

การออกแบบสับเบอร์เพื่อช่วยลดการสั่นของแผ่นดิสก์ในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์
ภายใต้ผลกระทบของแรงกระแทกขณะฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ไม่ทำงาน

นางสาวเจษสุดา ตรีธารทิพย์กุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2555

**DESIGN OF SNUBBERS FOR REDUCING THE
VIBRATION OF DISK IN HDD UNDER THE
INFLUENCE OF NON-OPERATION
SHOCK**

Chetsuda Treethanthipkun

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechatronic
Suranaree University of Technology
Academic Year 2012**

การออกแบบสัปดาห์เบอร์เพื่อช่วยลดการสิ้นของแผ่นดิสก์ในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์
ภายใต้ผลกระทบของแรงกระแทกขณะฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ไม่ทำงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสริญผล)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.กীরติ สุกข์ขันธ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.เผด็จ เผ่าละออ)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เจษฎา ตรีธารทิพย์กุล : การออกแบบสแนบเบอร์เพื่อช่วยลดการสั่นของแผ่นดิสก์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ภายใต้ผลกระทบของแรงกระแทกขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงาน (DESIGN OF SNUBBERS FOR REDUCING THE VIBRATION OF DISK IN HDD UNDER THE INFLUENCE OF NON-OPERATION SHOCK) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิริติ สุลักษณ์, 76 หน้า.

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่มีความสำคัญในเครื่องคอมพิวเตอร์ การป้องกันแผ่นดิสก์จากแรงกระแทกจึงมีความสำคัญที่ต้องพิจารณาเพื่อนำไปสู่การป้องกันข้อมูลให้มีความปลอดภัย งานวิจัยนี้ศึกษาและออกแบบสแนบเบอร์ (Snubber) บนฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Base plate) ขนาด 3.5 นิ้ว เพื่อป้องกันความเสียหายของข้อมูลบนแผ่นดิสก์ภายใต้ผลกระทบของแรงกระแทกขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงาน ระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกใช้เพื่อจำลองพฤติกรรมของผลดังกล่าวใน 2 กรณี คือ 1) ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีสแนบเบอร์ และ 2) ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีสแนบเบอร์ และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับการทดลองจริง ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่าสแนบเบอร์ช่วยป้องกันการกระแทกระหว่างส่วนที่จัดเก็บข้อมูลบนแผ่นดิสก์กับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงานได้ จึงเป็นการช่วยปกป้องความเสียหายของข้อมูล

CHETSUDA TREETHANTHIPKUN : DESIGN OF SNUBBERS FOR
REDUCING THE VIBRATION OF DISK IN HDD UNDER THE
INFLUENCE OF NON-OPERATION SHOCK. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. KEERATI SULUKSNA, Ph.D., 76 PP.

FEA/ SNUBBER/ FAILURE/ NON-OPERATION SHOCK/ HDD

The Hard disk drive (HDD) is an important device for data storage in the computers. The protection of HDD from the shock conditions is necessary to consider for prevent the data damage and the shock response of the HDD is a serious design consideration. This research examines and design of the snubber on the 3.5 in-HDD base plate to protect the data damage of disk from non-operation shock. The finite element model of the HDD was developed to investigate the response of the HDD to linear drop. The simulations are performed for both with the snubber and without the snubber on HDD models. The numerical simulation result and experimental result are compared and presented. The results show the snubber can protect the data zone on disk contact the base plate under the influence of non-operation shock.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2012

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงมิได้หากไม่ได้รับความกรุณา ความช่วยเหลือ ทางด้านทุนการศึกษา การให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง ดั่งนั้นจึงขอขอบพระคุณบุคคลและหน่วยงานเหล่านี้

บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้มอบทุนสนับสนุนการศึกษา Hard Disk Drive Institute คุณรุ่ง ศิวรัตน์ คุณ ChiMing Tan คุณปราโมทย์ บุญยฤทธิชัยกิจ คุณสุรียา สุภา และคุณรัตนสิทธิ์ ใจศิลป์ วิศวกรประจำบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด ที่อนุเคราะห์ข้อมูลความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่ของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และคำแนะนำในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก ดร.วรพจน์ ขำพิศ รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชานีประศาสน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล ที่ได้คำแนะนำทางด้านวิชาการ แนวทางในการดำเนินการวิจัยที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย

อาจารย์ ดร.กิริติ สุกฤษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความรู้ ช่วยเหลือสนับสนุนให้คำปรึกษาและชี้แนะทางในการทำการวิจัย จนทำให้ผู้วิจัยฟันฝ่าอุปสรรคต่างๆไปได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยมาตลอด จนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิต

เจษฎา ตริธารทิพย์กุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย	3
1.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ทัศนั้วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ (Hard Disk Drive, HDD).....	4
2.2 โครงสร้างของแผ่นดิสก์ (Disk)	12
2.3 ระเบียบวิธีทางไฟไนท์อิลลิเมนต์สามมิติ	13
2.4 การวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงสร้าง.....	17
2.5 อิลลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาแบบสามมิติ	20
2.6 การสัมผัสในระเบียบวิธีทางไฟไนท์อิลลิเมนต์.....	25
2.7 วิธีการวิเคราะห์คำนวณเชิงตัวเลขทางพลวัต (Dynamic Analysis By Numerical Integration).....	30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	35
3.1 ศึกษากลไกการสัมผัสระหว่างพื้นที่ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลบนแผ่นดิสก์กับ ฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ขณะฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ได้รับแรงกระแทก	36
3.1.1 เครื่องมือสำหรับใช้ทดสอบการตกกระแทก (Shock tower)	36
3.1.2 เครื่องมือสำหรับใช้ตรวจสอบความเสียหายของแผ่นดิสก์.....	37
3.2 จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ แบบไม่มีสแน็บเบอร์	39
3.3 สร้างแบบจำลองฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์ด้วยโปรแกรม วิเคราะห์ไฟไนท์เอลิเมนต์	39
3.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลองของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ แบบไม่มีสแน็บเบอร์	42
3.5 สร้างแบบจำลองฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ด้วยโปรแกรม วิเคราะห์ไฟไนท์เอลิเมนต์	42
3.5.1 การสร้างแบบจำลองฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์	42
3.5.2 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความเสียหายของข้อมูลบนแผ่นดิสก์	45
3.6 จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ แบบไม่มีสแน็บเบอร์	45
4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล.....	46
4.1 ผลการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์	46
4.2 ผลของไฟไนท์เอลิเมนต์จำลองการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ แบบไม่มีสแน็บเบอร์	47
4.3 ผลของไฟไนท์เอลิเมนต์จำลองการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ แบบมีสแน็บเบอร์	48

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.1 การออกแบบความสูงของส้นเบอร์ให้มีความสูง สูงกว่าความสูง ของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล (แบบ ก.).....	49
4.3.2 การออกแบบความสูงของส้นเบอร์ให้มีความสูง ต่ำกว่าความสูง ของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล (แบบ ข.).....	50
4.3.3 การออกแบบความสูงของส้นเบอร์ให้มีความสูงเท่ากับความสูง ของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล (แบบ ค.).....	51
4.4 ผลการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีส้นเบอร์ (แบบ ค.).....	52
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผลงานวิจัย	54
5.1.1 ผลการศึกษาการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีส้นเบอร์ ขณะไม่ทำงานด้วยวิธีไฟในท์อัลลิเมนต์	54
5.1.2 ผลการศึกษาการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีส้นเบอร์ ขณะไม่ทำงานด้วยวิธีไฟในท์อัลลิเมนต์	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	55
รายการอ้างอิง	56
ภาคผนวก	58
ภาคผนวก ก. การทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ภายหลังการตกกระแทก	58
ภาคผนวก ข. ความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงกับค่าความเร่ง (G)	65
ภาคผนวก ค. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา.....	67
ประวัติผู้เขียน.....	76

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ค่าสมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาทำฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....	40
3.2	ค่าสมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาทำแผ่นดิสก์.....	40
ข.1	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงกับค่าความเร่ง (G).....	66



สารบัญรูป

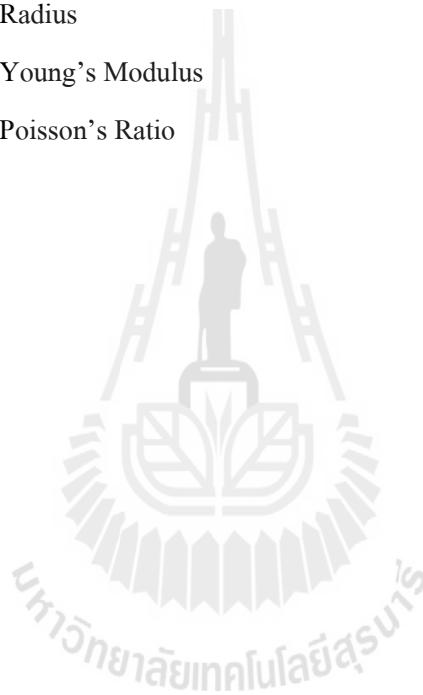
รูปที่	หน้า
2.1	รูปตัดขวางของพื้นผิวที่มีคุณสมบัติของแม่เหล็กที่เก็บข้อมูลโดยใช้ทิกของ สนามแม่เหล็กแทนรหัส 0 หรือ 1.....5
2.2	การเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบแนวตั้งและแบบแนวนอน5
2.3	การเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นโค้งของหัวอ่าน/เขียน6
2.4	ส่วนประกอบต่างๆในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....8
2.5	โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....12
2.6	การแบ่งชั้นของแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....13
2.7	อิลลิเมนต์แบบลูกบาศก์ Hexahedron 8 โหนด21
2.8	ลักษณะการสัมผัสของพื้นผิวอิสระ25
2.9	ลักษณะการสัมผัสแบบวัตถุแข็ง.....26
2.10	Extra DOF (Contact Pressure)27
2.11	ลักษณะของสถานะหน้าสัมผัส.....27
2.12	การตรวจจับอนุพันธ์แบบจุด28
2.13	การตรวจจับอนุพันธ์แบบจุด ใช้โนดอลติเทคชั้น28
2.14	การตรวจจับอนุพันธ์แบบจุดที่บริเวณพื้นผิว29
3.1	ขั้นตอนดำเนินการวิจัย35
3.2	โครงสร้างส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....36
3.3	เครื่อง Shock tower.....37
3.4	เครื่อง Optical Surface Analyzer38
3.5	กล้องจุลทรรศน์38
3.6	ฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์39
3.7	แบบจำลองของโมเดลสามมิติทดสอบการตกกระทบของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์40
3.8	แบบจำลองของเมชโมเดลฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์.....41
3.9	แบบจำลองของการกำหนดเงื่อนไขทดสอบการตกกระทบของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ใน ทิศทางแนวตั้ง.....42

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 ความสูงของสแน็บเบอร์ดที่มีความสูง สูงกว่าความสูงของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล.....	43
3.11 ความสูงของสแน็บเบอร์ดที่มีความสูง ต่ำกว่าความสูงของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล (แบบ ข.).....	43
3.12 ความสูงของสแน็บเบอร์ดที่มีความสูง เท่ากับความสูงของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล (แบบ ค.).....	44
3.13 แบบจำลองของเมฆโมเดลฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ด	44
3.14 ฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ด.....	45
4.1 ผลการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์ด	46
4.2 บริเวณข้อมูลที่เกิดการสัมผัสกับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (50X).....	47
4.3 ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนท์อิลลิเมนต์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์ด	48
4.4 การวิเคราะห์ทางไฟไนท์อิลลิเมนต์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ด (แบบ ก.).....	49
4.5 การวิเคราะห์ทางไฟไนท์อิลลิเมนต์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ด (แบบ ข.).....	50
4.6 ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนท์อิลลิเมนต์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ด (แบบ ค.).....	51
4.7 ผลการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์แบบมีสแน็บเบอร์ด (แบบ ค.)	52
4.8 บริเวณขอบด้านนอกสุดของแผ่นดิสก์ที่ไม่มีการจัดเก็บข้อมูลเกิดการสัมผัสกับสแน็บเบอร์ด ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 50x).....	53
ก.1 ขั้นตอนการตรวจสอบการอ่านสัญญาณของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์	59
ก.2 เครื่องตรวจสอบความเสียหายของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบอัตโนมัติ (GEMINI).....	60
ก.3 เครื่องจับสัญญาณฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ (Oscilloscopes)	61
ก.4 แสดงความผิดปกติของการอ่านสัญญาณจากฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์ด	62
ก.5 ลักษณะความเสียหายของข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์.....	62
ก.6 ตำแหน่งความเสียหายของข้อมูลบนแผ่นดิสก์	63
ก.7 ความปกติของการอ่านสัญญาณจากฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ด.....	63
ก.8 ลักษณะความปกติของข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์	64

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

FEA	=	Finite Element Analysis
G	=	Gravity (m/s^2)
HDD	=	Hard Disk Drive
OSA	=	Optical Surface Analyzer
R	=	Radius
E	=	Young's Modulus
ν	=	Poisson's Ratio



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แรงกระแทกและการสั่นสะเทือนเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยากสำหรับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่อยู่ในรูปแบบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ เช่น ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบพกพา (External hard disk drive), คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop), กล้องวิดีโอ (Digital video camera) เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นต่อผู้บริโภคที่อยู่ในยุคแห่งเทคโนโลยี ดังนั้นการศึกษาผลกระทบของส่วนประกอบภายในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เมื่อได้รับแรงกระแทกจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ ทั้งนี้เพื่อนำไปสู่การคิดค้นวิธีการป้องกันและการออกแบบที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ให้สามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดีขึ้น

ลักษณะโดยทั่วไปของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ แผ่นดิสก์จะถูกประกอบเข้ากับแกนของมอเตอร์ที่อยู่ติดกับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ โดยบริเวณขอบด้านนอกของแผ่นดิสก์จะถูกปล่อยเป็นอิสระ ดังนั้นลักษณะการประกอบแผ่นดิสก์เข้ากับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จึงเปรียบเสมือนคานที่ถูกยึดไว้ด้านหนึ่งและปล่อยให้ปลายอีกด้านหนึ่งเป็นอิสระ ในการออกแบบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการอ่านและการเขียนของหัวอ่าน/เขียนเนื่องจากหัวอ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จะต้องใช้แรงลมในการพยุงและทรงตัวให้อยู่เหนือพื้นผิวของแผ่นดิสก์ในระยะที่เหมาะสม ดังนั้นฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จึงต้องทำการออกแบบให้มีการกระจายแรงลมได้ดี เพื่อให้การกระจายของแรงลมเป็นไปอย่างเหมาะสมนั้น ฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จึงถูกออกแบบให้มีพื้นผิวสูงหรือต่ำ เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดทิศทางของลม จากลักษณะพื้นผิวดังกล่าวจึงเป็นจุดก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเสียหายของข้อมูลเมื่อฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ได้รับแรงกระแทกจากภายนอก

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เพื่อให้สามารถปกป้องข้อมูลบนแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จากแรงกระแทกโดยทำการติดตั้งสับเบอร์ดบนฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ซึ่งสับเบอร์ดดังกล่าวคือ การเพิ่มเนื้อที่ของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ให้สูงขึ้นในตำแหน่งที่ตรงกับขอบด้านนอกสุดของแผ่นดิสก์ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีการจัดเก็บข้อมูล โดยเลือกกระทำงานวิจัยนี้กับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว มี 2 หัวอ่าน/เขียน และ 1 แผ่นดิสก์ ภายใต้ผลกระทบของแรงกระแทกขณะฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ไม่ทำงาน โดยให้ลักษณะของแรงเป็นการตกกระแทกแบบเชิงเส้น (Linear drop) ในทิศทางแนวตั้ง ลักษณะของแรงกระทำดังกล่าวสามารถทำให้แผ่นดิสก์เกิดการโก่งตัวจนกระทบ

กับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นสาเหตุให้ข้อมูลที่จัดเก็บบนแผ่นดิสก์เกิดความเสียหายได้ การวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่หนึ่ง การใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนท์ออลิเมนต์ โดยได้นำ ANSYS Workbench เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวมีประสิทธิภาพที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านโครงสร้างได้ดี พร้อมทั้งมีส่วนช่วยลดเวลาและต้นทุนในการทดสอบ

ส่วนที่สอง การทดลองจริงเพื่อยืนยันผลของไฟไนท์ออลิเมนต์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาผลกระทบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive, HDD) ที่มีต่อแรงกระทำในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงาน
- 2) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลของแรงกระทำที่มีต่อแผ่นดิสก์ โดยใช้ระเบียบวิธีการทางด้านไฟไนท์ออลิเมนต์
- 3) เพื่อหาความสัมพันธ์ของฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Base plate) เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้สามารถป้องกันความเสียหายของข้อมูลบนแผ่นดิสก์เมื่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้รับแรงกระทำ ทั้งนี้เพื่อให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีประสิทธิภาพในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) ศึกษาเกี่ยวกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว, 1 แผ่นดิสก์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด
- 2) งานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบผลของการจำลองทางไฟไนท์ออลิเมนต์กับการทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการการทดสอบของบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด
- 3) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และแผ่นดิสก์ กระทำด้วยโปรแกรม Solid Work
- 4) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้ในการจำลองแรงกระทำ กระทำด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench
- 5) การวิเคราะห์กระทำภายใต้เงื่อนไขที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงาน (Non-Operational hard disk drive)
- 6) การจำลองการตกกระแทกในงานวิจัยนี้กำหนดให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตกสู่พื้นที่มีความแข็งในลักษณะเชิงเส้น (Linear drop)

- 7) การจำลองกำหนดให้พื้นผิวที่ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ตกกระทบเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid body) โดยพิจารณาให้พื้นผิวมีความแข็งแรงมากเมื่อเทียบกับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ และเลือกพิจารณาชิ้นส่วนหลักเพียง 2 ส่วน คือ แผ่นดิสก์ และฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์บางส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการศึกษาจะถูกตัดออกเพื่อประหยัดเวลาและทรัพยากรคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์

1.4 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

- 1) ศึกษาและเก็บข้อมูลของวัสดุและลักษณะทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์
- 2) สร้างแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์เพื่อทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการโก่งตัวของแผ่นดิสก์เมื่อได้รับแรงกระแทกจากภายนอก
- 3) ออกแบบการทดลองและสร้างแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนต์เพื่อทำการวิเคราะห์ผลความเสียหายของแผ่นดิสก์ระหว่างฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่มีและไม่มีสนับเบอร์
- 4) ทำการวิเคราะห์ผลและปรับปรุงขนาดของสนับเบอร์ให้เหมาะสม
- 5) วิเคราะห์ผลการวิจัย สรุปผล จัดทำรายงานและนำเสนอผลงานการวิจัย

1.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) เครื่อง Optical Surface Analyzer (OSA) ใช้สำหรับตรวจสอบความเสียหายของข้อมูลบนแผ่นดิสก์
- 2) กล้องไมโครสโคป (Microscope)
- 3) คอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์ : Solid Work และ ANSYS Workbench

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงพฤติกรรมการโก่งตัวของแผ่นดิสก์เมื่อได้รับแรงกระแทกจากภายนอกซึ่งสามารถนำไปสู่การออกแบบฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ได้
- 2) ช่วยปกป้องความเสียหายของข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์โดยการควบคุมพฤติกรรมการโก่งตัวของแผ่นดิสก์ให้อยู่ในระยະที่เหมาะสม พร้อมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ให้ดีขึ้น
- 3) ช่วยลดเวลาในการทดสอบประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ก่อนผลิตงานจริง
- 4) สามารถนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาปรับปรุงและออกแบบฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ให้มีประสิทธิภาพการใช้งานดียิ่งขึ้นในผลิตภัณฑ์ในอนาคต

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive, HDD)

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถเรียกได้หลายชื่อ เช่น ฮาร์ดไดรฟ์ (Hard drive), ฮาร์ดดิสก์ (Hard disk) หรือ ฟิกซ์ดิสก์ไดรฟ์ (Fixed disk drive) ทำหน้าที่บันทึกและอ่านข้อมูลเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของคอมพิวเตอร์ที่สามารถเก็บรักษาข้อมูลได้แม้ขณะที่ไม่มีกำลังไฟฟ้าป้อนให้ก็ตาม ข้อมูลต่างๆจะถูกบันทึกลงบนแผ่นแพตเตอร์ (platter) ที่มีพื้นผิวมีคุณสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการเก็บข้อมูลจะเก็บในรูปรหัสดิจิทัลลงบนแผ่นดิสก์กลมแบนที่หมุนอย่างรวดเร็วซึ่งก็คือแผ่นแพตเตอร์

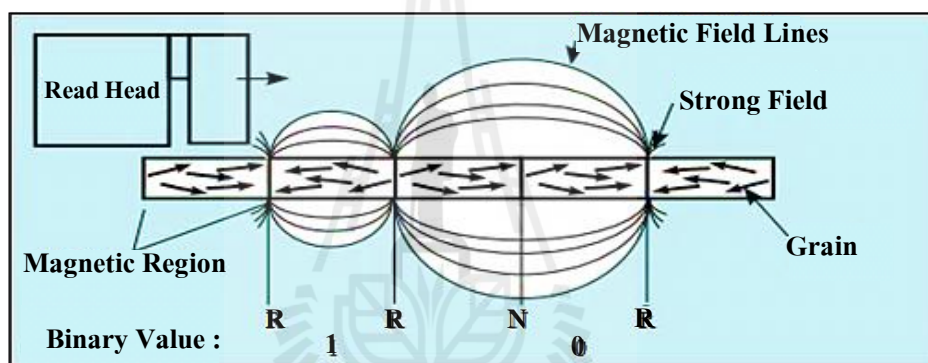
2.1.1 ประวัติและความเป็นมาของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เริ่มนำมาเผยแพร่ในทางการค้าเมื่อปี 1956 โดยคอมพิวเตอร์เครื่องแรกที่ใช้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีหัวอ่านและหัวเขียนเคลื่อนที่ได้ คือ IBM 305 RAMAC ซึ่งใช้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รุ่น IBM Model 350 เป็นระยะเวลาหลายปีที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีขนาดใหญ่ อุปกรณ์มีน้ำหนักมากและการใช้กำลังไฟฟ้าที่มากเกินไป จึงเหมาะสมกับการใช้ในสำนักงานที่มีขนาดใหญ่กว่าสำนักงานที่มีขนาดเล็กหรือตามบ้านเรือน ก่อนช่วงต้นปี 1980 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีแพตเตอร์ขนาด 8 นิ้ว หรือ 14 นิ้ว ต้องใช้พื้นที่และกำลังไฟฟ้ามก ด้วยเหตุนี้ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้กับคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก จนกระทั่งหลังปี 1980 เมื่อซีเกตเทคโนโลยี (Seagate Technology) ได้เสนอฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รุ่น ST-506 ซึ่งมีขนาด 5.25 นิ้วรุ่นแรกที่สามารถเก็บข้อมูลได้ 5 เมกกะไบต์

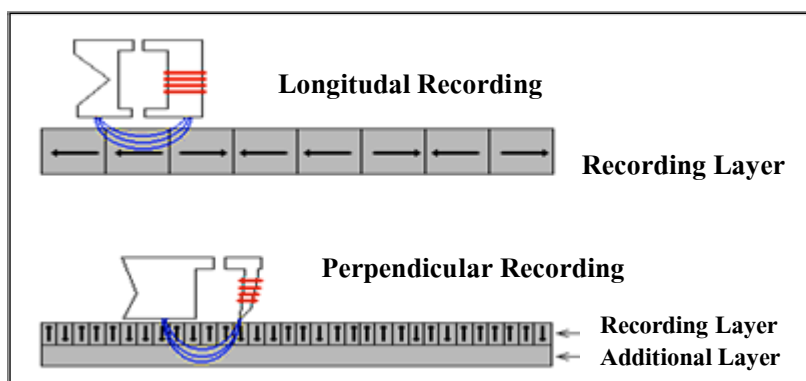
ความสามารถในการเก็บข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก็เติบโตอย่างรวดเร็ว ในช่วงเริ่มต้นของการพัฒนาคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถเก็บข้อมูลได้ 20 เมกกะไบต์ ซึ่งถือว่ามีความจุมากแล้ว จนกระทั่งระหว่างกลางปี 1990 ถึงช่วงท้ายปี 1990 เมื่อคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลต้องมีความสามารถเก็บข้อมูลที่ไม่เพียงแต่เป็นข้อมูลที่เป็นข้อความ เอกสาร แต่ยังคงเก็บข้อมูลที่เป็นรูปภาพ เพลงและวิดีโอได้ ดังนั้นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงถูกสร้างให้มีความสามารถในการเก็บข้อมูลได้ 8-20 กิกะไบต์ ในช่วงท้ายปี 2007 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีความสามารถในการเก็บข้อมูล 100-500 กิกะไบต์ ขณะที่ความสามารถในการเก็บข้อมูลสูงสุดอยู่ที่ 1 เทราไบต์

2.1.2 เทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ทำการจัดเก็บข้อมูลโดยใช้ทิศของสนามแม่เหล็กแทนรหัส 0 หรือ 1 ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และอ่านข้อมูลกลับโดยใช้วัสดุที่ตรวจจับความเป็นแม่เหล็กได้ ตัวอย่างการออกแบบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ประกอบด้วยสปินเดิล (Spindle) ซึ่งยึดติดเพลตเตอร์จำนวนหนึ่งแผ่น หรือมากกว่าหนึ่งแผ่น เพลตเตอร์ทำจากวัสดุที่ไม่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก เช่น อลูมิเนียมอัลลอย (Aluminum alloy) หรือแก้ว และถูกเคลือบด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก โดยในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการเก็บข้อมูลจากการเก็บข้อมูลแบบแนวนอน (Longitudinal Recording) มาเป็นแบบการเก็บข้อมูลแบบแนวตั้ง (Perpendicular Recording) ซึ่งทำให้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์สามารถเก็บข้อมูลได้มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2

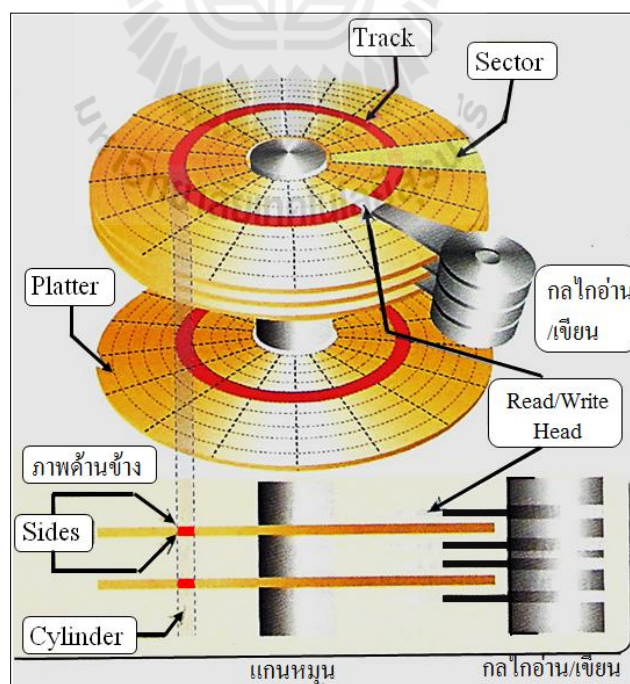


รูปที่ 2.1 รูปตัดขวางของพื้นผิวที่มีคุณสมบัติของแม่เหล็กที่เก็บข้อมูลโดยใช้ทิศของสนามแม่เหล็ก แทนรหัส 0 หรือ 1



รูปที่ 2.2 การเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบแนวตั้งและแบบแนวนอน

แพลตฟอร์มซึ่งหมุนด้วยความเร็วรอบสูง ข้อมูลจะถูกบันทึกลงบนแพลตฟอร์ม ขณะที่มันหมุนผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่าหัวอ่าน/เขียน (Head) ซึ่งทำงานโดยลอยอยู่เหนือพื้นผิวที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กของแพลตฟอร์ม ระยะห่างระหว่างพื้นผิวแพลตฟอร์มและหัวอ่าน/เขียนมีขนาดน้อยมาก (ในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์รุ่นใหม่หัวอ่าน/เขียนจะลอยอยู่ใกล้แพลตฟอร์มประมาณช่วง 10 นาโนเมตร) หัวอ่าน/เขียนถูกใช้สำหรับตรวจจับและเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุที่อยู่ใต้ตัวมันอย่างรวดเร็ว พื้นผิวหนึ่งด้านของแพลตฟอร์มที่ยึดติดกับสปินเดิลจะใช้หัวอ่าน/เขียนหนึ่งชิ้นที่ประกอบอยู่กับชิ้นส่วนที่มีลักษณะเหมือนแขน ซึ่งเรียกว่าแอ็คชูเอเตอร์อาร์ม (Actuator arm) แอ็คชูเอเตอร์อาร์มเป็นส่วนที่ทำให้หัวอ่าน/เขียนเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้งเข้าไปมาบนแพลตฟอร์มที่หมุนอยู่ แอ็คชูเอเตอร์อาร์มเคลื่อนที่โดยการควบคุมของวอยซ์คอยล์ (Voice coil) หรือสเตปเปอร์มอเตอร์ (Stepper motor ใช้ในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์รุ่นเก่า) สเตปเปอร์มอเตอร์นั้นถูกติดตั้งให้อยู่ด้านนอกของห้องหัวอ่าน/เขียนและแพลตฟอร์ม และมีมาก่อนแบบวอยซ์คอยล์ ในเวลาต่อมาไม่นานนัก ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ใช้วอยซ์คอยล์ มีโครงสร้างเหมือนลำโพง คือ ขดลวดและหัวอ่าน/เขียนจะเคลื่อนที่แนวรัศมีของแพลตฟอร์มแบบเส้นตรง ไม่ใช่การเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นโค้งเหมือนในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ใช้วอยซ์คอยล์มีรายละเอียดของโครงสร้างที่ต่างจากช่วงแรก แต่ยังคงมีส่วนที่เหมือนกัน คือ การทำงานร่วมกันระหว่างขดลวดและสนามแม่เหล็ก



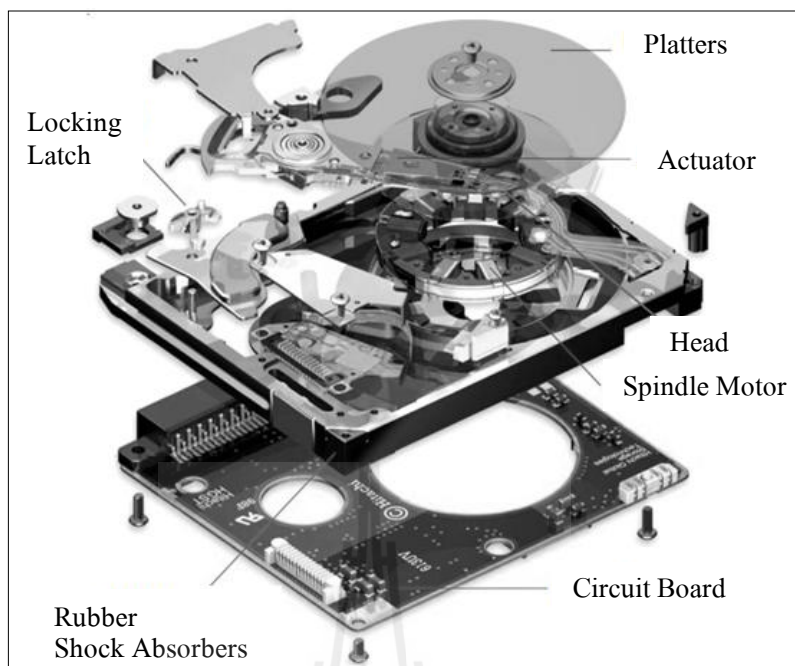
รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นโค้งของหัวอ่าน/เขียน

ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์รุ่นเก่าอ่านข้อมูลบนแผ่นแพตเตอร์กลับ โดยวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสแม่เหล็กในหัวอ่าน/เขียน ซึ่งจะมิขดลวดและทำงานเหมือนหัวอ่าน/เขียนของเทปแม่เหล็ก (Magnetic-tape) โดยที่หัวอ่าน/เขียนไม่สัมผัสกับพื้นผิวที่เก็บข้อมูล เนื่องจากความหนาแน่นในการเก็บข้อมูลในแพตเตอร์เพิ่มขึ้น การใช้หัวอ่าน/เขียนแบบแมกนีโทริซิสแทนซ์ (Magneto Resistance, MR) จึงถูกนำมาใช้ ซึ่งเป็นหัวอ่าน/เขียนที่เมื่อได้รับกระแสแม่เหล็กจากแผ่นแพตเตอร์ ความต้านทานทางไฟฟ้าของหัวอ่าน/เขียนจะเปลี่ยนแปลง ต่อมาได้มีการพัฒนาหัวอ่าน/เขียนให้กระแสแม่เหล็กมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานทางไฟฟ้ามากขึ้นแต่มีขนาดเล็กมากเรียกว่าหัวอ่าน/เขียนชนิดจีเอ็มอาร์ (GMR) ซึ่งย่อมาจากภาษาอังกฤษว่า Giant Magneto Resistance ในปี ค.ศ. 2005 ได้มีการพัฒนาและนำหัวอ่าน/เขียนรุ่นทีเอ็มอาร์ (TMR, Tunneling MR) มาใช้ในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

หัวอ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์รักษาระยะห่างจากแผ่นแพตเตอร์ด้วยอากาศที่เคลื่อนที่เนื่องจากการหมุนของแผ่นใกล้กับพื้นผิวของแผ่นแพตเตอร์ หัวอ่าน/เขียนถูกติดตั้งอยู่บนชิ้นส่วนที่มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมเรียกว่าสไลเดอร์ (Slider) ระดับความสูงของหัวอ่าน/เขียนในการลอยอยู่เหนือพื้นผิวแพตเตอร์ (Flying Height) ถูกลดลงอยู่เสมอ เพื่อต้องการเพิ่มความหนาแน่นในการเก็บข้อมูล ระดับความสูงในการลอยตัวอยู่เหนือพื้นผิวแพตเตอร์ถูกควบคุมโดยการออกแบบการเซาะร่องบริเวณพื้นผิวของสไลเดอร์ให้รูปทรงต่างๆ หรือเรียกว่าการออกแบบแอร์แบร์ริง (Air Bearing) (Air Bearing : เป็นการใช้ประโยชน์จากแผ่นฟิล์มบางๆที่เกิดขึ้นจากความดันของอากาศ ทำให้ไม่มีค่าความเสียดทานระหว่างพื้นผิว 2 พื้นผิวที่ทำงานร่วมกันโดยพื้นผิวทั้งสองไม่สัมผัสกัน เนื่องจากการไม่สัมผัสกันของพื้นผิวทั้งสองทำให้ไม่เกิดปัญหาหลายอย่าง เช่น ความเสียดทาน, ความล่าช้าของชิ้นงาน, การเกิดอนุภาคเล็กๆและสารหล่อลื่น ซึ่งข้อดีนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำในการระบุตำแหน่งและงานที่ต้องใช้ความเร็วสูง) หน้าที่ของแอร์แบร์ริง คือรักษาระดับความสูงของหัวอ่าน/เขียนให้คงที่ขณะที่ลอยอยู่เหนือพื้นผิวของแพตเตอร์ ถ้าหากหัวอ่าน/เขียนชนหรือสัมผัสกับแพตเตอร์จะเกิดความเสียหายที่รุนแรงบนพื้นผิวของแพตเตอร์

2.1.3 ส่วนประกอบหลักที่สำคัญในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

ชิ้นส่วนประกอบหลักที่สำคัญๆ ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบทั่วไปซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบต่างๆในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

2.1.3.1 แขนหัวอ่าน/เขียน (Actuator Arm) ทำงานร่วมกับมอเตอร์ในการเลื่อน แขนหัวอ่าน/เขียนไปที่ตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการอ่าน/เขียนข้อมูล โดยมีคอนโทรลเลอร์ (Controller) ทำหน้าที่แปลคำสั่งที่มาจากคอมพิวเตอร์ จากนั้นก็เลื่อนหัวอ่าน/เขียนไปยังตำแหน่งที่ต้องการเพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูล แต่ต่อมา Stepping Motor ได้ถูกแทนด้วย Voice Coil ที่สามารถทำงานได้เร็วและแม่นยำกว่า Stepping Motor

2.1.3.2 หัวอ่าน/เขียน (Read/Write Head) เป็นส่วนที่ใช้ในการอ่าน/เขียนข้อมูล ลักษณะโดยทั่วไปมีขนาดเล็กและมีความซับซ้อนจึงมีราคาแพง ภายในหัวอ่าน/เขียนมีลักษณะเป็นขดลวด โดยในการอ่าน/เขียนข้อมูลเกิดขึ้นเมื่อคอนโทรลเลอร์ (Controller) ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ได้รับคำสั่งจาก Host ให้มีการอ่าน/เขียนข้อมูล จะนำคำสั่งที่ได้รับมาแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าแล้วป้อนเข้าสู่ขดลวดทำให้เกิดแรงเหนี่ยวนำไปเปลี่ยนโครงสร้างของสารแม่เหล็กที่ฉาบบนแผ่นดิสก์ ซึ่งมีรูปแบบของการบันทึกข้อมูลในที่สุด เทคโนโลยีของการอ่าน/เขียนนี้ เรียกว่า MR (Magical Recorder) โครงสร้างของหัวอ่าน/เขียนเป็นสารกึ่งตัวนำและกระบวนการผลิตเป็นเช่นเดียวกันกับการผลิตไมโครโปรเซสเซอร์ หัวอ่าน/เขียนจัดเป็นชิ้นส่วนที่เล็กและมีความซับซ้อนมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีในการผลิตเป็นส่วนที่ทำหน้าที่อ่านและเขียนข้อมูลบนจานแม่เหล็กโดยตรง แต่จะลอยอยู่เหนือจานแม่เหล็กในระยะใกล้มากประมาณ 512 Micro Inches เท่านั้นเอง จำนวนของ

หัวอ่าน/เขียนในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ตัวหนึ่งจะขึ้นอยู่กับจำนวนของแผ่นดิสก์ โดยหนึ่งด้านของจานแม่เหล็กจะต้องมีหัวอ่าน/เขียนจำนวน 1 อันเสมอ ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์โดยส่วนใหญ่ที่มีดิสก์ตั้งแต่ 1-4 แผ่นก็จะมีจำนวนหัวอ่าน/เขียนตั้งแต่ 2-8 หัว และเป็นไปได้ว่าในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่มีขนาดใหญ่อาจมีจำนวนหัวอ่าน/เขียนได้มากถึง 20 หัว การอ่านและเขียนข้อมูลลงบนจานแม่เหล็กอาศัยหลักการตามทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งทุกครั้งที่มีการอ่านหรือเขียนข้อมูลจะมีเพียงหนึ่งหัวอ่าน/เขียนเท่านั้นที่สามารถทำการเข้าถึงข้อมูลได้

- การเขียนข้อมูลทุกครั้งที่หัวอ่าน/เขียนทำการเขียนข้อมูลจะมีกระแสไฟฟ้าป้อนให้กับส่วนของขดลวดที่ปลายหัวอ่าน/เขียนทำให้มันถูกเปลี่ยนสถานะเป็นแม่เหล็กไฟฟ้าชั่วคราวและจะไปเหนี่ยวนำให้สารแม่เหล็กบนจานแม่เหล็กมีการจัดเรียงทิศทางตามรูปแบบของข้อมูลที่ต้องการบันทึก
- การอ่านข้อมูลของหัวอ่าน/เขียนจะเป็นไปในทางกลับกัน คือหัวอ่าน/เขียนจะอยู่ในสถานะที่ไม่มีกระแสไฟฟ้า จึงเกิดการเหนี่ยวนำจากกระแสไฟฟ้าอ่อนๆ ขึ้นที่ขดลวด ซึ่งค่าของกระแสที่อ่านได้นี้คือข้อมูลที่อ่านได้จากจานแม่เหล็กนั่นเอง

2.1.3.3 แผ่นดิสก์(Platters) หรือจะเรียกว่า “เพลตเตอร์” เป็นพื้นที่ที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลจะมีลักษณะเป็นแผ่นจานเหล็กกลมๆ มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1.8-5.25 นิ้ว ที่เคลือบสารแม่เหล็กวางซ้อนกันหลายๆ ชั้น (ขึ้นอยู่กับความจุ) อยู่บนแกนหมุน (Spindle) และ สารแม่เหล็กที่ว่าจะถูกเหนี่ยวนำให้มีสถานะเป็น 0 และ 1 เพื่อจัดเก็บข้อมูลแทนความหมายของข้อมูลแต่ละก้อน โดยจานแม่เหล็กนี้จะติดกับมอเตอร์ที่ทำหน้าที่หมุนแผ่นจานดิสก์นี้ ปกติฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แต่ละตัวจะมีแผ่นดิสก์ประมาณ 1 - 4 แผ่น แต่ละแผ่นก็จะเก็บข้อมูลได้ทั้งสองด้าน ส่วนของแผ่นดิสก์นั้นทำมาจากวัสดุอลูมิเนียมหรือวัสดุประเภทแก้วที่มีส่วนผสมเซรามิกอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งข้อดีของแผ่นดิสก์ที่ผลิตโดยใช้วัสดุอย่างหลัง ก็จะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดีและสามารถออกแบบให้แผ่นดิสก์มีขนาดบางเท่าที่จะบางได้กว่าอลูมิเนียม ควรระมัดระวังไม่ให้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์กระทบกระเทือนอย่างแรงเพราะจะทำให้ส่วนที่เคลือบด้วยสารแม่เหล็กและข้อมูลเสียหายได้ พื้นผิวของแผ่นดิสก์ทั้งสองด้านจะถูกเคลือบด้วยสารแม่เหล็ก ซึ่งเท่าที่มีใช้กันมี 2 ชนิด คือ สารประเภท Iron Oxide และ Thin Film

- สารประเภท Iron Oxide แผ่นดิสก์ที่เคลือบด้วยวัสดุประเภทนี้สังเกตได้ง่าย เพราะว่ามันมีสีน้ำตาล ใช้กันมากสำหรับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในช่วงแรกๆ เพราะ เป็นวัสดุที่มีราคาค่อนข้างถูกเนื่องจากมีคุณสมบัติ

ที่ค่อนข้างเปราะบางและแตกหักง่ายจากการสัมผัสกับหัวอ่าน /เขียน ประกอบกับสารแม่เหล็กประเภทนี้มีความหนาแน่นค่อนข้างน้อยจึงมีข้อจำกัดในด้านขนาดความจุของข้อมูล

- สารประเภท Thin Film เป็นสารแม่เหล็กที่มีสีเงินวาวมีคุณสมบัติค่อนข้างทนทานต่อการเสียดสีของหัวอ่าน/เขียน อีกทั้งยังเป็นสารเคลือบผิวที่บางมากทำให้หัวอ่าน/เขียนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ดีกว่าจานแม่เหล็กที่ใช้สารเคลือบผิวชนิดอื่นๆ สารแม่เหล็กประเภทนี้ยังมีราคาสูง

2.1.3.4 มอเตอร์หมุนจานแม่เหล็ก (Spindle Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้หมุนของแผ่นแม่เหล็กซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อความเร็วในการอ่านของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เพราะยิ่งมอเตอร์หมุนเร็วหัวอ่าน/เขียนก็จะเจอข้อมูลที่ต้องการเร็วขึ้นนั่นเอง ซึ่งความเร็วที่ว่ามันจะวัดกันเป็นรอบต่อนาที (Revolutions per Minute หรือ RPM) ถ้าเป็นฮาร์ดดิสก์ไครฟ์รุ่นเก่าจะหมุนด้วยความเร็วเพียง 3,600 รอบต่อนาที ต่อมาพัฒนาเป็น 5,400 รอบต่อนาทีและ 7,200 รอบต่อนาที และปัจจุบันหมุนได้เร็วถึง 10,000 รอบต่อนาที การพัฒนาให้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์หมุนเร็วจะได้ประสิทธิภาพสูงขึ้นเพราะมีผลให้ Sector ที่บรรจุข้อมูลจะถูกหมุนเร็วมาพบกับหัวอ่าน/เขียนเร็วขึ้น ทำให้การอ่านข้อมูลได้เร็วขึ้น ประสิทธิภาพดีขึ้น เพราะลดทั้ง Access Time และ Latency Time

2.1.3.5 เคส (Case) มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมใช้บรรจุกลไกต่างๆ ในการหมุนอ่านภายในแผ่นดิสก์ ปกติเคสนี้จะถูกปิดผนึกอย่างหนาแน่น เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการหยิบจับและป้องกันฝุ่นละออง

2.1.3.6 กรองอากาศ (Air Filter) ภายในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ไม่ได้เป็นสูญญากาศอย่างที่เข้าใจ เพราะมันต้องการอากาศในการยกหัวอ่าน/เขียนให้ลอยอยู่เหนือจานแม่เหล็กได้ในหลายพื้นที่ที่มีสภาวะแรงดันอากาศแตกต่างกัน เนื่องจากอากาศจะเคลื่อนที่จากที่ที่มีความกดอากาศสูงไปยังที่ที่มีความกดอากาศต่ำ ตัวกรองอากาศจึงทำหน้าที่ในการรักษาปริมาณอากาศเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศระบายออกไปด้านนอกหมด

2.1.3.7 ขั้วต่อและจัมเปอร์ (Connector and Jumper) ขั้วต่อและจัมเปอร์เป็นส่วนประกอบที่อยู่ในส่วนท้ายของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ทุกๆ ตัว ซึ่งประกอบไปด้วยขั้วต่ออินเตอร์เฟซ ขั้วต่อสายไฟ และจัมเปอร์

2.1.3.8 ขั้วต่ออินเตอร์เฟซ (Interface Connector) เป็นจุดเชื่อมต่อที่ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่างฮาร์ดดิสก์ไครฟ์กับซีพียูหรือแม่กระทั่งหน่วยความจำ ซึ่งรูปแบบของขั้วต่อ

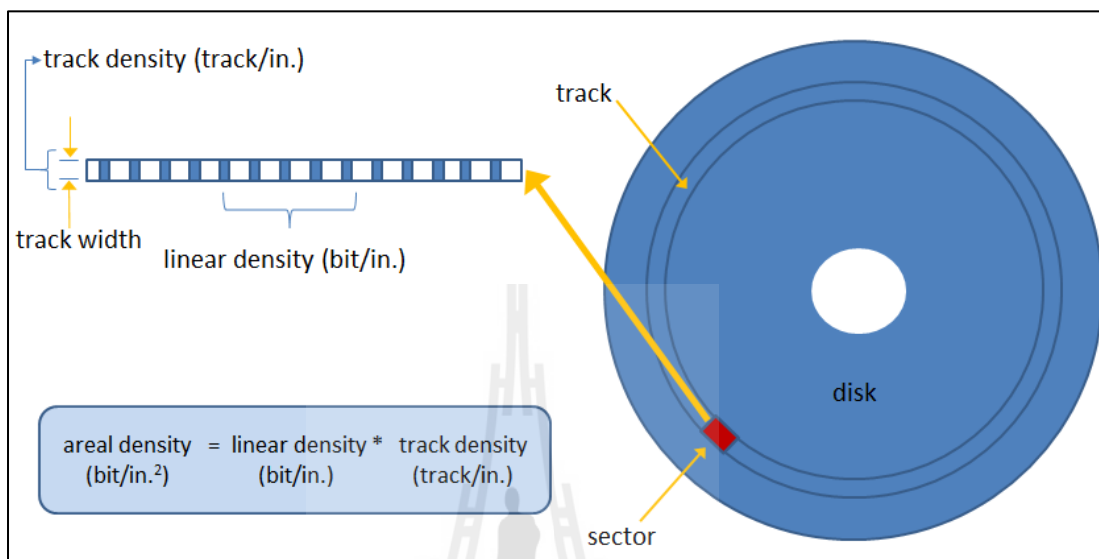
อินเตอร์เฟซอาจแตกต่างกันไปตามแต่ละประเภทของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เช่น จำนวนขาสัญญาณจะมีไม่เท่ากันซึ่งเป็นผลทำให้สายสัญญาณที่ใช้ย่อมมีลักษณะที่ต่างกันไปอีกด้วย

- ขั้วต่อสายไฟ (Power Connector) คือ ช่องสี่เหลี่ยมที่มีมุมตัดสองด้านบน ใช้รองรับขั้วไฟพลาสติกสีขาวขนาดใหญ่ที่มาจากเพาเวอร์ซัพพลายนั่นเอง (ขั้วไฟขนาดเล็กจะใช้กับฟลอปปีดิสก์ไครฟ์) โดยจะมีขาโลหะทั้งหมดสี่ขาในช่องนี้ เวลาเสียบขั้วไฟพลาสติกสีขาวเข้ากับ Power Connector ต้องเสียบให้ถูกต้องทิศทาง ไม่เช่นนั้นจะเป็นการป้อนกระแสไฟฟ้าที่ไม่ตรงกับความต้องการใช้งานของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ส่งผลให้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เกิดความเสียหายได้ ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ทุกตัวจะมีขั้วต่อสายไฟสำหรับต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ โดยขั้วต่อไฟมาตรฐานจะมีจำนวนขาสัญญาณ 4 เข็ม ซึ่งจะจ่ายไฟ 5 V และ 12 V
- จัมเปอร์ (Jumper) เป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ใช้สำหรับการปรับตั้งค่าเฉพาะให้กับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แต่ละตัว เช่น การกำหนดให้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เป็นหัว Boot หรือเป็นหัวเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ประเภท IDE

2.1.3.9 แผงวงจรบนตัวฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ (Circuit/Logic Board) ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แต่ละตัวจะมีแผงวงจรที่เรียกว่า Circuit หรือ Logic Board แผงวงจรนี้จะถูกยึดติดกับภายนอกของตัวฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ โดยจะมีชิพไอซีที่เรียกว่า DSP (Digital Signal Processors) ซึ่งควบคุมการส่งผ่านของข้อมูลเพื่อเก็บข้อมูลส่วนที่ถูกเรียกใช้บ่อยๆ และส่วนประกอบอื่นๆ รวมทั้งส่วนควบคุม Spindle, Actuator, Cache Memory, Read/Write Operation, Power Management แผงวงจรนี้จะรับคำสั่งผ่านทางส่วนควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ หรือ Hard Disk Drive's Controller ซึ่งถูกควบคุมโดยระบบปฏิบัติการอีกทีหนึ่ง เมื่อระบบต้องการข้อมูลที่ถูกเก็บบันทึกอยู่ในตัวฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ตัวแผงวงจรนี้จะรับคำสั่งโดยเคลื่อนและควบคุมส่วนประกอบต่างๆ เพื่อให้ได้รับข้อมูลที่ต้องการออก

2.2 โครงสร้างของแผ่นดิสก์ (Disk)

2.2.1 โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์



รูปที่ 2.5 โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ กล่าวคือ ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จะเก็บข้อมูลในจานบันทึกแม่เหล็กรูปวงกลมที่เรียกว่าแผ่นดิสก์ (Disk) โดยที่ แต่ละแผ่นดิสก์จะมีสารแม่เหล็กเคลือบอยู่บนผิวทั้งสองด้าน และข้อมูลจะถูกจัดเก็บตามเส้นรอบวงที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกันที่เรียกว่า “แทร็ก (Track)” ซึ่งแต่ละแทร็กจะแบ่งออกเป็น “เซ็กเตอร์ (Sector)” โดยที่แต่ละเซ็กเตอร์จะเก็บข้อมูลได้ 512 ไบต์ (1 ไบต์ มี 8 บิต ดังนั้น 512 ไบต์ มีค่าเท่ากับ 4096 บิต)

โดยทั่วไป พารามิเตอร์ที่ใช้บอกความจุข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ คือ ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ ในปัจจุบันนี้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์มีความหนาแน่นเชิงพื้นที่ที่มากกว่า 100 กิกะบิต ต่อหนึ่งตารางนิ้ว

2.2.2 โครงสร้างของแผ่นดิสก์ (Magnetic Recording Film Configuration)

การแบ่งชั้นของแผ่นดิสก์ที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

a) Lube
b) Protective Layer
c) Magnetic Layer
d) Underlayer
e) Texturing
f) NiP Plating
g) Substrate

รูปที่ 2.6 การแบ่งชั้นของแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

a) Lubricant Layer มีไว้เพื่อลดแรงเสียดทานขณะทำการบันทึกข้อมูลระหว่างหัวอ่าน/เขียนกับแผ่นดิสก์

b) Protective Layer ชั้นฟิล์มบางๆ ที่มีส่วนผสมของคาร์บอน (Carbon) เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของชั้นแม่เหล็ก

c) Magnetic Layer ใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูลในลักษณะดิจิทัล 0 และ 1 ซึ่งเป็นสารประกอบระหว่าง Co-Cr-Pt-B

d) Under Layer ช่วยป้องกันการยึดติดของชั้นแม่เหล็กกับโครงสร้างหลักด้านล่างสุด และช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของชั้นแม่เหล็ก

e) Texturing เป็นชั้นที่มีการควบคุมความเรียบของพื้นผิวแผ่นดิสก์ ทั้งนี้เพื่อช่วยในการกำหนดทิศทางของชั้นแม่เหล็กและปรับปรุงสัญญาณรบกวน

f) NiP Plating เพิ่มความเรียบเนียนของแผ่นดิสก์ด้วยชั้นนิกเกิลฟอสฟอรัส (Nickel Phosphorus)

g) Substrate วัสดุส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ คือ อลูมิเนียม หรือแก้ว เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติความแข็งที่เหมาะสม

2.3 ระเบียบวิธีทางไฟไนท์อิลลิเมนต์สามมิติ

เนื่องจากวิธีโทโปโลยีเหมาะสมสุดนั้น ต้องการหาการกระจายของวัสดุที่อยู่บนโครงสร้างของชิ้นงานโดยอาศัยค่าตัวแปรที่อยู่ในรูปของซูดเดนซิตี (Pseudo-densities) ภายในของพื้นที่ย่อยเล็กๆหรือเรียกว่าอิลลิเมนต์ (Element) ในโครงสร้าง เพื่อให้โครงสร้างมีคุณสมบัติตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เราสนใจ เช่น หาค่าพลังงานต่ำสุดของโครงสร้าง, หาค่ามากที่สุดของค่าความถี่ธรรมชาติ ฯลฯ ด้วยเหตุนี้เราจึงต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการหาคุณสมบัติทางกายภาพของโครงสร้าง เช่น ความเค้น, ความเครียด, ระยะการขจัด หรือพลังงานความเครียดของโครงสร้าง

ด้วยการวิเคราะห์ประมาณค่าเหล่านี้จากสมการเชิงอนุพันธ์ โดยอาศัยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการวิเคราะห์ ซึ่งวิธีการหนึ่งที่มีนิยมนำมาใช้คือวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ วิธีการนี้ใช้หลักการหาความสัมพันธ์ของเอลิเมนต์ด้วยระเบียบเชิงตัวเลขแทนการใช้สมการเชิงอนุพันธ์ ในการหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของโครงสร้างที่มีความซับซ้อนจนไม่สามารถหาผลเฉลยแม่นยำตรง (Exact Solution) จากสมการเชิงอนุพันธ์ได้ ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างด้วยโทโปโลยีเหมาะสมที่สุด เราจำเป็นต้องทราบถึงวิธีการของไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย

พื้นฐานของการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ การแบ่งโครงสร้างออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ แล้วใช้หลักการคำนวณสถานะสมดุลพลวัตของแต่ละเอลิเมนต์ โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ซึ่งกล่าวไว้ว่าผลรวมของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อมวลในทิศทางใด จะมีค่าเท่ากับผลคูณของมวลกับความเร่งในทิศทางนั้น แล้วนำเอลิเมนต์เหล่านั้นรวมเข้าด้วยกัน ให้เป็นระบบโครงสร้างที่ง่ายขึ้น โดยแสดงในรูปของสมการเมตริกซ์ การวิเคราะห์ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ในขั้นต้นจะไม่คำนึงความหน่วงของโครงสร้าง การวิเคราะห์ระบบแบบพลวัตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี ซึ่งทั้ง 2 กรณีพิสูจน์ได้จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน คือ 1. วิธีพลังงาน (พลังงาน) เป็นวิธีที่ใช้หลักของงานเสมือน (principal of virtual work) 2. อาศัยสมการลากรองจ์ (Lagrange's equation) ในการวิเคราะห์ระบบโครงสร้างที่ถูกแบ่งเป็นเอลิเมนต์ย่อย

2.3.1 ฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ (Shape function)

ในวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์เราจะแบ่งขอบเขตออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ซึ่งต่อกันที่จุดต่อต่างๆ ค่าที่จุดต่อนั้นๆ ไม่รู้ค่าและต้องการหาการกระจายของผลเฉลยระหว่างจุดต่อ (node) ฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์เป็นฟังก์ชันที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประมาณค่าคุณสมบัติต่างๆ เช่น การขจัดและความเครียด ที่อยู่ภายในเอลิเมนต์เพื่อใช้หาผลเฉลยที่จุดต่อ ซึ่งเราสามารถสมมุติให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่าย เช่น ในลักษณะเชิงเส้นตรงได้

2.3.2 การหาสทิงเฟนสมเมตริกซ์และสมการของเอลิเมนต์

สามารถหาสทิงเฟนสมเมตริกซ์ของเอลิเมนต์ โดยอาศัยหลักการพลังงานศักย์รวมต่ำสุด จากสมการพลังงานศักย์ π_p มีค่าเท่ากับผลรวมของพลังงานความเครียด U กับพลังงานศักย์เนื่องจากแรงภายนอกหรืองานเนื่องจากแรงภายนอก W ดังสมการที่ (2.1)

$$\pi_p = U + W \quad (2.1)$$

สมการพลังงานความเครียด (Strain energy) ของเอลิเมนต์ใดๆคือ

$$U_i = \frac{1}{2} \iiint_{\Omega_i} \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\sigma} d\Omega \quad (2.2)$$

เมื่อ Ω_i คือ ปริมาตรของอิลลิเมนต์ที่ i และพิจารณาในเทอมพิกัดรวมจะได้ว่า

$$U_i = \frac{1}{2} \bar{\mathbf{d}}^T \left(\iiint_{\Omega_i} \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{D} \bar{\mathbf{B}} d\Omega \right) \bar{\mathbf{d}} \quad (2.3)$$

งานเนื่องจากแรงภายนอกคือ

$$W_i = \bar{\mathbf{d}}^T \bar{\mathbf{f}} \quad (2.4)$$

เมื่อ $\bar{\mathbf{d}}$ คือ เวกเตอร์การขจัดที่จุดต่อของอิลลิเมนต์ในพิกัดรวม

$\bar{\mathbf{f}}$ คือ แรงทั้งหมดที่กระทำบนอิลลิเมนต์สี่เหลี่ยม

ดังนั้นพลังงานศักย์รวมของแต่ละอิลลิเมนต์จากสมการ (2.1) คือ

$$\pi_p = \frac{1}{2} \bar{\mathbf{d}}^T \left(\iiint_{\Omega_i} \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{D} \bar{\mathbf{B}} d\Omega \right) \bar{\mathbf{d}} - \bar{\mathbf{d}}^T \bar{\mathbf{f}} \quad (2.5)$$

ในกรณีที่วัสดุอยู่ในช่วงขีดจำกัดความยืดหยุ่น การกระจัดและความเครียดมีค่าน้อยและขึ้นส่วนอยู่ในสภาวะสมดุล พลังงานศักย์รวมของระบบจะมีค่าต่ำสุด โดยให้ $\nabla \pi_p|_{\delta} = \bar{\mathbf{0}}$ นั่นคือ

$$\nabla \pi_p|_{\delta} = \iiint_{\Omega_i} \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{D} \bar{\mathbf{B}} d\Omega \bar{\mathbf{d}} - \bar{\mathbf{f}} = \bar{\mathbf{0}} \quad (2.6)$$

จากสมการ (2.6) จัดรูปใหม่ได้

$$\iiint_{\Omega_i} \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{D} \bar{\mathbf{B}} d\Omega \bar{\mathbf{d}} = \bar{\mathbf{f}} \quad (2.7)$$

หรือ $\bar{\mathbf{k}} \bar{\mathbf{d}} = \bar{\mathbf{f}} \quad (2.8)$

สมการที่ (2.8) คือสมการสมดุลของแรงในเทอมของสทิงเฟนสมเมตริกซ์
ซึ่งค่า $\bar{k} = \iiint_{\Omega_i} \bar{B}^T D \bar{B} d\Omega \bar{d}$ คือ สทิงเฟนสมเมตริกซ์ของอิลลิเมนต์ในพิกัดรวม
ที่อิลลิเมนต์มีความหนา t คงที่ สทิงเฟนสมเมตริกซ์ของอิลลิเมนต์คือ

$$\bar{k} = t \iiint_{\Omega_i} \bar{B}^T D \bar{B} dA \quad (2.9)$$

ในกรณีที่จุดต่อถูกกำหนดตำแหน่งโดยพิกัดเฉพาะที่ จำเป็นต้องแปลงพิกัดเฉพาะที่ให้อยู่ในเทอม
ของพิกัดรวม ซึ่งสามารถแปลงได้โดยใช้สมการที่ (2.10)

$$d = \bar{T}\bar{d}, f = \bar{T}\bar{f}, \text{ และ } \bar{k} = \bar{T}^T k \bar{T} \quad (2.10)$$

เมื่อ \bar{T} คือ เมตริกซ์แปลงพิกัดเฉพาะที่ให้อยู่ในเทอมของพิกัดรวม

k คือ สทิงเฟนสมเมตริกซ์ของอิลลิเมนต์ในพิกัดเฉพาะที่

2.3.3 การหาสมการรวมของระบบและการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

สมการรวมของระบบ โครงสร้างสามารถหาได้จาก การรวมสมการของแต่ละ
อิลลิเมนต์เข้าด้วยกันด้วยวิธีซ้อนทับ (Superposition method) หรือเรียกว่าสทิงเฟนสโดยตรง
(direct stiffness method) โดยอาศัยหลักการสมดุลของแรงที่จุดต่อของอิลลิเมนต์ และความต่อเนื่อง
ของโครงสร้าง ทำให้สามารถหาสทิงเฟนสมเมตริกซ์รวมในพิกัดรวมของระบบได้ดังนี้คือ

$$K = \sum_1^{N_E} \bar{k} \quad (2.11)$$

ดังนั้นสามารถหาสมการสมดุลของแรงในเทอมพิกัดรวมของระบบได้ดังนี้

$$F = Kd \quad (2.12)$$

เมื่อ F คือ เวกเตอร์ของแรงของระบบที่จุดต่อ

K คือ สทิงเฟนสมเมตริกซ์รวมของระบบ

เนื่องจากเมตริกซ์ K ในสมการ (2.12) เป็นเมตริกซ์เอกฐาน (Singular matrix)
จึงจำเป็นต้องอาศัยขอบเขตเงื่อนไข (boundary condition) หรือเงื่อนไขอื่นๆ เช่น จุดยึด เพื่อช่วยทำ

ให้เมตริกซ์ K ไม่เป็นเมตริกซ์เอกฐาน และสามารถหาการกระจัดที่จุดต่อได้ พิจารณาตามสมการรวมของระบบ โครงสร้าง และเงื่อนไขขอบเขตได้ตามสมการที่ (2.13)

$$\begin{bmatrix} K_{aa} & K_{ab} \\ K_{ba} & K_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_a \\ d_b \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_a \\ F_b \end{Bmatrix} \quad (2.13)$$

กระจายสมการที่ (2.13) ได้ดังนี้

$$K_{aa}d_a + K_{ab}d_b = F_a \quad (2.14)$$

$$d_a = K_{aa}^{-1}(F_a - K_{ab}d_b) \quad (2.15)$$

$$F_b = K_{ba}d_a + K_{bb}d_b \quad (2.16)$$

เมื่อ F_a และ F_b คือ เวกเตอร์แรงภายนอกที่มากระทำ ณ จุดต่อที่ทราบ และไม่ทราบค่า ตามลำดับ d_a และ d_b คือ เวกเตอร์การขจัดที่ทราบค่าและไม่ทราบค่า ตามลำดับ ซึ่งแรงและการขจัดที่ทราบค่านี้จะเป็นเงื่อนไขขอบเขตที่ต้องการ ส่วนสทิพเนสเมตริกซ์จะเป็นสทิพเนสเมตริกซ์ตามตำแหน่งของการขจัดและตำแหน่งของแรง

2.4 การวิเคราะห์เชิงพลวัตของโครงสร้าง

ปัญหาทางพลวัตของการเคลื่อนที่ ความเร็ว ความเค้น ความเครียด และแรง ทั้งหมดนี้มีผลต่อกัน วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้วิเคราะห์ระบบโครงสร้างที่ถูกแบ่งออกเป็น อิลลิเมนต์ย่อยๆ คือ สมการลากรองจ์ (Lagrange's equation) ข้อดีข้อวิธีการนี้คือสามารถแทนรายละเอียดของการกระจัดของโครงสร้างด้วยพิกัดทั่วไป ซึ่งถ้าให้ระบบที่กำลังพิจารณา มีการกระจัดเสมือนที่เป็นอิสระต่อกันจำนวน n ค่า คือ q_1, q_2, \dots, q_n มีพลังงานจลน์ของระบบเป็นฟังก์ชันของ $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_n$ และ q_1, q_2, \dots, q_n มีพลังงานความเครียดเป็นฟังก์ชันของ q_1, q_2, \dots, q_n สมการลากรองจ์ของระบบจะอยู่ในรูปของสมการ (2.17)

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{dq_i} \right) - \frac{dT}{dq_i} + \frac{dD}{dq_i} + \frac{dU}{dq_i} = Q_i, \text{ สำหรับ } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.17)$$

เมื่อ เครื่องหมาย คอท หมายถึงการอนุพันธ์เทียบกับเวลา

D คือ งานจากแรงหน่วย

Q_i คือ แรงทั่วไปที่สอดคล้องกับพิกัดทั่วไป q_i

พิจารณาสมการลากรองจ์ สำหรับการวิเคราะห์แบบไฟไนต์เอลิเมนต์ กรณีที่พลังงานจลน์ไม่ขึ้นอยู่กับการจัดเสมือน (q_i) ใดๆและไม่พิจารณาความหน่วงของโครงสร้าง จะพบว่าพจน์ที่ 2 และ 3 ในสมการ (2.17) สามารถตัดทิ้งได้ และจากการแบ่งโครงสร้างออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยที่มีรูปทรงอย่างง่ายหลายๆเอลิเมนต์ ทำให้สามารถพิจารณาได้ว่าโครงสร้างที่กำลังวิเคราะห์นั้นเกิดขึ้นได้จากการนำจุดต่อ (node) และเส้นขอบหรือผิวรอบของแต่ละเอลิเมนต์มาเชื่อมโยงกันไว้

สำหรับเอลิเมนต์ย่อยตัวที่ i มีเวกเตอร์การขจัด r_i ที่จุด P ใดๆภายในเอลิเมนต์จะอยู่ในรูปของสมการ (2.18)

$$r_i(P) = N r_{e,i} \quad (2.18)$$

เมื่อ N คือ ฟังก์ชันเมตริกซ์ หรือเรียกอีกอย่างว่าฟังก์ชันการขจัด (Displacement function) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว นิยมใช้ป็นฟังก์ชัน โพลีโนเมียล การเลือกใช้ฟังก์ชันการขจัดจะขึ้นอยู่กับประเภทของเอลิเมนต์

$r_{e,i}$ คือ เวกเตอร์ที่ประกอบไปด้วยการขจัดของจุดต่อของเอลิเมนต์ที่กำลังพิจารณา พลังงานจลน์รวมของเอลิเมนต์สามารถคำนวณได้จาก

$$T_i = \frac{1}{2} \left(\rho \iiint_{\Omega_i} \dot{r}_i^T \dot{r}_i d\Omega \right) \quad (2.19)$$

เมื่อ Ω_i คือ ปริมาตรของเอลิเมนต์

ρ คือ ความหนาแน่นของเอลิเมนต์ ซึ่งสมมุติให้มีค่าคงที่

เมื่อแทนสมการ (2.18) ลงในสมการ (2.19) จะได้ว่า

$$T_i = \frac{1}{2} \dot{r}_{e,i}^T \left(\rho \iiint_{\Omega_i} N^T N d\Omega \right) \dot{r}_{e,i} = \frac{1}{2} \dot{r}_{e,i}^T m_i^0 \dot{r}_{e,i} \quad (2.20)$$

พลังงานศักย์รวมหรือพลังงานความเครียดของอิลลิเมนต์ที่ i สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.20) เมื่อ σ และ ϵ แทนความเค้นและความเครียดที่จุดใดๆภายในอิลลิเมนต์ตามลำดับ ความเครียดดังกล่าวสามารถเขียนในรูปของอนุพันธ์ของการจัดเทียบกับแกนพิกัด ดังนั้นสมการ (2.21) จะได้ว่า

$$\epsilon(P) = Br_{e,i} \quad (2.21)$$

โดย B หาได้จากวิธีเหมือน N

จากการใช้กฎของฮุก (Hooke's law) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดคือ

$$\sigma = D\epsilon \quad (2.22)$$

จากสมการจะได้ว่า

$$U_i = \frac{1}{2} r_{e,i}^T \left(\iiint_{\Omega_i} B^T D B d\Omega \right) r_{e,i} = \frac{1}{2} r_{e,i}^T k_i^0 r_{e,i} \quad (2.23)$$

ดังนั้นพลังงานจลน์รวมและพลังงานศักย์รวมของทั้งโครงสร้าง สามารถเขียนได้เป็น

$$T = \frac{1}{2} \dot{r}^T \left(\sum_{i=1}^{N_E} m_i \right) \dot{r} = \frac{1}{2} \dot{r}^T M \dot{r} \quad (2.24)$$

และ
$$U = \frac{1}{2} r^T \left(\sum_{i=1}^{N_E} k_i \right) r = \frac{1}{2} r^T K r \quad (2.25)$$

เมื่อ N_E คือ จำนวนอิลลิเมนต์ทั้งหมด

r คือ เวกเตอร์การจัดของระบบรวม (Global system)

ความสัมพันธ์ระหว่างการจัดของระบบรวมกับการจัดที่จุดต่อของอิลลิเมนต์ i สามารถหาได้จากเมตริกซ์การแปลง (Transformation matrix) ซึ่งอยู่ในรูปของ

$$r_{e,i} = T_i r \quad (2.26)$$

จากผลของการแปลงการจัดที่จุดต่อไปเป็นการจัดของระบบรวมนั้น เราจะได้เมตริกซ์มวลของอีลิเมนต์ (Element mass matrix, m_i) และสทิฟเนสเมตริกซ์ของอีลิเมนต์ (Element stiffness matrix, k_i) ตามลำดับดังนี้

$$m_i = T_i^T m_i^0 T_i \quad (2.27)$$

และ
$$k_i = T_i^T k_i^0 T_i \quad (2.28)$$

แทนค่าพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ในสมการลากรองจ์ จะได้สมการการเคลื่อนที่ของระบบโครงสร้างในรูปเมตริกซ์คือ

$$M_{aa} \ddot{r} + K_{aa} r = F \quad (2.29)$$

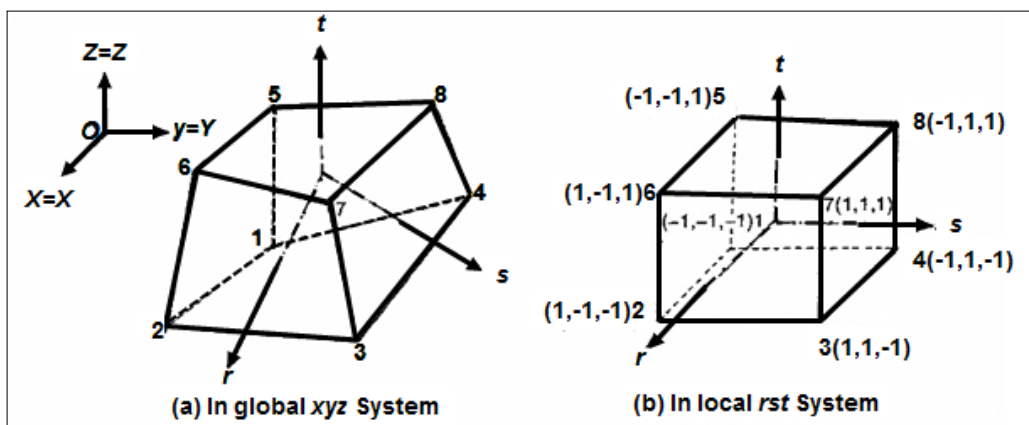
เมื่อ M คือ เมตริกซ์มวลของโครงสร้าง
 K คือ สทิฟเนสเมตริกซ์ของโครงสร้าง
 F คือ เวกเตอร์ของแรงภายนอกที่สอดคล้องกับจุดต่อในโครงสร้าง

สมการ (3.29) คือระบบของการวิเคราะห์แบบพลวัต จะเห็นว่าเมื่อทำการตัดพจน์ของพลังงานจลน์ออกไปจะได้การวิเคราะห์แบบสถิตย์ ซึ่งทำให้การซับซ้อนของการคำนวณลดลง

2.5 อีลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาแบบสามมิติ

2.5.1 อีลิเมนต์แบบแปดหน้าหรือทรงลูกบาศก์ (Hexahedron element)

ในส่วนของหัวข้อนี้ จะพิจารณาถึงรูปแบบการแบ่งอีลิเมนต์แบบแปดหน้าหรือทรงลูกบาศก์ (Hexahedron element) ซึ่งจะมีแปดจุด (Node) ที่ตามมุมของอีลิเมนต์ ในแต่ละจุดจะมี 3 ดีกรีออฟฟร็ดอม (Degree of freedom) เพื่อให้สะดวกเราคิดรูปแบบอีลิเมนต์โดยการคิดแบบ Isoperimetric element. อีลิเมนต์แบบนี้ถูกเรียกว่า Zienkiewicz-Irons-Brick มี 8 nodes (ZIB 8) ตามรูปที่ 2.7 (a)



รูปที่ 2.7 อิลลิเมนต์แบบลูกบาศก์ Hexahedron 8 โหนด

2.5.2 Natural Coordinate System

ตัวอย่างในรูปที่ 2.7 (a) พิกัดในรูปแบบปกติ คือ r , s , และ t ที่มีจุดเริ่มต้นของระบบคือจุดเซนทรอยด์ (Centroid) ของแต่ละอิลลิเมนต์ ซึ่งแกนระยะพิกัดของแต่ละแกน r , s และ t จะเชื่อมโยงระหว่างคู่ของผิวที่อยู่ด้านตรงข้ามซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง ± 1

ดังนั้นระยะพิกัดที่เป็นโลกอล รูปแบบของอิลลิเมนต์ที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ดังที่อยู่ในรูป 2.7 (b) ถึงแม้ว่าในระบบพิกัด Cartesian ที่เป็น Global อาจจะไม่มีความแน่นอน และการผิดรูปของทรงลูกบาศก์ของทั้งหกด้าน เช่น ในรูปที่ 2.7 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดของ Local และ Global สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} = [N] \begin{Bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ z_8 \end{Bmatrix} \quad (2.30)$$

โดยที่

$$[N] = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & N_2 & \dots & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & N_1 & 0 & \dots & N_8 \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

และ
$$N_i(r, s, t) = \frac{1}{8}(1 + rr_i)(1 + ss_i)(1 + tt_i) : i = 1, 2, \dots, 8 \quad (2.32)$$

2.5.3 แบบจำลองการกระทำการเคลื่อนที่ (Displacement Model)

การตั้งสมมติฐานของการเปลี่ยนแปลงของระยะการเคลื่อนที่ระหว่างโนด (Node) เป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น การเคลื่อนที่ที่สามารถแสดงได้โดยการใช้ฟังก์ชันอินเตอร์โพลเนชัน (Interpolation function) ซึ่งเหมือนกับรูปแบบทางเรขาคณิต

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = [N] \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_8 \end{Bmatrix} = [N] \bar{Q}^{(e)} \quad (2.33)$$

ซึ่ง $\bar{Q}^{(e)}$ คือ เวกเตอร์ของ Nodal displacement degree of freedom และ (u_i, v_i, w_i) คือระยะการเคลื่อนที่ของจุด $i, i = 1-8$

2.5.4 ความสัมพันธ์ของความเครียดและความเค้น (Stress-Strain Relations)

ใช้สมการ (2.34) Three-dimensional strain-displacement relations สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\vec{\varepsilon} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \end{Bmatrix} = [B] \vec{Q}^{(e)} \quad (2.34)$$

6×24 24×1

โดยที่

$$[B] = [[B_1][B_2] \dots [B_8]] \quad (2.35)$$

6×24

และ

$$[B_i] = \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} & 0 & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{Bmatrix}, \quad i = 1-8 \quad (2.36)$$

โดยที่เมตริก $[B_i]$ สามารถเขียนออกมาในรูปเชิงอนุพันธ์ ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial r} \\ \frac{\partial N_i}{\partial s} \\ \frac{\partial N_i}{\partial t} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial y}{\partial r} + \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial z}{\partial r} \\ \frac{\partial N_i}{\partial x} & \frac{\partial x}{\partial s} + \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial y}{\partial s} + \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial z}{\partial s} \\ \frac{\partial N_i}{\partial x} & \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial N_i}{\partial z} & \frac{\partial z}{\partial t} \end{Bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial r} & \frac{\partial z}{\partial r} \\ \frac{\partial x}{\partial s} & \frac{\partial y}{\partial s} & \frac{\partial z}{\partial s} \\ \frac{\partial x}{\partial t} & \frac{\partial y}{\partial t} & \frac{\partial z}{\partial t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{bmatrix} = [J] \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

2.5.5 Element Stiffness Matrix

กำหนดให้ Element Stiffness Matrix มีรูปสมการตามข้อ (2.38)

$$[K]^{(e)} = \iiint_{V^{(e)}} [B]^T [D][B] dV \quad (2.38)$$

เมื่อ เมตริก [B] คือ natural coordinates (ปรากฏในสมการ 2.34, 2.35) ซึ่งจำเป็นที่จะต้องรวมสมการหลังจากการอินทิเกรตใน สมการที่ (2.38) ด้วย โดยใช้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$dV = dx dy dz = \det[J] \cdot dr ds dt \quad (2.39)$$

ดังนั้นสมการที่ (3.38) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$[K]^{(e)} = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D][B] \det[J] dr ds dt \quad (2.40)$$

2.5.6 การคำนวณในเชิงตัวเลข (Numerical Computation)

เมื่อ เมตริก [B] คือ ฟังก์ชันอิมพลีซิท ของ r, s และ t วิธีการคิดทางเชิงตัวเลขถูกใช้ในประเมินผลคูณรวมของการอินทิเกรต (Integrate) ของสมการ (2.40) จากการพิสูจน์พบว่าวิธีการ Gaussian quadrature เป็นวิธีคิดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ในการแก้ปัญหานี้ใช้ Gaussian quadrature แบบสองจุด ซึ่งให้ผลที่แม่นยำ ดังนี้

$$[K]^{(e)} = \sum_{r=R_1}^{R_2} \sum_{s=S_1}^{S_2} \sum_{t=T_1}^{T_2} [(B)^T [D][B] \cdot \det[J]](R_i, S_j, T_k) \quad (2.41)$$

$$\text{โดยที่} \quad [([B]^T [D][B] \cdot \det[J])|(R_i, S_j, T_k)] \quad (2.42)$$

2.6 การสัมผัสในระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

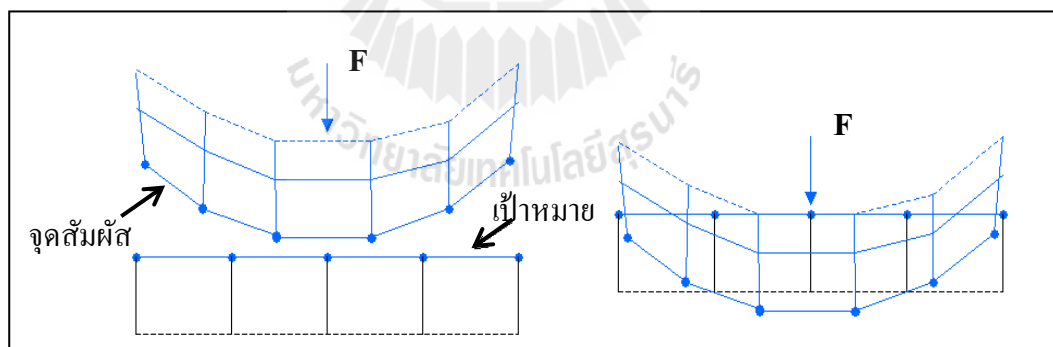
การสัมผัสของชิ้นส่วนทางกลเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้สำหรับการสัมผัสของส่วนชิ้นงานตั้งแต่สองส่วน ในการศึกษาเกี่ยวกับการตกระแทกนั้น จำเป็นต้องพิจารณาการสัมผัสกันของแผ่นดิสก์กับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

2.6.1 แนวคิดพื้นฐานการสัมผัส

การสัมผัสคือการที่พื้นผิวอิสระเริ่มเคลื่อนที่เข้าหากันจนกระทั่งพื้นผิวเหล่านั้นเริ่มมีการชนและทำการสัมผัสกันอย่างเต็มที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ในทางฟิสิกส์ อธิบาย คุณลักษณะการสัมผัสไว้ดังนี้

การสัมผัสของพื้นผิวจะไม่มีอาการจมลงเนื่องงานของกันและกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 มีการส่งผ่านแรงกดและแรงเสียดทาน และไม่มีการส่งผ่านแรงดึง กล่าวคือพื้นผิวสัมผัสสามารถแยกออกและเคลื่อนที่ออกจากกันได้โดยอิสระ

การสัมผัสคือการเปลี่ยนสถานะแบบไม่เชิงเส้น ความแข็งของระบบขึ้นอยู่กับสถานะของการสัมผัสว่าเป็นแบบขณะสัมผัสหรือขณะเคลื่อนที่ออกจากกัน

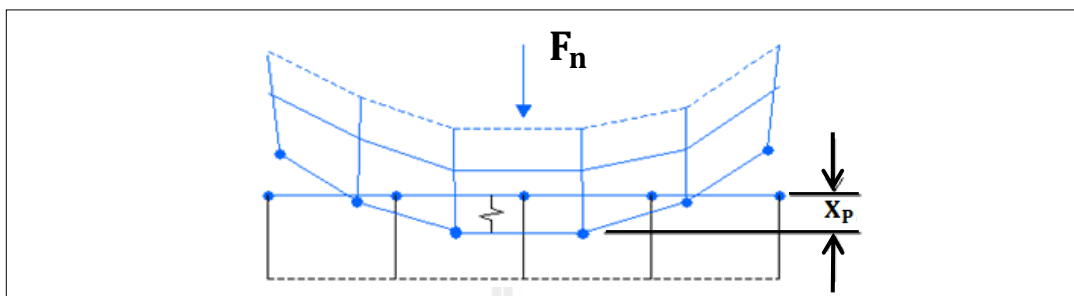


รูปที่ 2.8 ลักษณะการสัมผัสของพื้นผิวอิสระ

2.6.2 สมการคำนวณการสัมผัส

สำหรับการสัมผัสแบบวัตถุแข็งสามารถใช้สมการเพียวพินาตี้ (Pure Penalty) หรือ ออกเมนต์ลากรางซ์ (Augmented Lagrange) ซึ่งมีพื้นฐานสมการเดียวกันได้ ข้อแตกต่างระหว่าง

สมการคำนวณแบบ เพียวพินาตี้ (Pure Penalty) และ ออกเมนต์ลากรางจ์ (Augmented Lagrange) คือ การมีพจน์ขยายของการสัมผัส (λ) เพิ่มเข้ามา



รูปที่ 2.9 ลักษณะการสัมผัสแบบวัตถุแข็ง

$$\text{Pure Penalty : } F_{normal} = k_{normal} + X_{penetration} \quad (2.43)$$

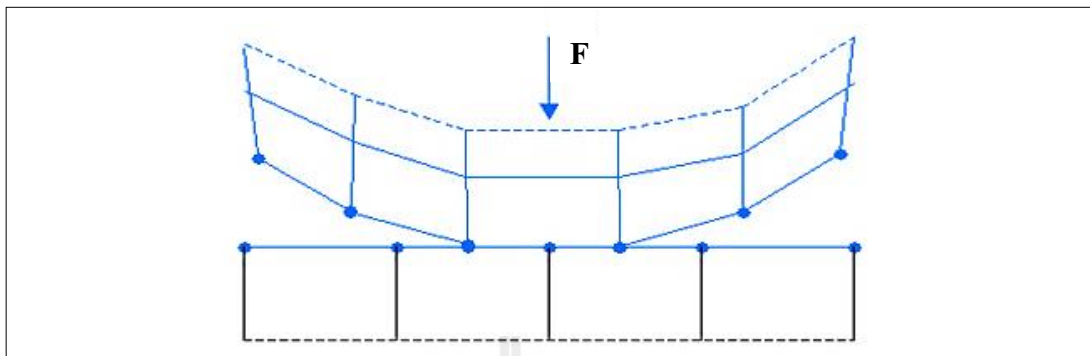
$$\text{Augmented Lagrange : } F_{normal} = k_{normal} + X_{penetration} + \lambda \quad (2.44)$$

โดย F_{normal} คือ แรงจากการสัมผัส
 K_{normal} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งสัมผัส
 $X_{penetration}$ คือ ระยะการจมลงเนื่องงาน
 λ คือ พจน์ขยายของการสัมผัส

จากการที่มีพจน์ขยายของการสัมผัส (λ) นี้ ทำให้การคำนวณแบบออกเมนต์ลากรางจ์ (Augmented Lagrange) ไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งสัมผัส k_{normal} ยิ่งค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งสัมผัส k_{normal} มีค่ามาก ระยะการจมลงเนื่องงานก็จะน้อย

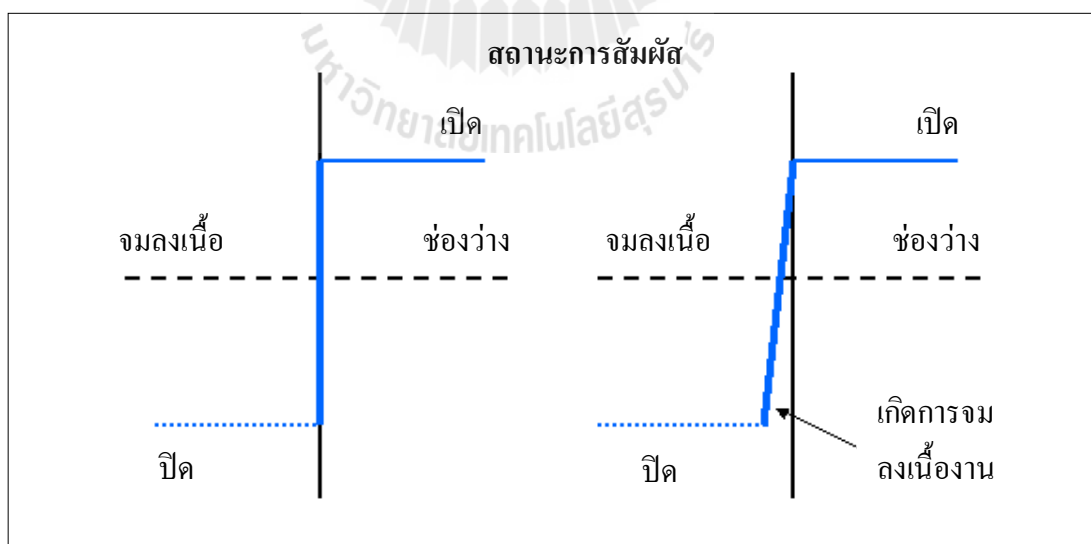
สมการลากรางจ์แบบทวิคูณ (Lagrange Multiplier) ก็คือการเพิ่มค่าแรงกดสัมผัสเป็นองศาอิสระการเคลื่อนที่ (Degree of freedom) พิเศษ เข้าไปในสมการลากรางจ์แบบปกติ (Normal Lagrange) เพื่อให้เกิดการสัมผัสโดยสมบูรณ์ ผลที่ตามมาคือแทนที่จะทำการแก้ปัญหาสมการค่าแรงสัมผัสโดยผ่านค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งสัมผัสและระยะจมลงเนื่องงาน แต่แรงกดสัมผัสจะถูกแก้สมการโดยวิธีแบบชัดแจ้ง บังคับให้ค่าการจมลงเนื่องงานมีค่าเท่ากับหรือใกล้ค่าศูนย์ โดยเปลี่ยนแปลง DOF ดังแสดงในรูปที่ 2.10

$$F_{\text{normal}} = \text{Extra DOF (Contact Pressure)} \quad (2.45)$$



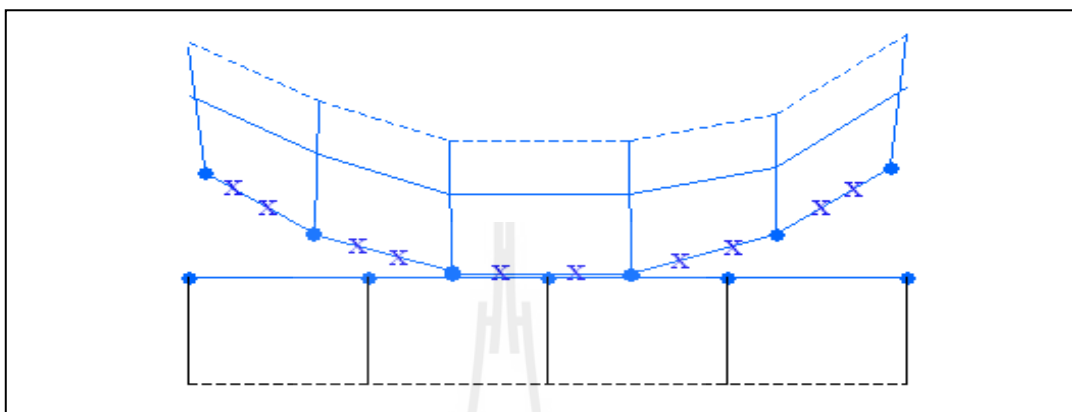
รูปที่ 2.10 Extra DOF (Contact Pressure)

ปัญหาของสมการลากรางจ์แบบปกติ (Normal Lagrange) ถ้ามีการกำหนดให้ไม่มีการจมลงเนื่องงานเกิดขึ้น สถานะการสัมผัสจะเป็นทั้งแบบเปิดหรือปิดได้ซึ่งทำให้ใช้วิธีการลู่อายยาก เพราะจุดสัมผัสสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในช่วงเปิดหรือปิด แต่ถ้ายอมให้มีการจมลงเนื่องงานเกิดขึ้นบ้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.11 วิธีการลู่อายก็จะทำได้ง่ายกว่า



รูปที่ 2.11 ลักษณะของสถานะหน้าสัมผัส

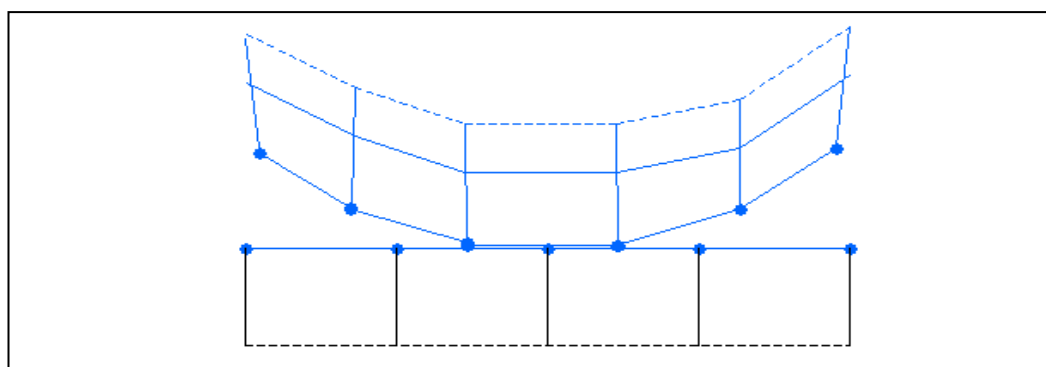
การสัมผัสจะถูกตรวจจับแตกต่างกันไปตามชนิดของสมการที่ใช้ สมการคำนวณแบบเพียวพินาตี้ (Pure Penalty) และออกเมนต์ลากรางจ์ (Augmented Lagrange) จะใช้การตรวจจับอนุพันธ์แบบจุด (Integration Point Detection) ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ทำให้มีจุดตรวจจับที่มากจุด



รูปที่ 2.12 การตรวจจับอนุพันธ์แบบจุด

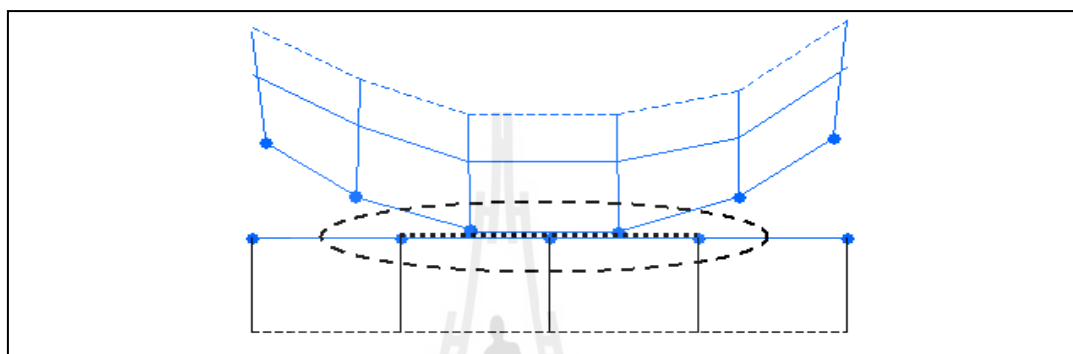
สมการลากรางจ์แบบปกติ (Normal Lagrange) และมัลติพอยน์คอนสเตรนท์ (Multi-Point Constraint) จะใช้โนดอลดีเทกชัน (Nodal Detection) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ,2.14 ทำให้มีจุดตรวจจับน้อยกว่า

โนดอลดีเทกชัน (Nodal Detection) จะให้ผลการสัมผัสที่ขอบที่ดีกว่า แต่แย่กว่าในส่วนอื่นๆ ซึ่งการทำเมชที่ละเอียดสามารถช่วยแก้ไขได้



รูปที่ 2.13 การตรวจจับอนุพันธ์แบบจุด ใช้โนดอลดีเทกชัน

ในกรณีของการสัมผัสแบบยึดติดและ ไม่มีการแยกจากกันของสองพื้นผิว สามารถใช้สมการมัลติพอยน์คอนสเตรนท (Multi-Point Constraint) ได้ ข้อจำกัดจะถูกเพิ่มเข้าไปในสมการเพื่อที่จะโยกการเคลื่อนที่ระหว่างพื้นผิวสัมผัส วิธีนี้ไม่ใช่สมการแบบพินาดีเบส (Penalty-based) หรือลากรางซ์แบบทวีคูณ (Lagrange Multiplier) แต่เป็นแบบที่เกี่ยวข้องกับบริเวณพื้นผิวโดยตรง การเลือกรูปขนาดใหญ่มากสามารถใช้สมการมัลติพอยน์คอนสเตรนท (Multi-Point Constraint) ได้



รูปที่ 2.14 การตรวจจับอนุพันธ์แบบจุดที่บริเวณพื้นผิว

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้นจะเกี่ยวข้องกับการสัมผัสในทิศทางปกติ ถ้ามีการระบุถึงค่าแรงเสียดทาน ความหยาบและการจับยึดของการสัมผัส ลักษณะเช่นนี้จะเกิดการสัมผัสในทิศทางเชิงมุมได้ คล้ายกับการผ่านเข้าไปไม่ได้จากการสัมผัสในทิศทางเชิงมุม พื้นผิวทั้งสองจะไม่เคลื่อนตัวออกจากกันถ้าเกิดการยึดติดขึ้น “Sticking” สมการแบบ เพียวพินาดี (Pure Penalty) จะถูกใช้คำนวณเสมอ โดยมีตัวแปรเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งสัมผัสเชิงมุมและระยะการเคลื่อนตัว

$$\text{Sticking} : F_{\text{tangential}} = k_{\text{tangential}} + X_{\text{sliding}} \quad (2.46)$$

โดย $F_{\text{tangential}}$ คือ แรงจากการสัมผัสเชิงมุม
 $K_{\text{tangential}}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งสัมผัสเชิงมุม
 X_{sliding} คือ ระยะการเคลื่อนตัว

ซึ่ง $X_{sliding}$ มีค่าเท่ากับศูนย์สำหรับการเกิดการขีตติค แม้ว่าการเลื่อนตัว ถูกอนุญาตให้มีได้ในวิธีการแบบพินาตี้เบส (Penalty-based)

2.7 วิธีการวิเคราะห์คำนวณเชิงตัวเลขทางพลวัต (Dynamic Analysis By Numerical Integration)

2.7.1 บทนำ

โดยพื้นฐานทั่วไปการแก้ปัญหาการวิเคราะห์ของระบบ โครงสร้างพลวัต (Dynamic response) คือการใช้วิธีการวิเคราะห์คำนวณเชิงตัวเลขของสมการ Dynamic equilibrium ในขณะที่หลังจากที่เวลาเริ่มต้นที่ศูนย์จนถึงเวลาใด ๆ ในช่วงเวลาที่กำหนด โดยส่วนใหญ่ในหลักวิเคราะห์คำนวณเชิงตัวเลขหลาย ๆ แบบจะกำหนดเวลาในการคำนวณเป็นช่วงระยะเวลา $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, N\Delta t$ ในการประมวลผล อย่างไรก็ตามทุกวิธีการแก้ปัญหาสามารถจำแนกออกเป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ วิธีการแบบ Explicit Integration และ Implicit Integration

วิธีการแบบ Explicit Integration ไม่สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อหาผลลัพธ์ของสมการเชิงเส้นที่เป็นกลุ่ม โดยปกติแล้ววิธีการนี้จะนำมาใช้ในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equations) ที่เวลา “ t ” ใด ๆ แล้วนำไปประเมินผลที่เกิดขึ้น ณ เวลาที่ “ $t+\Delta t$ ” สำหรับโครงสร้างจริงใด ๆ ที่ประกอบด้วย Stiff element และต้องการผลลัพธ์ที่แน่นอนในช่วงเวลาสั้น ๆ

วิธีการแบบ Implicit Integration จะนำมาใช้ในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equations) ที่เวลา “ t ” ใด ๆ หลังจากที่ได้พบผลที่เกิดขึ้นจากการประมวลผล ณ เวลาที่ “ $t-\Delta t$ ” ดังนั้นวิธีการนี้จำเป็นจะต้องใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อหาผลลัพธ์ของสมการเชิงเส้นที่เป็นกลุ่ม

2.7.2 วิธีการของนิวมาร์ค (Newmark method)

วิธีการของนิวมาร์ค (Newmark method) ได้ถูกคิดค้นในปี ค.ศ. 1959 และนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาโครงสร้างพลวัต (Dynamic structural problem) ที่เกี่ยวข้องกับแรงระเบิดและแผ่นดินไหว หลังจากนั้นได้มีการปรับปรุงและพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์สมการ Linear Dynamic Equilibrium ซึ่งเขียนอยู่ในรูปสมการ (2.47)

$$M\ddot{u}_t + C\dot{u}_t + Ku_t = F_t \quad (2.47)$$

เมื่อทำการใช้วิธีการของนิวมาร์ค สามารถแปลงออกมาได้ในรูปแบบสมการ (2.48) และ (2.49)

$$u_t = u_{t-\Delta t} + \Delta t \dot{u}_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t^2}{2} \ddot{u}_{t-\Delta t} + \beta \Delta t^3 \ddot{u} \quad (2.48)$$

$$\dot{u}_t = \dot{u}_{t-\Delta t} + \Delta t \ddot{u}_{t-\Delta t} + \gamma \Delta t^2 \ddot{u} \quad (2.49)$$

ถ้ากำหนดให้ค่าความเร่งเป็นเชิงเส้นภายในระยะเวลาที่กำหนด จะได้สมการตาม (2.50)

$$\ddot{u} = \frac{(\ddot{u}_t - \ddot{u}_{t-\Delta t})}{\Delta t} \quad (2.50)$$

สมการที่ (2.48, 2.49 และ 2.50) สามารถนำมาเขียนในรูปแบบฟอร์มพื้นฐานของนิวมาร์ค (New mark's standard form) ได้เป็นสมการ (2.51) และ (2.52) ดังต่อไปนี้

$$u_t = u_{t-\Delta t} + \Delta t \dot{u}_{t-\Delta t} + \left(\frac{1}{2} - \beta\right) \Delta t^2 \ddot{u}_{t-\Delta t} + \beta \Delta t^2 \ddot{u}_t \quad (2.51)$$

$$\dot{u}_t = \dot{u}_{t-\Delta t} + (1 - \gamma) \Delta t \ddot{u}_{t-\Delta t} + \gamma \Delta t \ddot{u}_t \quad (2.52)$$

นิวมาร์คได้ใช้สมการ (2.47), (2.51) และ (2.52) ในการประมวลผลในแต่ละช่วงเวลา และ ระดับ ความเป็นอิสระการกระจัดของโครงสร้าง โดยที่พจน์ \ddot{u}_t สามารถคำนวณหาได้จากสมการ (2.49) โดยการนำค่ามวลที่เกี่ยวข้องกับระดับความเป็นอิสระไปหารทั้งหมด โดย γ และ β คือ ค่าอินทิเกรตชันพารามิเตอร์ (Integration parameters) ซึ่งมีผลต่อ ค่าความเสถียรของระบบ

$$\gamma \geq \frac{1}{2}, \quad \beta \leq \frac{1}{2} \quad \text{และ} \quad \Delta t \leq \frac{1}{\omega_{\max} \sqrt{\frac{\gamma}{2} - \beta}} \quad (2.53)$$

โดยที่ ω_{\max} เป็นค่าความถี่ที่มากที่สุดในระบบโครงสร้าง และจะมีความเสถียรอย่างไม่มีเงื่อนไขถ้า

$$2\beta \geq \gamma \geq \frac{1}{2} \quad (2.54)$$

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จักรพันธ์ ปรirkษ์วิจิตร (2007) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเสีรูบของชิ้นส่วน HGA ภายหลังกการจับยึดด้วยวิธีไฟไนท์อัลลิเมนต์ พบว่า ภาวะที่ให้กับชุดจับยึดมีส่วนสำคัญต่อการเสีรูบของชิ้นส่วน HGA อย่างยิ่งเนื่องจากทำให้ความเค้นที่บางตำแหน่งของการจับยึดเกินกว่าขีดจำกัดความยืดหยุ่นของวัสดุ ส่งผลให้เกิดการเสีรูบของชิ้นส่วน HGA จึงทำให้ค่าต่าง ๆ ที่วัดได้เปลี่ยนแปลงไป โดยภาวะที่เหมาะสมในการจับยึด คือ ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 110 MPa นอกจากนั้น ลักษณะของชุดจับยึดก็ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเสีรูบของชิ้นส่วน HGA ด้วย โดยลักษณะรูปร่างของชุดจับยึดที่มีพื้นที่จับยึดมากขึ้นจะทำให้การเสีรูบของชิ้นส่วน HGA ลดลงมาก ซึ่งลักษณะของชุดจับยึดด้านบนแบบสี่เหลี่ยมและชุดจับยึดด้านล่างแบบสี่เหลี่ยมไม่มีการลบบุมมีผลต่อการเสีรูบของชิ้นส่วนน้อยที่สุด

ภากรณ์ ทรัพย์เจริญ (2008) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ชุดจับยึดหัวอ่าน/เขียนข้อมูลเพื่อหามุมลอยตัว (Suspension Angle) ที่ให้ค่า Gram Load ในช่วง 2.5 ± 0.2 กรัม ที่เหมาะสมโดยศึกษาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อชุดจับยึดหัวอ่าน/เขียนอยู่ในสภาวะ Load State ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อัลลิเมนต์ จากการจำลอง พบว่า มุมลอยตัวที่เหมาะสมจะมีค่าระหว่าง 10-12 องศา และจากการทดลองพบว่า มุมลอยตัวที่เหมาะสมจะมีค่าระหว่าง 12-13 องศา ซึ่งพบค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 1-2 องศา เมื่อกำหนดมุมลอยตัวมีค่าเท่ากับ 11 องศา เพื่อวิเคราะห์ความเค้น จะพบว่าความเค้นจะเกิดขึ้นที่บริเวณ Bend Zone เป็นหลัก

เรืองฤทธิ์ สารางคำ (2008) ได้ศึกษาค่าแรงเนื่องจากความเร่ง (G-Force) ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการตกกระทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ โดยการตกกระทกแบบอิสระในทิศทางต่าง ๆ ด้วยวิธีการทางไฟไนท์อัลลิเมนต์และการทดสอบจริง และนำค่าแรงเนื่องจากความเร่งที่ได้จากทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาค่าความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ จากงานวิจัยนี้ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางนำเครื่องทดสอบการตกกระทกไปใช้ในการทดสอบการตกกระทกของบรรจุภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไปได้ อีกทั้งวิธีการศึกษาการตกกระทกของบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีทางไฟไนท์อัลลิเมนต์ยังสามารถนำไปใช้เป็วิธีการหนึ่งในการศึกษาการตกกระทกนอกเหนือจากการทดสอบการตกกระทกของบรรจุภัณฑ์จริง

ยุทธชัย ว่องไวพินิจ (2008) ได้ทำการศึกษาอายุการใช้งานของพลาสติกถ่างหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟซึ่งพบว่ามีารเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างวัสดุ เนื่องมาจากอายุการใช้งานทำให้เสียหาย ดังนั้นจึงได้ทำการกำหนดจำนวนครั้งในการนำกลับมาใช้และใช้ความรู้เรื่องไฟไนท์อัลลิเมนต์ มาช่วยในการออกแบบแก้ไขจุดที่อ่อนแอเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของ Shipping Comb จากการศึกษาพบว่า Shipping Comb 1 ชิ้นสามารถนำกลับมาใช้ได้ไม่เกิน 7 ครั้ง จุดที่อ่อนแอที่สุด

คือ บริเวณ Latch แบบตั้งฉาก จึงได้ทำการเปลี่ยนเป็นโค้งแบบรัศมี 0.09 องศา พบว่าโค้งแบบรัศมี จะเกิดความเค้นและความเครียดขึ้นน้อยกว่าแบบโค้งหักฉากและสามารถเพิ่มจำนวนรอบการใช้งานเป็น 12 ครั้ง

ศันสนีย์ ขุนทิพย์ทอง (2009) ได้ทำการศึกษาลักษณะการเสีรูปร่างของหัวอ่าน/เขียนของ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ขนาด 2.5 นิ้ว ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุม Pitch Static Attitude (PSA) ในกระบวนการตรวจสอบคุณสมบัติอันเนื่องมาจากได้รับแรงจذبยึดด้วยวิธีไฟไนท์ออลลิเมนต์ เพื่อหาค่าแรงจذبยึด ที่ส่งผลต่อการเสีรูปร่างของ HGA และการเปลี่ยนแปลงค่ามุม PSA และ RSA น้อยที่สุด จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนท์ออลลิเมนต์และผลจากการทดลองจากกระบวนการตรวจสอบคุณสมบัติพบว่า ค่าแรงจذبยึด 7 ปอนด์ ทำให้ HGA เกิดการเสีรูปร่างที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุม PSA และ RSA น้อยที่สุด

ขจรศักดิ์ ใจดี สุรเชษฐ์ ชูติมา และ ทศพร กำเนิดทอง (2010) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของชิ้นส่วน HGA หลังถูกจذبยึดด้วยชิ้นส่วนหัวอ่าน ภายในกระบวนการประกอบ HSA โดยทำการปรับเปลี่ยนขนาดของหัวอ่าน จากตัวแปรในการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Spreader Pins ด้วยการวิเคราะห์ไฟไนท์ออลลิเมนต์และพิจารณาผลกระทบต่อค่า Gram Load จากการวิเคราะห์พบว่าแรงจذبยึด HGA ด้วยชิ้นส่วนหัวอ่านที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของ Spreader Pins มากขึ้นไม่เกิน 1.29 มิลลิเมตร จะไม่ทำให้เกิดการเสีรูปร่างอย่างถาวรและไม่ส่งผลกระทบต่อค่า Gram Load

รัฐภูมิ คล้ายอักษร (2010) ได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อชุดหัวอ่าน/เขียนข้อมูลที่เกิดจากกระบวนการ Ball Swaging Process ต่อค่า Pitch Static Attitude ภายในฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว โดยสร้างแบบจำลองไฟไนท์ออลลิเมนต์เพื่อศึกษาพฤติกรรมความสัมพันธ์และผลกระทบที่เกิดขึ้นอันสืบเนื่องมาจากกระบวนการสเวจ โดยใช้บอลต่อคุณสมบัติของชุดอ่าน/เขียนข้อมูล และทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยนำผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการทั้งสองมาเปรียบเทียบกันและพบว่าผล ที่ได้มีค่าไปในทิศทางเดียวกัน โดยสามารถพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงของค่าพิชสแตติกแอกทิจูดได้อย่างน่าเชื่อถือ

ทศนพ กำเนิดทอง สุรเชษฐ์ ชูติมา และจักรพันธ์ ปรริรักษ์วิจิตร (2010) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเสีรูปร่างของ HGA หลังจากการให้แรงจذبยึดในลักษณะที่แตกต่างกัน โดยทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์ออลลิเมนต์และนำผลที่ได้มาปรับปรุงขนาดของแรงและลักษณะการจذبยึดในกระบวนการ จากการศึกษาพบว่ากราฟแสดงลักษณะของการเสีรูปร่างตามแนวขวาง และตามแนวยาวของ HGA เนื่องจากการจذبยึดโดยชุดจذبยึดที่มีด้านบนเป็นแบบสี่เหลี่ยม

และด้านล่างเป็นแบบไม่มีลมมุมจะมีผลต่อการเสียรูปของ HGA น้อยที่สุดและเกิดการเสียรูปตามขวางที่มีลักษณะสม่ำเสมอ

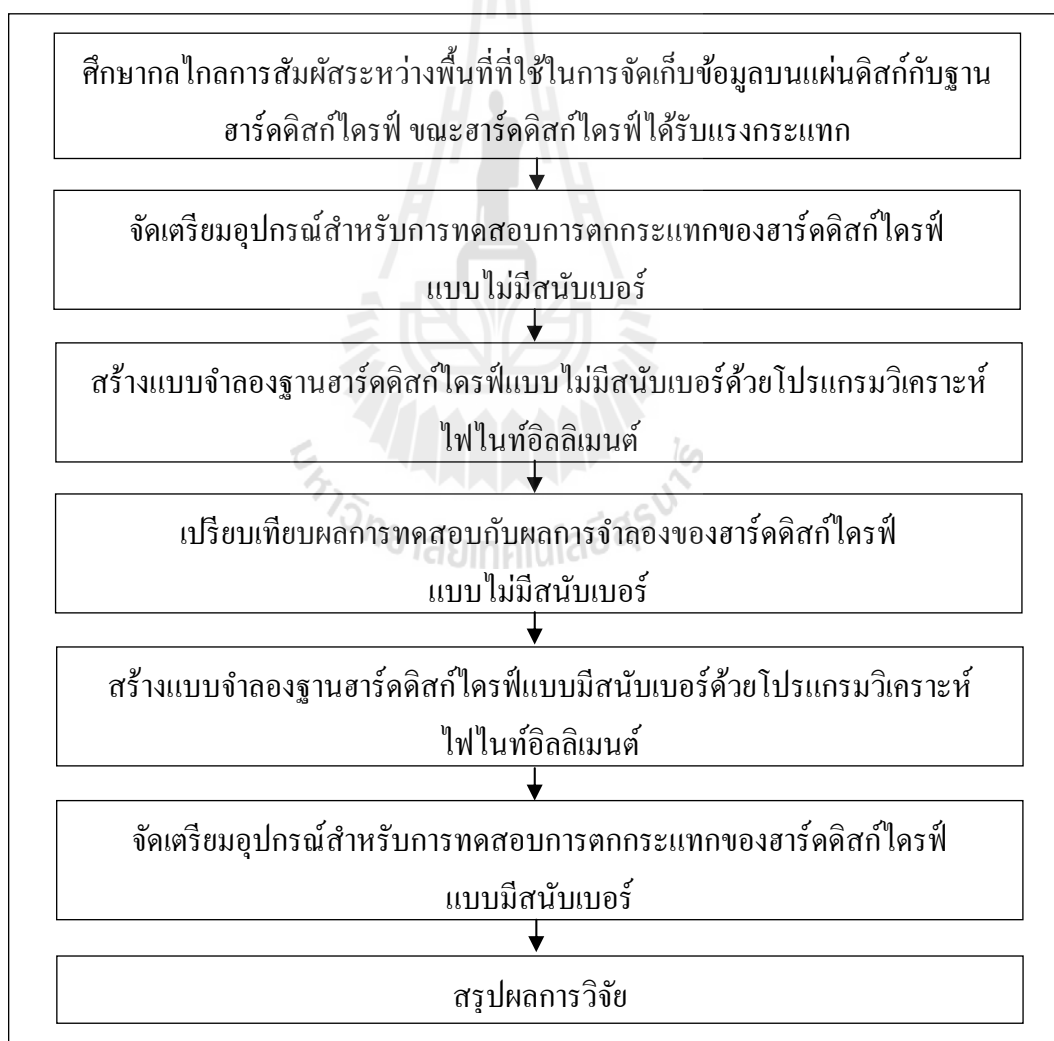
สุริยา สุภา และสมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ (2011) ได้ทำการศึกษาแรงพลวัตในการถอดออกและประกอบเข้าของหวีมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายจากการลดจำนวนของเสียในการทดลอง จากการแก้ไขแม่พิมพ์ตามข้อผิดพลาดของหวีที่ออกแบบและจากการทดสอบทดลองในกระบวนการพัฒนาออกแบบหวี นอกจากนี้ยังมีสามารถลดเวลาในการออกแบบหวีและเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของการเปิดตัวผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว ของ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด ให้สามารถป้องกันการกระแทกระหว่างส่วนที่จัดเก็บข้อมูลบนแผ่นดิสก์กับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ไม่ทำงาน โดยมีขั้นตอนดำเนินการวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษากลไกการสัมผัสระหว่างพื้นที่ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลบนแผ่นดิสก์กับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ขณะฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ได้รับแรงกระแทก

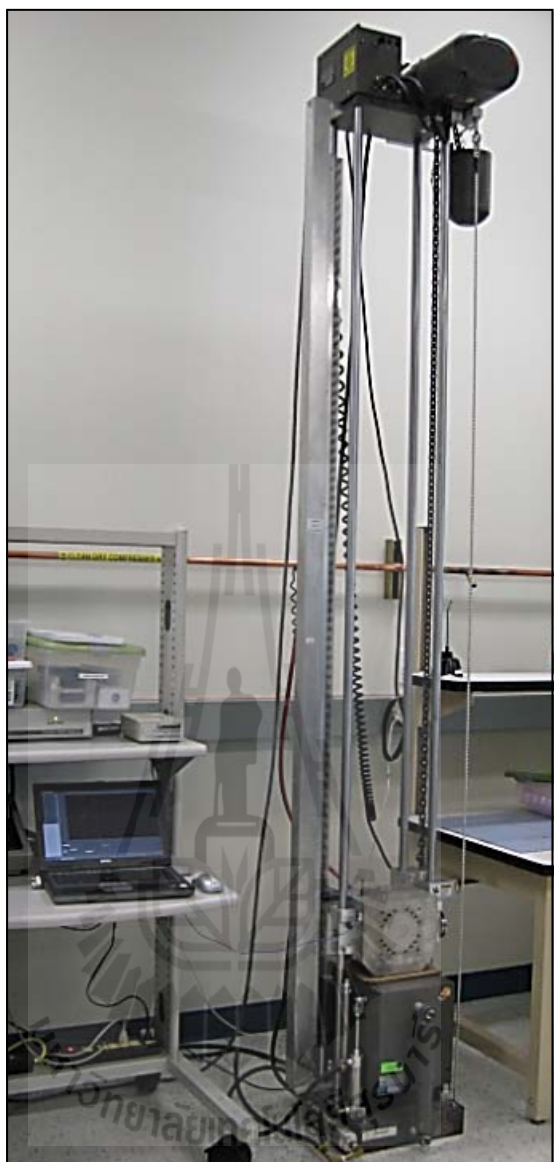
ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับบันทึกข้อมูล โดยข้อมูลจะถูกเขียนลงบนจานแม่เหล็กที่เรียกว่า “แผ่นดิสก์” ซึ่งแผ่นดิสก์นี้จะถูกประกอบเข้ากับแกนของมอเตอร์ที่ถูกประกอบติดอยู่กับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยบริเวณขอบด้านนอกของแผ่นดิสก์จะถูกปล่อยเป็นอิสระ ดังนั้นลักษณะการประกอบแผ่นดิสก์เข้ากับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จึงเปรียบเสมือนคานที่ถูกยึดไว้ด้านหนึ่งและปล่อยให้ปลายอีกด้านหนึ่งเป็นอิสระ เมื่อได้รับแรงกระแทกจะทำให้เกิดการโก่งตัว



รูปที่ 3.2 โครงสร้างส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

3.1.1 เครื่องมือสำหรับใช้ทดสอบการตกกระแทก (Shock tower)

เครื่องทดสอบการตกกระแทก (Shock tower) ใช้เป็นเครื่องมือในการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด โดยมีการกำหนดค่าแรงในการตกกระแทกอยู่ที่ 350G ซึ่งเป็นค่าความปลอดภัยสูงสุดที่ถูกกำหนดไว้โดยบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด โดยค่าความปลอดภัยนี้กำหนดให้ใช้สำหรับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่มีขนาด 3.5 นิ้ว และในการตั้งค่าความสูงของเครื่องทดสอบการตกกระแทกนี้จะมีค่าเท่ากับ 350G ที่ระยะความสูงเท่ากับ 5 เซ็นติเมตร สำหรับงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาปัญหาของการตกกระแทกที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์โดยกำหนดระดับทดสอบที่ความสูงเท่ากับ 5, 10, 15 และ 20 เซ็นติเมตร



รูปที่ 3.3 เครื่อง Shock tower

3.1.2 เครื่องมือสำหรับใช้ตรวจสอบความเสียหายของแผ่นดิสก์

เครื่องมือสำหรับตรวจสอบความเสียหายบนแผ่นดิสก์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งมีหลักการทำงานโดยใช้แสงเลเซอร์ (Laser) ทำหน้าที่ตรวจจับและทำการประมวลผลเป็นภาพออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการตรวจสอบลักษณะรูปร่างของรอยแผล (Defect) ที่เกิดขึ้นบนแผ่นดิสก์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 เครื่อง Optical Surface Analyzer



รูปที่ 3.5 กล้องจุลทรรศน์

3.2 จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์

การทดสอบความเสียหายของข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ อันเนื่องมาจากการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ไม่ทำงานกับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ไม่มีสแน็บเบอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ที่ระยะความสูง 5, 10, 15 และ 20 เซ็นติเมตร จากนั้นทำการตรวจสอบผลการทดสอบด้วยเครื่อง Optical Surface Analyzer และกล้องจุลทรรศน์ เพื่อนำผลการสอบจริงนี้ไปใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองของการวิเคราะห์ด้วยไฟไนท์อีลิเมนต์



รูปที่ 3.6 ฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์

3.3 สร้างแบบจำลองฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนท์อีลิเมนต์

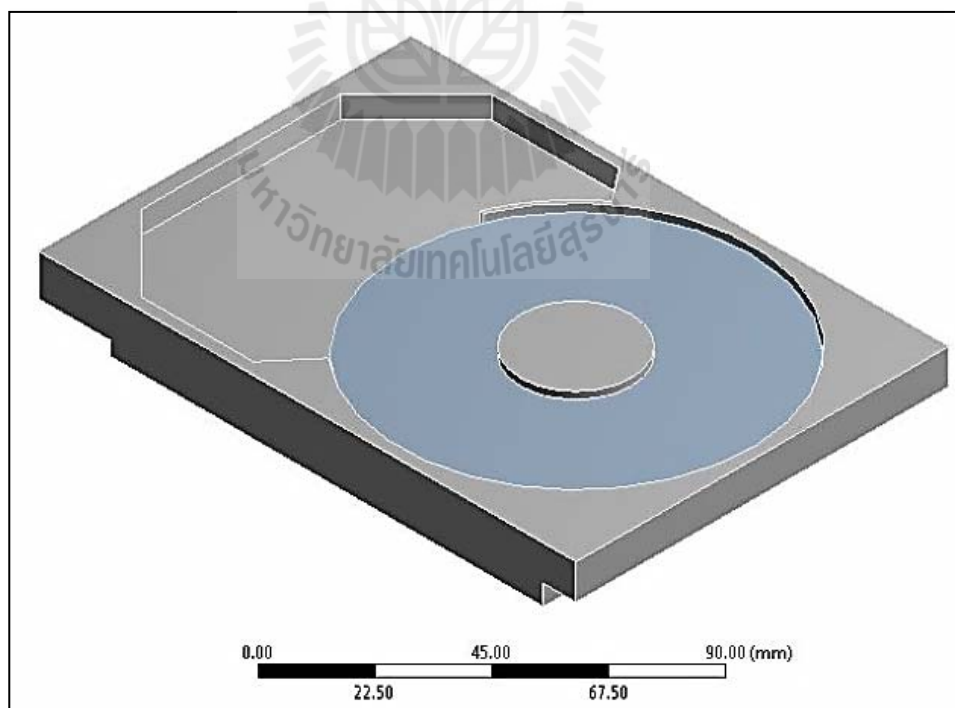
การสร้างแบบจำลองทางไฟไนท์อีลิเมนต์กระทำโดยโปรแกรม Solid work และทำการวิเคราะห์ความเสียหายของข้อมูลบนแผ่นดิสก์โดยใช้โปรแกรม ANSYS Workbench ซึ่งงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์ จาก บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด ซึ่งเป็นฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว ประกอบด้วยแผ่นดิสก์จำนวน 1 แผ่น ในงานวิจัยนี้เลือกพิจารณาส่วนประกอบหลักเพียง 2 ส่วน คือ ฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์และแผ่นดิสก์ โดยไม่ทำการพิจารณาส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์อื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับการศึกษาของงานวิจัยนี้ทั้งนี้เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและทรัพยากรคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ ซึ่งส่วนทั้งสองดังกล่าวข้างต้นมีคุณสมบัติทางกล ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ค่าสมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาทำฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

คุณสมบัติของวัสดุ	อลูมิเนียมอัลลอย 380A
Poison ratio (ν)	0.33
Modulus of elasticity (E, Gpa)	71
Tensile Strength (Mpa)	160
Density	2710

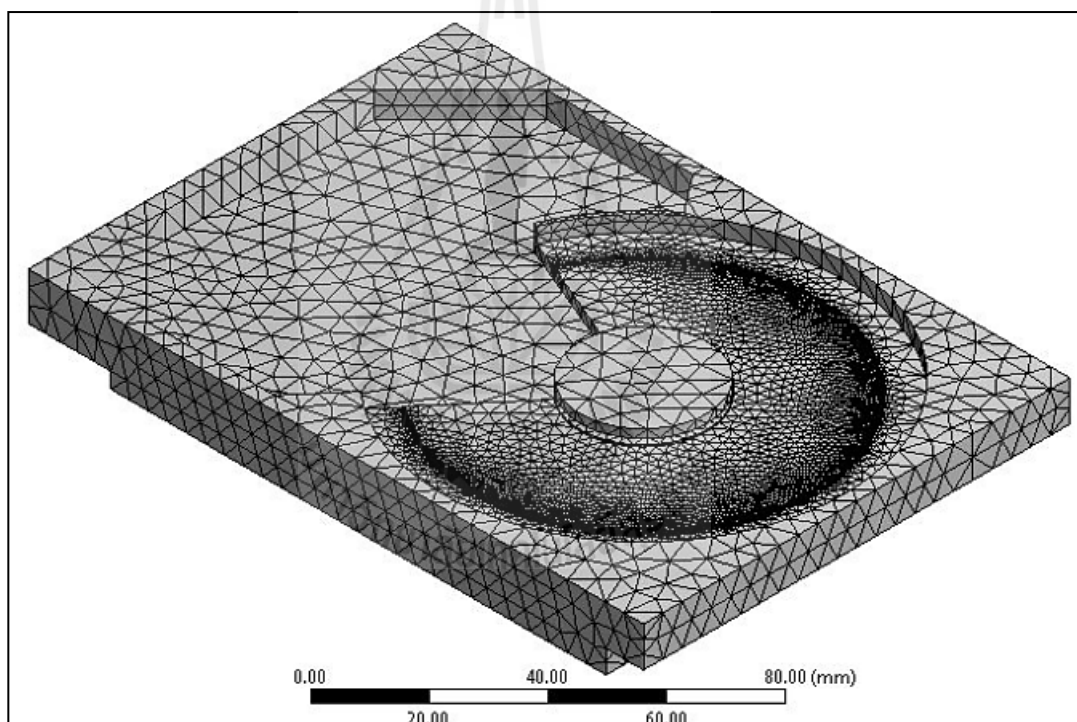
ตารางที่ 3.2 ค่าสมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาทำแผ่นดิสก์

คุณสมบัติของวัสดุ	อลูมิเนียมอัลลอย
Poison ratio (ν)	0.33
Modulus of elasticity (E, Gpa)	72
Tensile Strength (Mpa)	200
Density	2700



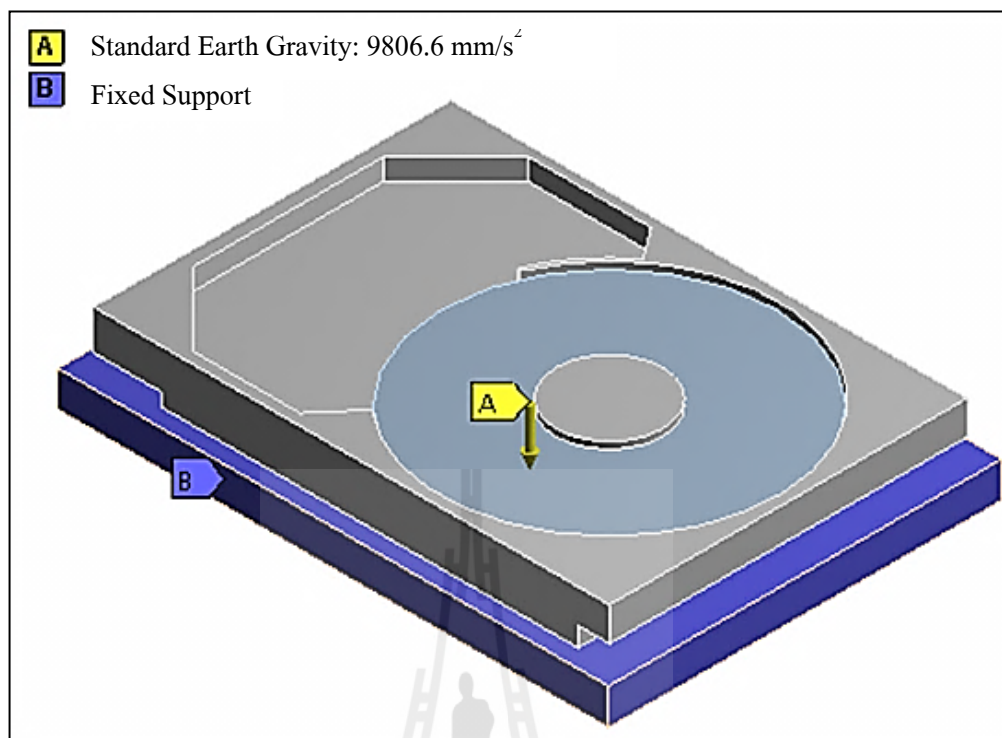
รูปที่ 3.7 แบบจำลองของโมเดลสามมิติทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

การเลือกอีลิเมนต์ให้กับแบบจำลองทางไฟไนต์อีลิเมนต์เนื่องจากแบบจำลองเป็นการทดสอบแบบพลวัต จึงต้องสร้างรูปแบบอีลิเมนต์เป็น Explicit และควบคุมรูปแบบอีลิเมนต์ในแต่ละส่วนของชิ้นงาน และโครงสร้างของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่มีความซับซ้อนจึงจำเป็นต้องเลือกรูปแบบอีลิเมนต์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้จึงทำการกำหนดอีลิเมนต์รูปทรงแบบปิรามิดฐานสามเหลี่ยม (Tetrahedron) สำหรับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ และอีลิเมนต์รูปทรงแบบทรงสี่เหลี่ยม (Hex dominant) สำหรับแผ่นดิสก์ด้วยวิธีของ Patch Independent (Algorithm) และเนื่องจากบริเวณชิ้นงานที่สัมผัสกันและชิ้นงานที่มีความโค้งจึงต้องกำหนดจำนวนอีลิเมนต์ที่มีความละเอียดมากกว่าบริเวณอื่น ดังแสดงในรูปที่ 3.8 โดยมี Nodes ~202,000 และ Elements ~264,000



รูปที่ 3.8 แบบจำลองของเมชโมเดลฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ใน Explicit Dynamics ให้การสัมผัสกันเป็นไปตามการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน คือ Body Interaction จากนั้นให้ Initial Condition โดยการให้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ตกกระทบกับพื้นด้วยความเร็ว (Velocity) และกำหนดที่เวลา 0 ถึง 5.00×10^{-4} วินาที เพื่อได้ระยะทางในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ตกกระทบกับพื้น



รูปที่ 3.9 แบบจำลองของการกำหนดเงื่อนไขทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในทิศทางแนวตั้ง

3.4 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลองของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์

นำผลของการทดลองงานจริงมาเปรียบเทียบกับแบบจำลอง FEA และทำการปรับปรุงแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับผลการทดสอบ

3.5 สร้างแบบจำลองฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนท์เอลิเมนต์

3.5.1 การสร้างแบบจำลองฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์

วิธีการสร้างแบบจำลองฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ กระทำโดยการเพิ่มเนื้อที่ของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ให้สูงขึ้นในตำแหน่งที่ตรงกับขอบด้านนอกสุดของแผ่นดิสก์ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีการจัดเก็บข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.13 จากนั้นทำการวิเคราะห์ภายใต้การกำหนดเงื่อนไขเช่นเดียวกันกับแบบจำลองฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์

3.5.1.1 การออกแบบความสูงของสแน็บเบอร์ให้มีความสูง สูงกว่าความสูงของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล (แบบ ก.) ภายหลังจากการกำหนดคอลลิเมนต์ให้กับแบบจำลองแล้วพบว่าแบบจำลองฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์มี Nodes ~203,000 และ Elements ~270,000



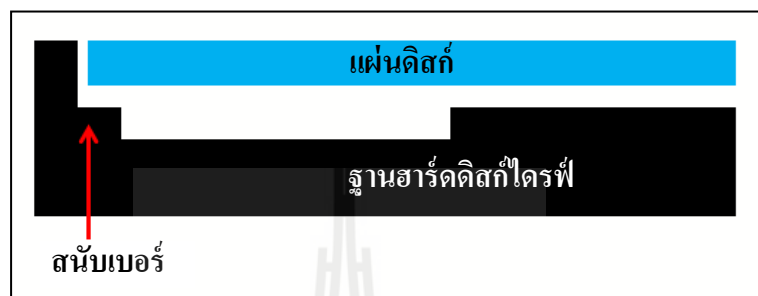
รูปที่ 3.10 ความสูงของสแน็บเบอร์ที่มีความสูง สูงกว่าความสูงของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล (แบบ ก.)

3.5.1.2 การออกแบบความสูงของสแน็บเบอร์ให้มีความสูง ต่ำกว่าความสูงของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล (แบบ ข.) ภายหลังจากการกำหนดคอลลิเมนต์ให้กับแบบจำลองแล้วพบว่าแบบจำลองฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์มี Nodes ~203,000 และ Elements ~270,000

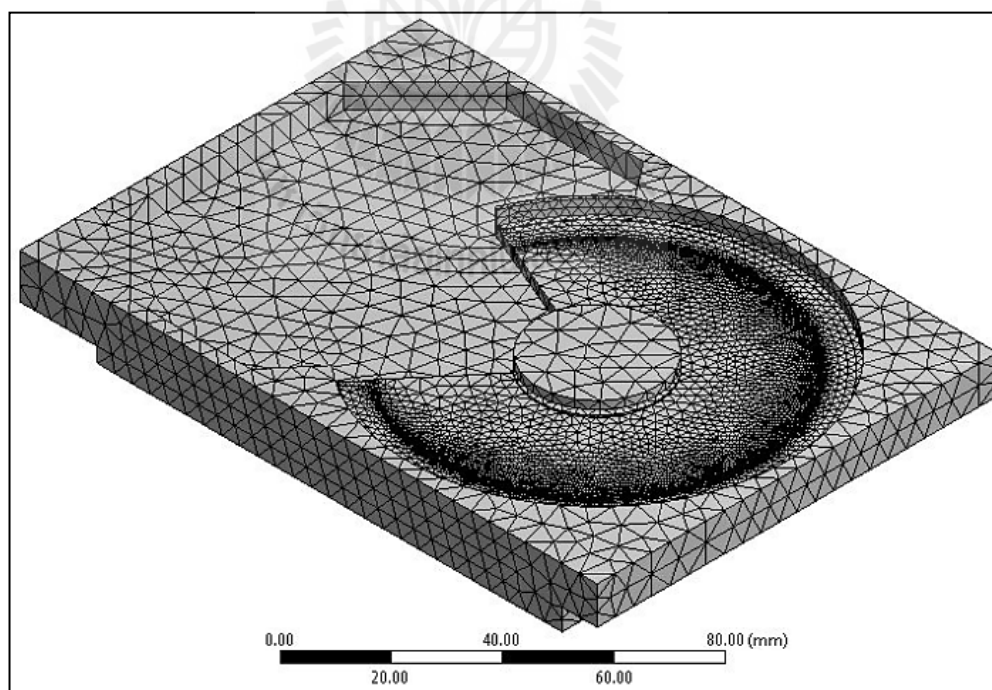


รูปที่ 3.11 ความสูงของสแน็บเบอร์ที่มีความสูง ต่ำกว่าความสูงของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล (แบบ ข.)

3.5.1.3 การออกแบบความสูงของส้นเบอร์ดี้ให้มีความสูง เท่ากับความสูงของฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล (แบบ ค.) ภายหลังจากการกำหนดคอลลิเมนต์ให้กับแบบจำลองแล้วพบว่าแบบจำลองฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบมีส้นเบอร์ดี้มี Nodes ~203,000 และ Elements ~270,000



รูปที่ 3.12 ความสูงของส้นเบอร์ดี้ที่มีความสูง เท่ากับความสูงของฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล (แบบ ค.)



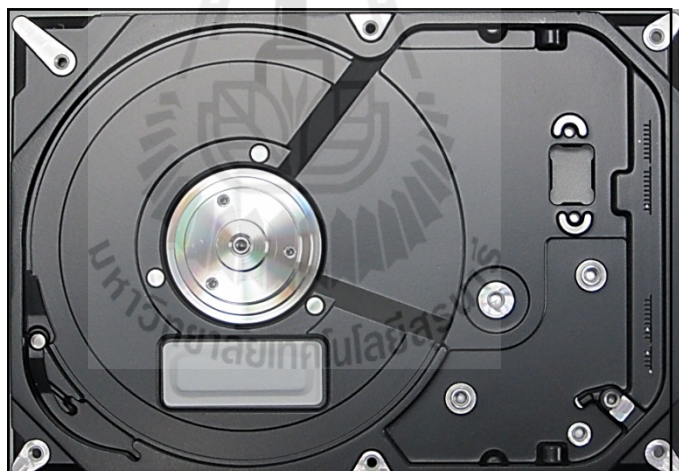
รูปที่ 3.13 แบบจำลองของเมช โมเดลฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบมีส้นเบอร์ดี้

3.5.2 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความเสียหายของข้อมูลบนแผ่นดิสก์

ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสปีดเบอร์ดกับตำแหน่งความเสียหายของข้อมูลที่เกิดขึ้นบนแผ่นดิสก์ เพื่อนำมาซึ่งบทสรุปของการออกแบบสปีดเบอร์ดบนฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

3.6 จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบไม่มีสปีดเบอร์ด

การทดสอบความเสียหายของข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ อันเนื่องมาจากการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงานกับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีสปีดเบอร์ด ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ที่ระยะความสูง 5, 10, 15 และ 20 เซนติเมตร จากนั้นทำการตรวจสอบผลการทดสอบด้วยเครื่อง Optical Surface Analyzer และกล้องจุลทรรศน์ เพื่อยืนยันผลของการวิเคราะห์ทางไฟไนท์อิลลิเมนต์



รูปที่ 3.14 ฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบมีสปีดเบอร์ด

บทที่ 4

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์

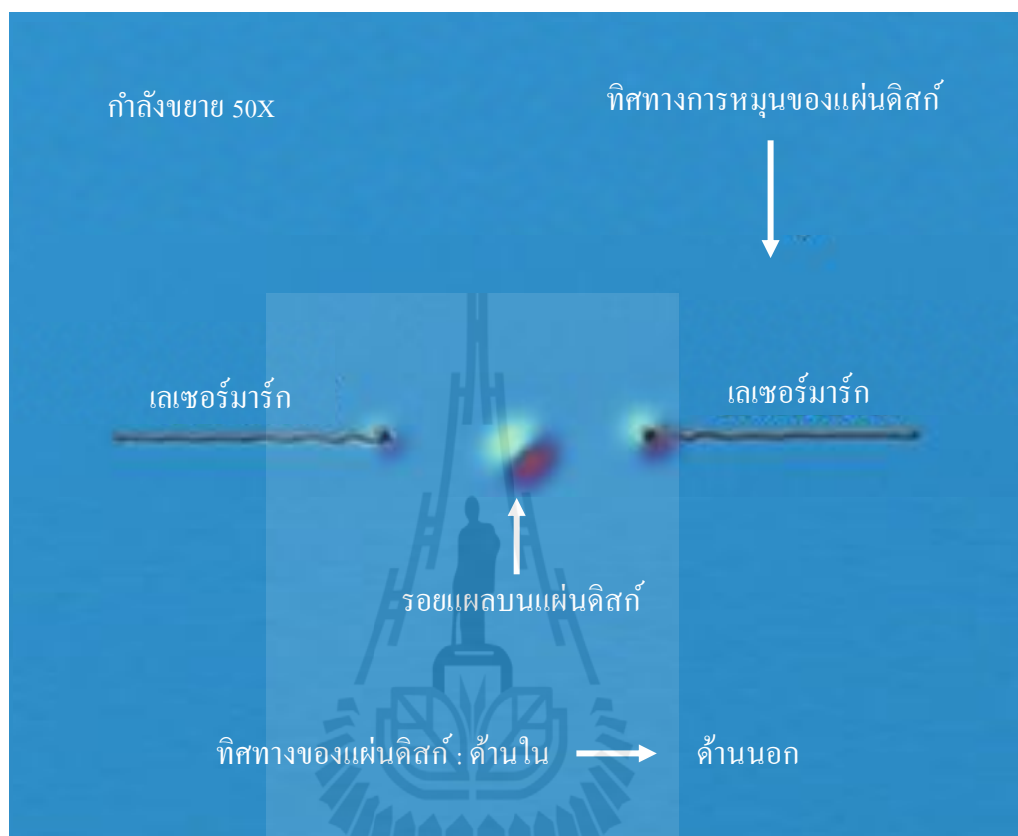
ผลการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์ด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทก (Shock Tower) ของบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด



รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์

จากการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์ที่ระยะความสูง 5, 10, 15 และ 20 เซ็นติเมตร เมื่อนำแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ตัวทดสอบไปตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจสอบความเสียหายของแผ่นดิสก์ (Optical Surface Analyzer) และกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเมื่อฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ถูกทดสอบที่ความสูง 5 เซ็นติเมตร ข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ไม่เกิดความเสียหาย

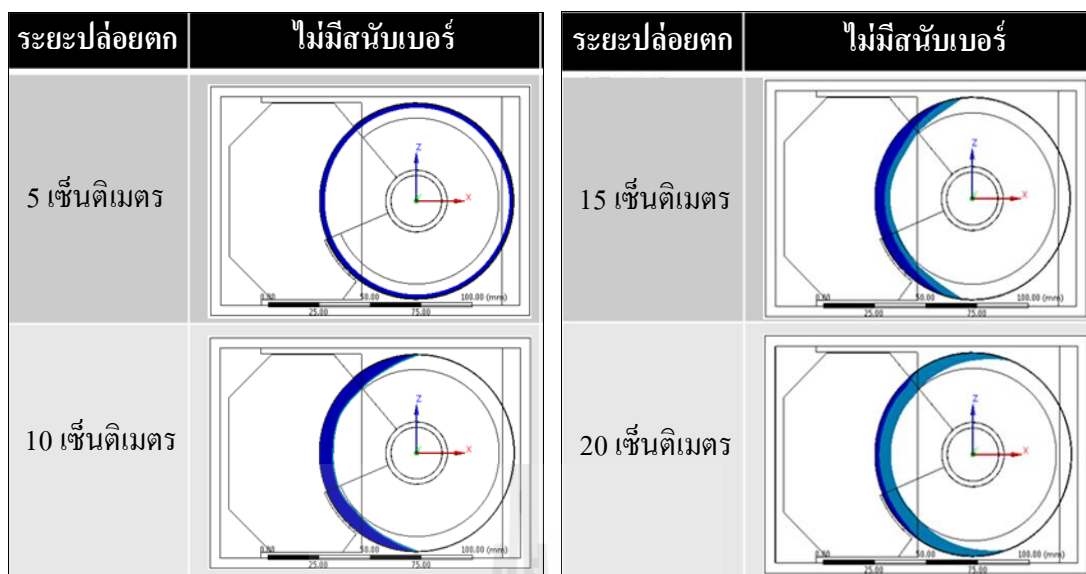
และเมื่อนำฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ทดสอบที่ความสูง 10, 15 และ 20 เซนติเมตร พบว่าข้อมูลบนแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เกิดความเสียหายดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 บริเวณข้อมูลที่เกิดการสัมผัสกับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (50X)

4.2 ผลของไฟในท์อิลลิเมนต์จำลองการตกกระทงของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสนับเบอร์

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลข โดยระเบียบวิธีไฟในท์อิลลิเมนต์จะแสดงให้เห็นระยะการโก่งตัวของแผ่นดิสก์เมื่อฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ถูกกระทงด้วยระยะความสูงที่แตกต่างกัน โดยกำหนดให้ระยะความสูงของการจำลองอยู่ที่ 5, 10, 15 และ 20 เซนติเมตร



รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench พบว่าเมื่อทำการจำลองการตกกระแทกที่ระยะความสูง 5 เซ็นติเมตร พบว่าระยะการโก่งตัวของแผ่นดิสก์ไม่ทำให้เกิดการสัมผัสกับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ และเมื่อทำการจำลองผลที่ระยะความสูง 10, 15 และ 20 เซ็นติเมตร พบว่าขนาดของแรงส่งผลให้ระยะการโก่งตัวของแผ่นดิสก์มากขึ้นจนกระทั่งเกิดการสัมผัสกับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ก่อให้เกิดความเสียหายของข้อมูลบนแผ่นดิสก์เนื่องจากการกระแทกกับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

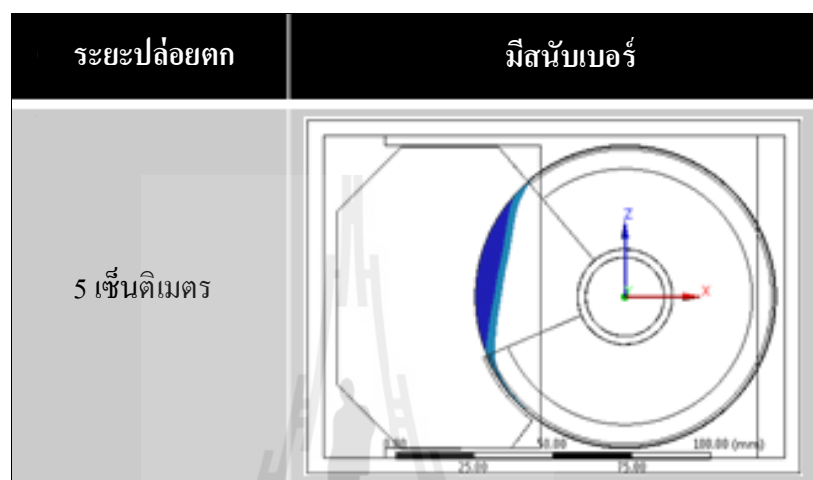
จากการเปรียบเทียบผลทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทก (Shock tower) กับผลการจำลองความเสียหายด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าได้ผลที่เหมือนกัน การเปรียบเทียบผลที่ได้เป็นการแสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของโปรแกรมจำลองชิ้นงานมีค่าความถูกต้องเป็นที่ยอมรับ

4.3 ผลของไฟไนต์เอลิเมนต์จำลองการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์

จากผลการศึกษาการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์พบว่าเมื่อฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ได้รับแรงกระแทกที่ระยะความสูง 10, 15 และ 20 เซ็นติเมตร ส่งผลให้ข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เกิดความเสียหายเนื่องจากแผ่นดิสก์บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูลเกิดการโก่งตัวจนสัมผัสกับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ให้สามารถป้องกัน

ความเสียหายของข้อมูลอันเนื่องมาจากการสัมผัสกันระหว่างแผ่นดิสก์กับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ โดยทำการติดตั้งสแน็บเบอร์ให้กับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่มีความสูงแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ

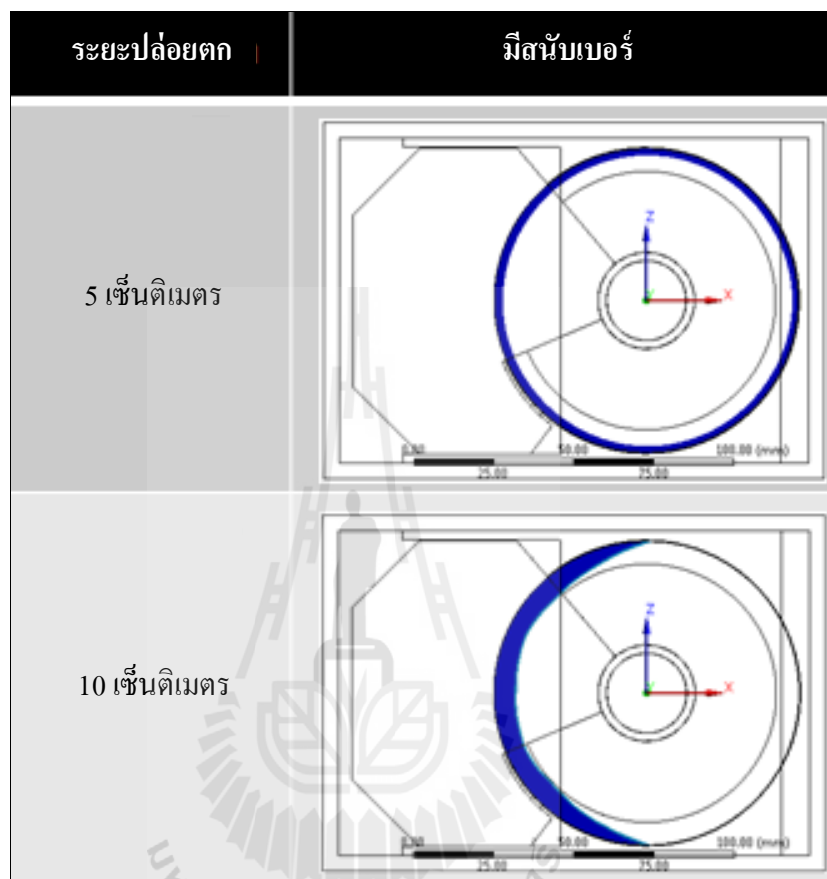
4.3.1 การออกแบบความสูงของสแน็บเบอร์ให้มีความสูง สูงกว่าความสูงของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล (แบบ ก.)



รูปที่ 4.4 การวิเคราะห์ทางไฟไนท์เอลิเมนต์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ (แบบ ก.)

จากผลของไฟไนท์เอลิเมนต์แสดงการจำลองการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ที่มีความสูง สูงกว่าความสูงของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่า ที่ระยะการตกกระแทก 5 เซ็นติเมตร ระยะการโค้งตัวของแผ่นดิสก์บริเวณขอบด้านนอกเกิดการสัมผัสกับสแน็บเบอร์อันเนื่องมาจากความสูงของสแน็บเบอร์ที่ใกล้กับแผ่นดิสก์ และด้วยขนาดของแรงการตกกระแทกยังอยู่ในช่วงค่าความปลอดภัย (350G) ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว ที่ถูกกำหนดโดยบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี จำกัด ดังนั้นการออกแบบสแน็บเบอร์แบบ ก. จึงถือได้ว่าไม่มีความเหมาะสมสำหรับโมเดลนี้

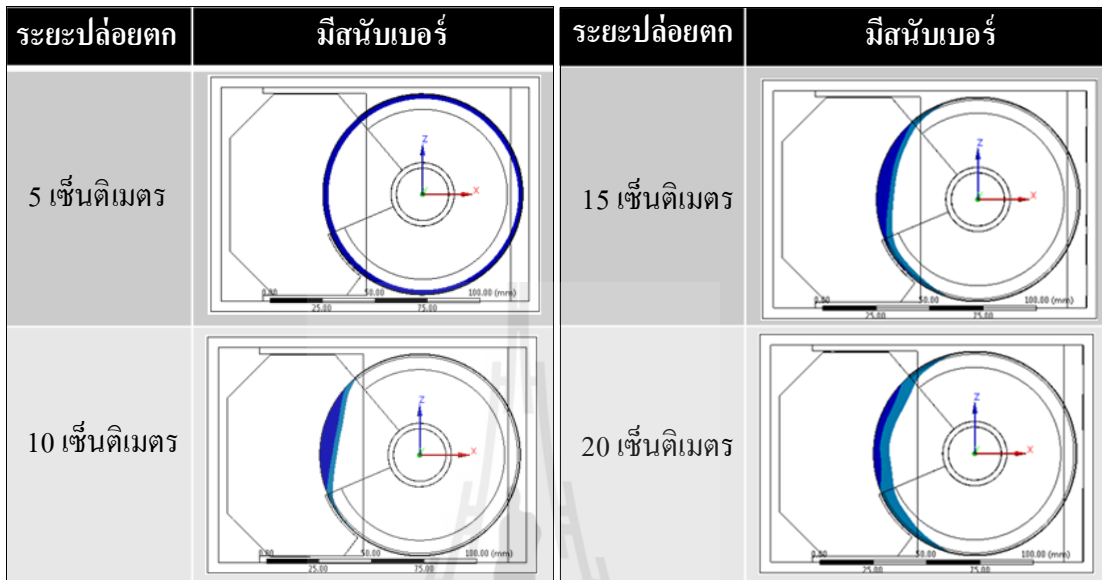
4.3.2 การออกแบบความสูงของสแน็บเบอร์ให้มีความสูง ต่ำกว่าความสูงของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล (แบบ ข.)



รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ (แบบ ข.)

จากผลของไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงการจำลองการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ที่มีความสูง ต่ำกว่าความสูงของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่า ที่ระยะการตกกระแทก 5 เซ็นติเมตร ระยะการโค้งตัวของแผ่นดิสก์บริเวณขอบด้านนอกไม่เกิดการสัมผัสกับสแน็บเบอร์และไม่เกิดความเสียหายใดๆกับข้อมูลบนแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ สำหรับที่ระยะการตกกระแทก 10 เซ็นติเมตร ระยะการโค้งตัวของแผ่นดิสก์บริเวณขอบด้านนอกไม่เกิดการสัมผัสกับสแน็บเบอร์ แต่พบว่าข้อมูลบนแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากการสัมผัสกันของแผ่นดิสก์กับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ดังนั้นการออกแบบสแน็บเบอร์แบบ ข. จึงถือได้ว่าไม่มีความเหมาะสมสำหรับโมเดลนี้

4.3.1 การออกแบบความสูงของสแน็บเบอร์ให้มีความสูงเท่ากับความสูงของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล (แบบ ค.)

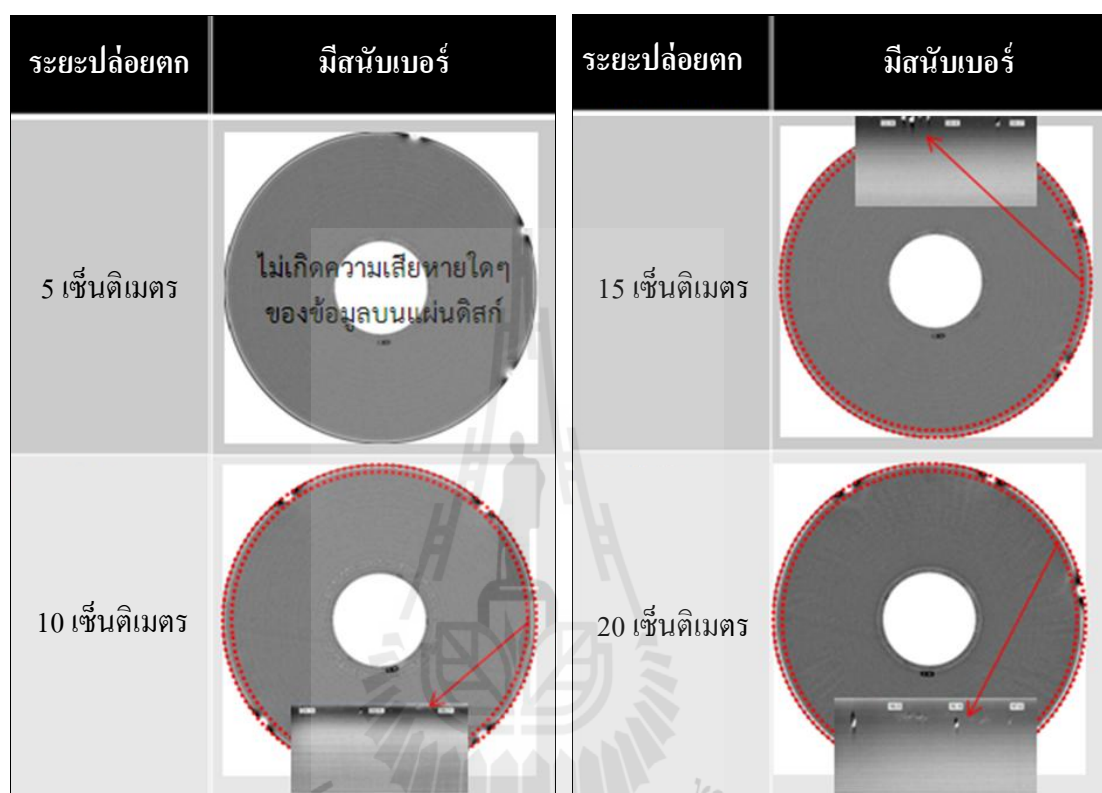


รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ (แบบ ค.)

จากผลของไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงการจำลองการตกกระทบบนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ที่มีความสูง เท่ากับความสูงของฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่า ที่ระยะการตกกระทบบน 5 เซ็นติเมตร ระยะการโค้งตัวของแผ่นดิสก์บริเวณขอบด้านนอกไม่เกิดการสัมผัสกับสแน็บเบอร์และไม่เกิดความเสียหายใดๆกับข้อมูลบนแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ สำหรับที่ระยะการตกกระทบบน 10, 15 และ 20 เซ็นติเมตร ระยะการโค้งตัวของแผ่นดิสก์บริเวณขอบด้านนอกเกิดการสัมผัสกับสแน็บเบอร์และไม่เกิดความเสียหายใดๆกับข้อมูลบนแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์อันเนื่องจากการสัมผัสกันของแผ่นดิสก์กับฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ดังนั้นการออกแบบสแน็บเบอร์แบบ ค. จึงถือได้ว่ามีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับโมเดลนี้

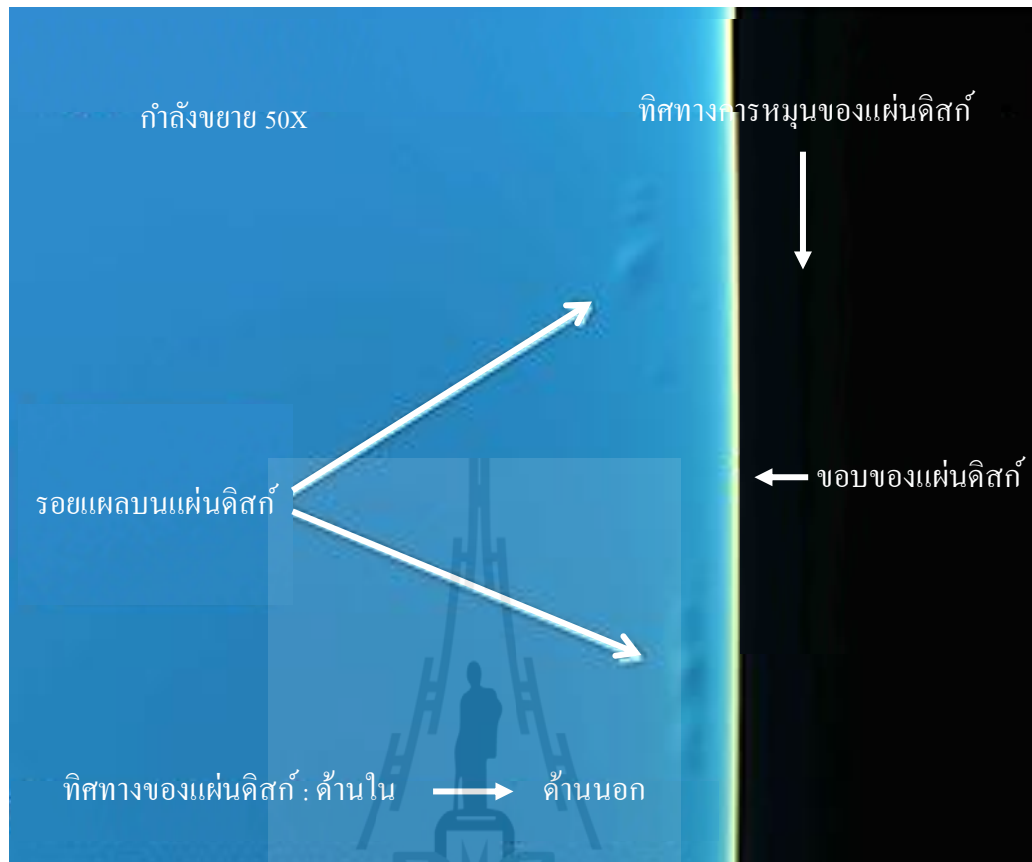
4.4 ผลการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ (แบบ ค.)

ผลการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์ด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทก (Shock tower) ของบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์แบบมีสแน็บเบอร์ (แบบ ค.)

จากการทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ (แบบ ค.) ที่ระยะความสูง 5, 10, 15 และ 20 เซ็นติเมตร เมื่อนำแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ตัวทดสอบไปตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจสอบความเสียหายของแผ่นดิสก์ (Optical Surface Analyzer) และกล้องจุลทรรศน์พบว่าเมื่อฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ถูกทดสอบที่ความสูง 5 เซ็นติเมตร ข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ไม่เกิดความเสียหาย และเมื่อนำฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ทดสอบที่ความสูง 10, 15 และ 20 เซ็นติเมตร พบว่าข้อมูลบนแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากแผ่นดิสก์ถูกจำกัดระลอกด้วยสแน็บเบอร์ที่ออกแบบไว้ ดังนั้นจากการทดสอบจึงพบว่า ที่บริเวณขอบด้านนอกของแผ่นดิสก์มีรอยแผลที่เกิดจากการสัมผัสกับสแน็บเบอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีการจัดเก็บข้อมูลบนแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์



รูปที่ 4.8 บริเวณขอบด้านนอกสุดของแผ่นดิสก์ที่ไม่มีการจัดเก็บข้อมูลเกิดการสัมผัสกับ สนับเบอร์
ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 50x)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแรงกระแทกที่มีต่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงาน เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการโก่งตัวของแผ่นดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์หาความสัมพันธ์เพื่อเป็นแนวทางในการทำการปรับปรุงรูปแบบของฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้สามารถป้องกันความเสียหายของข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในแง่ของการใช้งานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้มากขึ้น ซึ่งการตกกระแทกเป็นสถานการณ์ที่ผู้ใช้งานไม่อาจคาดการณ์ล่วงหน้าได้ว่าเหตุสุดวิสัยดังกล่าวจะเกิดขึ้นเมื่อไร งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นทำการวิจัยกับผลิตภัณฑ์ของบริษัท ซีเกท ประเทศไทย จำกัด จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบและผลการจำลองการเสียหายด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS Workbench จะเห็นได้ว่าได้ผลใกล้เคียงกัน การเปรียบเทียบผลที่ได้เป็นการแสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือ ซึ่งสิ่งที่ได้จากการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ผลการศึกษาการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบไม่มีสแน็บเบอร์ขณะ

ไม่ทำงานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

แรงกระแทกส่งผลให้แผ่นดิสก์เกิดการโก่งตัว โดยพฤติกรรมดังกล่าวจะมีรูปแบบที่ซ้ำเดิม คือ ไม่ว่าแรงกระแทกนั้นจะมีขนาดเท่าใด ระยะเวลา โกงตัวมากที่สุดจะพบที่บริเวณขอบด้านนอกสุดของแผ่นดิสก์และขนาดการโก่งตัวน้อยที่สุดจะพบที่บริเวณด้านในสุดของแผ่นดิสก์ ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกยึดติดกับแกนของมอเตอร์ นอกจากนี้ยังสรุปได้ว่าระยะเวลาโก่งตัวของแผ่นดิสก์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อขนาดของแรงกระแทกเพิ่มขึ้น แต่ยังคงมีรูปแบบที่เหมือนเดิม พฤติกรรมดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดความเสียหายของข้อมูลอันเนื่องมาจากการกระแทกกันระหว่างแผ่นดิสก์กับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้

5.1.2 ผลการศึกษาการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบมีสแน็บเบอร์ขณะไม่ทำงาน

ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เมื่อทำการติดตั้งสแน็บเบอร์บนฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในตำแหน่งที่ตรงกับขอบด้านนอกสุดของแผ่นดิสก์ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีการจัดเก็บของข้อมูล และพบว่ามีระยะเวลาโก่งตัวของแผ่นดิสก์มากที่สุดเมื่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้รับแรงกระแทก ผลการวิเคราะห์พบว่า สแน็บเบอร์ทำให้

พฤติกรรมการ โกงตัวของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงไป โดยสแน็บเบอร์จะช่วยจำกัดระยะเวลา โกงตัวของแผ่นดิสก์ไม่ให้โกงตัวเกินระยะที่กำหนดไว้ในแต่ละ โมเดล ดังนั้นจากการวิเคราะห์ผลจึงสรุปได้ว่า สแน็บเบอร์สามารถช่วยป้องกันการเกิดการสัมผัสกันระหว่างส่วนที่จัดเก็บข้อมูลบนแผ่นดิสก์กับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ ในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงาน ซึ่งเป็นการช่วยปกป้องความเสียหายของข้อมูลได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ศึกษาความเสียหายของข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว จำนวน 1 แผ่นดิสก์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์โดยศึกษาถึงพฤติกรรมของแผ่นดิสก์ เมื่อได้รับแรงกระทำในแนวตั้ง จึงสามารถนำผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในอนาคตได้ แต่ยังมีปัจจัยอื่นอีกหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกระทำที่นำทำการศึกษาเพิ่มเติม ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความทนทานให้กับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เช่น การปกป้องข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เมื่อได้รับแรงกระทำเชิงมุม (Tilt drop) และการประยุกต์ใช้สแน็บเบอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีจำนวนแผ่นดิสก์มากกว่า 1 แผ่น เป็นต้น



รายการอ้างอิง

- ขจรศักดิ์ ใจดี สุรเชษฐ์ ชูติมา และ ทศพร กำเนิดทอง (2553). การศึกษาพฤติกรรมชิ้นส่วน HGA ขณะถูกจับยึดด้วย Shipping comb. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 92 หน้า.
- จักรพันธ์ ปริรักษวิจิตร (2550). การศึกษา Static Attitude และ Gram Load Clamping Unit โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 9-26.
- ฐวิศณี ปัทมประดิษฐ์ และ สมศักดิ์ สีวดำรงพงศ์ (2553). การวิเคราะห์ความเสียหายของหัวประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เนื่องจากปัจจัยทางกล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 174 หน้า.
- ทศนพ กำเนิดทอง สุรเชษฐ์ ชูติมา และ จักรพันธ์ ปริรักษวิจิตร (2553). การศึกษาสภาพการเสีयरูปของ HGA ภายหลังการจับยึดโดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21 จังหวัดชลบุรี. หน้า 902-907.
- ปราโมทย์ เตชะอำไพ (2550). ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร. 294 หน้า.
- ภากรณ์ ทรัพย์เจริญ และ กนต์ธร ชำนิประศาสน์ (2551). การวิเคราะห์มุมลอยตัวของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 71 หน้า.
- ยุทธชัย ว่องไวพินิจ และ กนต์ธร ชำนิประศาสน์ (2551). ศึกษาและพัฒนาเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของพลาสติกถ่างหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. โครงการมหาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 100 หน้า

- รัฐภูมิ คล้ายอักษร และ สุจินต์ ปุริรัตน์ (2553). การศึกษาผลกระทบต่อชุดหัวอ่านเขียนข้อมูลที่เกิดจากกระบวนการ **Ball Swaging Process** ต่อค่า **Pitch Static Attitude** ภายในฮาร์ดดิสก์ขนาด **2.5 นิ้ว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 116 หน้า.
- เรืองฤทธิ์ สารางคำ และ กนต์ธร ชำนิประศาสน์ (2551). การจำลองการตกกระทบบนของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 112 หน้า.
- คันสนีย์ ขุนทิพย์ทอง และ เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต (2552). การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า **PSA** และ **RSA** ของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไครฟ์อันเนื่องมาจากค่าแรงที่ใช้จับยึดระหว่างการวัดค่าด้วยวิธี **ไฟไนต์เอลิเมนต์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 55 หน้า.
- สุริยา สุภา และ สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ (2554). : ศึกษาการถอดออกและสวมเข้าของหัวในการผลิตฮาร์ดไครฟ์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 88 หน้า.
- Jayson, E.M., Murphy J.M., and Talke F.E., (2002). **Shock and Head Slap Simulations of Operational and Non-operational Hard Disk Drives**. IEEE Trans. on Magn., September, 2002, pp. 2150-2152.
- Lin, C.C., (2002). **Finite Element Analysis of a Computer Hard Disk Drive Under Shock**. Journal of Mechanical Design March, 2002, pp. 121-125.
- Gu, B., Shu, D.W., Luo, J., and Shi, B. J. (2006). **FEA Simulation of Linear and Rotary Drop Test for Small Form Factor HDD**. International conference on Mechatronics and automation June 25-28, 2006, pp. 1264-1268.
- Edwards J.R., (1999). **Finite Element Analysis of the Shock Response and Head Slap Behavior of a Hard Disk Drive**. IEEE Trans. on Magn., March, 1999, pp. 863-867.
- Xu, J., Etsion, I., and Talke, F.E., (2009). **Failure of Brittle and Ductile Hard Disks Due to High Shock Levels**. Journal of Mechanical Design, November, 2009, pp. 111007#1-8.

ภาคผนวก ก

การทดสอบการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ภายหลังการตกกระแทก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.1 การตรวจสอบการอ่านสัญญาณของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

การทดสอบนี้กระทำเพื่อตรวจสอบความสามารถในการใช้งานของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ภายหลังจากการทดสอบการปล่อยตกในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีและไม่มีสแน็บเบอร์ ว่าข้อมูลภายในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เกิดความเสียหายหรือไม่ ด้วยการใช้เครื่องจับสัญญาณตรวจสอบระดับสัญญาณ (ค่าแอมพลิจูด) ว่าอยู่ในระดับปกติหรือไม่ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังแสดงในรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 แสดงขั้นตอนการตรวจสอบการอ่านสัญญาณของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

การตรวจสอบการอ่านสัญญาณของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ภายหลังจากการทดสอบการตกกระแทกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

- ตรวจสอบในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ไม่มีสแน็บเบอร์
- ตรวจสอบในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่มีสแน็บเบอร์

ก.2 ทดสอบการตกกระแทกของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

นำฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบที่มีและไม่มีสแน็บเบอร์มาทำการทดสอบการตกกระแทกที่ระยะความสูง 10 เซ็นติเมตร โดยใช้เครื่อง Shock tower

ก.3 ตรวจสอบความเสียหายของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์โดยใช้เครื่องอัตโนมัติ (GEMINI)

หลักการการทำงานของเครื่องตรวจสอบความเสียหายของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบอัตโนมัตินี้จะทำการตรวจสอบโดยการประมวลผลผ่านโปรแกรมที่ถูกตั้งค่าไว้โดยผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ เมื่อพบว่าฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ตัวใดเกิดความเสียหาย เครื่องนี้จะแสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ให้ผู้วิเคราะห์ทราบถึงลักษณะอาการความเสียหายที่เกิดขึ้นของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ตัวนั้นๆ พร้อมทั้งระบุตำแหน่งที่ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เกิดความเสียหายด้วย สำหรับงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ในเรื่องของอุปกรณ์/เครื่องมือที่ใช้ในการทำงานวิจัยจากบริษัท ซีเกท ประเทศไทย จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ส่งออกทั่วโลก



รูปที่ ก.2 แสดงเครื่องตรวจสอบความเสียหายของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบอัตโนมัติ (GEMINI)

ก.3.1 ผลการตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจสอบความเสียหายของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบอัตโนมัติ

- ผลการตรวจสอบในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ไม่มีสแน็บเบอร์ พบความผิดปกติของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จากการตรวจสอบโดยใช้เครื่องตรวจสอบความเสียหายของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบอัตโนมัติ โดยมีการแสดงข้อความว่า “PARETO_RADIAL_ERRORS- Scratch” ซึ่งหมายความว่า เครื่องตรวจสอบไม่สามารถอ่านข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในบางตำแหน่งได้

- ผลการตรวจสอบในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่มีสแน็บเบอร์
ไม่พบความผิดปกติของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จากการตรวจสอบโดยใช้เครื่อง
ตรวจสอบความเสียหายของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบอัตโนมัติ

ก.4 จับสัญญาณของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

เครื่องจับสัญญาณของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ (Oscilloscopes) ใช้สำหรับวิเคราะห์การตอบสนอง
การอ่านข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์



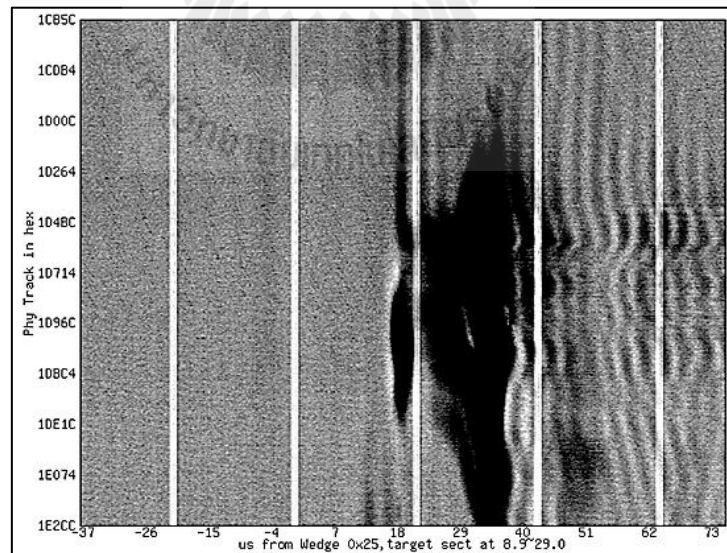
รูปที่ ก.3 แสดงเครื่องจับสัญญาณฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ (Oscilloscopes)

ก.4.1 ผลการจับสัญญาณของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์โดยใช้ Oscilloscope

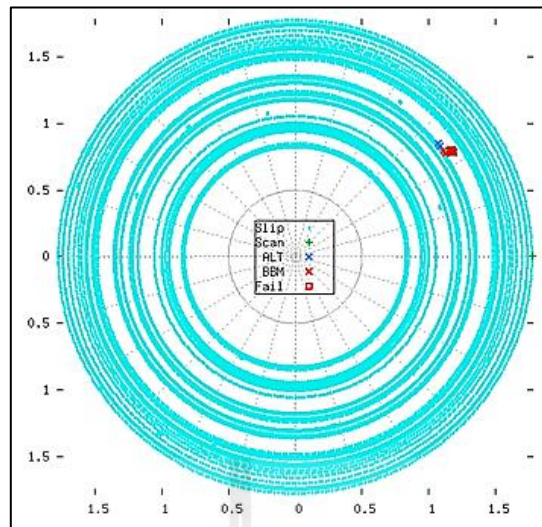
- ผลการตรวจสอบในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่ไม่มีสแน็บเบอร์
พบว่า ไม่สามารถอ่านสัญญาณของข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในบาง
ตำแหน่งได้ โดยลักษณะสัญญาณจะขาดหายไปในพื้นที่ที่ข้อมูลถูกทำลาย ซึ่งสามารถดูลักษณะ
ความผิดปกติของสัญญาณได้ดังแสดงในรูปที่ ก.4 โดยมีลักษณะรูปร่างและตำแหน่งดังแสดงในรูป
ที่ ก.5 และรูปที่ ก.6



รูปที่ ก.4 แสดงความผิดปกติของการอ่านสัญญาณจากฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบไม่มีสลับเบอร์

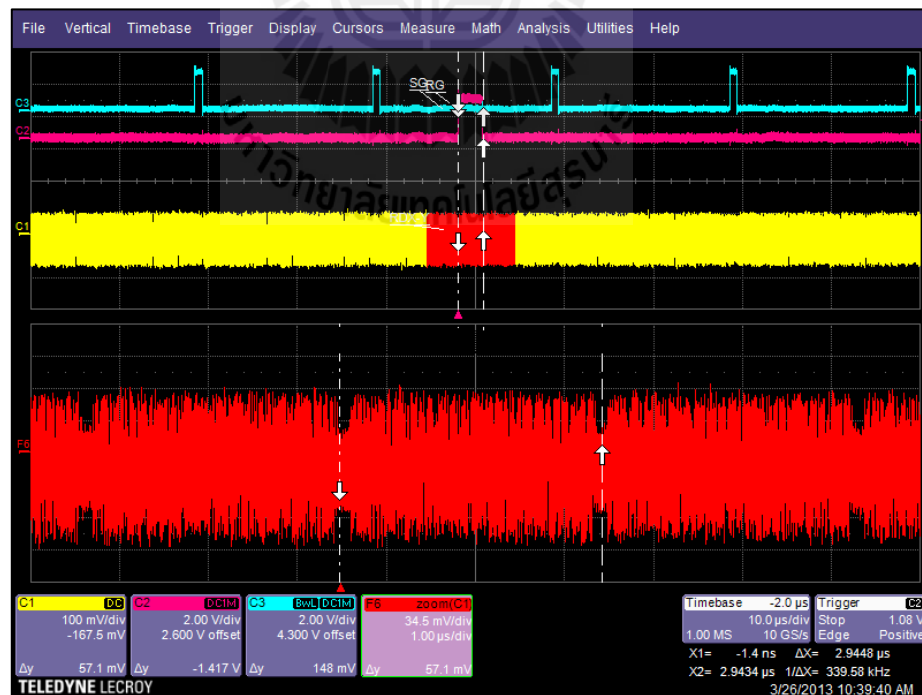


รูปที่ ก.5 แสดงลักษณะความเสียหายของข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

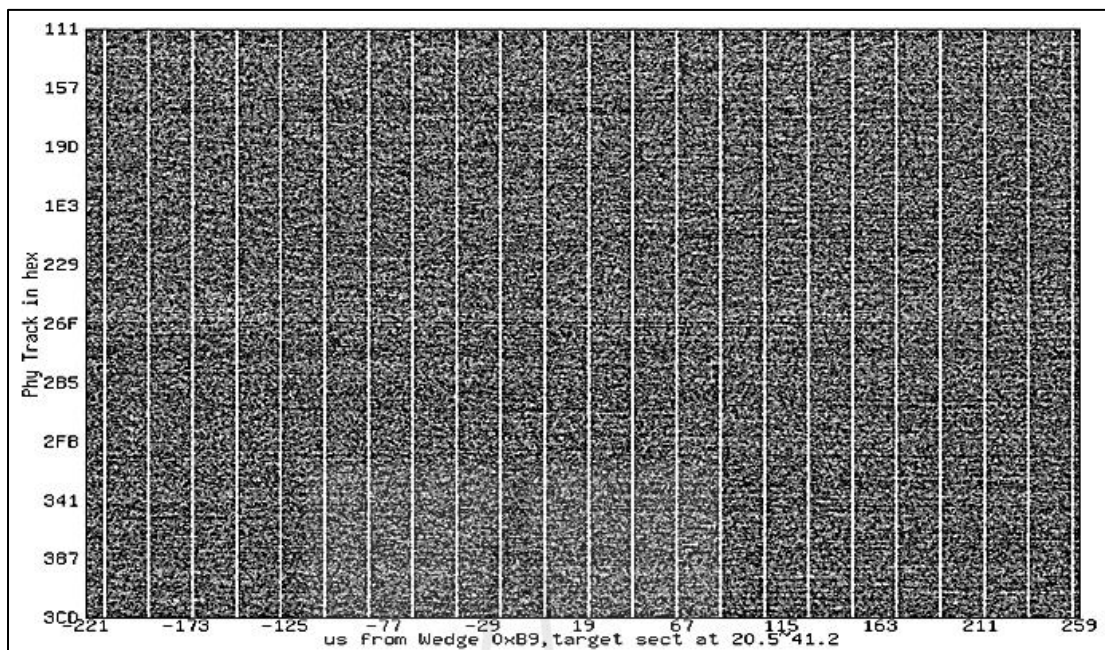


รูปที่ ก.6 แสดงตำแหน่งความเสียหายของข้อมูลบนแผ่นดิสก์

- ผลการตรวจสอบในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่มีสแน็บเบอร์
ไม่พบความผิดปกติใดจากสัญญาณที่อ่านได้ในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์



รูปที่ ก.7 แสดงความปกติของการอ่านสัญญาณจากฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แบบมีสแน็บเบอร์



รูปที่ ก.8 แสดงลักษณะความปกติของข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไครฟ์



ภาคผนวก ข

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงกับค่าความเร่ง (G)



ตารางที่ ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงกับค่าความเร่ง (G) ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์

ความเสียหายของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด

ความสูง (เซ็นติเมตร)	ค่าความเร่ง (G,เมตรต่อวินาที ²)
5	350
10	700
15	1050
20	1400



ภาคผนวก ค

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

เจษฎา ตริธาราทิพย์กุล, รัตนาธิษฐ์ ใจศีล, สุริยา สุภา และ กิรติ สุตักษณ์. การใช้ไฟในต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ผลของสับเบอร์บนฐานฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ภายใต้ผลกระทบของแรงกระแทกขณะฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ไม่ทำงาน. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26. 24-27 ตุลาคม 2555 ณ โรงแรมคูสิต ไอส์แลนด์ รีสอร์ท จังหวัดเชียงราย.



รหัสบทความ

AMM 2040

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26

ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย



การใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ผลของสแนบเบอร์
บนฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายใต้ผลกระทบของแรงกระแทกขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงาน
Finite Element Analysis of the Snubber on Base Plate
Contact Disk under the Influence of Non-Operation Shock in Hard Disk Drive

เจษสุตา ตรีอารทียกุล¹, รัตนสิทธิ์ ใจศีล², สุริยา สุภา² และ กীরติ สุกัษณ^{1*}

¹ สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ. นครราชสีมา 30000

² บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด 90 หมู่ 15 ถ. มิตรภาพ อ. สูงเนิน จ. นครราชสีมา 30170

*ติดต่อ: Keerati@sut.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 0-4422-4235, เบอร์โทรสาร: 0-4422-4613

บทคัดย่อ

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่มีความสำคัญในเครื่องคอมพิวเตอร์ การป้องกันแผ่นดิสก์จากแรงกระแทกจึงมีความสำคัญที่ต้องพิจารณาเพื่อนำไปสู่การป้องกันข้อมูลให้มีความปลอดภัย งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการติดตั้งสแนบเบอร์ (Snubber) บนฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Base plate) ขนาด 3.5 นิ้ว เพื่อป้องกันความเสียหายของข้อมูลบนแผ่นดิสก์ภายใต้ผลกระทบของแรงกระแทกขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงาน วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกใช้เพื่อจำลองพฤติกรรมของผลดังกล่าวใน 2 กรณี คือ 1) ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีสแนบเบอร์ และ 2) ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีสแนบเบอร์ และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับการทดลองจริง ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่าสแนบเบอร์ช่วยป้องกันการกระแทกระหว่างส่วนที่จัดเก็บข้อมูลบนแผ่นดิสก์กับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงานได้ จึงเป็นการช่วยปกป้องความเสียหายของข้อมูล

คำหลัก: ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์, แรงกระแทกขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงาน, สแนบเบอร์, ฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

Abstract

The Hard disk drive (HDD) is an important device for data storage in the computer. The protection of HDD from the shock conditions is necessary to consider for prevent the data damage and the shock response of the HDD is a serious design consideration. This research examines the effects of the installation of the snubber on the 3.5 in-HDD base plate to protect the data damage of disk from non-operation shock. The finite element model of the HDD was developed to investigate the response of a HDD to linear drop. The simulations are performed for both with the snubber and without the snubber on HDD models. Numerical simulation result and experimental result are compared and presented. The results show the snubber can protect the data zone on disk contact the base plate under the influence of non-operation shock.

Keywords: Hard disk drive, Non-operation shock, Snubber, Base plate hard disk drive.

1. บทนำ

แรงกระแทกและการสั่นสะเทือนเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยากสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่อยู่ในรูปแบบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ เช่น ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบพกพา (External hard disk drive), คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop), กล้องวิดีโอ (Digital video camera) เป็นต้น

ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นต่อผู้บริโภคที่อยู่ในยุคแห่งเทคโนโลยี ดังนั้นการศึกษาผลกระทบของส่วนประกอบภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เมื่อได้รับแรงกระแทกจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ ทั้งนี้เพื่อนำไปสู่การคิดค้นวิธีการป้องกันและการออกแบบ

รหัสบทความ

AMM 2040

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26
ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย



ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้สามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดีขึ้น

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของแรงกระแทกขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงานและขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำงาน ซึ่งใช้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว [1,2] และงานวิจัยที่ใช้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 2.5 นิ้ว [3] โดยศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของหัวบันทึกข้อมูลกับแผ่นดิสก์เพื่อป้องกันไม่ให้หัวบันทึกข้อมูลเกิดความเสียหายและข้อมูลบนแผ่นดิสก์ไม่ถูกทำลาย และมีการศึกษาถึงผลกระทบของการสั่นของแผ่นดิสก์จากแรงกระแทกที่มีต่อหัวบันทึกข้อมูล [4] เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้หัวบันทึกข้อมูลกระทบกับแผ่นดิสก์ มีผลทำให้ข้อมูลเกิดความเสียหายเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่ทำการศึกษากับตัวแปรที่ส่งผลให้แผ่นดิสก์เกิดความเสียหายเมื่อได้รับแรงกระแทก [5] เพื่อนำไปสู่แนวทางในการออกแบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จากการทบทวนผลงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่พบว่ามีงานวิจัยใดทำการศึกษาดังกล่าวถึงการติดตั้งสแน็บเบอร์มาก่อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงถือเป็นแนวทางที่สามารถนำไปประยุกต์เข้ากับการออกแบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้สามารถทนต่อแรงกระแทกได้

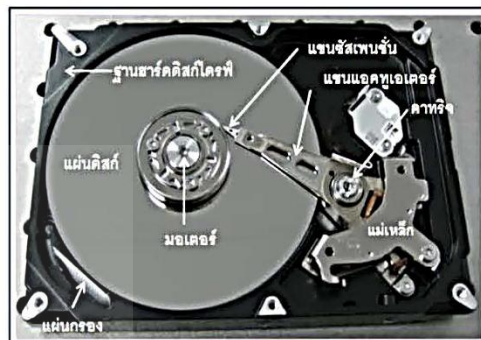
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสแน็บเบอร์บนฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว ภายใต้ผลกระทบของแรงกระแทกขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงาน โดยลักษณะของแรงกระแทกดังกล่าวเป็นการปล่อยตกแบบเชิงเส้น (Linear drop) ในทิศทางแนวตั้ง ซึ่งลักษณะของแรงกระทำดังกล่าวสามารถทำให้แผ่นดิสก์กระทบกับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นสาเหตุให้ข้อมูลที่จัดเก็บอยู่บนแผ่นดิสก์เกิดความเสียหายได้

2. วิธีวิจัย

การวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. การใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยได้นำ ANSYS Workbench เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวมีประสิทธิภาพที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านโครงสร้างได้ดี พร้อมทั้งมีส่วนช่วยลดเวลาและต้นทุนในการทดสอบ และ 2. การทดลองจริงเพื่อยืนยันผลของไฟไนต์เอลิเมนต์

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้ในการศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้เป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว มี 2 หัวบันทึกข้อมูล และ 1 แผ่นดิสก์ โดยแผ่นดิสก์จะถูกประกอบเข้ากับแกนของมอเตอร์ที่อยู่ติดกับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยบริเวณขอบด้านนอกของแผ่นดิสก์จะถูกปล่อย

เป็นอิสระ ดังนั้นลักษณะการประกอบแผ่นดิสก์เข้ากับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงเปรียบเสมือนคานที่ถูกยึดไว้ด้านหนึ่งและปล่อยให้ปลายอีกด้านหนึ่งเป็นอิสระ



รูปที่ 1 โครงสร้างส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ในการออกแบบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นชิ้นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการอ่าน/เขียนของหัวบันทึกข้อมูลเนื่องจากหัวบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะต้องใช้แรงลมในการพองและทรงตัวให้อยู่เหนือพื้นผิวของแผ่นดิสก์ในระยะที่เหมาะสม ดังนั้นฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงต้องทำการออกแบบให้มีการกระจายแรงลมได้ดี เพื่อให้การกระจายของแรงลมเป็นไปอย่างเหมาะสมนั้น ฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงถูกออกแบบให้เป็นแนวสันเขื่อนดังแสดงในรูปที่ 2(ก) เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดทิศทางของลมและแนวสันเขื่อนนี้เองที่เป็นจุดก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเสียหายของข้อมูลเมื่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้รับแรงกระแทกจากภายนอก

แรงกระแทกที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้ คือการปล่อยตกแบบเชิงเส้นในทิศทางแนวตั้ง และกำหนดให้ฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์วางตัวในแนวขนานกับพื้นผิวที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตกกระทบ โดยศึกษาระยะตกกระทบที่ 4 ระดับ คือ 5, 10, 15 และ 20 เซนติเมตรด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ($9.81 \text{ เมตร/วินาที}^2$) จากนั้นทำการพิจารณาว่าเกิดการกระแทกระหว่างส่วนที่จัดเก็บข้อมูลบนแผ่นดิสก์กับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หรือไม่ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่ก่อให้เกิดความเสียหายของข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เนื่องจากพื้นผิวของแผ่นดิสก์ชั้นบนสุดเป็นชั้นฟิล์มที่มีความบอบบาง เมื่อรับแรงกระแทกจะเกิดป็นรอยแผล (Defects) ได้ง่าย

ลักษณะของแรงกระแทกดังกล่าวจัดอยู่ในระดับความรุนแรงที่เกินกว่าระดับเกณฑ์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามที่ผู้ผลิตได้ออกแบบไว้ ทั้งนี้เพื่อให้สถานการณ์การ

รหัสบทความ

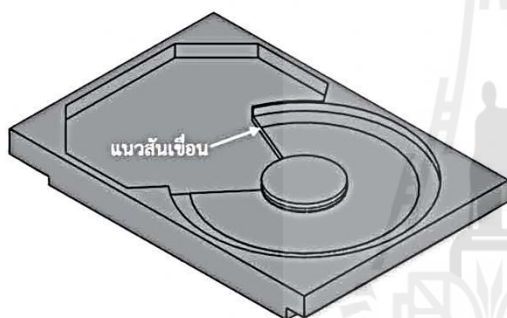
AMM 2040

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26
ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย

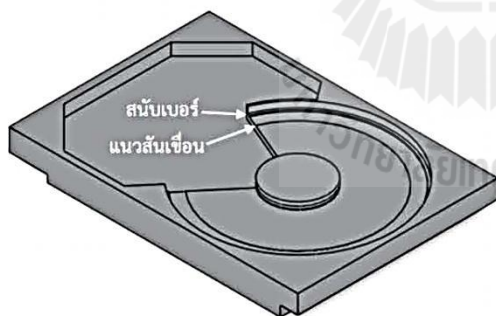


จำลองเสมือนเหตุสุดวิสัยที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการใช้งานจริงของผู้บริโภค และต้องการชี้ให้เห็นว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีการติดตั้งสแน็บเบอร์มีความเสี่ยงต่อความเสียหายของข้อมูลน้อยกว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ไม่มีการติดตั้งสแน็บเบอร์อันเนื่องมาจากการกระแทกของแรงภายนอก

ลักษณะของสแน็บเบอร์ที่ทำการติดตั้งบนฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์คือ การเพิ่มพื้นที่ของฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้สูงขึ้นในตำแหน่งที่ตรงกับขอบด้านนอกสุดของแผ่นดิสก์ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีการจัดเก็บข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 2(ข)



(ก)



(ข)

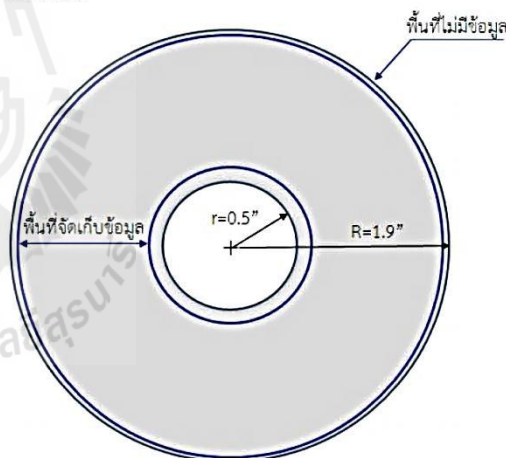
รูปที่ 2 (ก) แนวสันเขื่อนบนฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
(ข) สแน็บเบอร์ที่ถูกติดตั้งบนฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

2.1 การใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS Workbench

การวิเคราะห์พฤติกรรมของแผ่นดิสก์เมื่อทำการทดสอบการปล่อยตกด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เนื่องจากการวิเคราะห์การทดสอบการปล่อยตกของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นปัญหาเกี่ยวกับการตกกระทบ (Drop) และการชนกัน (Crash) จึงใช้การวิเคราะห์ปัญหาแบบ Explicit Dynamic Analysis เพราะมี

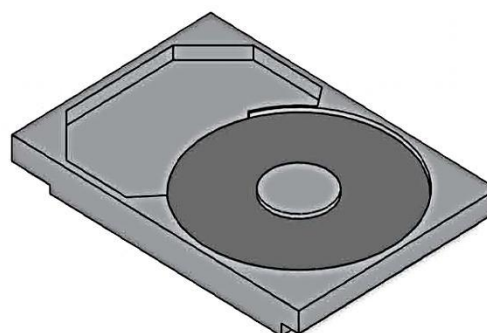
ความสามารถในการคำนวณแม่นยำ ลดเวลาการคำนวณ ปัญหาขนาดใหญ่และสามารถกำหนดผิวสัมผัส (Contact surface) ได้สะดวก ซึ่งการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในขั้นตอนแรกจะเป็นขั้นตอนการสร้างชิ้นงานต่างๆเป็น 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 4 แล้วแบ่งชิ้นงานออกเป็นชิ้นเล็กๆ (Meshing) โดยมีรูปทรงง่ายๆที่เรียกว่า เอลิเมนต์ (Elements) และชิ้นส่วนเล็กๆจะต้องเชื่อมโยงกันทั้งชิ้น

สำหรับชนิดของเอลิเมนต์ที่ใช้เป็นเอลิเมนต์แบบทรงสี่เหลี่ยม (Hex dominant) และกรณีศึกษาที่กำหนดให้พื้นผิวที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตกกระทบเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid body) โดยพิจารณาให้พื้นผิวมีความแข็งแรงมากเมื่อเทียบกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์บางส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการศึกษาจะถูกตัดออกเพื่อประหยัดเวลาและทรัพยากรคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์



ความหนาของแผ่นดิสก์ = 0.05"

รูปที่ 3 โครงสร้างส่วนที่ใช้และไม่ใช้บันทึกข้อมูลของแผ่นดิสก์



รูปที่ 4 แบบจำลอง 3 มิติของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

รหัสบทความ

AMM 2040

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26
ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย



การกำหนดคุณสมบัติโครงสร้างของวัสดุแต่ละ
ชั้นส่วนดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกำหนดวัสดุและคุณสมบัติของแต่ละ
ชั้นส่วน

ชั้นส่วน	วัสดุ	Modulus of elasticity (GPa)	Tensile Yield strength (MPa)	Density (kg/m ³)	Poisson's ratio
แผ่นดิสก์	Aluminum Alloy	72	200	2700	0.33
ฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	Aluminum 380A	71	160	2710	0.33

หมายเหตุ กำหนดให้พื้นผิวที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กระทบเป็นวัสดุแข็งเกร็ง

เพื่อเปรียบเทียบผลของการติดตั้งกับไม่ติดตั้งสนับเบอร์ดบนฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ดังแสดงในรูปที่ 5 ทั้งนี้เพื่อช่วยป้องกันความเสียหายของข้อมูลบนแผ่นดิสก์ภายใต้ผลกระทบของแรงกระแทกขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงาน ขั้นตอนแรก ทำการจำลองโดยการปล่อยให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิดไม่มีสนับเบอร์ดตกจากที่ระยะความสูง 5, 10, 15 และ 20 เซนติเมตรด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก แล้วทำการทดลองเช่นเดียวกันนี้กับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิดมีสนับเบอร์ด จากนั้นทำการพิจารณาระยะเวลาการโก่งตัวของแผ่นดิสก์ว่าเกิดการสัมผัสกับพื้นผิวของฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หรือไม่



(ก)



(ข)

รูปที่ 5 ภาพตัดขวางของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
(ก) ไม่มีสนับเบอร์ด และ (ข) มีสนับเบอร์ด

2.2 การทดลองจริงเพื่อยืนยันผลของไฟไนต์เอลิเมนต์

กระบวนการทดลองจริงเพื่อยืนยันผลของไฟไนต์เอลิเมนต์โดยการปล่อยฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิดไม่มีสนับเบอร์ดและฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิดมีสนับเบอร์ดตกจากที่ระยะความสูง 5, 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกสู่พื้น จากนั้นทำการตรวจสอบความเสียหายของข้อมูลที่อาจเกิดขึ้นบนแผ่นดิสก์โดยใช้เครื่องมือในการตรวจสอบ คือ เครื่อง Optical Surface Analyzer ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งใช้เลเซอร์ (Laser) ทำหน้าที่ในการตรวจจับและทำการประมวลผลเป็นภาพออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ จากนั้นเพื่อเป็นการยืนยันความเสียหายที่เกิดขึ้นบนแผ่นดิสก์ จึงต้องนำแผ่นดิสก์ไปส่องใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อดูลักษณะรูปร่างของรอยแผลที่เกิดขึ้น



รูปที่ 6 เครื่อง Optical Surface Analyzer

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลการใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS Workbench

จากการทดสอบการปล่อยตกของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของการวิจัยนี้ ซึ่งทำการศึกษาลักษณะของฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายของข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยการทดสอบการปล่อยตกฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิดไม่มีสนับเบอร์ดและฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิดมีสนับเบอร์ดพบว่า

การปล่อยตกของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิดไม่มีสนับเบอร์ดที่ระยะความสูง 5 เซนติเมตร ไม่พบความเสียหายใดๆบนแผ่นดิสก์ สำหรับระยะความสูง 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ส่งผลให้พื้นผิวของแผ่นดิสก์บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูลเกิดการโก่งตัวเกินกว่าค่าระยะความห่าง

รหัสบทความ

AMM 2040

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26
ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย

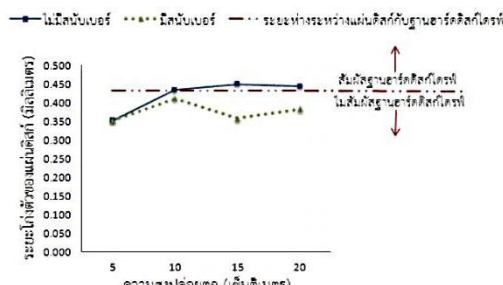


ระหว่างพื้นผิวของแผ่นดิสก์กับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (มีค่าเกินกว่า 0.432 มิลลิเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งพฤติกรรมการโค้งตัวของแผ่นดิสก์ดังกล่าวจะทำให้พื้นผิวของแผ่นดิสก์บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูลสัมผัสกับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และก่อให้เกิดความเสียหายของข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ดังแสดงในตารางที่ 2

การปล่อยตกของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิดมีสแน็บเบอร์ ผลการจำลองที่ระยะความสูง 5 เซนติเมตร ไม่พบความเสียหายใดๆบนแผ่นดิสก์ สำหรับที่ระยะความสูง 10, 15 และ 20 เซนติเมตร พบว่าพฤติกรรมการโค้งตัวของแผ่นดิสก์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิดไม่มีสแน็บเบอร์ เนื่องจากสแน็บเบอร์ช่วยจำกัดระยะการโค้งตัวของแผ่นดิสก์บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 7 ทำให้พื้นผิวของแผ่นดิสก์บริเวณที่มีการจัดเก็บข้อมูลไม่สัมผัสกับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งสามารถช่วยป้องกันความเสียหายของข้อมูลได้ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิดไม่มีสแน็บเบอร์และชนิดมีสแน็บเบอร์

ระยะการปล่อยตก	ไม่มีสแน็บเบอร์	มีสแน็บเบอร์
5 เซนติเมตร		
10 เซนติเมตร		
15 เซนติเมตร		
20 เซนติเมตร		



รูปที่ 7 แผนภาพระยะการโค้งตัวของแผ่นดิสก์

3.2 ผลการทดลองจริงเพื่อยืนยันผลของไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลการทดลองจริงเมื่อปล่อยฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิดไม่มีสแน็บเบอร์ตกจากที่สูงด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกสู่พื้น จากนั้นทำการตรวจสอบความเสียหายของข้อมูลที่อาจเกิดขึ้นบนแผ่นดิสก์โดยใช้เครื่อง Optical Surface Analyzer และกล้องจุลทรรศน์พบว่า ระยะความสูงที่ก่อให้เกิดความเสียหายของข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้คือ ระยะความสูง 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 8 สำหรับที่ระยะความสูง 5 เซนติเมตร ไม่พบความเสียหายใดๆบนแผ่นดิสก์ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 8 บริเวณข้อมูลที่เกิดการสัมผัสกับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 50x)

ผลการทดลองจริงเมื่อปล่อยฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิดมีสแน็บเบอร์ตกจากที่สูงด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกสู่พื้น จากนั้นทำการตรวจสอบความเสียหายของข้อมูลที่อาจเกิดขึ้นบนแผ่นดิสก์โดยใช้เครื่อง Optical Surface Analyzer และกล้องจุลทรรศน์พบว่า การปล่อยตกของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ระยะความสูง 10, 15 และ 20 เซนติเมตร ไม่พบความเสียหายของข้อมูล แต่พบที่เกิด

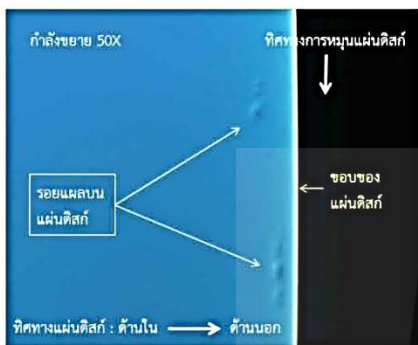
รหัสบทความ

AMM 2040

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26
ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย



การสัมผัสกันระหว่างบริเวณขอบด้านนอกสุดของแผ่นดิสก์ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีการจัดเก็บข้อมูลกับสับเบอร์ ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 9



รูปที่ 9 บริเวณขอบด้านนอกสุดของแผ่นดิสก์ที่ไม่มีการจัดเก็บข้อมูลเกิดการสัมผัสกับสับเบอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 50x)

ตารางที่ 3 ผลการทดลองจริงของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิดไม่มีสับเบอร์และชนิดมีสับเบอร์ ภายใต้การประมวลผลของเครื่อง Optical Surface Analyzer

ระยะการปล่อยตก	ไม่มีสับเบอร์	มีสับเบอร์
5 เซ็นติเมตร		
10 เซ็นติเมตร		
15 เซ็นติเมตร		
20 เซ็นติเมตร		

4. สรุป

แรงกระแทกส่งผลให้แผ่นดิสก์เกิดการโก่งตัว โดยพฤติกรรมดังกล่าวจะมีรูปแบบที่เหมือนกันไม่ว่าแรงกระแทกนั้นจะมีขนาดเท่าใด คือขนาดการโก่งตัวมากที่สุดพบที่บริเวณขอบด้านนอกสุดของแผ่นดิสก์และขนาดน้อยสุดพบที่บริเวณด้านในสุดของแผ่นดิสก์ ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกยึดติดกับแกนของมอเตอร์ พฤติกรรมดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดความเสียหายของข้อมูลอันเนื่องมาจากการกระแทกระหว่างแผ่นดิสก์กับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เมื่อทำการติดตั้งสับเบอร์บนฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในตำแหน่งที่ตรงกับขอบด้านนอกสุดของแผ่นดิสก์ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีการจัดเก็บข้อมูลพบว่า สับเบอร์ทำให้พฤติกรรมของแผ่นดิสก์เปลี่ยนแปลงไปโดยสับเบอร์จะช่วยจำกัดระยะการโก่งตัวของแผ่นดิสก์ และจากการประมวลผลพบว่าสับเบอร์สามารถช่วยป้องกันการกระแทกระหว่างส่วนที่จัดเก็บข้อมูลบนแผ่นดิสก์กับฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ทำงานซึ่งเป็นการช่วยปกป้องความเสียหายของข้อมูลได้

5. ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ศึกษาความเสียหายของข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว จำนวน 1 แผ่นดิสก์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยศึกษาถึงพฤติกรรมของแผ่นดิสก์เมื่อได้รับแรงกระแทกในแนวตั้ง จึงสามารถนำผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นในการออกแบบและพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ แต่ยังมีปัจจัยอื่นอีกหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกระแทกที่น่าศึกษา เพื่อเพิ่มความทนทานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เช่น การปกป้องข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เมื่อได้รับแรงกระแทกเชิงมุม (Tilt drop) และการประยุกต์ใช้สับเบอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีจำนวนแผ่นดิสก์มากกว่า 1 แผ่น เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC), บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนทุนการวิจัย ข้อมูลและอุปกรณ์เครื่องมือ

รหัสบทความ

AMM 2040

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26
ตุลาคม 2555 จังหวัดเชียงราย



7. เอกสารอ้างอิง

- [1] E.M. Jayson, J.M. Murphy and F.E. Talke (2002). Shock and Head Slap Simulations of Operational and Non-operational Hard Disk Drives, IEEE Trans. on Magn., vol. 38, No. 5, September 2002.
- [2] C.C. Lin (2002). Finite Element Analysis of a Computer Hard Disk Drive Under Shock, Journal of Mechanical Design, vol. 124, March 2002.
- [3] B. Gu, D.W. Shu, J. Lou and B.J. Shi (2006). FEA Simulation of Linear and Rotary Drop Test for Small Form Factor HDD, paper presented in the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, June 25-28, 2006, Luoyang, China.
- [4] J.R. Edwards (1999). Finite Element Analysis of the Shock Response and Head Slap Behavior of a Hard Disk Drive, IEEE Trans. on Magn., vol. 35, No. 2, March 1999.
- [5] J. Xu, I. Etsion, F.E. Talke (2009). Failure of Brittle and Ductile Hard Disks Due to High Shock Levels, Journal of Mechanical Design, vol. 131, November 2009.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวเจษฎา ตรีธารทิพย์กุล เกิดเมื่อวันศุกร์ที่ 22 มิถุนายน พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดชลบุรี เป็นบุตรของนายสุกิจ ตรีธารทิพย์กุล และนางสุกัญญา แซ่ก้ง สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา ณ โรงเรียนอนุบาลระยอง สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ณ โรงเรียนระยองวิทยาคม นิคมอุตสาหกรรม จังหวัดระยอง สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ณ โรงเรียนวัดป่าประดู่ จังหวัดระยอง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ (หลักสูตรวิชาวิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีพุทธศักราช 2549 หลังจากสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีได้เข้าทำงานที่ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่งงาน Mechanical Failure Analysis Engineer แผนก Asia Solution Engineering ขณะทำงานได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท (บัณฑิตศึกษาทุน HDDI) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ (หลักสูตรวิชาแมคคาทรอนิกส์) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จากประสบการณ์และความรู้ที่สร้างสมจากการทำงานและการศึกษาจึงช่วยให้ผู้วิจัยสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้เป็นอย่างดี จากการทำงานวิจัยได้มีบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่จำนวน 1 บทความ โดยมีรายละเอียดปรากฏดังภาคผนวก ก.