

การวิเคราะห์มุมลอยตัวของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์
ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

นายภากรณ์ ทรัพย์เจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2551

**SUSPENSION ANGLE ANALYSIS ON HEAD GIMBAL
ASSEMBLY USING FINITE ELEMENT METHOD**

Phakorn Sabcharoen

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2008

การวิเคราะห์มูลอยตัวของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร. ทวิช จิตรสมบุญ)

ประธานกรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร. จิระพล ศรีเสริฐผล)

กรรมการ

(อ. ดร. กীরติ สุกฤษณ์)

กรรมการ

(ศ. ดร. ไพโรจน์ สัตยธรรม)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร. วรพจน์ ขำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ภาครณ์ ทรัพย์เจริญ : การวิเคราะห์มุมลอยตัวของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (SUSPENSION ANGLE ANALYSIS ON HEAD GIMBAL ASSEMBLY USING FINITE ELEMENT METHOD)

อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์, 61 หน้า.

คอมพิวเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้กันอย่างกว้างขวางและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยมีฮาร์ดดิสก์เพื่อทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูล จึงมีการใช้เทคโนโลยีด้านต่าง ๆ เข้ามาพัฒนาให้มีประสิทธิภาพทัดเทียมกับอุปกรณ์อื่น ๆ หลักการทำงานของฮาร์ดดิสก์นั้น งานฮาร์ดดิสก์ ซึ่งเป็นที่เก็บข้อมูล จะหมุนด้วยความเร็วประมาณ 5,400-15,000 รอบต่อนาที จะส่งผลให้เกิดแรงลมบริเวณผิวหน้าของจานฮาร์ดดิสก์ แรงลมดังกล่าวจะทำให้หน้าที่ยกหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ให้ลอยสูงขึ้นเหนือจานฮาร์ดดิสก์ ในระยะที่เหมาะสมในการอ่าน-เขียนข้อมูลของหัวอ่านแต่ละรุ่น ระยะลอยตัวดังกล่าวหากมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดจะส่งผลให้ไม่สามารถอ่าน-เขียนข้อมูลได้ และหากมีค่าน้อยเกินไป ก็จะเกิดการสัมผัสกันของหัวอ่านจานฮาร์ดดิสก์ ทำให้เกิดความเสียหายแก่ข้อมูลและอุปกรณ์ได้ การควบคุมระยะลอยตัวของหัวอ่าน-เขียนนั้นสามารถทำได้โดยการให้แรงกด (Gram Load) ในทิศทางตรงกันข้ามกับแรงยกจากกระแสลม โดยการให้แรงกดนี้จะอยู่ในรูปของการตัดชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ เพื่อให้เกิดมุมลอยตัว (Suspension Angle) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหามุมลอยตัวที่เหมาะสมและความเค้นด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) การวิจัยนี้คาดว่าจะสามารถเป็นแนวทางช่วยในการออกแบบและพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ต่อไป

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

PHAKORN SABCHAROEN : SUSPENSION ANGLE ANALYSIS ON
HEAD GIMBAL ASSEMBLY USING FINITE ELEMENT METHOD.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. FLT.LT. KONTRON

CHAMNIPRASART, Ph.D., 61 PP.

HARDDISK DRIVE/STRESS /GRAM LOAD/SUSPENSION ANGLE

Hard disk drives (HDDs) are one of the most important components within the personal computer (PC). They are used to store and retrieve huge amounts of data. Over the last few decades their capacity and speed have improved. All magnetic Hard Drive Read-Write Heads require a Suspension assembly to support and position the head. A Suspension assembly holds Read/Write heads do not touch the surface of the spinning disk at speeds of between 5,400 to 15,000 continuously. The "flying" height concern, the ability of the head to read or write data, while insufficient "flying" height causes the head to scratch the disk surface and destroy the magnetic coating and the data on the disk. The head is able to stay precisely at the correct "flying" height because of the equilibrium of the upward force of the air driven under the head and the downward force applied by the suspension angle. This research is aims to find suspension angle and the stress on head gimbal assembly. Stress and suspension angle analysis conducted by the well-known finite elements method (FEM) is employed. FEM models of head gimbal assembly. This research leading to design and improve of HDDs for hard disk cluster.

School of Mechanical Engineering

Student's Signature _____

Academic Year 2008

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลต่าง ๆ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ และคำปรึกษาแนะนำในการทำงานวิจัย และให้โอกาสการทำงานในหลายด้านด้วยความกรุณาเสมอมา รวมทั้งให้คำแนะนำในการดำเนินชีวิตด้วยความเมตตาโดยตลอด

อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำด้านวิชาการ ที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย

รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก ดร.วรพจน์ ขำพิศ คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิช จิตรสมบูรณ์ และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ด้วยความเมตตากรุณา

ขอขอบคุณ คุณกัมพล สิทธิพงษ์พานิช ที่สนับสนุนข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์ฮาร์ดดิสก์

ขอขอบคุณ คุณจุมพล บำรุงวงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม ANSYS Workbench V.11

ขอขอบคุณ คุณอาภรณ์พรรณ ศรีอัครวิทยา คุณทัศนีย์ ทิพย์สาคร เจ้าหน้าที่ประจำสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกในด้านธุรการต่าง ๆ

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา คุณพ่อสมบัติ - คุณแม่อรรชรี ทรัพย์เจริญ ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิต

ภากรณ์ ทรัพย์เจริญ

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	เปรียบเทียบผลที่ได้จาก Simulation กับ Experiment14
3.1	ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม19
3.2	เปรียบเทียบผลจากการคำนวณกับผลที่ได้จากโปรแกรม22
3.3	คุณสมบัติเชิงกลของ Stainless Steel28
3.4	คุณสมบัติเชิงกลของ Copper28
3.5	คุณสมบัติเชิงกลของ Polyester29
3.6	คุณสมบัติเชิงกลของ Polyimide29
3.7	คุณสมบัติเชิงกลของ Slider (Read-Write Head)29
3.8	มุลอยตัว.....30
4.1	ค่า Gram Load และ Maximum Stress เมื่อขนาดของเอลิเมนต์ เท่ากับ 0.090 มิลลิเมตร36
4.2	ค่า Gram Load และ Maximum Stress เมื่อขนาดของเอลิเมนต์ เท่ากับ 0.085 มิลลิเมตร38
4.3	ค่า Gram Load และ Maximum Stress เมื่อขนาดของเอลิเมนต์ เท่ากับ 0.080 มิลลิเมตร40
4.4	ค่า Gram Load และ Maximum Stress เมื่อขนาดของเอลิเมนต์ เท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร41
4.5	มุลอยตัว44
4.6	เปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์กับผลจากการทดลอง45
4.7	ความเค้นสูงสุด (Maximum Stress).....47

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ฮาร์ดดิสก์ (Harddisk)	4
2.2 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์	7
2.3 แขนกลที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่าน-เขียน	8
2.4 หัวอ่าน - เขียนแบบแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Head)	9
2.5 หัวอ่าน - เขียนแบบ Thin-film Inducted Head.....	9
2.6 หัวอ่าน- เขียนแบบ Giant Magneto-Resistive Head	10
2.7 Platters และ Spindle Motor.....	11
2.8 หัวอ่าน-เขียนบินด้วยความสูงน้อยกว่า 1-2 ไมโครนิ้ว บน Platter	12
2.9 Force Balance	13
2.10 Spoiler	14
2.11 ตำแหน่งที่ติดตั้ง Spoiler	15
3.1 คานที่สร้างจากโปรแกรม SolidWorks	17
3.2 ตารางคุณสมบัติวัสดุ Structural Steel	17
3.3 Cantilevered Beam	18
3.4 รูปแบบเอลิเมนต์และขนาดเอลิเมนต์.....	19
3.5 Drawing ชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน (Head Gimbal Assembly: HGA)	23
3.6 Drawing ของ Load Beam	24
3.7 Drawing ของ Mount Plate	25
3.8 Drawing ของ Damper	26
3.9 ส่วนประกอบแบบจำลอง 3 มิติของ HGA	27
3.10 แบบจำลอง 3 มิติของ HGA	27
3.11 กำหนด Suspension Angle	30
3.12 พื้นผิวที่สัมผัสกับ Actuator Arm (Boss Tower)	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 จุดที่กำหนดผิวสัมผัสแบบ Bonded	31
3.14 การเคลื่อนที่ของหัวอ่าน-เขียน	32
3.15 Assembly Offset Height	32
3.16 เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า	33
3.17 เอลิเมนต์ลำดับที่สองทรงสี่หน้า	34
3.18 เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม	34
3.19 เอลิเมนต์ลำดับที่สองแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม.....	35
4.1 ค่า Gram Load และ ความเค้น เมื่อกำหนดเอลิเมนต์ขนาด 0.090 มิลลิเมตร	37
4.2 ค่า Gram Load และ ความเค้น เมื่อกำหนดเอลิเมนต์ขนาด 0.085 มิลลิเมตร	39
4.3 ค่า Gram Load และ ความเค้น เมื่อกำหนดเอลิเมนต์ขนาด 0.080 มิลลิเมตร	41
4.4 ค่า Gram Load และ ความเค้น เมื่อกำหนดเอลิเมนต์ขนาด 0.075 มิลลิเมตร	42
4.5 Suspension Angle เท่ากับ 10°	43
4.6 Suspension Angle เท่ากับ 15°	44
4.7 ความเค้น บนชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน	46
4.8 ความเค้น บนชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียนที่บริเวณ Benz Zone	46
4.9 ตำแหน่งที่ความเค้นสูงสุด บนชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน	47
ก.1 Cantilevered Beam.....	51
ก.2 คานที่สร้างจากโปรแกรม SolidWorks	53
ก.3 สร้างเอลิเมนต์ให้กับชิ้นงาน	54
ก.4 คุณสมบัติวัสดุ Structural Steel	54
ก.5 การกำหนดการจับยึดและแรงที่กระทำบนชิ้นงาน	55
ก.6 ผลของการทรุดตัวของคานที่ได้จากโปรแกรม	56
ก.7 ผลของค่าความเค้น Von-Mises Stress ที่ได้จากโปรแกรม	56

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

HDD	Harddisk
HGA	Head Gimbal Assembly
FEM	Finite Element Method
mm	millimeter
in	inches
lb	pound
psi	pound per square inch
DOF	Degree OF Freedom
δ	การทรุดตัวของคาน
P	แรงที่กระทำกับคาน
L	ความยาวของคาน
E	โมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุ
I	โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ของคานคำนวณรอบแกนสะเทิน
A	พื้นที่หน้าตัดของคาน
G	โมดูลัสการเฉือน
σ	ความเค้นดัดสูงสุด
M	โมเมนต์ภายในคาน
c	ความสูงของแกนสะเทิน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอาจกล่าวได้ว่า คอมพิวเตอร์ถือเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานที่สำคัญอันหนึ่งซึ่งมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในทุก ๆ ด้าน โดยส่วนประกอบที่สำคัญของคอมพิวเตอร์นั้นสามารถแบ่งออกได้หลัก ๆ เป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนประมวลผล (Processor) ส่วนรับข้อมูล (Input) และส่วนแสดงผล (Output) ซึ่งส่วนเป็นหัวใจสำคัญที่สุดของคอมพิวเตอร์คือการประมวลผลข้อมูลที่ถูกรวบรวมเก็บอยู่ภายในตัวเครื่องหรือที่เรียกว่า Storage สำหรับคอมพิวเตอร์ในยุคแรก ๆ นั้น Storage จะเป็นกระดาษที่เป็นรูเจาะ ซึ่งใช้งานยาก หลังจากนั้นได้ถูกพัฒนามาใช้แผ่นพลาสติกที่เคลือบด้วยสารแม่เหล็กหรือที่รู้จักกันคือ Magnetic Tape ซึ่งต่อมาเมื่อมีการใช้คอมพิวเตอร์กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น จำนวนข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การเก็บข้อมูลใน Tape นั้นไม่เพียงพอ จึงได้มีการคิดค้นและพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลที่มีจำนวนมากที่เรียกว่า ฮาร์ดดิสก์ (Harddisk) ซึ่งถือได้ว่าเป็นหน่วยความจำแบบถาวรในเครื่องคอมพิวเตอร์ กล่าวคือแม้ว่าปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ไปแล้วแต่ข้อมูลที่ทำการบันทึกไว้จะยังคงอยู่และสามารถเก็บรักษาข้อมูลไว้ได้เป็นเวลานานหลายปี ซึ่งฮาร์ดดิสก์ตัวแรกถูกประดิษฐ์ขึ้นในปี ค.ศ. 1950 โดยใช้จานหมุนวงกลมขนาดใหญ่ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 ฟุต แต่สามารถเก็บบันทึกข้อมูลได้ไม่ถึง 5 เมกกะไบต์ (MB) เท่านั้น โดยที่มาของชื่อฮาร์ดดิสก์นั้นเนื่องจากลักษณะของงานในฮาร์ดดิสก์ที่มีความแข็งแรง ในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ถูกพัฒนาขึ้นตามเทคโนโลยีที่สูงขึ้นทำให้งานที่ใช้มีขนาดเล็กและหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงขึ้นในขณะที่สามารถบันทึกข้อมูลได้มากขึ้นด้วย โดยทั่วไป หัวอ่าน-เขียน (Read-Write Head) จะถูกติดตั้งอยู่กับ Suspension Assembly มีหน้าที่ควบคุมตำแหน่งของหัวอ่านให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ไม่ให้สัมผัสกับผิวของ Platter ที่กำลังหมุนอยู่แต่หัวอ่าน-เขียนจะ “บิน” ที่ความสูงน้อย ๆ เหนือ Platter (ความสูงดังกล่าวจะเรียกว่า Z-Height) โดยที่ Suspension Assembly จะยอมให้ หัวอ่าน-เขียนบินด้วยความสูงน้อยกว่า 1-2 ไมโครนิวตัน บน Platter ที่หมุนด้วยความเร็ว 5,400-20,000 รอบต่อนาที เมื่อหัวอ่าน-เขียนกำลังอ่านหรือเขียนข้อมูลอยู่นั้น ไม่สามารถบินด้วยความสูงที่ต้องการแล้ว จะทำให้หัวอ่าน-เขียนเสียดสีหรือสัมผัสกับผิวหน้าของ Platter จะทำให้เกิดความเสียหายแก่สารที่เคลือบผิวและข้อมูลที่เก็บรักษาไว้ได้ ดังนั้นหัวอ่านเขียนจะต้องอยู่ตำแหน่งที่เหมาะสมและถูกต้อง ด้วยความสมดุลของแรงที่ทำให้หัวอ่าน-เขียนบินอยู่ คือแรงยก (Lift Force)

จากด้านล่างของหัวอ่าน-เขียนเป็นแรงที่เกิดจากกระแสลมที่ผิวของ Platter (Air Bearing Load) กับแรงกด (Gram Load) จากมุลอยตัวของ suspension โดยแรงกดนี้สามารถปรับเปลี่ยนให้มีค่ามากหรือน้อย ได้จากการเปลี่ยนมุลอยตัว หากเพิ่มมุลอยตัวให้มีค่าสูงขึ้น แรงกดที่ได้ก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษามุลอยตัว (Suspension Angle) ที่เหมาะสมที่จะทำให้ค่า Gram Load อยู่ในช่วง 2.5 ± 0.2 grams และศึกษาความเค้นที่ชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน (Head Gimbal Assembly: HGA) ในสภาวะ Load State ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเป็นการช่วยลดต้นทุนในการพัฒนาและการผลิตที่ต้องสร้างต้นแบบเพื่อทดสอบ อีกทั้งยังช่วยประหยัดเวลาในการพัฒนาอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อหามุลอยตัวที่เหมาะสมที่จะทำให้ค่า Gram Load อยู่ในช่วง 2.5 ± 0.2 grams และศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะ Load State ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS Workbench V.11
2. ชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว
3. กำหนดมุลอยตัวให้อยู่ระหว่าง 10° ถึง 20° โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 1°
4. กำหนด Gram Load อยู่ในช่วง 2.5 ± 0.2 grams
5. กำหนด Assembly Offset Height มีค่าเท่ากับ 0.508 มิลลิเมตร

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยในส่วนของงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ระเบียบวิธีวิจัย สถานที่ทำการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 ระเบียบวิธีวิจัย

1. สำนัวจรรยาบรรณที่เกี่ยวข้องจากฐานข้อมูลต่าง ๆ
2. ศึกษาโครงสร้าง ส่วนประกอบ และหลักการทำงานของฮาร์ดดิสก์
3. สร้างชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ด้วยข้อมูลที่ได้รับคำแนะนำจากบริษัท

Magnecomp Precision Technology Public Company Limited (MPT) โดยโปรแกรม SolidWorks 2006 SP4.1

4. กำหนดคุณสมบัติของชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน
5. ศึกษาการใช้งาน และทดสอบโปรแกรมการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench V.11
6. ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS Workbench V.11 เพื่อหามุมลอคตัวที่เหมาะสมและวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้น
7. ทำการวิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลลัพธ์ที่ได้
8. จัดทำรายงานและนำเสนอวิทยานิพนธ์
9. แก้ไขวิทยานิพนธ์และเผยแพร่ผลงานวิจัย

1.4.2 สถานที่ทำการวิจัย

ใช้สถานที่ ห้องวิจัยของอาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ 4 และ 6 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

1.4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

1. คอมพิวเตอร์
2. หน่วยความจำชั่วคราวอย่างน้อย 2048 Mb
3. หน่วยความจำถาวรเพื่อเก็บข้อมูลอย่างต่ำ 100 Gb
4. ระบบปฏิบัติการ Windows XP
5. โปรแกรมขึ้นรูป 3 มิติ SolidWorks 2006
6. โปรแกรมวิเคราะห์ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS Workbench Version 11

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบถึงมุมลอคตัวที่เหมาะสม ที่ให้ค่า Gram Load อยู่ในช่วง 2.5 ± 0.2 grams
2. สามารถทราบถึงความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียนอยู่ในสถานะ Load State
3. เป็นแนวทางในการปรับปรุงและแก้ไขชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน
4. เพื่อเพิ่มพูนความรู้อันจะนำไปสู่งานวิจัยในด้านอื่นต่อไป

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้โดยทั่วไปเกี่ยวกับฮาร์ดดิสก์ เพื่อทำให้เกิดความเข้าใจเบื้องต้นจึงจำเป็นต้องศึกษาส่วนประกอบและหลักการทำงานของฮาร์ดดิสก์ ซึ่งแสดงไว้ในหัวข้อ 2.1 – 2.3 ส่วนหัวข้อ 2.4 จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดดิสก์

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับฮาร์ดดิสก์

ฮาร์ดดิสก์ เป็นหน่วยบันทึกหรืออุปกรณ์ที่คอมพิวเตอร์ใช้เก็บข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งถูกออกแบบมาให้สามารถจุข้อมูลได้มากกว่าอุปกรณ์เก็บข้อมูลชนิดอื่น ๆ หลายเท่า และสามารถบันทึกหรือเรียกใช้ข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ข้อมูลที่ถูกเก็บในฮาร์ดดิสก์จะคงที่และอยู่แบบถาวร แม้จะปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ข้อมูลก็จะไม่สูญหายไปไหนเมื่อเปิดเครื่องก็สามารถโหลดโปรแกรมมาใช้งานได้ทันทีหากเป็นข้อมูลก็สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ จากคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ฮาร์ดดิสก์ถูกใช้เป็นไดรฟ์หลักในการบู๊ต (Boot) ระบบปฏิบัติการ โปรแกรม รวมทั้งข้อมูลต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีการนำพื้นที่บางส่วนมาจำลองเป็นแรมเสมือน (Virtual Memory) ซึ่งจะช่วยให้เครื่องทำงานได้เร็วอีกด้วย



รูปที่ 2.1 ฮาร์ดดิสก์ (Harddisk)

2.2 ประวัติการพัฒนาฮาร์ดดิสก์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ในช่วงครึ่งทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งถือได้ว่าเป็นกุญแจสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีในโลกของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน สามารถเรียงลำดับการพัฒนาได้ดังนี้

ในปี ค.ศ. 1956 ฮาร์ดดิสก์ตัวแรกถูกสร้างขึ้นโดย IBM มีชื่อว่า RAMAC โดยใช้ Disk ขนาด 24 นิ้ว จำนวน 50 แผ่น มีความจุ 5 MB โดยมี Areal Density อยู่ที่ 2,000 บิตต่อตารางนิ้ว และมีอัตราการส่งข้อมูล 8,800 บิตต่อวินาที

ในปี ค.ศ. 1962 IBM ได้คิดค้น Air Bearing Head โดยทำให้หัวอ่าน-เขียนบินอยู่บน Platter ด้วยความสูง 250 micro inches โดยมีความจุ 28 MB ยังสามารถเพิ่ม Areal Density และอัตราการส่งถ่ายข้อมูล มากกว่าฮาร์ดดิสก์ RAMAC ได้ถึง 1,000 %

ในปี ค.ศ. 1965 ฮาร์ดดิสก์ ของ IBM รุ่น 2310 เป็นฮาร์ดดิสก์ตัวแรกที่สามารถถอดเคลื่อนย้ายได้ จึงทำให้ฮาร์ดดิสก์รุ่นนี้เป็นที่นิยมมากในปี ค.ศ. 1960 และ 1970

ในปี ค.ศ. 1966 ฮาร์ดดิสก์ ของ IBM รุ่น 2314 เป็น ฮาร์ดดิสก์ตัวแรกที่ใช้หัวอ่านแบบ Ferrite Core Head

ในปี ค.ศ. 1973 ฮาร์ดดิสก์ ของ IBM รุ่น 3340 โดยมีชื่อทางการค้าว่า Winchester เป็นฮาร์ดดิสก์ที่มีความจุขนาด 60 MB และเป็นฮาร์ดดิสก์ ที่มีการออกแบบให้มีรูปร่างที่มีความทันสมัย

ในปี ค.ศ. 1979 ฮาร์ดดิสก์ของ IBM รุ่น 3370 เป็น ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้หัวอ่าน-เขียนแบบใหม่เป็นแบบ Thin-Film Head

ในปี ค.ศ. 1979 ฮาร์ดดิสก์ ของ IBM รุ่น 3310 เป็นครั้งแรกของ IBM ได้ทำการลดขนาดของ Platter จากเดิมที่มีขนาด 24 นิ้ว เป็น Platter ที่มีขนาด 8 นิ้วขึ้นมาใช้เป็นครั้งแรก

ในปี ค.ศ. 1980 ฮาร์ดดิสก์ ของ Seagate รุ่น ST-506 เป็นฮาร์ดดิสก์ตัวแรกที่ใช้ Platter ขนาด 5.25 นิ้ว

ในปี ค.ศ. 1979 ฮาร์ดดิสก์ ของ Rodime รุ่น RO352 เป็นฮาร์ดดิสก์ตัวแรกที่ใช้ Platter ขนาด 3.5 นิ้ว

ในปี ค.ศ. 1986 ฮาร์ดดิสก์ ของ Conner Peripherals รุ่น CP340 เป็นฮาร์ดดิสก์ตัวแรกที่ใช้ Voice Coil Actuator แทน Stepping Motor

ในปี ค.ศ. 1988 ฮาร์ดดิสก์ ของ Conner Peripherals รุ่น CP3022 เป็นฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ Platter ขนาด 3.5 นิ้ว แต่ได้ทำการปรับเปลี่ยนรูปทรงของฮาร์ดดิสก์ โดยการลดขนาดความสูงของฮาร์ดดิสก์ลงให้เหลือเพียง 1 นิ้ว และยังทำให้เป็นความสูงมาตรฐานของฮาร์ดดิสก์ 3.5 นิ้ว

ในปี ค.ศ. 1988 ฮาร์ดดิสก์ ของ Prairie Tek ได้ทำการสร้างฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ Platter ที่มีขนาด 2.5 นิ้ว และฮาร์ดดิสก์ที่มีขนาด 2.5 นิ้วนี้จะนิยมใช้กับ Portable Computer

ในปี ค.ศ. 1990 ฮาร์ดดิสก์ ของ IBM รุ่น 681 (Redwing) มีความจุ 857 MB เป็นฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เทคโนโลยีหัวอ่าน-เขียนแบบ Magneto resistive และ PRML Data Decoding

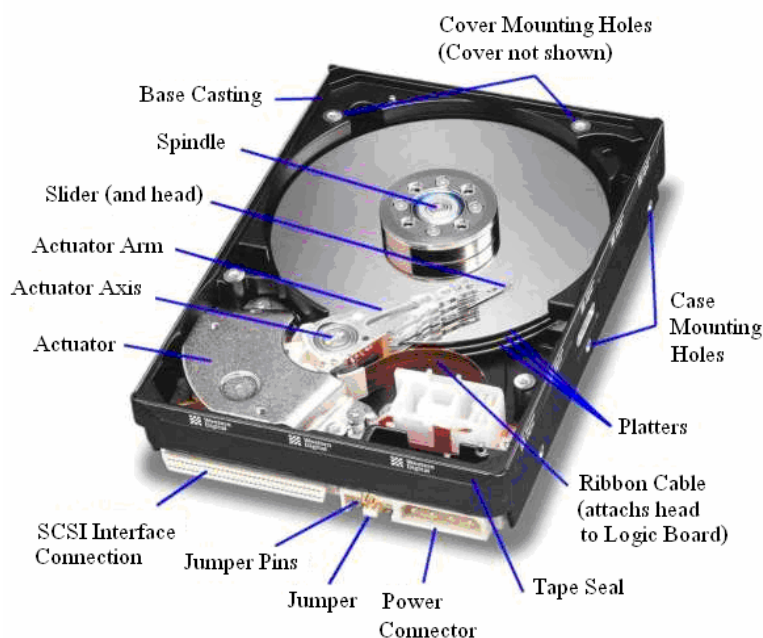
ในปี ค.ศ. 1991 ฮาร์ดดิสก์ ของ IBM ที่มีชื่อว่า Pacifica เป็นฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในเครื่อง Mainframe ได้ทำการเปลี่ยนสารที่ใช้เคลือบผิวของ Platter ที่จากเดิมใช้สาร Oxide เป็น Thin Film แทน

ในปี ค.ศ. 1991 ฮาร์ดดิสก์ ของ Conner Peripherals รุ่น 1820 เป็นฮาร์ดดิสก์ตัวแรกที่ใช้ Platter ขนาด 1.8 นิ้ว

ในปี ค.ศ. 1992 ฮาร์ดดิสก์ ของ Hewlett Packard รุ่น C3013A เป็นฮาร์ดดิสก์ตัวแรกที่ใช้ Platter ขนาด 1.3 นิ้ว

2.3 โครงสร้างและส่วนประกอบภายใน

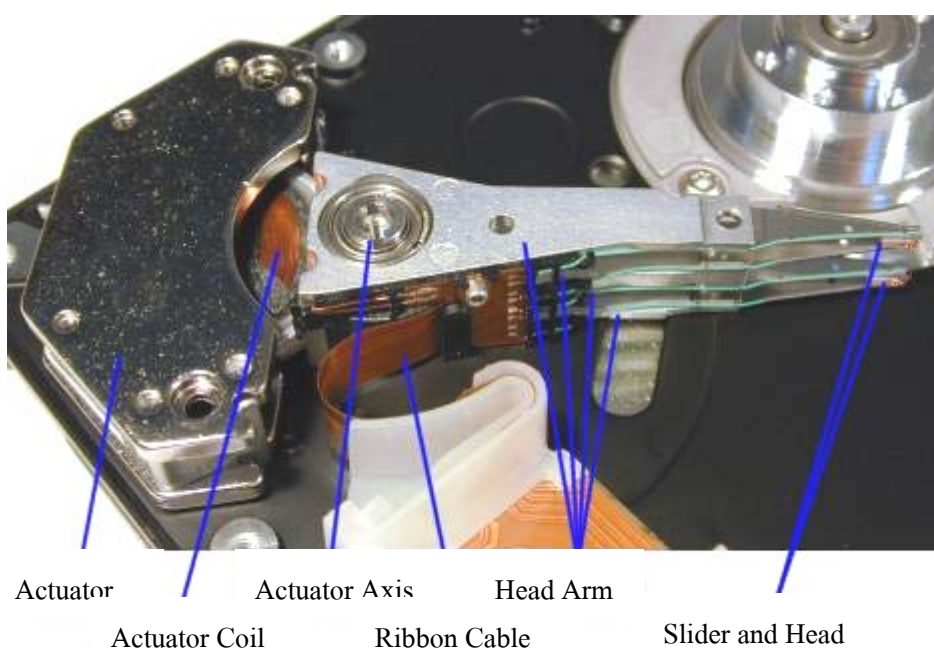
ฮาร์ดดิสก์จะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำจากวัสดุประเภทโลหะที่มีความแข็งแรง ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้ชิ้นส่วนหรือกลไกภายในได้รับความเสียหายจากการหยิบจับหรือเคลื่อนย้าย ซึ่งถ้ามองจากภายนอกแล้ว จะเห็นเพียงแผ่นโลหะเงาปิดอยู่ด้านบน ส่วนด้านล่างก็จะเห็นแผ่นวงจรควบคุมหรือแผ่น PCB



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์

2.3.1. แขนของหัวอ่าน (Actuator Arm)

จะทำงานร่วมกับ Stepping Motor ในการหมุนแขนของหัวอ่านไปยังตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการอ่าน-เขียนข้อมูลโดยมีคอนโทรลเลอร์ (Controller) ทำหน้าที่แปลคำสั่งที่มาจากคอมพิวเตอร์ จากนั้นก็เลื่อนหัวอ่านไปยังตำแหน่งที่ต้องการ เพื่ออ่าน-เขียนข้อมูล ต่อมา Stepping Motor ก็ถูกแทนที่ด้วย Voice Coil ซึ่งทำงานได้เร็วและแม่นยำกว่า Stepping Motor โดยทั่วไปแล้วจะมี Actuator arm 2 อันต่อ 1 Platter อันหนึ่งจะอยู่ด้านบน อีกอันหนึ่งจะอยู่ด้านล่าง



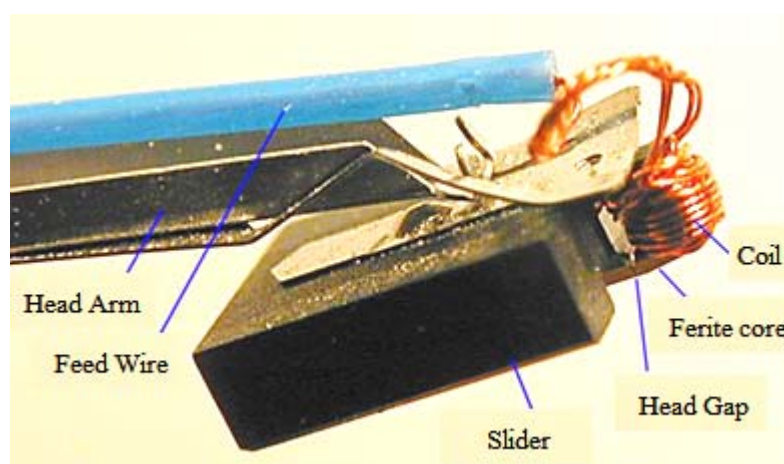
รูปที่ 2.3 แขนกลที่ใช้ขับเคลื่อนหัวอ่าน-เขียน

2.3.2. หัวอ่าน-เขียน (Read-Write Head)

เป็นส่วนที่ใช้ในการอ่าน-เขียนข้อมูลมีขนาดเล็กและซับซ้อน ทำหน้าที่อ่าน-เขียนข้อมูลจาก Platter ลักษณะทางกายภาพก็คือ จะติดอยู่กับปลายของแขนหัวอ่าน (Actuator Arm) หัวอ่าน-เขียน นี้จะมีอยู่ทั้งด้านบนและด้านล่างของ Platter แต่ละแผ่น การอ่าน-เขียนข้อมูลเริ่มจากคอนโทรลเลอร์จะนำคำสั่งที่ได้มาแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า แล้วป้อนข้อมูลเข้าสู่ชุดลวดภายในหัวอ่าน ทำให้เกิดแรงเหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก แล้วไปเปลี่ยนโครงสร้างของสารแม่เหล็กที่เคลือบอยู่บนผิวของแผ่นดิสก์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลขึ้น

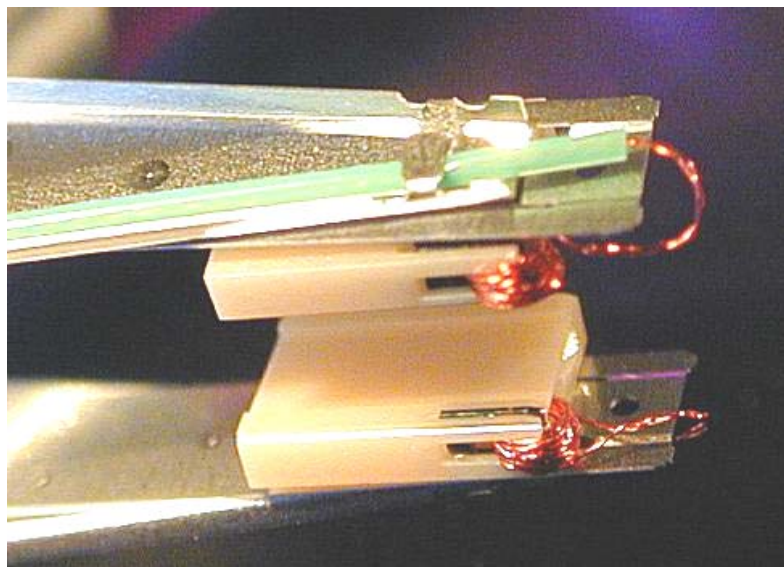
2.3.2.1 ชนิดของหัวอ่าน-เขียน

หัวอ่านเขียนแบบแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Head) ฮาร์ดดิสก์ในรุ่นเก่า ๆ มักจะใช้หัวอ่านที่มีเส้นทองแดงบาง ๆ พันรอบแกนเฟอร์ไรต์ สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์จะถูกส่งผ่านในทางใดทางหนึ่งทำให้เกิดแรงดันทางกระแสไฟฟ้า สิ่งนี้จะสร้างรูปแบบพิเศษของกลุ่มแม่เหล็กบนส่วนที่เป็นแม่เหล็กของ Particles บน Platter จะไปทางขั้วเหนือหรือขั้วใต้ เมื่อมีการอ่าน-เขียนข้อมูลจากของฮาร์ดดิสก์ หัวอ่านจะรู้ว่าทิศทางของ Particles ไปทางใดและแปลค่าออกมาเป็นบิต 0 หรือบิต 1



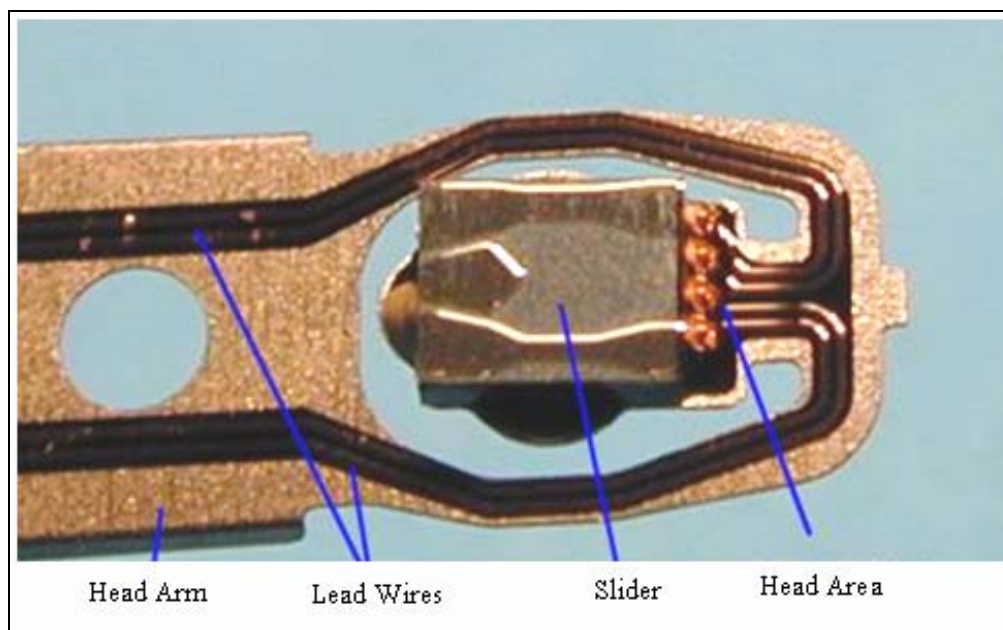
รูปที่ 2.4 หัวอ่าน - เขียนแบบแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Head)

หัวอ่านแบบ Thin-film Inducted Head หัวอ่านชนิดนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยบริษัท IBM ในปี ค.ศ. 1979 ทำการคิดค้นเทคโนโลยีที่มีชื่อเรียกว่า Photolithographic ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมาเป็นโครงสร้างพื้นฐานทำให้มีความแม่นยำเที่ยงตรงในการอ่าน-เขียนข้อมูลมากกว่าหัวอ่านแบบเฟอร์ไรต์



รูปที่ 2.5 หัวอ่าน - เขียนแบบ Thin-film Inducted Head

หัวอ่านแบบ Giant Magneto-Resistive Head ซึ่งเทคโนโลยีหัวอ่านชนิดนี้จะอยู่บนพื้นฐานของ Magneto-Resistive Head ด้วยการใช่วัสดุที่เป็นแบบ Thin-film ต่างชนิดกัน โดยในปี ค.ศ. 1997 IBM ได้แนะนำ หัวอ่าน-เขียน ชนิดนี้โดยมีชื่อเรียกย่อ ๆ ว่า GMR ซึ่งมาแทนหัวอ่านแบบ MR ด้วยการมีส่วนประกอบที่แตกต่างกันออกไปและยังสามารถเพิ่มพื้นที่ของ Areal Densities ขึ้นได้อีกหลายเท่าตัว โดยหัวอ่าน-เขียนชนิดนี้ยังเป็นที่นิยมใช้ในฮาร์ดดิสก์ปัจจุบัน



รูปที่ 2.6 หัวอ่าน-เขียนแบบ Giant Magneto-Resistive Head

2.3.3. แผ่นจานแม่เหล็กหรือดิสก์ (Platters or Disk)

มีลักษณะเป็นแผ่นจานกลม ๆ ทำด้วยโลหะผสม (Metal alloy disk) เคลือบด้วยสาร Aluminum alloy หรือ Glass substrate (ฮาร์ดดิสก์ในสมัยแรก ๆ จะถูกเคลือบหรือ Coated ไปด้วย Aluminum alloy แต่ในฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบันใช้การเคลือบด้วย Glass substrate แทนเนื่องจากมีความคงทนถาวรมากกว่า) โดย Platter จะใช้เป็นที่เก็บข้อมูลต่าง ๆ การบันทึกข้อมูลนั้นใช้หลักการการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก โดยข้อมูลที่ใส่เก็บบน Platter จะอยู่ในลักษณะ “0” และ “1” เหมือนกับข้อมูลดิจิทัลประเภทอื่นๆ ขนาดของ Platter นั้นโดยทั่ว ๆ ไปจะมีขนาด 3.5 นิ้ว และในฮาร์ดดิสก์แต่ละตัวก็จะมีจำนวนของแผ่น Platter ไม่เท่ากันโดยปกติแล้วฮาร์ดดิสก์แต่ละตัวจะมีแผ่นดิสก์ประมาณ 1-4 แผ่น โดยแต่ละแผ่นก็จะเก็บข้อมูลได้ทั้งสองด้านโดยทั่วไปแล้วยังมี Platter มากก็จะทำให้ฮาร์ดดิสก์ตัวนั้นมีความจุมากขึ้นไปด้วย

2.3.4. มอเตอร์หมุนจานแม่เหล็ก (Spindle Motor)

เป็นมอเตอร์ที่ใช้หมุนจานแม่เหล็กซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความเร็วในการอ่าน-เขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ เพราะยิ่งมอเตอร์หมุนเร็วเท่าใด หัวอ่านก็จะเจอข้อมูลที่ต้องการเร็วขึ้นเท่านั้น ซึ่งความเร็วของการหมุนมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (Revolutions Per Minute: RPM) ฮาร์ดดิสก์รุ่น

เก่าจะหมุนด้วยความเร็วเพียง 3,600 และ 5,400 รอบต่อนาที ต่อมาพัฒนาเป็น 7,200 รอบต่อนาที และปัจจุบันหมุนได้เร็วถึง 15,000 รอบต่อนาที

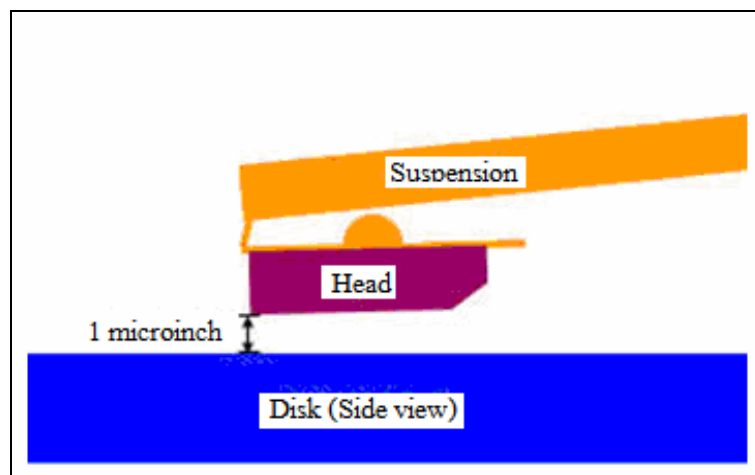


รูปที่ 2.7 Platters และ Spindle Motor

2.4 หลักการทำงานของฮาร์ดดิสก์

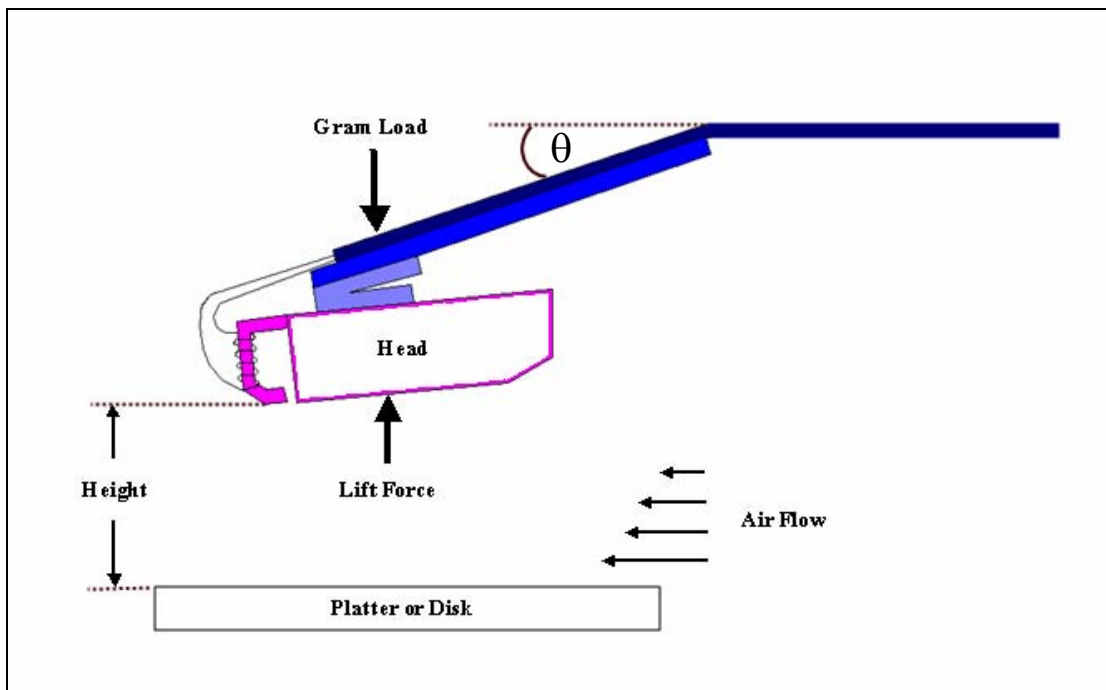
เริ่มต้นหัวอ่านเขียนจะอยู่ในตำแหน่ง Landing Zone เมื่อเริ่มทำงานมอเตอร์จะถูกสั่งให้หมุนแกน Spindle โดยที่ Platter ที่ติดตั้งอยู่กับมอเตอร์ก็จะหมุนตามไปด้วย จะส่งผลให้เกิดกระแสลมที่ผิวของ Platter หรือที่เรียกว่า Air bearing Load มีหน้าที่ช่วยยกให้หัวอ่านลอยสูงขึ้นจาก Platter เพราะเมื่อหัวอ่าน-เขียนทำงาน หัวอ่าน-เขียนจะไม่สัมผัสกับ Platter โดยตรง ในขณะเดียวกัน Actuator Arm ก็จะเคลื่อนที่หัวอ่าน-เขียนในลักษณะสายไปมา เพื่อไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยทั่วไปหัวอ่าน-เขียนจะถูกติดตั้งอยู่กับ Suspension Assembly มีหน้าที่ควบคุมตำแหน่งของหัวอ่านให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ไม่ให้สัมผัสกับผิวของ Platter ที่กำลังหมุนอยู่แต่หัวอ่าน-เขียนจะ “บิน” ที่ความสูงน้อย ๆ เหนือ Platter โดยที่ Suspension Assembly จะยอมให้ หัวอ่าน-เขียนบิน

ด้วยความสูงน้อยกว่า 1-2 ไมโครนิ้ว บน Platter ที่หมุนด้วยความเร็ว 5,400-20,000 รอบต่อนาที ดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 หัวอ่าน-เขียนบินด้วยความสูงน้อยกว่า 1-2 ไมโครนิ้ว บน Platter

เมื่อหัวอ่าน-เขียนกำลังอ่านหรือเขียนข้อมูลอยู่นั้น เมื่อหัวอ่าน-เขียนไม่สามารถบินด้วยความสูงที่ต้องการแล้ว จะทำให้หัวอ่าน-เขียนเสียดสีหรือถูเข้ากับผิวหน้าของ Platter จะทำให้เกิดความเสียหายกับสารที่เคลือบผิวของ Platter และข้อมูลได้ ดังนั้นหัวอ่านเขียนจะต้องอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมและถูกต้อง ด้วยความสมดุลของแรงที่ทำให้หัวอ่านบินอยู่ คือแรงยกจากด้านล่างของหัวอ่าน-เขียนคือแรงที่เกิดจากกระแสลมที่ผิวของ Platter กับแรงกด จากมุลอยตัวโดยแรงกดนี้สามารถปรับให้มีค่ามากหรือน้อยได้จากการเปลี่ยนมุลอยตัว หากเพิ่มมุลอยตัวให้มีค่าสูงขึ้น แรงกดที่ได้ก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 Force Balance

2.5 งานวิจัยด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดดิสก์

จากการที่ได้ศึกษางานวิจัยด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ที่วิจัยเกี่ยวกับการหาค่า Gram Load หรือ Stress Distribution บนฮาร์ดดิสก์นั้นพบว่ายังไม่มีความใดที่ศึกษาถึงค่า Gram Load และ Stress Distribution จะมีแต่การศึกษาเกี่ยวกับการสั่นสะเทือน (Vibration) และการไหลของอากาศภายในตัวฮาร์ดดิสก์ (Air Flow In Harddisk)

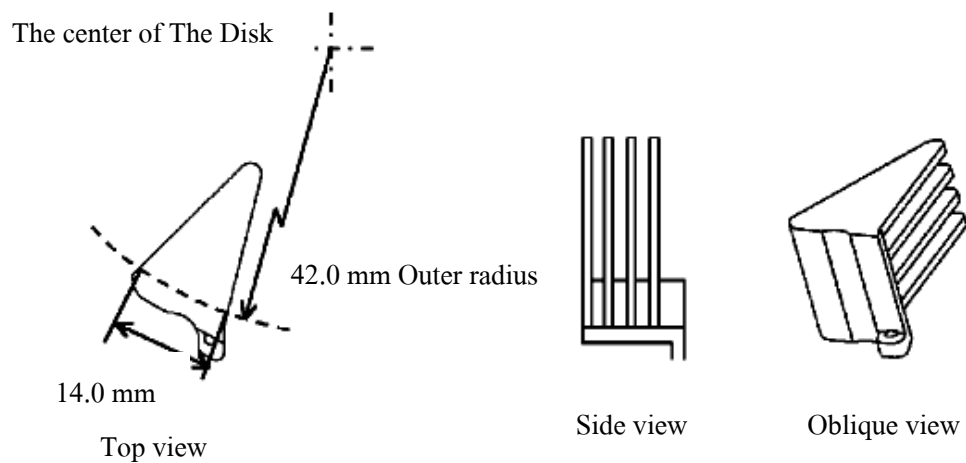
J.Lua, D.W. Shu, B.J. Shi, Q.Y. Ng, R. Zambri, J.H.T. Lau (2006) ทำการศึกษาเกี่ยวกับ Shock Response Of The HDD โดยการสร้าง Finite Element Model ของ Head Stack Assembly เพื่อทำการวิเคราะห์หาความถี่ธรรมชาติ โหมดที่สนใจคือ Bending Mode โดย Simulation ด้วยโปรแกรม Ansys เริ่มแรก J.Lua และคณะได้กำหนดค่า Gram Load ให้มีค่าเท่ากับ 1.2 gram จากนั้นทำการทดสอบ Modal Testing เพื่อทำการหาความถี่ในโหมดที่สนใจ จากนั้นนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง ผลปรากฏดังนี้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบผลที่ได้จาก Simulation กับ Experiment

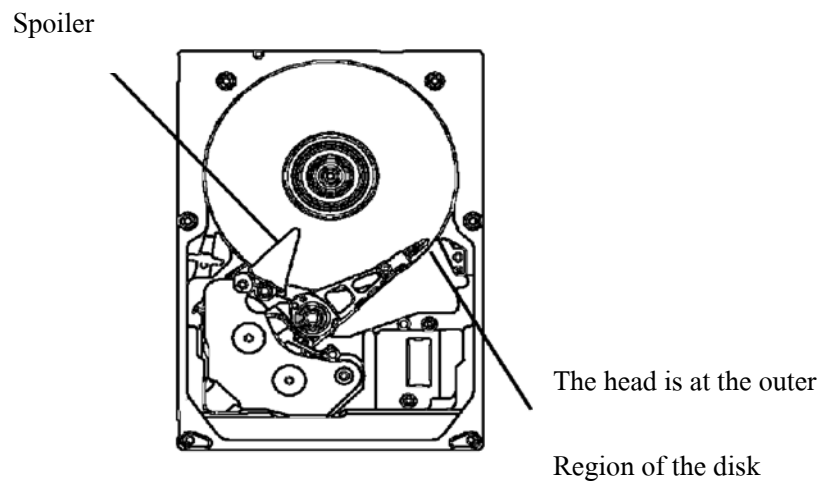
Main Mode	Simulation (Hz)	Experiment (Hz)
1 st Free Bending Mode	258	255
2 nd Free Bending Mode	3680	3766
1 st Bending Mode	3520/3622	3700
2 nd Bending Mode	9980/11830	10080

จากการวิจัยพบว่า การหาความถี่ที่โหมดการสั่นนั้นสามารถทำได้ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จาก Simulation กับ Experiment แล้วพบว่าค่าใกล้เคียงกัน มีความแตกต่างไม่เกิน 5%

Yoshiyuki Hirono, Toshihiro Arisaka, Noriyo Nishijima, Toshihiko Shimizu, Shigeo Nakamura, and Hiromitsu Masuda ได้ทำการวิจัยเรื่อง Flow-Induced Vibration Reduction in HDD by Using a Spoiler เป็นการติดตั้ง Spoiler ดังรูปที่ ในฮาร์ดดิสก์เพื่อที่จะลดการสั่นสะเทือนของ Head Stack Assembly (HAS) เนื่องจากกระแสลมที่ผิวของ Platter จากการทดลองได้ใช้ Platter ขนาด 3.5 นิ้ว โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 2.10 Spoiler



รูปที่ 2.11 ตำแหน่งที่ติดตั้ง Spoiler

จากผลการวิจัย การลดการเหนี่ยวนำให้เกิดการสั้น โดยการติดตั้ง Spoiler นั้นจะพบว่า ประสิทธิภาพของ Spoiler เมื่อเทียบกับความหนาของ Spoiler จะลดลงเมื่อความหนาเพิ่มมากขึ้น ความยาวของ Spoiler ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดคือ 13 มิลลิเมตร และการติดตั้ง Spoiler จะช่วยให้เพิ่ม Power Consumption ของมอเตอร์ได้อีกด้วย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิจัยบนแบบจำลองของชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียนของฮาร์ดดิสก์ ขนาด 3.5 นิ้ว โดยทำการวิเคราะห์หามุมลรอยตัวที่ทำให้ค่า Gram Load อยู่ในช่วง 2.5 ± 0.2 grams และศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์อยู่ในสถานะ Load State โดยในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการสร้างแบบจำลองรูปทรงของปัญหา (Geometry) การกำหนดขอบเขตโดเมนของปัญหา (Defining Boundary) การสร้างเอลิเมนต์ (Meshing) การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Constraint) และการประยุกต์ภาระกรรม (Load Applying)

3.1 การทดสอบโปรแกรม ANSYS Workbench V.11

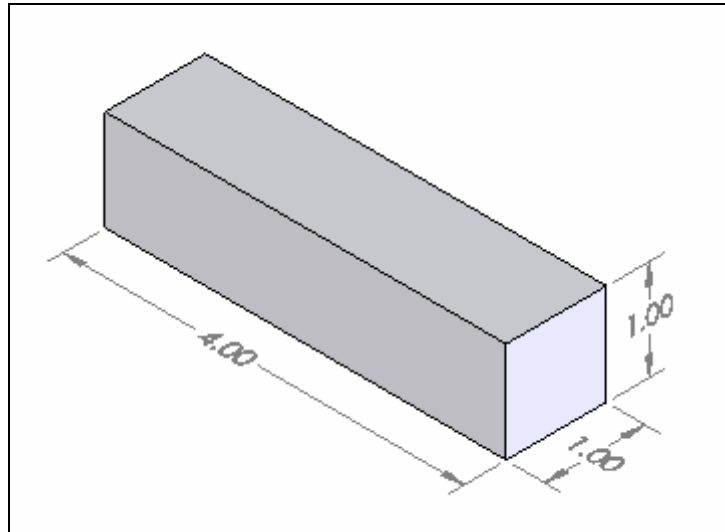
การทดสอบโปรแกรม ANSYS Workbench V.11 มีขึ้นเพื่อสร้างความมั่นใจในความถูกต้องแม่นยำและความมีเสถียรภาพในการคำนวณของโปรแกรม ซึ่งความจริงแล้วก่อนที่นำโปรแกรมออกสู่ตลาดได้นั้น โปรแกรมจะต้องถูกทดสอบมาเป็นอย่างดี ดังนั้นประโยชน์โดยแท้จริงนั้นคือให้ผู้ใช้ได้ศึกษาการใช้งานของโปรแกรมให้มีความถูกต้อง ตลอดจนฝึกฝนและสร้างประสบการณ์จนเกิดความมั่นใจ ก่อนที่จะนำโปรแกรมนั้น ๆ ไปวิเคราะห์กับปัญหาในงานวิจัยด้านต่าง ๆ

3.1.1 การวิเคราะห์การทรุดตัวของคาน (Deflection of Beam)

การวิเคราะห์การทรุดตัวของคาน เป็นการวิเคราะห์แรงที่กระทำกับคานแบบสถิตศาสตร์ คือ แรงที่กระทำกับคานมีขนาดและทิศทางคงที่ โดยในการวิเคราะห์ด้วย ANSYS Workbench Version 11 จะสามารถเชื่อมโยงไฟล์จากโปรแกรม SolidWorks ทั้งชิ้นส่วน (Part) และชิ้นงานประกอบ (Assembly) ชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์จะถูกป้อนออกเป็นเอลิเมนต์เล็ก ๆ ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1.2 การสร้างแบบจำลองของคาน

การกำหนดรูปร่างและขนาดแบบจำลองของคานที่ใช้ในการทดสอบ โดยจะสร้างขึ้นจากโปรแกรม SolidWorks 2006 SP4.1 แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยคานจะมีความยาว 4 นิ้ว และมีหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1x1 นิ้ว โดยกำหนดวัสดุของคานเป็น Structural Steel ดังรูป 3.2



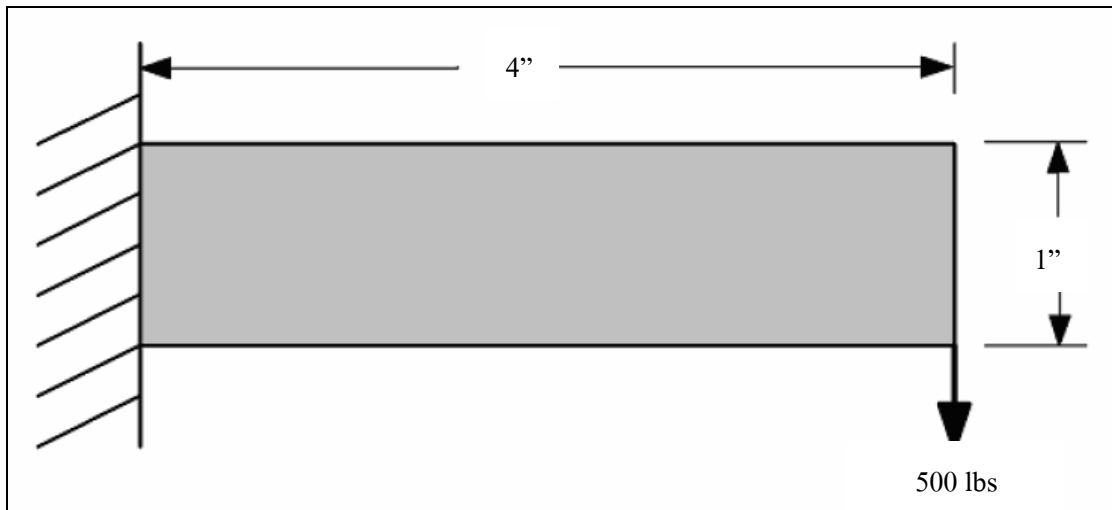
รูปที่ 3.1 คานที่สร้างจากโปรแกรม SolidWorks

Structural		Add/Remove Properties
<input type="checkbox"/>	Young's Modulus	2.9008e+007 psi
<input type="checkbox"/>	Poisson's Ratio	0.3
<input type="checkbox"/>	Density	0.28383 lbm/in ³
<input type="checkbox"/>	Thermal Expansion	6.6667e-006 1/°F
<input type="checkbox"/>	Alternating Stress	
<input type="checkbox"/>	Strain-Life Parameters	
<input type="checkbox"/>	Tensile Yield Strength	36259 psi
<input type="checkbox"/>	Compressive Yield Strength	36259 psi
<input type="checkbox"/>	Tensile Ultimate Strength	66717 psi
<input type="checkbox"/>	Compressive Ultimate Strength	0. psi
Thermal		Add/Remove Properties
<input type="checkbox"/>	Thermal Conductivity	8.0917e-004 BTU/s·in·°F
<input type="checkbox"/>	Specific Heat	0.10358 BTU/lbm·°F
Electromagnetics		Add/Remove Properties
<input type="checkbox"/>	Relative Permeability	10000
<input type="checkbox"/>	Resistivity	8.5256 Ohm·Cir·mil/in

รูปที่ 3.2 ตารางคุณสมบัติวัสดุ Structural Steel

3.1.3 กำหนดแรงที่กระทำและจุดยึด (Load and Support)

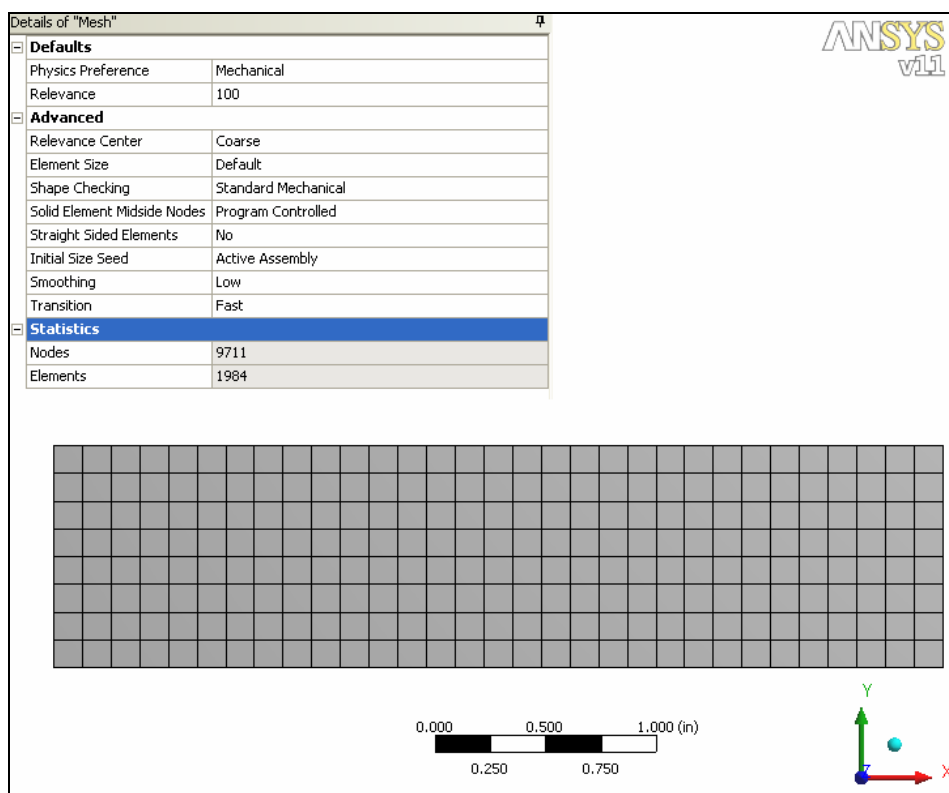
เมื่อทำการสร้างคานที่มีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส กำหนดแรงที่กระทำกับคาน โดยมีแรงกดที่ปลายคานขนาด 400 lb และอีกด้านหนึ่งของคานถูกกำหนดให้ยึดติดกับผนังส่วนอีกด้านหนึ่งปล่อยเป็นอิสระ ดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 Cantilevered Beam

3.1.4 การสร้างเอลิเมนต์

จากนั้นแบ่งชิ้นส่วนที่ต้องการวิเคราะห์ออกเป็น เอลิเมนต์เล็ก ๆ โดยมีจำนวนหลาย ๆ เอลิเมนต์ โดยรูปแบบและขนาดของเอลิเมนต์ โปรแกรม ANSYS Workbench Version 11 จะกำหนดให้แบบอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 รูปแบบเอลิเมนต์และขนาดเอลิเมนต์

3.1.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench V.11

เมื่อโปรแกรมทำการวิเคราะห์เสร็จสิ้นสมบูรณ์ โดยเลือกวิเคราะห์ผลลัพธ์ของค่าการทรุดตัวของคานและความเค้น (Von-Mises Stress) แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม

Deflection of Beam (in)	Von-Mises Stress (MPa)
0.00455	13,413

3.1.6 การเปรียบเทียบผลกับคำตอบจากการคำนวณ

1. การทรุดตัวของคาน

การคำนวณเพื่อหาการทรุดตัวของคานที่มีปลายด้านหนึ่งยึดให้ติดกับผนังส่วนอีกด้านหนึ่งปล่อยให้เป็นอิสระ จะใช้สมการดังนี้

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI} + \frac{6PL}{5AG} \quad (1)$$

โดยที่	δ	=	การทรุดตัวของคาน
	P	=	แรงที่กระทำกับคาน
	L	=	ความยาวของคาน
	E	=	โมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุ
	I	=	โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ของคานคำนวณรอบแกนสะเทิน
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของคาน
	G	=	โมดูลัสการเฉือน

เมื่อกำหนดให้คานมีความยาว 4 นิ้ว และมีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งมีขนาดเท่ากับ 1x1 นิ้ว และกำหนดค่า Modulus of Elasticity เท่ากับ 29008000 psi โดยให้มีแรงกระทำที่ปลายคาน 500 lbs

$$\delta = \frac{(500\text{lbs})(4\text{in})^3}{3(29,008,000\text{psi})\left(\frac{(1\text{in})(1\text{in})^3}{12}\right)} + \frac{6(500\text{lb})(4\text{in})}{5(1\text{in})^2\left(\frac{29,008,000}{2(1+0.3)}\right)\text{psi}} \quad (2)$$

$$\delta = 0.00463\text{in}$$

2. ความเค้นดัดสูงสุด (Maximum Bending Stress)

ทำการคำนวณเพื่อหาความเค้นดัดสูงสุดโดยความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณด้านบนหรือด้านล่างของคานใกล้กับส่วนที่ถูกยึดติดกับผนัง จะใช้สมการดังนี้

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (3)$$

โดยที่	σ	=	ความเค้นดัดสูงสุด
	M	=	โมเมนต์ภายในคาน
	c	=	ความสูงของแกนสะเทิน
	I	=	โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ของคานคำนวณรอบแกนสะเทิน

จะได้ดังนี้

$$\sigma = \frac{(500\text{lbs})(4\text{in})(0.5\text{in})}{\left(\frac{(1\text{in})(1\text{in})^3}{12}\right)} \quad (4)$$

$$\sigma = 12,000\text{psi}$$

การคำนวณเพื่อหาการทรุดตัวของคานมีค่าเท่ากับ 0.00463 in ส่วนผลของความเค้นดัดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 12,000 MPa จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเพื่อหาการทรุดตัวของคานเท่ากับ 0.00455 in ส่วนผลของความเค้น (Von-Mises Stress) เท่ากับ 13,413 MPa นำผลที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดโดยเป็นค่าเปรียบเทียบของความแตกต่างระหว่างคำตอบจาก ANSYS Workbench V.11 กับคำตอบจากทฤษฎี

ผลของค่าความผิดพลาดจากการคำนวณการทรุดตัวของคาน

$$error_{Deflection} = \left| \frac{\delta_T - \delta_A}{\delta_T} \right| \times 100\% \quad (5)$$

โดยที่ $error_{Deflection}$ คือ ค่าความผิดพลาดของการทรุดตัวของคาน

δ_A คือ ค่าความเค้นที่คำนวณได้จาก ANSYS Workbench V.11

δ_T คือ ค่าความเค้นที่คำนวณได้จากทฤษฎี

จะได้ว่า

$$error_{Deflection} = \left| \frac{0.00463 - 0.00455}{0.00463} \right| \times 100\% = 1.73\% \quad (6)$$

ผลของค่าความผิดพลาดจากการคำนวณค่าความเค้นดัดสูงสุด

$$error_{Stress} = \left| \frac{\sigma_T - \sigma_A}{\sigma_T} \right| \times 100\% \quad (7)$$

โดยที่ $error_{Stress}$ คือ ค่าความผิดพลาดของความเค้นดัดสูงสุด
 σ_A คือ ค่าความเครียดที่คำนวณได้จาก ANSYS Workbench V.11
 σ_T คือ ค่าความเครียดที่คำนวณได้จากทฤษฎี

จะได้ว่า

$$error_{Stress} = \left| \frac{(12,000) - (13,413)}{(12,000)} \right| \times 100\% = 11.78\% \quad (8)$$

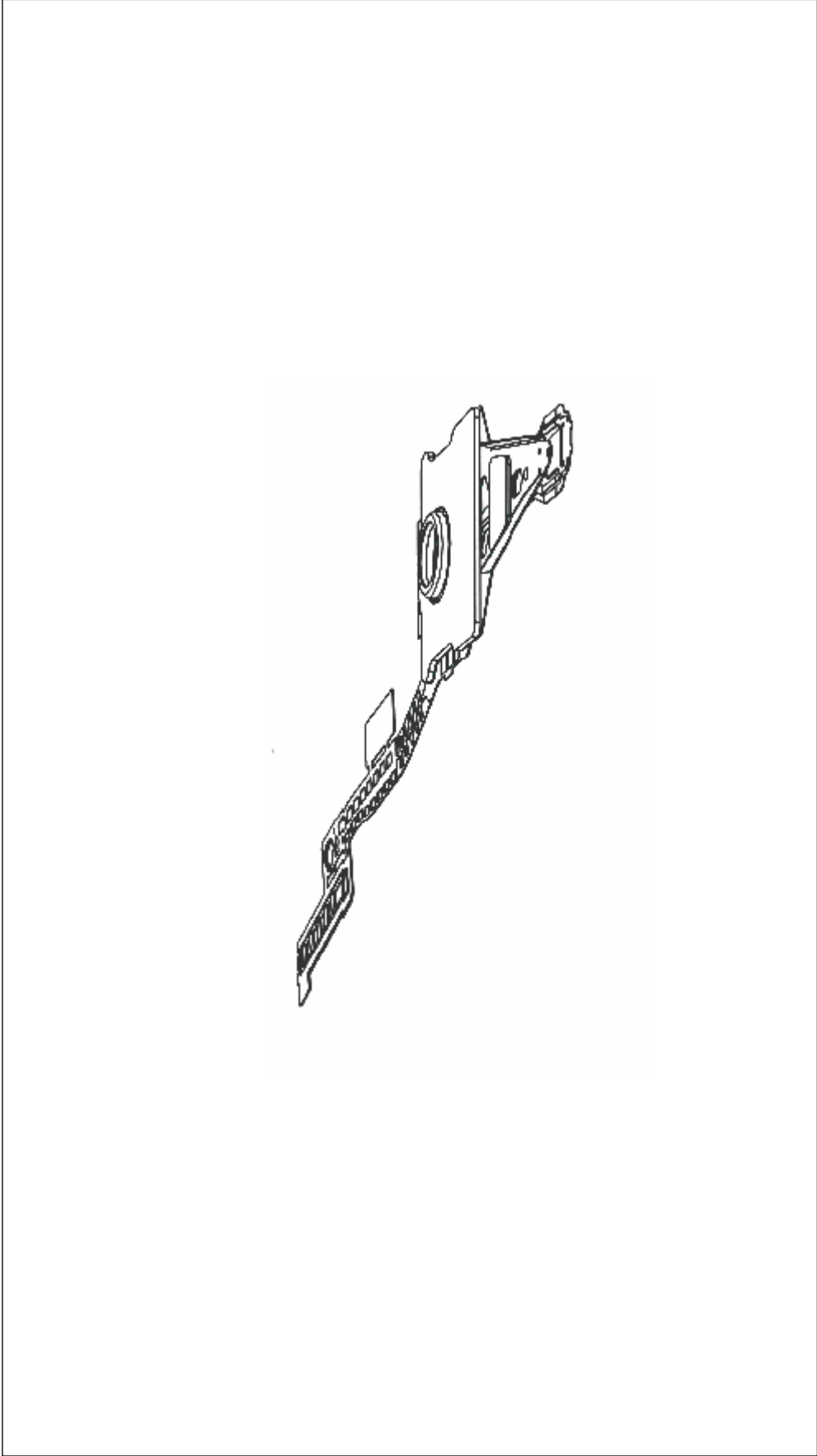
ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรมมีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณจากทฤษฎี ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบผลจากการคำนวณกับผลที่ได้จากโปรแกรม

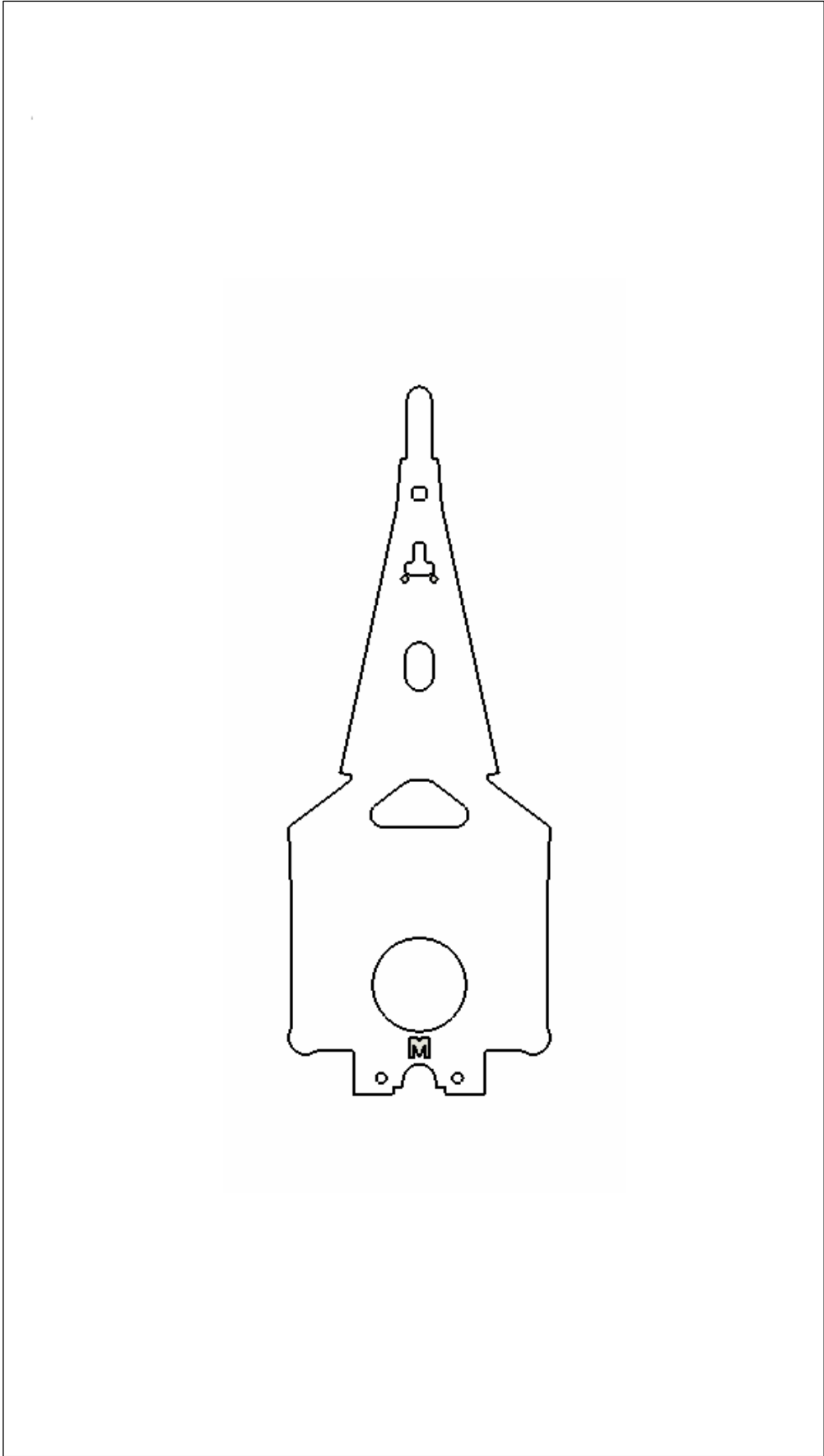
	Theory result	ANSYS result	% Difference
Deflection	0.00463 in	0.00455 in	1.73
Bending Stress	12,000 MPa	13,413 MPa	11.78

3.2 แบบจำลองของ Head Gimbal Assembly: HGA

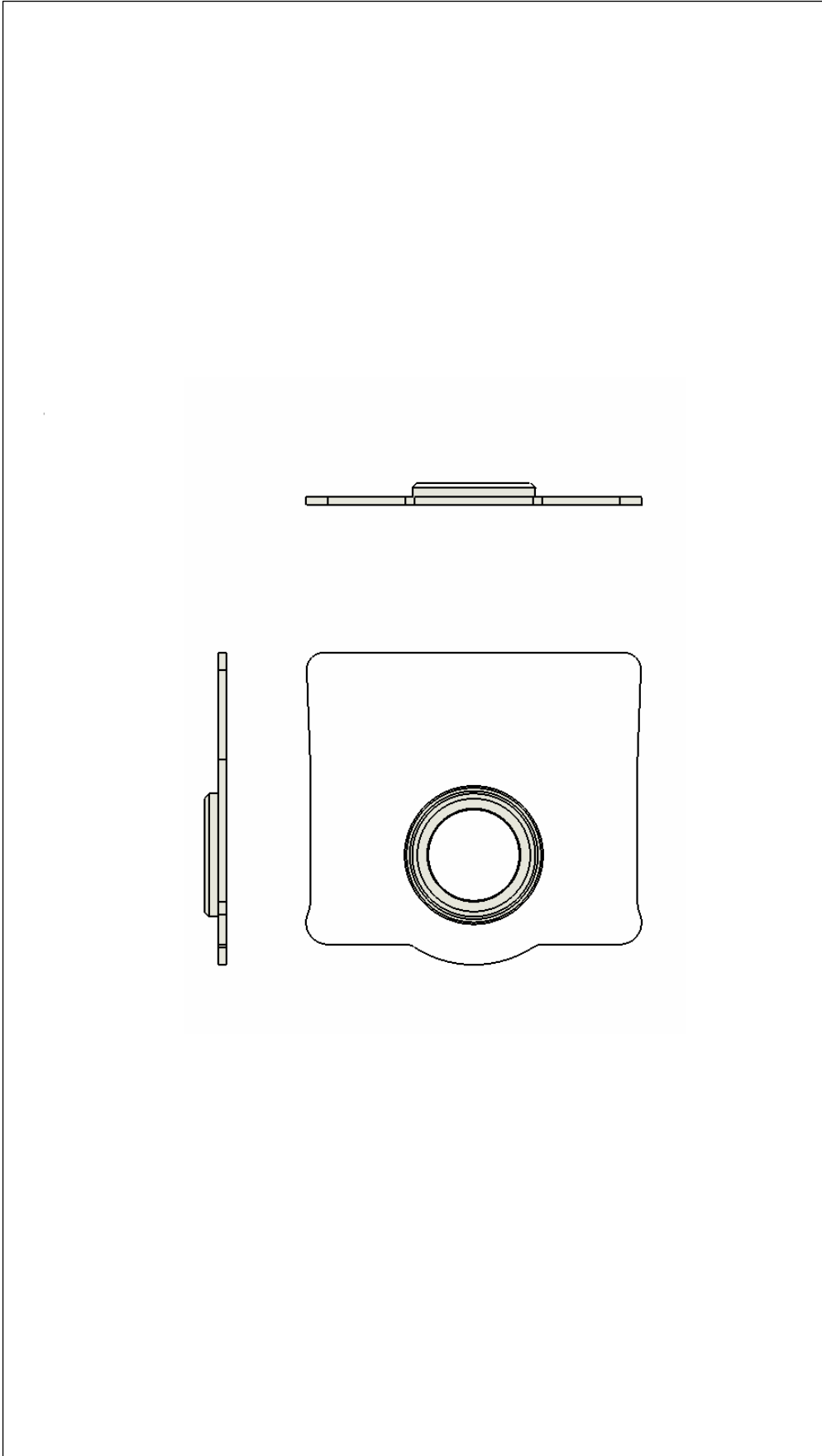
การสร้างแบบจำลองของชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน (Head Gimbal Assembly: HGA) ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท แมกเนคอมพ์ พรีซิชั่น เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน) ในการมอบ Drawing โดยมีส่วนประกอบดังนี้ Load Beam, Mount Plate, Damper, Circuit เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการสร้างแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.5-3.8



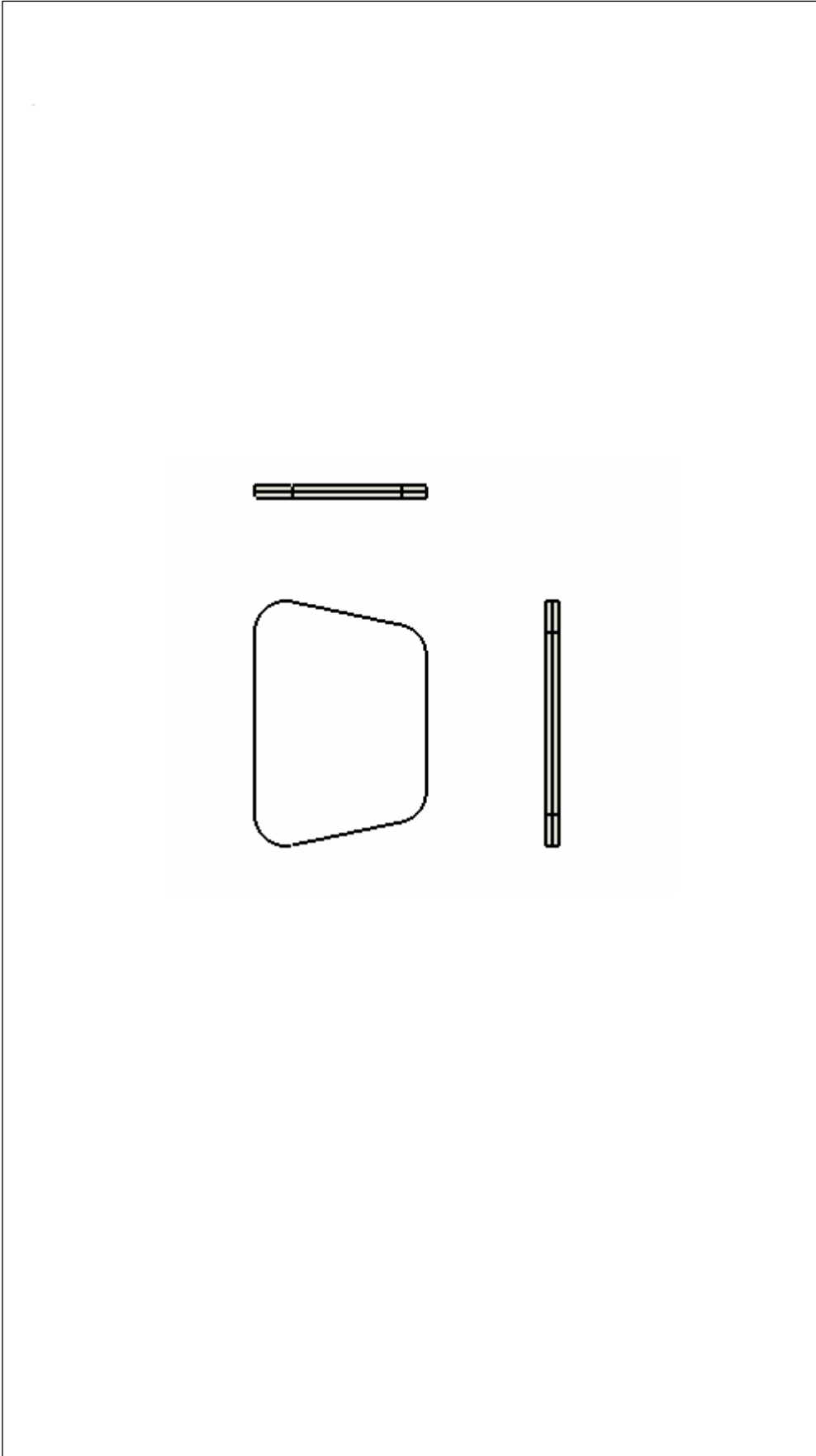
รูปที่ 3.5 Drawing ชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน (Head Gimbal Assembly)



รูปที่ 3.6 Drawing ของ Load Beam

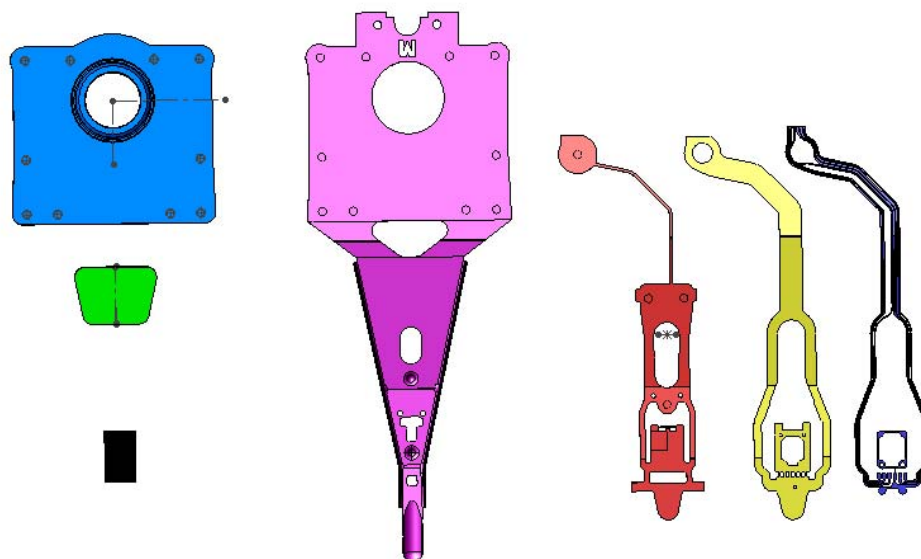


รูปที่ 3.7 Drawing ของ Mount Plate

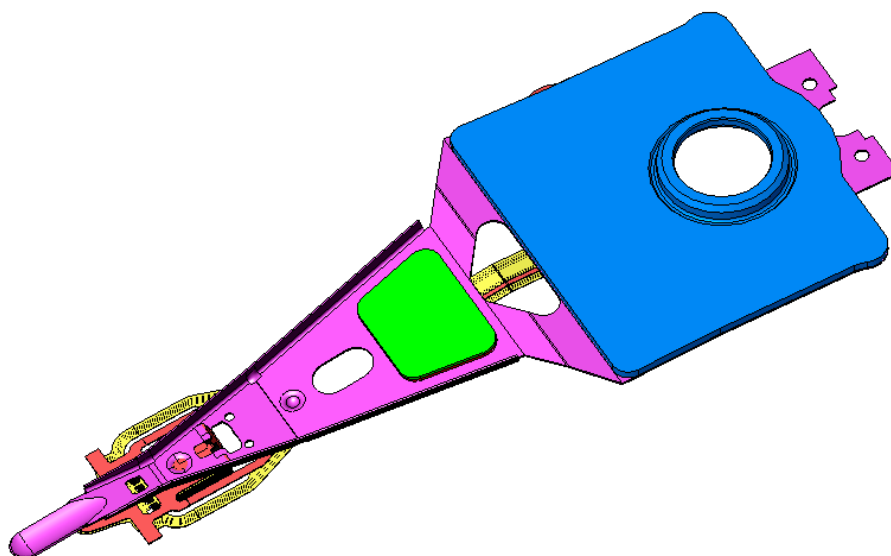


รูปที่ 3.8 Drawing ของ Damper

หลังจากนี้ทำการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks แล้วนำมาประกอบจุดจับยึดต่างๆ ในตำแหน่งที่กำหนดไว้ใน Drawing โดยชิ้นส่วนที่นำมาประกอบเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3.9-3.10



รูปที่ 3.9 ส่วนประกอบแบบจำลอง 3 มิติของ HGA



รูปที่ 3.10 แบบจำลอง 3 มิติของ HGA

3.3 การจำลองการวิเคราะห์เพื่อหา มุมลอยตัว และ ความเค้น

การวิเคราะห์แบบจำลองเพื่อหา มุมลอยตัวและความเค้น ได้ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench V.11 โดยการวิเคราะห์ปัญหาในงานวิจัยนี้จะเป็นการวิเคราะห์แบบสถิตย์ (Static) ด้วยวิธีการยกให้หัวอ่าน-เขียนลอยสูงขึ้นด้วยความสูงที่ต้องการเท่านั้น

3.4 คุณสมบัติเชิงกลที่ใช้ในการวิเคราะห์

แบบจำลองของชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนย่อย ๆ จำนวนมาก ซึ่งแต่ละชิ้นส่วนจะถูกผลิตขึ้นจากวัสดุที่แตกต่างกัน ได้แก่ Stainless Steel, Copper, Polyester, Polyimide, Slider (Read-Write Head) โดยมีคุณสมบัติเชิงกลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติเชิงกลของ Stainless Steel

Property Name	Value	Units
Young's modulus	1.93e5	MPa
Poisson's ratio	0.31	-
Density	7.75e-6	Kg/mm
Tensile Yield strength	-	MPa
Tensile Ultimate strength	-	MPa

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติเชิงกลของ Copper

Property Name	Value	Units
Young's modulus	1.24e5	MPa
Poisson's ratio	0.34	-
Density	8.878e-6	Kg/mm
Tensile Yield strength	540	MPa
Tensile Ultimate strength	600	MPa

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติเชิงกลของ Polyester

Property Name	Value	Units
Young's modulus	3790	MPa
Poisson's ratio	0.30	-
Density	1.4e-6	Kg/mm

ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติเชิงกลของ Polyimide

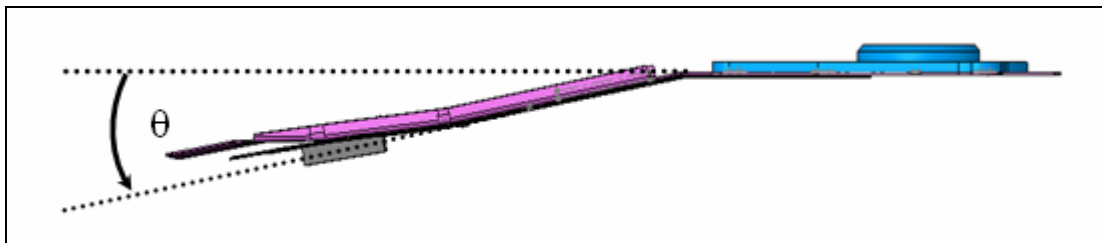
Property Name	Value	Units
Young's modulus	5860	MPa
Poisson's ratio	0.33	-
Tensile Yield strength	150	MPa
Tensile Ultimate strength	200	MPa

ตารางที่ 3.7 คุณสมบัติเชิงกลของ Slider (Read-Write Head)

Property Name	Value	Units
Young's modulus	4e5	MPa
Poisson's ratio	0.30	-
Density	4.26e-6	Kg/mm
Tensile Yield strength	1000	MPa
Tensile Ultimate strength	1000	MPa

3.5 เงื่อนไขเริ่มต้นในการทำวิจัย

โดยทั่วไป มุมลอยตัว จะอยู่ในช่วง 10° - 20° และเนื่องจาก Gram Load ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองของชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียนของรุ่นนี้มีค่าอยู่ในช่วง 2.5 ± 0.2 grams ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงเริ่มต้นทำการวิเคราะห์ที่มุมลอยตัวเท่ากับ 10° จนกระทั่งถึง 20° เพื่อหามุมลอยตัวที่ให้ Gram Load ที่เหมาะสมดังกล่าว โดยแสดงลักษณะการกำหนดมุมลอยตัว ดังรูปที่ 3.11 และมีค่าดังตารางที่ 3.8



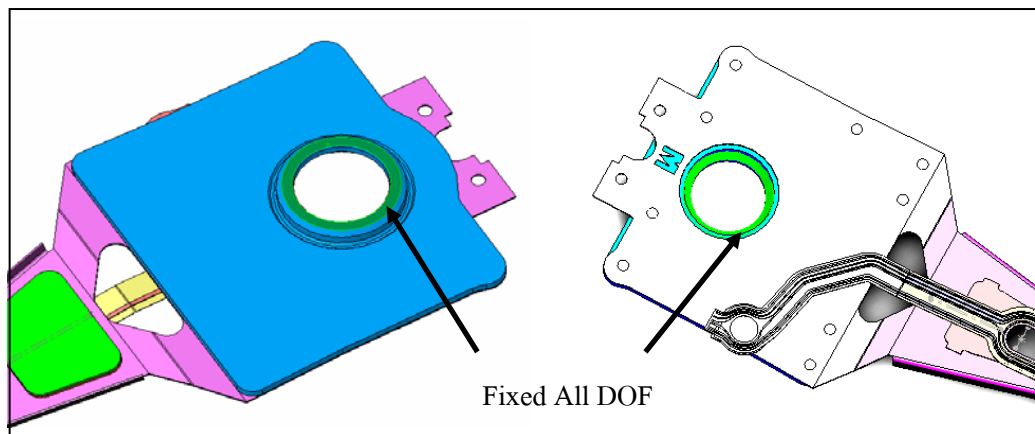
รูปที่ 3.11 กำหนดมุมลอยตัว

ตารางที่ 3.8 มุมลอยตัว

No.	มุมลอยตัว (Degree)
1	10
2	11
3	12
4	13
5	14
6	15
7	16
8	17
9	18
10	19
11	20

3.6 เงื่อนไขการจับยึดชิ้นงาน

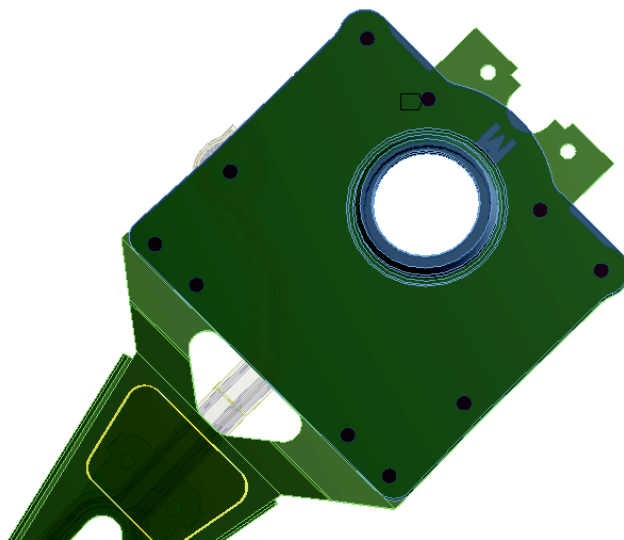
สำหรับการกำหนดเงื่อนไขในการจับยึดชิ้นงาน ได้กำหนดให้พื้นผิวที่สัมผัสกับ Actuator Arm (Boss Tower) เป็นแบบ Fixed All DOF คือ ไม่สามารถเคลื่อนที่และหมุนรอบแนวแกน X, Y, Z ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 พื้นผิวที่สัมผัสกับ Actuator Arm (Boss Tower)

3.7 การกำหนดผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงาน

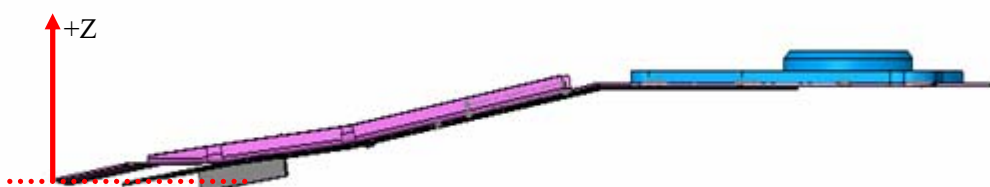
เนื่องจากชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน ถูกประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนย่อย ๆ จำนวนมากดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยขั้นตอนการประกอบจะใช้กระบวนการเชื่อมด้วยเลเซอร์ ดังนั้น ในแต่ละตำแหน่งที่เป็น การเชื่อม จะกำหนดเงื่อนไขของผิวสัมผัสกับเป็นแบบ Bound ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 จุดที่กำหนดผิวสัมผัสแบบ Bonded

3.8 ภาวะที่กระทำกับชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์

การวิเคราะห์หา มุมลอยตัว และความเค้น นั้น ชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน จะต้องอยู่ในสถานะ Load State คือ ภาวะที่ชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน ได้รับแรงยกจาก Air Bearing Load ทำให้ หัวอ่าน-เขียนเคลื่อนที่สูงขึ้น ดังนั้นภาวะกรรมที่กำหนดให้แก่แบบจำลองชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน จะเป็นการทำให้หัวอ่าน-เขียน เคลื่อนที่สูงขึ้นเช่นเดียวกัน โดยเคลื่อนที่ไปในทิศทาง +Z จนกระทั่งระยะห่างระหว่าง หัวอ่านเขียน กับ Mount Plate มีค่าเท่ากับ 0.508 มิลลิเมตร โดยระยะห่างระหว่างหัวอ่าน-เขียน กับ Mount Plate นี้เรียกว่า Assembly Offset Height



รูปที่ 3.14 การเคลื่อนที่ของหัวอ่าน-เขียน



รูปที่ 3.15 Assembly Offset Height

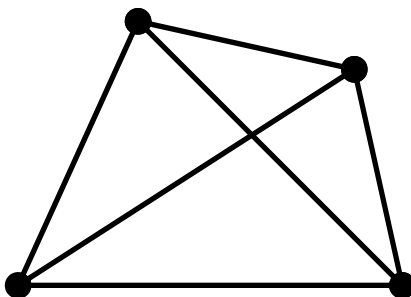
3.9 การกำหนดรูปแบบของเอลิเมนต์

การเลือกชนิดของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้น จะส่งผลต่อความถูกต้องในการคำนวณ และส่งผลต่อความแม่นยำในการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ชนิดของเอลิเมนต์ในเบื้องต้นนี้มีอยู่ 4 แบบ คือ

3.9.1 เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า (First Order Solid Tetrahedral Element)

เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า สร้างจากเส้นตรง โดยความสัมพันธ์ของระยะระหว่างโหนดบนพื้นผิวและขอบของชิ้นงาน การเขียนความสัมพันธ์ของระยะการยึดหคจะพิจารณาจากสมการความเครียด (Strain) และส่งแรงไปยังเอลิเมนต์รอบข้างเรื่อย ๆ จนครบทุก

ชิ้นส่วนในแต่ละเอลิเมนต์จะมีทั้งหมด 4 โหนด จะกระจายอยู่ตามมุมของเอลิเมนต์ ในแต่ละโหนดจะมีระดับชั้นความเสรี (DOF = 3) หมายถึงแต่ละโหนดสามารถเคลื่อนที่ได้ 3 ทิศทาง ดังรูป 3.16

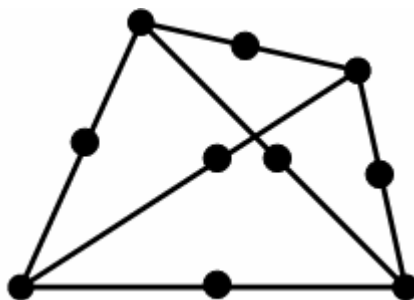


รูปที่ 3.16 เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า

ขอบของเอลิเมนต์จะตรงและแบนราบ จึงเห็นได้ว่าเหมาะสมสำหรับที่มีขอบตรงและพื้นที่ผิวแบนราบ แต่ถ้าชิ้นงานที่มีหน้าตัดกลมหรือมีผิวโค้ง จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดเนื่องจากการสร้างโมเดลเอลิเมนต์ซึ่งมีขนาดไม่เท่ากับของจริง

3.9.2 เอลิเมนต์ลำดับที่สองทรงสี่หน้า (Second Order Solid Tetrahedral Element)

เอลิเมนต์ลำดับที่สองทรงสี่หน้า สร้างจากเส้นโค้งพาราโบลา (Parabolic) โดยการกำหนดความสัมพันธ์ของระยะระหว่างโหนดในแต่ละเอลิเมนต์จะมี 10 โหนด (มี 4 มุม และมีโหนดกึ่งกลาง 6 โหนด) ซึ่งแต่ละโหนดจะมีระดับชั้นความเสรี DOF = 3 หมายถึงแต่ละโหนดสามารถเคลื่อนที่ได้ 3 ทิศทางดังรูปที่ 3.17

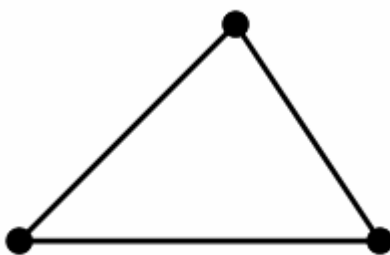


รูปที่ 3.17 เอลิเมนต์ลำดับที่สองทรงสี่หน้า

อย่างไรก็ตามการแบ่งชิ้นส่วนย่อยนี้ก็เพื่อให้รูปร่างชิ้นส่วนย่อยใกล้เคียงกับชิ้นงานจริงมากที่สุด แต่ก็อาจจะให้การประมวลผลใช้เวลานานขึ้น เพราะจำนวนเอลิเมนต์และจำนวนโหนดจะมากตามไปด้วย

3.9.3 เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม (First Order Triangular Shell Element)

เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งพื้นผิวสามเหลี่ยม สร้างจากเส้นตรงลากระหว่างโหนด ซึ่งแต่ละโหนดจะอยู่บนขอบหรือบนพื้นผิวของชิ้นงาน โดยในแต่ละเอลิเมนต์จะมี 3 โหนด (บริเวณมุมของเอลิเมนต์และแต่ละโหนดจะมีระดับขั้นความเสรี $DOF = 6$ หมายถึงแต่ละโหนดจะเคลื่อนที่ได้ 3 ทิศทางและหมุนรอบ 3 แกน) ดังรูปที่ 3.18

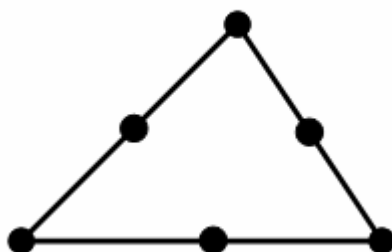


รูปที่ 3.18 เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม

ยกตัวอย่างท่อ โค้งจะใช้พื้นผิวกึ่งกลางท่อเพื่อนามาสร้างชิ้นงานแบบเอลิเมนต์ โดยกรณีเส้น โค้งจะใช้รูปเหลี่ยมหลายรูปแทน

3.9.4 เอลิเมนต์ลำดับที่สองแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม (Second Order Triangular Shell Element)

เอลิเมนต์ลำดับที่สองแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม สร้างจากเส้น โค้งพาราโบลา (Parabolic) โดยแต่ละเอลิเมนต์จะมี 6 โหนด (3 โหนดอยู่ที่มุมและ 3 โหนดอยู่ระหว่างกึ่งกลาง) ในแต่ละโหนด จะมีระดับขั้นความเสรี $DOF = 6$ หมายถึงจะเคลื่อนที่ 3 ทิศทางและหมุนรอบ 3 แกน ที่ขอบและ พื้นผิวของเอลิเมนต์จะสามารถลงบนขอบ โค้งของชิ้นส่วนเมื่อสร้าง โมเดลเอลิเมนต์ ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 เอลิเมนต์ลำดับที่สองแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม

ในการวิจัยนี้จะกำหนดรูปแบบของเอลิเมนต์เป็นแบบอัตโนมัติ โดยจะกำหนดให้โปรแกรม เป็นผู้เลือกรูปแบบของเอลิเมนต์ เนื่องจากชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียนมีรูปแบบซับซ้อนละมีขนาดเล็ก ดังนั้นการเลือกรูปแบบของเอลิเมนต์เป็นแบบอัตโนมัติ จะทำให้ได้รูปแบบของเอลิเมนต์ที่มีความเหมาะสมกับแบบจำลองมากที่สุด ในขั้นตอนการวิเคราะห์นั้นจะกำหนดขนาดเอลิเมนต์เริ่มต้นที่ 0.09 mm และลดขนาดของเอลิเมนต์ จนทำให้ขนาดของเอลิเมนต์ไม่มีผลต่อคำตอบที่ได้จะได้กล่าว ในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

สำหรับบทนี้ จะนำเสนอผลการจำลองปัญหาของชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน ที่เคลื่อนที่สูงขึ้น จนกระทั่ง Assembly Offset Height มีค่าเท่ากับ 0.508 mm เพื่อหามุมลอยตัวและความเค้นที่เกิดขึ้น โดยมีดัชนีที่สามารถบ่งบอกถึงความเหมาะสมของ มุมลอยตัว คือ ค่า Gram Load ซึ่งควรจะอยู่ในช่วง 2.5 ± 0.2 grams หากค่า Gram Load มีค่าน้อยกว่าช่วงที่เหมาะสม ก็จะส่งผลทำให้หัวอ่าน-เขียน อยู่ในตำแหน่งที่ไม่สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้ ในทางตรงกันข้าม หากค่า Gram Load มีค่ามาก จะส่งผลให้หัวอ่าน-เขียนเข้าใกล้แผ่น Platter จนกระทั่งอาจเกิดการสัมผัสหรือเสียดสีกับแผ่น Platter ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายแก่สารที่เคลือบผิวของแผ่น Platter และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

4.1 ผลการวิจัย

ในการวิจัยนี้ได้ทำการจำลองการรับ Air Bearing Load ของชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียนด้วยวิธีการยกหัวอ่าน-เขียนให้เคลื่อนที่สูงขึ้นจนกระทั่ง Assembly Offset Height มีค่าเท่ากับ 0.508 mm ทั้งหมด 44 กรณี โดยขึ้นกับมุมลอยตัวและขนาดของเอลิเมนต์

4.1.1 ผลการจำลองที่เอลิเมนต์เท่ากับ 0.090 มิลลิเมตร

ผลการจำลองโดยกำหนดให้มุมลอยตัวมีค่าเท่ากับ 10° และเพิ่มขึ้นครั้งละ 1° จนกระทั่งมุมลอยตัวมีค่าเท่ากับ 20° โดยกำหนดขนาดของเอลิเมนต์เท่ากับ 0.090 มิลลิเมตร

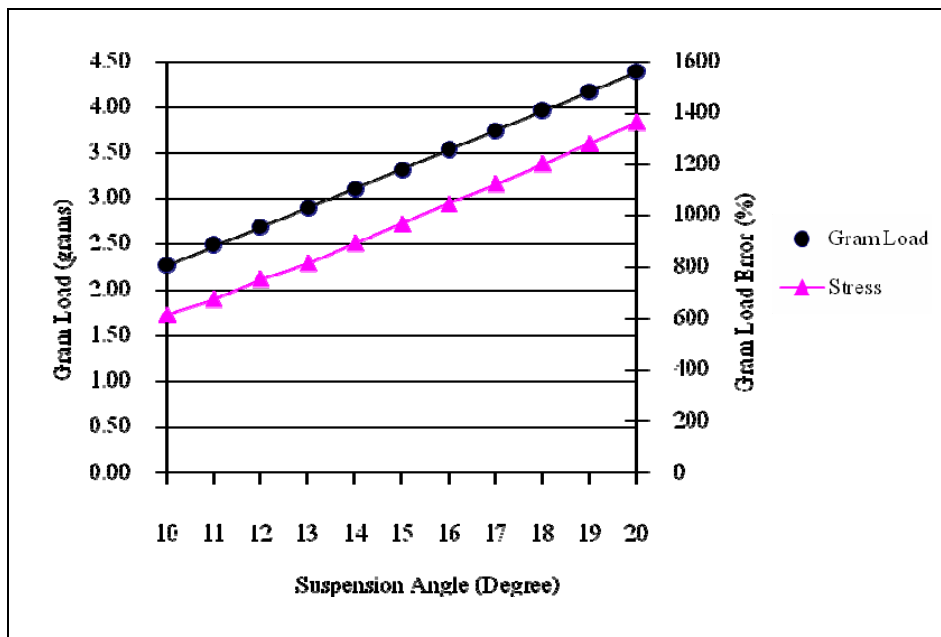
ตารางที่ 4.1 ค่า Gram Load และ Maximum Stress เมื่อขนาดของเอลิเมนต์ เท่ากับ 0.090 มิลลิเมตร

No.	Suspension Angle (Degree)	Gram Load (grams)	Maximum Stress (MPa)
1	10	2.28	615.60
2	11	2.49	675.90
3	12	2.69	752.90
4	13	2.90	815.88

ตารางที่ 4.1 ค่า Gram Load และ Maximum Stress เมื่อขนาดของเอลิเมนต์ เท่ากับ 0.090 มิลลิเมตร (ต่อ)

No.	Suspension Angle (Degree)	Gram Load (grams)	Maximum Stress (MPa)
5	14	3.11	894.24
6	15	3.32	969.63
7	16	3.53	1047.60
8	17	3.75	1124.60
9	18	3.96	1202.60
10	19	4.18	1283.00
11	20	4.40	1362.60

ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในกรณีที่มีขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 0.090 มิลลิเมตร เมื่อนำมาแสดงผลในรูปแบบกราฟเส้นจะได้ดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 ค่า Gram Load และ ความเค้น (Stress) เมื่อกำหนดเอลิเมนต์ขนาด 0.090 มิลลิเมตร

จะเห็นว่าการปรับเปลี่ยนมุมลอยตัวมีผลต่อค่า Gram Load และความเค้น เมื่อกำหนดค่า Gram Load ที่อยู่ในช่วง 2.5 ± 0.2 grams นั้น จะทำให้มุมลอยตัวที่ต้องการอยู่ในช่วง 10° - 12° และความเค้น มีค่าอยู่ในช่วง 615-752 MPa

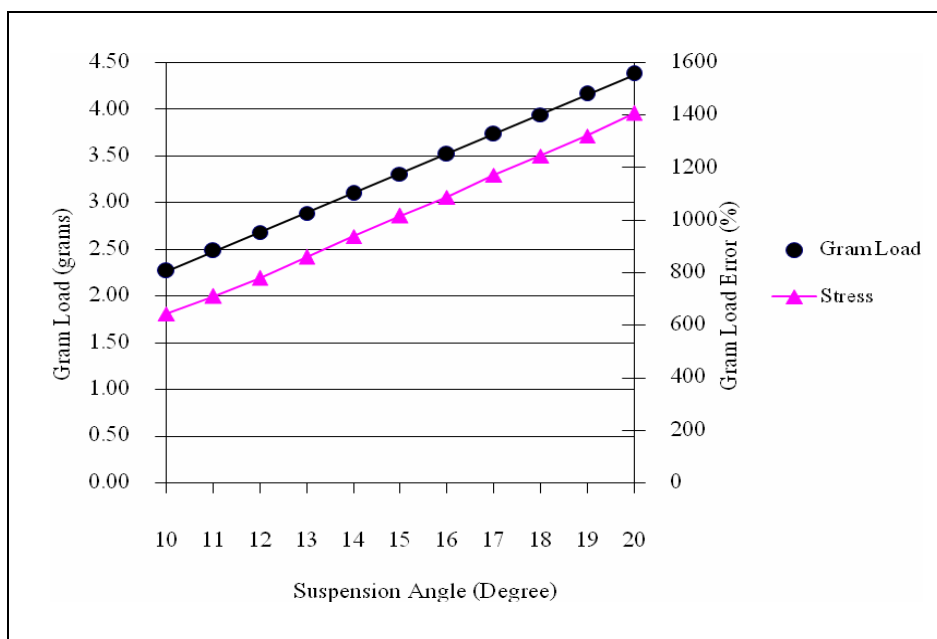
4.1.2 ผลการจำลองที่เอลิเมนต์เท่ากับ 0.085 มิลลิเมตร

ผลการจำลองโดยกำหนดให้มุมลอยตัวมีค่าเท่ากับ 10° และเพิ่มขึ้นครั้งละ 1° จนกระทั่งมุมลอยตัวมีค่าเท่ากับ 20° โดยกำหนดขนาดของเอลิเมนต์เท่ากับ 0.085 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.2 ค่า Gram Load และ Maximum Stress เมื่อขนาดของเอลิเมนต์ เท่ากับ 0.085 มิลลิเมตร

No.	Suspension Angle (Degree)	Gram Load (grams)	Maximum Stress (MPa)
1	10	2.27	644.22
2	11	2.49	711.03
3	12	2.68	778.84
4	13	2.89	860.76
5	14	3.10	939.68
6	15	3.31	1016.40
7	16	3.52	1088.20
8	17	3.73	1171.90
9	18	3.95	1245.20
10	19	4.16	1321.50
11	20	4.38	1408.20

ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในกรณีที่มีขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 0.085 มิลลิเมตร เมื่อนำมาแสดงผลในรูปแบบกราฟเส้นจะได้ดังรูป 4.2



รูปที่ 4.2 ค่า Gram Load และ ความเค้น เมื่อกำหนดเอลิเมนต์ขนาด 0.085 มิลลิเมตร

จะเห็นว่าการปรับเปลี่ยนมุมลอยตัวมีผลต่อค่า Gram Load และความเค้น เมื่อกำหนดค่า Gram Load ที่อยู่ในช่วง 2.5 ± 0.2 grams นั้น จะทำให้มุมลอยตัวที่ต้องการอยู่ในช่วง 10° - 12° และความเค้น มีค่าอยู่ในช่วง 644-748 MPa

4.1.3 ผลการจำลองที่เอลิเมนต์เท่ากับ 0.080 มิลลิเมตร

ผลการจำลองโดยกำหนดให้มุมลอยตัวมีค่าเท่ากับ 10° และเพิ่มขึ้นครั้งละ 1° จนกระทั่งมุมลอยตัวมีค่าเท่ากับ 20° โดยกำหนดขนาดของเอลิเมนต์เท่ากับ 0.080 มิลลิเมตร

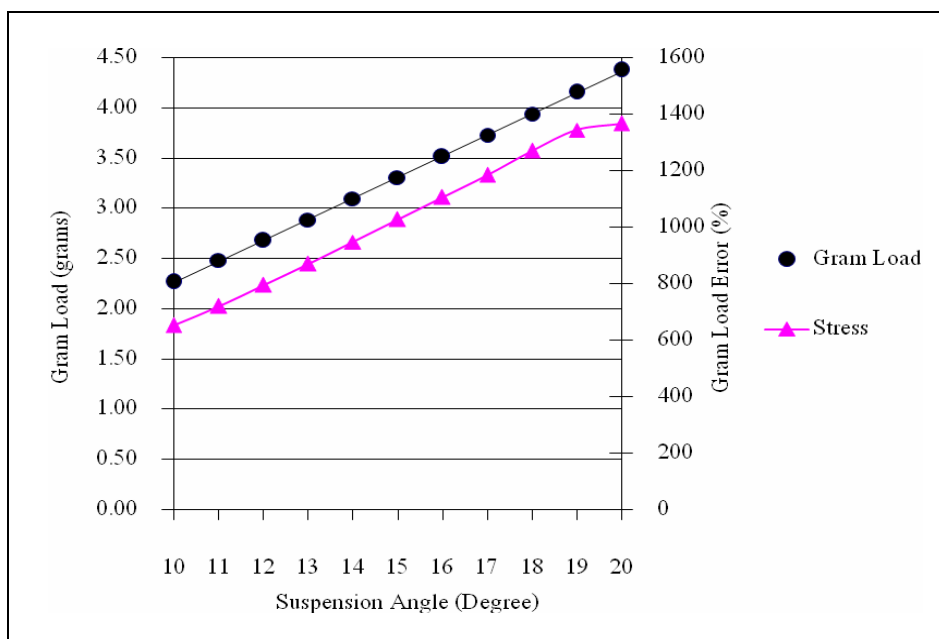
ตารางที่ 4.3 ค่า Gram Load และ Maximum Stress เมื่อขนาดของเอลิเมนต์ เท่ากับ 0.080 มิลลิเมตร

No.	Suspension Angle (Degree)	Gram Load (grams)	Maximum Stress (MPa)
1	10	2.27	652.75
2	11	2.48	719.83
3	12	2.68	795.20

ตารางที่ 4.3 ค่า Gram Load และ Maximum Stress เมื่อขนาดของเอลิเมนต์ เท่ากับ 0.080 มิลลิเมตร(ต่อ)

No.	Suspension Angle (Degree)	Gram Load (grams)	Maximum Stress (MPa)
4	13	2.88	869.73
5	14	3.10	947.53
6	15	3.31	1027.50
7	16	3.52	1107.10
8	17	3.73	1184.30
9	18	3.94	1270.50
10	19	4.16	1344.00
11	20	4.38	1366.90

ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในกรณีที่มีขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 0.08 มิลลิเมตร เมื่อนำมาแสดงผลในรูปแบบกราฟเส้นจะได้ดังรูป 4.3



รูปที่ 4.3 ค่า Gram Load และ ความเค้น เมื่อกำหนดเอลิเมนต์ 0.08 มิลลิเมตร

จะเห็นว่าการปรับเปลี่ยนมุมลอยตัวมีผลต่อค่า Gram Load และความเค้น เมื่อกำหนดค่า Gram Load ที่อยู่ในช่วง 2.5 ± 0.2 grams นั้น จะทำให้มุมลอยตัวที่ต้องการอยู่ในช่วง 10° - 12° และความเค้น มีค่าอยู่ในช่วง 652-795 MPa

4.1.4 ผลการจำลองที่เอลิเมนต์เท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร

ผลการจำลองโดยกำหนดให้มุมลอยตัวมีค่าเท่ากับ 10° และเพิ่มขึ้นครั้งละ 1° จนกระทั่งมุมลอยตัวมีค่าเท่ากับ 20° โดยกำหนดขนาดของเอลิเมนต์เท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร

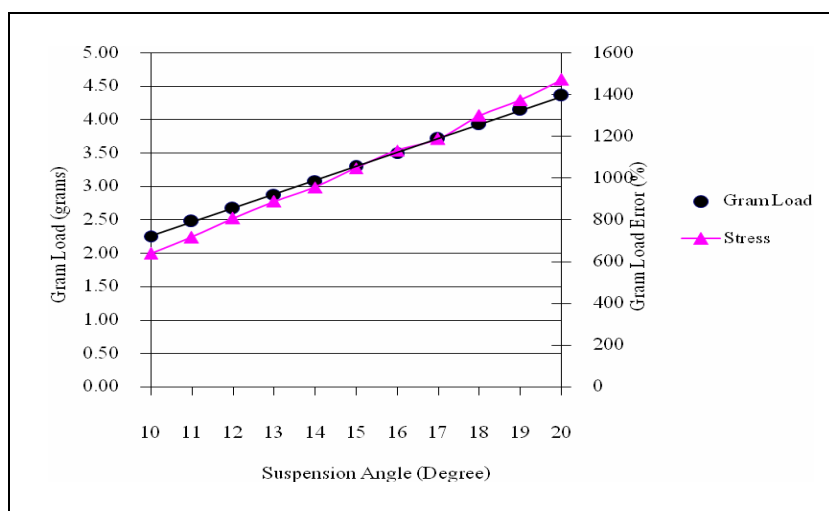
ตารางที่ 4.4 ค่า Gram Load และ Maximum Stress เมื่อขนาดของเอลิเมนต์ เท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร

No.	Suspension Angle (Degree)	Gram Load (grams)	Maximum Stress (MPa)
1	10	2.26	639.67
2	11	2.48	717.54

ตารางที่ 4.4 ค่า Gram Load และ Maximum Stress เมื่อขนาดของเอลิเมนต์ เท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร(ต่อ)

No.	Suspension Angle (Degree)	Gram Load (grams)	Maximum Stress (MPa)
3	12	2.67	807.83
4	13	2.88	889.50
5	14	3.09	956.97
6	15	3.30	1049.20
7	16	3.50	1133.60
8	17	3.72	1189.10
9	18	3.93	1299.60
10	19	4.15	1375.80
11	20	4.36	1473.70

ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในกรณีที่มีขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร เมื่อนำมาแสดงผลในรูปแบบกราฟเส้นจะได้ดังรูป 4.4



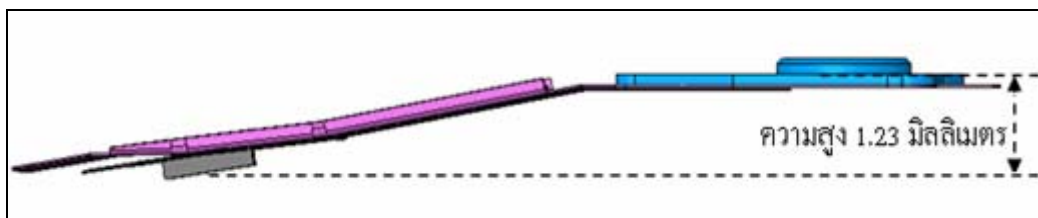
รูปที่ 4.4 ค่า Gram Load และ ความเค้น เมื่อกำหนดเอลิเมนต์ 0.075 มิลลิเมตร

จะเห็นว่าการปรับเปลี่ยนมุมลอยตัวมีผลต่อค่า Gram Load และความเค้น เมื่อกำหนดค่า Gram Load ที่อยู่ในช่วง 2.5 ± 0.2 grams นั้น จะทำให้มุมลอยตัวที่ต้องการอยู่ในช่วง 10° - 12° และความเค้น มีค่าอยู่ในช่วง 639-807 MPa

4.2 การอภิปรายผล

4.2.1 ผลกระทบที่เกิดจากการปรับเปลี่ยน มุมลอยตัว

จากการวิจัยจะพบว่าเมื่อกำหนดให้ มุมลอยตัว มีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่า Gram Load และ ความเค้น ที่ได้มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้ก็เพราะว่า เมื่อกำหนดให้มุมลอยตัวมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ตำแหน่งของหัวอ่าน-เขียนอยู่ต่ำกว่า Mount Plate มากขึ้นทำให้การเคลื่อนที่ของหัวอ่าน-เขียนมีระยะทางมากขึ้นตามไปด้วย เพราะการเคลื่อนที่ของหัวอ่านนั้นจะถูกบังคับด้วยค่า Assembly Offset Height คือ ไม่ว่าหัวอ่านจะอยู่ในตำแหน่งใดก็ตามก่อนการเคลื่อนที่ เมื่อหัวอ่าน-เขียนเคลื่อนที่แล้ว จะต้องให้ค่า Assembly Offset Height มีค่าคงที่ เท่ากับ 0.508 มิลลิเมตรเสมอ ยกตัวอย่างเมื่อกำหนดให้ มุมลอยตัว เท่ากับ 10° และ 15° ระยะการเคลื่อนที่ขึ้นของหัวอ่าน-เขียน จะมีค่าเท่ากับ 0.722 มิลลิเมตร 1.162 มิลลิเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 มุมลอยตัว เท่ากับ 10°



รูปที่ 4.6 มุมลอยตัว เท่ากับ 15°

4.2.2 มุมลอยตัว ที่เหมาะสม

จากการศึกษาชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียนโดยทั่วไปพบว่า มุมลอยตัว จะมีค่าอยู่ในช่วง 10° - 20° โดยขึ้นอยู่กับค่า Gram Load ของแต่ละรุ่นของชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหา มุมลอยตัว ที่ให้ค่า Gram Load อยู่ในช่วง 2.5 ± 0.2 grams จากรูปกราฟที่ 4.1 จะสังเกตว่าลักษณะกราฟแบบเชิงเส้น สามารถสร้างสมการแนวโน้มของกราฟ เพื่อหามุมลอยตัวที่ต้องการ จะได้สมการดังนี้

$$y = 0.211x + 0.157$$

โดยที่

y คือ Gram Load
 x คือ มุมลอยตัว

จากนั้นแทนค่า Gram Load เท่ากับ 2.5 ± 0.2 grams จะทำให้ทราบค่า มุมลอยตัว ที่ต้องการคือ 10.16° ที่ Gram Load เท่ากับ 2.3 grams 11.10° ที่ Gram Load เท่ากับ 2.5 grams และ 12.05° ที่ Gram Load เท่ากับ 2.7 grams เนื่องจากการงานวิจัยนี้ได้ทำการลดขนาดของเอลิเมนต์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบ โดยเริ่มต้นที่ 0.090 มิลลิเมตร และลดขนาดเป็น 0.085 มิลลิเมตร 0.080 มิลลิเมตร 0.075 มิลลิเมตร ตามลำดับดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 มุมลอยตัว

Gram Load (grams)	Element Size (mm.)			
	0.09	0.085	0.08	0.075
	Suspension Angle (Degree)			
2.3	10.16	10.18	10.19	10.20
2.5	11.10	11.13	11.14	11.15
2.7	12.05	12.08	12.09	12.11

จะเห็นว่า มุมลอยตัว ที่ได้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อมีการลดขนาดของเอลิเมนต์ คำตอบที่ได้ยังไม่เป็นอิสระของการกำหนดขนาดเอลิเมนต์ แต่การลดขนาดเอลิเมนต์ในงานวิจัยนี้สามารถทำได้จำกัดที่ขนาด 0.075 มิลลิเมตร ดังนั้นคำตอบที่ได้จึงใช้คำตอบที่ขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร โดยมุมลอยตัว ที่ได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 10.18° - 12.08° หรือประมาณ 10° - 12° จากนั้นนำผลจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง ดังตารางที่ 4.6

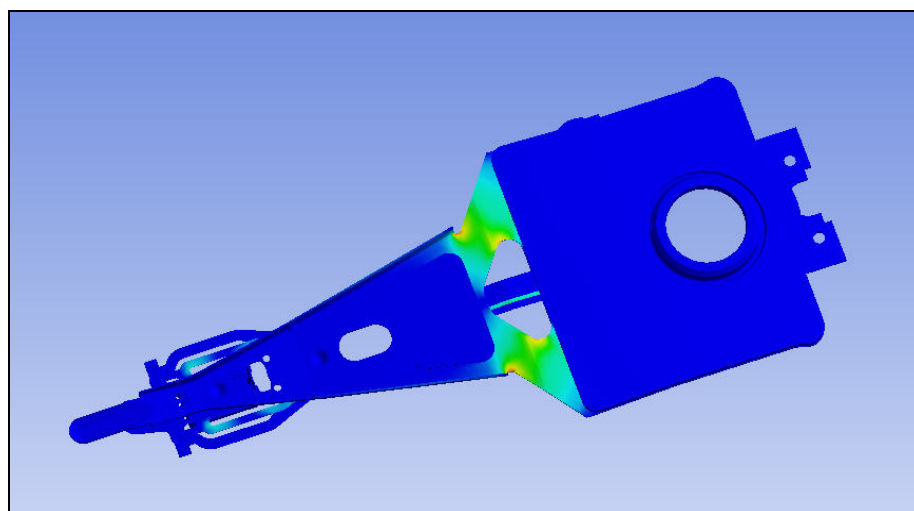
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์กับผลจากการทดลอง

Simulation	Experiment	Error
10.00° - 12.00°	12.00° - 13.00°	1° - 2°

จากการเปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์กับผลที่ได้จากการทดลอง พบว่า มุมลอยตัว มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 1° - 2°

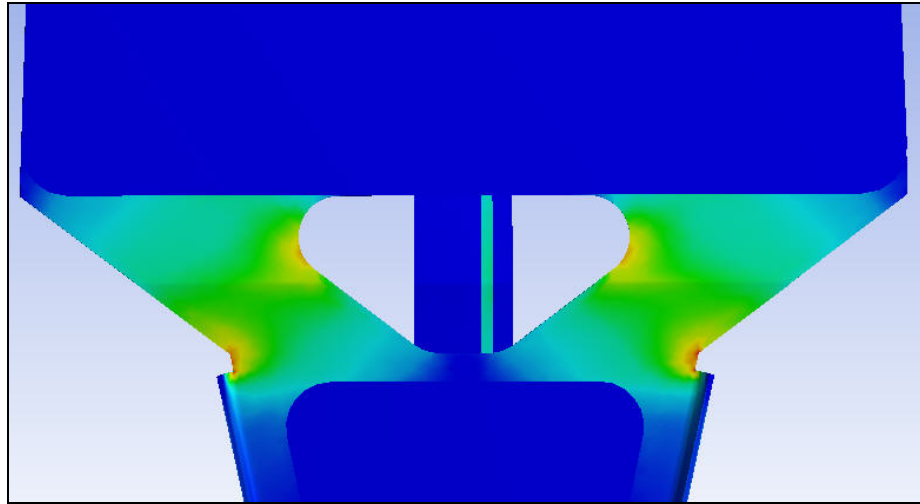
4.2.3 ความเค้นที่เกิดขึ้น

ความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียนเมื่อจนกระทั่ง Assembly Offset Height มีค่าเท่ากับ 0.508 มิลลิเมตร โดยกำหนดมุมลอยตัวจะอยู่ที่ 11° เนื่องจากมุมลอยตัวที่ 11° จะให้ค่า Gram Load เท่ากับ 2.5 grams



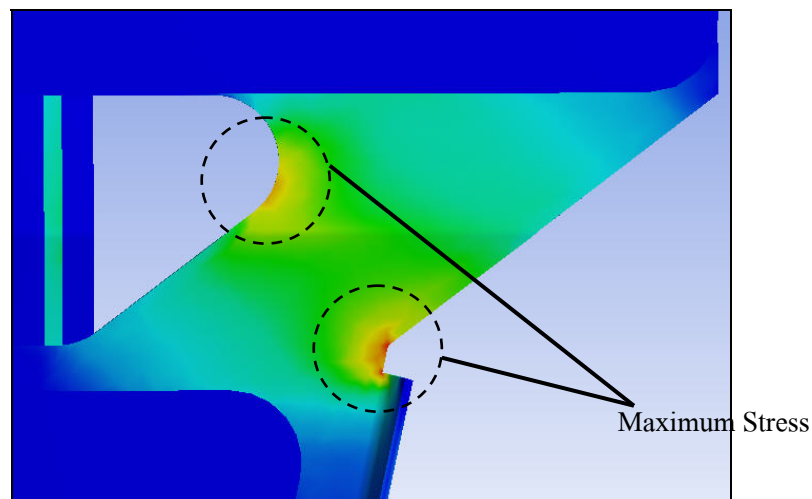
รูปที่ 4.8 ความเค้น (Stress) บนชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน

ดังรูปที่ 4.8 จะแสดงพื้นที่ที่เกิดความเค้นเมื่อชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียนอยู่ในสภาวะ Load State โดยความเค้นดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่บริเวณ Bend Zone



รูปที่ 4.9 ความเค้นบนชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียนที่บริเวณ Bend Zone

จากรูป 4.9 จะเห็นว่าความเค้นที่เกิดขึ้นมีตำแหน่งที่สมมาตรกัน ทั้งนี้เพราะว่าแบบจำลองใช้ในการวิเคราะห์มีขนาดและรูปร่างที่สมมาตร



รูปที่ 4.10 ตำแหน่งที่ความเค้นบนชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน

จากรูปที่ 4.10 แสดงตำแหน่งที่เกิดความเค้นดัดสูงสุดโดยมีค่า ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความเค้นดัดสูงสุด

	Element Size (mm.)			
	0.09	0.085	0.08	0.075
Stress Maximum (MPa)	675.9	711.03	719.83	717.54

เมื่อสภาวะเริ่มทำงานจะเกิดกระแสลมที่บริเวณผิวของแผ่น Platter หรือที่เรียกว่า Air Bearing Load ช่วยยกให้หัวอ่าน-เขียนลอยสูงขึ้น ดังนั้นตัว Suspension ก็จะยกตัวตามไปด้วยส่งผลให้เกิดความเค้นดัด ที่บริเวณ Bend Zone โดยความเค้นที่เกิดขึ้นนี้จะแปรผันกับแรงลมที่กระทำกับหัวอ่าน ค่าความเค้นที่ได้จะก็ไม่คงที่ แต่จากการวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อหัวอ่านยกตัวขึ้นจนกระทั่ง Assembly Offset Height มีค่าเท่ากับ 0.508 มิลลิเมตร โดยความเค้นดัดสูงสุดเท่ากับ 719.83 MPa จากรูป 4.10 ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นนั้นมีพื้นที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับพื้นที่ที่เกิดความเค้นทั้งหมด ดังนั้นจึงสามารถที่จะไม่คิดถึงการเสียหายที่เกิดจากความเค้นสูงสุด ณ ตำแหน่งดังกล่าวได้และความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณ Bend Zone นั้น ค่าความเค้นดัดมีค่าอยู่ระหว่าง 200-400 MPa โดยค่าความเค้นดัดนี้จะเป็นตัวที่ชี้วัดในการเลือกวัสดุที่นำมาผลิตชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยโดยสรุปและข้อเสนอแนะในการดำเนินการทำวิจัยต่อไป โดยหัวข้อ 5.1 จะกล่าวถึงผลสรุปของงานวิจัย และหัวข้อ 5.2 จะกล่าวถึงข้อเสนอแนะในการดำเนินการวิจัยต่อไปเพื่อปรับปรุงและพัฒนาชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียน ต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิเคราะห์ชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียนเพื่อหามุมลอยตัวที่ให้ค่า Gram Load อยู่ในช่วง 2.5 ± 0.2 grams และหาความเค้น เมื่ออยู่ในสภาวะ Load State โดยสรุปเป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. เมื่อทำการจำลองผลพบว่า มุมลอยตัวที่เหมาะสมจะมีค่าระหว่าง 10° - 12° จะให้ค่า Gram Load อยู่ในช่วง 2.5 ± 0.2 grams และจากการทดลอง พบว่ามุมลอยตัวจะมีค่าเท่ากับ 12° - 13° เมื่อนำผลที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง พบว่ามีความคลาดเคลื่อนประมาณ 1° - 2°
2. จากผลการจำลองพบว่า เมื่อกำหนดให้มุมลอยตัวมีค่าเท่ากับ 11° เพื่อวิเคราะห์ความเค้น โดยความเค้นที่เกิดขึ้นจะเกิดที่บริเวณ Bend Zone เป็นหลัก และความเค้นที่เกิดขึ้นสูงสุด จะมีค่าประมาณ 719.83 MPa

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิเคราะห์เพื่อหามุมลอยตัวนั้นถ้าต้องการคำตอบที่ถูกต้องและแม่นยำ การกำหนดขนาดเอลิเมนต์จะต้องให้มีความเหมาะสมและคอมพิวเตอร์ที่ใช้ต้องมีประสิทธิภาพสูง
2. ปรับเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ให้มีคุณภาพสูงขึ้น โดยเลือกวัสดุที่มีค่าคุณสมบัติเชิงกลเช่น Yield Stress, Ultimate Stress มากกว่าค่าความเค้นที่เกิดขึ้นเพื่อให้ชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียนแข็งแรงและมีความทนทานมากขึ้น
3. ปรับเปลี่ยนตำแหน่งของมุมลอยตัว เพื่อทำการลดความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อชุดจับยึดหัวอ่าน-เขียนได้รับแรงยกจาก Air Bearing Load
4. ใช้กระบวนการทางความร้อน (Heat Treatment) เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของ Stainless Steel ให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ในกรณีที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนชนิดของวัสดุและตำแหน่งของมุมลอยตัว

รายการอ้างอิง

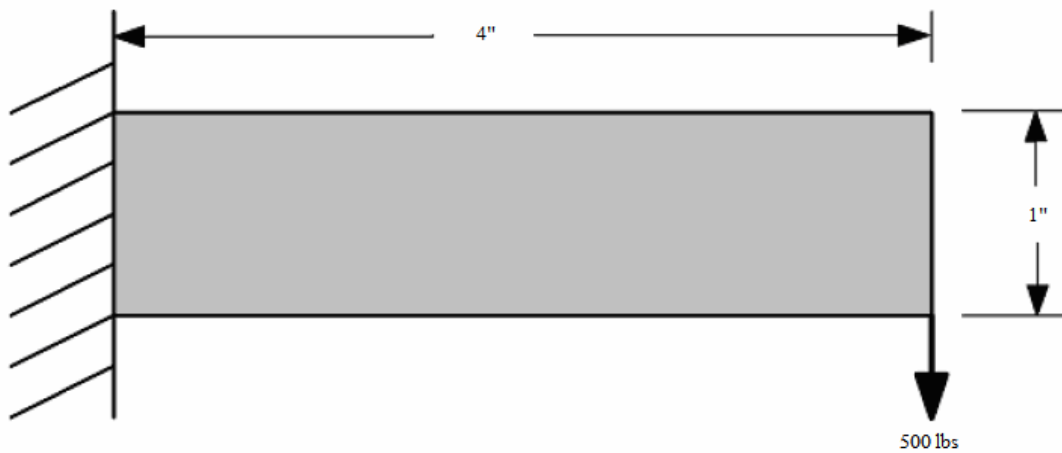
- ประเสริฐ รุ่งทรัพย์พาณิชย์. (2544). **เทคนิคแก้ไขปัญหาฮาร์ดดิสก์และกู้ข้อมูล**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ด
ยูเคชั่น
- ชารี บางแก้ว และ ทีมบรรณาธิการ. (2546). **รู้จัก รู้จริง HARDDISK**. กรุงเทพฯ : สวัสดิไอที
- ภีรพล คชาเจริญ และ อรรณพ ชันชีกุล. (2548). **เจาะเทคนิคกู้ข้อมูลและแก้ปัญหาฮาร์ดดิสก์**. นนทบุรี
: ไอดีซีฯ
- ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี. (2549). **SolidWorks/COSMOSWorks ขั้นพื้นฐาน**. กรุงเทพฯ : สมาคม
ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- กนต์ธร ชำนิประศาสน์. **เอกสารประกอบการสอน รายวิชากลศาสตร์ขั้นสูง**. สาขา
วิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- ฮิบเบลเลอร์, อาร์. ซี. (2545), บุคฉัตร ฉัตรวีระ และ วัทซภพ เฉชพันธ์ ผู้แปล. **กลศาสตร์วัสดุ1-2**.
กรุงเทพฯ : เพียร์สันเอดดูเคชั่น อินโดไชน่า
- Arthur P. Boresi and Richard J. Schmide. (1924). **Advance Mechanics of Materials**. 6th ed.
- M.A. Suriadi, C.S. Tan, Q.D. Zhang, T.H. Yip, K. Sundaravadivelu. **Numerical investigation of
airflow inside a 1- in hard disk drive**. Data Storage Institute, 5 Engineering Drive
Singapore 117608, Singapore
- Takenori Atsumi, Toshihiro Arisaka, Toshihiko Shimizu, and Hiromitsu Masuda. **Head
Positioning Control Using Resonant Modes in Hard Disk Drives**. IEEE/ASME
TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, VOL. 10, NO. 4, AUGUST 2005

ภาคผนวก ก

ผลเฉลยแม่นยำตรงของปัญหา Cantilevered Beam

ก.1 การทรุดตัวของคาน

การคำนวณเพื่อหาการทรุดตัวของคาน เมื่อปลายด้านหนึ่งของคานถูกยึดให้ติดกับผนังส่วนอีกด้านหนึ่งปล่อยเป็นอิสระ ดังรูป ก.1



รูปที่ ก.1 Cantilevered Beam

การคำนวณเพื่อหาการทรุดตัวของคานที่มีปลายด้านหนึ่งยึดให้ติดกับผนังส่วนอีกด้านหนึ่งปล่อยให้เป็นอิสระ จะใช้สมการดังนี้

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI} + \frac{6PL}{5AG} \quad (\text{ก.1})$$

โดยที่	δ	=	การทรุดตัวของคาน
	P	=	แรงที่กระทำกับคาน
	L	=	ความยาวของคาน
	E	=	โมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุ
	I	=	โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ของคานคำนวณรอบแกนสะเทิน
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของคาน

G = โมดูลัสการเฉือน

เมื่อกำหนดให้คานยาว 4 นิ้ว และมีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งมีขนาด 1x1 นิ้ว และกำหนดค่า Modulus of Elasticity เท่ากับ 29008000 psi โดยให้มีแรงกระทำที่ปลายคาน 500 lbs

$$\delta = \frac{(500\text{lbs})(4\text{in})^3}{3(29,008,000\text{psi})\left(\frac{(1\text{in})(1\text{in})^3}{12}\right)} + \frac{6(500\text{lb})(4\text{in})}{5(1\text{in})^2\left(\frac{29,008,000}{2(1+0.3)}\right)\text{psi}} \quad (\text{ก.2})$$

$$\delta = 0.00463\text{in} \quad (\text{ก.3})$$

ก.2 ความเค้นดัดสูงสุด

ทำการคำนวณเพื่อหาความเค้นดัดสูงสุดโดยความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณด้านบนหรือด้านล่างของคานใกล้กับส่วนที่ถูกยึดติดกับผนัง จะใช้สมการดังนี้

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (\text{ก.4})$$

โดยที่

σ	=	ความเค้นดัดสูงสุด
M	=	โมเมนต์ภายในคาน
c	=	ความสูงของแกนสะเทิน
I	=	โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ของคานคำนวณรอบแกนสะเทิน

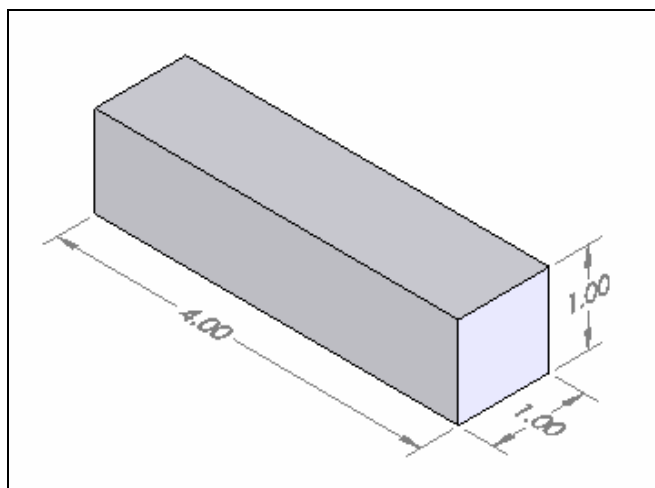
จะได้ดังนี้

$$\sigma = \frac{(500\text{lbs})(4\text{in})(0.5\text{in})}{\left(\frac{(1\text{in})(1\text{in})^3}{12}\right)} \quad (\text{ก.5})$$

$$\sigma = 12,000\text{psi} \quad (\text{ก.6})$$

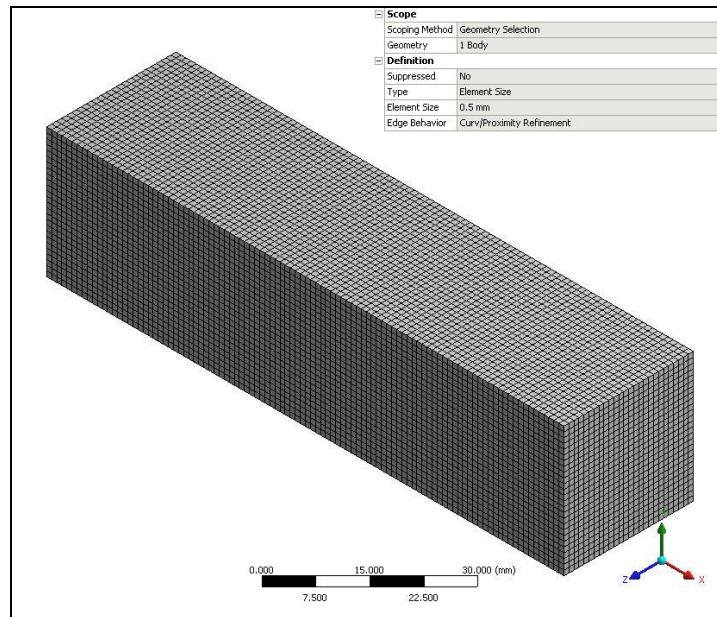
ก.3 การคำนวณด้วยโปรแกรม

เริ่มจากการสร้างชิ้นงาน ดังรูป ก.3 เพื่อวิเคราะห์หาค่าการทรุดตัวของคานและความเค้นสูงสุด โดยเป็นการวิเคราะห์แรงกระทำแบบสถิตยศาสตร์ โดยการใช้โปรแกรม ANSYS Workbench V.11



รูปที่ ก.2 คานที่สร้างจากโปรแกรม SolidWorks

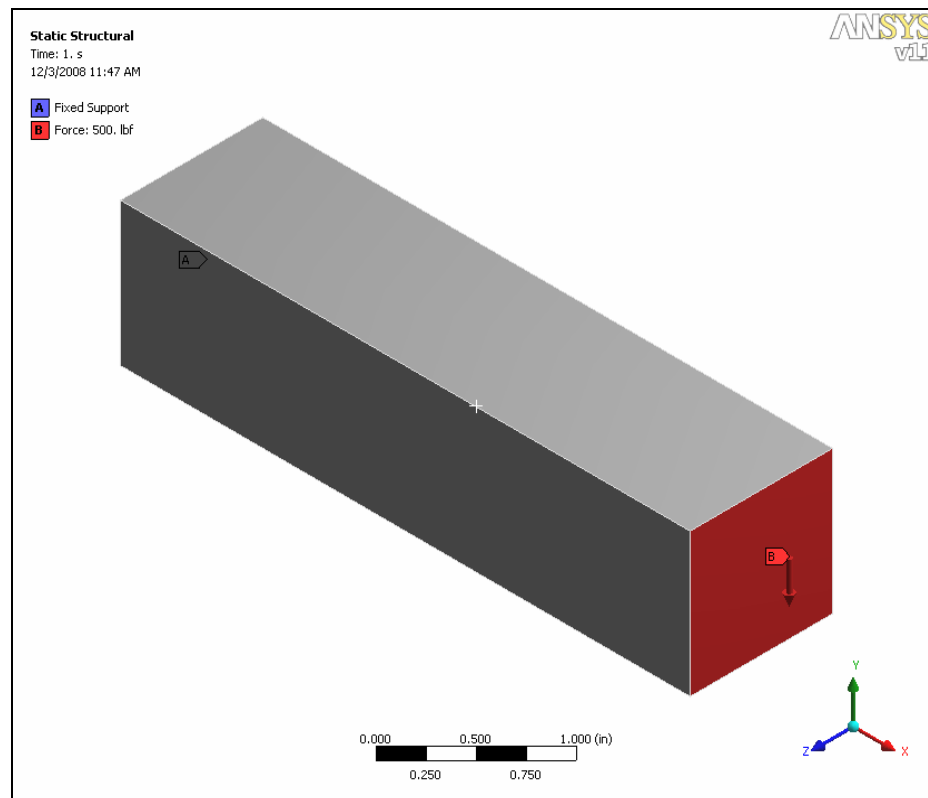
เมื่อได้ชิ้นงานตามต้องการแล้วก็ทำการแบ่งชิ้นงานออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ โดยขั้นตอนการสร้างเอลิเมนต์และกำหนดขนาดของเอลิเมนต์เป็นแบบอัตโนมัติ ดังรูป ก.3 ขั้นตอนต่อมาเป็นการกำหนดคุณสมบัติวัสดุ ในที่นี้กำหนดให้เป็น Structural Steel ซึ่งเราสามารถกำหนดคุณสมบัติของวัสดุได้จากข้อมูลคุณสมบัติที่มีอยู่ในโปรแกรม ดังรูปที่ ก.4 จากนั้นทำการกำหนดชนิดการจับยึดเป็นแบบจับยึดแน่นและแรงกระทำ ดังรูปที่ ก.5



รูปที่ ก.3 สร้างเอลิเมนต์ให้กับชิ้นงาน

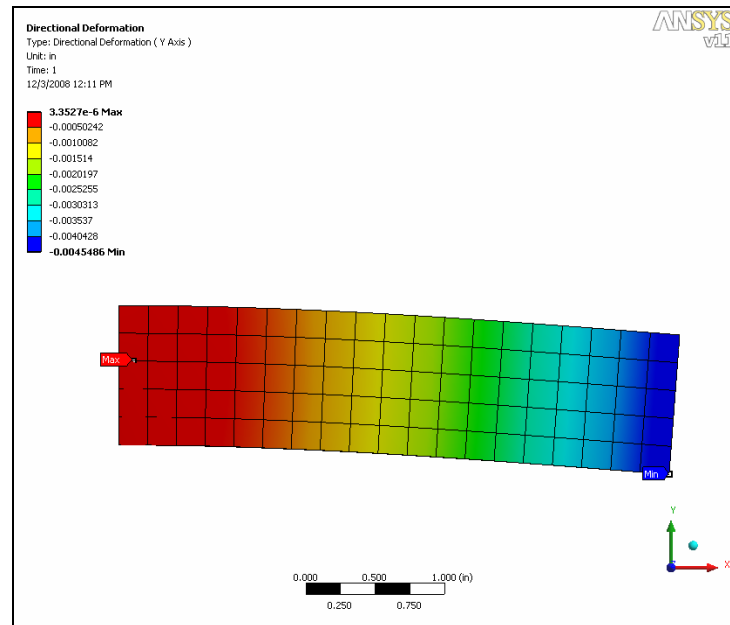
Structural		Add/Remove Properties
<input type="checkbox"/>	Young's Modulus	2.9008e+007 psi
<input type="checkbox"/>	Poisson's Ratio	0.3
<input type="checkbox"/>	Density	0.28383 lbm/in ³
<input type="checkbox"/>	Thermal Expansion	6.6667e-006 1/°F
<input type="checkbox"/>	Alternating Stress	
<input type="checkbox"/>	Strain-Life Parameters	
<input type="checkbox"/>	Tensile Yield Strength	36259 psi
<input type="checkbox"/>	Compressive Yield Strength	36259 psi
<input type="checkbox"/>	Tensile Ultimate Strength	66717 psi
<input type="checkbox"/>	Compressive Ultimate Strength	0. psi
Thermal		Add/Remove Properties
<input type="checkbox"/>	Thermal Conductivity	8.0917e-004 BTU/s·in·°F
<input type="checkbox"/>	Specific Heat	0.10358 BTU/lbm·°F
Electromagnetics		Add/Remove Properties
<input type="checkbox"/>	Relative Permeability	10000
<input type="checkbox"/>	Resistivity	8.5256 Ohm·Cir·mil/in

รูปที่ ก.4 คุณสมบัติวัสดุ Structural Steel

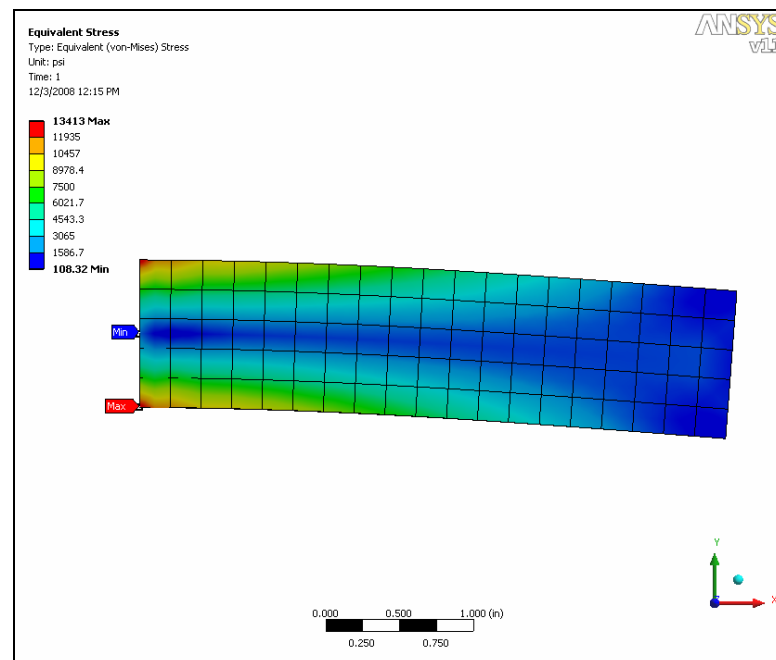


รูปที่ ก.5 การกำหนดการจับยึดและแรงที่กระทำบนชิ้นงาน

จากนั้นก็จะเป็นขั้นตอนของการประมวลผลของโปรแกรม หลังจากการประมวลผลเสร็จ
 สมบูรณ์ ANSYS Workbench V.11



รูปที่ ก.6 ผลของการทรุดตัวของคานที่ได้จากโปรแกรม



รูปที่ ก.7 ผลของค่าความเค้น (Von-Mises Stress) ที่ได้จากโปรแกรม

การคำนวณเพื่อหาการทรุดตัวของคานเท่ากับ 0.00463 in ส่วนผลของความเค้นดัดสูงสุดเท่ากับ 12,000 MPa จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเพื่อหาการทรุดตัวของคานเท่ากับ 0.00455 in ส่วนผลของความเค้นสูงสุด (Maximum Von-Mises Stress) มีค่าเท่ากับ 13,413 MPa นำผลที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดโดยเป็นค่าเปรียบเทียบของความแตกต่างระหว่างคำตอบจาก ANSYS Workbench V.11 กับคำตอบจากทฤษฎี ดังสมการ ก.7 และ ก.9 ได้ดังนี้

ผลของค่าความผิดพลาดจากการคำนวณการทรุดตัวของคาน

$$error_{Deflection} = \left| \frac{\delta_T - \delta_A}{\delta_T} \right| \times 100\% \quad (\text{ก.6})$$

โดยที่ $error_{Deflection}$ คือ ค่าความผิดพลาดของการทรุดตัวของคาน
 δ_A คือ ค่าความเค้นที่คำนวณได้จาก ANSYS Workbench V.11
 δ_T คือ ค่าความเค้นที่คำนวณได้จากทฤษฎี

จะได้ว่า

$$error_{Deflection} = \left| \frac{0.00463 - 0.00455}{0.00463} \right| \times 100\% = 1.73\% \quad (\text{ก.7})$$

ผลของค่าความผิดพลาดจากการคำนวณค่าความเค้นดัดสูงสุด

$$error_{Stress} = \left| \frac{\sigma_T - \sigma_A}{\sigma_T} \right| \times 100\% \quad (\text{ก.8})$$

โดยที่ $error_{Stress}$ คือ ค่าความผิดพลาดของความเค้นดัดสูงสุด
 σ_A คือ ค่าความเครียดที่คำนวณได้จาก ANSYS Workbench V.11
 σ_T คือ ค่าความเครียดที่คำนวณได้จากทฤษฎี

จะได้ว่า

$$error_{Stress} = \left| \frac{(12,000) - (13,413)}{(12,000)} \right| \times 100\% = 11.78\% \quad (\text{ก.9})$$

ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรมมีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณจากทฤษฎี โดยมีค่าความผิดพลาดของค่าการทรุดตัวของคาน 1.73% ดังสมการที่ ก.7 และความผิดพลาดของค่าความเค้นคัตสูงสุด 11.78% ดังสมการที่ ก.9

ภาคผนวก ข

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

ภากรณ์ ทรัพย์เจริญ, กนต์ธร ชำนิประศาสน์ (ตุลาคม 2551). การวิเคราะห์การกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22., หน้า 53-57

ประวัติผู้เขียน

นายภากรณ์ ทรัพย์เจริญ เกิดเมื่อวันที่ 26 สิงหาคม 2525 ที่อำเภอสตึก จังหวัดชลบุรี เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนชุมชนบ้านบางเสร์ และมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนสตึกวิทยาคม สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2548 และได้ศึกษาต่อระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ขณะศึกษาได้เป็นผู้สอนปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จำนวน 2 รายวิชาได้แก่ (1) ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล และ (2) วิชาเขียนแบบวิศวกรรม 1 เป็นเวลา 3 ปี ในระหว่างศึกษาได้มีการนำเสนอผลงานวิชาการเรื่อง **Stress Distribution Analysis on Head Gimbal Assembly Using Finite Element Method** ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22 ณ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ระหว่างวันที่ 15 – 17 ตุลาคม พ.ศ. 2551