การศึกษาวิธีการลดแรงลมที่เกิดจากการหมุนวนในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของชุดประกอบหัวอ่าน/เขียน

Study of Deduce Windage due to Circumference in Hard Disk Drives by Deformation of Head Stack Assembly

เกรียงไกร นาบุดดา[1,*] และ สิริวิชญ์ เตชะเจษฎารังษี[2]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
*E-mail: kriang_36@hotmail.com โทร 043 202 845 โทรสาร 043 202 849

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองของฮาร์ดดิสก์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว หมุนที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที แล้วติดแผงกลั้นอากาศเพื่อลดแรงลมจากการหมุนวนโดยมีสองรูปแบบซึ่งติดตั้งไว้ตรงด้านหน้าและด้านหลังชุดประกอบหัวอ่าน/เขียน การสร้างแบบจำลองของชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนทำการ Mesh แบบ Hexahedrons โดยมี Nodes=256944, Elements=49844 ผลที่ได้พบว่าไม่ติดแผงกลั้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดคือ 0.26138 μm ติดแผงกลั้นไว้ด้านหลังชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดคือ 0.21266 μm ติดแผงกลั้นไว้ด้านหน้าชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดคือ 0.134 μm จากการคำนวณแบบจำลองพบว่าการติดตั้งแผงกลั้นอากาศสามารถลดการเปลี่ยนแปลงของชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนได้และติดแผงกลั้นไว้ด้านหน้าดีกว่าสองรูปแบบที่ทำการคำนวณ

คำหลัก: hard disk dives, head stack assembly, deformation

Abstract

In this paper modified configuration 3.5 inch hard disk dives disk rotated 10,000 rpm attach spoiler which reduced windage on hdds rotating. Hard disk dives analysis by two model that one model attached spoiler at front surface HSA one more model attached spoiler at back surface. HSA meshed method by Hexahedrons which have nodes=256944 elements=49844. The result maximum deformation is 0.26138 μm by none attached spoiler and minimum deformation is 0.134 μm by attached on front surface HSA. Hard disk dives modified configuration 3.5 inch have a result by analysis on attached spoiler at front surface HSA better than other model.

Keywords. hard disk dives, head stack assembly, deformation

1. บทนำ

หนึ่งในปัญหาการอ่าน/เขียนข้อมูลที่คลาดเคลื่อนไปคือผลกระทบจากการไหลวนของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทำให้เกิดการเลื่อนตำแหน่งของชุดประกอบหัวอ่าน/เขียน ส่งผลให้การอ่านข้อมูลคลาดเคลื่อนไปจากลู่ (track) ที่กำหนดบนดิสก์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันลู่วงกลมบนดิสก์ถูกบีบให้เล็กลงเรื่อยๆ ตามความจุในการเก็บข้อมูลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้การเคลื่อนตัวและตำแหน่งของชุดหัวอ่าน/เขียนจะต้องมีความแม่นยำมากขึ้น ปัจจุบันมีการวิจัยอย่างกว้างขวางเพื่อศึกษาและควบคุมผลกระทบจากการไหลวนของอากาศที่ทำให้เกิดการเลื่อนตำแหน่งของชุดประกอบหัวอ่าน/เขียน ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ในงานนี้ได้ศึกษาถึงความต่อเนื่องในประเด็นปัญหาบนฮาร์ดดิสก์เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที โดยใช้ระเบียบวิธีคำนวณการไหลแบบปั่นป่วนที่สามารถจับรายละเอียดการหมุนวนที่ขึ้นกับเวลาที่เรียกว่า Large Eddy Simulation (LES) โดยนำผลการคำนวณหาความเร็วและความดันที่เปลี่ยนแปลงตามเวลามาเป็นแรงที่กระตุ้นในการวิเคราะห์ต่อชุดประกอบหัวอ่าน/เขียน จากรายละเอียดของแรงกระตุ้นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่มากขึ้นจะส่งผลให้การวิเคราะห์พฤติกรรมของการเลื่อนตำแหน่งของชุดประกอบหัวอ่าน/เขียน ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำขึ้น ซึ่งผลที่ได้จะช่วยในการหาวิธีการควบคุมปัญหาเลื่อนตำแหน่งของชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนนี้ต่อไป

2. รูปแบบวิธีการศึกษาในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

Nakamura และคณะ [1] ได้ทำการศึกษา Flow induced Vibration (FIV) ของ Head Gimbal Assembly (HGA) โดยทำการทดสอบความยาวและชนิดของ HGA โดยการหา amplitude ของแต่ละชนิดที่เกิดจาก sway mode ซึ่งมี 3 ชนิด เรียกเป็นชนิด A, B, C โดยมีความยาวของ HGA เป็น 18 14.5 12 ม.ม. ตามลำดับ ขนาดของฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในการทดสอบ 3.5 นิ้ว R=38.8 ม.ม. ดิสก์มีความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ความเร็วลม 40.6 เมตรต่อวินาที โดยที่ชนิด B และ C มีสายสัญญาณ (tail) จากการทดสอบผลของแรงลมต่อ HGA พบว่าชนิด C มีค่า amplitude น้อยกว่าชนิด B ประมาณ 40% ใน sway mode ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ใช้ชนิด C มาทำการทดสอบที่ความเร็วรอบ 15,000 รอบต่อนาที โดยนำข้อมูลและตัวประกอบความคลาดเคลื่อนใน Taguchi Method มาเขียนกราฟ S/N ratio ช่วงของความถี่ 2 ถึง 20 kHz ค่า S/N ratio คือการหาค่าโดยรวมของข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เพื่อเลือกส่วนที่จะใช้พิจารณาปัญหาซึ่งงานวิจัยนี้พบว่าช่วงที่มีค่า S/N ratio ที่จะถูกเลือกมาพิจารณาก่อนคือ arm thickness รองลงมาคือ load-beam bend angle และ arm shape ตามลำดับ

Nakamura และคณะ [2] ได้ทำการศึกษา mode shape ของการวิเคราะห์ Flow Induced Vibration (FIV) บน Head Gimbal Assembly (HGA) โดยมีขนาด HGA จากปลายถึงรูของลูกบอลเท่ากับ 14.5 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางฮาร์ดดิสก์ 3.5 นิ้ว ดิสก์มีความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที vibration mode เป็นดังนี้ first bending mode คือ 3.7 kHz first torsion mode คือ 6.1 kHz และ sway mode คือ 11.6 kHz จะเห็นได้ว่า sway mode มีค่ามากสุดดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญในการพิจารณา ค่าความถี่ sway mode ที่เกิดขึ้นใน HGA งานวิจัยนี้ได้ทดสอบตำแหน่งของ slider ที่ระยะห่างในแนวรัศมีต่างกันคือ 38.8 และ 28.8 ม.ม. โดยศึกษา amplitude สูงสุดที่เกิดขึ้น ซึ่งพบว่าค่า amplitude ของระยะห่างในแนวรัศมี slider 38.8 ม.ม. มีค่ามากกว่า 28.8 ม.ม. ทำให้ผู้วิจัยเลือกระยะห่างในแนวรัศมี slider 38.8 ม.ม. มาใช้ทดสอบเพื่อลีกเลี่ยงการเกิด resonant ใน HGA ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้แบบจำลองในการวิเคราะห์ดังนี้ mode shape ในการจำลองคือ sway mode ตำแหน่งของ slider ที่ระยะห่างในแนวรัศมี 38.8 ม.ม. อุณหภูมิไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงบน HGA มากนัก

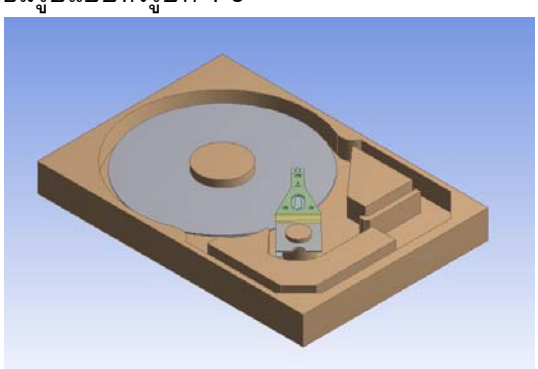
Q.D. Zhang และคณะ [3] ศึกษาการไหลของอากาศแบบปั่นป่วนในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยวิธี LES ดิสก์มีความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ตัวแปรที่ใช้

ศึกษาในงานวิจัยคือการติดแผงกลั้นอากาศเข้าไปเพื่อลดแรงลมที่ส่งผลกระทบต่อหัวอ่าน/เขียน ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าค่าของแรงลมที่ส่งผลกระทบต่อหัวอ่าน/เขียนลดลงกว่า 50% ทั้งที่หัวอ่าน/เขียนอยู่บนดิสก์และนอกดิสก์

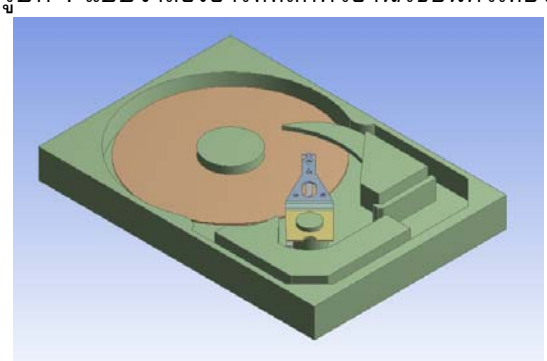
งานวิจัยที่ได้ศึกษาถึงวิธีการลดแรงลมเพื่อไม่ให้หัวอ่าน/เขียนอ่านข้อมูลคลาดเคลื่อนรวมไปถึงการศึกษาการสั่นสะเทือนในหัวอ่าน/เขียน [4-9]

3. รูปแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

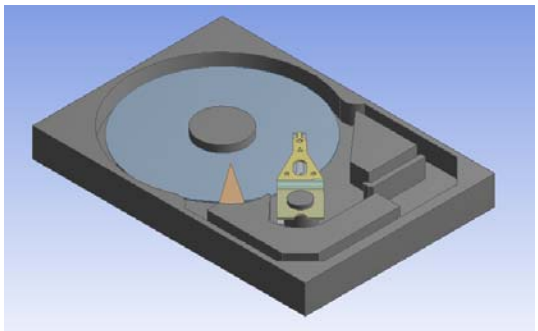
งานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลองของฮาร์ดดิสก์ 3 แบบ โดยมีรูปแบบดังรูปที่ 1-3



รูปที่ 1 แบบจำลองฮาร์ดดิสก์หัวอ่าน/เขียนหัวเดียว



รูปที่ 2 แบบจำลองฮาร์ดดิสก์หัวอ่าน/เขียนหัวเดียวติดแผงกลั้นอากาศไว้ด้านหลัง



รูปที่ 3 แบบจำลองฮาร์ดดิสก์หัวอ่าน/เขียนหัวเดียวติดแผงกลั้นอากาศไว้ด้านหน้า

4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการคำนวณ

งานวิจัยนี้ได้คำนึงถึงผลกระทบของแรงลมต่อหัวอ่าน/เขียน ซึ่งต้องศึกษาการหมุนวนของอากาศและค่าความความเปลี่ยนแปลงในวัสดุเกร็งดังนั้นทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์มี 2 กรณี

4.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการไหล

การไหลของอากาศในฮาร์ดดิสก์ช่วงที่มีการวิจัยและเป็นที่ยอมรับมากที่สุดคือช่วงการไหลแบบปั่นป่วนโดยสามารถจับรายละเอียดการหมุนวนที่ขึ้นกับเวลาเรียกว่า Large Eddy Simulation (LES) ซึ่งมีสมการในดังนี้

$$u_i(x,t) = \bar{u}_i(x,t) + u_i'(x,t) \tag{1}$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\nu \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right) \tag{2}$$

u_i คือ ความเร็ว $\bar{u}_i$ คือ ความเร็วเฉลี่ย u_i' คือ ความเร็วที่เวลาใดๆ ρ คือ ความหนาแน่น ν คือ ความหนืดจลนศาสตร์ p คือ ความดัน

4.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง HSA

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหัวอ่าน/เขียนพิจารณาเป็นแบบคานยื่นโดยมีสมการดังนี้

$$\delta = \frac{PL^3}{3IE} \tag{3}$$

δ คือ ค่าการกระจัด P คือ แรง L คือ ความยาว I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย E คือ ค่ายังโมดูลัส

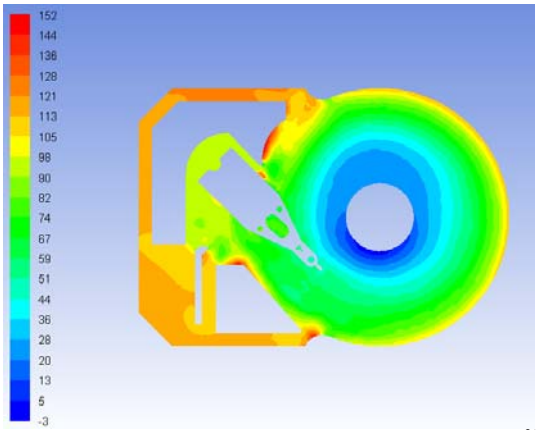
5. ผลการคำนวณ

เงื่อนไขของการไหลเป็นแบบ LES ช่วงของเวลาใช้ 1 ms เวลาสิ้นสุดของการหมุนใช้ 300 รอบ ทำการแสดงผลของความดันและความเร็วในแนวแกน y ที่ความสูง 7.55 mm. จากจุดกำเนิด

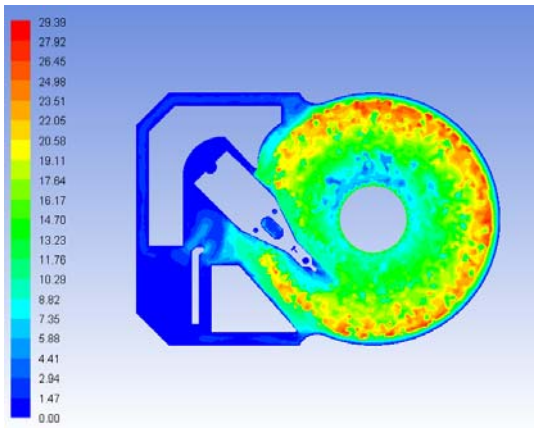
5.1 ผลการคำนวณการไหล

รูปที่ 4-5 คือผลการคำนวณการหมุนวนของอากาศที่ไม่มีแผงกลั้นอากาศดิสก์หมุนที่ความเร็ว

10,000 รอบต่อนาที ทำการ mesh แบบ tetrahedral Nodes=46738 Elements=227852 โดยแสดงค่าความดันสูงสุดเป็น 152 Pa และความเร็วสูงสุดเป็น 29.39 m/s

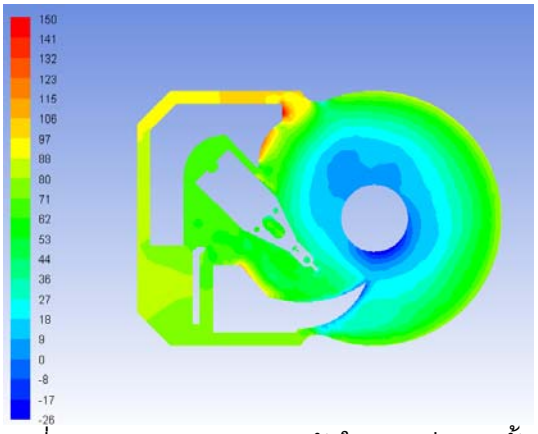


รูปที่ 4 ผลการคำนวณความดันในแบบไม่มีแผงกลั้นอากาศมีหน่วยเป็น Pa

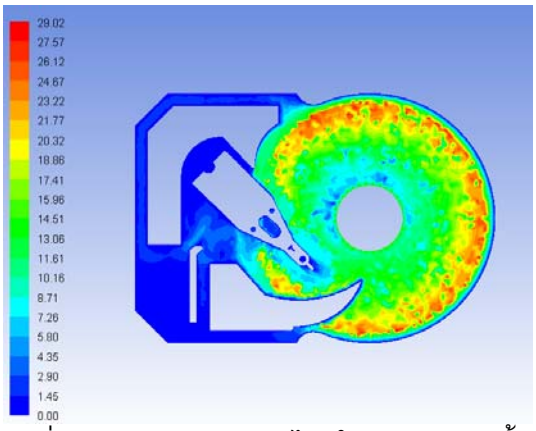


รูปที่ 5 ผลการคำนวณการไหลในแบบไม่มีแผงกลั้นอากาศมีหน่วยเป็น m/s

รูปที่ 6-7 คือผลการคำนวณการไหลของอากาศติดแผงกลั้นอากาศไว้ด้านหลังดิสก์หมุนที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ทำการ mesh แบบ tetrahedral Nodes=46496 Elements=225897 โดยแสดงค่าความดันสูงสุดเป็น 150 Pa และความเร็วสูงสุดเป็น 29.02 m/s

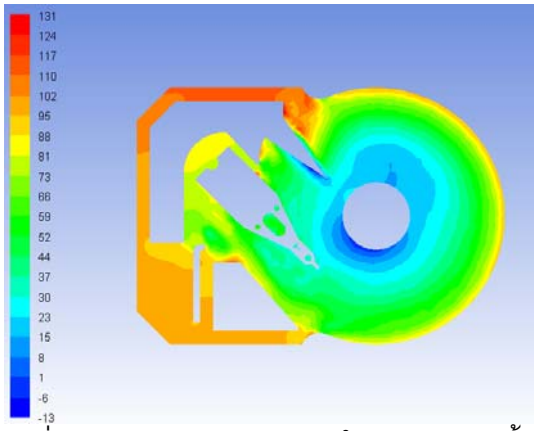


รูปที่ 6 ผลการคำนวณความดันในแบบมีแผงกลั้นอากาศด้านหลังมีหน่วยเป็น Pa

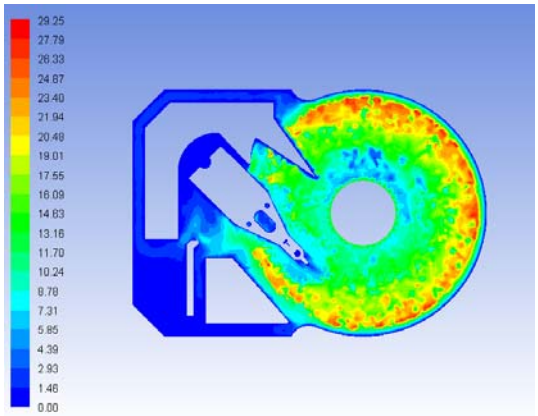


รูปที่ 7 ผลการคำนวณการไหลในแบบมีแผงกลั้นอากาศด้านหลังมีหน่วยเป็น m/s

รูปที่ 8-9 คือผลการคำนวณการไหลของอากาศที่ติดแผงกลั้นอากาศไว้ด้านหลังดิสก์หมุนที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที ทำการ mesh แบบ tetrahedral Nodes=46855 Elements=228373 โดยแสดงค่าความดันสูงสุดเป็น 131 Pa และความเร็วสูงสุดเป็น 29.25 m/s จากผลการคำนวณทั้ง 3 รูปแบบพบว่าค่าความดันสูงสุดลดจากเดิมในรูปแบบที่ไม่มีแผงกลั้นอากาศโดยที่ลดลงต่ำสุดในรูปแบบที่ติดแผงกลั้นอากาศไว้ด้านหน้า



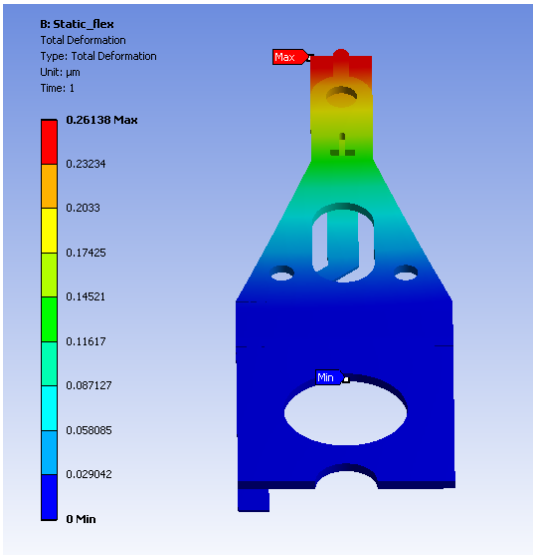
รูปที่ 8 ผลการคำนวณความดันในแบบมีแผงกลั้นอากาศด้านหน้ามีหน่วยเป็น Pa



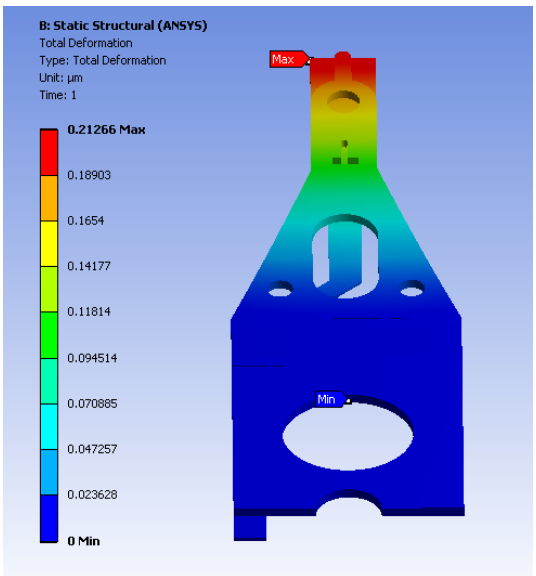
รูปที่ 9 ผลการคำนวณการไหลในแบบมีแผงกลั้นอากาศด้านหน้ามีหน่วยเป็น m/s

5.2 ผลการคำนวณค่าความเปลี่ยนแปลง HAS

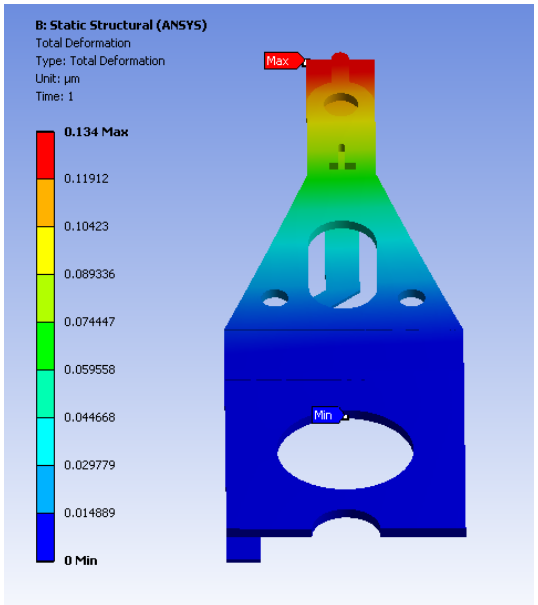
รูปที่ 10-12 วิเคราะห์โดยทำการ mesh แบบ hexahedral Nodes=256692 Elements=49788 นำผลที่ได้จากการหมุนวนของอากาศมาเป็นตัวแปรต่อการวิเคราะห์ deformation ของ HSA โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นดังนี้ไม่ติดแผงกลั้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดคือ 0.26138 μm ติดแผงกลั้นไว้ด้านหลังชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดคือ 0.21266 μm ติดแผงกลั้นไว้ด้านหน้าชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดคือ 0.134 μm



รูปที่ 10 ผลของแรงลมส่งผลต่อเปลี่ยนแปลง HSA ที่ไม่มีแผงกลั้นอากาศ



รูปที่ 11 ผลของแรงลมส่งผลต่อเปลี่ยนแปลง HSA ที่มีแนวกลั้นอากาศด้านหลัง



รูปที่ 12 ผลของแรงลมส่งผลต่อเปลี่ยนแปลง HSA ที่มีแนวกลั้นอากาศด้านหน้า

6. สรุป

จะเห็นได้ว่าค่ารูปแบบที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้เป็นรูปแบบที่ติดแผงกลั้นอากาศไว้ด้านหน้ามีค่าการเปลี่ยนแปลงต่ำสุดคือ 0.134 μm โดยสามารถนำข้อมูลจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการเพิ่มคุณภาพของฮาร์ดดิสก์ให้มีประสิทธิผลทั้งประหยัดเวลาและต้นทุนในการผลิต ท้ายที่สุดงานวิจัยนี้จะช่วยให้เกิดประโยชน์ต่อกระบวนการหาความเหมาะสมในขั้นตอนการได้มาซึ่งฮาร์ดดิสก์ที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Nakamura, S., Takahashi, H., Wakatsuki, K. and Hagiya S., “Flow induced vibration of head gimbal assembly under various conditions,” IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 41, No. 2 (2005-2), pp. 769-773.

[2] Nakamura S., Takahashi H.,Wakatsuki K., HIrono Y. and Saegusa S., “Reduction of Flow Induced Vibration of Head Gimble assembly for Hard Disk Drives,” Proceedings of Mechanical Engineering Congress, 2005 Japan (MECJ-05), Vol 5, (2005-9), pp. 277-288.

[3] Q.D., Zhang, C.S., Tan, K., Sundaravadivelu, M.A., Suriadi, G.L., Chin, T.H., Yip, E.H., Ong, and N.Y., Liu, "Mitigation of flow induced vibration of Head gimbal assembly," Microsyst Technol, Vol. 16, pp. 213-219, 2010.

[4] Kubo, T., Nishijima, N., Shimizu H., Hirino, Y., Tokuyama, M. and Nakamura, S., “Investigation of flow velocity in actual head disk drives by particle-image-velocimetry and fliud simulation,” IIP/ISPS Joint MIPE’03 (2003-6), pp. 205-206.

[5] Takahashi, H., Wakatsuki, K., Masuda, H., Takahashi, K. and Nakamura, S. Low, “Winddage and Low Flying Height Head Suspension Assembly for 40 Gb/in2,” Extended Abstracts of 12th Annual Symposium on Information Storage and Processing Systems (2001-6), Flow I-2.

[6] Nakamura, S., Takahashi, H., Wakatsuki, K., Shindo, H. and Saegusa, S., “Flow Induced Vibration of Head Gimbal Assembly,” Extended Abstracts of 13th Annual Symposium on Information Storage and Processing Systems (2002-6), FIV-5.

[7] Masuda, H., Shimizu, T., Tokuyama, M., Takahashi, H., Wakatsuki, K. and Nakamura, S., “Evaluation of Vibration of Characteristics of Suspensions for Hard Disk Drives and Reducing the Vibration by Using Viscoelastic Dampers,” Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineering, Series C, Vol. 68, No 667, (2002), pp. 8-15.

[8] Hirono, Y., Arisaka, T., Nishijima, N., Shimizu, T., Nakamura, S. and Masuda, H., “Flow induced vibration reduction on HDD by using spoiler,” IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 40, No. 4, (2004), pp. 3168-3170.

[9] Nakamura, S., Hirono, Y., Aduma, R., Takahashi, H., Hagiya, S., Wakatsuki, K. and Saegusa, S., “Reducing Head-Gimbal-Assembly Windage for High-Track-Density Hard Disk Drives,” Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineering, Series C, Vol. 73, No 731, (2007), pp. 1992-1997.