บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. บทนำ

ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ นั้นเรียกได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญยิ่งของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีหน้าที่ สำหรับเก็บบันทึกข้อมูล ต่างๆของผู้ใช้งาน และในปัจจุบันนี้ ความต้องการเก็บบันทึกข้อมูลมิได้จำกัดอยู่แต่ในเฉพาะเครื่องคอมพิวเตอร์เท่านั้น ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ยังเข้าไปอยู่ในอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์อื่นๆ เช่น กล้องถ่ายรูปดิจิตอล กล้องวีดีโอ โทรทัศน์ โทรศัพท์มือถือ เครื่องเล่นเกมส์ และรถยนต์ เป็นต้น จะเห็นว่า ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ จะต้องมีการพัฒนาขึ้นไปเรื่อยๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งสิ่งที่ต้องพัฒนานั้น ได้แก่ ความสามารถในการจุข้อมูลให้ได้ในปริมาณมากขึ้น และความสามารถในการเข้าถึงข้อมูล (Access Time) ที่เร็วขึ้น ดังนั้น วิศวกรผู้ออกแบบจะต้อง ออกแบบหัวอ่านให้มีขนาดที่เล็กลง เพื่อที่จะเขียนข้อมูลให้ได้มากขึ้น ในพื้นที่ของแผ่นดิสก์ที่มีขนาดเท่าเดิม และยังต้องออกแบบให้แผ่นดิสก์หมุนด้วยความเร็วที่สูงขึ้น เพื่อเพิ่มความถี่ในการเขียนข้อมูล และเพิ่มความเร็วในการเข้าถึงข้อมูล จากเหตุผลนี้ ทำให้การไหลของอากาศที่เกิดขึ้นจากการหมุนด้วยความเร็วสูงของแผ่นดิสก์ มีผลกระทบถึงการสั่นสะเทือนของหัวอ่านเขียนข้อมูล เป็นสาเหตุที่ทำให้หัวอ่านเขียนข้อมูล ทำการเขียนและอ่านข้อมูลผิดพลาดได้

การสั่นสะเทือนของหัวอ่านเขียนข้อมูล ที่เกิดจากการไหลของอากาศภายใน ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ถือเป็นเรื่องสำคัญ ที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ซึ่งการวิเคราะห์การไหลของอากาศนั้น ในปัจจุบันนิยมใช้ การวิเคราะห์โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่เรียกว่า วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics; CFD) ส่วนในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนนิยมใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite Element Methods; FEM)

จากเหตุผลทั้งหมดในข้างต้น จึงเป็นที่มาของงาน วิจัยนี้ ซึ่งทำการศึกษาถึง การสั่นสะเทือนของหัวอ่านเขียนข้อมูลที่เกิดจากการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ขนาด 3.5 นิ้ว ที่ความเร็วรอบของแผ่นดิสก์ 7200 รอบต่อนาที แบบ 10 หัวอ่านเขียนข้อมูลโดยในขั้นต้นจะทำการศึกษาถึง การไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics; CFD) และจากนั้น จะทำการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Methods; FEM) โดยจะนำเอา ค่าความดันสถิตย์ ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวอ่าน ที่ได้จากการศึกษาการไหลของอากาศ มาใช้เป็น เงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition)

ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน และนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน มาสรุปเป็นผลการวิจัย

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและวิจัยในเรื่องของการไหลของอากาศภายใน ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ด้วยหลักการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนาณ **สุภชัย พลน้าเที่ยง และเกียรติฟ้า ตั้งใจจิต,** ได้ใช้ (RNG) K-epsilon Turbulence Model มาใช้ในการคำนวณ ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เป็นชนิด 1 แผ่นดิสก์ 2 หัวอ่านและมีความเร็วที่ 5400 รอบต่อนาที ผลปรากฏว่าความดันที่เกิดขึ้นภายในฮาร์ดดิสก์ ที่การวางตัวของแขนหัวอ่าน/เขียนในตำแหน่ง ID มีความดันเกิดขึ้นที่แขนหัวอ่าน/เขียนมากกว่าตำแหน่ง OD เนื่องจากการวางตัวของแขนหัวอ่าน/เขียน กั้นแนว การเคลื่อนที่ของอากาศ ส่วนความเร็วของอากาศที่เกิดขึ้นพบว่าที่ตำแหน่งใกล้กับแผ่นดิสก์จะมีการไหลของอากาศที่เร็วกว่าตำแหน่งที่ห่างออกไปจากแผ่นดิสก์, **ปราโมทย์ บุณยฤทธิชัยกิจ และ สิริวิชญ์ เตชะเจษฎารังษี** ได้มีการสร้างแบบจาลอง 3 มิติของการไหลในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 3.5 นิ้วทีความเร็วรอบ 7200 รอบต่อนาที ซึ่งมีความแตกต่างกัน 4 แบบคือ แบบจำลองที่มีและไม่มีตัวกั้นลม และจำแนกออกเป็นตำแหน่งของหัวอ่านอยู่ด้านในหรือด้านนอกแผ่นดิสก์โดยได้ทาการเปรียบเทียบถึงผลที่ทาการคำนวณด้วยแบบจำลองโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics; CFD) กับผลที่ได้จากการทดลองจากชิ้นงานจริง และนำเอาค่าความดันสถิตย์ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวอ่านที่ได้จากการศึกษาการไหลของอากาศมาเป็นเงื่อนไขขอบเขตุเพื่อคำนวณหารูปแบบความถี่ของการสั่นสะเทือนของหัวอ่านและขนาดของการเคลื่อนที่ที่ออกนอกแถบข้อมูลของหัวอ่าน ผลที่ได้คือค่าความเร็วสูงสุดของการไหลของอากาศ ที่ได้จากแบบจำลอง มีค่าเท่ากับ 35.8 m/s ซึ่งจะเกิดค่าสูงสุดที่บริเวณขอบนอกของแผ่นดิสก์ ค่าความดันสถิตที่ขอบด้านนอกของแผ่นดิสก์มีค่าเฉลี่ย 10 pa และค่าความดันสถิตด้านในของแผ่นดิสก์มีค่าเฉลี่ย –7 pa หัวอ่านที่ตำแหน่งด้านนอกของแผ่นดิสก์ จะถูกปะทะด้วยกระแสลมที่มีความเร็วกว่า ตำแหน่งด้านใน (31.2 m/s และ 10.8 m/s ตามลำดับ), **Suriadi et al.** ศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศในฮาร์ดดิสก์ขนาด นิ้วชนิด 1 แผ่นดิสก์ที่ความเร็วรอบ 3600 รอบต่อนาที ด้วย Standard k-epsilon พบว่าอากาศจะมีทิศไหลวนเข้าสู่ศูนย์กลางของแผ่นดิสก์ในตำแหน่งที่ใกล้กับแผ่นดิสก์และจะหมุนวนออกในตำแหน่งใกล้กับฝาครอบ, **Song et al.**ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการคำนวณจาก 3 Turbulence model ซึ่งมี Standard k-epsilon, RNG k-epsilon และ Reynolds Stress Method (RSM) พบว่า จากการคำนวณของ k-epsilon Turbulence model จะใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า RSM Turbulence model

เพราะ k-epsilon ใช้สมการเพียงแค่ 2 สมการในขณะที่ RSM ใช้สมการมากถึง 7 สมการ แต่ผลที่ได้จาก RSM จะมีความแม่นยำกว่า

Large Eddy Simulation (LES) Turbulence model เป็นการคำนวณด้วย หลักการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ที่มีความแม่นยาสูง แต่จะใช้ทรัพยากรและเวลาในการคำนวณอย่างมาก **Shimizu et al.** ทำการศึกษาการแปรผันของความดัน ที่เกิดจากการไหลของอากาศภายในฮาร์ดดิสก์ โดยใช้ ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ขนาด 3.5 นิ้วชนิด 1 แผ่นดิสก์ พบว่า การแปรผันของความดันที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมี 2 อย่างคือ 1. การแปรผันของความดันที่บริเวณแผ่นดิสก์กับด้านหน้าของSuspension มีผลทาให้เกิดการสั่นสะเทือนของ Suspension และ 2. การแปลผันความดันภายหลังจากการที่การไหลของอากาศได้ไหลผ่าน แขนของหัวอ่าน-เขียน ไปแล้วจะมีผล ทำให้เกิดการสั่นของแผ่นดิสก์

การศึกษาและวิจัยในเรื่องของการไหลของอากาศภายใน ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยใช้ระเบียบวิธีคำนวณการไหลปั่นป่วนที่สามารถจับรายละเอียดการหมุนวนที่ขึ้นกับเวลาที่เรียกว่า Large Eddy Simulation (LES) แล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้ ด้วยการวัดค่าจากตัวอย่างจริงได้มีการศึกษากันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยของต่างประเทศ **Kazemi, M. and Tokuda, A. (2007)** ได้ทำการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการเกิด Off-track Vibration ของชุดหัวอ่าน/เขียนข้อมูลที่เกิดจากการไหลวนของอากาศภายในฮาร์ดดิก์ไดรฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว ที่ความเร็วรอบในการหมุนของแผ่นมีเดีย 10000 รอบต่อนาที ซึ่งในการคำนวณนั้นจะคำนวณขณะที่หัวอ่าน/เขียนข้อมูลอยู่ภายนอกของแผ่นมีเดียโดยใช้ซอร์ฟแวร์สำเร็จรูป Fluent และการคำนวณแบบ Large Eddy Simulation (LES) ที่ Time step 3x10-6 วินาที และใช้ซอร์ฟแวร์สำเร็จรูป Ansys ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของขาหัวอ่าน/เขียนข้อมูลฮาร์ดดิสก์ต่อจากนั้นจึงใช้เครื่อง Laser Dropper Vibrometer (LDV) ในการวัดค่าในการสั่นสะเทือน ซึ่งความถี่ที่มีแนวโน้มจะก่อให้เกิดปัญหาสูงที่สุดมีสองความถี่คือ 8.8 kHz และ 17.6 kHz ต่อจากนั้น **Mohammad Kazemi (2008)** ได้ทาการศึกษาและวิจัยในเรื่องการสั่นสะเทือนของชุดหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว ที่ความเร็วรอบ 10000 รอบต่อนาที โดยใช้ซอร์ฟแวร์สำเร็จรูป Fluent โดยใช้ Large Eddy Simulation Model เพื่อดูรูปแบบการไหลของอากาศว่าส่งผลต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในฮาร์ดดิสก์อย่างไร แล้วนาค่าต่าง ๆ ที่ได้มาเป็นเงื่อนไขในการตรวจสอบผลกระทบที่เกิดขึ้นกับชุดของขาหัวอ่าน ที่ต่างกันโดยใช้ซอร์ฟแวร์สำเร็จรูป Ansys ปรากฏว่าแขนของส่วนประกอบหัวอ่านเขียนมีผลกระทบจากการไหลของอากาศมากที่สุด แต่ปัญหาการออกนอกแทรกของหัวอ่านเกิดจากการเกิด การหมุนวนของอากาศที่กระทบด้านข้างของแขนรับแรงของหัวอ่านเขียนข้อมูล

ในการศึกษาเรื่อง การสั่นสะเทือนที่เกิดจากการไหลของอากาศใน ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ นั้น **ฐิติมา จินตนาวัน (2544)** ได้ทาการศึกษาเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนทางกลของระบบ disk-spindle ในคอมพิวเตอร์ hard disk drive ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การสั่นในแนวระนาบของระบบ disk-spindle เกิดจากการแกว่ง และ precession ของแกนหมุนเป็นสาเหตุหลัก ปัจจุบัน มีการนาเอา Fluid dynamic bearings (FDBs) มาใช้ใน hard disk drive เพื่อช่วยลดการสั่นดังกล่าว และ hard disk drive ที่ใช้ FDBs ยังมีเสียงเงียบขึ้น แต่ FDBs จะยังมีปัญหาเรื่องการรั่วไหลของของเหลวในแบร์ริ่งอยู่, **เทวิน พ้นภัย และ ธีระ เจียศิริพงษ์กุล (2551) ได้**ศึกษาถึงการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่าน/เขียน (Actuator Arm) ในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางไฟไนต์อิลิเมนต์ เพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติ ของการสั่นสะเทือนในแขนหัวอ่าน/เขียน พร้อมกับเปรียบเทียบค่าที่ได้กับการทดสอบโดยการใช้ LDV (LaserDoppler Vibrometer) โดยการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่าน/เขียน จะถูกนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์ และตรวจสอบการสั่นสะเทือนโดยการใช้ LDV ซึ่งเป็นตัวตรวจจับการสั่นสะเทือนทางแสง เพื่อทำการหาค่าความถี่ธรรมชาติ (NaturalFrequencies) ของแขนหัวอ่าน/เขียน ที่มีเงื่อนไขของขอบเขต (Boundary Conditions) ที่เหมือนกัน **อนันทวิทย์ ตู้จินดา สุรเชษฐ์ ชุติมา และ เอกราช ปั่นแก้ว (2551)** ได้ศึกษาปัญหาการสั่นสะเทือนทางกลของซัสเพนชั่นซึ่งเป็นตัวยึดหัวอ่าน โดยจำลองซัสเพนชั่นด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่มีความยืดหยุ่นของแอร์แบริ่งอยู่ในรูปสปริงเชิงเส้น แล้วทาการคำนวณค่าความถี่ธรรมชาติ และรูปร่างการสั่นสะเทือน เพื่อเป็นแนวทางในการใช้กรรมวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ผสมผสานกับความรู้ด้านการสั่นสะเทือนเชิงกลช่วยในการตรวจสอบชิ้นงานและแก้ไขปัญหาในการผลิต และช่วยลดค่าใช้จ่ายรวมทั้งเวลาที่จะเกิดขึ้นจากการทดสอบชิ้นงานด้วยวิธีทางกายภาพ ส่วนในงานวิจัยของต่างประเทศ, **Shiong et al.** ได้ศึกษาการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบน Arm อันมีผลมาจากการไหลของอากาศในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ขนาด 3.5 นิ้ว ที่ความเร็วรอบ 3600,5400 และ 7200 รอบต่อนาที โดยใช้วิธี Large Eddy Simulation (LES) Turbulence model ของโปรแกรมสำเร็จรูป Fluent ในการคำนวณการไหล ของอากาศ และใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Ansys และ Matlab เพื่อทาการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของ **Arm, Shimizu et al.** ได้ศึกษาการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบน HGA (Head Gimbals Assembly) อันมีผลมาจากการไหลของอากาศใน ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยใช้ฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที โดยที่ ทำการคำนวณเรื่องของการไหลของอากาศด้วย หลักการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยใช้ Large Eddy Simulation (LES) Turbulence model และนำผลที่คำนวณได้ ไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณการสั่นสะเทือนของ HGA จากการทดลองสรุปได้ว่า มี 2 กลไกหลักที่เกี่ยวกับตำแหน่งของ หัวอ่าน คือ จุดหมุนของลมที่กระทำบริเวณขอบของ HGA ในขณะที่อยู่ในตำแหน่ง ID และ จุดหมุนของลมที่กระทำบริเวณขอบ

ของ E-BLK ในขณะที่อยู่ในตำแหน่ง OD โดยที่ ID นั้นจะเกิดที่ความถี่ค่อนข้างสูงและค่อนข้างเด่น ส่วนที่ OD นั้นความถี่จะต่ำกว่า และมีหลายความถี่เกิดขึ้น การเกิดปรากฏการณ์ ที่ ID นั้นสามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการออกแบบที่เหมาะสม

3. สรุปผล

การผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มักพบปัญหาที่เกี่ยวเนื่องกับการสั่นสะเทือนของหัวอ่าน/เขียนข้อมูลซึ่งถือว่าเป็นชิ้นส่วนสาคัญ เพราะทาหน้าที่ในการอ่านและเขียนข้อมูลลงบนแผ่นมีเดีย โดยหัวอ่านจะลอยตัวอยู่เหนือแผ่นมีเดีย ด้วยแรงดันอากาศที่เกิดจากอากาศไหลวนเหนือแผ่นมีเดีย หรือที่เรียกว่าแอร์แบริ่ง (Air Bearing) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ชนิดสิบหัวอ่าน/เขียนข้อมูล ตามที่ความจุในการเก็บข้อมูลที่เพิ่มขึ้นซึ่งสืบเนื่องมาจากการบีบอัดขนาดของหัวอ่าน/เขียนและการลดระยะของการลอยตัวลงซึ่งส่งผลให้เกิดการกระแทกของหัวอ่าน/เขียนกับแผ่นมีเดียอยู่บ่อยครั้ง ปัจจุบันมีการวิจัยอย่างกว้างขว้างเพื่อศึกษาและควบคุมผลกระทบจากการไหลวนของอากาศที่ทาให้เกิดการสั่นสะเทือนของหัวอ่าน/เขียน ซึ่งความจำเป็นเร่งด่วนของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

มีงานวิจัยของต่างประเทศบางส่วนที่ศึกษาการไหลที่ใช้ระเบียบวิธีของไหลเชิงคำนวณแบบ Large Eddy Simulation (LES) ที่ความเร็วและความดันเปลี่ยนแปลงตามเวลาแต่เป็นฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้วที่ความเร็วรอบ 10000 รอบต่อนาที และ เป็นแบบแปดหัวอ่านเขียนข้อมูลแต่ยังไม่มีงานวิจัยที่ความเร็ว 7200 รอบต่อนาทีชนิดสิบหัวอ่าน/เขียนข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อศึกษาอย่างต่อเนื่องในประเด็นปัญหานี้บนฮาร์ดดิสก์ 3.5 นิ้ว แบบสิบหัวอ่านเขียนข้อมูล ที่ความเร็วรอบ 7200 รอบต่อนาที โดยใช้ระเบียบวิธีคานวณการไหลปั่นป่วนที่สามารถจับรายละเอียดการหมุนวนที่ขึ้นกับเวลาที่เรียกว่า Large Eddy Simulation (LES) โดยนำผลการคำนวณหาความเร็วและความดันที่เปลี่ยนแปลงตามเวลามาเป็นแรงที่กระตุ้นในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน จากรายละเอียดของแรงกระตุ้นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่มากขึ้นจะส่งผลให้การวิเคราะห์พฤษติกรรมของการสั่นสะเทือนของหัวอ่าน/เขียนได้อย่างถูกต้องและแม่นยำขึ้น ซึ่งผลที่ได้จะช่วยในการหาวิธีการควบคุมปัญหาการสั่นสะเทือนนี้ต่อไป