

การศึกษาการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ กัน

Study of Airflow in Hard Disk Drive at Various Rotational Speed

สุภชัย พลน้ำเที่ยง¹ และ เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต²¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น 40002

โทร 0-8721-53692 โทรสาร 0-4320-2849

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ. ขอนแก่น 40002

โทร 0-4320-2845 ต่อ 151 โทรสาร 0-4320-2849 *อีเมล kiatfa@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ขนาด 1.8 นิ้วที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปที่ความเร็วรอบแผ่นดิสก์ที่ 3600, 5400, และ 7200 รอบต่อนาที ในการศึกษาจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ 3 มิติ ตำแหน่งของหัวอ่านที่ทำการศึกษาคือตำแหน่ง OD(Outer Diameter) เท่านั้นซึ่งเป็นตำแหน่งที่ความเร็วของอากาศมีค่ามากที่สุด ส่วนในการจำลองการไหลของอากาศใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ RNG K-Epsilon ผลการศึกษาพบว่าความดันสถิต(static pressure) ที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์จะมีทั้งค่าที่เป็นบวก(แรงผลัก)และลบ(แรงดูด)โดยเฉพาะที่บริเวณใกล้จุดศูนย์กลางการหมุนความดันจะมีค่าเป็นลบ แต่จะมีค่าเป็นบวกเพิ่มขึ้นตามรัศมีของแผ่นดิสก์ที่ความเร็วรอบค่าหนึ่ง ซึ่งค่าความดันจะมากขึ้นเมื่อความเร็วของแผ่นดิสก์มากขึ้น ในส่วนของความเร็วของอากาศที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์พบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นตามรัศมีของแผ่นดิสก์และความเร็วของอากาศจะมากที่สุดที่บริเวณที่ใกล้กับแผ่นดิสก์ที่สุดที่ความเร็วรอบค่าหนึ่ง ซึ่งความเร็วภายในฮาร์ดดิสก์จะมากขึ้นเมื่อความเร็วรอบของแผ่นดิสก์มากขึ้นด้วย จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลในการศึกษาถึงการสันสะท้อนของหัวอ่านอันมีผลเนื่องจากการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ได้ต่อไป

Abstract

In this paper, the behavior of turbulence airflow field caused by the spinning of the single disk inside 1.8-in Hard Disk Drive (HDD) in the market by various rotational speeds was investigated. The commercial software (Fluent Software) using RNG k-epsilon turbulence model was computed to simulation. The single arm position at Outer-Diameter (OD-Position) was studied. The both pressure and velocity were show the flow pattern. We observed that the pressure show the both negative and positive pressure inside HDD, especially at the center of disk

the pressure was the negative pressure, which increase to the positive pressure depend on the disk radius, while the magnitude of velocity of airflow was zero at center of disk, which was increased linearly along the disk radius. When the rotational speed was increased, the both pressure and velocity were increased. This information can be used to further the vibration analysis of the actuator arm.

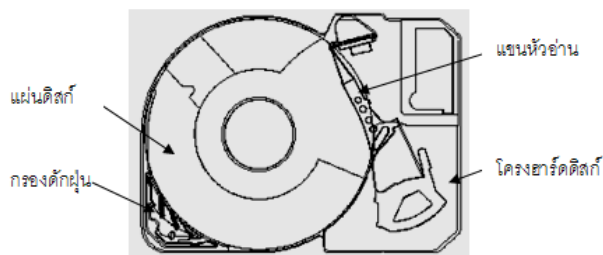
1. คำนำ

ฮาร์ดดิสก์จัดเป็นอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่มีความสำคัญยิ่งในคอมพิวเตอร์ หรือแม้แต่อุปกรณ์อื่นๆ เช่น กล้องวิดีโอ โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น และต่อไปในอนาคตข้างหน้าอุตสาหกรรมทางด้านจัดเก็บข้อมูลเหล่านี้จะต้องมีการแข่งขันกันเพิ่มขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบันนี้สามารถในการจัดเก็บข้อมูลได้ปริมาณมาก อีกทั้งใช้เวลาในการเข้าถึงข้อมูล(Access Time) ที่เร็วมาก อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีในการจัดเรียงแถบแม่เหล็ก (Track Density)ที่มีความละเอียดมากเพื่อการเขียนข้อมูลลงในแผ่นดิสก์ และความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้หมุนแผ่นดิสก์ก็มีความเร็วสูงเช่นกัน ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เช่น 1. เกิดการสันสะท้อนของแขนหัวอ่าน/เขียนอันเนื่องมาจากผลของการไหลอากาศที่เกิดขึ้นจากการหมุนที่ความเร็วสูงของแผ่นดิสก์ Hayato Shimizu และคณะ [1] และ 2.การแกว่งตัวของแผ่นดิสก์อันเนื่องมาจากผลของความดันที่กดลงบนแผ่นดิสก์ Masayuki และคณะ [2] เป็นต้น ความรุนแรงของอากาศที่ไหลอยู่ภายในจะต้องมีวิธีการลดก่อนที่จะให้ไปกระทบกับแขนหัวอ่าน / เขียน Yoshiyuki Hirono และคณะ [3] ฮาร์ดดิสก์ที่ได้มีการศึกษามีขนาดตั้งแต่ 1 นิ้ว M.A.Suriadi และคณะ [4] 2.5 นิ้ว Shigenori Takadaและคณะ [5] และขนาด 3.5 นิ้ว Hayato Shimizu และคณะ [1] Masayuki และคณะ [2] Yoshiyuki Hirono และคณะ [3]

จากปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งสองประการทำให้การอ่าน-เขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์มีความคลาดเคลื่อนจึงทำให้นักวิจัยพยายามศึกษาถึงพฤติกรรมกระไหลของอากาศที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์ขนาดต่างๆ เพื่อที่จะหาวิธีการในการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นดังกล่าว อีกทั้งเป็นการเตรียมพร้อมที่จะรองรับเทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในอนาคต

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ขนาด 1.8 นิ้วที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดที่มีความเร็วรอบแผ่นดิสก์ที่ 3600, 5400, และ 7200 รอบต่อนาที ในการศึกษาจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ 3 มิติ ตำแหน่งของหัวอ่านที่ทำการศึกษาคือตำแหน่ง OD (Outer Diameter) เท่านั้นซึ่งเป็นตำแหน่งที่ความเร็วของอากาศมีค่ามากที่สุด ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ GAMBIT และ FLUENT งานวิจัยนี้จะเป็พื้นฐานในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่าน/เขียนอันเนื่องมาจากความแรงของกระแสลมที่เกิดขึ้นในฮาร์ดดิสก์ต่อไป

2. แบบจำลอง 3 มิติของฮาร์ดดิสก์ที่ใช้



รูปที่ 1 ส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์

รูปที่ 1 แสดงถึงแบบจำลอง 3 มิติของฮาร์ดดิสก์ขนาด 1.8 นิ้วที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด ซึ่งมีส่วนประกอบหลักอันประกอบไปด้วย 1. แผ่นดิสก์ 2. แขนหัวอ่านเขียน 3. โครงสร้างของฮาร์ดดิสก์ (ฝาครอบบนและล่าง) และ 4. กรองดักฝุ่น โดยกำหนดให้ทุกชิ้นส่วนมีคุณสมบัติเป็นผนัง (Wall) ที่อยู่กับทึ่ยกเว้นแผ่นดิสก์ที่ต้องกำหนดให้เป็นผนังที่สามารถเคลื่อนที่แบบหมุนได้ใน GAMBIT SOFTWARE ต่อจากนั้นก็ทำการสร้างกริดปริมาตร (Grid Volume) ที่แบบจำลองคุณสมบัติของกริดปริมาตรดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของกริดปริมาตร

Grid size	0.2, 0.3, 0.5 mm
Grid type	Tetrahedral volume element
Grid number	1,000,000 elements

จากนั้นทำการโดยที่เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ที่ใช้กับแบบจำลองใน FLUENT SOFTWARE ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง

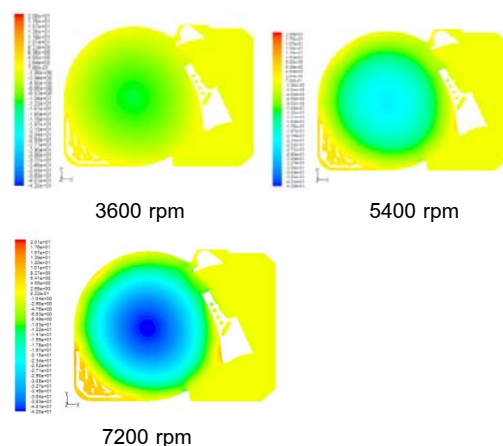
Rotational speed	3600, 5400, 7200 rpm
Basic equation	Navier-Stokes equation
Turbulence model	K-Epsilon(RNG) model
Assumption	No slip at wall Incompressible flow Newtonian fluid flow Constant air properties Turbulence flow
Reynolds number	12000 at 3600 rpm 16800 at 5400 rpm 22400 at 7200 rpm
Air property	At 50 °C

3. ผลการทดลอง

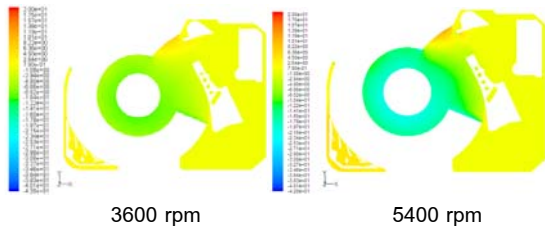
ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณจะทำการเปรียบเทียบการไหลที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ดังนี้ คือ 3600, 5400, และ 7200 รอบต่อนาที โดยจะเปรียบเทียบความดันและความเร็วของอากาศที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์ที่ระนาบตัดต่าง ๆ คือระนาบเดียวกับหัวอ่านบน ระนาบเดียวกับหัวอ่านล่าง และระนาบตัดด้านข้างแบบจำลองฮาร์ดดิสก์

3.1 ความดันอากาศภายในฮาร์ดดิสก์

รูปที่ 2 และ 3 แสดงความดันที่เกิดขึ้นที่ระนาบเดียวกันกับแขนหัวอ่านบนและล่างตามลำดับ พบว่าความดันสูงสุดเกิดขึ้นที่ด้านหน้าของแขนหัวอ่านของที่ทุกความเร็วรอบเนื่องจากที่บริเวณนี้แขนหัวอ่านได้วางตัวกั้นการไหลของอากาศไว้ และยังสังเกตเห็นอีกว่าที่ความเร็วรอบ 7200 rpm จะมีค่าความดันมากที่สุดโดยสังเกตได้จากเจดสีแดงที่ค่อนข้างเข้มและจะลดลงเมื่อความเร็วรอบเป็น 5400 และ 3600 rpm ตามลำดับ และยังพบอีกว่าช่วงของความดันที่เป็นลบ(แรงดูด)และบวก(แรงผลัก)จะกว้างขึ้นตามลำดับความเร็วรอบที่สูงขึ้น และความดันจะเปลี่ยนจากลบเป็นบวกเมื่อรัศมีของแผ่นดิสก์มากขึ้นด้วย รูปที่ 3 จะเห็นเป็นช่องว่าง(พื้นที่สีขาว)มากกว่ารูปที่ 2 นั่นคือผลของรูปร่างของพื้นผิวด้านล่างที่มีการยกตัวขึ้นมา

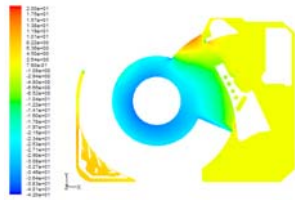


รูปที่ 2 ความดันของอากาศที่ระนาบแขนหัวอ่านบน



3600 rpm

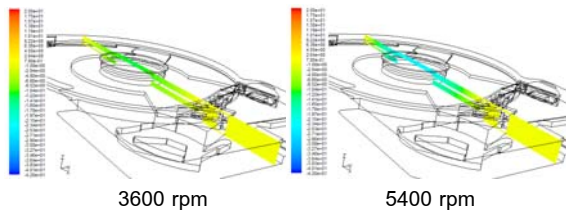
5400 rpm



7200 rpm

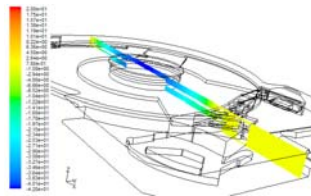
รูปที่ 3 ความดันของอากาศที่ระนาบแขนหัวอ่านล่าง

ความดันที่เกิดขึ้นที่ระนาบตัดด้านข้างของฮาร์ดดิสก์ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าที่บริเวณที่ห่างไกลจากแผ่นดิสก์จะมีความดันเกิดขึ้นค่อนข้างสูงและมีค่าเป็นบวกเนื่องจากห่างจากจุดศูนย์กลางของการหมุนโดยเฉพาะที่ความเร็วรอบ 7200 rpm จะมีค่ามากที่สุดและจะลดลงที่ความดัน 5400 และ 3600 rpm ตามลำดับ



3600 rpm

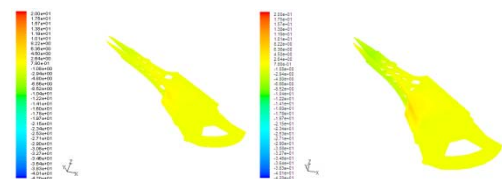
5400 rpm



7200 rpm

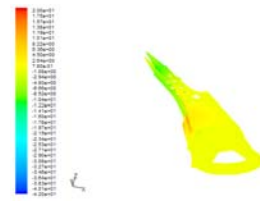
รูปที่ 4 ความดันของอากาศที่ระนาบตัดด้านข้าง

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าความดันที่เกิดขึ้นที่แขนของหัวอ่านซึ่งความดันมีค่ามากที่สุดทั้งแรงผลักและแรงดูดโดยเฉพาะที่ความเร็วรอบ 7200 rpm และจะลดลงเมื่อความเร็วรอบเป็น 5400 และ 3600 rpm ตามลำดับ



3600 rpm

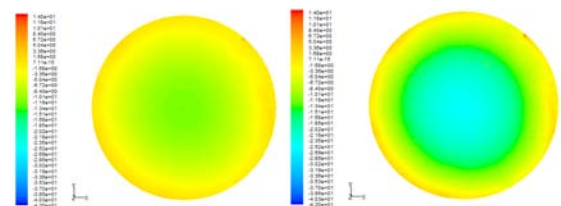
5400 rpm



7200 rpm

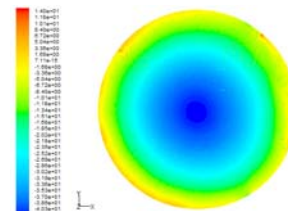
รูปที่ 5 ความดันที่กระทำกับแขนหัวอ่าน

ความดันที่เกิดขึ้นที่แผ่นดิสก์มีค่าติดลบ(แรงดูด)ที่ศูนย์กลางของแผ่นดิสก์และจะเป็นบวก(แรงผลัก)เพิ่มขึ้นเมื่อรัศมีของแผ่นดิสก์มากขึ้น และสิ่งที่สังเกตเห็นอีกอย่างคือ ที่ความเร็วรอบ 7200 rpm ความดันทั้งที่เป็นบวกและลบจะมีค่าที่มาก (สังเกตจากเฉดสี) และจะลดลงที่ความเร็วรอบ 5400 และ 3600 rpm ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 6



3600 rpm

5400 rpm

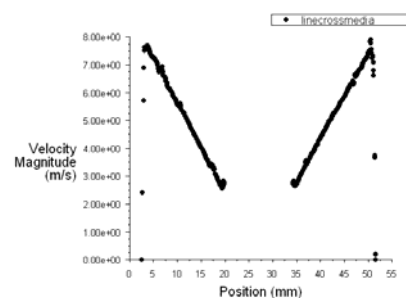


7200 rpm

รูปที่ 6 ความดันที่กระทำกับแผ่นดิสก์

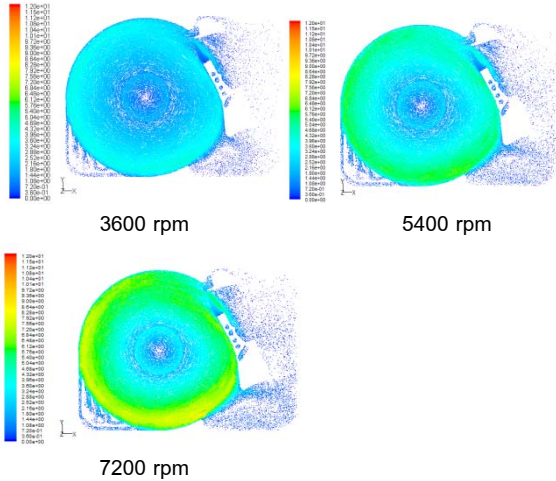
3.2 ความเร็วอากาศภายในฮาร์ดดิสก์

รูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วรอบค่าหนึ่งความเร็วของอากาศจะเพิ่มขึ้นจากจุดศูนย์กลางของแผ่นดิสก์ออกไปยังขอบของแผ่นดิสก์ในลักษณะที่เป็นเชิงเส้นดังสมการ $v = \omega r$ เมื่อ v คือ ความเร็วเชิงเส้นของแผ่นดิสก์ ω คือ ความเร็วรอบของแผ่นดิสก์ และ r รัศมีของแผ่นดิสก์

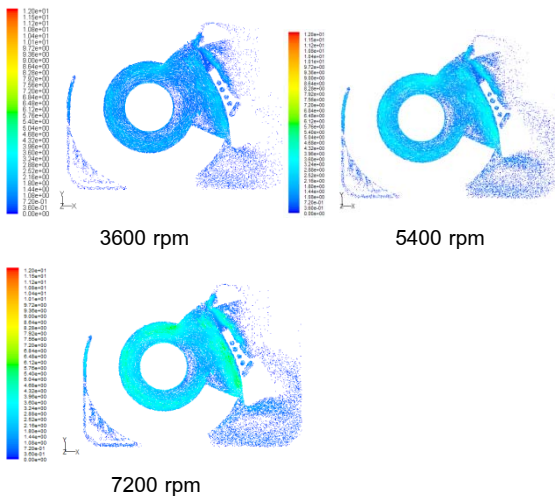


รูปที่ 7 ความเร็วเชิงเส้นของอากาศที่ใกล้กับแผ่นดิสก์

รูปที่ 8 และรูปที่ 9 แสดงความเร็วของอากาศที่ระนาบตัดเดียวกันกับแกนหัวอ่านบนและล่างตามลำดับ พบว่าความเร็วของอากาศเพิ่มมากขึ้นตามรัศมีของแผ่นดิสก์ตามที่กล่าวมาแล้ว โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบ 7200 rpm จะเห็นได้ชัดเจามาก (สังเกตจากเฉดสี) ส่วนความเร็วอากาศที่ 5400 และ 3600 rpm จะมีค่าน้อยลงตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าบริเวณที่ห่างจากพื้นที่ของแผ่นดิสก์ความเร็วของอากาศมีค่าน้อยมาก

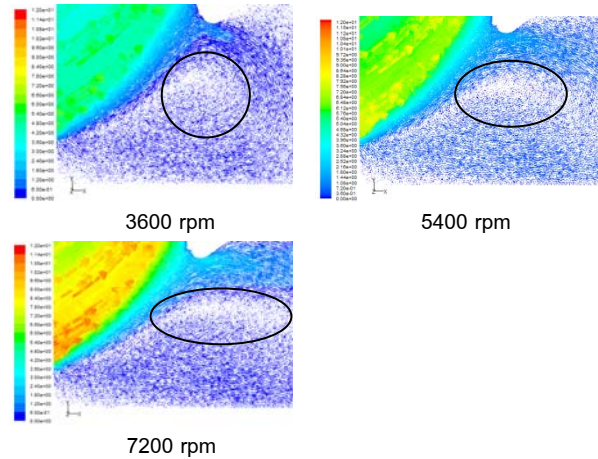


รูปที่ 8 ความเร็วของอากาศที่ระนาบแกนหัวอ่านบน



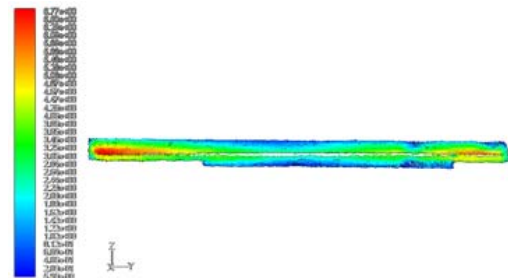
รูปที่ 9 ความเร็วของอากาศที่ระนาบแกนหัวอ่านล่าง

รูปที่ 10 แสดงลักษณะการหมุนวนของอากาศที่ด้านหน้าของแกนหัวอ่าน จะสังเกตเห็นว่าที่ความเร็วรอบ 3600 rpm การหมุนวนของอากาศจะมีลักษณะคล้ายวงกลมเนื่องจากความเร็วค่อนข้างต่ำแต่เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นการหมุนวนของอากาศจะมีลักษณะคล้ายวงรีมากขึ้นโดยสังเกตได้จากความเร็วรอบที่ 5400 และ 7200 rpm ตามลำดับ



รูปที่ 10 การหมุนวนของอากาศที่เกิดขึ้นที่ด้านหน้าของแกนหัวอ่าน

จากที่กล่าวมาแล้วความเร็วของอากาศจะเพิ่มขึ้นจากศูนย์กลางของแผ่นดิสก์ออกไปยังขอบและแสดงให้เห็นว่าความเร็วด้านบนแผ่นดิสก์จะมากกว่าด้านล่างของแผ่นดิสก์ อันมีผลเนื่องจากพื้นผิวด้านล่างเป็นพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอจึงเป็นผลให้ความเร็วอากาศช้ากว่าด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 ความเร็วของอากาศที่ระนาบตัดด้านข้าง

4. สรุป

จากการศึกษาลักษณะการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์ขนาด 1.8 นิ้วที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดพบว่าช่วงของความดันจากลบไปเป็นบวก(แรงดูดไปเป็นแรงผลัก)จะมีความกว้างมากขึ้นและความดันของอากาศที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์จะมีค่ามากขึ้นเมื่อความเร็วรอบของฮาร์ดดิสก์สูงขึ้น ความดันของอากาศที่บริเวณห่างจากแผ่นดิสก์จะมีค่าเป็นบวกเสมอ เนื่องจากห่างจากศูนย์กลางการหมุน ในส่วนของความเร็วของอากาศบริเวณใกล้กับแผ่นดิสก์มีลักษณะเป็นเชิงเส้นที่ทุกความเร็วรอบ นอกจากนี้ความเร็วของอากาศที่บริเวณด้านบนของแผ่นดิสก์จะมีค่ามากกว่าด้านล่างของแผ่นดิสก์ที่ทุกความเร็วรอบเนื่องจากว่าด้านล่างของแผ่นดิสก์มีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอจึงมีผลให้ความเร็วลดลง เมื่อพิจารณาถึงเส้นทางการไหลของอากาศที่ความเร็วรอบค่าหนึ่งที่ไหลผ่าน HGA อากาศจะแยกเป็นสองส่วนคือไหลไปตามแนวรัศมีของแผ่นดิสก์และหักเหไหลเข้าศูนย์กลางการไหล ซึ่งมีผลเช่นเดียวกับที่ไหลผ่านด้านหน้าของ HSA แนวเส้นทางการ

ไหลของทุกความเร็วรอบจะมีลักษณะที่คล้ายกันแต่ที่ความเร็วรอบสูง การไหลของอากาศก็มีความเร็วสูงตามด้วย

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการออกแบบฮาร์ดดิสก์ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความเร็วรอบการหมุนและยังนำไปเป็นแนวทางในการศึกษาการสั่นสะเทือนของแผ่นดิสก์ (Disk Flutter) และการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่าน (Arm Vibration) อันมีผลสืบเนื่องมาจากการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท Seagate Technology (Thailand) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์และข้อมูลทางเทคนิคในการทำวิจัย ศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (I/UCRC in HDD Component) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ช่วยประสานงานทางด้านทุนในการทำวิจัยและขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาในการทำวิจัยครั้งนี้ ภายใต้โครงการพัฒนาทรัพยากรบุคคลในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์

เอกสารอ้างอิง

1. Hayato Shimizu, Toshihiko, Mikio Tokuyama, Hiromitsu Masuda, and Shigeo Nakamura. "Numerical investigation of Positioning Error Caused by Airflow-induced Vibration of Head Gimbal Assembly in Hard Disk Drive" IEEE Transaction on Magnetic. Vol. 39, No 2, March 2003.
2. Masayuki Tatewaki, Naozumi Tsuda and Tsugito Marayuyama. "A Numerical Simulation of Unsteady Airflow in HDDs" Fujitsu Sci. Tech. J. p227-235(December 2001)
3. Yoshiyuki Hirono, Toshihiro Arisaka, Noroyo Nishijima, Toshihiko Shimizu, Shigeo Nakamura, and Hiromitsu Masuda. "Flow induced Vibration Reduction in HDD by Using a Spoiler". IEEE Transaction on Magnetic. Vol. 40 Nov 4, July 2004
4. M.A. Suraidi, C.S. Tan, Q.D. Zhang, T.H. Yip, K. Sundraravadivelu. "Numerical investigation of airflow inside a 1-in Hard Disk drive". Journal of Magnetism and Magnetic Materials 303 (2006).
5. Shigenori Takada, Tatewaki Kusakawa, Norio Tagawa, Atsunobu Mori, Yoshiaki Mizoh, Masaru Nakatika. "Study on flow induced vibration of head-disk assembly mechanisms in actual hard disk drive". Springer-Verlag 2006