

## การประเมินพิกัดมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์ An Estimation of Rated Motor for a Multi-Purpose Grinding Machine

ณัฐชัย โปธิ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

เลขที่ 234 ถ.เลย-เชียงคาน ต.เมือง อ.เมือง จ.เลย 42000

\*ติดต่อ: nattachai\_me@hotmail.com

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประเมินพิกัดมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์ที่ใช้ในการแปรรูปเศษกิ่งไม้หรือเศษวัชพืชเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสเป็นต้นกำลังทดแทนการใช้เครื่องยนต์ดีเซลซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงในภาวะปัจจุบัน โดยตัวประมวลผลดิจิทัลถูกใช้เพื่อประมาณค่าแรงบิดและกำลังของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ ซึ่งแรงบิดและกำลังของมอเตอร์สามารถคำนวณได้จาก สัญญาณกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและความเร็วรอบของมอเตอร์ผ่านทางอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) ประเภทต่าง ๆ ทดแทนการใช้เครื่องมือวัดแรงบิดซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง จากผลการจำลองพบว่า การประเมินพิกัดมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยวิธีการดังกล่าวสามารถประเมินแรงบิดและกำลังของมอเตอร์ได้ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริง นอกจากนี้วิธีการประเมินพิกัดมอเตอร์ดังกล่าวได้ถูกใช้เพื่อทดสอบทำให้ทราบค่าพิกัดมอเตอร์ที่เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับการบดย่อยเศษวัสดุที่นำมาบดย่อยในแต่ละประเภท ซึ่งการเลือกใช้พิกัดมอเตอร์ที่เหมาะสมนี้เป็นผลทำให้ไม่เกิดการสูญเสียพลังงานเกินจำเป็น

**คำหลัก:** การประเมินพิกัดมอเตอร์ไฟฟ้า, เครื่องบดย่อยเอนกประสงค์, แรงบิดและกำลังของมอเตอร์

### Abstract

This article postulates an estimation of rated motor for a multi-purpose grinding machine employed in transforming twigs or weeds for agricultural uses by replacing a diesel engine which requires higher operating costs with a three-phase induction motor as a power source. Also, a digital signal processing is used to measure torque and power during experiment which can be calculated from current signal, voltage, and motor speed that using different types of sensors as replacements for an expensive torque sensor. According to a simulation, an estimation of rated motor for a multi-purpose grinding machine based on this method provided similar values to the actual. Furthermore, this method is employed in order to ascertain rated motor suitable for grinding each type of materials as appropriate selection of rated motor can help prevent unnecessary loss of power.

**Keywords:** Estimation of Rated Motor, Grinding Machine, Torque and Power of Motor

## 1. บทนำ

ปัจจุบันเศษกิ่งไม้ ทางมะพร้าว ทางปาล์ม หรือเศษวัสดุที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจและโรงงาน ต่างๆ ถูกนำมาแปรรูปเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการลดพื้นที่จัดเก็บ และเป็นการแปรสภาพจากขยะที่ไม่ต้องการมาสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับกลุ่มชุมชน หรือผู้ประกอบการได้ เช่น กะลามะพร้าวจำนวนมากที่เหลือจากกระบวนการผลิตมะพร้าวแก้วของชุมชนกลุ่มผู้ผลิตมะพร้าวแก้ว อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย ถูกแปรสภาพโดยการย่อยให้มีขนาดเล็ก และสามารถจำหน่ายได้ในราคากิโลกรัมละ 2.5 บาท ดังภาพที่ 1 อย่างไรก็ตาม เครื่องบดย่อยเอนกประสงค์ดังกล่าวถือว่ามีความสูง ประกอบกับราคาน้ำมัน ณ ปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งอาจทำให้การแปรสภาพของเศษวัสดุที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับต้นทุนค่าดำเนินการจากราคาเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์และราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น



(ก)



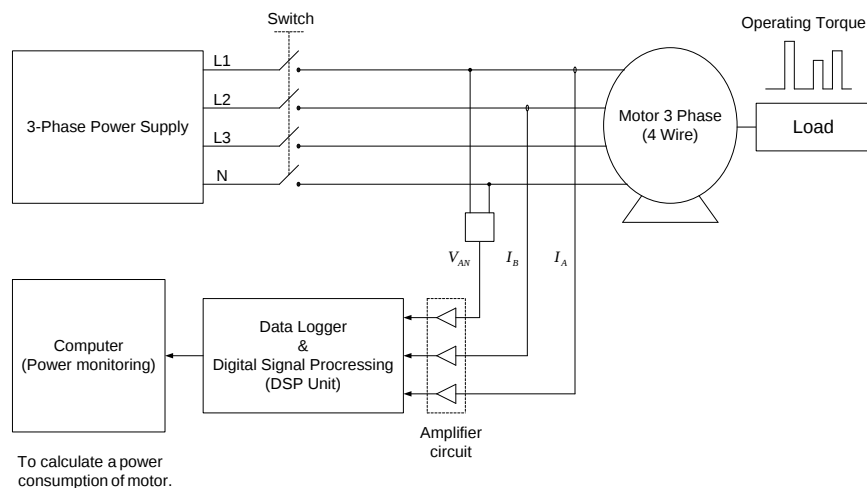
(ข)

ภาพที่ 1 กะลามะพร้าว (ก) และเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์ใช้เครื่องยนต์ดีเซล (ข)

มอเตอร์มอเตอร์ไฟฟ้า ถือได้ว่ามีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมทุกประเภทในยุคปัจจุบัน โดยสามารถลดต้นทุนการผลิต ลดการซ่อมบำรุง สะอาด และราคาไม่แพง เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล ในอุตสาหกรรมโดยมากแล้วนิยมเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเอซีแบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส (Three-Phase Induction Motor) เนื่องจากจุดเด่นของมอเตอร์ชนิดนี้อยู่ที่ราคาถูก ซ่อมบำรุงง่าย และทนต่อทุกสภาพการทำงาน เมื่อเทียบกับมอเตอร์ประเภทอื่นๆ [1,5] และหากสามารถนำมอเตอร์ไฟฟ้ามาทดแทนเครื่องยนต์ดีเซลของเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์ในขนาดที่เหมาะสมแล้ว จะสามารถลดต้นทุนการแปรรูปเศษวัสดุทั้งในส่วน of เครื่องยนต์ดีเซลและราคาเชื้อเพลิงได้ ถึงแม้ว่าปัจจุบันเริ่มมีทั้งภาคเอกชนและภาครัฐให้ความสนใจในการประยุกต์ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อทดแทนเครื่องยนต์ดีเซลของเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์ อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อมูลชัดเจนในการเลือกพิกัดกำลังของมอเตอร์ที่เหมาะสมกับการบดย่อยเศษวัสดุในในแต่ละประเภท โดยเป็นเพียงเลือกใช้มอเตอร์ที่มีพิกัดกำลังสูง และอาจเกินกว่าความต้องการของภาระจากการบดย่อยวัตถุดิบนั้น ๆ ซึ่งจะส่งผลให้เครื่องบดย่อยเอนกประสงค์มีราคาต้นทุนและการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงเกินจำเป็น เพื่อลดต้นทุนการแปรรูปวัสดุที่เหลือใช้ และหาพิกัดกำลังที่เหมาะสมของมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับทดแทนเครื่องยนต์ดีเซล งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการประเมินค่าพิกัดมอเตอร์ตามทฤษฎีการหาลำโพงไฟฟ้า [3,4] โดยนำเสนอการประเมินพิกัดมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์โดยใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นต้นกำลัง ตัวประมวลผลดิจิทัลถูกใช้เพื่อประมาณค่าภาระโดยการรับสัญญาณ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและความเร็วรอบมอเตอร์ ผ่านทางอุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) ประเภทต่าง ๆ

## 2. ทฤษฎี และกรอบแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา

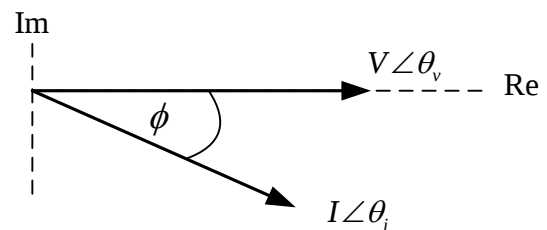
การประเมินค่าพิกัดกำลังของเครื่องบดย่อย  
เอนกประสงค์ ใช้การคำนวณค่าสัญญาณกระแสไฟฟ้า  
(I) และแรงดันไฟฟ้า (V) โดยใช้ตัวประมวล  
สัญญาณดิจิทัลเพื่อประมวลสัญญาณ การประมาณ  
ค่าแรงบิดและกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าขณะขับโหลด  
โดยแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แนวทางการประมาณค่าแรงบิดที่นำเสนอ

### 2.1 การประมาณค่ากำลังและแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า

งานวิจัยนี้ใช้หลักการทางเวกเตอร์เพื่อหาค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor) แสดงดังภาพที่ 3 เพื่อประมาณค่าแรงบิดและกำลังพิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้า ทดแทนการใช้เครื่องมือวัดแรงบิดที่มีราคาสูง โดยค่าตัวประกอบกำลังมีค่าเท่ากับ  $\cos(\phi)$  สามารถหาได้จากความต่างมุมเฟส ( $\phi$ ) ซึ่งก็คือมุมระหว่างค่าความต่างศักย์และค่าของกระแสไฟฟ้า ตามสมการ (1) โดยสามารถประมาณค่าพิกัดกำลัง (P) และแรงบิดมอเตอร์ไฟฟ้า (T) จากการวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้า กระแสสลับและสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับดังสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ



ภาพที่ 3 เวกเตอร์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้า

$$\text{จาก } V\angle\theta_v = I\angle\theta_i \times Z\angle\theta_L$$

$$\phi = \theta_v - \theta_i \quad (1)$$

$$P = 3 \cdot I_{\text{rms}} V_{\text{rms}} \cos \phi \quad (2)$$

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{3 \cdot I_{\text{rms}} V_{\text{rms}} \cos \phi}{\omega} \quad (3)$$

โดยการคำนวณค่าเฉลี่ยกำลังสอง (rms) ของค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้นั้นเป็นการวัดทางสถิติของปริมาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาโดยสามารถหาได้จากสมการที่ (4) และ (5) ดังนี้

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i^2} \quad (4)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i^2} \quad (5)$$

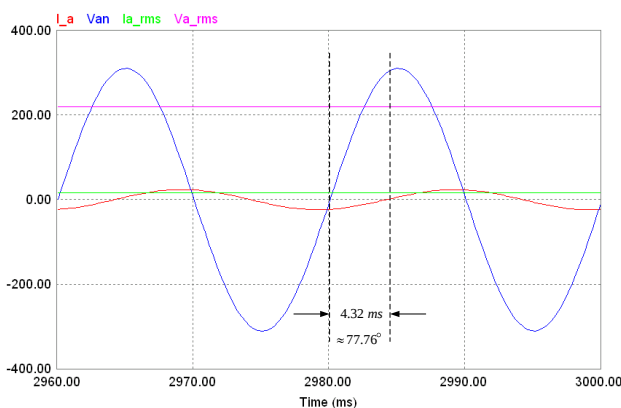
เมื่อ  $N$  คือ จำนวนของค่าสัญญาณที่วัดได้

$I_{rms}$  คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสไฟฟ้า

$V_{rms}$  คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของแรงดันไฟฟ้า

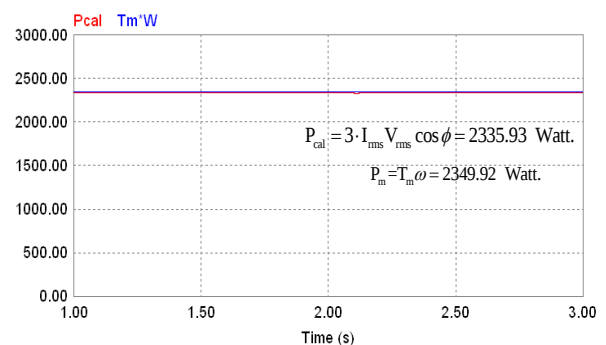
## 2.2. ผลการจำลองขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า เหนี่ยวนำสามเฟส

ภาพที่ 4 แสดงผลการจำลองระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส พิจารณารูปคลื่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าในการประมาณค่าตัวประกอบกำลังเพื่อใช้คำนวณค่าแรงบิดและกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อทดแทนเครื่องวัดแรงบิดที่มีราคาสูง โดยการจำลองได้พิจารณาขณะขับโหลดคงตัวที่ 15 นิวตัน-เมตร

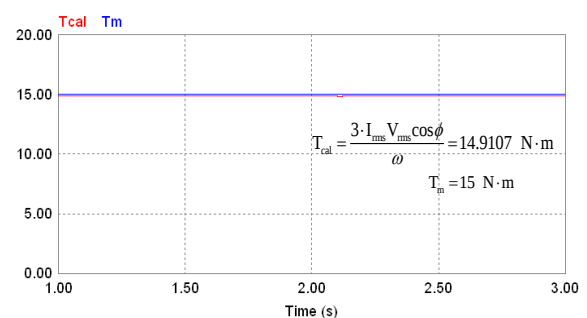


ภาพที่ 4 ผลการจำลองการประมาณค่าตัวประกอบกำลังจากรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้า

จากผลการจำลองการหาค่าตัวประกอบกำลังสามารถหาได้จากความต่างมุมเฟส ( $\phi$ ) โดยวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ ( $I_a$ ) และสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ( $V_{an}$ ) โดยสามารถสังเกตได้ว่าขณะที่มอเตอร์ทำงานและขับโหลดคงตัว ( $T_m$ ) ที่ 15 นิวตัน-เมตร จะมีมุมต่างเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันเท่ากับ  $77.76^\circ$  ซึ่งสามารถคำนวณค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้ค่าเท่ากับ 0.212 ขณะที่ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสและแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 16.74 แอมป์ และ 219.39 โวลต์ ตามลำดับและความเร็วรอบของมอเตอร์เท่ากับ 156.66 เรเดียนต่อวินาที ซึ่งสามารถประเมินค่ากำลังไฟฟ้า 3 เฟส ( $P_{cal}$ ) และแรงบิด ( $T_{cal}$ ) ได้จากสมการ (2) และสมการที่ (3) โดยให้ผลการจำลองดังภาพที่ 5 และภาพที่ 6 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 ผลการจำลองการประเมินกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้า ในหน่วยวัตต์ (W)

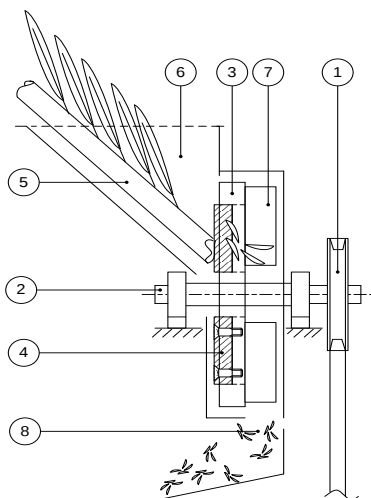


ภาพที่ 6 ผลการจำลองการประเมินแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า ในหน่วยนิวตัน-เมตร (N.m)

ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังมอเตอร์ไฟฟ้าระหว่าง กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการประเมิน ( $P_{cal}$ ) ซึ่งประเมินได้ขนาดเท่ากับ 2335.93 วัตต์ เปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการจำลอง ( $P_m$ ) โดยใช้กำลังขนาดเท่ากับ 2349.92 วัตต์ นอกจากนั้นยังสามารถประเมินค่าแรงบิด ( $T_{cal}$ ) โดยผลการเปรียบเทียบแรงบิดแสดงดังภาพที่ 6 ซึ่งประเมินได้ขนาดเท่ากับ 14.9107 นิวตัน-เมตร เปรียบเทียบกับแรงบิดที่เกิดขึ้นจากการจำลอง ( $T_m$ ) เมื่อพิจารณาขณะขับโหลดในสภาวะคงตัว จากผลการจำลองพบว่าความแตกต่างผลลัพธ์ของกำลังและแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ได้จากการประเมินสามารถยอมรับได้งานวิจัยนี้จึงได้นำวิธีการดังกล่าวมาใช้ทดสอบสำหรับประเมินค่ากำลังและแรงบิดของมอเตอร์ของเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์สำหรับย่อยทางมะพร้าว

## 2.2. โครงสร้างเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องบดย่อยเอนกประสงค์สำหรับการทดสอบ โดยมีโครงสร้างและส่วนประกอบต่าง ๆ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 โครงสร้างเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์

โดยเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์มีส่วนประกอบและหลักการทำงานเริ่มจากการส่งกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้สายพานเป็นตัวส่งถ่ายกำลังเพื่อขับพูเลย์ (หมายเลข 1) ทำให้เพลลา (หมายเลข 2) ซึ่งถูกเชื่อมติดกับจานใบมีด (หมายเลข 3) สำหรับจับยึดใบมีดหัน (หมายเลข 4) เกิดการหมุน และเมื่อนำเศษกิ่งไม้ทางมะพร้าว ทางปาล์ม หรือเศษวัสดุดิบ (หมายเลข 5) ป้อนเข้าสู่ช่องป้อน (หมายเลข 6) ทำให้เศษวัสดุเหล่านั้นถูกย่อยโดยการหัน หลังจากนั้นใบพัด (หมายเลข 7) ทำหน้าที่ขับเคลื่อนเศษวัสดุที่ถูกย่อยให้ออกจากตัวถังทางช่องขับเศษวัสดุดิบ (หมายเลข 8) ตามลำดับ

## 3. ผลการทดสอบ

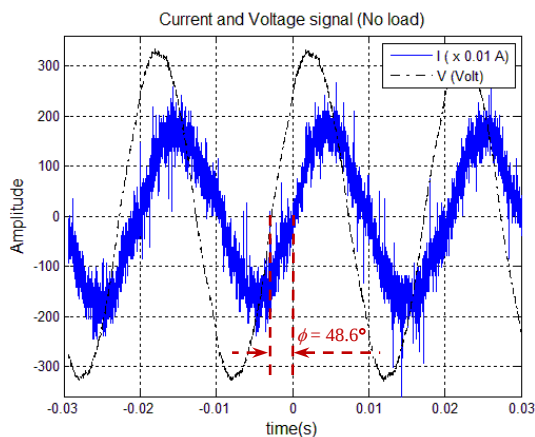
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบทั้งหมด 2 การทดสอบ คือ การทดสอบการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์สำหรับเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์ขณะไม่มีโหลด และการทดสอบการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ของเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์ขณะขับโหลด ทดสอบโดยการย่อยทางมะพร้าวดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 เครื่องบดย่อยเอนกประสงค์ที่ใช้ในการทดสอบ

### 3.1 ผลการทดสอบการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ ขณะไม่มีโหลด

การทดสอบนี้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนกลไกของเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์ขณะที่ไม่มีการป้อนทางมะพร้าวเข้าสู่ช่องป้อน และทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันเพื่อประเมินกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ซึ่งให้ผลการทดสอบดังภาพที่ 9



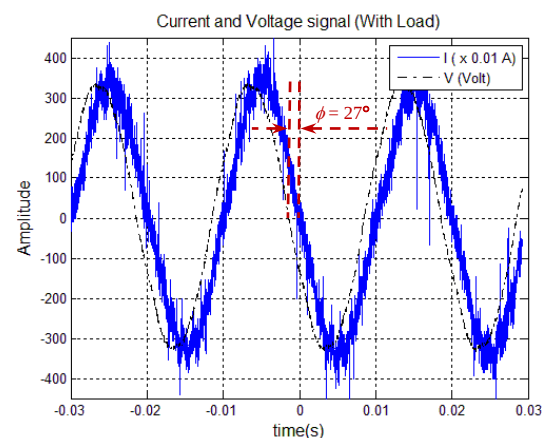
ภาพที่ 9 ผลการทดสอบสำหรับการประเมินค่ากำลังไฟฟ้าจากแรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะไม่ขับโหลด

จากผลการทดสอบสามารถประมาณค่าตัวประกอบกำลังได้เท่ากับ 0.6613 ขณะที่ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1.258 แอมป์ และ 231 โวลต์ ตามลำดับ โดยสามารถประเมินค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าได้เท่ากับ 576.5 วัตต์ ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนกลไกของเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์ขณะที่ไม่มีการป้อนวัสดุเพื่อทำการบดย่อย

### 3.2 ผลการทดสอบการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ ขณะขับโหลด (ย่อยทางมะพร้าว)

การทดสอบนี้ใช้เครื่องบดย่อยเอนกประสงค์ถูกทดสอบขณะที่ป้อนทางมะพร้าวเพื่อทำการย่อยและทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันเพื่อประเมินกำลังไฟฟ้า

ของมอเตอร์ ซึ่งให้ผลการทดสอบดังภาพที่ 10 จากผลการทดสอบพบว่าสามารถประมาณค่าตัวประกอบกำลังได้เท่ากับ 0.891 ขณะที่ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 2.36 แอมป์ และ 232 โวลต์ ตามลำดับ โดยที่ความเร็วรอบของมอเตอร์เท่ากับ 146.6 เรเดียนต่อวินาที ซึ่งสามารถประเมินค่ากำลังไฟฟ้า 3 เฟส ที่เหมาะสมสำหรับการบดย่อยทางมะพร้าวได้เท่ากับ 1463.5 วัตต์ และเกิดแรงบิดขณะขับโหลดเท่ากับ 9.98 นิวตัน-เมตร



ภาพที่ 10 ผลการทดสอบสำหรับการประเมินค่ากำลังไฟฟ้าและแรงบิดจากแรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะขับโหลด

## 4. สรุปผล

การประเมินพิกัดมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์สำหรับงานวิจัยนี้ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสเป็นต้นกำลังทดแทนการใช้เครื่องยนต์ดีเซลที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงในภาวะปัจจุบัน ซึ่งกำลังและแรงบิดของมอเตอร์สามารถคำนวณได้จาก สัญญาณกระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าและความเร็วรอบของมอเตอร์ผ่านทางอุปกรณ์ตรวจรู้ ประเภทต่าง ๆ ทดแทนการใช้เครื่องมือวัดแรงบิดซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง จากผลการจำลองพบว่าการประเมินพิกัดมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยวิธีการดังกล่าวสามารถประเมินกำลังและแรงบิดของมอเตอร์ได้ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริง นอกจากนั้นวิธีการประเมินพิกัดมอเตอร์นี้ยังได้ถูกใช้

ทดสอบเพื่อประเมินค่ากำลังและแรงบิดที่ใช้ในการบด  
ย่อยทางมะพร้าวของเครื่องบดย่อยเอนกประสงค์  
พบว่าค่าพิกัดของมอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการบด  
ย่อยทางมะพร้าวอยู่ที่พิกัด 1463.5 วัตต์ ก็เพียงพอต่อ  
การใช้งาน นอกจากนี้วิธีการดังกล่าวยังสามารถใช้  
ประเมินค่าพิกัดกำลังและแรงบิดของมอเตอร์สำหรับ  
การบดย่อยเศษวัสดุที่นำมาบดย่อยในแต่ละประเภท  
ได้ ซึ่งการเลือกใช้พิกัดมอเตอร์ที่เหมาะสมกับวัสดุใน  
แต่ละประเภทนี้เป็นผลทำให้ไม่เกิดการสูญเสีย  
พลังงานเกินจำเป็น

### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนจากกองทุนสนับสนุนงานวิจัย  
ของบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ประจำปี  
งบประมาณ 2556 โดยได้รับความอนุเคราะห์สถานที่  
สำหรับการทดสอบและวิจัยจาก คณะเทคโนโลยี  
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย และ  
ขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏ  
เลย สำหรับอุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณเพื่อทดสอบใน  
งานวิจัยในครั้งนี้

### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กุศลมาลย์ เฉลิมยานนท์ อนุวัตร ประเสริฐสิทธิ์ สุระ  
พล เขียวมนตรี อภิชัย จันทรัตน์ (2548). การศึกษา  
คุณลักษณะโหลดและแนวทางการประหยัดพลังงาน  
ของเครื่องเลื่อยวงเดือน, *การประชุมวิชาการทาง  
วิศวกรรมศาสตร์ครั้งที่ 4*, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
จังหวัดสงขลา
- [2] สานันท์ คงแก้ว. (2556). การเริ่มเดินมอเตอร์  
ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา  
[http://www.freewebs.com/epowerdata4/motorcontr  
ol.html](http://www.freewebs.com/epowerdata4/motorcontrol.html), 7 มิถุนายน 2556
- [3] B.K. Bose. (1986). *Power Electronics and AC  
Drives*. Prentice-Hall, New Jersey.
- [4] M.E.H. Benbouzid, R. Beguenane, M.  
Dessoude and W.Hubbi (1997). Energy

Optimized Control Strategy for a Variable  
Input Voltage Three-Phase Induction Motor,  
*Electric Machines and Drives Conference  
Record, IEEE International*, Pages: MD2/5.  
1 - MD2/5.3, 18-21 May 1997.

- [5] T. Juggapong, (2012). Online Failure  
Detection of Electric Motors, *The Journal of  
KMUTNB.*, Vol. 22, No. 2, May-Aug 2012.