การลดต้นทุนพลังงานในกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น ด้วยระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์

REDUCING ENERGY COSTS IN THE GREEN CAVIAR SORTING PROCESS WITH HYBRID SOLAR INVERTER SYSTEM

กมลวรรณ วงศ์วุฒิ, ดวงกมล อังอำนวยศิริ*

Kamolwan Wongwut, Daungkamol Angamnuaysiri*

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อ.เมือง จ.เพชรบุรี ประเทศไทย 76000

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University, Muang, Phetchaburi, Thailand, 76000

*Corresponding author e-mail: daungkamol.fame@gmail.com

วันที่เข้าระบบ 24 มีนาคม 2566
วันที่แก้ไขบทความ 12 มีนาคม 2567
วันที่ตอบรับบทความ 12 มีนาคม 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีโอทูบับเบิ้ลของระบบการเติมอากาศหมุนเวียนออกซิเจนในน้ำ ใช้เป็นแนวทางสำหรับการลดต้นทุนพลังงานในกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น ทำการเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานระหว่างระบบที่ไม่ใช้พลังงานทางเลือกกับระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์ ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2565 จนถึงเดือนมกราคม 2566 ซึ่งภาระโหลดทางไฟฟ้า ที่ใช้ในกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น จะมีอยู่ 2 ส่วน คือ 1) ใช้กับโหลดขนาด 1.5 kW และ 2) ใช้กับโหลดขนาด 1.1 kW ซึ่งโหลดแต่ละส่วนจะใช้งานต่อเนื่องกัน 24 ชั่วโมง และสลับกันทำงานวันเว้นวัน จากการทดสอบการวัดปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์ พบว่า เดือนสิงหาคม สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 278 kWh คิดเป็น 24.82% ของพลังงานที่ใช้, เดือนกันยายน สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 283 kWh คิดเป็น 25.27% ของพลังงานที่ใช้, เดือนตุลาคม สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 276 kWh คิดเป็น 24.64% ของพลังงานที่ใช้, เดือนพฤศจิกายน สามารถผลิตพลังงาน ไฟฟ้าได้เท่ากับ 274 kWh คิดเป็น 32.62% ของพลังงานที่ใช้, เดือนธันวาคม สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า ได้เท่ากับ 305 kWh คิดเป็น 36.31% ของพลังงานที่ใช้ และเดือนมกราคม สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 293 kWh คิดเป็น 34.88% ของพลังงานที่ใช้ จากการเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานไฟฟ้าของระบบการเติมอากาศในกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น หลังการติดตั้งระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์ กรณีใช้กับโหลดขนาด 1.5 kW พบว่า เกิดการประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน เฉลี่ยเท่ากับ 25.74% และกรณีใช้กับโหลดขนาด 1.1 kW พบว่า เกิดการประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน เฉลี่ยเท่ากับ 36.11%

คำสำคัญ: เทคโนโลยีโอทูบับเบิ้ล, พลังงานทดแทน, สาหร่ายพวงองุ่น, ไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์

Abstract

This research has the purpose of applying the technology of electricity generated from solar energy to cooperate with the O2 bubble technology of the water oxygen circulating aeration system as a guideline for reducing energy costs in sorting green caviar seaweed and comparing energy costs between non-alternative and hybrid solar inverter systems. Data was collected from August 2022 to January 2023. The electrical load used in sorting green caviar seaweed consisted of two parts: 1) a load of 1.5 kW, and 2) a load of 1.1 kW. Each part of the load was continuously used for 24 hours, and it took turns working every other day. The results of testing the electrical energy quantity produced by the hybrid solar inverter system showed the production quantities of the energy used as follows: it produced electrical energy equal to 278 kWh in August, accounting for 24.82%, and 283 kWh in September, accounting for 25.27%. 276 kWh, accounting for 24.64% in October; 274 kWh, accounting for 32.62% in September; 305 kWh, accounting for 36.31% in December; and in January 293 kWh, accounting for 34.88%. When comparing the cost of the aeration system's electrical energy in sorting Green Caviar seaweed after installing the hybrid solar inverter system with a load size of 1.5 kW, average cost savings in energy expenses equaled 25.74%, while with a load size of 1.1 kW, it was 36.11%.

Keywords: O_2 bubble technology, Renewable energy, Green caviar seaweed, Hybrid solar inverter

1. บทนำ

ปัจจุบันสาหร่ายทะเลหลายชนิดมีความสำคัญทั้งทางด้านเศรษฐกิจและระบบนิเวศวิทยา สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น เป็นอาหาร เป็นปุ๋ย ใช้เลี้ยงสัตว์ สกัดเป็นสารทำวุ้นใช้ได้ทั้งในภาคอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และเครื่องสำอาง ตลอดจนเคมีภัณฑ์ในวงการแพทย์และการเกษตร นอกจากนี้ ชาวบ้านในบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคใต้ของประเทศไทยก็นิยมบริโภคสาหร่ายพวงองุ่นมาเป็นเวลานาน ต่อมาพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี ในการดูแลของศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งเพชรบุรี ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี มีการพัฒนาเทคนิคการเพาะเลี้ยงและการขยายผลการเพาะเลี้ยง จากฟาร์มทะเลตัวอย่างของสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์

พระบรมราชินีนาถ พระบรมราชชนนีพันปีหลวง ให้เกษตรกรในพื้นที่ได้ทดลองปลูกสาหร่ายพวงองุ่นมาอย่างต่อเนื่อง ด้วยลักษณะทางกายภาพและสภาพพื้นที่บริเวณตำบลแหลมผักเบี้ยซึ่งอยู่ติดทะเล จึงเหมาะแก่การเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่น จนในปัจจุบันสามารถเพาะเลี้ยงให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ทำให้การขยายผลเชิงพาณิชย์นำไปสู่การสร้างอาชีพและสร้างรายได้ที่มั่นคง (มนทกานติ ท้ามดิ้น, ม.ป.ป.)

การสร้างระบบการเติมอากาศหมุนเวียนออกซิเจนในน้ำหลังการเก็บเกี่ยวสาหร่ายพวงองุ่นขึ้นมาจากบ่อเลี้ยง นับเป็นกระบวนการที่สำคัญอย่างหนึ่งในการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น เพื่อการจัดจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ สาหร่ายต้องได้รับปริมาณออกซิเจนในน้ำที่เพียงพอและต่อเนื่องกันอย่างสม่ำเสมอตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อกระตุ้นให้สาหร่ายฟื้นตัวจากกระบวนการเก็บเกี่ยว ทำให้เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นมีต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานค่อนข้างสูง จากการศึกษาข้อมูลพบว่า การนำพลังงานทางเลือกมาประยุกต์ใช้ในระบบการเติมอากาศหมุนเวียนออกซิเจนในน้ำ มีหลากหลายแบบ (ชัยยงค์ และคณะ, 2563; ธวัชชัย, 2565; ภารดร และคณะ, 2020) ไม่ว่าจะเป็นการสร้างชุดกังหันน้ำเติมอากาศโดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งนำแผงโซลาร์เซลล์มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ชาร์จแบตเตอรี่ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 ควบคุมระบบการดึงพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้สูงสุด (ธวัชชัย และคณะ, 2556) รวมทั้งการพัฒนาระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติในบ่อเลี้ยงปลานิล วิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน กรณีศึกษาการใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าพื้นฐานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบเติมอากาศ สามารถลดการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศในช่วงเวลากลางวันได้เฉลี่ย 38.98 % และช่วงเวลากลางคืนได้เฉลี่ย 18.93% (ศิริวรรณ และคณะ, 2561) ต่อมามีการทดลองใช้เครื่องเติมอากาศในน้ำด้วยกังหันพลังงานแสงอาทิตย์ในบ่อเลี้ยงกุ้ง ใช้แผงชนิดโพลีคริสตัลไลน์ ขนาด 330 W ต่อเข้ากับโซลาร์ชาร์จเจอร์ เพื่อทำหน้าที่ในการควบคุมการชาร์จพลังงานลงในแบตเตอรี่ ผลการทดลองพบว่า ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้จริง สามารถประจุกำลังไฟฟ้าได้เฉลี่ย 187.46 W และประจุพลังงานได้สูงสุด 202.50 W (พัชรินทร์ และคณะ, 2022) นอกจากนี้ ยังมีการนำเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับการเติมออกซิเจนในบ่อน้ำ จะเห็นว่า พลังงานแสงอาทิตย์เปลี่ยนรูปมาเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนกังหันน้ำให้เพียงพอต่อการใช้งานได้ อีกทั้งช่วยให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้น โดยไม่มีต้นทุนพลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้า (กัลยา และคณะ, 2565) สรุปได้ว่า ระบบที่มีการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐาน สามารถลดภาระค่าไฟฟ้าของเกษตรกรได้ (อัครินทร์ และคณะ, 2019)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีโอทูบับเบิ้ลของระบบการเติมอากาศหมุนเวียนออกซิเจนในน้ำ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการลดต้นทุนพลังงานในกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น โดยระบบที่จะพัฒนาขึ้นมีหลักการทำงาน คือ นำสายยางเติมอากาศโอทูบับเบิ้ลที่ดัดแปลงเป็นรูปวงกลมมี

เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 20 เซนติเมตร ต่อเข้ากับมอเตอร์ปั๊มลม ทำให้อากาศวิ่งผ่านรูพรุนเล็ก ๆ รอบสาย เกิดฟองอากาศที่ออกมาจากตัวสายยางจะละเอียดมีอนุภาคเล็ก และค่อยๆ ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ซึ่งฟองอากาศที่ละเอียดมีอนุภาคเล็กนั้น จะสามารถซอกซอนทำความสะอาดตามซอกสาหร่ายทำให้สิ่งปนเปื้อนหลุดออกมา ช่วยในการกระจายออกซิเจนในน้ำและทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วถึงกัน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มพื้นที่การแลกเปลี่ยนออกซิเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากนั้น ทำการเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานในกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น ระหว่างระบบที่ไม่ใช้พลังงานทางเลือกกับระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์ ซึ่งการพัฒนาระบบดังกล่าว จะเป็นการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานให้กับเกษตรกร สร้างโอกาสทางการแข่งขัน สร้างนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่และลดความเหลื่อมล้ำ เกษตรกรสามารถนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยและเหมาะสมมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการเกษตรสมัยใหม่ได้ เน้นการพึ่งพาตนเอง อีกทั้งยังเป็นแนวทางการร่วมกันพัฒนาเป็นศูนย์การเรียนรู้ในชุมชนที่มีการใช้เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในกิจกรรมทางการเกษตรเพื่อความยั่งยืนต่อไป

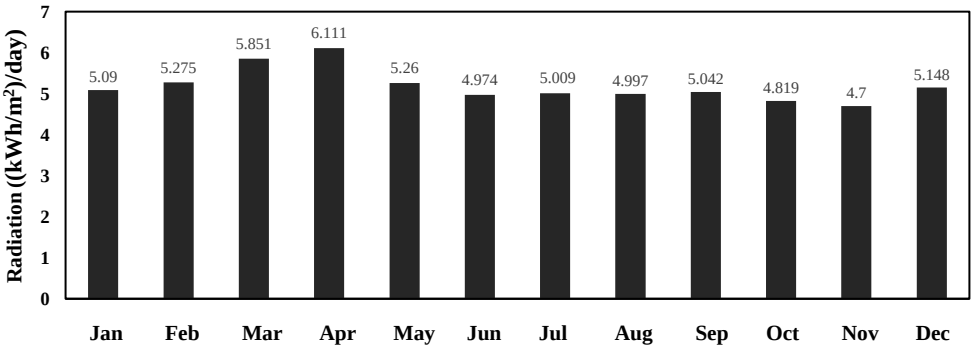
2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อนำเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีโอทูบับเบิ้ลของระบบการเติมอากาศหมุนเวียนออกซิเจนในน้ำ ใช้เป็นแนวทางสำหรับการลดต้นทุนพลังงานในกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ข้อมูลสำหรับการวิจัย

3.1.1 พื้นที่ที่ใช้สำหรับการวิจัย คือ พื้นที่การเพาะเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่น ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี พิกัดทางภูมิศาสตร์ 13 องศา 1.6 ลิปดาเหนือ และลองติจูด 100 องศา 4.7 ลิปดาตะวันออก อ้างอิงข้อมูลค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของแต่ละเดือนในปี พ.ศ. 2565 มาจาก Solar Global Horizontal Irradiance (GHI) แสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งมีปริมาณรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่ 5.19 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร/วัน



ภาพที่ 1 ข้อมูลปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ของพื้นที่สำหรับการวิจัย

3.1.2 ภาระโหลดทางไฟฟ้า ที่ใช้ในกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น จะมีอยู่ 2 ส่วน คือ 1) โหลดขนาด 1.5 kW (2 hp) ซึ่งเป็นโหลดมอเตอร์ single phase 1.5 kW/10.4 A/220 V/2 hp /50 Hz ใช้งานต่อเนื่องกัน 24 ชั่วโมง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละวัน เท่ากับ 37 kWh/day และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือน เท่ากับ 1,120 kWh/month และ 2) โหลดขนาด 1.1 kW (1.5 hp) ซึ่งเป็นโหลดมอเตอร์ single phase 1.1 kW/7.8 A/220 V/1.5 hp/50 Hz ใช้งานต่อเนื่องกัน 24 ชั่วโมง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละวัน เท่ากับ 28 kWh/day และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือน เท่ากับ 840 kWh/month ซึ่งโหลดทั้งสองส่วนดังกล่าวข้างต้นนี้ จะถูกสลับกันใช้งาน หมายความว่า โหลดแต่ละส่วนจะใช้งานต่อเนื่องกัน 24 ชั่วโมง และสลับกันทำงานวันเว้นวัน ยกตัวอย่างเช่น วันที่ 1 โหลดขนาด 1.5 kW ใช้งานต่อเนื่องกัน 24 ชั่วโมง, วันที่ 2 โหลดขนาด 1.1 kW ใช้งานต่อเนื่องกัน 24 ชั่วโมง

3.1.3 แผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ในการทดลอง มีจำนวน 4 แผง รุ่น TSM-300PC14 กำลังไฟฟ้าสูงสุด 300 W แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 36.9 V กระแสไฟฟ้าสูงสุด 8.13 A แสดงข้อมูลจำเพาะ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลจำเพาะของแผงโซลาร์เซลล์

Model : TSM-300PC14	
Maximum Power (P_{max})	300W
Maximum Power Voltage (V_{mp})	36.9V
Maximum Power Current (I_{mp})	8.13A
Open Circuit Voltage (V_{oc})	45.3V
Short Circuit Current (I_{sc})	8.60A
Maximum System Voltage	DC1000V
Maximum Series Fuse	15A
Module Application	Class A

ที่มา: Changzhou Trina Solar Energy Co.,Ltd. (www.trinasolar.com)

3.1.4 อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดลอง Max. power 3.5 kW แสดงคุณลักษณะดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงคุณลักษณะของไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์

Efficiency	Maximum efficiency 98.50%
PV input	Recommended max. PV power 3,500 Wp/1 String Max. input voltage 420V Operating voltage range 80V - 420V Start-up voltage 80V Max. short-circuit current per string 10A
AC input	Voltage range 170V - 240V Frequency 50 Hz
AC output	Output: Single phase Rated output power 3,500 W Max. apparent power 4,000 VA Rated output voltage 220 V ±5% Rated AC grid frequency 50 Hz Max. output current 16 A

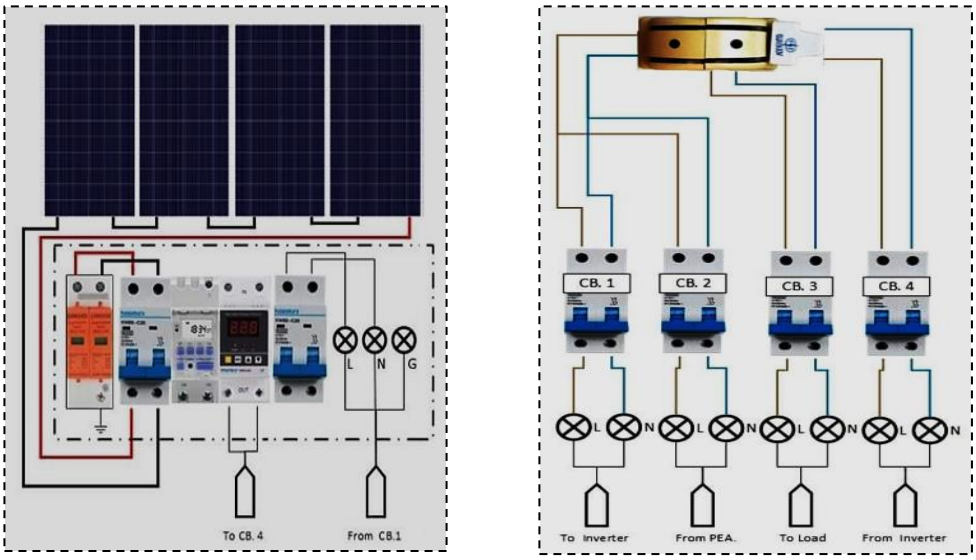
3.2 การสร้างเครื่องมือในการวิจัย

การพัฒนานวัตกรรมด้านพลังงานทดแทนสำหรับกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น เพื่อช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายพลังงานของระบบการเติมอากาศหมุนเวียนออกซิเจนในน้ำ มีแนวคิดนำนวัตกรรมสายยางเติมอากาศโอทูบับเบิ้ล มาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นมีหลักการทำงาน คือ เมื่อนำสายยางเติมอากาศโอทูบับเบิ้ลต่อเข้ากับมอเตอร์ปั๊มลม ทำให้อากาศวิ่งผ่านรูพรุนเล็ก ๆ ฟองอากาศที่ออกมาจากตัวสายยางจะละเอียดมีอนุภาคเล็ก และค่อยๆ ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ แสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งฟองอากาศที่ละเอียดมีอนุภาคเล็กนั้น จะสามารถซอกซอนทำความสะอาดตามซอกสาหร่ายทำให้สิ่งปนเปื้อนหลุดออกมา ช่วยในการกระจายออกซิเจนในน้ำและทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วถึงกัน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มพื้นที่การแลกเปลี่ยนออกซิเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากภาพที่ 3 แสดงไดอะแกรมการทำงานของการต่อวงจรระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์ทางด้าน DC input และ AC output และภาพที่ 4 แสดงไดอะแกรมการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น ควบคุมการจ่าย

พลังงานไฟฟ้าไปยังโหลดด้วยระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์ รองรับการใช้งานสำหรับแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับโครงข่ายไฟฟ้า โดยไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ต่อเข้าระบบ ในช่วงเวลากลางวัน ระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับระบบการเติมอากาศ หากกำลังผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของโหลด ระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่ดึงกระแสไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้ามา เพื่อให้พลังงานไฟฟ้ารวมที่ออกจากระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์เพียงพอที่จะทำให้ระบบการเติมอากาศหมุนเวียนออกซิเจนในน้ำ ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

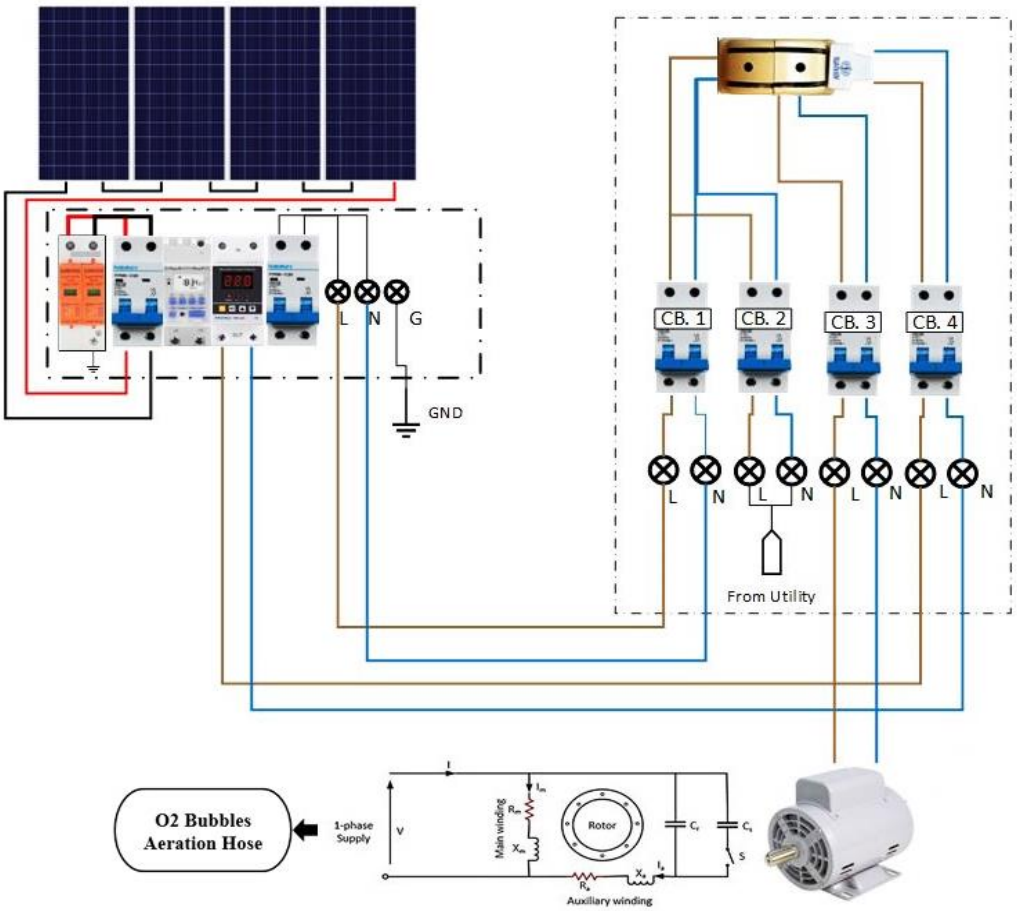
(ก) ลักษณะฟองอากาศ (ข) สายยางเติมอากาศโอทูบับเบิ้ล

ภาพที่ 2 เทคโนโลยีการเติมอากาศแบบโอทูบับเบิ้ลในกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น



(ก) ด้าน DC input (ข) ด้าน AC uutput

ภาพที่ 3 ไดอะแกรมการต่อวงจรระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์



ภาพที่ 4 ไดอะแกรมการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
สำหรับกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ไปวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าจากระบบโซลาร์เซลล์ อีกทั้งมีการประมาณการค่าไฟฟ้าของแต่ละเดือน ประกอบไปด้วย ค่าไฟฟ้าฐาน ค่าไฟฟ้าผันแปร และค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม ดังสมการต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน เป็นค่าการใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะคิดจากต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า โดยวิธีการคำนวณก็จะแบ่งตามประเภทผู้ใช้งาน คิดค่าบริการเท่ากับ 38.22 Baht ซึ่งสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้จากสมการที่ (1) และ (2)

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้า} = \text{จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้} \times \text{อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วย} \quad (1)$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าฐาน} = \text{ค่าพลังงานไฟฟ้า} + \text{ค่าบริการ} \quad (2)$$

ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร หรือค่า Ft เป็นค่าไฟฟ้าที่ปรับเปลี่ยนเพิ่มขึ้นหรือลดลง ตามการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงและค่าซื้อไฟฟ้า ที่อยู่นอกเหนือการควบคุมของการไฟฟ้า ซึ่งสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้จากสมการที่ (3)

ค่าไฟฟ้าผันแปร = จำนวนพลังงานไฟฟ้า x ค่า Ft (3)

ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม นอกจากค่าไฟฟ้าฐาน และค่า Ft แล้ว ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระภาษีมูลค่าเพิ่ม (Vat 7%) รวมกับค่าไฟฟ้าฐาน และค่า Ft ด้วย ซึ่งสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้จากสมการที่ (4) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้จากสมการที่ (4)

ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม = (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่า Ft) x 0.07 (4)

ดังนั้น เงินค่าไฟฟ้าทั้งหมด มาจากผลรวมของค่าไฟฟ้าฐาน จากสมการที่ (1) ค่าไฟฟ้าผันแปร จากสมการที่ (3) และค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม จากสมการที่ (4) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้จากสมการที่ (5)

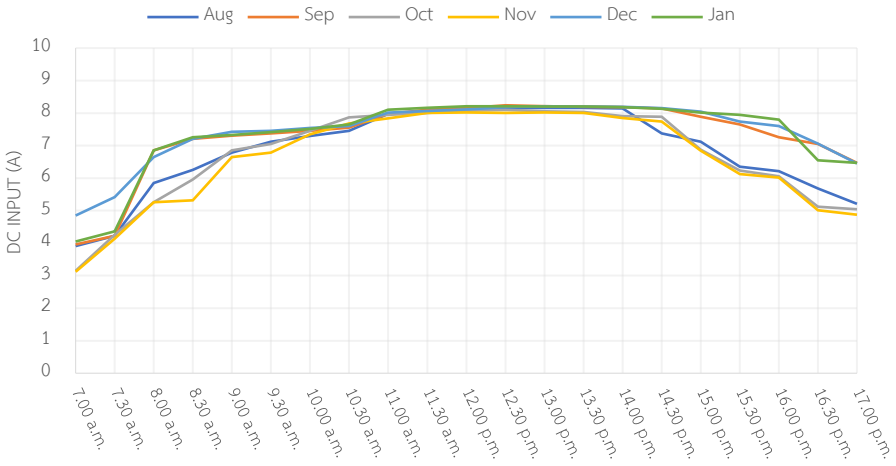
เงินค่าไฟฟ้าทั้งหมด = ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าไฟฟ้าผันแปร + ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (5)

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การศึกษาแนวทางการลดต้นทุนพลังงานของระบบการเติมอากาศหมุนเวียนออกซิเจนในน้ำในกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น มีผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

4.1 ทดสอบการประจุพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์

จากภาพที่ 5 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตหรือกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ตั้งแต่เวลา 7.00 น. ถึง 17.00 น. เก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2565 จนถึงเดือนมกราคม 2566 พบว่า เดือนสิงหาคม มีค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 8.16 A เดือนกันยายน มีค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 8.24 A เดือนตุลาคม มีค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 8.10 A เดือนพฤศจิกายน มีค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 8.02 A เดือนธันวาคม มีค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 8.21 A และเดือนมกราคม มีค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 8.21 A เช่นกัน

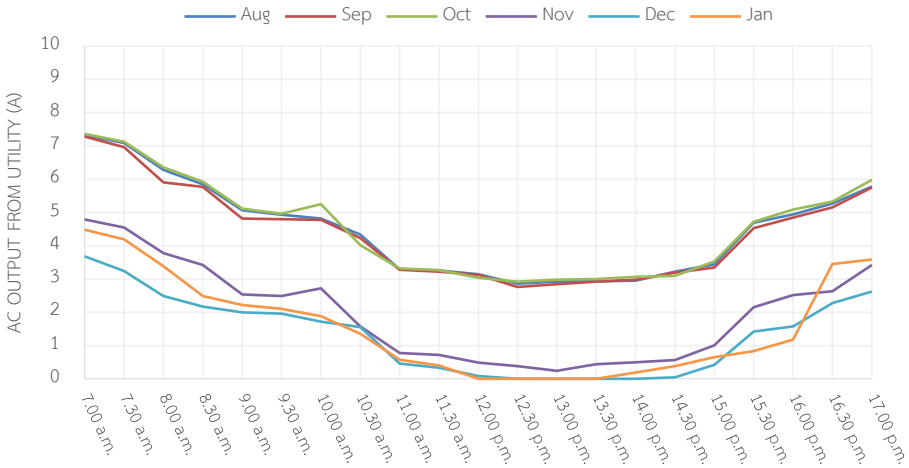


ภาพที่ 5 ค่ากระแสไฟฟ้าทางด้าน DC input

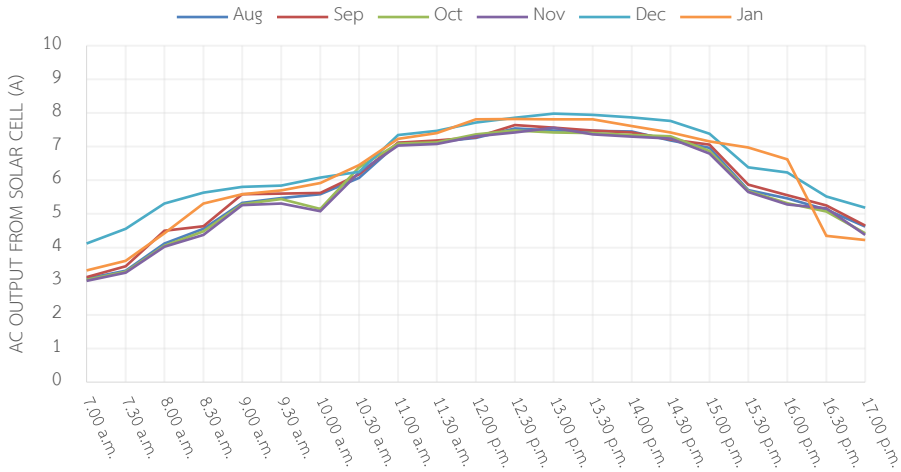
4.2 ทดสอบการวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าของระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์

ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต บันทึกข้อมูลจากระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์ ตั้งแต่เวลา 7.00 a.m. - 17.00 p.m. การเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษา คือ 1) กรณีทดสอบกับโหลดขนาด 1.5 kW (2 hp) เก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2565 ถึงตุลาคม 2565 และ 2) กรณีทดสอบกับโหลดขนาด 1.1 kW (1.5 hp) เก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2565 ถึงมกราคม 2566 จากภาพที่ 6 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตจากโครงข่ายไฟฟ้า พบว่า กรณีทดสอบกับโหลดขนาด 1.5 kW (2 hp) พบว่า ช่วงเวลาที่โหลดกินกระแสจากโครงข่ายไฟฟ้ามากที่สุด คือ เวลา 7.00 a.m. - 7.30 a.m. และช่วงเวลาที่โหลดกินกระแสจากโครงข่ายไฟฟ้าน้อยที่สุด คือ เวลา 12.30 p.m. - 13.00 p.m. และกรณีทดสอบกับโหลดขนาด 1.1 kW (1.5 hp) พบว่า ช่วงเวลาที่โหลดกินกระแสจากโครงข่ายไฟฟ้ามากที่สุด คือ เวลา 7.00 a.m. - 7.30 a.m. และช่วงเวลาที่โหลดกินกระแสจากโครงข่ายไฟฟ้าน้อยที่สุด คือ เวลา 12.00 p.m. - 14.00 p.m.

ในทางตรงกันข้าม จากภาพที่ 7 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตจากแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีทดสอบกับโหลดขนาด 1.5 kW (2 hp) พบว่า ช่วงเวลาที่โหลดกินกระแสจากแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด คือ เวลา 12.00 p.m. - 14.00 p.m. และช่วงเวลาที่โหลดกินกระแสจากแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์น้อยที่สุด คือ เวลา 7.00 a.m. – 7.30 a.m. และกรณีทดสอบกับโหลดขนาด 1.1 kW (1.5 hp) พบว่า ช่วงเวลาที่โหลดกินกระแสจากแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด คือ เวลา 12.00 p.m. - 14.00 p.m. และช่วงเวลาที่โหลดกินกระแสจากแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์น้อยที่สุด คือ เวลา 7.00 a.m. – 7.30 a.m.

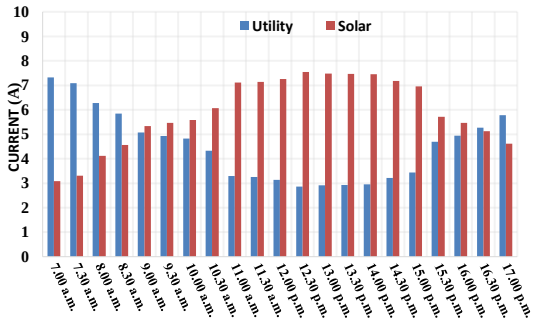


ภาพที่ 6 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตจากโครงข่ายไฟฟ้า

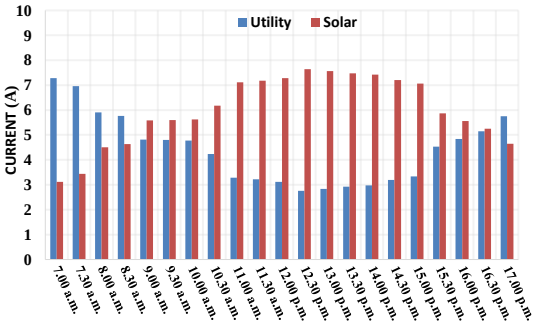


ภาพที่ 7 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตจากแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์

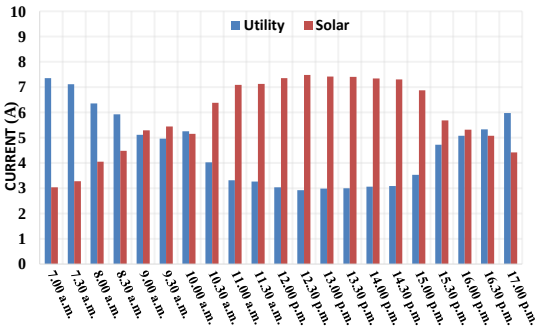
หากเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าระหว่างที่ได้จากโครงข่ายไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ของเดือนสิงหาคม 2565 จนถึงเดือนมกราคม 2566 ดังภาพที่ 8 จะเห็นว่า ถ้าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ได้มาก จะทำให้โหลดดึงพลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้ามาใช้น้อย ส่งผลให้เกิดการประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน นั่นเอง



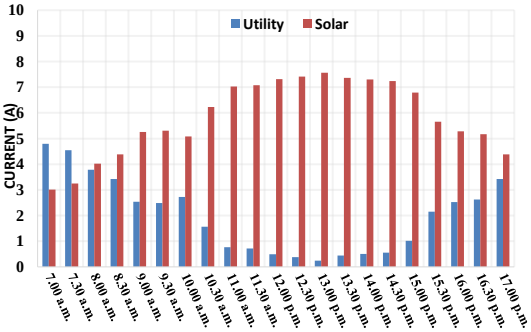
(ก) เดือนสิงหาคม



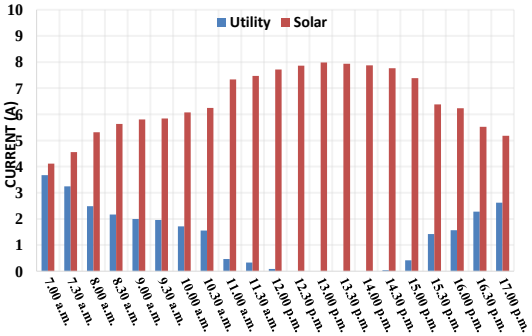
(ข) เดือนกันยายน



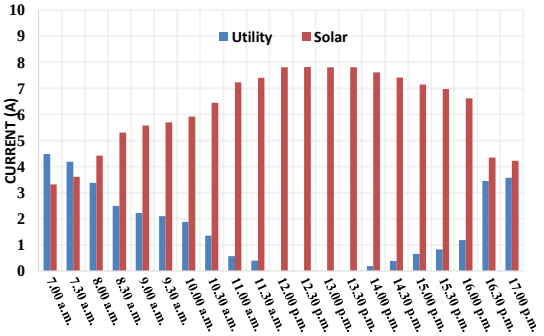
(ค) เดือนตุลาคม



(ง) เดือนพฤศจิกายน



(จ) เดือนธันวาคม



(ฉ) เดือนมกราคม

ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากโครงข่ายไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์

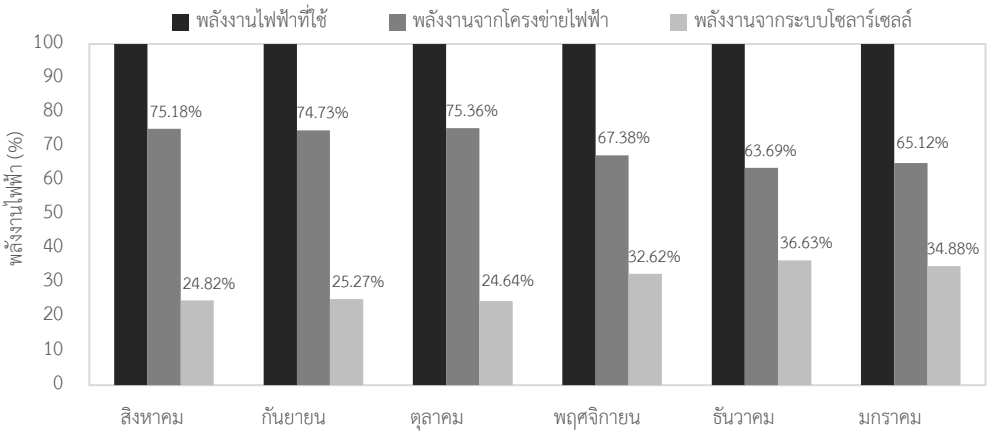
4.3 ทดสอบการวัดปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์

การทดสอบการวัดปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์ จากตารางที่ 3 พบว่า เดือนสิงหาคม สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 278 kWh คิดเป็น 24.82% ของพลังงานที่ใช้, เดือนกันยายน สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 283 kWh คิดเป็น 25.27% ของพลังงานที่ใช้, เดือนตุลาคม สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 276 kWh คิดเป็น 24.64% ของพลังงานที่ใช้, เดือนพฤศจิกายน สามารถผลิตพลังงาน ไฟฟ้าได้เท่ากับ 274 kWh คิดเป็น 32.62% ของพลังงาน

ที่ใช้, เดือนธันวาคม สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า ได้เท่ากับ 305 kWh คิดเป็น 36.31% ของพลังงานที่ใช้ และเดือนมกราคม สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 293 kWh คิดเป็น 34.88% ของพลังงานที่ใช้ แสดงดังภาพที่ 9

ตารางที่ 3 ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละเดือน

พลังงานไฟฟ้า (kWh)	โหลดขนาด 1.5 kW (2 hp)			โหลดขนาด 1.1 kW (1.5 hp)		
	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	1,120 (100%)	1,120 (100%)	1,120 (100%)	840 (100%)	840 (100%)	840 (100%)
พลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า	842 (75.18%)	837 (74.73%)	844 (75.36%)	566 (67.38%)	535 (63.69%)	547 (65.12%)
พลังงานไฟฟ้าจากระบบโซลาร์เซลล์	278 (24.82%)	283 (25.27%)	276 (24.64%)	274 (32.62%)	305 (36.31%)	293 (34.88%)



ภาพที่ 9 เปอร์เซ็นต์การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของแต่ละเดือน

4.4 วิเคราะห์ต้นทุนพลังงานไฟฟ้า

จากการเปรียบเทียบต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบการเติมอากาศ หลังการติดตั้งระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์ กรณีใช้กับโหลดขนาด 1.5 kW (2 hp) จากตารางที่ 4 พบว่า เดือนสิงหาคม ประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 25.70% คิดเป็นเงิน 1,385.96 Baht เดือนกันยายน ประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 26.08% คิดเป็นเงิน 1,621.85 Baht และเดือนตุลาคม ประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 25.44% คิดเป็นเงิน 1,581.74 Baht ส่วนกรณีใช้กับโหลดขนาด 1.1 kW (1.5 hp) พบว่า เดือนพฤศจิกายน ประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้

34.04% คิดเป็นเงิน 1,570.28 Baht เดือนธันวาคม ประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 37.89% คิดเป็นเงิน 1,747.93 Baht และเดือนมกราคม ประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 36.40% คิดเป็นเงิน 1,679.16 Baht

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบการเติมอากาศ

ประมาณการค่าไฟฟ้า (Baht)	โหลดขนาด 1.5 kW (2 hp)			โหลดขนาด 1.1 kW (1.5 hp)		
	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม
ค่าไฟฟ้าก่อนการติดตั้งระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์	5,394.91 (100%)	6,217.74 (100%)	6,217.74 (100%)	4,613.08 (100%)	4,613.08 (100%)	4,613.08 (100%)
ค่าไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบไฮบริดโซลาร์อินเวอร์เตอร์	4,005.95 (74.30%)	4,595.89 (73.92%)	4,636.00 (74.56%)	3,042.80 (65.96%)	2,865.15 (62.11%)	2,933.92 (63.60%)
ส่วนต่างค่าไฟฟ้าก่อนและหลัง การติดตั้งระบบ	1,385.96 (25.70%)	1,621.85 (26.08%)	1,581.74 (25.44%)	1,570.28 (34.04%)	1,747.93 (37.89%)	1,679.16 (36.40%)
ประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (%)	25.70%	26.08%	25.44%	34.04%	37.89%	36.40%
ค่าเฉลี่ย	**25.74%**			**36.11%**		

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีโอทูบับเบิ้ลของระบบการเติมอากาศหมุนเวียนออกซิเจนในน้ำ ใช้เป็นแนวทางสำหรับการลดต้นทุนพลังงานในกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น จากผลเปรียบเทียบการประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบการเติมอากาศในกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่น กรณีใช้กับโหลดขนาด 1.5 kW (2 hp) สรุปได้ว่า เกิดการประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน เฉลี่ยเท่ากับ 25.74% และกรณีใช้กับโหลดขนาด 1.1 kW (1.5 hp) เกิดการประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 36.11% ดังนั้น หากต้องการประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานให้มากกว่าค่าเฉลี่ยข้างต้น สามารถติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เพิ่มเข้าไปในระบบได้ แต่จำนวนแผงที่นำมาต่ออนุกรมกันแล้วต้องมีค่าแรงดันอินพุตไม่เกิน 420 VDC ทั้งนี้การติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมและเป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้ง จึงจะทำให้การบริหารจัดการต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเกิดการประหยัดและคุ้มค่ามากที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) งบประมาณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประจำปี พ.ศ. 2565 ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย เรื่อง การพัฒนานวัตกรรมต้นแบบด้านพลังงานทดแทนสำหรับกระบวนการคัดแยกสาหร่ายพวงองุ่นเพื่อจัดจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

7. เอกสารอ้างอิง

กัลยา ธนาสินธ์, อมรรัตน์ คำบุญ, ณัฐดนัย สิงห์คลีวรรณ, และสายัณ พุทธลา. (2565). กังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อน้ำ. **วารสารวิชาการเทพสตรี I-TECH**, 17(2), 95-105.

ชัยยงค์ เสริมผล, จิระเดช สังคะโห, และพลวัฒน์ ศรีโยหะ. (2563). การพัฒนากังหันน้ำเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมผ่านสัญญาณไร้สาย. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 14(2), 173-189.

ธวัชชัย ทองเหลี่ยม, วิโรจน์ บัวงาม, หฤทัย ดิ้นสกุล และบรรเจิด เจริญพันธ์. (2556, ธันวาคม). **สร้างระบบขับกังหันน้ำชัยพัฒนาโดยใช้พลังงานแบบผสมผสานและการตรวจวัดออกซิเจนในน้ำ**. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36 (EECON-36), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธวัชชัย สอนสนาม, ประสิทธิ์ ภูสมมา, ประยุทธ นิสภกุล และชาลี อินทรชัย. (2022). เครื่องเติมอากาศในน้ำชนิดกังหันพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์. **Journal of Science Engineering and Technology Rajabhat Maha Sarakham University**, 1(3), 57-66.

พัชรินทร์ อินทมาส, อดิศร ไกรนรา, ทิฆัมพร เขมวงศ์ และพรหมพักตร์ บุญรักษา. (2022). การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศในน้ำด้วยกังหันพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมผ่านโทรศัพท์มือถือ. **Rattanakosin Journal of Science and Technology: RJST 2022**, 4(1), 43-53.

มนทกานติ ท้ามติ้น. (ม.ป.ป.). **การเลี้ยงสาหร่ายพวงองุ่นเชิงพาณิชย์**. เอกสารนำเสนอในนิทรรศการ. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี กรมประมง.

ภารดร ทองเสน และยอดชาย เตียเปี้น. (2020). เครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์. **Journal of Science and Technology**, 3(1), 35-44.

ศิริวรรณ ทำนุ, ชวโรจน์ ใจสิน, ธงชัย มณีชูเกตุ และนรินทร์ ปิ่นแก้ว. (2561, เมษายน). **การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติในบ่อเลี้ยงปลานิล**. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19, ประจวบคีรีขันธ์.

อัครินทร์ อินทนิเวศน์, สุลักษณา มงคล, และสราวุธ พลวงษ์ศรี. (2019). การศึกษาสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับระบบเติมอากาศของบ่อเลี้ยงปลา กรณีศึกษา: หมู่บ้านทุ่งยาว. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**, 26(3), 25-35.