

## การแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสำหรับระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้า POWER FACTOR CORRECTION FOR THE ELECTRIC GROUNDWATER PUMPING SYSTEM

สุรเชษฐ์ มิตสานนท์\* และกันตภณ โล้นพันธ์  
Surachet Mitsanon\* and Kantaphon Lonphan

### บทคัดย่อ

ตัวประกอบกำลังสำหรับระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้าในพื้นที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังของปั๊มน้ำบาดาลไฟฟ้าให้สูงขึ้นเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำ ส่งผลให้เครื่องยนต์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขับเคลื่อนภาระโหลดลดลงจึงทำให้เครื่องยนต์ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลดลงตามไปด้วย จากผลการทดลองสามารถแก้ไขตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้นจากเดิม 0.806 เป็น 0.982 ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้าลดลง ส่งผลให้ช่วยลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้ของเครื่องยนต์ ขนาด 16 Hp ได้ 0.058 ลิตรต่อชั่วโมง คิดเป็น 4.77 %

**คำสำคัญ:** ตัวประกอบกำลัง เครื่องยนต์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปั๊มน้ำบาดาล

### Abstract

The power factor for electric groundwater pumping system in the area without electricity is important for the efficiency of the system. Therefore, the objective of this research was to improve the power factor of the electrical system of underground water pump to be higher to save electricity in pumping water. As a result, the engine used to drive the generator shaft drives the less load, causing the engine to use less fuel. From the experimental results, the power factor correction could be improved to the maximum from 0.806 to 0.982. Causing the electric power consumption of the

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

Faculty of Industrial Technology Pibulsongkram Rajabhat University, Muang District, Phitsanulok Province 65000

\*corresponding author e-mail: teachneering@gmail.com

Received: 9 June 2020; Revised: 6 November 2020; Accepted: 15 November 2020

groundwater pumping system to decrease. As a result, it reduces the fuel consumption of the 16 HP engine by 0.058 liters per hour, representing 4.77%.

**Keywords:** Power factor, Engine, Generator, Underground water pump

บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการทำเกษตรกรรมอย่างแพร่หลาย ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่มีปัญหา คือ การขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตพื้นที่การเกษตรนอกเขตชลประทานที่จำเป็นต้องพึ่งพาน้ำฝน ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศที่นิยมปลูกข้าวและพืชไร่ เกษตรกรยังคงทำการเพาะปลูก ได้ปีละครั้งในช่วงฤดูฝนเท่านั้น และมีความเสี่ยงต่อความเสียหายอันเนื่องมาจากความแปรปรวนของดินฟ้าอากาศและฝนทิ้งช่วง หรือมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เป็นปัญหาให้น้ำมาใช้ไม่เพียงพอ รวมทั้งระบบการปลูกพืชที่ไม่มีหลักเกณฑ์ใด ๆ และส่วนใหญ่ปลูกพืชชนิดเดียว เกษตรกรจึงแก้ปัญหาโดยการหาแหล่งน้ำสำรองในใต้ดิน โดยการขุดเจาะบ่อบาดาล เพื่อให้มีน้ำใช้เพียงพอในด้านการเกษตร

ระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้ามีหลายวิธีในการสูบน้ำจากใต้ดินขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่และงบประมาณในการลงทุน แต่ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ การใช้ปั้มน้ำบาดาลไฟฟ้า (Deng et al., 2010; Liang et al., 2015; Liang & Kadri, 2017) ซึ่งข้อดีของปั้มน้ำบาดาลไฟฟ้า คือสามารถสูบน้ำใต้ดินได้ในความลึกมาก ๆ โดยที่พิกัดมอเตอร์และท่อส่งน้ำมีหลายขนาดสามารถเลือกได้ตามความเหมาะสม และสะดวกในการใช้งานเพียงจ่ายไฟฟ้าให้กับปั้มน้ำบาดาลไฟฟ้าที่ถูกติดตั้งอยู่ในบ่อบาดาลใต้ดินก็สามารถสูบน้ำขึ้นสู่ผิวดินได้ทันที แต่การใช้งานปั้มน้ำบาดาลไฟฟ้าในพื้นที่จริงของเกษตรกรส่วนใหญ่ยังไม่มีระบบไฟฟ้าเข้าถึงเนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่ทำการเกษตรอยู่ห่างไกลทำให้ไม่มีไฟฟ้าใช้ จึงทำให้เกษตรกรที่ต้องการใช้ปั้มน้ำบาดาลไฟฟ้าจำเป็นต้องสร้างแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าขึ้นมาใช้เอง เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก และระบบโซลาร์เซลล์ เป็นต้น

เกษตรกรในพื้นที่ อำเภอบึงสามพัน จังหวัดพิจิตร ส่วนใหญ่มีอาชีพทำนา โดยที่ลักษณะพื้นที่ทำการเกษตรส่วนใหญ่เป็นพื้นที่อยู่นอกเขตชลประทานและไม่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การสำรวจข้อมูลโดยการลงพื้นที่ พบว่าชาวนาส่วนใหญ่นิยมการสูบน้ำบาดาลด้วยการใช้ปั้มน้ำบาดาลไฟฟ้า ชาวนาจึงจำเป็นต้องสร้างแหล่งกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์ทางการเกษตรขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าให้กับปั้มน้ำบาดาลไฟฟ้า ซึ่งปัญหาที่พบคือ ชาวนาต้องเสียค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงสูง เนื่องจากในการสูบน้ำในแต่ละครั้งต้องใช้เวลาในการสูบน้ำนานต่อเนื่องเป็นเวลาหลายวัน ซึ่งปัจจุบันราคาน้ำมันดีเซลมีราคาค่อนข้างสูง จึงทำให้ชาวนาต้องรับภาระต้นทุนการลงทุนทำนาที่สูงจนส่งผลให้ได้กำไรน้อยลงหรือขาดทุนจากการทำนาได้

การแก้ตัวประกอบกำลัง เป็นวิธีการทางวิศวกรรมไฟฟ้าเพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าให้น้อยลงที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม หรือสถานประกอบการขนาดใหญ่ เป็นต้น (Celtekligil, 2008; Zheng & Zhang, 2017; Kabir, 2017) โดยการต่อตัวเก็บประจุขนานเข้าไปในระบบเพื่อลดการเกิดกำลังรีแอกทีฟของโหลดมอเตอร์ โดยผู้วิจัยได้นำหลักการนี้มาประยุกต์ใช้กับระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้าให้ค่าตัวประกอบกำลังสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้การใช้กำลังปรากฏของปั้มน้ำบาดาลไฟฟ้าลดลง ส่งผลให้เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีการขับเคลื่อนที่ลดลง ทำให้ค่าใช้จ่ายของน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงได้

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการเปรียบเทียบผลการศึกษาก่อนและหลังการแก้ตัวประกอบกำลังสำหรับระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้า ของการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล โดยมีการเก็บผลการทดลองเกี่ยวกับกำลังและคุณภาพไฟฟ้า ปริมาณการสูบน้ำและ

การอัตราสิ้นเปลืองการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และทำการวัดค่าก่อนการแก้ไขตัวประกอบกำลังและวัดค่าหลังการแก้ไขตัวประกอบกำลัง ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการในการวิจัย ประกอบด้วย

1. เครื่องวิเคราะห์กำลังและคุณภาพไฟฟ้า (Power and Quality Analyzer Meter) ยี่ห้อ Chauvin Arnoux รุ่น C.A 8331 เป็นเครื่องมือวัดสำหรับการวัดและบันทึกค่า (Datalogger) ได้แก่ แรงดัน กระแส ความถี่ กำลังปรากฏ กำลังจริง และกำลังรีแอกทีฟ
2. มาตรวัดน้ำขนาด 3 นิ้ว เป็นเครื่องมือวัดสำหรับวัดปริมาณน้ำที่สูบได้
3. กระจกบอทวง (cylinder) เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับวัดปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์

คณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ศึกษาระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้าของชาวนา บ้านท่าบัวทอง ต.โพธิ์ประทับช้าง อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร โดยระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้าของชาวนาที่นิยมติดตั้ง แสดงในภาพที่ 1 (Figure 1) ซึ่งประกอบด้วย ส่วนที่ 1 เครื่องยนต์ทางการเกษตร ยี่ห้อ Yanmar รุ่น TF 160-L ขนาด 16 Hp ส่วนที่ 2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ยี่ห้อ Infinity Power รุ่น IF184E26 ขนาด 22.6 kVA 50 Hz แบบ 3 เฟส 3 สาย แรงดันด้านออก 380 V และส่วนที่ 3 บิมน้ำบาดาลไฟฟ้า ยี่ห้อ Franklin Electric รุ่น 2343278602G แบบ 5 ใบพัด ขนาด 5 Hp ขนาดท่อส่งน้ำ 3 นิ้ว โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เครื่องยนต์เป็นตัวต้นกำลังที่ต่อสายพานขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ส่งให้กับบิมน้ำบาดาลไฟฟ้า ซึ่งถูกติดตั้งในบ่อบาดาลด้วยความลึกประมาณ 50 เมตร ท่อส่งน้ำมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 3 นิ้ว

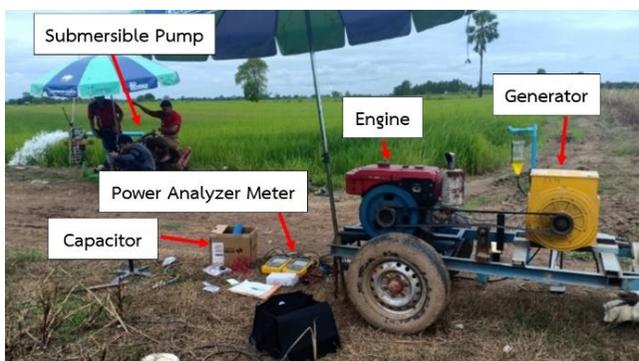


Figure 1 The operation of the groundwater pumping system in the study area

การแก้ตัวประกอบกำลัง ของระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้าเป็นการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้าให้สูงขึ้น (Celtekligil, 2008; Zheng & Zhang, 2017; Kabir, 2017) โดยปกติบิมน้ำบาดาลไฟฟ้าจะมีลักษณะวงจรสมมูลของโครงสร้างเป็นแบบตัวเหนี่ยวนำต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน ซึ่งเป็นโหลดตัวประกอบกำลังแบบล้าหลังที่มีค่าต่ำ เนื่องจากกำลังรีแอกทีฟของตัวเหนี่ยวนำมีค่าสูง วงจรสมมูลก่อนการแก้ไขตัวประกอบกำลังแสดงในภาพที่ 2A (Figure 2A)

ในส่วนของการแก้ไขตัวประกอบกำลัง ทำได้โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุที่มีค่าเหมาะสมต่อขานานเข้าไปกับโหลดบิมน้ำบาดาลไฟฟ้าแสดงในภาพที่ 2B (Figure 2B) โดยกำลังรีแอกทีฟของตัวเก็บประจุจะหักล้างกับกำลังรีแอกทีฟของตัวเหนี่ยวนำ ทำให้กำลังรีแอกทีฟรวมมีคาลดลง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าปรากฏลดลงตามไปด้วย

โดยที่ภาพที่ 2A-B (Figure 2 A-B) เป็นการแสดงการวงจรก่อนและหลังการแก้ไขตัวประกอบกำลังสำหรับวงจรไฟฟ้าเฟสเดียวเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา แต่ป้อนน้ำบาดาลไฟฟ้าสำหรับงานวิจัยนี้เป็นแบบ 3 เฟส แบบสมดุล จึงสามารถพิจารณาเทียบเคียงเป็นวงจรไฟฟ้าเฟสเดียว แต่เพิ่มเป็น 3 ชุดได้

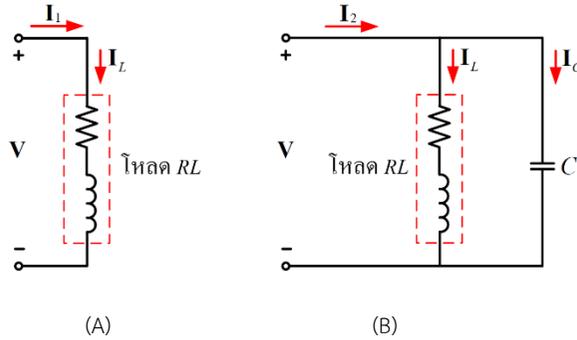


Figure 2 Power factor correction circuit (a) before (b) after

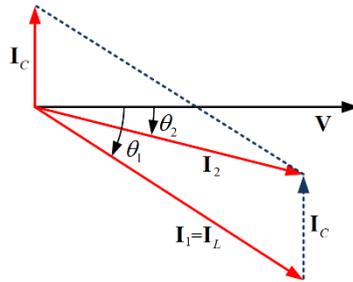


Figure 3 Phasor diagram of current from power factor correction

ภาพที่ 3 (Figure 3) แสดงเฟสเซอร์ไดอะแกรมของกระแสก่อนและหลังแก้ไขตัวประกอบกำลังเทียบกับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง โดยพิจารณาก่อนการแก้ไขตัวประกอบกำลัง กระแสจากแหล่งจ่าย ( $I_1$ ) จะมีค่าเท่ากับกระแสที่ไหลของป้อนน้ำบาดาลไฟฟ้า ( $I_L$ ) ทำให้มุมเฟส  $\theta_1$  จะมีค่ามาก และเมื่อพิจารณาหลังการแก้ไขตัวประกอบกำลัง กระแสที่ไหลเข้าตัวเก็บประจุ ( $I_C$ ) จะหักล้างกับกระแสที่ไหลของป้อนน้ำบาดาลไฟฟ้า ( $I_L$ ) ส่งผลให้กระแสจากแหล่งจ่าย ( $I_2$ ) หลังการแก้ไขตัวประกอบกำลังมีค่าลดลง และทำให้มุมเฟส  $\theta_2$  จะมีค่าลดลงตามไปด้วย โดยงานวิจัยนี้เลือกแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังมีค่าที่ดีที่สุดคือ 1 ที่มุมเฟส  $\theta_2 = 0^\circ$

ในการแก้ตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่มีค่าเหมาะสมเพื่อต่อขนานเข้าสู่ระบบไฟฟ้า สามารถคำนวณค่าตัวเก็บประจุต่อเฟส สำหรับวงจรไฟฟ้า 3 เฟส ได้จากสมการที่ 1 (Equation 1)

$$C = \frac{P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)}{2\pi f V_{rms}^2} \div 3 \text{ Phase} \dots\dots\dots(1)$$

โดยค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้าของระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้าก่อนการแก้ตัวประกอบกำลังของระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้า ได้จากการวัดค่าพารามิเตอร์จากระบบปั้มน้ำบาดาลไฟฟ้าของชวานาด้วยเครื่องวิเคราะห์กำลังและคุณภาพไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 1 (Figure 1) โดยค่าพารามิเตอร์ได้จากตารางที่ 1 (Table 1) ดังนี้

- ค่าตัวประกอบกำลังก่อนการแก้ไข (PF<sub>1</sub>) เท่ากับ 0.806
- แรงดันไลน์เฉลี่ย (V<sub>rms</sub>) เท่ากับ 377.94 V
- กำลังจริง (P) เท่ากับ 3,213 W
- ความถี่ เท่ากับ 50.02 Hz
- มุมเฟส  $\theta_1$  คำนวณได้  $\theta_1 = \cos^{-1}(PF_1) = \theta_1 = \cos^{-1}(0.806) = 36.293^\circ$

เงื่อนไขการออกแบบการแก้ตัวประกอบกำลังของระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้าระบบใหม่ คือ

- ค่าตัวประกอบกำลังหลังการแก้ไข (PF<sub>2</sub>) ที่ 1
- มุมเฟส  $\theta_2$  คำนวณได้  $\theta_2 = \cos^{-1}(PF_2) = \theta_2 = \cos^{-1}(1) = 0^\circ$

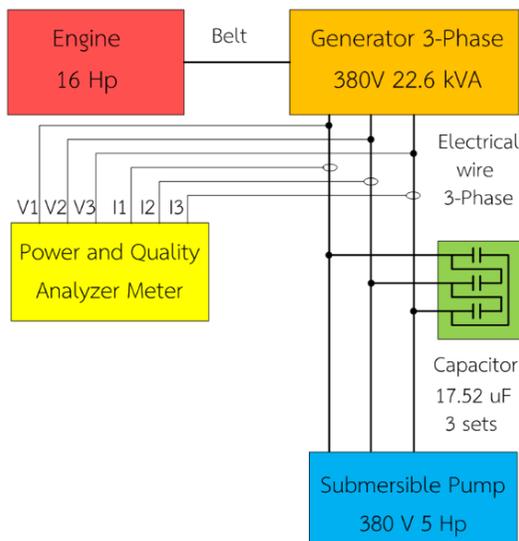
การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุ โดยการแทนค่าพารามิเตอร์ ลงในสมการที่ 1 (Equation 1) จะได้

$$C = \frac{3,213(\tan 36.293^\circ - \tan 0^\circ)}{2\pi \times 50.02 \times 377.94^2} \div 3 \text{ Phase}$$

$$C = 17.520 \mu\text{F/Phase}$$

โดยการต่อตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้า 3 เฟส ต้องต่อตัวเก็บประจุออกเป็น 3 ชุด โดยตัวเก็บประจุที่หาซื้อได้ตามท้องตลาดขนาดรวม 17.520  $\mu\text{F}$  พิกัดแรงดัน 450 V จำนวน 3 ชุด ต่อแบบเดลตา เนื่องจากการต่อแบบเดลตาแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะเท่ากันทุกเฟสและค่าเก็บประจุค่าน้อยกว่าการต่อแบบสตาร์

การปรับปรุงระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้าแสดงในภาพที่ 4 (Figure 4) ได้มีการแก้ไขตัวประกอบกำลัง โดยต่อตัวเก็บประจุ (Capacitor) ขนาด 17.520  $\mu\text{F}$  (ค่าที่ใช้จริงตามจริง 17.520  $\mu\text{F}$  ต่อเฟส โดยการต่อขนานตัวเก็บประจุ ขนาด ดังนี้ 16  $\mu\text{F}$  จำนวน 1 ตัว 1  $\mu\text{F}$  จำนวน 1 ตัว 0.47  $\mu\text{F}$  จำนวน 1 ตัว 0.01  $\mu\text{F}$  จำนวน 5 ตัว) จำนวน 3 ชุด ต่อแบบเดลตา ขนานเข้ากับระบบไฟฟ้าของปั้มน้ำบาดาลไฟฟ้าเพื่อปรับปรุงให้คุณภาพของระบบไฟฟ้าให้ดีขึ้น



**Figure 4** Components of an electric groundwater pumping system after power factor correction

#### ผลการวิจัย

ผลการทดลองก่อนและหลังการแก้ไขตัวประกอบกำลังสำหรับระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสำหรับระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้า โดยระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้าที่ทำการทดลองประกอบด้วย เครื่องยนต์ขนาด 16 Hp ทำงานของ เครื่องยนต์ให้ความเร็วรอบคงที่ประมาณ 1,500 รอบต่อนาที ต่อสายพานเพื่อขับเพลากล่องกำเนิด ไฟฟ้า ขนาด 22.6 kVA พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายให้กับปั๊มน้ำบาดาลไฟฟ้า ขนาด 5 Hp ท่อส่งน้ำขนาด 3 นิ้ว ซึ่งติดตั้งในท่อบาดาลที่มีความลึกของบ่อ 50 เมตร ในการทดลองใช้เวลา 6 ชั่วโมง จำนวน 5 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยการบันทึกค่า แรงดัน กระแส ความถี่ กำลังไฟฟ้า ปริมาณน้ำ ที่สูบได้ และการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ โดยตารางที่ 1 (Table 1) แสดงผลการทดลองก่อน การแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสำหรับระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้า

**Table 1** The experimental results before power factor correction of the electric groundwater pumping system

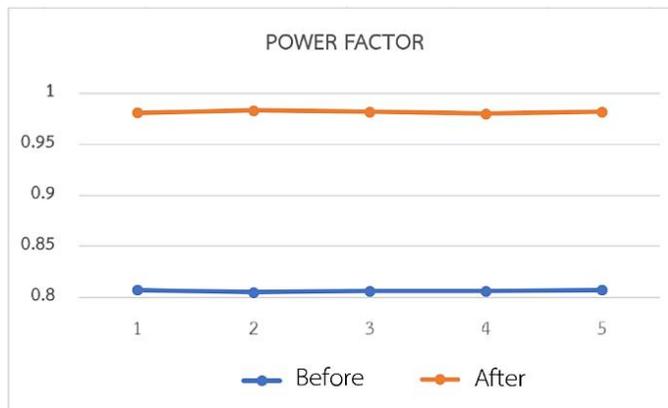
Parameter	Test					Average
	1	2	3	4	5	
V <sub>L1</sub> (V)	377.8	377.6	377.8	377.9	377.8	377.78
V <sub>L2</sub> (V)	378.1	377.9	377.9	378	378	377.98
V <sub>L3</sub> (V)	378.1	377.9	378	378.1	378.2	378.06
I <sub>L1</sub> (A)	6.12	6.09	6.11	6.13	6.12	6.11
I <sub>L2</sub> (A)	6.14	6.09	6.12	6.14	6.15	6.128
I <sub>L3</sub> (A)	6.1	6.07	6.09	6.11	6.08	6.09
F (Hz)	50.03	50.00	50.02	50.02	50.01	50.02
S (kVA)	3.998	3.981	3.988	3.995	3.997	3.992
P (kW)	3.216	3.210	3.212	3.215	3.214	3.213
Q (kvar)	2.240	2.226	2.232	2.235	2.233	2.233
PF	0.807	0.805	0.806	0.806	0.807	0.806
Water (Unit)	198.06	198.21	197.89	199.25	198.65	198.41
Fuel (liters)	7.318	7.321	7.335	7.342	7.315	7.326

การแก้ไขตัวประกอบกำลังสำหรับระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้า แสดงในภาพที่ 4 (Figure 4) โดยการต่อตัวเก็บประจุขนาด 17.520  $\mu$ F จำนวน 3 ชุด ต่อแบบเดลตา ขนานเข้ากับปั๊มน้ำบาดาลไฟฟ้า โดยผลการทดลองหลังการแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสำหรับระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 2 (Table 2)

**Table 2** The experimental results after power factor correction of the electric groundwater pumping system

Parameter	Test					Average
	1	2	3	4	5	
VL1 (V)	378	377.9	378.4	377.9	377.9	378.02
VL2 (V)	378.4	378.2	378.5	378	378	378.22
VL3 (V)	378.5	378.2	378.6	378.1	378.4	378.36
IL1 (A)	5.03	5.01	5.07	4.99	5.02	5.024
IL2 (A)	5.01	4.99	5.03	4.97	4.98	4.996
IL3 (A)	5.02	5.03	5.05	4.98	5	5.016
F (Hz)	50.03	50.01	50.04	50.00	50.01	50.02
S (kVA)	3.285	3.276	3.292	3.272	3.279	3.281
P (kW)	3.225	3.219	3.231	3.220	3.221	3.223
Q (kvar)	0.299	0.294	0.305	0.289	0.296	0.296
PF	0.981	0.983	0.982	0.980	0.982	0.982
Water (Unit)	198.12	198.20	198.92	197.69	198.01	198.19
Fuel (liters)	6.983	6.923	7.025	6.972	6.977	6.976

ผลการวิเคราะห์แรงดันไลน์ กระแสไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และความถี่ก่อนการปรับปรุงและหลังการการแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้า แรงดันไลน์เฉลี่ยก่อนการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ย 377.94 V และหลังการปรับปรุงแรงดันไลน์มีค่าเฉลี่ย 378.20 V ซึ่งจะเห็นได้ว่า แรงดันไลน์มีค่าใกล้เคียงกัน ในส่วนของกระแสไลน์เฉลี่ยก่อนการปรับปรุง 6.11 A และหลังการปรับปรุงกระแสเฉลี่ยที่ออกจากเครื่องกำเนิดลดลงเหลือ 5.01 A จะเห็นได้ว่าการแก้ไขตัวประกอบกำลัง ทำให้กระแสเฉลี่ยที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าลดลงส่งผลให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับปั้มน้ำบาดาลไฟฟ้าลดลงได้ ในส่วนความถี่ของระบบเป็นผลแปรผันตรงกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เป็นต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยในการทดลองทุกครั้งจะปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ประมาณ 1,500 รอบต่อนาที ทำให้ได้ความถี่ประมาณ 50 Hz โดยจากผลการทดลองจะมีค่าอยู่ระหว่าง 50.00 Hz ถึง 50.04 Hz

**Figure 5** Comparative results of measuring power factor

ผลการวิเคราะห์ค่าตัวประกอบกำลัง แสดงในภาพที่ 5 (Figure 5) ก่อนและหลังการแก้ไขตัวประกอบกำลัง (PF) ของระบบไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 5 ครั้ง โดยค่าตัวประกอบกำลัง (PF) เฉลี่ยมีค่าสูงขึ้นจาก 0.806 เป็น 0.982 โดยที่ค่าตัวประกอบกำลังที่วัดได้ในทางปฏิบัติ คือ 0.982 มีค่าใกล้เคียงกับค่าตัวประกอบกำลังในทางทฤษฎีที่ออกแบบตัวประกอบกำลังไว้มีค่าเท่ากับ 1

ผลการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า หลังจากการแก้ไขตัวประกอบกำลัง (PF) ให้มีค่าที่สูงขึ้นเท่ากับ 0.982 ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าปรากฏเฉลี่ย (S) ที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับปั๊มน้ำบาดาลไฟฟ้ามีค่าลดลงจากเดิม 3.992 kVA ลดลงเหลือ 3.281 kVA ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ และส่งผลให้เครื่องยนต์มีภาระในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟาลดลง ยิ่งไปกว่านั้นยังช่วยลดค่ากำลังสูญเสียของระบบ คือ ค่ากำลังรีแอกทีฟเฉลี่ย (Q) ซึ่งเป็นค่าเสมือนการสูญเสียที่โหลดมีค่าลดลงจากเดิม 2.233 kvar เป็น 0.296 kvar โดยที่กำลังจริงเฉลี่ย (P) เป็นกำลังที่เกิดขึ้นจากการใช้งานปั๊มน้ำบาดาลไฟฟ้ายังคงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงโดยก่อนหลังการแก้ไขตัวประกอบกำลังมีค่าเท่ากับ 3.213 kW และหลังการแก้ไขตัวประกอบกำลังมีค่าเท่ากับ 3.223 kW โดยค่ากำลังรีแอกทีฟเฉลี่ย (Q) ที่ดีที่สุดควรจะต้องมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งในทางปฏิบัติทำได้ค่อนข้างยากในการควบคุมแบบลูปเปิด

ผลการวิเคราะห์การวัดปริมาตรของน้ำที่ได้จากการสูบน้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยที่ก่อนการแก้ไขตัวประกอบกำลังของระบบ วัดปริมาตรน้ำเฉลี่ยที่สูบขึ้นมาได้มี 198.41 หน่วย และในวัดปริมาตรน้ำหลังการแก้ไขตัวประกอบกำลังของระบบวัดได้ 198.19 หน่วย จึงสรุปได้ว่าปริมาตรน้ำที่สูบได้มีค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากความเร็วรอบของปั๊มน้ำแปรผันตรงกับความถี่ของระบบไฟฟ้า ซึ่งความถี่เฉลี่ยก่อนและหลังการแก้ไขตัวประกอบกำลังของระบบ มีค่าเท่ากับ 50.02 Hz

ผลการวิเคราะห์การวัดปริมาณการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ทางการเกษตรในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในการสูบน้ำบาดาลเป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยที่ก่อนการแก้ไขตัวประกอบกำลังของระบบ วัดปริมาณการใช้ น้ำมันเฉลี่ยได้ 7.326 ลิตร และในการวัดปริมาณการใช้ น้ำมันเฉลี่ยหลังการแก้ไขตัวประกอบกำลังของระบบวัดได้ 6.976 ลิตร จึงสรุปได้ว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ยของเครื่องยนต์ 6 ชั่วโมง หลังการแก้ไขตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้นทำให้ระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้าต้องการกำลังปรากฏจากเครื่องกำเนิดไฟฟาลดลง ส่งผลให้ภาระการส่งกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟาลดลงตามไปด้วย ทำให้ช่วยลดการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงลงได้ 0.35 ลิตร หรือ 0.058 ลิตรต่อชั่วโมง คิดเป็น 4.77 %

### อภิปรายผล

ผลการทดลองการแก้ไขตัวประกอบกำลังสำหรับระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้า สามารถช่วยลดการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงได้ของเครื่องยนต์ได้ 0.058 ลิตรต่อชั่วโมง คิดเป็น 1.392 ลิตรต่อวัน ซึ่งสามารถช่วยให้ชวณาลดค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงได้ 36.73 บาทต่อวัน (ราคาน้ำมันดีเซล 26.39 บาทต่อลิตร ข้อมูล วันที่ 7 ธันวาคม 2562) ซึ่งในการแก้ไขตัวประกอบกำลังสำหรับระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้า มีการลงทุนเพียงตัวเก็บประจุขนาด 17.520  $\mu$ F จำนวน 3 ชุด ต่อแบบเดลตา ราคารวมประมาณ 450 บาท ส่งผลให้มีระยะคืนทุนภายใน 13 วัน โดยปกติการทำนาแต่ละฤดูกาลในพื้นที่ 20 ไร่ ชวนาจะต้องใช้ระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้า ตั้งแต่เตรียมแปลงนา จนถึงการใช้ น้ำของต้นข้าว โดยเฉลี่ยประมาณไม่ต่ำกว่า 20 วันต่อฤดูกาล ซึ่งจะช่วยให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายได้หลักพันบาทต่อฤดูกาล ในอนาคตหากสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่เกษตรกรรมนอกเขตชลประทานที่ใช้ระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้า

ที่มีอยู่หลายหมื่นไร่ทั่วประเทศ จะช่วยลดการค่าใช้จ่ายด้านน้ำมันเชื้อเพลิงและลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงได้เป็นจำนวนมาก

### สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการแก้ไขตัวประกอบกำลังสำหรับระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้าของปั๊มน้ำบาดาลไฟฟ้าให้สูงขึ้น โดยการออกแบบตัวเก็บประจุขนาด 17.520  $\mu\text{F}$  จำนวน 3 ชุด ต่อแบบเดลตา ขนานเข้ากับระบบไฟฟ้าของปั๊มน้ำบาดาลไฟฟ้า ขนาด 5 Hp เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายพลังงานให้ลดลง ส่งผลให้เครื่องยนต์ที่ใช้ในการส่งกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขั้วภาระไหลลดลงจึงทำให้เครื่องยนต์ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลดลงตามไปด้วย จากผลการทดลองสามารถแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นจากเดิม 0.806 เป็น 0.982 ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้าลดลง ส่งผลให้ช่วยลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้ของเครื่องยนต์ ขนาด 16 Hp ได้ 0.058 ลิตรต่อชั่วโมง คิดเป็น 4.77 %

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นายณพรัตน์ เพชรพันธุ์ เกษตรกรบ้านท่าบัวทอง ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร ในการสนับสนุนเครื่องยนต์ทางการเกษตร เครื่องกำเนิดไฟฟ้าปั๊มน้ำบาดาลไฟฟ้า และพื้นที่สำหรับการทดลองระบบสูบน้ำบาดาลไฟฟ้าในนาข้าว

### เอกสารอ้างอิง

- Celtekligil U. *Capacitive Power Factor and Power Quality Correction of a Light Rail Transportation System*. 50<sup>th</sup> International Symposium (ELMAR-2008). 2008, 415-418.
- Deng J, Feng L, Wang J. *Innovation design of submersible motor pump based on Triz*. 17<sup>th</sup> International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. 2010; 520-523.
- Kabir Y, Mohsin YM, Khan MM. *Automated Power Factor Correction and Energy Monitoring System*. Second International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT - 2017), 2017. 1-5.
- Liang X, He J, Du L. *Electrical submersible pump system grounding: Current practice and future trend*. IEEE Transactions on Industry Applications. 2015; 51(6), 5030-5037.
- Liang X, Kadri A. *Factors Affecting Electrical Submersible Pump Systems Operation*. IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC-2018), 2018. 1-6.
- Zheng L, Zhang W. *Long Term Effect of Power Factor Correction on the Industrial Load: A Case Study*. Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC - 2017), 2017. 1-5.