



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การศึกษาสมรรถนะเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กสำหรับครัวเรือน

Study on Performance of Small Solar Water Pump for Household

กิตติยาพร พงศ์พีระ¹⁾ ทรงสุภา พุ่มชุมพล¹⁾ อำไพศักดิ์ ทีบุญมา¹⁾อภินันต์ นามเขต^{1)*} และ ประพันธ์พงษ์ สมศิลา²⁾Kittiyaphon Pongpeera¹⁾ Songsupa Pumchupol¹⁾ Umphisak Teeboonma¹⁾Apinunt Namkhat^{1)*} and Praphanpong Somsila²⁾¹⁾ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

²⁾สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์

อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ 32000

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University,

Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani, 34190

²⁾Department of Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture and Technology,

Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Muang District, Surin, 32000

Received: 29 April 2022

Revised: 13 September 2022

Accepted: 15 September 2022

Available online: 23 December 2022

บทคัดย่อ

การทำการเกษตรในพื้นที่ประเทศไทยส่วนใหญ่ขาดแคลนแหล่งน้ำ ทำให้เกษตรกรเจาะบาดาลเพื่อใช้เป็นแหล่งน้ำในการเพาะปลูก นอกจากนั้นพื้นที่การเกษตรส่วนใหญ่อยู่นอกเขตสายส่งไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้ทำให้การประยุกต์ใช้เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามสมรรถนะเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ก็ยังคงเป็นข้อมูลสำคัญที่ต้องใช้ในการพิจารณาออกแบบระบบเครื่องสูบน้ำพลังงาน

แสงอาทิตย์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้สร้างชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบจุ่ม มอเตอร์เครื่องสูบน้ำใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดกำลังไฟฟ้า 300 W และเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 340 Wp เป็นแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้า ความดันตกคร่อมเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ศึกษา ได้แก่ 10, 15 และ 20 เมตร การทดสอบดำเนินการภายใต้สภาวะพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบจริง ซึ่งพลังงานตกกระทบอยู่ระหว่าง 400-1,000 W/m² สำหรับเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สัดส่วนการผลิตกำลังไฟฟ้า ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ และประสิทธิภาพระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ผลจากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และสัดส่วนการผลิตกำลังไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 15 และ 0.64 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 22.0–27.0 และ 3.3-4.0 ตามลำดับ

คำสำคัญ: เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพ สมรรถนะเครื่องสูบน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์

Abstract

Most of the agriculture area in Thailand lacks water resources, causing farmers to drill groundwater to use as a source of water for cultivation. In addition, most of the agricultural areas are inaccessible to electrical transmission lines. For this reason, the application of solar water pump is widely interested. However, the performance of the solar pump is still an importance information that must be considered for designing the system of solar water pump. Therefore, submersible solar water pump, DC motor of 300 W, was constructed for testing its performance. Photovoltaic panel of 340 Wp was selected as electrical energy source. Pressure drop of solar water pump studied in this work were 10, 15 and 20 m. The experiments were conducted under real conditions of solar irradiance varied ranging 400-1,000 W/m². The criteria for evaluating the performance of solar water pump system were photovoltaic panel efficiency, electrical power ratio, efficiency of solar water pump and efficiency of solar water pump system. It was found from experimental results that photovoltaic panel efficiency and electrical power ratio are 15% and 0.64, respectively. Additionally, it was also revealed that solar water pump and system of solar water pump provide the efficiency in the range of 22.0-27.0% and 3.3-4.0%, respectively.

Keywords: Solar water pump: Efficiency: Pump performance: Solar energy

1. บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ส่วนใหญ่เพื่อการประกอบอาชีพเกษตรกรรม เป็นผลให้ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร ผลดีที่เกิดขึ้นคือทำให้ประเทศไทยมีความสมบูรณ์ทางอาหารมาโดยตลอด อีกทั้งยังสามารถส่งผลผลิตเป็นสินค้าส่งออก สร้างรายได้ให้กับประเทศเป็นมูลค่ามหาศาลในแต่ละปี ปัจจัยสำคัญในการทำการเกษตรที่เกษตรกรขาดไม่ได้คือ น้ำ เนื่องจากพืชทุกประเภทต้องการน้ำเพื่อการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามในหลายพื้นที่ของประเทศไทยยังเป็นพื้นที่นอกเขตชลประทาน ทำให้ต้องอาศัยเพียงน้ำฝนที่มีตามธรรมชาติในการเพาะปลูก ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้ลดลงและมีบางส่วนเกิดความเสียหายหรือเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อราคาจำหน่าย จึงทำให้เกษตรกรพยายามหาแหล่งน้ำเพื่อใช้สำหรับกิจกรรมเกษตรของตนเอง โดยมีทั้งการขุดบ่อเพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้ง หรือจะบ่อบาดาลเพื่อนำน้ำใต้ดินมาใช้ประโยชน์ จากที่กล่าวมาข้างต้นยังเป็นเพียงส่วนหนึ่งของปัญหาเท่านั้น เกษตรกรยังประสบปัญหาอีกประเด็นคือพื้นที่การเกษตรอยู่ห่างไกลจากระบบสายส่งของการไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องสูบน้ำที่มีต้นกำลังจากเครื่องยนต์ ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นเนื่องจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาค่อนข้างสูงและผันผวน ทำให้เกษตรกรมีรายได้และกำไรลดลงตามไปด้วย อีกทั้งประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนพลังงานจากเชื้อเพลิงมาเป็นพลังงานกลนั้นยังมีประสิทธิภาพที่ต่ำ รวมทั้งยังสร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [1-5] และก่อให้เกิดเสียงที่สร้างความรำคาญต่อคนและสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศน์จากผลกระทบด้านต้นทุนและมลภาวะที่กล่าวมาข้างต้น

เกษตรกรจึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถนำมาใช้ในการเกษตรเนื่องจากประเทศไทยมีพื้นที่ตั้งอยู่ใกล้แนวเส้นศูนย์สูตรของโลก ซึ่งจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงตลอดทั้งปี [6-7] และยังเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพสูงขนาดใหญ่ อีกทั้งสามารถใช้โดยไม่มีต้นทุนด้านพลังงานตลอดอายุการใช้งานอุปกรณ์ รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยผ่านเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำทางการเกษตร สำหรับมอเตอร์ต้นกำลังเครื่องสูบน้ำจำแนกได้เป็น 2 ชนิดหลัก [1-3] ดังนี้ 1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะสามารถต่อใช้งานกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือต่อใช้งานผ่านแบตเตอรี่ได้โดยตรง และ 2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ การใช้งานจะอาศัยกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่ ซึ่งจะต้องต่อผ่านอินเวอร์เตอร์เพื่อเปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับก่อนจ่ายให้กับมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำต่อไป ในส่วนของการพิจารณาเลือกใช้เครื่องสูบน้ำให้มีความเหมาะสมกับกิจกรรมของเกษตรกรนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากรูปแบบของเครื่องสูบน้ำแต่ละประเภะนั้นจะมีความเหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบที่ต่างกัน ซึ่งส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานรวมทั้งค่าใช้จ่ายและความยากง่ายในการบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งาน จากงานวิจัยที่ผ่านมา [8-11] ได้ให้ความสำคัญของการเลือกใช้งานเครื่องสูบน้ำเป็นอย่างมาก เนื่องจากจะส่งผลให้เกิดการใช้งานอย่างคุ้มค่าและมีความต่อเนื่อง โดยส่วนใหญ่แล้วเกษตรกรจะใช้น้ำจากใต้ดินหรือน้ำบาดาลเป็นหลัก เนื่องจากประหยัดพื้นที่ใช้

สอยและค่าใช้จ่ายในการขุดบ่อบาดาลเมื่อเปรียบเทียบกับ การขุดบ่อเพื่อกักเก็บน้ำจากธรรมชาติ การขุดเจาะบาดาลในพื้นที่การเกษตรส่วนใหญ่จะมีความลึกไม่น้อยกว่า 20 เมตร จึงทำให้เครื่องสูบน้ำแบบจุ่ม (Submersible pump) ถูกนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถดูดและส่งน้ำในบ่อน้ำลึกได้ดี มีขนาดเล็ก สร้างความดันในการส่งน้ำได้สูง ไม่มีปัญหาการเกิดคavititation (Cavitation) ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งทั่วไปที่สามารถสร้างความดันน้ำได้สูงเช่นกัน แต่มีข้อจำกัดทางด้านดูด เนื่องจากต้องอาศัยความดันบรรยากาศช่วยในการยกน้ำขึ้นสู่เครื่องสูบน้ำ ซึ่งมีขีดจำกัดประมาณ 10 เมตรเท่านั้น และหากระบบท่อมีความเสียหายรวมทั้งใช้งานในพื้นที่ซึ่งสูงกว่าระดับน้ำทะเลค่อนข้างมาก อาทิเช่น พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หรือพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ ไทยย่อมจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำลดลง เครื่องสูบน้ำปริมาตรแทนที่เชิงบวก (Positive displacement pump) มีข้อจำกัดสามารถดูดน้ำลึกได้ไม่เกิน 8 เมตร ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับสูบน้ำจากบ่อบาดาลที่มีระดับน้ำนิ่งมากกว่า 8 เมตร ด้วยเหตุนี้ เครื่องสูบน้ำแบบจุ่มจึงถูกเลือกมาใช้ทดแทน เนื่องจากตัวเครื่องสูบน้ำแบบจุ่มจะถูกติดตั้งในระดับเดียวกับระดับน้ำหรือต่ำกว่าระดับน้ำนิ่งไม่น้อยกว่า 2 เมตร และด้วยในสภาวะเศรษฐกิจถดถอยรวมทั้งการได้รับผลกระทบเนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ทำให้ประชาชนส่วนใหญ่หันมาเพาะปลูกพืชผักเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคในครัวเรือนและจำหน่าย โดยทำการเพาะปลูกในพื้นที่บางส่วนของพื้นที่ทำนาในช่วงหลังฤดูการเก็บเกี่ยว และทำการขุดเจาะบาดาลเพื่อให้เป็นแหล่งน้ำ

ในการทำการเกษตร ซึ่งเป็นพื้นที่ห่างไกลจากสายส่งไฟฟ้า ทำให้ระบบสูบน้ำเพื่อการเกษตรจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นที่ต้องการและได้รับความนิยมในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาสมรรถนะเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กสำหรับครัวเรือนเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาและปรับปรุงระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตรให้สามารถทำงานได้ดีและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2. วิธีการวิจัย

2.1 ชุดทดลอง

รูปที่ 1 แสดงแผนผังชุดทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ โดยประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์

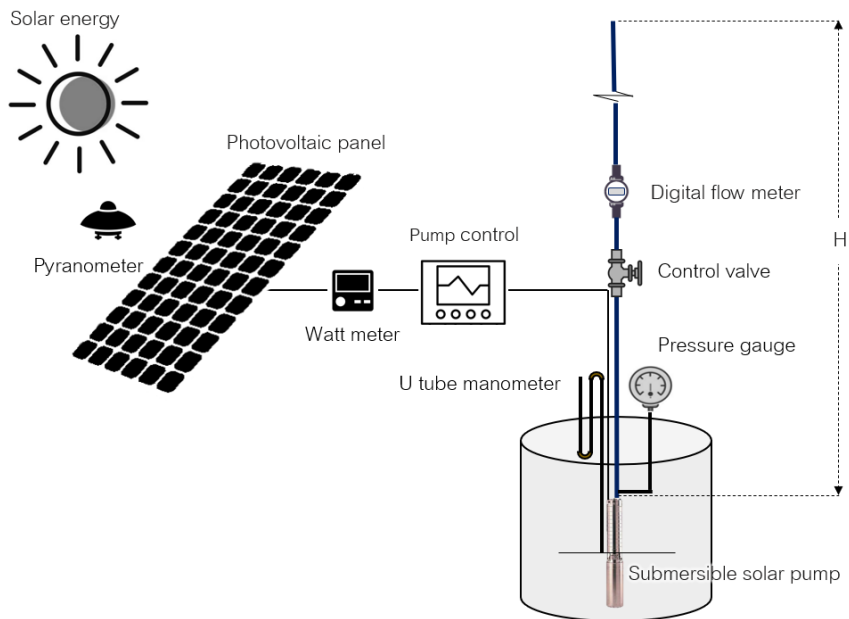
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานวิจัยนี้เป็นชนิดผลึกรวมขนาด 340 Wp มีพื้นที่ 1.8 m^2 แรงดันไฟฟ้าและกระแสสูงสุดเท่ากับ 43.5 V และ 9.64 A ตามลำดับ

2) ชุดควบคุมและเครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้เป็นแบบจุ่ม ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 300 W ช่วงแรงดันใช้งาน $18\text{--}50 \text{ V}$ มีค่าความดันตกคร่อมสูงสุดเท่ากับ 35 เมตร และอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ $3 \text{ m}^3/\text{h}$

3) ชุดสร้างความดันตกคร่อมเครื่องสูบน้ำ

ชุดสร้างความดันตกคร่อม จะใช้ท่อ PVC ซึ่งสามารถเพิ่มหรือลดความสูงได้โดยการต่อผ่านข้อต่อแบบยูเนียน เพื่อสร้างความดันตกคร่อมเสมือนจริงให้กับเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งในการทดลองท่อจะถูกต่อยึดกับโครงสร้างของอาคาร



รูปที่ 1 แผนผังชุดทดสอบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

2.2 วิธีการทดลอง

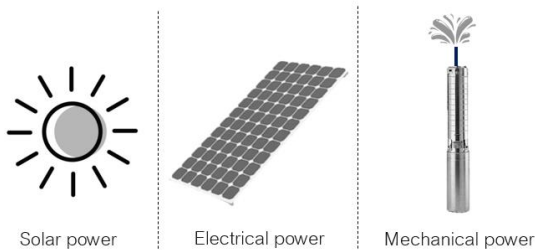
สำหรับการทดสอบสมรรถนะเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ เริ่มต้นจากติดตั้งท่อส่งน้ำให้ได้ความสูงตกร้อมตามที่กำหนด ซึ่งในการทดสอบได้ปรับเปลี่ยนค่าความสูง (H) 3 ระดับ คือ 10, 15 และ 20 เมตร ตามลำดับ โดยมีการติดตั้งเครื่องวัดความดันเพื่อสอบเทียบและบันทึกค่าในระหว่างการทดลองทุก 5 นาที สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบได้ใช้แสงอาทิตย์จริง ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาและสภาพภูมิอากาศในแต่ละวัน ในการทดลองได้วัดและบันทึกข้อมูลพลังงานตกกระทบโดยใช้ไพรวานอมิเตอร์ Seaward solar survey 200R ซึ่งสามารถวัดและบันทึกได้ทั้งค่าพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบและ

อุณหภูมิ ในส่วนของกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าเครื่องสูบน้ำวัดและบันทึกค่าโดยใช้ดิจิตอลวัตต์มิเตอร์ ซึ่งมีค่าความเที่ยงตรง $\pm 3\%$

ในส่วนของการไหลน้ำถูกวัดและบันทึกทุก 5 นาที โดยใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลชนิดดิจิตอล ค่าความเที่ยงตรง $\pm 2.5\%$ โดยเริ่มทดลองตั้งแต่ 9:00-16:00 น. ของแต่ละวัน สำหรับตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 1 นอกจากนั้นในการทดลองยังได้เก็บและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดช่วงการทดลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่อประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขสภาพแวดล้อมจริง

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่เก็บและบันทึกจากการทดลองจะถูกนำมาวิเคราะห์และประเมินค่าประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สัดส่วนการผลิตกำลังไฟฟ้า ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ และประสิทธิภาพระบบสูบน้ำ ซึ่งมีแนวคิดการวิเคราะห์ในแต่ละส่วนดังรูปที่ 2 กล่าวคือ พลังงานแสงอาทิตย์จะถูกแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า กระแสตรงโดยเซลล์แสงอาทิตย์ หลังจากนั้นพลังงานที่ได้จะถูกส่งไปยังเครื่องสูบน้ำเพื่อแปลงเป็นพลังงานกลสำหรับการสูบน้ำและส่งน้ำขึ้นจากบ่อบาดาล



รูปที่ 2 การเปลี่ยนรูปพลังงาน

สำหรับรายละเอียดความสัมพันธ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์มีดังนี้

ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Efficiency of photovoltaic panel, η_{pv}) คือ ความสามารถในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ (1) [11-14]

$$\eta_{pv} = \frac{P_{pv}}{GA_{pv}} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ η_{pv} คือ ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์, %

P_{pv} คือ กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์, W

G คือ พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ, W/m^2

A_{pv} คือ พื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์, m^2

สัดส่วนการผลิตกำลังไฟฟ้า (Electrical power ratio, PR) คือ ความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ระบุซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ (2)

$$PR = \frac{P_{pv}}{P_{max}} \quad (2)$$

เมื่อ PR คือ สัดส่วนการผลิตกำลังไฟฟ้า, -

P_{pv} คือ กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์, W

P_{max} คือ กำลังไฟฟ้าระบุสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์, W

ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (Efficiency of solar water pump, η_{pump}) นั้นคือความสามารถการแปลงกำลังไฟฟ้าเข้าเครื่องสูบน้ำให้เป็นกำลังไฮดรอลิกส์ (Hydraulic power) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (3) [11-15]

$$\eta_{pump} = \frac{\rho g Q H}{P_{motor}} \times 100\% \quad (3)$$

เมื่อ η_{pump} คือ ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์, %

ρ คือ ความหนาแน่นน้ำเท่ากับ $1,000 \text{ kg/m}^3$

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 9.81 m/s^2

Q คือ อัตราการไหลของน้ำ, m^3/s

H คือ ความดันตกคร่อมเครื่องสูบน้ำ, m

P_{motor} คือ กำลังไฟฟ้ามอเตอร์เครื่องสูบน้ำ, W

จากความสัมพันธ์ข้างต้น สามารถเขียนสมการที่

(3) ให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่ายได้ดังสมการที่ (4)

$$\eta_{\text{pump}} = \frac{9,810QH}{P_{\text{motor}}} \times 100\% \quad (4)$$

ประสิทธิภาพระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (Efficiency of solar water pump system, η_{sys}) คือ ความสามารถในการแปลงกำลังไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ให้เป็นกำลังไฮดรอลิกส์ซึ่งวิเคราะห์ได้โดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (5) [11,12]

$$\eta_{\text{sys}} = \frac{\rho g Q H}{G A_{\text{pv}}} \times 100\% \quad (5)$$

เมื่อ η_{sys} คือ ประสิทธิภาพระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์, %

สมการที่ (5) สามารถเขียนความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปสมการที่ (6)

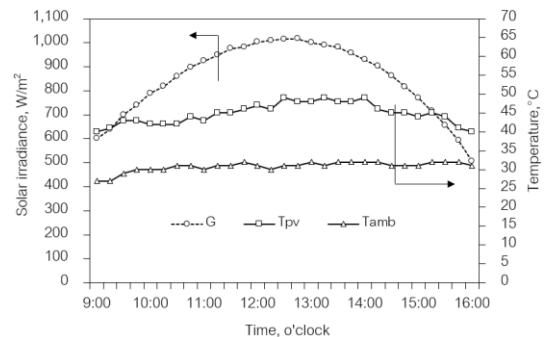
$$\eta_{\text{sys}} = \frac{9,810QH}{G A_{\text{pv}}} \times 100\% \quad (6)$$

สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้ กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ถูกจ่ายให้กับมอเตอร์เครื่องสูบน้ำกระแสตรงผ่านชุดควบคุมซึ่งเกิดการสูญเสียน้อยมาก [15-18] จึงทำให้กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (P_{pv}) มีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้ามอเตอร์เครื่องสูบน้ำ (P_{motor}) ดังนั้นจึงสามารถเขียนความสัมพันธ์ประสิทธิภาพระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในอีกรูปแบบได้ดังสมการที่ (7)

$$\eta_{\text{sys}} = \eta_{\text{pv}} \eta_{\text{pump}} \quad (7)$$

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

จากการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบจุ่มขนาด 300 W สามารถนำเสนอผลการศึกษาในกรณีเงื่อนไขความดันตกคร่อมเครื่องสูบน้ำ (H) เท่ากับ 15 เมตร ได้ดังรูปที่ 3 ถึง 6

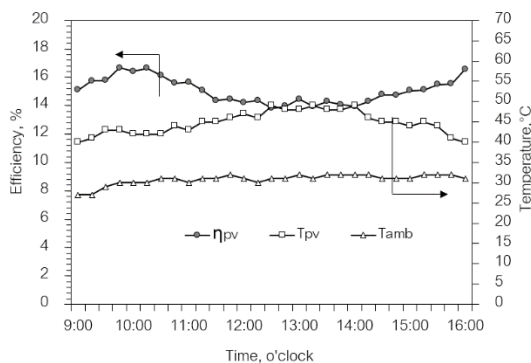


รูปที่ 3 ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ

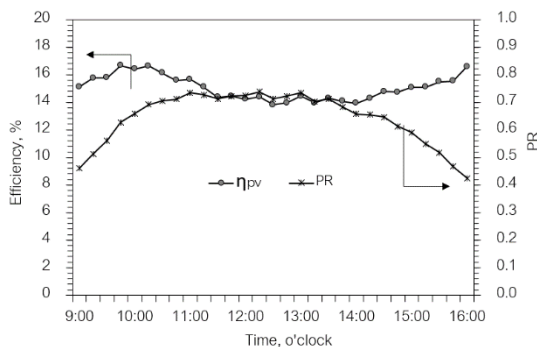
อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมที่เงื่อนไข H เท่ากับ 15 เมตร

รูปที่ 3 นำเสนอข้อมูลการทดลองภายใต้เงื่อนไข H เท่ากับ 15 เมตรหรือ 1.47 Bar ในวันทำการทดลองสภาพท้องฟ้าแจ่มใส ดังนั้นพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบจึงเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาในลักษณะระฆังคว่ำ โดยมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 12:00-13:00 น. และมีพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบเฉลี่ยในช่วงการทดลองเท่ากับ 848 W/m^2 อุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 31 และ 45°C ตามลำดับ จากข้อมูลที่แสดงในรูปที่ 3 เมื่อนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนประสิทธิภาพดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งพบว่าช่วงเวลา 9:30-10:30 น. เป็นช่วงแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูง ทั้งนี้เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวอุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ยังต่ำเมื่อเทียบกับช่วงเวลาอื่น และ

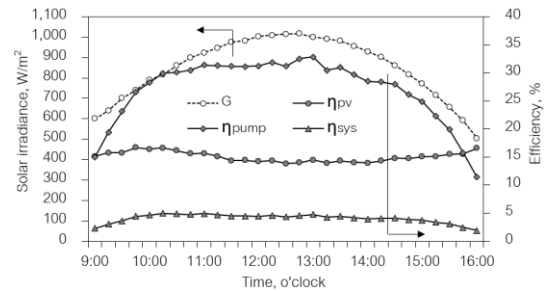
ขณะเดียวกันจะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น (เวลา 11:00-14:00 น.) จะส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลงถึงแม้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบบจะมีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [11-13] ดังนั้นการออกแบบเพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิต่ำหรือมีการระบายความร้อนที่ดีขึ้นจึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึงและให้ความสำคัญในการศึกษาและพัฒนาต่อไปในอนาคต



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมที่เงื่อนไข H เท่ากับ 15 เมตร



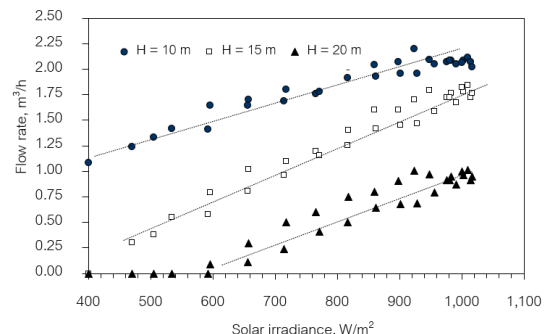
รูปที่ 5 ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ และสัดส่วนการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เงื่อนไข H เท่ากับ 15 เมตร



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องสูบน้ำ และระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่เงื่อนไข H เท่ากับ 15 เมตร

ในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าพิคต์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และพบว่า PR มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.64

รูปที่ 6 นำเสนอประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ และประสิทธิภาพระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 15, 27 และ 4 ตามลำดับ โดยพบว่าในช่วงที่ประสิทธิภาพระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย คือ ช่วงเวลา 10:00-14:30 น. ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 5



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบบและอัตราการสูบน้ำที่แต่ละความดันตกคร่อม

ผลจากการทดลองเก็บข้อมูลอัตราการสูบน้ำที่แต่ละความดันตกคร่อม เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบเปลี่ยนแปลง สามารถนำเสนอข้อมูลได้ดังรูปที่ 7 จากข้อมูลพบว่า ที่ความดันตกคร่อมเท่ากับ 20, 15 และ 10 เมตร ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จะมีอัตราการสูบน้ำสูงสุดเท่ากับ 1.0, 1.8 และ 2.1 m³/h ตามลำดับ ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบระหว่าง 900-1,000 W/m² นอกจากนั้นยังพบว่า ที่แต่ละความดันตกคร่อมระบบจะเริ่มทำงานหรือส่งน้ำได้ที่ค่าพลังงานตกกระทบแตกต่างกัน เช่น ที่ความดันตกคร่อม H เท่ากับ 20 และ 15 เมตร ระบบจะสามารถส่งน้ำได้เมื่อมีพลังงานตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 600 และ 450 W/m² ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาที่พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบเท่ากัน จะพบว่า ระบบจะมีอัตราการสูบน้ำเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความดันตกคร่อมลดลง ซึ่งสอดคล้องตามความสัมพันธ์ของสมการกำลังไฮดรอลิกส์และสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [10-13] ในส่วนของข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 1 ได้สรุปผลการวิเคราะห์ภาพรวมของระบบแต่ละเงื่อนไข ในการทดลองได้ดำเนินการทดลองหลายซ้ำ และได้เลือกข้อมูลผลการทดลอง 3 ครั้งที่มีเงื่อนไขพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบแสดงผลการวิเคราะห์ภาพรวมในแต่ละเงื่อนไข

ดังข้อมูลในตารางที่ 1 จากข้อมูลที่สรุปในตารางจะพบว่า เงื่อนไขที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด คือ กรณีความดันตกคร่อมเท่ากับ 20 เมตร ซึ่งปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพระบบต่ำกว่าเงื่อนไขอื่นเนื่องจากระบบจะเริ่มสูบน้ำและส่งน้ำได้เมื่อมีพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบมากกว่า 600 W/m² ดังข้อมูลที่แสดงในรูปที่ 7 และจากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และสัดส่วนการผลิตกำลังไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 15 และ 0.64 ตามลำดับ โดยเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 22.0-27.0 และ 3.3-4.0 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [19-21] สำหรับกรณีประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำที่มีค่าเปลี่ยนแปลงหรือเมื่อความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง โดยปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลักคือ ความดันตกคร่อม อัตราการไหล และความเร็วรอบ ซึ่งประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำที่ได้จะมีลักษณะความสัมพันธ์คล้ายรูปประฆังคว่ำ เนื่องจากเมื่อความดันตกคร่อมมากขึ้น เครื่องสูบน้ำต้องใช้กำลังเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่อัตราการไหลจะลดลง ดังข้อมูลที่แสดงในรูปที่ 7

ตารางที่ 1 ข้อมูลสรุปผลการวิเคราะห์แต่ละเงื่อนไข

รายการ	ความดันตกคร่อม H (m)		
	10	15	20
พลังงานแสงอาทิตย์ตก กระทบเฉลี่ย (G), W/m^2	845	848	850
อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย (T_{amb}), $^{\circ}C$	32	31	33
อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ เฉลี่ย (T_{pv}), $^{\circ}C$	45	45	46
ประสิทธิภาพแผงเซลล์ แสงอาทิตย์เฉลี่ย (η_{pv}), %	15	15	15
สัดส่วนการผลิต กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (PR), -	0.64	0.64	0.64
ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย (η_{pump}), %	26	27	22
ประสิทธิภาพระบบสูบน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย (η_{sys}), %	3.9	4.0	3.3

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้สร้างชุดทดสอบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกำลังไฟฟ้าเครื่องสูบน้ำ 300 W เป็นเครื่องสูบน้ำชนิดจุ่ม ใช้กำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 340 W_p ในการศึกษาได้ทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ สัดส่วนการผลิตกำลังไฟฟ้า ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ และประสิทธิภาพระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ผลจากการทดลองพบว่า ระบบเครื่องสูบน้ำพลังงาน

แสงอาทิตย์สามารถสูบน้ำได้ในอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 2.1 m^3/h ที่ความดันตกคร่อมเท่ากับ 10 เมตร นอกจากนั้นยังพบว่า ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และสัดส่วนการผลิตกำลังไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 15 และ 0.64 ตามลำดับ โดยเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 22.0-27.0 และ 3.3-4.0 ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนและอุปกรณ์ในการวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Shrey V, Shubham M, Subhankar C, Ambar G, Subhashree M, Archana S and Puneet V. Solar PV powered water pumping system – A review. Materials Today: Proceedings. 2021: 5601-06.
- [2] Olga VS, Alexander TB and Sergei VC. Review of photovoltaic water pumping system research. Energy Reports. 2020; 6(6): 306-24.
- [3] Shinde VB and Wandre SS. Solar photovoltaic water pumping system for irrigation: A review. African Journal of Agricultural Research. 2015; 10(22): 2267-73.

- [4] Kala M, Sadru I and Steven B. Solar photovoltaic water pumping—opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008; 2(4): 1162-75.
- [5] Mangesh RD, Vaibhav SG, Chetan PP. Review on solar photovoltaic water pumping system. *IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development*. 2017; 5(1): 1042-5.
- [6] Chaianong A and Pharino C. Outlook and challenges for promoting solar photovoltaic rooftops in Thailand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015; 48: 356-72.
- [7] Chimres N and Wongwises S. Critical review of the current status of solar energy in Thailand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016; 58: 198-207.
- [8] Kedar M and Robin R. Design and development of solar water pump. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*. 2017; 5(4): 126-9.
- [9] Said MAI, El-Ghetanyb HH and Shabaka AGM. Comprehensive design tool for sizing solar water pumping system in Egypt. *Applied Solar Energy*. 2020; 56(1): 18–29.
- [10] Ben GB. Performance of submersible PV water pumping systems in Tunisia. *Energy for Sustainable Development*. 2012; 16(4): 415-20.
- [11] Korpalea VS, Kokatea DH and Deshmukha SP. Performance assessment of solar agricultural water pumping system. *Energy Procedia*. 2016; 90: 518–24.
- [12] Ahmed M, Djamila R and Nabil M. Experimental study of a PV water pumping system. *Journal Electrical Systems*. 2013; 9(2): 212-22.
- [13] Arunendra KT and Vilas RK. Effect of total head and solar radiation on the performance of solar water pumping system. *Renewable Energy*. 2018; 118: 919-27.
- [14] Ibrahim SMA, El-Ghetany HH and Shabak AGM. Mathematical modeling and performance evaluation for a solar water pumping system in Egypt. *Journal of Al Azhar University Engineering Sector*. 2018; 13(48): 946-57.
- [15] Santosh SR and Vikas K. Sizing and implementation of photovoltaic water pumping system for irrigation. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*. 2018; 7(1): 54-62.

- [16] Allouhi A, Buker MS, El-houari H, Boharb A, Benzakour MA, Kousksou T and Jamil A. PV water pumping systems for domestic uses in remote areas: sizing process, simulation and economic evaluation. *Renewable Energy*. 2019; 132: 798-812.
- [17] Odesola IF, Adekunle NO and Akinwonmi RA. Performance evaluation of a photovoltaic pumping system in Funaab community. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2020; 9(6): 444-9.
- [18] Agabi IJ and Nyoko AP. Design procedures for photovoltaic solar water pumping system for rural communities. *International Journal of Scientific Engineering and Science*. 2021; 5(6): 13-9.
- [19] Abdolzadeh M. and Ameri M. Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells. *Renewable Energy*. 2009; 34, 91-6.
- [20] Benghanem M. Daffallah KO, Alamri SN and Joraid AA. Effect of pumping head on solar water pumping system. *Energy Conversion and Management*. 2014; 77, 334-9.
- [21] Rosa JC, Urânio SM and Diana N. Design and performance of photovoltaic water pumping systems: comprehensive review towards a renewable strategy for Mozambique. *Journal of Power and Energy Engineering*. 2018; 6, 32-63.