การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า Pitch และค่า Roll ของหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์อันเนื่องมาจากค่าแรงที่ใช้จับยึดระหว่างการวัดค่าด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Study of Changing the Pitch and Roll of a Head Gimbal Assembly (HGA) from the Clamping Force During Measurement at HGA Level by Finite Element Method

เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต (Kiatfa Tangchaichit)[1*]
ศันสนีย์ ขุนทิพย์ทอง (Sansanee Khuntiptong)[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะการเสียรูปของ HGA ที่มีผลต่อการบิดตัวของ Slider ในแกน Pitch และแกน Roll อันเนื่องมาจากค่าแรงจับยึด 7 ปอนด์, 8 ปอนด์ และ 9 ปอนด์ ตามลำดับ โดยที่ไม่มีการกดบริเวณส่วนปลายของ Load beam ไปยังตำแหน่ง Z-Height ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อหาค่าแรงจับยึดที่ส่งผลกระทบต่อการเสียรูปของ HGA และการบิดตัวของ Slider ในแกน pitch และแกน roll น้อยที่สุด จากการศึกษาพบว่าเมื่อทำการจับยึด HGA ด้วยแรง 7 ปอนด์ ชิ้นงาน HGA มีการเสียรูปและมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนค่ามุมในแกน pitch และแกน roll ไปจากเดิมเท่ากับ 0.011 เปอร์เซ็นต์ และ 0.0092 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าค่าแรงจับยึด 8 ปอนด์ และ 9 ปอนด์ ที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนค่ามุมในแกน pitch และแกน roll ไปจากเดิมเท่ากับ 0.015 เปอร์เซ็นต์, 0.010 เปอร์เซ็นต์, 0.014 เปอร์เซ็นต์ และ 0.012 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ABSTRACT

This research studied head gimbal assembly (HGA) deformation, affecting slider twist in the axes of pitch and roll through 7 lbf, 8 lbf and 9 lbf clamping force without any additional forces applied at the edge of the load beam to Z-height position. A Finite Element Program was used in this research to analyze and determine the clamping force that generate least HGA deformation and slider twist in the pitch and roll axes. The results show that 7 lbf clamping force produce least HGA deformation and error in pitch and roll axes, which are 0.011% and 0.0092%, compared with 8 lbf and 9 lbf clamping force, which create 0.015% and 0.010%, 0.014% and 0.012%, respectively.

คำสำคัญ: การบิดตัวตามแนวยาว, การกระดกตัว, แรงจับยึด

Keywords: Pitch axis, Roll axis, Clamping Force

[1] *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
[2] *นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
[*] *Corresponding author, e-mail: kiatfa@kku.ac.th*

บทนำ

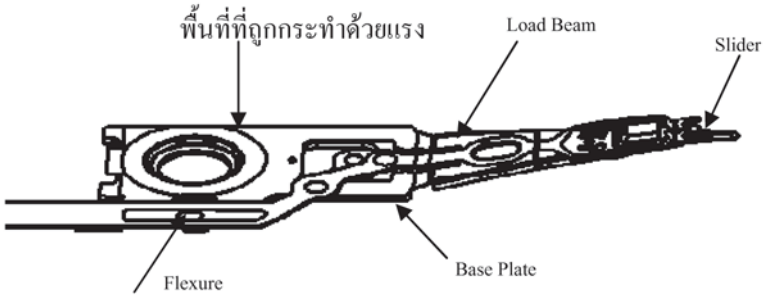
ในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Hard Disk Drive, HDD) ประกอบไปด้วยขั้นตอนการผลิตที่ค่อนข้างซับซ้อนและมีความละเอียดแม่นยำทุกขั้นตอน รวมไปถึงกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Head Gimbal Assembly, HGA) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากขั้นตอนหนึ่ง ก่อนที่ HGA จะถูกส่งไปยังกระบวนการประกอบเป็น Head Stack Assembly (HSA) และฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟตามลำดับ ซึ่งปัจจุบันพบว่า HGA มีการเสียรูปอันเนื่องมาจากค่าแรงที่ใช้จับยึดชิ้นงานขณะทำการตรวจสอบคุณสมบัติ ซึ่งการเสียรูปดังกล่าวจะส่งผลต่อการบิดตัวของ Slider ทำให้ค่ามุมในแกน pitch และแกน roll ที่วัดออกมาได้นั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเดิม ซึ่งการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการเสียรูปของ HGA ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมในแกน pitch และแกน roll อันเนื่องมาจากค่าแรงจับยึด 7 ปอนด์, 8 ปอนด์ และ 9 ปอนด์ ของเครื่อง Wyko โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ปัญหาข้างต้น เพื่อหาค่าแรงจับยึดที่ส่งผลต่อการเสียรูปของ HGA และการเปลี่ยนแปลงค่ามุมในแกน pitch และแกน roll น้อยที่สุด

ปราโมทย์ (2542) ได้กล่าวไว้ว่าวิธีการทางด้านไฟไนต์อิลิเมนต์ สามารถทำการจำลองรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ซับซ้อนได้โดยง่ายอย่างแม่นยำและเป็นวิธีการที่มีความเชื่อถือมากในเชิงการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ปัญหาทางด้านของแข็ง ไปจนถึงการคำนวณสภาวะแปรปรวนของอากาศรอบยานกระสวยอวกาศขณะเกิดการแยกตัวจากถังเชื้อเพลิงภายนอก นอกจากนี้วิธีการทางด้านไฟไนต์อิลิเมนต์ยังสามารถลดระยะเวลาและให้ค่าการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพมาก Zu and Bogy (2007) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของ Pitch Static Attitude (PSA) และ Roll Static Attitude (RSA) ที่มีผลต่อพฤติกรรมของ Air Bearing โดยเฉพาะระยะการบินของ Slider ที่ต่ำมาก ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาระยะการบินของ Slider ที่ระยะความสูง 7 nm, 5 nm และ 3.5 nm จากการศึกษาพบว่าค่า Pitch Static Attitude (PSA) และ Roll Static Attitude (RSA) มีส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อการออกแบบลักษณะ Air Bearing โดยจะมีผลกระทบมากก็ต่อเมื่อ Slider มีระยะการบินเหนือแผ่นมีเดียที่ต่ำมาก นอกจากนี้ยังมีการทดสอบอิทธิพลของค่า Stiffness ของ Suspension ว่ามีผลกระทบต่อ Air Bearing หรือไม่ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าค่า Stiffness ของ Suspension ก็มีผลกระทบต่อ Air Bearing เช่นเดียวกับ Pitch Static Attitude (PSA) และ Roll Static Attitude (RSA) (Singh et al., 2006) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับค่า Pitch Static Attitude (PSA) และ Roll Static Attitude (RSA) ในหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ (Head Gimbal Assembly : HGA) โดยใช้เทคนิคทางด้านเลเซอร์ในการปรับค่า Pitch Static Attitude (PSA) และ Roll Static Attitude (RSA) ซึ่งในการปรับค่ามุม Pitch Static Attitude (PSA) และ Roll Static Attitude (RSA) นั้นจะทำการปรับบริเวณส่วนโค้งของ Flexure ให้มีค่ามุม Pitch Static Attitude (PSA) และ Roll Static Attitude (RSA) ตามที่ต้องการ เมื่อทำการปรับแก้เสร็จก็จะมีการวัดค่ามุม Pitch Static Attitude (PSA) และ Roll Static Attitude (RSA) อีกทีด้วยการตรวจจับของเลเซอร์ ณ บริเวณพื้นผิวของ Slider (He et al., 2001) ได้ทำการศึกษาผลการทดลองปฏิกิริยาระหว่างหัวอ่านกับดิสก์ในกระบวนการ Ram Loading ซึ่งการติดตั้งการทดลองประกอบไปด้วย Optical Interferometer ซึ่งใช้วัดการเปลี่ยนแปลงระยะการบิน (Flying Height) High Sensitivity PZT Force Sensor เพื่อใช้สำหรับวัดและเก็บข้อมูลค่า Bearing Force AE Sensor ซึ่งใช้ในการตรวจการสัมผัสของหัวอ่านกับแผ่นมีเดีย เพื่อหาผลที่เกิดจากความเร็ว

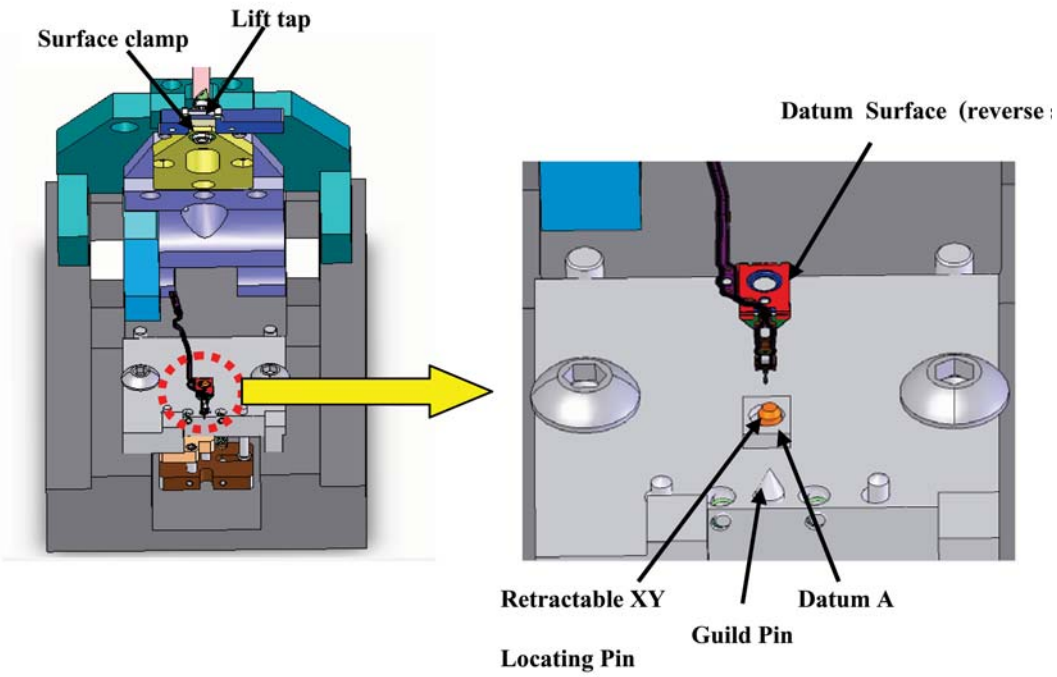
ของการให้โหลดและผลความแตกต่างของค่า Static Attitude ต่อค่าระยะการบิน (Fly Height) ที่ส่งผลต่อการสัมผัสระหว่างหัวอ่านกับแผ่นมีเดีย จักรพันธ์ (2550) ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยที่มีผลต่อการเสียรูปของ Base Plate, ค่า Gram Load, ค่าการบิดตัว (Roll Static Attitude) และค่าการกระดกตัวของหัวบันทึกข้อมูล (Pitch Static Attitude) ซึ่งเป็นประเด็นหลักในการกำหนดคุณภาพของ HGA โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากการวิเคราะห์พบว่า การจับยึดโดยใช้ชุดจับยึดที่ประกอบไปด้วยชุดจับยึดด้านบนเป็นแบบสี่เหลี่ยม และชุดจับยึดด้านล่างเป็นแบบมีลบมุมน้อยที่สุด โดยให้ภาระจับยึด 8 MPa ซึ่งเป็นภาระที่น้อยที่สุดที่เพียงพอต่อการจับยึด ส่งผลให้การเสียรูปของ Base Plate และค่าการบิดตัว (Roll Static Attitude) ลดลงทั้งในขณะจับยึดและหลังถูกจับยึด เมื่อเทียบกับการใช้ชุดจับยึดแบบเดิม แต่รูปร่างของชุดจับยึดจะไม่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Gram Load และ Pitch Static Attitude ภากรณ์ และ กนต์ธร (2551)ได้ทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาค่าการกระจายตัวของความเค้น (stress distribution) ที่เกิดขึ้นบริเวณ suspension และองศาที่เหมาะสมของ suspension ที่จะทำให้ได้ค่า gram load เท่ากับ 2.52+0.2 g. โดยศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นของ HGA ในสภาวะที่ได้รับ Air Baring Load หรือที่เรียกว่า สภาวะ Load State จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่ามุมของ suspension ที่ทำให้ค่า gram load = 2.52 ± 0.2 g. มีค่าเท่ากับ 11.50 ± 1 degree ไพรสัณฑ์ (2551) ได้ทำการศึกษาปัจจัยจากค่าระยะเผื่อที่มีผลต่อค่ากรัมโหลดในชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์โดยการสร้างสมการคณิตศาสตร์ เพื่อหาความเหมาะสมของขนาดและระยะเผื่อ พบว่าผลของระยะเผื่อของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อแรงกรัมโหลดมากที่สุดคือ ความตั้งฉากและความเป็นทรงกลมของบอลแบริ่ง เนื่องจากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะเผื่อก็จะส่งผลทางด้านรูปร่างที่หัวอ่านเขียน ทำให้แรงกรัมโหลดจะมีการเปลี่ยนแปลงมากเมื่อระยะเผื่อของความตั้งฉากและการเบี่ยงเบนของบอลแบริ่งเปลี่ยนแปลง พรศักดิ์ (2546) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงความผันแปรค่าพิชสแตติกแอททิจูดในกระบวนการประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์โดยใช้แนวทางการออกแบบการทดลอง โดยทำการเลือกปัจจัยในกระบวนการการประกอบที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพิชสแตติกแอททิจูด เพื่อให้ได้ค่าพิชสแตติกแอททิจูดใกล้เคียงค่าเป้าหมายคือค่าศูนย์ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อค่าพิชสแตติกแอททิจูดได้แก่ ขนาดกาวโครงสร้าง ขนาดของกาวตัวนำ ระยะของหัวกดขณะทำการเชื่อมสไลเดอร์ จากการศึกษาได้ค่าปรับตั้งที่เหมาะสมคือ ขนาดของกาวโครงสร้างมีค่า 98 ตารางมิว ขนาดกาวตัวนำมีค่า 72 ตารางมิว และระยะหัวกดขณะเชื่อมสไลเดอร์มีค่า 2.8 มิว ค่าแรงกดของแบ็คแคล็มป์พิน 470 กรัมและตำแหน่งของเซอร์โคเนียมีค่า 1 เท่าจากโพลทิป

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาลักษณะการเสียรูปของ HGA ที่ส่งผลต่อการบิดตัวของ Slider ในแกน pitch และแกน roll อันเนื่องมาจากค่าแรงจับยึด 7 ปอนด์, 8 ปอนด์ และ 9 ปอนด์ ของเครื่อง Wyko (ในกระบวนการตรวจสอบคุณสมบัติของ HGA ด้วยเครื่อง Wyko สามารถกระทำได้ที่แรง 7-9 ปอนด์เท่านั้น) โดยที่ไม่มีการกดปลายของ Load Beam ไปยังตำแหน่งเสมือนหัวอ่านลอยอยู่เหนือแผ่นมีเดีย (Z-Height) ดังรูปที่ 1 และมีลักษณะการจับยึดของเครื่อง Wyko ดังรูปที่ 2 และได้มีการกำหนดให้ชิ้นงาน HGA เป็นวัสดุแบบไอโซโทรปิค (Isotropic)

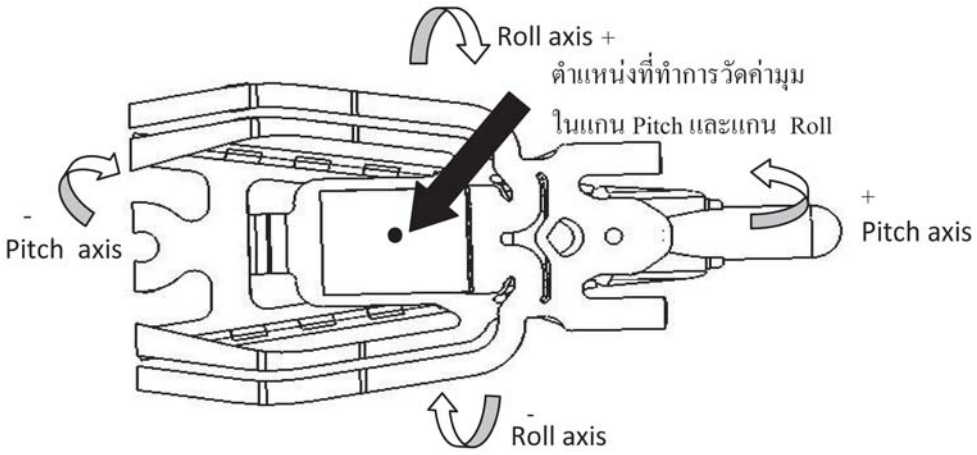


รูปที่ 1. HGA ถูกกระทำด้วยแรงเพียงจุดเดียว



รูปที่ 2. การจับยึดหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องตรวจสอบคุณสมบัติแบบ Wyko

ในการวิเคราะห์ลักษณะการบิดตัวของ Slider ในแกน pitch และแกน roll จะมีการกำหนดทิศทางการบิดตัว ดังรูปที่ 3 โดยจะทำการวัดค่ามุมในแกน pitch และมุม roll ที่เปลี่ยนแปลงไปบริเวณตรงกลางของผิวหน้า Slider



รูปที่ 3. ทิศทางของการวัดค่ามุมในแกน Pitch และ Roll

รูปที่ 4. ลักษณะการแบ่งเอลิเมนต์ในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต

รูปที่ 4 เป็นลักษณะการแบ่งเอลิเมนต์ของชิ้นงาน HGA ในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งมีการนำวิธี Newton Rapson และ Adaptive Refinement เข้ามาประยุกต์ใช้ ในการแบ่งเอลิเมนต์ให้มีความละเอียดมากขึ้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์มีค่าความแม่นยำถูกต้อง ในการวิเคราะห์ปัญหานี้มีการแบ่งเอลิเมนต์เป็น 2 แบบคือ เอลิเมนต์แบบก้อนอิฐ (Brick Element0) และเอลิเมนต์แบบพีระมิดฐานสามเหลี่ยม (Tetrahedron) มีจำนวนเอลิเมนต์ 178,122 เอลิเมนต์และจำนวนโหนด 303,670 จุดต่อ

ตารางที่ 1. คุณสมบัติทางกลของวัสดุ

Materials	Part's name	Young's modulus GPa	Poisson's ratio	Density kg/m^3	Tensile Yield Strength MPa
Stainless Steel S304	Load Beam, Flexure	193	0.29	7900	215
Stainless Steel UNS 30500	Base Plate	200	0.3	8000	205
Wafer	Slider	0.190	0.42	2323	350

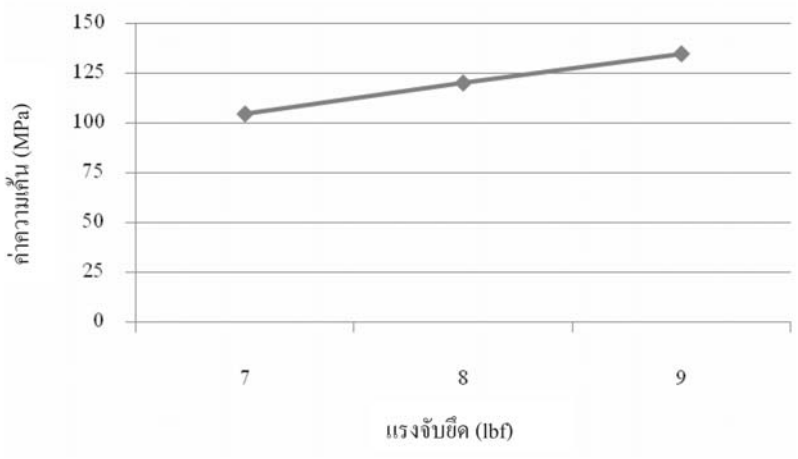
ตารางที่ 1 เป็นการแสดงคุณสมบัติของวัสดุชนิดต่างๆแต่ละชิ้นส่วนของ HGA โดยค่าคุณสมบัติเหล่านี้ถูกนำไปใช้ในการกำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อวิเคราะห์การเสียรูปของชิ้นงาน HGA ระหว่างถูกจับยึดด้วยค่าแรง 7 ปอนด์, 8 ปอนด์ และ 9 ปอนด์ ตามลำดับ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

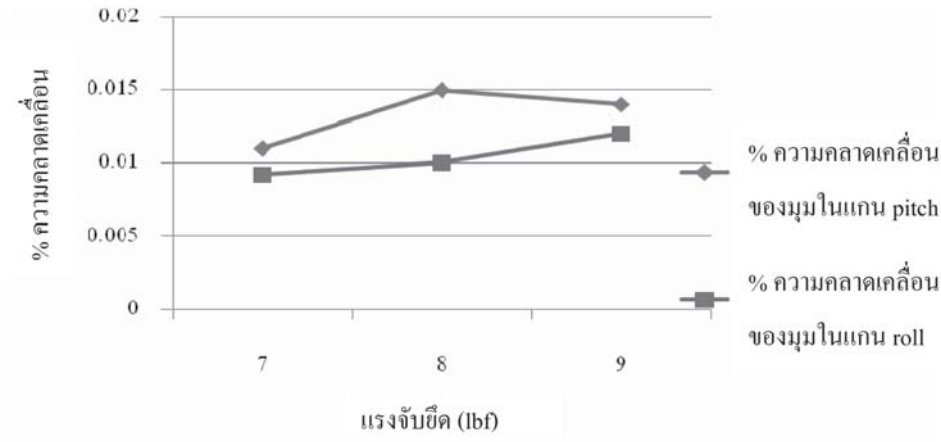
ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ Ansys Workbence เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านโครงสร้างสูง พร้อมทั้งมีส่วนช่วยลดเวลาและต้นทุนในการศึกษา

ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ลักษณะการเสียรูปของ HGA ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุมในแกน pitch และแกน roll ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่า HGA มีการเสียรูปและมีค่าความเค้นแปรผันตรงกับแรงจับยึด นั่นก็คือหากมีการใช้แรงจับยึดมากก็จะส่งผลทำให้ HGA มีการเสียรูปและการเปลี่ยนแปลงค่ามุมในแกน pitch และแกน roll มาก ในทางกลับกันหากมีการใช้แรงจับยึดที่น้อยก็จะส่งผลทำให้ HGA มีการเสียรูปและการเปลี่ยนแปลงค่ามุมในแกน pitch และ แกน roll น้อย ดังรูปที่ 5 และ 6

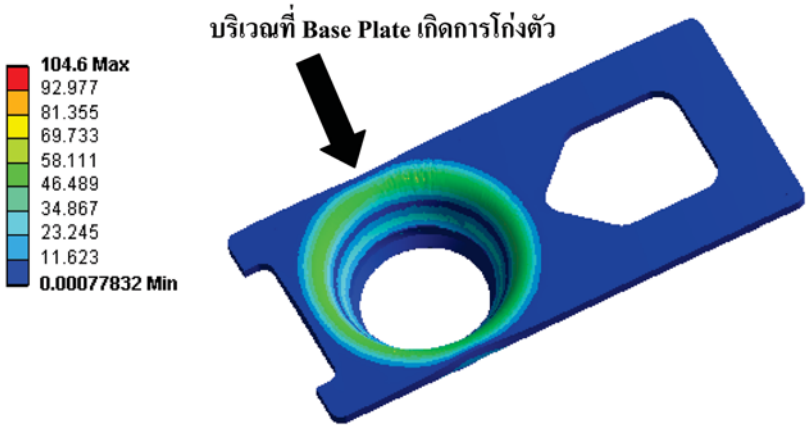


รูปที่ 5. ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน HGA ด้วยค่าแรงจับยึดต่างๆกัน

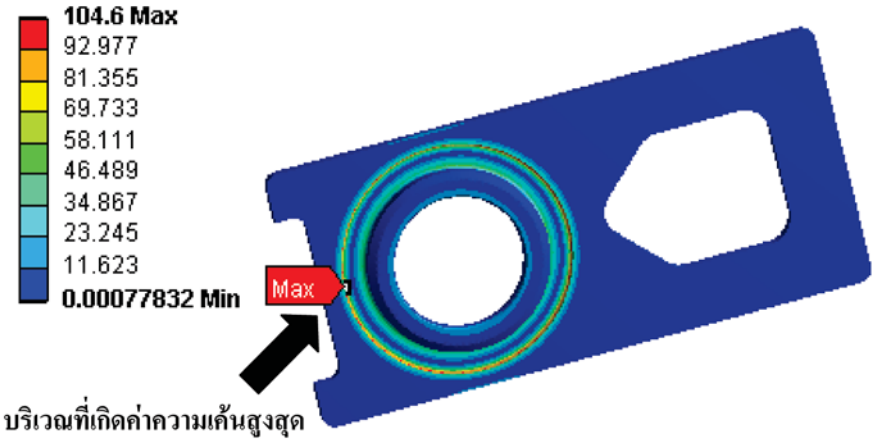


รูปที่ 6. เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของมุมในแกน pitch และแกน roll ขณะที่ HGA ถูกจับยึด

รูปที่ 5 และ 6 เป็นการแสดงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของมุมในแกน pitch และแกน roll ของ HGA (โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างค่ามุม pitch และมุม roll ก่อนและหลังทำการจับยึดด้วยแรง 7 ปอนด์, 8 ปอนด์ และ 9 ปอนด์) พบว่าแรงจับยึดที่ส่งผลต่อการเสียรูปของ HGA มากที่สุดคือ 9 ปอนด์ (พิจารณาจากค่าความเค้นที่เกิดขึ้นโดยจะมีการเปลี่ยนแปลงของมุมในแกน pitch มากเมื่อ HGA ถูกจับยึดด้วยแรง 8 ปอนด์ และมีการเปลี่ยนแปลงของมุมในแกน roll มากเมื่อ HGA มีการถูกจับยึดด้วยแรง 9 ปอนด์ (เนื่องมาจากแรงจับยึด 9 ปอนด์ จะส่งผลต่อการโก่งตัวด้านข้างของ HGA มากกว่าแรงจับยึด 7 ปอนด์ และ 8 ปอนด์ จึงส่งผลกระทบต่อการบิดตัวของ Slider ในแกน roll มากกว่าแกน pitch) ดังนั้น เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์จากกราฟความเค้นและเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของมุมในแกน pitch และแกน roll จะพบว่าแรงจับยึด 7 ปอนด์จะส่งผลต่อการเสียรูปของ HGA และการเปลี่ยนแปลงของค่ามุมในแกน Pitch และแกน roll น้อยที่สุด



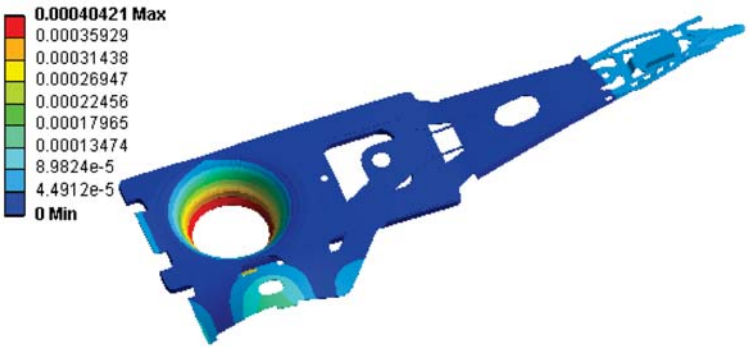
ก. การเสียรูปของชิ้นส่วน Base Plate (บริเวณผิวด้านบน; ภาพขยาย 2300 เท่า)



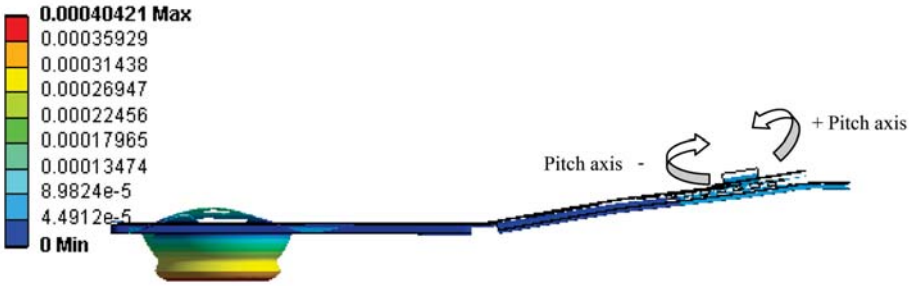
ข. การเสียรูปของชิ้นส่วน Base Plate (บริเวณผิวด้านล่าง)

รูปที่ 7. การเสียรูปของ Base Plate ในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

รูปที่ 7ก และ 7ข เป็นการเสียรูปของชิ้นส่วนที่เรียกว่า Base Plate ของ HGA ในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งการวิเคราะห์ลักษณะการเสียรูปของ HGA ในการศึกษาครั้งนี้ จะพิจารณาการเสียรูปของ Base Plate เป็นชิ้นส่วนหลัก เนื่องจากชิ้นส่วนนี้เป็นตัวรองรับชิ้นส่วนในการอ่าน/เขียนข้อมูลทั้งหมด และเป็นชิ้นส่วนที่สัมผัสกับชุดจับยึดโดยตรง หากชิ้นส่วนนี้มีการเสียรูปก็จะส่งผลทำให้ชิ้นส่วนอื่นมีการเสียรูปตามไปด้วย จากการวิเคราะห์พบว่าบริเวณที่มีการเสียรูปมากที่สุดเป็นบริเวณพื้นผิวด้านล่างของ Base Plate เนื่องจากเกิดค่าความเค้นบริเวณนี้มากที่สุด

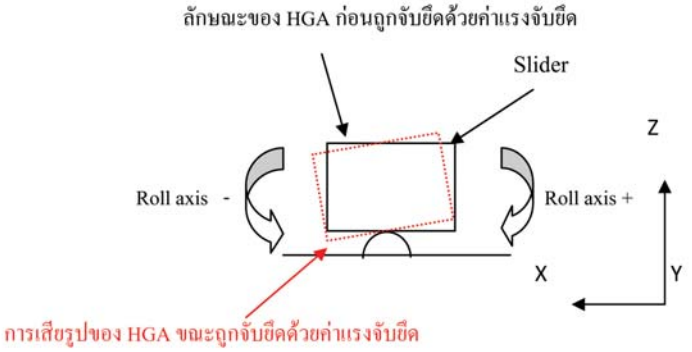


ก. ลักษณะการเสียรูปของ HGA ขณะถูกแรงจับยึดกระทำ (ภาพขยายขนาด 2300 เท่า)



ข. การเสียรูปของ HGA ที่ส่งผลต่อการบิดตัวของ Slider ในแกน pitch ขณะถูกจับยึด (ภาพขยาย 2300 เท่า)

รูปที่ 8. การเสียรูปของ HGA ที่มีผลต่อการบิดตัวของ Slider ในแกน pitch ขณะถูกจับยึด



รูปที่ 9 .ลักษณะการเสียรูปของ HGA ที่มีผลต่อการบิดตัวของ Slider ในแกน roll ขณะถูกจับยึด

รูปที่ 8ก, 8ข และ 9 เป็นแบบจำลองการเสียรูปของ HGA ที่ส่งผลต่อการบิดตัวของ Slider ในแกน pitch และแกน roll จากการศึกษาพบว่าเมื่อ HGA ถูกจับยึดไม่ให้มีการเคลื่อนที่ ค่าแรงที่ใช้จับยึดจะส่งผลต่อการกระดกตัวของ Slider ขึ้นในแกน pitch ซึ่งมีทิศทางเป็นบวก และส่งผลต่อการบิดตัวตามแนวยาวของ Slider (แกน X) ไปทางซ้ายซึ่งมีทิศทางเป็นลบ

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่าชิ้นงาน HGA ไม่เกิดการเสียรูปถาวรขณะที่ถูกจับยึด เนื่องจากค่าความเค้นที่เกิดขึ้นขณะจับยึดด้วยแรง 7 ปอนด์ เท่ากับ 104.60 MPa, 8 ปอนด์ เท่ากับ 119.98 MPa และ 9 ปอนด์ เท่ากับ 134.48 MPa ไม่เกินค่าความเค้นคราก (Tensile Yield Stress) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 205-215 MPa นั่นแสดงว่าวัสดุมีคุณสมบัติเป็นแบบเชิงเส้น (linear) ซึ่งอยู่ในช่วงยืดหยุ่น (Elasticity) โดยความเค้นดังกล่าวจะเกิดมากที่สุดบริเวณพื้นผิวส่วนล่างของ Base Plate และมีความคลาดเคลื่อนของค่ามุมในแกน pitch และแกน roll ด้วยแรงจับยึด 7 ปอนด์เท่ากับ 0.011 เปอร์เซ็นต์ และ 0.0092 เปอร์เซ็นต์, 8 ปอนด์ เท่ากับ 0.015 เปอร์เซ็นต์ และ 0.010 เปอร์เซ็นต์ และ 9 ปอนด์ เท่ากับ 0.014 เปอร์เซ็นต์ และ 0.012 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าค่าแรงจับยึดที่ส่งผลทำให้การเปลี่ยนแปลงค่ามุมในแกน pitch และแกน roll น้อยที่สุดคือแรงจับยึด 7 ปอนด์

ข้อเสนอแนะ

ควรจะมีการศึกษาปัจจัยอย่างอื่นที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่ามุมในแกน pitch และแกน roll รวมไปถึงการเสียรูปของ HGA ขณะถูกจับ เช่น ความคลาดเคลื่อนของกระบวนการการผลิตชิ้นส่วนของ HGA แต่ละชิ้นส่วน ความคลาดเคลื่อนของการทำงานของเครื่องตรวจสอบคุณสมบัติ รูปแบบของชุดจับยึด Wyko เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทเวสเทิร์นดิจิตอลบางปะอิน (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย, ศูนย์เทคโนโลยีอิเลคทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) และ ศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านการผลิตขั้นสูงในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (I/UCRC) มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

ปราโมทย์ เดชะอำไพ.2542. **ไฟไนต์อิลิเมนต์ในงานวิศวกรรม.** ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Hong Zhu and David B. Bogy. 2007. Effect of Pitch Static Attitude and Roll Static Attitude on the Steady Performance of Air Bearing Sliders. **Journal of Tribology** 129(3).

G.P. Singh, T. Strand and R. Payne. 2006. Enabling Femto Slider Technology: Reducing the Pitch Static Attitude and Roll Static Attitude Variation in Head Gimbal Assemblies. **Magnetics Conference** 651.

Yuming He, Bo Liu and Yaolong Zhu. 2001. Experimental Study on Head-Disk Interaction in Ramp Loading Process. **IEEE Transaction on Magnetics** 37(4): 1809-1813.

จักรพันธ์ ปริรักษ์วิจิตร. 2550. **การศึกษา Static Attitude และ Gram Load Clamping Unit โดยการวิเคราะห์ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภากรณ์ ทรัพย์เจริญ และ กนต์ธร ชำนิประศาสน์. 2551. **การวิเคราะห์การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.** การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22 15-17 ตุลาคม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.

ไพรสัญฑ์ ศักดิ์ชัชวาล. 2551. **การศึกษาปัจจัยจากค่าระยะเผื่อที่มีผลต่อค่ากรัมโหลดในชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พรศักดิ์ เมธาวิชิต. 2546. **การปรับปรุงความผันแปรค่าพิชสแตติกแอททิจูดในกระบวนการประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์โดยใช้แนวทางการออกแบบการทดลอง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.