

การปรับปรุงสมรรถนะมอเตอร์อัลตราโซนิกเชิงเส้นด้วยการเปลี่ยนเงื่อนไขขอบ Performance Improvement of a Ultrasonic Linear Motor by Changing the Boundary Condition

ภาณุมาศ สุยบางดุม^{1*} และ พญทิกร สมิตไมตรี²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร วิทยาลัยรัตภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อดัมภูมิ จ.สงขลา 90180

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อดัมใหญ่ จ.สงขลา 90112

*E-mail: panumas.suybangdum@gmail.com, (074)-584241-4, (074)-584-240

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะของมอเตอร์อัลตราโซนิกเชิงเส้นเมื่อใช้เงื่อนไขขอบที่แตกต่างกันสองรูปแบบคือ แบบปลายอิสระ และแบบปลายยึดแน่น โดยทั่วไปมอเตอร์อัลตราโซนิกมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญประกอบด้วย สเตเตอร์และโรเตอร์ สเตเตอร์มีหน้าที่ขับให้โรเตอร์เกิดการเคลื่อนที่โดยอาศัยคลื่นเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์ คลื่นเคลื่อนที่ที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของสเตเตอร์เมื่อถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณแบบฮาร์โมนิก โดยทั่วไปวัสดุเพียโซอิเล็กทริกถูกใช้เป็นตัวทำงานในมอเตอร์อัลตราโซนิกที่สามารถกระตุ้นให้เกิดแรงแบบฮาร์โมนิก ในงานวิจัยนี้สมรรถนะของมอเตอร์อัลตราโซนิกแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรงถูกพัฒนาโดยการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขขอบ และวิเคราะห์ผลโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ผลการศึกษาพบว่า มอเตอร์อัลตราโซนิกแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรงที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระจะมีสมรรถนะดีกว่ามอเตอร์อัลตราโซนิกแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรงที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่น เนื่องจากเงื่อนไขขอบของมอเตอร์ส่งผลโดยตรงต่อความสูงของคลื่นเคลื่อนที่ ดังนั้นมอเตอร์อัลตราโซนิกที่มีความสูงของคลื่นเคลื่อนที่มากจะส่งผลให้มอเตอร์มีแรงขับและสมรรถนะสูงขึ้นด้วย ดังนั้นเงื่อนไขขอบทางกายภาพจึงมีความสำคัญต่อการออกแบบมอเตอร์อัลตราโซนิกเพราะสามารถเพิ่มสมรรถนะของมอเตอร์อัลตราโซนิกได้

คำหลัก: มอเตอร์อัลตราโซนิก, เงื่อนไขขอบ, วัสดุเพียโซอิเล็กทริก

Abstract

The main objective of this research is to study the performance of an ultrasonic linear motor by adjusting the boundary conditions, i.e., fixed and free boundary conditions. An ultrasonic motor system consists of a stator and a rotor. The stator drives a rotor along the linear beam by means of traveling wave. The traveling wave generated by piezoelectric actuators patch bonded on the linear beam which is excited by harmonic signals. The performance of an ultrasonic linear motor is studied by changing the boundary conditions. Finite element results are compared with experimental results. The result shows that the performance of an ultrasonic linear motor with free boundary condition is higher than that the ultrasonic linear motor with fixed boundary condition. Because the boundary condition directly affects the traveling wave amplitude, an ultrasonic linear motor with the higher traveling wave amplitude yields the higher motor performance. Thus, the boundary condition is a crucial factor for design of an ultrasonic linear motor.

Keywords: Ultrasonic linear motor, Boundary condition, Piezoelectric material.

1. บทนำ

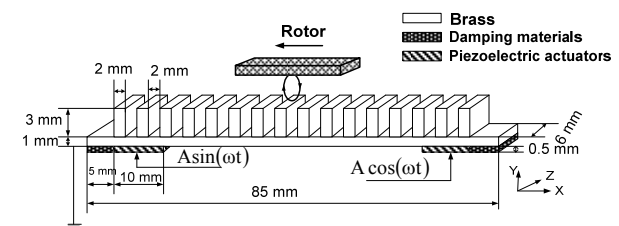
มอเตอร์อัลตราโซนิคสามารถแบ่งออกได้สองลักษณะ คือ มอเตอร์อัลตราโซนิคแบบเคลื่อนที่แบบวงกลม (rotary ultrasonic motor) และมอเตอร์อัลตราโซนิคแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรง (linear ultrasonic motor) [1-5] โดยปกติมอเตอร์อัลตราโซนิคทั้งสองรูปแบบมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญประกอบด้วย สเตเตอร์ (stator) และโรเตอร์ (rotor) สเตเตอร์ของมอเตอร์ทำหน้าที่ขับให้โรเตอร์เกิดการเคลื่อนที่โดยใช้คลื่นเคลื่อนที่ (traveling wave) ที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์ในลักษณะวงกลมหรือแบบเส้นตรงขึ้นกับการออกแบบสเตเตอร์ คลื่นเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์เกิดจากการนำตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric material) ไปติดตั้งบนสเตเตอร์ในรูปแบบที่สามารถกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่ได้ จากนั้นกระตุ้นตัวทำงานด้วยสัญญาณทางไฟฟ้าทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นบนสเตเตอร์ในลักษณะที่สามารถกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่จนสามารถขับให้โรเตอร์เกิดการเคลื่อนที่ได้ [6-7] มอเตอร์อัลตราโซนิคมีข้อดีหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ทั่วไป อาทิเช่น มีความแม่นยำสูงในระดับไมโครเมตร มีแรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ มีขนาดกระทัดรัด ไม่มีสนามแม่เหล็ก มีน้ำหนักเบาและไม่มีเสียงดังขณะมอเตอร์ทำงาน [7-9]

มอเตอร์อัลตราโซนิคสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายรูปแบบด้วยกัน อาทิเช่น ใช้เป็นตัวปรับตำแหน่งความคมชัดในกล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัล (automatic focus: AF) ใช้สำหรับการปรับเลนส์ของระบบ PDA (Personal Digital Assistants) ใช้ในโทรศัพท์มือถือ และใช้ในเครื่องมือทางการแพทย์ เป็นต้น [8] ในการปรับปรุงสมรรถนะของมอเตอร์อัลตราโซนิคสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น ใช้ตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริกที่มีหลายชั้น (multi-layer piezoelectric ceramics) แทนตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริกที่มีชั้นเดียว [10] ใช้สเตเตอร์ที่มีจำนวนฟันเพิ่มขึ้นแทนสเตเตอร์ที่มีหนึ่งฟันในการขับโรเตอร์เพื่อเป็นการเพิ่มแรงขับ [5] นอกจากนั้นสามารถเพิ่มสมรรถนะของมอเตอร์โดยการใช้วัสดุสำหรับเพิ่มแรงยึดทานที่จุดสัมผัสที่ผิวหน้าระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์ [11] โดยปกติมอเตอร์อัลตราโซนิคจะใช้เงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่นสำหรับกระตุ้นให้เกิดคลื่นเคลื่อนที่ โดยเงื่อนไขขอบมีผลโดยตรงต่อความสูงของคลื่นเคลื่อนที่ของมอเตอร์อัลตราโซนิค ดังนั้นคลื่นเคลื่อนที่จะมีความสูงเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีเงื่อนไขขอบที่แตกต่างกัน ดังนั้น

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือ เพื่อเพิ่มสมรรถนะของมอเตอร์อัลตราโซนิคแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรงโดยการใช้เงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้นตัวทำงานกับความเร็วของมอเตอร์

2. หลักการทำงานของมอเตอร์อัลตราโซนิคแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรง

ในการศึกษานี้สเตเตอร์ของมอเตอร์อัลตราโซนิคทำจากทองเหลืองและใช้ตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริกติดตั้งบนสเตเตอร์ในตำแหน่งที่สามารถกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่ได้ ความยาวของตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริกมีขนาดเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ($\lambda/2$) ขนาดของสเตเตอร์ของมอเตอร์อัลตราโซนิคแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรงแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงสเตเตอร์ของมอเตอร์อัลตราโซนิคแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรง [6]

สเตเตอร์ของมอเตอร์อัลตราโซนิคสามารถกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่ได้เมื่อตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริกที่ติดตั้งบนสเตเตอร์ในตำแหน่งที่เหมาะสมถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า $Asin(\omega t)$ และ $Acos(\omega t)$ ตามลำดับ เมื่อ ω คือ ความถี่ทำงานสำหรับกระตุ้นตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริก A คือ ปริมาณสัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้น และคลื่นเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นจะต้องเคลื่อนที่ด้วยความสูงที่สม่ำเสมอตลอดคัน ในการสลับทิศทางการเคลื่อนที่ของมอเตอร์อัลตราโซนิคส์สามารถกระทำได้โดยการสลับสัญญาณที่กระตุ้นตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริก ฟันของสเตเตอร์ถูกออกแบบเพื่อขยายความสูงของคลื่นเคลื่อนที่ ในขณะที่คลื่นเคลื่อนที่จะเกิดวงรีที่ผิวฟันของสเตเตอร์ซึ่งจะใช้สำหรับขับให้มอเตอร์เกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะวงกลมหรือแบบเส้นตรง [6]

เมื่อตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริกถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณทางไฟฟ้าจะส่งผลให้สเตเตอร์ของมอเตอร์เกิดการ

สันสะท้อนและมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางในแนวตั้ง ซึ่งการหาค่าการกระจัดในแนวตั้งสามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$u_3(x, t) = A \sin(\omega t - kx), \quad (1)$$

เมื่อ $k = 2\pi/\lambda$ คือ เลขคลื่น (wave number) λ คือ ความยาวคลื่น (wavelength) สำหรับการเปลี่ยนแปลงขนาดในแนวระดับสามารถหาได้จากสมการที่ (2)

$$\sigma(x, z, t) = -a \frac{\partial u_3}{\partial x} = Aak \cos(\omega t - kx) \quad (2)$$

เมื่อ a คือ ระยะจากกึ่งกลางของคานถึงผิวด้านบนของพื้นสเตเตอร์ และวงรีที่เกิดขึ้นที่ผิวด้านบนของพื้นสเตเตอร์สามารถหาค่าได้จากสมการที่ (3)

$$\left(\frac{\sigma}{Aak}\right)^2 + \left(\frac{u_3}{A}\right)^2 = 1 \quad (3)$$

การเคลื่อนที่ของโรเตอร์เกิดจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างจุดสัมผัสของสเตเตอร์กับโรเตอร์ ความเร็วสูงสุดของมอเตอร์เมื่อกระตุ้นด้วยสัญญาณฮาร์โมนิกส์สามารถหาค่าได้จาก สมการที่ (4)

$$v_x = -Aak\omega \sin(\omega t - kx) \quad (4)$$

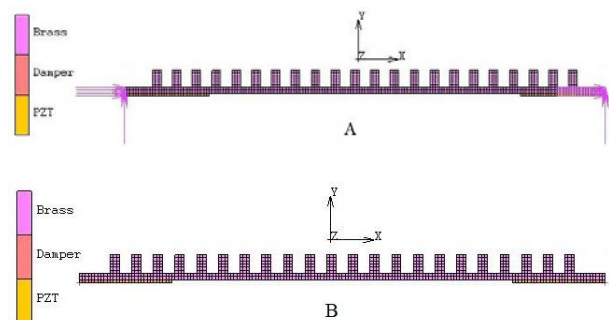
เพื่อยืนยันผลการคำนวณความเร็วของมอเตอร์อัลตราโซนิกแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรง ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกใช้เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

3. การออกแบบมอเตอร์ด้วยระเบียบวิธี

ไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกใช้วิเคราะห์เพื่อหาความถี่ทำงานและสมรรถนะของมอเตอร์ ในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของมอเตอร์อัลตราโซนิกแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรง ขนาดและตำแหน่งการจัดวางตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริกบนสเตเตอร์ของมอเตอร์อัลตราโซนิกแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรงแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย สเตเตอร์ที่ทำ

จากทองเหลืองซึ่งมีลักษณะเป็นคานตรงติดตั้งตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริกและวัสดุดูดซับการสั่นสะท้อนที่ปลายทั้งสองด้านในตำแหน่งที่สามารถกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่ได้ การเกิดคลื่นเคลื่อนที่ที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า $54\sin(\omega t)$ ที่ตัวทำงานด้านซ้าย และ $54\cos(\omega t)$ ที่ตัวทำงานด้านขวา ตามลำดับ การวิเคราะห์ผลตอบสนองเชิงเวลา (transient analysis) ถูกใช้เพื่อหาคความถี่ทำงาน (operating frequency) เพื่อเป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะของมอเตอร์อัลตราโซนิกแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรงที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่นกับแบบปลายอิสระ ปัจจัยที่ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของมอเตอร์อัลตราโซนิกทั้งสองรูปแบบ ประกอบด้วย พฤติกรรมการสั่นสะท้อนของสเตเตอร์เมื่อถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณไฟฟ้า ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของคลื่นเคลื่อนที่กับปริมาณสัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้นตัวทำงานแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของมอเตอร์อัลตราโซนิกแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรงทั้งสองรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2



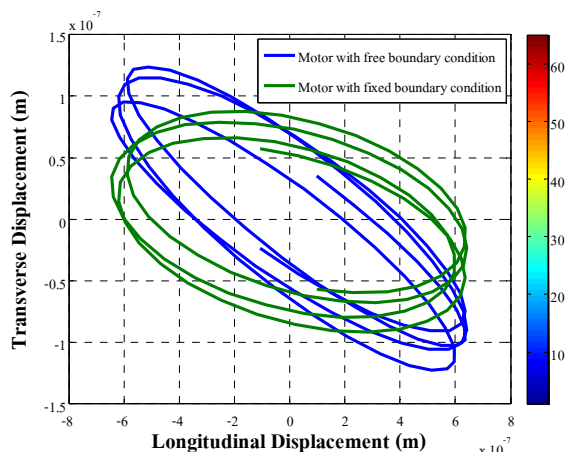
รูปที่ 2 แสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (A) เงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่น (B) เงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระ

4. ผลการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกใช้เพื่อหาสมรรถนะของมอเตอร์อัลตราโซนิกแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรงทั้งสองรูปแบบ คลื่นเคลื่อนที่ที่เกิดจากการรวมกันของคลื่นในแนวตั้ง (standing wave) จำนวนสองขบวนที่มีเฟสต่างกัน 90 องศา ประกอบด้วย คลื่นในแนวตั้งเกิดจากตัวทำงานที่ติดตั้งบนสเตเตอร์ถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณไฟฟ้า $54\sin(\omega t)$ ที่ตัวทำงานด้านซ้าย และ $54\cos(\omega t)$ ที่ตัวทำงานด้านขวา

ตามลำดับ และคลื่นเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์จะต้องมีการเคลื่อนที่ด้วยความสูงของคลื่นสม่ำเสมอตลอดทั้งคัน

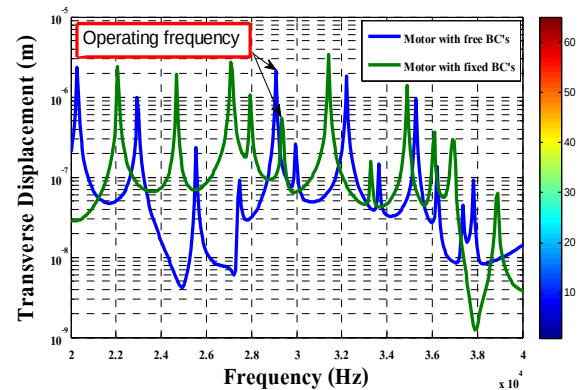
ลักษณะวงรี (elliptical trajectory) ที่เกิดขึ้นบนพื้นของสเตเตอร์ทั้งสองรูปแบบเมื่อกระตุ้นด้วยความถี่ทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3 ผลการจำลองแบบพบว่า วงรีที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์ของมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระจะมีความสูงตามแนวขวาง (transverse displacement) มากกว่ามอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่น เนื่องจากมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ถึงขอบจะส่งผลให้คลื่นเคลื่อนที่มีความสูงเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสะท้อนในลักษณะดังกล่าวจะมีเฟสและความสูงของคลื่นเหมือนกับคลื่นตกกระทบ ในขณะที่มอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ถึงขอบจะส่งผลให้คลื่นเคลื่อนที่มีความสูงลดลงเนื่องจากการสะท้อนของคลื่นจะมีเฟสและความสูงของคลื่นตรงกันข้ามกับคลื่นตกกระทบ ลักษณะของวงรีที่เกิดขึ้นเมื่อกระตุ้นมอเตอร์ด้วยความถี่ทำงานทั้งสองรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงลักษณะวงรีที่เกิดขึ้นเมื่อกระตุ้นมอเตอร์ด้วยความถี่ทำงานทั้งสองรูปแบบ

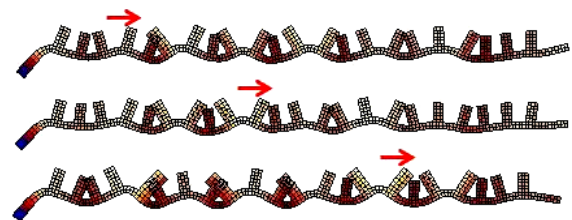
ผลการตอบสนองเชิงความถี่ของมอเตอร์อัลตราโซนิกแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรงทั้งสองรูปแบบแสดงในรูปที่ 4 โดยตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริกที่ติดตั้งบนสเตเตอร์ของมอเตอร์ทั้งสองรูปแบบถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณไฟฟ้าที่เหมือนกันทั้งสองรูปแบบ คือ $54\sin(\omega t)$ ที่ตัวทำงานด้านซ้าย และ $54\cos(\omega t)$ ที่ตัวทำงานด้านขวา ตามลำดับ ความถี่ที่กระตุ้นจะอยู่ในช่วง 0 – 40,000 เฮิรตซ์ จากผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อกระตุ้นความถี่ที่ใกล้กับความถี่

ธรรมชาติของระบบจะเกิดการสั่นสะเทือนที่รุนแรงและคลื่นจะมีความสูงมาก จากผลการวิเคราะห์การตอบสนองต่อความถี่ของมอเตอร์พบว่า มอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระจะมีค่าความสูงของคลื่นเคลื่อนที่มากกว่ามอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่น

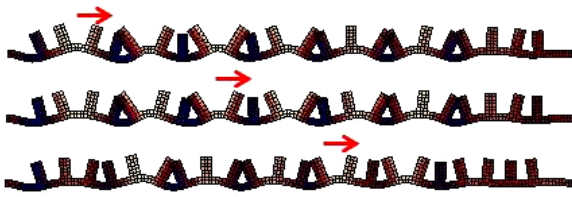


รูปที่ 4 แสดงผลตอบสนองความถี่ของมอเตอร์

พฤติกรรมเคลื่อนที่ของคลื่นเคลื่อนที่บนสเตเตอร์เมื่อกระตุ้นด้วยความถี่ทำงานของมอเตอร์ทั้งสองรูปแบบแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ตามลำดับ โดยในรูปทั้งสองไม่ได้แสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุดูดซับการสั่นสะเทือน (damping material) และตัวทำงานที่ติดตั้งบนสเตเตอร์ เนื่องจากวัสดุดังกล่าวจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดมากเมื่อเทียบกับสเตเตอร์ของมอเตอร์ ความถี่ทำงานของมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระมีค่าเท่ากับ 29,080 เฮิรตซ์ และ ความถี่ทำงานของมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระมีค่าเท่ากับ 29,200 เฮิรตซ์ คลื่นเคลื่อนที่ที่จะเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวาและมีความสูงสม่ำเสมอตลอดคันซึ่งมีลักษณะที่เหมือนกันทั้งสองรูปแบบ

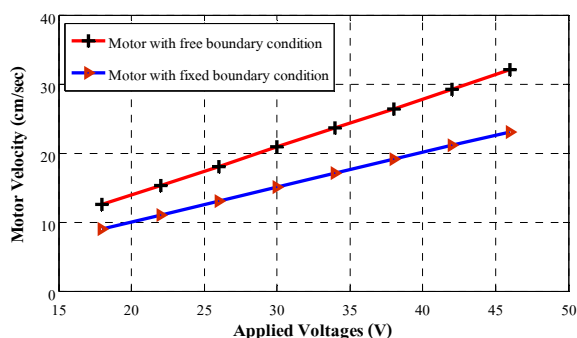


รูปที่ 5 แสดงคลื่นเคลื่อนที่ของมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระ



รูปที่ 6 แสดงคลื่นเคลื่อนที่ของมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่น

การหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้นตัวทำงานกับความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองรูปแบบ โดยใช้สมการที่ (4) ในการคำนวณ ผลการคำนวณพบว่ามอเตอร์อัลตราโซนิกที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระจะมีความเร็วกว่ามอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่น เนื่องจากมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระจะมีความสูงของคลื่นเคลื่อนที่มากกว่ามอเตอร์แบบปลายยึดแน่น เนื่องจากการสะท้อนของคลื่นในมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระมีเฟสและความสูงของคลื่นเหมือนกับคลื่นตกกระทบ ในขณะที่มอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่นความสูงจะลดลงเนื่องจากการสะท้อนของคลื่นจะมีเฟสและความสูงของคลื่นตรงกันข้ามกับคลื่นตกกระทบ ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้นตัวทำงานกับความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองรูปแบบแสดงดังในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้นตัวทำงานกับความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองรูปแบบ

5. การทดลองหาความเร็วของมอเตอร์อัลตราโซนิกแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรง

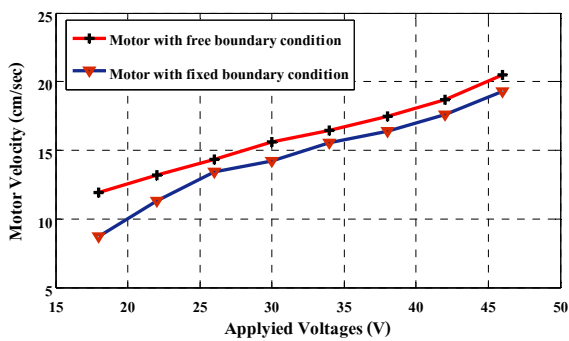
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของมอเตอร์อัลตราโซนิกแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรง โดยการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขขอบ คือ มอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบ

ปลายยึดแน่น และมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระ เนื่องจากเงื่อนไขขอบมีผลต่อความสูงของคลื่นเคลื่อนที่และสมรรถนะของมอเตอร์ อย่างไรก็ตามคลื่นเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์จะต้องเคลื่อนที่ด้วยความสูงของคลื่นที่สม่ำเสมอตลอดคาน สเตเตอร์ของมอเตอร์อัลตราโซนิกแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรงทั้งสองรูปแบบ แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงสเตเตอร์ของมอเตอร์อัลตราโซนิกแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรง

การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้นตัวทำงานกับความเร็วของมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่นซึ่งถูกศึกษาโดย [6] ความถี่ทำงานของมอเตอร์แบบมีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระเท่ากับ 31,460 เฮิร์ตซ์ และความถี่ทำงานของมอเตอร์แบบมีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่นเท่ากับ 28,210 เฮิร์ตซ์ โดยใช้น้ำหนักวางบนสเตเตอร์ (pre-load) เพื่อเพิ่มแรงกดมีค่าเท่ากับ 101.5 กรัม และใช้สัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้นตัวทำงานในช่วง 18 – 46 โวลต์ ผลการทดลองพบว่า ความเร็วของมอเตอร์แปรผันตรงกับสัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้นตัวทำงานคือความเร็วของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่อสัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้นตัวทำงานเพิ่มขึ้น โดยมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระจะมีความเร็วกว่ามอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่นเมื่อใช้สัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้นตัวทำงานเท่ากัน โดยมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระจะมีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 20.5 เซนติเมตรต่อวินาที ในขณะที่มอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่นจะมีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 19.27 เซนติเมตรต่อวินาที เมื่อใช้สัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้นตัวทำงานเพียงโซ่เล็กทริกเท่ากันที่ 46 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์กับ
สัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้นตัวทำงาน

6. สรุปผล

งานวิจัยนี้ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของมอเตอร์อัลตราโซนิกแบบเคลื่อนที่แบบเส้นตรงโดยการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขขอบของมอเตอร์ในสองลักษณะคือ มอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่น และมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระ ในงานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ความถี่ทำงานที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของมอเตอร์อัลตราโซนิกทั้งสองรูปแบบ คือ มอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระมีค่าเท่ากับ 29,080 เฮิรตซ์ และมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่นมีค่าเท่ากับ 29,200 เฮิรตซ์ ตามลำดับ ในขณะที่ความถี่ทำงานที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 31,460 เฮิรตซ์ สำหรับมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระ และเท่ากับ 28,210 เฮิรตซ์ สำหรับมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่น ความเร็วสูงสุดของมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระเท่ากับ 20.5 เซนติเมตรต่อวินาที และมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่นเท่ากับ 19.27 เซนติเมตรต่อวินาที เมื่อใช้สัญญาณไฟฟ้ากระตุ้นตัวทำงานเท่ากันที่ 46 โวลต์ และพบว่ามอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระมีความเร็วมากกว่ามอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่น เท่ากับ 6 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมอเตอร์ที่มีเงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ถึงส่วนปลายของสเตเตอร์จะส่งผลให้คลื่นเคลื่อนที่ที่ตามมามีความสูงเพิ่มขึ้น เนื่องจากคลื่นมีการสะท้อนในลักษณะที่มีเฟสและความสูงของคลื่นเหมือนกับคลื่นตก

กระทบนั่นเอง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถเพิ่มสมรรถนะของมอเตอร์ได้โดยการใช้เงื่อนไขขอบแบบปลายอิสระแทนการใช้เงื่อนไขขอบแบบปลายยึดแน่น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร วิทยาลัยรัตนภูมิ ที่สนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- 1] Sachida, T. and Kenjo, T. (1993). *An introduction to ultrasonic motors*, Clarendon Press, Oxford.
- 2] Kenji, U. (1998). Piezoelectric ultrasonic motors: overview, *Smart Materials and Structures*, vol. 7, pp 273-285.
- 3] Ueha, S., Tomikawa, Y., Kurosawa, M. and Nakamura, N. (1993). *Ultrasonic motors: Theory and applications*, Clarendon Press, Oxford.
- 4] Kenji, U. (1997). *Piezoelectric actuators and Ultrasonic motors*, Kluwer Academic, London.
- 5] Yingxiang, L., Weishan, C., Junkao, L. and Shengjum, S. (2013). A rectangle-type linear ultrasonic motor using longitudinal vibration transducers with four driving feet, *IEEE Transaction on Ultrasonic, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 6, no. 4, April 2013, pp. 777 – 785.
- 6] Pruittikorn, S., Panumas, S., Pitak, L. and Nantakan, M. (2012). Design and performance testing of an ultrasonic linear motor with dual piezoelectric actuators, *IEEE Transaction on Ultrasonic, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 59, no. 4, May 2012, pp. 1033 – 1042.
- 7] Pruittikorn, S., Panumas, S., Supasarote, M. and Horn-Sen, T. (2008). Wave propagations of curvilinear motors driven by partially laminated piezoelectric actuators, *Smart Materials and Structures*, vol. 17, pp 1 - 10.
- 8] Yunlai, S. and Chunsheng, Z. (2011). A new standing -wave-type linear ultrasonic motor

based on in-plane modes, Ultrasonics, vol. 51, pp. 397 – 404.

9] Yingxiang, L., Weishan, C., Junkao, L. and Shengjum, S. (2010). A high-power linear ultrasonic motor using longitudinal vibration transducers with single foot, IEEE Transaction on Ultrasonic, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 57, August 2010, pp. 1860 – 1867.

10] Lionel, P. and Paul, G. (2009). A multilayer TWILA ultrasonic motor, Sensors and Actuators A, vol. 149, pp. 113 – 119.

11] Hyun-Phill, K., Sangsig, K., Jin-Sang, K., Hyun-Jai. and Seok-Jin, Y. (2005). Wear and dynamic properties of piezoelectric ultrasonic motor with frictional materials coated stator, Materials Chemistry and Physics, vol. 90, pp. 391 – 395.