



## การหาขนาดและการทดสอบระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่าย Simple Sizing and Testing of Solar Water Pump System

กิตติยาพร พงศ์พีระ\* ทรงสุภา พุ่มชุมพล ชاکริต โพธิ์งาม อภินันต์ นามเขต และ อัมไพศักดิ์ ทีบุญมา  
Kittiyaphon Pongpeera\*, Songsupa Pumchumpol, Chakrit Po-Ngam, Apinunt Namkhat and Umphisak Teeboonma

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

\*E-mail : Kittiyaphon.po.64@ubu.ac.th

### บทคัดย่อ

การทำการเกษตรในพื้นที่ประเทศไทยส่วนใหญ่ขาดแคลนแหล่งน้ำ ทำให้เกษตรกรเจาะบาดาลเพื่อใช้เป็นแหล่งน้ำในการเพาะปลูก นอกจากนั้นพื้นที่การเกษตรส่วนใหญ่อยู่นอกเขตสายส่งไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้ทำให้การประยุกต์ใช้เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามการหาขนาดระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ง่ายและการทดสอบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ยังคงเป็นข้อมูลสำคัญที่เกษตรกรควรศึกษาและทำความเข้าใจ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอขั้นตอนการหาขนาดและการทดสอบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่าย นอกจากนั้นยังได้ศึกษาประสิทธิภาพระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ การทดสอบประสิทธิภาพระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ดำเนินการภายใต้เงื่อนไขความดันตกคร่อมรวมเท่ากับ 10 เมตร และพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบตามสภาพแวดล้อมจริง โดยมีเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ และประสิทธิภาพรวมระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ผลจากการศึกษาพบว่า ขั้นตอนการหาขนาดระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายสามารถประยุกต์ใช้ได้จริง นอกจากนั้นยังพบว่า ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 15.8%, 24.4% และ 3.9% ตามลำดับ

**คำสำคัญ :** การออกแบบอย่างง่าย เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

### 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, a simple sizing and testing of solar water pump system are still an importance information that the farmer should study and understand. Therefore, the simple procedure for sizing and testing the solar water pump system was presented in this research. Furthermore, the efficiency of solar water pump system was also studied. Experiments were conducted on the following conditions: total dynamic head of 10m and real conditions of solar irradiance. The criteria for evaluating the efficiency of solar water pump system were photovoltaic panel efficiency, efficiency of solar water pump and overall efficiency of solar water pump system. It was found from study results that a simple procedure for sizing the solar water pump system can be practically applied.



Additionally, it was also showed that efficiency of photovoltaic panel, solar water pump and overall solar water system are 15.8%, 24.4% and 3.9%, respectively.

**Keywords :** Simple Design, Solar Water Pump, Efficiency of Solar Water Pump System

## บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียนที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะนอกจากจะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะโลกร้อน อีกทั้งไม่มีราคาต้นทุนของวัตถุดิบในหลายประเทศได้ส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกล ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง หรือกระทั่งในพื้นที่สายส่งการไฟฟ้าเข้าถึงก็มีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ประเทศไทยมีพื้นที่ตั้งอยู่ใกล้แนวเส้นศูนย์สูตรของโลก ซึ่งจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงตลอดทั้งปี ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม โดยปัจจัยที่สำคัญในการทำเกษตรกรรมคือ น้ำ อย่างไรก็ตาม สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยมีความแปรปรวน ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากภาวะโลกร้อน ทำให้ฝนไม่ตกตามฤดูกาลส่งผลให้ปริมาณน้ำเพื่อใช้ในการเกษตรไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องมีการจัดหาทรัพยากรน้ำจากแหล่งอื่นเพื่อมาใช้ในการเกษตร โดยมีทั้งการขุดบ่อเพื่อกักเก็บน้ำไว้ในช่วงฤดูแล้งหรือเจาะบ่อบาดาลเพื่อนำน้ำใต้ดินมาใช้ประโยชน์ อีกทั้งพื้นที่ในการทำเกษตรนั้นห่างไกลจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า เกษตรกรจึงจำเป็นต้องใช้พลังงานรูปแบบอื่นมาทดแทนเพื่อสูบน้ำในการทำเกษตร โดยในอดีตมีการใช้เครื่องสูบน้ำที่มีต้นกำลังจากเครื่องยนต์ ซึ่งมีต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นเนื่องจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาค่อนข้างสูงและผันผวน จึงส่งผลให้เกษตรกรมีกำไรหรือรายได้ลดลงตามไปด้วย อีกทั้งประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนพลังงานจากเชื้อเพลิงมาเป็นพลังงานกลนั้นก็ยังมีประสิทธิภาพที่ต่ำ (Kala et al., 2008; Shinde and Wandre, 2015) และยังคงสร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Mangesh et al., 2017; Olga et al., 2020; Shrey et al., 2021)

จากผลกระทบด้านต้นทุนและมลภาวะที่กล่าวมาข้างต้น เกษตรกรจึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถนำมาใช้ในการเกษตร จึงเป็นที่มาของการนำระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการเกษตร แต่อย่างไรก็ตามในการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้นั้น ต้องคำนึงถึงขนาดของระบบที่เหมาะสม หากใช้ระบบขนาดเล็กเกินไป จะทำให้มีน้ำไม่เพียงพอสำหรับการเกษตร แต่หากระบบมีขนาดใหญ่เกินไป นอกจากเป็นการเพิ่มต้นทุนแล้ว ยังส่งผลให้น้ำในบ่อบาดาลแห้งเนื่องจากอัตราการสูบน้ำสูงกว่าความสามารถของบ่อที่จะให้น้ำ ส่งผลให้เครื่องสูบน้ำทำงานหนัก จนเกิดความร้อนสูง และอาจมีสิ่งแปลกปลอมไหลเข้าไปในเครื่องสูบน้ำ ทำให้เป็นการเพิ่มแรงเสียดทานการไหล อีกทั้งยังส่งผลให้เลือกอุปกรณ์สำหรับสร้างระบบผิดขนาด ฉะนั้นการเลือกขนาดของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ให้เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างมาก ถึงแม้ต้นทุนในการสร้างระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง (Ben, 2012; Korpalea et al., 2016) แต่ข้อดีของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์คือไม่มีต้นทุนของวัตถุดิบที่นำมาผลิตไฟฟ้า อีกทั้งค่าบำรุงรักษาต่ำเมื่อเทียบกับระบบสูบน้ำที่มีต้นกำลังจากเครื่องยนต์ (Kedar and Robin, 2017; Said et al., 2020)

อย่างไรก็ตามระบบสูบน้ำแสงอาทิตย์ยังมีข้อจำกัด คือ ระบบไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์ ถึงกระนั้นข้อจำกัดดังกล่าวถือเป็นเรื่องที่สามารถแก้ไขได้ เนื่องจากเกษตรกรสามารถสูบน้ำเก็บไว้ในถังเก็บน้ำเพื่อใช้ในเวลากลางคืน ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงศึกษาขั้นตอนการหาขนาดระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายเพื่อเพิ่มความสะดวกให้กับเกษตรกร รวมทั้งได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาในการประเมินประสิทธิภาพระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์



## วิธีการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยได้แบ่งขอบเขตงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจะดำเนินการศึกษาขั้นตอนการออกแบบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่าย และส่วนที่สองเป็นการออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาในการทดสอบสมรรถนะระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

### ขั้นตอนการหาขนาดระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

การหาขนาดระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขการออกแบบที่ต้องการนั้นมีขั้นตอนอย่างง่ายดังนี้

#### 1. การกำหนดปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ต่อวัน

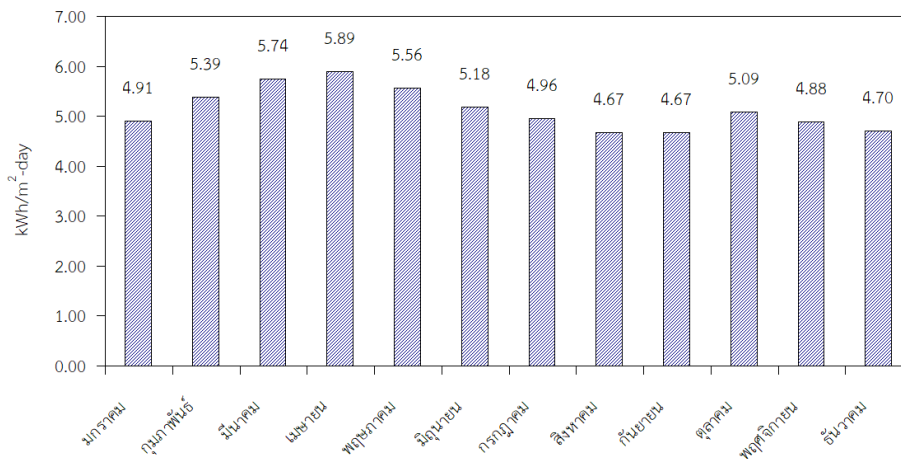
ตัวแปรสำคัญประเด็นแรกที่ใช้ในระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ต้องทราบ คือ ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ต่อวัน ( $V$ ,  $m^3/day$ ) ซึ่งเมื่อทราบข้อมูลชั่วโมงแดดสูงสุดต่อวัน (Peak Sun Hour, PSH) หรือศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยในแต่ละเดือนตั้งข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์พื้นที่จังหวัดอุบลราชธานีที่แสดงในภาพที่ 1 ผู้ออกแบบก็จะสามารถวิเคราะห์หาอัตราการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำ โดยใช้สมการที่ (1)

$$Q = \frac{V}{3,600PSH} \quad (1)$$

เมื่อ  $Q$  คือ อัตราการสูบน้ำ,  $m^3/s$

$V$  คือ ปริมาณน้ำที่ต้องการต่อวัน,  $m^3/d$

PSH คือ ชั่วโมงแดดสูงสุดต่อวัน,  $h/d$



ภาพที่ 1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยเขตพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี

#### 2. กำหนดความดันตกคร่อมทั้งหมดที่ต้องการ

ความดันตกคร่อมรวมทั้งหมดที่ต้องการ (Total Dynamic Head, TDH) การระบุความดันตกคร่อมรวมทั้งหมดมีหลักการเบื้องต้น คือ

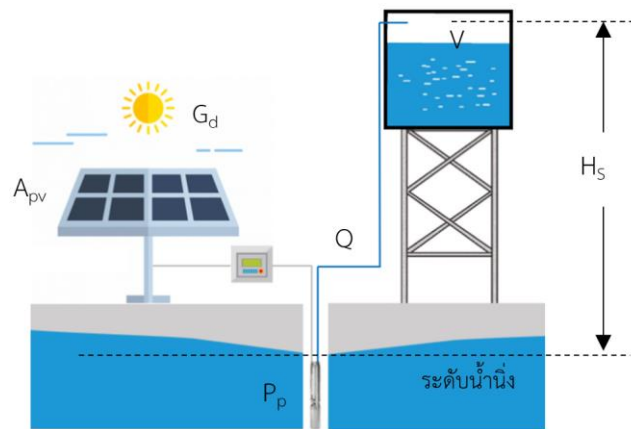
$$TDH = H_S + H_{L1} + H_{L2} \quad (2)$$

เมื่อ TDH คือ ความดันตกคร่อมรวม, m

$H_s$  คือ ความดันตกคร่อมสถิต หรือผลต่างความสูงซึ่งวัดจากระดับน้ำนิ่งในบ่อจนถึงปลายท่อ ณ จุดส่งน้ำ  
ดังแสดงในภาพที่ 2, m

$H_{L1}$  คือ ความดันตกคร่อมที่เกิดจากไหลในท่อ, m

$H_{L2}$  คือ ความดันตกคร่อมที่เกิดจากอุปกรณ์ต่อเชื่อม เช่น ข้องอ ข้อลดและวาล์วน้ำ เป็นต้น, m



ภาพที่ 2 แบบจำลองการวิเคราะห์ความดันตกคร่อม

ในส่วนของการคำนวณหา  $H_{L1}$  สามารถใช้ความสัมพันธ์ของ Darcy-Weisbach ซึ่งมีรายละเอียดดังสมการที่ (3)

$$H_{L1} = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

เมื่อ  $f$  คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในท่อ, ไร้มิติ

$L$  คือ ความยาวท่อทั้งหมด, m

$D$  คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ, m

$g$  คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก,  $m/s^2$

$v$  คือ ความเร็วของน้ำในท่อ, m/s

ในทำนองเดียวกันส่วนของการคำนวณหา  $H_{L2}$  สามารถวิเคราะห์หาโดยใช้สมการที่ (4)

$$H_{L2} = k \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

เมื่อ  $k$  คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ข้อต่อ ข้อลด และวาล์ว เป็นต้น

การคำนวณความดันตกคร่อมรวมถึงแม้จะมีการวิเคราะห์ที่ยุ่งยากและหลายขั้นตอน อย่างไรก็ตามหากระบบท่อตั้งแต่วางออกเครื่องสูบน้ำจนถึงจุดปล่อยน้ำหากมีความยาวน้อยกว่า 100 เมตร ผู้ออกแบบสามารถใช้ค่าประมาณการได้เนื่องจากกรณีความยาวท่อน้อยกว่า 100 เมตร ความดันตกคร่อมที่เกิดจากการไหลในท่อและอุปกรณ์ต่อพ่วงจะมีค่าประมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์ของความดันตกคร่อมสถิต ( $H_s$ ) ดังนั้นสมการที่ (2) สามารถเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ (5)

$$TDH = H_s + 0.025H_s \quad (5)$$



### 3. การเลือกขนาดเครื่องสูบน้ำ

ขนาดของเครื่องสูบน้ำที่จะเลือกมีหลักการวิเคราะห์ โดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (6)

$$P_p = \frac{\rho g Q(TDH)}{\eta_p} \quad (6)$$

เมื่อ  $P_p$  คือ กำลังไฟฟ้าเครื่องสูบน้ำ, W

$\rho$  คือ ความหนาแน่นน้ำ,  $\text{kg/m}^3$

$\eta_p$  คือ ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ

อย่างไรก็ตามเพื่อให้ง่ายต่อการหาขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สมการที่ (6) จะถูกแปลงเป็นพลังงานที่ใช้สำหรับสูบน้ำให้ได้ปริมาณตามที่ต้องการซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (7)

$$E_p = \frac{\rho g Q(TDH)PSH}{1,000\eta_p} \quad (7)$$

เมื่อ  $E_p$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องสูบน้ำใช้ต่อวัน, kWh/d

### 4. การกำหนดขนาดพื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์

การหาขนาดพื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหาโดยใช้หลักการสมดุลกำลังไฟฟ้า โดยกำลังไฟฟ้าที่แผงผลิตได้เท่ากับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องสูบน้ำต้องการ ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ดังสมการที่ (8)

$$A_{pv} = \frac{\rho g Q(TDH)PSH}{1,000G_d \eta_{pv} \eta_p F_e} \quad (8)$$

เมื่อ  $A_{pv}$  คือ พื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์,  $\text{m}^2$

$G_d$  คือ ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบเฉลี่ยรายวัน,  $\text{kWh/m}^2$

$\eta_{pv}$  คือ ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$F_e$  คือ แฟกเตอร์ชดเชยการลดลงของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากอุณหภูมิและการเชื่อมต่อระบบ

#### ชุดทดลอง

ภาพที่ 3 แสดงแผนผังชุดทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ โดยประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

#### 1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์

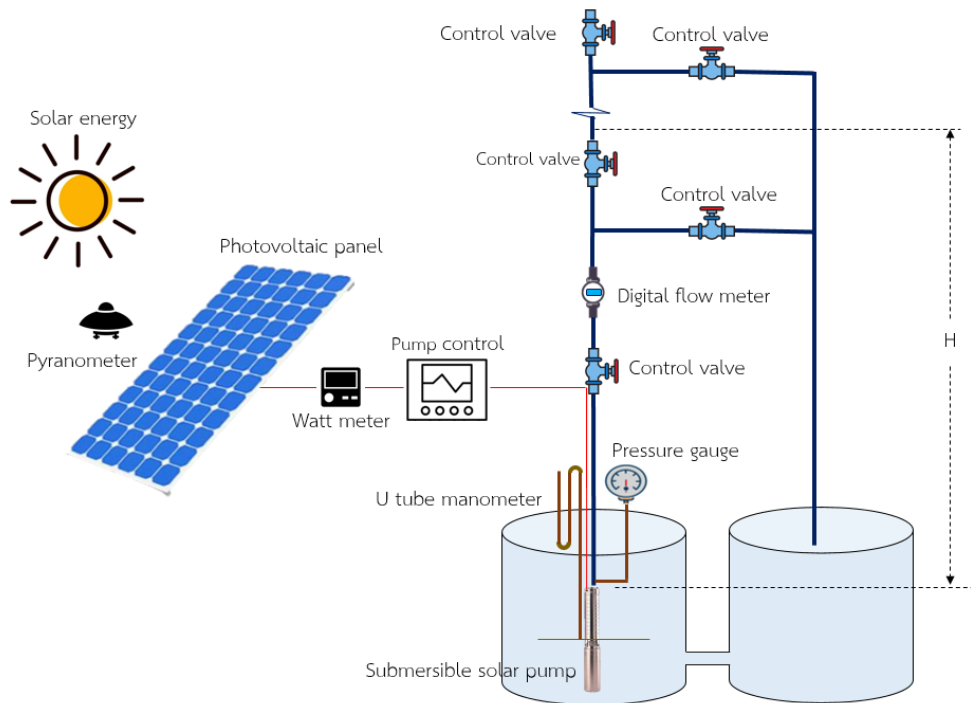
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานวิจัยนี้เป็นชนิดผลึกรวมขนาด 340 Wp แรงดันไฟฟ้าและกระแสสูงสุดเท่ากับ 43.5 V และ 9.64 A ตามลำดับ

#### 2. ชุดควบคุมและเครื่องสูบน้ำ

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

#### 3. ชุดสร้างแรงดันตกคร่อมเครื่องสูบน้ำ

ชุดสร้างแรงดันตกคร่อมจะใช้ท่อ PVC ซึ่งสามารถเพิ่มหรือลดความสูงได้โดยการต่อผ่านข้อต่อแบบยูเนียน เพื่อสร้างความดันตกคร่อมเสมือนจริงให้กับเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ในการทดลองท่อจะถูกต่อยึดกับโครงสร้างอาคาร เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและให้สามารถรับน้ำหนักปริมาณน้ำในท่อ



ภาพที่ 3 แผนผังชุดทดสอบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

### วิธีการวิจัย

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ เริ่มต้นจากติดตั้งท่อส่งน้ำให้ได้ความสูงตกคร่อมตามที่กำหนด ซึ่งในงานนี้ได้ใช้ความดันตกคร่อมรวมเท่ากับ 10 เมตรน้ำ เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นความสูงที่สามารถปรับตั้งชุดทดลองได้สะดวก และใกล้เคียงกับความรู้สึกในการติดตั้งเครื่องสูบน้ำแบบจุ่มในบ่อบาดาลตามไร่นาทั่วไป ซึ่งดำเนินการทดสอบภายใต้สภาวะพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบจริง ชุดทดลองได้มีการติดตั้งเครื่องวัดความดันเพื่อสอบเทียบและบันทึกค่าในระหว่างการทดลองทุก 5 นาที ข้อมูลพลังงานตกกระทบของแสงอาทิตย์วัดและบันทึกค่าอัตโนมัติทุก 5 นาที โดยใช้ไพรานอมิเตอร์ ในส่วนของกำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตและกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าเครื่องสูบน้ำ ได้ทำการวัดและบันทึกค่าอัตโนมัติทุก 5 นาที โดยใช้วัตต์มิเตอร์ และสุดท้ายในส่วนของอัตราการไหลน้ำถูกวัดและบันทึกค่าอัตโนมัติทุก 5 นาที โดยใช้มิเตอร์อัตราการไหลแบบดิจิตอล นอกจากนี้ในการทดลองยังได้เก็บและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด เค ต่อเชื่อมกับอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติเพื่อบันทึกข้อมูลทุก 5 นาที สำหรับการติดตั้งเครื่องมือวัดมีรายละเอียด ดังแสดงในภาพที่ 3

### การประเมินประสิทธิภาพระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ข้อมูลจากการทดลองจะถูกนำมาวิเคราะห์และประเมินหาประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ และประสิทธิภาพรวมระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับรายละเอียดความสัมพันธ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์มีดังนี้



1. ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Efficiency of photovoltaic panel,  $\eta_{pv}$ ) คือ ความสามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ (9) (Ahmed et al., 2013; Ibrahim et al., 2018; Allouhi et al., 2019)

$$\eta_{pv} = \frac{P_{pv}}{GA_{pv}} \times 100\% \quad (9)$$

เมื่อ  $P_{pv}$  คือ กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์, W

$G$  คือ พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบชั่วขณะ,  $W/m^2$

2. ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (Efficiency of solar water pump,  $\eta_p$ ) คือ ความสามารถแปลงกำลังไฟฟ้าเข้าเครื่องสูบน้ำให้เป็นกำลังไฮดรอลิกส์ (Hydraulic power) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (10) (Ahmed et al., 2013; Ibrahim et al., 2018; Allouhi et al., 2019)

$$\eta_p = \frac{9,810Q(TDH)}{P_p} \times 100\% \quad (10)$$

3. ประสิทธิภาพรวมระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (Overall efficiency of solar water pump system,  $\eta_{sys}$ ) คือ ความสามารถแปลงกำลังไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ให้เป็นกำลังไฮดรอลิกส์ ซึ่งวิเคราะห์โดยสมการที่ (11)

$$\eta_{sys} = \frac{9,810Q(TDH)}{GA_{pv}} \times 100\% \quad (11)$$

## ผลการวิจัย

### 1. ผลการวิเคราะห์ขั้นตอนการออกแบบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่าย

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการหาขนาดระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่าย

ลำดับ	รายการ	วิธีการประมาณ
1	กำหนดปริมาณน้ำที่ต้องการต่อวัน ( $V$ , $m^3/d$ )	หนึ่งคนใช้น้ำเฉลี่ย 50 ลิตร/วัน หรือพื้นที่ใช้น้ำน้อยเฉลี่ย 5 $m^3$ /ไร่/วัน
2	เลือกศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้วิเคราะห์สามารถเลือกค่าต่ำสุดหรือค่าเฉลี่ย ( $G_d$ , $kWh/m^2-d$ )	พิจารณาจากข้อมูลที่เก็บและรวบรวมโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน $G_d$ ประเทศไทยค่าเฉลี่ยที่แนะนำคือ 4.5 $kWh/m^2-d$ หรือเทียบเท่าชั่วโมงแดดสูงสุด 4.5h
3	กำหนดความดันตกคร่อมรวมของระบบ (TDH, m)	หลักการตามภาพที่ 2 และคำนวณตามสมการที่ (5)
4	หาขนาดเครื่องสูบน้ำ ( $P_p$ , W)	ใช้สมการที่ (6) เพื่อหา $P_p$ ; โดยใช้ค่า $\eta_p$ ประมาณ 25%
5	หาขนาดพื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $A_{pv}$ , $m^2$ )	ใช้สมการที่ (8) เพื่อหา $A_{pv}$ ; โดยประมาณค่า $\eta_{pv}$ และ $F_e$ เท่ากับ 14% และ 0.90 ตามลำดับ
6	เลือกเครื่องสูบน้ำและแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยปรับขนาดให้สอดคล้องกับที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด	ขนาดเครื่องสูบน้ำที่มีจำหน่ายแพร่หลาย คือ 300, 550, 750 และ 1,100W ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หาง่าย คือ 340, 400, และ 450W <sub>p</sub>



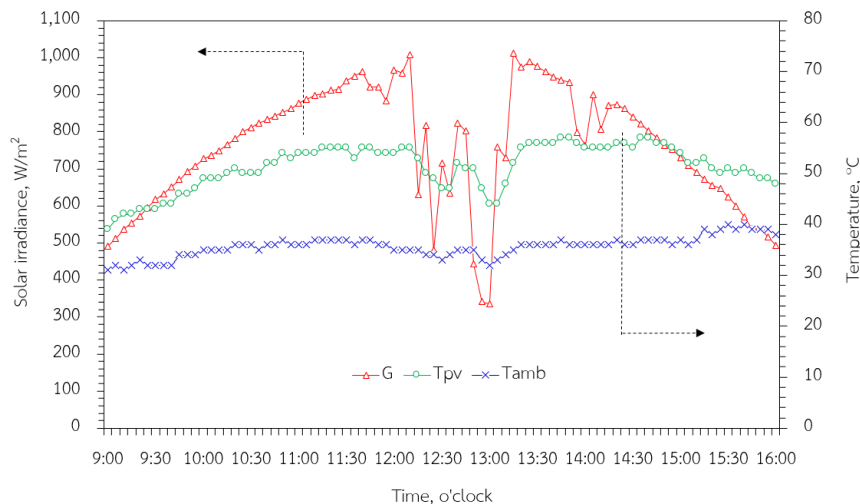
การออกแบบระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายนั้นมีขั้นตอน คือ เริ่มต้นจากการกำหนดปริมาณน้ำที่ต้องการใช้แต่ละวัน และพิจารณาข้อมูลชั่วโมงแดดสูงสุดจากศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยในแต่ละเดือนของพื้นที่ที่ต้องการออกแบบ หลังจากนั้นก็จะสามารถวิเคราะห์หาขนาดเครื่องสูบน้ำ และขนาดพื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตามลำดับ โดยสามารถเขียนสรุปขั้นตอนได้ดังตารางที่ 1

## 2. ผลการหาขนาดระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษา

การหาขนาดระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเริ่มต้นจากการสมมติความต้องการใช้น้ำเท่ากับ  $5 \text{ m}^3/\text{d}$  และเลือกใช้ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ ( $G_p$ )  $4.5 \text{ kWh/m}^2\text{-d}$  ซึ่งเทียบเท่า PSH เท่ากับ 4.5 ชั่วโมง โดยพิจารณาที่ผลต่างความสูงระดับน้ำจากด้านสูบจนถึงด้านส่งน้ำเท่า 15 m (จะได้ความดันตกคร่อมรวมเท่ากับ  $15 + 0.025 \times 15 = 15.38 \text{ m}$ ) และใช้สมมติฐานประสิทธิภาพตามข้อมูลในตารางที่ 1 จะได้ขนาดเครื่องสูบน้ำเท่ากับ 189W และขนาดพื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์  $1.48 \text{ m}^2$  หรือขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ  $207 \text{ W}_p$  ดังนั้น การเลือกขนาดจะปรับให้สอดคล้องกับอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายก็จะได้อุปกรณ์เครื่องสูบน้ำ 300W และขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์  $340 \text{ W}_p$  ตามลำดับ ซึ่งเป็นที่มาขนาดของชุดทดลองที่ใช้เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้

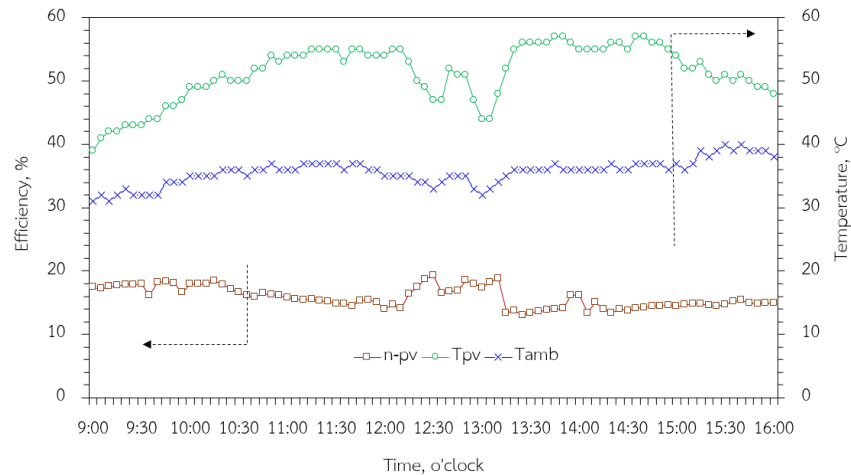
## 3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่ 4 นำเสนอข้อมูลการทดลองในวันที่สภาพท้องฟ้าแจ่มใสและมีเมฆหมอกบางส่วนช่วงเวลา 12.00-13.00 น. ดังนั้นจะพบว่า พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบจึงเปลี่ยนตามเวลาในลักษณะระฆังคว่ำ และมีช่วงเวลาที่พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา 12.00-13.00 น. โดยมีพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบเฉลี่ยในช่วงดำเนินการทดลองเท่ากับ  $760 \text{ W/m}^2$  หรือพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบตลอดทั้งวันเท่า  $19.42 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$  อุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ  $36^\circ\text{C}$  และ  $51^\circ\text{C}$  ตามลำดับ จากข้อมูลที่แสดงในภาพที่ 4 เมื่อนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพดังแสดงในภาพที่ 5 จากข้อมูลจะสังเกตเห็นได้อย่างชัดคือ เมื่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น (ช่วงเวลา 10.30-11.30 น.) จะส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา คือเมื่ออุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง (Ahmed et al., 2013; Ibrahim et al., 2018; Allouhi et al., 2019)



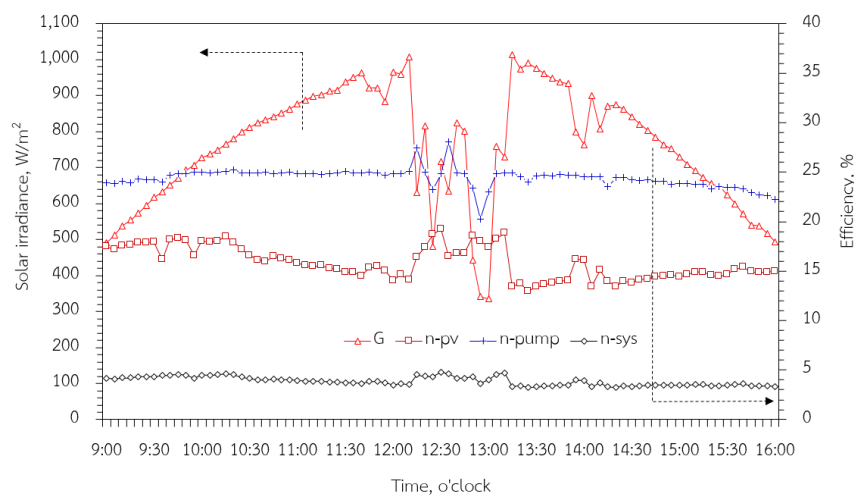
ภาพที่ 4 ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบ อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม





ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม

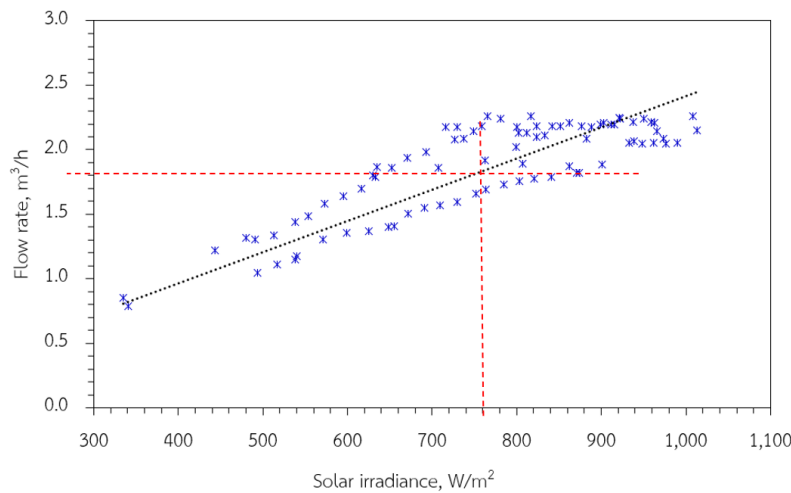
ภาพที่ 6 นำเสนอประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ที่เงื่อนไขการทดลองความดันตกคร่อมรวมเท่ากับ 10 เมตรน้ำ จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ และประสิทธิภาพระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.8%, 24.4% และ 3.9% ตามลำดับ โดยพบว่าประสิทธิภาพระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเครื่องสูบน้ำ



ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องสูบน้ำและระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่ 7 นำเสนอข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบและอัตราการสูบน้ำที่เงื่อนไขการทดลอง ความดันตกคร่อมรวมเท่ากับ 10 เมตรน้ำ หากพิจารณา ค่าเฉลี่ยพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบในวันทดสอบซึ่งเท่ากับ  $760 \text{ W/m}^2$  เครื่องสูบน้ำจะมีอัตราการสูบน้ำเท่ากับ  $1.6 \text{ m}^3/\text{h}$  และเมื่อวิเคราะห์ย้อนกลับเพื่อประมาณปริมาณน้ำที่สามารถสูบน้ำได้โดยใช้ข้อมูล

ชั่วโมงแดดสูงสุดเท่ากับ 4.5 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเงื่อนไขการออกแบบจะได้ปริมาณน้ำตลอดทั้งวันประมาณ  $7.2 \text{ m}^3/\text{d}$  ซึ่งต่ำกว่าค่าที่บันทึกโดยดิจิทัลมิเตอร์ โดยค่าที่บันทึกได้จากการทดลองจริงตลอดทั้งวันมีค่าเท่ากับ  $8.5 \text{ m}^3/\text{d}$  สำหรับปัจจัยที่ทำให้ปริมาณน้ำที่สูงได้จากการทดลองจริงสูงกว่าค่าที่ประมาณการในทางทฤษฎี เนื่องจากในวันทดลองมีพลังงานแสงอาทิตย์ตั้งแต่วันที่ 9.00-16.00 น. เท่ากับ  $19.42 \text{ MJ}/\text{m}^2\text{-day}$  หรือเทียบเท่าชั่วโมงแดดสูงสุดเท่ากับ 5.39 ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าค่าที่ใช้ในการประมาณสำหรับการออกแบบ ดังนั้น จึงส่งผลให้ค่าที่ได้จากการทดลองจริงสูงกว่าค่าที่คำนวณ



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบและอัตราการสูบน้ำ

### อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอขั้นตอนการหาขนาดและการทดสอบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่าย นอกจากนั้น ยังได้สร้างชุดทดสอบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษา โดยใช้เครื่องสูบน้ำไฟฟ้ากระแสตรงแบบจุ่มขนาดกำลังไฟฟ้า 300 W คู่กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 340 Wp ผลการศึกษาพบว่า ขั้นตอนการหาขนาดระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สามารถประยุกต์ใช้งานได้จริงโดยใช้ชั่วโมงแดดสูงสุดเท่ากับ 4.5 ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของประเทศไทยในการคำนวณ และเมื่อนำไปออกแบบและสร้างระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า สามารถทำงานได้จริงและให้อัตราการสูบน้ำสูงกว่าการออกแบบ เนื่องจากการทดลองในช่วงฤดูร้อนซึ่งมีค่าชั่วโมงแดดสูง

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนและอุปกรณ์ในการวิจัยในครั้งนี้



## เอกสารอ้างอิง

- Ahmed, M., Djamila, R. and Nabil, M. (2013). Experimental study of a PV water pumping system. *Journal Electrical Systems*, 9(2), 212-222.
- Allouhi, A, Buker, M.S, EL-houari, H, Boharb, A, Benzakour, M.A, Kousksou, T. and Jamil, A. (2019). PV water pumping systems for domestic uses in remote areas: sizing process, simulation and economic evaluation. *Renewable Energy*, 132, 798-812.
- Ben, G.B. (2012). Performance of submersible PV water pumping systems in Tunisia. *Energy for Sustainable Development*, 16(4), 415-420.
- Kala, M., Sadru, I. and Steven, B. (2008). Solar photovoltaic water pumping-opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2(4), 1162-1175.
- Kedar, M. and Robin, R. (2017). Design and development of solar water pump. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, 5(4), 126-129.
- Korpalea, V.S., Kokatea, D.H and Deshmukha, S.P. (2016). Performance assessment of solar agricultural water pumping system. *Energy Procedia*, 90, 518-524.
- Ibrahim, S.M.A., El-Ghetany, H. H. and Shabak, A. G. M. (2018). Mathematical modeling and performance evaluation for a solar water pumping system in Egypt. *Journal of Al Azhar University Engineering Sector*, 13(48), 946-957.
- Mangesh, R. D., Vaibhav, S. G. and Chetan, P. P. (2017). Review on solar photovoltaic water pumping system. *IJSRD-International Journal for Scientific Research & Development*, 5(1), 1042-1045.
- Olga, V. S., Alexander, T. B. and Sergei, V. C. (2020). Review of photovoltaic water pumping system research. *Energy Reports*, 6(6), 306-324.
- Said, M. A. I, El-Ghetanyb, H. H. and Shabaka, A. G. M. (2020). Comprehensive design tool for sizing solar water pumping system in Egypt. *Applied Solar Energy*, 56(1), 18-29.
- Shinde, V. B. and Wandre, S. S. (2015). Solar photovoltaic water pumping system for irrigation: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 10(22), 2267-2273.
- Shrey, V., Shubham, M., Subhankar, C., Ambar, G., Subhashree, M., Archana, S. and Puneet, V. (2021). Solar PV powered water pumping system-A review. *Materials Today: Proceedings*, 46, 5601-5606.