

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 หัวข้อของการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์อัลตราโซนิกเชิงเส้นโค้ง โดยแบ่งออกเป็นส่วนตัวต่าง ๆ ดังนี้

บทที่ 1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับอัลตราโซนิกมอเตอร์ชนิดต่าง ๆ รวมทั้งบทความที่เกี่ยวกับมอเตอร์อัลตราโซนิกเชิงเส้นโค้ง การนำมอเตอร์ไปประยุกต์ใช้งาน รวมถึงความสำคัญของการศึกษาแต่ละบทความที่มีผลต่ออัลตราโซนิกมอเตอร์

บทที่ 2 ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติและสมการที่เกี่ยวข้องกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริก นอกจากนี้ยังทำการศึกษาหลักการทำงานของมอเตอร์อัลตราโซนิก รวมถึงสมการทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์อัลตราโซนิกเชิงเส้นโค้ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงที่เกิดขึ้นบนคานโค้ง เช่น แรงกระทำที่ผิว และโมเมนต์ดัด ซึ่งมีผลต่อการกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่บนคานโค้ง เป็นต้น

บทที่ 3 อธิบายถึงระเบียบวิธีการวิจัย และลำดับขั้นตอนการจำลองแบบอัลตราโซนิกมอเตอร์เชิงเส้นโค้งด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถแบ่งขั้นตอนการจำลองแบบได้ทั้งหมด 7 ขั้นตอนด้วยกัน ซึ่งเป็นการอธิบายขั้นตอนและลำดับการใช้งานโปรแกรม การกำหนดค่าคงที่ และการดูผลการคำนวณของโปรแกรมที่ได้

บทที่ 4 กล่าวถึงการติดตั้งตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริกบนมอเตอร์อัลตราโซนิกเชิงเส้นโค้งใน 3 ลักษณะด้วยกันคือ ลักษณะที่ 1 ตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริกติดตั้งบนคานโค้งทั้งด้านบนและด้านล่างของคาน ตัวทำงานที่ติดกลุ่มด้านบนของคานโค้งกระตุ้นด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า $A\cos(\omega t)$ และ $A\sin(\omega t)$ ที่ติดกลุ่มด้านล่างของคานโค้ง เพื่อต้องการศึกษาผลของความแข็งตึงของคานโค้งต่อการเกิดคลื่นเคลื่อนที่ ลักษณะที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษานาฬิกาของวัสดุคูดซับแรงกระแทก ที่มีการจัดวางตัวทำงานเหมือนกันและสามารถกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่ได้ โดยแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ โดยที่วัสดุคูด

ซัพแรงกระแทกมีความยาวต่างกันแต่ปริมาตรเท่ากัน ส่วนลักษณะที่ 3 ดัดตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริก เฉพาะผิวด้านบนของคานโค้งเท่านั้น โดยแบ่งตัวทำงานออกเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มที่ถูกกระตุ้นด้วย สัญญาณทางไฟฟ้า $A\cos(\omega t)$ และ $A\sin(\omega t)$ ตามลำดับ ซึ่งจะจัดวางในลักษณะสลับกันและตัวทำงาน แต่ละแผ่นจะห่างกัน 5 องศา และมีลักษณะที่สมมาตร

5.2 สรุปผล

จากการศึกษาลักษณะการจัดวางตัวทำงานเพียโซอิเล็กทริกทั้ง 3 ลักษณะ พบว่าการกระตุ้นที่ความถี่ทำงานคลื่นมีการเคลื่อนที่ทิศทางเดียวตลอดคานโค้ง ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อดูแนวโน้มของทั้งสองวิธี พบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันซึ่งเชื่อได้ว่าแบบจำลองมีความถูกต้อง และจากการจำลองแบบทุกลักษณะใช้สัญญาณไฟฟ้าที่มีแอมพลิจูด 10 V กระตุ้นบนตัวทำงานเพื่อเป็นการทดสอบหาคลื่นเคลื่อนที่ ซึ่งคลื่นที่ได้เมื่อกระตุ้นที่ความถี่ทำงานอาจมีค่าที่สูงหรือต่ำขึ้นกับการติดตั้งตัวทำงานบนสเตเตอร์ ดังนั้นหากต้องการให้คลื่นมีแอมพลิจูดสูงขึ้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มสัญญาณไฟฟ้าที่กระตุ้นให้มากกว่า 10 V คลื่นที่ได้จะมีแอมพลิจูดสูงขึ้นด้วย นอกจากนั้นแรงขับของมอเตอร์มีความสำคัญเป็นอย่างมากเพราะถึงแม้รูปแบบการจัดวางตัวทำงานสามารถกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่และสามารถเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอ แต่หากแรงขับน้อยก็ไม่สามารถขับให้โรเตอร์เกิดการเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นแรงขับของมอเตอร์มีผลมาจาก ความเร็วของคลื่นเคลื่อนที่ ความถี่ทำงาน และจำนวนลูกคลื่นที่สัมผัสกับโรเตอร์ส่วนปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.2.1 การจัดวางตัวทำงานลักษณะที่ 1 เพื่อศึกษาค่าความแข็งตึงของคานโค้ง

การจัดวางลักษณะที่ 1 สามารถแบ่งออกได้ 5 รูปแบบ พบว่าการลดจำนวนตัวทำงานทำให้คานโค้งมีค่าความแข็งตึงลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าตำแหน่งการจัดวางตัวทำงานที่เหมาะสมนั้นจะต้องจัดวางเฉพาะบริเวณขอบของคานโค้งเท่านั้นจึงจะเกิดคลื่นเคลื่อนที่ที่ดี ดังแสดงในรูปแบบที่ 2 (ภาพประกอบที่ 4.2) การจัดวางลักษณะนี้นอกจากจะลดความแข็งของคานลงแล้วทำให้การกระจายแรงจากตัวทำงานหลังถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณไฟฟ้าดีกว่าที่จะจัดวางตัวทำงานเฉพาะจุดดังแสดงในรูปแบบที่ 3 (ภาพประกอบที่ 4.3) ซึ่งจัดวางตัวทำงานบริเวณตรงส่วนกลางของคานโค้งทั้งด้านบนและด้านล่าง เพราะการจัดวางในลักษณะนี้จะทำให้คานโค้งมีค่าความแข็งในส่วนกลางของคานมากกว่าส่วนอื่นๆ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่านอกจากการลดจำนวนตัวทำงานลงเพื่อคานโค้งจะได้มีค่าความแข็งตึง

น้อยลงทำให้การเกิดคลื่นเคลื่อนที่เกิดได้ง่ายและประหยัดตัวทำงาน ตำแหน่งการจัดวางตัวทำงานก็เป็นสิ่งสำคัญกล่าวคือ จะต้องจัดวางบริเวณที่ขอบของคานทั้งด้านบนและด้านล่างโดยเว้นบริเวณตรงส่วนกลางของคานหรือให้มีการทับซ้อนกันน้อยที่สุด ลักษณะการจัดวางตัวทำงานเช่นนี้จะเหมาะสมต่อการกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่

5.2.2 การจัดวางตัวทำงานลักษณะที่ 2 เพื่อศึกษาขนาดของวัสดุดูดซับแรงกระแทก

จากผลการจำลองแบบพบว่าขนาดของวัสดุดูดซับแรงกระแทกไม่มีผลต่อการกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่ เพราะจากผลการจำลองการติดตั้งวัสดุดูดซับแรงกระแทกทั้งสามรูปแบบปรากฏว่าผลที่ได้รับไม่มีความแตกต่าง แต่วัสดุดูดซับการแรงกระแทกจะช่วยป้องกันการสะท้อนกลับของคลื่นได้ ดังนั้นขนาดของวัสดุดูดซับแรงกระแทกไม่มีผลต่อการเกิดคลื่นเคลื่อนที่แต่อย่างใด

5.2.3 การจัดวางตัวทำงานลักษณะที่ 3 เพื่อหารูปแบบการจัดวางตัวทำงานที่สามารถกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่เมื่อติดเฉพาะผิวด้านบนของคานโค้ง

พบว่าการจัดวางลักษณะที่ 3 สามารถกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่โดยแบ่งการติดตั้งตัวทำงานออกเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มของ cosine และกลุ่มของ sine ซึ่งจะวางสลับกันและมีระยะห่างระหว่างตัวทำงานทั้งสองกลุ่มเท่ากับ 5 องศา จากนั้นกระตุ้นด้วยสัญญาณไฟฟ้า $A\cos(\omega t)$ บนตัวทำงานกลุ่มของ cosine และไฟฟ้า $A\sin(\omega t)$ บนตัวทำงานกลุ่มของ sine ตามลำดับ พบว่าลักษณะของคลื่นเคลื่อนที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ และนอกจากนี้ยังเป็นการประหยัดตัวทำงานอีกด้วย จึงสรุปได้ว่าหากต้องการติดตั้งตัวทำงานเฉพาะผิวด้านบนของคานโค้ง การจัดวางตัวทำงานลักษณะที่ 3 ถือว่าสามารถกำเนิดคลื่นที่เหมาะสมได้

5.3 การเปรียบเทียบผลจากลักษณะการจัดวางตัวทำงานบนคานโค้ง

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกอบด้วยความเร็วของคลื่นเคลื่อนที่ แอมพลิจูดเมื่อถูกกระตุ้นด้วยความถี่ทำงาน จำนวนตัวทำงานที่ติดบนคานโค้ง และอัตราส่วนระหว่างค่าแอมพลิจูดต่อพื้นที่ตัวทำงานทั้งหมด โดยวัสดุที่ใช้ในการจำลองแบบทั้งสองวิธีได้จากตารางที่ 3.1 ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่าหากต้องการการเคลื่อนที่ของคลื่นที่มากที่สุดการจัดวางตัวทำงานลักษณะที่ 1 รูปแบบที่ 1 (ภาพประกอบที่ 4.1) ถือว่ามีความเร็วมากที่สุด แต่หากต้องการอัตราส่วนระหว่างแอมพลิจูดต่อพื้นที่ตัวทำงานทั้งหมดที่สูงที่สุด การจัดวางตัวทำงานลักษณะที่ 3 (ภาพประกอบที่ 4.11) สามารถให้ค่าได้มากที่สุด จากผลการวิเคราะห์จากทุกปัจจัยแล้วสามารถบอกได้ว่า การจัดวางตัวทำงานลักษณะที่ 3 ดีที่สุด เพราะจำนวนตัวทำงานที่ติดบนคานโค้งมี

จำนวนน้อยที่สุด แต่สามารถให้อัตราส่วนระหว่างแอมพลิจูดต่อพื้นที่ตัวทำงานได้มากที่สุด ส่วนความเร็วของคลื่นนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่สูง ตารางที่ 5.2 สรุปผลที่ได้จากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของมอเตอร์อัลตราโซนิคเชิงเส้นโค้งทั้งสามลักษณะ พบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกับแบบจำลองด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน จึงเป็นเหตุผลเพียงพอที่จะบอกได้ว่า การจัดวางตัวทำงานลักษณะที่ 3 ดีที่สุดเมื่อพิจารณาจากทุกปัจจัย

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการตอบสนองของมอเตอร์อัลตราโซนิคเชิงเส้นโค้งที่ได้จากแบบจำลองด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์

ลักษณะการ จัดวางตัว ทำงาน	ระยะทาง เคลื่อนที่ บนคาน โค้ง (% ของ คานโค้ง)	ความเร็ว ของคลื่น เคลื่อนที่ (m/s)	แอมพลิจูดของ คลื่นเคลื่อนที่ (m)		จำนวนตัว ทำงานที่ ติดบน คานโค้ง (แผ่น)	แอมพลิจูด/พื้นที่ตัวทำงาน	
			ความถี่ต่ำ	ความถี่สูง		ความถี่ต่ำ	ความถี่สูง
รูปแบบที่ 1	100	477.892	0.4×10^{-7}	0.18×10^{-7}	17	0.025×10^{-7}	0.011×10^{-7}
รูปแบบที่ 2	80	345	1×10^{-7}	0.4×10^{-7}	6	0.167×10^{-7}	0.066×10^{-7}
รูปแบบที่ 3	40	282.66	0.75×10^{-7}	0.45×10^{-7}	6	0.125×10^{-7}	0.075×10^{-7}
รูปแบบที่ 4	85	342.72	0.6×10^{-7}	0.52×10^{-7}	10	0.06×10^{-7}	0.052×10^{-7}
รูปแบบที่ 5	65	277.2	0.42×10^{-7}	0.35×10^{-7}	10	0.042×10^{-7}	0.035×10^{-7}
ลักษณะที่ 2							
รูปแบบที่ 1	80	417.9	0.61×10^{-7}	0.33×10^{-7}	8	0.076×10^{-7}	0.041×10^{-7}
รูปแบบที่ 2	80	417.9	0.61×10^{-7}	0.33×10^{-7}	8	0.076×10^{-7}	0.041×10^{-7}
รูปแบบที่ 3	80	417.9	0.61×10^{-7}	0.33×10^{-7}	8	0.076×10^{-7}	0.041×10^{-7}
ลักษณะที่ 3	95	406.8	0.5×10^{-7}	0.37×10^{-7}	6	0.083×10^{-7}	0.061×10^{-7}

ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบผลการตอบสนองของมอเตอร์อัลตราโซนิกเชิงเส้นโค้งที่ได้จาก
แบบจำลองด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ลักษณะการ จัดวางตัว ทำงาน	ระยะทาง เคลื่อนที่ บนคาน โค้ง (% ของ คาน โค้ง)	ความเร็ว ของคลื่น เคลื่อนที่ (m/s)	แอมพลิจูดของ คลื่นเคลื่อนที่ (m)		จำนวนตัว ทำงานที่ติด บนคาน โค้ง (แผ่น)	แอมพลิจูด/พื้นที่ตัวทำงาน	
			ความถี่ต่ำ	ความถี่สูง		ความถี่ต่ำ	ความถี่สูง
ลักษณะที่ 1							
รูปแบบที่ 1	100	510	1.6×10^{-8}	1.43×10^{-8}	17	0.1×10^{-8}	0.089×10^{-8}
รูปแบบที่ 2	80	372.32	1.4×10^{-8}	1.23×10^{-8}	6	0.23×10^{-8}	0.205×10^{-8}
รูปแบบที่ 3	40	301	1.3×10^{-8}	1.22×10^{-8}	6	0.21×10^{-8}	0.203×10^{-8}
รูปแบบที่ 4	85	384.12	1.5×10^{-8}	1.23×10^{-8}	10	0.15×10^{-8}	0.123×10^{-8}
รูปแบบที่ 5	65	297.9	1.46×10^{-8}	1.17×10^{-8}	10	0.146×10^{-8}	0.117×10^{-8}
ลักษณะที่ 2							
รูปแบบที่ 1	80	437.4	1.42×10^{-8}	1.07×10^{-8}	8	0.202×10^{-8}	0.152×10^{-8}
รูปแบบที่ 2	80	437.4	1.42×10^{-8}	1.07×10^{-8}	8	0.202×10^{-8}	0.152×10^{-8}
รูปแบบที่ 3	80	437.4	1.42×10^{-8}	1.07×10^{-8}	8	0.202×10^{-8}	0.152×10^{-8}
ลักษณะที่ 3	95	417	1.2×10^{-8}	1.53×10^{-8}	6	0.2×10^{-8}	0.255×10^{-8}