รายงานการวิจัย

การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากคลื่นในทะเล

Design of The Electric Power Generation System from Ocean Wave

สุรินทร์ กาญจนะ

ปภัศร์ชกรณ์ อารีย์กุล

กิตติกร ขันแกล้ว

วีระศักดิ์ ไชยชาญ

คณิศร บุญรัตน์

จันทิรา เจือกโว้น

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณเงินแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2559

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่กรุณาช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา การดำเนินการวิจัย ขอขอบพระคุณบุคลากรสาขาเทคโนโลยี ที่ค่อยช่วยเหลือ แนะนำการดำเนินการวิจัย และขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนงานวิจัย “ทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณ ประจำปี พ.ศ. 2559” ที่ให้ทุนสนับสนุนทำวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจอันสำคัญยิ่ง และอีกหลายๆ ท่านที่ไม่สามารถกล่าวถึงไว้ในที่นี้ได้หมด รวมถึงขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ให้สถานที่ในการทำวิจัย คุณประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิจัยนี้เป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

สุรินทร์ กาญจนะ
ปภัศร์ชกรณ์ อารีย์กุล
กิตติกร ขันแกล้ว
วีระศักดิ์ ไชยชาญ
คณิศร บุญรัตน์
จันทิรา เจือกโว้น
กันยายน 2560

การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากคลื่นในทะเล

สุรินทร์ กาญจนะ, ปภัศร์ชกรณ์ อารีย์กุล, กิตติกร ขันแกล้ว, วีระศักดิ์ ไชยชาญ, คณิศร บุญรัตน์, จันทิรา เจือกโว้น

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบการผลิตไฟฟ้าจากคลื่นในทะเลเพื่อเป็นทางเลือกในการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทน ผู้วิจัยทำการออกแบบให้ทุ่นเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ตามคลื่นในทะเล เมื่อทุ่นเคลื่อนที่ขึ้น-ลง จะทำให้กระบอกไฮดรอลิกส์ดูดและอัดน้ำมันไฮดรอลิกส์ไปยังถังแรงดันไฮดรอลิกส์จนเกิดแรงดันสูง น้ำมันไฮดรอลิกส์ถูกจ่ายไปยังมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ระบบผลิตไฟฟ้าจากคลื่นทะเลทั้งหมดถูกติดตั้งภายในทะเล

จากการวิจัย พบว่า กระบอกไฮดรอลิกส์สามารถอัดน้ำมัน ไฮดรอลิกส์เกิดแรงดันภายในถังแรงดันไฮโดรลิกส์จาก 62 PSI เป็น 126 PSI ความเร็วรอบเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 17.9 rpm เป็น 422 rpm เมื่อต่อภาระไฟฟ้าขนาด 500 W พบว่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าจากคลื่นในทะเลเท่ากับ 60.1 V, 3.2 A และ 192.32 W ตามลำดับ

คำสำคัญ: การผลิตไฟฟ้า ไฮดรอลิกส์ ทุ่น คลื่นทะเล พลังงานทดแทน

.....

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.สิเกา จ.ตรัง

Design of The Electric Power Generation System from Ocean Wave

Surin Kanchana, Phatchakorn Areekul, Kittikorn Khanklaeo, Weerasak Chaichan, Kanitsorn Boonrat, Jantira Juakvont

Abstract

This research aimed to the electric power generation system from ocean wave as an alternative to producing electricity from renewable energy. The researcher designed the buoy moves up and down according to ocean wave. The hydraulic cylinder sucked and compressed hydraulic oil into hydraulic pressure tank until generate high pressure when the buoy moves up and down. Hydraulic oil was distributed to motor hydraulic, which is connected to a generator for produce electricity. The electric power generation system from ocean wave will be installed within the sea.

The experimental results found that the hydraulic cylinder can be compressed the hydraulic oil to make pressure in the hydraulic pressure tank from 62 PSI to 126 PSI. The shaft speed of generator increase from 17.9 rpm to 422 rpm. When the load of 500 W is connected, maximum voltage, current and power that generated from the electric power generation system from ocean wave of 60.1 V, 3.2 A and 192.32 W, respectively.

Keywords: Electric Power Generation, Hydraulic, Buoys, Ocean Wave, Renewable Energy

Faculty of Science and Fisheries Technology. Rajamangala University of Technology Srivijaya, Sikao, Trang.

สารบัญ

หัวเรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
1.6 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**9**
2.1 พลังงานคลื่นมหาสมุทร	9
2.2 หลักการลอยตัวของทุ่น	30
2.3 ไฮดรอลิก	31
2.4 ไฮดรอลิกมอเตอร์	37
2.5 เจนเนอเรเตอร์	38
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	**44**
3.1 ศึกษาความเป็นไปได้เพื่อหาขอบเขตงานและทำการวางแผน	44
3.2 บล็อกไดอะแกรมระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่นในทะเล	46
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	47
3.4 ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่นในทะเล	51
3.1 ศึกษาความเป็นไปได้เพื่อหาขอบเขตงานและทำการวางแผน	44
บทที่ 4 ผลการวิจัย	**53**
4.1 ผลการทดสอบระบบผลิตพลังไฟฟ้าด้วยคลื่นในทะเล	53
4.2 ทดสอบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่นในทะเล ในสถานที่จริง	56
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	**60**
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	60
5.2 ข้อเสนอแนะ	60

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 4-1 ทดสอบการทำงานของเจนเนอเรเตอร์โดยต่อโหลดที่ใช้กำลังไฟฟ้า 100-1000 วัตต์ 54
ตารางที่ 4-2 ทดสอบการทำงาน โดยต่อโหลดที่ใช้กำลังไฟ 500 วัตต์ 57

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาของการวิจัย

ไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สำคัญในชีวิตประจำวัน มีบทบาทต่อการดำเนินชีวิตคนเรา มีบทบาทต่อการพัฒนาประเทศ และมีบทบาทต่อเศรษฐกิจและสังคมอย่างมาก ปัจจุบันแหล่งพลังงานต่างๆ บนโลกเริ่มมีปริมาณน้อยลง หรือหากมี ก็ได้มายากขึ้นด้วยข้อจำกัดต่างๆ มากมาย เช่น แหล่งพลังงานไปอยู่ในประเทศที่ไม่ยินยอมให้ประเทศอื่นเข้าไปได้สัมปทานหรือทำการผลิต ความยากลำบากในการเข้าถึงแหล่งพลังงานอันเนื่องจากภูมิประเทศ ฯลฯ นอกจากนี้ ยังมีเรื่องผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตการใช้พลังงานเหล่านั้นเป็นข้อจำกัดที่สำคัญมาก เพิ่มเข้ามาอีกซึ่งทำให้ไม่เอื้ออำนวยต่อการผลิตพลังงานเพื่อใช้ในโลก ทำให้ราคาพลังงานทั้งในปัจจุบันและในอนาคตมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้นประเทศต่างๆ จึงพยายามมองหาแหล่งพลังงานใหม่ๆ มาใช้ทดแทนพลังงานจากฟอสซิลมีมากขึ้น [2]

ประเทศไทยเองก็ต้องจัดหาพลังงาน โดยเฉพาะที่เป็นน้ำมันนำเข้าเฉลี่ยสูงถึง ร้อยละ 45 นอกจากนั้นยังต้องนำเข้าก๊าซธรรมชาติบางส่วน ถ่านหิน และไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้านด้วย รวมเป็นสัดส่วนการพึ่งพาพลังงานจากภายนอกอยู่ในระดับสูงกว่าร้อยละ 55 รัฐบาลได้กำหนดนโยบายพลังงานโดยให้พลังงานทดแทนเป็นวาระแห่งชาติ มีแผนงานที่จะเพิ่มสัดส่วนใช้พลังงานทดแทน จากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 12 ในปี 2554 [1] โดยจะมีการสนับสนุนการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนในระดับชุมชน หมู่บ้าน ภายใต้มาตรการจูงใจที่เหมะสม ดังนั้นการจัดหาแหล่งพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกที่ต้องดำเนินการเร่งด่วน และสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลปัจจุบัน การพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจังจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่น และยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้าของประเทศซึ่งเดิมต้องพึ่งพาก๊าซธรรมชาติเป็นหลักมากกว่าร้อยละ 70 โดยพลังงานทดแทน ถือเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงเป้าหมายที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทดแทนก๊าซธรรมชาติได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมแบบทุ่งกังหันลม พลังน้ำขนาดเล็ก ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะ และหากเทคโนโลยีพลังงานทดแทนเหล่านี้มีต้นทุนถูกลงและได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง ก็อาจสามารถพัฒนาให้เป็นพลังงานหลักในการผลิตไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยได้ในอนาคต [1]

ในปัจจุบันพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมมีการนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าอย่างแพร่หลาย ทั้งในรูปของ Solar farm และ Wind farm เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐทั้งในเรื่องของงบประมาณการลงทุน และราคาการรับซื้อกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ ในราคาที่สูง ในขณะที่พลังงานน้ำ

ปัจจุบันมีการสร้างโรงผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำน้อยมาก เนื่องจากในการสร้างต้องใช้พื้นที่ที่มีแหล่งน้ำขนาดใหญ่ ทำให้ต้องมีการตัดต้นไม้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับพลังงานคลื่นยังไม่มีการผลิตใช้ในเชิงพาณิชย์ อยู่ในขั้นตอนของการศึกษาทดลอง อย่างไรก็ตามการนำพลังงานดังกล่าว มาใช้ประโยชน์อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ สำหรับประเทศไทยที่มีพื้นที่ติดชายฝั่งทะเลค่อนข้างมาก โดยเฉพาะบริเวณภาคใต้ นอกจากสามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมแล้ว ยังสามารถนำพลังงานคลื่นจากทะเลมาใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย

ดังนั้นเพื่อเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมโดยลดการใช้พลังงานจากฟอสซิล และแสวงหาแหล่งพลังงานใหม่เพื่อตอบสนองต่อความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น จึงได้มีแนวคิดในการการศึกษาค้นคว้าและวิจัย เกี่ยวกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นในทะเล เพื่อเป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถผลิตขึ้นทดแทนได้ในระยะอันสั้นได้ โดยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

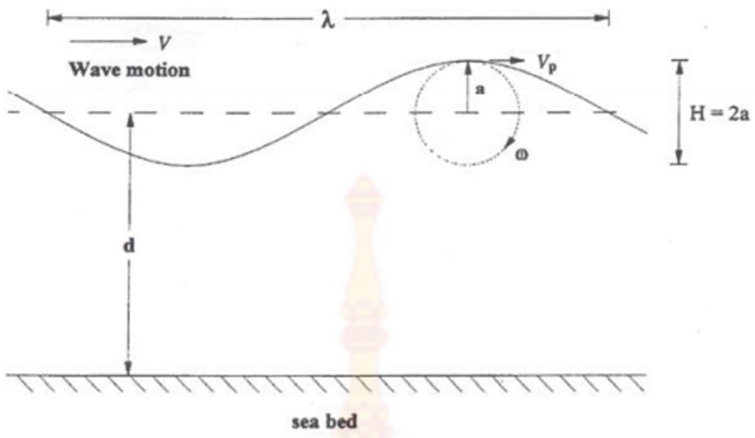
1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นในทะเล ที่มีความเหมาะสมกับศักยภาพของคลื่นในทะเล
2. เพื่อศึกษาหาสมรรถนะของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นในทะเล
3. เพื่อเสริมสร้างการใช้พลังงานทดแทนในระดับชุมชน

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นในทะเล ที่มีความเหมาะสมกับศักยภาพของคลื่นในทะเล ณ พื้นที่หาดราชมงคล ต.ไม้ฝาด อ.สิเกา จ.ตรัง
2. มีขนาดกำลังการผลิตของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นในทะเล 0.5 kW
3. ใช้ทุ่นในการเคลื่อนไหว ให้เกิดการบีบอัด สร้างความดันที่แกนไฮดรอลิคเพื่อสะสมพลังในถังแรงดัน และส่งไปขับมอเตอร์น้ำมันที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
4. ทุ่นสามารถติดตั้งได้ที่ระดับน้ำลึก 2 เมตร ถึง 5 เมตร

1.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

คลื่น (Wave) เป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งเกิดจากการที่มีลมพัดผ่านพื้นผิวของทะเลหรือมหาสมุทร โดยขนาดของคลื่นขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านบริเวณนั้น ซึ่งมีการเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นคลื่นซายน์ (Sinusoidal Wave) ดังแสดงในภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 ลักษณะของคลื่นน้ำที่เป็นรูปคลื่นซายน์

โดยมีองค์ประกอบของคลื่น ดังนี้

สันคลื่น (Crest) คือ ตำแหน่งสูงสุดของคลื่นมีกระจัดมากที่สุดในทางบวก และมีเฟสตรงกัน

ท้องคลื่น (Crest) คือ ตำแหน่งสูงสุดของคลื่นมีกระจัดมากที่สุดในทางลบ และมีเฟสตรงกัน

ความยาวคลื่น (Wave Length; λ) หมายถึง ความยาวของคลื่น 1 คลื่น เป็นระยะทางที่วัดระหว่างจุดสองจุดที่สั้นที่สุดบนคลื่นที่เฟสตรงกัน ในระบบ SI มีหน่วยเป็นเมตร (m)

ความถี่ (Frequency; f) หมายถึง จำนวนคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านจุดใดๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา ในระบบ SI มีหน่วยเป็น วินาที$^{-1}$ (s^{-1}) หรือ เฮิร์ทซ์ (Hz)

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

อัตราเร็วของคลื่น (Speed; v) หมายถึง ระยะทางที่คลื่นเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา และเนื่องจากขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ไปด้วย อัตราเร็วค่าหนึ่ง เฟสของคลื่นก็เคลื่อนที่ไปด้วยอัตราเร็วเท่ากัน ดังนั้นในบางครั้งจึงเรียกว่า อัตราเร็วเฟส (Phase Speed) ของคลื่นในระบบ SI มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (ms^{-1}) สามารถคำนวณได้จาก

$$v = f\lambda \text{ ?} \qquad (1)$$

และ

$$v = \frac{\lambda}{T} \qquad (2)$$

มุมเฟส (Phases Angle; φ) หมายถึง มุมที่ใช้กำหนดตำแหน่งบนคลื่นขณะที่เคลื่อนที่โดยมีความสัมพันธ์กับการกระจัดของการเคลื่อนที่ของคลื่น ในระบบ SI มีหน่วยเป็นเรเดียน (Radian; rad)

แอมพลิจูด (Amplitude; A) หมายถึง การกระจัดสูงสุดของการสั่นของอนุภาคจากระดับปกติ ค่าของแอมพลิจูดจะบอกค่าพลังงานของคลื่นโดยพลังงานจะแปรโดยตรงกับแอมพลิจูด ในระบบ SI มีหน่วยเป็นเมตร

ความถี่เชิงมุม (Angular Frequency, ω) ของคลื่น สามารถหาได้จาก

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \tag{3}$$

ในกรณีที่ความสูงของคลื่น มีค่ามากกว่าความลึกของทะเลมากๆ ค่าความยาวคลื่นสามารถหาได้จาก

$$\lambda = \frac{2\pi g}{\omega^2} \tag{4}$$

และจากสมการที่ 3 และ 4 จะได้

$$T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}} \tag{5}$$

ดังนั้นจากสมการที่ (1)-(5) จะได้ค่าความเร็วของผิวคลื่น ตามสมการที่ (6)

$$v = \frac{\omega\lambda}{2\pi} = \frac{g}{\omega} = \frac{gT}{2\pi} = g\sqrt{\frac{\lambda}{2\pi g}} \tag{6}$$

ค่าพลังงานของคลื่นที่มีความยาวคลื่น λ ซึ่งเป็นผลมาจากผลการรวมตัวของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของคลื่น สามรถหาได้จากสมการที่ (7)

$$W = \frac{\rho g H^2 \lambda}{8} \tag{7}$$

เมื่อ W คือ พลังงานของคลื่น (J/m)

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

H คือ ระยะความสูงจากท้องคลื่นถึงสันคลื่น (m) หรือเท่ากับ 2a

จากสมการที่ (3), (4) และ (7) จะได้ค่าพลังงานรวมต่อหนึ่งหน่วยคลื่นเท่ากับ

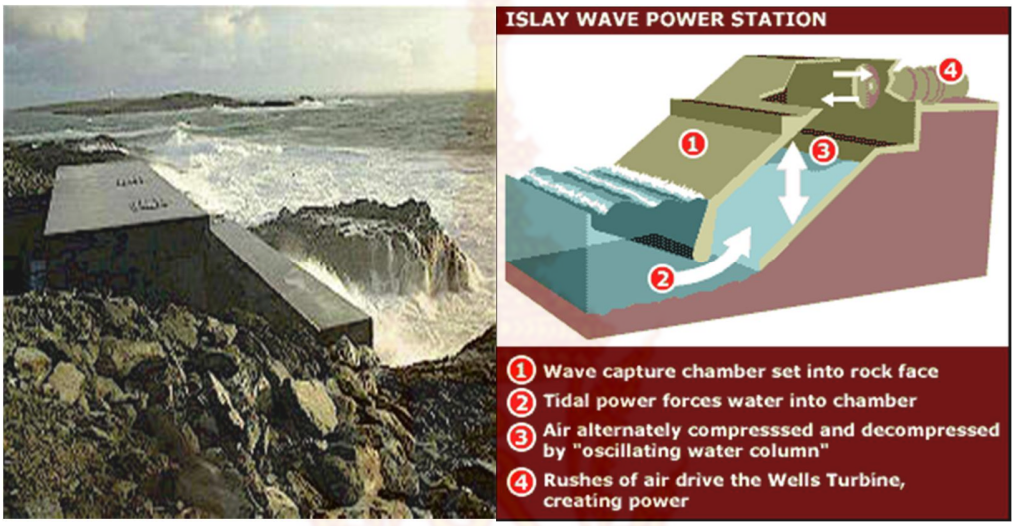
$$W = \frac{1}{16\pi}\rho g^2 H^2 T^2 \qquad (8)$$

ดังนั้นค่าพลังงานของคลื่นจะขึ้นอยู่กับความเร็วและความสูงของคลื่น โดยสามารถกล่าวได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นในบริเวณชายฝั่งยาว 100 กิโลเมตร สามารถใช้ผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 2,000 เมกะวัตต์ โดยเป็นการประเมินค่าพลังงานจากคลื่นแถบชายฝั่ง ส่วนนอกชายฝั่งออกไปการใช้พลังงานคลื่นเพื่อผลิตไฟฟ้าทำได้ค่อนข้างยาก ถึงแม้จะมีพลังงานคลื่นมหาศาล เนื่องจากต้องมีการสร้างสถานีเพื่อผลิตไฟฟ้ากลางทะเลลึก ซึ่งมีความยุ่งยาก ซับซ้อน และต้องใช้ทุนอย่างมหาศาล

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในทะเลที่สามารถนำมาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ปรากฏการณ์ คือ ปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลงเนื่องจากแรงดึงดูดของดวงอาทิตย์ และดวงจันทร์ปรากฏการณ์ ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำที่ผิวทะเล (อุณหภูมิสูง) กับบริเวณใต้ทะเล (อุณหภูมิต่ำ) และปรากฏการณ์คลื่นที่เกิดขึ้นในทะเลเนื่องจากกระแสลม สำหรับประเทศไทยที่มีภูมิประเทศบริเวณแนวชายฝั่งทะเลที่ค่อนข้างตื้นส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำที่ผิว ทะเลกับใต้ทะเลไม่แตกต่างกันมากนัก รวมทั้งระดับความแตกต่างของน้ำขึ้นและน้ำลงสูงสุดไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นพลังงานจากทะเลที่น่าจะสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ คือ พลังงานคลื่น โดยพลังงานคลื่น คือ พลังงานที่เกิดจากคลื่นทะเล ทั้งคลื่นผิวสมุทร และคลื่นใต้สมุทรซึ่ง อุปกรณ์ที่ใช้ผลิตพลังงานจากคลื่นทะเลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2รูปแบบคือ

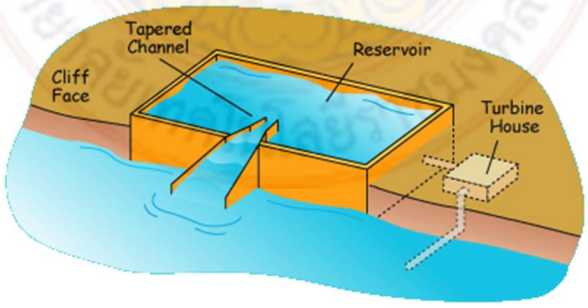
1. อุปกรณ์ผลิตพลังงานคลื่นแบบอยู่กับที่ (Fixed Generating Devices) เป็นอุปกรณ์ที่สร้างให้ยึดติดอยู่กับที่ โดยรูปแบบและลักษณะของอุปกรณ์จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ที่ติดตั้ง ส่วนใหญ่จะติดตั้งบริเวณแหลมหรือชาย ฝั่งที่ยื่นเข้าไปในทะเล หลักการทำงานของอุปกรณ์ คือ สร้างช่องทางให้คลื่นไหลเข้าไปในพื้นที่ที่จำกัด ซึ่งช่องทางดังกล่าว อาจสร้างเป็นทรงกระบอกหรือทรงเหลี่ยม คลื่นที่ไหลในช่องแคบจะทำให้เกิดแรงดัน ซึ่งแรงดันดังกล่าว จะไปขับกังหันหรืออุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป ในบางครั้งจะเรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า (Oscillating Water Column, OWC) ตัว อย่างอุปกรณ์ชนิดนี้ ได้แก่

ISLAY LIMPET (ดังแสดงในภาพที่ 1-2) เป็นอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ภายในมีท่อที่ให้คลื่นเคลื่อนที่อัดอากาศเพื่อไปขับกังหันให้หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดตั้งบริเวณชายฝั่งเกาะอิสสก็อตแลนต์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 500 กิโลวัตต์/ ชั่วโมง ที่น้ำลึก 15-25 เมตร ลักษณะการทำงานคลื่นที่พัดเข้าสู่ชายฝั่งจะผลักดันอากาศ เข้าและออกจากห้องความดันผ่านกังหันที่ติดตั้งเครื่องก้าเนิดไฟฟ้า จากนั้น อากาศจึงไหลกลับออกไป



ภาพที่ 1-2 ISLAY LIMPET

Tapchan หรือ Tapered Channel (ดังแสดงในภาพที่ 1-3) มักจะติดตั้งบริเวณหน้าผาและบริเวณช่องแคบ ซึ่งจะช่วยทำให้ยอดคลื่นสูงขึ้นจากผิวน้ำทะเล พลังงานศักดิ์ของคลื่นที่เพิ่มขึ้นตามระดับความสูงจะถูกปล่อย ไหลผ่านกังหัน ข้อดีของระบบ Tapchan คือต้องการการบำรุงรักษาน้อย แต่ต้องติดตั้งบริเวณหน้าผา

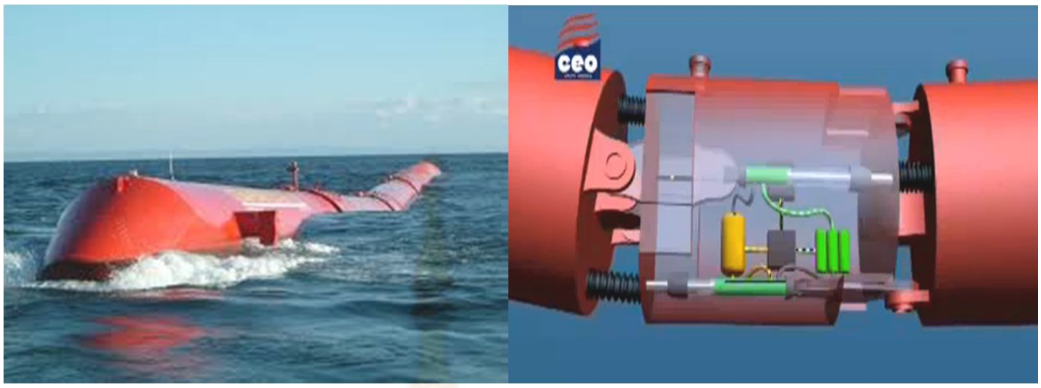


ภาพที่ 1-3 Tapchan

2. อุปกรณ์ผลิตพลังงานคลื่นแบบลอย (Floating devices) เป็นอุปกรณ์ที่สร้างให้ลอยอยู่บริเวณผิวน้ำ หลักการทำงานของอุปกรณ์ คือ สร้างช่องทางให้คลื่นไหลเข้าไปในพื้นที่ที่จำกัด ซึ่งคลื่นที่ไหลผ่านช่องทางดังกล่าว จะไปผลักดันกังหันหรืออุปกรณ์ที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป ตัวอย่างอุปกรณ์ชนิดนี้ ได้แก่ S.D.E คือ ทุ่นขนาดใหญ่ยึดติดกับแกนไฮดรอลิค (ดังแสดงในภาพที่ 1-4) S.D.E ก่อ สร้างขึ้นในปี 1996 S.D.E. จะติดตั้งที่เขื่อนหรือใกล้กับชายฝั่ง หลักการทำงานคือ การเคลื่อนไหวของทุ่นที่เกิดจากคลื่น ทำให้เกิดการบีบอัดสร้างความดันที่แกนไฮดรอลิคส่งไปแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า S.D.E. มีกำลังการ ผลิต 250 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำการบำรุงรักษาต่ำ

ภาพที่ 1-4 S.D.E.

Pelamis Wave Energy Converter (PWEC) (ดังแสดงในภาพที่ 1-5) เป็นอุปกรณ์แปลงพลังงานคลื่นที่สร้างขึ้นจากท่อจำนวนห้าท่อนเชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อที่ช่วยให้มีความยืดหยุ่นในการเคลื่อนที่ในสองทิศทาง เครื่องกึ่งลอยกึ่งจมอยู่บนผิวน้ำ PWEC มีรูปทรงกระบอกขนาดใหญ่สีแดงคล้ายงูทะเล ขนาด 142 m X 3.5 m ผลิตจาก Carbon steel ถูกติดตั้งให้ลอยตัวอยู่กลางมหาสมุทรห่างจากชาย ฝั่งทะเลประมาณ 5-10 กิโล เมตร PWEC 1 เครื่องแบ่งออกเป็น 4 ท่อนโดยแต่ละท่อนถูกทำให้ยึดติดกันด้วยข้อต่อไฮดรอลิคที่มีลักษณะเป็นก้านกระทุ้งที่เชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์คล้ายลูกสูบที่บรรจุอยู่ใน PWEC แต่ละท่อนเมื่อคลื่นทะเลไหลผ่าน PWEC ทั้ง 4 ท่อนจะไหวตามแรงคลื่น และส่งผลให้ข้อต่อไฮดรอลิคดันก้านกระทุ้งให้เคลื่อนไหวขึ้นลงในลูกสูบ และส่งพลังงานผ่านไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานที่ผลิตได้จะถูกลำเลียงผ่านสายเคเบิ้ลใต้ทะเล เพื่อส่งต่อไปยัง เครือข่ายสายไฟฟ้าต่อไป ข้อดีของ PWEC คือ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำการซ่อมบำรุง ทำได้ง่าย



ภาพที่ 1-5 PWEC

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลศักยภาพและต้นแบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นในทะเล ที่สามารถนำไปใช้งานระดับชุมชนหรืออื่น ๆ ได้

2. ผลการศึกษาและสร้างเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นในทะเลสามารถนำเสนอในงานประชุมวิชาการ/ตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติหรือนานาชาติ หรือ การจดสิทธิบัตร

3. ผลการศึกษาวิจัยช่วยส่งเสริมให้งานวิจัยเป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนแบบครบวงจร

4. ผลการศึกษาวิจัยช่วยส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกวางขวาง

1.6 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

แผนการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้ มีแนวทางการถ่ายทอดเทคโนโลยีหลากหลายรูปแบบเพื่อให้เข้าถึงกลุ่มเป้าหมาย เช่น การดำเนินงานวิจัยพร้อมกับการให้คำแนะนำเสนอแนะ หรือ แลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นกับชุมชน ณ พื้นที่หาดราชมงคล ต.ไม้ฝาด อ.สิเกา จ.ตรัง

การจัดฝึกอบรมให้ความรู้กับชุมชนด้านพลังงานทดแทน ที่สามารถสร้างได้จากคลื่นในทะเล บริเวณชุมชนที่อยู่ใกล้ทะเล การพัฒนานำกลยุทธ์การถ่ายทอดองค์ความรู้ผ่านสื่อสารสนเทศ เช่น การจัดทำสิ่งพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัย แจกจ่ายให้กับชุมชน ในส่วนด้านวิชาการถ่ายทอดองค์ความรู้โดยการนำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการ การตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติหรือนานาชาติ หรือ การจดสิทธิบัตร เป็นต้น

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าถือเป็นทรัพยากรที่มีค่าต่อภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคครัวเรือน ไม่ว่าขนาดใหญ่หรือเล็กซึ่งจำเป็นต้องพึงทรัพยากรพลังงานไฟฟ้ากันทั้งหมด ซึ่งทรัพยากรพลังงานไฟฟ้ามีความต้องการอย่างมากขึ้นทุกๆปี ในทางกลับกันทรัพยากรที่จะนำมาผลิตไฟฟ้าได้ลดน้อยลงทุกๆวันจึงจำเป็นต้องหาพลังงานทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยต้องมีต้นทุนการผลิตต่ำแต่สามารถตอบสนองความต้องการทางไฟฟ้าได้จัดทำโครงการวิจัย เรื่องออกแบบและสร้างระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่นในทะเล สำหรับบทนี้มีความจำเป็นที่จะให้ทราบถึงทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเรื่องออกแบบและสร้างระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่นในทะเล โดยมีทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 พลังงานคลื่นมหาสมุทร

2.1.1 สาเหตุของการเกิดคลื่น

2.1.1.1 ลม

2.1.1.2 แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินใต้น้ำถล่ม

2.1.1.3 แรงดึงดูดจากดวงอาทิตย์และดวงจันทร์

2.1.1.4 การเปลี่ยนแปลงความกดดันอากาศ

2.1.1.5 ข้อแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างมวลน้ำชั้นบนและล่าง

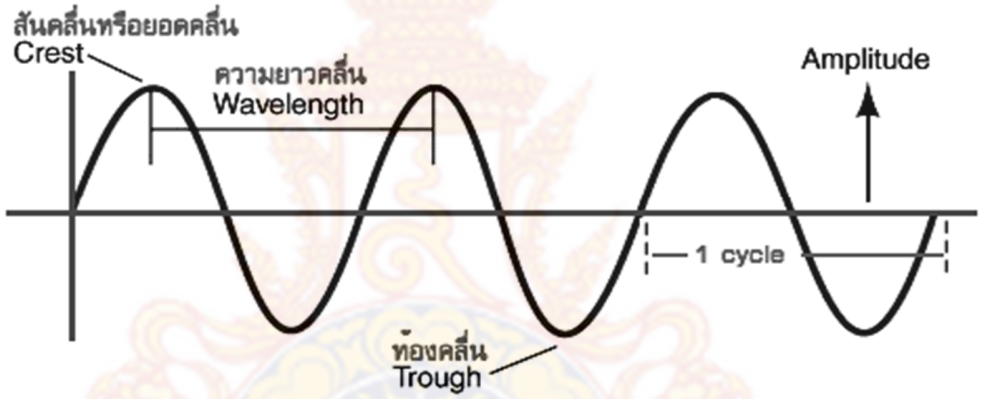
2.1.1.6 เมื่อกระแสน้ำไหลผ่านพื้นท้องทะเลซึ่งไม่เรียบ

คลื่นที่ปรากฏให้เราเห็นเป็นประจำเป็นคลื่นที่เกิดจากลมเป็นส่วนใหญ่ส่วนคลื่นที่เกิดจากสาเหตุอื่น เรามักจะมองไม่เห็นเพราะเกิดขึ้นในระหว่างชั้นของน้ำหรือเป็นคลื่นที่มียอดคลื่นเตี้ยมากและมีคาบของคลื่นยาวนานมากในที่นี้จะได้กล่าวถึงคลื่นที่เกิดจากลมเป็นหลัก น้ำขึ้นน้ำลงเป็นคลื่นชนิดหนึ่ง มีความยาวคลื่นมากที่สุดประมาณ 20,000 กม. (ประมาณครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงโลก) และมีคาบของคลื่นนานมากประมาณ 12 วัน 25 นาที (ประมาณครึ่งหนึ่งของเวลาที่ดวงจันทร์โคจรรอบโลก) เนื่องจากเกิดจากแรงดึงดูดของดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ ซึ่งมีต่อเนื่องกันตลอดเวลา คลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงจึงไม่อิสระในการเคลื่อนที่ ต้องคล้อยตามแรงดึงดูดหรือคล้อยตามระบบการหมุนของโลก-ดวงอาทิตย์-ดวงจันทร์เรียกคลื่นพวกนี้ว่า คลื่นในควบคุมส่วนคลื่นที่เกิด

จากแรงระเบิดแผ่นดินไหวแผ่นดินใต้น้ำถล่ม และภูเขาไฟระเบิด เป็นคลื่นอิสระหมายความว่าครั้งหนึ่งเมื่อมีแรงมากระทำให้เกิดแล้ว คลื่นจะเคลื่อนที่ไปได้ตลอด ไม่ต้องมีแรงมากระทำหรือคอยผลักดันอีก คลื่นพวกนี้มีความเร็วสูงมาก และยอดคลื่นเตี้ยมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น แรงดึงดูดของโลกจึงไม่ค่อยมีอำนาจในการฉุดลากหรือทำลาย ส่วนแรงฉุดที่เกิดจากแรงตึงผิว ก็มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความเร็วคลื่น คลื่นเหล่านี้เป็นคลื่นขนาดใหญ่ (คาบของคลื่นมากกว่า 5 นาที) โดยธรรมชาติถือว่า เป็นการถ่ายทอด ทั้งพลังงานและมวลน้ำ จึงมีแรงเสมือนเข้ามาเกี่ยวข้อง ส่วนคลื่นที่เกิดจาก ลม อาจเป็นทั้งคลื่นอิสระและคลื่นในควบคุม

2.1.2 ส่วนประกอบของคลื่น

คลื่นในอุดมคติและส่วนประกอบอื่นๆ ในภาพที่ 2-1 มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2-1 แสดงส่วนต่างๆ ของคลื่น

2.1.2.1 ส่วนที่สูงที่สุดของคลื่นต่อไปนี้เรียกว่า ยอดคลื่น

2.1.2.2 ส่วนที่ต่ำที่สุดของคลื่นต่อไปนี้เรียกว่า ท้องคลื่น

2.1.2.3 ระยะทางในแนวดิ่งระหว่างยอดคลื่นกับท้องคลื่นเป็นความสูงของคลื่น (wave height = H)

2.1.2.4 ระยะทางในแนวราบระหว่างยอดคลื่นยอดแรกกับยอดถัดไป หรือระหว่าง

ท้องคลื่นท้องแรกกับท้องถัดไป เป็นความยาวคลื่น (wave length = L)

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

2.1.2.6 จากคำจำกัดความในข้อ (2.1.2.4) เราสามารถหาความเร็วคลื่น

$$C=\frac{L}{T} \qquad (1)$$

เมื่อ C คือ ความเร็วคลื่น เมตร/วินาที

L คือ ความยาวคลื่น เมตร

T คือ คาบของคลื่นเป็นวินาที

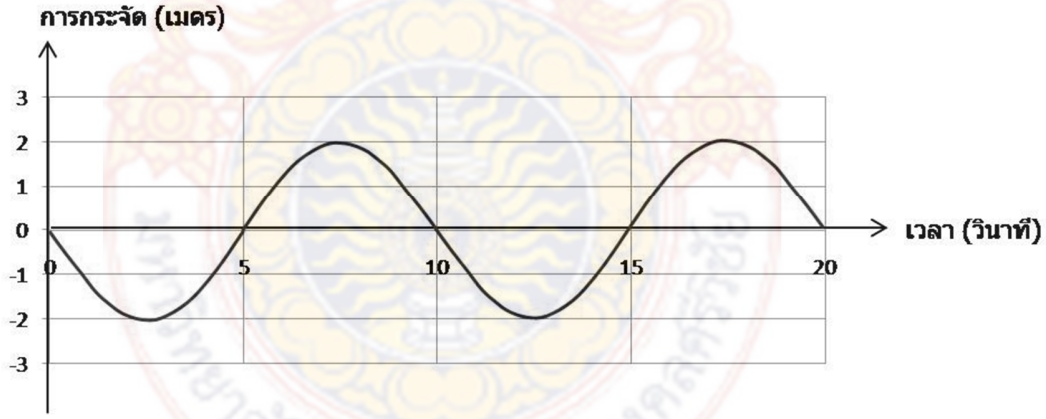
2.1.2.7 ขนาดของยอดคลื่นวัดจากระดับน้ำทะเลเฉลี่ย H = 2a

2.1.2.8 ความถี่ของคลื่น $\omega = 2\pi / T$

2.1.2.9 อนุภาคน้ำ (particle) จะเคลื่อนที่หมุนเป็นวงกลมตามผิวหน้าของคลื่นด้วยความเร็ว $V=2\pi a/T=\pi H/T$

2.1.2.10 ความชันเป็นอัตราส่วนระหว่างความสูงของคลื่นกับความยาวคลื่น

s = H/L



ภาพที่ 2-2 ความสูงคลื่นสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ลมพัดต่อเนื่องและระยะทางที่ลมพัดผ่าน

2.1.3 ขนาดของคลื่น

คลื่นที่ปรากฏในธรรมชาติมีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันแล้วแต่มหาสมุทรเขตทางภูมิศาสตร์และฤดูกาลโดยหลักเกณฑ์เบื้องต้นขนาดของคลื่นขึ้นอยู่กับ

2.1.3.1 ความเร็วลม (Wind speed = W)

2.1.3.2 ระยะทางที่ลมพัดผ่าน (Fetch = F)

2.1.3.3 ช่วงเวลาที่ลมพัดต่อเนื่องกันในทิศทางคงที่ (Duration = D)ถ้าใช้คาบของคลื่น (T) และความสูงของคลื่น (H) เป็นเครื่องวัดขนาดของคลื่นเราอาจเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ดังนี้

$$T , H = f (W , F , D)$$

ในช่วงการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลอากาศเหนือแผ่นดินและแผ่นน้ำมีลักษณะแตกต่างกัน มักทำให้เกิดลมหรือพายุที่มีความเร็วสูง ทะเลจะมีคลื่นขนาดใหญ่กว่าในเวลาปกติ คลื่นในทะเลเปิดที่ซึ่งมีระยะทางที่ลมพัดผ่านยาวย่อมมีขนาดใหญ่กว่าคลื่นในทะเลปิด (lakes, bays และ marginal sea)

นักสมุทรศาสตร์หลายท่านได้พยายามคิดค้นสูตรความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของคลื่นกับปัจจัยของลมทั้ง 3 ดังกล่าว พบว่า

$$H_{max} = \frac{0.26}{g} w^2 \qquad (2)$$

$$H = \frac{1}{3}\sqrt{F} \qquad (3)$$

เมื่อ H คือ ความสูงคลื่นเป็นเมตร

W คือ ความเร็วลมเป็น เมตร/วินาที

F คือ ระยะทางที่ลมพัดผ่านเป็นกิโลเมตร

2.1.4 ชนิดและการเกิดของคลื่นเนื่องมาจากลม

ลมเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดคลื่นขึ้นในน้ำระดับผิวหน้า น้ำทะเลซึ่งมีความหนืด เมื่อถูกลมพัดผ่านน้ำผิวหน้า “จะยืด” ออกตามแรงลม แล้วจะ“หด” ตัวกลับเพื่อรักษาสมดุลด้วยแรงตึงผิวทั้งนี้น้ำก็มีลักษณะคล้ายวัตถุยืดหยุ่นอ่อนๆ โดยการยืดและหดเนื่องจากแรงดังกล่าว ทำให้น้ำผิวหน้าโค้งขึ้นและโค้งลงเกิดคลื่นขนาดเล็กขึ้นในที่สุดคลื่นขนาดเล็กๆ เหล่านี้จะปรากฏให้เห็นเมื่อมีลมพัดเท่านั้น ถ้าลมหยุดพัดคลื่นเหล่านี้จะสลายตัวเกือบทันที พูดอีกแง่หนึ่งว่าเป็นคลื่นที่มีอายุสั้น ต่อเมื่อมีลมพัดต่อเนื่องกันเป็นเวลานานพอสมควร คลื่นเหล่านี้จะค่อย ๆ ขยายโตขึ้น เพราะผิวหน้าน้ำที่“ขรุขระ” เนื่องจากมีคลื่นขนาดเล็กๆทำให้เกิดพื้นที่ผิวในส่วนที่จะรับลมเพิ่มขึ้น (ส่วนนูน) คลื่นที่ขยาย

โตขึ้นมีชื่อใหม่ว่า Sea หมายถึงคลื่นที่ยังอยู่ในบริเวณที่มีลมพัด มีความยาวคลื่นสั้นและยอดคลื่นผสมผิวน้ำในตอนนี้สับสนวุ่นวายและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ในระยะไกลเราจึงมักเห็นผิวน้ำ มีลักษณะเป็นหลุม เนินเหลี่ยมคล้าย “เพชร” เหตุที่ปรากฏเช่นนี้เพราะว่า โดยธรรมชาติ ลมพัดด้วยความเร็วและทิศทางที่ไม่แน่นอน ในช่วงเวลาหนึ่งความเร็วและทิศทางอาจเปลี่ยนแปลงหลายตลบ นอกจากนี้ในบางครั้ง ลมยังเคลื่อนที่ในลักษณะหมุน เวียนซ้าย เวียนขวา แล้วแต่กรณี คลื่นขนาดเล็กอาจซ้อนอยู่ในคลื่นขนาดใหญ่กว่า คลื่นที่มีความเร็วกว่า เคลื่อนที่ทับคลื่นที่ช้ากว่า คลื่นชนกันสลายตัวบางส่วน ทำให้ส่วนที่เหลือมีทรวดทรงไม่สมประกอบ ฯลฯต่อมา Sea ซึ่งมีหลายขนาดและมีความเร็วต่างกันจะค่อยๆ ปรากฏทรวดทรงให้เห็นชัดขึ้น กล่าวคือ พวกที่มีความเร็วมากว่าจะวิ่งล้ำหน้าพวกที่เคลื่อนที่ช้ากว่า นับว่าเป็นการแยกคลื่นหลายชนิดซึ่งเกิดพร้อมกันออกจากกันตามธรรมชาติ คลื่นที่แยกออกจากกันแล้วจะมียอดคลื่น และท้องคลื่นดีขึ้นกว่าเดิม เรียกคลื่นในตอนนี้ว่า คลื่นใต้น้ำหมายถึงคลื่นที่เกิดขึ้นนอกเขตลมพัด ยอดคลื่นเตี้ยมนกลมกว่าเดิมเล็กน้อย โดยธรรมชาติของคลื่น คลื่นที่ค่อยๆ โตขึ้นในขณะที่มีลมพัดจะได้รับพลังงานจากลมเพิ่มขึ้นคลื่นจึงค่อยๆ มีความเร็วเพิ่มขึ้นในตอนแรกคลื่นเคลื่อนที่ช้ากว่าลม ต่อมาจะเท่ากับลม และในที่สุดจะเร็วกว่าลม ด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเคลื่อนที่ออกนอกเขตที่มีลมพัดได้ ในธรรมชาติจึงเห็นคลื่นเคลื่อนที่นำหน้าลม หรือเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งได้อย่างอิสระโดยไม่มีลมพัดเลย จึงอาจเรียกคลื่นใต้น้ำว่าเป็นในบริเวณที่มี คลื่นใต้น้ำผิวน้ำทะเลจะลดความสับสนและขรุขระมาก เริ่มมองเห็นคลื่นเคลื่อนที่อย่างเป็นระบบ คลื่นหลายขนาดและด้วยความเร็วต่างๆกันจะเคลื่อนที่ตามหลังกันเป็นขบวนหรือเป็นกลุ่มมีลักษณะเฉพาะคลื่นที่นำหน้าอาจรวมตัวเมื่อเข้าเขตที่มีความตื้น เช่น เกาะใต้น้ำ สันทรายใต้น้ำ ฯลฯ ในขณะที่คลื่นอายุน้อยจากแถวหลังจะวิ่งติดตามคลื่นที่หายไป โดยลักษณะนี้เราจะเห็นคลื่นตลอดเวลาในขณะที่ คลื่นใต้น้ำเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง จะมีแรงพวกหนึ่งคอยทำให้คลื่นเปลี่ยนแปลง ความสูงของคลื่นจะค่อยๆ ลดต่ำลง ยอดคลื่นจะมนกลมขึ้นเรื่อยๆ คลื่นที่มีอายุสั้นใกล้เขตลมพัดยอดคลื่นจะชันกว่าคลื่นที่มีอายุมาก ห่างเขตลมพัด) แรงที่ว่าได้แก่ แรงตึงผิว และแรงดึงดูดของโลกโดยหลักการแรงทั้งสองนี้จะพยายามทำให้ผิวหน้าน้ำคืนสู่สภาพปกติ (ราบ) คลื่นขนาดเล็กที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 1.7 ซม. (โดยประมาณ) หรือเป็นคลื่นที่มีคาบนานตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 4 นาที แรงดึงดูดของโลกจะเข้ามาเกี่ยวข้องและมีอำนาจเหนือแรงตึงผิว จึงอาจเรียก คลื่นใต้น้ำว่าเป็นgก็ย่อมได้ คลื่นที่เราเห็นในมหาสมุทร ส่วนใหญ่เป็นคลื่นแบบนี้ยังมีเหตุผลอีกประการหนึ่งที่ทำให้คลื่นใต้น้ำมียอดคลื่นมนกลมขึ้น เมื่อคลื่นเปลี่ยนสภาพจาก Sea เป็น คลื่นใต้น้ำหมายความว่า ผิวหน้าน้ำเปลี่ยนจากความสับสนขรุขระมากๆ เป็นความเรียบและมีระบบ คลื่นที่เคลื่อนที่อยู่ในบริเวณหลัง จะแผ่กระจายออก เนื่องจากมีเนื้อที่กว้างขึ้น ความยาวคลื่นขยายออก ความสูงลดลง เปรียบเหมือนวัตถุยืดหยุ่นถูกผลักดันให้เคลื่อนผ่านช่องแคบ ในช่องนี้วัตถุยืดหยุ่นจะต้องทำตัวลีบโดยการบีบตัวสูงขึ้นต่อเมื่อผ่านช่องแคบไปแล้วจะพองออกอย่างเดิม ความสูงจึงลดลงตามที่ว่าง ในสภาพน้ำที่มีความลึก

เพียงพอคือ ลึกกว่า L/2 และไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ คลื่นเหล่านี้จะเคลื่อนที่ด้วย ความเร็วค่อนข้างมาก เรียกว่าคลื่นน้ำลึก

$$C=1.25\sqrt{L} \qquad (4)$$

เมื่อ L คือ ความยาวคลื่นเป็นเมตร

C คือ ความเร็วคลื่น เมตร/วินาที

คลื่นในกลุ่มของ คลื่นใต้น้ำมีความยาวคลื่นมากน้อยต่างกัน โดยสูตรข้างบนจะได้ว่า คลื่นที่ยาวกว่าจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า นับเป็นการจัดขบวนของคลื่นตามความเร็ว ขบวนของคลื่นเหล่านี้สามารถเดินทางได้ไกลมาก สามารถวิ่งข้ามมหาสมุทรหรือวิ่งจากโลกใต้สู่ซีกโลกเหนือได้อย่างสบาย

2.1.5 คลื่นใต้น้ำเคลื่อนที่ได้ไกลมากก็เพราะ

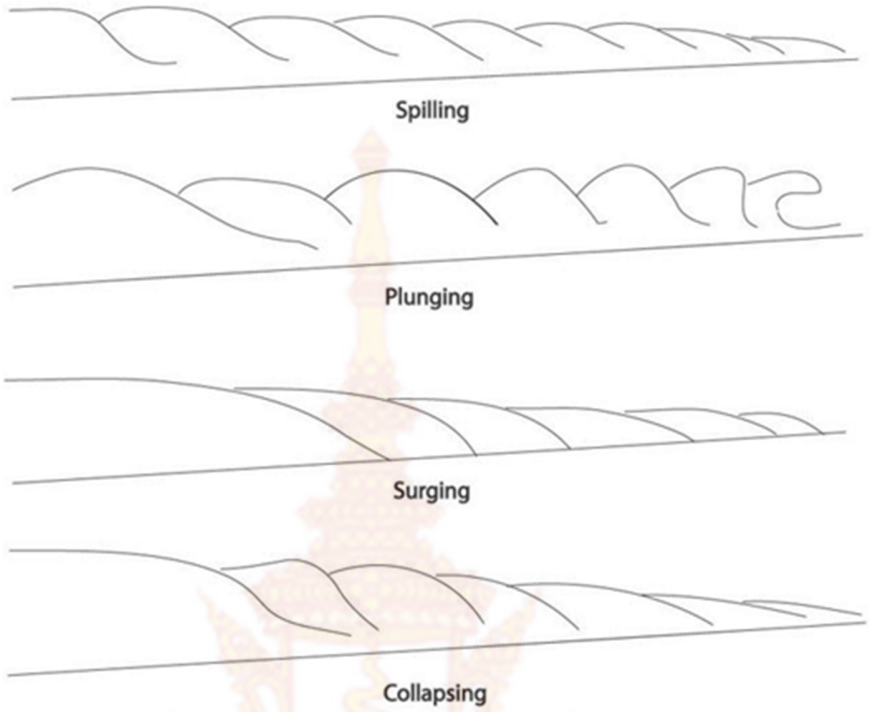
2.1.5.1 มีความเร็วพอตัวดังกล่าวแล้ว

2.1.5.2 ยอดคลื่นเตี้ยและมนกลมทรงตัวได้ดีไม่แตกกระจายง่ายระหว่างทาง

2.1.5.3 เนื่องจากข้อสอง คลื่นจึงสูญเสียพลังงานน้อย

2.1.5.4 แรงตึงผิวซึ่งมีค่าน้อยมาก และแรงดึงดูดของโลก มีอำนาจในการ ฉุดลากน้อย เพราะคลื่นเตี้ย

ผู้ที่อาศัยอยู่ริมฝั่งอาจใช้ คลื่นใต้น้ำเป็นเครื่องเตือนภัยได้ ในยามใดที่เห็นคลื่นวิ่งเข้าหาฝั่งมีความยาวนานผิดปกติ ให้สันนิษฐานว่าอาจมีพายุหมุนหรือไต้ฝุ่นกำลังก่อตัวขึ้น ในสภาพที่ทะเลกำลังเปลี่ยนจากสงบไปเป็นถูกพายุพัดรุนแรง จะมีคลื่นลูกแรกซึ่งมีความเร็วผิดปกติถึงฝั่งบอกเหตุร้ายว่าคลื่นที่มีความเร็วสูงมากกว่านี้กำลังตามมาเมื่อ คลื่นใต้น้ำเคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง คือเปลี่ยนจากน้ำลึกเป็นบริเวณน้ำตื้น คลื่นใต้น้ำจะถูกสิ่งกีดขวางรบกวน เคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีลมพัดใหม่ ในตำแหน่งใหม่นี้ คลื่นใต้น้ำอาจถูกทำลายโดยลมที่พัดสวนทาง โดยคลื่นด้วยกันที่เคลื่อนที่สวนทางหรือผ่านกลาง โดยพื้นท้องทะเล (เพราะตื้น) ณ ความลึกอันหนึ่ง คลื่นใต้น้ำจะแตกกระจายกลายเป็นคลื่นชนิดใหญ่ที่เรียกว่า Surf ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของมวลน้ำพร้อม ๆ กับการเคลื่อนที่ของพลังงาน การเคลื่อนที่ของมวลน้ำในรูป Surf มีหลายลักษณะขึ้นอยู่กับรูปร่างของพื้นท้องทะเล ที่รู้จักกันโดยทั่วไปได้แก่ ภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 surf ในแบบต่างๆ รูปเล็กทางขวามือเป็นรูปขยายให้เห็นภาพชัดเจนขึ้น

2.1.5.5 Spilling type

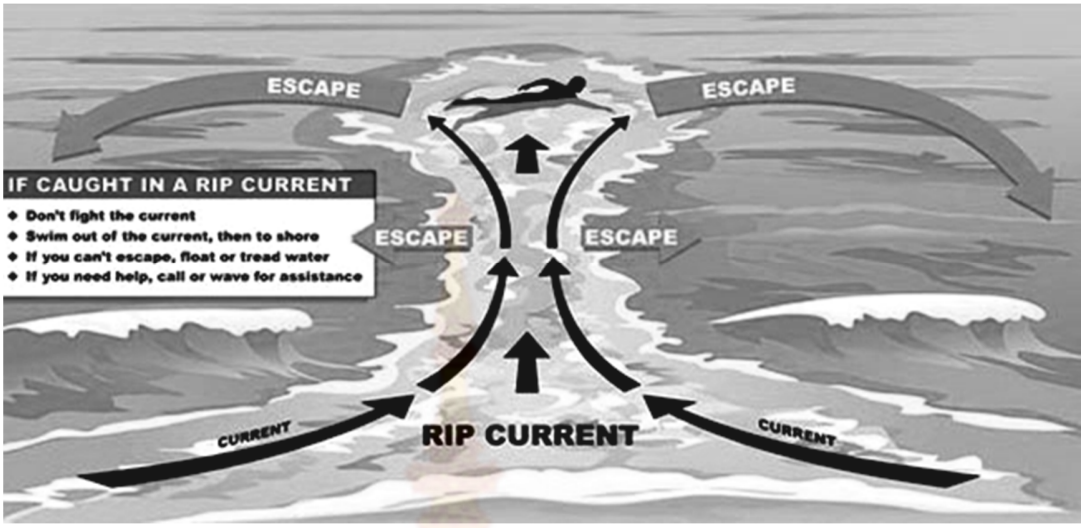
2.1.5.6 Plunging type

2.1.5.7 Surging type

2.1.5.8 Collapsing type

แบบแรกเป็นแบบที่พบเห็นทั่วไป สังเกตเห็นได้ไม่ยาก ด้านข้างทั้งสองของคลื่นเว้า จึงทำให้ยอดคลื่นสูงและมีปลายแหลม เป็นเหตุให้ปลายยอดเสียการทรงตัวได้ง่าย เมื่อมีลมพัดหรือสะดุดพื้นน้ำจะแตกกระจาย มองเห็นขาวเป็นแนวขนานฝั่งในแนวตื้นถัดจากแนวแรกที่กล่าวถึงและต่อๆไปจะมีการแตกกระจายของคลื่นเช่นกัน โดยลักษณะนี้ยอดคลื่นจะค่อยๆ ลดต่ำลงจนสลายไป แบบที่สองสังเกตเห็นได้ชัดเจนกว่าแบบแรกคือ ยอดคลื่นจะโค้งงอไปข้างหน้า ด้านหลังนูนในขณะที่ด้านหน้า (ด้านชิดฝั่ง)เว้าและส่วนที่เว้ามักเป็น“หลุม” อากาศ ดังนั้นเมื่อคลื่นแตกน้ำจะกระจายสู่อากาศพร้อมๆ กันเห็นฟองอากาศขาวเด่นชัด ทรวดทรงของยอดคลื่นอ้วนมีความชันน้อยมาก H/L = 0.005 Surf แบบนี้เกิดจาก คลื่นใต้น้ำ (swell) ที่ค่อนข้างมีความยาวคลื่นมาก วิ่งเข้าหาฝั่งที่มีความชันน้อยๆ แต่ไม่เรียบและ

ไม่เป็นระเบียบ มีก้อนหินกระจายอยู่ทั่วไป แต่ถ้าเกิดขึ้นบนฝั่งที่ชันคลื่นจะสูงขึ้นน้ำบนยอดคลื่นจะถูกผลักดันให้ไหลล้ำหน้า คือซัดสาดไปข้างหน้าแทนที่จะกระจายขึ้นสู่อากาศเบื้องบน เรียก Surf เหล่านี้ว่า Surging Type สำหรับแบบที่สี่ มักเกิดขึ้นบนฝั่งที่ชัน แตกต่างกับแบบอื่นๆ ค่อนข้างชัดเจน กล่าวคือไม่มีการแตกกระจายของน้ำบนยอดคลื่น แต่จะมีการหักสะบั้นตรงกลางๆหรือส่วนล่างของยอดคลื่นคล้ายกับอาการทรุดพับฐานของอะไรบางอย่างปกติ Surf ประกอบด้วยคลื่นที่แตกหลายชนิดเคล้ากัน ความสูงของ Surf ขึ้นอยู่กับความสูงและความชันของคลื่นที่วิ่งเข้าหาฝั่ง และยังขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นท้องทะเลนอกฝั่งที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน ดังนั้น Surf จึงมีหลายขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กๆ 4-5 ซม. บนหาดที่เป็นอ่าวปิด จนถึงหลายสิบเมตร 30-50 เมตรบนหาดที่เป็นที่โล่งความชันของฝั่งมีอิทธิพลมาก คลื่นขนาดใหญ่คลื่นใต้น้ำเมื่อปะทะกับฝั่งที่ชันมากทันทีทันใด จะเกิดคลื่นสูงที่รุนแรงน่ากลัวขึ้น คือยอดคลื่นจะโค้งขึ้นและม้วนลงสู่ท้องคลื่นข้างหน้าอากาศที่ถูกอัดเอาไว้ในมวลน้ำขณะที่คลื่นม้วนลงระเบิดทำให้น้ำกระจายและส่งเสียงดัง ความรุนแรงของคลื่นที่ปะทะฝั่งที่ชันมาก สร้างความเสียหายให้แก่ชายฝั่งทะเล ทรัพย์สินตลอดจนชีวิตอยู่ตลอดเวลา เช่นเมื่อต้นเดือนพฤษภาคม2528 คลื่นขนาดใหญ่ซัดฝั่งของประเทศบังคลาเทศ ทำให้ทรัพย์สินเสียหายและผู้คนล้มตายเป็นหมื่นๆ คนหลังจากที่คลื่นแตกแล้ว น้ำที่เคลื่อนที่เข้าใกล้ฝั่งและถูกสะสมอยู่บนฝั่งในรูปขอบSurf ชนิดต่างๆ ส่วนหนึ่งอาจจะไหลกลับทะเลในระดับล่าง (เหนือพื้น) แต่ส่วนใหญ่จะถูกผลักดันให้ไหลไปตามชายฝั่ง เกิดกระแสน้ำริมฝั่ง ภาพที่ 2-3 ขนาดของกระแสน้ำนี้ขึ้นอยู่กับความใหญ่เล็กของ Surf และมุมที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง มุมยิ่งเล็กยิ่งเกิดได้มากเมื่อกระแสน้ำริมฝั่งไหลไปได้สักระยะหนึ่งน้ำบางส่วนจะไหลกลับทะเลในรูปของ Rip Current ในหรือใกล้ๆ เขต Surf Zone น้ำที่ประกอบขึ้นเป็น Rip Current จะไหลกลับทะเลตั้งแต่ผิวจนถึงพื้น ส่วนในบริเวณนอก ๆ เขต Surf Zone และที่ลึกกว่า Rip Current จะไหลกลับทะเลในระดับเหนือพื้นลอดใต้ผิวน้ำ อาจเป็นร่องลึก ถ้ามองจากด้านบนภาพถ่าย จะเห็นเป็นสีน้ำเงินเข้ม อาจยาวถึง 300 เมตร จากฝั่ง ตำแหน่งที่ rip current ชอบเกิด ได้แก่ ปลายทางของ Longshore Current และใกล้ๆ บริเวณที่คลื่นเบนเข้าหากันเช่น บริเวณน้ำตื้นเหนือ ridge ส่วนบริเวณน้ำลึกที่เป็นร่อง เช่น Canyon, Valleys หรือ Trough ที่ซึ่งคลื่นเบนออกจะไม่เกิด Rip Current ผู้ที่เล่นน้ำริมฝั่งมักได้รับอันตรายจากกระแสน้ำ Rip Current ซึ่งไหลเชี่ยวถึง 1 เมตร/วินาที คนที่เคยมีประสบการณ์แนะนำว่า เมื่อรู้ว่ามีกระแสน้ำพัดพาตัวออกนอกฝั่ง อย่าตกใจกลัวและอย่าพยายามว่ายน้ำทวนกระแส แต่ให้พยายามว่ายน้ำออกด้านข้างเพื่อให้พ้นเขตทั้งนี้เพราะ Rip Current แคบ



ภาพที่ 2-4 กระแสน้ำริมฝั่งและการไหลกลับทะเล

2.1.6 การเปลี่ยนแปลงเมื่อคลื่นเข้าหาฝั่ง

ก่อนที่คลื่นในกลุ่มคลื่นใต้น้ำกลายเป็นคลื่นที่เรียกว่า Surf ได้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ทิศทางและอื่นๆ มากมาย จุดที่การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เริ่มที่ความลึกของน้ำประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น คลื่นใต้น้ำที่เคลื่อนที่เข้าหาฝั่งตั้งแต่จุดนี้จนถึงจุดที่คลื่นแตก (Surf) เรียกว่า คลื่นน้ำตื้นฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างๆ ที่ว่า เป็นการเปลี่ยนแปลงของคลื่นน้ำลึกไปเป็นคลื่นน้ำตื้นนั่นเอง ในสภาพหลังพื้นท้องทะเลเข้ามามีบทบาทอย่างมาก คลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

2.1.6.1 ความเร็วคลื่นลดลง

2.1.6.2 ความยาวคลื่นลดลง

2.1.6.3 ความสูงคลื่นเพิ่มขึ้น

2.1.6.4 คาบของคลื่นยังคงเดิม

2.1.6.5 คลื่นสะท้อนกลับ

2.1.6.6 คลื่นเลี้ยวเบน

2.1.6.7 คลื่นเบน

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ถึงที่ตื้น มวลน้ำชั้นล่าง (ของคลื่น) จะเสียดสีกับพื้นท้องทะเล แรงเสียดทานจะทำให้คลื่นมีความเร็วลดลงเป็นลำดับตามความตื้น ดังสูตร

$$C=3.1\sqrt{d} \qquad (5)$$

เมื่อ d คือ ความลึกเป็นเมตร

โดยหลักการนี้ คลื่นซึ่งประกอบด้วยยอดคลื่นสองยอด ยอดแรกจะช้ากว่ายอดที่สองทำให้ระยะทางระหว่างยอดคลื่นทั้งสองย่นเข้า นั้นคือความยาวคลื่นสั้นลง คลื่นน้ำลึกซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ย่อมมีพลังงานมาก เมื่อปะทะกับความตื้นแฉลบสูงขึ้นทำให้ยอดคลื่นแหลมขึ้นตามขนาดของโมเมนตัม หรืออาจพูดอีกนัยหนึ่งว่า การที่ความยาวคลื่นสั้นลงเนื่องจากยอดคลื่นที่สองเคลื่อนที่เร็วกว่า (ไล่ยอดคลื่นแรกเกือบทัน)ทำให้พลังงานต่อพื้นที่ส่วนที่หดหายไปถูกปล่อยออกมา เมื่อพลังงานส่วนนี้ไปข้างหน้าไม่ได้และหนีออกนอกคลื่นก็ยังไม่ได้ เนื่องจากคลื่นยังไม่แตก จึงพุ่งขึ้นในแนวตั้ง คลื่นน้ำตื้นเหล่านี้จะมียอดคลื่นสูงได้ไม่ถึง 1/7 ของความยาวคลื่น หรือยอดคลื่นมีมุมได้ไม่น้อยกว่า 120 องศา ถ้าสัดส่วนดังกล่าวของคลื่น มากหรือน้อยกว่านี้ตามลำดับ คลื่นน้ำตื้นจะแตกกระจาย ตามหลักเกณฑ์นี้คลื่นขนาดต่างๆ (ความยาวคลื่น) เมื่อปะทะความตื้นจะมียอดคลื่นสูง(ก่อนแตก) ต่างกัน เช่น สมมติว่ามีคลื่นอยู่ 2 ขนาด ถ้าคลื่นมีขนาดใหญ่ ความยาวคลื่น70 เมตรคลื่นจะแตกเมื่อสูง 1/7 x 70 = 10 เมตร และถ้าคลื่นมีขนาดเล็กความยาวคลื่น7 เมตรคลื่นจะแตกเมื่อสูง 1/7 x 7 = 10 เมตรตัวเลขนี้ชี้ให้เห็นว่า คลื่นน้ำตื้นที่มีขนาดต่างกัน เมื่อวิ่งเข้าหาฝั่ง พวกคลื่นสั้นจะสลายตัวได้เร็วกว่าพวกคลื่นยาวหรือแตกดัง ภาพที่ 2-4 ดังนั้น Surf ทั้ง 4 แบบที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่วนใหญ่มาจากคลื่นน้ำตื้นชนิดที่มีความยาวคลื่นมากคลื่นน้ำตื้น แม้จะเปลี่ยนมาจากคลื่นน้ำลึกซึ่งมีความลึกของน้ำมากกว่า จะยังคงมีคาบของคลื่นเท่าเดิม เพราะว่าเมื่อถึงที่ตื้นทั้งความยาวและความเร็วคลื่นลดลงดูได้จากสูตรข้างล่าง

$$T = \frac{L}{C} \qquad (6)$$

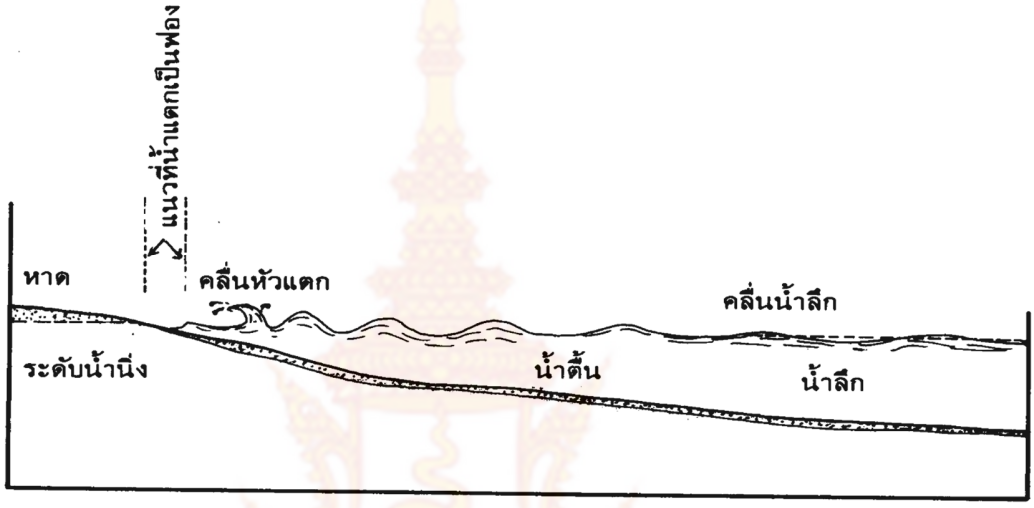
เมื่อ T คือ คาบของคลื่นเป็น วินาที

L คือ ความยาวคลื่นเป็น เมตร

C คือ ความเร็วคลื่นเป็น เมตร/วินาที

คาบของคลื่นวัดได้ไม่ยาก โดยการยืนจับเวลาของยอดคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง ในประเด็นที่พูดว่าคาบของคลื่นคงที่ หมายความว่า คลื่นนั้นเป็นคลื่นอิสระ คลื่นใต้น้ำไม่มีลมหรือสาเหตุอื่นใดคอยรบกวนในขณะนั้น โดยทั่วไปคาบของคลื่นมีขนาดประมาณ 10 วินาที คลื่นในมหาสมุทร

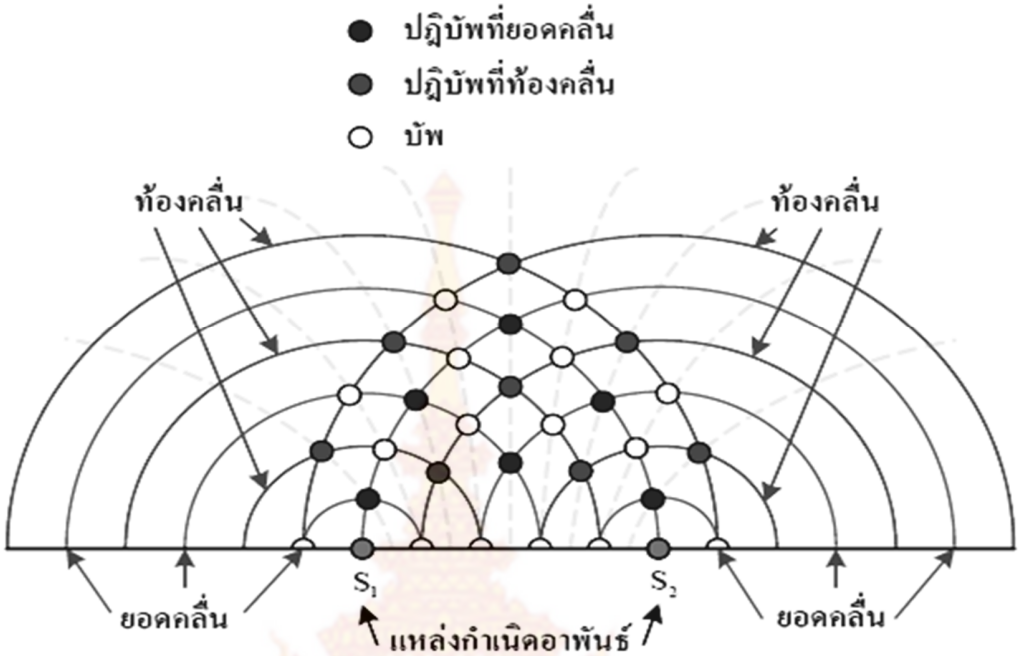
แปซิฟิกมีคาบยาวกว่าคลื่นมหาสมุทรแอตแลนติกเข้าใจว่าคลื่นในมหาสมุทรแปซิฟิกเกี่ยวข้องกับคลื่นชนิดอื่นที่เกิดจากกระบวนการแผ่นดินไหวหรือภูเขาไฟระเบิด เพราะมหาสมุทรแปซิฟิกมีสิ่งเหล่านี้มากกระจายอยู่รอบๆ และตามเกาะต่างๆ ทั่วไป อีกส่วนหนึ่งอาจเป็นเพราะมหาสมุทรแปซิฟิกมีพายุรุนแรงและเกิดขึ้นบ่อยกว่า นอกจากนี้มหาสมุทรแปซิฟิกยังกว้างกว่ามากด้วย



ภาพที่ 2-5 การเปลี่ยนแปลงของคลื่นเมื่อเคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง

2.1.7 การสะท้อนกลับของคลื่น

อาจเกิดขึ้นเมื่อคลื่นที่วิ่งเข้าหาฝั่งปะทะกับพื้นท้องทะเลที่ชันมากเกือบตั้งตรง คลื่นจะสะท้อนกลับตามกฎ Snell's Law (กฎเดียวกับการสะท้อนของแสง) พลังงานจะถูกถ่ายเทให้คลื่นที่ตามหลังมา เราอาจทดลองการสะท้อนกลับของคลื่นได้ง่ายๆ โดยวิธีสร้างคลื่นขึ้นในอ่างน้ำอ่างแก้วเมื่อคลื่น ขนาดเล็กวิ่งปะทะกับอ่างน้ำ คลื่นจะสะท้อนกลับ สำหรับในธรรมชาติการสะท้อนกลับที่สมบูรณ์คงจะเกิดขึ้นได้ยาก เพราะชายฝั่งที่ชันตั้งตรงไม่ค่อยจะมี สำหรับการเลี้ยวเบน เกิดขึ้นได้ยากเช่นเดียวกัน บริเวณใกล้ๆ ฝั่งอาจมีสิ่งก่อสร้างที่มีลักษณะเปิดเป็นช่องไว้สำหรับเรือเข้าเทียบท่า เมื่อคลื่นผ่านช่องเหล่านี้ คลื่นจะเลี้ยวเบนออกเป็นรูปครึ่งวงกลม (เป็นคุณสมบัติของคลื่นแทบทุกชนิด) มีลักษณะคล้ายพัดดังภาพที่ 2-6

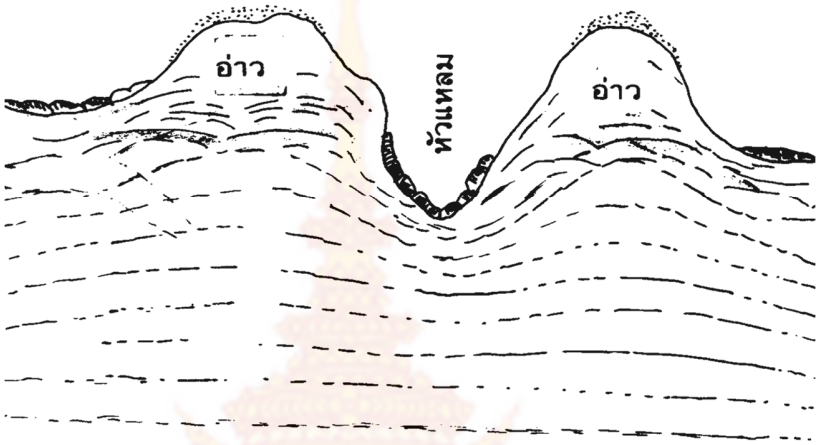


ภาพที่ 2-6 การเลี้ยวเบนของคลื่นเมื่อผ่านช่องแคบ

2.1.8 การเบนของคลื่น

พื้นท้องทะเลจะทำให้คลื่นเบน ไปตามลักษณะความลึก ต่อมาเมื่อเคลื่อนที่หลังจากเบนแล้วถึงบริเวณที่ตื้นระดับหนึ่ง คลื่นจะแตกกระจายซึ่งได้กล่าวมาแล้ว การเบนของคลื่นสังเกตเห็นได้ง่าย ผู้สังเกตจะเห็นหน้าคลื่น เกือบจะขนานกับฝั่งในระยะใกล้ตัว แต่ถ้ามองออกไปไหลๆ จะเห็นเคลื่อนที่เข้ามาทำมุมกับฝั่งการเบนของคลื่นมีความสำคัญทางธรณีอย่างยิ่ง เพราะพลังงานที่มากับคลื่นจะถูกจัดสรรในลักษณะที่จะทำให้ “ฝั่งมีความมั่นคงสมดุล”บริเวณใกล้ๆ แหลมที่ยื่นออกไป ส่วนหนึ่งของหน้าคลื่นซึ่งเดินทางถึงที่ตื้นก่อนจะเคลื่อนที่ช้าลง ในขณะที่หน้าคลื่นส่วนอื่นซึ่งเคลื่อนที่ในน้ำลึกกว่า จะยังคงเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า ดังนั้นคลื่นจากด้านอื่นๆ จึงเบนเข้าหาแหลมพลังงานจากคลื่นจึงพุ่งเข้าหา หัวแหลมมากที่สุด ผลที่เกิดตามมาคือคลื่นจะสูงขึ้น เราจึงมักเห็นคลื่นแตกมากกว่าที่หัวแหลม นักเดินเรือมีประสบการณ์เกี่ยวกับหัวแหลมดี จึงมักจะพูดกันว่า “หัวแหลมดูดคลื่น” ภาพที่ 2-6 นี่ก็เป็นเหตุผลหนึ่งที่เรือมักเกยตื้นที่หัวแหลมในบริเวณที่เว้า คลื่นยังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วปกติหรือช้าลงเล็กน้อย แล้วแต่ความลึกของอ่าว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับหน้าคลื่นที่พุ่งเข้าแหลม คลื่นที่อ่าวจะมีความยาวคลื่นมากกว่า ความสูงจึงยังคงต่ำ เราจึงมักเห็นอ่าวสงบใช้เป็นที่หลบหรือจอดเรือ หากภายในอ่าว

(ซึ่งกว้าง) มีที่ตื้นหรือแหลมเล็กๆ ส่วนเหล่านี้จะถูกคลื่นซัดกัดกร่อนให้หมดไป เพราะคลื่นในอ่าวถึงแม้จะดูสงบเพราะคลื่นเตี้ย แต่ยังคงเก็บพลังงานไว้มาก



ภาพที่ 2-7 การเบนของคลื่นเมื่อเข้าใกล้ฝั่ง

ภาพที่ 2-8 การเบนของคลื่นเมื่อความลึกของน้ำเปลี่ยน

สมมติว่าคลื่นเคลื่อนที่เข้าหาฝั่ง ทำมุมเฉียงดังภาพที่ 2-8 ในบริเวณที่มีน้ำลึกกว่า (d1) คลื่นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากกว่า เขียนแทนด้วยเส้นซึ่งเทียบได้กับยอดของคลื่น จะเห็นว่าในบริเวณน้ำลึก เส้นเหล่านี้จะล้ำไปข้างหน้าได้มากกว่าเมื่อเทียบกับเขตน้ำตื้น เป็นทิศทางของคลื่นลากตั้งฉากกับเส้นแสดงยอดคลื่นในบริเวณตื้น (d2) จะเห็นว่าเส้นนี้เบนไปจากทิศทางเดิม ด้วยหลักการนี้ เราจะเห็นว่าคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าหาฝั่งเฉียงทำมุมกับตำแหน่งที่เรายืนดู แต่พอถึงบริเวณน้ำตื้นเรากลับเห็นว่า

คลื่นเข้าหาฝั่งตรงกว่า นั้นคืออาจกล่าวได้ว่ายอดคลื่น พยายามเรียงตัวให้ขนานกับฝั่งหรือโค้งตามชายหาดในบริเวณ d1

$$C_1 = \frac{L1}{T1} = \sqrt{xd_1} \tag{7}$$

$$T = \frac{L1}{C1} = \frac{L_1}{\sqrt{xd_1}} \tag{8}$$

ในบริเวณ d2

$$C_2 = \frac{L2}{T} = \sqrt{xd_2} \tag{9}$$

$$T = \frac{L_1}{C_1} = \frac{L_2}{\sqrt{xd_2}} \tag{10}$$

เมื่อ T คงที่

$$\frac{L_1}{C_1} = \frac{L_1}{\sqrt{gd_1}} = \frac{L_2}{C_2} = \frac{L_2}{\sqrt{xd_2}} \tag{11}$$

จับคู่แล้วคูณไขว้

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{\sqrt{gd_1}}{\sqrt{gd_2}} \tag{12}$$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{\sqrt{d_1}}{\sqrt{d_2}} \tag{13}$$

จะเห็นว่าถ้าเรามีภาพถ่ายทางอากาศ เราสามารถวัดค่าของ L1 และ L2 จากภาพถ่ายได้โดยสูตรข้างบนเราอาจคำนวณหาค่าความเร็วคลื่นและความลึกของน้ำได้ หรือสามารถทำแผนที่ลักษณะพื้นท้องทะเลได้ ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 เมื่อทหารเตรียมบุกโจมตีชายฝั่งที่ข้าศึกยึดครองด้วยรถเกราะสะเทินน้ำสะเทินบกจำเป็นต้องรู้ความลึกของน้ำ นักวิทยาศาสตร์อเมริกันคำนวณหาความลึกของน้ำบริเวณนั้นด้วยวิธีนี้

2.1.9 คลื่นน้ำลึก

คลื่นน้ำลึกเกิดในพื้นท้องทะเลไม่มีอิทธิพล(ลึกกว่า L2) บางครั้งจึงมักเรียกว่าคลื่นสั้น เพราะความยาวคลื่นน้อยมาก เมื่อเทียบกับความลึกของน้ำ หรือคลื่นผิวหน้าจะเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ มีแต่แรงดึงดูดของโลกเท่านั้นที่เข้ามาเกี่ยวข้องจึงอาจคำนวณความเร็วได้จากสูตร

$$C=\frac{gT}{2\pi}=1.56\ T \qquad (14)$$

$$C=\frac{g\frac{L}{C}}{2\pi}=\frac{Lg}{2\pi C} \qquad (15)$$

$$C=\sqrt{\frac{gL}{2\pi}}=1.25\sqrt{L} \qquad (16)$$

เมื่อ T คือ คาบของคลื่นเป็น วินาที

L คือ ความยาวคลื่นเป็น เมตร

G คือ ความเร่งจากแรงดึงดูด

สูตรแรกใช้ได้สะดวกกว่า เพราะเราหาค่า T ได้ง่ายกว่า โดยการยืนจับเวลาที่หาดทราย (เวลาที่ยอดคลื่นลูกแรกกับยอดคลื่นลูกถัดไป ผ่านจุด ๆ หนึ่ง) จากสูตรทั้งสองจะเห็นว่า คลื่นที่มีความยาวคลื่นมากหรือคาบของคลื่นนานจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากกว่าเคยกล่าวมาแล้วว่า คลื่นน้ำลึกและหรือคลื่นน้ำตื้น เป็นการถ่ายทอดพลังงานจากจุดที่มีลมพัดไปยังจุดอื่นๆ แล้วแต่ทิศทางลม มิใช่เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำในแนวราบ เราสามารถทดสอบความจริงข้อนี้ได้โดยวิธีง่ายๆ ในขณะที่เราทอดสมอเรืออยู่นอกฝั่งที่มีความลึกพอประมาณ ถ้าเราโยนไม้ก๊อกลงในน้ำ เราจะเห็นไม้ก๊อกเคลื่อนไหวในลักษณะเดินหน้า-ขึ้นลง-ถอยหลังอย่างนี้ตลอดไป โดยที่ไม้ก๊อกมิได้เคลื่อนที่ไปไหนมาก นักจังหวะการเคลื่อนไหวดังกล่าวเกิดจาก

2.1.9.1 เมื่อยอดคลื่นมาถึง ไม้ก๊อกจะเคลื่อนไปข้างหน้าพร้อมทั้งลอยสูงขึ้น

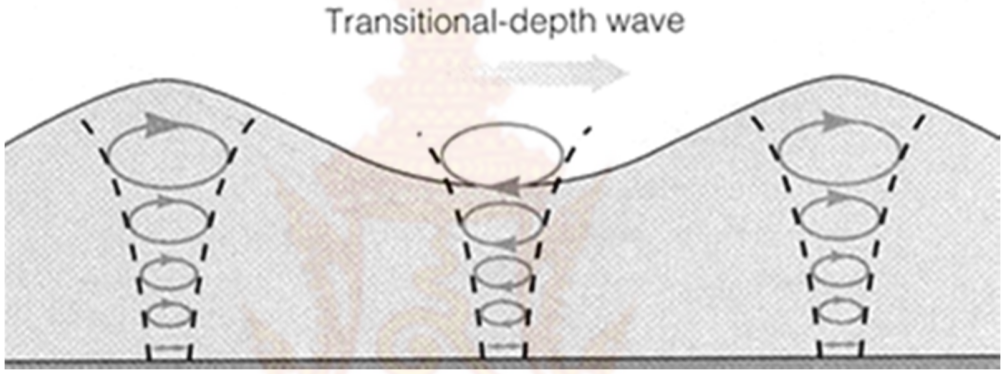
2.1.9.2 เมื่อยอดคลื่นผ่านเกือบจะหมดแล้ว ไม้ก๊อกจะเคลื่อนลงตามเนิน (ความชัน) ของคลื่น

2.1.9.3 เมื่อท้องคลื่นผ่านมาถึง ไม้ก๊อกจะเคลื่อนถอยหลังทั้งนี้เพราะน้ำแต่ละอนุภาคที่ประกอบขึ้นเป็นตัวคลื่น หมุนเวียนเป็นวงในทิศเดียวกับลม หรือทิศเดียวกับคลื่น ส่วนน้ำในแนวดิ่งใต้ท้องคลื่นหมุนในทิศตรงข้าม ขนาดของวงจะลดลงตามความลึกอย่างรวดเร็วดังภาพที่ 2-8

2.1.9.4 วงแรก (ที่ผิวน้ำ) มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับความสูงของคลื่น (H)

2.1.9.5 ที่ความลึกประมาณ L/9 เมตร จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง H/2 เมื่อ L = ความยาวคลื่น

2.1.9.6 ที่ความลึก L/2 เส้นผ่าศูนย์กลางจะลดเหลือประมาณ 4% ของวงแรก



ภาพที่ 2-9 การหมุนเวียนอนุภาคน้ำในคลื่นน้ำลึก

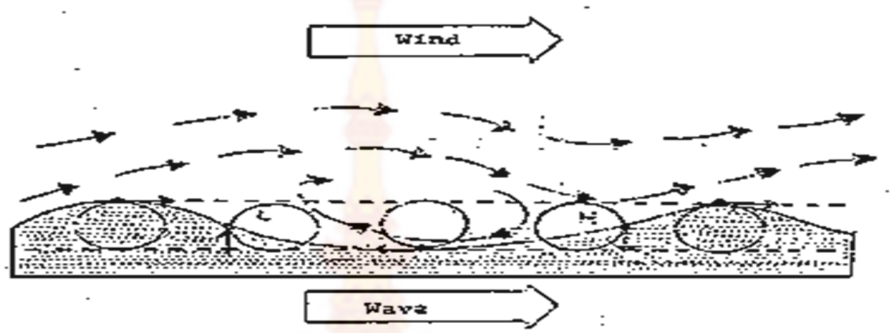
ดังนั้นที่ความลึกตั้งแต่ L/2 ลงไป มวลน้ำจะไม่มีการหมุนเวียน เป็นความลึกที่สงบ สมมติว่าไม่มีกระแสน้ำ เรือดำน้ำสามารถหลบซ่อนโดยไม่ถูกคลื่นรบกวนเลย บริเวณยอดคลื่นโมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่หมุนในแนวนอนในทิศทางเดียวกับคลื่น หรือลม เมื่อลมปะทะกับยอดคลื่นลองนึกเทียบกับภูเขาลมจะแฉลบขึ้นข้างบนเล็กน้อย ทำให้บริเวณหลังยอดคลื่น หลังเขา มีความกดดันอากาศต่ำเล็กน้อย ณ บริเวณนี้โมเลกุลของน้ำจะหมุนขึ้น ลอยขึ้น เมื่อลมพัดไปถึงยอดคลื่นถัดไป หน้ายอดคลื่น หน้าเขาลมพัดต่ำ หรือลงเกิดความกดดันสูงบริเวณหน้ายอดคลื่น โมเลกุลของน้ำ ณ บริเวณนี้จึงหมุนลง จมลง ความดันอากาศที่แตกต่างกันระหว่างสองบริเวณดังกล่าว ทำให้เกิดลมหมุนขนาดเล็ก (eddy) มีทิศทางตรงกันกับทิศทางลม ลมนี้จะผลักดันโมเลกุลของน้ำให้เคลื่อนที่ไปด้วย คือจากความดันอากาศสูงสู่ความดันอากาศต่ำ ดังภาพที่ 2-9 ความเร็วของอนุภาคน้ำในแต่ละวง อาจหาได้จากสูตร

$$V = \frac{\pi h}{T} \qquad (17)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วอนุภาคน้ำ

πh คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมแรก

T คือ คาบของคลื่น



ภาพที่ 2-10 ขั้นตอนของลมที่ทำให้โมเลกุลของน้ำในคลื่นหมุน

2.1.10 คลื่นน้ำตื้น

บางครั้งเรียกว่า คลื่นยาวเพราะความยาวคลื่นมากเมื่อเทียบกับความลึก บริเวณที่ความลึกของน้ำน้อยกว่า L/20 พื้นทะเลจะเข้ามาเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของคลื่นมาก อนุภาคของน้ำที่ประกอบขึ้นเป็นตัวคลื่น จะหมุนเป็นวงรี และความเป็นวงรีจะเพิ่มขึ้นตามความลึก จนกระทั่งแบนราบเมื่อใกล้พื้นท้องทะเล ภาพที่ 2-10 การหมุนเป็นวงรีของอนุภาคน้ำเท่ากับเป็นการทำให้การเคลื่อนที่ในแนวราบไป-มา ได้ระยะทางมากกว่าการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง ขึ้น-ลง บริเวณใกล้ๆ พื้นมวลน้ำจึงเคลื่อนที่ไป-มาในแนวราบแต่เพียงอย่างเดียว เราจึงมักเห็นมวลน้ำโบกพัดสาหร่ายที่เกาะติดอยู่กับพื้นชัดเจนความเร็วของคลื่นน้ำตื้นอาจหาได้จากสูตร

$$C=\sqrt{gd} \qquad (18)$$

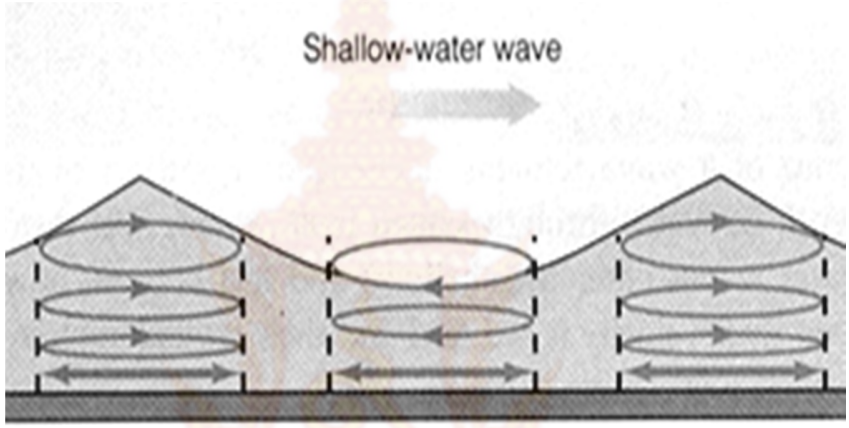
$$C=3.1\sqrt{d} \qquad (19)$$

เมื่อ d คือ ความลึกของน้ำเป็นเมตร

ส่วนความเร็วของอนุภาคน้ำที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเรื่องๆ ตามความสูงของคลื่น ตามสูตร

$$V = \frac{\pi h}{T} \qquad (20)$$

เราทราบแล้วว่าความสูงของคลื่นเพิ่มขึ้นตามความลาดชันของชายฝั่งเมื่อถึงจุดหนึ่งที่คลื่นใกล้จะแตก น้ำจะหมุนเร็วมากทำให้ยอดคลื่นเสียการทรงตัว มวลน้ำที่ยอดคลื่น จะพังทลายลงสู่ท้องคลื่นในที่สุด ในจังหวะนี้เราเรียกว่าคลื่นแตก น้ำจะไม่หมุนเป็นวงรีอีกต่อไป แต่ละเคลื่อนที่ในแนวราบเป็นหลัก (คลื่นซัดฝั่ง)



ภาพที่ 2-11 การหมุนเวียนของอนุภาคน้ำในคลื่นน้ำตื้น

2.1.11 คลื่นอยู่กับที่

คลื่นอยู่กับที่ เป็นคลื่นที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำปิดหรือเกือบปิดได้แก่ทะเลสาบและอ่าวแคบๆ บางครั้งเรียกว่าหรือเมื่อมีลมพัดหรือ ถูกรบกวน น้ำในบริเวณดังกล่าวจะเคลื่อนไหวทั้งในแนวตั้งขึ้น-ลง และในแนวนอน (ไป-กลับ) การเคลื่อนที่ขึ้น-ลงและเคลื่อนที่ไป-กลับของน้ำของแต่ละจุดมีลักษณะตรงข้าม การขึ้น-ลงจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับเมื่อเข้าใกล้ฝั่ง จนกระทั่งถึงขอบอ่าวที่ซึ่งน้ำขึ้น-ลงได้มากที่สุด และไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวนอนเลยการเคลื่อนที่ไป-กลับจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเข้าหาศูนย์กลาง จนกระทั่งถึงจุด ๆ หนึ่งที่การเคลื่อนที่ไป-กลับมากที่สุด และไม่มีการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงเลย เนื่องจากอ่าวหรือทะเลสาบมีความลึกน้อยมากเมื่อเทียบกับความยาว คลื่นที่เกิดขึ้นจึงจัดไว้ในประเภทคลื่นยาวหรือคลื่นน้ำตื้น ความลึกของน้ำน้อยกว่า L/20 สำหรับทะเลสาบที่ไม่มีทางติดต่อกับน้ำภายนอก การเคลื่อนไหวของน้ำอนุโลมว่ามีลักษณะคล้ายการเคลื่อนไหวของน้ำในภาชนะสี่เหลี่ยม ความยาวคลื่นจึงมีค่าเป็นสองเท่าของความยาวทะเลสาบ ภาพที่ 2-11 คาบของคลื่นอาจหาได้จากสูตรข้างล่าง

ให้ L คือ 2.1

เมื่อ L คือ ความยาวคลื่น

L คือ ความยาวทะเลสาบ

$$C=\sqrt{gh} \tag{21}$$

$$\frac{L}{T}=\sqrt{gh} \tag{22}$$

$$\frac{2l}{T}=\sqrt{gh} \tag{23}$$

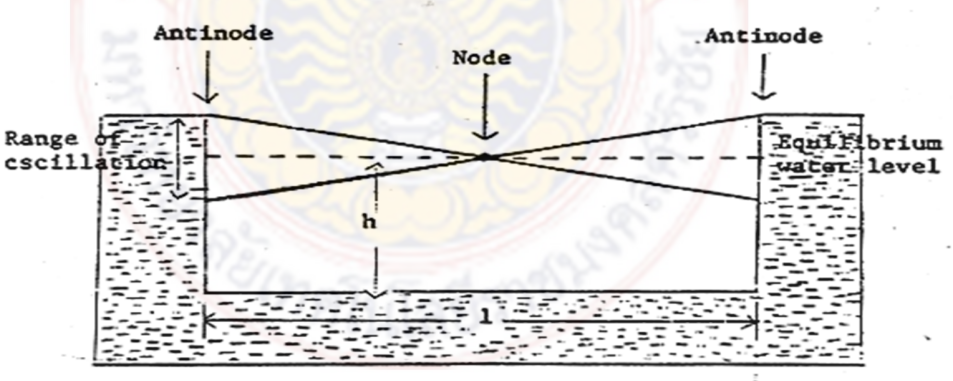
$$T_1=\frac{2l}{\sqrt{gh}} \tag{24}$$

$$T_2=\frac{2l}{n\sqrt{gh}} \tag{25}$$

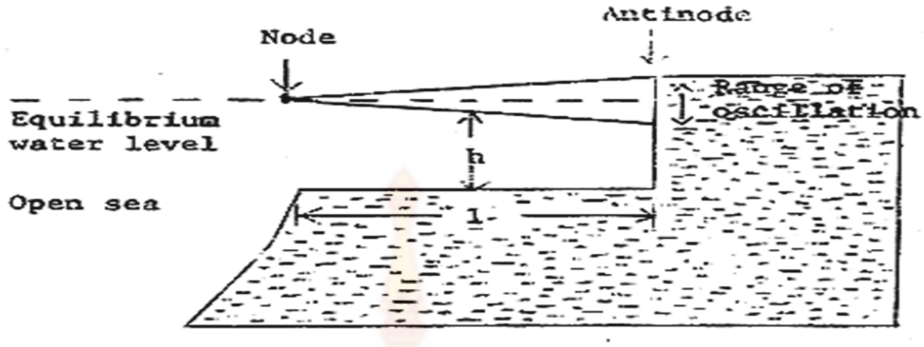
เมื่อเป็นคลื่นน้ำตื้น

เมื่อ T1 คือ คาบคลื่นเมื่อมี node เดียว

T2 คือ คาบคลื่นเมื่อมีหลาย node



ภาพที่ 2-12 คลื่นอยู่กับที่ในแหล่งน้ำปิด



ภาพที่ 2-13 คลื่นอยู่กับที่ในแหล่งน้ำเปิด

สำหรับอ่าวที่มีลักษณะเปิดมาก มีการถ่ายเทระหว่างภายในและภายนอก (มีทั้งไหลเข้าและไหลออก) บริเวณปากอ่าวถือว่าเป็นบริเวณที่น้ำขึ้นลงได้น้อยที่สุด (node) บริเวณที่น้ำขึ้นลงได้มากที่สุด (antinode) จึงมีด้านเดียวคือ ด้านใน ในกรณีนี้ความยาวของอ่าวจะมีค่าหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่น ภาพที่ 2-12 และในทำนองเดียวกันกับกรณีแรกเราอาจคำนวณ คาบของคลื่นได้จากสูตร

$$T = \frac{4l}{n\sqrt{gh}} \qquad (26)$$

เช่นเดียวกับคลื่นที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้า คลื่นอยู่กับที่มีการเปลี่ยนแปลงคล้อยตามรูปร่างของอ่าวหรือทะเลสาบ มีการสะท้อนกลับเมื่อขอบอ่าวชันมาก ส่วนหนึ่งอาจสลายตัวตามความลาดของพื้นอ่าว และก็จะเบนเมื่ออยู่ในเขตน้ำลึกน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นในทะเลสาบขนาดใหญ่เช่น Great lakes แรงเสมือนจะเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้คลื่นไม่เพียงแต่คลื่นที่ขึ้น-ลงเท่านั้นแต่จะหมุนด้วย

2.1.12 คลื่นใต้น้ำ

คลื่นซุนามิ เป็นภาษาญี่ปุ่น มีความหมายว่าคลื่นขนาดใหญ่เขียนเป็นภาษาอังกฤษโดยคนอเมริกันว่า Tsunami หรือ Tsunamis ก่อนปี 1950 โดยประมาณ นักสมุทรศาสตร์เข้าใจว่า ซุนามิเป็นคลื่นที่เกี่ยวข้องกับน้ำขึ้น-น้ำลง เป็นคลื่นที่เกิดจากแรงดึงดูดของดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ จึงเป็นคลื่นอยู่ในควบคุมในรายละเอียดคลื่นทั้งสองชนิดนี้จึงแตกต่างกันมาก โดยหลักเกณฑ์กว้างๆ เราถือว่าคลื่นที่มีคาบนานกว่า 4 วินาที เป็นคลื่นน้ำตื้น ดังนั้นคลื่นซุนามิและคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลง ต่างก็เป็นคลื่นน้ำตื้นL/d มากกว่า150/4มีการศึกษาคลื่นซุนามิกันอย่างจริงจังตั้งแต่ปี 1964 เป็นต้นมา เครื่องมือทันสมัย (SSWWS = Seismic Sea – Wave Warning System) ที่ติดตั้งไว้ตามจุดต่าง ๆ ทำให้เราทราบว่า

คลื่นซุนามิมีความเร็วโดยเฉลี่ยประมาณ 750 กม./ชม. ความยาวคลื่นประมาณ 150 กม. และคาบของคลื่นนานถึง 15 นาที ในขณะที่ความสูงของคลื่นวัดได้ 30-40 ซม. เท่านั้น ความสูงของคลื่นขนาดนี้ไม่ทำให้เรือที่กำลังแล่นอยู่นอกฝั่งมีความรู้สึกผิดปกติ ด้วยเหตุนี้เราจึงอาจเรียกคลื่นซุนามิว่า “คลื่นใต้น้ำ” เนื่องจากมีความเร็วสูงเมื่อปะทะฝั่ง คลื่นซุนามิจะมียอดคลื่นสูงหลายฟุต (20 ถึง 135 ฟุต) สร้างความเสียหายให้กับฝั่ง ทรัพย์สิน และชีวิตมากมาย ประเทศญี่ปุ่นและเกาะฮาวายได้รับเคราะห์กรรมจากคลื่นซึนามิมากที่สุด เช่น ในปี 1896 และ 1933 คนญี่ปุ่นเสียชีวิตถึง 27,000 และ 1,000 คน ตามลำดับ

2.1.13 คลื่นชนิดอื่น

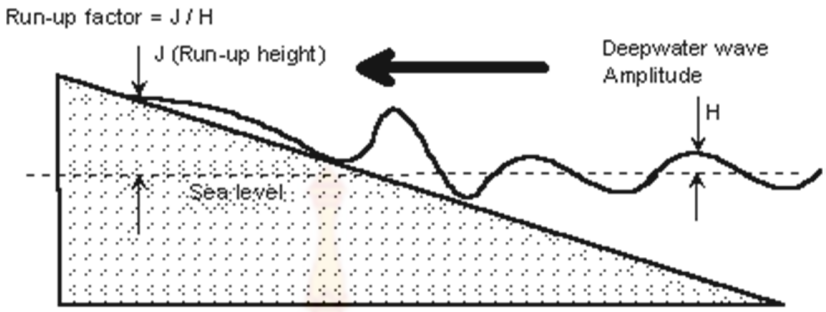
มีคลื่นอีกหลายชนิดที่ยังมิได้กล่าวถึง เช่น “คลื่นขนาดจิ๋ว” และ “คลื่นระหว่างชั้น (Internal waves) คลื่นชนิดแรกเป็นคลื่นขนาดเล็กมาก ความยาวคลื่นน้อยกว่า 1.7 ซม. ยอดคลื่นมนกลม ท้องคลื่นเป็นรูป V-shaped มีแต่แรงตึงผิว เข้ามาเกี่ยวข้อง แรงนี้พยายามทำให้ผิวน้ำแบนราบสู้กับแรงผลักของลมในบางครั้งจึงอาจเรียกว่า Surface Tension Waves ต่างกับคลื่นอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้ว ทั้งนี้

2.1.13.1 ความยาวคลื่นยิ่งสั้น ยิ่งเคลื่อนที่ได้เร็ว ภาพที่ 14

2.1.13.2 ความเร็วกลุ่มเร็วกว่าความเร็วเฟส (Phase Velocity ,C = L/T)

2.1.13.3 เนื่องจากข้อ 2.1.13.2 เกิดคลื่นใหม่อยู่ตลอดเวลา คลื่นเก่าสลายตัว

เชื่อว่าคลื่นชนิดนี้มีบทบาทสำคัญ ในการก่อให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่กว่านี้ (ความยาวคลื่นยาวกว่า 1.77 ซม.) ดังได้กล่าวมาแล้ว ในบางโอกาสและบางท้องที่เรามองเห็นผิวน้ำเรียบมากผิดกว่าตำแหน่งอื่นชัดเจน ที่เรียกว่า Surface Slicks หมายความว่าตำแหน่งนั้นไม่มี Capillary Waves นั่นเอง เข้าใจว่าเป็นเพราะมีลมไม่มากพอที่จะทำให้เกิด (ช่องหรือบริเวณปลอดลม) หรืออาจเป็นเพราะบริเวณนั้นมีน้ำมันหรือวัสดุอื่นที่ลดความตึงผิวของน้ำนั่นคือไม่มีแรงตึงผิวเพียงพอที่จะทำให้เกิดคลื่น บริเวณชายฝั่งหรือแม้แต่นอกฝั่งออกไปไกลๆ เรามักเห็นน้ำมันหรือวัตถุเบาๆลอยเป็นแนวเช่นกันแนวเหล่านี้เป็นแนวน้ำจมเกิดจากกระแสน้ำไหลมาปะทะกัน แล้วม้วนตัวลง



ภาพที่ 2-14 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของคลื่น ตามความยาวคลื่น

โดยธรรมชาติน้ำในมหาสมุทรแบ่งเป็นชั้นๆณ ความลึกอันหนึ่งน้ำอาจมีสองชั้นหรือมากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่น้ำนิ่ง ในระหว่างชั้นน้ำเหล่านี้ จะมีคลื่นที่เรียกว่า Internal waves คลื่นนี้เคลื่อนที่ คล้ายกับคลื่นผิวหน้าแต่มีความยาวคลื่นมากกว่าคาบของคลื่นนานกว่า อาจเป็นชั่วโมง แทนที่จะนับเป็นวินาทีเหมือนอย่างของคลื่นผิวน้ำ ความเร็วคลื่นก็ช้ากว่ามาก ประมาณ 2-3% ของความเร็วคลื่นผิวหน้าเท่านั้นในที่ลึกมาก ที่ซึ่งความลึกของน้ำ (d) มาก เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น (L) ความเร็วอาจหาได้จากสูตร

$$kc=\sqrt{gh\left\{\frac{(\rho_2-\rho_1)}{\rho_2}\right\}} \qquad (27)$$

เมื่อ ρ_1 คือ ความหนาแน่นของน้ำชั้นบน

ρ_2 คือ ความหนาแน่นของน้ำชั้นล่าง

gh คือ ความหนาของน้ำผิวหน้า (ชั้นบน)

2.2 หลักการลอยตัวของทุ่น (Buoyant Force)

แรงลอยตัวคือแรงที่ช่วยพยุงวัตถุไม่ให้จมลงไปในของเหลวโดยมีขนาดขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของเหลวนั้น และปริมาตรของงวัตถุส่วนที่จมลงไปในของเหลว

ความหนาแน่นของวัตถุ คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรและน้ำหนักของวัตถุโดยวัตถุที่มีความหนา แน่นมากกว่าจะมีน้ำหนักมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบ ในปริมาตรที่เท่ากัน

2.2.1 วัตถุจะไม่จมลงไปในของเหลวเมื่อวัตถุนั้นมีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลว

2.2.2 วัตถุจะลอยปริ่มของเหลวเมื่อวัตถุนั้นมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับของเหลว

2.2.3 วัตถุจะจมลงไปในของเหลวเมื่อวัตถุนั้นมีความหนาแน่นมากกว่าของเหลว

2.2.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับแรงลอยตัว ได้แก่

2.2.4.1 ชนิดของวัตถุ วัตถุจะมีความหนาแน่นแตกต่างกันออกไปยิ่งวัตถุมีความหนาแน่นมาก ก็ยิ่งจมลงไปในของเหลวมากยิ่งขึ้น

2.2.4.2 ชนิดของของเหลว ยิ่งของเหลวมีความหนาแน่นมาก ก็จะทำให้แรงลอยตัวมีขนาดมากขึ้นด้วย

2.2.4.3 ขนาดของวัตถุ จะส่งผลต่อปริมาตรที่จมลงไปในของเหลว เมื่อปริมาตรที่จมลงไปในของเหลวมาก ก็จะทำให้แรงลอยตัวมีขนาดมากขึ้นอีกด้วย

2.2.5 ประโยชน์ของแรงลอยตัว

แรงลอยตัว หรือแรงพยุงของของเหลวทุกชนิดเป็นไปตามหลักของอาร์คิมีดิสซึ่งกล่าวว่า แรงลอยตัวหรือแรงพยุงที่ของเหลวกระทำต่อวัตถุ มีขนาดเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของวัตถุส่วนที่จมอยู่ในของเหลว

ภาพที่ 2-15 การลอยตัวของทุ่น

2.3 ไฮดรอลิก

2.3.1 หน้าที่ของน้ำมันไฮดรอลิกมี 4 ประการ คือ

2.3.1.1 การส่งผ่านกำลังงาน น้ำมันไฮดรอลิกมีหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายทอดกำลังงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในระบบเพื่อเปลี่ยนแปลงกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังงานกล ซึ่งถ้าจะให้เป็นอย่างมีประสิทธิภาพแล้ว น้ำมันไฮดรอลิกที่ไหลในท่อทางจะต้องไหลไปอย่างราบรื่น แต่ถ้าเกิดมีความต้านทานการไหลมากๆก็จะทำให้สูญเสียกำลังงาน

2.3.1.2 การหล่อลื่น น้ำมันไฮดรอลิกจะทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นและลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีการเคลื่อนที่ โดยที่น้ำมันไฮดรอลิกจะมีสภาพเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ กั้นระหว่างผิวสัมผัสของชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ที่เสียดสีกัน

2.3.1.3 การซีล น้ำมันไฮดรอลิกจะทำหน้าที่เป็นซีลด้วยเพื่อให้มีการรั่วน้อยที่สุดภายในชิ้นส่วนของอุปกรณ์ในระบบไฮดรอลิกเมื่อมีความดันเกิดขึ้น

2.3.1.4 การระบายความร้อน การไหลเวียนของน้ำมันไฮดรอลิกในระบบขณะการทำงานจะช่วยถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ต่างๆ อันเนื่องมาจากการสูญเสียกำลังงานในระบบ ความร้อนนี้ก็จะถูกพาออกไปโดยน้ำมันและไหลลงสู่ถังพักแล้วแผ่กระจายความร้อนผ่านผนังของถังพักได้

2.3.2 คุณสมบัติที่ต้องการในน้ำมันไฮดรอลิก

2.3.2.1 มีความหนืดพอเหมาะและดัชนีความหนืดสูง น้ำมันไฮดรอลิกที่ดีจะต้องมีค่าความหนืดคงที่แม้ว่าอุณหภูมิในการทำงานจะเปลี่ยนแปลง

2.3.2.2 มีจุดข้นแข็งต่ำ น้ำมันไฮดรอลิกควรมีจุดข้นแข็งต่ำกว่าอุณหภูมิที่ระบบไฮดรอลิกทำงาน และจุดข้นแข็งนี้จะมีปัญหาก็ต่อเมื่อระบบไฮดรอลิกต้องทำงานในที่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ

2.3.2.3 คุณภาพของน้ำมันจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงถึงแม้อุณหภูมิในการทำงานจะสูง

2.3.2.4 มีคุณภาพการหล่อลื่นที่ดี

2.3.2.5 ต้านทานการเกิดออกไซด์ได้ดีเยี่ยม

2.3.2.6 ต้านทานการเกิดสนิม

2.3.2.7 ช่วยป้องกันการกัดกร่อนโลหะ น้ำมันไฮดรอลิกจะต้องไม่มีฤทธิ์ของความเป็นกรดซึ่งจะมีอันตรายต่ออุปกรณ์ได้

2.3.2.8 สามารถเข้ากับยาง ซีลปะเก็น และสีได้เป็นอย่างดี

2.3.2.9 ต้านทานต่อการเกิดฟอง

2.3.2.10 มีความสามารถแยกตัวจากน้ำได้ดี

2.3.2.11 ทนไฟ

2.3.2.12 ไม่ยุบตัวตามความดัน

2.3.2.13 ไม่จับตัวเป็นก้อนหรือยางเหนียว

2.3.3 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันไฮดรอลิก

คุณสมบัติทางกายภาพเป็นสิ่งที่เราตรวจสอบว่า น้ำมันไฮดรอลิกมีประสิทธิภาพในการส่งผ่านพลัง งานเพียงใดและมีอายุการใช้งานเท่าใด คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันไฮดรอลิกมีดังนี้ คือ

2.3.3.1 ความหนืด คือ คุณสมบัติของของเหลวที่แสดงถึงความต้านทานภายในต่อการไหลของของเหลว ของเหลวที่มีความหนืดมากจะไหลได้ช้ากว่าของเหลวที่มีความหนืดน้อยเพราะของเหลวที่มีความหนืดมากจะมีแรงต้านทานการไหลมากกว่าซึ่งคุณสมบัติอันนี้เกิดจากผลของการยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลของโครงสร้างของของเหลวนั้นๆ ปกติค่าความหนืดจะมากหรือจะน้อยขึ้นอยู่

กับค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดซึ่งเรียกว่า ความหนืดสัมบูรณ์ หรือความหนืดไดนามิก แต่ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นหรือน้ำมันไฮดรอลิก ส่วนใหญ่จะกำหนดเป็นความหนืดจลน์ในหน่วยเซนติสโตคในมาตราเมตริก สำหรับการวัดค่าความหนืดจลน์นั้นสามารถหาได้โดยใช้เครื่องมือวัดความหนืดของน้ำมันที่เรียกว่า เซย์โบลต์ยูนิเวอร์แซลวิสโคมิเตอร์ เรดวูดวิสโคมิเตอร์ และแองเกลอร์วิสโคมิเตอร์ ที่ใช้กันอยู่ในสหรัฐอเมริกา อังกฤษ และเยอรมัน ตามลำดับ เนื่องจากความหนืดของน้ำมันไฮดรอลิกจะเปลี่ยนแปลงเมื่อระบบทำงาน ดังนั้นจึงเกิดผลกระทบโดยทั่วไป กล่าวคือ เมื่อความหนืดลดลงประสิทธิภาพของระบบก็จะลดลงด้วย ทำให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น

ก) เกิดการรั่วซึมเพิ่มขึ้นในวาล์วและอุปกรณ์ทำงาน

ข) เกิดการรั่วซึมที่ปะเก็นและซีลตรงรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนได้ง่ายทำให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวในขณะทำงานสึกหรอเร็วขึ้น

ค) เมื่อระบบรับโหลดมากๆ อุปกรณ์ต่างๆ จะสึกหรอเร็ว

ง) ประสิทธิภาพของปั๊มอาจลดลงและถ้าน้ำมันไฮดรอลิกมีความหนืดมากเกินไปก็มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ

- แรงเสียดทานในการไหลจะสูงขึ้น ทำให้ความดันทั้งระบบลดลงและต้องใช้กำลังงานมากขึ้น
- เกิดการขัดข้องในระบบ ทำให้การทำงานของระบบช้าและเสื่อมลง
- เกิดความฝืดมากขึ้นในระบบ โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในอุณหภูมิต่ำ
- ลดประสิทธิภาพของเครื่องจักร เนื่องจากเกิดการสูญเสียกำลังมาก
- ปั๊มดูดน้ำมันได้ยากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของปั๊มลดลง
- ทำให้เกิดเสียงดังมากขณะที่ระบบทำงาน
- อากาศจะไม่สามารถแยกตัวจากน้ำมันในถังพัก

การจำแนกเกรดของน้ำมันตามความหนืดโดย SAE number โดย SAE ของประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้กำหนดมาตรฐานนี้ขึ้น และเป็นที่ยอมรับกันในวงการอุตสาหกรรมน้ำมันหล่อลื่นโดยทั่วไป ซึ่งค่า SAE numbers ได้จากการเปรียบเทียบกับค่าความหนืดที่วัดเป็น SSU เกรดน้ำมัน SAE numbers ที่ลงท้ายด้วยตัวอักษร W แสดงถึงน้ำมันที่ใช้ในฤดูหนาว ในแถบซึ่งมีอากาศเย็นที่เรียกว่าเป็น Winter numbers เช่น SAE 5 W, SAE 10 W, SAE 20 W ส่วนเกรดน้ำมัน SAE numbers ที่ไม่มีการลงท้ายด้วยอักษรใดๆ เช่น SAE 20, SAE 30, SAE 40, SAE 50 จะหมายถึงน้ำมันที่ใช้แถบอากาศร้อน

2.3.3.2 ดัชนีความหนืด คือตัวเลขที่แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป น้ำมันที่มีค่าดัชนีความหนืดสูงจะเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยกว่าน้ำมันที่มีค่าดัชนีความหนืดต่ำ เช่นน้ำมันตัวอย่างชนิดหนึ่งมีค่าดัชนีความหนืดเป็น 0 ความหนืดของน้ำมันชนิดนั้นก็จะ

เปลี่ยนแปลงมากที่สุด ในขณะเดียวกัน ถ้ากำหนดให้น้ำมันอีกชนิดหนึ่งมีค่าดัชนีความหนืดเป็น 100 ความหนืดของน้ำมันชนิดนี้จะเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ดังนั้นน้ำมันต่างๆ ก็จะมีค่าดัชนีความหนืดอยู่ระหว่าง 0-100 VI แต่น้ำมันในปัจจุบันมีค่าดัชนีความหนืดสูงกว่า 100 ซึ่งทำได้โดยเติมสารโพลีเมอร์ลงไปในฐานน้ำมัน

2.3.3.3 จุดข้นแข็ง คือจุดที่อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันจะไหลไปได้ จุดข้นแข็งของน้ำมันไฮดรอลิกควรมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่ระบบไฮดรอลิกทำงาน สำหรับเกณฑ์ทั่วๆ ไปคือ จุดข้นแข็งควรจะอยู่ที่ 20 องศาฟาเรนไฮน์ก่อนจะถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่ระบบทำงานคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันไฮดรอลิก คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันไฮดรอลิกเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยในการตัดสินคุณภาพและอายุการใช้งาน คุณสมบัติที่สำคัญ คือ ความต้านทานการเกิดสนิม การเกิดสนิมของน้ำมันไฮดรอลิกเป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำมันกับอากาศ ทำให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้นและเหนียวขึ้น นอกจากนี้สารประกอบบางอย่างที่ละลายออกมาอาจมีคุณสมบัติเป็นกรด ซึ่งจะกัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะภายในระบบ

2.3.4 ชนิดของน้ำมันไฮดรอลิก

2.2.4.1 น้ำมันปิโตรเลียม เป็นน้ำมันที่นิยมใช้กับระบบไฮดรอลิกเพราะมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นดีเยี่ยม โดยเฉพาะน้ำมันดิบบางชนิดมีคุณสมบัติในการต้านทานความสึกกร่อน ต้านทานการเกิดสนิม ในอุณหภูมิสูงๆ มีดัชนีความหนืดสูง และมีความสามารถในการซีลดีมาก อย่างไรก็ตามข้อเสียที่สำคัญของน้ำมันปิโตรเลียมก็คือ เป็นน้ำมันที่ติดไฟ ดังนั้นจึงไม่เหมาะจะใช้กับงานที่อยู่ใกล้กับเปลวไฟ ซึ่งน้ำมันไฮดรอลิกที่ผลิตจากปิโตรเลียมนี้สามารถแบ่งชนิดได้ดังนี้ คือ

ก) น้ำมันไฮดรอลิกทั่วไป

ข) น้ำมันเทอร์ไบน์

ค) น้ำมันไฮดรอลิกชนิดพิเศษ

2.2.4.2 น้ำมันทนไฟ น้ำมันไฮดรอลิกชนิดนี้จะใช้ในกรณีที่ระบบต้องทำงานในที่ที่มีอุณหภูมิสูง หรือในที่ที่อาจมีการติดไฟได้ง่ายเมื่อมีการรั่วซึมของน้ำมันไฮดรอลิก แบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภทคือ

ก) ประเภทผลิตจากสารเคมีสังเคราะห์ ซึ่งสารเคมีสังเคราะห์มีอยู่ 2 ประเภทคือ ฟอสเฟตเอสเตอร์และโพลีเออร์เอสเตอร์คุณสมบัติของน้ำมันชนิดนี้คือ ใช้ได้ดีในอุณหภูมิสูงๆ โดยไม่ทำให้สารประกอบระเหยไป และใช้ได้ดีในระบบที่มีความดันสูงๆ น้ำมันชนิดนี้มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงที่สุด ดังนั้นจึงต้องระวังท่อดูดของปั๊มให้อยู่ในสภาพดี น้ำมันชนิดนี้มีค่าดัชนีความหนืดต่ำคือประมาณ 80 VI จึงควรใช้ในระบบที่มีอุณหภูมิในการทำงานค่อนข้างคงที่

ข) ประเภทน้ำมันที่มีน้ำผสมอยู่ น้ำมันประเภทนี้แบ่งได้ 3ประเภท ได้แก่

- น้ำมันประเภทน้ำผสมกลีซอล น้ำมันประเภทนี้ประกอบด้วยน้ำ 35-40 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นสารต่อต้านการติดไฟ กลีซอลและสารประกอบจากน้ำที่เป็นยางเหนียวเพื่อทำให้เกิดความหนืด นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่นที่ช่วยป้องกันการเกิดฟอง การเกิดสนิม การผุกร่อน และช่วยในการหล่อลื่น

- น้ำมันประเภทมีน้ำผสมอยู่น้อยกว่าน้ำมัน โดยทั่วไปมีน้ำผสมอยู่ 40 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อใช้ในระบบอาจเติมน้ำอีกได้เพื่อช่วยรักษาค่าความหนืดให้คงที่ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่นที่ช่วยป้องกันการเกิดฟองการเกิดสนิมการผุกร่อน

- น้ำมันประเภทมีน้ำมันผสมอยู่น้อยกว่าน้ำ น้ำมันชนิดนี้ต้านทานการลุกไหม้ได้ดี มีความหนืดต่ำ และมีสมบัติในการหล่อเย็นดีมาก นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่นที่ช่วยป้องกันการเกิดฟอง การเกิดสนิม การผุกร่อน และช่วยในการหล่อลื่น

2.3.5 การเปลี่ยนน้ำมันไฮดรอลิก

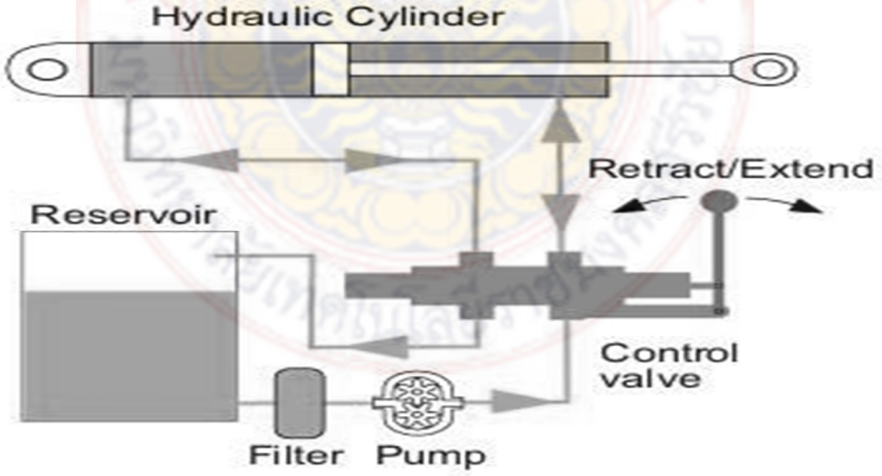
เนื่องจากน้ำมันไฮดรอลิกเป็นส่วนหนึ่งในระบบที่มีราคาแพงจึงควรดูแลน้ำมันให้อยู่ในสภาพปกติเสมอ เพื่อจะได้ไม่เสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดทั้งระบบ และควรเปลี่ยนน้ำมันไฮดรอลิก เมื่อน้ำมันมีสภาพดังนี้

2.2.5.1 เมื่อน้ำมันเปลี่ยนสภาพไปจากเดิม

2.2.5.2 เมื่อน้ำมันมีสิ่งสกปรกปะปนมาก

2.2.5.3 เมื่อมีน้ำปะปนอยู่ในน้ำมัน

2.3.6 ระบบไฮดรอลิก



ภาพที่ 2-16 วงจรไฮดรอลิกอย่างง่าย

ไฮดรอลิก เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับงานถ่ายทอดกำลัง หรืออาจใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมการทำงานของสวิทช์เกียร์ที่ต้องการความละเอียด ในปัจจุบันเครื่องจักรเครื่องยนต์ตลอดจนระบบออโตเมชั่นต่างๆ ล้วนมีส่วนประกอบพื้นฐาน 6 อย่างคือ

2.3.6.1 อ่างน้ำมันไฮดรอลิก

2.3.6.2 ปั๊มสำหรับอัด น้ำมันไฮดรอลิก ให้มีแรงดันสูงขึ้น

2.3.6.3 วาล์วหรืออุปกรณ์สำหรับควบคุมแรงดัน ควบคุมทิศทางและปริมาณการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก

2.3.6.4 อุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนแรงดันของ น้ำมันไฮดรอลิก ให้เป็นพลังงานกล เช่น ไฮดรอลิกมอเตอร์ชุดลูกสูบ-กระบอกสูบ

2.3.6.5 ท่อไฮดรอลิกเพื่อส่งผ่านน้ำมันไฮดรอลิกไปยังจุดต่างๆ

2.3.6.6 น้ำมันไฮดรอลิก

ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายทอดแรงอัดไปยังส่วนต่าง ๆ ของระบบ ไฮดรอลิก หล่อลื่นปั๊มและแบริ่ง ตลอดจนทำหน้าที่เป็นซีล และช่วยระบายความร้อน น้ำมันไฮดรอลิก ที่ดียังจะต้องมีสารป้องกันการเกิดฟองป้องกันปฏิกิริยาอ็อคซิเดชั่น ป้องกันสนิมและการกัดกร่อน นอกจากนี้ยังต้องสามา รถแยกตัวจากน้ำได้ดีในระบบ ไฮดรอลิก ขนาดใหญ่แบบเก่าอาจใช้ น้ำมัน ตัวกลางในการทอดกำลัง แต่น้ำไม่สามารถทำหน้าที่หล่อลื่นได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดสนิมน้ำมันไฮดรอลิก ในปัจจุบันประกอบด้วย น้ำมัน แร่พวกที่มีค่าดัชนีความหนืดสูง (HVI) ผสมด้วยสารเพิ่มคุณภาพเพื่อป้องกันการสึกหรอ ป้องกันปฏิกิริยาอ็อคซิเดชั่น ป้องกันสนิมและการกัดกร่อนป้องกันการเกิดฟอง และไม่รวมตัวกับน้ำถ้าหากอุปกรณ์ ไฮดรอลิก ต้องติดตั้งในบริเวณใกล้กับเปลวไฟ หรือหากเกิดไฟไหม้แล้วจะทำให้เกิดความเสียหายมาก เช่น ในเครื่องบิน หรือในอุตสาหกรรมบางประเภท น้ำมันไฮดรอลิกที่ใช้มักเป็นของเหลวชนิดไม่ติดไฟ ซึ่งอาจเป็นสารสะลายน้ำพวกไกลโคล (Glycol) หรือเป็นพวกสารสังเคราะห์ เช่น คลอริเนทเต็ดฟลูไฮโดรคาร์บอน หรือพวกฟอสเฟตเอสเทอร์ เป็นต้น

2.3.7 ปัญหาที่มักพบในระบบไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิกจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อตัวปั๊มอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ดังนั้นปั๊มจึงเป็นหัวใจของระบบไฮดรอลิกและเป็นส่วนที่มีโอกาสสึกหรอได้ง่าย ผู้ใช้จึงควรคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่ออายุของปั๊ม ดังนี้ ชนิดของน้ำมันไฮดรอลิกเลือกใช้น้ำมันไฮดรอลิกให้เหมาะกับชนิดและการออกแบบของปั๊มไฮดรอลิก เช่นจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาหรือกัดกร่อนชิ้นส่วนหรือซีล น้ำมันไฮดรอลิกที่ผสมสารป้องกันการสึกหรอประเภทสังกะสีไม่เหมาะกับปั๊มที่มีชิ้นส่วนที่ทำด้วยโลหะเงินและทองบรอนซ์บางประเภท เพราะจะเกิดการกัดกร่อนได้สภาพของน้ำมันไฮดรอลิกขณะใช้

งาน มีความสำคัญต่ออายุของปั๊มเป็นอย่างมาก หากมีการปะปนของน้ำ ฝุ่น และเศษของแข็ง จะทำให้ปั๊มสึกหรอเร็วขึ้นอุณหภูมิของน้ำมันในระบบ ควรหมั่นตรวจสอบระบบระบายความร้อนว่ายังทำงานเป็นปกติ และสามารถรักษาระดับอุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิกในระบบไม่ให้สูงเกินไป เพราะหากอุณหภูมิสูงมากน้ำมันจะเสื่อมสภาพเร็ว ซึ่งจะมีผลต่อการหล่อลื่นและการป้องกันการสึกหรอของปั๊ม ด้วยการหล่อลื่นปั๊มที่ดี จะต้องใช้น้ำมันที่มีความหนืดที่เหมาะสมกับชนิดของปั๊มนั้น นอกจากนี้ น้ำมันที่ใช้ควรมีค่าดัชนีความหนืดสูง กล่าวคือ ความหนืดของน้ำมันไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงการใช้ระบบไฮดรอลิกทำงานหรือรับภาระเกินความสามารถที่ออกแบบไว้ เช่น ยกของหรือเปลี่ยนบุ้งกี๋ หรือใบปาดดินให้ใหญ่กว่าของเดิมในเครื่องจักรกลงานดิน ทำให้ตัวปั๊มต้องทำงานหนักขึ้นและอาจทำให้เกิดความเสียหายในบางกรณีอาจทำให้ท่อไฮดรอลิกแตกได้การรั่วของอากาศ ความชื้น ตลอดจนสิ่งสกปรกเข้าไปปะปนกับน้ำมัน ซึ่งอาจเข้าทางข้อต่อที่หลวม รอยซีลที่สึกหรอ หรือบางครั้งระดับน้ำมันในถังต่ำเกินไป น้ำมันไฮดรอลิกที่ไหลกลับลงถังจะพุ่งปะทะกับผิวน้ำมันที่อยู่ในถังทำให้เกิดการปั่นป่วน มีฟองอากาศ และทำให้เกิดโพรงอากาศในเนื้อน้ำมันสิ่งเหล่านี้จะทำให้ตัวปั๊มน้ำมันไฮดรอลิกสึกหรอเร็วขึ้น

2.4 ไฮดรอลิกมอเตอร์

เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนกำลังงานไฮดรอลิกให้เป็นกำลังกล ซึ่งมีลักษณะการทำงานในแนวหมุนมีลักษณะเหมือนปั๊มไฮดรอลิก แต่การทำงานต่างกันคือ ปั๊มไฮดรอลิกหมุนด้วยการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า หรือเครื่องยนต์เป็นตัวขับให้ปั๊มหมุนทำงาน ส่วนมอเตอร์ไฮดรอลิกจะหมุนได้ด้วยการส่งแรงดันของน้ำมันไปขับให้หมุน ซึ่งมีทั้งแบบหมุนได้ทางเดียว และแบบหมุนได้สองทาง และแบบที่สามารถปรับค่าปริมาตรจุได้ และชนิดปริมาตรจุคงที่ สามารถแบ่งตามโครงสร้างได้ 5 ชนิด คือ

2.4.1 มอเตอร์ไฮดรอลิกแบบเฟืองฟันนอก

*การทำงาน*น้ำมันที่มีความดันสูงจะไหลเข้าที่ช่องทางเข้าผลักดันให้ฟันเฟืองเคลื่อนที่หมุนขบกันไปทำให้เพลาที่อยู่ติดกับฟันเฟืองหมุนตามไปด้วย และน้ำมันจะไหลออกที่ช่องทางออกกลับสู่ถังพัก

2.4.2 มอเตอร์ไฮดรอลิกแบบเฟืองใน

*การทำงาน*น้ำมันที่มีความดันสูงจะไหลเข้าที่ช่องทางเข้าผลักดันให้เฟืองตัวนอกหมุนไปตามตัวเรือนซึ่งจะทำให้เฟืองตัวในหมุนตามไปด้วย โดยส่วนที่เป็นเสี้ยววงโค้ง ซึ่งแคบมากจะทำหน้าที่เป็นซีลระหว่างช่องทางเข้ากับช่องทางออกและเป็นช่องทางไหลกลับของน้ำมันในตัวมอเตอร์ให้กลับสู่ถังพัก

2.4.3 มอเตอร์ไฮดรอลิกแบบจีโรเตอร์

*การทำงาน*น้ำมันความดันสูงจะไหลเข้าที่ช่องทางเข้าไปผลักดันเฟืองจีโรเตอร์ตัวนอกหมุน ทำให้เฟืองจีโรเตอร์ตัวในซึ่งต่อกับเพลาหมุนตามไปด้วย และน้ำมันจะไหลออกทางช่องทางออกกลับสู่ถังพัก

2.4.4 มอเตอร์ไฮดรอลิกแบบแวนหรือแบบใบพัด

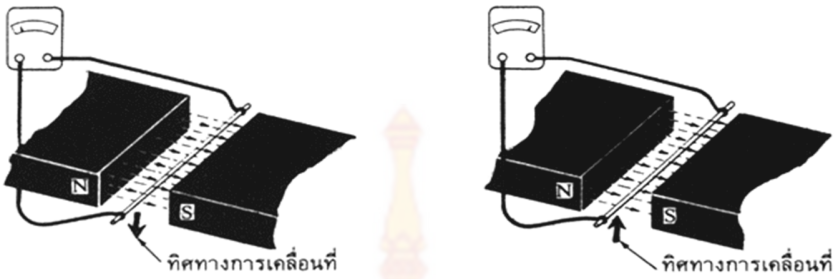
*การทำงาน*น้ำมันความดันสูงจะไหลเข้าทางช่องทางเข้า ซึ่งถูกต่อให้มี 2 ช่องเพื่อให้ความดันสมดุลทั้งสองด้านของใบแวนหรือในพัด น้ำมันจะพลักดันให้ใบพัดหรือใบเวนหมุนทำให้ตัวโรเตอร์ซึ่งมีเพลาติดอยู่หมุนตามไปด้วย จากนั้นน้ำมันส่วนที่ผลักให้ใบพัดหมุนจะกลายเป็นน้ำมันความดันต่ำไหลออกทางช่องทางออกกลับสู่ถังพัก

2.4.5 มอเตอร์ไฮดรอลิกแบบลูกสูบ

*การทำงาน*น้ำมันความดันสูงจะไหลเข้าที่ช่องทางเข้าไปดันให้ลูกสูบ ที่ยึดอยู่กับแผ่นเอียงผลักให้แผ่นเอียงเคลื่อนที่ลงลูกสูบตัวอื่นจะเคลื่อนที่ขึ้นดันให้น้ำมันซึ่งมีความดันต่ำออกที่ช่องทางออกกลับสู่ถังพัก ซึ่งลักษณะเช่นนี้แผ่นเอียงที่เคลื่อนที่ขึ้นลงเกิดการหมุน ทำให้เพลาที่ติดอยู่กับแผ่นเอียงหมุนตามไปด้วย

2.5 เจนเนอเรเตอร์

การทำงานของเจนเนอเรเตอร์ทำงานอยู่บนพื้นฐานหลักการผลิตกระแสไฟฟ้าว่า เมื่อตัวนำเคลื่อนที่ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กเกิดการเหนี่ยวนำเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำ เมื่อตัวนำเคลื่อนที่ขนานกับเส้นแรงแม่เหล็กจะไม่มีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในตัวนำ จำนวนของกระแสไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก (จำนวนของเส้นแรงแม่เหล็ก) จำนวนของขดลวดที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก และความเร็วที่ตัวนำตัดผ่านสนามแม่เหล็ก กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นโดยหลักการเหนี่ยวนำสามารถอธิบายได้โดยการใช้แท่งแม่เหล็ก 2 แท่ง เป็นขั้วแม่เหล็กเหนือ ขั้วแม่เหล็กใต้ และเส้นลวดตัวนำ ถ้าเส้นลวดเคลื่อนที่ลงด้านล่างระหว่างแท่งแม่เหล็ก ดังนั้นเส้นลวดจะตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กดังภาพที่ 2-17 (ก) แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะถูกเหนี่ยวนำในเส้นลวดซึ่งจะเป็นสาเหตุให้กระแสไฟฟ้าไหล ปรากฏการณ์นี้พิสูจน์ได้โดยติดตั้งแอมมิเตอร์ที่ปลายของเส้นลวด และเมื่อทำให้เส้นลวดเคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก เข็มชี้ของแอมมิเตอร์จะเคลื่อนที่ไปอีกด้านหนึ่งของสเกล ซึ่งแสดงว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรดังภาพที่ 2-17 (ข) ถ้าเส้นลวดเคลื่อนที่ขึ้นผ่านสนามแม่เหล็กเข็มชี้ของแอมมิเตอร์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้ามของสเกล ซึ่งแสดงว่ามีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นและไหลในทิศทางตรงกันข้าม เมื่อให้เส้นลวดเคลื่อนที่ขนานไปกับสนามแม่เหล็ก เข็มชี้ของแอมมิเตอร์จะชี้ที่ 0 แสดงว่าไม่มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น ทิศทางของการไหลของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยการเคลื่อนตัวนำผ่านสนามแม่เหล็กสามารถหาได้โดยใช้กฎมือซ้าย



ภาพที่ 2-17 การเกิดกระแสไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ

เจนเนอเรเตอร์ใช้แม่เหล็กไฟฟ้าแทนแท่งแม่เหล็ก ซึ่งจะเพิ่มความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็ก เป็นผลให้เพิ่มจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กด้วย เจนเนอเรเตอร์แบบขนานประกอบด้วย

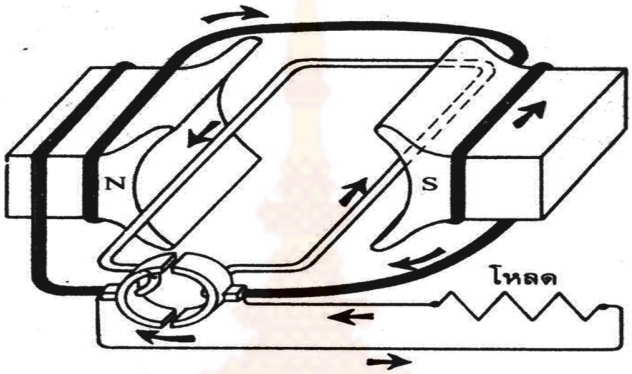
2.5.1 ขดลวดฟิลด์คอยล์พันรอบๆ ขั้วเหล็กอ่อนซึ่งจะเกิดเป็นสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด

2.5.2 ขดลวดอาร์มาเจอร์ขดเดียวเมื่อมันหมุนจะทำให้ตัวนำตัดผ่านสนามแม่เหล็กและ

2.5.3 คอมมิวเทเตอร์และแปรงถ่าน

กระแสไฟฟ้าถูกเหนี่ยวนำและตัดในตัวนำอาร์มาเจอร์ ขดลวดฟิลด์คอยล์ถูกต่อขนานกับอาร์มาเจอร์ เจนเนอเรเตอร์นี้จะเป็นแบบขนานดังภาพที่ 2-18 ถ้าเจนเนอเรเตอร์ถูกต่อกับแบตเตอรี่ มันจะทำงานเหมือนกับมอเตอร์สตาร์ท เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดฟิลด์คอยล์ที่อยู่รอบๆ สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นระหว่างขั้วเหล็กอ่อน เส้นแรงแม่เหล็กจะ เพิ่มขึ้นขณะที่อาร์มาเจอร์หมุน เมื่อแบตเตอรี่ถูกตัดวงจรจะเกิดแรงแม่เหล็กตกค้างขึ้นในขั้วเหล็กอ่อนเราเรียกว่า แรงแม่เหล็กตกค้าง เมื่อปราศจากแรงแม่เหล็กตกค้างเจนเนอเรเตอร์จะไม่ทำงาน แรงแม่เหล็ก ตกค้างจะให้เจนเนอเรเตอร์ทำงานได้ในจังหวะเวลาที่เหมาะสม กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเจนเนอเรเตอร์ครั้งแรก เรียกว่า การโพลาไรซิ่งเจนเนอเรเตอร์นั้นจะต้องปรับให้เกิดการโพลาไรซิ่งอย่างเหมาะสมถูกต้อง เมื่อเจนเนอเรเตอร์หมุนในทิศทางที่ถูกต้อง กระแสไฟฟ้าจึงจะไหลในทิศทางที่ถูกต้องกับขั้วบวกหรือขั้วลบของระบบไฟฟ้าในรถยนต์เมื่ออาร์มาเจอร์ขดเดียวหมุนอยู่ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาผ่านสนามแม่เหล็ก 2 ด้านของขดลวด ตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็ก เป็นผลให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวด และมีกระแสไฟฟ้าไหลจากกฎมือซ้าย กระแสไฟฟ้าที่ไหลในอาร์มาเจอร์จะไหลเข้าทางขวามือของขดลวดและออกทางซ้ายมือ กระแสไฟฟ้าจากการเหนี่ยวนำไหลจากซ้ายมือของซี่คอมมิวเทเตอร์และแปรงถ่านผ่านออกวงจรภายนอก และกลับเข้าขดลวดอาร์มาเจอร์ผ่านแปรงถ่านด้านตรงข้ามและซี่คอมมิวเทเตอร์ที่ขดลวดฟิลด์คอยล์ต่อขนานกับอาร์

มาเจอร์ กระแสไฟฟ้าเพียงบางส่วนที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์มาเจอร์ไหลผ่านขดลวดฟิลด์คอยล์ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านขดลวดฟิลด์คอยล์ในทิศทางที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กระหว่างขั้วเหนือและขั้วใต้ ซึ่งก็จะเพิ่มจำนวนของกระแสไฟฟ้าที่เกิดการเหนี่ยวนำในขดลวดอาร์มาเจอร์ด้วยดังภาพที่ 2-18



ภาพที่ 2-18 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในเจนเนอเรเตอร์

เมื่ออาร์มาเจอร์หมุน ขดลวดอาร์มาเจอร์จะผ่านขั้วแม่เหล็กเหนือทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อน และกระแสไฟฟ้าในทิศทางหนึ่ง ขณะที่อีกด้านหนึ่งของขดลวดหมุนผ่านขั้วแม่เหล็กใต้เกิดการเหนี่ยวนำ แรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้าม จากผลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดอาร์มาเจอร์ทำให้อาร์มาเจอร์กลายเป็นแม่เหล็กในทิศทางตัดกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก ด้านหนึ่งจะกลายเป็นขั้วเหนือ และอีกด้านหนึ่งจะกลายเป็นขั้วใต้ ในเจนเนอเรเตอร์ เส้นแรงแม่เหล็กขวางจะตัดผ่านแกนอาร์มาเจอร์และขั้วแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กที่ถูกสร้างโดยขดลวดฟิลด์คอยล์จะเคลื่อนที่ในทิศทางที่แตกต่างกัน จึงไม่สามารถมีสนามแม่เหล็กเท่ากันทุกๆ จุดในขณะนั้น และปฏิกิริยาอันนี้ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กบิดเบี้ยวไปจากเดิมระหว่างขั้วแม่เหล็กเหนือและขั้วใต้ดังภาพที่ 2-19

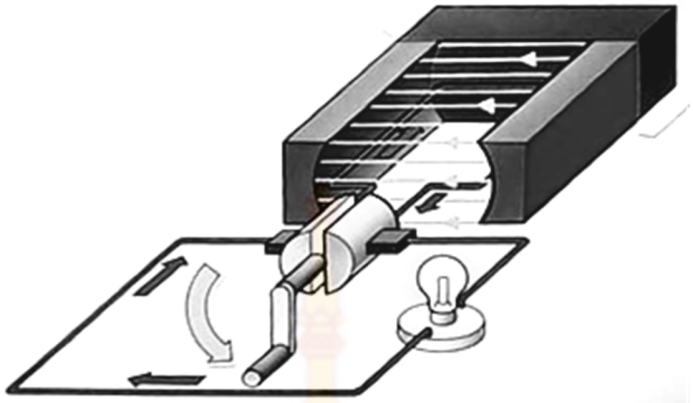
ภาพที่ 2-19 แรงแม่เหล็กตัดขวางของอาร์มาเจอร์ระหว่างเกิดกระแสไฟฟ้า

การติดตั้งแปรงถ่านตรงจุดกึ่งกลางเส้นแรงแม่เหล็กถูกสร้างโดยขดลวดฟิลด์คอยล์เข้มมาก ระหว่างขั้วแม่เหล็กเหนือและขั้วใต้ แปรงถ่านจะติดตั้งตรงจุดกึ่งกลางของเส้นแรงแม่เหล็กดังภาพที่ 2-20 (ก) เมื่อเจนเนอเรเตอร์ทำงาน ปฏิกิริยาของ อาร์มาเจอร์จะทำให้สนามแม่เหล็กระหว่างขั้วทั้ง 2 เลื่อนไปกับอาร์มาเจอร์ สนามแม่เหล็กจะเลื่อนไป หรือบิดไปด้วยดังภาพที่ 2-20 (ข) มันจะทำให้แปรงถ่านถูกเลื่อนไปข้างหน้าสัมพันธ์กับการหมุนของอาร์มาเจอร์ การติดตั้งแปรงถ่านที่จุดกึ่งกลางขดลวดอาร์มาเจอร์จะตัดเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุดและได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดที่แปรงถ่าน ซึ่งการหมุนต่อเนื่องของอาร์มาเจอร์ทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์หมุนผ่านแปรงถ่านตัดสนามแม่เหล็ก จุดกึ่งกลางนี้เป็นจุดที่กระแสไฟฟ้าไหลกลับทิศทางในอาร์มาเจอร์ แปรงถ่านจะถูกติดตั้งตรงจุดกึ่งกลางอย่างเหมาะสมที่โครงเจนเนอเรเตอร์หรือที่ฝาปิดคอมมิวเทเตอร์ โดยปกติแปรงถ่านจะถูกติดตั้งเยื้องไปข้างหน้าเล็กน้อยจากจุดกึ่งกลางเป็นผลให้อาร์มาเจอร์หมุนในทิศทางที่เจนเนอเรเตอร์หมุนทำงานปกติเมื่อต่อแบตเตอรี่เข้ากับแปรงถ่านของเจนเนอเรเตอร์

ภาพที่ 2-20 เส้นแรงแม่เหล็กที่เปลี่ยนไปกับการเปลี่ยนตำแหน่งของแปรงถ่าน

2.5.4 การกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ค่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของขดลวดตัวนำขณะหมุนตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กนั้น ถ้าทิศทางการเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำตั้งฉากกับเส้นแรงแม่เหล็ก แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงสุดและจะมีค่าน้อยลง เมื่อทิศทางการเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กในมุมน้อยกว่า 90 องศา และจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อขดลวดตัวนำวางขนานกับเส้นแรงแม่เหล็ก



ภาพที่ 2-21 วัฏจักรของการหมุนขดลวดตัวนำ

จะเห็นว่าใน 1 วัฏจักรของการหมุนขดลวดตัวนำ คือ หมุนไป 360 องศา ทางกลน้ำจะเกิดรูปคลื่นไซน์ 1 ลูกคลื่น หรือ 1 วัฏจักร ถ้าขดลวดตัวนำนี้หมุนด้วยความเร็วคงที่และสภาพของเส้นแรงแม่เหล็กมีความหนาแน่นเท่ากันตลอด รอบพื้นที่ของการตัดแรงดันไฟฟ้าสลับรูปคลื่นไซน์ที่จะมีค่าคงที่ และถ้ามีการหมุนของขดลวดต่อเนื่องตลอดไป จะทำให้เกิดจำนวนรอบของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อเนื่องกันไป นั่นคือการเกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

ภาพที่ 2-22 การกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sharon, A ได้นำเสนอการใช้เรือเพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานที่ได้จากคลื่นในทะเล ซึ่งเป็นแนวทางใหม่ในการรูปพลังงานจากธรรมชาติที่สะอาด และราคาไม่แพง *โดยใช้เรือในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นกลางทะเล แล้วนำพลังงานที่ได้กลับมาชาร์จที่ฝั่ง แทนการใช้เคเบิ้ลใต้ทะเลซึ่งมีมูลค่า*

ประมาณ 500,000 USD. ต่อกิโลเมตร ถือได้ว่ามีราคาที่ค่อนข้างแพงอยู่มาก ขนาดของเรือที่คาดการณ์ไว้จะยาวประมาณ 50 เมตร พร้อมแขนด้านข้างลำเรือสำหรับการรับพลังงานจากคลื่น ซึ่งจะเคลื่อนไหวขึ้น – ลง ตามผิวคลื่น และขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สร้างไฟขนาดหนึ่งเมกะวัตต์ ในเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อเก็บกักพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ที่สามารถจุได้ 20 เมกะวัตต์ ระหว่างการแล่นอยู่ในทะเลประมาณ 20 ชั่วโมง

Carnegie Wave Energy Limited นำเสนอโครงการศึกษาการใช้พลังงานคลื่นในทะเลเบอร์มิวด้า เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ โดยใช้เทคโนโลยี CETO ซึ่งเป็นเทคโนโลยีในการเปลี่ยนพลังงานคลื่นทะเลเป็นพลังงานไฟฟ้า มีลักษณะเป็นทุ่นติดตั้งไว้ในพื้นทะเลที่ลึก 15 – 50 เมตร พื้นที่ขนาด 250 ตารางเมตร เมื่อคลื่นพัดทุ่นจะเกิดการเคลื่อนไหวของทุ่น ทำให้น้ำทะเลไหลเข้าไปตามท่อที่มีแรงดันน้ำสูง แล้วแรงดันน้ำนี้จะไปหมุนกังหันทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าได้

Hughes, M., G. และ Andrew, D., H. นำเสนอผลการประเมินแหล่งพลังงานคลื่นในประเทศออสเตรเลียบริเวณชายฝั่ง 0-300 m กำลังและพลังงานคลื่นได้รับอิทธิพลจากคาบของคลื่น ระดับความสูงของคลื่นทะเลเฉลี่ย และทิศทางของคลื่น โดยใช้แบบจำลอง AuaWAM สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลในช่วง 1 มี.ค. 1997 – 29 ก.พ. 2008 การกระจายเชิงพื้นที่ของกำลังและพลังงานคลื่นได้ใช้กริดขนาด 1^{o} ซึ่งปกคลุมพื้นที่ ลองจิจูด 110-156^{o} และ ละติจูด 7-46^{o} พลังงานคลื่นทั้งหมดในประเทศออสเตรเลียเฉลี่ยได้เท่ากับ 3.47 PJ กำลังคลื่นมีค่ามากในทางภาคใต้ของออสเตรเลียซึ่งมีศักยภาพมากพอสำหรับผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่น ในทางภาคเหนือของออสเตรเลียกำลังคลื่นเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่า 10 kWm^{-1} เป็นผลมาจากกำลังของคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูการนั่นเอง

Dunnett, D., และ Wallace, J. S. นำเสนอผลการศึกษาสมรรถนะของเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่น 3 ชนิดแตกต่างกัน โดยเลือกพื้นที่ทำการประเมินภายในประเทศแคนนาดา ซึ่งใช้ข้อมูลจากศูนย์บริการข้อมูลสิ่งแวดล้อมทางทะเลของประเทศแคนนาดา ทำการศึกษาบริเวณมหาสมุทรแอตแลนติก 2 ตำแหน่งและมหาสมุทรแปซิฟิก 3 ตำแหน่ง พบว่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้ามากกว่า 20% นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งและอุปกรณ์ของของเครื่องด้วย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

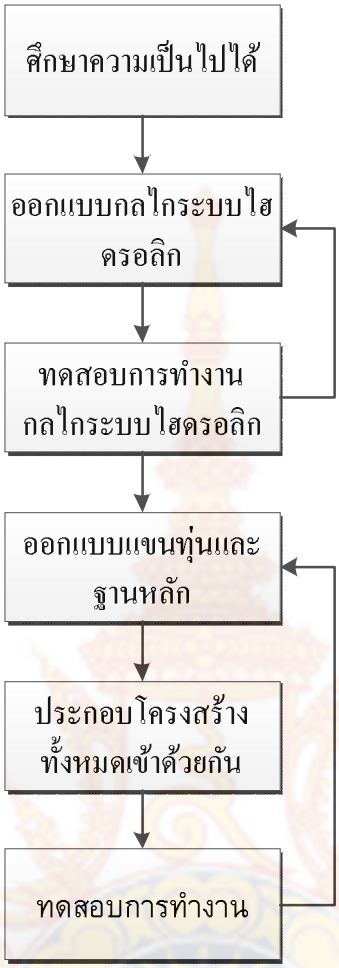
คณะผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่นทะเล หาดราชมงคล ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ขึ้นในลักษณะการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่นทะเล เพื่อเป็นการออกแบบและสร้างในการทำการวิจัยและสามารถนำไปใช้งานได้จริง เพื่อช่วยสร้างพลังงานไฟฟ้าที่สะอาดและรักษาสิ่งแวดล้อมภายในมหาวิทยาลัย และนำมาใช้ในพื้นที่ยังขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าเพื่อตอบความสนองต้องการของพื้นที่ยังขาดแคลนไฟฟ้าและรณรงค์ให้หันมาใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยผู้วิจัยได้พัฒนาขั้นตอน ต่าง ๆ ดังนี้

3.1 ศึกษาความเป็นไปได้เพื่อหาขอบเขตงานและทำการวางแผน

ประกอบด้วยการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยดังนี้

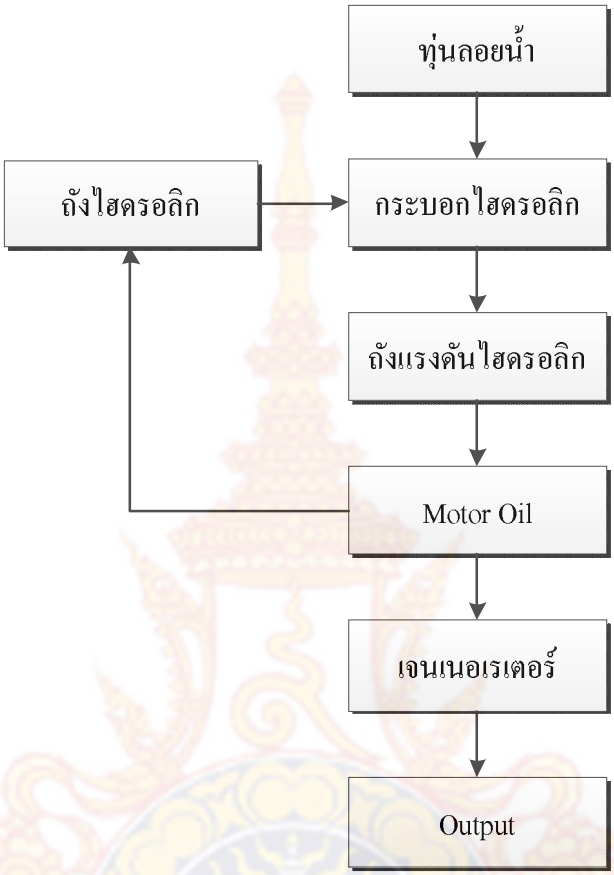
3.1.1 การศึกษาข้อมูล

ศึกษาความเป็นไปได้ โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษา และรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำออกแบบและสร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่นในทะเลและศึกษาเกี่ยวกับ ขอบเขตการทำงานออกแบบและสร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่นในทะเลว่ามีส่วนไหนที่สามารถแก้ไขหรือพัฒนาให้ดีกว่าเดิม



ภาพที่ 3-1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 บล็อกไดอะแกรมระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่นในทะเล



ภาพที่ 3-2 บล๊อกไดอะแกรมหลักการทำงาน

3.2.1 ทุ่นลอยน้ำ

ทุ่นมีคุณสมบัติลอยน้ำ จึงเหมาะแก่การทำโครงการนี้เป็นอย่างมาก กล่าวคือ เมื่อมีคลื่นมาปะทะกับทุ่น ทุ่นก็จะยกตัวขึ้นเหนือคลื่นทะเล จึงทำให้เกิดการอัดน้ำมันของการบอกไฮดรอลิก

3.2.2 กระบอกไฮดรอลิก

เมื่อกระบอกไฮดรอลิกได้รับแรงกระทำจากทุ่นลอยน้ำจะทำให้เกิดการอัดตัวของกระบอกไฮดรอลิก และอัดน้ำมันไฮดรอลิกเข้าไปยังถังแรงดัน

3.2.3 ถังน้ำมันไฮดรอลิกง

ก่อนที่กระบอกไฮดรอลิกจะส่งน้ำมันไฮดรอลิกไปยังถังแรงดันไฮดรอลิกได้นั้นจะต้องดูดน้ำมันไฮดรอลิกจากถังไฮดรอลิกก่อน แล้วจึงสามารถส่งไปยังถังแรงดันไฮดรอลิกได้

3.2.4 ถังแรงดันไฮดรอลิก

เมื่อถังแรงดันได้รับน้ำมันไฮดรอลิกที่ถูกอัดมาจากกระบอกไฮดรอลิกทุกกระบอก ก็จะเกิดการสะสมของแรงดันน้ำมันไฮดรอลิก จึงทำให้เกิดการอัดตัวของน้ำมันไฮดรอลิกแรงดันสูงและส่งออกเพียงทางเดี่ยวไปยัง Motor Oil

3.2.5 Motor Oil

เมื่อมีการส่งน้ำมันไฮดรอลิกแรงดันสูงจากถังแรงดันไฮดรอลิกมายัง Motor Oil ก็จะเกิดการหมุนของแกน Motor Oil และแกนหมุนของ Motor Oil นั้น ได้ถูกต่อเอาไว้กับแกนหมุนของเจนเนอเรเตอร์จึงทำให้เจนเนอเรเตอร์เกิดการหมุนเช่นเดียวกัน

3.2.6 เจนเนอเรเตอร์

เมื่อเจนเนอเรเตอร์เกิดการหมุน ก็จะทำให้ขดลวดตัดผ่านสนามแม่เหล็ก จึงทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าได้

3.2.7 Output

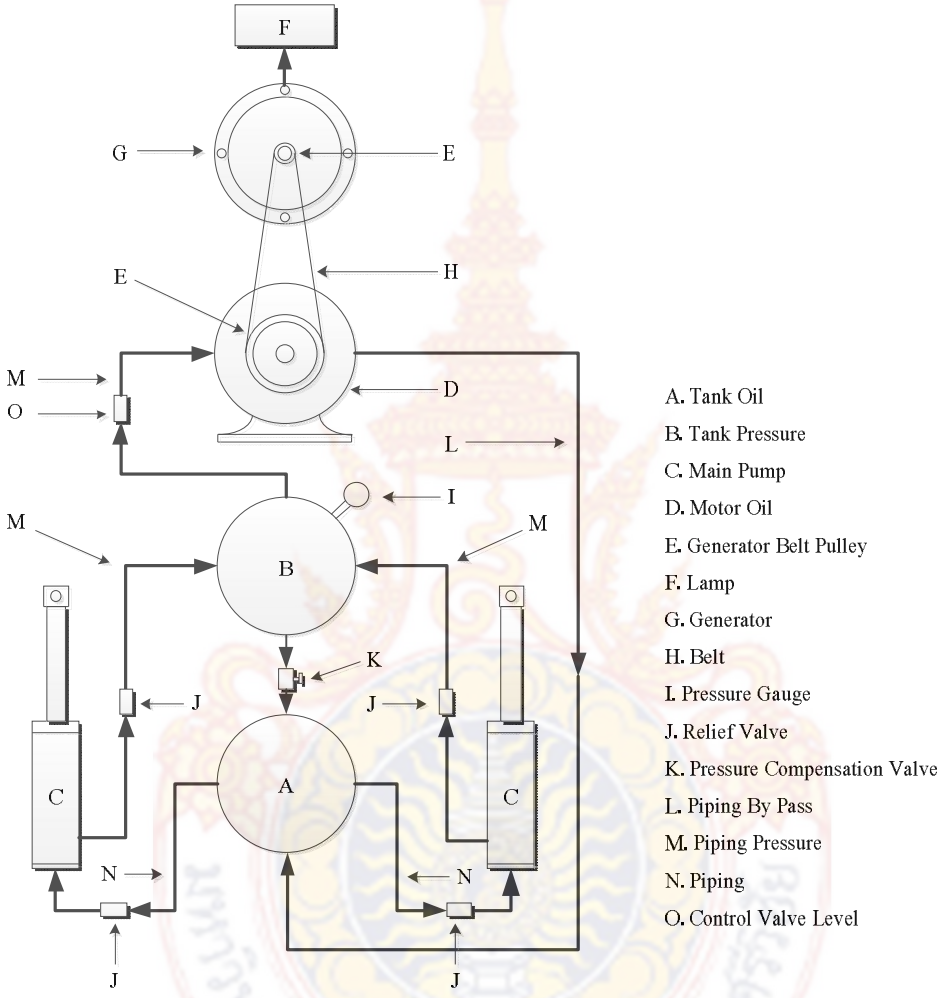
เมื่อเจนเนอเรเตอร์เกิดการผลิตกำลังไฟฟ้า ก็สามารถนำไฟฟ้าที่ได้ไปใช้งาน

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

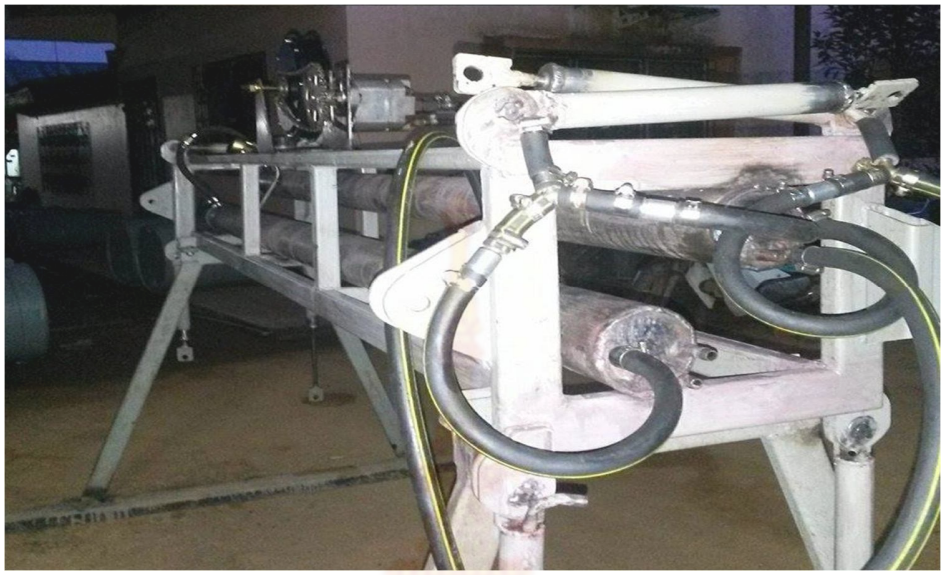
3.3.1 ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบระบบไฮดรอลิก

จากภาพที่ 3-3 จะเห็นได้ว่ามีลูกศรแสดงทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก น้ำมันจะไม่สามารถไหลย้อนกลับทวนลูกศรได้ เนื่องจากมีวาล์วกันย้อนกลับ (J. Relief Valve) ไว้ควบคุมทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก เมื่อระบบทุ่นเริ่มทำงาน ก็จะทำให้กระบอกไฮดรอลิกเกิดการดูดหรืออันน้ำมันไฮดรอลิก ในกรณีที่กระบอกไฮดรอลิกเกิดการดูดน้ำมันไฮดรอลิกก็จะดูดมาจากถังน้ำมันไฮดรอลิก (A. Tank Oil) มาเก็บไว้ในกระบอกไฮดรอลิก (C. Main Pump) หลังจากนั้นก็อัดไปยังถังแรงดันไฮดรอลิก (B. Tank Pressure) โดยต้องผ่านวาล์วกันย้อนกลับ (J. Relief Valve) เพื่อควบคุมทิศทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก เมื่อน้ำมันได้ส่งไปเก็บไว้ในถังแรงดันไฮดรอลิก (B. Tank Pressure) จนเกิดแรงดันสูง ก็จะส่งต่อไปยังมอเตอร์น้ำมัน (D. Motor Oil) โดยต้องผ่านวาล์วคุมทิศทางการไหลแบบปลับค่าแรงดันไหลผ่าน (Control Valve Level) เมื่อน้ำมันไฮดรอลิกแรงดันสูงเข้าไปยังมอเตอร์น้ำมัน (D. Motor Oil) แกนของมอเตอร์น้ำมันจะก็เกิดการหมุน ทำให้เจนเนอเรเตอร์ที่ต่อแกนหมุนอยู่กับแกนหมุนของมอเตอร์น้ำมัน (D. Motor Oil) หมุนตามไปด้วย เมื่อเจนเนอเรเตอร์ (G. Genertor) หมุนก็จะเกิดการผลิตกระแสไฟฟ้า และหลังจากน้ำมันไหลผ่านมอเตอร์น้ำมัน (D. Motor Oil) แล้วก็จะ

ถูกส่งกลับไปยังถังน้ำมันไฮดรอลิก (A. Tank Oil) ที่กลาวไปข้างต้นนี้คือครบกระบวรการหลักการทำงานของระบบไฮดรอลิก

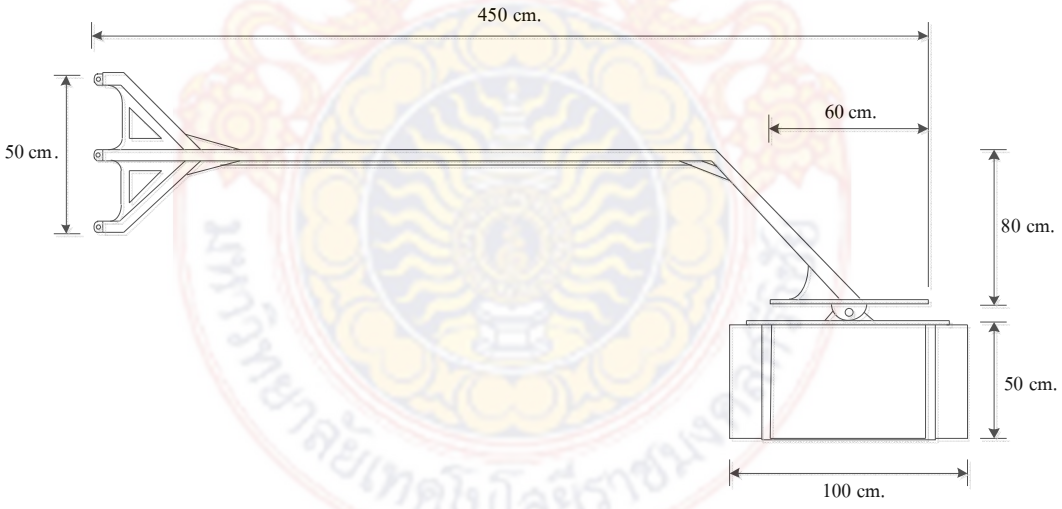


ภาพที่ 3-3 ระบบไฮดรอลิกที่ได้ออกแบบ



ภาพที่ 3-4 ระบบไฮดรอลิก

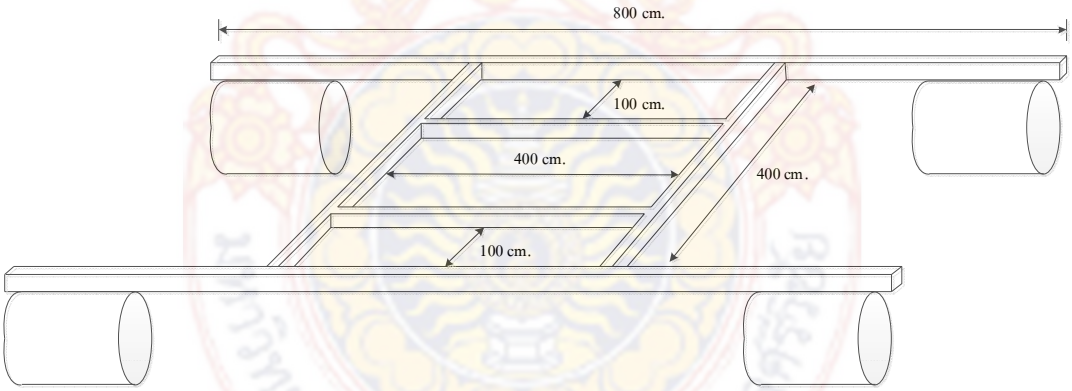
3.3.2 ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบแขนทุ่น



ภาพที่ 3-5 แบบแขนทุ่น

ภาพที่ 3-6 แขนทุ่น

3.3.3 ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบฐานรับน้ำหนักหลัก



ภาพที่ 3-7 แบบฐานรับน้ำหนักหลัก

ภาพที่ 3-8 ติดตั้งฐานรับน้ำหนักหลัก

3.4 ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่นในทะเล

ภาพที่ 3-9 ติดตั้งแขนไฮดรอลิก

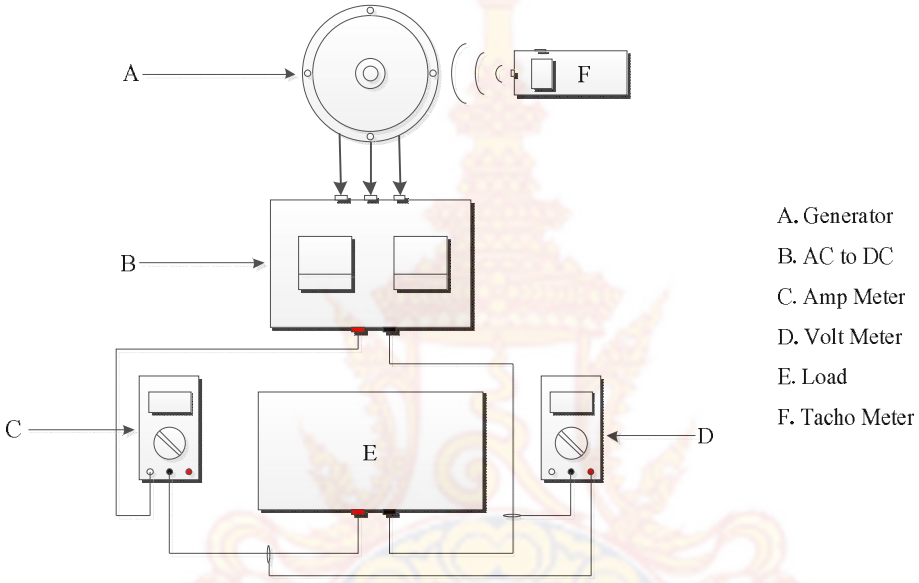
ภาพที่ 3-10 ติดตั้งกระบอกไฮดรอลิก

ภาพที่ 3-11 ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่นในทะเลเสร็จสมบูรณ์

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบระบบผลิตพลังไฟฟ้าด้วยคลื่นในทะเล

4.1.1 ทดสอบการทำงานของเจนเนอเรเตอร์ จากภาพที่ 4-1 แสดงการวัดค่าต่างๆ

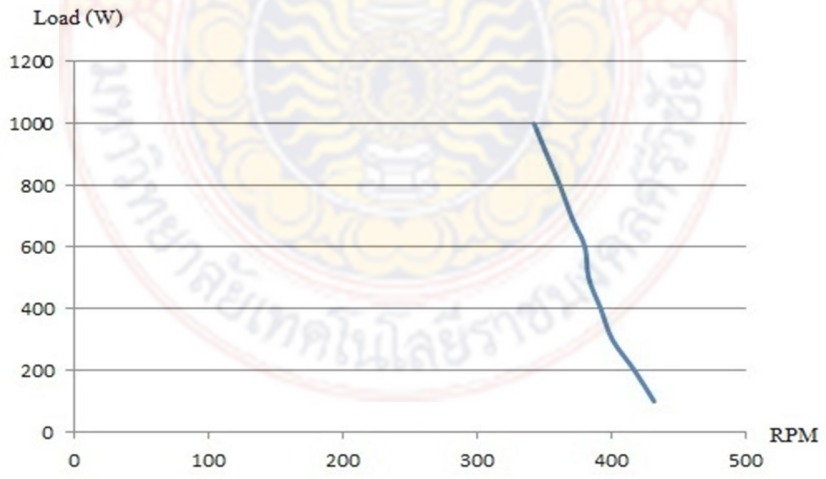


ภาพที่ 4-1 การวัดค่าต่างๆ

ตารางที่ 4-1 ทดสอบการทำงานของเจนเนอเรเตอร์โดยต่อโหลดที่ใช้กำลังไฟฟ้า 100-1000 วัตต์

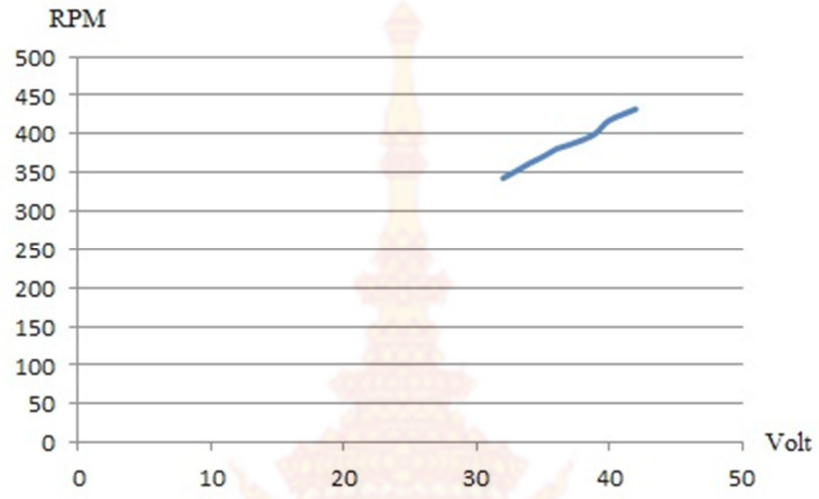
Load (W)	**Generator (RPM)**	**Voltage (V**	**Current (A)**	**Power (W)**
100	432.2	42	0.6	25.2
200	417.5	40	1.1	44
300	401.1	39	1.6	62.4
400	392.3	38	2.1	79.8
500	383.3	36.5	2.6	94.9
600	380.5	36	3.1	111.6
700	370.6	35	3.6	126
800	362.1	34	3.9	132.6
900	352.2	33	4.4	145.2
1000	342.7	32	4.8	153.6

4.1.2 จากภาพที่ 4-2 จะเห็นได้ว่าเมื่อกำลังวัตต์ของ Load ลดลง ส่งผลให้รอบต่อนาทีของเจนเนอเรเตอร์ก็เพิ่มสูงขึ้น



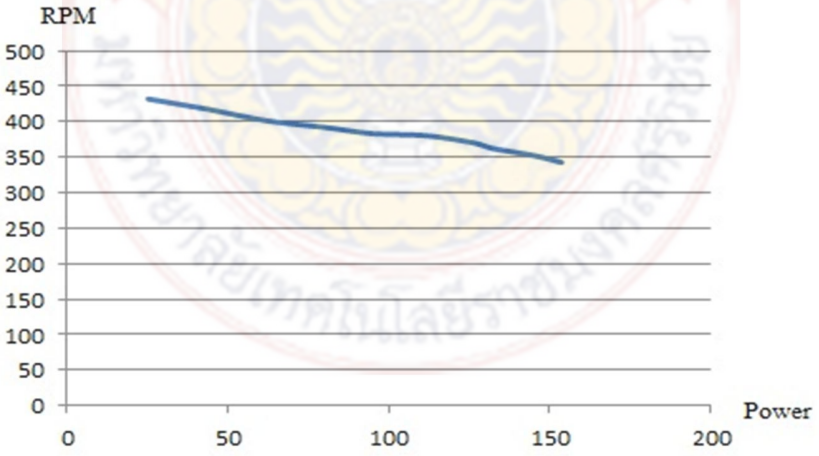
ภาพที่ 4-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Load และรอบต่อนาทีของเจนเนอเรเตอร์

4.1.3 จากภาพที่ 4-3 จะเห็นได้ว่าเมื่อรอบต่อนาทีของเจนเนอเรเตอร์เพิ่มสูงขึ้น ก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่งสูงขึ้นด้วย



ภาพที่ 4-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างรอบต่อนาทีของเจนเนอเรเตอร์และแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้

4.1.4 จากภาพที่ 4-4 จะเห็นได้ว่าเมื่อ Power เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้รอบต่อนาทีของเจนเนอเรเตอร์ลดลง



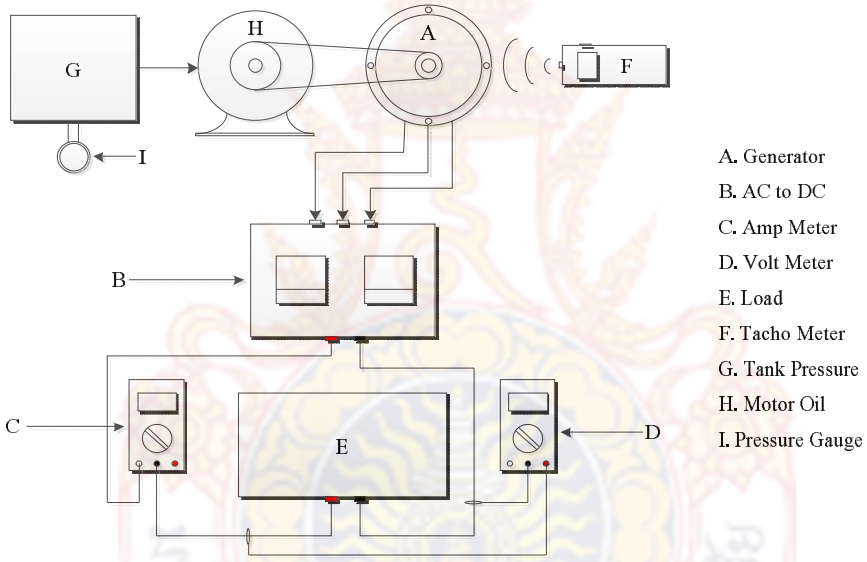
ภาพที่ 4-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างรอบต่อนาทีของเจนเนอเรเตอร์และกำลังวัตต์

4.1.5 สรุปการทดสอบทำงานของเจนเนอเรเตอร์

จากการทดลองพบว่า เมื่อต่อโหลดที่ 100 วัตต์ เจนเนอเรเตอร์หมุน 432.2 รอบต่อนาที สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 42V กระแส 0.6A จะได้ 25.2 วัตต์ และเมื่อ ต่อโหลดที่ 1000 วัตต์ เจนเนอเรเตอร์ หมุน 342.7 รอบต่อนาที สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 32V กระแส 4.8A จะได้ 153.6 วัตต์ สรุปคือเมื่อต่อโหลดเพิ่มมาขึ้นจะทำให้ความเร็วรอบต่อนาทีของเจนเนอเรเตอร์ช้าลง ส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้าลดลง และกระแสเพิ่มขึ้นตามลำดับ

4.2 ทดสอบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่นในทะเล ในสถานที่จริง

4.2.1 จากภาพที่ 4-5 แสดงการวัดค่าต่างๆ

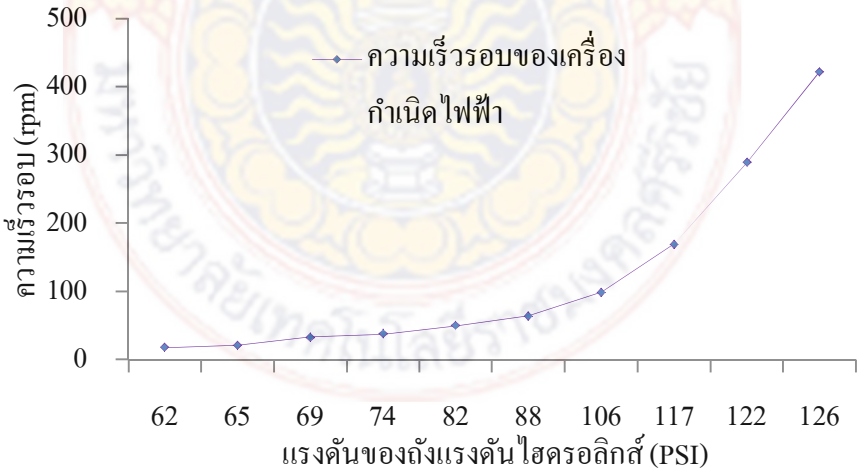


ภาพที่ 4-5 การวัดค่าต่างๆ

ตารางที่ 4-2 ทดสอบการทำงาน โดยต่อโหลดที่ใช้กำลังไฟ 500 วัตต์

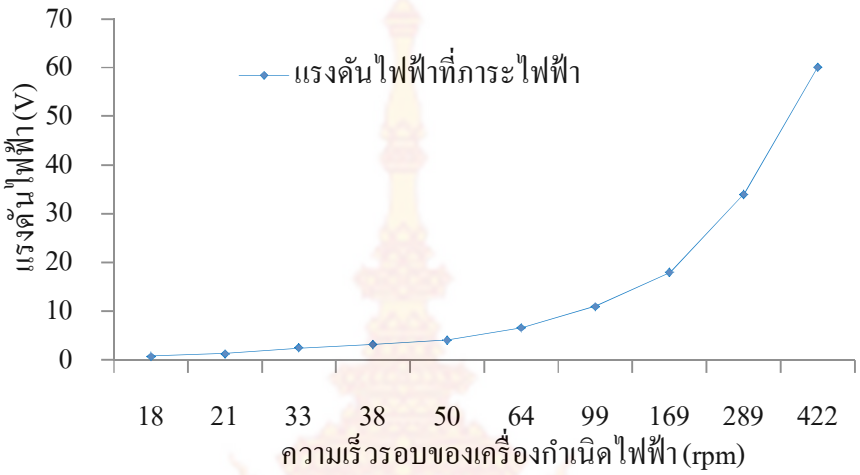
Tank Pressure (PSI)	Generator (RPM)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
62	18	0.8	0.2	0.16
65	21	1.3	0.4	0.52
69	33	2.5	0.5	1.25
74	38	3.2	0.7	2.24
82	50	4.1	0.8	3.28
88	64	6.6	1	6.6
106	99	11	1.3	14.3
117	169	18	1.6	28.8
122	289	34	2.2	74.8
126	422	60.1	3.2	192.32

4.2.2 จากภาพที่ 4-6 จะเห็นได้ว่าเมื่อความดันในถังแรงดันเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ความเร็วรอบต่อนาทีของเจนเนอเรเตอร์เพิ่มสูงขึ้นด้วย



ภาพที่ 4-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในถังแรงดันและรอบต่อนาทีของเจนเนอเรเตอร์

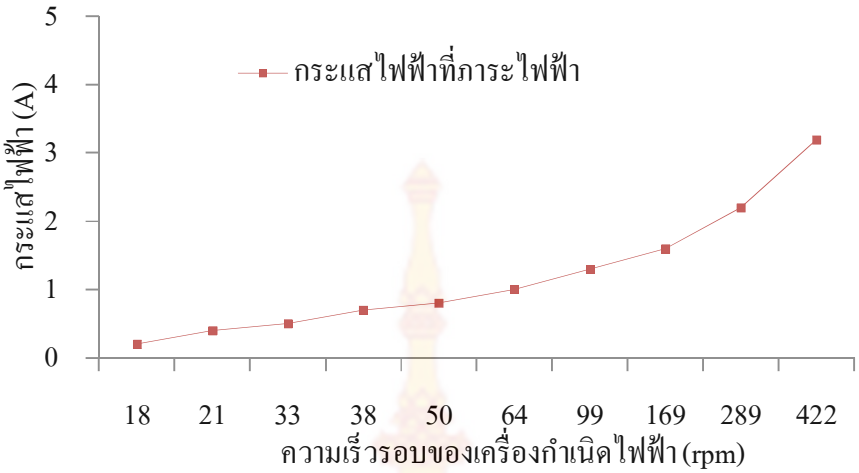
4.2.3 จากภาพที่ 4-7 จะเห็นได้ว่าเมื่อรอบต่อนาทีของเจนเนอเรเตอร์เพิ่มสูงขึ้น ก็จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่งสูงขึ้นด้วย



ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบต่อนาทีของเจนเนอเรเตอร์และค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้

4.2.4 จากภาพที่ 4-8 จะเห็นได้ว่าเมื่อรอบต่อนาทีของเจนเนอเรเตอร์เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้กำลังวัตต์เพิ่มสูงขึ้นด้วย

ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบต่อนาทีของเจนเนอเรเตอร์และกำลังวัตต์



ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบต่อนาทีของเจนเนอเรเตอร์และกระแสไฟฟ้า

4.2.5 สรุปผลการทดสอบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่นในทะเล

จากทดลองพบว่า Motor Oil เริ่มทำงานเมื่อแรงดันจากถังแรงดันมีขนาด 62 ปอนด์ ทำให้เจนเนอเรเตอร์หมุน 18 รอบต่อนาที ซึ่งสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 0.16 วัตต์ เมื่อแรงดันจากถังแรงดันมีขนาดเพิ่มขึ้นจะทำให้รอบของ Motor Oil เพิ่มขึ้น ส่งผลให้รอบของเจนเนอเรเตอร์เพิ่มสูงขึ้นสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น และเมื่อแรงดันจากถังแรงดันมีขนาด 126 ปอนด์ เจนเนอเรเตอร์หมุนที่ 422 รอบต่อนาที สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 192.32 วัตต์

ภาพที่ 4-10 ติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยคลื่นในทะเลในสถานที่จริง

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอการออกแบบการผลิตไฟฟ้าจากคลื่นในทะเลด้วยการออกแบบให้ทุ่นเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ตามการเคลื่อนที่ของคลื่นทะเล การเคลื่อนที่ของทุ่นทำให้กระบอกไฮดรอลิกดูดน้ำมันไฮดรอลิกจากถังน้ำมันไฮดรอลิกและอัดน้ำมันไฮดรอลิกเข้าไปยังถังแรงดันไฮดรอลิกจนแรงดันภายในถังแรงดันไฮดรอลิกเริ่มต้นจาก 62 PSI และค่อยๆ เพิ่มจนมีแรงดันสูงสุด เท่ากับ 126 PSI เพื่อไปขับให้มอเตอร์ไฮดรอลิกหมุน ขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งถูกต่ออยู่กับมอเตอร์ไฮดรอลิกจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ โดยมีแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 60.1 V และมีกระแสไฟฟ้าสูงสุด 3.2 A ตามลำดับ ระบบผลิตไฟฟ้าจากคลื่นทะเลนี้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด 192.32 W เมื่อต่อภาระไฟฟ้าขนาด 500 W และจากผลการทดลองพบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าจากคลื่นทะเลสามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การดำเนินการวิจัยควรดำเนินการทดสอบอย่างต่อเนื่องอย่างน้อย 1 ปี
2. เพิ่มจำนวนแขนอัดไฮดรอลิกและเพิ่มขนาดของเจนเนอเรเตอร์ จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้กำลังวัตต์ที่สูงขึ้น

เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย

[1] สำนักพัฒนาพลังงาน, “พลังงานคลื่นทะเล,” กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กันยายน 2546.

[2] อัมพรพรรณ วงษ์ท่าเรือ, “การพัฒนาพลังงานทดแทนใหม่ในประเทศไทย,” สำนักนโยบายอุตสาหกรรมมหภาค, กันยายน 2555.

[3] Budal K. & Falnes J., “A resonant point absorber of ocean-wave power. In Nature,” 1975, pp. 478 - 479.

[4] Cuan, B. B., Trevor J. T. Whittaker & Matt F., “Overview and Initial Operational Experience of the LIMPET Wave Energy Plant,” Dept. of Civil Engineering, 2002, pp.3-12.

[5] Laurent M., Morten K. & Peter F., “Performance Evaluation of the Wave star Prototype,” Aalborg University, 2011.

[6] สันต์สิริ ศิริสรรหิรัญ, สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ และณัฐเดช เฟื่องวรวงศ์, “การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นน้ำและการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง กรณีศึกษาปากอ่าวไทย,” การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2555, เพชรบุรี, 17-19 ตุลาคม 2555, หน้า 999-1004.

[7] กฤษฎา พรหมแก้ว และสมภพ ปัญญาสมพรรค์, “การศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นชายฝั่งทะเล,” Princess of Naradhiwas University Journal, 3 กันยายน - ธันวาคม 2556, หน้า 37-46.

[8] Duckers, L., “Renewable Energy,” pp.315-323.