# เครื่องเจาะรูด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น 3 เฟสแบบทรงกระบอก

## Perforate Machine Using 3 Phase Tubular Linear Induction Motor

นักวิจัย พูนศรี วรรณการ, สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์
หน่วยงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
กลุ่มงาน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

## บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบสร้างเครื่องเจาะรูด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น 3เฟสแบบทรงกระบอก ซึ่งเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดที่เคลื่อนที่ได้ในแนวเชิงเส้นระยะสั้นๆ จึงเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เน้นทางด้านของแรง (ได้ 30.64 N. ที่ 100V.) แต่ไม่เน้นในด้านกำลังงาน เหมาะกับการใช้งานในลักษณะเจาะกระแทกในช่วงเวลาสั้นๆ และสามารถใช้ทดแทนงานของระบบนิวแมติก หรืองานเชิงเส้นอื่นๆ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงสมรรถภาพของเครื่องเจาะต้นแบบที่นำเสนอนี้

**คำสำคัญ** : มอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น 3 เฟสแบบทรงกระบอก

## Abstract

This paper presents a design and construction of perforate machine using 3 phase tubular linear induction motor. The electrical machine is selected for short stroke movement with the machine force about 30.64 N at 100 V. This machine does not consider the output power.Therefore, this machine is convenient for short time perforate works. It can replace the pneumatic system or other linear movement works. The experiment result is shown the performance of proposed machine that use to be prototype perforate machine.

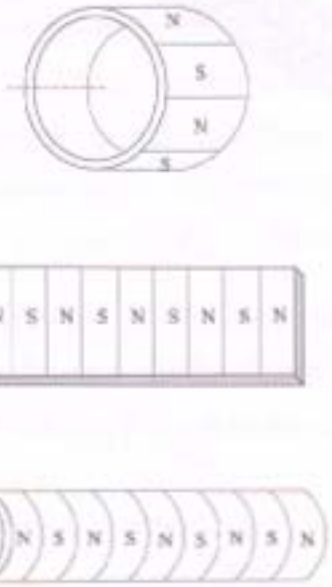
**Keywords** : Phase Tubular Linear Induction Motor

## บทนำ

งานปั๊มขึ้นรูปโลหะหรืองานเจาะรูต่างๆ ในทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้ระบบนิวแมติกในการทำงาน ซึ่งโครงสร้างโดยรวมมีจำนวนอุปกรณ์มากเพื่อที่จะแปลงกระบวนการทำงานในทุกขั้นตอนทำให้มีขนาดใหญ่และใช้พื้นที่ในการติดตั้งพอสมควร อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่มากตามอุปกรณ์ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาและสร้างเครื่องเจาะรูด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้น 3 เฟสแบบทรงกระบอกขึ้นมา และทำการเปรียบเทียบสมรรถภาพการทำงานของเครื่องเจาะรูที่สร้างขึ้นมากับเครื่องเจาะรูระบบนิวแมติก โดยเครื่องเจาะรูที่นำเสนอมีโครงสร้างดังต่อไปนี้

## โครงสร้างด้านปฐมภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นแบบแกนกระบอก

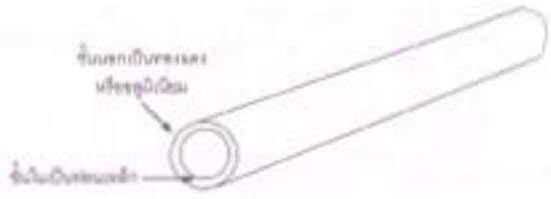
คือ การผ่าโครงสร้างมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบหมุนออก แล้วคลี่ออกมา ก็จะเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นชนิดแกนราบ ถ้ามัวนโครงสร้างมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นชนิดแกนราบมาอีกครั้งในอีกด้าน จะกลายเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นแบบทรงกระบอก ขั้นตอนการแปลงจากมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบหมุนเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบทรงกระบอกได้แสดงไว้ในรูปที่ 1




รูปที่ 1 โครงสร้างด้านปฐมภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นแบบทรงกระบอก

จะเห็นว่าส่วนที่เป็นประโยชน์ของขดลวด จะวนครบเป็นวงรอบ จึงทำให้ขดลวดแต่ละชุดมีส่วนในการสร้างแรงทั้งหมด จึงทำให้ความสิ้นเปลืองและรีแอกแตนซ์รั่วไหลของตัวนำเชื่อมต่อปลายเป็นศูนย์

## โครงสร้างด้านทุติยภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นแบบทรงกระบอก



รูปที่ 2 โครงสร้างด้านทุติยภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นแบบทรงกระบอก

ด้านทุติยภูมิต้องเป็นแกนกระบอกทำด้วยท่อนเหล็กซึ่งมีความนำแม่เหล็กที่ดี(พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2541) ผิวภายนอกซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวนำนั้นอาจเป็นทองแดงหรืออลูมิเนียมเคลือบอยู่ ซึ่งทำได้ทั้งการพ่นด้วยฝุ่นทองแดง การอัดด้วยท่อทองแดงหรืออลูมิเนียม หรืออาจใช้การเคลือบผิวด้วยการแยกสารละลายด้วยไฟฟ้า

# วิธีดำเนินการวิจัย

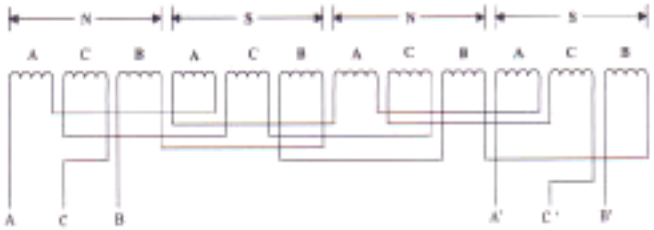
ในส่วนปฐมภูมิ จะใช้แกนเหล็กรูปตัวE ที่ใช้ทำหม้อแปลงมาอัดซ้อนกันเป็นชุดๆ จากนั้นก็นำแกนเหล็กแต่ละชุดมาเรียงกันตามส่วนโค้งของท่อ PVC ที่ใช้เป็นแกน เพื่อให้ช่องอากาศมีความสม่ำเสมอ ดังในรูปที่ 3

**รูปที่** 3 ส่วนปฐมภูมิของมอเตอร์ที่ประกอบแล้ว

ในส่วนทุติยภูมิ(สาคร, 2545) ใช้แกนกลางเป็นแท่งเหล็กกลวง ซึ่งถูกสวมทับด้วยท่ออลูมิเนียมให้แน่นพอดี โดยมีความยาว 1 เมตร และที่ปลายของส่วนทุติยภูมิ จะมีเหล็ก stopper เพื่อหยุดการเคลื่อนที่ โดยจะเป็นตัวที่ไปชน limit switch เพื่อตัดไฟฟ้าและกลับเฟสให้แกนของส่วนทุติยภูมิเคลื่อนที่กลับ หลังจากเจาะรูเสร็จ ดังรูปที่ 4

**รูปที่** 4 ส่วนทุติยภูมิที่จะนำไปใช้งาน

ในการต่อขดลวด(พงษ์ศักดิ์ และคณะ) จะเลือกออกแบบให้มี 4 ขั้วแม่เหล็ก แต่ละเฟสจะมีขดลวด 4 ชุด ซึ่งต่อกันแบบ "ต้นต่อต้น" และ "ปลายต่อปลาย" เหมือนกับการต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟสทั่วไป โดยลักษณะการต่อแสดงไว้ใน 5




**รูปที่** 5 การต่อขดลวดทั้ง 3 เฟส ของมอเตอร์

การหาจำนวนรอบและขนาดของขดลวดที่จะลงในร่องสล็อตมีขั้นตอนดังนี้

- ได้เลือกใช้แกนเหล็กชนิด Electrical Iron ซึ่งมีค่าอิ่มตัวของความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก 2.15 $wb/m^2$

- หาพื้นที่หน้าตัดที่จะลงขดลวด

$$A = \pi r^2 \quad (1)$$

เมื่อ r คือครึ่งหนึ่งของความหนาของแกนเหล็ก1ชุด

- เส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด

$$\phi_{max} = B_{max} A \quad (2)$$

- จากโครงสร้างมี 12 ร่องสล็อต จึงต้องใช้ขดลวด 12 ชุด โดยออกแบบเป็น 4 ขั้วแม่เหล็กดังนั้นในแต่ละเฟสจึงมีขดลวด 4 ชุด ถ้าพิจารณาที่เฟสใดเฟสหนึ่งจะเสมือนว่ามีขดลวด 4 ชุดต่ออนุกรมกันอยู่ (ดูรูปที่ 5ประกอบ) ถ้าแรงดันเฟสสูงสุดที่จะจ่ายคือ 220 V. จะมีแรงดันตกคร่อมขดลดต่อขดคือ 220/4 = 55 V.

- โดยพิจารณาว่าการพันขดลวด 1 ชุดบนแกนเหล็กเป็นหลักการเดียวกับหม้อแปลง ถ้าคิดว่าความต้านทานในขดลวดมีค่าน้อยมากจนไม่ต้องนำมาพิจารณา จะหาค่าแรงดันเหนี่ยวนำในแต่ละขดได้ดังสมการที่ (3)

$$E = 4.44\, f.\, N.\phi_{max} \quad (3)$$

โดย f คือความถี่ของแหล่งจ่าย และ N คือ จำนวนรอบขดลวดที่จะพัน เมื่อย้ายสมการจะได้

$$N = \frac{E}{4.44\, f.\, N.\phi_{max}} \quad (4)$$

- เอาพื้นที่หน้าตัดที่จะลงขดลวดมาคูณด้วย Filling Factor :kf (ในที่นี้ใช้ค่า 0.5) แล้วหารด้วยจำนวนรอบก็จะได้พื้นที่หน้าตัดของขดลวด แล้วเปิดตารางเทียบเบอร์ลวดก็จะได้เบอร์ของขดลวดที่จะใช้ตามแต่มาตรฐานที่เลือก ถ้าจะเปลี่ยนใช้ขดลวดเบอร์อื่นซึ่งอาจต้องเพิ่มหรือลดจำนวนรอบ จะทำให้แรงดันเหนี่ยวนำเปลี่ยนไปตามสมการที่ (5)

$$E = N\frac{d\phi}{dt} \quad (5)$$

ย้ายสมการจะได้

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{E}{N} \quad (6)$$

พิจารณาจากสมการที่ 6 เมื่อ E คงที่ $\frac{d\phi}{dt}$ จะแปรผกผันกับ N จึงเกิดได้ 2 กรณีซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (5) และ (6)

- จากสมการที่(6) ถ้าเพิ่มจำนวนรอบในการพันขดลวดขึ้นก็จะทำให้ $\frac{d\phi}{dt}$ ลดลง และกระแสที่ไหลเข้าขดลวดก็จะลดลงด้วย ทำให้แรงที่ได้มีค่าลดลง

- จากสมการที่(6) ถ้าลดจำนวนรอบในการพันขดลวดลงก็จะทำให้ $\frac{d\phi}{dt}$ เพิ่มขึ้น และกระแสที่ไหลเข้าขดลวดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้แรงที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อนำเอาส่วนตัวมอเตอร์มาประกอบกับแท่นวางและต่อวงจรชุดควบคุมเข้าไป ก็จะได้เครื่องเจาะล้นแบบคล้ายรูปที่ 6

**รูปที่ 6** แสดงโครงสร้างทั้งหมดของเครื่องเจาะ

## ผลการวิจัย

**รูปที่ 7** แสดงการทดสอบเครื่องเจาะรูต้นแบบ

ข้อมูลเพื่อจะใช้นำมาวิเคราะห์สมรรถนะ ของเครื่องเจาะที่สร้างขึ้น เช่น เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ อัตราเร็ว และแรงที่เกิดขึ้น ได้บันทึกไว้ในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** แสดงผลการทดสอบค่าเวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ อัตราเร็ว และแรงที่เกิดขึ้นของเครื่องเจาะเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าทีละขั้น โดยเริ่มในระดับที่เครื่องเริ่มทำงานได้(30 V) จนถึงระดับที่แหล่งจ่ายที่ใช้ตัดการทำงาน(100 V)เนื่องจากกระแสสูงมาก

| แรงดันเฟส(V) | เวลาเฉลี่ย (sec) | อัตราเร็ว (m/sec) | แรง |
|---|---|---|---|
| 30 | 0.1696 | 1.2824 | 9.98 |
| 40 | 0.1488 | 1.4616 | 12.97 |
| 50 | 0.1360 | 1.5993 | 15.52 |
| 60 | 0.1225 | 1.7755 | 19.13 |
| 70 | 0.1108 | 1.9630 | 23.39 |
| 80 | 0.1056 | 2.0597 | 25.75 |
| 90 | 0.1016 | 2.1407 | 27.81 |
| 100 | 0.0968 | 2.2469 | 30.64 |

**ตารางที่ 2** แสดงค่ากำลังงานขาออก กำลังงานขาเข้า และ ประสิทธิภาพด้านกำลังงาน ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าเหมือน กับตารางที่ 1

| แรงดันเฟส(V) | กำลังงานขาออก (W) | กำลังงานขาเข้า (W) | ประสิทธิภาพด้านกำลังงาน(%) |
|---|---|---|---|
| 30 | 12.7983 | 240.5701 | 5.3199 |
| 40 | 18.9569 | 433.3348 | 4.3747 |
| 50 | 24.8199 | 661.6485 | 3.7512 |
| 60 | 33.9653 | 888.9432 | 3.8209 |
| 70 | 45.9146 | 1253.1498 | 3.6639 |
| 80 | 53.0372 | 1634.9296 | 3.2440 |
| 90 | 59.5329 | 2339.4420 | 2.5447 |
| 100 | 68.8450 | 2945.7550 | 2.3371 |

ส่วนตารางที่ 2 เป็นการแสดงค่ากำลังงานขาเข้า กำลังงานขาออก และประสิทธิภาพด้านกำลังงาน ซึ่งคำนวณได้จากข้อมูลในตารางที่ 1 รวมทั้งค่ากระแส และตัวประกอบกำลังที่วัดได้ในแต่ละเฟส ซึ่งส่วนที่ต้องคำนวณจะยกตัวอย่างมาดังนี้

อัตราเร็ว = ระยะทาง/เวลาเฉลี่ย

แรง = (มวล x ระยะทาง)/เวลาเฉลี่ย$^2$

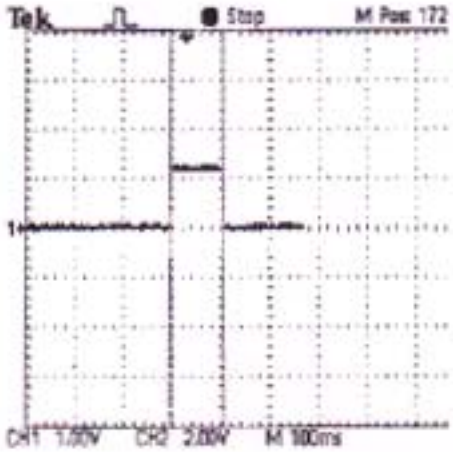
กำลังงานขาเข้า = กำลังงานทั้ง3เฟสบวกกัน

โดยกำลังงานในแต่ละเฟส = แรงดันเฟส x กระแสเฟส x ตัวประกอบกำลังในเฟสนั้น

กำลังงานขาออก = (มวล x ระยะทาง$^2$)/เวลาเฉลี่ย$^3$

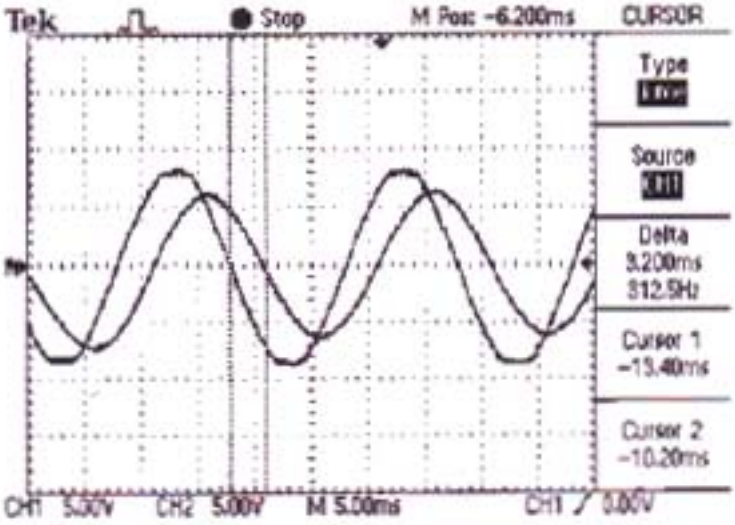
ประสิทธิภาพ = (กำลังงานขาออกx100)/กำลังงานขาเข้า

การวัดค่าเวลาเฉลี่ยนั้นไม่สามารถใช้นาฬิกาจับเวลาโดยตรงได้ เพราะจะเกิดการคลาดเคลื่อนได้ จึงใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงป้อนให้กับสวิตช์ทั้งด้านหัวและท้ายของส่วนทุติยภูมิ เมื่อส่วนทุติยภูมิเริ่มเคลื่อนที่และหยุดการเคลื่อนที่ ก็จะเกิดรูปสัญญาณไฟกระแสตรงตามคาบเวลาที่ใช้ดังรูปที่ 8 และทำการตรวจวัดเช่นนี้หลายๆครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย




**รูปที่ 8** แสดงการตรวจวัดคาบเวลาการเคลื่อนที่ของเครื่องเจาะโดยป้อนแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและใช้ออสซิลโลสโคปตรวจจับสัญญาณ

ส่วนการตรวจวัดค่าตัวประกอบกำลังจะใช้การวัดสัญญาณแรงดันและกระแสทางด้านเข้าในแต่ละเฟสโดยใช้ออสซิลโลสโคปแล้วดูรูปสัญญาณที่ได้ว่าเกิดห่างกันเท่าใด นำช่องความห่างในออสซิลโลสโคปมาเทียบเป็นมุมทางไฟฟ้า($\theta$) โดยตัวประกอบกำลัง = $\cos\theta$




**รูปที่ 9** แสดงการตรวจวัดค่าตัวประกอบกำลังโดยใช้ออสซิลโลสโคปจับความต่างเฟสของสัญญาณแรงดันและกระแสด้านเข้า

# สรุปผลการวิจัย

ถ้าเอาเครื่องเจาะที่สร้างขึ้นนี้ไปเปรียบเทียบกับระบบนิวแมติกที่ผลิตแรงออกมาได้ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลด้านต่างๆ ของเครื่องเจาะที่สร้างขึ้นกับระบบนิวแมติก

| รายละเอียดของระบบ | เครื่องเจาะที่สร้าง | ระบบนิวแมติก |
|---|---|---|
| 1. โครงสร้าง | - โครงสร้างของมอเตอร์มีขนาดไม่ใหญ่และถ้าจะติดตั้งก็ไม่ใช้พื้นที่มาก | - โครงสร้างมีขนาดใหญ่จึงใช้พื้นที่ใน การติดตั้งพอสมควร |
| 2. จำนวนอุปกรณ์ | - มีจำนวนอุปกรณ์ที่น้อยมากส่วนใหญ่จะเป็นโครงสร้างโดยรวม | - มีจำนวนอุปกรณ์จำนวนมากเพื่อที่จะแปลงกระบวนการทำงานในทุกขั้นตอน |
| 3. กำลังด้านเข้า | - ใช้กำลังด้านเข้าที่มากจึงจะทำให้โรเตอร์เคลื่อนที่ได้ | - ใช้กำลังด้านเข้าที่น้อยถึงปานกลางขึ้นอยู่กับความดันลม |
| 4. การบำรุงรักษา | - บำรุงรักษาได้ง่ายเพราะระบบมีอุปกรณ์น้อยชิ้นสามารถดูแลได้ง่าย | - บำรุงรักษาได้ที่ระดับปานกลางเพราะมีจำนวนของอุปกรณ์ที่มาก |
| 5. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา | - ใช้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่น้อย เพราะมีอุปกรณ์น้อยชิ้น | - ใช้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่มากตามอุปกรณ์ |
| 6. การเลือกวิธีการควบคุมการทำงาน | - สามารถควบคุมการทำงานของระบบได้หลากหลายทางไฟฟ้า | - สามารถควบคุมการทำงานของระบบได้หลายวิธี |
| 7. ราคาอุปกรณ์ | - อุปกรณ์มีราคาถูกจึงมีราคารวมที่ไม่สูงมาก | - อุปกรณ์มีราคาแพงจึงมีราคารวมที่สูง |
| 8. ความยุ่งยากในการประกอบ | - ประกอบวงจรในการทำงานได้ง่าย | - มีการต่อท่อลมหลายท่อจึงทำให้มีความยุ่งยากในการประกอบอุปกรณ์ |
| 9. ประสิทธิภาพโดยรวม | - ประสิทธิภาพด้านกำลังงานต่ำมากแต่ถ้าพิจารณาที่แรงที่ได้ออกมา ถือว่าใช้ได้ | - ประสิทธิภาพด้านกำลังงานค่อนข้างดี |

จากตารางที่ 3 จะเห็นข้อดีข้อเสียของทั้ง 2 ระบบที่แตกต่างกันไปซึ่งจะเป็นแนวทางสำคัญในการตัดสินใจที่จะนำระบบใดมาใช้ เพื่อจะได้ประโยชน์ของระบบนั้นๆได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และเป็นแนวทางในการตัดสินใจว่าเมื่อใช้ระบบนั้นๆแล้วจะคุ้มค่าเพียงใด โดยจากตารางที่ 3 จะเห็นว่าเครื่องเจาะซึ่งใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นชุดนี้ใช้กำลังไฟฟ้ามากในแต่ละครั้งที่ทำงาน เมื่อเทียบกับมอเตอร์แบบหมุน และมีประสิทธิภาพด้านกำลังงานที่ต่ำมากๆ แต่ในการใช้งานจริงเราจะให้มันทำงานเพียงช่วงสั้นๆในแต่ละครั้ง(ขึ้น หรือ ลง) เสมือนกับมอเตอร์ตอนเริ่มต้นทำงาน

ซึ่งต้องใช้ระแสสูงเป็นเรื่องปกติ เพียงแต่ใช้เวลาช่วงสั้นๆเท่านั้น แต่วัตถุประสงค์หลักของเครื่องเจาะนี้คือแรง(Force) ที่ได้ออกมา ซึ่งไม่ใช่กำลังงาน(Power) โดยถ้าดูจากผลการทดลอง แรงที่ได้มาเทียบกับกำลังงานด้านเข้าที่จ่ายให้อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจเพราะสามารถสร้างแรงได้ใกล้เคียงกับแรงที่ได้จากระบบนิวแมติกขนาดเล็ก แต่ข้อดีของเครื่องเจาะที่สร้างนี้คือ ได้แรงโดยตรงจากแรงดันไฟฟ้า โดยไม่ต้องใช้ระบวนการ และ อุปกรณ์มากเท่าระบบนิวแมติก ในด้านต้นทุนก็ถูกกว่า ซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าซ่อมบำรุงอุปกรณ์ต่างๆ ในระยะยาว หากมีการพัฒนาต่อในด้านการใช้กำลังงานด้านเข้าให้ลดลงอีกในขณะสตาร์ตก็จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องเจาะที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

## เอกสารอ้างอิง


พงษ์ศักดิ์ มากมิ่ง, พรชัย เงาฉาย และ สุวิทย์ ป้องคำสิงห์. 2541. **มอเตอร์เหนี่ยวนำเชิงเส้นแบบแกนกระบอก**. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์. 2545. "ชุดเครื่องกลไฟฟ้าเพื่อใช้ทดแทนระบบนิวแมติก". ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปานเพชร ชินินทร และ ชวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์. 2541. **นิวแมติกอุตสาหกรรม**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน).

Laithwaite E.R. 1966. **Induction Machines For Special Purpose**. W.C.2. George Newnes Limited: London.