KKU Res J. 2011; 16(5): 493-503
http://resjournal.kku.ac.th

การศึกษาการเสียรูปของหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ระหว่างกระบวนการดีสเวจ
Study of Deformation of the Head Stack Assembly (HAS) during De-swage Process

*สัณฐิติ บุญศรี และเกียรติฟ้า ตั้งใจจิต**
*Santiti Boonsri and Kiatfa Tangchaichit**

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
**Correspondent author: kaitfa@kku.ac.th*

Received March 25, 2011
Accepted May 18, 2011

บทคัดย่อ

ในการผลิตฮาร์ดดิสก์จะมีขั้นตอนการเชื่อมยึดติดแขนแอคทูเอเตอร์ (actuator arm) กับแขนซัสเพนชั่น (suspension arm) ซึ่งมีหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ติดอยู่โดยกระบวนการสเวจ (swaging process) เมื่อหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์มีข้อบกพร่องในบางชิ้น สามารถแก้ไขปัญหาได้โดยการถอดแขนซัสเพนชั่นที่มีหัวอ่าน/เขียนที่มีข้อบกพร่องออกจากแขนแอคทูเอเตอร์ ซึ่งเรียกว่ากระบวนการดีสเวจ (de-swaging process) แล้วนำแขนซัสเพนชั่นที่มีหัวอ่าน/เขียนที่ดีเข้ามาใส่แทน ในระหว่างกระบวนการดีสเวจแรงกดใบมีด (blade) ของอุปกรณ์ดีสเวจ (de-swage tool) จะแยกหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ที่มีข้อบกพร่องออกมา ซึ่งขนาดแรงกดใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจ จะมีผลกระทบต่อการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ ในการศึกษานี้จะศึกษาถึงการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ในระหว่างกระบวนการดีสเวจ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์การเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ โดยพิจารณาจากค่าแรงกรัมโหลดในระหว่างกระบวนการดีสเวจ จากการศึกษาพบว่า ขนาดแรงกดใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจที่ทำให้ค่าแรงกรัมโหลดมีค่าน้อยและเหมาะสมคือ 5 นิวตัน

Abstract

In a conventional hard disk drive assembly process, swaging process is used for attaching a suspension arm which has a read/write head at its tip, to an actuator arm. De-swaging is a process of disconnecting those components that have been joined by swaging. When a suspension has a defective read/write head, it is required to de-swage the suspension arm from the actuator arm and replace with a new good suspension arm. During a de-waging process, the blade of a de-swage tool is made to slide on a surface for disconnecting an actuator arm and a suspension arm by applied force. Apply force have an effect on deformation of the actuator arm. This work aims to study the deformation of an actuator arm during de-swaging process by using finite element analysis. The results showed that the optimum applied force of a de-swage tool, which result in minimum gram load, is 5 N.

คำสำคัญ: ชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ กระบวนการดีสเวจ
Keywords: head stack assembly, de-swage process

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยนั้นเป็นฐานการผลิตอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (hard disk drives) ที่ใหญ่ที่สุดในโลก ด้วยมูลค่าการส่งออกกว่า 500,000 ล้านบาทต่อปี มีการจ้างแรงงานกว่า 200,000 คน และมีการแข่งขันในระดับประเทศเพื่อที่จะนำอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเข้ามาให้ประเทศของตนเป็นฐานการผลิต ซึ่งทำให้มีรายได้เข้าสู่ประเทศเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟให้สามารถนำไปแข่งขันในระดับนานาชาติ เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

เทคโนโลยีของฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบันข้อมูลในฮาร์ดดิสก์จะถูกบันทึกและอ่านจากจานด้วยหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ (head gimbal assembly, HGA) ที่เรียงกันอยู่ในแนวตั้งบนแขนแอคทูเอเตอร์ (actuator arm) (1) ในการผลิตฮาร์ดดิสก์นั้นจะมีขั้นตอนการเชื่อมยึดติดแขนแอคทูเอเตอร์กับแผ่นฐาน (base plate) ที่ติดอยู่กับแขนซัสเพนชั่น (suspension arm) ซึ่งมีหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ติดอยู่ เพื่อให้ได้ ชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ (head stack assembly, HSA) โดยกระบวนการสเวจ (HSA swaging process) โดยใช้ลูกบอลยิงผ่านแผ่นฐาน (base plate) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของ HGA เพื่อทำให้แผ่นฐานขยายตัวและเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ยึดติดกับแขนแอคทูเอเตอร์ (2) เมื่อเกิดปัญหาที่หัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์บางชิ้นมีข้อบกพร่อง แต่แขนแอคทูเอเตอร์ยังสามารถใช้งานได้ดีอยู่ สามารถแก้ไขปัญหาได้ด้วยการถอดซัสเพนชั่นที่มีหัวอ่าน/เขียนที่มีข้อบกพร่องออกจากแขนแอคทูเอเตอร์ โดยการนำไปมีด (cutting blade) กดลงมาระหว่างแขนแอคทูเอเตอร์กับแผ่นฐานที่มีซัสเพนชั่นนั้นติดอยู่ ซึ่งเรียกว่ากระบวนการดีสเวจ (de-swaging process)แล้วนำซัสเพนชั่นที่มีหัวอ่าน/เขียนที่ดีเข้ามาใส่แทน ในระหว่างกระบวนการดีสเวจแรงกดใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจ (de-swaging tool) จะทำให้เกิดความเสียหายระหว่างแผ่นฐานและแขนแอคทูเอเตอร์ซึ่งจะปรากฏออกมาในรูปของการแตกร้าว แขนแอคทูเอเตอร์ผิดรูปโค้งงอ ขนาดของอนุภาคโดยรวมใหญ่ขึ้นทำลายคุณภาพของหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ด้านอื่น ทำให้เสียเวลามากขึ้นในกระบวนการผลิต และความเสียหายเชิงวัสดุแบบอื่นๆ (3) ซึ่งขนาดแรงกดใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจจะมีผลกระทบต่อการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ด้วย ซึ่งถ้าแขนแอคทูเอเตอร์ผิดรูปไปจะทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการอ่าน/เขียนข้อมูลของหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ลดลง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ในระหว่างกระบวนการดีสเวจ ซึ่งเป็นปัญหาเชิงอนุพันธ์ที่ซับซ้อน โดยการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สามารถหาผลเฉลยโดยประมาณของปัญหาเชิงอนุพันธ์ที่ซับซ้อนได้อย่างแม่นยำ (4) เพื่อวิเคราะห์การเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ในระหว่างกระบวนการดีสเวจ เพื่อหาขนาดแรงกดใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจที่ทำให้แขนแอคทูเอเตอร์เสียรูปน้อยที่สุดในระหว่างกระบวนการดีสเวจ เพื่อทำให้แขนแอคทูเอเตอร์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และลดต้นทุนการผลิตฮาร์ดดิสก์

2. วิธีการวิจัย

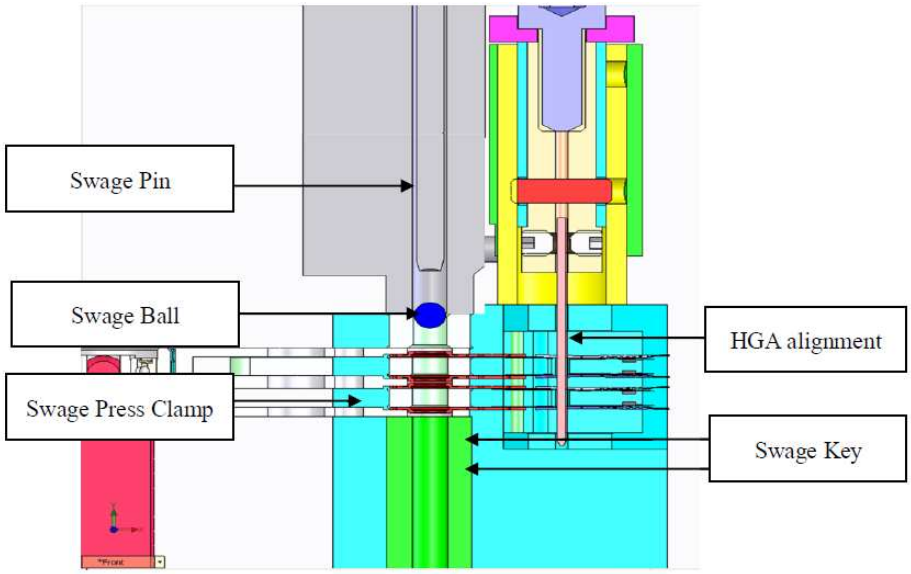
กระบวนการสเวจที่ใช้ทำการศึกษาในการศึกษานี้ เป็นกระบวนที่ใช้ลูกบอลทรงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่ารูหรือช่องของชิ้นงานที่จะทำการยึดติดกันเล็กน้อย เมื่อยิงลูกบอลผ่านรูก็จะทำให้วัสดุที่อยู่ด้านในมีการขยายตัวเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรอัดตัวเข้ากับวัสดุที่ล้อมรอบอยู่ด้านนอก เกิดความดันสัมผัสระหว่างผิวของวัสดุทั้งสอง ทำให้วัสดุมีการยึดติดกัน

ขั้นตอนในการทำงานของเครื่องสเวจ (swaging machine) นำชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ (HSA) ใส่ในชุดจับยึดชิ้นงาน (swage

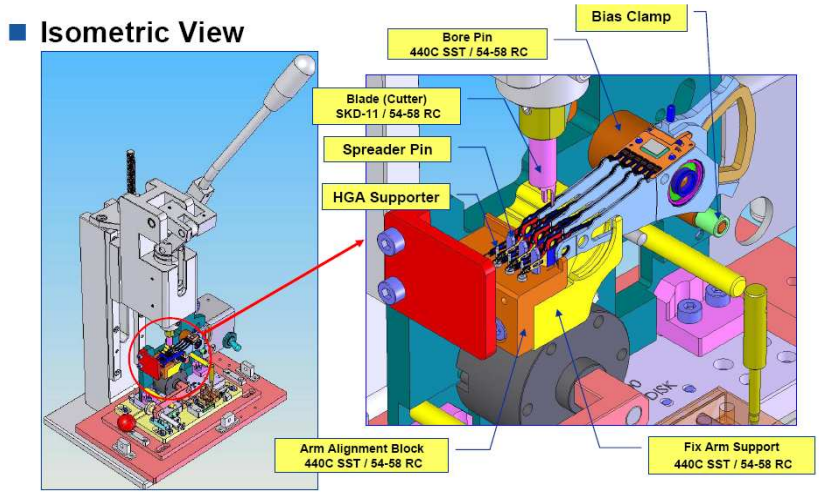
shuttle) โดยนำชิ้นส่วนรองแขนแขนแอคทูเอเตอร์ (swage key) มาสอดรับในแต่ละชั้นของแขนแอคทูเอเตอร์ แล้วเอาเข้าสู่เครื่องสเวจ โดยให้อุปกรณ์จับกดชิ้นงาน (swage press clamp) กดด้วยแรง 667.2–1,112.0 นิวตัน (150–250 ปอนด์) เพื่อให้แผ่นฐานกับแขนแอคทูเอเตอร์อยู่นิ่ง ขณะที่ยิงลูกบอลเข็มสเวจ (swage pin) จะดันลูกบอลด้วยความเร็ว ประมาณ 5– 60 เมตรต่อวินาที โดยค่าความเร็วสามารถปรับค่าได้ ซึ่งลูกบอล จะมีขนาดใหญ่กว่ารูของแผ่นฐาน เพื่อที่จะบีบอัดบริเวณรูของแผ่นฐาน (base plate hub) ให้ขยายไปยึดติดบริเวณขอบรูของแขนแอคทูเอเตอร์ (actuator arm) เพื่อให้ได้ ชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ (head stack assembly, HSA) ดังรูปที่ 1

ในขณะที่ประกอบหัวอ่านเขียนเสร็จแล้วจะมีการตรวจสอบคุณภาพของหัวอ่าน/เขียน และถ้าตรวจสอบพบว่าหัวอ่าน/เขียนอันใดมีข้อบกพร่องจะต้องนำหัวอ่าน/เขียนชิ้นใหม่มาประกอบแทนชิ้นเดิม และก่อนที่จะนำหัวอ่าน/เขียนชิ้นใหม่มาประกอบจะต้องใช้ใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจ ดังรูปที่ 2 มา กดลงมาระหว่างแขนแอคทูเอเตอร์กับแผ่นฐานที่มีหัวอ่าน/เขียน นั้นติดอยู่ เพื่อแยกแขนแอคทูเอเตอร์กับแผ่นฐานให้แยกออกจากกัน ซึ่งเรียกว่ากระบวนการดีสเวจ แล้วนำหัวอ่าน/เขียนใหม่เข้ามาประกอบแทนชิ้นเดิม ขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ดีสเวจ

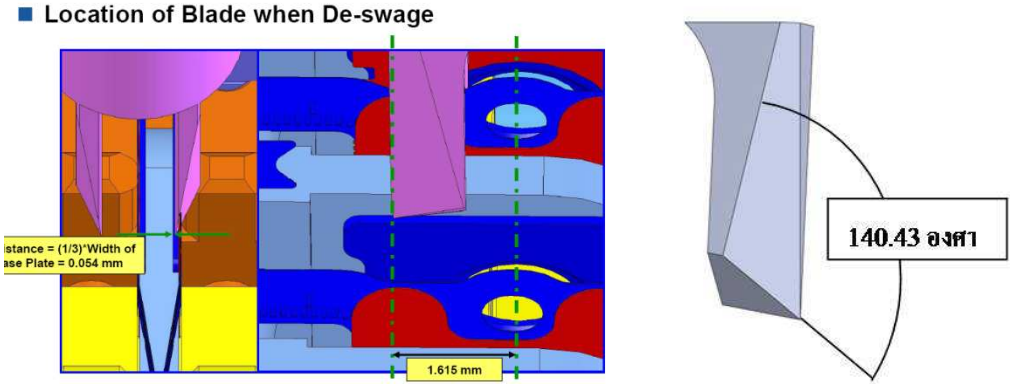
นำชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จจัดวางบนชิ้นส่วนรองรับหัวอ่าน/เขียนชิ้นส่วนรองรับแขนหัวอ่าน/เขียน และชิ้นส่วนจัดแนวแขนหัวอ่าน/เขียน โดยมีหมุดแยกแยกแขนซัสเพนชันออกจากกัน ออกแรงกดที่มือกดเพื่อส่งผ่านแรงกดให้อุปกรณ์ดีสเวจ และอุปกรณ์ดีสเวจจะรับแรงกดจากอุปกรณ์ดีสเวจด้วยแรงขนาด 5 นิวตัน ดังรูปที่ 3 แล้วกดลงมาระหว่างแขนแอคทูเอเตอร์กับ แผ่นฐาน เพื่อแยกแขนแอคทูเอเตอร์กับแผ่นฐานให้แยกออกจากกัน โดยใบมีดจะอยู่ในตำแหน่งที่ห่างจากขอบของแผ่นฐาน 1 ใน 3 ของความหนาของแผ่นฐาน และห่างจากจุดศูนย์กลางรูของแผ่นฐาน 1.615 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3 และมุมของใบมีดมีขนาด 140.43 องศา ดังรูปที่ 3 แล้วยกมือกดขึ้น



รูปที่ 1. โครงสร้างของเครื่องสเวจในกระบวนการประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ



รูปที่ 2. อุปกรณ์ดีสเวจ (de-swage tool)



รูปที่ 3. ตำแหน่ง และมุมของใบมีดในระหว่างกระบวนการดีสเวจ

เพื่อยืนยันความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ และเพื่อการประหยัดทรัพยากรด้านคอมพิวเตอร์ของกระบวนการสเวจจะต้องมีการใช้ขนาดของเอลิเมนต์หลายๆ ขนาดมาเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองจริง โดยพิจารณาที่ค่าแรงกรัมโหลด ด้วยขนาดเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์ และแผ่นฐานที่ใช้ 5 ชุด ดังตารางที่ 1 ขนาดของความเร็วของลูกบอล 40 เมตรต่อวินาที แล้วนำผลการทดลองในตอนแรกมาทดลองกระบวนการดีสเวจต่อ โดยใช้ขนาดเอลิเมนต์เช่นเดียวกับกระบวนการสเวจ ด้วยขนาดของแรงกดที่ใบมีด 5 นิวตัน และมุมของใบมีด 140.43 องศา เหมือนการทำงานจริง ผลการวิเคราะห์ค่าแรงกรัมโหลดของการทดลองกระบวนการสเวจและกระบวนการดีสเวจที่ใช้ขนาดเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์ และแผ่นฐานชุดที่ 1 มีค่าต่างจากผลการทดลองจริงมาก ส่วนขนาดเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์ และแผ่นฐานชุดที่ 2 ชุดที่ 3 ชุดที่ 4 และชุดที่ 5 มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองจริงและมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 4 ชุด แต่ขนาดเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์ และแผ่นฐานชุดที่ 3 ชุดที่ 4 และชุดที่ 5 ใช้เวลาในการประมวณผลมากกว่าชุดที่ 2 ดังนั้นขนาดเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์ และแผ่นฐานที่เหมาะสมสำหรับการทดลองกระบวนการสเวจและกระบวนการดีสเวจคือ ชุดที่ 2

ตารางที่ 1. ขนาดของเอลิเมนต์ของแขนแอคทูเอเตอร์และแผ่นฐาน

	ขนาดของเอลิเมนต์ (มิลลิเมตร)		จำนวนเอลิเมนต์	จำนวนจุดต่อ (node)
	แขนแอคทูเอเตอร์	แผ่นฐาน		
ชุดที่ 1	0.750	0.3750	32,305	41,020
ชุดที่ 2	0.500	0.2500	45,475	57,296
ชุดที่ 3	0.375	0.1875	60,886	77,212
ชุดที่ 4	0.300	0.1500	77,721	99,124
ชุดที่ 5	0.250	0.1250	95,156	119,708

เพื่อหาขนาดของแรงกดที่ใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจที่ทำให้เกิดการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์น้อย ขั้นตอนแรกทำการทดลองกระบวนการสเวจด้วยขนาดของความเร็วของลูกบอล 40 เมตรต่อวินาที และใช้ขนาดของเอลิเมนต์ชุดที่ 2 แล้วทำการทดลองกระบวนการดีสเวจต่อโดยใช้ผลจากกระบวนการสเวจในตอนแรก โดยมุมของใบมีด 140.43 องศา เหมือนงานจริง และใช้แรงกดที่ใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจ 5 ขนาด คือ 3 นิวตัน 5 นิวตัน 7 นิวตัน 9 นิวตัน และ 11 นิวตัน และหาค่าแรงกรัมโหลดที่มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม ซึ่งเป็นช่วงค่าแรงกรัมโหลดที่ยอมรับได้ในการทำงานจริง

เนื่องจากการวิเคราะห์กระบวนการประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ เป็นปัญหาเกี่ยวกับการตกกระแทก (impact), การชนกัน (crash) จึงใช้การวิเคราะห์ปัญหาแบบ explicit dynamic analysis เพราะมีความสามารถในการคำนวณแม่นยำ ลดเวลาการคำนวณปัญหาขนาดใหญ่ และสามารถกำหนดผิวสัมผัส (contract surface) ได้สะดวก ซึ่งการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ในขั้นตอนแรกในการวิเคราะห์กระบวนการสเวจและกระบวนการดีสเวจด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะเป็นขั้นตอนการสร้างแบบจำลองของชิ้นส่วนต่างๆ ใน 3 มิติ และแบ่งชิ้นส่วนต่างๆ ออกเป็นเอลิเมนต์ (element) ย่อยหลายๆเอลิเมนต์ โดยชิ้นส่วนแผ่นฐาน แขนแอคทูเอเตอร์ และลูกบอลจะใช้เอลิเมนต์ SOLID 164 แบบเอลิเมนต์ทรงหกหน้าที่ไม่มีโหนดตรงกลางด้าน เนื่องจากใช้การวิเคราะห์แบบชัดแจ้ง (explicit algorithm) ซึ่งจะไม่ยอมให้มีโหนดตรงกลาง ซึ่งมีโหนดทั้งหมด 8 โหนด มีการเคลื่อนที่ทั้งหมด 9 องศาอิสระ คือ การเคลื่อนที่ในแนวแกน X (UX), Y (UY), Z (UZ) ความเร็วในแนวแกน X (VX), Y (VY), Z (VZ) และความเร่งในแนวแกน X (AX), Y (AY), Z (AZ)

ส่วนใบมีดใช้เอลิเมนต์ SHELL 163 แบบเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมและเอลิเมนต์สามเหลี่ยม เนื่องจากรูปทรงของใบมีดมีรูปร่างที่ซับซ้อน และกำหนดให้ลูกบอล และใบมีดเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (rigid body) เนื่องจากลูกบอล และใบมีดมีความแข็งแรงมากเมื่อเทียบกับชิ้นส่วนอื่นๆ ส่วนจำนวนเอลิเมนต์ และจำนวนจุดต่อ (node) แสดงดังตารางที่ 1 หลังจากทำการแบ่งเอลิเมนต์แล้วนำชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนมาประกอบกันจะได้ดังรูปที่ 4 โดยในชิ้นส่วนของแขนแขนแอคทูเอเตอร์ชิ้นส่วนรองแขนแอคทูเอเตอร์ (key) และใบมีดจะถูกตัดออกบางส่วนเพื่อประหยัดเวลา และทรัพยากรณ์คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์

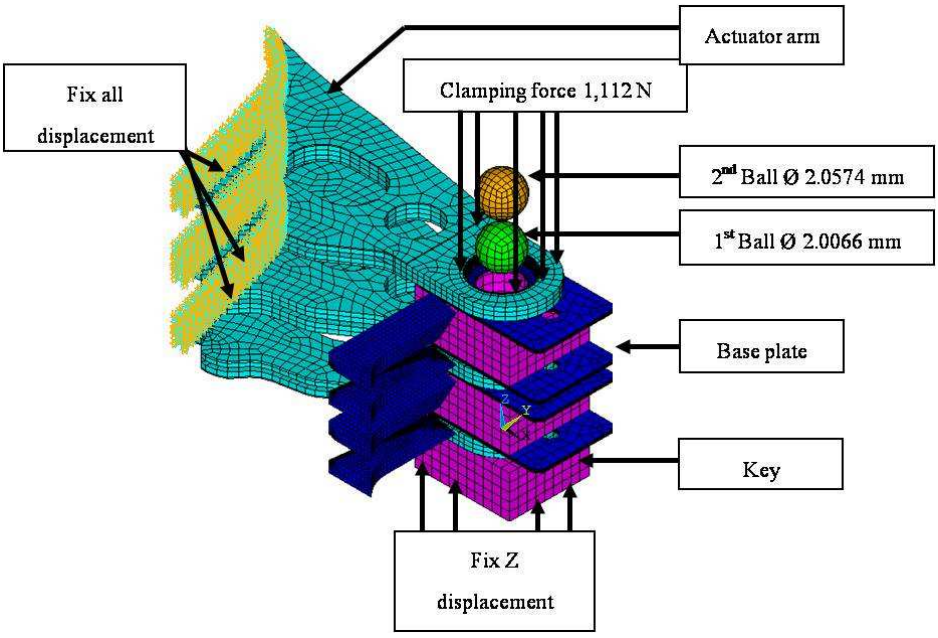
การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของกระบวนการสเวจ ในกระบวนการประกอบจริงนั้น จะมีเข็ม (driving pin) ดันลูกบอลให้เคลื่อนที่ผ่านแผ่นฐาน โดยจะดันด้วยความเร็วคงที่ และลูกบอลจะถูกกำหนดให้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง แขนแอคทูเอเตอร์เมื่อพิจารณาจากกระบวนการสเวจ จะพบว่าระนาบกึ่งกลางตามยาวและระนาบที่ตั้งฉากกับความยาวของแขนแอคทูเอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และจะมีแรงกด (clamping force) เพื่อไม่ให้มีการเคลื่อนที่ตลอดกระบวนการ ในการวิเคราะห์จึงสามารถลดขนาดของแบบจำลองแขนแอคทูเอเตอร์ตรงส่วนต้นแขนออก และกำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนในทุกทิศทาง (fix all displacement) ที่บริเวณต้นของแขนแอคทูเอเตอร์ และกำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z (fix Z displacement) บริเวณด้านล่างของแขนแอคทูเอเตอร์ ดังรูปที่ 4

แรงจับยึด (clamping force) บริเวณด้านบนส่วนของปลายแขนแอคทูเอเตอร์จะมีแรงกดแบบกระจาย โดยมีขนาด 1,112 นิวตัน กระจายรอบๆ รูของแผ่นฐาน สำหรับยิงบอล ดังรูปที่ 4 เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของชิ้นงาน ในขณะยิงลูกบอล

การกำหนดการสัมผัสระหว่างชิ้นงาน ในงานวิจัยนี้กำหนดทุกชิ้นงานที่มีส่วนสัมผัสกัน โดยกำหนดให้เป็นการสัมผัสเป็นแบบ automatic surface to surface contact เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์นี้มีการสัมผัสกันแบบผิวสัมผัสกับผิวสัมผัส และไม่มีการฉีกขาดเสียหายของชิ้นงาน ส่วนการกำหนดผิวสัมผัสที่ใช้ในกระบวนการสเวจมีดังนี้

- ลูกบอลกับแผ่นฐาน มีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน 0.08
- แผ่นฐานกับแขนแอคทูเอเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน 0.01
- ชิ้นส่วนรองแขนแอคทูเอเตอร์ในแต่ละหัวอ่านกับแขนแอคทูเอเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน 0.01

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของกระบวนการดีสเวจ



รูปที่ 4. การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของกระบวนการสเวจ

ใบมีด จะถูกแรงกดลงมาด้วยแรงขนาด 3 นิวตัน 5 นิวตัน 7 นิวตัน 9 นิวตัน และ 11 นิวตัน ดังรูปที่ 5 โดยแรง 5 นิวตัน เป็นแรงกดที่ใช้ในกระบวนการจริง และถูกกำหนดให้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้มุ่งเน้นถึงการเสียรูปของใบมีด

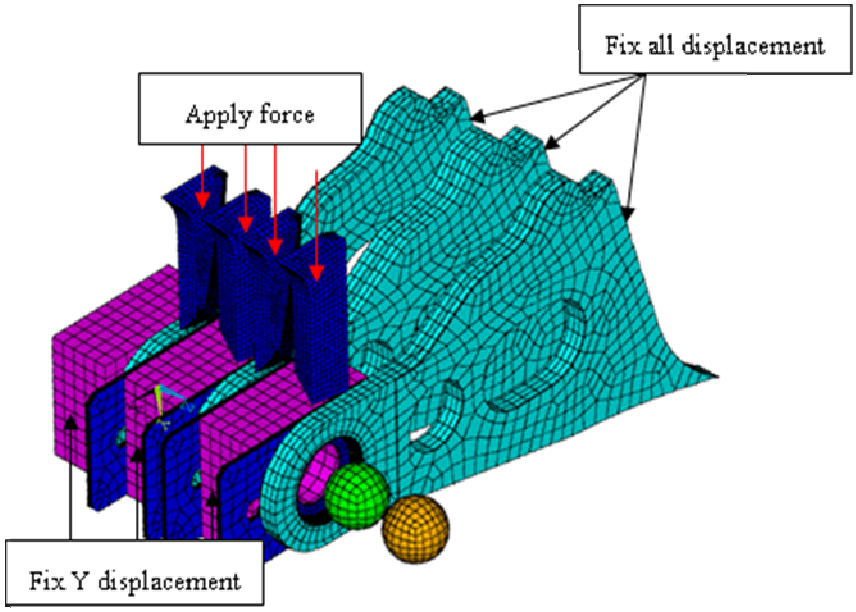
แขนแอคทูเอเตอร์ เมื่อพิจารณาจากกระบวนการ จะพบว่าระนาบกึ่งกลางตามยาวและระนาบที่ตั้งฉากกับความยาวของแขนแอคทูเอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และจะมีแรงกด (clamping force) เพื่อไม่ให้มีการเคลื่อนที่ตลอดกระบวนการ ในการวิเคราะห์จึงสามารถลดขนาดของแบบจำลองแขนแอคทูเอเตอร์ตรงส่วนต้นแขนออกและกำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนในทุกทิศทาง (fix all displacement) ที่บริเวณขอบของต้นแขนแอคทูเอเตอร์ และกำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวแกน Y (fix Y displacement) บริเวณด้านข้างของแขนแอคทูเอเตอร์ ดังรูปที่ 5

การกำหนดการสัมผัสระหว่างชิ้นงาน ในงานวิจัยนี้กำหนดทุกชิ้นงานที่มีส่วนสัมผัสกัน โดยกำหนดให้เป็นการสัมผัสเป็นแบบ automatic surface to surface contact เนื่องจากการทดลองนี้มีการสัมผัสกันของผิวสัมผัสเท่านั้น ซึ่งในแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์มีชิ้นส่วนสัมผัสกัน และค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานดังนี้ โดยค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานในกระบวนการสเวจและดีสเวจ ถ้าเป็นผิวสัมผัสของวัสดุคู่เดียวกันจะมีค่าเท่ากัน แต่วัสดุต่างคู่กันจะมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานต่างกัน

- ใบมีดกับแผ่นฐาน มีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน 0.02
- ใบมีดกับแขนแอคทูเอเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน 0.02
- แผ่นฐานกับแขนแอคทูเอเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน 0.01

การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ

การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ (material property) เนื่องจากคุณสมบัติวัสดุของชิ้นส่วน



รูปที่ 5. การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของกระบวนการดีสเวจ

แผ่นฐาน แขนแอคทูเอเตอร์ และชิ้นส่วนรองแขนแอคทูเอเตอร์ในแต่ละหัวอ่าน (key) มีคุณสมบัติวัสดุของแผนภาพความเค้นความเครียดเหมือนกับเป็นเส้นตรงสองเส้น ในการทดลองนี้จึงได้คุณสมบัติวัสดุเป็นแบบ bilinear kinematic hardening ซึ่งเป็นคุณสมบัติวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์แบบ explicit dynamic analysis ด้วย ส่วนลูกบอล และใบมีดได้กำหนดแบบวัสดุแข็งเกร็ง (rigid bodies to expedite the simulation) เนื่องจากลูกบอล และใบมีดมีความแข็งแรงมากเมื่อเทียบกับชิ้นงานอื่น การกำหนดคุณสมบัติโครงสร้างของวัสดุแต่ละชิ้นส่วนแสดงดังตารางที่ 2

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ในกระบวนการดีสเวจ คือ แรงที่กดใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจ โดยการวิเคราะห์การเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการทดลองนี้จะพิจารณาในรูปของค่าแรงกรัมโหลด

แรงกรัมโหลด เป็นแรงที่เกิดจากค่าคงที่ของสปริง โดยทั่วไปแรงกรัมโหลดจะถูกกำหนดให้เป็นแรงที่ชุดรองรับหัวอ่าน/เขียนถูกกระทำ ซึ่งแรงกรัมโหลดจะกดที่หัวอ่าน/เขียน เพื่อให้หัวอ่าน/เขียนเกิดความสมดุลในขณะทำงาน คล้ายกับสปริงตามกฎของฮุค (Hooke's law) กำหนดให้สปริงเป็นวัตถุยืดหยุ่น (elastic-member) มีแรงต้านเมื่อมีการเปลี่ยนรูปของวัตถุ ซึ่งการเปลี่ยนรูปนี้จะถูกแสดงในรูปของระยะการขจัด

ในการวัดค่าแรงกรัมโหลดในกระบวนการจริงจะมีเครื่องมือในการวัด โดยมีหลักการทำงานคือ ที่เครื่องมือจะมีเซนเซอร์ (sensor) ซึ่งทำหน้าที่ในการวัดแรงกรัมโหลด ในการวัดค่าแท่งเซนเซอร์จะถูกสอดเข้าไประหว่างซัสเพนชั่นสองตัว ดังรูปที่ 6 โดยแรงที่กดหรือดันไปที่แท่งเซนเซอร์ คือ แรงกรัมโหลด

ในการวัดค่ากรัมโหลดในการทดลองจะหาได้จากการอ่านค่าการกระจัดในแนวแกน Z ของแขนแอคทูเอเตอร์จากผลการทดลอง ซึ่งคือค่าของตัวแปร A และ B ดังรูปที่ 7 และความสัมพันธ์ของค่าการกระจัดของปลายหัวอ่าน/เขียน X เขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$X = B + D\left(\frac{B-A}{C}\right) \quad (1)$$

เมื่อ C คือ ระยะจากปลายของแขนแอคทูเอเตอร์ส่วนที่เป็นเส้นตรงถึงขอบโค้งของแขนแอคทูเอเตอร์ซึ่งเป็นค่าคงที่

D คือ ระยะจากขอบโค้งของแขนแอคทูเอเตอร์ถึงปลายหัวอ่าน/เขียนซึ่งเป็นค่าคงที่ ดังรูปที่ 7 ค่าแรงกรัมโหลดสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

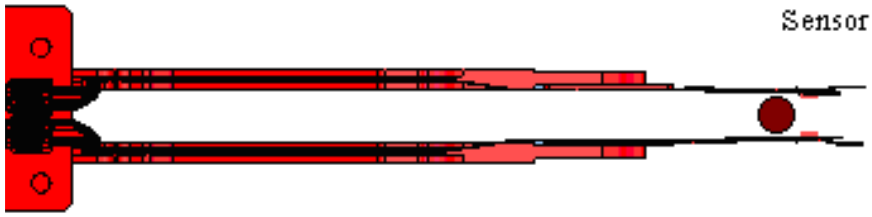
Gram load = kX (2)

เมื่อ k คือค่าคงที่ของแขนแอคทูเอเตอร์มีค่าเท่ากับ 1.9 กรัมต่อมิลลิเมตร

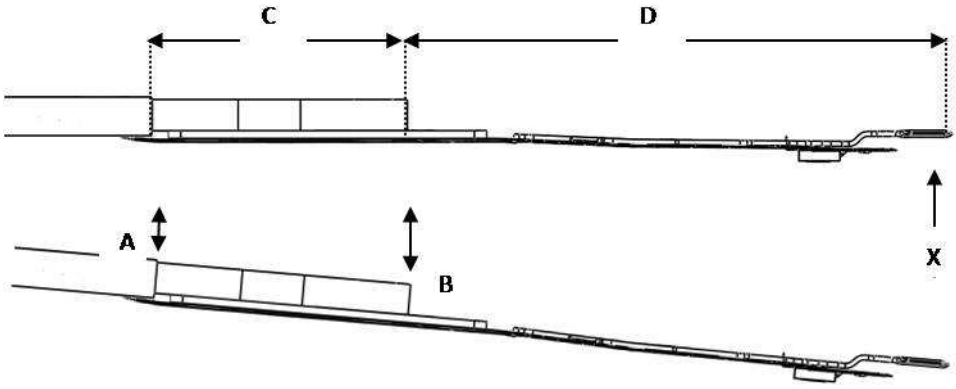
ตารางที่ 2. การกำหนดวัสดุและคุณสมบัติของแต่ละชิ้นส่วน

ชิ้นส่วน	วัสดุ	Modulus of elasticity (GPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Tensile yield strength (MPa)	Density (g/cm^3)	Poisson's ratio
Ball	SST440C	212	1500*	1000*	8.03	0.30
Base Plate	UNS S30500	212	550	205	8.03	0.30
Key	UNS S30500	212	550	205	8.03	0.30
Arm	Aluminum 6061-T6	69	310	275	2.70	0.33
Blade	SKD 11	207	20256*	2070*	7.7	0.285

* กำหนดให้ลูกบอลและใบมีดเป็นวัสดุแข็งเกร็ง



รูปที่ 6. การวัดค่าแรงกรัมโหลดในกระบวนการจริง



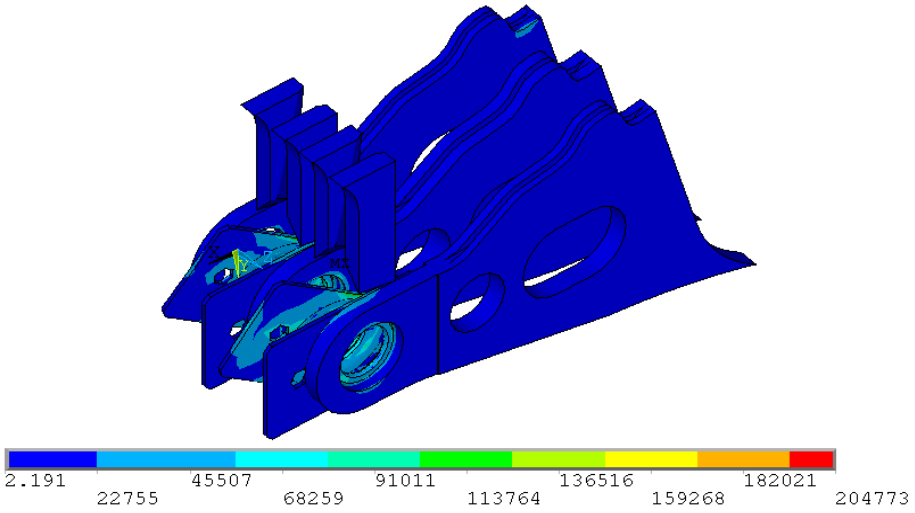
รูปที่ 7. การวัดค่าแรงกรัมโหลดในการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านโครงสร้างสูง พร้อมทั้งมีส่วนช่วยลดเวลาและต้นทุนในการทดสอบ

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

การวิเคราะห์กระบวนการดีสเวจ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของการศึกษานี้จะศึกษาการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ โดยการออกแรงกดใบมีดให้กดแผ่นฐาน แผ่นฐานจะโก่งตัวเพื่อแยกออกจากแขนแอคทูเอเตอร์ โดยความเค้นจะกระจายไปทั่วแผ่นฐาน และเกิดความเค้นมากที่จุดสัมผัสระหว่างใบมีดและแผ่นฐาน และที่รอบๆรูของแขนแอคทูเอเตอร์และแผ่นฐาน เนื่องจากที่รอบๆรูของแขนแอคทูเอเตอร์และแผ่นฐานเป็นจุดที่ยึดติดระหว่างแผ่นฐานและแขนแอคทูเอเตอร์ที่เกิดจากกระบวนการสเวจ พอมีแรงกดแยกของใบมีดในแนวแกน Y มาแยกแผ่นฐานออกจากแขนแอคทูเอเตอร์ จะทำให้ความเค้นเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆที่รอบๆรูนี้ จนมีค่าเกินจุดคราก (yield point) ทำให้ขอบรอบรูของแผ่นฐานเสียรูปถาวร แยกออกจากแขนแอคทูเอเตอร์ พอแผ่นฐานหลุดแยกออกจากแขนแอคทูเอเตอร์แล้วความเค้นและความเครียดจะมีค่าลดลง และเกิดความเค้นตกค้างบนแขนแอคทูเอเตอร์ทำให้แขนแอคทูเอเตอร์เกิดการเสียรูป ดังรูปที่ 8

เพื่อหาขนาดของแรงกดที่ใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจที่ทำให้เกิดการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์น้อย



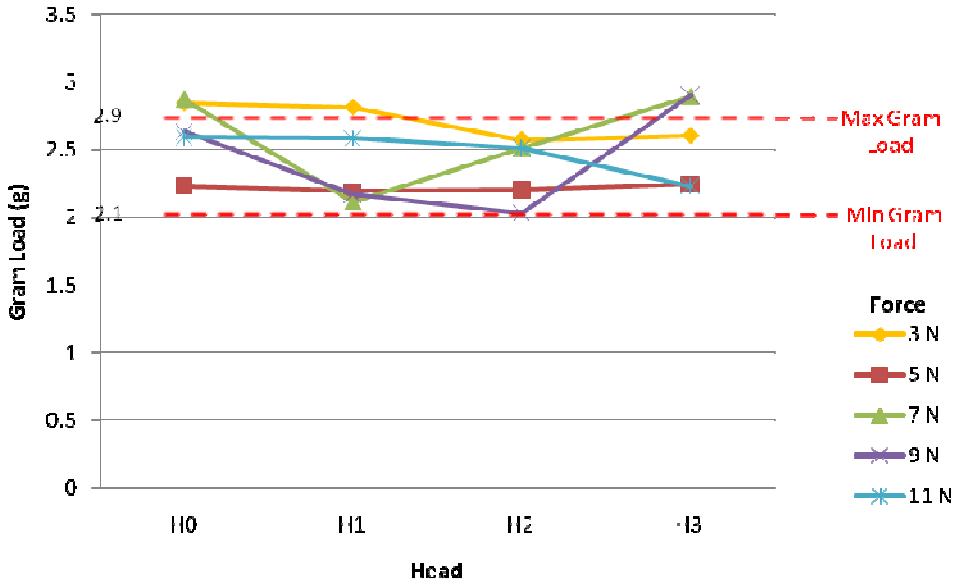
รูปที่ 8. การเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ในกระบวนการดีสเวจของหัวอ่านที่ 0 และหัวอ่านที่ 2

โดยขั้นตอนแรกทำการทดลองกระบวนการสเวจด้วยขนาดของความเร็วของลูกบอล 40 เมตรต่อวินาที และใช้ขนาดของเอลิเมนต์ชุดที่ 2 แล้วทำการทดลองกระบวนการดีสเวจต่อโดยใช้ผลจากกระบวนการสเวจในตอนแรก โดยมุมของใบมีด 140.3 องศา เหมือนงานจริง และใช้แรงกดที่ใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจ 5 ขนาด คือ 3 นิวตัน 5 นิวตัน 7 นิวตัน 9 นิวตัน และ 11 นิวตัน ผลการวิเคราะห์ค่าแรงกรัมโหลดที่มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม ซึ่งเป็นช่วงค่าแรงกรัมโหลดที่ยอมรับได้ในการทำงานจริง พบว่า ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 0 (H0) มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้แรงกดของใบมีดขนาด 5 นิวตัน ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 1 (H1) มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้แรงกดของใบมีดขนาด 5 นิวตัน และ 9 นิวตัน ค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 2 (H2) มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้แรงกดของใบมีดขนาด 5 นิวตัน และค่าแรงกรัมโหลดของหัวอ่านที่ 3 (H3) มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง2.1 ถึง 2.9 กรัม เมื่อใช้แรงกดของใบมีดขนาด 5 นิวตัน ดังรูปที่ 9

4. สรุป

ผลการวิเคราะห์ค่าแรงกรัมโหลดในกระบวนการสเวจโดยใช้แรงกดที่ใบมีดของอุปกรณ์ดีสเวจ 5 ขนาด คือ 3 นิวตัน 5 นิวตัน 7 นิวตัน 9 นิวตัน และ 11 นิวตัน ด้วยมุมของใบมีด 140.43 องศา เหมือนงานจริง แล้วหาค่าแรงกรัมโหลดที่มีค่าน้อยที่สุดที่อยู่ในช่วง 2.1 ถึง 2.9 กรัม ซึ่งเป็นช่วงค่าแรงกรัมโหลดที่ยอมรับได้ในการทำงานจริง พบว่าค่าของแรงกดใบมีดที่เหมาะสมคือแรงกดของใบมีด 5 นิวตัน

ข้อเสนอแนะ ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมเกิดการเสียรูปของแขนแอคทูเอเตอร์ในรูปของค่าแรงกรัมโหลด ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยศึกษาถึงขนาดแรงกดใบมีด โดยมุมของใบมีดคงที่ จึงสามารถนำผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นในการออกแบบและพัฒนากระบวนการดีสเวจ แต่ยังมีปัจจัยอื่นอีกหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดีสเวจที่น่าศึกษาเพื่อเพิ่มคุณภาพของกระบวนการดีสเวจ เช่น เปลี่ยนขนาดมุมของใบมีด ตำแหน่งของใบมีด หรือค่าแรงกรัมโหลดในกระบวนการสเวจหลังจากที่ชิ้นงานผ่านกระบวนการ ดีสเวจไปแล้วครั้งหนึ่ง เป็นต้น



รูปที่ 9. ค่าแรงกรัมโหลด ด้วยมุมใบมีด 140.43 องศา ที่ขนาดของแรงต่างๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทเวสเทิร์นดิจิตอลบางปะอิน (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูล และ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

(1) Budde RA, inventor; Seagate Technology, Inc. (Scotts Valley, CA), assignee. Flexure mounting plate with deswaging tabs. United States patent US 5757586. 1998 May 26.

(2) Aoki K, Aruga K. Nummerical ball swaging analysis of head arm for hard disk drives. Microsyst Technol. 2007; 13: 943-9.

(3) Hanks L, Nielsen DR, Koester DD, inventor; Seagate Technology, Inc. (Scotts Valley, CA), assignee. Tool for de-swage head gimbal assembly. United States patent US 5553374. 1996 September 10.

(4) Dechaumphai P. Finite element method for engineers. 4th ed. Bangkok: Chulalongkorn University Press; 2007. Thai.