

การศึกษาตำแหน่งของแขนหัวอ่าน/เขียน ฮาร์ดดิสก์ที่มีผลต่อการไหลของอากาศ Study the Effect of Actuator Arm Position on Airflow in Hard Disk Drive

จารุพล สุริยวานากุล (Jarupol Suriyawanakul)^{1*}

เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต (Kiatfa Tangchaichit)²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการไหลของอากาศเมื่อพัดผ่านแขนหัวอ่าน/เขียน (actuator arm) ของฮาร์ดดิสก์ โดยศึกษาเฉพาะรูปร่างแขนของฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว ความเร็ว 7,200 รอบต่อนาที จากการศึกษาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) เพื่อจำลองสภาวะการไหลของอากาศในฮาร์ดดิสก์ โดยพิจารณาเพียงการไหลของอากาศรอบๆ แขน และทำการเปลี่ยนตำแหน่งของแขนหัวอ่าน/เขียน ไปยังตำแหน่งด้านนอก กึ่งกลาง และด้านในของแผ่นดิสก์ ซึ่งพบว่าเมื่อแขนอยู่ในตำแหน่งด้านในของแผ่นดิสก์มีผลกระทบต่อการไหลมากที่สุด โดยพิจารณาจากการเปรียบเทียบค่าความดันสถิต (static pressure) และ power spectral density ที่เกิดขึ้นบนแขนแต่ละด้าน

Abstract

This article is concerned with the airflow passing through the actuator arm of a hard disk drive and studies only the actuator arm of a 3.5" hard disk drive with rotation speed of 7,200 rpm. The study used commercial fluid dynamics computation software by the Large Eddy Simulation method to simulate airflow conditions, considering only the area around the arm. Then, simulations with different arm positions being outer disk position, middle disk position and inner disk position were made to obtain numerical results. The results show the inner disk position has most affect on the flow from comparison of static pressure and power spectral density on each arm surface.

คำสำคัญ : การไหลของอากาศ, แขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์, Large Eddy Simulation

Keywords: Airflow, Actuator arm, Large Eddy Simulation

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*corresponding author, e-mail: jarupol@hotmail.com

บทนำ

การพัฒนาฮาร์ดดิสก์อย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน มีผลทำให้สามารถสร้างฮาร์ดดิสก์ที่มีความจุขนาด 1 เทอราไบต์ได้ ซึ่งขนาดของแผ่นดิสก์ยังมีขนาดเท่าเดิม หรือเล็กลงแต่ต้องทำการบันทึกด้วยข้อมูลที่หนาแน่นขึ้น รวมไปถึงการอ่าน และเขียนบนพื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูง ต้องเป็นไปอย่างแม่นยำ ทำให้การทำงานของชิ้นส่วนภายในฮาร์ดดิสก์ต้องการความแม่นยำสูงขึ้น การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นมีผลต่อการทำงานอันเกิดจากการทำงานของชิ้นส่วนเอง และบางส่วนเกิดจากผลกระทบของลมที่เกิดขึ้นจากการหมุนของแผ่นดิสก์ การศึกษานี้ได้ศึกษาถึงตำแหน่งของแขนหัวอ่าน/เขียน ฮาร์ดดิสก์ ที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อหาว่าตำแหน่งใดเป็นตำแหน่งที่ได้รับผลกระทบจากลมมากที่สุด เพื่อสามารถเป็นประโยชน์ในการศึกษาเพื่อการออกแบบที่สภาวะวิกฤตได้

ในการศึกษาเกี่ยวกับรูปร่างของแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ (Ong *et al.*, 2000) พบว่าแขนที่มีขอบเป็นรูปสามเหลี่ยม จะสามารถลดการเกิดการผิดพลาดในการอ่าน/เขียนข้อมูล (track misregistration (TMR)) ของฮาร์ดดิสก์ได้ และการศึกษาความแตกต่างระหว่างแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ ที่มีรูเจาะลดน้ำหนัก (Weight saving hole) และไม่มีรูเจาะ (Kubotera *et al.*, 2002), (Tsuda *et al.*, 2003) โดยอาศัยวิธีการ Direct Numerical Simulation (DNS) กับฮาร์ดดิสก์ความเร็ว 10,033 รอบต่อนาที พบว่าแขนที่มีรูเจาะจะมีการเกิดลมหมุนที่โตกว่า และยืดยาวกว่าแบบที่ไม่มีรูเจาะ ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าลมหมุนนี้เองที่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ ในการศึกษาที่จำลองสภาวะของลมภายในฮาร์ดดิสก์โดยขยายสัดส่วนของขนาดแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ขึ้น 10 เท่า และใช้ของไหลเป็นน้ำ (Kaneko *et al.*, 2007) ซึ่งพบว่าลมหมุนที่เกิดขึ้นด้านหลังของแขนเป็นสาเหตุของการเกิดแรงยกพลวัต (Dynamics lift) และสามารถลดค่าดังกล่าวได้โดยการแก้ไขขอบด้านหลังของแขนให้เป็นมุมสามเหลี่ยม

การศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยระเบียบวิธี Large Eddy Simulation (LES) เพื่อศึกษาและสร้างแบบจำลองการไหล โดยพิจารณาเฉพาะปริมาตรที่อยู่รอบๆ แขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ และลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณให้เหมาะสม

การคำนวณ

ในการคำนวณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Fluent และ Gambit มีสมการครอบคลุมคือสมการ นาเวียร์-สโตกส์

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) \quad (1)$$

และสมการการต่อเนื่อง

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_j} = 0 \quad (2)$$

โดยที่ x_i และ x_j (i, j มีค่าเท่ากับ 1, 2 และ 3) เป็นพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinate) มีทิศทางตามแกน x, y และ z ตามลำดับ

u_i และ u_j (หรือ u_x, u_y, u_z) เป็นเวกเตอร์ความเร็วมีทิศทางตามพิกัดคาร์ทีเซียนมีทิศทางตามแกน, และตามลำดับ

P เป็นค่าความดันสถิต

ρ เป็นค่าความหนาแน่น (density) ของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

และ μ เป็นค่าความหนืดพลวัต (dynamics viscosity)

โดยใช้วิธี Large Eddy Simulation ในการคำนวณการไหลแบบปั่นป่วนที่เกิดขึ้น และใช้สมการตัวกรองของสมการนาเวียร์-สโตกส์ (Filtered Navier-Stokes Equations)

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \tau_{ij} \right) \quad (3)$$

และสมการ

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = 0 \quad (4)$$

โดยที่

$$\tau_{ij} = -\rho (\overline{u_i u_j} - \bar{u}_i \bar{u}_j) \quad (5)$$

หรือมีชื่อเรียกว่า ความเค้นสับกริดสเกล (Sub-grid scale stress) และ \bar{u}_i เป็นตัวกรองของความเร็วชั่วขณะ (filetered instantaneous velocity) ในการคำนวณได้มีการกำหนดเงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 1 และสภาพเงื่อนไขของโมเดลที่ใช้ในการคำนวณนั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

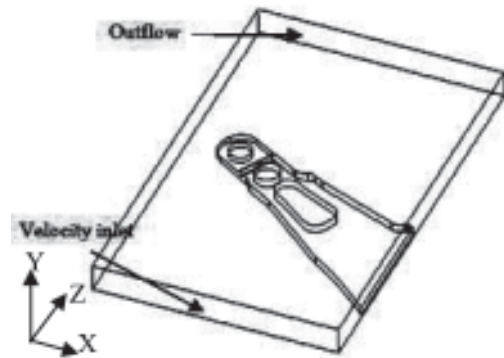
ตารางที่ 1. แสดงการกำหนดเงื่อนไขในการคำนวณ

หัวข้อ	การกำหนด
Solver	Segregate
Formulation	Implicit
Time	Unsteady
Unsteady Formulation	2nd-Order Implicit
Model	Large Eddy Simulation
Subgrid-Scale Model	Smagorinsky-Lilly
Pressure-Velocity Coupling	SIMPLEC

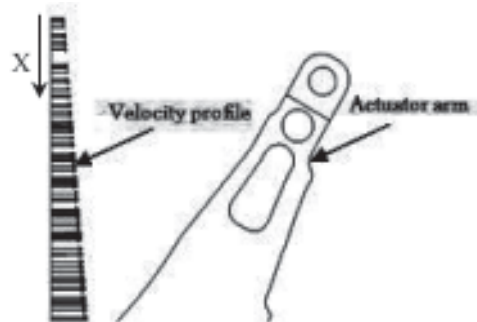
ตารางที่ 2. แสดงสภาพเงื่อนไขของโมเดลที่ได้ทำการทดลอง

หัวข้อ	การกำหนด
Arm Mesh Size(mm)	0.2
Other Volume Mesh Size(mm)	0.4
Element	Tet/Hybrid
Mesh Type	Tgrid
Number of Mesh	400,242
Discretization Flow	Low Diffusion Second Order
Convergence Criterion	1.00E-06
Time Step Size(s)	1.00E-06
Total Number of Time Steps	15,000 (15ms)

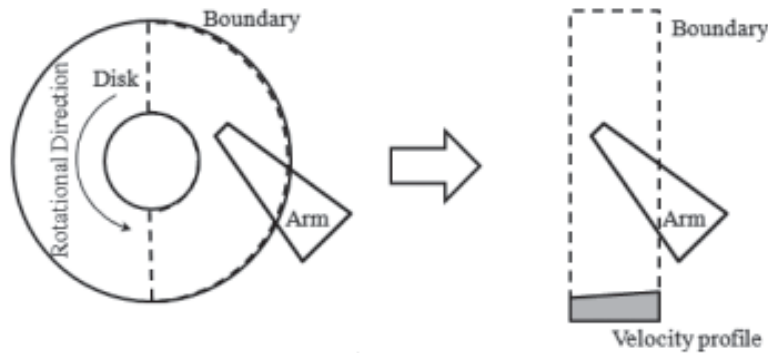
โดยรูปร่างของขอบเขตดังที่แสดงในรูปที่ 1 ก. ได้สร้างขึ้นโดยจำลองการไหลของอากาศระหว่างฝาปิดและแผ่นดิสก์ และเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษา และการคำนวณจึงได้กำหนดขอบเขตให้มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีทางที่อากาศไหลเข้า 1 ทาง และทางที่อากาศไหลออก 1 ทาง จากนั้นอากาศที่ไหลเข้าจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นตามแนวแกน X ดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 1 ข.



รูปที่ 1ก. ขอบเขตของปริมาตรอากาศที่จะทำการศึกษา

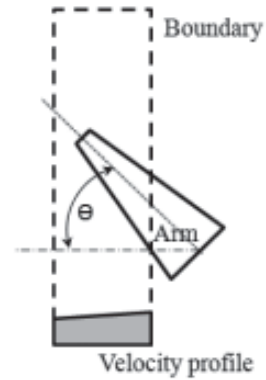


รูปที่ 1ข. ความเร็วจะเพิ่มขึ้นตามแนวแกน X



รูปที่ 2. การกำหนดขอบเขตการศึกษาเพื่อให้ง่ายต่อการสร้างแบบจำลอง และการคำนวณ

การกำหนดขอบเขตดังกล่าวนี้ได้มาจากการกำหนดขอบเขตที่จะพิจารณา และทิศทางการหมุนของแผ่นดิสก์ โดยพิจารณาจากกรอบของเส้นประของรูปทางด้านซ้ายมือของรูปที่ 2 ซึ่งเป็นขอบเขตของอากาศบนแผ่นดิสก์ และเปลี่ยนกรอบเส้นประดังกล่าวให้กลายเป็นกรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2 ทางด้านขวามือ



การทดลอง

ในการทดลองทำการเปลี่ยนแปลงค่ามุม θ ในรูปที่ 3 สามค่าได้แก่ที่ $\theta = 30^\circ, 45^\circ$ และที่ 60° ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงตำแหน่งด้านใน, ตรงกลาง และด้านนอกของฮาร์ดดิสก์

จากนั้นทำการสร้างโปรไฟล์ของความเร็วโดยอ้างอิงจากความเร็วเชิงเส้นของแผ่นดิสก์จากฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว และแผ่นดิสก์หมุนด้วยความเร็วรอบ 7,200 รอบต่อนาที จากสมการ

$$v = \omega r \tag{6}$$

โดยที่ $\omega = 753.98 \text{ rad/s}$ หรือ 7,200 รอบต่อนาที

รูปที่ 3. แสดงมุม θ ที่ต้องเปลี่ยนแปลงไปสามตำแหน่ง นั่นคือ $30^\circ, 45^\circ$ และที่ 60° ตามลำดับ

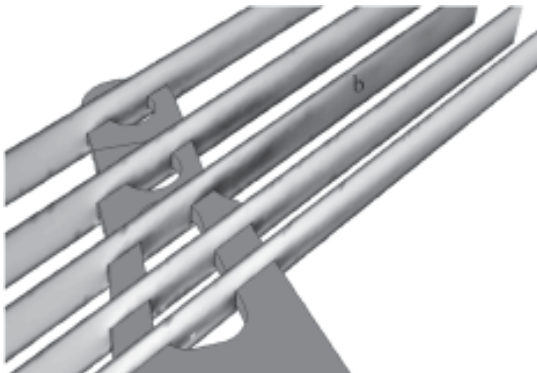
ผลการทดลอง

พิจารณาที่ Path line ของการไหล

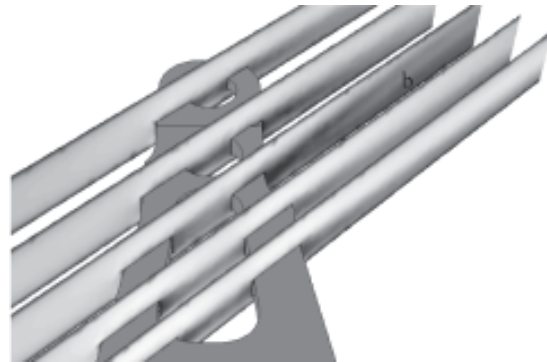
จากการพิจารณาที่ Path line ของการไหลของอากาศผ่านแขนหัวอ่าน/เขียน ฮาร์ดดิสก์พบว่าทั้งสามตำแหน่งมี Path line ของการไหลที่ตำแหน่ง a เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 4 นั่นคือมีการไหลลักษณะเป็นคลื่นและแพร่กระจายออก ทั้งนี้ผลดังกล่าวเกิดจากอิทธิพลของการไหลผ่านรูปเงาบนแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์นั่นเอง



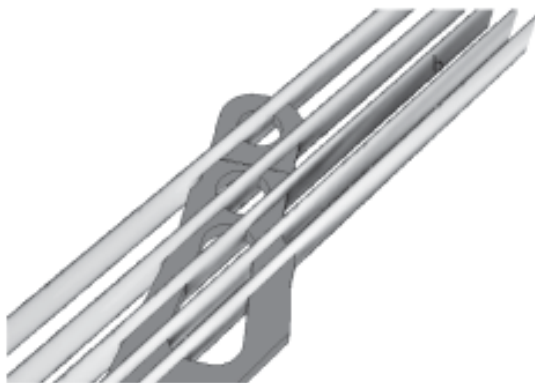
รูปที่ 4. แสดง Path line ของแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ที่ตำแหน่ง 30°, 45° และที่ 60° ตามลำดับ



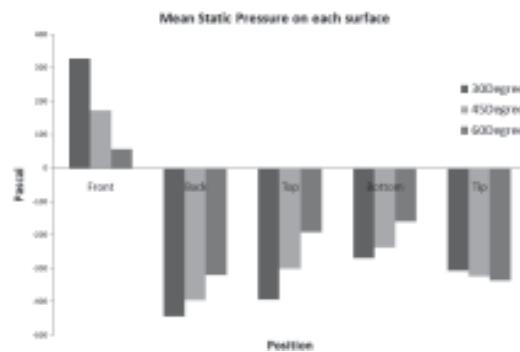
รูปที่ 5. contour ของแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ที่ตำแหน่ง 30°



รูปที่ 6. contour ของแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ที่ตำแหน่ง 45°



รูปที่ 7. contour ของแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ที่ตำแหน่ง 60°



รูปที่ 8. แสดงค่าเฉลี่ยของความดันสถิตที่เกิดขึ้นแต่ละด้านบนแขนหัวอ่าน/เขียน ฮาร์ดดิสก์

พิจารณาที่ Contour ความเร็วของการไหล

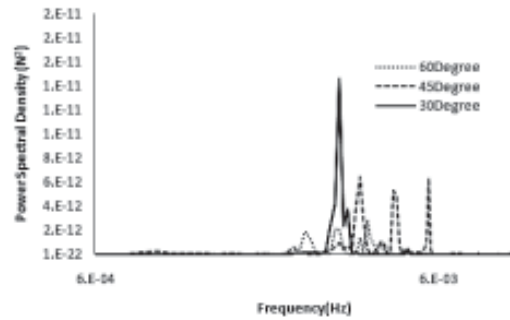
เมื่อพิจารณาที่ Contour ความเร็วของการไหล จะสามารถเห็นการแพร่กระจายของการไหลที่ตำแหน่ง a ของรูปที่ 4 ได้ชัดเจนยิ่งขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5, 6 และ 7 ที่ตำแหน่ง b โดยที่พื้นที่ที่มีสีเข้มเป็นพื้นที่ที่มีความเร็วต่ำ และพื้นที่ที่มีสีอ่อนเป็นพื้นที่ที่มีความเร็วสูง ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่มีสีเข้มแพร่กระจายสูงขึ้นซึ่งมีผลทำให้บริเวณพื้นที่ที่มีความเร็วสูง ทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน

พิจารณาที่ค่าเฉลี่ยของความดันสถิต (Mean static pressure)

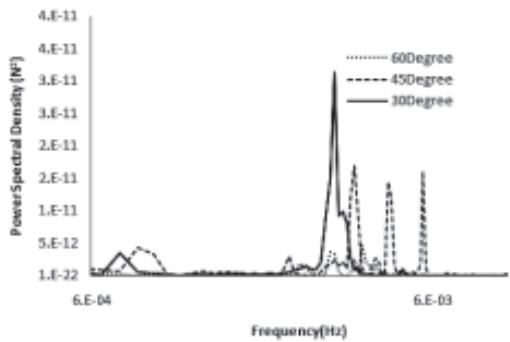
เมื่อพิจารณาที่ค่าเฉลี่ยของความดันสถิต ที่กระทำแต่ละด้านของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ดังที่แสดงในรูปที่ 8 พบว่าที่ตำแหน่ง 30° มีค่าความดันสถิตสูงที่สุดเนื่องจากตำแหน่งนี้ค่อนข้างจะขวางการไหลของอากาศมาก ส่วนที่ตำแหน่งปลาย (Tip) ของแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ที่ 30° มีค่าต่ำกว่าตำแหน่งอื่น ๆ เนื่องจากทิศทางของปลายแขนไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่ขวางการไหลของอากาศ

พิจารณาค่า Power spectral density

การพิจารณา Power spectral density จะพิจารณาจากตำแหน่งที่จะได้รับผลกระทบแล้วส่งผลต่อการเกิด Track misregistration มากที่สุดนั่นคือแนวที่อยู่ในระนาบเดียวกันกับแผ่นดิสก์ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์พบว่า เป็นด้านหน้าและด้านหลังของแขนที่ปะทะกับอากาศที่ไหลผ่าน โดยจากรูปที่ 9 เป็นกราฟแสดงค่า Power spectral density ของแขนหัวอ่าน/เขียนด้านหน้า และรูปที่ 10 เป็นค่า Power spectral density ด้านหลังของแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ ซึ่งกราฟแสดงถึงค่าพลังงานที่อยู่ใกล้ย่านความถี่ $5e-10^{-3}$ Hz มีค่าสูงขึ้น และตำแหน่งของแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ที่มีค่าพลังงานสูงที่สุดคือตำแหน่งที่ 30° และตำแหน่งที่มีค่าพลังงานต่ำที่สุดคือที่ตำแหน่ง 60°



รูปที่ 9. กราฟ Power spectral density ทางด้านหน้าของแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 10. กราฟ Power spectral density ทางด้านหลังของแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์

สรุป

ตำแหน่งของแขนหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ที่ 30° ได้รับผลกระทบจากการไหลของอากาศที่พัดผ่านมากที่สุด เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยของความดันสถิตสูงที่สุด ที่กระทำต่อแขนหัวอ่าน/เขียนในทิศทางด้านหน้าและด้านหลัง ซึ่งก่อให้เกิดแรงโมเมนต์กระทำต่อแขนรอบจุดหมุนในแนวระนาบเดียวกันกับแผ่นดิสก์ ส่งผลให้เกิดการผิดพลาดในการอ่าน/เขียนข้อมูล และค่า Power spectral density ของความดันสถิตที่มีค่าแอมพลิจูดสูงที่สุด ซึ่งหมายถึงการได้รับแรงกระทำจากอากาศที่ไหลผ่านสูงที่สุด อันเกิดจากความดันสถิตที่แปรผันในย่านความถี่ประมาณ $5e-10^{-3}$ Hz

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณประสพสุข ดิษสำเร้ง, คุณเทิดไท
เทียนทอง และเจ้าหน้าที่แผนก Advance Manufacturing
Engineering บริษัทเวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย)
จำกัด ทุกท่านที่ให้ความสนับสนุนด้านข้อมูล และให้
คำปรึกษาในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Tsuda, N., Kubotera, H., Tatewaki, M., Noda, S.,
Hashiguchi, M., and Maruyama, T., Mar.
2003. **Unsteady analysis and experimental
verification of the aerodynamic vibration
mechanism of HDD arms.** IEEE Trans. Mgn.,
vol. 39, no. 2, pp. 819-825.

Ong, E. H., He, Z., Chen, R., Qian, H., and Guo,
G. Sep. 2000. **A low-turbulence-high-band-
width actuator for 3.5" hard disk drives.**
IEEE Trans. Mgn., vol. 36, no. 5, pp. 2235-
2237.

Kaneko, S., Nishihara, T., and Watanabe, T., 2007.
**Aerodynamic characteristics of carriage arm
equipped on hard magnetic disks.** Springer
Microsyst Technol., vol. 13, pp. 1297-1306.

Kubotera, H., Tsuda, N., Tatewaki, M., and
Maruyama, T. Sep. 2002. **Aerodynamic
vibration mechanism of HDD arms predicted
by unsteady numerical simulations.** IEEE
Trans. Mgn., vol. 38, no. 5, pp. 2201-2203.

