



ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสปอยเลอร์ที่มีความยาว 150 องศาตามแนวเส้นรอบวง

Effects of Varied Dimension of 150 Degree Circumferential Spoiler Shape

จารุพล สุริยวานากุล^{1*}, เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต¹

Jarupol Suriyawanakul^{1*}, Kiatfa Tangchaichit²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

* Correspondent author: jarupol@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาผลกระทบของความเร็วลมจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสปอยเลอร์ที่มีขนาดต่างๆ กันภายในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 3.5 นิ้ว หมุนด้วยความเร็วรอบ 20,000 rpm โดยใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ และโมเดลความปั่นป่วนแบบ $k-\epsilon$ พบว่าเมื่อความหนาของสปอยเลอร์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ช่วยลดความเร็วลมเฉลี่ยที่บริเวณ OD และเมื่อความกว้างในแนวรัศมีของสปอยเลอร์เพิ่มขึ้น จะทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยในบริเวณที่สปอยเลอร์ยื่นเข้าไปลดต่ำลง แต่ในส่วนของบริเวณ ID พบว่าการเพิ่มความหนา และความกว้างทำให้เป็นการเบี่ยงเบนลมเข้าสู่ด้านในของแกนหมุนแผ่นดิสก์ ทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยบริเวณดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้น โดยโมเดล M6 ที่มีความกว้าง 21.5 มิลลิเมตร และความหนา 1 มิลลิเมตร สามารถลดความเร็วลมเฉลี่ยภายในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้ถึง 59.39%

Abstract

The air flow effect from variation of spoiler dimension is studied in 3.5 hard disk drive running with speed of 20,000 rpm using CFD technique. The steady $k-\epsilon$ is used for turbulent model. The results show relationships which are: an increase in the thickness of the spoiler reduces the RMS of wind velocity at the OD zone and an increase in the width of the spoiler reduces the RMS of wind velocity at the downstream of spoiler position. The increasing of thickness and width affected to the flow at ID position by divert flow and increase flow velocity. The spoiler model having 21.5 mm. width and 1 mm. thickness can reduce the RMS of wind velocity inside the hard disk drive by 59.39 %.

คำสำคัญ: สปอยเลอร์ ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Keywords: spoiler, hard disk drive, computational fluid dynamics

1. บทนำ

ในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์มีความเร็วในการอ่าน/เขียนข้อมูล 2 จิกะบิตต่อวินาที (Gbit/s) ที่ตำแหน่งด้านนอกสุดของแผ่นดิสก์ที่หมุนด้วยความเร็ว 15,000 รอบต่อนาที (rpm) และมีแนวโน้มที่ความหนาแน่นของข้อมูลจะเพิ่มขึ้นเป็น 10 เทอราบิตต่อตารางนิ้ว (Tbit/in²) และมีความเร็วในการอ่านเขียนข้อมูลที่มากกว่า 10 Gbit/s (1) ความเร็วในการหมุนของแผ่นดิสก์จึงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์เพิ่มขึ้นย่อมส่งผลให้เกิดการรบกวนอุปกรณ์อ่าน/เขียนจากลมที่ถูกชักนำจากการหมุนดังกล่าว จึงมีอุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้เพื่อลดการรบกวนดังกล่าวโดยเรียกว่า สปอยเลอร์ (spoiler) หรือ แคมเปอร์เพลต (damper plate) ซึ่งจะถูกติดตั้งบริเวณเหนือลม (upstream) ก่อนถึงชุดหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ (Head Stack Assembly, HSA) โดยสปอยเลอร์จะทำหน้าที่ลดความแปรปรวนของความเร็วลมในแนวระนาบและต่างระนาบ รวมไปถึงลดความแปรปรวนของความเร็วลมที่ตำแหน่งของเบสเพลต (base plate) และซัสเพนชัน (suspension)(2) การติดตั้งสปอยเลอร์ที่ตำแหน่งเหนือลมพบว่ามีผลกระทบกับ HSA โดยตรงเนื่องจากลมที่ผ่านสปอยเลอร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางและความเร็วทั้งนี้เกิดจากมิติของสปอยเลอร์โดยตรงงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงมิติของสปอยเลอร์ที่มีผลต่อการไหลที่ตำแหน่งของ HSA ด้วยกระบวนการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

2. วิธีการวิจัย

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมา Jarupol และ Kiatfa(3) ได้นำเอาโมเดลความปั่นป่วนแบบ steady มาใช้ $k-\epsilon$ ในการศึกษาเพื่อหาค่าความเร็วกำลังสองเฉลี่ยของลม โดยมีสมการควบคุมคือ(4)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho k u) = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + G_k + \rho \epsilon$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho k v) = \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] + G_k + \rho \epsilon$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho k w) = \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial z} \right] + G_k + \rho \epsilon$$

โดยสมการดังกล่าวเป็นสมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน และ

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho \epsilon u) = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \epsilon v) = \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho \epsilon w) = \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial z} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

เป็นสมการอัตราการแพร่ของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน

โดย

- k คือ พลังงานจลน์ของความปั่นป่วน
- ϵ คือ อัตราการแพร่ของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน
- ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล
- u, v, w คือ ความเร็วมีทิศทางในแนวแกน x, y และ z ตามลำดับ
- μ คือ ค่าความหนืดของของไหล
- μ_t คือ ค่าความหนืดของความปั่นป่วน
- σ_k คือ ตัวเลขพรานด์ล (Prandtl number) ของความปั่นป่วนสำหรับ มีค่าเท่ากับ 1
- G_k คือ การเกิดขึ้นของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเฉลี่ย
- σ_ϵ คือ ตัวเลขพรานด์ล (Prandtl number) ของความปั่นป่วนสำหรับ มีค่าเท่ากับ 1.3
- $C_{1\epsilon}$ คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 1.44
- $C_{2\epsilon}$ คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 1.92

โดยที่ μ_t หาได้จากสมการ

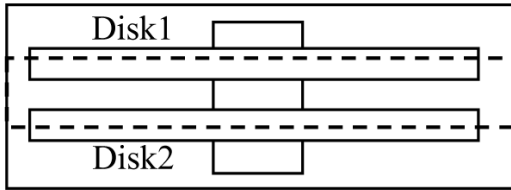
$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$$

และ

C_μ คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 0.09

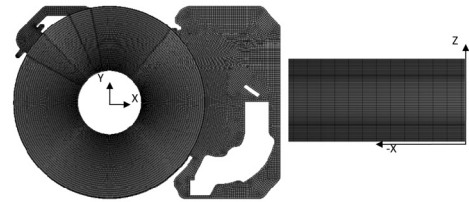
อุปกรณ์ที่ใช้ในการคำนวณเป็นคอมพิวเตอร์ชนิดเวิร์กสเตชัน ยี่ห้อ Dell T7500 หน่วยประมวลผลกลาง Intel Xeon E5620 ความเร็ว 2.4 จิกะเฮิร์ตซ์ (GHz) มีหน่วยความจำเข้าถึงโดยสุ่ม 12 จิกะไบต์ (GB) โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการคำนวณคือ ANSYS Workbench

เวอร์ชัน 14 โดเมนของอากาศที่พิจารณาจะอยู่ระหว่างกึ่งกลางแผ่นดิสก์ 2 แผ่น โดยอ้างอิงจากเทคนิคของ Ikegawa และคณะ(5) ดังแสดงในรูปที่ 1

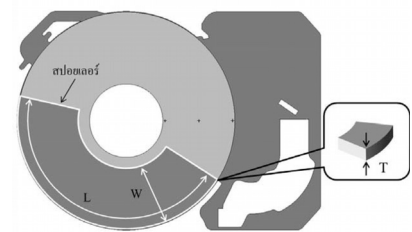


รูปที่ 1. แสดงโดเมนที่นำมาคำนวณซึ่งพิจารณา ระหว่างแผ่นดิสก์ 2 แผ่นตามแนวเส้นประ

เพื่อเป็นการลดความซับซ้อนของโมเดล HSA จะไม่นำมาพิจารณาในโดเมนคำนวณ การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตจะกำหนดให้ผิวที่ถูกตัดพิจารณาตรงกึ่งกลางแผ่นดิสก์เป็นผนังแบบสมมาตร (symmetry wall) และบริเวณผิวของแผ่นดิสก์กำหนดให้เป็นผนังที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุน (rotation wall) หมุนรอบแกนหมุนด้วยความเร็ว 20,000 rpm ส่วนผนังอื่นๆ จะถูกกำหนดให้เป็นผนังที่ไม่มีการไถล (no-slip wall) โดยปริยาย เอลิเมนต์ที่ใช้เป็นแบบเฮกซะฮีดรอล (hexahedral) หรือทรงหกหน้ามีจุดต่อ หรือโหนด (node) อยู่ที่มุมทั้ง 8 ขนาดของเอลิเมนต์ในระนาบ xy จะกำหนดให้มีขนาดไม่เกิน 1 มิลลิเมตร จำนวนเอลิเมนต์ตามแนวแกน z มีจำนวน 40 เอลิเมนต์ระหว่างแผ่นดิสก์ด้วยเทคนิคสวீป (sweep) โดยกำหนดให้มีอัตราส่วนความหนาแน่นที่บริเวณใกล้ผิวของแผ่นดิสก์เป็น 6 เท่าและจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมดมีจำนวน 1.7 ล้านเอลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2 ในการใช้งานสไปดเดอร์จะถูกติดตั้งตามตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 3

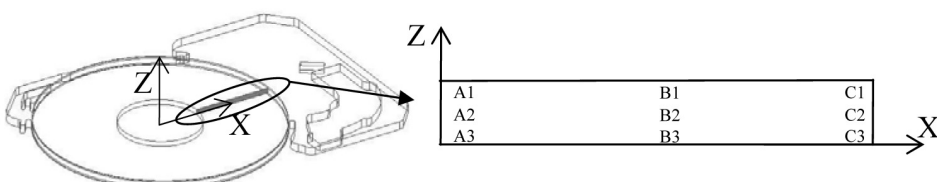


รูปที่ 2. แสดงเอลิเมนต์ที่ใช้ในการคำนวณ



รูปที่ 3. แสดงตำแหน่งการติดตั้งสไปดเลอร์ และขนาดของสไปดเลอร์ที่จะทำการเปลี่ยนแปลง

และในการทดลองจะมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างในแนวนอนหรือ W ในรูปที่ 3 จำนวน 3 ค่าได้แก่ 15.8 มิลลิเมตร, 21.5 มิลลิเมตรและ 26.5 มิลลิเมตรและเปลี่ยนแปลงความหนา หรือ T ในรูปที่ 3 จำนวน 3 ค่าคือ 1 มิลลิเมตร, 1.2 มิลลิเมตรและ 1.4 มิลลิเมตรตามลำดับ เมื่อวางแผนการทดลองจะได้โมเดลที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 9 โมเดล ดังแสดงในตารางที่ 1 ในการบันทึกผลการคำนวณจะเลือกตำแหน่งที่เป็นตัวแทนตำแหน่งด้านในแผ่นดิสก์ (inner diameter, ID) ตำแหน่งตรงกลางแผ่นดิสก์ (middle diameter, MD) และตำแหน่งด้านนอกแผ่นดิสก์ (outer diameter, OD) ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยการบันทึกข้อมูลจะกระทำทุกๆ การทำซ้ำ (iteration) ทั้งหมด 15,000 ครั้งแล้วนำค่าความเร็วในสภาวะการเปลี่ยนแปลงเต็มรูปแบบ (fully develop) มาหาค่ากำลังสองเฉลี่ย



รูปที่ 4. แสดงตำแหน่งของจุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล

ตารางที่ 1. แสดงขนาดของสไปเดอร์สำหรับโมเดล M1 ถึง M9

ขนาด \ โมเดล	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
ความยาว L (องศา)	150	150	150	150	150	150	150	150	150
ความกว้าง W (มม.)	15.8	15.8	15.8	21.5	21.5	21.5	26.5	26.5	26.5
ความหนา T (มม.)	1.0	1.2	1.4	1.0	1.2	1.4	1.0	1.2	1.4

ในการนำเสนอผลของการคำนวณจะเลือกนำเสนอเพียงชั้นที่อยู่ในระนาบกึ่งกลางระหว่างแผ่นดิสก์ นั่นคือ ตำแหน่ง A2, B2 และ C2 ตามลำดับเนื่องจากคุณสมบัติของ จารุพล สุริยวานากุล (6) พบว่าเมื่อนำค่าคอนทราสต์ของความเร็วลมในแต่ละระนาบมาเปรียบเทียบกัน ที่ระนาบดังกล่าวจะได้รับผลกระทบจากสไปเดอร์มากที่สุด เมื่อเทียบกับระนาบอื่นที่อยู่ใกล้แผ่นดิสก์ โดยนำค่าความเร็วกำลังสองเฉลี่ยที่ได้ไปเปรียบเทียบกับความเร็วของลมก่อนใส่สไปเดอร์ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดค่ากำลังสองเฉลี่ยของความเร็ว เมื่อดังกล่าวมีค่าเป็นบวกหมายถึงสามารถลดความเร็วเฉลี่ยบริเวณนั้นๆ ได้ และหากค่าเป็นลบแสดงว่าเป็นการเพิ่มความเร็วเฉลี่ยในบริเวณนั้นๆ

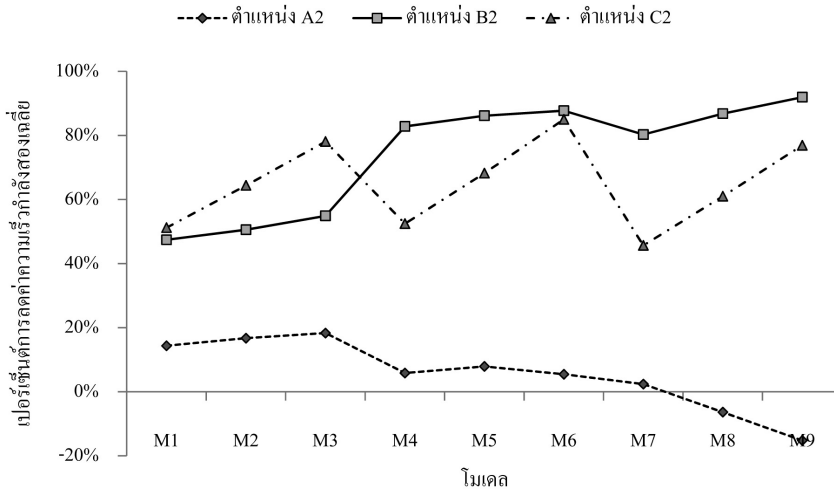
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

จากผลการทดลองพบว่าที่บริเวณ ID การเพิ่มขึ้นของความหนาจะมีความเร็วเฉลี่ยของลมลดลงในช่วงแรก และจะมีความเร็วเฉลี่ยของลมเพิ่มขึ้นเมื่อความกว้าง

ในแนวรัศมีเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเกิดการปิดกั้นการไหลของลมโดยสไปเดอร์ทำให้ลมถูกเบี่ยงเบน และพยายามไหลผ่านช่องแคบด้านในระหว่างสไปเดอร์ และแกนหมุน ทำให้ความเร็วบริเวณดังกล่าวสูงขึ้น ดังแสดงในกราฟ A2 ของรูปที่ 5

ในบริเวณ MD หรือกราฟ B2 ของรูปที่ 5 พบว่าเมื่อความหนาเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าความเร็วเฉลี่ยลดลง โดยลักษณะของเส้นกราฟมีการกระโดดจากโมเดล M3 ไปยังโมเดล M4 เนื่องจากความกว้างในแนวรัศมีของโมเดล M4 เป็นต้นไปมีค่ามากกว่าตำแหน่ง B2 ที่ใช้ เป็นจุดบันทึกข้อมูล เมื่อสไปเดอร์ยื่นมากกว่าตำแหน่งดังกล่าวจึงทำให้เห็นได้ชัดว่าสามารถลดความเร็วเฉลี่ยได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hirono และคณะ(7) ที่ได้ศึกษาว่าสไปเดอร์จะทำงานได้ดีเมื่อมีความกว้างในแนวรัศมีเท่ากับระยะการทำงานของ HSA

ส่วนบริเวณ OD พบว่าลักษณะของกราฟ C2 ในรูปที่ 5 มีลักษณะเป็นรูปฟันปลา ซึ่งหมายถึงเมื่อความหนาเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความเร็วเฉลี่ยบริเวณ OD ลดลง



รูปที่ 5. กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การลดค่าความเร็วกำลังสองเฉลี่ยของลมในแต่ละตำแหน่ง

4. สรุป

ขนาดความกว้างของสปอยเลอร์มีอิทธิพลต่อ บริเวณ MD มากที่สุดโดยจะสามารถลดค่าความเร็วกำลังสองเฉลี่ยของลมได้เมื่อระยะของสปอยเลอร์ยื่นเข้าไปใน บริเวณ MD และค่าความหนาของสปอยเลอร์ที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้สามารถลดค่าความเร็วเฉลี่ยในบริเวณ OD ได้ดีขึ้น และพบว่าโมเดลที่สามารถลดค่าความเร็วกำลังสองเฉลี่ยได้ดีที่สุดคือโมเดล M6 โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยที่ตำแหน่ง A2, B2 และ C2 ซึ่งคิดเป็น 59.39% ของความเร็วลมที่ไม่ติดตั้งสปอยเลอร์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยด้านการออกแบบเชิงกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS Workbench เวอร์ชัน 14 และ คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ

6. เอกสารอ้างอิง

- Wood R. Future hard disk drive systems. J MagnMagn Mater. 2009 Mar;321(6):555–61.
- Kirpekar S, Bogy DB. A study on the efficacy of flow mitigation devices in hard disk drives. Magn IEEE Trans. 2006;42(6):1716–29.
- Suriyanakul J, Tangchaichit K. A method to reduce calculation time for a study of a damper plate in a high speed hard disk drive simulation. ICA3M 2013. Dalian, China; In press 2013.
- ANSYS, Inc. ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide. ANSYS, Inc.; 2009.
- Ikegawa M, Hirono Y, Mukai H, Kaiho M. Decreasing airflow velocity in hard disk drives with a spoiler and bypass. Magn IEEE Trans. 2006;42(10):2594–6.
- Suriyanakul J. Flow improvement in high areal density hard disk drive (10 Tb/in²) [PhD thesis]. KhonKaen: KhonKaen University; 2013. Thai.
- Hirono Y, Arisaka T, Nishijima N, Shimizu T, Nakamura S, Masuda H. Flow-induced vibration reduction in HDD by using a spoiler. Magn IEEE Trans. 2004;40(4):3168–70.