



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การวิเคราะห์ความเสียหายของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกในชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟ์ Failure analysis of piezoelectric actuators in a hard disk drive head stack assembly

สุวิชา ทิตอร่าม¹ พงศธร พรหมบุตร^{2*}

¹ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพฯ 10900

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพฯ 10900

Suwitcha Titaram¹ Pongtorn Prombut^{2*}

¹ Master of Engineering Program in Industrial Production Technology, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, 10900

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, 10900

* Corresponding author.

E-mail: pongtorn.p@ku.ac.th; Telephone: 087 654 2709

วันที่รับบทความ 13 มิถุนายน 2566; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 31 สิงหาคม 2566; วันที่ตอบรับบทความ 2 ตุลาคม 2566

บทคัดย่อ

ปัญหาที่พบมากในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟ์ในปัจจุบัน คือ ชิ้นส่วนแผ่นเพียโซอิเล็กทริกขนาดเล็กที่มีคุณสมบัติแข็งแต่เปราะเกิดการแตกร้าวได้ง่าย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการทำนายพฤติกรรมภายใต้ภาวะการชนกระแทกของแบบจำลองชุดหัวอ่าน/เขียนข้อมูลที่มีแผ่นเพียโซอิเล็กทริกติดตั้งอยู่ ซึ่งผู้วิจัยพบว่าแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเกิดความเสียหายในขั้นตอนการติดตั้งชุดหัวอ่านเข้ากับอุปกรณ์รองรับ งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของชุดหัวอ่าน/เขียนข้อมูลด้วยวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) และเพียโซอิเล็กทริก (PZT) จากนั้นทำการเทียบแรงกดบนชิ้นงานเป็นความเร็วในการชนกระแทกในช่วงความเร็ว 8.4-9.2 m/s และวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์แบบชัดแจ้งในขณะที่ชุดหัวอ่าน/เขียนข้อมูลกระแทกกับฐานรองรับที่ไม่เสียรูป ลักษณะของชุดหัวอ่าน/เขียนสามารถเคลื่อนตัวได้อิสระในแนวตั้ง (แกน Z) แต่ไม่สามารถเคลื่อนตัวได้ในระนาบ (แกน X, Y) หลังจากวิเคราะห์จะเป็นการตรวจสอบผลการเสียรูป (Deformation) และความเค้น (Von Mises Stress) ของแบบจำลอง ผลการวิเคราะห์สามารถแสดงพฤติกรรมการแกว่งของหัวอ่าน/เขียนข้อมูลได้สมจริง และแสดงให้เห็นว่าความเค้น Von Mises สูงสุดในแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเกิดจากการกระแทกและเกิดขึ้นก่อนที่หัวอ่าน/เขียนข้อมูลจะมีระยะการแกว่งตัวสูงสุด จึงควรวิเคราะห์แบบจำลองโดยใช้การคำนวณแบบพลศาสตร์ ความเร็วในการชนกระแทกเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเค้นที่เกิดขึ้น ดังจะเห็นได้จากความเค้น Von Mises สูงสุดในแผ่นเพียโซอิเล็กทริกมีค่า 135.74-154.61 MPa โดยค่าความเค้นจะสูงขึ้นตามค่าความเร็วชนกระแทกที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ทำนายว่าแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเกิดความเสียหายทุกค่าความเร็วชนกระแทกซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทดสอบจริง และการเสียรูปของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกจากการวิเคราะห์ยังมีค่าสูงเกินจริง ผู้วิจัยเชื่อว่าการปรับปรุงการวิเคราะห์ส่วนนี้ได้โดยการทดสอบวัดสมบัติทางกลและเกณฑ์ความเสียหายของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้จริงและนำค่ามาใช้ในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการประกอบชุดหัวอ่าน/เขียนข้อมูลเพื่อลดปริมาณชิ้นงานที่เสียหายได้

คำสำคัญ

ฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟ์ ชุดหัวอ่าน/เขียน ตัวขับเพียโซอิเล็กทริก การชนกระแทก การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พลศาสตร์แบบชัดแจ้ง

Abstract

The most common problem in the assembly of the read/write heads in hard disk drives is the damage of the piezoelectric actuator, which is rigid but brittle and prone to fracture. The objective of this research is to predict the behavior under impact conditions of the head stack assembly (HSA) model with the piezoelectric actuator installed. The authors found that the piezoelectric actuator is damaged during installation to the support device. The finite element model of the read/write head is made using the properties of stainless steel and piezoelectric (PZT) materials, and the force on the HSA is converted to impact velocities in the range of 8.4 - 9.2 m/s. The model is then analyzed using explicit dynamics in the condition that the HSA collides with a rigid support. The HSA can move freely in vertical direction (Z axis) but cannot move in the plane (X, Y axes). After the analysis, the deformation and Von Mises stress results are investigated. The FEA results show reasonable deflection behavior of the read/write head and show that the maximum Von Mises stress in the piezoelectric actuator is due to impact. The maximum stress occurs before the read/write head reaches its maximum deflection, suggesting that explicit dynamics analysis is preferred to static analysis. The impact velocity is a factor that influences the stress results, as can be observed from the maximum Von Mises stress in the piezoelectric actuator, which ranges from 135.74 to 154.61 MPa. The stress values increase with higher impact velocities. However, the analysis predicts that the piezoelectric actuator is damaged at all impact velocities, which does not align with the actual test results. Additionally, the predicted deformation of the piezoelectric actuator is much greater than the deformation observed in actual tests. The authors believe that these analysis results can be improved by using more accurate properties and failure model parameters of the piezoelectric material in the construction of the finite element model. The material information can be obtained from appropriate mechanical tests. The results from this study can be used as a guideline for improving the assembly process to reduce the number of piezoelectric actuator damage.

Keywords

hard disk drive (HDD), head stack assembly (HAS), piezoelectric actuator, impact, finite element analysis (FEA), explicit dynamics

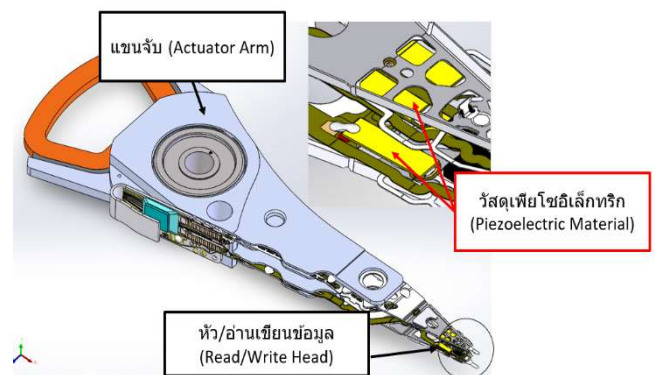
1. ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive, HDD) คือ ส่วนประกอบชิ้นสำคัญของคอมพิวเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เก็บข้อมูลทุกอย่างของคอมพิวเตอร์ไว้ทั้งหมด องค์ประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีด้วยกัน 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Head Stack Assembly, HSA) และแผ่นบันทึกข้อมูล (Media Disk) [1] ดังแสดงในรูปที่ 1



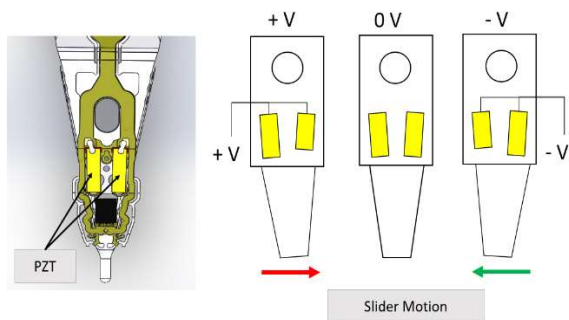
รูปที่ 1 ส่วนประกอบสำคัญของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [1]

โดยชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนหัวอ่าน/เขียนข้อมูล (Read/Write Head) และส่วนแขนจับ (Actuator Arm) ดังแสดงในรูปที่ 2



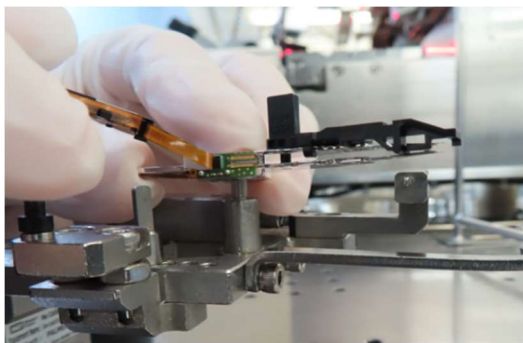
รูปที่ 2 ส่วนประกอบของชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

แผ่นเพียโซอิเล็กทริก เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนหัวอ่าน/เขียนข้อมูลเป็นวัสดุเซรามิกชนิดหนึ่ง การทำงานของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกคือเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกจะทำให้โครงสร้างผลึกเกิดการเปลี่ยนแปลงมีการยืดและหดตัวภายในโครงสร้างผลึกใช้สำหรับการปรับตำแหน่งหัวอ่าน/เขียนข้อมูลให้สามารถขยับซ้ายและขวาได้ เพื่อความแม่นยำในการอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์บนช่องเก็บข้อมูล (Track) ดังแสดงในรูปที่ 3



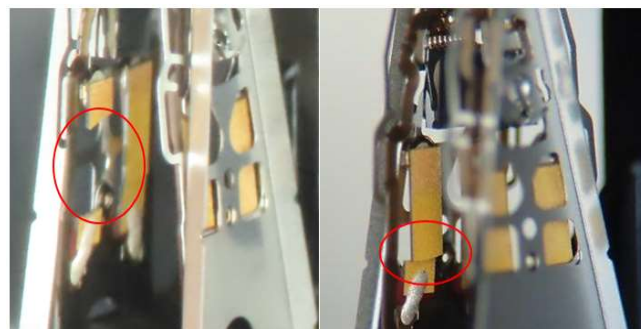
รูปที่ 3 ลักษณะของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกบนหัวอ่าน/เขียนข้อมูลและหลักการทำงาน [2]

ผู้วิจัยพบปัญหาของเสียที่เกิดจากความเสียหายบนแผ่นเพียโซอิเล็กทริกในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยกระบวนการดังกล่าวเป็นการนำส่วนหัวอ่าน/เขียนข้อมูล และส่วนแขนจับมาประกอบเข้าด้วยกัน หลังจากทำการประกอบชิ้นงานเรียบร้อยแล้วพนักงานจะนำชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มาติดตั้งลงบนอุปกรณ์จับยึดเพื่อเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบคุณภาพในขั้นตอนต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การนำชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มาติดตั้งลงบนอุปกรณ์จับยึด

ในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพ ผู้วิจัยพบความเสียหายมีลักษณะเป็นรอยแตกหักบนแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความเสียหายของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่พบในกระบวนการประกอบ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายพฤติกรรมภายใต้ภาวะการชนกระแทกของชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีแผ่นเพียโซอิเล็กทริกติดตั้งอยู่ ซึ่งผู้วิจัยได้นำการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยวิธีพลศาสตร์แบบชัดแจ้ง (Explicit Dynamics) มาช่วยในการศึกษาพฤติกรรมในขั้นตอนที่พนักงานนำชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มาติดตั้งลงบนอุปกรณ์จับยึด เพื่อระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสียหายและนำไปสู่การปรับปรุงอุปกรณ์หรือชิ้นการทำงานเพื่อลดปริมาณแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่เสียหายในกระบวนการผลิตนี้ต่อไป ปัจจุบันปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นบนตัวขับเคลื่อนเพียโซอิเล็กทริกในโรงงานที่ผู้วิจัยเก็บข้อมูลคิดเป็นมูลค่าความเสียหายเฉลี่ย 4,800 ดอลลาร์สหรัฐ/เดือน เทียบกับมูลค่าที่ผลิตได้เฉลี่ย 352,000 ดอลลาร์สหรัฐ/เดือน หรือคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียเฉลี่ย 1.36%

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wattananukulchai และ Isarakorn [3] ทำการศึกษาเรื่องประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของวัสดุ PMN-PT piezoelectric ชนิดใหม่ ซึ่งวัสดุ PMN-PT piezoelectric เป็นวัสดุเพียโซอิเล็กทริกชนิด PZT ผลึกเดี่ยวที่มีความแข็งแรงสูงกว่าวัสดุเพียโซอิเล็กทริกชนิด PZT แบบทั่วไปและจากความแข็งแรงของวัสดุนี้ น่าจะช่วยลดปัญหาการแตกหักของวัสดุเพีย

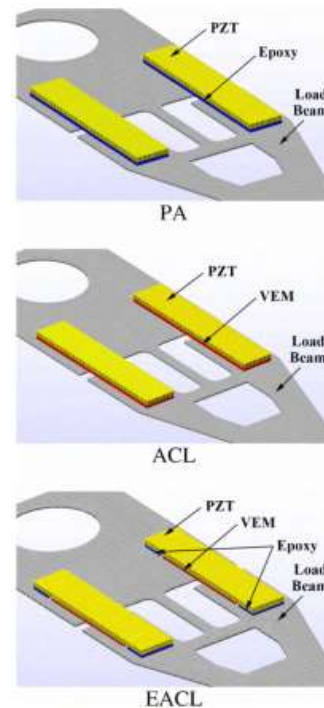
โซอิเล็กทริกชนิด PZT แบบทั่วไปในระหว่างการประกอบชุดหัวอ่าน/เขียนข้อมูล (Head Gimbal Assembly, HGA) ได้จากการศึกษาวิจัย PMN-PT piezoelectric actuator ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Doppler Vibrometer และเครื่องทดสอบความแข็งแรงพบว่า actuator ที่ทำจากวัสดุ PMN-PT มีความน่าเชื่อถือทั้งในส่วนของการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายใต้อุณหภูมิไม่เกิน 150°C และในส่วนของความแข็งแรงที่สูงกว่าวัสดุเพียโซอิเล็กทริกชนิด PZT แบบทั่วไปถึง 2 เท่า การนำวัสดุ PMN-PT ไปใช้เป็นชิ้นส่วนประกอบของชุดหัวอ่าน/เขียนข้อมูล จะช่วยลดปัญหาการแตกหักของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกชนิด PZT แบบทั่วไปในระหว่างกระบวนการประกอบชุดหัวอ่าน/เขียนข้อมูลได้ และยังมีส่วนช่วยลดต้นทุนของการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

งานวิจัยนี้สามารถนำมาประยุกต์เป็นแนวทางใช้กับงานวิจัยของผู้วิจัยสำหรับการทดลองปรับเปลี่ยนวัสดุตัวขับเคลื่อนโซอิเล็กทริกชนิด PZT แบบทั่วไปมาเป็นชนิด PMN-PT ในการเพิ่มความแข็งแรงในอนาคตได้

Chan และ Liao [4] ทำการศึกษาการใช้วัสดุกันสะเทือนรองรับชิ้นส่วนตัวขับเคลื่อนเพียโซอิเล็กทริกที่ต่างกัน 3 แบบ ได้แก่ 1. Purely Active (PA, วัสดุ Epoxy), 2. Active Constrained Layer (ACL, วัสดุ Viscoelastic : VEM) และ 3. Enhanced-Active Constrained Layer (EACL, ใช้ทั้งวัสดุ Epoxy และ VEM) ดังแสดงในภาพที่ 6

เมื่อกระตุ้นด้วยการกระแทกเชิงเส้นไปที่ตัวงานทดลองและทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของตัวงานทดลองที่ติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความเครียดไว้ เพื่อศึกษาผลลัพธ์ของความเครียด จากการทดลองพบว่าตัวงานทดลองที่ติดตั้งด้วยวัสดุกันสะเทือนแบบผสม (EACL) จะได้ผลลัพธ์ในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนได้ดีกว่าการติดตั้งวัสดุกันสะเทือนแบบ PA และ ACL

งานวิจัยนี้สามารถนำมาประยุกต์เป็นแนวทางใช้กับงานวิจัยของผู้วิจัยสำหรับการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในการต้านทานการชนกระแทกในอนาคตได้



รูปที่ 6 การใช้วัสดุกันสะเทือนรองรับตัวขับเคลื่อนเพียโซอิเล็กทริกที่ต่างกัน 3 แบบ [4]

อนุชา สายเจริญ และคณะ [5] ทำการศึกษาวิเคราะห์เรื่องพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการต้านทานของการเจาะทะลุของกระสุนบนผิวเกราะด้วยการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์แบบชัดแจ้ง (Explicit Dynamics) ซึ่งการทดสอบความเสียหายนั้นใช้มาตรฐาน National Institute of Justice ระดับ 3 ด้วยวัสดุของกระสุนคือทั้งสเตนคาร์ไบด์ (WC) ขนาด 7.62 มิลลิเมตร ความเร็ว 847 ± 9.1 เมตรต่อวินาที วัสดุเกราะกันกระสุนที่ใช้ในการจำลองนี้มี 2 ชนิดคือ 1. เหล็กแข็งพิเศษเกรด SKD11 2. อะลูมิเนียมเกรด AL7075 โดยการจำลองจะแบ่งออกเป็นจำลองแผ่นเกราะแบบซ้อนขนาดของแผ่นเกราะนั้นมีขนาด 6, 8, และ 10 มิลลิเมตร โดยมุมมองของการยิงเกราะกันกระสุนนั้นมีมุมที่ 0, 30, และ 45 องศา ผลจากการจำลองนี้ขนาดความหนาของเกราะและมุมมองของการยิงเกราะกันกระสุนนั้นมีมุมที่ 0, 30, และ 45 องศา ผลจากการจำลองนี้ขนาดความหนาของเกราะและมุมมองของการยิงเป็นปัจจัยหลักของการต้านทานการเจาะทะลุ ซึ่งเมื่อมุมมองของกระสุนเฉียงจะทำให้เกิดการหักเหของกระสุน เพิ่มระยะทางการหยุดกระสุนและเปลี่ยนทิศทางการกระแทก ซึ่งผลจากการทดลองและประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์แบบชัดแจ้งพบว่ามีแนวโน้มเชื่อถือ โดยเปรียบเทียบกับความสอดคล้องกับการทดลองจริงเพื่อยืนยันแนวคิดและ

ทฤษฎีที่ใช้กับการจำลองนี้ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเราสามารถนำการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์แบบชัดแจ้งร่วมกับเกณฑ์ความเสียหายของวัสดุมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบความเสียหายของวัตถุในสภาวะการชนกระแทก เพื่อเปรียบเทียบกับความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงที่เราสนใจได้

3. การดำเนินงานวิจัย

3.1 การประกอบชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ศึกษาข้อมูลในฝ่ายการผลิตชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ รวบรวมข้อมูลพฤติกรรมและปริมาณของเสียของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่เกิดขึ้นบนชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แต่ละประเภทเพื่อเลือกประเภทที่จะนำมาทำการศึกษาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลในระยะเวลา 3 เดือนพบว่าปริมาณของเสียที่เกิดจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกส่วนมากพบในชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภท 2 หัวอ่าน จากนั้นทำการศึกษาขั้นตอนการทำงานของพนักงานในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นการนำส่วนหัวอ่าน/เขียนข้อมูลและส่วนแขนจับมาประกอบเข้าด้วยกัน หลังจากทำการประกอบชิ้นงานเรียบร้อยแล้วพนักงานจะนำชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มาติดตั้งบนอุปกรณ์จับยึด โดยในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยสามารถจำแนกตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาและสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ได้แก่

1) ค่าของแรงกดที่พนักงานกระทำต่อชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในขณะที่ติดตั้งลงบนอุปกรณ์จับยึด ซึ่งข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลโดยเลือกพนักงานที่ปฏิบัติงานในกระบวนการนี้มา 3 คนจากนั้นให้พนักงานทั้ง 3 คนทำการประกอบชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์บนเครื่องชั่งดิจิทัลคนละ 3 ครั้ง จะได้ค่าแรงกดของพนักงานทั้ง 3 คนดังตารางที่ 1 และนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยแรงกดของพนักงานแต่ละคน ได้ค่าแรงกดของพนักงานที่กระทำบนชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อยู่ระหว่าง 2.5 lbf – 3.0 lbf (รูปที่ 7)

ตารางที่ 1 แรงกดของพนักงานที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล

พนักงาน คนที่	แรงกดที่ วัดได้ครั้ง ที่ 1 (lbf)	แรงกดที่ วัดได้ครั้ง ที่ 2 (lbf)	แรงกดที่ วัดได้ครั้ง ที่ 3 (lbf)	ค่าเฉลี่ยของ แรงกด (lbf)
1	2.5	2.6	2.5	2.5
2	2.5	2.7	2.7	2.6
3	2.8	3.1	3.2	3.0



รูปที่ 7 การวัดแรงกดของพนักงานด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล

2) ความสูงระหว่างชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กับพื้นผิวอุปกรณ์จับยึดมีค่า 5 มิลลิเมตร

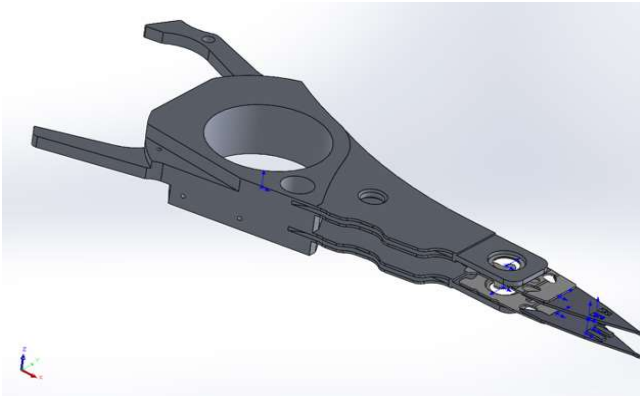
การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทดสอบชิ้นงานจริงและการวิเคราะห์แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อนำผลลัพธ์จากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงบนชิ้นงาน

3.2 วิธีการทดสอบชิ้นงานจริง

ผู้วิจัยทำการทดสอบด้วยชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภท 2 หัวอ่าน นำมาทดสอบในขั้นตอนที่พนักงานนำชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มาติดตั้งลงบนอุปกรณ์จับยึด โดยกำหนดตัวแปรได้แก่ แรงที่พนักงานกดชุดหัวอ่านและความสูงระหว่างชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กับอุปกรณ์จับยึดให้สอดคล้องกับข้อมูลจากการศึกษาขั้นตอนการทำงาน

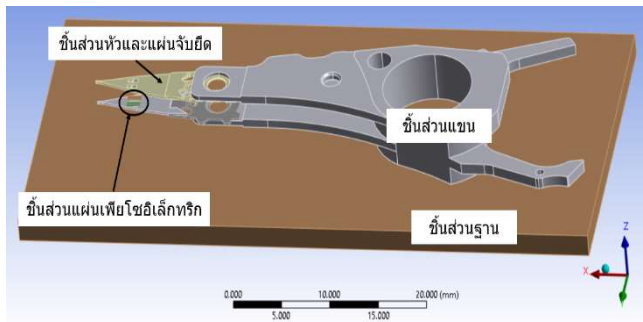
3.3 การวิเคราะห์แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการจำลองเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในระหว่างการติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์จับยึดนั้นต้องทำการสร้างแบบจำลองของชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม SolidWorks ดังแสดงในรูปที่ 8 แล้วจึงสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS โดยใช้วิธีพลศาสตร์แบบชัดแจ้ง



รูปที่ 8 แบบจำลองชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภท 2 หัวอ่าน

ภาพรวมของแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงส่วนประกอบต่างๆ ในชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังรูปที่ 9 ชิ้นส่วนฐานเป็นวัตถุแข็งเกร็งที่ถูกยึดอยู่กับที่และถูกชนกระแทกโดยชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 9 ส่วนประกอบของชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ชิ้นส่วนแขน แผ่นจับยึด และหัวอ่าน/เขียนข้อมูลเป็นวัสดุชนิด Stainless steel 316L มีสมบัติตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติของ Stainless steel 316L

สมบัติ (Property)	ค่า (Value)	หน่วย (Unit)
Density	7,500	kgm ⁻³
Young's Modulus	193	GPa
Possion's Ratio	0.31	
Bulk Modulus	169	GPa
Shear Modulus	73.7	GPa
Maximum Tensile Stress	515	MPa

ที่มา: <https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=863>

กำหนดสมบัติของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเป็นวัสดุชนิด PZT-5H ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติของ PZT-5H

สมบัติ (Property)	ค่า (Value)	หน่วย (Unit)
Density	7,500	kgm ⁻³
Young's Modulus	120.52	GPa
Possion's Ratio	0.31	
Bulk Modulus	106	GPa
Shear Modulus	46	GPa
Maximum Tensile Stress	114.8	MPa
Johnson-Holmquist		
HEL	2.2	GPa
A	0.83	
N	0.61	
C	0.0048	
B	0.3	
m	0.6	
SFMAX	0.2	
D1	0.01	
D2	0.8	
Bulking Constant	1	
Hydrodynamic Tensile	0.1	GPa

ที่มา : งานวิจัยของ TANG En-ling และคณะ [6]

เมื่อทำการ import แบบจำลองที่สร้างด้วยโปรแกรม SolidWorks เข้ามาที่โปรแกรม ANSYS แล้ว การตั้งค่าเพื่อการวิเคราะห์เป็นดังนี้

- 1) มีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำต่อชิ้นงาน
- 2) ระยะความสูงระหว่างชิ้นงานกับฐานรองรับเท่ากับ 5 มิลลิเมตร

3) ถือว่าแรงที่พื้นงานกดชิ้นงานมีค่าคงที่
งานที่เกิดขึ้น เปลี่ยนเป็นความเร็วในการชนกระแทก ดังสมการต่อไปนี้

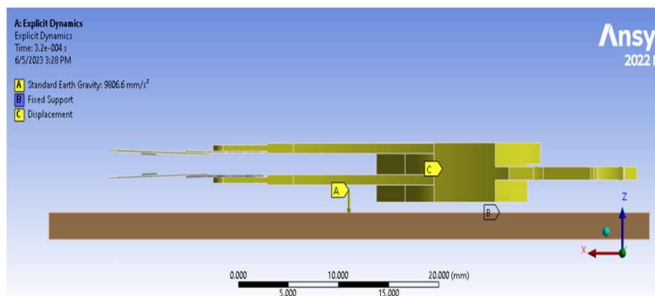
$$W = Fd = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

โดยที่ W คืองาน F คือแรงกดขึ้นงาน d คือระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับฐานรองรับ m คือมวลของแบบจำลอง (0.0015 กิโลกรัม) และ v คือความเร็วในการชนกระแทก เมื่อแปลงค่าแรงกดเฉลี่ยเป็นหน่วยนิวตันจะสามารถคำนวณความเร็วได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แรงกดขึ้นงานและความเร็วในการชนกระแทก

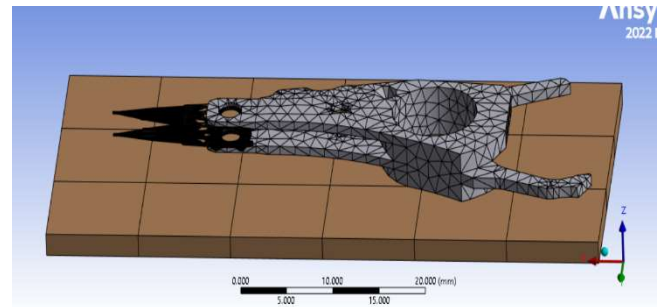
แรงกด (N)	ความเร็ว (Velocity, m/s)
11	8.4
12	8.8
13	9.2

สำหรับเงื่อนไขขอบเขตในการวิเคราะห์ ชิ้นส่วนฐานถูกตรึงอยู่กับที่ (Fixed Support) ชิ้นส่วนแขนของชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระในแนวตั้ง แต่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวระนาบ และมีตำแหน่งตั้งต้นอยู่ห่างจากชิ้นส่วนฐาน 5 มิลลิเมตร วัดตามแนวตั้ง (แกน Z) ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 สภาพะตั้งต้นสำหรับการวิเคราะห์

ในการสร้างเมช (Mesh) บนชิ้นส่วนต่างๆของแบบจำลองนั้น ชิ้นส่วนหัวอ่าน/เขียนข้อมูลที่มีแผ่นเพียโซอิเล็กทริกติดอยู่จะมีเมชที่ละเอียดมากกว่าบริเวณอื่นเพื่อให้การวิเคราะห์มีความละเอียดและแม่นยำมากขึ้น โดยหัวอ่าน/เขียนข้อมูลถูกจำลองเป็นแผ่น Stainless Steel หนา 1.5 มม. และแบ่งเป็นเมชจำนวน 4 ชั้นตามความหนา ส่วนแผ่นแผ่นเพียโซอิเล็กทริกถูกจำลองเป็นวัสดุ PZT-5H หนา 1.5 มม. และใช้เมช 1 ชั้นตามความหนา ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 เมช (Mesh) บนชิ้นส่วนต่างๆของแบบจำลอง

เมื่อสร้างแบบจำลองและตั้งค่าการวิเคราะห์เรียบร้อยแล้ว ก็จะเป็นขั้นตอนการคำนวณด้วยวิธีพลศาสตร์แบบชัดแจ้ง โดยใช้ความเร็วชนกระแทกของชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ 3 ค่า ตามแรงกดขึ้นงานดังแสดงในตารางที่ 5

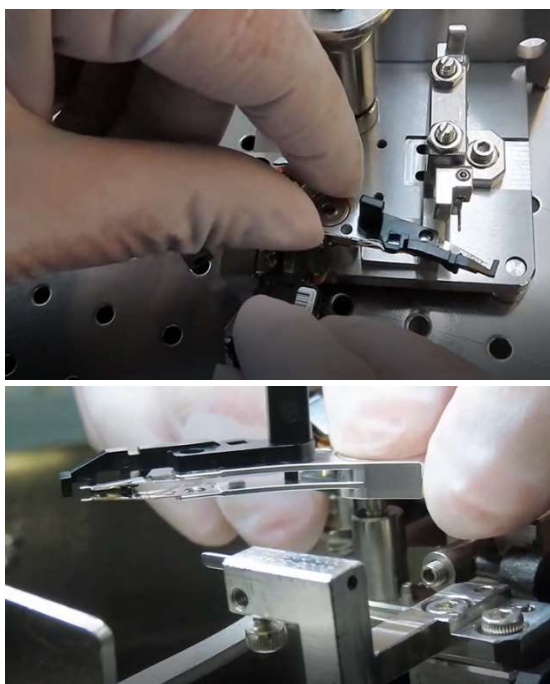
ตารางที่ 5 กรณีศึกษาแบ่งตามแรงกดขึ้นงาน 3 ค่า

กรณีศึกษา	แรงกดของ พนักงาน (N)	ความเร็วของ ชิ้นงาน (Velocity, m/s)	ค่าความเค้นวิกฤติ ของแผ่น PZT (MPa) [7]
1	11	8.4	114
2	12	8.8	114
3	13	9.2	114

4. ผลการดำเนินงานวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบชิ้นงานจริง

การทดสอบชิ้นงานจริงที่สถานีประกอบชุดหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ แสดงได้ดังรูปที่ 12 โดยเป็นการประกอบชุดหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประเภท 2 หัวอ่าน ด้วยแรงกดขนาด 11, 12 และ 13 นิวตัน ซึ่งเทียบเท่ากับความเร็วจนกระแทกที่กำหนดในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ 8.4, 8.8, และ 9.2 m/s ตามลำดับ



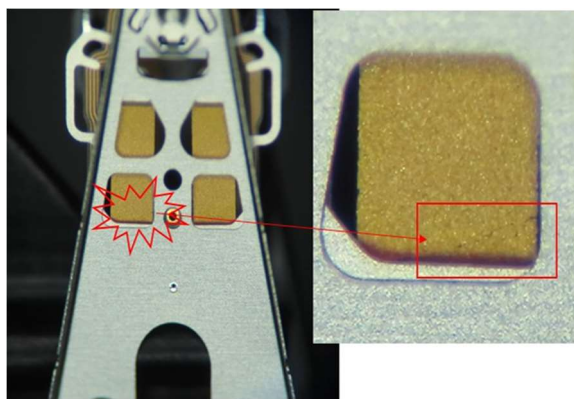
รูปที่ 12 การทดสอบชิ้นงานจริง

1. การประกอบชุดหัว/อ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลงบนอุปกรณ์จับยึดด้วยแรงกด 11 นิวตัน ไม่ทำให้เกิดความเสียหายหรือรอยแตกที่แผ่นเพียโซอิเล็กทริก ดังแสดงในรูปที่ 13

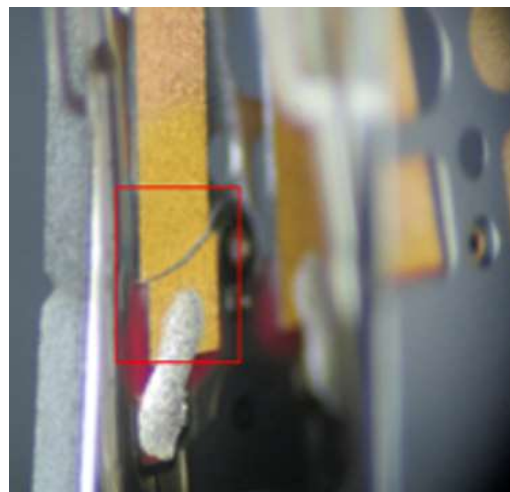


รูปที่ 13 แผ่นเพียโซอิเล็กทริกหลังการประกอบด้วยแรงกด 11 นิวตัน

2. ทำการทดสอบซ้ำโดยเปลี่ยนแรงกดเป็น 12 และ 13 นิวตัน แล้วตรวจสอบแผ่นเพียโซอิเล็กทริกหลังการประกอบพบว่าแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเริ่มเกิดความเสียหาย โดยที่แรงกด 12 นิวตัน พบรอยแตกของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกลักษณะเป็นเส้นบางๆ และที่แรงกด 13 นิวตัน จะพบรอยแตกที่ชัดเจนขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 14 และ 15 ตามลำดับ



รูปที่ 14 แผ่นเพียโซอิเล็กทริกหลังการประกอบด้วยแรงกด 12 นิวตัน พบรอยแตกเป็นเส้นบางๆ



รูปที่ 15 แผ่นเพียโซอิเล็กทริกหลังการประกอบด้วยแรงกด 13 นิวตัน พบรอยแตกชัดเจนขึ้น

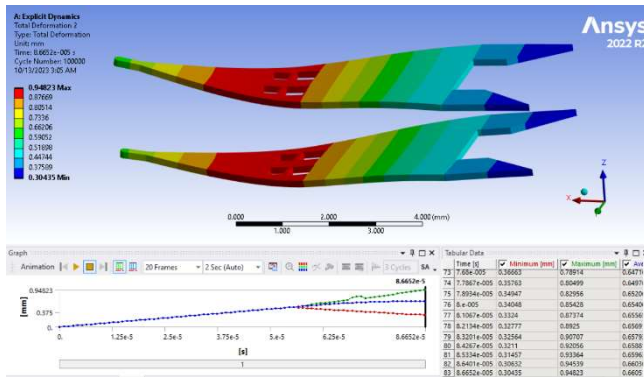
ผลการทดสอบประกอบชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สรุปได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบชิ้นงานจริง

แรง (Force, N)	ผลลัพธ์ (Result)
11	ปกติ
12	เสียหาย
13	เสียหาย

4.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

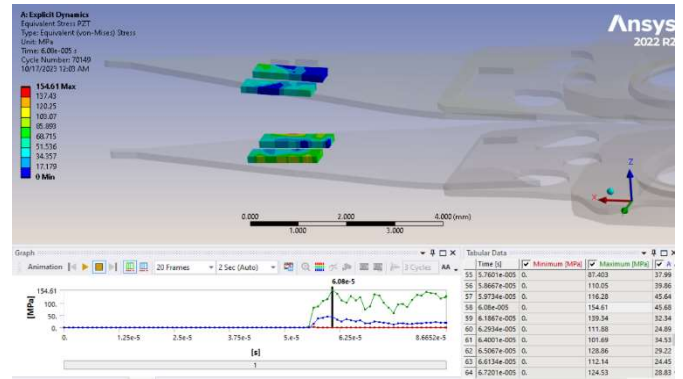
เมื่อทำการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยวิธีพลศาสตร์แบบชัดแจ้ง โดยกำหนดความเร็วที่ชุดหัว/อ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนกระแทกกับชิ้นส่วนฐานเป็น 8.4, 8.8, และ 9.2 m/s สามารถทำนายพฤติกรรมและการเคลื่อนไหวของหัวอ่าน/เขียนข้อมูลได้สอดคล้องกับการแกว่งตัวตามธรรมชาติของแผ่นเบี่ยงที่มีปลายข้างหนึ่งถูกยึดตรึงและเกิดการชนกระแทกที่จุดยึดนั้น ในช่วงเวลาของการทำนายการแกว่งตัวของหัวอ่าน/เขียนข้อมูลจากการชนกระแทกที่ความเร็ว 9.2 m/s พบว่าระยะการเคลื่อนที่สูงสุด 0.948 mm. เกิดที่เวลา 8.665×10^{-5} วินาที หรือหลังการชน 3.225×10^{-5} วินาที ดังแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 การแอนตัวสูงสุดของหัวอ่าน/เขียนข้อมูลที่ความเร็วชนกระแทก 9.2 m/s

ค่าความเค้น Von Mises สูงสุดในแผ่นเพียโซอิเล็กทริกจากการชนกระแทกที่ความเร็ว 9.2 m/s เท่ากับ 154.61 MPa เกิดที่เวลา 6.08×10^{-5} วินาที หรือหลังการชน 0.640×10^{-5} วินาที ดังแสดงในรูปที่ 17 จะเห็นได้ว่าความเค้นสูงสุดในแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเกิดขึ้นก่อนที่หัวอ่าน/เขียนข้อมูลจะมีระยะการแกว่งตัวสูงสุด

การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ทำนายค่าความเค้น Von Mises สูงสุดในแผ่นเพียโซอิเล็กทริกได้ดังแสดงในตารางที่ 7 เนื่องจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกสามารถรับความเค้นได้สูงสุด 114 MPa ผลการทำนายจึงแสดงว่าเกิดความเสียหายในทุกค่าความเร็วชนกระแทก



รูปที่ 17 ความเค้น Von Mises สูงสุดบนแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ความเร็วชนกระแทก 9.2 m/s

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ความเร็วของ ชิ้นงาน (Velocity m/s)	ความเค้น Von Mises สูงสุดที่แผ่น PZT (Stress on PZT (MPa))	ความเค้น วิกฤติของ PZT (Limit Stress (MPa)) [7]	ผลลัพธ์ (Result)
8.4	135.74	114	เสียหาย
8.8	153.33	114	เสียหาย
9.2	154.61	114	เสียหาย

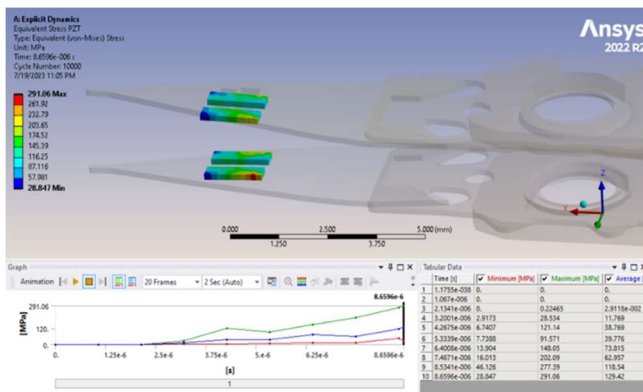
4.3 อภิปรายผลการดำเนินงาน

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงว่าความเค้นสูงสุดในแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเกิดขึ้นก่อนที่หัวอ่าน/เขียนข้อมูลจะมีระยะการแกว่งตัวสูงสุด พฤติกรรมลักษณะนี้จำเป็นต้องใช้การคำนวณแบบพลศาสตร์ เช่น วิธีพลศาสตร์แบบชัดแจ้ง เนื่องจากการคำนวณแบบสถิตจะทำให้ค่าความเครียดและความเค้นแปรผันตามการเสียรูปทำให้เกิดค่าสูงสุดพร้อมกัน จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการศึกษา

4.3.2 ผลการทำนายค่าความเค้น Von Mises สูงสุด ได้ค่าความเค้นสูงขึ้นตามค่าความเร็วชนกระแทกที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ผลการทำนายความเสียหายยังไม่สอดคล้องกับผลการทดสอบจริง นอกจากนั้นการเสียรูปของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกหลังเกิดความเค้นสูงสุดยังมากผิดปกติและไม่สอดคล้องกับรูปแบบความเสียหายจริง ผู้วิจัยคาดว่าสมบัติวัสดุที่ใช้เป็น PZT-5H จากงานวิจัยของ Tang และคณะ [6] อาจจะไม่ตรงกับสมบัติ

ของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้จริง ยิ่งกว่านั้นค่าเกณฑ์ความเสียหายแบบ Johnson-Holmquist ของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ยังไม่มีการเผยแพร่และใช้งานอย่างกว้างขวาง หากสามารถทดสอบวัดสมบัติของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้จริง ก็น่าจะทำให้ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับผลการทดสอบมากขึ้น

4.3.3 ผู้วิจัยได้ทดลองเปลี่ยนวัสดุสำหรับแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมและใช้เกณฑ์ความเสียหายของ Johnson Cook ในการวิเคราะห์การชนกระแทกด้วยความเร็ว 9.2 m/s พบว่าความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่า 291.06 MPa ดังแสดงในรูปที่ 18 ความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้าไร้สนิม (515 MPa) หมายความว่าไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น นอกจากนั้นการเสียรูปยังไม่มี ความผิดปกติตลอดช่วงเวลาของผลการทำนาย การทดลองนี้ช่วยยืนยันความสมเหตุสมผลของแบบจำลองและการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ และสนับสนุนแนวคิดในการใช้ค่าสมบัติที่ถูกต้องของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่สมจริง



รูปที่ 18 ความเค้น Von Mises สูงสุดในแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้แทนแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของชุดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของชิ้นงานหลังการชนกระแทกด้วยความเร็ว 8.4-9.2 m/s โดยใช้วิธีพลศาสตร์แบบชัดแจ้ง ผลการวิเคราะห์สามารถแสดงพฤติกรรมการแกว่งของหัวอ่าน/เขียนข้อมูลได้สมจริง และแสดงให้เห็นว่าความเค้น Von Mises สูงสุดในแผ่นเพียโซ

อิเล็กทริกเกิดจากการกระแทกและเกิดขึ้นก่อนที่หัวอ่าน/เขียนข้อมูลจะมีระยะการแกว่งตัวสูงสุด จึงควรวิเคราะห์แบบจำลองโดยใช้การคำนวณแบบพลศาสตร์

ผลการวิเคราะห์แสดงว่าความเร็วในการชนกระแทกเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเค้นที่เกิดขึ้น ดังจะเห็นได้จากความเค้น Von Mises สูงสุดในแผ่นเพียโซอิเล็กทริกมีค่า 135.74-154.61 MPa โดยค่าความเค้นจะสูงขึ้นตามค่าความเร็วชนกระแทกที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ทำนายว่าแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเกิดความเสียหายทุกค่าความเร็วชนกระแทกซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการทดสอบจริง และการเสียรูปของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกจากการวิเคราะห์ยังมีค่าสูงเกินจริง การทดลองเปลี่ยนวัสดุสำหรับแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งมีข้อมูลสมบัติทางกลและเกณฑ์ความเสียหายที่ใช้กันแพร่หลายให้ผลการทำนายความเสียหายและการเสียรูปที่สมเหตุสมผล ผู้วิจัยเชื่อว่าสามารถปรับปรุงการวิเคราะห์ส่วนนี้ได้โดยการทดสอบวัดสมบัติทางกลและเกณฑ์ความเสียหายของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้จริงและนำค่ามาใช้ในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

6. ข้อเสนอแนะ

การประยุกต์ใช้โปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นสามารถช่วยในการวิเคราะห์หรือศึกษาพฤติกรรมของชิ้นงานได้หลากหลาย สามารถช่วยลดการทดสอบชิ้นงานจริง ซึ่งอาจทำได้ยากหรือมีค่าใช้จ่ายสูง เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมและสามารถระบุปัจจัยหลักที่ส่งผลให้เกิดความเสียหายที่พบในกระบวนการผลิตชิ้นงานทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กได้สะดวกขึ้น

สำหรับการวิจัยในอนาคตนั้น ผู้วิจัยคิดว่าควรปรับปรุงในส่วน of เกณฑ์ความเสียหายเพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบชิ้นงานจริงมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งผู้บริหาร ช่างเทคนิคของบริษัทเวสเทิร์น ดิจิตอล (WD)

สำหรับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในการศึกษาวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hard Disk Drive. Wikipedia [Online]. เข้าถึงได้จาก: https://en.wikipedia.org/wiki/Hard_disk_drive [เข้าถึงเมื่อ 11 กันยายน 2557].
- [2] พิมพ์มาดา โสภณ. การปรับปรุงวิธีการทดสอบค่าความจุไฟฟ้าในกระบวนการประกอบชุดหัวเขียน-หัวอ่านข้อมูล [วิทยานิพนธ์]. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2563.
- [3] Wattananukulchai P, Isarakorn D, Reliability of PMN-PT piezoelectric material as an actuator for high density hard disk drive. *2018 15th International Conference on Electrical Engineering / Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Chiang Rai, Thailand*, 2018. pp. 188-192.
- [4] Chan kW, Liao WH. Shock test and analysis of assembled suspension with microactuators in hard disk drives. *2009 International Conference on Mechatronics and Automation, Changchun, China*. 2009. pp. 960-965.
- [5] อนุชา สายเจริญ, ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท, ประกอบ ขาติภักดิ์. การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการต้านทานของการเจาะทะลุของกระสุนบนผิวเกราะอะลูมิเนียมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*. 2565; 16(1): 177-191.
- [6] Tang E, Li Y, Wang RZ, Han YF, Wang L, Xiang SH, et al. Research on dynamic response and electrical output characteristics of PZT- 5H piezoelectric ceramics under strong shock. *Binggong Xuebao/Acta Armamentarii*. 2018;39: 983-990.
- [7] Anton SR, Erturk A, Inman DJ. Bending strength of piezoelectric ceramics and single crystals for multifunctional load-bearing applications. *IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control*. 2012; 59(6): 1085-1092.