



การศึกษาพารามิเตอร์ของไมโครกริปเปอร์ที่ใช้ความร้อนเนื่องจากกระแสไฟฟ้าเป็นตัวกระตุ้น โดยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ Parametric Study of Electrothermally Actuated Microgripper by Finite Element Simulation

<u>ข่ายจง แซ่หลิน</u>¹ และ เอกอุ ธรรมกรบัญญัติ²*

¹ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น 1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 ² ห้องปฏิบัติการวิจัยคณิตศาสตร์ประยุกต์และกลศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น 1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 *ติดต่อ: ek-u@tni.ac.th, 0-2763-2600, 0-2763-2700

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบไมโครกริปเปอร์ที่กระตุ้นด้วยความร้อนเนื่องจากกระแสไฟฟ้า (Electrothermally actuated microgripper) โดยพิจารณาขนาดต่าง ๆ ของส่วนประกอบแขนของไมโครกริปเปอร์ว่ามี ผลอย่างไรต่อการกระจัดที่ปลายจับ และเนื่องจากความสมมาตรจึงจำลองระบบแขนของไมโครกริปเปอร์เพียงฝั่งเดียวด้วย โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS ผลการจำลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า การกระจัดของที่จับของไมโครกริปเปอร์จะมีค่า เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความยาวของแขนบาง แต่เมื่อเพิ่มความกว้างของแขนหนา หรือเพิ่มอัตราส่วนระหว่างความยาวของแขน หนาต่อความยาวของแขนยืดหยุ่น การกระจัดจะเพิ่มขึ้นถึงจุด ๆ หนึ่งแล้วลดลง ในการศึกษาเชิงตัวเลขเบื้องต้นกำหนดให้ ไมโครกริปเปอร์มีความยาวของแขนบางอยู่ในช่วง 100 – 300 ไมโครเมตร พบว่าการกระจัดจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 7.952 ไมโครเมตร ที่ความยาวของแขนบางเท่ากับ 300 ไมโครเมตร เมื่อความยาวของแขนหนาและแขนยืดหยุ่น และความกว้าง ของแขนหนามีค่าเป็น 283 ไมโครเมตร 17 ไมโครเมตร และ 66 ไมโครเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังจำลองความเค้น และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนไมโครกริปเปอร์ในขณะปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ด้วย ค**ำหลัก**: ไมโครกริปเปอร์; MEMS; วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์; ANSYS

Abstract

This research aims to study design parameters of an electrothermally actuated microgripper. Effects of the dimensions of microgripper's arms to the displacements at a gripper jaw have been considered. Because of its symmetry, only one arm system has been simulated by a finite element program, ANSYS. Simulated results show that the displacement of the gripper jaw will increase by increasing the length of the thin arm. But when we increase the width of the thick arm or increase the length ratio of the thick arm to the flexure arm the displacement will increase to the highest point and then decrease. As a pre-numerical study, the length of the thin arm has been prescribed in the range of 100 – 300 μ m. We found that the maximum displacement will be 7.952 μ m when lengths of the thin arm, the thick arm, and the flexure arm and width of the thick arm are 300 μ m, 283 μ m, 17 μ m, and 66 μ m, respectively. In addition, stresses and temperature on microgripper at various parameters have also been simulated.

Keywords: Microgripper; MEMS; Finite element method; ANSYS

AMM0025



1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีอุตสาหกรรมได้เจริญก้าวหน้า อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะระบบเครื่องกลไฟฟ้าระดับไมโคร (Microelectromechanical systems: MEMS) ซึ่งเป็น ระบบที่ต้องใช้เทคโนโลยีการผลิตที่มีความแม่นยำใน ระดับไมครอนหรือนาโน ไมโครกริปเปอร์เป็นเครื่องมือ สำคัญชนิดหนึ่งที่ใช้ในระบบไมโครเทคโนโลยี [1] ดังนั้น การออกแบบไมโครกริปเปอร์จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่ควรจะ ศึกษาและพัฒนา

ไมโครกริปเปอร์สามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ตามตัวกระตุ้นที่ใช้ เช่น ไมโครกริปเปอร์ที่กระตุ้น ด้วยเพียโซอิเล็กทริค (Piezoelectric microgrippers) ซึ่งจะต้องใช้แรงดันไฟฟ้าสูงแต่ให้ผลการกระจัดที่น้อย จึง มักต้องมีกลไกที่ช่วยขยายการกระจัด (amplification mechanisms) [2] ไมโครกริปเปอร์ที่กระตุ้นด้วยโลหะจำ รูป (Shape memory alloys-based microgrippers) ที่ใช้งานได้ไม่นาน เพราะจะเกิดการตรึง [3] ไมโครกริป เปอร์ที่กระตุ้นด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic microgripper) ซึ่งให้ผลการกระจัดน้อย เพราะได้ สนามแม่เหล็กที่อ่อนจากการใช้ขดลวดระดับไมครอน [4] ไมโครกริปเปอร์ที่กระต้นด้วยนิวเมติกส์ (Pneumatically microgrippers) ที่ต้องใช้กลไกนิวเมติกส์ที่ driven ซับซ้อน จึงยากแก่การผลิต [5] และไมโครกริปเปอร์ที่ กระตุ้นด้วยความร้อน(Electrothermallly microgripper) ้จะให้การกระจัดที่มากโดยใช้แรงดันไฟฟ้าต่ำ นอกจากนั้น ยังมีรูปร่างที่กะทัดรัดง่ายต่อการผลิต [6]

ไมโครกริปเปอร์ที่กระตุ้นด้วยความร้อนจะใช้การนำ ไฟฟ้าของแขนสองอันที่ติดกัน แต่มีความกว้างต่างกัน จึง เกิดความต้านทานที่ไม่เท่ากัน ทำให้แขนบางมีอุณหภูมิสูง กว่าแขนหนา ซึ่งแขนทั้งสองอันจะเชื่อมต่อกันที่ปลาย อิสระ และแขนหนาจะต่อกับแขนยืดหยุ่นอีกที จากการ ขยายตัวทางความร้อนจะทำให้ปลายอิสระที่เป็นจุดเชื่อม ของแขนทั้งสองเกิดการเคลื่อนที่ ดังนั้นไมโครกริปเปอร์ ชนิดนี้จึงต้องผลิตจากวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ เช่น โพลี ซิลิคอน [7] และในปัจจุบันมีการนำ SU-8 มาใช้ [8] เนื่องจาก SU-8 มีค่ามอดูลัสของสภาพยึดหยุ่น 4.02 GPa ซึ่งน้อยกว่าโพลีซิลิคอนอย่างมาก และมีค่าสัมประสิทธิ์ การขยายตัวทางความร้อน 52±5×10⁻⁶ K⁻¹ [9] ซึ่งมีค่า มากกว่าโพลีซิลิคอน กล่าวคือ เมื่อใช้แรงดันไฟฟ้าที่ เท่ากัน ไมโครกริปเปอร์ที่ผลิตจาก SU-8 จะให้การ กระจัดที่มากกว่าไมโครกริปเปอร์ที่ผลิตจากโพลีซิลิคอน แต่ SU-8 เป็นวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า จึงต้องเคลือบโลหะไว้ที่ ผิวเพื่อใช้เป็นตัวให้ความร้อน [8] ทำให้มีความยุ่งยากและ มีค่าใช้จ่ายสูงในการผลิต

ไมโคร[ั]กริปเปอร์ที่กล่าวมานั้น ส่วนใหญ่ได้ถูก นำเสนอในรูปร่างที่มีขนาดแน่นอนตามแต่ละงานวิจัย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่างการกระจัดกับขนาดของไมโครกริปเปอร์ที่กระตุ้น ด้วยความร้อนซึ่งใช้โพลีซิลิคอนเป็นวัสดุ โดยใช้วิธีไฟไนต์ เอลิเมนต์ ในการวิเคราะห์การกระจัดของแบบจำลองจะ ทำการปรับเปลี่ยนขนาดต่าง ๆ ของไมโครกริปเปอร์ เพื่อ พิจารณาว่าขนาดของส่วนใดมีผลมากหรือน้อยต่อการ ออกแบบโดยใช้โปรแกรม ANSYS Workbench โดยหวัง ว่าผลการวิจัยนี้จะสามารถถูกนำไปใช้เป็นแนวทางในการ ออกแบบไมโครกริปเปอร์ที่กระตุ้นด้วยความร้อนเพื่อให้ ได้การกระจัดที่ต้องการ

2. แบบจำลองและพารามิเตอร์

แบบจำลองของไมโครกริปเปอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ครั้งนี้เป็นรูปร่างที่ถูกนำมาใช้กันเป็นส่วนมากใน การศึกษาไมโครกริปเปอร์ที่กระตุ้นด้วยความร้อนจาก บทความต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นรูปร่างแบบสมมาตร โดยแต่ละ



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของไมโครกริปเปอร์



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30 5-8 กรกฎาคม 2559 จังหวัดสงขลา





รูปที่ 2 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของขนาดไมโครกริปเปอร์

ฝั่งจะประกอบด้วย แขนบาง (Thin arm) แขนหนา (Thick arm) แขนยึดหยุ่น (Flexure arm) ที่จับ (Gripper jaw) และที่ยึด (Anchor) ซึ่งที่ยึดจะติดกับแขน บางและแขนยืดหยุ่น และมีการกำหนดให้องศาอิสระ (Degree of freedom, DOF) ของที่ยึดมีค่าเท่ากับ 0 การปิดของที่จับจะถูกควบคุมโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้า ให้กับไมโครกริปเปอร์ดังรูปที่ 1 เนื่องจากแขนบางและ แขนหนามีความกว้างต่างกัน เมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงให้กับไมโครกริปเปอร์ จึงเกิดความต้านทานที่ ต่างกัน ทำให้แขนบางมีอุณหภูมิสูงกว่าแขนหนา และจาก การขยายตัวทางความร้อนจะทำให้แขนบางและแขนหนา เกิดการขยายที่ไม่เท่ากัน ที่จับที่ต่อมาจากจุดเชื่อมของ แขนทั้งสองจึงเกิดการเคลื่อนที่เพื่อไปจับวัตถุขนาดเล็กที่ ต้องการได้

แบบจำลองไมโครกริปเปอร์จะถูกสร้างเป็น 3 มิติ ด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench และได้มีการ กำหนดให้ไมโครกริปเปอร์มีความหนา 4 μm ความยาว ทั้งหมด 350 μm ความกว้างของแขนบาง แขนยืดหยุ่น และที่จับเป็น 5 μm และมีการกำหนดพารามิเตอร์ดังรูป ที่ 2 ในการจำลองครั้งนี้ยังได้กำหนดให้อุณหภูมิห้องมีค่า 22 °C และใช้โพลีซิลิคอนเป็นวัสดุ ซึ่งมีคุณสมบัติเชิงกล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกลของโพลีซิลิคอน [10]

Young's modulus	169 GPa
Poison ratio	0.23
Thermal conductivity	148 W m ⁻¹ °C ⁻¹
Resistivity	3.3 x 10 ⁻⁵ Ω m
Fracture Strength	1.21 – 1.65 GPa

3. วิธีการวิจัย

ในการจำลองนี้ การจำลองจะกระทำเพียงแค่ฝั่งเดียว ของไมโครกริปเปอร์ เนื่องจากมีรูปร่างที่สมมาตร และ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้กับไมโครกริปเปอร์มีค่า เท่ากับ 8 V แล้วทำการวิเคราะห์หาค่าการกระจัดของที่ จับทั้งสองฝั่ง (Jaws displacement, W) โดยการปรับ ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ L_h , L_c , L_f และ B_c โดย แบ่งเป็น 4 กรณี คือ

- 1. ปรับทั้งค่า L_h กับอัตราส่วน L_c / L_f เมื่อ B_c มีค่าคงที่เท่ากับ 25 $\mu {
 m m}$ ซึ่งได้กำหนดให้
 - L_h มีค่า 100, 125, 150, 175, 200,
 225, 250, 275 และ 300 µm
 - อัตราส่วน L_c / L_f มีค่า 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 และ 30
- 2. ปรับทั้งค่า L_h กับ B_c เมื่อ อัตราส่วน $L_c \, / \, L_f$ มีค่าคงที่เท่ากับ 10 ซึ่งได้กำหนดให้
 - L_h มีค่า 100, 125, 150, 175, 200,
 225, 250, 275 และ 300 µm
 - B_c มีค่า 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 และ 80 μm
- 3. ปรับทั้งค่า B_c กับ อัตราส่วน L_c / L_f เมื่อ L_h มีค่าคงที่เท่ากับ 200 μm ซึ่งได้กำหนดให้
 - B_c มีค่า 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60,
 65, 70, 75 และ 80 μm
 - L_c มีค่า 176, 178, 180, 182, 184, 186, 188, 190, 192, 194 และ 196 µm
- 4. ทำซ้ำกรณีที่ 3 แต่เปลี่ยน L_h เป็น 100 และ 300 μm





4. ผลการทดลอง

จากรูปที่ 3 พบว่าเมื่อ B_c มีค่าคงที่ เส้นกราฟที่ อัตราส่วน $L_c / L_f = 4$, 8 และ 16 มีลักษณะเป็นกราฟ เส้นตรงทั้งสามเส้น แต่มีความชันที่ไม่เท่ากัน กล่าวคือ ความสัมพันธ์ระหว่าง w และ L_h เป็นแบบเชิงเส้น wจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ L_h มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ความชันของ เส้นกราฟจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วน L_c / L_f



จากรูปที่ 4 พบว่าเมื่ออัตราส่วน $L_c \ / L_f$ มีค่าคงที่ เส้นกราฟทั้งสามเส้นที่ $B_c = 20, 30,$ และ 80 เป็นกราฟ เส้นตรงที่มีความชันต่างกัน แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่าง w และ L_h เป็นแบบเชิงเส้น โดยที่ความชันของ เส้นกราฟจะขึ้นอยู่กับ B_c



จากรูปที่ 5 พบว่าเมื่อ L_h มีค่าคงที่ เส้นกราฟทั้งห้า เส้นมีลักษณะเป็นกราฟเส้นโค้ง โดย w จะมีค่าเพิ่มขึ้น ในช่วงที่ L_c = 180 – 189 µm และ w จะมีค่าลุงสุดที่ L_c = 189 µm เมื่อ L_h = 200 µm นอกจากนั้น ยัง พบว่า เส้นกราฟที่ B_c = 53 µm อยู่เหนือเส้นกราฟเส้น อื่น ๆ กล่าวคือ เมื่อ L_h = 200 µm w จะมีค่าสูงสุดที่ L_c = 189 µm และ B_c = 53 µm ค่าสูงสุดของ w ที่ L_h = 100, 200 และ 300 µmได้แสดงในตารางที่ 2 พร้อมทั้งค่า L_c , L_f และ B_c ที่เหมาะสม



รุปที่ 5 ความสมพันธระหวาง w กับ L เมื่อ L_h = 200 µm

ตารางที่ 2 ค่าสูงสุด w ที่ L_h = 100, 200, 300 $\mu {
m m}$

L_h (µm)	L_c (µm)	$L_{f}(\mu \mathrm{m})$	B_c (µm)	$W(\mu { m m})$
100	97	3	33	1.986
200	189	11	53	4.808
300	283	17	66	7.952

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30 5-8 กรกฎาคม 2559 จังหวัดสงขลา





รูปที่ 8 ความเค้นที่กระจายในไมโครกริปเปอร์

5. สรุปผล

ในการศึกษาการกระจัดกับขนาดของไมโครกริปเปอร์ ที่ใช้ความร้อนเป็นตัวกระตุ้น ด้วยวิธีไฟในต์เอลิเมนต์ พบว่าเมื่อทำการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 8 V ให้กับ ไมโครกริปเปอร์ที่ทำจากโพลีซิลิคอน จะทำให้ไมโครกริป เปอร์มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และแขนบางและแขนหนาจะมี ้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่างกัน เนื่องจากความกว้างที่ต่างกัน และอุณหภูมิสูงสุดจะเกิดขึ้นที่แขนบาง ซึ่งทำให้ที่จับเกิด การเคลื่อนที่เป็น W และสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง L_h จะเป็นแบบเชิงเส้น กล่าวคือ w จะมีค่า *พ* กับ เพิ่มขึ้น เมื่อ L_h มีค่าเพิ่มขึ้น และความชั้นของเส้นกราฟ ระหว่าง w กับ L_h จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วน L_c / L_f เมื่อ B_c มีค่าคงที่ และในทางกลับกันขึ้นอยู่กับ B_c เมื่อ อัตราส่วน $L_c \,/\, L_f$ คงที่ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อไมโครกริป เปอร์มีขนาด L_h อยู่ในช่วง 100 - 300 $\mu \mathrm{m}$ W มี ้ค่าสูงสุดเท่ากับ 7.952 µm ที่ L_h = 300 µm เมื่อ L_c , L_{f} และ B_{c} มีค่าเท่ากับ 283 $\mu \mathrm{m}$, 17 $\mu \mathrm{m}$ และ 66 $\mu \mathrm{m}$ ตามลำดับ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ZHANG, J. Y., CHEN, H., & HAO, Y. P. (2012). Research of micro-gripper with two grades displacement amplifier based on flexible hinge. *Journal of Machine Design*, vol. 3, 2012, pp. 005 – 008.

[2] Carrozza, M. C., Menciassi, A., Tiezzi, G., & Dario, P. (1998). The development of a LIGAmicrofabricated gripper for micromanipulation

จากรูปที่ 6 พบว่าการกระจัดสูงสุดของที่จับเพียงฝั่ง เดียวจะเท่ากับ 3.976 μ m ดังนั้นเมื่อรวมทั้งสองฝั่ง การ กระจัดสูงสุดจึงเท่ากับ 7.952 μ m จากรูปที่ 7 พบว่าการ จำลองนี้อุณหภูมิสูงสุดที่กระจายในไมโครกริปเปอร์ เกิดขึ้นที่แขนบาง ซึ่งตรงกับ งานวิจัยอันก่อน ๆ และจาก รูปที่ 8 พบว่าความเค้นสูงสุดที่กระจ่ายในไมโครกริปเปอร์ จะเกิดขึ้นที่แขนยืดหยุ่น และเมื่อไมโครกริปเปอร์มีขนาด L_h = 300 μ m, L_c = 283 μ m, L_f = 17 μ m และ B_c = 66 μ m ซึ่งทำให้ W มีค่าสูงสุดนั้น พบว่ามีอุณหภูมิ สูงสุดที่เกิดขึ้นเท่ากับ 399 °C และมีความเค้นสูงสุด เท่ากับ 225 MPa หรือ 0.225 GPa ซึ่งน้อยกว่า Fracture Strength ของโพลีซิลิคอน (1.21 – 1.65 GPa) อย่างมาก ดังนั้น โอกาสที่ไมโครกริปเปอร์นี้จะเกิดการ แตกหักเนื่องจากการใช้งานจะมีค่าน้อยมาก ๆ

AMM0025



รูปที่ 6 การกระจัดสูงสุดของที่จับที่ L_h = 300 $\mu{
m m}$



รูปที่ 7 อุณหภูมิที่กระจายในไมโครกริปเปอร์

AMM0025



tasks. Journal of Micromechanics and Microengineering, vol. 8(2), June 1998, pp. 141–143.

[3] Roch, I., Bidaud, P., Collard, D., & Buchaillot, L. (2003). Fabrication and characterization of an SU-8 gripper actuated by a shape memory alloy thin film. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 13(2), February 2003, pp. 330 – 336.

[4] Giouroudi, I., Hötzendorfer, H., Kosel, J., Andrijasevic, D., & Brenner, W. (2008).
Development of a microgripping system for handling of microcomponents. *Precision Engineering*, vol. 32(2), April 2008, pp. 148 – 152.
[5] Bütefisch, S., Seidemann, V., & Büttgenbach, S. (2001). A new micro pneumatic actuator for micromechanical systems, paper presented in *Proc. of 11th International Conference on Solid-State Sensor and Actuators-Transducers*, vol. 1, Berlin, Germany.

[6] Chronis, N., & Lee, L. P. (2005). Electrothermally activated SU-8 microgripper for single cell manipulation in solution. *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol. 14(4), September 2005, pp. 857 – 863.

[7] Comtois, J. H., & Bright, V. M. (1997).
Applications for surface-micromachined polysilicon thermal actuators and arrays.
Sensors and Actuators A: Physical, vol. 58(1), 1997, pp. 19 – 25.

[8] Nguyen, N. T., Ho, S. S., & Low, C. L. N. (2004). A polymeric microgripper with integrated thermal actuators. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 14(7), May 2004, pp. 969 – 974.

[9] Lorenz, H., Despont, M., Fahrni, N., LaBianca, N., Renaud, P., & Vettiger, P. (1997). SU-8: a lowcost negative resist for MEMS. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 7(3), April 1997, pp. 121 – 124. [10] Wang, Z., Shen, X., & Chen, X. (2015). Design, modeling, and characterization of a MEMS electrothermal microgripper. *Microsystem Technologies*, November 2015, vol. 21(11), pp. 2307-2314.