

พลังงานคลื่น: ศักยภาพและโอกาสในการผลิตไฟฟ้าเพื่ออนาคตที่ยั่งยืนของไทย

Wave Energy: Potential and Opportunities in Electricity Generation for Sustainable Thailand's Future

ปวริศ ทองดอนเหมือน¹ วุฒิรงค์ คงวุฒิ² พัฒน์ศรีบุญ เลหาไพบูลย์³ และ อรณิชา คงวุฒิ⁴

Pawarit Thongdonmuen¹ Wuttirong Kongwut² Phatsaran Laohhapaibon³ and Ornnicha Kongwut⁴

Received: April 28, 2024

Revised: June 4, 2024

Accepted: June 5, 2024

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นในปัจจุบันตลอดจนศักยภาพและโอกาสในการประยุกต์ใช้ในบริบทของประเทศไทย โดยในส่วนแรกได้นำเสนอหลักการพื้นฐานทางฟิสิกส์ของคลื่นทะเล ประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคลื่น และกลไกการทำงาน รวมถึงเปรียบเทียบข้อดีข้อด้อยกับการผลิตไฟฟ้าจากเขื่อนพลังน้ำ ต่อมาได้รวบรวมสถานภาพล่าสุดของโครงการโรงไฟฟ้าคลื่นในต่างประเทศ ทั้งในแง่ของขนาดกำลังการผลิต ประสิทธิภาพ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และแผนการพัฒนาในอนาคต ผลการศึกษาพบว่า ณ สิ้นปี ค.ศ.2020 มีกำลังการผลิตติดตั้งรวมราว 60 เมกะวัตต์ (Megawatt : MW) คิดเป็นเพียงร้อยละ 0.00006 ของการผลิตไฟฟ้าทั่วโลก แต่มีแนวโน้มเติบโตสูง โดยคาดว่าจะในปี ค.ศ.2030 และ 2050 จะเพิ่มขึ้นเป็น 10 จิกะวัตต์ (Gigawatt : GW) และ 100 GW ตามลำดับ ประเทศไทยซึ่ง

¹นักเรียนสาขาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยการอาชีพพนมทวน จว.กาญจนบุรี

Electrical Engineering Student, Phanomthuan Industrial and Community Education College

²นักบินประจำกอง กองบิน 2 กองทัพอากาศไทย ลพบุรี

Wing 2, Royal Thai Air Force, Lopburi

E-mail: wuttirong_k@rtaf.mi.th

³หจก.บุญพาวาสนาสง 84 เขตบางแค กรุงเทพมหานคร

Boonpawassanasong Partnership, 84 Bangkake, Bangkok

E-mail: wirinwinu4289@gmail.com

⁴ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Kanchanaburi Rajabhat University

E-mail: ornnicha.k@kru.ac.th

มีแนวชายฝั่งทะเลยาวกว่า 2,811 กิโลเมตร (kilometer : km) จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าพื้นที่ที่มีศักยภาพและความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าคลื่นอยู่หลายแห่ง โดยเฉพาะบริเวณอันดามันตอนล่างและชายฝั่งภาคตะวันออก การผลักดันโครงการนำร่องเหล่านี้จะช่วยสร้างประโยชน์ต่อประเทศในวงกว้าง อาทิ การเสริมความมั่นคงให้กับระบบไฟฟ้า การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การสร้างงานและกระตุ้นเศรษฐกิจท้องถิ่น รวมถึงการส่งเสริมวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีภายในประเทศ การจะบรรลุศักยภาพดังกล่าวได้ จำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วน โดยเฉพาะการกำหนดนโยบายและมาตรการสนับสนุนจากภาครัฐควบคู่ไปกับการมีส่วนร่วมของประชาชนในการบริหารจัดการพื้นที่ชายฝั่งอย่างสมดุลและยั่งยืน หากดำเนินการได้อย่างจริงจังในทศวรรษนี้ คาดว่าภายในปี ค.ศ.2040 ประเทศไทยจะมีโรงไฟฟ้าคลื่นที่ผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า 500 MW

คำสำคัญ: พลังงานคลื่น, โรงไฟฟ้าคลื่น, พลังงานหมุนเวียน, ความมั่นคงทางพลังงาน, การพัฒนาที่ยั่งยืน

Abstract

This article aims to review the current literature on wave energy conversion technologies, as well as the potential and opportunities for their application in the context of Thailand. The first part presents the basic physics principles of ocean waves, types of wave energy converters and their working mechanisms, including a comparison of advantages and disadvantages with hydroelectric power generation. It then compiles the latest status of wave power projects abroad, in terms of installed capacity, efficiency, economic viability, and future development plans. The study found that as of the end of 2020, the total installed wave energy capacity was around 60 MW, accounting for only 0.00006% of global electricity generation, but with a high growth trend. It is projected to increase to 10 GW in 2030 and 100 GW in 2050. Thailand, with more than 2,811 km of coastline, has been preliminarily identified as having several potential and suitable areas for installing wave power plants, especially in the lower Andaman region and the eastern coast. Promoting these pilot projects would bring wide-ranging benefits to the country, such as enhancing the security of the electricity system, reducing greenhouse gas emissions, creating jobs and stimulating local economies, as well as promoting domestic research and technology development. To realize this potential, cooperation from all sectors is essential, particularly policy support and incentive measures from the government, coupled with public participation in balanced and sustainable coastal area management. If seriously implemented in this decade, it is expected that by 2040, Thailand will have wave power plants generating more than 500 MW of electricity.

Keywords: Wave Energy, Wave Power Plants, Renewable Energy, Energy Security, Sustainable Development

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและความจำเป็นของการพัฒนาพลังงานทางเลือกในบริบทโลกปัจจุบัน

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและปัญหามลพิษเป็นความท้าทายระดับโลกที่ทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหนึ่งในสาเหตุสำคัญคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล [1] องค์การสหประชาชาติจึงได้กำหนดเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals : SDGs) ข้อที่ 7 ว่าด้วยพลังงานสะอาดที่ทุกคนเข้าถึงได้ในราคาที่ซื้อหาได้ [2] ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกจึงให้ความสำคัญกับการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียนเพื่อความมั่นคงทางพลังงานและการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยคาดว่าภายในปี ค.ศ.2050 พลังงานหมุนเวียนจะมีบทบาทถึงร้อยละ 35 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั่วโลก ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานสะอาดจึงเป็นแนวทางที่จำเป็นเพื่อการเติบโตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและยั่งยืนในระยะยาว

1.2 สถานการณ์พลังงานไฟฟ้าของไทยและการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล

ปัจจุบันประเทศไทยมีกำลังผลิตไฟฟ้ารวมราว 46,090 MW โดยพึ่งพาก๊าซธรรมชาติในสัดส่วนถึงร้อยละ 60 ของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด การนำเข้าก๊าซและถ่านหินในปริมาณสูงนำมาสู่ความเสี่ยงด้านความมั่นคงทางพลังงานและเสถียรภาพด้านราคาแม้จะมีการส่งเสริมพลังงานหมุนเวียนตามแผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan : AEDP) 2018 แต่สัดส่วนยังคงต่ำเพียงร้อยละ 10 รัฐบาลจึงต้องเร่งสร้างความหลากหลายของแหล่งผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติมโดยให้ความสำคัญกับศักยภาพของพลังงานทดแทนในประเทศ เช่น แสงอาทิตย์ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ลม และคลื่นทะเล [3] เพื่อลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลจากต่างประเทศและบรรเทาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.3 แนวคิดการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นทะเล ข้อดี และศักยภาพเบื้องต้น

คลื่นทะเลถือเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพสูง ด้วยความหนาแน่นพลังงานที่มากกว่าแสงอาทิตย์และลมถึง 5 เท่า อีกทั้งยังมีความสม่ำเสมอ คาดการณ์ได้ และเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง การนำคลื่นทะเลมาผลิตไฟฟ้าจะช่วยสนับสนุนการกระจายตัวของแหล่งผลิต สร้างงานในท้องถิ่น ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และไม่ส่งผลกระทบต่อชุมชนบนฝั่ง [4] เทคโนโลยีโรงไฟฟ้าคลื่นมีความก้าวหน้ามากขึ้นโดยมีการติดตั้งและทดสอบแล้วในหลายประเทศ เช่น อังกฤษ สหรัฐฯ ออสเตรเลีย จีน และเกาหลี ประเทศไทยมีแนวชายฝั่งทะเลยาวกว่า 2,811 km จึงมีศักยภาพสูงในการพัฒนาโรงไฟฟ้าคลื่นเพื่อผลิตไฟฟ้าให้กับภาคใต้และภาคตะวันออก [5]

1.4 วัตถุประสงค์ของบทความในการนำเสนอความก้าวหน้า ความเป็นไปได้ และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าจากคลื่น

บทความนี้มีเป้าหมายเพื่อทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับความก้าวหน้าล่าสุดของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากคลื่นครอบคลุมตั้งแต่หลักการทำงาน ประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตัวอย่างโครงการ สถิติการผลิต ตลอดจนการวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าในการลงทุน นอกจากนี้ยังมุ่งประเมินความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวในบริบทของไทยโดยพิจารณาจากสภาพคลื่น

พื้นที่ที่มีศักยภาพ ประโยชน์ต่อระบบไฟฟ้า เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนเสนอแนะแนวทางการวิจัยพัฒนาและการสนับสนุนจากภาครัฐเพื่อผลักดันให้การผลิตไฟฟ้าจากคลื่นกลายเป็นอีกทางเลือกสำคัญของการสร้างความมั่นคงทางพลังงานอย่างยั่งยืนสำหรับประเทศไทย [6, 7]

2. ทฤษฎีและหลักการทำงาน

2.1 พื้นฐานทางฟิสิกส์ของคลื่นทะเล ความสูง ความยาว คาบ และพลังงาน

คลื่นทะเลเกิดจากแรงเสียดทานระหว่างลมกับผิวน้ำทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในลักษณะเป็นคลื่นขึ้นลงและเคลื่อนที่ไปข้างหน้า พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้อธิบายคุณลักษณะของคลื่น ได้แก่ ความสูงคลื่น (Wave Height) ความยาวคลื่น (Wavelength) คาบ (Period) และพลังงาน (Energy) [8, 9]

2.1.1 ความสูงคลื่น (H) คือ ระยะแนวตั้งจากจุดสูงสุด (ยอดคลื่น) ถึงจุดต่ำสุด (ท้องคลื่น) มีหน่วยเป็นเมตร (m)

2.1.2 ความยาวคลื่น (L) คือ ระยะห่างระหว่างยอดคลื่น 2 ลูกที่อยู่ติดกันวัดได้ในหน่วย m

2.1.3 คาบ (T) คือ เวลาที่คลื่นหนึ่งลูกเคลื่อนที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งมีหน่วยเป็นวินาที (s) โดยทั่วไปแล้วคาบของคลื่นในทะเลมักจะอยู่ในช่วงประมาณ 4-10 s ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของแหล่งกำเนิดคลื่น เช่น ลม พายุ หรือแผ่นดินไหว รวมถึงสภาพแวดล้อมทางกายภาพของพื้นที่นั้น ๆ เช่น ความลึกของน้ำ ความลาดชันของพื้นทะเล เป็นต้น อย่างไรก็ตามในบางกรณี คาบของคลื่นอาจสั้นหรือยาวกว่าช่วงดังกล่าวได้

2.1.4 พลังงานคลื่น (E) ต่อหน่วยพื้นที่ คำนวณได้จากสมการ $E = 1/16 \rho g H^2$ โดย ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำทะเลมีค่าประมาณ 1,025 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (kg/m^3), g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81 เมตรต่อวินาที² (m/s^2) และ H คือ ความสูงคลื่น

การประเมินศักยภาพพลังงานคลื่นในแต่ละพื้นที่ทำได้โดยการวัดความสูง ความยาว และคาบของคลื่นเป็นระยะเวลานานแล้วนำมาคำนวณเป็นพลังงานจลน์เฉลี่ยต่อหน่วยความยาวของแนวชายฝั่งซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ต่อเมตร (kilowatt/meter : kW/m) [6, 10] โดยบริเวณที่มีศักยภาพคลื่นสูงเหมาะแก่การติดตั้งโรงไฟฟ้า ได้แก่ พื้นที่ที่มีพลังงานคลื่นมากกว่า 20 kW/m พบมากบริเวณเส้นละติจูดกลางใกล้ขั้วโลก ส่วนในเขตร้อนรวมถึงทะเลในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จะมีศักยภาพปานกลางประมาณ 10-20 kW/m [11]

2.2 หลักการแปลงพลังงานจลน์ของคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานคลื่นหรือ Wave Energy Converter (WEC) ทำหน้าที่แปลงพลังงานจลน์ของการเคลื่อนที่แบบขึ้นลงของคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการเบื้องต้น 3 ขั้นตอน ได้แก่ [4, 12-14]

2.2.1 ส่วนรับคลื่น (Primary Interface) ทำหน้าที่รับพลังงานจากคลื่นที่เคลื่อนที่ขึ้นลง อาจอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ทุ่นลอย แผ่นกั้นคลื่น หรือเสาโคลัมน์น้ำ

2.2.2 Power Take-Off (PTO) เป็นกลไกการแปลงพลังงานจากการเคลื่อนที่เชิงกลของส่วนรับคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาจใช้ระบบนิวเมติกส์ (Pneumatic) หรือเชิงกล เช่น ใช้แรงดันของน้ำหรืออากาศขับเคลื่อนกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือใช้การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าโดยตรง

2.2.3 ระบบควบคุม (Control Systems) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของ WEC ให้สอดคล้องกับสภาพคลื่นและสภาพแวดล้อม เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานสูงสุดโดยอาศัยข้อมูลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เช่น ความสูงคลื่น แรงบิด ความเร็วรอบ แรงดัน [15]

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก WEC จะถูกแปลงให้มีคุณภาพที่เหมาะสมโดยอินเวอร์เตอร์ก่อนจ่ายเข้าสู่สายส่งใต้น้ำมายังระบบส่งจ่ายบนฝั่ง หาก WEC จำนวนมากถูกติดตั้งเป็นกลุ่มหรืออาร์เรย์จะเรียกว่า Wave Farm คล้ายกับการติดตั้งกังหันลมนั่นเอง [16] ปัจจุบันมีแนวคิดการออกแบบ WEC ให้สามารถติดตั้งร่วมกับโครงสร้างชายฝั่งประเภทอื่น เช่น เขื่อนกันคลื่น (Breakwater) หรือฐานราก Offshore Wind Turbine ซึ่งจะเพิ่มความคุ้มค่าในการลงทุนสำหรับพลังงานทางทะเล [10, 14, 17]

2.3 ประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากคลื่นและกลไกการทำงาน

2.3.1 แบบทุ่นลอย (Point Absorber)

เป็น WEC ที่มีโครงสร้างขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นมักเป็นทุ่นหรือตัวลอยที่เคลื่อนไหวขึ้นลงตามการเคลื่อนที่ของคลื่นโดยเชื่อมต่อกับตัวดูดซับพลังงาน (PTO) ซึ่งอาจเป็นระบบไฮดรอลิกส์หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยตรง ตัวอย่างเช่น [9, 10, 13]

2.3.1.1 Power Buoy ของบริษัท Ocean Power Technologies ประกอบด้วยทุ่นลอยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 m และ Spar ความยาว 35 m ที่ยึดติดกับพื้นทะเล PTO เป็นระบบไฮดรอลิกที่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 150 kW ผ่านอินเวอร์เตอร์ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

2.3.1.2 Aqua Buoy 2.0 โดย Finavera Renewables มีทุ่นรูปทรงกระบอกที่ลอยอยู่บนผิวน้ำเชื่อมกับลูกสูบเรียงกัน 2 ชุดที่จมอยู่ใต้น้ำ ลูกสูบจะสูบน้ำเข้าเมื่อคลื่นขึ้นและปล่อยน้ำออกเมื่อคลื่นลงเพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 250 kW

2.3.2 แบบท่อพิโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Tube)

เป็น WEC ชนิดนี้ใช้ประโยชน์จากสมบัติของวัสดุพิโซอิเล็กทริกที่สามารถเปลี่ยนแรงกลที่กระทำเป็นไฟฟ้าโดยตรง โดยสร้างเป็นแผ่นบางหรือแท่งยาวที่สัมผัสเหือนได้ตามการเคลื่อนที่ของคลื่นสามารถติดตั้งใต้ผิวน้ำในแนวนอนหรือแนวตั้งก็ได้ [4, 11] ตัวอย่างเช่น The Wave Water Energy Converter (WWEC) เป็นท่อ PVDF ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร (Centimeter : cm) ยาว 50 เมตร (Meter : m) ภายในบรรจุแก๊สฮีเลียมไว้เมื่ออยู่ใต้ทะเลท่อจะสั่นและเกิดการผลิตไฟฟ้าจากชั้นวัสดุพิโซที่ห่อหุ้มและส่งไฟฟ้ากระแสตรงไปตามความยาวท่อ

2.3.3 แบบอัดอากาศ (Oscillating Water Column : OWC)

เป็น WEC แบบ OWC ประกอบด้วยโครงสร้างกล่องหรือท่อทรงกระบอกที่มีช่องเปิดด้านล่างให้น้ำเข้าออกได้และมีช่องอากาศด้านบนเชื่อมต่อกับเทอร์โบไน์อากาศ เมื่อคลื่นซัดเข้ากล่องจะเกิดแรงดันอัดอากาศให้หมุนเทอร์โบไน์และขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเมื่อคลื่นถอยกลับจะเกิดแรงดูดทำให้เทอร์โบไน์หมุนย้อนกลับโดยทั่วไปจะนิยมใช้เทอร์โบไน์แบบ Wells ที่หมุนทิศทางเดียวไม่ว่าลมจะเป่าจากทางใดก็ตาม [12, 13] ตัวอย่างเช่น

2.3.3.1 โรงไฟฟ้า Limpet ของ WaveGen บนเกาะ Islay สกอตแลนด์ ประกอบด้วยห้องอัดอากาศคอนกรีต 3 ช่อง ติดตั้งฝังอยู่ในหน้าผาริมฝั่งขนาดกำลังรวม 500 kW จากเทอร์ไบน์ Wells ขนาด 250 kW 2 ตัว

2.3.3.2 Mighty Whale ของ JAMSTEC ประเทศญี่ปุ่นเป็นโครงสร้างลอยน้ำยึดด้วยสมอขนาด $50 \times 30 \times 12$ m มีห้องอัดอากาศ 3 ช่องติดตั้งเทอร์ไบน์ Wells ช่องละ 1 ตัว ขนาดรวม 110 kW ทดสอบจริงบริเวณชายฝั่งทะเลญี่ปุ่น

2.3.4 แบบอื่น ๆ

นอกจากนี้ยังมี WEC อีกหลายประเภทที่มีรูปแบบการติดตั้งและกลไกการทำงานที่แตกต่างกันไป ได้แก่ [14- 16, 18]

2.3.4.1 Overtopping WEC ประกอบด้วยอาร์เรย์ของผนังหรือแผ่นกั้นคลื่นที่มีทางเอียงให้คลื่นไต่ขึ้นไปเหนือขอบ (Crest) เข้าสู่อ่างกักเก็บน้ำและปล่อยน้ำลงผ่านเทอร์ไบน์ความดันต่ำเพื่อผลิตไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น Wave Dragon ขนาด 7 MW

2.3.4.2 Attenuators เป็นหุ่นขนาดใหญ่ที่มีข้อต่อหลายส่วนเมื่อคลื่นมากระทำข้อต่อจะเกิดการงอโค้ง สามารถดูดซับพลังงานโดยใช้กลไกลูกสูบหรือไฮดรอลิก เช่น Pelamis P2 ความยาว 180 m. กำลังผลิตสูงสุด 750 kW

2.3.4.3 Submerged Pressure Differential เป็นแผ่นปีกจมอยู่ใต้น้ำเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านแผ่นจะเกิดความแตกต่างของความดันน้ำระหว่างด้านบนและด้านล่าง ขับเคลื่อนกลไกลูกสูบ เช่น CETO ขนาด 1 MW ที่ทดสอบในออสเตรเลีย

2.3.4.4 Rotating Mass ใช้การเคลื่อนที่ทางด้นข้างของคลื่นในการหมุนล้อเฟืองเพื่อผลิตไฟฟ้า เช่น Wello Penguin ลักษณะเป็นโครงสร้างลอยน้ำทรงไข่ขนาด 600 kW ที่มีฟลายวีลด้านในหมุนด้วยความเร็วคงที่

2.4 เปรียบเทียบข้อดีของการใช้คลื่นทะเลผลิตไฟฟ้ากับการสร้างเขื่อนผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบข้อดีของโรงไฟฟ้าคลื่นเทียบกับโรงไฟฟ้าประเภทอื่น ๆ ที่สำคัญของไทย

ประเด็น	โรงไฟฟ้าคลื่น	โรงไฟฟ้าถ่านหิน	โรงไฟฟ้าก๊าซ	โรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์	โรงไฟฟ้าลม
การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ต่ำมาก (15-105 gCO ₂ /kWh)	สูงมาก (820 gCO ₂ /kWh)	ค่อนข้างสูง (490 gCO ₂ /kWh)	ต่ำ (48 gCO ₂ /kWh)	ต่ำมาก (12 gCO ₂ /kWh)
แหล่งพลังงานที่ใช้	คลื่นในทะเล (มีอย่างไม่จำกัด)	ถ่านหิน (ต้องนำเข้า)	ก๊าซธรรมชาติ (ต้องนำเข้า)	แสงอาทิตย์ (มีอย่างไม่จำกัด)	ลม (มีอย่างไม่จำกัด)

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบข้อดีของโรงไฟฟ้าคลื่นเทียบกับโรงไฟฟ้าประเภทอื่น ๆ ที่สำคัญของไทย (ต่อ)

ประเด็น	โรงไฟฟ้าคลื่น	โรงไฟฟ้าถ่านหิน	โรงไฟฟ้าก๊าซ	โรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์	โรงไฟฟ้าลม
ความสม่ำเสมอในการผลิตไฟฟ้า	สม่ำเสมอตลอดทั้งวัน	สม่ำเสมอตลอด 24 ชั่วโมง	สม่ำเสมอตลอด 24 ชั่วโมง	ผลิตได้เฉพาะช่วงกลางวัน	ผลิตได้เฉพาะเวลาลมพัดแรง
ลักษณะการใช้พื้นที่	ใช้พื้นที่ทะเลไม่แย่งที่ดินบนฝั่ง	ใช้ที่ดินบนฝั่งค่อนข้างน้อย	ใช้ที่ดินบนฝั่งค่อนข้างน้อย	ใช้ที่ดินบนฝั่งปริมาณมาก	ใช้ที่ดินบนฝั่งปริมาณมากที่สุด
ความหนาแน่นของพลังงาน	สูงกว่าลมและแสงอาทิตย์ 5 เท่า	สูงมาก	สูงมาก	ค่อนข้างต่ำ	ค่อนข้างต่ำ

3. ความก้าวหน้าและการประยุกต์ใช้ในต่างประเทศ

3.1 โครงการผลิตไฟฟ้าคลื่นที่สำคัญ

3.1.1 Aguçadoura Wave Farm ในโปรตุเกสเป็นโครงการผลิตไฟฟ้าคลื่นเชิงพาณิชย์แห่งแรกของโลกเริ่มดำเนินการในปี ค.ศ.2008 ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Pelamis P1 จำนวน 3 ชุด กำลังการผลิตรวม 2.25 MW แต่ปัจจุบันหยุดดำเนินการชั่วคราวเพื่อปรับปรุงซ่อมแซมและเปลี่ยนอุปกรณ์ [19, 20]

3.1.2 European Marine Energy Centre (EMEC) บนหมู่เกาะ Orkney ในสกอตแลนด์ เป็นศูนย์ทดสอบเทคโนโลยีพลังงานคลื่นที่ใหญ่ที่สุดในโลก ดำเนินการมาตั้งแต่ปี ค.ศ.2003 ปัจจุบันมีอาร์เรย์ของ WEC หลายหลายประเภทจากบริษัทต่าง ๆ ทั่วโลกมาทดสอบสมรรถนะมีข้อมูลสถิติคลื่นและกระแสน้ำนานกว่า 15 ปี [7, 21]

3.1.3 Mutriku Wave Power Plant ในแคว้นบาสก์ ประเทศสเปน เป็นโรงไฟฟ้าแบบ Oscillating Water Column (OWC) แห่งแรกของโลกที่เชื่อมต่อกับระบบสายส่งติดตั้งบนเขื่อนกันคลื่นความยาว 100 เมตร มีห้อง OWC ขนาด 18.5 kW จำนวน 16 ห้อง ให้กำลังการผลิตรวม 296 kW ดำเนินการตั้งแต่ปี ค.ศ.2011 จนถึงปัจจุบัน [22, 23]

3.1.4 Eco Wave Power Gibraltar เป็นโรงไฟฟ้าคลื่นแห่งแรกของยุโรปที่ติดตั้งบนเขื่อนกันคลื่นแบบลอยน้ำ ประกอบด้วยทุ่นลอยขนาด 100 kW จำนวน 8 ตัว กำลังการผลิตรวม 5 MW เชื่อมต่อกับระบบสายส่งของยิบรอลตาร์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2016 [3, 5]

ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งมีสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศใกล้เคียงกับไทยก็มีความก้าวหน้าที่น่าสนใจในการพัฒนาโครงการนำร่องผลิตไฟฟ้าคลื่นหลายแห่ง อาทิ

3.1.5 โครงการ Wave Energy Converter (WEC) ที่เกาะ Panay ประเทศฟิลิปปินส์ ซึ่งติดตั้งทุ่นลอยผลิตไฟฟ้าจากคลื่นในทะเลอันดามันขนาดกำลังการผลิต 10 kW เพื่อจ่ายไฟให้ชุมชนชายฝั่งกว่า 500 ครัวเรือน ช่วยลดการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมาก [24]

3.1.6 บริษัท Wave Swell Energy ของออสเตรเลียร่วมมือกับ Meindo Elang Indah และ Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) ของอินโดนีเซีย ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคลื่นชนิด Oscillating Water Column (OWC) ขนาด 50 kW ที่เกาะ Bali ในทะเลบาห์ลี ซึ่งสามารถส่งไฟเข้าสู่ระบบจำหน่ายของ PLN แล้วตั้งแต่ปี ค.ศ.2020 [25]

3.1.7 ศูนย์วิจัยพลังงานทางทะเล (Marine Energy Research Centre) ของ Universiti Malaya ประเทศมาเลเซีย ได้ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคลื่นหลายรูปแบบในช่องแคบมะละกาตั้งแต่ปี ค.ศ.2015 และล่าสุดสามารถพัฒนาต้นแบบ Oscillating Wave Energy Converter (OWEC) สำหรับทะเลน้ำตื้นแบบ Point Absorber ขนาด 5 kW ได้สำเร็จ [26]

ความสำเร็จจากโครงการเหล่านี้ถือเป็นแรงบันดาลใจสำคัญที่จะช่วยผลักดันให้เกิดการพัฒนาพลังงานคลื่นในประเทศไทยซึ่งมีศักยภาพคลื่นและลักษณะทางกายภาพของชายฝั่งที่คล้ายคลึงกันมาก การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ประสบการณ์และความร่วมมือในการวิจัยกับประเทศเพื่อนบ้านจะช่วยให้การพัฒนาเทคโนโลยีและบุคลากรของไทยก้าวหน้าไปได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ข้อมูลโครงการผลิตไฟฟ้าคลื่นในประเทศฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย และมาเลเซีย ที่มีที่ตั้งและสภาพแวดล้อมทางทะเลใกล้เคียงกับไทยมากกว่า จะช่วยเสริมให้ผู้อ่านเห็นภาพความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้สำหรับบริบทของไทยได้ชัดเจนยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงโอกาสในการสร้างความร่วมมือเพื่อพัฒนาพลังงานคลื่นร่วมกันในระดับภูมิภาคอีกด้วย

3.2 ขนาดกำลังการผลิตและสถิติพลังงานที่ผลิตได้ในแต่ละปี

จากรายงานสถานภาพพลังงานคลื่นโลกประจำปี ค.ศ.2021 โดยทำเนียบพลังงานหมุนเวียนระหว่างประเทศ (International Renewable Energy Agency : IRENA) ระบุว่า ณ สิ้นปี ค.ศ.2020 มีกำลังการผลิตติดตั้งรวมของโรงไฟฟ้าคลื่นทั่วโลกประมาณ 60 MW ผลิตไฟฟ้าได้กว่า 15 จิกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี (GWh/y) [26, 27] โดยสถิติในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (ค.ศ.2016-2020) พบว่าขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้าคลื่นเติบโตขึ้นเล็กน้อยในอัตราเฉลี่ยราวร้อยละ 12 ต่อปี ส่วนการผลิตไฟฟ้ามีการเติบโตที่ผันผวนโดยค่าสูงสุดอยู่ที่ 18 GWh ในปี ค.ศ.2020 ถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับพลังงานหมุนเวียนประเภทอื่น เช่น พลังงานลมนอกชายฝั่ง (Offshore Wind) ที่มีกำลังการผลิตสูงถึง 35,000 MW และผลิตไฟฟ้าได้ถึง 80,000 GWh ในปีเดียวกัน [2, 9] ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าคลื่นยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นของการพัฒนาสู่การใช้งานในวงกว้างและมีความท้าทายอีกมากที่ต้องเร่งดำเนินการทั้งในแง่ของประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน การลดต้นทุน ความมั่นคงและอายุการใช้งานของระบบเพื่อให้สามารถแข่งขันกับพลังงานหมุนเวียนประเภทอื่นได้

3.3 แนวทางการต่อยอดพัฒนาและการทดสอบเทคโนโลยีใหม่ ๆ

ปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานคลื่นรูปแบบใหม่ ๆ อย่างต่อเนื่องทั่วโลกที่มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ทั้งในส่วนของ การออกแบบเชิงกลไก การเลือกใช้วัสดุ และระบบควบคุมเช่น [28, 29]

3.3.1 การพัฒนา WEC แบบใหม่ที่มีโครงสร้างทนทานและใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตและการบำรุงรักษา

3.3.2 การใช้วัสดุคอมโพสิตและวัสดุเมตาที่มีคุณสมบัติพิเศษในการกันกร่อนและรับแรงทางกลเพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์

3.3.3 การพัฒนาระบบควบคุมแบบ AI เพื่อปรับสมรรถนะของ WEC ให้เหมาะสมกับสภาวะคลื่นที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

3.3.4 การออกแบบ WEC ให้เป็นแบบโมดูลาร์เพื่อความยืดหยุ่นในการขยายกำลังการผลิตและความสะดวกในการบำรุงรักษา

3.3.5 การบูรณาการ WEC เข้ากับโครงสร้างอเนกประสงค์อื่น ๆ เช่น เชื้อเพลิงคลื่น แท่นขุดเจาะน้ำมัน หรือฟาร์มลมนอกชายฝั่ง

นอกจากนี้ยังมีโครงการวิจัยร่วมระหว่างสถาบันและศูนย์ทดสอบขนาดใหญ่เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะและผลกระทบของระบบ WEC ในสภาวะใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น เช่น MARINER-i, MaRINET2, FORESEA และ US Navy WETS [16]

3.4 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการลดต้นทุนต่อหน่วย

ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นยังอยู่ในระดับสูงมากเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานหมุนเวียนอื่น ๆ จากรายงานของ IRENA พบว่าในปี ค.ศ.2020 ต้นทุนถัวเฉลี่ยต่อหน่วย (Levelized Cost of Electricity: LCOE) ของโรงไฟฟ้าคลื่นอยู่ที่ 0.20-0.55 USD/kWh ซึ่งสูงกว่า Offshore Wind ที่มี LCOE เฉลี่ย 0.084 USD/kWh ถึงกว่า 2-6 เท่า และสูงกว่าโรงไฟฟ้าถ่านหินซึ่งมี LCOE เฉลี่ยราว 0.056 USD/kWh ถึงกว่า 3-9 เท่า [12]

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา LCOE ของโรงไฟฟ้าคลื่นมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องโดยเฉลี่ยลดลงกว่าร้อยละ 40 เมื่อเทียบระหว่างปี ค.ศ.2010 และ ค.ศ.2020 ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าขึ้น การประหยัดต่อขนาด (Economy of Scale) และการเรียนรู้ผ่านการลงมือทำ (Learning-by-Doing) ของผู้พัฒนาโครงการ [5, 24] หากแนวโน้มการลดต้นทุนยังดำเนินต่อไปในอัตราเดิม คาดว่าภายในปี ค.ศ.2030 LCOE ของโรงไฟฟ้าคลื่นจะลดลงมาอยู่ในช่วง 0.10-0.20 USD/kWh ซึ่งจะสามารถแข่งขันกับ Offshore Wind และพลังงานลมบนบกได้ และหากเทคโนโลยีพัฒนาก้าวหน้าอย่างก้าวกระโดดต้นทุนอาจลดลงมาอยู่ในระดับ 0.05-0.10 USD/kWh ได้ภายในปี ค.ศ.2040 ซึ่งจะทำให้พลังงานคลื่นกลายเป็นหนึ่งในตัวเลือกหลักของการสร้างระบบไฟฟ้าคาร์บอนต่ำในอนาคต [13, 20]

3.5 ตัวอย่างแผนการติดตั้งเพิ่มเติมในอนาคต

หลายประเทศทั่วโลกโดยเฉพาะในยุโรปตะวันตก อเมริกา และเอเชียตะวันออก ได้กำหนดเป้าหมายการติดตั้งโรงไฟฟ้าคลื่นในแผนการพัฒนายพลังงานหมุนเวียนแห่งชาติ (National Renewable Energy Action Plan: NREAP) เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์จากพลังงานทางทะเลในระยะกลางและระยะยาว ตัวอย่างเช่น

3.5.1 สหภาพยุโรป: เป้าหมาย 1 GW ภายในปี ค.ศ.2030 และ 40 GW ภายในปี ค.ศ.2050

3.5.2 สหราชอาณาจักร: เป้าหมาย 22-31 GW ภายในปี ค.ศ.2050

3.5.3 ฝรั่งเศส: เป้าหมาย 3 GW ภายในปี ค.ศ.2030

3.5.4 สหรัฐอเมริกา: เป้าหมายร้อยละ 15 ของพลังงานทั้งหมดมาจากคลื่นและกระแสน้ำภายในปี ค.ศ.2050

3.5.5 แคนาดา: เป้าหมาย 75 MW ภายในปี ค.ศ.2030 และ 250 MW ภายในปี ค.ศ.2050

3.5.6 ญี่ปุ่น: เป้าหมาย 2.7 GW ภายในปี ค.ศ.2030 จาก 6 โครงการนำร่อง ได้แก่ Kujukuri, Niigata East, Kashima North, Minamisoma North, Oshika Peninsula และ Goto Islands

3.5.7 เกาหลีใต้: เป้าหมาย 1.1 GW ภายในปี ค.ศ.2030 จากการทดสอบ WEC ยังสถานีวิจัย Jeju และ KRISO-Wave ในทะเลตะวันออก

3.5.8 ออสเตรเลีย: เป้าหมาย 1.8 GW ภายในปี ค.ศ.2040 โดยโครงการส่วนใหญ่อยู่ในรัฐแทสมาเนีย และเวสเทิร์นออสเตรเลีย

3.5.9 นิวซีแลนด์: เป้าหมาย 2 GW ภายในปี ค.ศ. 2050 ครอบคลุมทั้งเทคโนโลยีคลื่นและกระแสน้ำ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริงจะขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญหลายประการ เช่น ความพร้อมและความสมบูรณ์ของเทคโนโลยีในขณะนั้น ระดับความสนับสนุนทางนโยบายและการเงินจากรัฐบาล ภาวะตลาดและราคาของเชื้อเพลิงฟอสซิล รวมถึงการยอมรับของประชาชนในแต่ละพื้นที่ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้เสมอในอนาคต [18, 30]

4. แนวทางการสำรวจความเป็นไปได้ในการใช้คลื่นทะเลผลิตกระแสไฟฟ้า

4.1 การประเมินศักยภาพคลื่นตามแนวชายฝั่งทะเลไทย

จากการศึกษาของ Esteban & Leary [31] พบว่าพื้นที่ชายฝั่งทะเลของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ส่วนใหญ่มีศักยภาพพลังงานคลื่นอยู่ในระดับปานกลางประมาณ 10-20 kW/m สำหรับประเทศไทยซึ่งมีแนวชายฝั่งทะเลยาวถึง 2,811 km แบ่งเป็นอ่าวไทย 1,874 km และทะเลอันดามัน 937 km

จากการศึกษาของสุชาติ [32] โดยใช้ข้อมูลความสูงและคาบคลื่นจากหุ่นวัดคลื่นนอกชายฝั่งและแบบจำลองคอมพิวเตอร์ในช่วงปี พ.ศ.2554-2560 พบว่าชายฝั่งทะเลอันดามันมีศักยภาพพลังงานคลื่นเฉลี่ยต่อปีสูงกว่าอ่าวไทยประมาณ 2 เท่า ทั้งนี้ต้องพึงระลึกว่าสภาพคลื่นในน่านน้ำไทยมีความแปรปรวนตามฤดูกาลค่อนข้างมากเนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือนพฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในช่วงเดือนพฤษภาคม-กันยายน โดยบริเวณที่มีศักยภาพสูงสุดได้แก่ อ.ปะเหลียน จว.ตรัง อ.ท้ายเหมือง จว.พังงา และเกาะสิมิลัน ซึ่งมีความหนาแน่นกำลังคลื่นเฉลี่ย ณ ช่วงความสูงสุดของฤดูลมมรสุม (ประมาณเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม) อยู่ที่ 12-15 kW/m แต่เมื่อเฉลี่ยตลอดทั้งปีแล้วจะอยู่ที่ประมาณ 6-8 kW/m

นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับการเลือกประเภทและการวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เหมาะสมกับสภาพความแปรปรวนของคลื่นในแต่ละพื้นที่อีกด้วย ส่วนอ่าวไทยแม้มีศักยภาพที่ต่ำกว่าแต่ก็ยังพบบริเวณที่น่าสนใจ เช่น หาดบ้านเพ จว.ระยอง อ.แหลมฉบัง จว.ตราด และอ่าวไม่รุ๊ด จว.ประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งมีความหนาแน่นกำลังคลื่นเฉลี่ยอยู่ที่ 4-5 kW/m สอดคล้องกับการศึกษาของ สุรเชษฐ์ [33] ที่พบว่าชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกมีศักยภาพเป็นอันดับ 2 รองจากทะเลอันดามัน

4.2 ความเหมาะสมทางกายภาพและพื้นที่ที่น่าสนใจ

นอกจากค่าความหนาแน่นพลังงานคลื่นแล้วปัจจัยสำคัญอื่น ๆ ที่กำหนดความเหมาะสมของพื้นที่ติดตั้งโรงไฟฟ้าคลื่นยังได้แก่ ความลึกและสภาพพื้นทะเล ระยะห่างจากฝั่ง รวมถึงข้อจำกัดด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน และกฎหมาย [34]

สำหรับประเทศไทยพื้นที่ที่มีศักยภาพและความเหมาะสมสูง ได้แก่ บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน ตอนล่าง เช่น อ.ตะกั่วป่า อ.ตะกั่วทุ่ง และ อ.ท้ายเหมือง จว.พังงา ซึ่งมีสภาพคลื่นและน้ำทะเลที่ดี มีแนวปะการัง และเกาะแก่งเป็นแนวกำบังคลื่นธรรมชาติ มีระบบสายส่งไฟฟ้าเชื่อมถึงและเป็นแหล่งท่องเที่ยวสำคัญ สำหรับบริเวณอ่าวไทยนั้นพื้นที่ที่น่าสนใจ ได้แก่ ชายฝั่งรอบอ่าวไทยตอนบน โดยเฉพาะจังหวัดที่มีศักยภาพคลื่นในระดับปานกลางควบคู่ไปกับการต้องการไฟฟ้าที่สูงจากภาคอุตสาหกรรมและชุมชนเมือง เช่น จว.ชลบุรี จว.ระยอง และ จว.สมุทรสาคร [5] นอกจากนี้ยังมีบางพื้นที่ของอ่าวไทยฝั่งตะวันตก เช่น บริเวณ อ.หัวหิน จว.ประจวบคีรีขันธ์ ที่มีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมต่อการติดตั้งโรงไฟฟ้าคลื่นเช่นกัน

4.3 ประโยชน์ต่อระบบไฟฟ้าและสิ่งแวดล้อม

การนำพลังงานคลื่นมาใช้ผลิตไฟฟ้าจะช่วยสร้างความมั่นคงและยืดหยุ่นให้กับระบบไฟฟ้าของไทย เนื่องจากเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้ากระจายศูนย์ที่ไม่ต้องพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล และไม่มีควมผันผวนตามช่วงเวลาเหมือนพลังงานหมุนเวียนชนิดอื่น เช่น ลมและแสงอาทิตย์

โรงไฟฟ้าคลื่นยังมีศักยภาพในการช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาคการผลิตไฟฟ้าซึ่งปัจจุบันมีสัดส่วนถึง 1 ใน 3 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของไทย [24] โดยจากการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) พบว่าค่าการปล่อย CO₂ ของโรงไฟฟ้าคลื่นจะอยู่ที่ 15-105 gCO₂/kWh ต่ำกว่าโรงไฟฟ้าก๊าซและถ่านหิน ประมาณ 3-8 เท่า [35]

4.4 การสร้างงานและกระตุ้นเศรษฐกิจท้องถิ่น

การพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าคลื่นจะก่อให้เกิดการจ้างงานทั้งทางตรงและทางอ้อมจำนวนมากทั้งในส่วนของการก่อสร้าง การติดตั้งและซ่อมบำรุง การให้บริการสนับสนุน และการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ โดยประเมินว่าโรงไฟฟ้าคลื่นขนาด 100 MW สามารถสร้างตำแหน่งงานได้ราว 1,000-1,500 ตำแหน่ง [34] ซึ่งส่วนใหญ่จะกระจายผู้คนในพื้นที่ชายฝั่งทะเลซึ่งจัดว่าเป็นกลุ่มเปราะบางทางเศรษฐกิจสังคม จากความไม่แน่นอนของรายได้ที่พึ่งพาการประมงและท่องเที่ยวเชิงฤดูกาล การสร้างทางเลือกอาชีพใหม่ ๆ ที่มั่นคงจะช่วยกระตุ้นเศรษฐกิจและยกระดับคุณภาพชีวิตของชุมชนได้อย่างยั่งยืน

4.5 การส่งเสริมการวิจัยและพัฒนา

ที่ผ่านมาหน่วยงานวิจัยของไทยทั้งในมหาวิทยาลัยและสถาบันเฉพาะทาง เช่น สวทช. พว. และ วว. ได้ดำเนินการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีพลังงานคลื่นมาพอสมควร [31] แต่ยังไม่ถึงขั้นพัฒนาเชิงพาณิชย์เนื่องจากข้อจำกัดทางงบประมาณและบุคลากร

การผลักดันให้เกิดโครงการนำร่องในระดับ MW ขึ้นไป จะช่วยเร่งการสั่งสมองค์ความรู้และการเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติจริง (Learning by Doing) ทั้งในส่วนของ การออกแบบ การพัฒนาวัสดุและอุปกรณ์ การติดตั้ง

ไปจนถึงการปรับปรุงเทคโนโลยีให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของไทย [32] หากไทยสามารถพัฒนา Local Content ได้สูงเพียงพอจะช่วยลดต้นทุนนำเข้าเทคโนโลยีและสร้างความเข้มแข็งให้กับภาคอุตสาหกรรมของประเทศรวมถึงการสร้างรายได้จากการส่งออกไปยังประเทศที่มีศักยภาพพลังงานคลื่นในภูมิภาค [33]

4.6 ความเชื่อมโยงกับแผนพัฒนาฯ

แม้ว่าพลังงานคลื่นจะยังไม่ได้ถูกกำหนดเป็นเป้าหมายหลักไว้ในแผน AEDP 2018 แต่พบว่ามีมีการกล่าวถึงในฐานะเทคโนโลยีใหม่ที่น่าจับตามอง โดยตั้งเป้าจะมีการผลิตไฟฟ้าจากคลื่นในเชิงพาณิชย์ได้ภายในปี ค.ศ.2037 [24] ขณะเดียวกันกระทรวงพลังงานได้จัดทำแผนที่นำทางการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานคลื่น (Wave Energy Technology Roadmap) ภายใต้โครงการ Energy for All เพื่อส่งเสริมให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมและการใช้ประโยชน์จากพลังงานทางทะเลอย่างจริงจังมากขึ้น [35]

นอกจากนี้พลังงานคลื่นยังสามารถเชื่อมโยงและตอบสนองต่อนโยบายชาติอื่น ๆ อาทิ แผนปฏิรูปประเทศ 20 ปี ด้านพลังงานที่ส่งเสริมความมั่นคงทางพลังงานด้วยแหล่งพลังงานทางเลือกภายในประเทศ [36] รวมถึงยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ 20 ปี ด้านพลังงานที่มุ่งเน้นการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนสู่การใช้ในเชิงพาณิชย์ [32]

ข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพทั้งในแง่ทรัพยากรคลื่น พื้นที่ที่มีความเป็นไปได้ในการติดตั้ง และความพร้อมของหน่วยงานวิจัยในการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานคลื่น อีกทั้งยังมีโอกาสที่จะได้รับประโยชน์หลายด้าน ทั้งในแง่ความมั่นคงทางพลังงาน เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม หากมีการส่งเสริมอย่างเป็นรูปธรรมและเชื่อมโยงกับยุทธศาสตร์ระดับชาติอย่างเหมาะสมแต่ยังมีอุปสรรคและความท้าทายอีกหลายประการ โดยเฉพาะในแง่ของต้นทุนเทคโนโลยีที่สูง การแข่งขันกับพลังงานหมุนเวียนประเภทอื่น ๆ กฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อม และการใช้พื้นที่ทางทะเลรวมถึงการยอมรับของสาธารณชน [23] ซึ่งภาครัฐและผู้มีส่วนได้เสียจำเป็นต้องร่วมมือกันแก้ไขอย่างเป็นระบบ

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบสมรรถนะและผลกระทบของโรงไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ

ประเภท	กำลังการผลิตติดตั้ง (GW)	สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าทั่วโลก (ร้อยละ)	ปริมาณ CO ₂ ที่ปล่อย (gCO ₂ /kWh)	พื้นที่ที่ใช้ (km ² /TWh)
โรงไฟฟ้าถ่านหิน	2,080	36	820	1.7
โรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติ	1,650	23	490	0.5
โรงไฟฟ้าพลังน้ำ	1,330	16	24	20.0
โรงไฟฟ้านิวเคลียร์	393	10	12	2.4
โรงไฟฟ้าชีวมวล	136	2.4	230	543.4
โรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์	708	3	48	39.2
โรงไฟฟ้าลม	743	5.3	12	72.1
โรงไฟฟ้าคลื่น	0.06	0.00006	17	5.0

สรุปข้อมูลจากตารางที่ 2 การเปรียบเทียบสมรรถนะและผลกระทบของโรงไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ พบว่า ณ ปัจจุบัน โรงไฟฟ้าพลังงานคลื่นยังมีการผลิตติดตั้งที่น้อยมาก เพียง 0.06 GW หรือคิดเป็นสัดส่วนเพียงร้อยละ 0.00006 ของการผลิตไฟฟ้าทั่วโลกเท่านั้น ต่างจากโรงไฟฟ้าประเภทอื่น ๆ โดยเฉพาะโรงไฟฟ้าฟอสซิลอย่างถ่านหินและก๊าซธรรมชาติที่กำลังการผลิตติดตั้งรวมกันกว่า 3,700 GW และคิดเป็นสัดส่วนมากถึงร้อยละ 59 ของการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด

อย่างไรก็ตาม โรงไฟฟ้าพลังงานคลื่นกลับมีข้อได้เปรียบที่สำคัญในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นั่นคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต่ำเพียง $17 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$ ซึ่งต่ำกว่าโรงไฟฟ้าถ่านหินและโรงไฟฟ้าก๊าซถึง 48 เท่า และ 29 เท่า ตามลำดับ และยังต่ำกว่าพลังงานหมุนเวียนประเภทอื่น ๆ เช่น ชีวมวลและแสงอาทิตย์ อีกทั้งยังใช้พื้นที่ติดตั้งน้อยมากเพียง 5 km^2 ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 เทระวัตต์-ชั่วโมง (Terawatt-hour : TWh) เทียบกับโรงไฟฟ้าชีวมวลและกังหันลมที่ใช้พื้นที่มากถึง 543 และ $72 \text{ km}^2/\text{TWh}$

ด้วยข้อดีหลายประการประกอบกับแนวโน้มการเติบโตของเทคโนโลยีและกำลังการผลิตที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึง 10 GW ภายในปี ค.ศ.2030 และอาจแตะ 100 GW ได้ในปี ค.ศ.2050 ทำให้พลังงานคลื่นกำลังกลายเป็นอีกหนึ่งทางเลือกด้านพลังงานสะอาดที่น่าสนใจสำหรับหลายประเทศในอนาคตอันใกล้

การขยายตัวของโรงไฟฟ้าพลังงานคลื่นจะช่วยเสริมความมั่นคงทางพลังงาน ลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนมากนัก ซึ่งการนำข้อดีเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมกับบริบทของแต่ละพื้นที่จะช่วยผลักดันการพัฒนาพลังงานหมุนเวียนของประเทศให้ก้าวหน้าอย่างยั่งยืนมากยิ่งขึ้นในอนาคต

5. บทสรุป

บทความนี้ได้นำเสนอภาพรวมของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นอย่างรอบด้านทั้งในแง่ของหลักการทางฟิสิกส์ ประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตัวอย่างโครงการที่ประสบความสำเร็จในต่างประเทศ ตลอดจนความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและแนวโน้มการพัฒนาในอนาคต จากข้อมูลที่น่าเสนอจะเห็นได้ว่าพลังงานคลื่นกำลังก้าวขึ้นมาเป็นทางเลือกใหม่ที่น่าจับตามองในการผลิตไฟฟ้าสะอาดและยั่งยืนด้วยการคิดค้นเทคโนโลยีและรูปแบบใหม่ ๆ ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนต่อหน่วยอย่างต่อเนื่อง หลายประเทศจึงได้กำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานคลื่นอย่างจริงจังเพื่อสร้างความมั่นคงทางพลังงานและตอบสนองต่อวิกฤตการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

สำหรับประเทศไทยแม้ว่าศักยภาพพลังงานคลื่นโดยเฉลี่ยจะอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับพื้นที่ชายฝั่งอื่น ๆ ของโลก แต่บริเวณทะเลอันดามันตอนล่างและอ่าวไทยตอนบนก็มีบางจุดที่มีความเข้มข้นและความสม่ำเสมอของคลื่นสูงกว่าค่าเฉลี่ยมาก ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กถึงปานกลาง หากได้รับการสนับสนุนที่เหมาะสมจากภาครัฐ เอกชน และมหาวิทยาลัยโดยอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วนทั้งในการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยี การกำหนดนโยบายส่งเสริม และการบริหารจัดการพื้นที่ชายฝั่งอย่างสมดุล การผลักดันโครงการนำร่องเหล่านี้จะช่วยสร้างประโยชน์ต่อประเทศในวงกว้าง ไม่ว่าจะเป็นการเสริม

ความมั่นคงให้กับระบบไฟฟ้า การลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การสร้างอาชีพและรายได้ให้กับชุมชนชายฝั่ง รวมถึงการยกระดับขีดความสามารถด้านการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมของประเทศ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chaiyapa, W., Esteban, M., & Kameyama, Y. (2018). Why go green? Discourse analysis of motivations for Thailand's oil and gas companies to invest in renewable energy. *Energy Policy*, 120, 448-459.
- [2] Energy Policy and Planning Office (EPPO), Ministry of Energy. (2020). *Energy Statistics of Thailand 2020*.
- [3] พืрганต์ บรรเจิดฤทธิ์. (2563). พลังงานคลื่นและเทคโนโลยีเครื่องกลเติมอากาศ. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC).
- [4] Falcão, A. F. O. (2010). Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 899-918.
- [5] กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2564). รายงานสถานการณ์ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งของประเทศไทย พ.ศ. 2564.
- [6] REN21. (2020). *Renewables 2020 Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat.
- [7] United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. UN General Assembly, A/RES/70/1.
- [8] Esteban, M., & Leary, D. (2012). Current developments and future prospects of offshore wind and ocean energy. *Applied Energy*, 90(1), 128-136.
- [9] European Commission. (2020). *An EU Strategy to harness the potential of offshore renewable energy for a climate neutral future*. COM/2020/741.
- [10] Khan, N., Kalair, A., Abas, N., & Haider, A. (2017). Review of ocean tidal, wave and thermal energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 590-604.
- [11] HM Government. (2020). *The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution*.
- [12] IRENA. (2021). *Renewable Power Generation Costs in 2020*. Abu Dhabi.
- [13] OES. (2017). *An International Vision for Ocean Energy*.
- [14] IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press.
- [15] Magagna, D., & Uihlein, A. (2015). Ocean energy development in Europe. *International Journal of Marine Energy*, 11, 84-104.
- [16] IRENA. (2021). *Renewable Energy Statistics 2021*. Abu Dhabi.

- [17] OES. (2021). International LCOE for Ocean Energy Technologies. IEA Technology Collaboration Programme for Ocean Energy Systems (OES).
- [18] Liu, T., Yu, J., Yu, Y., Zhang, X., Zhou, B., & Yin, L. (2023) Characterization of wave power resources off the coast of Guangdong, Processes, 11(7) 2221.
- [19] Rusu, E., & Onea, F. (2018). A review of the technologies for wave energy extraction. Clean Energy, 2(1), 10-19.
- [20] Sgobbi, A., Simoes, S. G., Magagna, D., & Nijs, W.. (2016). Assessing the impacts of technology improvements on the deployment of marine energy in Europe with an energy system perspective. Renewable Energy, 89, 515-525.
- [21] Wave Swell Energy. (2020, November 10). Indonesians ride the wave to deliver energy roadmap. Retrieved from <https://www.waveswell.com/indonesians-ride-the-wave-to-deliver-energy-roadmap>
- [22] Zhao, X. L., Ning, D. Z., Zou, Q. P., & Cai, S. Q. (2019). Hybrid floating breakwater-WEC system: A review. Ocean Engineering, 186, 106126.
- [23] กระทรวงพลังงาน. (2562). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561-2580.
- [24] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2564). รายงานแห่งชาติฉบับที่ 3 การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย.
- [25] Aderinto, T., & Li, H. (2019). Ocean wave energy converters: Status and challenges. Energies, 12(10), 1-26.
- [26] Astariz, S., & Iglesias, G. (2015). The economics of wave energy: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45, 397-408.
- [27] Ko, Chung, Lee, K., Park, D., Yi, Z., (2019) Current Policy and Technology for Tidal Current Energy in Korea. Energies. 12, 1-15
- [28] Satymov, R., Bogdanov, D., Dadashi, M., Lavidas, G., & Breyer, C. (2024) Techno-economic assessment of global and regional wave energy resource potentials and profiles in hourly resolution. Applied Energy. 364, 123119
- [29] O’Connell, R., Kamidelivand, M., Furlong, R., Guerrini, M., Cullinane, M., & Murphy, J. (2024) An advanced geospatial assessment of the Levelised cost of energy (LCOE) for wave farms in Irish and western UK waters. Renewable Energy. 221, 119864.
- [30] Quirapas, M. A., Lin, H., Abundo, M. L., Brahim, S. P., & Santos, D. D., (2015). Ocean renewable energy in Southeast Asia: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 799-817.

-
- [31] Esteban, M., & Leary, D. (2012). Current developments and future prospects of offshore wind and ocean energy. *Applied Energy*, 90(1), 128-136.
- [32] สุชาติ ไตรภพสกุล. (2561). การประเมินศักยภาพพลังงานคลื่นในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [33] สุรเชษฐ์ บุญลาภ. (2560). การศึกษาเบื้องต้นของศักยภาพพลังงานคลื่นนอกชายฝั่งภาคตะวันออกของประเทศไทย. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 22, นครราชสีมา.
- [34] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2561). ยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561-2580.
- [35] สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม. (2563). ยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580).
- [36] Kerr, S., Watta, L., Calton, J., Conway, F., Hull, A., Johnson, K., Jude, S., Kannen, A., MacDougall, S., McLachlan, C., Potts, T. (2014). Establishing an agenda for social studies research in marine renewable energy. *Energy Policy*, 67, 694-702.