

การศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 2.5 นิ้ว

Study Behavior of Airflow in 2.5 - in Hard Disk Drive

สุภชัย พลน้ำเที่ยง (Supachai Polnumtiang)¹

เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต (Kiatfa Tangchaichit)²

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว โดยมีการใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) ซึ่งใช้ (RNG) K-epsilon Turbulence Model มาใช้ในการคำนวณ ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เป็นชนิด 1 แผ่นดิสก์ 2 หัวอ่านและมีความเร็วที่ 5400 รอบต่อนาที ผลที่ได้ปรากฏว่า ความดันที่เกิดขึ้นในภายในฮาร์ดดิสก์ ที่การวางตัวของแขนหัวอ่าน/เขียนในตำแหน่ง ID มีความดันเกิดขึ้นที่แขนหัวอ่าน/เขียนมากกว่าตำแหน่ง OD เนื่องจากการวางตัวของแขนหัวอ่าน/เขียนนั้นแนวการเคลื่อนที่ของอากาศ ส่วนความเร็วของอากาศที่เกิดขึ้นพบว่าตำแหน่งใกล้กับแผ่นดิสก์จะมีการไหลของอากาศที่เร็วกว่าตำแหน่งที่ห่างออกไปจากแผ่นดิสก์ข้อมูลดังกล่าวนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่าน/เขียนได้ต่อไป

Abstract

In this paper, the behavior of turbulence airflow field caused by spinning motion of a single disk inside 2.5-in hard disk drive (HDD) was investigated. A k-epsilon (RNG) turbulence model of the system was created and simulated using the commercial software (FLUENT). Two different positions of actuator arm (ID and OD) were studied. At the difference each actuator arm position, pressure and velocity were acquired and studied. At ID-position the pressure acting on the actuator arm was higher than at OD-position, while the velocity of airflow was the highest at the position closest to the disk.

คำสำคัญ: แขนหัวอ่าน-เขียน แบบจำลองความปั่นป่วน พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Keywords: Actuator arm, Turbulence model, Computational Fluid Dynamics

¹ นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ฮาร์ดดิสก์จัดเป็นอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่มีความสำคัญยิ่งในคอมพิวเตอร์ หรือแม้แต่อุปกรณ์อื่นๆ เช่น กล้องวิดีโอ โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น และต่อไปในอนาคตข้างหน้าอุตสาหกรรมทางด้านจัดเก็บข้อมูลเหล่านี้จะต้องมีการแข่งขันกันเพิ่มขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบันมีความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลได้ในปริมาณมาก อีกทั้งใช้เวลาในการเข้าถึงข้อมูล (Access Time) ที่เร็วมาก อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีในการจัดเรียงแถบแม่เหล็ก (Track Density) ที่มีความละเอียดมากเพื่อการเขียนข้อมูลลงในแผ่นดิสก์ และความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้หมุนแผ่นดิสก์ก็มีความเร็วสูงเช่นกัน ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เช่น 1. เกิดการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่าน/เขียนอันเนื่องมาจากผลของการไหลอากาศที่เกิดขึ้นจากการหมุนที่ความเร็วสูงของแผ่นดิสก์ (Hayato et al., 2003) และ 2. การแกว่งตัวของแผ่นดิสก์อันเนื่องมาจากผลของความดันที่ตกลงบนแผ่นดิสก์ (Masayuki et al., 2001) เป็นต้น ความรุนแรงของอากาศที่ไหลอยู่ภายในจะต้องมีวิธีการลดก่อนที่จะนำไปกระทบกับแขนหัวอ่าน/เขียน (Yoshiyuki et al., 2004) ฮาร์ดดิสก์ที่ได้มีการศึกษามีขนาดตั้งแต่ 1 นิ้ว (M.A.Suriadi et al., 2006) 2.5 นิ้ว (Shigenori et al., 2006) และขนาด 3.5 นิ้ว (Hayato et al., 2003 Masayuki et al., 2001 Yoshiyuki et al., 2004)

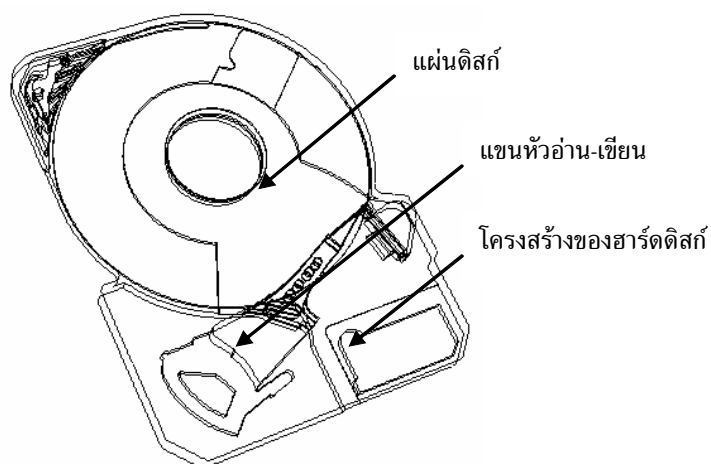
จากปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งสองประการทำให้การอ่าน-เขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์มีความคลาดเคลื่อนจึงทำให้นักวิจัยพยายามศึกษาถึงพฤติกรรมการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์ขนาดต่างๆ เพื่อที่จะหาวิธีการในการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นดังกล่าว อีกทั้งเป็นการเตรียมพร้อมที่จะรองรับเทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในอนาคต

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะพฤติกรรมการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว ที่ความเร็วรอบการหมุนที่ 5400 รอบต่อนาที ชนิดที่มีแผ่นดิสก์ 1 แผ่น และ หัวอ่าน 2 หัวอ่าน โดยใช้หลักการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและใช้ k-epsilon (RNG) Turbulence model ในการคำนวณ

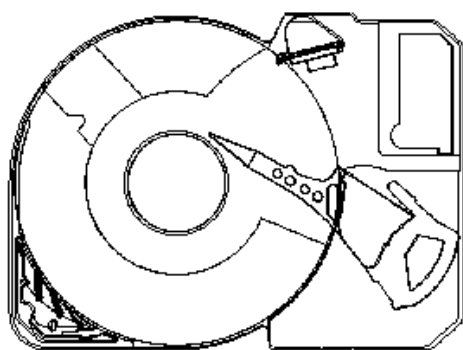
ซอฟต์แวร์ที่ใช้คือ Gambit และ Fluent และจะมีการเปรียบเทียบลักษณะการวางตัวของแขนหัวอ่าน/เขียน 2 ตำแหน่ง คือ ID, และ OD ในแต่ละตำแหน่งก็จะตัดระนาบตามแนวแกน Z ที่ตำแหน่งตั้งนี้คือ ด้านบนแขนหัวอ่าน/เขียนตัวบน, ตรงกับแขนหัวอ่าน/เขียนตัวบน, ระหว่างแขนหัวอ่าน/เขียนตัวบนกับแผ่นดิสก์, ระหว่างแผ่นดิสก์กับแขนหัวอ่าน/เขียนตัวล่าง, ตรงกับแขนหัวอ่าน/เขียนตัวล่าง และ ใต้แขนหัวอ่าน/เขียนตัวล่าง ตามลำดับ งานวิจัยนี้จะเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่าน/เขียนอันเนื่องมาจากความแรงของกระแสลมที่เกิดขึ้นในฮาร์ดดิสก์ต่อไป

แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณ

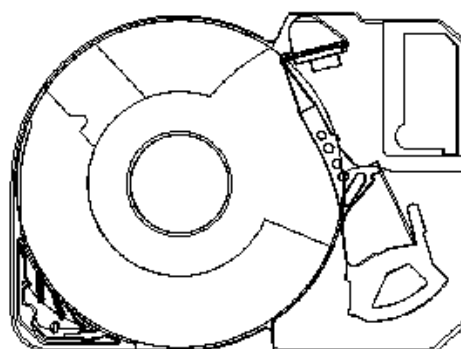
รูปที่ 1 แสดงถึงส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ ซึ่งประกอบไปด้วย 1. แผ่นดิสก์ 2. แขนหัวอ่าน/เขียน 3. โครงของฮาร์ดดิสก์ ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว ชนิด 1 แผ่นดิสก์และมี 2 หัวอ่าน/เขียน มีความเร็วรอบการหมุน 5400 รอบต่อนาที ในการสร้างแบบจำลองกริดที่ใช้เป็นกริดปริมาตรฐานสามเหลี่ยม (Tetrahedral element) สาเหตุที่ใช้กริดชนิดนี้เนื่องจากว่าแบบจำลองมีรูปร่างที่ซับซ้อนมากและจำนวนกริดทั้งหมดจำนวน 1,200,000 กริด ค่าเรย์โนลด์ส (Reynolds Number) เมื่อคิดเทียบที่ขอบของแผ่นดิสก์ซึ่งมีความเร็วสูงสุดคือ $Re = \omega R^2 / \nu = 36,500$ เมื่อ ω คือความเร็วรอบการหมุนของแผ่นดิสก์ R คือ รัศมีของแผ่นดิสก์ และ ν คือความหนืดจลน์ของอากาศ ในการคำนวณใช้หลักการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณที่ใช้สมการมาจากสมการของ Navier-Stokes และใช้ Steady state k-epsilon (RNG) Turbulence model ซึ่งเหมาะสำหรับการไหลที่มีลักษณะของการหมุนวนในการคำนวณ ซึ่งได้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตให้เป็นผนังที่ไม่มีการเคลื่อนที่ ยกเว้นแผ่นดิสก์ที่กำหนดให้เป็นผนังที่มีการหมุนด้วยความเร็ว 5,400 รอบต่อนาทีและการไหลของอากาศเป็นแบบการไหลที่มีความหนืด (Viscous fluid flow) ส่วนตำแหน่งการวางตัวของแขนหัวอ่าน/เขียนคือตำแหน่ง ID และ OD ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์

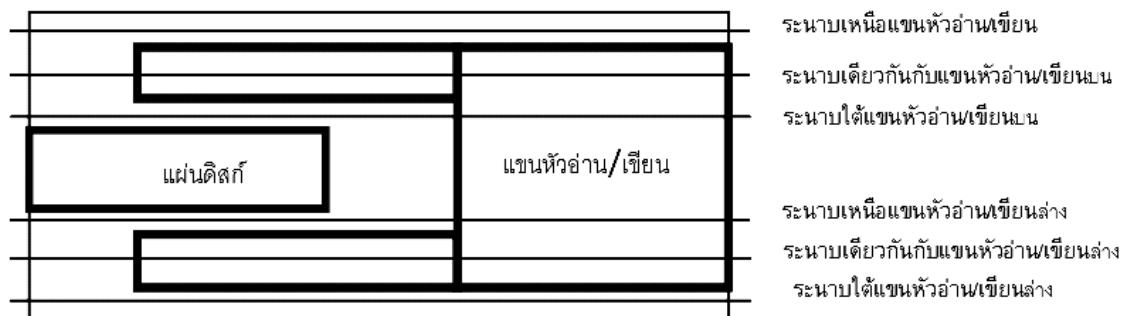


ID



OD

รูปที่ 2 ตำแหน่งของแขนหัวอ่าน / เขียน



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงระนาบตัดที่ตำแหน่งต่างๆ

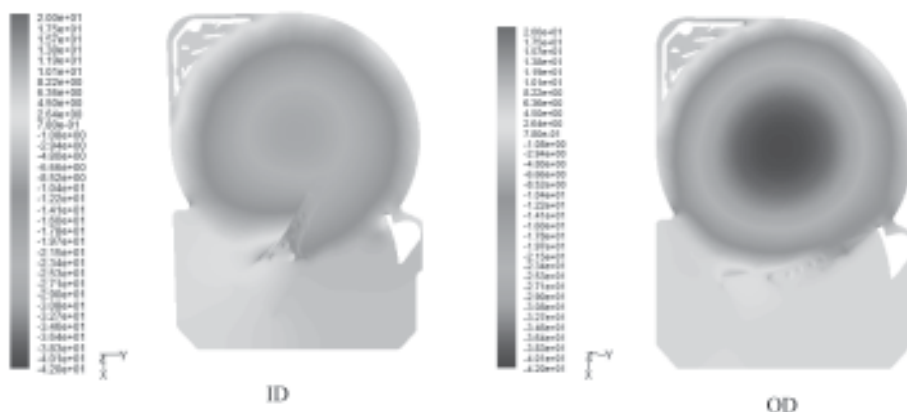
ผลการทดลอง

ความดันที่ระนาบตัดต่าง ๆ ในฮาร์ดดิสก์

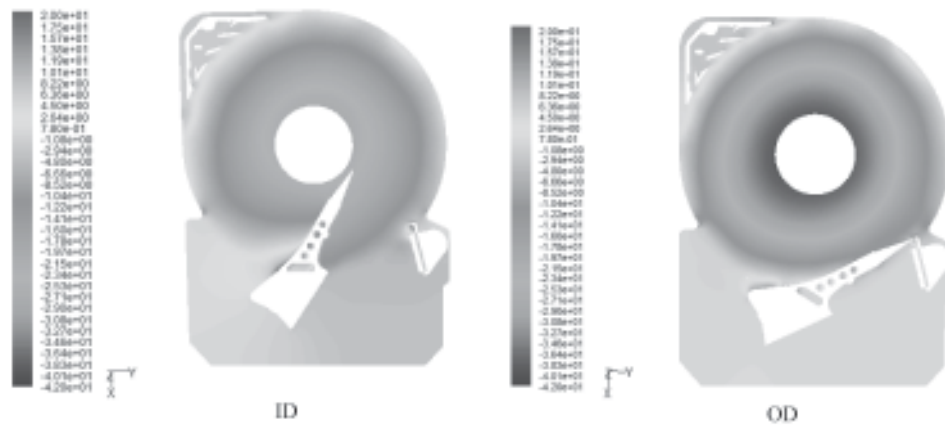
ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองแสดงให้เห็นถึงความดันที่ระนาบต่าง ๆ กัน 6 ระนาบดังแสดงในรูปที่ 3 ดังนี้ คือ ที่ระนาบบนแขนหัวอ่าน/เขียนบน ระนาบเดียวกันกับแขนหัวอ่าน/เขียนบน ระนาบใต้แขนหัวอ่าน/เขียนบน ระนาบเหนือแขนหัวอ่าน/เขียนล่าง ระนาบเดียวกันกับแขนหัวอ่าน/เขียนล่าง และระนาบใต้แขนหัวอ่าน/เขียนล่าง ผลที่ได้คือ จากรูปที่ 4 ถึงรูปที่ 9 แสดงค่าความดันที่ระนาบต่าง ๆ กันจะเห็นว่าความดันสถิตสูงสุดที่เกิดที่บริเวณแขนหัวอ่าน/เขียนที่ตำแหน่ง ID จะมากกว่าที่ตำแหน่ง OD ในทุก ๆ ระนาบ เนื่องจากว่าที่ตำแหน่ง ID หัวอ่านได้วางตัวขวางกั้นแนวการไหลของอากาศโดยเฉพาะตำแหน่งที่ใกล้กับขอบของแผ่นดิสก์ ซึ่ง ณ ตำแหน่งนี้การไหลของอากาศจะมีความรุนแรงมากกว่าบริเวณอื่น และที่มุมซ้ายบนของตัวฮาร์ดดิสก์ ซึ่งเป็นที่ติดตั้งของ Recirculation Filter ที่ใช้ในการดักเศษอนุภาคเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นในขณะที่

ฮาร์ดดิสก์อยู่ในสภาวะทำงาน จะพบว่ามีความดันค่อนข้างสูงเนื่องจากมีความดันไปอัดตัวกันที่บริเวณนั้น เช่นเดียวกันกับบริเวณโครงฮาร์ดดิสก์ด้านล่างที่มีพื้นที่ไม่เรียบจะเห็นว่าบริเวณซอกมุมต่าง ๆ ความดันก็มีค่าสูงเช่นกัน สิ่งที่พบอีกอย่างคือบริเวณแผ่นดิสก์ที่มีการหมุน ความดันที่บริเวณขอบของแผ่นดิสก์จะมีค่าเป็นบวกซึ่งหมายถึงความดันที่ทำให้เกิดแรงผลัก แต่บริเวณด้านในใกล้กับศูนย์กลางการหมุนจะมีค่าเป็นลบซึ่งหมายถึงความดันที่ทำให้เกิดแรงดูด

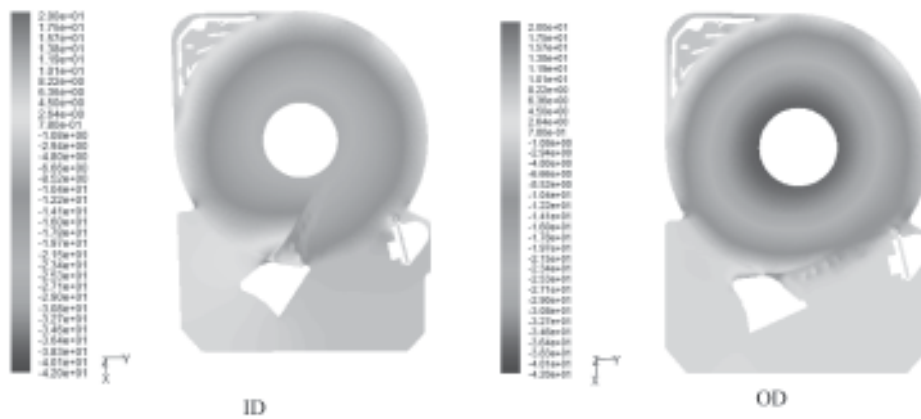
เมื่อพิจารณาถึงความดันที่เกิดขึ้นบนแขนของหัวอ่าน/เขียน (HSA) พบว่าที่ตำแหน่ง ID จะมีค่ามากกว่าที่ตำแหน่ง OD กล่าวคือที่ตำแหน่ง ID จะมีค่าความดันประมาณ 28.9 Pa, -36.2 Pa ที่บริเวณหมายเลข 1 และบริเวณหมายเลข 2 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 10 ในส่วนของที่ตำแหน่ง OD ความดันที่เกิดขึ้นประมาณ 13.8 Pa, -28.2 Pa ที่บริเวณหมายเลข 3 และหมายเลข 4 ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 11



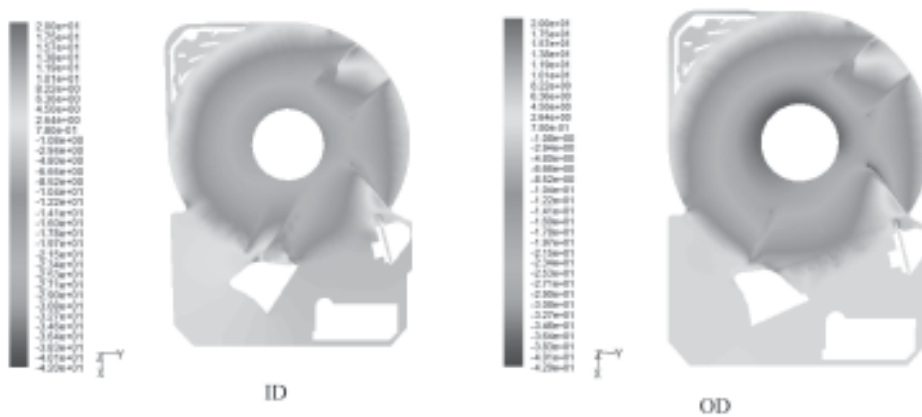
รูปที่ 4 ความดันที่ระนาบเหนือแขนหัวอ่าน / เขียนบน



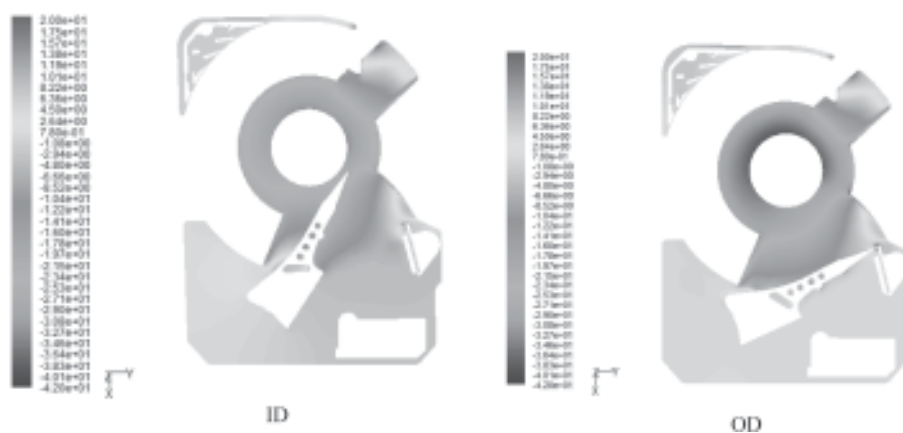
รูปที่ 5 ความดันที่ระนาบเดียวกันกับแกนหัวอ่าน / เขียนบน



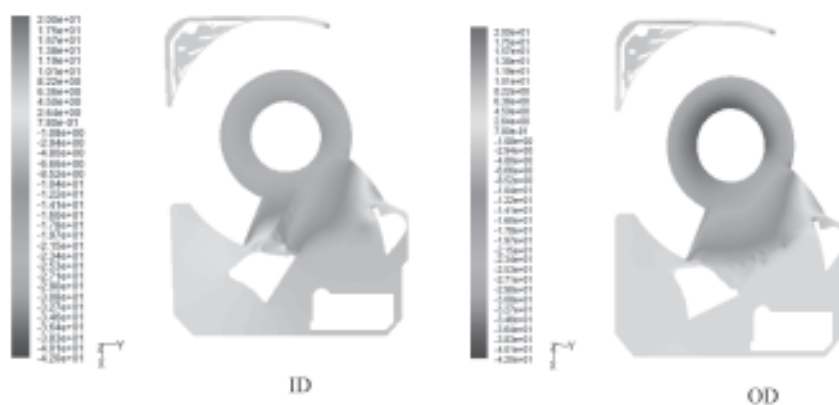
รูปที่ 6 ความดันที่ระนาบใต้แกนหัวอ่าน / เขียนบน



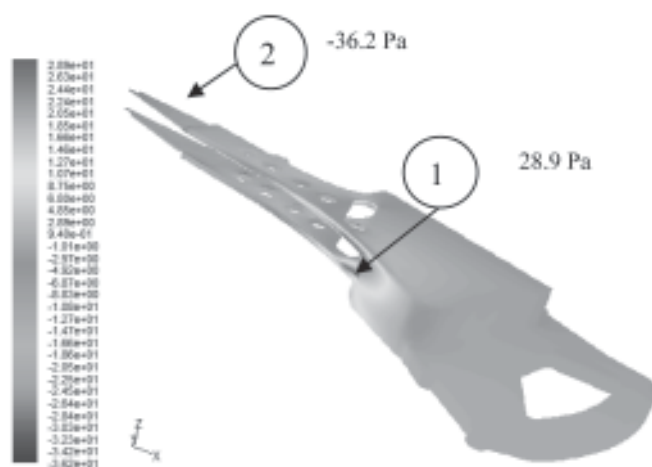
รูปที่ 7 ความดันที่ระนาบบนแกนหัวอ่าน / เขียนล่าง



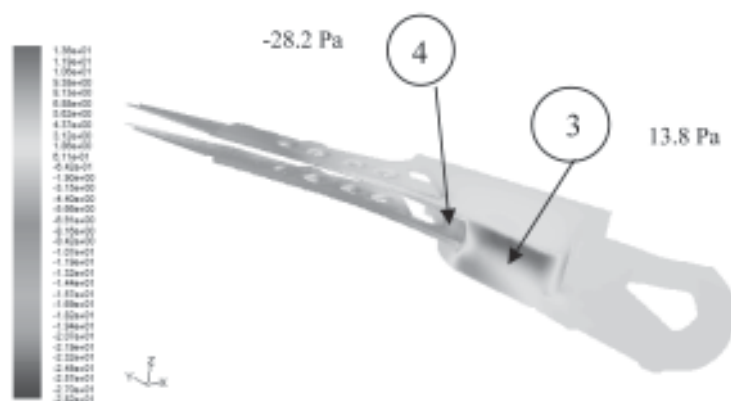
รูปที่ 8 ความดันที่ระนาบเดียวกันกับแกนหัวอ่าน / เขียนล่าง



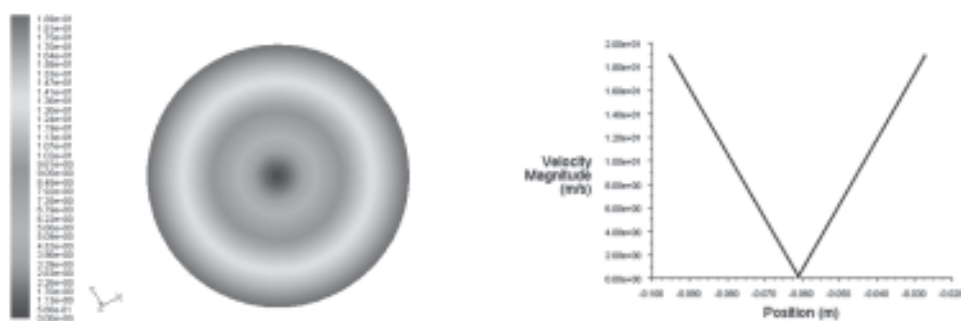
รูปที่ 9 ความดันที่ระนาบใต้แกนหัวอ่าน / เขียนล่าง



รูปที่ 10 ความดันที่เกิดขึ้นบนแกนของหัวอ่าน / เขียนที่ตำแหน่ง ID



รูปที่ 11 ความดันที่เกิดขึ้นบนแกนของหัวอ่าน / เขียนที่ตำแหน่ง OD

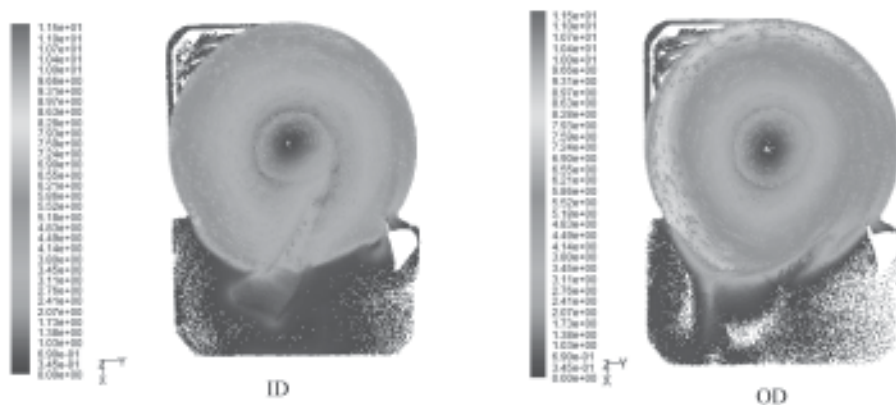


รูปที่ 12 แสดงความเร็วของแผ่นดิสก์ตามระยะรัศมีของแผ่นดิสก์

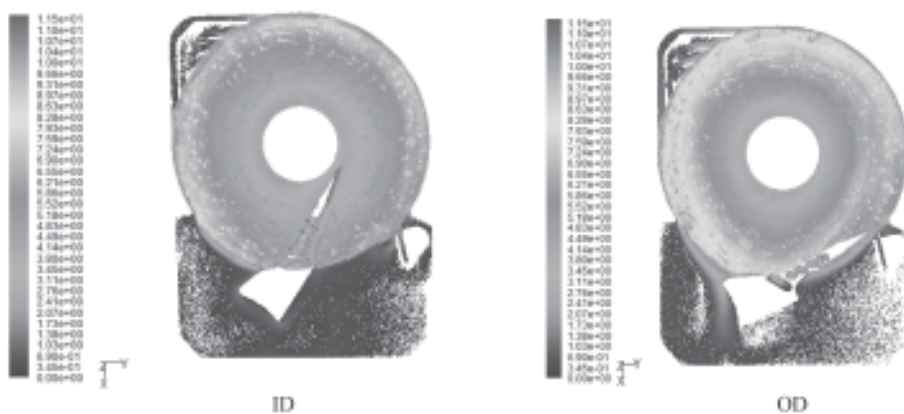
ความเร็วของอากาศที่ระนาบตัดต่าง ๆ ภายในฮาร์ดดิสก์

ความเร็วของอากาศที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์จะเกิดจากอิทธิพลของการหมุนของแผ่นดิสก์ โดยที่ความเร็วเชิงเส้นของแผ่นดิสก์จะมีความมากขึ้นตามรัศมีของแผ่นดิสก์ตามสมการ $V = \omega R$ เมื่อ V คือความเร็วเชิงเส้นของแผ่นดิสก์ ω คือความเร็วรอบการหมุนของแผ่นดิสก์ ในที่นี้คือ 5400 รอบต่อนาที และ R คือรัศมีของแผ่นดิสก์เท่ากับ 1.25 นิ้วและความเร็วสูงสุดคือ 17.95 เมตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 12 ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าความเร็วของอากาศจะมีความเร็วมากขึ้นตามรัศมีของแผ่นดิสก์ดังแสดงในรูปที่ 13 ถึง 18 ที่

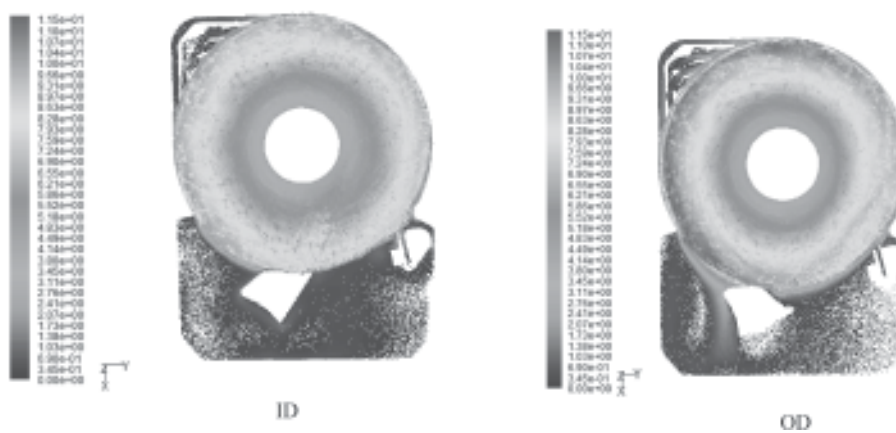
แสดงถึงระนาบทั้ง 6 ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยที่ตำแหน่ง OD จะมีความเร็วของอากาศเฉลี่ย มากกว่าตำแหน่ง ID เนื่องจากตำแหน่ง ID มีแกนหัวอ่าน/เขียนกันการเคลื่อนที่ของการไหล ในขณะที่ระนาบใกล้เคียงกับแผ่นดิสก์คือระนาบใต้แกนหัวอ่าน/เขียนบนและระนาบเหนือแกนหัวอ่าน/เขียนล่างความเร็วของอากาศจะมีความเร็วการไหลของอากาศมากกว่าระนาบที่เหลือนซึ่งมีความเร็วเฉลี่ยน้อยลง เมื่ออยู่ห่างจากแผ่นดิสก์เรื่อย ๆ ดังแสดงในรูปที่ 13 ถึงรูปที่ 18 และยังพบอีกว่าบริเวณด้านที่ห่างจากแผ่นดิสก์ออกไป (บริเวณใต้หัวอ่านลงไป) จะมีความเร็วเฉลี่ยน้อยมากเมื่อเทียบกับความเร็วของแผ่นดิสก์



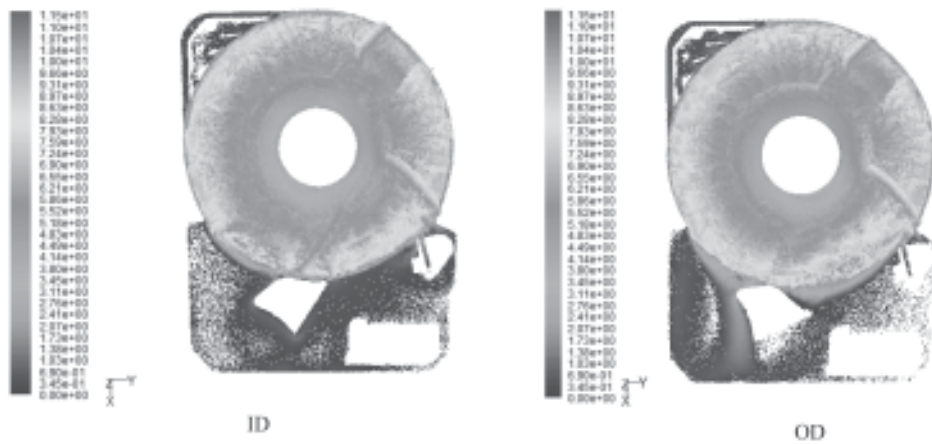
รูปที่ 13 ความเร็วของอากาศที่ระนาบเหนือแขนหัวอ่าน / เขียนบน



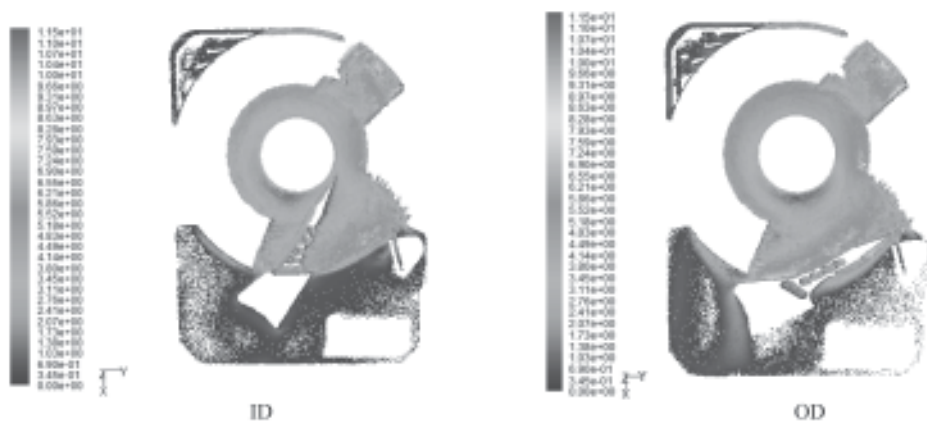
รูปที่ 14 ความเร็วของอากาศที่ระนาบตรงกับแขนหัวอ่าน / เขียนบน



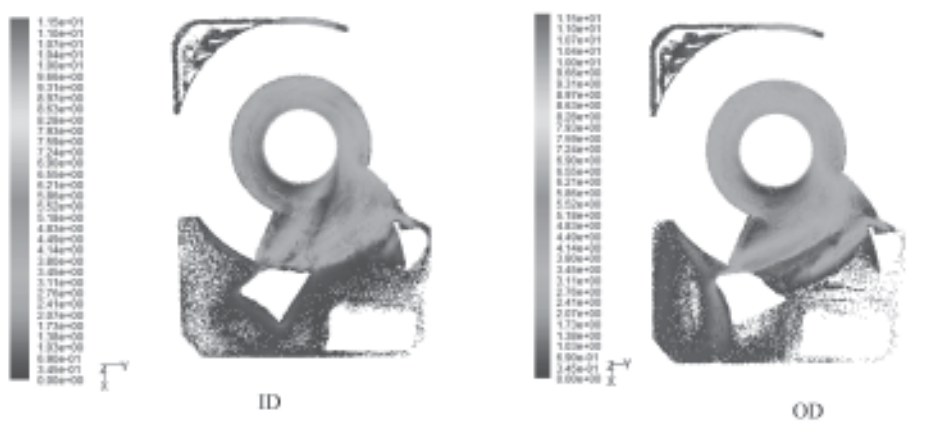
รูปที่ 15 ความเร็วของอากาศที่ระนาบใต้แขนหัวอ่าน / เขียนบน



รูปที่ 16 ความเร็วของอากาศที่ระนาบเหนือแขนหัวอ่าน / เขียนล่าง



รูปที่ 17 ความเร็วของอากาศที่ระนาบตรงกับแขนหัวอ่าน / เขียนล่าง



รูปที่ 18 ความเร็วของอากาศที่ระนาบใต้แขนหัวอ่าน / เขียนล่าง

สรุป

จากการศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้วผลที่ได้จะมีความคล้ายคลึงกับฮาร์ดดิสก์ขนาดอื่น ๆ ที่ได้มีผู้ที่ทำการศึกษามาแล้ว กล่าวคือ ณ ตำแหน่ง ID จะมีความดันสถิตสูงสุดเกิดขึ้นที่แขนหัวอ่าน/เขียนมากกว่าตำแหน่ง OD เนื่องจากตำแหน่ง ID แขนหัวอ่าน/เขียนได้วางตัวกันแนวการไหลของอากาศทำให้กระแสลมที่มาปะทะมีความรุนแรงโดยเฉพาะบริเวณขอบของแผ่นดิสก์ที่มีความรุนแรงของกระแสลมมากกว่าที่อื่น และเมื่อพิจารณาถึงความเร็วของอากาศที่เกิดขึ้นพบว่า ที่ระนาบตัดใกล้กับแผ่นดิสก์จะมีความเร็วมากที่สุดและจะลดน้อยลงเรื่อย ๆ เมื่อระนาบนั้นห่างจากแผ่นดิสก์ออกไป ในส่วนของความดันสถิตที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์พบว่าความดันสถิตที่เกิดขึ้นจะมีค่าเป็นลบ (แรงดูด) ที่บริเวณใกล้กับจุดศูนย์กลางของการหมุนแต่จะมีค่าเป็นบวก(แรงผลัก) เพิ่มขึ้นตามรัศมีของแผ่นดิสก์ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่าน/เขียน อันมีผลมาจากการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท Seagate Technology (Thailand) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์การท่วิจัย และขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาในการทำวิจัยครั้งนี้ ภายใต้โครงการพัฒนาทรัพยากรบุคคลในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์

เอกสารอ้างอิง

- Hayato Shimizu, Toshihiko Shimizu, Mikio Tokuyama, Hiromitsu Masuda, and Shigeo Nakamura. 2003. "Numerical investigation of Positioning Error Cause by Airflow-Induced Vibration of Head Gimbal Assembly in Hard Disk Drive" **IEEE Transaction on Magnetics**. Vol.39, No.2, March 2003.
- M.A. Suriadi, C.S. Tan, Q.D. Zhang, T.H. Yip, K. Sundaravadivelu. 2006. "Numerical investigation of airflow inside a 1-in hard disk drive". **Journal of Magnetism and Magnetic Materials** 303 (2006).
- Masayuki Tatewaki, Naozumi Tsuda and Tsugito Maruyama. 2001. "A Numerical Simulation of Unsteady Airflow in HDDs". **FUJITSU Sci. Tech. J.**, 37, 2, p.227-235.
- Shigenori Takada, Takashi Kusakawa, Norio Tagawa, Atsunobu Mori, Yoshiaki Mizoh, Masaru Nakakita. 2006. "Study on flow-induced vibration of head-disk assembly mechanisms in actual hard disk drive". **Springer-Verlag** 2006
- Yoshiyuki Hirono, Toshihiro Arisaka, Noriyo Nishijima, Toshihiko Shimizu, Shigeo Nakamura, and Hiromitsu Masuda. 2004. "Flow-Induced Vibration Reduction in HDD by Using a Spoiler". **IEEE Transactions on Magnetics**. Vol.40, No4, July 2004