื้นที่สงขลา

ตาราง ค-1 ความถี่จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นในพื้นที่สงขลา เดือนมกราคม 2554

ม.ค.		Upper Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	0	117	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	6	72	180	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	0	12	90	105	27	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	0	3	3	36	30	45	18	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง ค-2 ความถี่จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นในพื้นที่สงขลา เดือนกุมภาพันธ์ 2554

ก.พ.		Upper Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	21	42	21	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	0	63	225	27	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	0	105	15	135	18	0	0	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง ค-3 ความถี่จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นในพื้นที่สงขลา เดือนมีนาคม 2554

มี.ค.		Upper Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	3	36	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	3	111	30	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	0	27	135	48	24	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	0	0	81	165	33	48	0	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง ค-4 ความถี่จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นในพื้นที่สงขลา เดือนเมษายน 2554

เม.ย.		Upper Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	0	63	57	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	0	39	240	225	0	96	0	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง ค-5 ความถี่จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นในพื้นที่สงขลา เดือนพฤษภาคม 2554

พ.ค.		Upper												
		Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower												
		Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	12	9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	42	330	252	84	3	0	9	0	0	0	0	0

ตาราง ค-6 ความถี่จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นในพื้นที่สงขลา เดือนมิถุนายน 2554

มิ.ย.		Upper Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	9	42	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	3	258	297	66	18	21	0	0	0	0	0	0

ตาราง ค-7 ความถี่จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นในพื้นที่สงขลา เดือนกรกฎาคม 2554

ก.ค.		Upper Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	21	3	66	33	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	24	294	231	72	0	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง ค-8 ความถี่จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นในพื้นที่สงขลา เดือนสิงหาคม 2554

ส.ค.		Upper											
		Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	3	21	33	66	12	0	0	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	27	270	285	6	0	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง ค-9 ความถี่จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นในพื้นที่สงขลา เดือนกันยายน 2554

ก.ย.														
		Upper Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	48	48	57	27	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	24	216	279	21	0	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง ค-10 ความถี่จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นในพื้นที่สงขลา เดือนตุลาคม 2554

ต.ค.		Upper Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	0	27	81	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	9	105	177	15	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	3	105	78	0	24	99	21	0	0	0	0	0

ตาราง ค-11 ความถี่จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นในพื้นที่สงขลา เดือนพฤศจิกายน 2554

พ.ย.		Upper Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	21	69	21	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	0	6	87	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	0	138	105	219	9	0	0	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	21	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง ค-12 ความถี่จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นในพื้นที่สงขลา เดือนธันวาคม 2554

ธ.ค.		Upper Tp:	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	11	11.5	12.5	13.5	14.5
		Lower Tp:	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Hs and Tp bin boundaries			Tp (sec)											
Lower Hs	Upper Hs	Hs (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9.75	10.25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.25	9.75	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.75	9.25	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.25	8.75	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.75	8.25	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.25	7.75	7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.75	7.25	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.25	6.75	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.75	6.25	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.25	5.75	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	5.25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.25	4.75	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.75	4.25	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.25	3.75	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.75	3.25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.25	2.75	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.75	2.25	2	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0
1.25	1.75	1.5	0	0	0	18	63	60	0	0	0	0	0	0
0.75	1.25	1	0	0	42	141	90	66	0	0	0	0	0	0
0.25	0.75	0.5	0	33	60	81	36	27	0	0	0	0	0	0
0	0.25	0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง ค-13 ความถี่จำนวนชั่วโมงของสภาวะคลื่นในพื้นที่สงขลา ใน 1 ปี

ความสูงคลื่น (เมตร)	คาบคลื่น (วินาที)												
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	รวม
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	3	189	0	0	0	0	0	0	192
1.5	0	0	0	69	357	312	0	0	0	0	0	0	738
1	0	0	240	837	270	117	0	0	0	0	0	0	1464
0.5	102	546	840	1008	138	216	18	0	0	0	0	0	2868
0.125	144	1488	1422	249	45	120	30	0	0	0	0	0	3498
	246	2034	2502	2163	813	954	48	0	0	0	0	0	8760

ตาราง ค-14 ตารางปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์พิลามิส ในเดือนมกราคม 2554

คาบคลื่น (วินาที)

ความสูงคลื่น (เมตร)

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	รวม
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	16497	0	0	0	0	0	0	16497
1.5	0	0	0	372	8064	11160	0	0	0	0	0	0	19596
1	0	0	132	2430	5250	0	0	0	0	0	0	0	7812
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	132	2802	13314	27657	0	0	0	0	0	0	**43905**

ตาราง ค-15 ตารางปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์พิลามิส ในเดือนกุมภาพันธ์ 2554

คาบคลื่น (วินาที)

ความสูงคลื่น (เมตร)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	**รวม**
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	1302	4704	1302	0	0	0	0	0	0	7308
1	0	0	693	6075	1350	0	0	0	0	0	0	0	8118
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	693	7377	6054	1302	0	0	0	0	0	0	15426

ตาราง ค-16 ตารางปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์พิลามิส ในเดือนมีนาคม 2554

คาบคลื่น (วินาที)

ความสูงคลื่น (เมตร)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	รวม
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	597	5076	0	0	0	0	0	0	5673
1.5	0	0	0	186	12432	1860	0	0	0	0	0	0	14478
1	0	0	297	3645	2400	0	0	0	0	0	0	0	6342
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	297	3831	15429	6936	0	0	0	0	0	0	26493

ตาราง ค-17 ตารางปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์พิลามิส ในเดือนเมษายน 2554

คาบคลื่น (วินาที)

ความสูงคลื่น (เมตร)

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	รวม
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	693	1539	0	0	0	0	0	0	0	0	2232
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	693	1539	0	0	0	0	0	0	0	0	2232

ตาราง ค-18 ตารางปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์พิลามิส ในเดือนพฤษภาคม 2554

ความสูงคลื่น (เมตร)	คาบคลื่น (วินาที)											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	รวม
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง ค-19 ตารางปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์พิลามิส ในเดือนมิถุนายน 2554

ความสูงคลื่น (เมตร) / **คาบคลื่น (วินาที)**

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	รวม
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง ค-20 ตารางปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์พิลามิส ในเดือนกรกฎาคม 2554

ความสูงคลื่น (เมตร) \ คาบคลื่น (วินาที)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	รวม
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง ค-21 ตารางปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์พิลามิส ในเดือนสิงหาคม 2554

ความสูงคลื่น (เมตร)	คาบคลื่น (วินาที)											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	รวม
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	567	0	0	0	0	0	0	0	0	567
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	567	0	0	0	0	0	0	0	0	567

ตาราง ค-22 ตารางปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์พิลามิส ในเดือนกันยายน 2554

ความสูงคลื่น (เมตร)	**คาบคลื่น (วินาที)**												
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	รวม
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง ค-23 ตารางปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์พิลามิส ในเดือนตุลาคม 2554

ความสูงคลื่น (เมตร)	คาบคลื่น (วินาที)												
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	รวม
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	297	2187	0	0	0	0	0	0	0	0	2484
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	297	2187	0	0	0	0	0	0	0	0	2484

ตาราง ค-24 ตารางปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์พิลามิส ในเดือนพฤศจิกายน 2554

คาบคลื่น (วินาที)

ความสูงคลื่น (เมตร)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	รวม
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1269	0	0	0	0	0	0	1269
1.5	0	0	0	1302	7728	1302	0	0	0	0	0	0	10332
1	0	0	66	2349	0	0	0	0	0	0	0	0	2415
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	66	3651	7728	2571	0	0	0	0	0	0	14016

ตาราง ค-25 ตารางปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากอุปกรณ์พิลามิส ในเดือนธันวาคม 2554

ความสูงคลื่น (เมตร) \ คาบคลื่น (วินาที)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	รวม
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	3807	0	0	0	0	0	0	3807
1.5	0	0	0	1116	7056	3720	0	0	0	0	0	0	11892
1	0	0	462	3807	4500	0	0	0	0	0	0	0	8769
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	462	4923	11556	7527	0	0	0	0	0	0	**24468**

ตาราง ค-26 ตารางปริมาณผลิตไฟฟ้าใน 1 ปี ของพื้นที่สงขลา

เดือน	**ปริมาณการผลิตไฟฟ้าของพื้นที่สงขลา**	
	กิโลวัตต์.ชั่วโมง	**เมกกะวัตต์.ชั่วโมง**
ม.ค.	43,905	43.905
ก.พ.	15,426	15.426
มี.ค.	26,493	26.493
เม.ษ	2,232	2.232
พ.ค.	0	0
มิ.ย.	0	0
ก.ค.	0	0
ส.ค.	0	0
ก.ย.	0	0
ต.ค.	2,484	2.484
พ.ย.	14,016	14.016
ธ.ค.	24,468	24.468
รวม	129,064	129.064

Capacity factor, C.F.

$$CF = \frac{\text{Actual annual energy output}}{\text{Rated power output} \times \text{Hours per year}} \text{.....สมการที่ ค-1}$$

Actual annual energy output	=	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงตลอดปี (กิโลวัตต์.ชั่วโมง)
Rated power output	=	กำลังผลิตไฟฟ้าของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้า (กิโลวัตต์)
Hour per year	=	จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี (ชั่วโมง/ปี)

$$CF = \frac{129{,}064 \text{ กิโลวัตต์.ชั่วโมง}}{750 \text{ กิโลวัตต์} \times 8{,}760 \text{ ชั่วโมง}} = 1.96\% \text{......สมการที่ ค-2}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสันต์สิริ ศิริสรรหิรัญ เกิดเมื่อวันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2530 โรงพยาบาลศิริราช กรุงเทพมหานคร เข้ารับการศึกษาระดับมัธยมที่โรงเรียนทวีธาภิเษก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553